公　開
資料１
（別冊１）

見　　解

サイバーセキュリティ研究・開発・教育における法的・倫理的課題

令和８年（２０２６年）９月 18 日

日　本　学　術　会　議

情報学委員会

サイバーセキュリティ分科会

この見解は、日本学術会議情報学委員会サイバーセキュリティ分科会の審議結果を取りまとめ公表するものである。

日本学術会議情報学委員会サイバーセキュリティ分科会

委員長	高田　広章	（第三部会員）	名古屋大学未来社会創造機構教授
副委員長	佐古　和恵	（第三部会員）	早稲田大学理工学術院教授
幹　事	岩村　誠	（連携会員）	NTT 株式会社社会情報研究所上席特別研究員
幹　事	松浦　幹太	（連携会員）	東京大学生産技術研究所教授
	相原　玲二	（連携会員）	広島大学上席特任学術研究員／安田女子大学理工学部教授
	阿部　正幸	（連携会員）	NTT 株式会社社会情報研究所フェロー
	稲見　昌彦	（連携会員）	東京大学先端科学技術研究センター教授
	井上美智子	（連携会員）	奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科情報科学領域教授
	位野木万里	（連携会員）	工学院大学情報学部コンピュータ科学科教授
	大倉　典子	（連携会員）	環太平洋大学国際経済経営学部特任教授／芝浦工業大学名誉教授
	岡部　寿男	（連携会員）	京都大学学術情報メディアセンター教授
	柴山　悦哉	（連携会員）	大学共同利用機関法人情報・システム研究機構理事
	須藤　修	（連携会員）	東京大学名誉教授／中央大学 ELSI センターアドバイザー／OECD Expert Group of AI Futures メンバー
	砂原　秀樹	（連携会員）	麗澤大学工学部教授
	住井英二郎	（連携会員）	東北大学大学院情報科学研究科教授
	竹房あつ子	（連携会員）	大学共同利用機関法人情報・システム研究機構国立情報学研究所教授
	谷　誠一郎	（連携会員）	早稲田大学教育・総合科学学術院教授
	中川　晋一	（連携会員）	一般社団法人情報通信医学研究所代表理事／所長
	原田　悦子	（連携会員）	筑波大学名誉教授／客員教授／株式会社イデアラボリサーチディレクター
	盛合　志帆	（連携会員）	国立研究開発法人情報通信研究機構執行役／サイバーセキュリティ研究所所長
	後藤　厚宏	（連携会員（特任））	情報セキュリティ大学院大学教授
	宮地　充子	（連携会員（特任））	大阪大学大学院工学研究科栄誉教授

本見解の作成にあたり、以下の職員が事務及び調査を担当した。

事務	新田　浩史	参事官（審議第二担当）
	渡邊英一郎	参事官（審議第二担当）（令和８年７月から）
	角田美知子	参事官（審議第二担当）付参事官補佐
	櫻井　　碧	参事官（審議第二担当）付審議専門職
調査	辻　　政俊	上席学術調査員

要　　旨

１　作成の背景

現代社会において情報システムは人命や社会インフラを支える重要基盤となっているが、サイバー攻撃の脅威は深刻化しており、防御側が攻撃者の思考を先回りする「踏み込んだ研究」（脆弱性の能動的な探索・分析、マルウェアの挙動解析、実環境に近い条件での攻撃シナリオの再現・評価等）が不可欠となっている。しかしながら、こうした研究活動は、不正アクセス禁止法や刑法（ウイルス作成・提供罪等）などの法的リスクへの懸念、あるいは研究成果の公開に伴う倫理的配慮の難しさから、萎縮してしまうケースがある。本見解は、これらの法的・倫理的課題を整理し、サイバーセキュリティ分野の研究・開発及び教育を活性化し、安全な社会基盤の構築に寄与するための提案を行うものである。

２　現状及び問題点

法的側面では、正当な研究目的であっても、管理者の承諾を得ない調査やマルウェアの取り扱いが、現行法（不正アクセス禁止法、ウイルス作成・提供罪等）に抵触する懸念があり、正当性要件の解釈も必ずしも一定・共有されていない。また、リバースエンジニアリングが契約により禁止され、脆弱性調査が阻害される問題もある。

倫理的側面では、医学研究を範とする従来の倫理規範がサイバーセキュリティ特有の課題（攻撃手法の評価やネットワークへの影響等）に適合しない場合がある。脆弱性に関する情報の取り扱いについては、責任ある開示の枠組みがあるものの、調整の長期化により研究成果の公表が遅れ、研究者の評価が損なわれるなどの課題が指摘されている。教育的側面では、技術の悪用を防ぐ倫理指導が不可欠であるが、具体的なカリキュラムや体制の構築は容易ではなく、高度な人材育成の妨げとなるおそれがある。

３　提案の内容

(1) 相談機関の設置

サイバーセキュリティ分野の研究・開発・教育における個別の法的・倫理的課題について、研究者等が相談を持ちかけ、適切なアプローチを共に議論する相談機関（助言委員会）を、公的資金により設置すべきである。当該機関は、サイバーセキュリティ研究者・開発者・教育者に加え、法律家や関係省庁を含む多様なステークホルダーで構成し、研究計画の法的・倫理的妥当性の検討や、責任ある開示の実践やサイバー攻撃手法の教育における留意点などに関する助言を行うことで、研究者・開発者・教育者の萎縮を防ぎ、適切な研究・開発・教育活動を支援する。

(2) 判断基準を作る場の整備

個別事例への対応にとどまらず、サイバーセキュリティ分野の研究・開発・教育における法的・倫理的問題に関する普遍的な「判断基準」を策定・維持するための協議・検討の枠組みを整備すべきである。ここでは、相談機関で蓄積された事例をもとに、研究者・開発者・教育者、消費者、規制官庁などが集い、社会的合意形成を図りながら基準を作成する。これにより、法解釈の明確化や必要なルール形成を促し、予見可能性の高い研究環境を実現する。

(3) 基準の整備・普及

マルウェアの管理基準や、サイバーセキュリティ教育における倫理カリキュラムなど、一部の専門家の間では事実上の標準となっている事項については早急に明文化し、普及させるべきである。これらの知見を広く共有することで、新規参入者の障壁を下げると共に、意図せぬ法令違反やインシデントを防ぎ、健全な研究・開発・教育活動を促進する。

目　　次

１　背景 1
２　課題意識・事例・現状の取り組み 3
(1)　法的問題 3
(2)　倫理的問題 4
①　サイバーセキュリティ研究における倫理規定の問題点 5
②　倫理問題の多様化と複雑化、教育のあり方について 6
③　本分野における倫理問題の複雑化への対応の必要性 6
(3)　現状の取り組みと課題 7
①　研究計画段階における倫理審査・相談体制 7
②　責任ある開示 8
(4)　具体的な検討課題 9
①　リバースエンジニアリングを不当に制限しない制度の整備 9
②　開発者に対する脆弱性の対応・公表義務の是非 10
③　研究成果が公開できない場合の評価・救済スキームの構築 10
３　提案 11
(1)　相談機関の設置 11
(2)　判断基準を作る場の整備 13
(3)　基準の整備・普及 13
４　まとめ 16
＜参考文献＞ 17
＜参考資料１＞審議経過 20

１　背景

現代社会は、医療、金融、交通、エネルギー、行政サービスに至るまで、その基盤を情報通信システムに強く依存している。社会全体のデジタル化とIoT機器の爆発的な普及は利便性を高める一方、サイバー攻撃の脅威をいっそう深刻化させている。

初期のサイバー攻撃では、企業秘密の窃取や示威行為を目的としたウェブサイト改ざんが多くみられた。しかし今日では、その被害は人命や社会インフラにも及んでいる。例えば、病院のシステムがランサムウェア攻撃を受けて停止し、救急患者の受入れ停止や搬送先変更が生じ、患者の死亡との関連が疑われたケースがある[1]。また送電線網へのサイバー攻撃により、大規模停電が発生するといった社会の混乱を招く事例も報告されている[2]。

こうした被害が発生する要因として、サイバーセキュリティにおける防御コストの増加がある。攻撃側は一か所でも攻撃の糸口を見つけられれば良い一方、防御側はすべての隙をふさぎ続ける必要があるが、昨今の情報システムは大規模化・複雑化が進むことで、相対的に防御側のコストが増大している。そこで求められるのは、攻撃者視点に立ち、攻撃の糸口を減らすと共に、侵入を許した際は、迅速な復旧により被害を最小化するという考え方である。そのためには、未知の脆弱性を能動的に探索・分析する研究、マルウェア挙動を詳細に解析して攻撃者の意図や手口を解明する研究、実環境に近い条件で攻撃シナリオを再現・評価する研究など、防御側が攻撃者の思考を先回りする「踏み込んだ研究」が不可欠である。サイバーセキュリティでは、この攻撃的視点から得られる知見こそが、現実の脅威を先取りした堅牢な防御技術と効果的なインシデント対応を生み出す源泉となる。

一方で、こうした重要な「踏み込んだ研究」は、法的・倫理的な論点により萎縮してしまっているケースがある。

法的側面では、攻撃ツールやマルウェアの取り扱いにおいて、正当な利用目的が求められる。その正当性を担保する客観的な根拠として、安全管理体制や運用ルールの整備が必要となるが、組織内の整備が遅れていたり、関連法令の理解が不十分であったりすることが、計画段階からの萎縮につながり得る。

倫理面では、学術的な成果公開の迅速性と、社会的影響に配慮した「責任ある開示（Responsible DisclosureまたはCoordinated Disclosure)」との調整が難しい。脆弱性の発見・報告が対象製品・サービスの開発者に必ずしも歓迎されず、開発者からの反論を招く懸念が、サイバーセキュリティ研究への新規参入の障壁となる場合もある。教育面でも、技術の悪用を防ぐ倫理指導は不可欠だが、教育対象の年齢・経験や技術の悪用可能性に応じた内容設計が必要となるため、その具体的なカリキュラムや体制の構築は容易ではなく、結果として高度なセキュリティ人材の育成や社会実装の遅れにつながりかねない。

本見解は、これらの法的・倫理的課題に関する事例と現状の取り組みを整理

し、サイバーセキュリティ分野の研究・開発及び教育を活性化するための提案を行うものである。

2　課題意識・事例・現状の取り組み

(1)　法的問題

サイバーセキュリティ分野の研究・教育は、その定義から、情報システムに対する攻撃や不正侵入への対応及びそれらの防止を主な目的としている。そのため、必然的に、攻撃や不正侵入そのものを研究し、しばしば既存の攻撃・不正侵入手法を再現あるいは新たな手法を開発、あるいは情報システムのセキュリティ上の欠陥（脆弱性）を発見することとなる。

一方、攻撃・不正侵入行為を行った者は、各国の法令に基づき刑事責任を問われ、あるいは民事上の損害賠償責任を負うことがある。わが国では特に不正アクセス行為の禁止等に関する法律（不正アクセス禁止法）、刑法第 168 条の２及び第 168 条の３（不正指令電磁的記録に関する罪、いわゆるウイルス作成・提供罪）、刑法第 233 条（偽計業務妨害罪）、著作権法等がサイバーセキュリティ研究・教育に関係する。

例えば実在の情報システムにおいて脆弱性の存在が疑われ、その存在を確認したいが、その情報システムの管理者の承諾が得られない場合、承諾を得ずに脆弱性を実際に確認すると、不正アクセス禁止法第３条（不正アクセス行為の禁止）に抵触して三年以下の拘禁刑又は百万円以下の罰金に処されるおそれがある（同法第 11 条）。なお、同条には「業務その他正当な理由による場合を除いては」といった例外も規定されておらず、管理者の承諾を得ない不正アクセスを刑法第 35 条の正当業務行為として合法とした事例も見当たらない。（国立研究開発法人情報通信研究機構法に基づき、同機構が行う特定の調査について認められた例外は、一般のサイバーセキュリティ研究には適用されない。）

ウイルス作成・提供罪には「正当な理由がないのに」「人の電子計算機における実行の用に供する目的で」といった規定があるが、その「正当な理由」や、使用者の「意図に沿うべき動作をさせず、又はその意図に反する動作をさせるべき不正な指令」といった規定の解釈が（警察庁[3]及び法務省[4]の解説や、後述の比較的最近の最高裁判所判決はあるものの）関係者・当事者間で必ずしも一定・共有されていない[5]。そのため、例えば技術的には素朴で対処も比較的容易な、いわゆる無限ループのプログラムへのリンクを投稿した未成年者らがウイルス提供罪の疑いをかけられ補導等されたり[6,7]、計算機への技術的影響としては通常のインターネット広告等と大差のない、いわゆる暗号通貨採掘プログラムの一種を、自身の Web ページの閲覧者にスクリプトとして実行させた個人らが検挙され、最高裁判所まで至って裁判官全員一致の意見により不正性が否定され無罪と判決されたり[8]といった事例が発生している。IT セキュリティ企業の社員がウイルス保管の容疑で逮捕されたり[9]、ごく初歩的なプログラムを掲載した Web サイトの管理者が罰金刑を受けたり[10]といった例もある。さらに過去には、技術的には特段の問題のないプログ

ラムを個人が作成・実行したところ、そのプログラムによりアクセスされた公共の情報システム側の問題により障害が発生し、プログラムを作成・実行した側の個人が偽計業務妨害の容疑で逮捕され、20 日間にわたり勾留される[11]といった事例も発生している。サイバーセキュリティを担当する自衛官が訓練のために作成した模擬的なプログラムがマルウェアとして検出・立件され、最終的には不起訴処分となったが退職に至ったケースもある[12]。

一方、研究の一環として他者のプログラムを解析する（いわゆるリバースエンジニアリングを行う）場合、著作権法上の複製権等を侵害するおそれがあったが、日本では 2018（平成 30）年の改正により一定の例外が認められることとなった（無論、著作権者あるいはその他の者の利益を不当に害する場合は、著作権法あるいは他の法令に違反するおそれがある）[13]。日本の不正競争防止法においても「技術的制限手段の試験又は研究」に関しては例外が規定されている（同法第 19 条第 1 項第 10 号）。しかしながら、ソフトウェアの利用許諾契約等により、その利用者に対して当該ソフトウェアのリバースエンジニアリングが禁止されるケースは依然として多く、脆弱性の発見・報告・対処等の妨げとなりうる。

国外においては、例えば電子書籍の著作権保護の脆弱性を米国のカンファレンスで発表したプログラマが、Digital Millennium Copyright Act (DMCA)を理由として連邦捜査局(FBI)に逮捕されたり[14]、Linux で DVD を再生するためのソフトウェアを公開したノルウェーの当時 15 歳の個人が家宅捜索を受け起訴されたり[15]といった事例も多い。また、セキュリティ脆弱性の研究発表が司法により差し止められた複数の事例[16,17]もある。

これらの問題は、技術者・研究者らに対して、正当な研究・教育目的で行った行為であっても法律違反と評価されたり、不当に捜査・逮捕等の対象となったりするのではないかという不信や不安を与え、サイバーセキュリティ研究においても懸念が生じている。いわゆる正当性要件の明確化等により、そのような懸念を解消し、健全かつ円滑なサイバーセキュリティ研究に資する制度の整備が望まれる。

(2) 倫理的問題

情報処理研究における倫理的問題は、医学における倫理規範をもとに考えられてきた。すなわち、人間を対象とする医学研究の倫理規範であるヘルシンキ宣言[18]から、具体的行動基準としてベルモントレポート[19]で人を対象とする研究における倫理骨子が確立された。情報処理の分野でも各学会の倫理規範が策定され、より具体化した行動規範としてメンローレポート[20]で、人格の尊重、恩恵、正義、法と公益の尊重の 4 点を遵守するとされた。本基準は情報処理全般の倫理基準として用いられ、各種学会においても同基準に基づいたチェックシートにより審査が行われてきた。しかし研究内容の複雑化・

多様化が進行し、ヒトを対象とする研究を想定してきた同基準を一律に適用することが難しい事例が増加しており、それぞれの学術団体（学会、査読委員会ならびに組織倫理委員会：IRB）が個別に判断せざるを得ないことから、判断の一貫性や予見可能性が課題とされている[21]。

①　サイバーセキュリティ研究における倫理規定の問題点

わが国においてもメンローレポートの規定に準拠すべく学会を中心として解決案が模索され、研究における倫理問題のチェックリストが公開され、相談窓口の運営も行われているが倫理原則を実運用の研究に適用する際の課題も指摘されている[22]。例えばネットワーク上の大量のパケットを収集し内容を解析するようなサイバーセキュリティ研究では、モニタリング対象者全員にインフォームドコンセント（説明と同意）を得ることができないなど問題も生じている。このような事例に対し従来用いられてきた倫理問題に関するチェックシートの他にノレッジベースを用いて判定を試みるなど新規手法も提案されている[23]。

また、メンローレポートの規定に従う場合、例えばシステムの脆弱性に関して研究した結果を「法と公益の尊重」に従って責任ある開示の手順で公開した場合であっても、システムを使用するユーザの「恩恵」を侵害する可能性が指摘されている。例えば脆弱性を発見したシステムが患者の生死を左右する医療システムである場合、システムの脆弱性を公表しそのシステムを一時的にせよ停止するなどの措置が必要になれば患者生命は危険に晒される。研究成果としての脆弱性に関する情報をどう扱うのかについて更なる検討が必要であることが指摘されている[24]。

さらに、オープンソースソフトウェア（OSS）コミュニティにおけるコードレビュープロセスを評価するために、Linuxカーネルに脆弱性入りパッチを混入させることによって調査した論文が国際会議に採択された後、Linuxカーネルコミュニティ、同国際会議プログラム委員会、著者らの所属大学において議論された結果として取り下げとなった事例がある[25]。本例は研究者が公知せず脆弱性入りパッチを混入させ、これが取り除かれていく期間までを調査することにより、OSSのコードレビューの脆弱性を指摘、パッチの提供者の身元確認、説明責任などの問題点を指摘するなど、研究成果としては価値があるとされたが、結果的に研究方法の倫理上の問題から取り下げとなった[26]。現在、主に医学や心理学などヒトを対象とする一般的な研究を前提として設置されている組織倫理委員会（IRB）において、情報処理・通信工学分野の中でも高度な知識と専門性が求められるサイバーセキュリティ分野特有の手法や影響を適切に評価できるよう、その専門性を高める必要が指摘されている[27]。

②　倫理問題の多様化と複雑化、教育のあり方について

近年、サイバーセキュリティ事案の多様化や、関与者の低年齢化などが社会問題化してきており、本分野の技術者・研究者の倫理教育の必要性と倫理意識向上の必要性も高まってきている。

2023年には、わが国でセキュリティ技術者の養成を目的として実施されているSecHack365の修了者が、不正に入手したクレジットカード番号の不正使用に関与したとされる事案が発生した。同講座では法と倫理に関する教育を継続的に実施しているが、今後も教育内容の更なる検討が必要であるとコメントしている[28]。また、2025年に発生した中高生による不正アクセス事案[29]は、生成AIの悪用により技術的ハードルが低下したことを背景としており、高等教育機関の専門教育以前の段階、すなわち初等中等教育からの倫理教育が必須であることを示唆している。

一方で、事案を起こした人材の更生や、善意の研究活動の保護という観点も重要である。1988年のモリスワーム事件[30]では、有罪判決を受けた学生が後に研究者として大成し、サイバーセキュリティ分野に貢献した例がある。わが国においては、こうした人材に対する特別な再教育・育成の仕組みは未整備であるが、事案の重大さと反省を踏まえた上での人材活用の道筋も模索されるべきである。

③　本分野における倫理問題の複雑化への対応の必要性

研究成果の公開は研究者にとって業績評価の基盤であるが、サイバーセキュリティ分野においては、その公開自体が新たな攻撃手法の流布というリスクを孕んでいる。結果として詳細な手法を非公開とせざるを得ないケースもあり、第三者による検証（再現性の確認）や正当な業績評価が妨げられ、学術分野としての発展の障害となることも懸念される。

本分野における倫理的課題への対応として、従来のメンローレポートに基づく枠組みに加え、(１)各研究における倫理的配慮、(２)研究が倫理的に許容される範囲で行われたかの監視・管理・公開、(３)セキュリティ事案発生時の対応、などの点が求められる。これらを実現するための参考となるのが、医学分野における臨床研究の枠組みである[31]。具体的には、研究開始前の手続き、方法の公開と審査、参加者への説明と同意、責任委員会による研究の開始・中断・継続・終了の管理など、安全な研究体制を整備することが必要である。ただし、医学においても、1947年のニュルンベルク綱領、1964年のヘルシンキ宣言に始まる研究倫理の議論は、その後も1979年のベルモント・レポートを経て、2000年代に入ってもヘルシンキ宣言の改訂が繰り返されるなど、長期にわたって継続しており、倫理規範の確立は一朝一夕に進むものではない。現在の研究者の研究モチベーションや生産性を低下させるのではなく、それらを保護しつつルールを浸透させるなど、深遠な配慮が求め

られる。

(3) 現状の取り組みと課題

サイバーセキュリティ研究には、研究計画段階での倫理的適切性の確保に加え、研究成果の公開によって生じうる社会的影響への配慮という二つの倫理的観点が求められる。本節では、まず研究実施前の倫理審査の現状と課題を整理した上で、脆弱性研究に特有の情報公開プロセスである責任ある開示（Responsible DisclosureまたはCoordinated Disclosure）の必要性と課題について述べる。

① 研究計画段階における倫理審査・相談体制

多くの大学では研究倫理審査委員会が設置され、研究計画が倫理的に適切かどうかを事前に判断する仕組みが整備されている。また、海外の主要なセキュリティ会議では、論文投稿時に「研究倫理審査委員会による承認の有無」に加え、研究の実施過程及び研究成果公開の際にどのような倫理的配慮を行ったかの記述が義務付けられている。これにはデータ管理や参加者保護だけでなく、発見した脆弱性の公開方法・公開時期に関する配慮も含まれる。すなわち、研究計画段階と研究成果公開段階の双方において倫理的責任が問われる。

しかし日本国内の研究倫理審査委員会は、医学系研究の生命倫理を主たる対象として発展してきた歴史的経緯があるため、その専門性から、攻撃手法の評価、ネットワークへの影響、脆弱性の意図的利用といったサイバーセキュリティ固有の論点には十分に対応できない場合がある。また、自組織への批判を避けるために研究を制限する方向に判断が傾くことも懸念される。さらに、大学や研究機関がサイバーセキュリティに特化した倫理審査能力を独自に整備することは、リソース面からも容易ではない。

このような状況を補完する取り組みとして、国内学会による自主的な試みが進んでいる。

前述したように、情報処理学会コンピュータセキュリティシンポジウム（CSS）では、投稿者が事前に確認できる「サイバーセキュリティ倫理に関するチェックリスト」を作成し、必要に応じて倫理的妥当性について相談できる窓口を設けている[1]。このチェックリストは（１）倫理綱領の遵守、（２）機微情報の適切な扱い、（３）研究成果公開によるネガティブな影響の検討と対処、の三つの観点から構成されており、特に（３）は国際的に議論される責任ある開示と密接に関係している。これに関連する取り組みは、「サ

[1] 情報処理学会コンピュータセキュリティ研究会（CSEC）や電子情報通信学会 暗号と情報セキュリティシンポジウムも本チェックリストを用いて投稿前の確認を推奨している他、セキュリティ関係の論文誌での活用も広がっており、英語化もされている。

イバーセキュリティ研究における倫理的な研究プロセスについて」というサイトにまとめられている[32]。

さらに、電子情報通信学会（IEICE）では、倫理委員会が主体となって「倫理事例集」を作成し、研究者が倫理的判断を当事者意識をもって考えられるよう支援している。この事例集は、過去に実際に発生した問題や今後起こり得る具体的なケースを題材としており、単一の「正解」を提示するのではなく、さまざまな観点から議論できるよう構成されている。これにより、研究者が直面しがちなグレーゾーンや現場判断の難しさを踏まえた倫理的検討が促進されている。

なお、これらの国内学会による取り組みは、研究計画段階だけでなく、研究成果の公開段階における倫理的責任にも対応しており、次節で述べる責任ある開示/協調的開示の概念とも整合しているベストプラクティスであると言える。

②　責任ある開示

サイバーセキュリティ研究では、研究の結果として既存製品やサービスに脆弱性が存在することが明らかになることがある。この情報が修正前に公開されると、製品利用者が攻撃を受ける危険性がある。そこで、海外では「責任ある開示（Responsible Disclosure）」という枠組みが提唱されてきた[33]。

責任ある情報開示とは、研究者が脆弱性を公表する前に、影響を受ける可能性のある企業に事前通知し、修正の時間と機会を提供するものである。しかし企業側の対応が遅れ、研究成果が公開できないまま長期にわたり停滞する事例が相次いだ。これは、製品利用者が脆弱性のある製品を使い続けることとなる。これは「研究者のみが責任を負う」構造の限界を示している。

この問題を踏まえ、最近では、「責任ある」という言葉が「発見者側だけに責任を押し付けている」というニュアンスを含んでしまうため、より協力的な姿勢を強調した「協調的開示（Coordinated Disclosure）」という呼び方が主流となった。ISO/IEC 29147（脆弱性開示）とISO/IEC 30111（脆弱性ハンドリング）は、この協調的開示を実現するためのプロセスの規格である。

日本では、経済産業省の告示に基づき、IPAとJPCERT/CCが「情報セキュリティ早期警戒パートナーシップガイドライン」を策定・運用しており、発見者・製品開発者・調整機関の三者間における脆弱性情報の適切な流通と調整を担っている。しかし、窓口が一本化されることで報告がここに集中する結果、調整プロセスが長引いているという課題が指摘されている。これにより研究成果の公開が遅れることで、学術業績にならない期間が生じるという懸念点がある[2]。国際的に競争が激しい分野において、日本の研究者が不利と

[2] 報告に先立って、研究成果の公表に支障がないか、IPA や JPCERT/CC に相談することは考えられる。

ならないようにすることが必要である。一方、深刻な脆弱性に対して、企業の対応が遅れるようであれば、製品利用者を脆弱な環境に晒し続けることを意味する。社会に公開することによって、企業の速やかな対応を後押しできる可能性がある。IPAやJPCERT/CC等の調整機関への追加的予算措置を含め、脆弱性情報の受付、関係者間の調整、公表に至るプロセスを迅速に進める必要がある。

以上のような取り組みがある一方で、責任ある開示に関する理解・実践が不足している研究者も少なくない。そのため、研究者への普及啓発を含め、その理解と実践をより一層促進するための施策が必要である。

さらに、これら制度面の改善と同時に、研究者の評価のあり方も見直すべきである。責任ある開示のプロセスは、社会全体のセキュリティ向上に直結する重要な活動である。従って、脆弱性を発見したという技術的な成果にとどまらず、調整プロセスを通じて脆弱性の修正に寄与した貢献そのものを、高い学術的業績として正当に評価する文化の醸成も求められる[3]。

(4) 具体的な検討課題

この節では、現行法令や制度に対して検討が求められる具体的な課題の例について、研究・開発に関するものを中心に述べる。教育に関する具体的課題については、倫理指導やカリキュラム整備の観点から他の節で扱っている。

① リバースエンジニアリングを不当に制限しない制度の整備

ソフトウェアの脆弱性調査においてリバースエンジニアリングは不可欠な手法であるが、前述のように、個別のライセンス契約等によって禁止されることが少なくない。これは脆弱性の発見・報告・対処を阻害する要因となっている。従って、ライセンス契約等におけるリバースエンジニアリング禁止条項を無効とする、あるいはそのような条項を設けること自体を禁止するなど、正当な脆弱性調査を妨げないための法的な制度整備を検討することが考えられる。

なお、米国のデジタルミレニアム著作権法でも、相互運用性の確保を目的とするリバースエンジニアリングや、暗号研究・セキュリティテスト等について一定の例外が設けられているが、契約でこれらの法定例外の適用を排除できないと明確にされているわけではない[34]。一方、EUのコンピュータプログラム指令では、ソフトウェアの相互運用性を確保するためのリバースエンジニアリング（デコンパイル）が認められており、これに反する契約条項は無効とすることが明文で規定されている。

[3] 例えば、JPCERT/CC では、脆弱性の報告などに関して研究者やエンジニアの貢献に対して感謝状を贈っている（https://www.jpcert.or.jp/award/appreciation-award.html）。

②　開発者に対する脆弱性の対応・公表義務の是非

現状では、研究者が脆弱性を発見し開発者に報告した場合であっても、開発者がその脆弱性に対応し、またはそれに関する情報を公表する法的義務は一般には課されていない。そのため、悪影響が懸念される脆弱性を研究者が報告しても、開発者が正当な理由なく対応も公表も行わず、脆弱性が放置されるケースがあり得る。この場合、研究者は、利用者への被害拡大を避けるために直ちに詳細を公表することも困難であり、結果として研究成果の公表や社会への注意喚起が停滞することになる。

しかしながら、社会的に影響の大きい脆弱性については、それを放置することが重大な社会的損失を招くおそれがあることから、開発者に対して開示方法に留意しつつ対応・公表することを法的に義務付けることも考えられる。一方で、そのような義務は、開発者の負担を過度に増やすという懸念もある。なお、開発者に対する義務のあり方を検討する際には、製品・サービスを組み込んで運用する者との関係にも配慮する必要がある。

開発者の対応・公表に関する義務が明確化されれば、研究者が発見し報告した脆弱性について、開発者による修正、利用者への周知、及び研究成果の公表に至る道筋がより明確になる。また、開発者が合理的な期間内に対応・公表を行わない場合には、研究者による独自の情報公開の正当性を判断する上での基準も明確になり、健全な緊張関係の下でセキュリティ研究が促進されることが期待できる。

なお、EUのサイバーレジリエンス法では、悪用されている脆弱性について、極めて短い期間で公的機関に報告することが義務付けられている一方、これが開発者にとって過度な負担になるのではないかという声もある。

③　研究成果が公開できない場合の評価・救済スキームの構築

研究者が社会的に重大な影響を与える脆弱性を発見した場合、その成果を直ちに公表できず、公表が制限される可能性がある。一方で、研究者にとって成果の公開は極めて重要であり、公開できないことは研究者としての評価やキャリアに大きな影響を及ぼす。特に大学院生や学位取得を目指す研究者の場合、研究成果を発表できないことは学位取得に直接の支障が生じるため、このようなリスクを避けるべく研究テーマの選択が制約されるおそれがある。

この課題を解決するためには、責任ある開示に関する基準を整備することや、前述した脆弱性修正に寄与した貢献を学術的業績として評価することに加えて、それでもなお成果が公開できない場合において、研究者が正当に評価され、活動が適切に補償または救済される仕組みを構築することが望まれる。

３　提案

この章では、サイバーセキュリティ分野の研究・開発及び教育の活性化のために、取り組むべきことについて提案する。まず(1)では、個別の案件について相談を受け、助言を行う機関の設置を、(2)では、個別の相談・助言事例を元に、法的・倫理的問題に関する判断基準を作る場の整備を提案する。(3)では、すでに事実上の基準があるものについては、早急に基準の整備・普及を進めることを提案する。これらの提案を進めるにあたっては、研究の自由と社会的責任の両立を図り、関係する多様なステークホルダーへの影響に十分配慮することが重要である。

(1)　相談機関の設置

サイバーセキュリティ分野の研究・開発及び教育における個別の法的・倫理的課題について、研究者・開発者・教育者が相談を持ちかけ、研究・開発・教育を推進するにあたっての適切なアプローチを共に議論する相談機関（助言委員会）を、公的資金により設置することを提案する。その具体的な設置・運営主体や関係機関の役割分担については、関係省庁・規制当局、学術機関、学会等が連携して検討することが望ましい。

生命倫理分野ではすでに、学術機関ごとに研究者向けの相談・審査機関が設けられており、現行法令や倫理的観点に基づき個別の事例が議論され、実効的に機能している。これらの審査は、主として研究計画時点における倫理的妥当性の確認を目的としている。一方、サイバーセキュリティ分野においては、研究計画時点での判断に加え、研究の過程で得られた成果をどのように取り扱い、公開するかといった点も重要な論点となる。しかしながら、サイバーセキュリティ分野においては、研究グループの規模や分布を踏まえると、学術機関ごとに同様の機関を設置するのは非現実的であり、多様な事例を通じた経験の蓄積も難しい。そこで、大学・研究機関や企業等の関係者が共同利用できる機関であることが望ましい。

学会では、研究者による自発的な活動として、例えば情報処理学会のコンピュータセキュリティシンポジウムで見られるように、学会発表に関連する研究倫理上の課題について相談できる窓口が設けられ、活動実績を積み重ねながらベストプラクティスを築いている（２章(3)節参照）。海外動向に精通した研究者からの助言が提供されることで、若手研究者が自らの研究内容を内省する契機ともなっている。しかしながら、研究者が限られたリソースの中でボランティアベースで設置・運用していることから、継続性や対応可能な範囲に限界がある。従って、この相談機関を、このような学会活動の実績も踏まえつつ、公的資金により運営される常設の機関として整備することが望ましい。

この機関には、サイバーセキュリティ研究者・開発者・教育者に加え、現行法に精通した弁護士、関係省庁・規制当局の実務者など、関連する多様なステ

ークホルダーが参画し、以下の役割を担うことが望ましい。

1） 研究者・開発者・教育者からの相談に対し、法令を遵守しつつ、わが国として最大限の成果が得られるよう実施方法に対して助言を行うこと。

2） 対象となる実施計画に対し、法的・倫理的な観点から問題の有無を検討・議論すること。

3） 責任ある開示を含むサイバーセキュリティ固有の課題について相談者自身が理解を深め、適切な実践につなげるための学びと内省の機会を提供すること。

なお、この機関による助言は法的拘束力を有するものではなく、助言を受けたことにより、相談者その他の関係者が刑事上又は民事上の責任を当然に免れるものではない。

このような相談・議論の対象となる研究は構想段階であることが多いため、関係者には一定期間の秘密保持義務を課すことが必要である。

また、この相談機関は、サイバーセキュリティに関するあらゆる研究・教育活動に関する相談を一律に受け付けることを想定するものではない。大学・研究機関や学会における一次的な相談・判断を前提とし、それらでは対応が困難な法的・倫理的判断を要する事案や、研究成果の公開方法を含む高度かつ横断的な検討が必要な事案を主な対象とすることが想定される。併せて、サイバーセキュリティ関係者一人ひとりが自ら内省し、倫理的に研究・教育に取り組める基礎的な判断力を育成する取り組みを支援することも重要である。このような段階的な相談体制と研究者の基礎的判断力の育成を併せて進めることで、限られたリソースの中でも実効的に機能する体制を確保し、相談が過度に集中することによる機能不全を防ぐことが重要である。

研究・開発分野における検討の例として、現行のサービスの脆弱性を明らかにするための調査手法（例えばネットワークスキャンやクローリング）の妥当性、攻撃シナリオの再現など疑似攻撃を伴う研究、SNSアカウントの大量作成や外部サービスの利用規約に抵触する可能性のある利用を伴う調査などが挙げられる。

また、教育分野における助言の一例として、サイバー攻撃に関する演習を行う際に、演習環境をどのように整備すれば良いかや、受講者に事前に教えておくべき前提知識は何か、あるいは不幸にして受講者が受講後に知識を不正利用した際にどのような対応をすべきか、などが考えられる。

なお、この相談機関は、大学や研究機関における既存の相談・審査機関を代替するものではない。大学・研究機関は、研究者・教育者に最も近い立場として、研究構想の初期段階における一次的な相談対応や、学内ルールとの整合性確認、研究・教育の実施に関する最終的な責任を担う主体である。一方で、法的解釈や社会的影響の評価が困難な事案、あるいは研究成果の公開方法を含む高度な判断が必要な事案については、大学・研究機関や企業等の関係者が共

同で利用できる相談機関に接続することで、より適切な判断が可能となる。このような二層的な役割分担により、研究者の負担を過度に増やすことなく、研究の自由と社会的責任の両立が図られる。

(2) 判断基準を作る場の整備

サイバーセキュリティの研究・開発及び教育における法的・倫理的問題に関する判断基準は、すでに事実上あるもの以外は、関連する異なるステークホルダーが集い、社会的合意形成を伴って作られ維持・更新されるべきである。そこで、(1)で提案した個別事例を扱う相談機関とは別に、相談機関で蓄積された事例や国内外の動向を踏まえ、法的・倫理的判断基準を継続的に検討・更新するための協議・検討の枠組み（以下「判断基準を作る場」という。）を整備することを提案する。

判断基準を作る場では、相談機関が扱った個別事例をベースに一般化するなどの検討を行う。そして、法解釈の明確化や、場合によっては新しい法律（ルール）作成を促す提案をするなどして、変化の激しいサイバーセキュリティ分野において相談機関における個別事例の検討に参照できる判断基準を提供する。倫理的問題に関しては、国際的動向を踏まえた対応が求められる。

この判断基準を作る場に集うべきステークホルダーには、消費者、組織的に取り組む企業だけでなく個人で活動するエンジニアも含むソフトウェア開発者、研究者、教育者、規制官庁が含まれる。判断基準を作る場の整備後ではなく整備過程から、これらのステークホルダーが関与することが望ましい。

判断基準を作る場が有効に機能すれば、学会における自発的な活動や、相談/審査機関の生産性も高まることが期待される。また、研究成果を社会に発信し還元する過程だけでなく、研究を計画する段階から法的・倫理的問題に適切かつ効率的に対応することが容易になると期待される。

教育では、判断基準を作る場が有効に機能すれば、安心して効果的な演習を実施することが容易になるなど、実践的な教育の水準向上が見込まれる。具体的な教育プロジェクトに参画した大学等がサイバーセキュリティを学ぶ場を共有する取り組みは、例えば「成長分野を支える情報技術人材の育成拠点の形成(enPiT)」のセキュリティ分野で見られるように、実践的な教育の水準向上に貢献してきた。判断基準を作る場が有効に機能し、サイバーセキュリティ教育の普及がさらに進めば、将来のサイバーセキュリティ確保を支える礎となるであろう。

(3) 基準の整備・普及

整備すべき基準の中には、すでに事実上の基準があるにもかかわらず、それが明文化され普及するに至っていないものもある。そのような基準については、(2)で提案した判断基準を作る場の整備を待たずに、基準の整備・普及を

早急に進めることを提案する。

サイバーセキュリティの研究・開発及び教育を遂行するにあたっては、関連法規やガイドラインの遵守に加え、ステークホルダーに悪影響を及ぼさないために追加の配慮が求められる。しかしながら、こうした配慮に必要な知見は、分野に精通した研究者にとっては当然のことであっても、必ずしも広く共有されているとは限らない。このような状況は、他分野からの新規参入を妨げる一因となるだけでなく、適切な対応を怠ることで思わぬインシデントを引き起こす危険性もはらんでいる。

例えば、マルウェア（コンピュータウイルス）を取り扱う研究がある。マルウェアの扱いに際してまず留意すべきこととして、「不正指令電磁的記録に関する罪」がある[4]。これは、正当な理由なくマルウェアを作成・提供したり、他者の意図に反して実行させる目的でそのソースコードを取得・保管したりする行為を処罰の対象とするものである。こうしたマルウェアの取り扱いは、正当な研究・開発・教育目的であり、正当な理由が認められる場合には、同罪の構成要件を満たさない。しかしながら、現状では、マルウェアを扱う際の正当性要件が具体的な手続きとして十分に定義されておらず、マルウェアの取得・保管等をためらわせる原因になっている。分野に精通した研究者は、マルウェアの管理基準を整備し、それを遵守することで、正当性を客観的に示すための配慮を行っているが、そのような管理基準は広く共有されているわけではない。そこで、広く認められた管理基準を明文化し、普及させることが必要である。

また、マルウェアを研究・開発・教育目的で取り扱う際には、法令の遵守に加え、周囲に危害を与えないための技術的な基準も必要となる。例えば、マルウェア分析には、コード等を調査する静的解析、隔離されたサンドボックス環境で実行時の振る舞いを観察する動的解析、既知の特徴量に基づくシグネチャ解析など、多種多様なアプローチが存在する。分析実施の際は、研究・開発・教育の各目的に従い、技術的な基準としてそうしたアプローチから適切なものを選択することになる。こうした技術的な基準は、従来からマルウェア対策研究に取り組んできた組織・個人にはノウハウとして蓄積されているが、新たに当該分野に参入しようとする者に広く共有されているわけではない。新規参入の障壁を下げ、サイバーセキュリティ分野を活性化させるためには、こうした安全措置となる技術的な基準を明文化し、普及させることが必要である。海外においては、著名なセキュリティ教育機関であるSANS InstituteのFaculty Fellowが、安全なマルウェア解析環境の具体的な構築方法を実務的なガイドとして示している例がある[35]。

ほかにも、サイバーセキュリティ技術には悪用のおそれがあるため、教育においては技術面のみならず、法的・倫理的観点からの指導も不可欠である。セキュリティ教育において法的・倫理的観点でどのようなカリキュラムが必

要かについては、これまでのセキュリティ教育事業においても事例が存在している。一方で、セキュリティ教育を受けた者がサイバー犯罪に手を染めるリスクをおそれすぎると、サイバーセキュリティ分野の活性化に必須となる教育活動が萎縮してしまい、結果としてサイバーセキュリティ人材の不足にもつながりかねない。サイバーセキュリティ教育の裾野拡大に向けて、教育を実施する大学・研究機関・教育事業者等の間で、必要な法的・倫理的教育内容をカリキュラムの基準として共有することが必要である。

サイバーセキュリティ研究・開発及び教育への参入障壁を下げ、より安全な研究環境を確保するためには、上記のような基準や配慮事項といった知見を蓄積し、研究者が必要なときにいつでも参照できる体制を整えることが不可欠である。

４　まとめ

現代社会の基盤を支える情報システムの分散化・相互接続化に伴い、防御側が攻撃者の思考を先回りする「踏み込んだ研究」が不可欠となっている。一方で、こうした研究活動の実施には、現行法令の解釈の不明確さ、研究成果の公開に伴う社会的影響の大きさ、教育の場における倫理指導の難しさなど、法的・倫理的観点からの課題が多数存在している。

第２章では、これらの課題を具体的事例と共に整理し、研究者・教育者・開発者が直面する現実的な困難を示した。不正アクセス禁止法や不正指令電磁的記録に関する罪に代表される国内法は、今日の研究活動における正当な目的と悪意ある行為の線引きを必ずしも明確にしていない。脆弱性に関する情報の取り扱いに関しては、ISO/IEC 29147 等の国際規格が存在するものの、個別の調整実務までを律するものではない。一方、わが国では「情報セキュリティ早期警戒パートナーシップ」において、関係者間の脆弱性情報の流通と調整が行われているが、限られたリソースのために調整プロセスが長引き、研究成果の公開が遅れる場合があるといった課題も残されている。さらに、若年層の関与を含むサイバーセキュリティ事案の多様化は、教育段階における倫理指導の枠組みを再検討する必要性を示している。

第３章では、サイバーセキュリティ分野の研究・開発・教育を健全かつ持続的に発展させるための提案を示した。具体的には、（１）個別事案について相談を受け、助言を行う相談機関の設置、（２）法的・倫理的判断基準を社会的合意の下で策定し維持するための場の整備、（３）すでに事実上の基準が存在する事項についての明文化・普及、の三点について提案を行った。

今日のサイバーセキュリティ分野は、技術動向の変化が極めて速く、攻撃手法やリスクが継続的に進化している。今後も脆弱性の発見、攻撃手法の高度化、AI の悪用など、新たな課題が次々に生じることが確実である[4]。そのため、法的・倫理的基盤の整備は、単に研究者を守るためだけでなく、研究の活性化を通じて社会全体の安全と信頼を確保するための必須要件でもある。

本見解で示した提案は、サイバーセキュリティ分野における研究・開発・教育の活性化に資する一歩にすぎない。しかしながら、多様なステークホルダーによる議論に基づき完成度を高めてこれらの取り組みを進めることで、わが国におけるサイバーセキュリティ研究開発の進展や人材育成が促進され、将来の社会を支える強固で信頼性の高いサイバーセキュリティ基盤の構築に寄与することが期待される。

[4] 2026 年５月には、AI モデルのサイバー攻撃能力を評価する内部試験において、モデルが想定外の方法でインターネットへのアクセスを獲得する事例が発生し、その後７月には第三者のシステムに侵入する事例が発生した[36]。また同年６月には、サイバーセキュリティを含む安全保障上の懸念から、米国政府が一部の AI モデルについて外国籍者によるアクセス停止を求める指令を出し、その結果、当該モデルのサービス提供が停止される事例も生じた[37]。

＜参考文献＞

[1] Patrick Howell O'Neill、サイバー攻撃で病院のシステムが停止、救急患者が死亡＝ドイツ、MIT Technology Review、2020 年 9 月
https://www.technologyreview.jp/s/220021/a-patient-has-died-after-ransomware-hackers-hit-a-german-hospital/

[2] 情報処理推進機構（IPA)、制御システム関連のサイバーインシデント事例 11、2024 年３月
https://www.ipa.go.jp/security/controlsystem/ug65p900000197wa-att/incident_11_20240417.pdf

[3] 警察庁、不正アクセス行為の禁止等に関する法律の解説、2012 年、
https://www.npa.go.jp/bureau/cyber/pdf/1_kaisetsu.pdf

[4] 法務省、いわゆるコンピュータ・ウイルスに関する罪について、2011 年、
https://www.moj.go.jp/content/001267498.pdf

[5] 高市早苗、サイバーセキュリティ対策④：セキュリティ研究者・技術者の法的保護、2019 年８月 30 日
https://web.archive.org/web/20251021182231/https://www.sanae.gr.jp/column_detail1207.html

[6] 「無限アラート」で女子中学生を補導、「リンク貼り付け」で摘発をどう考えるか、弁護士ドットコムニュース、2019 年３月７日、
https://www.bengo4.com/c_23/n_9333/

[7] アラートループ事件の被疑者２名に対する起訴猶予処分を受けて、弁護人 南竹 要、2019 年５月 29 日、https://calamvs-law.site/wp-content/uploads/2023/03/%E5%A3%B0%E6%98%8E%E6%96%87.pdf

[8] 最高裁判所 第一小法廷判決、2022（令和４）年１月 20 日（令和 2(あ)457)、
https://www.courts.go.jp/hanrei/90869/detail2/index.html

[9] セキュリティ会社の社員逮捕、ウイルス拡散が疑われるも残る疑問、日経 XTECH, 2017 年 11 月 20 日、
https://xtech.nikkei.com/it/atcl/column/14/346926/111701209/

[10] 「何がセーフか分からない」ウイルス罪で罰金刑を受けた技術者の嘆き、日経 XTECH、2019 年４月 24 日、
https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/column/18/00722/042200002/

[11] Librahack、容疑者から見た岡崎図書館事件、http://librahack.jp/

[12] 東京地方裁判所判決、2024（令和６）年９月 26 日（令和 6(行ウ)121)

[13] 文化庁、著作権法の一部を改正する法律（平成 30 年法律第 30 号）について、2018 年、
https://www.bunka.go.jp/seisaku/chosakuken/hokaisei/h30_hokaisei/

[14] Electronic Frontier Foundation, ″US v. ElcomSoft Sklyarov″,

https://www.eff.org/cases/us-v-elcomsoft-sklyarov
[15] Wikipedia, "DeCSS", https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=DeCSS&oldid=1337864460 , 2026 年 2 月（本件に関する情報は多岐にわたり分散しているが、各種情報源がこのページにまとめられている）
[16] "Supplement to the Proceedings of the 22nd USENIX Security Symposium", USENIX Association, Aug. 2013, https://www.usenix.org/sites/default/files/sec15_supplement.pdf
[17] "MBTA v. Anderson: D. Mass: MIT Students' Security Presentation Merits Temporary Restraining Order", Jon Choate (edited by Dan Ray), Harvard Journal of Law and Technology (JOLT) Digest, August 2008, https://jolt.law.harvard.edu/digest/mbta-v-anderson
[18] 世界医師会（WMA）日本医師会訳、世界医師会ヘルシンキ宣言 人間の参加者を含む医学研究のための倫理的原則、2024 年改訂、https://www.med.or.jp/doctor/international/wma/helsinki.html
[19] National Commission for the Protection of Human Subjects of Biomedical and Behavioral Research, The Belmont Report. Washington, DC: United States Government Printing Office, Sep. 1979, https://www.hhs.gov/ohrp/regulations-and-policy/belmont-report/read-the-belmont-report/index.html
[20] US Dept. of Homeland Security, The Menlo Report: Ethical Principles Guiding Information and Communication Technology Research , Aug. 2012, https://www.dhs.gov/sites/default/files/publications/CSD-MenloPrinciplesCORE-20120803_1.pdf
[21] Harshini Sri Ramulu, Helen Schmitt, Bogdan Rerich, Rachel Gonzalez Rodriguez, Tadayoshi Kohno, Yasemin Acar [Extended] Ethics in Computer Security Research: A Data-Driven Assessment of the Past, the Present, and the Possible Future, CCS '25, October 13-17, 2025, Taipei, Taiwan, https://doi.org/10.48550/arXiv.2509.09351
[22] 秋山満昭、島岡政基、サイバーセキュリティ研究における倫理的配慮のサポート、情報処理 61(4)、378-383、2020 年 4 月
[23] Robert B. Ramirez, Tomohiko Yano, Masaki Shimaoka, Kenichi Magata, Knowledge-Base Practicality for Cybersecurity Research Ethics Evaluation, Computer Security Symposium 2020
[24] Tadayoshi Kohno, Yasemin Acar, Wulf Loh, "Ethical Frameworks and Computer Security Trolley Problems: Foundations for Conversations," 32nd USENIX Security Symposium, 2023, pp. 5145-5162.
[25] IEEE S&P'21 Program Committee, "IEEE S&P'21 Program Committee

Statement Regarding The “Hypocrite Commits” Paper,″ May 2021, https://www.ieee-security.org/TC/SP2021/downloads/2021_PC_Statement.pdf
[26] CSS2021 研究倫理相談 TF/MWS/OWS/UWS 連携企画、Hypocrite Commits 論文から考えるサイバーセキュリティ研究倫理、2021 年 10 月 27 日、https://www.iwsec.org/mws/2021/ethics20211027.html
[27] USENIX Association, ″USENIX Security ’26 Call for Papers (Ethics Guidelines)″, https://www.usenix.org/conference/usenixsecurity26/call-for-papers （2025 年 11 月 30 日閲覧）
[28] 情報通信研究機構ナショナルサイバートレーニングセンター、SecHack365 における法律と倫理に関する教育について、2023 年 9 月 12 日、https://sechack365.nict.go.jp/news/20230912.html
[29] 井上トシユキ、「3 分で 7 万 5000 円」中学生ら不正アクセスによる転売で逮捕　大手携帯会社の厳重セキュリティ突破した“手口”の裏側とは、弁護士 JP ニュース、2025 年 3 月 4 日、https://www.ben54.jp/news/2009
[30] サイバーセキュリティ情報局、「モリスワーム」がこの世にもたらしたもの、2017 年 3 月 1 日、https://eset-info.canon-its.jp/malware_info/trend/detail/170301.html
[31] 厚生労働省、ICH E8(R1) 臨床試験の一般指針、2022 年 12 月 23 日、https://www.pmda.go.jp/files/000250244.pdf
[32] マルウェア対策研究人材育成ワークショップ、サイバーセキュリティ研究における倫理的な研究プロセスについて、https://www.iwsec.org/mws/ethics.html
[33] Stephen Shepherd, ″How do we define Responsible Disclosure?,″ SANS Institute, Feb. 2003, https://www.sans.org/white-papers/932
[34] Digital Millennium Copyright Act, Public Law No. 105-304, 112 Stat. 2860, 1998.
[35] Lenny Zeltser, 5 Steps to Building a Malware Analysis Toolkit Using Free Tools, zeltser.com, Jan. 2010 (updated Jan. 2021), https://zeltser.com/build-malware-analysis-toolkit
[36] OpenAI, ″The Hugging Face incident and the road ahead,″ Aug. 2026, https://openai.com/index/hugging-face-incident-and-the-road-ahead/
[37] Anthropic, ″Statement on the US government directive to suspend access to Fable 5 and Mythos 5,″ Jun. 2026, https://www.anthropic.com/news/fable-mythos-access

＜参考資料１＞審議経過

2024 年

10 月８日　サイバーセキュリティ分科会（第１回）
役員の選出、今後の分科会活動について

12 月 17 日　サイバーセキュリティ分科会（第２回）
話題提供と議論、今後の分科会活動について

2025 年

３月３日　サイバーセキュリティ分科会（第３回）
話題提供、見解作成に向けて

５月 15 日　サイバーセキュリティ分科会（第４回）
話題提供、見解作成に向けて

９月 18 日　サイバーセキュリティ分科会（第５回）
見解作成に向けて

2026 年

１月 21 日　サイバーセキュリティ分科会（第６回）
見解の発出に向けて

見　　解

活動的縁辺域における持続可能な洋上風力発電開発に向けた
海底地質リスク評価予測と対策に関するガイドライン

令和８年（２０２６年）９月１８日

日　本　学　術　会　議

総合工学委員会

エネルギーと科学技術に関する分科会

この見解は、日本学術会議総合工学委員会エネルギーと科学技術に関する分科会持続可能な開発目標達成のための洋上風力発電開発検討小委員会の審議結果を踏まえ、総合工学委員会エネルギーと科学技術に関する分科会において取りまとめ公表するものである。

日本学術会議総合工学委員会
エネルギーと科学技術に関する分科会

委員長	高田　保之	（第三部会員）	九州大学カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所特命教授／名誉教授／エディンバラ大学名誉教授
副委員長	岩城智香子	（連携会員）	株式会社東芝総合研究所首席技監／東京科学大学特任教授
幹事	齋藤　公児	（連携会員）	一般財団法人金属系材料開発研究センター特別研究員
	下田　吉之	（第三部会員）	大阪大学大学院工学研究科教授
	朝倉　薫	（連携会員）	日本電信電話株式会社執行役員
	伊藤　公孝	（連携会員）	中部大学客員教授・卓越教授／大学共同利用機関法人自然科学研究機構核融合科学研究所フェロー・名誉教授
	大久保泰邦	（連携会員）	地熱技術開発株式会社探査部研究主幹
	大野　恵美	（連携会員）	株式会社ＩＨＩ技術理事・技術戦略室
	兒玉　了祐	（連携会員）	大阪大学レーザー科学研究所長
	鈴置　保雄	（連携会員）	愛知工業大学工学部電気学科教授／名古屋大学名誉教授
	武田秀太郎	（連携会員）	慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科准教授
	藤田　　修	（連携会員）	北海道大学教育イノベーション機構特任教授
	宮崎久美子	（連携会員）	東京工業大学（現 東京科学大学）名誉教授
	藤岡　惠子	（連携会員（特任））	株式会社サーマルサイエンス代表取締役

日本学術会議総合工学委員会
エネルギーと科学技術に関する分科会
持続可能な開発目標達成のための洋上風力発電開発検討小委員会

委員長	大久保泰邦	（連携会員）	地熱技術開発株式会社探査部研究主幹
副委員長	松島　　潤		東京大学大学院新領域創成科学研究科環境システム学専攻教授
幹事	川村喜一郎		山口大学大学院創成科学研究科教授
幹事	佐藤　智之		国立研究開発法人産業技術総合研究所地質調査総合センター地質情報研究部門地球変動史研究グループ主任研究員

高田　保之	（第三部会員）	九州大学カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所特命教授／名誉教授／エディンバラ大学名誉教授
岩城智香子	（連携会員）	株式会社東芝総合研究所首席技監／東京科学大学特任教授
岩下　智也		一般財団法人日本海事協会認証本部再生可能エネルギー部部長
岡田　和也		独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構再生可能エネルギー事業本部洋上風力事業部主席研究員
木戸ゆかり		国立研究開発法人海洋研究開発機構企画部門事業推進部海洋 STEAM 推進課
小澤　岳史		株式会社地球科学総合研究所営業部部長付
佐々　真志		国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所港湾空港技術研究所地盤研究領域動土質研究グループ長
白枝　哲次		一般社団法人日本風力発電協会理事／清水建設株式会社エンジニアリング事業本部副本部長兼洋上風力プロジェクト推進室長
竹内　彩乃		東邦大学理学部生命圏環境科学科准教授
野村　英雄		基礎地盤コンサルタンツ株式会社代表取締役社長
横田　　弘		一般財団法人沿岸技術研究センター参与

本見解作成にあたり、以下の職員が事務及び調査を担当した。

事務	新田　浩史	参事官（審議第二担当）
	渡邊英一郎	参事官（審議第二担当）（令和８年７月から）
	角田美知子	参事官（審議第二担当）付参事官補佐
	冨岡千香子	参事官（審議第二担当）付審議専門職付
調査	辻　　政俊	上席学術調査員

要　　旨

１　作成の背景

洋上風力発電は欧州を中心に世界で開発が進められている。世界全体の導入量は、2011年に 3.8GW であったが、2024 年には 83.2GW に達した。一方、全ての再生可能エネルギーの 2025-2030 年の新規導入量は、世界全体で 4600GW と見込まれている。この中で、洋上風力発電の導入目標を掲げている欧米を中心とした世界 22 か国（欧州 16、アジア５、北米１）の 2030 年までの導入目標値は、洋上風力発電の設備容量最大の中国（2032 年までの累積導入量 169.5GW）を除き、263GW となっており、世界的に導入が拡大している。

日本においても洋上風力発電は、海に囲まれた立地とあいまって大きな期待がかけられ、洋上風力の導入拡大を目的とした「海洋再生可能エネルギー発電設備の整備に係る海域の利用の促進に関する法律」の施行や、カーボンニュートラルを目指す政府宣言などの後押しを受け、政府主導のセントラル方式調査が開始され、その開発はますます活発になっている。また将来的にはサプライチェーンの形成等を通じて国際競争力を高め、アジアへの展開とともに、排他的経済水域（EEZ）まで設置領域を拡大しようとしている。

本見解は、2023 年９月 22 日に発出した第 25 期見解「活動的縁辺域における持続可能な洋上風力発電開発に向けて－海底地質リスク評価の重要性－」を踏まえたものであり、“海底地質リスク”の根幹を成す重要な点・事象・性質・特性に関する現状及び問題点について改めて述べるとともに、これらを踏まえた本見解の内容を以下に記している。

２　現状及び問題点

洋上風力事業の官民推進が謳われる一方で、開発には日本周辺海域を含む活動的縁辺域固有のリスクが存在する。海底地形の様相は、欧州のような大陸縁である非活動的縁辺域と、日本などの島弧・陸弧といった活動的縁辺域とで大きく異なる。

欧州において洋上風力が進んでいる場所は主に北海の水深 200m 以浅の地域で、英国周辺から 400 km 以上離れたノルウェーまで広がっている。その面積は約 75 万 km^2 である。英国の場合、開発対象海域は海岸線から 200km 沖まで広がる。これらの海域は、遠浅で波浪が比較的穏やかで、海底地盤の変動は少ない。洋上の構造物に対する高潮、高波の影響が課題となるが、海底地盤の変動については考慮の必要性はほとんどない。

一方、日本周辺の海域で洋上風力発電開発の主対象となる水深 200m 以浅の地域は、ほとんどが海岸線から 50km 以内の海岸沿いである。この海域では、気象海象条件が厳しく、高潮、高波に加え、地震・津波、台風の外力が強く、海岸に近い狭小な浅海底への影響が大きい。そのため、海底域で地質・地盤災害が生じる可能性が高い。このような海底地質リスクは、地震・高波による液状化や海底地すべりなど多岐にわたり、台風時の暴風波浪による液状化は、洗掘（構造物周りの土砂の流出）とも密接に関わっていることが分かっている。

地震、津波、台風は欧州に少ない自然現象であり、波浪などの外力が構造物へ直接及ぼす影響はリスクとして検討が進められている。しかし、外力と海底地盤と構造物の全体系、

特に、地盤及び基礎との相互作用については十分検討が進んでいない。地盤は構造物を支える土台なので、地盤が不安定になると洋上風力発電施設自体が運用できなくなるため、海底域の地質・地盤災害としての海底ジオハザードは現在見過ごされている緊急かつ重大なリスクである。

このため、日本においては風車の構造基礎や電力ケーブル設置に対する海底地質リスクを適切に把握し、評価、管理することが必要となる。洋上風力発電事業におけるリスクは欧州においてはガイドラインなどによりまとめられており、波浪が構造物に与える影響評価などが反映されているが、活動的縁辺域固有の地質・地盤災害が構造物に与える影響評価に適応できるまでには至っていない。

上述のような海底ジオハザードリスクの評価予測には、地質・地盤情報が必要不可欠である。第 25 期においては、日本の海岸線付近には活動的縁辺域固有の地質・地盤災害が生じるリスクの認知の必要性、海底地質リスクの体系的ガイドライン整備の必要性、既存の海底地質データの利活用、及び人材育成と産学官連携の必要性を示した。これを踏まえ、本見解を当該ガイドラインとしてまとめた。

３　見解の内容

本見解は、洋上風力発電の今後の持続可能な開発・運用を安全・安心に実現するための予防保全の取り組みとして、将来の地質・地盤災害(ジオハザード)のリスクを軽減するための対策とその考え方を示す。すなわち、活動的縁辺域における海底地質リスク評価のための地質・地盤調査（２章)、海底地質リスクの評価予測（３章)、並びに海底地質リスクに対する予防保全・対策（４章）について記す。活動的縁辺域における海底地質リスク軽減のガイドラインは世界に先駆けたものとなり、日本は主導的な立場を担う。

(1)　海底地質リスク評価のための地質・地盤調査

我が国で現在行われている基本調査（セントラル調査）と詳細調査を分けて述べている。基本調査においてはその目的と仕様について、詳細調査についてはその実施手順とジオハザードに対応する調査の方法、及びジオハザードを検知した事例について記している。

(2)　海底地質リスクの評価予測

地震大国かつ気象海象条件も厳しい活動的縁辺域に位置する日本の沿岸域において、洋上風力発電の持続可能な開発を実現するために必要となる海底地質リスクの評価予測について述べている。とりわけ、地球規模の気候変動により世界の波浪条件は激甚化傾向にあり、大規模で継続時間の長い地震動や連続地震の顕在化を含む、着床式及び浮体式洋上風力発電施設に対する地震・津波・高波による沿岸・海底域のジオハザードリスク、すなわち、地震による液状化・海底地すべり、高波による液状化・海底地すべり、並びに、津波・高波－地盤－構造物相互作用の評価予測法について記している。

(3)　海底地質リスクに対する予防保全・対策

上記評価予測を踏まえた予防保全対策の種類と考え方、並びに、施設の計画段階での風車配置対策から配置後の施設の設計・施工段階での予防保全・対策について述べている。

特に、着床式洋上風力発電施設については、洋上風力発電施設の安定化設計・対策として高波による液状化ー洗掘対策について示すとともに、海底地すべりの影響・インパクト評価対策の考え方について記している。浮体式洋上風力発電施設については、水深 100m 程度までは地震・高波による液状化、当該水深以深では地震による液状化を対象として、海底地盤の液状化・流動の影響を受けにくいアンカー構造・対策及びケーブル敷設・対策について、各アンカー種類・係留方式並びに液状化時のアンカー挙動及びケーブル挙動を踏まえた海底ジオハザードリスクに対する予防保全・対策のあり方について記している。

本ガイドラインを通じた基本・詳細調査と海底地質リスクの評価予測結果に基づき必要な予防保全対策を行うことによって、海底地質リスクを適切に考慮した安全性の高い持続可能な事業計画を立てることができ、追加調査や事故による工程の遅れや売電計画の遅れのないスムーズな開発を行うことができる。今後は、多岐にわたる調査データを共有・活用し得るデータベースの構築・整備とともに、オープンデータを軸にした産学官連携による循環的発展が重要になる。

目　次

１　はじめに 1
２　海底地質リスク評価のための地質・地盤調査 3
⑴　基本調査（セントラル方式調査） 3
①　概要 3
②　ジオハザードへの対応 4
⑵　詳細調査 5
①　詳細調査の手順 5
②　詳細調査の手法 6
３　海底地質リスクの評価予測 9
⑴　地震による液状化・海底地すべり 9
⑵　高波による液状化・海底地すべり 9
⑶　津波・高波－地盤－構造物相互作用 11
４　海底地質リスクに対する予防保全・対策 13
⑴　風車配置対策 13
⑵　着床式の予防保全・対策 13
①　高波による液状化－洗掘対策 13
②　海底地すべりの影響・インパクト評価対策 15
⑶　浮体式の予防保全・対策 15
①　海底地盤の液状化・流動の影響を受けにくいアンカー構造・対策 15
②　海底地盤の液状化・流動の影響を受けにくいケーブル敷設・対策 16
５　まとめ 18
＜用語の説明＞ 20
＜参考文献＞ 24
＜参考資料＞審議経過 29
＜付録-1＞　セントラル方式調査の全体概要 30
⑴　セントラル方式調査の導入経緯 30
⑵　セントラル方式調査の構成・枠組み 31
⑶　案件形成におけるセントラル方式調査の位置付け 32
⑷　補足 33
＜付録-2＞　公開シンポジウム 34

１　はじめに

洋上風力発電は欧州を中心に世界で開発が進められている[1-1]。世界全体の導入量は、2011 年に 3.8GW であったが、2024 年には 83.2GW に達した。一方、全ての再生可能エネルギーの 2025-2030 年の新規導入量は、世界全体で 4600GW と見込まれている [1-2]。この中で、洋上風力発電の導入目標を掲げている欧米を中心とした世界 22 か国（欧州 16、アジア５、北米１）の 2030 年までの導入目標値は、洋上風力発電の設備容量最大の中国（2032 年までの累積導入量 169.5GW）を除き、263GW となっており、世界的に導入が拡大している [1-3]。

日本においても洋上風力発電は、①四方を海に囲まれた立地により大量導入が可能、②先行する欧州では風車の大型化等に伴いコスト低減が進展している、③洋上風力発電設備は構成機器・部品点数が多く事業規模（建設費）は１発電所（500MW 程度）あたり数千億円であり国内での経済波及効果が期待される、といった理由から再生可能エネルギーの主力電源化に向けた切り札と位置付けられている。また将来的にはサプライチェーンの形成等を通じて国際競争力を高め、気象・海象が似ており市場拡大が見込まれるアジアへの展開も目指すとされている [1-4]。さらに今後世界的に拡大が見込まれる浮体式は商用化を加速させるとともに、排他的経済水域（EEZ）まで設置領域を拡大しようとしている。

このように日本において洋上風力発電は大きな期待がかけられ、洋上風力発電の導入拡大を目的とした海洋再生可能エネルギー発電設備の整備に係る海域の利用の促進に関する法律（再エネ海域利用法）の施行や、カーボンニュートラルを目指す政府宣言などの後押しを受け、２章で述べるセントラル方式調査[1)]が開始され、その開発はますます活発になっている[1-5]。

しかし一方で、開発には活動的縁辺域[2)]固有の課題が存在する。海底地形は、欧州のような大陸縁である非活動的縁辺域[3)]と、日本などの島弧・陸弧といった地震・火山活動が活発な活動的縁辺域とで様相が大きく異なる。

欧州において洋上風力発電が進んでいる場所は主に北海の水深 200m 以浅の海域で、英国周辺から 400 km 以上離れたノルウェーまで広がっている。その面積は約 75 万 km^2 である。英国の場合、開発対象海域は海岸線から 200km 沖まで広がる。これらの海域は、遠浅で波浪が比較的穏やかで、海底地盤の変動は少ない。洋上の構造物に対する高潮、高波の影響が課題となるが、海底地盤の変動については考慮の必要性はほとんどない。

一方、日本周辺で洋上風力発電開発の主対象となる水深 200m 以浅の海域は、ほとんどが海岸線から 50km 以内の海岸沿いである。この海域では、気象海象条件が厳しく、高潮、高波に加え、地震・津波、台風の外力が強く、海岸に近い狭小な浅海底への影響が大きい。そのため、海底域で地質・地盤災害が生じる可能性が高い。このような海底地質リスク[4)]は、地震・高波による液状化や海底地すべりなど多岐にわたり、台風時の暴風波浪による液状化は、洗掘とも密接に関わっていることが分かっている。

地震、津波、台風は欧州に少ない自然現象であり、波浪などの外力が構造物へ直接及ぼす影響はリスクとして検討が進められている[1-6]。しかし、外力と海底地盤と構造物の全体系、特に、地盤及び基礎[5)]との相互作用については十分検討が進んでいない。地盤は構

*肩括弧番号は＜用語の説明＞への参照

造物を支える土台なので、地盤が不安定になると洋上風力発電施設自体が運用できなくなるため、海底域の地質・地盤災害としての海底ジオハザード[6]は現在見過ごされている緊急かつ重大なリスクである。

このため、日本においては風車の基礎構造や電力ケーブル設置に対する海底地質リスクを適切に把握し、評価、管理することが必要となる。また、我が国の自然条件に鑑み、浮体式は、着床式に比べて、長大な送電距離など解決すべき課題が多く、着床式より案件形成に時間を要すると考えられる。洋上風力発電事業におけるリスクは欧州においてはガイドラインなどによりまとめられており、波浪が構造物に与える影響評価などが反映されているが、活動的縁辺域固有の地質・地盤災害が構造物に与える影響評価に適応できるまでには至っていない。活動的縁辺域における海底地質リスク軽減のガイドラインは世界に先駆けたものとなり、日本は主導的な立場を担うことになる。

上述のような海底ジオハザードリスク[4]の評価予測には、地質・地盤情報が必要不可欠であるが、このことについて余り認識されずに開発が進められている。そこで海底ジオハザードリスクへの認識を促すための議論を第 25 期より開始した。第 25 期においては、日本の海岸線付近には活動的縁辺域固有の地質・地盤災害が生じるリスク（図 1-1）の認知の必要性、海底地質リスクの体系的ガイドライン整備の必要性、既存の海底地質データの利活用、及び人材育成と産学官連携の必要性を述べる見解［1-7］を公表した。これを踏まえ、本見解では、海底地質リスク評価予測と対策に関するガイドラインを示す。具体的には、活動的縁辺域における海底地質リスク評価のための地質・地盤調査（２章）、海底地質リスクの評価予測（３章）、並びに海底地質リスクに対する予防保全・対策（４章）について記す。したがって、本見解は、洋上風力発電の今後の持続可能な開発・運用を安全・安心に実現するための予防保全の取り組み［1-8］として、将来の地質・地盤災害（ジオハザード）のリスクを軽減するための対策とその考え方を示すものである。

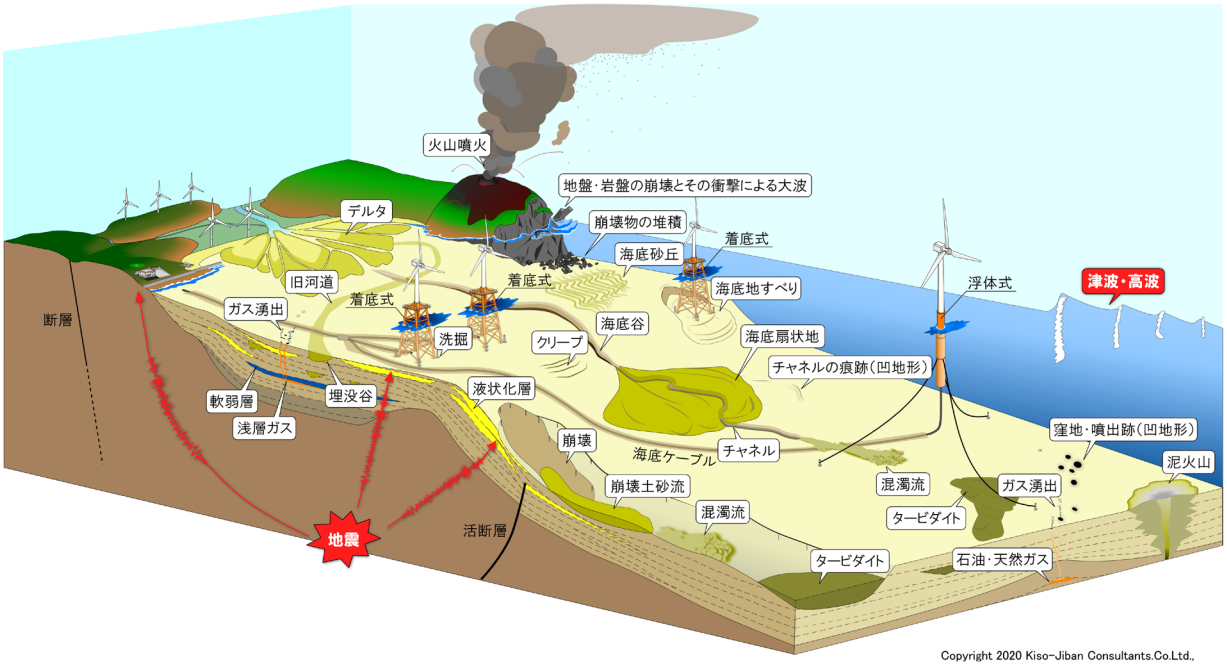


図 1-1　洋上風力発電施設と海底ジオハザードの関係

（出典）第 25 期見解［1-7］

2　海底地質リスク評価のための地質・地盤調査

本章では、先ず、我が国における洋上風力発電設備の基本設計に必要な調査として位置付けられているセントラル方式調査について述べた後、当該基本調査を踏まえた海底地質リスク評価のための詳細調査について記す。

(1)　基本調査（セントラル方式調査）

①　概要

独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構（以下 JOGMEC）が実施する基本調査（セントラル方式調査）は、風況調査、海底地盤調査、気象海象調査から成るが、本見解の主たるテーマであるジオハザードに最も関連が深い海底地盤調査について概要を述べる。海底地盤調査では、海底地形調査、海底面状況調査、反射法弾性波探査、ボーリング調査などを行い、着床式または浮体式風力発電の基礎設計に必要となる、海底地形、底質、岩盤分布、土質、地盤物性、地震リスクなどを評価するための基本情報を収集する。基本仕様[2-1]の要点を表 2-1 に示す。

表 2-1　基本調査（セントラル方式調査）の仕様

海底地形・海底面状況調査	着床式	目的:	風車の基礎形式や発電設備の配置検討を行うために、海底の地質構造や地盤状況を把握。
		要求水準:	マルチビームとサイドスキャンソナーの併用による調査を基本とし、水深 1m ピッチのコンター線で等深線図を作成。音響画像図、底質分布図、海底障害物分布図を作成し、底質の分布状況や魚礁・沈船等の有無を把握。対象海域全体を面的に網羅。
		考慮事項:	調査範囲は水深 10m以深の範囲。代表箇所を選定して、底質土のサンプリングを実施。
	浮体式	目的:	係留方式やアンカー形式を検討するために、海底面の標高、海底地形、海底面の状況を把握。
		要求水準:	着床式と同様。
		考慮事項:	調査海域全域において要求水準に記した精度となるように配慮。基本的には高解像度のデータを取得できる 500m 以浅を対象とするが、500m 以深についてはデータ提供先となる事業者のニーズを把握した上で調査仕様を決定。
反射法弾性波探査	着床式	目的:	風車の基礎形式や発電設備の配置検討を行うために、海底の地質構造や地盤状況を把握。
		要求水準:	海底地質断面図、解釈断面図、深度構造図等により海底下の地質構造・地盤状況や各層の分布状況を把握。測線間隔 1～3km 程度の格子状の測線配置としつつ、地質の複雑さを考慮した上で測線間隔を決定。
		考慮事項:	調査範囲は水深 10m以深の範囲。工学的基盤が把握できるように音源を選択。解釈精度の向上並びにジオハザード抽出の観点から、ストリーマケーブル長を十分にとる等の工夫による高精度化も考慮。
	浮体式	目的:	係留方式やアンカー形式を検討するために、海底下の地質構造や地盤状況を把握。
		要求水準:	着床式と同様の水準のデータに加え、概ね海底下 100m までの層序を把握でき、区域の地質構造の把握及びジオハザード（海底地すべり、断層、ガス層等）の分析に資するデータ取得を要する。
		考慮事項:	ジオハザードの観点等から海底下 100m 以深のデータも必要となることがあるが、産業技術総合研究所等が実施した反射法弾性波探査データなどをコンパイルすることも考慮。
ボーリング等調査	着床式	目的:	風車基礎の基本設計や洋上風力発電設備の配置検討を行うために、ボーリング、原位置試験、試料のサンプリング及び室内試験を実施し、調査海域の地層構成や地盤の工学的特性を把握。
		要求水準:	標準貫入試験（以下SPT）、孔内載荷試験、乱れの少ない試料採取、室内試験、PS 検層、密度検層、キャリパー検層を実施。また、CPTも併せて実施し、SPT データとの相関性の評価が可能となるようにデータを取得。地震時の検討等に必要となる各層の S 波速度、P 波速度、工学的基盤（5m以上連続してVs≧400m/s を確認）を把握。海底微動アレイ探査は、各層のS 波速度と工学的基盤を把握。
		考慮事項:	ボーリングの実施地点は、対象海域に分布する地質及び地盤物性値が把握できるよう配置することが望ましい。
	浮体式	目的:	係留方式やアンカー形式を検討するために、調査対象海域の地盤の構成や構造、地盤物性を把握。
		要求水準:	コアリングとともに CPT も併せて実施する。コアリングは、乱れの少ないコア試料を取得することにより室内試験に供することで、各層の物理特性、力学特性を把握。
		考慮事項:	浮体式の場合、係留方式やアンカー形式によって必要とされる探査深度等の水準が大きく異なることに加え、浮体形式が未確定であることを前提に調査計画を検討することが必要。

（出典）[2-1]より抜粋

実際の運用に当たっては、海底地形や地質条件が調査海域ごとに大きく異なっている事に鑑み、基本仕様だけではカバーしきれない個々の調査海域特有の要求に対応するために個別仕様で詳細を調整する。

② ジオハザードへの対応

セントラル方式による海底地盤調査は、対象海域全域を対象として着床式または浮体式風力発電の基本設計に必要となる基礎的な情報を収集する事を目的としており、ジオハザードの検知そのものを調査の目的とはしていないが、基礎設計においては、調査で得られたデータから土質、地盤強度、地震応答特性、液状化リスクなどが評価される事を見ても本調査とジオハザードとは不可分であり、調査において何らかのジオハザードの可能性が検知されれば、情報として発電事業者に提供される。ただし、ここで留意すべき点は、調査仕様は上記の目的に沿って策定しており、検知されるジオハザードの可能性も、あくまで当該の調査仕様で検知可能なものに限られる点である。例えば、ボーリングで海底下を調査する際の掘削深度は、風車基礎を施工する深度及び工学的基盤の深度を大きく超えるものではない。したがって、例えば地下のより深部に伏在する断層などのジオハザードは検知することができない。セントラル方式による海底地盤調査の調査仕様で検知される可能性があるジオハザードとしては、マルチビームソナー[7]により海底地形の異常として認識される海底谷、海底地すべり、シャローガス[8]に起因する海底窪地がある。また、弾性波速度または密度が互いに異なる媒質の境界が形成された場合に反射法弾性波探査によって検知される海底下の比較的浅部に位置する断層や海底地すべり、シャローガスが挙げられる。シャローガスは、将来、噴出する可能性があるが、ガスを含む堆積物は周囲の地層と比べて密度や弾性波速度（特にP波速度）が低く、音響インピーダンスが大きく変化する。このため、この境界面で音波が強く反射して、高振幅反射（bright spot）や音響空白（acoustic blanking）などとして検知される場合がある（図2-1）。

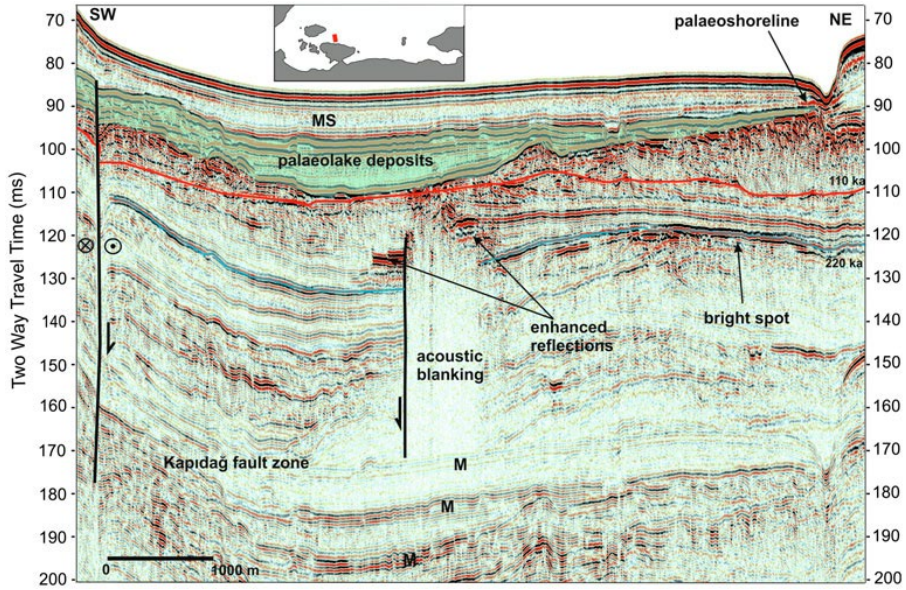


図 2-1　反射法弾性波探査で検知されたシャローガスによる異常の例

（出典）[2-2]

セントラル方式による海底地盤調査において、これらの異常が観測された場合は、情報としてデータとともに発電事業者に提供され、詳細調査及び基礎設計におけるリスク評価に供される。

(2) 詳細調査

① 詳細調査の手順

活動的縁辺域における海底地質リスク評価のための詳細調査について、本ガイドラインが推奨する実施手順の考え方を図 2-2 に示す。

① セントラル調査で実施した調査データに対して、海底地形の判読や、音波探査画像の解釈といったデータ分析を行う。なおその際には既存文献調査も併せて行い、既知の海底ジオハザードを整理しておくのが良い。
② データ分析の結果から開発地域に存在する可能性があるジオハザードを抽出する。
③ 風車レイアウトやアンカーレイアウト、ケーブルルート、基礎形式・構造を設定する。
④ 詳細調査の計画を立案する。詳細調査内容は風車やアンカー・ケーブル設計に必要な情報を得る目的の調査内容と、海底ジオハザードを特定する目的の調査内容で構成するが、この両者は重複する調査項目も多いので合理的な調査ができるよう配慮する。
⑤ 詳細調査を実施する。なお詳細調査の結果、想定外の地層の出現や設計上の問題点の判明、想定外の海底ジオハザードの出現等によって追加調査が必要となる場合がある。
⑥ 必要に応じて追加調査を計画して実施する。
⑦ 調査結果を分析して存在する海底ジオハザードの種類・位置・深さ・規模を特定する。
⑧ 特定した海底ジオハザードを踏まえ、発電設備に対する海底地質リスクの評価予測を行う。
⑨ 海底地質リスクに対する対策や予防保全措置を検討する。
⑩ 海底地質リスク対策内容によっては追加調査が必要となる場合がある。例えば風車レイアウトの変更やケーブルルートの変更等に伴って新たな風車設置位置の地質情報が必要になる場合や、新しいケーブルルート沿いの地質情報の取得が必要となる場合等である。

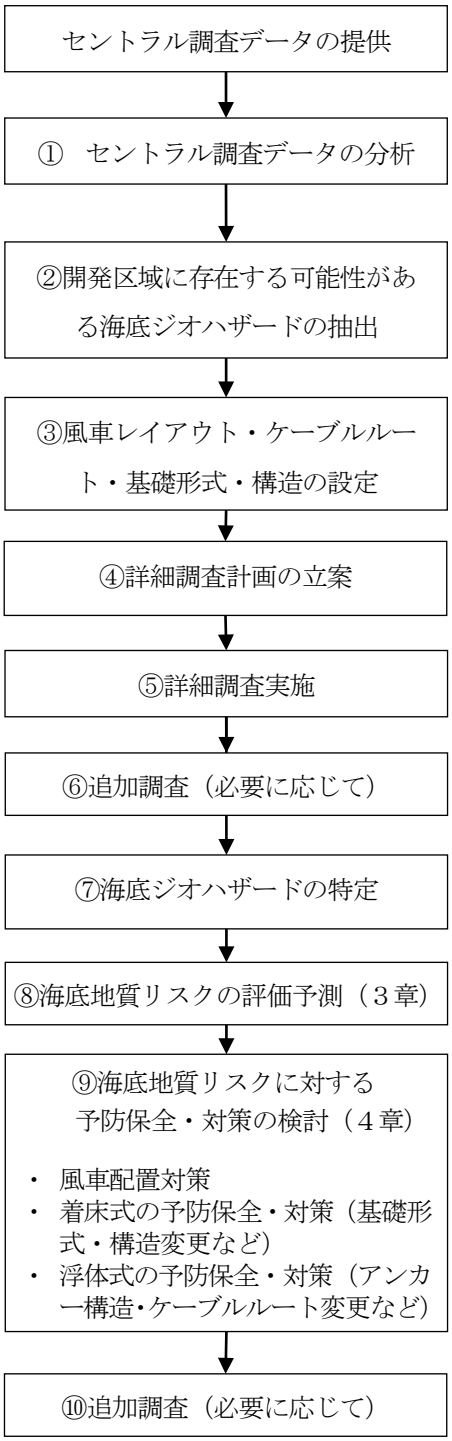


図 2-2 海底地質リスク軽減のための詳細調査の位置付けと実施手順の考え方及び各章との関係

想定されるジオハザードの種類と規模によっては、図 2-2 に示した標準的な手順以外の手法の方が良い場合もありうる。例えば、シャローガスが複雑に分布していて、風車レイアウトや配置可能な風車基数がシャローガスの分布範囲に大きく影響を受けることが考えられる場合などでは、シャローガスに関する詳細調査を先行して実施し、風車タイプ・基数・レイアウトを決定した後に、風車配置位置の地質調査やケーブルルート調査を実施する方が合理的である。このように想定されるジオハザードによって、柔軟で合理的な詳細調査の手順を検討することが重要である。

② 詳細調査の手法

詳細調査においては対象とするジオハザードに応じて表 2-2 に示すような調査手法と内容で実施すると良い。以下にこれらの調査によってジオハザードを検知した事例を示す。

海底地盤にシャローガスが存在する場合、図 2-3 に示すようにサイドスキャンソナー[9]画像において海底面での噴出跡（gas seeps）が確認されることがある。音波探査の反射画像においてもガス噴出経路がチムニーとして捉えられたり、ガス滞留層が音波散乱面として捉えられることがある。また図 2-4 に示すように海底面の画像撮影によって、ガスの噴出が確認されたり、ガスが存在する場合に発生することが多いバクテリアマット[10]が存在したりすることがある。また、ガスの存在する地層を掘削すると掘削用パイプを通ってガスが噴出してくることがある。

海底にサンドウェーブ[11]が存在する場合、図 2-5 に示すようにサイドスキャン画像やマルチビーム測深の起伏図によってとらえることができる。サンドウェーブは潮流や低気圧の影響でその大きさや位置が変化するので、将来の状況を予測するためには経年的な観測を行うことが重要である。

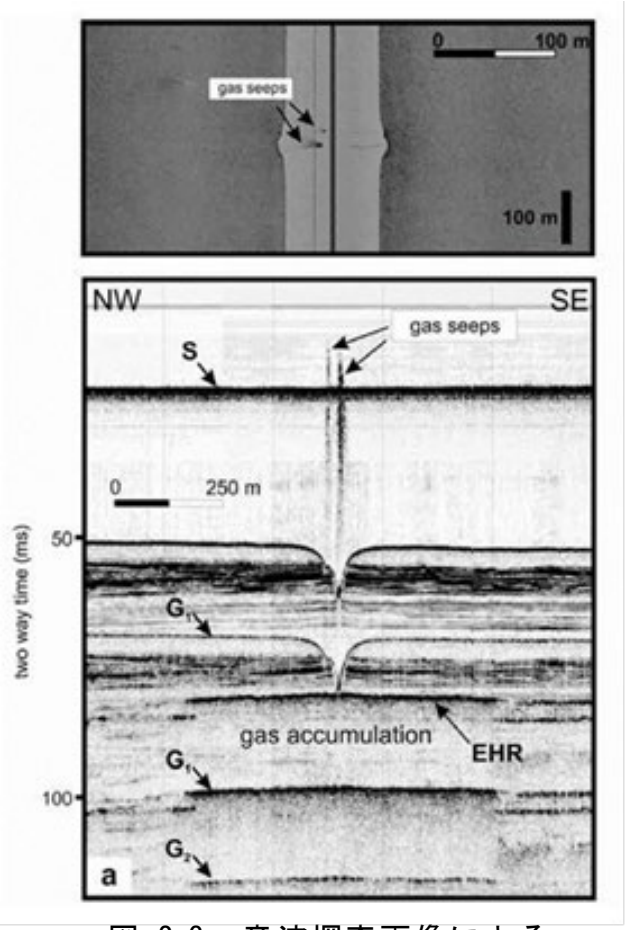
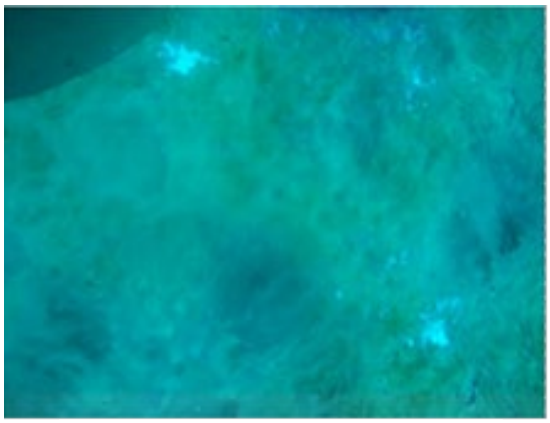


図 2-3 音波探査画像による シャローガス判定例
（出典）[2-3]

表 2-2　ジオハザードの種類とその調査方法

ハザードの種類	洋上風力施設に与える影響	ハザードの調査方法
液状化	・風車支持構造物の倒壊、変位 ・浮体式風車におけるアンカーの沈み込み・浮き上り、把注力の低下 ・電力ケーブルの沈み込み・浮き上り ・液状化流動による流動圧の発生	ボーリング調査・CPT調査（液状化層の有無・分布と液状化の予測判定） 音波探査（ボーリング調査と突き合わせて液状化層の分布範囲を把握）
シャローガス	・メタン等の可燃性ガス噴出による、爆発事故や火災 ・ガス噴出に伴う地盤の攪乱と基礎杭の支持力低下、アンカーの把駐力低下	文献調査（近傍の陸域を含む広域な地質構造からの推定） 音波探査（音波散乱層や地層形状からガス滞留深度や噴出箇所の判定） サイドスキャンソナー（ポックマークやくぼみ・穴などの噴出痕跡の確認） UAVや水中ドローン等による直接目視（海底面からの気泡噴出やバクテリアマットなどの噴出痕跡の確認） ボーリング調査・ガス調査（ガス滞留域を直接掘削してガスの有無と種類、噴出量・溶存量、成因（熱起源or生物起源を確認する）
海底地すべり	・風車支持構造物の倒壊、変位 ・浮体式におけるアンカーケーブルの破断や浮体構造の海中への引込み ・電力ケーブルの破断	文献調査（既知の海底地すべり地の確認） マルチビーム測深・サイドスキャンソナー（海底地形や海底面画像から地すべり地形を判読し、地すべり範囲を判定） ２次元・３次元音波探査（地層のズレ等から地すべり範囲を判定） ボーリング調査（地すべり面付近の地層を採取し、地層に含まれる花粉や化石等から滑動年代を判定）
活断層	・近傍で発生する地震動による風車の損傷 ・海底面の亀裂や段差・隆起の発生による風車基礎の損傷や電力ケーブルの損傷 ・海底地すべりの誘発 ・液状化の誘発	文献調査（既知活断層の確認） 音波探査（探査画像から断層位置・深さを判定） ボーリング調査（断層面付近の地層を採取して地層に含まれる花粉や化石等から直近の活動年代を判定するとともに今後の活動性を評価）
サンドウェーブ	・着床式風車基礎の洗掘による支持力の低下・タワーの変状 ・浮体式風車におけるアンカーの洗掘と把駐力の低下 ・埋設海底ケーブルの露出と、船舶による損傷リスクの増大	マルチビーム測深とサイドスキャンソナーの経年測定（海底地形の判読と海底地形の経年変化の観測） 底質採取（土質確認） 地形変化予測シミュレーション（サンドウェーブの移動や地形変化を予測）
重力流とその堆積物	・着床式風車基礎への側方土圧増加に伴う風車変状 ・浮体式風車におけるアンカーケーブルの引込み ・海底ケーブルの破断	マルチビーム測深・サイドスキャンソナー（海底地形や海底面画像から重力流によって形成されるチャネルや海底扇状地地形を判読）

海底面から噴出する気泡



海底面のバクテリアマット

掘削中に掘削用パイプを通って、
ガスが泡状に噴出して来た事例

図 2-4　シャローガス詳細調査の事例

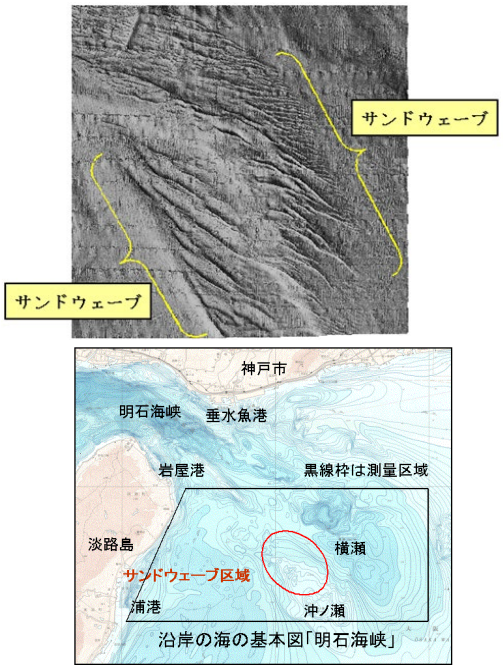


図 2-5　大阪湾におけるサンドウェーブのマルチビーム音響測深機による起伏図

（出典）[2-4]

３　海底地質リスクの評価予測

本章では、活動的縁辺域における代表的な海底地質リスクとして、地震、津波、高波による地質リスクを取り上げ、その評価予測法について記す。なお、本章の内容は、第 25 期見解［1-7］における２章「海底地質リスクとその評価手法」の内容を更新したものである。

(1)　地震による液状化・海底地すべり

地震・波浪による海底地すべりの発生から、高濃度重力流[12)]並びに再堆積に至る一連の過程は、流動中の相変化を伴う水と土の２相系の物理によって支配される[3-1, 3-2, 3-3]（第 25 期見解：図 2-2）。

このような海底液状化土砂流動のダイナミクスは、洋上風力発電施設などの沿岸・海洋構造物並びに、津波発生に甚大な影響をもたらす[3-4, 3-5, 3-6, 3-7, 3-8]。とりわけ、地震、液状化、地すべり、津波の連鎖・複合災害の理解と軽減の重要性が国際的に高まっており[3-9, 3-10, 3-11, 3-12]、その近年の代表例として、第 25 期見解の図 2-3 に掲げた 2018 年インドネシア・スラウェシ地震津波災害の事例は、広範囲の液状化による沿岸国土の崩落と流動が、湾内の複数の地点で同時多発的に津波をもたらしたものである。実際、同図中の複数の津波発生場所と規模の分布及び方位が、液状化によって沿岸の土地が崩落・流動した場所・規模の分布・方位と一致している。地震や厳しい波浪作用によって生じる海底液状化土砂流動は、国内外においてケーブル・パイプライン等の破断・損傷を引き起こしており[3-11, 3-12]、海底液状化流動[13)]が、各種の洋上風力発電基礎に及ぼすインパクト・影響評価の重要性に関する概念図を第 25 期見解の図 2-4 に掲げている。同図は、各種の洋上風力発電施設への海底液状化流動の衝突とこれによる施設の揺動・不安定化を通じて、海底土砂流動が、異なる水深域の着床式・浮体式の多様な洋上風力発電施設の安定性に重大な影響・インパクトをもたらし得ることを表している。海底液状化土砂流動のダイナミクスの一連の過程を評価予測可能な解析フレームワークが開発されており[3-1, 3-2, 3-13]、同リスク評価予測への適用・展開が期待される。この際、大規模な海底土砂流動を引き起こす地盤液状化の評価予測においては、現地地盤強度の情報が必要であり、２章で述べた基本・詳細調査の結果を用いることができる。これまで世界各国で用いられている標準貫入試験[14)]による地盤 N 値（地盤の強度を表す数値）、コーン貫入抵抗値[15)]並びにせん断波速度値[16)]などを採用した様々なタイプの液状化予測判定チャート[17)]に活用できるよう一般化し、かつ、地震動波形の不規則性や継続時間等の多様な地震外力特性を現実的に考慮した液状化予測判定法が開発・実用化[3-14, 3-15]されており、大規模で継続時間の長い地震動や連続地震を含む、洋上風力発電施設の液状化リスク評価予測に適用することができる。

(2)　高波による液状化・海底地すべり

高波の来襲によって、防波堤法尻部（マウンド海側下部、第 25 期見解：図 2-5）が液状化すると地盤の支持力が失われるとともに、土砂移動及び洗掘が助長される[3-16]。その結果、ケーソン[18)]は沈下する。また、離岸堤[19)]の場合でも、波による液状化、洗

掘及び土粒子輸送に伴ってブロックが沈下する(第 25 期見解：図 2-5)。このような防波堤・離岸堤の設置水深は 60m 以浅であり、着床式洋上風力発電の設置海域と一致する。従って、高波による海底地盤の液状化は、着床式洋上風力発電の対象水深域である水深 60m までの沿岸海洋構造物の安定性に大きく影響する。さらに、地球規模の気候変動により世界の波浪条件は激甚化傾向にあり[3-17, 3-18]、気候変動による厳しい波浪作用下では、浮体式洋上風力発電の対象水深域である水深 100m 程度まで波による液状化リスクがあることが明らかとなっている[3-19]。

波による液状化は、構造物周りやその前面に形成される波浪様式によって、液状化抵抗が顕著に異なることが知られており[3-20, 3-21]、国内外での近年の高波による液状化被災・リスク評価事例として、潜堤（堤体が水面下に没した構造物）の沈下、浅海底斜面の崩壊・流動、並びに、パイプラインの浮上損傷が挙げられる[3-22, 3-23, 3-24, 3-25]。

近年では、水深 47m の海域において有義波高 6.5m の高波によってシルト質（砂と粘土の中間的な大きさの粒子を主体とする）の海底傾斜地盤が不安定化し、液状化重力流[20]へ遷移した結果、約 12 万 m^3 の崩壊土砂が幅 250m、延長 1500m にわたり流動した事例[3-24]が挙げられる(第 25 期見解：図 2-6)。

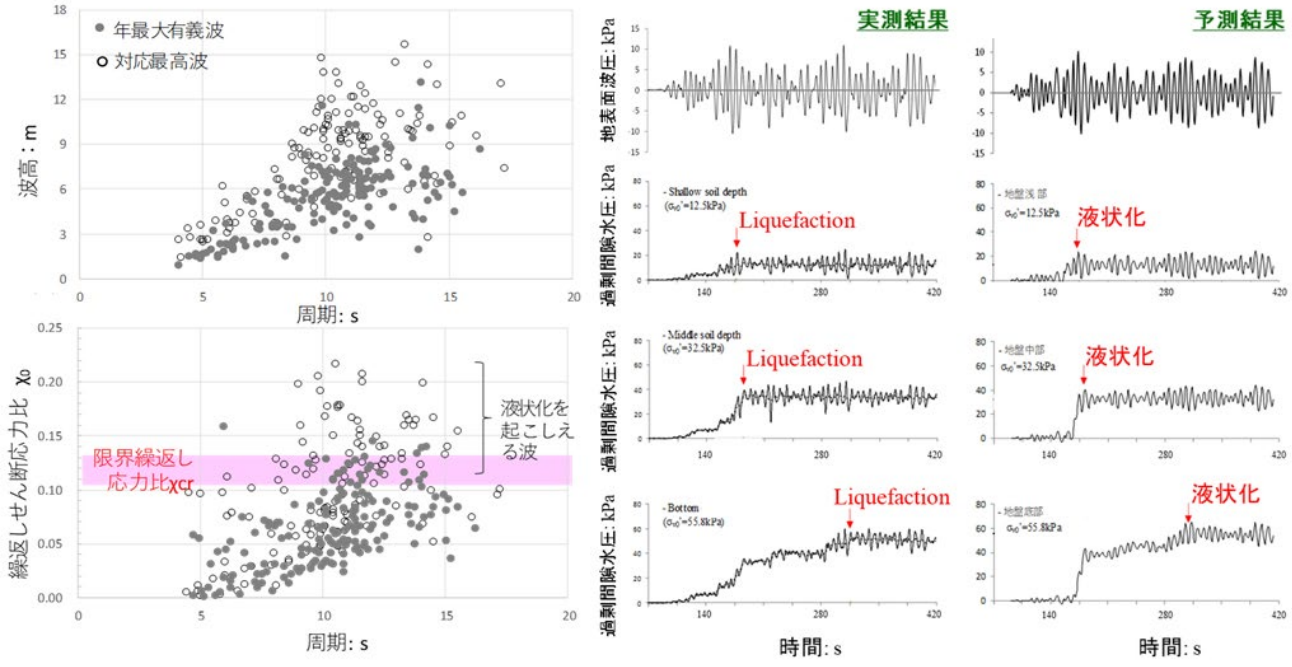


図 3-1　日本沿岸の波による液状化リスクの評価予測（左図）波高と周期及び液状化発生限界の繰返しせん断応力比の関係（右図）不規則波浪による地盤内過剰間隙水圧と液状化過程の予測結果及び実測結果の比較

（出典）[3-27]より抜粋・改変 [3-3]

第 25 期見解：図 2-7 再掲

年最大有義波[21),22)]や対応最高波[23)]などの波高、周期及び２章に記した地盤情報に基づいて、液状化発生限界に関わる繰返しせん断応力比[24)]を算定し、現地高波による液状化の可能性や液状化深さ・範囲を評価することができる[3-15, 3-26, 3-27](図 3-1：第25期見解：図2-7再掲)。同左図は、全国沿岸の実海域で観測された沖合観測点を除く、60地点の波高(有義波・最高波)－周期－波によるポテンシャルの関係を示しており、数多くの地点で液状化が発生し得ることを表している。同右図は、暴波浪時の時系列の波浪観測データを用いて、液状化の発生と進展[3-26, 3-27]を解析したものであり、現地波浪による液状化の発生及び進展過程の予測結果が、実測結果とよく対応している(図3-1：第25期見解：図2-7再掲)。

(3) 津波・高波－地盤－構造物相互作用

洋上風力発電施設の安定性及び災害リスクの評価予測においては、前述の海底土砂流動がもたらすインパクト・影響評価とともに、高波－地盤－洋上風力発電基礎相互作用の本質的理解が重要である[3-28]。すなわち、厳しい波浪作用による海底地盤の液状化によって洋上風力発電施設は大きく影響を受けて不安定化し得る。洋上風力発電の基礎形式として最も一般的なモノパイル(杭)[25)]の場合、高波作用時の地盤内の残留過剰間隙水圧[26)]の蓄積により液状化すると、パイルは揺動しはじめ、その後の液状化の進展・拡大に伴いパイルの傾斜が進み、倒壊に至る[3-29]。また、サクションバケット基礎[27)]の安定性は、バケット基礎回りの波による液状化の発生・進展と密接に関わっていることが明らかとなっており[3-30]、各種の洋上風力発電基礎の安定性を評価する上で、前述の波による液状化の評価予測は重要である。

津波－地盤－構造物相互作用においては、津波を受ける重力式構造物[28)]の沖側・陸側で生じる水位差に伴う基礎マウンド内の浸透流[29)]によって、基礎地盤は侵食され、構造物基礎は沈下する[3-31](図3-2中央)。また、津波浸透による過剰間隙水圧とともに基礎の支持力は低下し、マウンドは流動する[3-31, 3-32](図3-2左右)。そして、津波の重力式構造物上の越流[30)]と浸透流の連成作用によって、マウンド・地盤の洗掘は助長され、構造物基礎は不安定化する[3-33]。このような津波による構造物基礎の安定性の向上には押え盛土が有効であり[3-31, 3-32, 3-33]、津波－地盤－構造物相互作用の安定性照査手法[3-31, 3-34]を津波に対する洋上風力発電基礎の安定性評価に活用することができる。

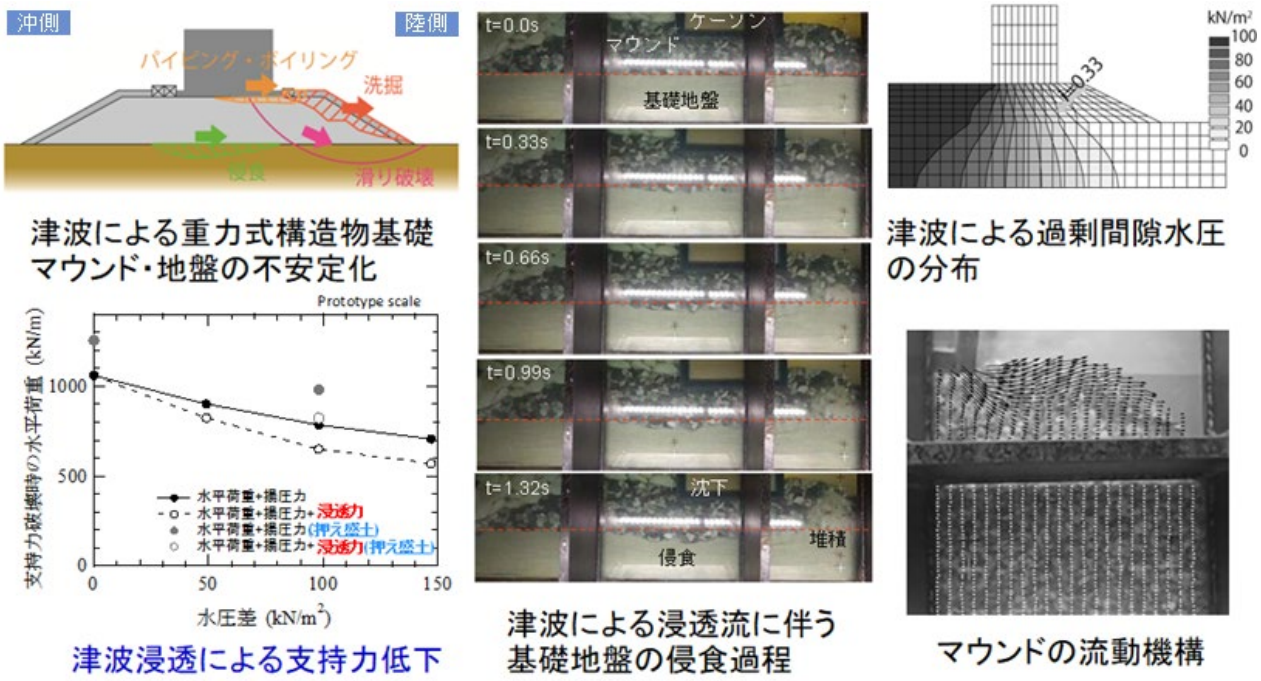


図 3-2　津波－地盤－構造物相互作用

（図中央）津波を受ける重力式構造物の沖側と陸側の水位差に伴う基礎マウンド内の浸透流による基礎地盤の侵食と構造物基礎の沈下（図左右）津波浸透による過剰間隙水圧分布、基礎の支持力低下とマウンドの流動、並びに、津波の重力式構造物上の越流と浸透流の連成作用によるマウンド・地盤の洗掘の助長と構造物基礎の不安定化、及び、津波による構造物基礎の安定性の向上における押え盛土の有効性（本文説明に基づく）

（出典）[3-31, 3-32]より抜粋・編集

４　海底地質リスクに対する予防保全・対策

海底地質リスクに対する予防保全・対策の考え方を表 4-1 に示す。同表に示すように予防保全・対策の種類は、風車配置の変更、風車の支持構造物や周辺構造物の構造変更や強化を行う方法、被害は許容しながら被害規模を小さくする方法、将来の被害を防止するためにモニタリングを行う方法に大別される。

風車配置の変更は、ジオハザードの位置と、ジオハザードが活動した際の平面的な影響範囲を避けて風車を配置するものである。適用できるジオハザードの種類が多いことが特徴であるが、風車配置の自由度が小さくなり、発電量が減少することがある。

構造の変更・強化はジオハザードの存在を許容しながら支持構造物の強化や防止工を設置して被害を防ぐまたは軽減する方法である。液状化や液状化に伴う流動、海底地すべりに伴う流動、規模の小さいシャローガスは、基礎構造の工夫や施工方法の工夫、ケーブル設計の変更によって対応が可能である。また洗掘やサンドウェーブについては、洗掘抑止工の設置やケーブル埋設深度の工夫によって影響を避けることが可能である。

被害を小さくする方法は、ジオハザードによる被害の発生は避けられないものとして、その被害の影響を小さくするものである。ジオハザードを完全に避けるようなレイアウトの工夫が難しい海底ケーブルは送電ケーブルを複線化し、ジオハザードの活動によって一つの断線が発生しても、健全なケーブルを利用して送電ルートを変えることで全面的な送電中断を避けることができる。また、ジオハザードの活動確率と被害額が算出できれば、それを基に保険を適用することも考えられる。

サンドウェーブのように経年的に変化していくハザードについては、風車設置後も海底地盤のモニタリングを行って海底地形の経年変化を把握し、将来の危険性を検討することも重要である。

以上を踏まえ、ここからは、施設の計画段階での風車配置対策、配置後の施設の設計・施工段階での着床式及び浮体式のそれぞれ特有の予防保全・対策について述べる。なお、本ガイドラインでは、施設の供用期間内において優先的に検討しておくべきハザードを主対象としている。

(1)　風車配置対策

風車配置を変更する方法は、活断層の直上やシャローガスの分布域、海底地すべりの活動範囲や重力流の流下範囲を避けて風車を配置することで、ジオハザードが活動した際の直接的な影響を避けるものである。また断層活動によって発生する地震加速度の影響は断層からの距離とともに低下していくので、風車が許容できない加速度範囲を設定し、それを避けるように風車を配置する方法も有効である。

(2)　着床式の予防保全・対策

①　高波による液状化－洗掘対策

通常の洋上風力発電施設の安定化設計・対策として用いられる石材による洗掘対策は、液状化抵抗と密接に関わっていることが明らかとなっている（第25期見解:図2-8）。実際、波による地盤の液状化抵抗は、洗掘抑止工の対策範囲（杭径のｎ倍）によって

表 4-1　海底地質リスクに対する予防保全・対策の考え方

予防保全・対策の種類	対策の内容と適用できる対象物	適用できるジオハザード
a. 風車配置変更	ジオハザードの位置と、ジオハザードが活動した場合に影響を受ける範囲を避けるようにして風車をレイアウトする。（着床式・浮体式）	シャロ―ガス 海底地すべり（滑動範囲と位置が特定できる場合） 活断層（活動した場合の地震動と加速度の想定も同時に行って影響範囲を想定する） 重力流（流下範囲と位置が特定できる場合）
b. 構造の変更・強化	風車支持構造の強化によって影響を低減する（着床式）。 アンカーの種類や構造設計によって影響を低減する（浮体式）。 ケーブル密度を変更して浮き上りや沈下を防止する。	液状化 液状化による流動 海底地すべりに伴う流動
	防爆仕様の施工機器による工事計画や、ガスが滞留しにくい構造に変更する（着床式）。	シャロ―ガス（ガスの賦存量が少なく、大きなガスだまりが無い）
	風車基礎に洗堀抑止工を設置する（着床式）	洗掘
	将来の地形変化量を算定し、供用期間中にケーブルが海底面に露出しないような埋設深度に設置する（海底ケーブル）。 保護工を設置してケーブルが海底面に露出しても漁具等で破断し難くする（海底ケーブル）。	サンドウェーブ 液状化
c. 被害を小さくする方法	送電ケーブルを複線化してジオハザードを避ける配置とし、ジオハザードが活動した場合の全面的な送電中断を避ける。（海底ケーブル）	液状化・重力流 海底地すべり 活断層 サンドウェーブ（埋設した海底ケーブルが地形変化によって海底面に露出して、漁具等による破断リスクが発生する場合）
	b. の構造変更・強化の方法も含まれる（構造変更・強化を実施しても想定を超える規模でジオハザードが活動した場合には被害軽減はできるが、被害ゼロにできないことがある）	
	ジオハザードの活動確率と被害額を想定し、被害額をカバーできる保険をかける。（全構造物）	活断層（再現確率が算定できる場合）
d. モニタリング	風車設置後にMBES・サイドスキャンソナーの経年測定を行って海底地形の変化を観測し、危険性が高まってきた場合には保護工等の対策を追加する。（着床式・浮体式）	サンドウェーブ

変化し、通常の洗掘対策範囲で約２割、その２倍の対策範囲で約４割、液状化抵抗が増加する[3-29]（第 25 期見解：図 2-8)。

この際、重要なことは、増加した液状化抵抗を上回る厳しい波浪作用下では、液状化が発生し、パイルの不安定化や風車タワーの倒壊を免れないことである[4-1]。従って、洋上風力発電施設の安定化設計・対策においては、３章に記した海底土砂流動のインパクト・影響評価とともに、波による液状化の評価予測が肝要である。２章に記した現地地質・地盤情報を踏まえ、当該海域における年最大有義波や対応最高波を考慮した設計波 [31] と地盤の有効単位体積重量等の地盤条件下で繰返しせん断応力比を算定し、現地土質に対応した限界繰返し応力比との比較を通じて波による液状化が発

生すると評価予測された際には、当該液状化を抑止する上で必要となる液状化抵抗を満足するように洗掘抑止工の対策範囲を設定し、高波による液状化ー洗掘対策とすることができる[3-15, 3-19, 3-24, 3-27]。

② 海底地すべりの影響・インパクト評価対策

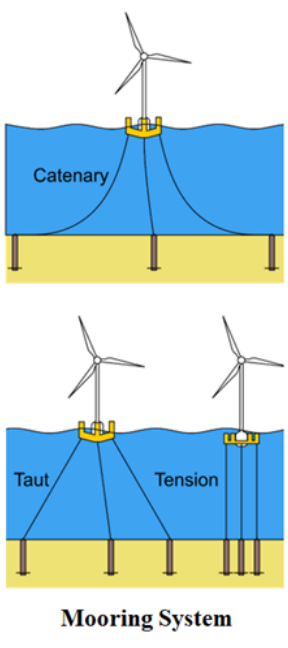
海底液状化流動は多様な洋上風力発電施設基礎に重大なインパクト・影響をもたらし得る(第 25 期見解：図 2-4)。海底地すべり・液状化流動が構造物にもたらす影響・インパクトは、現地の液状化地盤密度に相当する高密度流体として特性化可能であることが明らかとなっており、現地液状化密度を考慮した最大衝撃圧[4-2]と施設の設計耐力との比較を通じて、対応する海底地すべり・液状化流動体に対する予防保全策とすることができる。また、構造物に作用する海底地すべり・液状化流動の衝撃圧は、海底面に作用する圧力の倍以上となることが分かっており、海底面下への埋設及びその深度・領域設定に応じて海底地すべり・液状化流動の影響・インパクトを大きく低減することができる[4-3]。

(3) 浮体式の予防保全・対策

① 海底地盤の液状化・流動の影響を受けにくいアンカー構造・対策

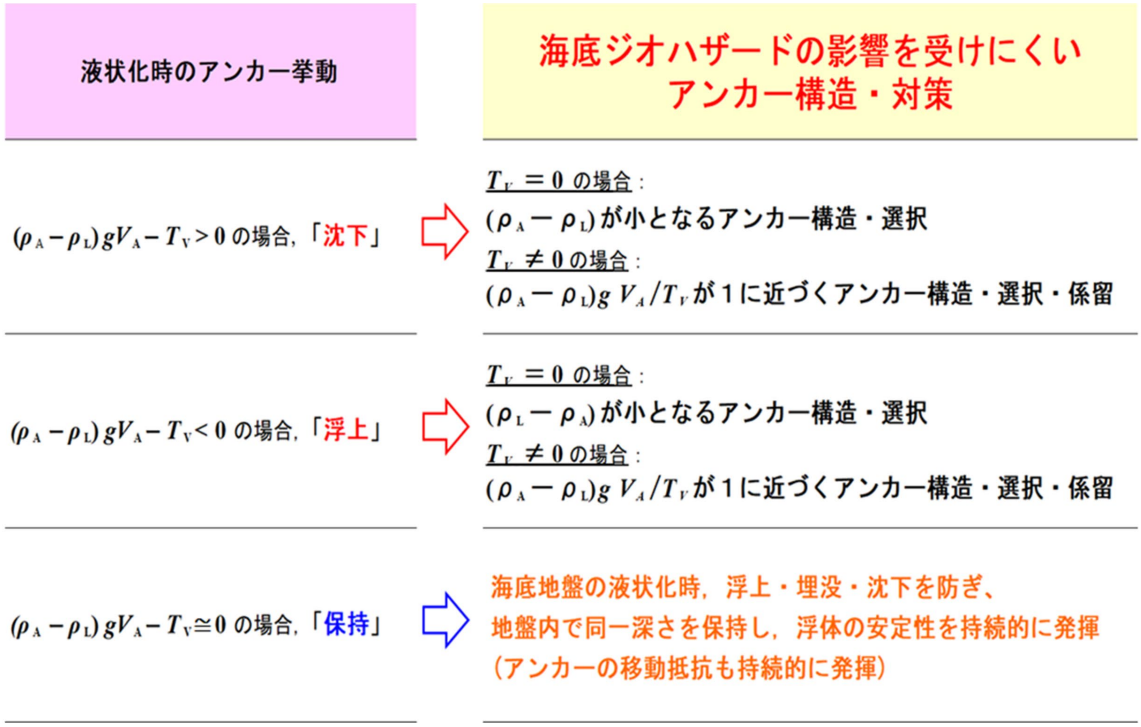
浮体式の洋上風力発電施設においては、前述のとおり、水深 100m 程度までは波による液状化リスクがあるため、３章及び４章(2)①で述べた波による液状化の評価予測・対策が肝要となる。当該水深以深では、海底に設置・固定されるアンカー・ケーブル等に対して、地震による海底地盤の不安定化及び液状化、並びに海底地すべり・土砂流動等が及ぼす影響・インパクトの評価が重要となる。

浮体式洋上風力発電施設のアンカー種類は、ドラッグアンカー[32]、パイルアンカー



アンカー種類
ドラッグアンカー，パイルアンカー，サクションアンカー，重力アンカー
係留方式
カテナリー係留，トート係留，緊張係留
常時の鉛直方向の緊張力 T_V
無し，　有り，　有り
アンカー体密度，アンカー体積，液状化地盤密度
ρ_A，　V_A，　ρ_L
液状化時のアンカー挙動
$(\rho_A-\rho_L)gV_A-T_V>0$ の場合，「沈下」
$(\rho_A-\rho_L)gV_A-T_V<0$ の場合，「浮上」
$(\rho_A-\rho_L)gV_A-T_V\cong 0$ の場合，「保持」

図 4-2　浮体式洋上風力発電施設のアンカー種類・係留方式と液状化時のアンカー挙動
（出典）[4-4]



海底面上にアンカーが一部露出している場合は，アンカーの海底面下の体積V_Bとして，「$(\rho_A-\rho_L)gV_A$」を「$\rho_A gV_A-\rho_L gV_B-\rho_w g(V_A-V_B)$」に，$Tv=0$の場合の「$(\rho_A-\rho_L)$」を「$\rho_A-\rho_L V_B/V_A-\rho_w(1-V_B/V_A)$」に置き換える。

図 4-3　海底ジオハザードリスクに対する予防保全・対策：浮体式，アンカー
（出典）[4-4]

[33]、サクションアンカー [34]、及び重力アンカー [35]、その係留方式は、カテナリー係留 [36]、トート係留 [37]、緊張係留 [38] が挙げられる（図 4-2）。この際、各係留方式により、常時の鉛直方向の緊張力 T_v の有無が分かれる（図 4-2）。アンカーの体密度を ρ_A、アンカー体積を V_A、液状化地盤密度を ρ_L とすると、液状化時のアンカー挙動は、図 4-2 に示す３つの条件に応じて、「沈下」、「浮上」、「保持」となる[4-4]。各アンカー挙動に対して、$T_v=0$ と $T_v\neq 0$ の各条件下で、図 4-3 中に示す仕様のアンカー構造を選択し当該係留方式・状態を実現することによって、海底ジオハザードの影響を受けにくいアンカー構造・対策とすることができる[4-4]。また、液状化時のアンカー挙動が「保持」の場合には、海底地盤の液状化時に、浮上・埋没・沈下を防ぎ、もって地盤内で同一深さを保持し、浮体の安定性を持続的に発揮することができる[4-4]。この際、アンカーの移動抵抗も持続的に発揮し、海底地すべり・流動の影響を大幅に低減する[4-4]。

②　海底地盤の液状化・流動の影響を受けにくいケーブル敷設・対策

ケーブル密度を ρ_C、液状化地盤密度を ρ_L とすると、液状化時のケーブル挙動は、図 4-4 に示す３つの条件に応じて、「沈下」、「浮上」、「保持」となる[4-4]。各ケーブル挙動において、「沈下」の場合には、予防保全・沈み込み対策を、「浮上」の場合には、予防保全・浮き上がり対策を行うことによって、海底ジオハザードの影響を受けにくいケーブル対策とすることができる[4-4]。また、液状化時のケーブル挙動が「保持」

の場合には、海底地盤の液状化時に、浮上・埋没・沈下を防ぎ、もって地盤内で同一深さを保持し、浮体の安定性を持続的に発揮することができる[4-4]。この際、ケーブルの移動抵抗も持続的に発揮し、海底地すべり・流動の影響を大幅に低減する[4-4]。３章に記した海底地質リスクの評価予測結果を基に、上記の予防保全・対策が重要となるとともに、「保持」と「沈下」及び「浮上」の境界領域では被災リスクが高まるため特に留意が必要である[4-4]。以上の海底地質リスク軽減の主要な考え方については、国際地質科学連合のアジア・ヨーロッパ・アメリカ・アフリカ横断の海底ジオハザードリスク特集号においても紹介されている[4-5]。

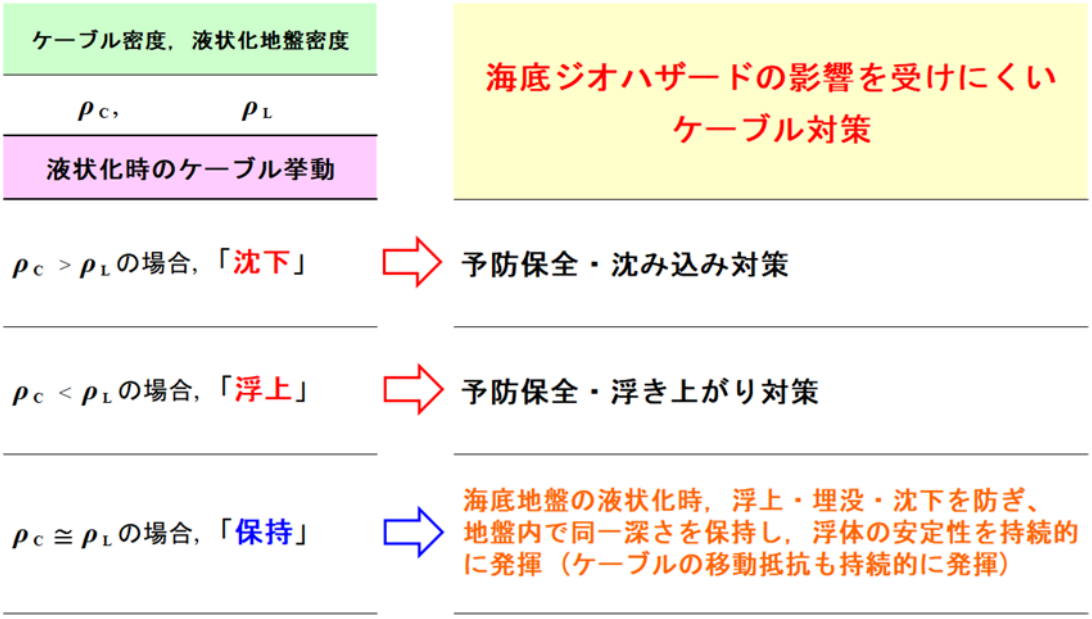


図 4-4　海底ジオハザードリスクに対する予防保全・対策：浮体式，ケーブル
（出典）[4-4]

５　まとめ

本見解のまとめを以下に記す。

１章では、活動的縁辺域においては海底地質リスク軽減のためのガイドラインが必要であることを述べた。欧州で洋上風力発電の開発が進む中、日本でもセントラル方式調査を開始し、開発が活発になっている。しかし日本周辺で開発対象となる水深 200m 以浅の海域は、高潮、高波に加え、地震・津波、台風の外力が強く、海底域で地質・地盤災害が生じる可能性が高い。本見解で示すガイドラインは、活動的縁辺域における海底地質リスク評価のための地質・地盤調査、海底地質リスクの評価予測、海底地質リスクに対する予防保全・対策で構成される。

２章では、海底地質リスクを評価するための地質・地盤調査について、現在行われている基本調査（セントラル調査）と詳細調査について分けて述べた。基本調査においてはその目的と仕様について、詳細調査についてはその実施手順とジオハザードに対応する調査の方法、及びジオハザードを検知した事例について示している。現在の一般的な基本調査・詳細調査は風力発電の設計に必要な情報を取得することを目的としており、海底地質リスクの検知そのものを目的とはしていないが、基本調査・詳細調査においてジオハザードの可能性が検知されると、そのリスクを評価できるような調査手順・調査手法に変更していく必要がある。２章ではそのような際の具体的な対応を記載している。

３章では、地震大国かつ気象海象条件も厳しい活動的縁辺域に位置する日本沿岸域において、洋上風力発電の持続可能な開発を実現するために必要となる海底地質リスクの評価予測について述べた。とりわけ、地球規模の気候変動により世界の波浪条件は激甚化傾向にあり、大規模で継続時間の長い地震動や連続地震の顕在化を含む、着床式及び浮体式洋上風力発電施設に対する地震・津波・高波による沿岸・海底域のジオハザードリスク、すなわち、地震による液状化・海底地すべり、高波による液状化・海底地すべり、並びに、津波・高波－地盤－構造物相互作用の評価予測法について記した。これらの海底地質リスクの評価予測は、２章で述べた基本・詳細調査の結果を踏まえたものであり、地震、液状化、地すべり、津波などの連鎖・複合災害の理解と軽減の国際的な重要性の高まりについてもあわせて示した。

４章では、海底地質リスクに対する予防保全・対策として、予防保全対策の種類と考え方について述べた後に、施設の計画段階での風車配置対策から配置後の施設の設計・施工段階での予防保全・対策について述べた。特に、着床式洋上風力発電施設については、洋上風力発電施設の安定化設計・対策として高波による液状化－洗掘対策について示すとともに、海底地すべりの影響・インパクト評価対策の考え方について記した。浮体式洋上風力発電施設については、水深 100m 程度までは地震・高波による液状化、当該水深以深では地震による液状化を対象として、海底地盤の液状化・流動の影響を受けにくいアンカー構造・対策について、各アンカー種類・係留方式と液状化時のアンカー挙動を踏まえた海底ジオハザードリスクに対する予防保全・対策のあり方について記した。また、あわせて、海底地盤の液状化・流動の影響を受けにくいケーブル敷設・対策について、液状化時のケーブル挙動を踏まえた海底ジオハザードリスクに対する予防保全・対策のあり方について記した。これらは洋上風力発電の今後の持続可能な開発・運用を安全・安心に実現するた

めの予防保全の取り組みとして、将来の地質・地盤災害のリスクを軽減するための対策とその考え方を示したものである。

したがって、本ガイドラインが、洋上風力発電事業の計画・調査・設計・維持管理の各段階で、政府機関、事業者及び自治体等が海底地質リスクを考慮した意思決定を行う際の参考となることを期待する。また、同時に、学術的見解として、研究機関、大学、関係する学協会に広く共有されることを期待する。

本ガイドラインを通じた基本・詳細調査と海底地質リスクの評価予測結果に基づき必要な予防保全対策を行うことによって、海底地質リスクを適切に考慮した安全性の高い持続可能な事業計画を立てることができ、追加調査や事故による工程の遅れや売電計画の遅れのないスムーズな開発を行うことができる。また、本見解に記したジオハザードは、シャローガスや活断層を含め、相互に密接に関係していることから、それらの体系的解明と技術の一層の進展が今後期待される。その実現には、多岐にわたる調査データを共有・活用し得るデータベースの構築・整備が必要であり、オープンデータを軸にした産学官連携による循環的発展が重要になると考えられる。

＜用語の説明＞

1）セントラル方式調査：
国あるいは国に準じる特定機関が主体となって実施する、洋上風力発電所の開発に必要な風況情報や地盤情報等の初期情報を取得する調査。開発事業者はセントラル調査の結果を参考に概略事業計画を立案する。

2）活動的縁辺域：
海洋プレートの沈み込みやそれに関連する断層によって特徴付けられる海洋底と接する大陸の縁辺域。大陸地殻は日本列島のような島弧の地殻も含む。造山運動、地震活動、火山活動が観測される。

3）非活動的縁辺域：
二つの地殻が接するが、沈み込み・衝突やそれに関連する断層がない大陸の縁辺域。地質時代の大陸分裂や海洋底拡大によって形成された縁辺域で，造山運動、地震活動、火山活動が少ない特徴がある。

4）海底地質リスク：
海底域で地質・地盤災害（ジオハザード）が生じる可能性。海底ジオハザードリスクを表す。

5）基礎：
構造物からの力を地盤に伝え、構造物を安全に支える機能をもつ構造

6）海底ジオハザード：
海底域で生じる地質・地盤災害

7）マルチビームソナー：
扇状に放射した音波を用いて海底の地形を計測する音響測深機。海底地形図を作成することができる。

8）シャローガス：
地盤の浅層部に滞留するガス。掘削に伴って海底面に噴出することがある。

9）サイドスキャンソナー：
曳航体から左右の海底面へ扇状に音波を発信し、反射波の強弱を画像化して海底の地形、底質、埋設物などを可視化する音響調査装置

10）バクテリアマット：
海底の亀裂から湧き出るメタンや硫化水素をエネルギー源として、細菌が大量に増殖し、敷物状になったもの

11）サンドウェーブ：
海底に形成される波地形。その高さは水深の 25%の高さまで成長することがある。潮流や波浪によって移動する。

12）高濃度重力流：
堆積物と流体の混合物が重力によって高濃度状態で流動する現象

13）海底液状化流動：
地盤の液状化によって生じる海底域の土砂流動。海底液状化土砂流動を表す。

14）SPT（標準貫入試験）：
地盤の硬さ・強度や締まり具合を調べるための地盤調査方法。ボーリング孔を利用して、特定の重さの重錘を自由落下させて、地盤にサンプラーを打ち込み、所定の深さまでの貫入に必要な打撃回数（N 値）を測定する試験

15）コーン貫入抵抗値：
先端が円錐状のロッドを地盤中に押し込んだときのコーン（円錐状先端部）底面積当たりの貫入抵抗値。CPT（電気式コーン貫入試験）により得られる地盤の硬さや締まり具合の指標の一つ。

16）せん断波速度値：
地盤の中を伝播する弾性波（横波）の速度値

17）液状化予測判定チャート：
地震外力と地盤強度の関係に基づき、液状化の発生の可能性の大小を予測し評価するための図

18）ケーソン：
防波堤などの水中構造物等を構築する際に用いられるコンクリート製又は鋼製の大型の箱

19）離岸堤（ブロック）：
海岸の沖合に、海岸線とほぼ平行に設けられるブロック状の構造物

20）液状化重力流：
地盤の液状化に伴い発生する重力作用下の流動現象

21）有義波：
ある地点で一定時間に観測される波のうち、高い波から順に全体の 1/3 の個数の波について、波高及び周期をそれぞれ平均した仮想的な波

22）年最大有義波：
１年間に観測される最大の有義波

23）対応最高波：
ある観測期間中にみられる個別の波の中で波高が最も高い波

24）せん断応力比：
地震や高波の作用により地盤中に発生するせん断応力と当該深さの有効土被り圧の比

25）モノパイル形式：
単一の大口径杭を打設する基礎形式

26）残留過剰間隙水圧：
地震や高波の作用により地盤中に発生・残留する静水圧を超過した間隙水圧

27）サクションバケット基礎：
円筒形構造物（サクションバケット）の内部を排水することで海底下に貫入する基礎形式

28）重力式構造物：
構造物の自重によって支持を得る形式の構造物

29）浸透流：
基礎マウンドや地盤内の流れ

30）越流：
構造物の天端を越える流れ

31）設計波：
施設の設計時に想定する波浪

32) ドラッグアンカー：
海底に貫入し、アンカー本体に働く土圧で把駐力を得る形式のアンカー

33) パイルアンカー：
海底に杭を打ち込み固定する形式のアンカー

34) サクションアンカー：
中空円筒の内部を海水吸引により負圧にすることで海底に貫入する形式のアンカー

35) 重力アンカー：
アンカーの自重により把駐力を得る形式のアンカー

36) カテナリー係留：
主に懸垂線形状の係留ラインの自重によって係留力を得る係留方式

37) トート係留：
初期張力を調整して緊張状態にある係留ラインの伸びによって係留力を得る係留方式

38) 緊張係留：
海底面に固定されたアンカーと浮体構造物を弾性部材で接続し、常時発生する張力によって浮体構造物の係留力を得る係留方式

＜参考文献＞

１　はじめに

[1-1] 自然エネルギー財団 (2023):洋上風力発電の動向世界と日本における現状[第４版].

[1-2] International Energy Agency (IEA) (2025): Renewables 2025: Executive summary.

[1-3] Global Offshore Wind Alliance (GOWA) (2025): Offshore wind targets underpin acceleration to 2030 and beyond. 1-22.

[1-4] 洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会：洋上風力産業ビジョン（第１次）概要.令和２年 12 月 15 日

[1-5] 土谷学,斉藤長,柴田学 (2022): 洋上風力の主力電源化を目指して. 号外地球,73, 洋上風力発電と海底地質リスク. 12-18.

[1-6] 戸田邦彦,宝川祥子 (2021): 日本における洋上風力発電事業～欧州との違いを踏まえた留意点～. 損保ジャパン RM レポート

[1-7] 日本学術会議見解「活動的縁辺域における持続可能な洋上風力発電開発に向けてー海底地質リスク評価の重要性ー」、2023 年９月 22 日.

[1-8]日本学術会議公開シンポジウム「海底地質災害と洋上風力開発」パネルディスカッション：ガイドラインに向けて、2024 年 11 月 14 日、東京、2024

２　海底地質リスク評価のための地質・地盤調査

[2-1] 経済産業省 資源エネルギー庁 (2024): セントラル方式として JOGMEC が実施するサイト調査の基本仕様.

[2-2] Okay, S. and Aydemir, S. (2016): Control of active faults and sea level changes on the distribution of shallow gas accumulations and gas-related seismic structures along the central branch of the North Anatolian Fault, southern Marmara shelf, Turkey. Geodinamica Acta, 28(4), 328-346.

[2-3] Dondurur et al.(2011): Acoustic evidence of shallow gas accumulations and active pockmarks in the İzmir Gulf, Aegean sea. Marine and Petroleum Geology, 28, 1505-1516.

[2-4] Netherlands Enterprise Agency (2015): Morphodynamics of Borssele Wind Farm Zone WFS-I and WFS-II Final Report.

３　海底地質リスクの評価予測

[3-1] 佐々真志 (2020): 海底地すべりと津波:海底地すべり研究の最前線 (現地調査・実験・数値解析). 地盤工学会誌, 68(8), 86-93.

[3-2] Sassa, S. and Sekiguchi, H. (2010): LIQSEDFLOW: Role of two-phase physics in subaqueous sediment gravity flows. Soils and Foundations, 50(4), 495-504.

[3-3] 佐々真志 (2022): 沿岸・海底域のジオハザードリスクの評価予測. 号外地球, 73, 62-68.

[3-4] Sassa, S. and Takagawa, T. (2019): Liquefied gravity flow-induced tsunami: first evidence and comparison from the 2018 Indonesia Sulawesi earthquake and tsunami disasters. Landslides, 16(1), 195-200, doi:10.1007_s10346-018-1114-x.

[3-5] Sassa, S. (2020): Cascading Mechanisms behind the 2018 Indonesia Sulawesi Earthquake and Tsunami Disasters: Inland/Coastal Liquefaction, Landslides and Tsunami. Springer Series in Geomechanics and Geoengineering, Keynote Paper. doi:10.1007/978-3-030-46351-9_4.

[3-6] Sassa, S., Grilli, S.T., Tappin, D.R., Sassa, K., Karnawati, D., Gusiakov, V.K. and Løvholt, F. (2022): Understanding and reducing the disaster risk of landslide-induced tsunamis: a short summary of the panel discussion in the World Tsunami Awareness Day Special Event of the Fifth World Landslide Forum. Landslides, Vol. 19(2), 535-535, doi:10.1007/s10346-021-01819-x.

[3-7] 村田一城, 佐々真志, 相田康洋, 居駒知樹 (2022): 海底地すべり流動が洋上風力基礎に及ぼす衝撃力に関する基礎検討. 第29回海洋工学シンポジウム講演論文集, in CD.

[3-8] Murata, K., Ebisuzaki, T., Sassa, S., Takagawa, T., Matsuda, K., Miyamoto, T., Ohno, M. and Maruyama, S. (2024): Submarine landslides and tsunami genesis in Sagami Bay, Japan, caused by the 1923 Great Kanto earthquake. Landslides, 21(8), 1811-1827, doi:10.007/s10346-024-02231-x.

[3-9] Sassa, S. (2023): Landslides and Tsunamis: Multi-Geohazards. Landslides, 20(7), 1335-1341. doi:10.007/s10346-023-02084-w.

[3-10] Sassa, S., Grilli, S.T., Tappin, D.R., Sassa, K., Karnawati, D., Gusiakov, V.K., Løvholt, F. (2023): Understanding and reducing the disaster risk of landslide-induced tsunamis: outcome of the panel discussion and the World Tsunami Awareness Day Special Event of the Fifth World Landslide Forum. Progress in Landslide Research and Technology, 1(1), 65-81. doi:10.1007/978-3-031-16898-7_4.

[3-11] Sassa, S., Naruse, H. and David Tappin (2026): Recent Advances in Understanding and Reducing Multi-Geohazard Risks: Liquefaction, Coastal and Submarine Landslides, Turbidity Currents, and Tsunamis. Progress in Landslide Research and Technology, 4(2), 53-77. doi:10.1007/978-3-032-18863-2_3.

[3-12] Sassa, S. (2024): Landslides and Tsunamis: Multiple-Geohazards. Inaugural Speech for Landslides-induced Tsunami and their Disaster Risk Reduction. The Integrated Research on Disaster Risk 2024 International Conference-Science for an inclusive, safe and sustainable world: ACTIONS OF IRDR GLOBAL COMMUNITY.

[3-13] Sassa, S. and Sekiguchi, H. (2012): Dynamics of Submarine Liquefied Sediment Flows: Theory, Experiments and Analysis of Field Behavior. Advances in Natural and Technological Hazards Research, 31, Springer, 405-416.

[3-14] Sassa, S. and Yamazaki, H. (2017): Simplified Liquefaction Prediction and Assessment Method Considering Waveforms and Durations of Earthquakes. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 143(2), 1-13. doi:10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001597, 04016091.

[3-15] 国土交通省港湾局監修 (2018, 2025) : 港湾の施設の技術上の基準・同解説 地盤の液状化, 408-417.

[3-16] 佐々真志 (2020)： 沿岸地盤の多相系ダイナミクス, 土砂動態学, 共立出版.
[3-17] 気象庁 (2020)： 日本の気候変動 2020 (詳細版), 180p.
[3-18] Reguero, B.G., Losada, I.J. and Méndez, F.J. (2019)： A recent increase in global wave power as a consequence of oceanic warming. Nature Communications, 10, 205.
[3-19] Miyamoto, J. and Sassa, S. (2025)： Projected Increase in Wave-induced Liquefaction Risks under Climate Change-induced Severer Wave Conditions. Proceedings of the 12th International Conference on Scour and Erosion. Online Library of ISSMGE.
[3-20] Sassa, S. and Sekiguchi, H. (1999). Wave-induced liquefaction of beds of sand in a centrifuge. Géotechnique 49, No.5, 621-638.
[3-21] Sassa, S. and Sekiguchi, H. (2001). Analysis of wave-induced liquefaction of sand beds. Géotechnique 51, No.2, 115-126.
[3-22] Sassa, S., Takayama, T, Mizutani, M. and Tsujio, D. (2006)：Field observations of the build-up and dissipation of residual pore pressures in seabed sands under the passage of storm waves. Journal of Coastal Research, Special Issue 39, 410-414.
[3-23] Sumer, B.M. (2014)：Liquefaction around marine structures. Advanced Ser. Ocean Eng. 39, World Scientific.
[3-24] 佐々真志 (2016)：波による液状化と地盤流動への影響：最新事例分析. 土木学会論文集 B3, 72(2),378-383.
[3-25] Miyamoto, J., Sassa, S., Tsurugasaki, K. and Sumida, H. (2019)： Wave-induced liquefaction and floatation of a pipeline in a drum centrifuge. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 146(2), 04019039.
[3-26] Sassa, S., Sekiguchi, H. and Miyamoto, J. (2001). Analysis of progressive liquefaction as a moving boundary problem. Géotechnique 51, No.10, 847-857.
[3-27] 宮本順司, 佐々真志 (2020)： 日本沿岸で観測された暴波浪による液状化危険度評価と地盤内間隙水圧応答の予測. 土木学会論文集 B3, 76(2), 462-467.
[3-28] Sassa, S. (2021)：Mechanics and Countermeasures of Scour and Internal Erosion: Tsunami/Wave-Seabed-Structure Interaction. Lecture Notes in Civil Engineering, 177, Keynote paper. doi:10.1007/978-981-16-4783-3.
[3-29] Miyamoto, J., Sassa, S., Tsurugasaki, K. and Sumida, H. (2021)： Wave-induced liquefaction and instability of offshore monopile in a drum centrifuge. Soils and Foundations, 61(1), 35-49, doi:10.1016/j.sandf.2020.10.005.
[3-30] Miyamoto, J., Sassa, S., Ito, H., Tsurugasaki, K. and Sumida, H. (2023)： Wave-induced liquefaction and stability of suction bucket foundation in drum centrifuge. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 149(4), 04023013. doi:10.1061/JGGEFK.GTENG-11247.
[3-31] Takahashi, H., Sassa, S., Morikawa, Y., Takano, D. and Maruyama, K. (2014)：

Stability of caisson-type breakwater foundation under tsunami-induced seepage. Soils and Foundations, 54(4),789-805.doi:10.1016/j.sandf.2014.07.002.
[3-32] Sassa, S. (2014): Tsunami-Seabed-Structure Interaction from Geotechnical and Hydrodynamic Perspectives. Geotechnical Engineering Journal, 45(4), Special Issue on Offshore and Coastal Geotechnics, 102-107.
[3-33] Sassa, S., Takahashi, H., Morikawa, Y., and Takano, D. (2016): Effect of overflow and seepage coupling on tsunami-induced instability of caisson breakwaters. Coastal Engineering, 117, 157-165. doi:10.1016/j.coastaleng.2016.08.004.
[3-34] 国土交通省港湾局 (2015) : 防波堤の耐津波設計ガイドライン.

４　海底地質リスクに対する予防保全・対策

[4-1] Sassa, S. (2023): Recent Advances in the Mechanics and Countermeasures of Scour and Erosion. Opening Keynote Paper. Proceedings of the 11th International Conference on Scour and Erosion. Online Library of ISSMGE.
[4-2] 牧野凌弥, 宮本順司,佐々真志, 辻本剛三 (2024): 液状化地盤流動による海底構造物への衝撃圧に関する実大応力実験. 土木学会論文集, 80(17), 24-17208.
[4-3] Makino, R., Miyamoto J., Sassa, S. and Tsujino, G. (2025): Centrifuge experiments on submarine gravity flow of liquefied sand and its impact on structures. Proceedings of the 12th International Conference on Scour and Erosion. Online Library of ISSMGE.
[4-4] Sassa, S. (2024): Submarine Geohazards Resistant Design Concept for Anchors and Cables of Floating Offshore Wind. Keynote Speech for the 37th International Geological Congress 2024.
[4-5] Sassa, S., Naruse, H., Tappin, D. and Roulund, A. (2026): Submarine Geohazards and Mitigation Concept for Offshore Wind. IUGS Journal of International Geoscience Episodes, 49(2), Special Issue on Submarine Geohazards and Their Risks, 115-126. doi.org/10.18814/epiiugs/2026/02602s02.

＜付録-1＞　セントラル方式調査の全体概要

[A-1] 経済産業省, 国土交通省 (2022) 第 15 回総合資源エネルギー調査会省エネルギー・新エネルギー分科会再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会洋上風力促進ワーキンググループ及び交通政策審議会港湾分科会環境部会洋上風力促進小委員会合同会議資料,「日本版セントラル方式」における調査対象区域の選定の考え方について.
[A-2] 経済産業省, 国土交通省 (2023) 第 18 回総合資源エネルギー調査会省エネルギー・新エネルギー分科会再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会洋上風力促進ワーキンググループ及び交通政策審議会港湾分科会環境部会洋上風力促進小委員会合同会議資料.
[A-3] NEDO (2021) 洋上風力発電の地域一体的開発に向けた調査研究事業報告.

[A-4] JOGMEC (2023) 洋上風力発電に係る地質構造等の調査計画.
[A-5] 経済産業省 (2025) 洋上風力発電に関する情報提供申請受付開始.
[A-6] 経済産業省, 国土交通省 (2024)洋上風力発電に係るセントラル方式の運用方針.
[A-7] 経済産業省, 国土交通省 (2022) 第 10 回総合資源エネルギー調査会省エネルギー・新エネルギー分科会再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会洋上風力促進ワーキンググループ及び交通政策審議会港湾分科会環境部会洋上風力促進小委員会合同会議資料,「日本版セントラル方式」の検討に向けた論点について.
[A-8] 経済産業省 資源エネルギー庁 (2024) セントラル方式として JOGMEC が実施するサイト調査の基本仕様.
[A-9] 経済産業省 資源エネルギー庁 (2025) 再エネ海域利用法に基づく区域指定・事業者公募の流れ及び案件形成状況.
[A-10] 経済産業省, 国土交通省(2025) 第 37 回総合資源エネルギー調査会省エネルギー・新エネルギー分科会再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会洋上風力促進ワーキンググループ及び交通政策審議会港湾分科会環境部会洋上風力促進小委員会合同会議資料, 第１ラウンド事業からの撤退の要因分析等.

＜参考資料＞審議経過

令和６年

６月６日　持続可能な開発目標達成のための洋上風力発電開発検討小委員会（第１回）
小委員会設置目的と委員紹介、役員（委員長、副委員長、幹事）の選出、第 25 期見解と今後の方針について、公開シンポジウムについて

10 月 31 日　持続可能な開発目標達成のための洋上風力発電開発検討小委員会（第２回）
セントラル方式について、公開シンポジウム（2024 年 11 月 14 日開催予定）について、IGC2024 報告

令和７年

２月６日　持続可能な開発目標達成のための洋上風力発電開発検討小委員会（第３回）
話題提供、ガイドラインについて、公開シンポジウム（2024 年 11 月 14 日開催）報告

２月 26 日　総合工学委員会エネルギーと科学技術に関する分科会（第４回）
申出書（見解案「活動的縁辺域における持続可能な洋上風力発電開発に向けた海底地質リスク評価予測と対策に関するガイドライン」）の承認

６月６日－17 日　総合工学委員会エネルギーと科学技術に関する分科会（第 26 期・第６回）、持続可能な開発目標達成のための洋上風力発電開発検討小委員会（第 26 期・第４回）合同メール審議
持続可能な開発目標達成のための洋上風力発電開発検討小委員会委員の辞任について

７月８日－16 日　総合工学委員会エネルギーと科学技術に関する分科会（第 26 期・第７回）、持続可能な開発目標達成のための洋上風力発電開発検討小委員会（第 26 期・第５回）合同メール審議
持続可能な開発目標達成のための洋上風力発電開発検討小委員会委員の辞任と追加について

８月１日　持続可能な開発目標達成のための洋上風力発電開発検討小委員会（第６回）
委員交代など、ガイドラインについて

８月 20 日　総合工学委員会エネルギーと科学技術に関する分科会（第８回）
見解案「活動的縁辺域における持続可能な洋上風力発電開発に向けた海底地質リスク評価予測と対策に関するガイドライン」の承認

＜付録-1＞　セントラル方式調査の全体概要

(1)　セントラル方式調査の導入経緯

日本政府は 2050 年にカーボンニュートラルを実現する目標を掲げ、再生可能エネルギーの主力電源化をエネルギー政策の柱の一つとする方針とした。洋上風力発電は、今後コスト低減が見込まれる電源として、我が国の電力供給の一定割合を占めることが見込まれ、急速なコストダウンと案件形成が進展する海外と同様、我が国の再生可能エネルギーの主力電源化に向けた「切り札」である。また、事業規模が大きく、産業の裾野も広いことから、建設や O&M 等を通じ雇用創出にも貢献するなど、経済波及効果が期待されている。第７次エネルギー基本計画においては、再エネ海域利用法に基づく公募制度等を通じて、2030 年までに 10GW、2040 年までに浮体式も含む 30GW～45GW の案件を形成することを目指し、引き続き、セントラル方式の対象海域を拡大するとともに、促進区域の指定の際に国が海洋環境調査を行う仕組みを検討する。セントラル方式とは、初期段階から政府等が関与し、より迅速・効率的に地盤等の調査や適時の系統接続の確保等を行い、事業者の負担を軽減する仕組みであり、従来の制度では、事業者が風況調査、地質調査、環境影響評価を個別に実施する必要があり、事業者の重複調査による非効率性及びコスト増や地元の負担増などの問題があった事を解決するために導入されたものである。2021 年１月 13 日の経済産業省及び国土交通省の両省合同会議では、欧州のセントラル方式を参考に、日本の海域特性に合わせた制度設計が議論された[A-1]。

カーボンニュートラルの実現に向け、2022 年度に「独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構法」が改正され、JOGMEC の業務に洋上風力発電に関する地質構造等の調査が追加された。これにより JOGMEC がセントラル方式調査の中のサイト調査の実施主体として明確化され、風況や地質などのデータの収集が国の責任で行われる仕組みが確立した。2023 年１月 30 日の両省合同会議では、洋上風力発電に係るセントラル方式の運用方針を策定し、調査対象海域の選定基準やデータ公開のルールを定めた。選定基準には、対象区域における調査実施に対する理解、経済産業省令との適合性が含まれる[A-2]。

セントラル方式調査の実施に先立ち、2021 年に国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の調査研究事業の一環として、北海道岩宇及び南後志地区沖、山形県酒田市沖、岩手県洋野町沖の３海域を対象とする調査が日本版セントラル方式の確立に向けた実証事業として実施された[A-3]。2023 年には、北海道岩宇・南後志地区沖、同島牧沖、同檜山沖の着床式３海域がセントラル方式調査の対象として選定され[A-4]、JOGMEC による調査が開始された。以降、2024 年には、山形県酒田市沖（着床式）、北海道岩宇・南後志地区沖（浮体式）、同島牧沖（浮体式）がセントラル方式調査の対象として選定され、順次調査を展開している。

2025 年５月 20 日、北海道の檜山沖及び岩宇・南後志地区沖について、情報提供申請の受付が開始された[A-5]。これらの情報は、促進区域指定に向けた準備の一環であり、事業者公募の前提となるデータとなる。

(2)　セントラル方式調査の構成・枠組み

セントラル方式を構成する要素は以下の通りである[A-6]。これらの内、調査に相当する要素は3)及び5) 6)であるが、それぞれ3)をJOGMEC、5)を環境省が主体的に実施する。6)は、対象海域及びその周辺の「①漁業操業の実態」と「②水産資源の実態」の二種類の要素から構成され、①は案件形成の初期段階において整理すべき情報として、情報提供を行う都道府県が、②は洋上風力発電の漁業影響調査における事前調査として、対象区域で洋上風力発電を実施する選定事業者がそれぞれ主体的に対応するものとする[A-6]。これらの関係を図 A-1 に示す。

1) 事業実施区域の指定及び発電事業者の公募

2) 案件形成に向けた地域調整

3) サイト調査（風況・海底地盤・気象海象）

4) 系統接続の確保

5) 環境影響評価

6) 漁業実態調査

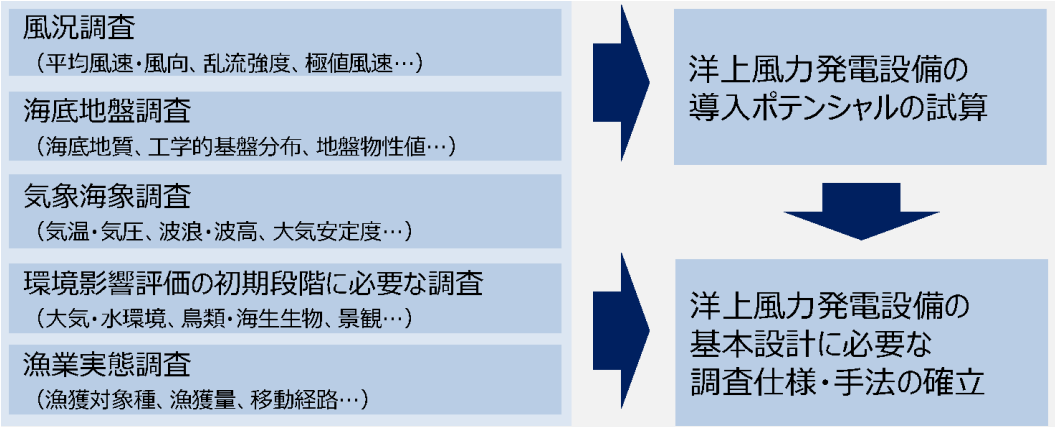


図 A-1　セントラル方式調査の全体概要（出典）[A-7]

JOGMEC が実施するサイト調査は、風況調査、海底地盤調査、気象海象調査から成るが、本見解の主たるテーマであるジオハザードに最も関連が深い海底地盤調査の概要は以下の通りである。

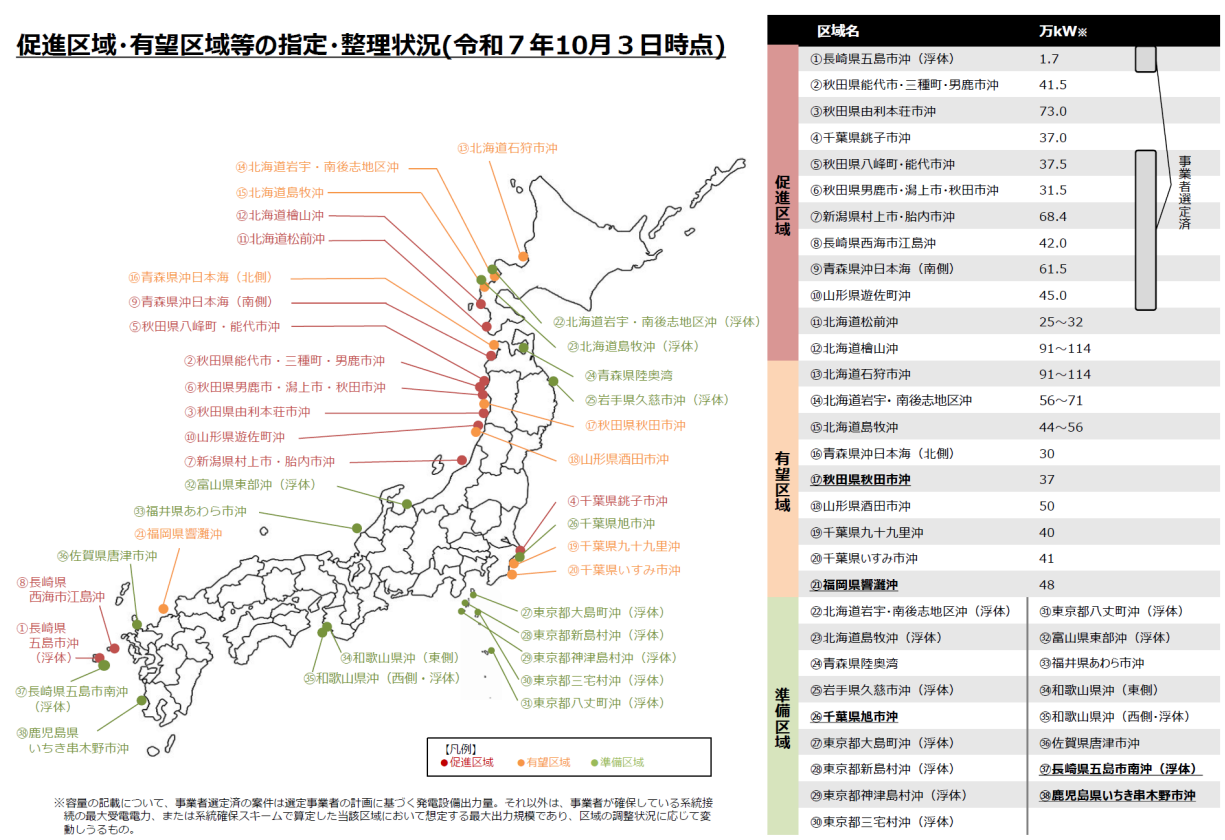
セントラル方式による海底地盤調査では、海底地形調査、海底面状況調査、ボーリング調査、反射法弾性波探査などを行い、着床式または浮体式風力発電の基礎設計に必要となる、海底地形、底質、岩盤分布、土質、地盤物性、地震リスクなどを評価するための基本情報を収集する。セントラル方式による海底地盤調査の標準的な枠組みは、出典[A-8]の基本仕様に、調査項目の目的、要求水準、考慮事項を包括的に規定している。また、実際の運用に当たっては、海底地形や地質条件が調査海域ごとに大きく異なっている事に鑑み、基本仕様だけではカバーしきれない個々の調査海域特有の要求に対応するために個別仕様

で詳細を調整する。個別仕様の作成に当たっては、対象区域の自然的条件に加えて、調査の実施に関し地元の漁業操業等との調整を踏まえた内容となるよう留意する。

(3)　案件形成におけるセントラル方式調査の位置付け

洋上風力案件の形成全体は、海洋再生可能エネルギー発電設備の整備に関する法律（以下、「海洋再エネ整備法」）を前提として進められており、①促進区域指定、②協議会運営、③公募、④選定事業者の認定の各プロセスを順に踏んで行われる。これらは海洋再エネ整備法が根拠であり、国が行う（経済産業省および国土交通省の共同所管）。

セントラル調査は、上記の案件形成プロセスの一部という位置づけであり、その対象海域は、原則として促進区域に指定される前の段階の有望区域や準備区域となる。したがって、セントラル方式導入以前から存在した促進区域は当然の事ながら、セントラル方式の対象海域と一致しない促進地域があり得る。区域指定の現況を図 A-2 に示す。



	区域名	万kW※	
促進区域	①長崎県五島市沖（浮体）	1.7	事業者選定済
	②秋田県能代市・三種町・男鹿市沖	41.5	
	③秋田県由利本荘市沖	73.0	
	④千葉県銚子市沖	37.0	
	⑤秋田県八峰町・能代市沖	37.5	
	⑥秋田県男鹿市・潟上市・秋田市沖	31.5	
	⑦新潟県村上市・胎内市沖	68.4	
	⑧長崎県西海市江島沖	42.0	
	⑨青森県沖日本海（南側）	61.5	
	⑩山形県遊佐町沖	45.0	
	⑪北海道松前沖	25～32	
	⑫北海道檜山沖	91～114	
有望区域	⑬北海道石狩市沖	91～114	
	⑭北海道岩宇・南後志地区沖	56～71	
	⑮北海道島牧沖	44～56	
	⑯青森県沖日本海（北側）	30	
	⑰秋田県秋田市沖	37	
	⑱山形県酒田市沖	50	
	⑲千葉県九十九里沖	40	
	⑳千葉県いすみ市沖	41	
	㉑福岡県響灘沖	48	
準備区域	㉒北海道岩宇・南後志地区沖（浮体）	㉛東京都八丈町沖（浮体）	
	㉓北海道島牧沖（浮体）	㉒富山県東部沖（浮体）	
	㉔青森県陸奥湾	㉓福井県あわら市沖	
	㉕岩手県久慈市沖（浮体）	㉞和歌山県沖（東側）	
	㉖千葉県旭市沖	㉟和歌山県沖（西側・浮体）	
	㉗東京都大島町沖（浮体）	㉕佐賀県唐津市沖	
	㉘東京都新島村沖（浮体）	**㉗長崎県五島市南沖（浮体）**	
	㉙東京都神津島村沖（浮体）	**㉘鹿児島県いちき串木野市沖**	
	㉚東京都三宅村沖（浮体）		

図 A-2　区域指定・事業者公募の流れ及び案件形成状況（出典）[A-9]

洋上風力では事業化前に、風況観測、海底地盤調査、海象調査、地質構造調査などを行う必要がある。これらの調査には数億円から数十億円規模の費用がかかり、さらに調査した結果、事業化に至らない可能性もある。そのため、民間事業者単独では投資回収リスクが大きく、調査への参入が限定されるという問題があった。また、事業者による個別調査では、先行事業者だけがデータを保有することになり、①新規参入者が不利になる、②公募時の競争条件が不公平になる、③調査済み企業が著しく有利になる等の問題が生じた。

セントラル方式では国が取得したデータを公募参加者に提供するため、競争条件をできるだけ対等化できる。さらに、自治体単独では調査能力に限界があり、高度な専門技術や特殊機器を必要とする大規模な基礎調査を実施することは容易ではなく、国による実施が合理的と考えられた。

(4) 補足

2020 年 11 月から 2021 年 12 月にかけて再エネ海域利用法に基づく第１ラウンドの３海域(①秋田県能代市、三種町及び男鹿市沖、②秋田県由利本荘市沖(北側・南側)、③千葉県銚子市沖)における各洋上風力発電事業の公募が実施された。これらの事業の全てにおいて、三菱商事株式会社(以下、三菱商事)の子会社である三菱商事エナジーソリューションズ株式会社を代表企業とするコンソーシアムが選定事業者に選定されたが、2025 年８月 27 日、三菱商事により事業撤退が公表された。この事態を受けて国は、黎明期にある我が国の洋上風力発電の課題として以下の６点を挙げている[A-10]。

① インフレ等による資材価格等の変動リスクへの対応が不十分な供給価格の制度
② 入札前に事業者に提供される促進区域のおける地盤等のデータ提供の方法
③ 再エネ価値を高く評価する需要家の不足
④ 風車メーカーやサプライヤー等との価格交渉力を確保しづらい制度
⑤ 海外のサプライチェーンに依存していることによるコスト増
⑥ 事業実現性が相対的に過小評価され得る価格点の設計

これらの課題の内、①～⑤については下記の通り、一定の対応がなされている、もしくはなされる見込みであるとしている[A-10]。

① → 次回の公募から導入することとなっている価格調整スキーム
② → セントラル方式の一環として JOGMEC が行うサイト調査
③ → 再エネ価値が適切に評価される環境の整備に係る再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会での議論
④ → 風車メーカー等の変更に係る計画変更の要件の整理
⑤ → 洋上風力（主に浮体式）のサプライチェーン強靱化に向けた生産設備投資への支援

現在、残る⑥を中心に、リスク対応等により事業を完遂できるような計画を作成した事業者が選定されるよう、公募制度の見直し等による更なる対応がなされている。

＜付録-2＞　公開シンポジウム

「海底地質災害と洋上風力開発」

主　催：日本学術会議総合工学委員会エネルギーと科学技術に関する分科会、日本学術会議地球惑星科学委員会 IUGS 分科会
共　催：IUGS、公益社団法人日本地球惑星科学連合
後　援：公益社団法人地盤工学会、国際津波防災学会、公益社団法人物理探査学会、海底地質リスク評価研究会、International Consortium on Landslides、National Taiwan University、公益社団法人土木学会、一般社団法人日本風力エネルギー学会、一般社団法人環境情報科学センター、公益財団法人日本工学アカデミー
日　時：令和６年 11 月 14 日（木）10:00～18:00
場　所：日本学術会議講堂及びオンライン配信
開催趣旨：

欧米など諸外国においては、洋上風力発電の開発が進み、再生可能エネルギーの主翼を担う存在となっている。日本においても洋上風力発電の開発が進められている。しかし日本のような活動的縁辺域は、急峻な海底地形で、地震・台風の外力が強く、海底の液状化、泥火山などの沿岸域での海底地質リスクがある。洋上風力発電の今後の持続可能な開発・運用を安全・安心に実現するには、開発者が海底地質リスクの存在を認識し、適切な計画の上で開発を実施することが必要となる。このシンポジウムでは、専門家、開発者が集まり、海底地質災害と洋上風力開発について議論する。

次　第
司　会　岩城　智香子（日本学術会議連携会員）
「開催趣旨」
　　大久保　泰邦（日本学術会議連携会員）
セッション１　Case Studies of Submarine Geohazard Events（コンビーナ：佐々　真志）
「海底ジオハザードリスクと洋上風力」
　　「Submarine Geohazards with the Risk to Offshore Wind」
　　佐々　真志（国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所港湾空港技術研究所）
　　Shinji Sassa (Port and Airport Research Institute, National Institute of Maritime, Port and Aviation Technology)
「混濁流研究の最近の進展」
　　「Recent Advances in Understanding Turbidity Currents」
　　成瀬　元（京都大学）
　　Hajime Naruse (Kyoto University)
「海底地すべり・津波研究の最近の進展」
　　「Recent Advances in Understanding Submarine Landslides and Tsunamis」

David Tappin（British Geological Survey）（オンライン講演）

「洋上風力施設における洗掘対策の最近の進展」

「Recent Advances in the Mitigation of Scour in Offshore Wind」

Andreas Roulund（Ørsted）（ビデオ講演）

セッション２　Submarine Geological and Geophysical Data Archives（コンビーナ：木戸　ゆかり）

「地形と地下断面・粒度分布などの既存データを用いた広域な地質傾向を念頭に置いた局所リスク評価の必要性」

佐藤　智之（国立研究開発法人産業技術総合研究所地質調査総合センター地質情報研究部門地球変動史研究グループ主任研究員）

「海底地形データのアーカイブとハザード評価への活用　～令和６年能登半島地震に係る海底地すべり及び海底活断層の把握～」

南　宏樹（海上保安庁海洋情報部技術・国際課）

「Submarine Geological and Geophysical Data Archives」

Vicki Ferrini（Lamont-Doherty Earth Observatory, Columbia University）（オンライン講演）

「Seabed2030 and Hunga Tonga-Hunga Ha'apai　eruption bathymetry expedition」

Kevin Mackay（National Institute of Water and Atmospheric Research）（ビデオとオンライン併用講演）

セッション３　Requirements of offshore geological and geophysical surveys to properly characterize submarine geohazard risks（コンビーナ：松島　潤）

「リスクと不確実性：物理探査を用いた地質評価を例にして」

「Risk and Uncertainty: Geophysical exploration for geological assessment」

松島　潤（東京大学）

「Required marine geological, geophysical and geotechnical surveys for offshore wind farm development in Taiwan」

Char-Shine Liu（National Taiwan University）（オンサイト講演）

セッション４　Global review of submarine geohazard risks to offshore renewable energy（コンビーナ：川村　喜一郎）

「熊野灘大陸斜面における海底ジオハザードの可能性：海底地滑り発生要因の考察」

「Potential submarine geohazard on the Kumano-nada continental slope, West Japan: controlling factors of a submarine landslide」

金松　敏也　（国立研究開発法人海洋研究開発機構）

Toshiya Kanamatsu

「Geological framework and possible geohazards in central Taiwan Strait」

Jih-Hsin Chang（National Taiwan University）（オンサイト講演）

「The experience of the Italian Marine Geology Research community in standardized geohazard feature mapping on the Italian Seas」

Francesco Latino Chiocci (Geologia Marina Dipartimento Scienze della Terra Università La Sapienza) （ビデオ講演）

16:00「Opening remarks」

Maria Rose Petrizzo (IUGS vice-President)（オンライン講演）

セッション５　International Capacity Building（コンビーナ：竹内　彩乃）

「The Aura Centre for Doctoral Training in Offshore Wind Energy」Robert Dorrell (University of Hull) （ビデオ講演）

「The Geology of Wind Power: from the second largest wind economy in the mid-continent US to the offshore challenge」

Nicholas Hayman (University of Oklahoma) （ビデオ講演）

「The Research Institute for Volcanology and Risk Assessment (IVAR) and its potential as a training platform」

José Manuel Pacheco (IVAR - Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos, Universidade dos Açores) （オンサイト講演）

「パネルディスカッション：ガイドラインに向けて」

パネラー：佐々　真志、木戸　ゆかり、松島　潤、川村　喜一郎、竹内　彩乃(東邦大学)

「まとめと閉会のあいさつ」

益田　晴恵（日本学術会議連携会員）

参加人数：

講演者等 28 名

その他の参加者　オンライン参加 312 名、現地参加 59 名

合計 399 名

特記事項：

✓ 電気新聞が取材のため、オンライン参加された。

✓ シンポジウムの後、2024 年 11 月 15、16 日に、共催団体である IUGS が主催した野外調査を実施した。

見　　解

カーボンニュートラル時代の熱エネルギー利用の可能性と課題

令和８年（２０２６年）９月２５日

日　本　学　術　会　議

総合工学委員会

エネルギーと科学技術に関する分科会

この見解は、日本学術会議総合工学委員会エネルギーと科学技術に関する分科会カーボンニュートラル実現に向けた熱エネルギー有効利用小委員会の審議結果を踏まえ、総合工学委員会エネルギーと科学技術に関する分科会において取りまとめ公表するものである。

日本学術会議総合工学委員会エネルギーと科学技術に関する分科会

委員長	高田　保之	（第三部会員）	九州大学カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所特命教授・名誉教授、エディンバラ大学名誉教授
副委員長	岩城智香子	（連携会員）	株式会社東芝総合研究所首席技監、東京科学大学特任教授
幹　事	齋藤　公児	（連携会員）	一般財団法人金属系材料開発研究センター特別研究員
	下田　吉之	（第三部会員）	大阪大学大学院工学研究科教授
	朝倉　薫	（連携会員）	日本電信電話株式会社執行役員
	伊藤　公孝	（連携会員）	中部大学客員教授・卓越教授、大学共同利用機関法人自然科学研究機構核融合科学研究所フェロー・名誉教授
	大久保泰邦	（連携会員）	地熱技術開発株式会社探査部研究主幹
	大野　恵美	（連携会員）	株式会社 IHI 技術理事・技術戦略室
	兒玉　了祐	（連携会員）	大阪大学レーザー科学研究所長
	鈴置　保雄	（連携会員）	愛知工業大学工学部電気学科教授、名古屋大学名誉教授
	武田秀太郎	（連携会員）	慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科准教授
	藤田　　修	（連携会員）	北海道大学教育イノベーション機構特任教授
	宮崎久美子	（連携会員）	東京工業大学（現 東京科学大学）名誉教授
	藤岡　惠子	（連携会員（特任））	株式会社サーマルサイエンス代表取締役、大阪大学大学院基礎工学研究科招へい教授

日本学術会議総合工学委員会エネルギーと科学技術に関する分科会
カーボンニュートラル実現に向けた熱エネルギー有効利用小委員会

委員長	藤岡　惠子		株式会社サーマルサイエンス代表取締役、大阪大学大学院基礎工学研究科招へい教授
副委員長	北川　尚美	（第三部会員）	東北大学大学院工学研究科副研究科長、教授
幹　事	岩城智香子	（連携会員）	株式会社東芝総合研究所首席技監、東京科学大学特任教授
幹　事	古山　通久		信州大学アクア・リジェネレーション機構教授、株式会社 X-Scientia 代表取締役
	高田　保之	（第三部会員）	九州大学カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所特命教授・名誉教授、エディンバラ大学名誉教授

青柳みどり	（連携会員）	中央大学総合政策学部教授
宮崎久美子	（連携会員）	東京工業大学（現 東京科学大学）名誉教授
木村誠一郎		一般社団法人離島エネルギー研究所代表理事
高瀬　香絵		自然エネルギー財団シニアマネージャー
能村　貴宏		北海道大学大学院工学研究院附属エネルギー・マテリアル融合領域研究センター教授
福島　康裕		東北大学大学院環境科学研究科教授

本見解の作成にあたり、以下の職員が事務及び調査を担当した。

事務	新田　浩史	参事官（審議第二担当）
	渡邊英一郎	参事官（審議第二担当）（令和８年７月から）
	角田美知子	参事官（審議第二担当）付参事官補佐
	冨岡千香子	参事官（審議第二担当）付審議専門職付
調査	辻　　政俊	上席学術調査員

要　　旨

１　作成の背景

日本で消費される一次エネルギーの約６割が、電力や動力、熱などに変換されて利用される過程で未利用の熱エネルギーとして廃棄されている。現在の技術や社会システムの下で二酸化炭素排出の大幅な削減が期待できる部門は限られている中で、産業部門だけで 0.3 兆 kWh の廃熱があると見積もられ、廃熱量の低減や未利用熱の活用はカーボンニュートラル達成に貢献する高いポテンシャルを持っている。

熱エネルギー有効利用を拡大するためには、熱の発生と利用についてのデータに基づいた戦略的な技術開発や政策的支援の提案などと並んで、熱エネルギー有効利用拡大の可能性とそれによってもたらされるメリットを可視化して市民に示し、将来の持続可能な熱利用社会の姿を共有することが重要である。本分科会では、市民や政策決定者と科学者、技術者の間で双方向の意見交換を行う場として、2016 年以降、様々な分科会と連携して６回の公開シンポジウムを開催し、社会の要請に合致した熱利用推進のための課題を検討してきた。その中での議論も踏まえ、熱エネルギーの現状と将来の持続可能な熱利用社会の姿を示すことがカーボンニュートラル実現に向けた熱利用拡大への一助になると考え、本見解をまとめた。

２　現状及び問題点

熱エネルギーが大量に廃棄されている現状は、安価な化石燃料による熱生成に比して、排熱や未利用熱を用いる際に必要となる熱の回収・貯蔵・輸送に要するコスト、利便性の低さ、熱を循環させる熱導管のようなインフラの整備、熱利用に必要な改質技術の進展が十分でなかったことに多くを帰することができる。日本では、熱利用のためのインフラや熱需給データの整備が、熱利用の先進国である欧州諸国に比べて遅れている。一方、蓄熱・熱輸送技術、ヒートポンプ技術については、世界的にも高い水準にある。日本の技術の強みを活かすと共に、インフラの未整備を補うために生まれたオフライン熱輸送のような独自の技術を将来の生産と消費のあり方と結合させて社会実装を進めることが課題である。

熱利用の形態としては、従来の熱を回収してそのまま熱として使うだけでなく、余剰の再生可能エネルギー電力を熱として蓄え必要に応じて再び電気に変換する蓄熱発電のように、再生可能エネルギー大量導入時代の蓄エネルギー手段としても実用化に向けた取組が主として欧米で進んでいる。蓄電池など他の蓄電技術よりも比較的長時間の蓄エネルギーが可能で安価であるという利点を活かして蓄電技術の幅を広げる技術である。要素技術としては完成されているので、実証試験など日本においても実用へ向けた動きを加速する必要がある。

近年では、地域内で熱を融通し合う熱の地産地消社会、発生した熱の利用を考えるのではなく未利用になる熱を出さない生産プロセスのような、技術だけでなく生産や消費のシステムから見直して、カーボンニュートラル時代の熱エネルギー有効利用を模索する提案がなされている。

３　見解の内容

熱エネルギー利用は、技術にとどまらない、ものづくりや未来の社会のあり方にも係る問題である。本見解では、多様な分野の知見を統合しうる日本学術会議の場において、社会実装に資する中立的な論点整理を行い、技術、社会、生産システムなど多様な視点を考慮し、現状とカーボンニュートラル時代の熱利用の姿と、それを達成するための課題を示した。熱エネルギー利用の推進による、脱炭素社会への移行の可能性を示すことを目的としている。

(1) 将来の熱エネルギー利用

カーボンニュートラル時代においては、国民の生活の質を充足性やウェルビーイングも踏まえて評価する価値観への転換により、必要以上の高・低温熱を使わない適温適所熱利用や産業・民生の統合設計が、新たな社会的価値を生む大きな可能性がある。将来的なエネルギー価格の上昇が想定される中、未利用熱の活用は費用負担面において優位性を持ち、持続可能な社会を支える基盤となる可能性を秘めている。

課題としては、効率や経済性のみを優先してきた従来の価値基準を社会全体で再定義し、新しい価値観への転換を促すことが求められる。また、現行の法制度には熱エネルギーの広域利用や融通を想定していない規制が多く残されており、カーボンニュートラル時代に即した抜本的な法改正や制度設計を並行して進めることが不可欠である。

(2) カーボンニュートラル時代のものづくり・消費を想定した熱利用の設計

循環型の生産・消費プロセスへの移行に伴い、従来は廃棄されていた低温排熱をリサイクルやバイオマスの乾燥工程へ活用できる可能性が拡大する。また、蓄熱発電は再生可能エネルギーの導入を促進し、産業用ヒートポンプは熱需要の電化を通じて新たな産業を創出し得る技術であり、カーボンニュートラル時代のものづくりに不可欠な選択肢となり得る。

一方で、これらの新技術を社会に普及させるためには、技術的な成熟だけでなく、日本独自の産業構造に合わせた経済性や成立性を客観的に評価することが課題である。また、需要側の変容を促すために、経済的インセンティブや行動経済学的な視点を取り入れた施策を検討し、企業の投資判断や人々のライフスタイルに働きかけていく必要がある。

(3) 地域コミュニティと共創する熱エネルギー利用システム

熱の地産地消は、地域の特性に応じた多様なエネルギー源を収穫・融通する形態として、人口減少が進む地方の縮小共同体におけるエネルギー自立を支える大きな可能性がある。特に日本で発案・発達してきたオフライン熱輸送技術は、膨大なインフラ投資を

伴わずに柔軟なセクターカップリング[1]を実現し、地域内での資金循環を促す可能性を持っている。

課題は、熱輸送に関わる設備コストや人件費などの高コスト構造を解消し、投資回収期間を短縮するための技術革新と公的支援を両立させることである。技術的な成熟度のみならず、事業性や社会受容性を含めた多角的な社会的実証の場を多数設定し、地域が主体となってシステムを運用・進化させ続けられる土台を構築することが急務である。

(4) カーボンニュートラルへの動きの加速がもたらす価値観の転換と熱エネルギー利用

金融・貿易分野における脱炭素評価の加速は、熱エネルギーの有効利用を企業の生存と競争力の源泉へと押し上げる強力な追い風となる可能性がある。科学的根拠に基づく目標設定の普及は、サプライチェーン全体での熱マネジメント高度化を促し、日本企業の国際的なプレゼンスを高める機会となる。

これらの動向を確実に競争力へと繋げるためには、化石燃料への支援策の見直しや実効性のあるカーボンプライス導入など、脱炭素投資を正当化する制度的枠組みの整備が課題である。また、特定の技術に過度に依存するのではなく、国際情勢や技術開発の進展に応じて代替シナリオを柔軟に評価できる、強靭で透明性の高い移行計画の策定が求められる。

1 電力、熱、運輸、産業などの異なるエネルギー部門を相互に連携させ、エネルギーの変換や融通を行う考え方。

目　　次

１．はじめに……1
⑴　何故、熱エネルギー利用か……1
⑵　熱エネルギーの概要……1
①　温度域による分類……1
②　発生源による分類……2
③　エネルギー形態による分類……2
⑶　カーボンニュートラル社会の熱利用……3
⑷　熱エネルギー利用戦略……4
２．将来の熱エネルギー利用……5
⑴　カーボンニュートラルに向かう日本と世界の経済・社会の変化……5
⑵　ビジョンと価値観の転換……6
①　産業部門……6
②　都市・地方における民生部門……7
③　輸送部門……7
３．カーボンニュートラル時代におけるものづくり・消費を想定した熱利用の設計……9
⑴　熱の発生と需要の変化……9
⑵　新たな熱利用の形態 ― エネルギー貯蔵手段としての蓄熱……9
⑶　利用温度に即した熱供給とヒートポンプ等による熱の改質……10
⑷　発生する熱の形態・組成の変化を想定した技術開発と熱利用の統合……12
４．地域コミュニティと共創する熱エネルギー利用システム……14
⑴　エネルギーの地産地消……14
⑵　熱を循環し分かち合う社会 ― 熱の融通から考える地産地消社会……14
⑶　オフライン熱輸送……15
５．カーボンニュートラルへの動きの加速がもたらす価値観の転換と熱エネルギー利用18
⑴　脱炭素は産業政策へ……18
⑵　気候関連財務情報開示は義務化へ……18
⑶　TCFD/ISSB 基準の４本柱：ガバナンス・戦略・リスク管理・指標及び目標……19
⑷　カーボンプライス：国境炭素調整措置によるゲームチェンジ……19
⑸　市民団体/独立系シンクタンクの役割の拡大……19
⑹　高温熱を含む「難脱炭素化(Hard to abate)」セクターの脱炭素化におけるダイナミズム……20
６．見解……22
＜参考文献＞……24
＜参考資料１＞審議経過……26
＜参考資料２＞シンポジウム開催報告……27

1．はじめに

(1)　何故、熱エネルギー利用か

カーボンニュートラル [2]社会の実現が求められる一方、省エネルギー化が既に進められている日本では、二酸化炭素排出の大幅な削減が期待できる分野が限られている。その状況の中で、未利用熱の活用は、未だ大きなポテンシャルが残されている施策である。産業、業務、家庭などの需要家は、石油や天然ガスなどの一次エネルギーから変換された電力、熱などの二次エネルギーを利用しており、一次エネルギーからの変換・輸送・利用の各過程で、大量の損失が生じている。例えば、2020 年度の日本の一次エネルギー総供給量 17.4 EJ のうち、全体の 55%に相当する 9.6 EJ が廃熱 [3]となり、有効利用されなかった[1]。視点を需要側に移すと、日本では電力としての需要は 30%以下にとどまり、70%以上が熱、動力、化成品原料等の用途であり、中でも主として化石燃料を用いた熱の利用が最大の比率を占める。全体としては利用されない熱が大量に生じている一方で、同じく大量の熱需要を満たすために、多くの化石資源を消費し、二酸化炭素を排出しているという構造がある。

熱エネルギーを有効利用するための鍵は、供給と需要のタイミング、場所、温度、そして速度のマッチングにある。そこで近年は、熱利用技術だけでなく、生産や消費の仕組みから見直すことで、熱エネルギーを有効利用する体質を持つ社会へと変えていく方法が模索されている。地域で発生する熱を地域内や近隣地域と分かち合いながら利用する熱の地産地消社会や、熱の発生源と需要を統合して未利用になる熱を出さない生産システムがその具体例である。熱は電力と比べて安価に長期間蓄えることができるという特長がある。この特長は、熱エネルギーの有効利用の目的だけでなく、電力を熱として蓄え必要に応じて再びその熱で発電を行って供給する蓄熱発電を導入することで、再生可能エネルギーの有効利用の目的にも合わせて活用できる。つまり、熱利用の高度化はエネルギーシステム全体のさらなる高度化をもたらしうるのである。なお、本見解では、カーボンニュートラルの実現に向けた移行期からその達成後の社会までを総称して「カーボンニュートラル時代」と定義する。

(2)　熱エネルギーの概要

熱エネルギーは、温度域、発生源、形態、用途、使用機器など多くの要素がある。以下に、熱エネルギーをいくつかのカテゴリーに分類して整理する。

①　温度域による分類

温度域によって分類すると、低温熱、中温熱、高温熱に大別できる。低温熱のうち、環境温度より低い熱を冷熱という。冷房や冷蔵・冷凍の用途に用いられ、温暖化の進行と共に消費量が増大すると予想される。家庭やオフィスでの熱利用は 50℃以下が

---

2 国際的にはネット・ゼロという語が一般的だが、本見解では日本で広く周知されているカーボンニュートラルを主として用いる。

3 一次エネルギーが利用される過程で排出される熱を「排熱」、それが利用されることなく捨てられた熱を「廃熱」という。

ほとんどで、大量に廃棄されている低温熱でまかなうことができる温度域である。

温度域にはいくつか異なる分類法があり、表 1-1 では一般的な分類を記載した。ヒートポンプ技術においては 200℃以上を高温ヒートポンプと分類し、200℃以上を高温域として扱うこともある点には注意が必要である。

表 1-1　熱のカテゴリー分類 1（温度域による分類）

分類	低温熱	中温熱	高温熱
温度域	100°C以下	100～300°C	300°C以上
用途	家庭、業務	産業	発電、産業

（出典）各種資料を参考に小委員会で作成

②　発生源による分類

現在用いられている熱エネルギーの発生源の大部分は、化石燃料の燃焼によって得られている。熱分野の温室効果ガス削減には、再生可能エネルギー熱の活用が有効である。再生可能エネルギー熱としては、日本には世界第三位の地熱賦存量があり大きな潜在量を持つが、2024 年度の電源構成に占める地熱発電の比率は 0.3%、第 7 次エネルギー基本計画においても 2040 年の見通しは１～２%にとどまっている。蓄熱発電の開発を促進すると共に、地熱を直接熱として利用する仕組みの確立を急がねばならない。

表 1-2　熱のカテゴリー分類 2（発生源による分類）

分類	化石燃料	再生可能 エネルギー熱	排熱	電力
種類	石油、石炭、 LNG	太陽熱、地熱、 河川熱	産業廃熱、 都市排熱	火力、水力、原子力、 太陽光、風力
機器	ボイラー、 工業炉	太陽光パネル、 地熱ボイラー	熱交換器、 冷凍空調設備	ヒーター、電気炉
用途	産業、発電	家庭、業務	家庭、業務	産業、家庭、業務

（出典）各種資料を参考に小委員会で作成

③　エネルギー形態による分類

物質の状態または物質そのものが変化する際に放出/吸収される熱エネルギーの主要な形態には、顕熱、潜熱、反応熱がある。民生用の給湯用蓄熱槽（顕熱蓄熱）や、安価な夜間電力で氷を作り、氷が解ける際に吸収される熱を利用して昼間の冷房を行

う氷蓄熱（潜熱蓄熱）はオフィスビルや商業施設などで広く利用されている。潜熱蓄熱と、化学変化に伴う発熱/吸熱現象を利用した化学蓄熱は、熱の温度を上昇/低下させる機能があるので、利用価値の低い低温排熱をより質の高い高温熱あるいは冷却に変えることが可能である。膨大な排熱があり、常に冷却を必要とするデータセンターの冷熱に適した技術として実用が期待される。

表 1-3　熱のカテゴリー分類（エネルギー形態による分類）

分類	顕熱	潜熱	反応熱
原理	物質の状態（固体・液体・気体）はそのままで、温度が変化する際に流入・流出する熱	物質の状態が固体↔液体、液体↔気体、固体↔気体と変化する際に流入・流出する熱	発熱・吸熱反応に伴って放出・吸収される熱
媒体例	水、溶融塩、岩石、煉瓦	氷、糖アルコール、水和塩、溶融塩、金属	酸化カルシウム/水系

（出典）各種資料を参考に小委員会で作成

(3)　カーボンニュートラル社会の熱利用

エネルギー利用に関する規範は近年急速に変化してきている。2015 年のパリ協定締結を契機に急速に拡大し、2020 年には世界の投資総額の約 36%を占めるに至った ESG 投資[4]は化石資源事業を縮小させた。2022 年の COP27 で発表された「ネットゼロ定義提案書」に基づく GHG 排出量算定基準では、グリーンウォッシュ[5]を許さない厳しいネットゼロが規定されており、企業活動に大きな影響を与え始めている。企業活動にとどまらず、政策、個人行動に至るまで二酸化炭素排出削減が、経済性と対をなす価値基準として重要性を増してくる趨勢がある。熱利用においても、これまでは経済性という価値基準だけを用いれば合理的でなかった施策についても試験的に採用し、新たな社会への対応を進めていく必要がある。

熱エネルギーを効率的に利用するために不可欠な蓄熱技術については、カーボンニュートラルに向けた動きが加速する中で進展が見られる。材料の相変化を利用して熱を蓄える潜熱蓄熱材では、有機・無機材料、金属などを複合化して、蓄熱密度の増大、適応温度の拡大（氷点下から 600℃以上の温度帯）、成形性・伝熱性能の向上が達成された。蓄熱密度は 1800～2000 MJ/m^3 に達し[6]、水素の燃焼エンタルピー（15 MPa に圧縮した場合）1908 MJ/m^3 と同等の値が既に達成されている。放熱なく長期間蓄熱できる潜熱蓄熱材の実用化は、熱の発生と利用の時間的・空間的不一

4 Environment（環境）、Social（社会）、Governance（ガバナンス（企業統治））を考慮した投資活動や経営・事業活動

5 実際には環境負荷の低減につながっていない、またはその効果が限定的であるにもかかわらず、環境に配慮した取り組みであるかのように見せる行為。

6 潜熱に加えて 300K 分の顕熱量を考慮して算出した材料ベースの蓄熱密度

致の制約を低減し、熱エネルギー利用を大きく進展させうる。また、成熟度を高めてきた地理情報システムや IoT 技術を活用して熱需給データを取得することは、熱マネジメントの高度化に有効である。

廃棄される熱を減らすための熱エネルギーの有効利用としては、従来は工場内あるいはコンビナート内での熱融通、あるいは日本の地域熱供給や欧州北部で普及している熱導管を用いたオンライン輸送が中心だった。これに加えて、未だ社会実装には至っていないが実証試験の進んでいるトラックや鉄道、船など移動体に蓄熱材を積載して輸送する「オフライン輸送」を効果的に用いた生産と消費のシステムの導入は熱利用に新しい価値を付与する。また、出力が安定ではない太陽光や風力などによるエネルギーを熱として蓄え、必要時にその熱で発電する蓄熱発電は、再生可能エネルギーの導入に伴う送電インフラの制約を緩和し、変動電源の出力平準化やレジリエンス向上に寄与する技術として再生可能エネルギーの導入を促進する効果も期待できる。これらは、カーボンニュートラル実現を前提にすればこそ選択肢となる技術である。

(4) 熱エネルギー利用戦略

EU は 2016 年に An EU Strategy on Heating and Cooling[2]、イギリスは 2012 年に Future of Heating; a strategic framework for low carbon heat in the UK[3]、2013 年には The Future of Heating; meeting the challenge[4]を策定して、熱需給の現状を俯瞰的に示し暖房の低炭素化への戦略を明らかにしてきた。寒冷地の多い欧州と日本では暖房用の化石燃料削減の重要性が異なるので単純な比較はできないが、戦略とロードマップの作成・公表、その下での一貫した政策遂行は日本においても熱エネルギー利用を拡大させるために有効だろう。

２．将来の熱エネルギー利用

本章では、将来の熱エネルギー利用のあり方について、社会・経済の構造変化という俯瞰的な視点から展望する。第 1 章で定義したカーボンニュートラル時代において共有すべきビジョンを明確にした上で、産業・民生・輸送の各部門が目指すべき具体的な将来像と、それによって創出される社会的価値について整理する。

(1)　カーボンニュートラルに向かう日本と世界の経済・社会の変化

カーボンニュートラルな熱エネルギー利用は、これまでの延長で達成できるものではなく、実現のためのビジョンを構築し、バックキャストとフォアキャストの複眼に基づき達成に向けたシナリオを構築して行くことが必要となる。

日本の将来を考える上で、人口減少と都市部への人口集中は考慮すべき条件である。それらの影響により過疎化が進む地域では、従来のセントラル方式、ユニバーサルサービスによる熱利用は、早晩経済的に成り立たなくなる。人口が減少した時に撤収しやすい燃料インフラやサプライチェーンの設備が重要である。そのため、集中型のインフラだけでなく分散型の活用も視野に入れるべきである。それぞれの地域で利用できる多様なエネルギー源から必要なだけのエネルギーを収穫し、地域内や隣接地域で利用する「エネルギーの地産地消」も、縮小する社会に対応したエネルギーの供給とカーボンニュートラル社会を両立することのできる将来のあり方である。

世界全体としても、カーボンニュートラルがもたらした価値観の転換がある。先進国においては、経済成長とそれを支えるエネルギーの調達を当然視することが不可能になりつつあるという見方がある。持続可能性の文脈では、「脱成長(degrowth)」の議論も行われている[5,6]。途上国に経済成長の余地を残すため、先進国は生活の質を維持しつつ脱成長の道を探る必要がある。その方向性の一つが、生活の質を経済活動の拡大の文脈で捉えるのではなく、「充足性(sufficiency)」[7]で捉えるという考えである。新たな価値基準をもって経済を発展させる必要がある。そのためには、消費者や需要家を含む「地域」の意思決定への参加が有効である。

エネルギー分野では、例えば、ドイツのシュタットベルケ[8]など、地域の需要や生活に密着したサービスを担うコミュニティ単位のエネルギー供給システムがある。地域のエネルギーは、メイングリッドから独立しており、かつ電力だけではなく熱やガスなども合わせて供給している。自治体が出資する民間企業として運営されており、地域の公共交通や廃棄物処理などの赤字になりがちなインフラ事業を合わせて運営しエネルギー供給による利益によって経済的に支えるなど、地域住民の生活の質の維持を達成している。欧州では「熱利用」が再生可能エネルギーとして位置付けられることもあり、電力やガスだけでなく地域レベルでの熱の利用が組み込まれている点が大きな特徴である。地域レベルで運営するからこそ、輸送の難しい熱を活用できていると言えるだろう。

(2) ビジョンと価値観の転換

現在私たちは、カーボンニュートラルを実現するため、政策、企業活動、個人行動に至るまで二酸化炭素排出削減が極めて重要な価値基準となる時代に突入している。この価値観の転換は、従来の経済合理性の前提を覆しうる。燃料費が不要な再生可能エネルギーが主力となる社会では、高いエクセルギー効率[7]を指向することが、必ずしも社会実装につながらない。むしろ、効率が低くとも設備投資が軽微で済む技術が経済性向上に資する技術となり、発想の転換が必要である。

持続可能な社会を目指す上で、熱エネルギーの利活用においても、国民の生活の質や幸福度、ウェルビーイングで評価する考え方への転換が求められる。

目指すべき熱利用の姿を、部門ごとに以下に記す。

① 産業部門

産業部門では、単にエネルギー効率を追うのではなく、「循環型の生産システムそのものが新たな産業競争力になる」という価値観の転換が求められる。廃熱を徹底して再利用・再資源化することは、脱炭素時代のものづくりの基盤となる。産業部門における熱利用の将来の姿と、それが実現した時にもたらされる社会的価値を表 2-1 にまとめた。

表 2-1　産業部門における熱利用の将来の姿と創出される社会的価値

熱利用の姿	実現による効果
プロセス電化と低温熱の高度利用	化学産業の蒸留・分離や食品産業の殺菌など、200℃以下の熱が多量に利用されているプロセスにヒートポンプを適用し、製造プロセスの電化と排熱の有効利用によりカーボンニュートラル実現に貢献できる。
熱と素材生産の再編・統合	現在の化石資源利用を前提としたものづくりは、石炭を用いない製鉄、バイオマスや回収プラスチック及び回収二酸化炭素からの化学素材生産などへと転換する必要がある。カーボンニュートラルな生産プロセスの実現には、効率的な熱統合により、プロセス全体の経済性を向上させることで、既存の生産プロセスからの移行を可能とし、カーボンニュートラルな素材生産が実現できる。
産業と民生の熱統合設計	産業廃熱を地域へ供給し、地域コスト低減と食料自給（施設園芸等）の強化を両立する。これは企業と地域コミュニティの共生という新たな社会的価値を生む。

（出典）各種資料を参考に小委員会で作成

7 エネルギーの量だけでなく、そのエネルギーがどれだけ有効に利用できるかを考慮した効率。

②　都市・地方における民生部門

民生部門では、生活の質をエネルギー消費量ではなく「充足性（必要な時に必要なだけ満たされていること）」や「ウェルビーイング」で評価する価値観への転換が重要である。「我慢」によるカーボンニュートラルの達成ではなく、断熱や未利用熱活用が住民の真に豊かな生活を直接支える基盤となる。民生部門における熱利用の将来の姿と、それが実現した時にもたらされる社会的価値を表 2-2 にまとめた。

表 2-2　都市・地方における民生部門の熱利用の将来の姿と創出される社会的価値

熱利用の姿	実現による効果
分散協調型熱供給と地産地消	各種再生可能エネルギー、廃棄物、産業排熱など、地域で利用可能なエネルギー源を収穫し、気候や立地に応じて地域内や隣接地域と分かち合う地産地消を実現する。
縮小社会に対応した柔軟なインフラ	人口減少が顕著となる地域では、従来の集中方式が成り立たなくなる将来を見越し、集中型から分散型のインフラやサプライチェーンを前提とすべきである。分散型インフラは、猛暑や厳冬時の供給途絶リスク、激甚災害時の復旧容易性などレジリエンスの観点も考慮して設計すべきである。都市においても、年月と共に人口が増加・減少することを見越し、集中型と分散型のハイブリッド型のインフラ整備を進めるべきである。
ウェルビーイングの向上	カーボンニュートラルを達成するために、寒暖を我慢する、大幅なエネルギー価格の上昇を受け入れる、などを前提としない社会を実現するため、超高断熱化、未利用の再生可能熱の活用と、蓄熱などその実現のための新技術の社会実装を推進すべきである。これは、単なるエネルギー消費の抑制ではなく、断熱技術や未利用熱活用によって少ないエネルギーで最大限の熱的充足感を得るという、需要側の価値基準の転換を意味する。都市におけるヒートアイランドのように、排熱自体が冷房などの新たなエネルギー需要を生み出している現状から、熱の再利用によってエネルギー需要を減少させる熱利用システムの構築へと転換することで、ウェルビーイングの向上とエネルギー消費削減を両立しうる。

（出典）各種資料を参考に小委員会で作成

③　輸送部門

輸送部門では、カーボンニュートラルに向けてパワートレインの電動化が確実に進んでいる。これは内燃機関からの排熱が減少またはなくなることを意味し、

熱利用技術の重要性が一層高まっている。熱の輸送部門における熱利用の将来の姿と、それが実現した時にもたらされる社会的価値を表 2-3 にまとめた。

表 2-3　輸送部門における熱利用の将来の姿と創出される社会的価値

熱利用の姿	実現による効果
低温熱・環境熱の高度利用	内燃機関に限らず各種機器から発生する廃熱や、環境の熱をヒートポンプによって再生し車内の空調に利用することで航続距離の延長が可能となる。結果としてパワートレインの電動化が促進され、カーボンニュートラル実現に貢献できる。
蓄熱の活用	走行中に各種機器から発生する廃熱を蓄熱したり、充電中に電気を熱へと変換して蓄熱したりして、始動時または再起動時のホットスタート、寒冷地におけるリチウムイオン電池の保温や走行時の暖房に活用することができる。これにより航続距離の延長や低温環境でも安定した性能の確保等電動車の信頼性向上が可能となり、パワートレインの電動化が寒冷地においても促進され、カーボンニュートラル実現に貢献できる。
電動車と住宅の連携	走行中に発電し車載用電池に蓄電した電気を動力として住宅用ヒートポンプを駆動させたり、車載用蓄熱システムに蓄熱した熱を住宅で利用したりすることで、作り出したエネルギーを無駄なく有効に活用することができ、カーボンニュートラル実現に貢献できる。また、災害時のレジリエンスの強化に加え、移動と居住を一体のエネルギー圏として捉えるライフスタイルの変革をもたらす。

（出典）各種資料を参考に小委員会で作成

３．カーボンニュートラル時代におけるものづくり・消費を想定した熱利用の設計

２章(1)では、将来の社会における熱エネルギー利用について述べた。社会における利用形態だけでなく、カーボンニュートラルが実現した社会での生産のあり方も重要である。本章では、カーボンニュートラル時代における生産と消費の変容を展望し、そこで新たに現出する特性を考慮した熱設計について論じる。

(1) 熱の発生と需要の変化

カーボンニュートラル実現には、資源やエネルギーの廃棄を削減する循環型の生産と消費が不可欠である。廃棄物リサイクルやバイオマス利用には乾燥が必要で、そのための熱需要が新たに生じる。例えば、これらの乾燥には現在は有効利用の用途が少なく大量に廃棄されている 100℃以下の低温を含む排熱の利用が可能である。また、物質循環とネットゼロに寄与する CCUS[8]とその出発点となる二酸化炭素回収にも低温熱を利用できる。家庭や商業施設などは、産業に比べて比較的低温の熱を利用し、その需要量も多い。排熱の多くは産業で生まれるので、「産業施設の近くに住宅地を立地させる」ことで、付近の家庭のエネルギー消費を低減できる。このためには騒音や振動、臭気や安全対策などを大幅に高度化した小規模の産業施設を成立可能にする技術と仕組み、都市計画が必要となる。

これらのように、新たな熱の発生と需要のあり方をエネルギーの利用効率を上げる「熱統合」を前提としたものに進化させることができれば、エネルギーコストが低いカーボンニュートラル社会を構築することにつながる。

(2) 新たな熱利用の形態 ― エネルギー貯蔵手段としての蓄熱

新たな熱の発生に関しては、変動性再生可能エネルギー(VRE、Variable Renewable Energy)も考慮しておく必要がある。近年、再生可能エネルギー主要電力化に向けて、VRE を安定的に利用するための蓄エネルギー技術導入の必要性が顕在化している。この中で、VRE 由来の電力を熱に変換して貯蔵し、需要に応じて再び電気に変えて送電する蓄熱発電（カルノーバッテリー）技術が、数時間～数日程度の蓄エネルギー技術の選択肢の一つとして進展している。蓄熱発電は、電力を熱に変換し貯蔵するエネルギー貯蔵技術の一種で、概念自体は 20 世紀初頭に構築された。蓄熱過程で電気は熱に変換され蓄熱システムに貯蔵し、放熱過程で熱を電気に変換して発電する。図 3-1 に、蓄熱発電と従来の蓄電池の比較を示す。電力量のみに着目した指標である充放電効率は蓄電池に劣るが、蓄熱材が圧倒的に安価で、システム全体としてのコストを抑制できる可能性がある。また、タービンと発電機を回転させて発電する方式では、回転体に蓄えられた運動エネルギーによって、系統の周波数変動を抑制できる点もメリットとして挙げられる。熱需要のある場所に導入すれば発電時の排熱は有効利用できるので低い発電効率は問題とならず、熱と電気の併給で総合効率を向上できる。将来、多くの火力設備が老朽化

8 CCUS (Carbon Capture, Utilization and Storage)：発電所や産業施設から排出される CO_2 を回収し、有効利用または地下貯留することで排出削減を図る技術。利用を除いた二酸化炭素回収・貯留は CCS と略される。

により廃止となるが、燃焼炉以外は利用可能な設備が残るため、これらを有効活用し、調整力に富んだクリーンな安定電源として再構築することも可能である。蓄熱発電には、高温熱として貯蔵するタイプや冷熱として貯蔵するタイプがある。前者では発電の際に200℃程度の排熱が発生し、後者では貯蔵していた冷熱を冷熱源として利用しつつ発電する。見方を変えると、蓄熱による蓄エネルギーの選択はVREの安定利用への貢献と同時に新たな再生可能エネルギー由来熱源/冷熱源をもたらすことになる。

海外では蓄熱発電のコンセプトが数多く提案され、原理検証や実証試験[9]が行われている。しかし、試験データはほとんど公開されておらず、経済性評価も見当たらないため、技術的・経済的な成立性については不明な点が多い。実装にあたっては、充放電効率の向上や蓄熱システムのコスト低減、さらには既存の火力発電設備をどの程度転用可能かという適用条件の精査と、それによる投資コスト低減効果の客観的な評価が不可欠である。

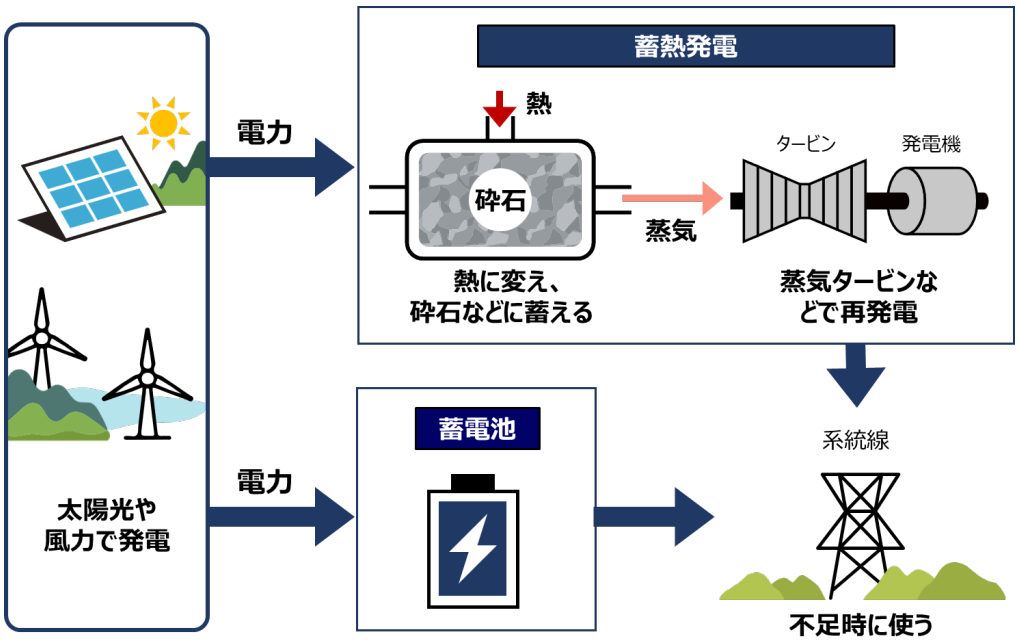


図 3-1　蓄熱発電と従来の蓄電池による蓄電

（出典）各種資料を参考に小委員会で作成

(3)　利用温度に即した熱供給とヒートポンプ等による熱の改質

温度は熱統合の可能性を規定する重要な要因である。特にヒートポンプは、排熱をよ

9 蓄熱発電はVREの導入が進んでいる欧州にて商用化に向けた開発が先行している。中でも大規模容量システムとして最も開発が進んでいるのがSiemens Gamesaで、2019年に130MWhプラントの検証試験を開始した。1GWhのパイロットプラントを経て将来的には5GWh以上の商用機を目指すとしている。既存技術による早期上市と設備投資対効果を重視し、蓄熱技術は既に活用されている顕熱蓄熱、蓄熱材には環境負荷がなく安価な火山岩砕石を使用している。一般的に顕熱蓄熱システムは大型化によって高効率化できるため、特に火力、原子力のような大型発電設備に導入するメリットが大きいと考えられる。

顕熱蓄熱を用いる蓄熱発電としては、他にもコンクリートと熱媒体流路となる複数の鋼管で構成されるモジュラー型蓄熱システムが開発されている。また、蓄熱密度に優れた潜熱蓄熱や化学蓄熱を利用した蓄熱発電システムについても、いくつかの試験プロジェクトが進行している(例えば、1414degrees、Azelio、SaltX Technology)。

り高い温度域で有効利用可能にする熱の改質の基幹技術である。例えば現状で多くの二酸化炭素を排出している化学産業における蒸留・分離や、食品産業における殺菌、機械やゴム・プラスチック産業における乾燥工程では200℃以下の熱が多量に利用されている。この温度域の熱供給にはヒートポンプが適用可能で、産業の脱炭素化にとって不可欠な製造プロセスの電化や排熱の改質による排熱利用機会の拡大に寄与することが期待される。ヒートポンプは、エアコンに代表されるように、冷媒の相変化の際に吸収・放出される熱エネルギーを利用することで、空気中の熱や排熱等を利用し、少ない投入エネルギーでそれ以上の熱エネルギーを得る技術である。投入エネルギーに対して得られる熱エネルギーの比を成績係数（COP、Coefficient of Performance）と呼ぶが、その値が７を超える家庭用エアコンなども一般に市販されている。COP が７とは、投入した電力をそのまま熱に変換する場合に比べて、７倍の熱を得られることを意味しており、省エネルギーの手段として注目されている[10]。2010 年代以降、最大加熱能力が高いヒートポンプが出現し、欧州で広く用いられている集中型熱供給（例えば、建物単位の熱供給や地域熱供給）の熱源にヒートポンプが適用される事例が増え始めた。

直近の 10 年程度の期間における産業用ヒートポンプの発展と普及は、従来、転換が難しいとされてきた産業用熱供給の仕組みを大きく変える可能性があると共に、家庭用ヒートポンプなどに比べて技術的にも発展余地が大きい。2000 年代までヒートポンプによる最高供給温度は 100℃以下が中心であった。そのため、蒸気として熱供給が必要な場合、ヒートポンプが活用される余地は少なかった。一方、2010 年前後からヒートポンプによって供給される熱の温度が 100℃を超え、蒸気の供給が可能なシステムが日本メーカーを中心に販売されるようになってきた。これに伴い、適用できる範囲が広がっていった[9]。日本製ヒートポンプの最大加熱能力は欧州製に比べて高くないものの、200℃近い領域まで加熱できる特長がある。欧州市場で見られるような大きな加熱能力を有する製品は日本製では見られない。これは、日本国内の工場等において大型のヒートポンプが適用可能なプロセスが無いということを意味しない。大型ヒートポンプは非常に高価であり、インフラとしての投資が行われない限り導入が難しい。日本では産業用のオンラインの熱共有インフラが整備されてこなかったために、大型ヒートポンプの出番が非常に限られていたことが、産業用ヒートポンプのラインナップが限られる原因となったと考えることが妥当だろう。今後、日本が 2050 年にカーボンニュートラルに向かう上で、熱供給における脱炭素化は避けて通れず、産業用ヒートポンプのラインナップ強化及び導入拡大は必要である。さらに、大型ヒートポンプの潜在的・顕在的ニーズが存在する温度範囲などの諸条件を標準化し、可能な限りモジュール化と個別仕様の最少化を行って、量産効果が期待できるほどの市場の創出を目指すべきである。それによって、コスト低減のみならず、熱交換器や冷媒等の周辺技術の高度化も期待できる。そのためにも、産業用ヒートポンプに関連する要素技術から設計・システム技術について成熟させるための施策や導入支援施策は必要不可欠であろう。さらに、熱需要が設備

10 例えば、日本の地球温暖化対策計画（環境省 2021）では、産業用ヒートポンプの導入支援を進め、2030 年度までに設備容量ベースで 1,673 MW の導入を目指すとされている。

更新タイミングでヒートポンプ技術を選択できるようにするために、人材育成も含め、知識を広げるような取組も必要であると考えられる。ヒートポンプによる電化の難しい200℃以上の高温プロセスの加熱方法としては、アーク炉、電気炉、誘導炉などの電力による加熱、水素・合成燃料の燃焼とCCSの組み合わせが考えられるが、いずれも現状の化石燃料に比べて大幅に価格が上昇する。技術的な進展に加えて、効率の向上と低価格化が課題である。

日本では、地域によって熱需要の形態が大きく異なる一方、再生可能エネルギーをはじめとして熱源もまた多様である。さらに、熱を介した蓄エネルギー技術を採用することで地域共同体の条件に適した熱源/冷熱を獲得可能であり、蓄熱・熱輸送技術による地域単位での熱の融通、そしてヒートポンプによる熱の改質により熱源と熱需要を最大限に連結することが可能となる。

(4) 発生する熱の形態・組成の変化を想定した技術開発と熱利用の統合

排熱は輻射熱として発生するものと、ガスや液体を温めたり冷やしたりした形で発生するものとがある。後者の排熱の利用を進めるならば、「熱を持って出てくる排ガス・排液の組成」の変化に着目することが必要である。例えば、プラスチックなどの一般廃棄物への混入はリサイクルのさらなる推進により今後大幅に減っていくようにしていかなくてはならず、これが成功すると燃焼条件が変化し、排ガス温度やその組成も変わる。また、木質バイオマスの燃焼では通常の廃棄物よりも含水率が多く、排ガス中の水分も多くなる。他にも、排ガス中の二酸化炭素の濃度を上げて利用を容易にする方法の一つに、水の電気分解による水素製造時に副生する酸素を用いて酸素富化燃焼プロセスとする方法がある。この場合の排ガス組成は窒素が減り二酸化炭素や水が増えるだろう。そのような排ガスの持つ熱を廃棄される熱としないために、様々な組成を持ちその組成比も変動しうるような系を対象とする技術開発も必要である。

一方、熱と物質の両方を考慮することでも熱統合を高度化することができる場合がある。CCUSはその好例となる。排ガスからの二酸化炭素回収利用では、多くの場合、二酸化炭素を固定した後、変換に供するために、二酸化炭素を捕捉している吸収液や吸着剤に熱を供給して脱離させなくてはならない。この熱需要と二酸化炭素を含有する排ガスの持つ熱は、効率的に熱統合できる。この熱統合については、現存する発電所や大規模工場における排熱と排ガス組成の両方を考慮して、国内の大規模排出源を対象にポテンシャルを検討した研究例がある[10]。通常、炭素回収ではセメント工場や石炭火力発電所が、排ガス中の二酸化炭素濃度が高く炭素回収に有利と考えられている。しかし、燃焼プロセスをシミュレートし、排ガスの温度も考慮して一般的な炭素固定プロセスと熱統合して計算すると、むしろ水蒸気改質による水素製造やガラス製造に用いられる天然ガス燃焼炉からの排ガスの方が大きな二酸化炭素排出削減ポテンシャルを持つという結果が示されている。

熱統合の高度化方策を数多く選択肢として持ち、それを活用できる都市計画の多様なあり方を模索し、地域に根ざしたパイロット事業を通じて、高度で多様な熱統合を実現

するビジネスエコシステムを構築すべきである。このためには、日本の地域特性や技術的強みを活かしたエネルギーの地産地消について、技術的実証のみならず、事業性、必要な法制度や規制、社会の受容性、人材育成を含めた社会的実証を行うフィールドを多数設定することが重要である。こうした実証を通じて、エネルギー地産地消社会を実現し、継続的に運用・発展させるための技術、事業、制度、社会、人材の各面における条件を明らかにする必要がある。さらに、技術的成熟度だけでなく、事業性や制度・社会的受容性、人材面を含めて評価し、地域が主体となってシステムを運用・進化させ続けられる仕組みを構築することが重要である。これらの条件が整うことで、様々な発想で新たなプレイヤーが熱を用いたビジネスに参入し、素早く社会の姿を変えていくことが可能になる。

本章で述べたような、社会の仕組みを一定期間内に大幅に変えて行くためには、熱ビジョンの構築とロードマップの策定、そしてシナリオベースの議論が有用である。熱利用には、電化や燃料転換が困難な高温熱を必要とする鉄鋼、セメント、製紙等が大きな比率を占めており、これらの産業はカーボンニュートラル時代においてもエネルギー需給構造の核となる位置を占める。これらについては、水素や合成燃料等の燃焼への既存設備の活用も含めた精緻なロードマップの検討が望まれるとともに、自社内の脱炭素化に留まらず、発生する膨大な高温排熱を地域や他部門へ供給する広域的な熱融通の拠点としての役割を将来のシステム設計に組み込み、社会全体のエネルギー効率を最大化する視点が不可欠である。

熱に関しては、2050 年代には利用可能となるとも言われている[11]核融合による無尽蔵の熱生成装置が仮に 2030 年代に社会実装可能となれば、現状の生活と産業の延長線上でのカーボンニュートラル社会の実現、生態系の回復を描くことも可能となる。しかし、核融合による大量の熱エネルギーが利用可能となったとしても、本節で検討したような生産と需要の熱統合の追求は、新たな産業を創出し、持続可能なエネルギー利用社会実現への道をより確実にする道であり、その社会実装を大幅に加速することが求められる。

４．地域コミュニティと共創する熱エネルギー利用システム

前章までの技術的な熱設計の議論を踏まえ、本章ではそれらを実社会へ実装するための枠組みである地域コミュニティにおける熱利用システムに焦点を当てる。エネルギーの地産地消や地域内での熱融通を可能にする輸送技術のあり方、及び社会実装に向けた課題とレジリエンスの確保について考察する。

⑴　エネルギーの地産地消

風土や地域共同体の条件に適した多様なエネルギー源から必要なだけのエネルギーを収穫し、地域内や隣接地域と分かち合いながら利用するエネルギーの地産地消は、カーボンニュートラル社会のエネルギー利用のあり方の一つである。多様なエネルギー源として、太陽光、太陽熱や風力などの変動性再生可能エネルギー、廃棄物、バイオマス、地熱、そして産業排熱等が挙げられる。熱はあらゆるエネルギー変換から最終的に発生する一方、エネルギー最終消費形態の実に 50%以上が加熱・冷却用途である。よって、熱の有効利用技術、運用方法はエネルギーの地産地消の実現のための重要な要素である。

３章で述べたカルノーバッテリーは、VRE の安定利用だけではなく新たな再生可能エネルギー由来熱源/冷熱源の創出でもある。日本では、地域によって熱需要の形態が大きく異なる。工業と比べると小規模かつ分散した需要ながら農業(施設園芸)、養殖業、酪農業等の食糧生産を支える一次産業においても多様な熱需要が存在する。したがって、適切な蓄熱による蓄エネルギーの導入は、VRE 由来の分散型電源の安定利用だけではなく、地域共同体の条件に適した地産の熱/冷熱源の獲得につながり、地域共同体の特色、多様性を損なわない技術となりうる。また、域外から燃料を調達することによる資金の外部流出を防ぐことにつながり、地域の新たな雇用を生む。

⑵　熱を循環し分かち合う社会 ― 熱の融通から考える地産地消社会

一方、収穫、獲得した熱源の運用には、熱の融通が必要であり、熱の需要と供給の時間的、空間的なギャップを埋めるオンラインまたはオフラインの熱輸送技術が必要となる。欧州では、熱導管を用いたオンライン熱輸送による地域熱供給が社会インフラとして 100 年もの間にわたって整備され、使われてきた経緯がある。例えば、地域熱供給のパイオニア的存在であるデンマークの熱導管ネットワークは総延長 29,000km で、総人口の 60%以上が地域熱供給に接続され、使用されている[12]。近年では、70℃程度の低温水を供給媒体とした熱損失の少ない第四世代の地域熱供給システムが稼働している。この地域熱供給システムは、熱源と複数の熱需要家を結んだ熱の融通を可能とし、廃棄物/バイオマス/産業排熱/太陽熱/余剰に発生した再生可能エネルギー由来の電力など多様な熱源を取り入れることができ、かつ大型の温水蓄熱槽を備えることから再生可能エネルギーの調整力としても機能している。日本では、熱導管総延長が 672 km とそのネットワークは欧州ほど普及、発達していない。一方、新たな都市計画の立案に地域熱供給が導入されるなど都市部にはその

事例が多数あるため、熱導管の長さ当たりの熱供給量が多く、地域熱供給の線熱密度はデンマークの約 10 倍にもなり、その導入、運用効果はむしろ高いと言えよう。また、産業プラント内においては熱導管を用いた低圧水蒸気による熱輸送網が整備されており、様々なプロセスの操業に合わせた排熱回収技術及びオンライン熱輸送技術が高度に運用されている。しかし、社会的な普及に至ったとは言い難い。いずれのシステムにおいても、熱の輸送量に対して高い設備コスト及びランニングコスト（主に人件費）、その結果としての投資回収期間の長さが課題とされている。オフライン熱輸送に関する最新の研究開発[13]においても、均等化発電原価 [11]が化石燃料のコストと同等になるには設備コストの 1/3 程度の補助が必須であることが言及されている。

⑶ オフライン熱輸送

日本では、蓄熱材をトラックやローリー車に積んでバッチ輸送するオフライン熱輸送技術に関する研究開発プロジェクトが活発に行われ、セクターカップリングを熱導管の敷設無しに達成可能な技術として独自に発展してきた。オフライン熱輸送は、熱導管では輸送不可能な温度帯の熱を輸送でき、多様な温度帯の熱源、熱需要に対応可能であり、風土や地域共同体の条件に適した多様なエネルギー源から必要なだけのエネルギーを収穫し、地域内や隣接地域と分かち合いながら利用するエネルギーの地産地消の実現によく適合する。潜熱蓄熱材料（熱供給温度：約 50～120℃）、化学蓄熱材（熱供給温度：約 200～250℃）、吸着蓄熱材（熱供給温度：約 50～120℃）等を用いたオフライン熱輸送技術が検討されてきた。今までに、熱輸送の高密度化や、様々な熱源温度、熱供給温度に対応可能な蓄熱材及びシステムの開発など、性能の向上、多様化が主に志向され、それぞれ高度な技術が達成されてきた。その成果として、技術的な実証だけでなく、一部実用化に至り稼働している例もある。しかし、社会的な普及に至ったとは言い難い。いずれのシステムにおいても、熱の輸送量に対して高い設備コスト及びランニングコスト（主に人件費）、その結果としての投資回収期間の長さが課題とされている。これらの課題を解決すべくさらなる技術開発、運用方法の社会的実証が期待されている。

現在のバッチ式オフライン熱輸送は、熱源と熱需要家が１対１で対応した運用方法である。熱の地産地消のためには、域内に存在する複数の熱源と複数の熱需要家を結び、地域全体で熱を融通する運用が必要であるが、現状のオフラインシステムでは蓄熱密度と熱交換性能、運搬時の安全性などのために、特殊な熱交換器構造を持つ蓄熱槽が輸送車と一体となっているためこの実現は難しく、蓄熱材やシステムの高性能化ではなく、熱を融通する運用に適した技術開発へのシフトが必要である。熱需要サイドでの利便性を考えれば、既設の設備（例えば温水タンク）に、熱そのもの即ち蓄熱材のみを輸送、設置するのみで利用可能なシステムとなるべきである。

11 ある設備（発電所・蓄電池・水素製造設備など）が、設置から廃棄に至る過程において生み出す成果１単位あたりの平均コストを、割引現在価値でならして表した指標。

また、この熱を需要家が使いたいときに使いたい分だけ使え、取り換えたいときに取り換えられるシステムの達成が必要である。例えば灯油やプロパンガスなどはまさにこのコンセプトが既に使われており、燃焼という化学反応を伴う熱利用法であるにも関わらず、接続するだけでユーザーは使うことができる。この実現により、オフライン熱輸送システムにおいても少数の熱輸送車の運用で、複数の熱源と複数の需要家を連結できる可能性がある。また、これらに加えて、室温で蓄熱材を輸送でき、かつ任意の時間に熱を使うことのできる長期間熱貯蔵技術が確立すれば、他の社会サービスと連携した熱輸送システムの運用が可能となり、真に地域共同体の条件に適した運用が見えてくる。

改めて、日本では、地域によって熱需要の形態が大きく異なる一方、再生可能エネルギーをはじめとして熱源もまた多様である。さらに、熱を介した蓄エネルギー技術を採用することで新たな熱源/冷熱を獲得可能である。蓄熱、熱輸送技術による熱の融通により、熱源と熱需要を最大限に連結することが可能となる。図 4-1 に示すようなオンライン・オフライン熱輸送や排熱の有効利用を統合し、日本独自のエネルギーの地産地消によりカーボンニュートラル社会を実現すべく、技術的実証のみならず社会的実証のフィールドの場を多数設定すべきである。

本章並びに３章では、複数の熱源と熱需要を熱輸送によって接続し、地域内で熱を融通する熱ネットワークや熱統合の高度化が熱の電化や廃棄されている熱の有効利用を拡大させる可能性について述べた。しかし平常時のみを前提としたシステムの拡大は、大規模災害やサイバー攻撃に対する脆弱性への懸念がある。今後は、熱ネットワークや熱統合による最適化に、自律分散型熱源・蓄熱装置など非常時の供給を維持するための設備設計を組み合わせて、強靭性の高い熱利用システムとしていかなくてはならない。このような、非常時の強靭性を高める設備構築は冗長性を伴い、効率性の追求とは相反することにも留意する必要がある。

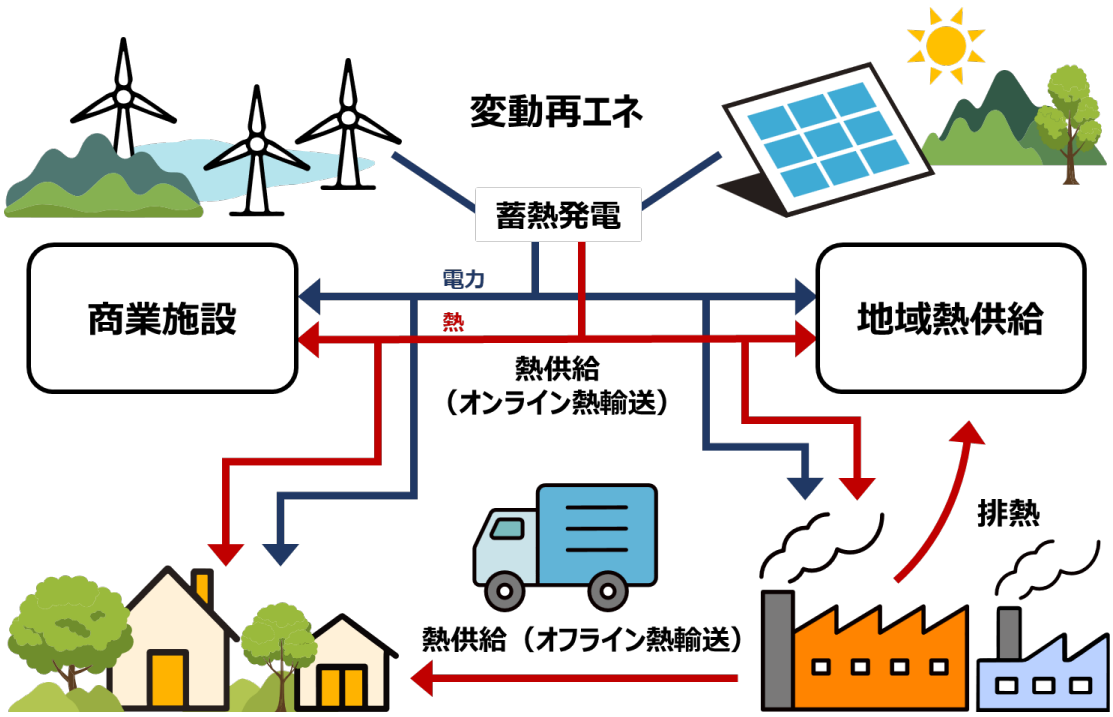


図 4-1　余剰再生可能エネルギー電力の蓄熱発電、オンライン・オフライン熱輸送、排熱有効利用統合したカーボンニュートラル社会の熱利用

（出典）各種資料を参考に小委員会で作成

５．カーボンニュートラルへの動きの加速がもたらす価値観の転換と熱エネルギー利用

２～４章では、将来の熱エネルギー利用ビジョン、産業における熱利用システム、地域コミュニティでの熱の地産地消を描き、カーボンニュートラルへ向かう時代における熱エネルギーの利用形態とそれがもたらす新たな価値について述べてきた。これらに加えて、エネルギー利用の将来は社会のあり方とも深く関連する。本章では、産業政策、金融、企業行動、市民の意識の諸点から、カーボンニュートラル時代の価値観の転換を整理し、それらが将来の熱エネルギー利用のあり方にどのような決定的インパクトをもたらすかを考察する。

(1)　脱炭素は産業政策へ

ロシアによるウクライナ侵攻とそれに続くエネルギー危機を経て、欧州では脱炭素は安定したエネルギー供給と競争力強化を実現するための革新的な政策手段という位置付けとなった[14]。気候変動の影響も顕在化する中、脱炭素は未来の人間社会を守るために必須であり、かつ各国のエネルギー自立ももたらすことができる。

中国は国策として、太陽電池、蓄電池、電気自動車など、脱炭素やエネルギー自給の鍵となる技術の大量生産・輸出を進めている。オーストラリアや中東では、太陽光発電と蓄電池のコスト低下を背景に再生可能エネルギーの導入が急速に進んでいる。ブラジルでは、豊富な水力資源に加え風力発電が増加しており、再生可能エネルギー由来の電力を活用した水素・水素派生燃料や水素還元鉄の輸出を見据えた戦略が進められている。

脱炭素が産業競争力に直結するという価値観の転換は、従来コスト削減策と見なされていた産業排熱の回収や再利用を、企業の存続を左右する戦略的投資へと変貌させるインパクトを持つ。

(2)　気候関連財務情報開示は義務化へ

気候変動が金融リスク（と機会）であるとの認識から、気候関連財務情報開示は2015年から着々と進んでおり、多くの国において、企業の法定開示（日本の場合は有価証券報告書）へ気候関連情報を含むことが義務化されつつある。自主的取組として、国際非政府組織であるCDP（旧カーボンディスクロージャープロジェクト）が作り上げた環境情報開示の仕組みは、金融安定理事会のもと、気候関連財務情報開示タスクフォース(TCFD、Task Force on Climate-related Financial Disclosures)提言によって、各国政府が義務化の取組をスタートした。2021年には、国際会計基準を策定するIFRS財団の中に「国際サステナビリティ基準審議会（ISSB、International Sustainability Standards Board）」が新設され、ISSB基準をもとに多くの国で気候関連財務情報開示の義務化が進められている[15]。日本でも、2027年を目処に段階的な開示義務化の方向にて、国内基準（サステナビリティ基準委員会：SSBJ、Sustainability Standards Board of Japan）が策定された。

このように、気候関連情報の開示が義務化されることで、熱利用の脱炭素化の進

捗が、企業の市場価値や金融機関からの資金調達能力を直接左右するという決定的なインパクトをもたらす。

⑶ TCFD/ISSB 基準の４本柱：ガバナンス・戦略・リスク管理・指標及び目標

開示が義務化などにより進むことで、気候変動に関する取組も進んでいる。TCFD/ISSB の開示項目は、温室効果ガス排出量だけではない。気候関連を扱うガバナンス、気候リスク（と機会）を考慮した上でのシナリオ分析と移行計画を含む戦略、気候変動が起こった場合の物理的リスクや、緩和のための移行リスクと財務影響の評価、最後に温室効果ガス排出量や削減目標といった建て付けである。特に移行計画とは、「何をどうすることで」削減するのかの工程表であり、削減計画のリアリティが明らかになる。これを開示することで、投資家や NGO からの対話のベースとなる。透明性によって、社会におけるステークホルダーとの対話が進むこととなる。

特に、何をどうすることで削減するかという移行計画の提示が求められることは、熱エネルギーの管理を単なる現場の省エネ活動から、経営層が責任を持って開示すべき事業継続戦略の核心へと変貌させるインパクトを持つ。

⑷ カーボンプライス：国境炭素調整措置によるゲームチェンジ

これまで単独で導入することが国際的競争力の低下につながると懸念されてきたカーボンプライス規制（炭素税や排出量制限・取引制度）について、欧州が国境炭素調整措置（CBAM、Carbon Border Adjustment Mechanism）の導入を進め、多くの国が類似の仕組み導入を検討開始していることで、位置付けが逆転した。国境炭素調整措置とは、欧州等の導入国・地域と同等のカーボンプライスが課されていない国からの輸入に対する関税をかけるものである。その場合、関税収入は措置導入国の収入となることから、同等のカーボンプライスがない国は導入国での価格上昇による販売減少だけではなく、税収機会も失うことになる。

日本でも、2026 年度から排出量制限・取引制度がスタートする。従来の認識では、カーボンプライスの水準は低い方が競争力につながったが、現在はカーボンプライスが十分高くないと企業の脱炭素投資判断につながらない。上限価格や削減率の設定次第では、脱炭素による経済競争が熾烈になっている世界において、十分な競争優位を保つための投資判断につながらないことも懸念される。

カーボンプライスという前提への転換は、これまで経済的に成立しなかった大規模な蓄熱システムやオフライン熱輸送の投資回収期間を大幅に短縮し、社会実装を加速させる。

⑸ 市民団体/独立系シンクタンクの役割の拡大

脱炭素の分野では、市民団体（非政府組織）や独立系シンクタンクの存在感が増している。前述の TCFD は、非政府組織の CDP(旧カーボンディスクロージャープロ

ジェクト)が基盤を築いた。企業の目標がパリ協定と整合しているかを審査する「科学に基づく目標設定イニシアチブ（SBTi、Science Based Targets initiative）」に参加する企業は、2024 年末時点で１万社を超え、世界の時価総額の 41%に達している。前述の ISSB や日本国内基準である SSBJ において、企業の温室効果ガス算定報告ルールとして参照されている「GHG プロトコル」は、米国独立系シンクタンクである「世界資源研究所（WRI、World Resources Institute）」が主導している。

市民団体や独立系シンクタンクは、特定産業への忖度の必要がない、市民を代表する専門的知見を持つ第三者として信頼されており、脱炭素社会への移行において重要な役割を果たす存在として位置付けられている。

科学的根拠に基づく目標設定の普及は、自社内だけでなくサプライチェーン全体の熱利用効率化を促し、中小企業を含む製造業全体の熱マネジメント高度化を強制的に進めるインパクトがある。

(6) 高温熱を含む「難脱炭素化(Hard to abate)」セクターの脱炭素化におけるダイナミズム

電化が難しい「難脱炭素化」セクターとして、鉄鋼、セメント、化学、長距離輸送分野が挙げられる。生産方式を根本から変える必要があるこれらの分野では、いわゆる「chicken and egg（鶏が先か卵が先か）」問題となっている。つまり、需要がないと投資ができないし、投資をしないと需要は満たせない。

前述の SBTi は、企業のネットゼロ基準の大幅改定を行い企業ネットゼロ基準 2.0 を 2026 年６月に公表した。2027 年には改定版の運用がスタートする。新基準では、低炭素鉄・セメントなどの需要喚起となる、バリューチェーン排出量（スコープ３）についてのマスバランスや持続可能な航空燃料（SAF、Sustainable Aviation Fuel）証書の調達について、目標やその実践として認めているものとなった[16][17]。

一方で、GHG プロトコルは義務開示での活用といった役割の変化を受けて大幅改定を行なっている。調達した電力等に関わる排出量（スコープ２）としては、排出係数や証書は１時間ごとにマッチングする必要があるなど、厳格化する方向での改定案が出されている。非化石証書についても、固定価格買取制度（FIT、Feed-in Tariff）などによってすでに広く支援を受けている電源からのものは、再生可能エネルギー消費主張にはこれまでのように使えなくなるというルールも提案されている[18][19]。SBTi においても、このルールが定まれば従う方向性が出されている。

鉄鋼生産など、脱炭素化技術がまだ十分成熟していない産業では投資を促すためのルールができてきている一方で、すでに太陽光や風力などの脱炭素技術が世界的には低コストとなった発電部門では、その効果をより高めるための要件の厳格化が行われているとも読める。

日本では、発電部門についても、再生可能エネルギーのコストを下げる政策である FIT の効果を打ち消す化石燃料ベースの発電への支援が続いている[20]。接続コストは他国と比べて大幅に高い[21]が、これは制度の工夫によって多くの国で解決

策の進化が続いている分野である。また、鉄鋼、セメント、運輸など熱需要の電化が難しい「難脱炭素化（Hard to abate）」セクターに対しては、日本が次世代エネルギー源として重視してきた水素・アンモニア利用に加えて、CCS を推進することで大きな進展が可能である。ただし、水素・アンモニアや合成燃料のコスト削減や供給網整備には大きな不確実性が伴うため、特定の技術に過度に期待するのではなく、技術開発の進展や国際情勢の変化に応じた代替導入シナリオと、それを柔軟に評価する基軸が必要である。鉄鋼生産の大幅な脱炭素化や合成燃料には安価なグリーン水素が不可欠であるし、そのためには再生可能エネルギー導入の加速が競争優位をもたらす。メガソーラー抜きでも太陽光の導入ポテンシャルは日本の電力需要全体の 1.5〜2.3 倍あり、洋上風力だけでも８〜９倍ある[22]。再生可能エネルギーこそが競争力をもたらす時代は、熱分野の脱炭素化へと焦点が移るにつれ、より明らかになる。

総じて、これらの価値基準の転換は、熱エネルギー利用をコスト削減の手段から、カーボンニュートラル時代における企業の生存と競争力の源泉へと再定義する重大な社会的インパクトをもたらすものである。化石燃料への支援策を見直し、再生可能エネルギー接続コストを下げ、地域共生のルールを導入し、意味のあるカーボンプライスを導入することが、これからの日本企業の競争力の源泉になるであろう。

６．見解

見解１　将来の熱エネルギー利用社会についてのビジョンを共有する

本見解が掲げる将来像は、「適温適所熱利用とセクター間連携による、無駄のない熱循環社会の実現」である。これは、経済成長の多寡ではなく、充足性やウェルビーイングを価値基準として熱を分かち合う社会の姿である。

この熱エネルギー利用社会では、必要以上の高・低温熱を使わない「適温適所熱利用」や、産業と民生の熱システム統合により、二酸化炭素排出削減と地域コストの低減の両立という新たな社会的価値を創出することが可能になる。また、人口減少社会に適応した分散型熱供給システムの構築により、災害時等の供給途絶リスクを低減し、地域のレジリエンスを高めることができる。

その実現に向けては、効率や経済性のみを追うのではなく、生活の質や充足性でエネルギー利用を評価する価値観への社会全体の転換が必要である。また、高度な熱エネルギー利用を想定していない現行の規制や法制度を、カーボンニュートラル時代の実態に合わせて改正・最適化していくことが不可欠である。

見解２　カーボンニュートラル社会のものづくり・消費を想定した熱利用システムを設計する

カーボンニュートラル時代の生産と消費のプロセスにおいては、現在廃棄されている低温排熱をリサイクルやバイオマスの乾燥工程に有効利用できる大きな可能性がある。例えば、変動性再生可能エネルギーの余剰電力を熱として蓄える蓄熱発電は、電力系統の安定化と熱供給を両立させる可能性を秘めており、日本が強みを持つヒートポンプ技術を200℃程度の領域まで拡張・普及させることは、産業部門の脱炭素化を加速し、新たな産業競争力の創出につながる。

蓄熱発電などの新技術の社会実装に向けては、国内における実証データの蓄積や、技術的・経済的な成立性についての客観的かつ詳細な評価を進めることが不可欠である。大型ヒートポンプの導入拡大に向けては、量産効果を得るための仕様の標準化やモジュール化を推進すると同時に、設備の更新タイミングで適切な技術選択ができるよう、専門知識を持つ人材の育成や導入支援策を強化していくことが必要である。

見解３　地域コミュニティと共創する熱エネルギー利用システムの社会実装を推進する

熱の「地産地消」は、遠隔地への輸送が困難な熱エネルギーの特性に適しており、今後増加する地方の縮小共同体においてエネルギー自立を支える有効な解決策となり得る。地域独自の多様な熱源と需要をオフライン熱輸送などの柔軟な技術で結ぶことで、莫大なインフラ投資を伴わずに部門間連携を実現し、地域内での資金循環や新たな雇用を創出することが期待できる。

社会実装の推進にあたっては、熱輸送に関わる高い設備コストや運用に伴う人件費などの高コスト構造をいかに克服するかが大きな課題となる。単なる技術の成熟度の追求に留まらず、事業性、法制度、社会受容性といった多角的な視点から社会的実証の場を多数設

定し、地域が主体となって熱利用システムを運用・進化させ続けられる土台を構築することが重要である。

見解４　カーボンニュートラルへの動きの加速がもたらす価値観の転換を背景に一層の熱エネルギー利用拡大を図る

現在、世界的に気候関連財務情報の開示義務化が進み、脱炭素への取組が企業の市場価値や資金調達能力を左右する時代を迎えている。この価値基準の転換を背景に、熱エネルギーの有効利用を、単なるコスト削減から企業の生存と競争力の源泉へと再定義することで、これまで投資判断が難しかった大規模蓄熱や熱融通への資金流入を加速させ、産業全体の脱炭素化を加速することが期待できる。

この可能性を確実なものにするためには、化石燃料への支援策の見直しや再生可能エネルギー接続コストの低減、さらには実効性のあるカーボンプライスの導入といった、脱炭素投資を正当化するための抜本的な制度改革が急務である。あわせて、科学的根拠に基づいた透明性の高い移行計画を提示し、サプライチェーン全体で熱マネジメントの高度化を促すような、実効性のある検証・評価の枠組みを整備していく必要がある。

＜参考文献＞

[1] 中田俊彦、「グリーン電力を主体とする地域エネルギーシステムのデザイン」、機械学会誌、126 巻 1251 号、30-32、2023 年

[2] European Commission, 2016, An EU Strategy on Heating and Cooling, https://edz.bib.uni-mannheim.de/edz/doku/wsa/2016/ces-2016-2835-en.pdf

[3] Gov.UK Department of Energy &Climate Change, The Future of Heating: A strategic framework for low carbon heat in the UK, https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a797b34e5274a3864fd761b/4805-future-heating-strategic-framework.pdf (2012)

[4] Gov.UK Department of Energy &Climate Change, The Future of Heating: Meeting the challenge, https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a7ae926e5274a34770e7fc6/16_04-DECC-The_Future_of_Heating_Accessible-10.pdf (2013)

[5] Demaria, F. et al., What is Degrowth? From an Activist Slogan to a Social Movement, Environmental Values, 2013, Vol. 22, No. 2, 191-215

[6] Hickel, J. and Kallis, G., Is Green Growth Possible?, New Political Economy, 2020, Vol. 25, No. 4, 469-486

[7] Cabeza, L. F. Et al., 2022: Buildings. In IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, S. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.

[8] 小谷将之、土屋依子、朝日ちさと、山腰司、「インフラ・公共サービスの効率的な地域管理に関する研究 」国土交通政策研究第 159 号、2021 年 https://www.mlit.go.jp/pri/houkoku/gaiyou/kkk159.html

[9] 甲斐田武延、「産業用ヒートポンプの社会実装強化に向けた考察―技術開発から技術展開へ」、電力中央研究所、2023 年

[10] Yagihara, K., et al. Analyzing flue gas properties emitted from power and industrial sectors toward heat-integrated carbon capture, Energy, Vol. 250, 123775, (2022)

[11] 岡野邦彦、「核融合開発を前倒しするための一考察」、NPO 法人 国際環境経済研究所 https://ieei.or.jp/2022/07/expl220711/

[12] 「第 4 世代地域熱供給：資料編」、認定 NPO 法人環境エネルギー政策研究所、2019 年 7 月 https://www.isep.or.jp/wp/wp-content/uploads/2019/07/c2c7445ed42dfa82e0509acc72b69451.pdf

[13] 研究代表者：藤井祥万、環境研究総合推進費　終了研究成果報告書「廃棄物処理にお

ける未利用熱を近隣産業で回生する蓄熱輸送技術の出熱過程実証」事業期間：令和３（2021）年度～令和５（2023）年度
https://www.erca.go.jp/suishinhi/seika/db/pdf/end_houkoku/3RF-2101.pdf
[14] 後藤恵陸、「脱炭素を軸とした競争力戦略の展開　欧州の産業政策の方向と GX 政策への示唆」、2025 年７月
https://www.renewable-ei.org/activities/reports/20250709.php
[15] IFRS, “Use of IFRS Sustainability Disclosure Standards by jurisdiction”
https://www.ifrs.org/ifrs-sustainability-disclosure-standards-around-the-world/use-by-jurisdiction/ (2025)
[16] 高瀬香絵、「SBTi の新しい企業ネットゼロ基準スコープ 3 算定を超え、脱炭素が事業価値になる世界へ」、2026 年
[17] SBTi, “The new Corporate Net-Zero Standard Version 2.0”(June, 2026)
[18] 高瀬香絵、「GHG プロトコルスコープ 2」、2025 年
https://www.renewable-ei.org/activities/column/REupdate/20251001.php
[19] GHG Protocol, “Public Consultation - Scope 2” (October,2025)
https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2025-10/GHG-Protocol-Scope2-Public-Consultation.pdf
[20] 高瀬香絵、「物価高に強い日本経済をつくるには」、2025 年
https://www.renewable-ei.org/activities/column/REupdate/20251104.php
[21] IRENA, “Renewable Power Generation Costs in 2024” (2025)
https://www.irena.org/Publications/2025/Jun/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2024
[22] IEA, “Offshore Wind Outlook 2019” (2019)
https://www.iea.org/reports/offshore-wind-outlook-2019

＜参考資料1＞審議経過

2024年

7月30日　カーボンニュートラル実現に向けた熱エネルギー利用小委員会（第１回）
役員の選出、今後の進め方について

10月１日　カーボンニュートラル実現に向けた熱エネルギー利用小委員会（第２回）
意思の表出について

12月12日　カーボンニュートラル実現に向けた熱エネルギー利用小委員会（第３回）
意思の表出について

2025年

２月26日　総合工学委員会エネルギーと科学技術に関する分科会（第26期・第４回）
意思の表出の申出書について

４月21日　カーボンニュートラル実現に向けた熱エネルギー利用小委員会（第４回）
意思の表出について、シンポジウム企画について

５月９日～19日　総合工学委員会エネルギーと科学技術に関する分科会（第26期・第５回）メール審議
シンポジウム企画案の承認について

６月27日　カーボンニュートラル実現に向けた熱エネルギー利用小委員会（第５回）
意思の表出について、シンポジウム企画について

８月４日　意思の表出についての意見交換会

８月７日　長野県の地域主導型自然エネルギー推進について、長野県ゼロカーボン推進課長・平林高広氏にヒアリング

８月20日　総合工学委員会エネルギーと科学技術に関する分科会（第26期・第８回）
意思の表出について

９月 11 日　静岡県の地下水熱利用について、静岡県環境衛生科学研究所班長・神谷貴文氏にヒアリング

12月１日　総合工学委員会エネルギーと科学技術に関する分科会（第26期・第９回）・カーボンニュートラル実現に向けた熱エネルギー利用小委員会（第６回）合同会議
意思の表出について

＜参考資料２＞シンポジウム開催報告

「カーボンニュートラル時代の熱エネルギー －革新議論と社会実装－」

１．シンポジウム概要
日時：2023 年５月 12 日（金）
場所：日本学術会議講堂
主催：エネルギーと科学技術に関する分科会、触媒化学・化学工学分科会、環境科学・環境工学分科会
共催：公益社団法人化学工学会
参加人数：476 名（現地参加者 47 名、オンライン参加者 429 名）

２．講演
(1) 能村貴宏氏（北海道大学）
「相変化材料の開発と広義のサーマルマネージメント技術への展開」
(2) 村上陽一氏（東京工業大学）
「共有結合性有機骨格への相変化材の導入とその特性 ― 新規な蓄熱材開発を目指して」
(3) 則永行庸氏（名古屋大学）
「冷熱を利用する大気中 CO2 直接回収プロセスの研究開発」
(4) 甲斐田武延氏（電力中央研究所）
「産業分野の脱炭素化に資する高温ヒートポンプ」
(5) 花村克悟氏（東京工業大学）
「断熱/放熱およびふく射輸送制御」
(6) 近藤良夫氏（日本ガイシ）
「波長選択ふく射加熱炉」

３．総合討論
司会：藤岡惠子（日本学術会議連携会員(特任)、株式会社ファンクショナル・フルイッド）
総合討論に向けた話題提供：高瀬香絵（自然エネルギー財団）
「熱も含めた早期のネットゼロに向けた競争が始まっている」
パネリスト：能村貴宏、村上陽一、則永行庸、甲斐田武延、花村克悟、近藤良夫、高瀬香絵

「カーボンニュートラルに向けた熱エネルギー分野の展望」

１．シンポジウム概要

日時：2025 年 12 月 1 日（月）

場所：日本学術会議講堂

主催：エネルギーと科学技術に関する分科会、触媒化学・化学工学分科会、環境科学・環境工学分科会 、循環経済を活かし自然再興と調和する炭素中立社会への移行に関する検討委員会

共催：公益社団法人化学工学会

参加人数：371 名（現地参加者 74 名、オンライン参加者 297 名）

２．講演

(1) 中垣隆雄氏（早稲田大学）

「カーボンニュートラル時代に向けた部門間の熱バリューチェーンの提案」

(2) 岩城智香子（東芝総合研究所）

「岩石蓄熱およびエネルギーマネジメント技術を用いたプラント実証試験」

(3) 神谷貴文（静岡県環境衛生科学研究所班長）

「静岡県における地下水熱利用の普及に向けた取組」

(4) 藤井実（国立研究開発法人国立環境研究所社会システム領域システムイノベーション研究室室長）

「廃棄物の特性に合わせた焼却熱の効率的な産業利用」

(5) 佐土原聡（横浜国立大学名誉教授／学長特任補佐）「地域エネルギーシステムの基盤となる地域冷暖房の変遷と現状、今後の展望」

３．総合討論

司会：藤岡惠子（日本学術会議連携会員(特任)、株式会社ファンクショナル・フルイッド）

総合討論に向けた話題提供：木村誠一郎（一般社団法人離島エネルギー研究所代表理事）

「総合討論における論点の提示～熱エネルギーのコモディティ化の可能性～」

パネリスト：中垣隆雄、岩城智香子、神谷貴文、藤井実、佐土原聡、木村誠一郎

見　　解

終末期・人生の最終段階における延命治療の差し控え・中止および安楽死をめぐる倫理と法制化―現状と課題―

令和８年（２０２６年）９月 28 日

日　本　学　術　会　議
哲学委員会
現代における「いのち」を考える分科会

この見解は、日本学術会議哲学委員会現代における「いのち」を考える分科会の審議結果を取りまとめ公表するものである。

日本学術会議哲学委員会
現代における「いのち」を考える分科会

委員長	土井　健司	（連携会員）	関西学院大学副学長・神学部教授
副委員長	香川　知晶	（連携会員）	山梨大学名誉教授・同大学大学院医学研究員
幹　事	川端　美季	（連携会員）	徳島大学大学院社会産業理工学研究部・准教授
	吉水　千鶴子	（第一部会員）	公益財団法人東洋文庫研究部研究員／筑波大学人文社会系名誉教授
	斯波　真理子	（第二部会員）	大阪医科薬科大学循環器センター特務教授
	西村　ユミ	（第二部会員）	東京都立大学副学長
	安藤　泰至	（連携会員）	鳥取大学医学部プロジェクト研究員
	一ノ瀬　正樹	（連携会員）	東京大学名誉教授／武蔵野大学教授
	加藤　泰史	（連携会員）	椙山女学園大学外国部学部教授
	木村　勝彦	（連携会員）	長崎国際大学副学長・教授
	小島　優子	（連携会員）	国立看護大学校看護学部教授
	島薗　進	（連携会員）	上智大学グリーフケア研究所客員所員／大正大学客員教授／東京大学名誉教授
	鈴木　隆泰	（連携会員）	山口県立大学国際文化学部教授
	田坂　さつき	（連携会員）	立正大学文学部哲学科教授・大学院文学研究科哲学専攻教授
	建石　真公子	（連携会員）	法政大学名誉教授
	豊田　光世	（連携会員）	新潟大学佐渡自然共生科学センター教授
	有馬　斉	（連携会員（特任））	横浜市立大学大学院都市社会文化研究科教授
	本田　まり	（連携会員（特任））	芝浦工業大学工学部教授

本見解の作成に当たり、以下の職員が事務を担当した。

事務	郷家　康徳	参事官（審議第一担当）
	加瀬　博一	参事官（審議第一担当）付参事官補佐
	東松　敬宏	参事官（審議第一担当）付審議専門職

要　　旨

１　作成の背景

日本では、終末期医療（とりわけ延命治療の差し控え・中止）については、2006 年報道の射水市民病院事件等をきっかけとして翌 2007 年に出された厚生労働省「終末期医療の決定プロセスに関するガイドライン」を始め、ガイドラインによる対応が図られてきた。しかし、2021 年に「尊厳死法案」成立を目指す超党派の議員連盟が活動再開を宣言し、さらに 2025 年の参議院議員選挙時には幾つかの政党が「尊厳死」の法制化を政策として掲げるなど、近年、終末期医療についてガイドラインではなく立法による対応を図ろうとする動きが顕在化してきている。本分科会では、こうした動向を受けて、「終末期医療のあり方について－亜急性型の終末期について－」（2008 年日本学術会議「臨床医学委員会終末期医療分科会」対外報告）を参考とし、法制化に関わる問題やガイドラインの現状を多角的に検討し、特に法制化の是非の問題を中心に本分科会の見解を提示することとした。

２　現状および問題点

終末期医療における延命治療の差し控え・中止については、ガイドラインによる対応が継続されてきた。2007 年の厚生労働省ガイドラインは改訂を重ね、2018 年に「人生の最終段階における医療・ケアの決定プロセスに関するガイドライン」に至っているほか、2014 年に「救急・集中治療における終末期医療に関するガイドライン～３学会からの提言～」を出した日本集中治療医学会・日本救急医学会・日本循環器学会の３学会は現在、日本緩和医療学会を加えた４学会によるガイドラインを策定中である。しかし、近年、こうしたガイドラインによる対応に代えて、いわゆる「尊厳死」の法制化を目指す動きが顕在化してきている。さらには、「安楽死」についても、海外渡航して安楽死・自殺幇助を実施した例などがマスコミ等で好意的に報道され、これを容認しようとする空気も出てきている。そこで、本分科会はいわゆる「尊厳死」のみならず、「安楽死」も視野に収め、諸外国における法制化の現状を確認し、関連する概念を倫理的に分析するとともに、国内における現行ガイドラインの問題点と法制化の是非を検討した。

３　見解の内容

本文では、本見解の作成に至った背景を確認する「１．はじめに」に続いて、３章にわたって、諸外国における法制化の現状の確認、関連する概念の倫理的分析、国内における現行ガイドラインの問題点の検討を行い、最後に「５．おわりに」として、「三つの見解」を提示した。

(1)　諸外国における安楽死、延命治療の差し控え・中止に関する法制化および社会政策の動向と問題

諸外国における安楽死に関する法制化の状況と問題点を確認するために、2001 年に安楽死を認めたオランダを含むベネルクス三国、スイス、ドイツ、アメリカ、オーストラリア、イギリス、フランス、カナダの動向を概観した。それらの国の少なくとも一部では、安楽死実施件数が漸増の傾向にあり、また許容される安楽死の対象者も、国連の障害者権利委員会の報告書が警告を発しているように、終末期の患者から障害者、認知症患者、精神疾患患者、難病患者へと拡大する傾向があることが指摘できる。また、諸外国の動向の概観によって「安楽死」、「尊厳死」の概念それぞれの意味するものが必ずしも同じではなく、多義的であり、問題を考える際に用いる用語の重要性も確認できる。

(2)　安楽死、延命治療の中止等に関わる倫理的考察

安楽死・自殺幇助、延命治療の差し控え・中止、緩和的鎮静・鎮痛といった医療行為を概観し、積極的安楽死、消極的安楽死、間接的安楽死、尊厳死といった概念を整理し、それを踏まえて問題となる医療行為について主に患者の苦痛と自己決定を理由とする肯定論とそれに対する反対論に分けて検討した。その結果、まず問題の検討のためには多義的で予断を生むおそれの高い「尊厳死」といった言葉を避け、例えば「オピオイドの投与が患者の死を早めるケース」といった、行為の実態をそのまま記述する用語の使用を提案する。また医師による安楽死と自殺幇助については、社会的弱者へのリスクや医療行為としての問題性のほか、生命短縮の作為性と意図性の問題点を考えるならば、法制化すべきではない。

(3)　ガイドラインと法制化の是非

法制化せず現状維持が望ましいとは言え、現状のガイドラインによる対応にも倫理的問題がないわけではない。そこで現在の日本における医療・介護の現場に大きな影響力を及ぼしている 2018 年の「人生の最終段階における医療・ケアの決定プロセスに関するガイドライン」を、医療・ケアの現場から見た問題点を中心に検討し、今後の改訂時の参考となるよう考察を重ねた。その結果、意思決定プロセスに関わる本人・家族等についても、また対応する医療・ケアチームについても、さらには意思決定システム自体や対象となる疾患等についても、不明確さが残っていることが確認された。当然のことながら、ガイドラインだけでは個別の事例への十分な対応は不可能である。そのことを考えれば、少なくとも医療・ケアの現場から見れば、法制化は柔軟な対応に結び付かないどころか、過度に拘束するものになる可能性が高い。

(4)　三つの見解

以上、「尊厳死」だけではなく「安楽死」まで視野に収めて、諸外国における法制化の現状の確認、関連する概念の倫理的分析、現行ガイドラインの問題点と法制化の是非の検討を行い、そのまとめとして、本分科会は次の三つの見解を提示する。なおここでの考察は、国会議員、厚生労働省および医療・ケア従事者、医学系学会のみならず、より広い人々に向けて作成されたものである。

①問題に関連する一連の用語については、曖昧な表現を避け、意味を明確に限定できるものに整理すべきである。特に多義的で予断を生む恐れのある「尊厳死」という言葉は避けるべきであり、また「消極的安楽死」「間接的安楽死」といった言葉も使用を避けるべきである。

②医療者による安楽死・自殺幇助については、様々な倫理的理由や法制化の結果として対象者の拡大が生じている海外の現状を考慮すれば、容認することはできない。

③延命治療の差し控え・中止については、いわゆる「尊厳死」を法制化すべきではない。課題を克服するために必要なのは、医療やケアを受ける本人・家族や現場の医療者・介護従事者が柔軟で適切な個別的対応を実現するための支援である。

目　　次

１　はじめに 1
２　延命治療の差し控え・中止と安楽死をめぐる法制化に関する国内外の動向 3
３　延命治療の差し控え・中止、安楽死等に関わる倫理的考察 8
(1)　行為の概要 8
①　積極的安楽死と自殺幇助 8
②　生命維持に有効な延命治療の差し控え・中止 9
③　緩和的鎮静・鎮痛 10
(2)　概念の整理 11
①　積極的安楽死、消極的安楽死、間接的安楽死 11
②　尊厳死 12
(3)　肯定論と否定論 13
①　肯定論－患者の苦痛と自己決定 13
②　否定論－生命の価値、社会的弱者へのリスク 13
(4)　倫理的評価 16
①　延命治療の差し控え・中止、緩和的鎮静・鎮痛 16
②　積極的安楽死と自殺幇助に特有の問題 16
(5)　倫理的考察のまとめ 18
４　延命治療の差し控え・中止をガイドラインで規制している現状における課題 19
(1)　人生の最終段階における医療・ケアの決定プロセスに関するガイドライン（改訂）（2018 年） 19
①　ガイドライン（１）―① 20
②　ガイドライン（１）―② 21
③　ガイドライン（１）―③、④ 22
④　その他の論点とガイドライン（２）の「決定手続」 22
(2)　現状のガイドラインの課題と法制化の是非 23
５　おわりに―三つの見解 25
〈参考資料〉審議経過 26

１　はじめに

人の生命には極めて大きな価値がある。医学・医療においても、「生命を守り、それを維持する」ことがその営みの基本であるということを否定する人はいないだろう。

しかし、いかに医学が進歩したとしても、そこには限界があり、延命や生命維持のみを至上の目的とするような医療がとりわけ終末期における患者に利益をもたらさないばかりか、かえってその苦悩を引き延ばしてしまうことについては、二十世紀の後半から徐々に認識されるようになってきた。そのようなことを避けるべく、一定の条件の下で、患者本人の要望に基づいて自然な死を迎えさせるような医療的対処、すなわち延命や生命維持に役立つ治療を差し控えたり、中止したりするという行為が容認されるようになってきた（日本ではこうした行為について「尊厳死」という語が用いられることが多いが、これは後述するように不適切であり、本見解においては「延命治療の差し控え・中止」という語を用いる）。

次章で述べるように、日本では延命治療の差し控え・中止の部分的容認は、法律の形ではなく、主としてガイドラインに基づいて行われてきた。しかし、超党派の議員連盟が、延命治療を拒否する患者の権利を法的に確立することを目指して活動したり、近年では、選挙公約に高齢者医療費の問題と関連させて終末期医療の制限を明示する政党が現れたりするなど、延命治療の差し控え・中止の法制化を求める動きも続いている。

他方、海外では延命治療の差し控え・中止の法制化にとどまらず、更に進んで、安楽死を合法化する国や地域が増えてきている。ここでの安楽死とは、主に終末期の病等に起因する苦痛から患者を解放するために患者を死に至らせることが確実な種類と量の薬物を与える行為である（本見解においては、積極的安楽死と医師による自殺幇助をまとめて安楽死と表記する。両者の違いについては３章で述べる）。安楽死については、日本では法制化されておらず、判例により要件が示され、その一部が満たされていないとして有罪判決が下された（殺人罪、東海大学安楽死事件）[1]。京都の ALS 患者から依頼を受けて殺害した医師２人の事件でも、最高裁の決定により、実刑判決が確定した（嘱託殺人罪、京都 ALS 患者嘱託殺人事件）[2]。しかし近年、海外に渡って自殺を幇助される日本人を追ったドキュメンタリー番組などが何度も放映されるにつれ、法制化を真剣に議論すべきだと主張する人々が日本でも徐々に増えてきているものの、安楽死をめぐっては、これまで日本では公共的な議論が十分にされてきたとは言えない。

気管内チューブを抜く行為（抜管）が法律上許容される治療中止に当たるか

〔Web サイトはすべて、2026 年９月 26 日時点のもの〕

[1] 横浜地判平成７年３月 28 日判時 1530 号 28 頁

[2] 最決令和７年６月 10 日、最決令和７年７月７日

否かが争われた事件では、治療中止に関する一般的な要件は示されていない。最高裁は、抜管は家族からの要請に基づき行われたが、その要請は適切な情報が伝えられた上でなされたものではなく、抜管が被害者の推定的意思に基づくともいえない、と判断した（殺人罪、川崎協同病院事件）[3]。

本見解では、安楽死および延命治療の差し控え・中止について、まず、日本と諸外国の現状を確認する。その上で、これらの行為について倫理的検討を行い、従来のガイドラインによる対応のあり方とその問題点を指摘し、延命治療の差し控え・中止の法制化や安楽死合法化についての要点を提示する。

日本学術会議では、1994 年５月 26 日に「死と医療特別委員会」が「死と医療特別委員会報告－尊厳死について－[4]」を発出し、一定の条件下で延命医療の中止という意味での「尊厳死」を認めている。この報告では「実際に〔延命治療の〕中止が問題になるようなケースは様々であり、中止すべき場合を立法によって解決しようとすれば、どうしても包括的にならざるをえなくなって濫用の危険を招くか、逆に要件が厳格になりすぎて柔軟な対応ができなくなるおそれがある」と指摘されている。さらに 2008 年２月 14 日には日本学術会議「臨床医学委員会終末期医療分科会」が対外報告として「終末期医療のあり方について－亜急性型の終末期について－[5]」を発出した。この報告では「延命医療の中止の条件を定めることよりも、わが国の亜急性型終末期医療全般の質の向上、格差の是正を強く求めることこそ重要であり」、これが「本来の終末期医療のあるべき姿」と述べられている。いずれも発出はかなり以前のものであるが、本分科会の見解は、そこに示されている基本姿勢、特に「延命医療の中止の条件を定めることよりも、わが国の亜急性型終末期医療全般の質の向上、格差の是正を強く求めることこそ重要であり」、これが「本来の終末期医療のあるべき姿」であるとの姿勢を受け継ぐものである。

[3] 最決平成 21 年 12 月 7 日刑集 63 巻 11 号 1899 頁
[4] 日本学術会議「死と医療特別委員会報告－尊厳死について－」平成６年５月２６日、https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/13/15-41.pdf
[5] 日本学術会議 臨床医学委員会終末期医療分科会 対外報告「終末期医療のあり方について－亜急性型の終末期について－」平成 20 年（2008 年）２月 14 日、https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-20-t51-2.pdf

２　延命治療の差し控え・中止と安楽死をめぐる法制化に関する国内外の動向

日本では、終末期の医療とケアのあり方に関しては、特に法制化することなく、国や学会等がガイドラインを作ることで対応してきた。医師が書類送検された射水市民病院事件（2006 年報道）等をきっかけに、厚生労働省（以下、「厚労省」という）が 2007 年に出したガイドラインは、延命治療の差し控え・中止が容認できるための条件を示した。2018 年にはこのガイドラインの改訂版である「人生の最終段階における医療・ケアの決定プロセスに関するガイドライン [6]」が出ている。

医学系諸学会も独自にガイドラインを策定してきた。2014 年には、日本集中治療医学会・日本救急医学会・日本循環器学会の３学会が「救急・集中治療における終末期医療に関するガイドライン～３学会からの提言～」を出している。安楽死は非として除きつつも、やはり延命治療の差し控え・中止については一部容認する内容である。2024 年からは、日本緩和医療学会を加えた４学会によるガイドラインの策定に向けた検討が行われつつある。

海外では、実際に延命治療の差し控え・中止に関して法制化のなされている国や地域もある。これらの国や地域では、患者が文書で意向を明らかにしていれば、生命維持に必要な治療であっても、その意向に従って差し控え・中止することが容認できるとする趣旨の法律が作られた。欧州と北米の他、韓国、台湾、シンガポールなど、アジア圏にもそのような法律を有している国や地域がある。

安楽死の合法化は世界全体から見ると必ずしも主流と言えないものの、欧米諸国などで徐々に広がっていることも確認できる。そこで以下では、安楽死合法化について、ベネルクス三国、スイス、ドイツ、アメリカ、オーストラリア、イギリス、フランスおよびカナダの動向、並びにそこで起こっている問題等を概観しておきたい（これらの記述は、2026 年９月 26 日時点の状況に基づく）。

安楽死を合法化している国としてよく知られてきたのは、ベネルクス三国である。

オランダでは、「生命終結および自殺幇助審査法（安楽死法）」が 2001 年４月に可決され、2002 年４月から施行されている。ベルギーでは、2002 年に「安楽死に関する法律（安楽死法）」、「緩和ケアに関する法律および患者の権利に関する法律（患者の権利法）」が成立した。ルクセンブルクでは、オランダおよびベルギーの状況が検討され、2009 年に「緩和ケア、事前指示および終末期の付添いに関する法律（緩和ケア法）」並びに「安楽死および自殺幇助に関する法律（安楽死法）」が成立した。

これらベネルクス三国では安楽死の実施数が漸増傾向にあり、安楽死が一定

[6] 厚生労働省「人生の最終段階における医療・ケアの決定プロセスに関するガイドライン」改訂　平成 30 年３月、https://www.mhlw.go.jp/file/04-Houdouhappyou-10802000-Iseikyoku-Shidouka/0000197701.pdf

程度社会的に受容されていると見ることもできる。しかし、法律の施行期間が長期間にわたるにつれて問題が出てきていることにも注意が必要である。オランダでは、進行した重度の認知症患者が事前の意思に反して拒否の態度をとっているにもかかわらず、家族が押さえつけて安楽死を実施した事例が確認されている。ベルギーでは、安楽死の要件として「肉体的または精神的苦痛」と規定されており、対象が障害者や精神疾患患者へと広がる懸念は既に現実化している。さらに、慢性的なうつ病患者の女性への安楽死が問題となったモルティエ事件において、欧州人権裁判所は、監督委員会の独立性が欠如していること等を理由として、欧州人権条約２条違反とする判決を下した（2022 年 10 月）。

スイスでは、積極的安楽死（当国の表現に従えば「安楽死（要請による殺害)」）は処罰の対象となり、利己的な動機により他者に自殺を教唆するか幇助した者は、既遂・未遂を問わず処罰される。しかし、自殺を幇助する側が利益を得ない場合は自殺幇助が認められる。幇助者は医師である必要はなく、刑法上は対象者の居住地や症状が限定されていない。自殺幇助団体は複数設立されているが、そのうち、スイス国籍保有者または国内居住者のみを対象とする「エグジット」が会員数として国内最大の団体である。また、外国からの希望者も受け入れている団体としては「ディグニタス」が最大規模のものであり、希望者はドイツ在住者が最多となる。2023 年には自殺者も自殺幇助者も増加しており、自殺幇助は男性 693 人、女性 1,036 人で、各々前年比で 6.8%、9.6%増である。なお 2023 年以降、自殺幇助団体が精神疾患を患う女性に致死薬を処方した事件や病気の夫と一緒に死ぬための致死薬を処方した事件において、スイスの連邦最高裁が無罪の判断を下していた。

ドイツでは、積極的安楽死は禁止されている（刑法 216 条)。2015 年の法律により営利目的の（業としての）自殺幇助も禁止されたが（刑法 217 条)、この法律は連邦憲法裁判所 2020 年２月 26 日判決により違憲とされた。この判決は、一般的人格権（基本法２条１項および１条１項）には、個人の自律の表現として、自己決定に基づく死への権利が含まれる、ということを示した。

アメリカでは、1985 年に連邦法として「統一末期患者権利法」が成立し、終末期の延命治療の差し控え・中止が患者の権利として認められたが、その後、1990 年代以降、積極的安楽死や医師幇助自殺の合法化を求める運動が幾つかの州で展開されてきた。その結果、1994 年に「オレゴン州尊厳死法(Oregon Death with Dignity Act)」が住民投票で可決された（1997 年施行)。ここでの「尊厳死」は「医師幇助自殺」を指し、末期患者が医師の処方した処方箋によって致死薬を自分で入手し、自死することが合法化された。アメリカでは、同種の州法や判例が成立している州は 2008 年のワシントン州以降現在に至るまでで合わせて 13 州と１特別区(コロンビア自治区)となっており [7]、代表的な

[7] California, Colorado, Delaware, Hawaii, Illinois, Maine, Montana, New Jersey, New Mexico, New York,Oregon, Vermont, Washington および District of Columbia

合法化推進団体(Compassion & Choices)は2028年までに全米の半数の州での合法化を「大胆な目標」として掲げているが[8]、反対意見[9]も強く今後の動向を予測することは難しい。

さらにオーストラリアでは、1995年に北部準州において世界で初めて「医師による患者の積極的安楽死および自殺幇助」の合法化案が成立したものの、施行から９か月後には連邦法によって無効となっていた。それが 2017 年以降、2024年にかけて再合法化が進み、オーストラリア全土で、医師から患者に対して自発的幇助自殺の話をしないという条件を附加したかつての北部準州法と同様の法律「自発的幇助自死法 (Voluntary Assisted Dying Act)」が成立し、対象者を拡大する方向での法改正も行われている。

イギリス（イングランドおよびウェールズ）では 、1961 年自殺法(Suicide Act 1961)２条により、自殺教唆・幇助は犯罪として処罰される。余命６か月未満の成人（18 歳以上）に死を選ぶ権利を認める「終末期成人法案(Terminally Ill Adults (End of Life) Bill)」が議会に提出され、2025年６月に下院で可決された。しかし、患者が家族らの負担を減らそうと安楽死を選ぶのではないかという点が指摘され、上院で大量の修正案が提出された結果、2026年４月に審議未了で廃案となった。下院議員が法案を再提出していたが、同年９月 11 日に下院で否決された。延命治療の差し控え・中止に関しては、2005年意思決定能力法(Mental Capacity Act 2005)により、特定の延命治療を拒否する事前の意思表示(Advance Decision to Refuse Treatment: ADRT)に法的拘束力が認められている。

フランスでは、2002年に延命治療の差し控え・中止が最初に法制化されたが、2016 年に成立したクレス・レオネッティ法は、終末期の患者の権利として、「すべての治療を中止する権利」に加え「死亡まで継続する深い持続的鎮静を求める権利」を創設した（死亡まで継続する深い持続的鎮静については３章で説明する)。さらに 2022 年、マクロン大統領は選挙公約において合法的な「死の支援(l’aide à mourir)」を掲げ、国家倫理諮問委員会(CCNE)の『答申』（2022 年）[10]も死の積極的な支援を非犯罪化することを答申した。こうして2025年５月、フランスの下院は第一読会において、終末期医療に関する二つの法案「すべての人が緩和ケアと支援サービスに平等にアクセスできることを確保するための法律案」および「死への支援を受ける権利に関する法律案」を可

(Washington,D.C.). Cf.https://compassionandchoices.org/state-advocacy/; https://deathwithdignity.org/states/.

[8] https://compassionandchoices.org/about-us/cc-strategic-plan/.

[9] 例えば、AMA(American Medical Association:全米医師会)は2022年７月に“Physician-Assisted Suicide”という文書を発表し、医師幇助自殺が医師の倫理綱領に反するもので容認しがたいことを確認している。Cf., https://code-medical-ethics.ama-assn.org/ethics-opinions/physician-assisted-suicide

[10] Comité consultatif national d’éthique, Avis 139 Questions éthiques relatives aux situations de fin de vie : autonomie et solidarité.

決した。しかし後者は一定の要件下で「積極的安楽死、自殺幇助、治療の停止」を認める内容であることもあって、医療者の団体等から強い反対が出されるなど、世論を二分する問題となっている。批判としては、既に CCNE の『答申』もまとめているように、医療の使命は死をもたらすことへの貢献ではない、死ぬ権利の容認は患者にも社会にも危険である、この権利により障害のある患者や慢性疾患の患者が生きる価値がないとみなされかねない、といったものがある。さらに、緩和ケアとの関連では、その充実により「死への逃避」が軽減される可能性、また、医療費節減の観点から安楽死導入により緩和ケアの予算が削減される危険性も指摘されている。2026 年１月、上院は、緩和ケアに関する法律案を可決し、死への支援に関する法律案を否決した。後者の法案は、同年２月以降も上院により繰り返し否決されたが、７月に下院で最終的に可決され、８月 14 日に憲法院がこれを合憲とした。この法律は、同月 18 日に公布された[11]。

フランスの法案では、従来の「医師幇助自殺」という表現が「死の支援」と言い換えられている。こうした置き換えを積極的に進め、現在、世界で最も大胆に安楽死の合法化を進めているのがカナダである。カナダでは、2015 年にケベック州で MAID(「死の医療的支援(Medical Assistance in Dying)」)が合法化され、翌年にはカナダ全土での合法化（Bill C-14）が行われた。その後 2019 年にケベック州上級裁判所が医療による安楽死の要件を根本的に見直し、終末期という条件を外して障害を理由とするものへ要件を拡張することを認める判決を下した(Truchon and Gladu v. Canada)。これを受けて、カナダでは対象者を順次拡張する形で、2021 年、23 年、24 年と新たに法改正が行われてきている。

こうしたカナダの動向に対して、国連の障害者権利委員会は、2025 年３月に、カナダにおける障害者権利条約の実施状況を検討した報告書の中で、カナダの立法は障害を医療的安楽死の理由として認めるもので、障害者の人権を侵害するものだという「強い懸念」を表明した。さらにその報告書は、カナダの立法では今後の予定として安楽死の対象を「唯一の基礎疾患が精神疾患である」人や未成年者へと拡大することが既に決定されている点も支持できないことを表明している[12]。また、同委員会は、フランスの「死の支援」法案の下院通過を受けて、同法案に対して、カナダでの動向に対するのと同様の懸念を公表している[13]。

---

[11] LOI n° 2026-794 du 18 août 2026 relative au droit à l'aide à mourir：JORF n° 0192 du 19 août 2026.

[12] この点について次の文献を参照。国連・障害者権利委員会(Committee on the Rights of Persons with Disabilities) 第 32 会期（2025 年３月３日～21 日）委員会採択、「カナダの第２回および第３回定期報告書に関する総括所見」(Concluding observations on the combined second and third periodic reports of Canada).
https://digitallibrary.un.org/record/4080760?ln=zh_CN&v=pdf.

[13] https://tbinternet.ohchr.org/_layouts/15/treatybodyexternal/Download.aspx?symbolno

以上、欧米諸外国等における安楽死合法化の状況を概観した。ベネルクス三国やスイスでは、安楽死の実施件数は増加傾向にある。さらに対象者が障害者、認知症患者、精神疾患患者、難病患者へと広がりつつあることが懸念されている。次章で詳しく述べるように、安楽死合法化は弱者に生命短縮を押し付ける危険がある。この点を見逃すことはできない。

以上の概観によって、「安楽死」「尊厳死」の概念それぞれの意味するものが必ずしも同じではないことも確認できる。とりわけ「尊厳死」という言葉は、延命治療の差し控え・中止の意味で用いられる場合もあれば、アメリカのように医師幇助自殺を意味する場合もある。オランダが生命終結と自殺幇助を「安楽死」という語でまとめたり、カナダやフランスの立法が「医師幇助自殺(PAS、physician-assisted suicide)」を「医師幇助死(PA,physician-assisted death/dying)」、さらには「死の医療的支援(MAID/MaiD, Medical Assistance in Dying/Medical Aid in Dying)」と言い換えたりする例もあり、地域によって用語が一致していない。この点についても次章で考察する。

分科会における議論では、人の生命を短縮させる、または延命治療を行わないことについて、違法性阻却事由を法定すべきではないか、という意見もあった。しかし、緩和ケアおよび患者の権利を保障する法律を先に制定しなければ、そのような立法措置はとれない、という意見も示された[14]。これらの議論を踏まえて、本見解では、安楽死または延命治療の差し控え・中止を許容する要件を法律で定める必要はない、ということを提案する。

「尊厳死」を法制化する法律案では、医師の免責等が趣旨とされているが、医師の責任については、日本医師会によるガイドラインで既に指摘されている。射水市民病院事件を受けて日本医師会も「終末期医療に関するガイドライン」を発出しており、厚労省の動向に合わせて「人生の最終段階における医療・ケアに関するガイドライン」（令和２年５月）[15]に改訂した。このガイドラインでは、ACP（後述）の重要性と延命措置の開始・差し控え・変更および中止等に関する基本的な考え方および手続等が規定されており、この手続に則って延命措置を取りやめることについて「民事上および刑事上の責任が問われるべきではない」と述べられている。特定の行為を要件として法律で規定するよりも、現場における医療・ケアおよび意思決定のプロセスを重視し、ガイドラインに沿いつつ個別具体的に対応するほうが、患者・家族等に寄り添うことができる。

=CRPD%2FC%2F33%2F3&Lang=f.

[14] 日本弁護士連合会「『終末期の医療における患者の意思の尊重に関する法律案（仮称)』に対する会長声明」2012年（平成24年）４月４日、
https://www.nichibenren.or.jp/document/statement/year/2012/120404_3.html

[15] 日本医師会 生命倫理懇談会「人生の最終段階における医療・ケアに関するガイドライン（令和２年５月)」https://www.med.or.jp/dl-med/doctor/r0205_acp_guideline.pdf

3　延命治療の差し控え・中止、安楽死等に関わる倫理的考察

本章では、延命治療の差し控え・中止と安楽死について、まず各行為の内容を概観し、倫理的議論の前提となる諸概念を整理し、若干の倫理的検討を行う。

(1)　行為の概要

主に終末期の患者を死に至らせる、あるいはその可能性がある医師の行為の倫理的是非が国内外で社会的問題になってきた。これらの行為は、大きく二つのタイプに区別できる。①積極的安楽死と自殺幇助、②生命維持に有効な医療の差し控え・中止である。加えて、やはり倫理的懸念を生じる行為に③緩和的鎮静・鎮痛がある。これも使用する薬の量や患者の容体などによって、患者の死を早めるリスクがある。以下、それぞれの概要を述べる。

①　積極的安楽死と自殺幇助

積極的安楽死とは、患者を死亡させることで苦痛から解放するために、患者の死を速やかに引き起こすことが確実な種類と量の薬を投与することをいう。前章で触れた1995年のオーストラリア北部準州の一時的立法を除けば、オランダで2001年に初めて合法化された。

自殺幇助とは、一般には、他人の自殺を手伝うことを指す。ほとんどの国はこれを法律で禁止してきたが、近年、一部の例外的なケースに限り、合法化する国や地域が出てきた。幇助が許されるのはたいてい医師なので、合法化されている行為を指すときには「医師による自殺幇助」と呼ばれることが多い。これもまたオーストラリア北部準州での一時的合法化を除けば、合法化は1994年のアメリカのオレゴン州が最初である。

合法的な自殺幇助の場合、やはり患者を苦しみから解放するために、死を速やかに引き起こすことが確実な種類と量の薬が与えられる。積極的安楽死との違いは、後戻りができなくなる直前の動作を患者が自分で行うか、他人が行うかの違いにある。自分で行う場合が自殺幇助、そうでない場合が積極的安楽死である。本見解では、必要に応じて、これらの行為をまとめて安楽死と呼ぶ。

その双方を合法化しているオランダのガイドラインは、積極的安楽死の場合には、ロクロニウム等の筋弛緩剤の使用を推奨している。まず苦しくないように鎮静をかけて患者を昏睡状態にした後、筋弛緩剤を投与すると、呼吸筋を含む全身の筋肉が麻痺して、呼吸停止に至る。他方、自殺幇助の場合には、バルビツール酸の使用を勧めている。バルビツール酸は、意識低下を引き起こす鎮静薬の一種だが、特に量が多いと、患者の呼吸を抑制する効果を生じる。医師は、飲みやすいように甘いシロップと混ぜて、コップに用意する。患者がこれを自分で飲み干すと、まず意識を失った後、呼吸不全のため死亡する[16]。

[16] Royal Dutch Medical Association (KNMG), Guidelines for the Practice of Euthanasia and Physician-Assisted Suicide, 2012, https://derechoamorir.org/wp-

積極的安楽死や自殺幇助を合法化した国や地域では、実施の許容条件として、判断力のある患者が安楽死や自殺幇助を要請していること、患者が治る見込みのない病気に罹患していて終末期にあること、その苦痛が耐えがたいほどであって他の方法では取り除けないことなどを要求していることが多い。

ところが実際には、前章でも述べた通り、こうした規定に沿わない仕方で安楽死が行われるケースが起きたり、判断力のない患者や終末期にない患者でも合法的に安楽死や自殺幇助を受けられる国や地域が現れたりしている。安楽死の対象になる患者の範囲の拡大といった懸念が実際に生じていることは否定できない。

② 生命維持に有効な延命治療の差し控え・中止

特に前世紀の後半から、患者の生命の維持に効果がある、あるいは有効と見込まれる治療を差し控えたり、中止したりすることの倫理的な是非が社会問題化してきた。

延命治療の差し控え・中止がもたらす倫理的問題の深刻さは、当の治療の内容、治療を必要としている病気の種類と状態、患者の意向など、様々な要素に左右される。倫理が問題になる場面では、患者の状態と必要とされている治療の種類が特定された上で、具体的なケース毎に議論されることが多い。

1970 年代からこの主題が社会問題化したアメリカでは、意識を喪失して回復を見込めない状態（遷延性の意識障害）の患者に装着した人工呼吸器の取り外し [17]、本人の意向を理由とした脳性麻痺などの身体障害がある人の呼吸器や経管栄養の中止 [18]、成功する可能性が極めて小さいと思われる場合における心肺蘇生の差し控え [19]などのケースの妥当性をめぐって、裁判や学術的議論が行われてきた。

日本国内では、主として今世紀に入った頃から、末期がんで意識喪失状態にある患者の人工呼吸器を取り外した医師や [20]、神経難病（ALS）患者の呼吸器を取り外した家族などが逮捕される事件が起こり [21]、より最近でも、認知症患者の胃ろうの差し控え・中止 [22]、慢性腎不全患者の透析の中

---

content/uploads/2018/09/2012-guia-eutanasia-colegio-medicos-pbajos.pdf.

[17] In re Quinlan, 355 A.2d 647 (N.J. 1976); Cruzan v. Director, Missouri Department of Health, 497 U.S. 261 (1990)； 香川知晶『死ぬ権利－カレン・クインラン事件と生命倫理の転回』、勁草書房、2006 年.

[18] Bouvia v. Superior Court 225 Cal Rptr. 297 (Cal. App 2d Dist 1986); McKay v. Bergstedt, 801 P.2d 617 (Nev.1990).

[19] ローレンス・J・シュナイダーマン、ナンシー・S・ジェッカー（林令奈、赤林朗監訳）『間違った医療－医学的無益性とは何か』、勁草書房、2021 年.

[20] 朝日新聞、2006 年３月 26 日、「病院「医師が延命中止」　富山・呼吸器外し、死亡は７人　「倫理上問題」、１頁.

[21] 朝日新聞、2004 年 11 月３日、「母「承諾の下だった」　難病の長男殺害、初公判／神奈川 」、神奈川、31 頁.

[22] 会田薫子、『延命医療と臨床現場：人工呼吸器と胃ろうの医療倫理学』、東京大学出版会、2011 年.

止[23]などのケースでその妥当性をめぐる社会的、学術的な議論が生じており、学会のガイドラインの検討も含め、議論は継続されている。

③　緩和的鎮静・鎮痛

鎮静と鎮痛は、緩和ケアの処置である。緩和ケアの目的は、痛みや呼吸困難、吐き気、不安や抑うつなど、様々な症状に起因する苦痛を緩和、除去することにある。

鎮静とは、投薬によって患者の意識を下げることを意味する。例えばベンゾジアゼピンやバルビツール酸などの鎮静薬を投与されて意識が低下すると、患者はつらい症状があってもそれを感じなくなっていく。

鎮痛は、特に痛み（疼痛）を抑えることを意味する。モルヒネなどのオピオイドは強力な鎮痛薬であり、末期がんに伴う強い痛みでも多くの場合に取り除くことができる。

鎮静や鎮痛が倫理的懸念を生じるのは、使用する薬の種類や量によって、患者の死を早めるリスクがあるからである。上に挙げたような強力な鎮静薬や鎮痛薬は、いずれも投与量が増えてくると、呼吸を抑制して患者の生命を短縮する危険があるとされる。東海大学安楽死事件における横浜地方裁判所判決（1995 年）は、苦痛緩和目的で投与された鎮静薬や鎮痛薬が患者の死を早めるケースのことを「間接的安楽死」と呼んだ[24]。特にベンゾジアゼピンやオピオイドの長期にわたる持続投与が患者の死を早めるケースは「ゆっくりとした安楽死(slow euthanasia)」などと呼ばれて、安楽死との境界の曖昧さが指摘されている[25]。

近年では、鎮静に関する専門医の技術と知識の向上により、死を早める量のモルヒネを投与することは、ほとんどなくなっていると言われる[26]。また、日本緩和医療学会の鎮静に関するガイドラインに従って使用されている限り、各種の鎮静薬が患者の死期を早めることはないとする調査報告もある[27]。

しかしこれらのことは、鎮痛薬や鎮静薬の使用があくまで慎重になされるべきことを否定するものではないし、倫理的な懸念と無縁であることを意味するものでもない。以下、問題点を三点に絞り、指摘する。

第一に、鎮静薬や鎮痛薬は、今日一般的ではない仕方や、日本のガイドラインとは一致しない仕方で使われたときには、患者の死を早める可能性

---

[23] 小松美彦、市野川容孝、堀江宗正編、『〈反延命〉主義の時代：安楽死・透析中止・トリアージ』、現代書館、2021 年.

[24] 東海大学安楽死事件、前掲注（1）

[25] J.A. Billings and S.D. Block, “Slow Euthanasia,” Journal of Palliative Care, 1996, 12(4), 21-30.

[26] N. Sykes and A. Thorns, “The Use of Opioids and Sedatives at the End of Life,” Lancet Oncology, 2003, 4(5), 312-318.

[27] I. Maeda, T. Morita, T. Yamaguchi et al., “Effect of continuous deep sedation on survival in patients with advanced cancer.” Lancet Oncology, 2016, 17(1), 115-122.

がある。

第二に、上述の調査報告は、患者の死を早める可能性のある仕方で鎮静薬や鎮痛薬を使わなければ取り除くことのできない苦痛の存在を否定するものではない[28]。

第三に、特に鎮静による意識低下は、コミュニケーションを不可能にするほど深くなることがある。場合によって、そのような深い意識低下の状態が患者の死亡時まで維持されることもある。死亡まで継続する深い持続的鎮静と呼ばれるケースである[29]。たとえ死が早まらなくても、他人との交流の可能性が完全に失われることは、それ自体、望ましいことではない可能性がある。

鎮静や鎮痛は、以上の通り、患者の福利に関わる重大なリスクを伴うので、実施に際しては、リスクに言及しつつ十分に説明した上で患者の同意を得る必要がある。2018 年に東京都内の公立福生病院で生じた透析中止の事例では、いったん中止した透析を患者が再開したいと申し出たが、担当医は再開せず、鎮静薬で患者を眠らせ、患者はそのまま意識を回復することなく死亡している。このケースでは、透析中止の意思確認に関する書類が保存されていない点などが問題になったが、同時に、鎮静の効果についても患者や家族に十分な説明がされていない可能性が指摘されている[30]。こうしたことが起こり得るため、緩和的鎮静・鎮痛の使用が道徳的に適切な範囲についても、慎重で丁寧な検討が必要である。

(2) 概念の整理

以上の①～③の行為の倫理的是非に関する社会的、学術的な議論の中では、行為を表現するために様々な言葉や概念が使用されてきた。それらの使われ方は、前章末に指摘した通り、地域や時期、使う人の立場によって異なっており、議論に混乱が生じている。そこで、この問題に関しては、言葉や概念を整理することが特に重要である。

① 積極的安楽死、消極的安楽死、間接的安楽死

1995 年の東海大学安楽死事件判決（横浜地方裁判所）は、終末期の患者を死に至らせる医療行為を積極的安楽死、消極的安楽死、間接的安楽死の三つに分類した。それぞれ、患者の死を速やかにもたらす薬が投与されるケース（上でも積極的安楽死と呼んだ)、生命維持に有効な治療が差し控え・中止されるケース、苦痛緩和のために投与した鎮静薬や鎮痛薬が患者

[28] Gilbertson L, Savulescu J, Oakley J et Wilkinson D.,“ Expanded terminal sedation in end-of-life care,” J Med Ethics, 2023, 49(4), 252-260.
[29] 日本緩和医療学会、『がん患者の治療抵抗性の苦痛と鎮静に関する基本的な考え方の手引き（2023 年版)』、金原出版、2023 年、21 頁.
[30] 高草木光一、「公立福生病院事件の闇」、小松美彦、市野川容孝、堀江宗正編、『〈反延命〉主義の時代：安楽死・透析中止・トリアージ』、現代書館、2021 年、91-113 頁.

の死を早めるケースのことを指す[31]。

しかし、消極的安楽死や間接的安楽死という表現は避けられることも多い。これは、「安楽死」という表現が否定的なイメージを与えるためである。とりわけ北米や欧州では、「安楽死」に対応する表現が、ナチス・ドイツの安楽死Ｔ４計画を想起させるため、延命治療の差し控え・中止や、緩和的鎮静・鎮痛について倫理的に許容できると考える人々は、それらの行為を消極的安楽死や間接的安楽死のように呼ぶことを避ける傾向がある[32]。最近では、前章で触れたカナダの立法が示しているように、安楽死や「医師幇助自殺」を「医師幇助死」、さらには「死の医療的支援」と言い換えることも行われている。

② 尊厳死

国内では、延命治療の差し控え・中止のことを「尊厳死」と呼ぶことが多い。日本学術会議が2008年に発出した対外報告「終末期医療のあり方について―亜急性型の終末期について―」は、尊厳死を「過剰な医療を避け尊厳を持って自然な死を迎えさせること」と定義している[33]。日本尊厳死協会は、尊厳死を「延命措置の差し控えまたは中止」のことだとしている[34]。他方、アメリカでは、既述のように、「尊厳死（death with dignity)」という言葉は、医師による自殺幇助の意味で使われることが多い。当該行為を容認しているアメリカの複数州（オレゴン、ワシントン、カリフォルニア等）の法律の名称が「尊厳死法（Death with Dignity Act)」となっている。

このように、「尊厳死」という言葉は国によって異なる意味で用いられており、国際的に共通した理解はない。「尊厳」がどのような尊厳なのかが明確でないにもかかわらずしばしば使用されるのは、「消極的安楽死」や「自殺幇助」などの言葉と比べて望ましいイメージがあるためである。延命治療の差し控え・中止や自殺幇助について、道徳的あるいは法的に許容できると考える立場の人々は、それらの否定的なイメージのある言葉の代わりに「尊厳死」という言葉を使ってきた[35]。しかし、延命治療の差し控え・中止などの行為には、妥当性に関して人々の意見が分かれるケースや、誰が見ても道徳的に許容できないことが明らかなケースもある。例えば、患者の意向が曖昧なケース、後述するような延命治療の差し控え・中止のほうへ周囲が誘導したり圧力をかけたりするケース、患者の意向に反して治

---

[31] 東海大学安楽死事件、前掲注(１)

[32] Griffiths, John, Heleen Weyers and Maurice Adams, Euthanasia and Law in Europe, Hart Publishing, 2008, p.463.

[33] 日本学術会議、前掲注(５)、３頁.

[34] 日本尊厳死協会、『新・私が決める尊厳死』、中日新聞社、2013年、13頁.

[35] 大谷いづみ、「生権力と死をめぐる言説」、島薗進・竹内整一編、『死生学１―死生学とは何か』、東京大学出版会、2008年、53-73頁.

療が中止されるケース、治療の有効性に関する検討が不十分なケースなどである。「尊厳死」という言葉が喚起するイメージの良さに魅力を感じている人々でも、そのようなケースを「尊厳死」と呼ぶべきかどうかについて意見が分かれる可能性があろう。この意味でも、「尊厳死」という言葉は曖昧である。

延命治療の差し控え・中止や安楽死については、後述の通り、多くの倫理的懸念がある。肯定的なイメージを喚起する表現で、懸念点を覆い隠したり、印象を操作したりすることを通して、これらの行為へ誘導するような言葉の使用は、厳に慎むべきである。現に、生命の維持に有効な延命治療の差し控え・中止に関しては、道徳的、法的な是非を論じる文脈でも、行為の実態をそのまま記述して「延命治療の差し控えと中止」のように呼ぶ表現法がかなり定着してきている。これらの動向を踏まえれば、「消極的安楽死」や「尊厳死」、さらには「間接的安楽死」などの表現は避けるのが適切である。代わりに「オピオイドの投与が患者の死を早めるケース」のように行為の実態をそのまま記述することで、不要な混乱を避けることができる。本分科会は、行為の実態を記述する表現を用いることを提案したい。

(3) 肯定論と否定論

① 肯定論－患者の苦痛と自己決定

積極的安楽死と自殺幇助、延命治療の差し控え・中止、鎮静と鎮痛について、倫理的に正当化できると考える立場には、主な根拠が二つある。第一は、これらの行為が、患者を耐え難いほどの苦痛から解放するという理由である。終末期の患者は、病気やけがの症状あるいは治療の副作用として、他の方法では取り除けないような強い苦痛を経験することがある。そのため、安楽死や延命治療中止によってそうした苦痛を取り除くことができれば、たとえ死が早まっても、患者の利益になると主張されることがある。

安楽死などの行為が正当化できるとする見方にはもう一つ重要な根拠がある。亡くなる直前の時間をどのように過ごすかは、多くの人にとって重大な関心事である。判断力のある患者がよく理解した上で安楽死や延命治療の中止などを選択する場合、そうした選択は自己決定として尊重されるべきだと論じられることがある。

② 否定論－生命の価値、社会的弱者へのリスク

以上の肯定的な点が確認されるとしても、患者を死に至らせる行為を許容することには、倫理的妥当性について否定的に評価すべき点があり、見過ごすことができない。以下、三点について述べておきたい。

第一に、人間的生命を短縮すること、その行為自体が否定的に評価され

る。人の生命には価値がある。生きていると、喜びや楽しみ、他人との交流、学習、美しいものの鑑賞など価値を持つ出来事が起こる。他方、患者を死に至らせる処置が検討される場面では、耐えがたいほどの激しい苦痛が起きている。しかしその終末期でも、少なくとも他者等との関係性がある場合には、上述の経験や出来事の可能性は残されている。死を早めることは、そうした出来事の可能性をすべて奪うことになる。

上の(3)-①では、苦痛を取り除くことができれば、たとえ死が早まっても、患者の利益になると主張されることがあると述べた。しかし、特に安楽死の場合、患者が苦痛から解放されるのは、患者自身が存在しなくなるからにすぎない。これは、延命治療の差し控え・中止の一部のケースでも同じである。また、死亡まで継続する深い持続的鎮静では、患者は意識を喪失することによって苦痛から解放される。言い換えれば、これらのケースでは、患者が苦痛から解放されたとしても、その利益を享受できる主体はもはや存在しない。この意味では、例えば、治療の副作用から解放されるために治療を中止した後も患者が直ちには亡くならないケースや、意識を失わない程度の鎮静や鎮痛によって苦痛緩和が達成できるケースなどと比べると、苦痛が取り除かれるとは言っても、その内容や望ましさの程度に明らかな違いがある。

第二の点は、社会的弱者にリスクが及ぶことである[36]。死を早める行為の対象になる重篤な病人やけが人は、生命や生活を維持するために、周囲の人々の支援を必要としていることが多い。特に社会福祉の制度やそれに関する情報提供が不十分である場合などでは、患者の家族等の身近な人々が、治療や介護にかかる多大な経済的、肉体的、心理的負担を引き受けている状況がしばしば見られる。すでに高齢の配偶者による介護や未成年の家族が担い手となる状況は、社会政策上の課題とされている。患者の死期が早まれば、周囲の人々はこのような負担から解放される可能性がある。加えて、今日の社会には、例えば「寝たきり」の人、車いすや呼吸器の使用者、生活に様々な支援や介助を必要とする人の命や生活の価値を不当に低く評価する差別的な価値観があることは否定できない。このような状況では、患者は本当はできるだけ長く生きたいと思っているにもかかわらず、周囲に気兼ねしたり、周囲から圧力を感じたりして、生命短縮的な行為を受け入れてしまうリスクが生じる[37]。また、周囲の人々も、患者の生活の質を良くするために有効な支援や工夫の可能性に気づかない、一時的な気

[36] 本見解では、例えば病人、けが人、障害者、生活に介助を要する人などが、社会的に弱い立場に置かれる場合を指して「弱者」という言葉を用いている。しかし、これは、特定の属性を有する同じ人々が常に弱い立場にある、ということを含意するものではない。だれが弱い立場に置かれるかは、状況によって変わることである。

[37] 一例を挙げるなら、NPO 法人 DPI 日本会議からも指摘されている。https://www.dpi-japan.org/blog/demand/20260306_seimei/

分の落ち込みによる希死念慮（死にたいという思い）の高まりを周囲が過度に深刻に受け止めるなどの弊害を生じる可能性がある。こうした状況下で実施される延命治療の差し控え・中止や安楽死は、患者の利益や意向と一致するものとは考えがたい。むしろ社会的弱者をないがしろにする行為である[38]。

第三の点は、第二の議論につながっている。死に至らせる行為を許容することは、社会的弱者一人ひとりをないがしろにしてしまう可能性にとどまらず、そもそもそのような個人をないがしろにしてよいと考える価値観や、生命の選別をよしとする価値観を作り出すおそれがある。障害や難病のある個人を「延命治療の差し控えや安楽死を選択して当然の状態の人」と社会が判断することにより、現にそのような障害や難病があって生活している人々の尊厳を踏みにじるような価値観が強まる可能性である。価値観の共有は社会を構成する上で重要である。しかし、私たちの社会は財力など力のある者、健康な者、強者のみを是とするのではなく、弱者と共に生きる「共生」ということを善とする価値観を基準とする。だからこそ、過去の優生思想の反省に基づいて、死を選択したくなるような生きづらさを福祉社会政策で解消することがまずは求められるのである。死に至らせる行為を是認するなら、この価値観そのものが弱まり、揺らいでしまう。事実、そのような行為が是認され、当の価値観が弱まっているという状況は既に起こりつつあるというべきである。第２章で触れたように、国連の障害者権利委員会がカナダやフランスでの動向に対して示した障害者や精神病者の権利侵害への懸念の重みを十分に受け止める必要がある[39]。

法制化や合法化を支持する人々は、限られた余命の中で、他の方法では決して除去できない激しい肉体的苦痛に苛まれる患者が、熟慮に基づいて延命治療の差し控え・中止や安楽死を要請する場面をイメージしがちである。しかし、生命短縮的な行為を実際に容認すると、そのようなイメージと一致しないケースや患者も対象になる。例えば、判断力の低下した患者や、終末期ではない患者が対象になる。苦痛が純粋に精神的なものである場合など、その苦痛から解放されることが生命の短縮を伴うとしてもなお

---

[38] Michel, Vickie, “Suicide by Persons with Disabilities Disguised as the Refusal of Life-Sustaining Treatment,” HEC Forum, 1995, 7, 122-131; Not Dead Yet and American Disabled for Attendant Programs Today(ADAPT), ″Amici Curiae Brief of Not Dead Yet and American Disabled for Attendant Programs Today in Support of Petitioners, Vacco v. Quill, 521 U.S. 1997, 793,″ http://kwing.christiansonnet.org/sourcebook/_reports/euthanasia_rep_USsupreme.htm; 立岩真也、「都合のよい死・屈辱による死：「安楽死」について」、『弱くある自由へ』、青土社、2000年、51-63頁; 有馬斉、『死ぬ権利はあるか』、春風社、2019年、第４章.

[39] この点で国連における第32会期（2025年３月３日～21日）委員会において採択された、障害者権利委員会(Committee on the Rights of Persons with Disabilities)の「カナダの第２回および第３回定期報告書に関する総括所見」(Concluding observations on the combined second and third periodic reports of Canada)では現在のカナダの動向に対して懸念が表明されている.

患者の利益になると言えるかの点がより不明瞭なケースも対象になる。周囲への気遣いから生き続けたいと言えないでいる患者や、一時的な気分の落ち込みや生活の質を向上させる手段を知らないことに起因する希死念慮のケースも対象になりかねない。

(4) 倫理的評価

① 延命治療の差し控え・中止、緩和的鎮静・鎮痛

延命治療の差し控え・中止の倫理的妥当性を評価するときにも、以上で述べてきた点についてよく理解している必要がある。

延命治療の差し控え・中止が患者の利益になるかどうかは、患者の病態だけでなく、治療が患者に強いる負担や副作用の有無にも左右される。意識や認知機能が低下した状態の患者が対象になることの多い治療を差し控えたり中止したりすることを検討する場面では、患者本人の意向を他の場合より更に慎重に評価しなければならない。患者が高齢者や障害者である場合には、治療方針決定のプロセスの中で、弱い立場にある人々の自己決定と利益が損なわれるリスクがあることについて特別な配慮がなされるべきである。

国内に法制化を求める動きもあるが、法制化は生命の選別をよしとする価値観を作り出すとともに、それに対する認知バイアスを助長する危険がある。法律を作って死ぬ権利を強調することが、希死念慮を有する患者に対して、生活の質を向上させ、生きる意欲を取り戻してもらおうと努力する医療者の取組を萎縮させる効果があることも懸念される。法制化は弊害が大きく、推奨できない。

緩和的鎮静・鎮痛については、延命治療の差し控え・中止や、安楽死と自殺幇助と比較して、死を早めるリスクは小さい。薬の量と用法によっては生命を短縮しないことが明らかな場合もある。しかし、リスクを完全には否定しきれないため、許容範囲についても慎重に検討する必要がある。

② 積極的安楽死と自殺幇助に特有の問題

積極的安楽死と自殺幇助については、上で述べた否定的評価に加えて、他の患者を死に至らせる行為にはない特有の問題がある。二つの問題に分けて述べておきたい。

第一の問題は、生命短縮が作為的であることである。医師は患者の快復、健康を目的に治療行為を行い、また生を過ごしやすくするために緩和的処置を行う。その目的は大きく言えば患者の生である。そもそも、医療行為とは生を目的とした行為であろう。したがって生命短縮的な作為・行為は医療の範疇外とみなされる。そのため、前章で触れたように、安楽死を認めるオランダにおいてさえも、患者は安楽死の権利を有しているわけでなく、また安楽死の実施は医師としての義務ではないことが明示されている。

積極的安楽死と自殺幇助では、薬を投与、あるいは服用するという積極的動作によって生命の短縮がもたらされる。この点で、結果として生命の短縮がもたらされる延命治療の差し控え・中止とは、大きな違いがある。

上の(3)-①では、自律的な個人による安楽死や延命治療の中止などの選択は、自己決定として尊重されるべきだと論じられることがあると述べた。しかし、今述べた通り、特に安楽死や自殺幇助は、積極的動作（作為）によって生命の短縮をもたらすふるまいであって、健康の回復と維持を目的とする医療の範疇外にある。自律的な個人であっても医療の範疇外にあるものを医療者から受ける権利があるとは言えない。

第二の問題は、積極的安楽死と自殺幇助では、生命短縮が意図的であることである。その場合、医師は、患者を早く死なせることによって患者を苦痛から解放しようとしている。例えば、安楽死でがん患者ががんのつらい症状から解放されるのは、症状がつらくなる前に患者が死ぬからである。このことを理解している医師には、患者を死なせる意図を認めざるを得ない。

これに対して生命維持に必要な延命治療の差し控え・中止では、生命の短縮は必ずしも意図的であるとは言えない。例えば抗がん剤を差し控える患者は、全身の痛みや脱力感など、抗がん剤が引き起こすつらい副作用から解放される。しかし、これは痛みや脱力感などの苦痛の原因が取り除かれるからであって、患者が早く死ぬからではない。事実、奇跡的に患者が長く生きたとしても、患者はやはり副作用の苦痛からは解放されるだろう。したがって、このような場合、治療をやめる患者や医師には狭義において患者の死を早める意図がない（彼らの意図はあくまでつらい副作用を避けることにある）と評価できる[40]。積極的安楽死と自殺幇助には、人間的生を絶ち、社会的弱者と社会的に共有する価値観に対してリスクが及ぶという先述の問題に加えて、医師が生命の短縮を意図して、これを行うという深刻な問題がある。そのため医師による積極的安楽死と自殺幇助は法制化すべきではない。

なお、延命治療の差し控え・中止においても、その延命治療が本当に生命維持に必要であるとすれば、治療をやめることは必ず患者の死を早めることになる。この場合、患者や医師が治療をやめると死は早まるかもしれないがそれでもいいと思っているという意味では、広義においては生命の短縮が意図されているとも考えることができる。また、内心ではただ死を早めたくて治療をやめた人が単なる言い訳として「つらい副作用を避けた

[40] Thomas D. Sullivan, “Active and passive euthanasia: An impertinent distinction?” The Human Life Review, 1977, 3（3）, 40-46; Hitoshi Arima, “Intending to avoid the treatment burdens only: the doctrine of double effect and withholding or withdrawing life-sustaining treatment,” Theoretical Medicine and Bioethics, 2025, 46, 209-230.

かっただけで、死を早めるつもりはなかった」のように言うケースも考えうる。これらの可能性を考慮すると、延命治療の差し控え・中止も決して軽々に行われてはならない。

(5) 倫理的考察のまとめ

第３章において、次の三点を述べた。第一に積極的安楽死と自殺幇助については、弱者にリスクをもたらし、社会的価値を毀損しかねないことに加えて、意図的かつ作為的に死をもたらす行為であるため、全面的な禁止が妥当である。第二に、延命治療の差し控え・中止については、生命短縮が意図的、作為的であるとは限らないため、場合によって許容できるものの、弱者の自己決定と利益を損なうリスクがある点は安楽死と共通するため、ケース毎に極めて慎重な対応が求められる。第三に、法制化については、延命治療の差し控え・中止であっても、弱者を害し社会的価値を毀損するリスクの増大につながるため認められない。

以上のことは、国内の終末期医療政策に関しては、大枠では現状維持が望ましいということを意味する。すなわち、安楽死は禁止しつつ、延命治療の差し控え・中止については種々のガイドライン（ソフト・ロー）で規制する、という方針が維持されるべきである。しかし、だからといって、現状の国内の終末期臨床に倫理的な課題がないことにはならない。

４　延命治療の差し控え・中止をガイドラインで規制している現状における課題

ここまでの議論から、延命治療の差し控え・中止について法制化はせずに、現状の維持が望ましいことを述べた。現状とは、拘束力を持たない種々の指針（ガイドライン)、事後的な刑事上の制裁および判例の組合せによる規制である。第２章でも触れたように、日本では、2007 年以降、厚労省や様々な医学系学会、諸団体によってガイドラインが作られてきた。中でも、厚労省のガイドラインは、2008 年発出の日本学術会議「臨床医学委員会終末期医療分科会」による対外報告「終末期医療のあり方について―亜急性型の終末期について―」にも見られるように、日本で延命治療の差し控え・中止問題を考える際の大きな参照枠となってきた。このガイドラインは、その後、幾度かの改訂を経て、2018 年の「人生の最終段階における医療・ケアの決定プロセスに関するガイドライン」[41]となっている。

そこで、本章では、まず(1)として厚労省の改訂ガイドラインに即して、患者の意思の尊重の観点に立って、国内の終末期臨床における現在の課題や問題点を指摘し、このガイドラインの次なる改訂時の検討事項を提示したい。また(2)では、列挙した課題の要点をまとめた後、延命治療の差し控え・中止を法制化することの是非について改めて簡潔に付言する。

(1)　人生の最終段階における医療・ケアの決定プロセスに関するガイドライン（改訂）（2018 年）

2018 年の厚労省ガイドラインの改訂は、社会ニーズへの対応の必要性、さらには、英米諸国を中心としてアドバンス・ケア・プランニング（ACP）の概念に基づいた研究や取組が普及してきていることを踏まえたものと考えられる。

改定後、ガイドラインは、病院だけでなく介護施設や在宅の現場で活用できるよう見直しが行われた。これによって、決定プロセスのチームに介護従事者が含まれることが明記された点をまずは強調しておきたい

厚労省の改訂ガイドラインは、「１.人生の最終段階における医療・ケアの在り方」、「２．人生の最終段階における医療・ケアの方針の決定手順」という２つの部分から成る。ここではそのうちの「１」の「在り方」を中心に、具体的な内容を確認し、各々に残る問題点を列挙していくことにする。

---

[41] 厚労省、前掲注(６)「人生の最終段階における医療・ケアの決定プロセスに関するガイドライン」改訂　平成 30 年３月. https://www.mhlw.go.jp/file/04-Houdouhappyou-10802000-Iseikyoku-Shidouka/0000197701.pdf；人生の最終段階における医療の普及・啓発の在り方に関する検討会「人生の最終段階における医療・ケアの決定プロセスに関するガイドライン　解説編」改訂　平成 30 年３月、https://www.mhlw.go.jp/file/04-Houdouhappyou-10802000-Iseikyoku-Shidouka/0000197702.pdf.

①　ガイドライン（１）―①

「１.人生の最終段階における医療・ケアの在り方」では、①～④の４つのガイドラインが示されている。

①は、医療・ケアチームからの適切な情報提供と説明に基づいて、医療・ケアを受ける本人が、医療従事者と話し合って決定した終末期医療を進めることを、「最も重要な原則」として挙げている。

この原則は改定前のガイドラインを引き継ぐものだが、「医療従事者」が「多専門職種の医療・介護従事者から構成される医療・ケアチーム」と言い換えられている点は、本ガイドライン活用者の射程が広がったことを意味する。また意思決定には、時間の経過や心身の状態の変化、医学的評価の変更等に応じて大きく変化する可能性[42]があることも強調される。さらに、支援の対象である「本人・家族」に「等」が付され、本人が事前に定めて相談する、信頼できる者の範囲が拡大されたことにも注目しておきたい。この変更は、身寄りのない高齢者が増えていること[43]などが考慮された結果であると言える。ただし、家族「等」という表現は極めて曖昧である。家族を含めて患者の周囲にいる人々は、患者の価値観を理解する支援者であり得る一方で、患者の介護や世話にかかる負担の担い手として治療継続の可否の判断に利益相反を有する可能性も大きいことも、本ガイドラインに指摘しておくべきである。家族等とされる参加者を確認する方法、および家族等が参加する意思決定プロセスに利益相反等が入り込まぬよう慎重に行われる方法の具体化が求められる。

さらに、ガイドライン①は、本人が自らの意思を伝えられない状態になる可能性についても言及し、このガイドラインによって導入が図られた「ACP(アドバンス・ケア・プランニング:人生の最終段階の医療・ケアについて、本人が家族等や医療・ケアチームと事前に繰り返し話し合うプロセス)」[44]の重要性を述べている。

ACP については、老化分科会が 2020 年に発出した提言[45]で、老年医学会の提言[46]を参照しつつ、ACP が意思決定支援の中心になると論じている。特に、高齢者は認知症を発症すると意思決定能力が低下する可能性があり、より早い時期から本人と医療・ケア従事者が信頼関係を築き、一緒に決定していくプロセスが重要である。厚労省でも、人生会議ともいわれる ACP

---

[42] Whitney, S. N. et al., “A new model of medical decisions: Exploring the limits of shared decision making,” Medical Decision Making, 2003, 23(4), 275-280.
[43] 身寄りのない高齢者の生活上の多様なニーズ・諸課題等の実態把握調査｜日本総研. https://www.jri.co.jp/page.jsp?id=107744.
[44] 同上、「人生の最終段階における医療・ケアの決定プロセス関するガイドライン　解説編」【平成 30 年度版ガイドライン改訂の経緯】.
[45] 日本学術会議臨床医学委員会老化分科会　提言「活力ある超高齢社会の構築に向けて―これからの日本の医学・医療、そして社会のあり方」（令和２年（2020 年）９月 11 日）
[46] ACP 推進に関する提言、2019、日本老年医学会. https://jpn-geriat-soc.or.jp/press_seminar/pdf/ACP_proposal.pdf

を紹介するホームページを作り、その有効性を紹介しつつ普及を推進している[47]。他方で、このガイドラインでは、議論を開始する時期については明記されていない。実際には、人生の最終段階の幅が広く、慢性疾患や認知症患者などは本人を含めたチームでの検討を開始する時期が難しく、本人が判断できる時期を逸することも報告されている[48]。この点を考慮すると、医療・福祉チームは、本人の意思を推定する者を前もって定めることに加え、どの段階から検討が必要であるのかについても明示することが必要となるだろう。

他方で、新たに導入された ACP の考え方は、1990 年代半ばに、いわゆる SUPPORT 研究[49]によって、米国などで法制化などが進んできていた事前指示書(Advance Directive)の有効性に対して大きな疑問符がつけられたことを受けて、終末期における患者本人の意思を生かす医療を実現するべく、登場したものである。しかし、近年、ACP に対しても、その有効性自体に懐疑的な研究が ACP を主導してきた研究者たちから出されている[50]。また、多くの患者は将来の状況を予測できず、文書化された選択が現実に合わないことが確認されており、むしろ医療チーム、本人、家族の対話こそが必要であるとの指摘も出てきている。そのことを考えれば、ガイドラインの中で ACP の有効性を自明な前提としたり、ましてや単なる手続として制度化を図るようなことはできないはずである。それゆえ、多様なガイドライン使用事例を積み重ねて評価することで、国は、本ガイドラインの有効性と限界・課題をより明確にすることが必要不可欠であることを強調しておきたい。

② ガイドライン（１）―②

続くガイドライン②では、人生の最終段階における医療・ケア行為の開始・不開始、医療・ケア内容の変更、医療・ケア行為の中止等に言及し、この判断を、医療・ケアチームによって、医学的妥当性と適切性を基に慎重に行うべきとなっている。

この②に関しては、緊急時[51]こそ複数の医師や看護師等の医療従事者が協働して対応することを強調したい[52]。また状況的にそれが叶わない場合、

---

[47] https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_02783.html

[48] 介護老人保健施設における人生の最終段階における医療・ケアの提供実態にかかる調査研究事業. https://www.roken.or.jp/wp/wp-content/uploads/2024/04/R5_46.pdf

[49] Connors et al.(1995), ″A controlled trial to improve care for seriously ill hospitalized patients: The study to understand prognoses and preferences for outcomes and risks of treatments (SUPPORT),″ *JAMA*, 274(20), 1591-1598.

[50] Morrison RS, “Advance Directives/Care Planning: Clear, Simple, and Wrong,” *Journal of Palliative Medicine*, 2020,23(７),878-879; Morrison RS et al., “What’s Wrong With Advance Care Planning?” *JAMA*, 2021,326(16),1575-1576.

[51] 同上、「人生の最終段階における医療・ケアの決定プロセスに関するガイドライン　解説編」注４を参照.

[52] 第２回救急医療の現場における医療関係職種の在り方に関する検討会、令和４年 12 月 14 日. 【資料１】救急外来における多職種の配置、連携等について

事後に医療・ケアチームが行った判断の妥当性を検討すべきである[53]。さらに付言すれば、ガイドラインの検討において、厚労省は、チームであるからこその責任の所在の難しさについても検討すべきである。

なお、ガイドライン策定以降、刑事責任や医療従事者間の法的側面から大きく報道される事態は生じていないとされる[54]。しかし、それがガイドラインの成果といえるか否かは、客観的な評価が必要であろう。

③　ガイドライン（１）―③、④

残る二つのガイドラインのうち、③は緩和ケアと社会的援助によって、本人および家族等に総合的な医療・ケアを行うこと、④では積極的安楽死を本ガイドラインの対象としないことが述べられている。本ガイドラインでは「疾患に伴う耐え難い苦痛は緩和ケアによって解決すべき課題」であることが前提とされている。その意味で、ガイドライン使用者は、③が重要な位置にあることを再確認すべきである。

④　その他の論点とガイドライン（２）の「決定手続」

緩和ケアについては、2012 年のがん対策推進基本計画において、「がんと診断された時からの緩和ケアの推進」が重点的に取り組むべき課題として位置付けられた。2016 年に改正された「がん対策基本法」では、緩和ケアの対象疾患はがんに限定されるものではないことが明記された。世界保健機関（WHO）の定義（2002 年）[55]でも、対象は「生命を脅かす疾患による問題に直面している患者とその家族」のすべてとされている。

日本では、2024 年度の診療報酬改定において、緩和ケア診療加算の対象が悪性腫瘍（がん)、後天性免疫不全症候群（AIDS)、末期心不全、進行性神経難病（一部要件あり)、その他、生命予後が限られた疾患で身体的・精神的苦痛が強い場合に拡大された。要件として、緩和ケアチームによる診療が必要とされている。この改訂によって WHO の定義に近づくことはできたが、緩和ケアチームの構成要件を満たす医療専門職は十分には育っていない。さらに、緩和ケア診療加算の対象に含まれていても、緩和ケア病棟入院料の対象外である疾患もある。

第３章で既に述べたように、緩和的鎮静・鎮痛のための薬剤の使用においては、患者の死期を早めたりコミュニケーションを困難にしたりするリスクがある。技術の向上によってリスクは軽減されたが、なくなったわけではないという事実については射程に入れて継続検討する必要がある。

---

https://www.mhlw.go.jp/content/10802000/001023423.pdf.

[53] 同上.

[54] 第４回　人生の最終段階における医療の普及・啓発の在り方に関する検討会、https://www.mhlw.go.jp/stf/shingi2/0000193945.html、および同第４回検討会資料２－２「資料２－２　人生の最終段階における医療の決定プロセスに関するガイドライン」　解説編　改訂案（PDF：411KB）https://www.mhlw.go.jp/file/05-Shingikai-10801000-Iseikyoku-Soumuka/0000191282.pdf

[55] https://www.who.int/health-topics/palliative-care.

また、ガイドラインの「２　人生の最終段階における医療・ケアの方針の決定手続」は、本人の意思確認ができる場合とできない場合とに分けて記述されている。前者においては、まず①医療従事者からの情報提供と説明に基づき、医療・ケアチームとの十分な話し合いを踏まえた本人による意思決定が基本とされている。次いで②本人の意思が変化しうることから、本人が意思をその都度示し、伝えることができるような支援、および本人が意思を伝えられない状態になる可能性があることから、家族等も含めて話し合いが繰り返し行われることが必要とされている。さらに③話し合った内容を文書にまとめておくことが示されている。後者においては、医療・ケアチームの中で慎重に判断する必要があり、①家族等が本人の意思を推定ができる場合と②できない場合、さらに③家族等がいない場合および家族等が判断を医療・ケアチームに委ねる場合に分けられ、いずれにおいても本人にとっての最善の方針をとることが基本とされている。ここでも④話し合った内容を文書にまとめておく。

いずれの場合においても、医療・ケアチームの中で決定が困難な場合又は本人若しくは家族等との話し合いの中で合意が得られない場合等においては、複数の専門家からなる話し合いの場を別途設置し、検討および助言を行うことが必要とされている。

(2)　現状のガイドラインの課題と法制化の是非

以上、厚労省より出されたガイドラインに即して、延命治療の差し控え・中止に関して今の国内の臨床に残る課題を指摘してきた。改めて課題の要点をまとめておく。

第一に、特に生命維持に関する治療中止をめぐる十分な説明・意思確認というものをどのように捉えるのかは、改訂ガイドライン以後も大きな課題として残っていることが指摘できる。その点は、前章（(1)③）で触れた公立福生病院の事例では、透析中止に関する説明・意思確認をめぐる問題がクローズアップされたことを見ても明らかである。

第二に、これに関連して意思決定の主体として「本人・家族等」と「等」が加えられているが、「等」とは誰のことなのかを決定するプロセスを具体的に明示する必要がある。また、家族等の第三者は、治療継続可否の判断に関して利益相反を有する可能性があることにも十分留意する必要がある。

第三に、ACP については意思決定の重要な活動とされるが、その議論を開始する時期について明記されておらず、検討の必要があることである。また、ACP 事例を更に積み重ねることで、ガイドラインの有効性と限界・課題をより明確にしていくことも必要である。その際には、上で確認したように、ACP は単なる一回限りの手続ではなく、本来繰り返し行われるものであることを再確認すべきである。この点で患者の文書化された意思表明はある時点での

選択を示しているにすぎず、それを汎用することは、選択は常に変化し得るため、現実的ではない場合も確認されている。さらには、ACP が患者の価値観の尊重につながるという見方そのものについても重大な疑念が提示されている現状を踏まえると、ACP という考え方自体の有効性を自明な前提とすることなく、より良い意思決定とは何であるのかを更に検討していくことが求められる。

加えて、延命治療の差し控え・中止そのものというよりも、その前提条件に関わる問題点を一つ追加しておきたい。緩和ケア診療加算や緩和ケア病棟への入院について改善が確認されるものの、未だ悪性腫瘍などの疾患に限られている。この対象疾患が限定されている点は更に現状を検討し、改善していくことが求められる。

以上、終末期医療の臨床に残る問題点と課題をここでは三つに要約し、再確認した。これらの点は、基本的に、大きな原則を示すガイドラインと医療・介護の臨床の場面の個別具体的な問題との間に、不可避的に生じてくるギャップに由来するものだと考えられる。そのギャップを埋めるように公的に議論を重ねていくことによって、より良い医療・介護が実践できるはずである。したがって、時代の変化に合わせてガイドラインを更に改訂していくだけではなく、個々の事例の具体的な検討を重ねていくことが不可欠である。上で触れたように、現場に即した事例検討は既に開始されている。ここでは、そうした検討を積み重ねていくことが問題のギャップを埋めていく大きな手掛かりとなるはずであることを強調しておきたい。

言うまでもなく、医学の発展、医療の進歩により治療・緩和ケアの内容は常に変化していく。そうした変化への柔軟な対応を治療・緩和ケアの現場は常に求められている。その視点からすると、法制化の方向は柔軟な対応に結び付かず、望ましいとは思われない[56]。それどころか、延命治療の差し控え・中止を法制化するなら、コンプライアンス確保の必要性はいうまでもないが、遵守事項や手続が過度に複雑化し、現場への周知や支援が十分でない場合には、負担の増大や運用上の混乱を招くおそれがある。また、周囲の人々の意識や対応が「人生の最終段階」を迎える患者よりも、法の遵守に偏る危険性も考えられる。多様な個々の患者を人として尊重するなら、法制化に訴えることなく対応する方策を模索することこそが、治療・緩和ケアの現場には求められていると思われる。

[56] この点については、既に 1994 年に日本学術会議死と医療特別委員会による「死と医療特別委員会報告－尊厳死について－」（第 6 節「立法化の要否」）においても指摘されている。

５　おわりに―三つの見解

以上は、国会議員、厚労省および医療・ケア従事者、医学系学会のみならず、より広い人々に向けて作成された。ここまでの考察の結果は次の三点にまとめることができる。

（１）問題に関連する一連の用語に関しては、曖昧な表現を避け、意味を明確に限定できるものに整理すべきである。具体的には、「安楽死」という言葉は患者に致死薬を与える行為に限定し、「消極的安楽死」や「間接的安楽死」といった言葉は使用するべきではない。「尊厳死」という言葉も、倫理的懸念のある行為について懸念を覆い隠し、行為へと人々を誘導するもので、不適切である。「消極的安楽死」や「尊厳死」という言葉に換えて、「延命治療の差し控え・中止」と表現すること、また「間接的安楽死」に換え、事柄に即して「鎮静剤や鎮痛剤によって早められた死」と呼ぶことを提案したい。

（２）積極的安楽死、自殺幇助は容認できない。第２章で論じたように、安楽死を合法化したベネルクス三国等では、安楽死による死者数の増加、さらに対象者の拡大が確認された。加えて、カナダやフランスの合法化に対しては国連障害者権利委員会報告書が懸念を示していた。また第３章で論じたように、安楽死の容認は生の軽視、社会的弱者への圧力、共生という社会的価値の衰退と命の選別をよしとする価値観の醸成を促すものと思われる。さらにそれは、患者の生を目的とする医療という職業の倫理に反することになる。

（３）延命治療の差し控え・中止については、法制化を為すべきではない。延命治療の差し控え・中止の容認についても、弱者を害し社会的価値を毀損するリスクが否定できないが、法制化にはこのリスクを更に大きくするという弊害がある。ガイドラインで対応している現状に課題がないわけではないが、課題を克服するために必要なのは、医療やケアを受ける本人・家族や現場の医療者・介護従事者が柔軟で適切な個別的対応を実現するための支援である。すなわち求められているのは、各医療機関等において、ガイドラインをもとにした独自の医療・ケアの決定プロセスを検討・作成・制度化して、いかなる事例に対しても医療・ケアの決定に関する検討および省察が行われるよう整備することである。さらに、それによって得られた知見を厚労省にフィードバックしてガイドライン改訂の資料とすることである。こうした相互の動的プロセスは法制化とはまったく性質の異なるものである。なお、既に、ガイドラインは各種団体によって紹介・解説され、医療や介護の現場で活用されている。ガイドラインの内容や関与する専門家等の課題を明確にするためにも、厚生労働省にはガイドラインに基づいた既存の実践を集約し、関連学会等で議論できる基盤を作ることを求める。

〈参考資料〉審議経過

・哲学委員会現代における「いのち」を考える分科会

第１回　令和６年２月２日　委員長を含む執行部体制と今期の審議テーマ

第２回　令和６年４月 27 日　報告（土井健司委員）と討議

第３回　令和６年７月４日　報告（有馬斉参考人）と討議

第４回　令和６年８月 25 日　報告（安藤泰至委員）と討議

第５回　令和６年 10 月 17 日　報告（高山佳奈子参考人）と討議

第６回　令和６年 12 月 12 日から 14 日（メール審議）　委員長の交替について

第７回　令和６年 12 月 22 日　意思の発出について

第８回　令和７年３月４日　報告（一ノ瀬正樹委員）と討議

第９回　令和７年５月 12 日　報告（西村ユミ委員、秋下雅弘参考人、澤芳樹参考人）と討議

第 10 回　令和７年６月 10 日　『見解』の執筆について

第 11 回　令和７年 10 月３日　『見解』案の検討

第 12 回　令和７年 11 月 10 日　『見解』案の検討

第 13 回　令和７年 12 月８日　『見解』案の検討と決議

報　　告

現代社会における多様なリスクに対処する法とガバナンスのあり方

令和８年（2026 年）9 月 24 日

日　本　学　術　会　議
法学委員会リスク社会と法分科会
環境学委員会環境政策・環境計画分科会

この報告は、日本学術会議法学委員会リスク社会と法分科会及び環境学委員会環境政策・環境計画分科会の審議結果を取りまとめ公表するものである。

日本学術会議法学委員会リスク社会と法分科会

委員長	大塚　直	（第一部会員）	早稲田大学法学学術院教授
副委員長	中山　竜一	（連携会員）	大阪大学大学院法学研究科教授
幹事	島村　健	（第一部会員）	京都大学大学院法学研究科附属法政策共同研究センター教授
幹事	林　秀弥	（連携会員）	名古屋大学大学院法学研究科教授
	川嶋　四郎	（第一部会員）	同志社大学法学部教授
	宇佐美　誠	（連携会員）	京都大学大学院地球環境学堂教授
	神里　達博	（連携会員）	千葉大学大学院国際学術研究院教授
	川和　功子	（連携会員）	同志社大学法学部教授
	佐藤　義明	（連携会員）	成蹊大学法学部教授
	藤井　健吉	（連携会員）	花王株式会社研究開発部門研究主幹、研究戦略・企画部部長
	山下　竜一	（連携会員）	専修大学法学部教授
	米村　滋人	（連携会員）	東京大学大学院法学政治学研究科教授
	亘理　格	（連携会員）	北海道大学名誉教授
	千葉　恵美子	（連携会員（特任））	大阪大学大学院高等司法研究科招へい教授／名古屋大学名誉教授

日本学術会議環境学委員会環境政策・環境計画分科会

委員長	大塚　直	（第一部会員）	早稲田大学法学学術院教授
副委員長	浅見　真理	（連携会員）	国立研究開発法人国立環境研究所環境リスク・健康領域上級主席研究員・水道水質研究和光分室長
幹事	島村　健	（第一部会員）	京都大学大学院法学研究科附属法政策共同研究センター教授

幹事	村上　暁信	（連携会員）	筑波大学システム情報系教授
	大久保　規子	（第一部会員）	大阪大学法学部教授、大学院法学研究科教授
	馬奈木　俊介	（第一部会員）	九州大学大学院工学研究院都市システム工学講座教授
	栗山　浩一	（連携会員）	京都大学大学院農学研究科教授
	香坂　玲	（連携会員）	東京大学大学院農学生命科学研究科教授
	柘植　隆宏	（連携会員）	神戸大学大学院経済学研究科教授
	中野　牧子	（連携会員）	名古屋大学大学院環境学研究科教授
	藤井　健吉	（連携会員）	花王株式会社研究開発部門研究主幹、研究戦略・企画部部長

生物多様性の部分に関する記述の作成に当たり、以下の方に御協力いただいた。

中尾　圭志	PwC Japan 有限責任監査法人
宮本　泰俊	日本生命保険相互会社　責任投融資推進室

本報告の作成に当たり、以下の職員が事務及び調査を担当した。

事務局	郷家　康徳	参事官（審議第一担当）
	新田　浩史	参事官（審議第二担当）
	加瀬　博一	参事官（審議第一担当）付参事官補佐
	角田　美知子	参事官（審議第二担当）付参事官補佐
	櫻井　　碧	参事官（審議第二担当）付審議専門職
	高畑　麻衣子	参事官（審議第一担当）付審議専門職付
調査	辻　　政俊	上席学術調査員

要　　旨

１　作成の背景

科学技術が発達する中、現代社会は様々なリスクに囲まれている。多様なリスクに関するガバナンスはどのように行われるべきか。本報告では、環境リスク、デジタルリスク、感染症リスク、東京一極集中及び人口減少リスクの特徴を踏まえたガバナンスのあり方について、法学及びリスク学の立場から考察した。

２　現状及び問題点

(1)　リスクとリスク社会

リスク対応の意思決定のアプローチとしては、①確定的な専門知に基づいて危険があると認められてはじめて対応する「未然防止アプローチ」と、②危険があるといえるか明らかでないが、安全性に対する合理的な疑いがある場合に何らかの対応をすることを延期しない「予防的・警戒的アプローチ」（予防原則）が見られる。

現代的リスクの多くは、結果に至るまでの因果関係の連鎖がブラックボックスの中で追跡困難であり、また、リスクを観察する「フレーミング」が多様であることから、専門家に加えて、その被害を受けることになる多様なステイクホルダーが参画した上で、事前に、熟議民主主義的な取組をすることが重要である。

(2)　多様なリスクの性質と問題点

環境リスクとしては、気候変動、生物多様性の損失、環境汚染という３つの危機が地球規模で注目されている。環境リスクには、現時点では、どのような影響が生じるかの詳細は科学的に必ずしも確実ではないリスクが含まれる。環境リスクへの対処は、憲法上の公共の福祉による職業活動の自由又は財産権に対する制約として行われる。

デジタル化を推進しているデジタルプラットフォーム・ビジネス（PF ビジネス）の下では、①意思決定のブラックボックス化、②情報の非対称性の質的拡大、③サイバー空間とフィジカル空間のフィードバックループ、④過失責任モデルの機能不全という４つのリスクが生じている。もっとも、我が国の関連立法は、リスク①に対応する制度を欠き、リスク④への対応も限定的である。

感染症リスクは、罹患した本人の健康リスクだけでなく周囲の他者にまん延することにより社会全体のリスクを惹起する。感染症法は、変異株等が出現し既存感染症のリスクが大きく変化する状況に柔軟に対応できる枠組みとはなっていない。また、感染症拡大時にどの社会活動をどの法的枠組みで規制するかにつき包括的見直しが必要である。

東京一極集中リスクは、地方における人口減少リスクと表裏一体の関係にある。さらに前者は、首都直下型地震や富士山噴火により甚大な被害が生じるというリスク、後者は、人手不足による地域産業の衰退、割合が増加する高齢者へ十分な行政サービスを提供できないというリスクを抱えている。

３　報告の内容―多様なリスクに対処するガバナンスに関する提案

(1)　リスク対応における法の役割

「リスク社会」における法の役割は、「不確実性の下で合理的かつ正当な選択を継続的に行うための制度的基盤を構築すること」にある。現代的リスクに対する法の役割を果たすため、公法的手法と私法的手法の機能を相関的・総合的に位置付ける必要がある。

(2)　リスク対応における公法的手法の役割

不確実性を伴うリスクに対しては、被害発生の蓋然性が明確でないため、比例原則の観点から、規制が困難な場合が生じ得る。他方で、リスクの不確実性が乏しい場合や、不確実性が残されていても深刻な又は不可逆な法益侵害を防止する必要がある場合には、対策を延期してよいわけではない（本報告では「節度ある予防原則」を推奨する）。これらの場合には、規制的手法を用いるべき場合もある。

予防的対応は、デジタルリスクについても必要である。デジタルリスクの規制については、業法的規制ではなく、機能的なリスクベース・アプローチが採用されるべきである。本報告は、AI のリスクを「どこで」「誰が」管理すべきかを明確化するため、①AI 基礎モデル、②特定 AI システム、③提供サービスの３層に分けたガバナンスを提唱する。また、生成 AI は情報の生成を行い、自己学習・最適化を行うことから、運用中の挙動をリアルタイムで制御する「ランタイム・ガバナンス」が不可欠となる。

(3)　リスク対応における私法的手法の役割

環境リスクに関しては、公害不法行為に関する裁判例において、加害者の過失や因果関係について従来にない判断枠組みが構築されてきた。デジタルリスクに関しては、EU 法は行政規制が中心であり、また「動態的なシステミックリスク」や「意思決定過程のブラックボックスのリスク」には十分には対応していない。そこで、本報告は、「ランタイム・ガバナンス規制」と、私法秩序の根幹をアップデートする「システム公序」、「システムのガバナンス不全を原因とする危険責任主義に基づく責任制度」を用いて、公法と私法をハイブリッドに適用する新たなガバナンスモデルを日本法として提案する。

(4)　リスク対応における司法手続の役割

環境リスクについては、消費者団体訴訟のような立法による環境団体訴訟制度の創設、デジタルリスクについては、消費者契約法の改正などを通じて、システム公序の侵害のおそれを理由とする差止訴訟制度や団体訴訟制度の創設が望まれる。

(5)　リスクに対する社会的対応

本報告で取り上げるリスクの中には、部分的に社会的対応が考えられるものもある。地方における人口減少リスクは、社会的対応にとどまっているが、憲法 25 条の生存権に関連する「コミュニティにおいて生きる権利」が国民にあることを確認することにより、これに対する法政策の実現を図ることが重要である。なお、リスク社会において専門家・科学者は、リスクの不確実性について社会と共有し民主的な議論を支える役割を有する。

目　　次

１　報告の背景と目的 1
２　リスクとリスク社会 1
⑴　リスク社会とは 1
⑵　リスクの概念―リスク対応における２種類の過誤と、未然防止と事前警戒（予防）の区分 2
⑶　リスクの把握とフレーミング 3
⑷　リスク対応と民主主義 3
⑸　生成 AI に伴うリスクと AI ガバナンス 4
３　多様なリスク 5
⑴　環境リスク 5
①　環境リスクとは 5
②　環境リスクの保護法益とリスクの性質 6
③　環境リスクの社会性と公共の福祉、三面関係 6
④　生物多様性損失リスクと評価と対策 6
ア　生物多様性損失リスク 6
イ　自然資本の重要性と環境価値の評価 7
⑵　デジタルリスク 8
①　デジタルリスク 8
ア　デジタル化の進展による CPS の登場と社会問題の発生 8
イ　デジタルリスクの抽出とその相互の関係 9
ウ　各リスクの内容 10
②　リスク対応の観点から見た我が国のデジタル関連立法の課題 11
⑶　感染症リスク 12
①　感染症リスクとは 12
②　既存の法制度の課題 13
ア　国内まん延防止規制の課題 13
イ　医療規制の課題 14
⑷　東京一極集中、地方での人口減少のリスク 14
①　東京一極集中の災害リスク 14
②　地域における人口減少のリスク 15
４　多様なリスクに対処するガバナンスに関する提案 16
⑴　リスクに対するガバナンス、リスク対応における法の役割 16
①　現代社会が直面するリスク 16
②　法の活用に当たっての省庁横断のガバナンスの必要性 17
⑵　リスク対応における公法的手法の役割 18

① リスク対応における規制法・規制的手法等－主に環境リスクを素材として ... 18
② 不確実性の中での予防的規制と補償 ... 20
③ 気候変動に伴う災害リスクと規制 ... 21
④ デジタルリスクと規制 ... 22
ア 機能的なリスクベース・アプローチによる規制への転換――業法的規制の限界 ... 22
イ AI・データ規制と「ランタイム・ガバナンス」の必要性――動態的システムに対する制御 ... 26
⑤ 感染症リスクに対する規制に関する提案 ... 29
(3) リスク対応における私法的手法の役割 ... 29
① 環境リスクに対応する民事責任の役割 ... 30
② デジタルリスクに対する民事責任の役割 ... 31
ア システム公序概念の提唱 ... 31
イ 責任主体の再定義―責任の二段階分離モデルの提案 ... 32
ウ AI 実装における責任分配のあり方 ... 35
(4) リスク対応における司法手続の役割 ... 40
(5) リスクに対する社会的対応 ... 41
① 生物多様性損失リスクに対する企業の対応と TNFD（自然関連財務情報開示タスクフォース） ... 41
② 生成 AI のリスクに対する社会的対応 ... 42
③ 東京一極集中、地方における人口減少のリスクへの対応 ... 42
(6) リスク対応における専門家・科学者の役割 ... 44
＜参考文献＞ ... 46
＜参考資料＞審議経過 ... 51

１　報告の背景と目的

現代社会は、科学技術の発達する中、様々なリスクに囲まれている。現代社会は「リスク社会」であり、特に欧州ではデジタルとグリーンという二大分野においてリスクに対する法的対応が進行している。

医療・環境、AI、プラットフォーム、自動運転など現在生起し又はしつつあるリスクに対し、多様なリスクの特性や構造の分析を踏まえ、学問横断的に、どのようにその抑止と受容、すなわちガバナンスがなされているか、また、なされるべきかを考察することは、我が国においても、世界においても重要な課題である。

本報告は、日本学術会議法学委員会リスク社会と法分科会と、同環境学委員会環境政策・環境計画分科会の合同の報告である。本報告では、リスク社会と法分科会が設定された2021年の段階で我が国において主要なリスクと考えられた、環境リスク、デジタル化リスク、感染症リスク、東京一極集中・人口減少社会のリスクを取り上げ、主にリスク学及び法学の立場から検討した。その後の数年間でデジタル化のリスク（以下、「デジタルリスク」という）は特に増大している。環境リスクのうち、気候変動及び循環経済に関する点については課題別委員会での検討がなされているため、それに対する直接の対応については取り上げない。

２　リスクとリスク社会

(1)　リスク社会とは

リスク社会（Risk Society, Risikogesellschaft）という言葉は、チェルノービリ原子力発電所の爆発事故と同じ1986年、ドイツの社会学者ウルリッヒ・ベックによる同名の著書により産み出された[1]。今日では、地球温暖化、世界的な環境危機、感染症の急拡大に伴う社会的危機、IT技術やAIの社会実装に伴う社会のデジタル化がもたらす経済や行政システムの脆弱化、国際的なテロリズムや犯罪のボーダーレス化、移民受入をめぐる紛争や不安定化など、実に様々な文脈で用いられる。福祉国家の定着により、ものの充実という意味での豊かさでなく、今あるものを奪われることへのおそれへと人々の目が向かうようになった結果、科学的知識や技術の拡大と進歩は各種の利便だけでなく、予測不可能なリスクや不確実性を同時にもたらし、従来の合理的な制御を機能不全へと陥れつつあるという意識が浸透し始める。それは、「人の手で生産された不確実性」（A. ギデンス）が氾濫し[2]、そのため「社会それ自体が実験室」（B. ラトゥール）となった状況といえる[3]。地震などの自然災害も、リスク社会では、想像を絶する程度にまで被害が甚大化する可能性があることにも留意しなければならない。

「リスク」という言葉は、「望ましくない事象の発生確率×予測される損害規模」という意味で用いられることが多い。労働災害、交通事故、環境汚染などの大量現象にあっては、大数の法則が機能し、過去の統計データから一定の確率が算定され、事前の経済的な備えや、工学的な対応が考えられるためである（保険、工学、医学、生産管理、等々）。しかし、今日では、過去の統計データに依拠できない「計算不可能なリスク」ないし「不確実性」（F. ナイト，J.M. ケインズ）についても、「リスク」の表現が用いられること

がある[4][5]。リスク社会論が扱うリスクは、被害の発生確率はもちろん、その甚大さや波及効果の拡がりも予測できず、因果関係のネットワークが複雑化し見通せないものとなり、さらには国境を越えてグローバル化する、そうした新たなリスクでもある。

同時に、リスクという言葉の多義性にも注意を向ける必要がある[6]。統計や確率と密接に関わる上記のリスク理解と並んで、現在では様々な文脈で、望ましくない事象が発生するおそれがあることそれ自体を指して「リスク」の表現が用いられることも多いからである（社会学、心理学、M.フリードマン以降の経済学、等々）。行為者の認識や決定との関わりから「リスク」を捉えるこうした理解には、この語が用いられ始めた大航海時代（そして、海上保険の時代）の用法と同じく「損害が生じるかもしれないが、あえて自らの責任でそれに取り組む」という含意があり、そこでは行為者=決定者の主体性、すなわち自由と責任が強調される。

(2)　リスクの概念―リスク対応における２種類の過誤と、未然防止と事前警戒（予防）の区分

ドイツの環境行政法では、リスク（広義）を３つに分け、損害発生の蓋然性が十分に高いものを「危険(Gefahr)」、損害発生の蓋然性が低いか不確実なものを狭義の「リスク(Risiko)」、リスク低減措置の実施後も残るようなリスクを「残存リスク(Restrisiko)」と呼んでいる。以下では、特に限定しない限り、「リスク」を広義のリスクの意味で用いる[7][8]。「不確実性を伴うリスク」は、狭義の「リスク」の一部であるが、今日問題とされている多くのリスクがここに含まれる。

リスクに対応するに当たっては、事前の「予測」が必要となるが、この「予測」には、科学的不確実性を含め、種々の不確実性を伴っていることが多い。事後的な知見の充実、情報の集積、また時間の経過により、予測結果が誤っていることやその可能性があることが明らかになる場合には柔軟にリスク対応を修正する必要が生じる（これを「順応的制御方法」という）。このような「順応的制御方法」は、化学物質管理、医薬品管理、生物多様性保護、計画法制など様々な分野で取り上げられている（生物多様性保護に関しては生物多様性基本法３条３項参照）。

予測結果の過誤には、第１種過誤（リスクを過大予測する過誤）と第２種過誤（リスクを過少予測する過誤）がある。リスク対応の意思決定のアプローチとしては、①確定的な専門知に基づいて危険があると認められてはじめて対応する「未然防止アプローチ」と、②危険があるといえるか明らかでないが、安全性に対する合理的な疑いがある場合に何らかの対応をすることを延期しない「予防的・警戒的アプローチ」が見られるが、①は第１種過誤、②は第２種過誤に対応するものである[9]。気候変動、海洋汚染等の地球環境問題、化学物質管理、生物多様性保護などの環境問題については、第２種過誤がなされてきたため、「予防的・警戒的アプローチ」の必要が説かれてきた（代表的には環境と開発に関するリオ宣言第15原則）。不確実なリスクに対する第２種過誤を回避するための予防的アプローチの考え方は、環境行政法以外にも適用されるべきものである。

(3) リスクの把握とフレーミング

現代社会が直面するリスク、例えば上記の気候変動やエネルギー問題、パンデミックやサイバーリスクといった諸課題は、科学的・技術的な手段のみによって理解・解決できるタイプの問題ではない。その理由は様々だが、まず挙げるべきは、問題そのものが多くの種類の科学や技術と関連しており、特定の専門性に落とし込めないこと、さらに、政治的、社会的、経済的な要因なども含めた複合的な影響によって生じていることが挙げられる[10]。

そのような多面的な性格を持ったリスクに対処する際には、一般にリスク認識の問題がまず問われなければならない。なぜなら、リスクの認識自体が、単純な「事実の把握」には還元できず、その問題の「捉え方」に依存するからである。例えば、先端的な生命科学のはらむリスクの認識は、それを観察する側の思想的背景の影響を不可避に受ける。また放射線のリスクについても、他のいかなるリスクと比較するかによって、その危険性の評価は変化するだろう。つまり現代的なリスク問題の認識は、それを観察する「文脈」に大きく依存するのである[11]。

この種の問題を更に一般化するならば、「フレーミング」と呼ばれる概念に突き当たる。これは社会学者のゴフマンの研究に始まるが、本質的には、私たちが対象を理解する場合に必ずある種の「予期」を伴っているという点に起因すると考えられる。フレーミングの違いによって、問題の定義や解釈を方向付ける「認識の枠組み」が変わるため、同じ出来事であっても、意味・評価・対応などが変化するのである[12]。

したがってリスクの把握においては、それが一見科学的な装いをまとっていたとしても、どのようなフレーミングの下になされたものか、注意を払う必要がある。また、リスクと向き合う者の「立場の違い」も重要である。同じリスク問題であっても、行政や専門家によるフレーミングと、一般市民のフレーミングでは、大きく異なることが普通である。

以上の理由から、リスク問題に対する法的・政策的対応においては、科学的な妥当性と政策的な正当性の両面に配慮することが求められる。具体的には、客観的事実に基づくリスク対応に加え、フレーミングの多様性を踏まえた上で、参加型のリスク・ガバナンスを取り入れていくことも推奨されるだろう。具体的には、主として欧州で試みられてきた参加型テクノロジーアセスメントを、我が国でも本格的に導入することが考えられる。また、2(2)でも触れたように、リスク判断の根拠に関する不確実性が大きい場合であっても、予想される結果が重大かつ不可逆的なものとなる可能性がある場合には、予防的措置を可能とする法的な枠組みを検討することも求められる。

(4) リスク対応と民主主義

現代型リスクの予見不可能性は、「専門家に任せておけば、まずは大丈夫だろう」といった広く共有されてきた期待にも一定の変化をもたらすことになる。というのも、潜在的リスクとそれが現実化した際の想定される帰結はあくまでも実験室的な条件の下でのそれであり、(AI のリスクに特徴的なように) 結果に至るまでの因果関係の連鎖もブ

ラックボックスの中で追跡困難であるとすれば、また、これに加え、２(3)で論じた「フレーミング」の多様性の問題を考慮に入れるならば、専門家に加えて、その被害を受けることになる多様なステイクホルダーが参画した上で、潜在的リスクの現実化から生じる種々の帰結とそれらへの対処について、事前に、多角的な視点から議論しておく方が合理的である（理に適っている）と思われる。潜在的リスクの現実化に対する備えとしては、一方ではリスクに対する個人の自己決定と自己責任、他方では行政や企業による賢明な制度設計が枢要となることはいうまでもないが、コンセンサス会議（1980 年代にデンマークで開発された合意形成手法。一般から選ばれた市民がパネルとなり、専門家から説明や情報提供を受けながら、公開の場で合意形成を行う。）や計画細胞（1970 年代にドイツで開発された合意形成手法。無作為抽出された市民が複数の少人数グループに分かれて、一定期間の集中的な熟議を重ね、行政への提言を行う。）などのミニ・パブリックス（少人数市民参加型熟議手法）の試みや、地方自治体による「事前防災」等で既に実践されているように、リスクが現実化する以前に行われる、熟議民主主義的な事前の取組も重要な役割を演じるものと考えられる[13]。

しかし、その一方で、SNS や AI の普及により誰もが情報の加工やねつ造を容易に行えるようになり、その結果、デマや偽情報が即座に流通し氾濫するようにもなった現状に鑑みれば、熟議の前提となるはずの情報の真正性や質をめぐり、民主主義それ自体の基盤が掘り崩されるリスクがあることにも目を向ける必要がある。

(5)　生成 AI に伴うリスクと AI ガバナンス

今日、我々の社会生活を取り巻くエコシステムの一部を構成している AI の中でも、生成 AI は、機械学習データに含まれる個人情報から生起するプライバシー侵害や、同データに著作物が含まれる場合の著作権侵害などの在来のリスクに加えて、新たな形態のリスクをもたらしている点に留意する必要がある。

生成 AI によるリスクは、個人内面レベル・相互行為レベル・社会制度レベルに大別して理解することができる。個人内面レベルでは、利用者の関心に適合した画像・音声等を瞬時に生成することにより、閲覧時間を増加させてアテンション・エコノミー（情報の質や正確性よりも、どれだけ人々の注目を集められるかが価値を持つ経済的仕組みをいう）を昂進させるため、情報の吟味・選択能力を低下させる他、多様な意思決定に際して AI に助言を求めて無批判に従う傾向を助長することで、個人の自律性を掘り崩すなどの環境型リスクが広がっている。相互行為レベルのリスクでは、特定の個人を模したディープフェイクの猥褻画像・動画・音声による新形態の人格権侵害・名誉毀損等の標的型リスクが、とりわけ深刻である。社会制度レベルでは、自動生成された膨大な件数の虚偽情報や偏向的意見を選挙前にインターネットや SNS で拡散したり、パブリックコメントに書き込んだりすることを容易に行えるため、虚偽情報に基づく投票による選挙結果の歪みや、ごく少数の個人の極論を過大に考慮して政策の改廃が行われるという偏向型リスクが強く懸念される。これは、前述した民主主義にとっての新たなリスクの一部を成す。

３　多様なリスク

(1)　環境リスク

①　環境リスクとは

環境リスクとしては、現在、地球規模で進行する気候変動、生物多様性の損失、環境汚染という３つの危機が注目されている。

我が国においては歴史的に環境汚染が最初に大きな社会問題となったため、まず環境汚染に触れる。2019 年の世界疾病負担研究（Global Burden of Diseases, Injuries, and Risk Factors Study）によると、世界では環境汚染によって年間約900 万人が死亡しており、これは全死亡の約６分の１に相当する。内訳としては、大気汚染（室内・室外を含む）による死亡が約667 万人、水質汚染による死亡が約140 万人、鉛曝露による死亡が約90 万人と推計されている。また、マイクロプラスチックは、食品摂取、空気吸入、皮膚接触などを通じて体内に取り込まれ、肝臓、脾臓、心臓、胎盤など複数の臓器に蓄積することが報告されている。このように、環境汚染によって、人々の健康は多面的かつ深刻な影響を受けており、その影響は国境を越えて拡大している。加えて、低濃度曝露や日々創出される新規化学物質による健康影響については、未解明の部分が多い[1]。

一方、気候変動は、人間活動の拡大に伴う温室効果ガスの排出量の増大によって大気中の濃度が高まり、気温上昇や異常気象の頻発、沿岸部の侵食、生態系や社会基盤の変化を通じて、世界各地で多様な健康影響をもたらしている。豪雨や台風などによる気象災害も発生し、我が国では、2019 年の台風 15 号による災害では、甚大な損害保険金の支払いが発生し、我が国の金融機関が ESG 投資（投資家の意思決定過程において，環境（Environmental），社会（Social），企業統治（Governance）に配慮している企業の重視・選別を組み込むこと）に真剣に取り組む契機の１つになったといわれている。自然災害の中で気候変動の影響による頻発化・激甚化が特に懸念されるものは、崖崩れ・土石流・地滑り等による土砂災害、及び洪水や雨水出水による浸水災害である。

生物多様性や生態系は、人間社会に多様な恩恵をもたらしており、これらは総称して「生態系サービス」と呼ばれる。生物多様性損失のリスクは、単なる自然保護上の問題ではなく、食料、水、木材、災害緩和、医薬品の開発価値、感染症制御、文化的価値など、人間社会を支える自然の寄与が劣化することを通じて、生活、地域経済、産業、金融に波及する複合的リスクである。野生生物種及び生態系は、さらに、学術研究やレクリエーションなどの非経済的利用価値、人々が野生生物に関心を持つという存在自体の価値をも有している。多様な生物が生存する生態系の存続は、人類の存続の基盤を成すものである。生物多様性損失リスクについて、IPBES（生物多様性及び生態系サービスに関する政府間科学政策プラットフォーム）生物多様性と生態系サービスに関する地球規模評価報告書（以下、「IPBES 地球規模評価」という）は、世界の種の約 25%が絶滅のおそれに直面し、約 100 万種が絶滅危機にある可能性を示してい

[1] ３(1)①の汚染の記述については、本報告を執筆したリスク社会と法分科会のメンバーの一部が所属している日本学術会議環境学委員会・健康・生活科学委員会合同環境リスク分科会等が 2026 年に提出した「報告　プラネタリーヘルス：激変する地球環境におけるウエルビーイングの向上に向けて」８頁以下から関係する部分を引用した。

る[14]。

② 環境リスクの保護法益とリスクの性質

環境リスクの対象には、自然環境（自然生態系）と人工環境が含まれる。中でも人間が利用する範囲である生活環境が法的保護の対象として重視されてきた。環境リスクに対処する持続可能な発展（開発）においては、現在世代のみでなく、将来世代への配慮も要求されることが重要である。

環境リスクは、典型的には、環境負荷物質が長期にわたって広範囲に環境に放出され、それが不特定多数の人間の健康・生活環境や不特定の生態系に不可逆な影響をもたらすおそれがある。しかし、一部の化学物質や電磁波、遺伝子組み換え生物等に見られるように、環境リスクには、現時点では、どのような影響が生じるかは科学的に必ずしも確実ではないリスクが含まれる。そして、その影響は国内にとどまるものではなく、国際的に影響を及ぼす場合もある。

環境リスクの原因は、かつての公害のように特定の者から生じる場合もあるが、気候変動のように、人々の日常生活・不特定多数の事業者の活動から生ずるものが少なくない。そして、それは事故によって偶発的に生じるのではなく、通常の（事業）活動から継続的に生じることが多い。

③ 環境リスクの社会性と公共の福祉、三面関係

個々の環境負荷に対する対処は、その科学的評価を踏まえた上で、それを社会がどのように評価するかによって決せられる。環境リスクへの対処は、多くの場合、憲法上の公共の福祉による職業活動の自由（憲法 22 条１項）又は財産権（同法 29 条）に対する制約として行われる。環境リスクへの対処を社会的に決定する際には、持続可能な発展（開発）への配慮がなされなければならず（環境基本法４条）、将来世代との衡平を図るため、本質的（臨界的）自然資本（「最小安全基準に基づく決定的な水準の自然資本量」）[15]の維持が必須となる。環境リスクへの対処を行政が行う際には、行政が事業者（被規制者）に対して過剰規制にならないように配慮する（比例原則）とともに、行政が（規制の受益者である）市民に対する配慮が過少にならないよう留意する必要がある（三面関係）[16]。

④ 生物多様性損失リスクと評価と対策

ア 生物多様性損失リスク

1）環境リスクの中でも、生物多様性損失のリスクは、単なる自然保護上の問題ではなく、食料、水、木材、災害緩和、感染症制御、文化的価値など、人間社会を支える自然の寄与の劣化を通じて、生活、地域経済、産業、金融に波及する複合的リスクである。IPBES 地球規模評価は、上記のように、世界の種の約 25%が絶滅のおそれに直面し、約 100 万種が絶滅危機にある可能性を示している[14]。また、生物多様性損失は５つの直接要因である土地利用変化、資源採取、気候変動、汚染、外来種が相互に作用して進行するとしている。したがって評価においては、種数や生息地面積等の生態学的指標に加え、生態系サービス、自然資本、地域社会の利用・管理実態、将来世代への影響を含めた統合的把握が必要である。なお、自然の価値は

貨幣評価によって一定程度可視化できるが、不可逆性、代替困難性、文化的・地域的価値をすべて市場価格に換算できるわけではない。

2) 生物多様性を損失するリスクには直接的リスクと間接的リスクがある。直接的リスクとは、環境汚染事故や開発行為によって生物種の絶滅するリスクである。例えば、1989 年にアラスカ沖で発生したタンカー「バルディーズ」の原油流出事故では 40 万羽の野鳥と 3,000 匹のラッコが死亡し，生態系被害の損失額は 28 億ドルと算定されている[17]。また、農地転換などの開発行為によって森林面積の減少が続いている。国際連合食糧農業機関（FAO）の世界森林資源評価 2025 によると、直近 10 年間（2015～2025 年）では世界全体で毎年 1,090 万 ha の森林が失われている[18]。特に熱帯雨林の森林減少が深刻だが、生物多様性の高い熱帯雨林が失われることで絶滅リスクが高まっている。一方の間接的リスクとは、気候変動等によって生息域が失われることで生物種の絶滅するリスクである。近年、気候変動等により世界各地で森林火災が増えているが、森林に生息する生物の絶滅リスクが高まるだけではなく、森林に蓄積されていた CO_2 が放出されることで、更に気候変動を悪化させる危険性がある。生物多様性損失リスクが高まる中、世界各国で生物多様性の保全策が実施されているが、世界の森林のうち生物多様性保全に指定されているものは 12%に過ぎない[18]。環境汚染事故対策や開発規制によって生物多様性損失の直接的リスクを回避するとともに、気候変動による生物多様性損失のリスクを定量的に評価することで、企業等が抱えている生物多様性損失リスクを認識し、事前に対策を取ることが重要である。

イ　自然資本の重要性と環境価値の評価

生物多様性損失のリスクを低減する上で、自然資本の概念と環境価値評価は重要な役割を果たす。自然資本とは、森林、河川、湿地、海洋、生物多様性など、人間社会に多様な便益をもたらす気候変動の影響を含めた自然環境のストックを指す。これらは、食料供給、水源涵養、気候調整、防災、景観形成、地域固有の文化など、多様な生態系サービスを提供している。しかし、こうした自然資本の価値が市場において十分に評価されてこなかったことで、自然破壊やそれに伴う生物多様性損失が進行してきた。この問題に対処するためには、自然資本を人工資本や人的資本（合計が包括的な富指標（新国富指標））と同様に、社会を支える重要な基盤として認識し、その価値を可視化することが必要である[19]。温室効果ガスの削減・吸収量をクレジットとして取引可能にした気候変動のカーボンクレジットに加えて、自然資本の保全・回復・創出によって生じる生物多様性や生態系サービスの向上をクレジットとして取引可能にしたネーチャークレジットとしても、国際的にまた、国内でも進み始めている。そこで重要となるのが環境価値評価である。環境価値評価とは、生態系や生物多様性の価値を貨幣単位で評価する取組であり、そのための手法として、代替法、トラベルコスト法、ヘドニック価格法、仮想評価法（CVM）、離散選択実験などが用いられる[20]。これらの手法を用いた貨幣評価によって自然資本の価値を可視化することで、政策立案や企業活動における意思決定に自然資本の視点を

組み込むことが可能となる。ただし、環境価値評価の信頼性をめぐっては多くの議論が交わされており、現在も信頼性向上に向けた研究が行われている点や、これらの手法によって自然の価値のすべてを貨幣単位で評価できるわけではない点に留意する必要がある[21]。

(2) デジタルリスク

① デジタルリスク

ア デジタル化の進展によるCPSの登場と社会問題の発生

デジタル化は、単なる情報の電子化（Digitization）や業務効率化（Digitalization）を超え、データ駆動型で新たな価値を創出するDX（デジタルトランスフォーメーション）の段階に到達している。デジタル・プラットフォーム（以下では「PF」と表記する）と人工知能（以下では「AI」と表記する）は、我々の社会の基盤技術となり、多くの社会システムは、オンラインとオフラインが不可分に融合した「サイバー・フィジカル・システム（CPS）」へと進化している。CPS[22]は、データが循環して利活用され、AIが自律的に作用し、システム自体が動的に最適化されるという特徴がある（図1参照）。

上記の発展は、場所を問わない情報アクセスや自由な発信や効率性の向上など、多大な利便性を我々にもたらしているが、同時に、従来の法規制では十分に掌握できない深刻な社会問題を生じさせている。

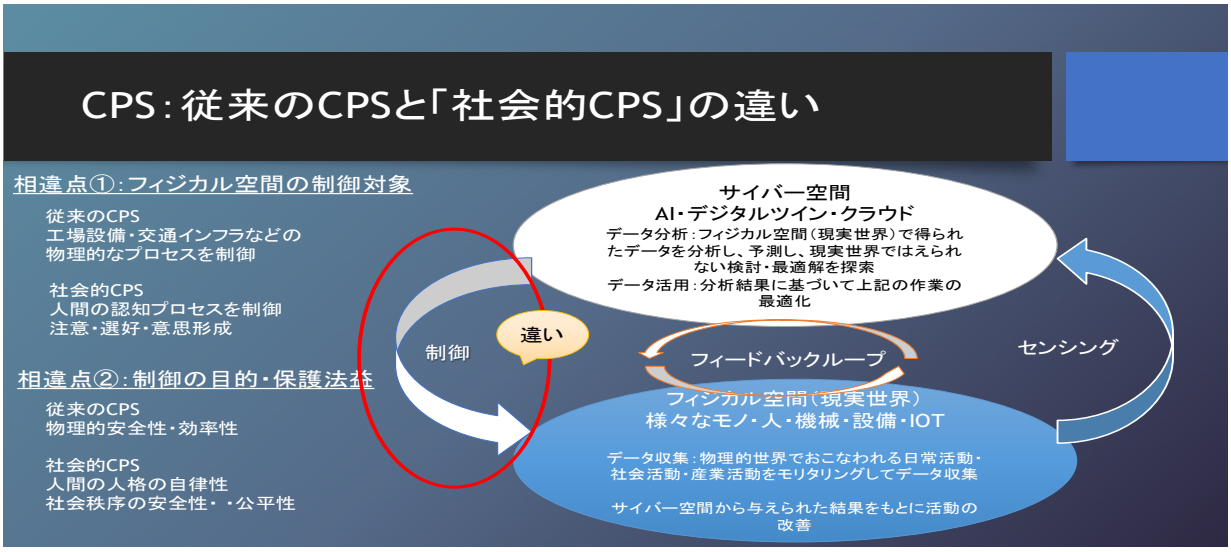
例えば、SNS上でのプライバシー侵害や著作権侵害、画像生成AIによるパブリシティ権侵害、偽情報による営業権の侵害、取引審査における偏向、認知バイアス（脳の思い込みや物の見方の偏り）を悪用した「ダークパターン」（企業にとって都合の良い行動を利用者にとらせるように仕組まれたWebサイトやアプリの不適切なデザイン）による消費者被害、ネット詐欺の巧妙化、未成年者のネット依存、さらにはSNSでの偽情報拡散による選挙の公正性への影響などが挙げられる[23]。また、ギグワーク（インターネット上のアプリやプラットフォームを通じて単発・短時間の仕事を行う働き方）やAIによる労働の自動化は、雇用と労働者の権利保障の構造を根本から揺るがしている[24]。このような社会問題は、個別に偶発的に生じているわけではない。デジタルプラットフォーム・ビジネス（以下では「PFビジネス」という）に代表されるように、オンラインとオフラインが不可分に高度に融合したCPSへと社会システムが進化していく中で生じている。このような社会的システムは、物理的制御を目的とする従来のCPSに対して、認知的プロセス（注意・選好・意思形成）と社会構造を制御対象とするシステムは新しいタイプのCPSであり、「社会的CPS」と呼ぶことができる[2]。社会的CPSは、フィジカル空間とサイバー空間の間の

[2] 伝統的なCPSについては[22]を参照。European Commission, *Cyber-Physical European Roadmap & Strategy*, 2015では、CPSを複数領域にまたがるSystems of Systems（SoS）として扱っている。社会的CPSについては、[25]も参照。コード（プログラム）といったデジタル的設計である「アーキテクチャ」が人間の行動を規制する要素となっている点については[26]、アーキテクチャによる個人の行動・認知誘導を[27]などを参照。

データ循環とサイバー空間のアルゴリズム更新を通じて、フィジカル空間における利用者の認知プロセスを動態的に制御する社会システムと定義することができる。

図１は、従来の CPS と社会的 CPS の共通点と相違点を視覚的に説明したものである。社会的 CPS は、アーキテクチャによってシステム制御された社会システムである点では、従来の CPS と共通しているが、制御の対象がフィジカル空間における利用者の認知プロセスであることと、制御の目的がシステムの物理的な安全性や安定性ではなく、社会システムを利用する「人間の人格の自律性や公平性、財産的取引秩序の健全性や安全性」である点に違いがある。PF ビジネスは、典型的な社会的 CPS の構造を持つ社会システムといえる。

図１　社会的 CPS の意義



（出典）法学委員会リスク社会と法分科会第 20 回資料（令和８年５月 31 日）千葉恵美子作成

イ　デジタルリスクの抽出とその相互の関係

PF ビジネスは、CPS の典型的な社会システムといえるが、そこでは、①意思決定のブラックボックス化、②情報の非対称性の質的拡大、③サイバー空間とフィジカル空間のフィードバックループ、④過失責任モデルの機能不全という４つのリスクが生じている。

これらのリスクは相互に依存している。PF 事業者によって作成されたアルゴリズムがブラックボックスであるために、PF 事業者と利用者の間の情報処理能力の差が決定的な格差となり（①→②）、逆に情報処理能力の圧倒的格差があるために利用者はブラックボックスの中身を検証できない（②→①）。この循環によって利用者の自律性が損なわれ、格差が固定化される。さらに、個別の誘導が利用者のリアルな行動を変え、その行動がデータとして回収され、モデルが更新され、より精緻な誘導が行われるという③のフィードバックループが働くことで、システム全体のリスクは拡張・増幅される。CPS が自律的・動的に変化し続ける結果、因果関係の特定が

困難となり、もはや「特定の誰かの過失」を捉えることができず、④のリスクである過失責任モデルの機能不全が生じる。

ウ　各リスクの内容

（ア）　意思決定のブラックボックス化によるリスク

我々の社会の取引の基本モデルは、対等な当事者間の「自由な意思に基づく合意」を大前提としている。しかし、AI による自動最適化が進む中、個人の意思はシステムの「設計(アーキテクチャ)」に吸収されてしまっているといっても良い。アルゴリズムによる選別が、個人の「自由意思」を統計的なデータの中に埋没させてしまい、契約締結過程はブラックボックス化する。利用者の意思形成そのものが UI/UX（ユーザーインターフェース）やレコメンデーション（推奨機能）によって構造的に誘導され、利用者の自律的な選択が損なわれている[3]。

（イ）　情報の非対称性の質的拡大によるリスク

従来は、情報の量と交渉力の格差の観点から情報の非対称性が指摘されることが多かった。しかし、生成 AI の実装化によって、システムの保有者・運営者である PF 事業者と利用者側の間では、情報の保有量だけでなく、推論能力の非対称性、モデルアクセス権限の非対称性などにより情報処理能力・情報生成能力に関して圧倒的な格差が生じている。また、アルゴリズムによる利用者の属性に基づいた価格設定や機会の提示には構造的な差別を生じさせる可能性がある。生成 AI の実装化によってこの構造的な差別や格差が自動的に強化され固定化される状態が生まれている。

（ウ）　サイバー空間とフィジカル空間のフィードバックループによるリスク

SNS で顕著に表出しているように、収益最大化のために人々の注目を奪い合う「アテンション・エコノミー」の下では、視聴者を増やすために行う個人の最適化が必ずしも社会全体の利益（社会的厚生）につながらない状態、負の外部性が市場メカニズムによって内部化されない構造が生じている。

PF ビジネスでは、PF 事業者が、PF を通じて多種多様な主体が参加する市場を組織化し、そこで得られる膨大なデータを AI がリアルタイムで解析・学習し続け、システムの設計を更新し利便性を高めている。これにより、物理空間における個人の行動や意思形成、さらには社会資源の配分までもが動的に最適化されることになる。

このため、個別の行為に着目すると違法性があるとまではいえなくても（例えば、単なるうわさや伝聞情報の開示)、情報の拡散と自動化によってシステム全体として社会を不利益に陥れている状態（逆最適化）が生じており、これまでとは異なる不公正・不正義が登場している。このように、個別の行為を超えて、デジタルとリアルが融合する CPS という構造を持つ社会システム自体に起因して、個

[3] DPF ビジネスにおけるマッチングシステムが必ずしも利用者の判断の限定合理性を解消させないことについて言及した文献として、[28]などを参照。

別の最適化の積み重ねが、社会全体の福祉（社会的厚生）を損なう場合があることになる。

しかも、データがサイバー空間とフィジカル空間をフィードバックループすることによって、CPS の構造的リスクが動態的に変化することになる。CPS は、オンラインとオフラインが不可分に融合し、生成 AI の実装によって自らも絶えず変化し続ける「動態的な社会システム」となっている。

（エ） 過失責任モデルの機能不全によるリスク

法の基本原則は、自由な行動を保障するために、行為者に「過失がある場合にのみ責任を負う」という考え方に立脚している。しかし、AI の自己学習や動的な最適化、さらには多様な主体が複雑に関与する PF ビジネスにおいては、「誰の行為で損害が生じたのか」「誰が注意すれば損害の発生を回避できたのか」を特定することが極めて困難となる。このため「結果の予見可能性」と「結果の回避可能性」を前提とする従来の過失責任モデルでは、損害が発生しても責任主体を特定できない「責任の空白」が生じることになる。

② リスク対応の観点から見た我が国のデジタル関連立法の課題

近年、既存の法制度の改正や解釈方針やガイドラインの見直しのほか、「特定デジタルプラットフォーム取引透明性法」（「透明化法」という）・「取引デジタルプラットフォームを利用する消費者の利益の保護に関する法律」（以下「取引 PF 消費者保護法」という）・「情報流通プラットフォーム対処法」、（以下「情プラ法」という）、「スマートフォンにおいて利用される特定ソフトウェアに係る競争の促進に関する法律」（以下「スマホ法」という）「人工知能関連技術の研究開発及び活用の推進に関する法律」（以下、「AI 活用推進法」という）などが、デジタル関連法として新たに制定されている[29][30]。

表１に示すように、透明化法、取引 PF 消費者保護法、情プラ法では、デジタル・情報通信に特化した立法であるにもかかわらず、３(2)①で示したリスクに十分に対応できておらず、現象として生じているトラブルを部分的に最適化しているにすぎない。既存法制の改正も含め、2018 年の著作権法改正に見られるように、生じている問題に後追いで対応する「対症療法」＝「点」の規制にとどまっている。AI 活用推進法は、AI のリスク管理については対応していない。

一方、スマホ法は、EU の DMA（デジタル市場法）[31]の情報仲介サービスに着目した規制手法とは異なった手法であるが、OS やブラウザという「ゲートウェイ（窓口）」の支配に着目し、PF 事業者のアーキテクチャ支配に切り込んだ規制の先例といえそうである。また、「規制」における情報の非対称性を補完するための手続的手法を導入した上で、強力なエンフォースメントを用意して実効性を担保しており、リスク②③④に一定程度対応している。

ただし、スマホ法は、OS やブラウザという入口規制を中心として公正競争市場の実現に向けてシステムの健全性を求めているが、取引の透明性や公平性といった観点から事業者に義務や責務を定めているわけではない。このため、意思決定のブラックボ

ックス化（リスク①）については十分に対応していない。

以上の分析から、我が国のデジタル関連立法は、意思決定のブラックボックス化のリスク（リスク①）に対応する制度を欠き、過失責任モデルの機能不全のリスク（リスク④）への制度対応も限定的である（規制のミスマッチ）。また、オンラインとオフラインが不可分に融合した CPS という新しい社会システムにおいて、PF と AI を基盤技術としていることによって、どのようなリスクが発生するのかを十分に分析して、CPS の構造的リスクに対応した規制が行われているとはいえない。

表１　社会的 CPS の構造的リスクと日本のデジタル関連立法のリスク対応状況

	リスク①（意思決定のブラックボックス化）	リスク②（情報の非対称性の量的拡大）	リスク③（サイバーとリアルの動的ループ）	リスク④（責任の空白）
透明化法（2021）	×	△（情報量のみ）	×	×
取引 DPF 消費者保護法（2022）	×	△（情報量のみ）	×	×
情プラ法（2025）	×	×	△（違法・有害情報について削除基準の策定の義務づけや公表による情報の管理のみ）	△（違法・有害情報について削除基準の策定の義務づけや公表による情報の管理のみ）
著作権法改正（2018）	×	×	×	×
AI 活用推進法（2025）	×	×	×	×
スマホ法（2025）	×	△（公正競争の確保に限定）	△（公正競争の確保に限定）	△（課徴金制度）

（出典）法学委員会リスク社会と法分科会第 18 回資料（令和８年５月３日）千葉恵美子作成

(3)　感染症リスク

①　感染症リスクとは

感染症は、有史以来人間社会を脅かし続け、予防接種や抗菌薬等が普及した現代でもなお多くの病原体が生命・健康への重大なリスクをもたらす状況が存在する。感染症のリスクは、それに罹患した本人の健康リスクを惹起することはもとより、周囲の

他者にまん延することにより社会全体のリスクを惹起する点に特徴がある。「パンデミック」と呼ばれる大規模な感染拡大はその典型例であるが、そのような現象に至らなくとも、周囲に対する感染リスクの高い感染症は存在し、そのような場面を含む感染症リスクへの法制度的な対応が不可欠となっている。

② 既存の法制度の課題

2020 年から数年間のコロナ禍では、我が国の法制度が感染症リスクへの対応として極めて脆弱であることを如実に示した[32]。既存の法令に伏在する問題の大半は、法改正等による解決がされず、そのまま残存している。

感染症対策に関わる既存の規制（及び各根拠法）は、予防規制（予防接種法）、流入規制（検疫法）、国内まん延防止規制（感染症法・新型インフルエンザ等対策特別措置法（以下「特措法」という））、医療規制（感染症法・医療法）に分けられる。これらすべてに関して、現行規制には感染症危機管理の観点から課題があるが、本報告では特に、国内まん延防止規制と医療規制に絞って検討する。

ア 国内まん延防止規制の課題

感染症法は、国内まん延防止規制の中核を成す重要な法律であるが、２つの大きな特徴を有する。

第１に、感染症法は病原体によるリスク分類に基づく類型的規制（１類～５類、新型インフルエンザ等感染症、指定感染症、新感染症の分類がある）を基本とし、しかもどの病原体がどの類型に当たるかは、大半が法律に直接書き込まれている。これは、病原体ごとのリスクを固定的に理解する前提によるものであり、もちろん、政令指定による指定感染症や新感染症の枠組みによりある程度の柔軟な対応はとられるものの、変異株等が出現し既存感染症のリスクが大きく変化する状況などにも柔軟に対応できる枠組みとはなっていない。

第２に、感染症法は医療とまん延防止を一体的に実施する考え方に基づき立法されている。これは、旧伝染病予防法などの旧法令下では隔離政策がとられ、ハンセン病患者等に対し人権侵害的な医療が実施されたことへの反省から、感染症患者に対する適正な医療の実施を一義的に重視し、医療実施を通じてまん延防止対策も行うという方針がとられているからである。このため、感染症法上の各種措置を受けるのは感染症患者・疑似症患者に限定される一方、入院措置等の強制的医療に関しても本人の医療的な必要性があることが前提となっていると考えられる[33]。

以上の感染症法の及ばない一般住民や事業者への規制を担うのが特措法である。同法は新型インフルエンザ等感染症を中心に、大規模な感染拡大があった場合に緊急事態宣言下での緊急事態措置やまん延防止等重点措置を可能にするものだが、規制要件や規制内容が条文上明確でなく、多くが緊急事態宣言発出時に策定される「基本的対処方針」に委任されている。この仕組みは、柔軟性を重視したものと考えられる一方で、感染症危機対応としての有効性や必要性を確認、検証する仕組みがない。また、規制手法としては強制力のない協力要請が多用されているものの、社会的な同調圧力の利用には不透明性や法的不確実性が拭えず、命令・公表等の強

制手段が併用される場合もあるが一貫性に乏しい。感染症拡大時にどのような社会活動をいかなる法的枠組みで規制すべきか、包括的な見直しを必要とする。

イ　医療規制の課題

コロナ禍では感染拡大時に感染症病床の利用が逼迫し、医療の必要な患者を十分に受け入れられないという反省点を残した。これは、根本的には入院病床が多数の医療機関に分散配置される我が国の医療機関の構造に由来する一方、地域内での複数医療機関での役割分担や協力体制の構築によりある程度解決できる可能性がある。しかし最終的には、感染症危機時に自治体から医療機関に対して医療内容に関する一定の指示や命令を発出する仕組みが必要であり、それが存在しない現行の医療規制は不十分であるといわざるを得ない[34]。

(4)　東京一極集中、地方での人口減少のリスク

東京一極集中は地方における人口減少と表裏一体の関係にある[4]。しかも、両者はいずれもリスクを抱えている。例えば、東京一極集中は、首都直下型地震や富士山噴火により甚大な被害が生じるというリスク、地方における人口減少は、人手不足による地域産業の衰退、割合が増加する高齢者へ十分な行政サービスを提供できないというリスク、さらにそもそも地方が消失するというリスクを抱えている。

①　東京一極集中の災害リスク

首都圏を襲う災害リスクとしては、大規模地震が最も懸念されている。直近では、2025 年に中央防災会議の首都直下地震対策検討ワーキンググループが 10 年ぶりの報告書を出している。これによれば、最悪のケースとして想定される東京都南部を震源とするＭ７クラスの地震が冬の夕方に強風（風速８m）下で発生した場合、死者 1.8 万人、全壊・焼失戸数 40 万戸、経済的被害 83 兆円と見積もられている。これらの数字は前回想定された被害規模より小さくなったものの、東日本大震災のデータから算出された災害関連死は、最悪で 4.1 万人にのぼる可能性があるとしている[35]。

また一般に、経済被害の推定は因果関係が不明なプロセスも多いため正確な定量が難しく、上記の経済被害想定においては、主として直接的な資産等の毀損、生産力低下、交通寸断等の影響を対象としており、長期的な影響はあまり考慮していない。だが土木学会はより想定期間・範囲を拡げた試算を行っている。これによれば、大規模地震の結果として長期にわたって経済活動が低迷することで生じる経済的被害の総額は、1,063 兆円という極めて大きなものになるとしている[36]。

加えて、首都を襲う災害リスクは地震だけではない。例えば、富士山においては過去約 300 年間大きな噴火の記録がないが、最新の研究によれば、5,600 年前から 1707 年の「宝永の噴火」までの間に、約 180 回の噴火が起きていることが分かっている。これは実に 30 年に１度の頻度であり、むしろ直近の「300 年間の平穏」は例外的事象

[4] 東京圏と地方の面積と人口を比較すると、日本の国土の 0.6%に、全国の３割弱の人口が集まっている（https://www.soumu.go.jp/main_content/000629037.pdf）

である可能性もあるという[37]。

最新の被害想定では、噴火による火山灰の降灰が微量でも鉄道の停止や電力への影響が生じ、降雨が重なると３cm 以上の降灰で自動車が使えなくなる。水源に降灰すると上水道の処理能力を超えて断水し、灰を吸い込むことで健康被害も拡大する[38]。その結果、首都機能は一気に麻痺するだろう。

しかも、以上のような首都圏の大規模自然災害の影響は、被災地にとどまらない。様々な基幹機能が高度に集中しているゆえ、政治行政・交通通信・金融・エネルギーなどが同時多発的に毀損し、また相互に作用し合うことで、日本社会全体の機能不全を引き起こすと考えられる[35]。さらに現代社会は高度に緊密に、またグローバルに結び付いており、様々なシステミック・リスク(systemic risks)を惹起し得る。その影響が世界に波及する可能性もあるだろう[10]。

ここで改めて注目すべきは、災害の被害は自然現象の規模だけで決まるのではなく、社会的な要因に大きく左右されるという事実である[39]。すなわち災害は自然と社会の相互作用によって生じるのである。特に都市の災害に対する脆弱性や回復力(レジリエンス)は、単なる技術の問題ではなく、制度や社会のあり方の影響を大きく受けることが指摘されている[40]。

したがって、様々な防災対策に加え、首都機能の分散化や代替のための対策を更に進めることが求められる。これは社会システム全体の再設計に関わる、大きな課題といえるだろう。

② 地域における人口減少のリスク

我が国で人口減少が意識された契機は、1990 年の 1.57 ショック[5]からであるが、人口減少問題が社会に大きな衝撃を与えたのは、2014 年、日本創世会議により発表された「消滅可能都市 896 のリスト」である。2040 年には 896 の自治体が消滅可能都市となり、その後、東京圏のみが生き残る極点社会になる。しかし、東京圏は地方圏より出生率が低いため、人口減少が加速化する、といった将来のシナリオを示したのである。事実、我が国の人口は、2008 年の１億 2,808 万人をピークに減少に転じ、2025 年 10 月時点で、１億 2,305 万人である。

人口減少社会は、次のようなリスクを抱えている。第１に、人口減少に伴い労働者数が減少し、人手不足が起きることにより、とりわけ地域経済が衰退するリスクがある。第２に、人間活動すなわち経済活動が減少することにより、国・地方の歳入が減り、行政サービスを国民・住民に従来通り提供できなくなるリスクがある。第３に、人口減少と同時並行で進展する高齢化に伴い、社会保障関係費（歳出）が一層増加するリスクがある。地方における人口減少問題は、都会の住民には切迫した課題として認識されていない面があるが、地方においては地域の消失の危機であり、我が国全体にとっても、徐々に確実に国力を衰退させ、国民に対するサービスの低下、ひいては

5 1.57 ショックとは、前年の合計特殊出生率（一人の女性が 15 歳から 49 歳までに産む子供の数の平均）が 1.57 であることが判明したことをいう。なぜショックかというと、出生率が低いといわれる「ひのえうま」の 1966 年の 1.58 を下回ったからである。

日本に対する帰属意識についてさえ変調をきたす問題である。

人口減少社会のリスクに対し、政府も様々な地方創生政策をとってきた（まち・ひと・しごと創生総合戦略、デジタル田園都市国家構想総合戦略、地方創生 2.0 基本構想等)。これまでの地方創生政策は、①地方に仕事をつくる、②人の流れをつくる、③結婚・出産・子育ての希望をかなえる、④魅力的な地域をつくるという４つの取組を中心に進められてきた[6]。また、日本学術会議も、(報告)「深化する人口縮小社会の諸課題」において、幸福な人口縮小社会を実現するために、様々な提案等を行ってきた[41]。

そのうち、まちづくりに関しては、立地適正化計画制度の創設（都市再生特別措置法の 2014 年改正）によりコンパクトシティ化が進められ、上記報告は、複合的拠点への再編を目指し、居住環境整備プロセスの効率性の改善（具体的には、PPP/PFI のような公民連携という手法を超え、課題解決型の地域マネジメント制度の構築）を求めていた。

しかしながら、その後、コンパクトシティ化も地域マネジメント制度の構築も十分な進展が見られない。

４　多様なリスクに対処するガバナンスに関する提案

本報告では多様なリスクについて取り上げたが、リスクに対するガバナンスをどのように行うか。この点について法の役割、公法的手法の役割、私法的手法の役割について取り上げる。さらに、公法的手法でも私法的手法でもない社会的対応について最後に一言する。

(1)　リスクに対するガバナンス、リスク対応における法の役割

①　現代社会が直面するリスク

本報告では、「環境リスク」「デジタルリスク」「感染症リスク」「東京一極集中及び人口減少リスク」といった多様なリスクが扱われている。そのため、リスク対応についても、リスクごとに、法の役割は異なっていると考えるべきである。

もっとも、現代社会が直面する多くのリスクの共通の特徴として、科学的知見に不確実性があり、かつ社会的影響が広範かつ不可逆的であるという点を挙げることができる[43]。このような「リスク社会」において、法の役割は、単に既に顕在化した危険に対して事後的に責任を配分することにとどまらず、不確実性を前提とした意思決定を社会的に正当化し、継続可能なリスク対応を可能にする制度的条件を整えることにある。

リスク学の知見が示すように、リスクは単なる客観的危険ではなく、評価・比較・優先順位付けを通じて社会的に構成される。どのリスクを、どの程度、どの時点で許容するかという判断は、科学的合理性のみならず、価値判断、社会的受容、政治的選択を不可避的に含む[44]。このため、法は、科学的知見を一義的な判断基準として固定化するのではなく、リスク評価に内在する不確実性や前提条件を可視化し、社会的

6 最新の地方創生政策については、[42] 参照。

熟議を可能にする枠組みとして機能すべきである。

この点において、第１に、法はリスク判断の主体と責任の所在を明確化する役割を担う。リスク対応が行政、専門家、事業者、市民といった複数の主体に分散する現代社会において、誰がどの段階で、どのような根拠に基づいて判断を行うのかを制度的に定めることは、判断の恣意性を抑制し、説明責任を確保する上で不可欠である。第２に、法は、リスク対応における判断過程の透明性と正当性を担保する役割を果たすべきである。科学的知見が不確実である場合であっても、どのような知見が考慮され、どのような不確実性が存在し、なぜ特定の対応が選択されたのかを明示することによって、リスク対応は社会的に検証可能なものとなる。これは、専門家の権威を否定するものではなく、むしろ専門知と民主的統制を架橋するための制度的条件である。第３に、法は、リスク対応に伴う不利益の分配を正当化する機能を有する。予防的措置や規制は、特定の主体に経済的・社会的負担を集中させることが多い。法は、これらの負担が社会全体の利益との関係でどのように位置付けられるのかを明示し、必要に応じて補償や調整の仕組みを組み込むことにより、リスク対応の持続可能性を確保すべきである。

以上から、リスク社会における法の役割は、「不確実性の下で合理的かつ正当な選択を継続的に行うための制度的基盤を構築すること」にあると整理できる。このような現代社会におけるリスクに対する法の役割を果たすため、公法的手法と私法的手法を別個に捉えるのではなく、両者の機能を相関的・総合的に位置付ける必要がある。すなわち、行政規制、情報開示、監督、契約、不法行為、消費者保護、競争法制など、複数の法分野を横断的に組み合わせることによって、リスクの予防、管理、分配、救済を一体的に図るような法制度設計が求められる。この法分野横断的な対応の必要性は、本報告が取り上げるリスク全般に共通する。

②　法の活用に当たっての省庁横断のガバナンスの必要性

このような不確実な現代的リスクは、単一の行政分野に収まらず、複数の政策領域にまたがって発生する。そのため、法的対応においては、個別省庁の所掌を前提としつつも、縦割り行政を超え、リスクの全体把握、政策調整、責任分担を可能にする省庁横断的なガバナンスが不可欠である。

その一例が、化学物質管理である。化学物質リスクは、製造・輸入・流通に関する産業管理に加え、人の健康、環境汚染、生態系への影響にも関わる複合的なリスクである。この点、化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律（化審法）は、経済産業省、厚生労働省、環境省がそれぞれの専門性を活かし、共通の法制度の下で審査・評価・規制を行う仕組みを整えており、省庁連携型規制運用の事例といえる。しかし、化学物質管理は化審法だけで完結するものではなく、化管法、労働安全衛生法、毒物及び劇物取締法、消防法、食品衛生法、農薬取締法など、十数の関連法規制が併用されている。その結果、規制対象、評価手続、情報管理、届出義務、リスク評価の基準が分散し、化学物質リスクを総合的に把握しにくいという課題が残る。今後は、各法の専門性を維持しつつ、化学物質情報の共有、評価手法の整合化、規制の重複・空白

の整理を進め、関連法制度をより統合的に運用することが求められる。

また、コロナ禍の教訓を踏まえて新設された内閣感染症危機管理統括庁も、省庁横断的ガバナンスの制度化を示す事例である。パンデミック対応は、医療、公衆衛生、検疫、医薬品、経済活動、教育、雇用、地方自治など多くの分野に関わる。政府全体の方針立案と各省庁の総合調整を担う司令塔機能として、新設の統括庁の役割が期待されている。

これに対し、デジタル分野ではなお課題が残る。AI、PF、個人情報、消費者保護、競争政策、サイバーセキュリティ等のリスクは、複数の省庁や委員会にまたがっている。本来、デジタル庁にはこれらを横断的に調整する役割が期待されるが、そのリスク・ガバナンスにおいて司令塔機能はなお十分とはいえない。

以上のように、現代的リスクへの対応において、法には、分散した制度や行政主体を結び付け、リスクの全体把握、政策調整、責任分担を可能にする統治構造を整備する役割がある。今後の法制度設計においては、省庁横断的ガバナンス、とりわけ実効的な司令塔機能の制度化が重要な課題となる。

(2) リスク対応における公法的手法の役割

① リスク対応における規制法・規制的手法等－主に環境リスクを素材として

ここでは、主に環境リスクを素材として、リスク対応における公法的手法、特に規制的手法について記す。いわゆる経済的手法についても一部取り上げることにしたい。

1) 法律によるリスク対応については、通常、行政機関が基準の遵守を国民に求め、その遵守を強制する規制的手法が用いられてきた。規制的手法の利点は、第１に、必要な行為を具体的に指示することとなり、明確性があること、第２に、短期間で望ましい状態を実現できるという確実性がある場合が多いことにある。

もっとも、規制的手法の活用に当たっては実際上の限界・制約がある。すなわち、①行政リソースの限界、つまり、監視手法の限界のため、規制的手法のみでは限られた効果しか発揮されない場合がある。また、②損害発生の蓋然性が十分でないのに規制をすると、被規制者に過剰な負担がかかる可能性がある一方、放っておくと極めて重大な、場合によっては不可逆な損害を生じる可能性がある。規制的手法については、本報告が扱う不確実性を伴うリスクに対しては、被害発生の蓋然性が明確でないため、比例原則の観点から、規制をするのが困難な場合が生じる[45][7]。

2) リスクに不確実性がある場合においては、前記の２点、特に②に対処するために、行政指導や自主的取組手法のような、自主性を重んじる手法が用いられることがある。気候変動リスクに不確実性があった時期における産業界の自主的取組手法の活用は、この一例であった。

もっとも、一般的に、行政府が自主性を重んじる手法に依存することについてはい

[7] 不確実性の中での規制的手法の可能性に関するドイツ法の議論について、[7]参照。なお、規制手法をより広い意味で捉える議論もある[46]。

くつかの問題がある。第１に、自主性を重んじる手法に依存することは、当然のことながら、不透明性や法的不確実性が拭えない。この点は、近年、COVID-19 に対する政府の対応について指摘された（３(3)②）。第２に、事業活動において自主的取組に依存することは、フリーライダー（ただ乗り）を生み、競争上の公平に反する結果となる。第３に、ルールの決定を事業者（や事業者団体）に委ねることは、法律を通じて保護されるべき公益や集合的利益の保護を過少にする結果を生じる。上述したように、今日の行政活動は、被規制者の権利・自由を侵害するかという角度だけから、つまり、行政と被規制者との関係だけから捉えられるべきでなく、行政活動により利益（例えば、市民の環境利益や消費者利益）を受ける者の保護という観点を加味した、３面（場合によっては、多極的）関係として捉えられるべきであり[16]、業界によるルールの決定については慎重な配慮が必要である。

行政庁が自主性を重んじる手法を用いる場合には、上記の３点、特に第２点に留意することが必要である。我が国では、従来、多くの事業者が自主的取組を実施し、行政指導を遵守する傾向があり、この点が自主性を重んじる手法が多用されることにつながっていた。しかし、近年、海外の事業者が自身で又は輸入者を通じて我が国で活動するようになった結果、その基礎が崩れ、競争上の公平の観点や更に施策の迅速な実現の観点からも問題が生じている。しかし、それにもかかわらず、行政庁が依然として自主性を重んじる手法に甘んじている傾向は改める必要がある。

3）今日でも、リスクの不確実性が乏しい場合や、不確実性が残されていても深刻又は不可逆な法益侵害を未然に防止する必要がある場合には、明確性と確実性を有する規制的手法を用いることを要する。

上述したように、本報告で扱う多様なリスクについては、リスクごとに、規制法の役割は異なっていると考えるべきである。上記の 1)、2）は「環境リスク」についてはそのまま該当するが、例えば、「感染症のリスク」に関しては、従来の規制法が脆弱であり、リスク対応の標準化とリスク評価の柔軟化・明確化が必要である。また、「デジタルリスク」に関しては、その動態性と変化の迅速性、さらに、行政が情報を十分把握できない（情報の非対称性）という特徴がある。この種のリスクについては、従来の規制法が対症療法に終始し、業法により縦割りで規制しているという問題を抱えており、CPS（サイバー・フィジカル・システム）という構造を持つ社会システムを統治するという観点が必要である。

4）規制的手法を更に機能させるためには、この手法の限界・制約に関する前記 1）①については、行政による監視に代わり、事業者や所有者の監視責任（監視義務）をより拡大することも考えられる。

また、前記 1）②については、リスク規制を正当化する予防原則/予防的アプローチ（以下、予防原則という）をより理論化し、一般原則に位置付けていくことも考えられる[47]。予防原則は、1976 年以来の（当時の）西ドイツの環境政策で用いられた「事前配慮原則」の概念に端を発するが、1980 年代から国際的に議論が広がり、今日、多くの国際環境条約に定められるに至っている。その定義は学説によって分かれるが、

代表的な定義は、上述したように、リオ宣言第 15 原則（1992 年）に定められ（２(2)）、また、その後、EU コミュニケーション・ペーパー（2000 年）や、各種の国際条約で用いられている[8]。予防原則をもって、憶測に基づく規制を容認する原則であるかのような誤解がなされることがあるが、予防原則を含めた環境法の基本原則について詳しいベルギーの法学者であるドゥ・サドリーにおいては、予防的措置は、最低限の知見、つまり、「証明された程度の整合性を備えた科学的根拠」とリンクしていなければならないとし、「予防原則は、議論の余地のない証拠が存在しない場合であっても、懸念に関する『合理的な（reasonable）根拠』が存在する場合には、適用することができる」としており[48][49]、このような、いわば「節度ある予防原則」[50]が活用されることが必要である。

なお、予防原則が適用される場合、事後的にリスクが存在しなかったことが明らかになった場合や極めて小さい場合に、被規制者に対し補償すべきかどうかについても検討する必要がある（→４(2)②）。

また、規制緩和が産業の発展に資するという見方が多いが、規制には最新の科学技術を発展させる機能があることにも配慮すべきである。より厳しい基準を求めることによって最新の科学技術を発展させた例として、国内の 1978 年の排ガス規制や 1970 年のアメリカの大気浄化法の規制による自動車産業の発展が挙げられる。もっとも、この場合、厳しい規制が国際的に非関税障壁とみなされないかどうか、厳しい規制による国内産業へのマイナス影響にどう対応するかを検討する必要がある。

5) 規制的手法に関しては、i)それが一律規制であるため、各事業者によって汚染削減のコストが異なることが無視され、社会的費用（遵守費用）が浪費されること（静態的効率性の欠如）、ii)基準による規制では、一旦基準が達成されてしまった後は、汚染削減のインセンティブが与えられないこと（動態的効率性の欠如）が、主に経済学者から批判され、経済的手法の重要性が指摘されてきた。i)は、例えば気候変動対策のような、多くの事業者が対象となるような効率的削減が極めて重視される分野では肝要となる。いわゆる GX 推進法の下で、2026 年から我が国で本格導入された二酸化炭素の排出量取引制度は、規制のこの欠点に対応するものであるが、本制度に関しては、果たしてこれによって排出総量の目標が達成できるかという課題がある[51]。ii)に対応するためには、基準の更新を行うことが考えられる（省エネに関するいわゆるトップランナー基準はこれに対応している例である）。

② 不確実性の中での予防的規制と補償

1) 上記のように、不確実性の下でリスクに対処するための予防的規制は、重大な法益侵害を未然に防ぐために必要な場面があるが、その一方で、規制に伴う負担や損失を誰がどのように引き受けるのかという問題を常に伴う。この点を十分に考慮しない制度設計は、かえって規制の実効性や正当性を損なうおそれがある。したがって、予防

[8] リオ宣言第 15 原則「深刻な又は不可逆な被害のおそれがある場合には、十分な科学的確実性がないことを以て、環境悪化を防止するための費用対効果の大きな対策を延期する理由として用いてはならない」。EU コミュニケーションについては、COM(2000)I final.

的なリスク規制のあり方を検討するに当たっては、①実効的な危険防止と②分配の公正という２つの観点を統合的に考察することが求められる。

2) 実効的な危険防止の観点からは、不確実性下での予防的規制が、事後的に不要であったと評価される可能性を常に含んでいる点を直視すべきである。事後的に違法と判断され、損害賠償請求が認められるリスクが高い場合、行政機関は規制に慎重にならざるを得ず、結果として重大な危険への初動対応が遅れるおそれがある。このため、予防的規制が必要とされる分野では、まず行政の行為規範を明確化し、どの程度の不確実性の下でどのような措置が許容されるのかを事前に示すことが不可欠である。

また、予防的規制が当時の合理的判断として正当化される場合であっても、事後的に危険が存在しなかったことが判明したり、危険の存否が最後まで不明にとどまったりすることは避けられない。この場合、規制の名宛人が規制に対処するためのコストを負担しなければならないという前提に立つと、社会的影響が大きいケースでは行政による規制忌避を招き得る。さらに、補償を伴わない規制は、事業者等が経済的損失を恐れて危険情報の提供を控える誘因を生み、リスクの早期把握を困難にするおそれもある。したがって、感染症や伝染病対策のように迅速な情報共有と協力が不可欠な分野では、公平性を一時的に棚上げしてでも、補償付きの予防的規制の仕組みを設けることが、実効性確保の観点から正当化され得る。

他方で、補償付き規制はモラルハザードを惹起する可能性も否定できない。すなわち、リスクをもたらす活動を行っている者に対して規制を行う代わりに非差別的に給付を行うと、危険発生を抑止するインセンティブを弱めるおそれがある。また、財政制約の下では、補償を前提とする制度がかえって規制の妨げになる危険もある。補償制度の導入は、保護される法益の重大性と、分配の公正や財政負担とのバランスを踏まえた慎重な比較衡量に基づいて決定されるべきである。

3) ②分配の公正の観点からは、適法な予防的規制の結果として生じる不利益を、名宛人に一律に帰属させることの妥当性が問題となる。危険が事後的に存在しなかった場合や、存否不明のままに終わった場合にまで負担を課すことは、直感的な公平感に反する場合が少なくない。このような観点から、個別の規制分野において政策的理由から規制対象者に対して、リスクへの対応のための費用が支払われるケースがある。しかし、他方で、このことは、（費用が支払われる場合と支払われない場合が発生することにより）リスクを伴う活動を行っている様々な主体相互間の公平性を損なうという問題を生じさせている。リスクへの対処の見返りに公的助成を行う場合、政策決定者は、リスク対応の実効性確保あるいは産業政策といった補償の正当化根拠を明確にし、国民に対して説明責任を果たすことが不可欠である。リスク規制における負担の分配は、規制当局の自由な裁量に委ねられるべきものではなく、民主的な正当性と説明責任を伴う政策選択として位置付けられるべきである[52]。

③　気候変動に伴う災害リスクと規制

種々の自然災害リスクの中でも特に気候変動に関連するものとして、ここでは、土砂災害（崖崩れ、土石流、地滑り等による被害）や浸水災害（洪水、雨水出水、高波

等による被害）に関するリスクについて取り上げる。こうした自然災害については（地震に伴う津波災害についても同様のことがいえるが）、近年、災害情報の伝達・周知及び警戒避難確保のための体制整備を進める法制度が整備されている。また、被害発生防止・軽減のために住民等の権利制限を定める法制度整備も進んでおり、その中には、自然災害により人の生命・身体に危害を及ぼすおそれのある区域内において、住宅の建築や要配慮者利用施設（一定範囲の社会福祉施設、医療施設、教育施設等）の設置を予定する開発行為を、特別の許可制の適用対象とする法制度も出現している[53][54][55][56][57]。

しかし現行法上、こうした許可制度には、土地利用に対する重大な権利制限が含まれるため、自己居住用の住宅建築を予定した開発行為には適用されず、また、当該許可制が適用される場合も、住宅や要配慮者利用施設について擁壁の設置等の必要な防災工事が計画上予定されていれば不許可にはできない等、様々な制約が課されており、自然災害に対する事前警戒（予防原則）の視点からすると不十分な点が残されている[58]。

他方、フランスでは2021年に、「気候とレジリアンス法」と一般に呼ばれる法律が制定され、当該法律では、多様かつ広範にわたる気候変動対策の一環として、高波の影響による人身被害の防止のために、長期的視野から海岸に面した土地（以下、「海岸地」と呼ぶ）の利用を制限する法規制が整備された。当該法制度は、気候変動の影響で極端化した暴風雨に海面上昇が加わることで、既存の建築物や施設等に対する被害の激甚化が予想されることを背景に導入された。このため、上記法律は、海面上昇による海岸地消滅が予測される時期の違い（30年以内か、30年後以降100年以内か等）に応じて、当該海岸地の土地利用制限の強弱が変化する法規制を定めている[58]。このような法制度は、気候変動に伴って激甚化・頻発化する自然災害のリスクに対しては、長期的展望の下に、気候変動による自然災害リスクの増大を科学的に予測し適切に対処するための手法の研究推進が不可欠であることを物語っている。また、そのような学術研究を通じて得られる科学的知見を対策法制の制度設計に反映させる必要があることを示唆する。以上の点で、我が国の自然災害対策にとっても参照すべきものである。

④　デジタルリスクと規制

環境分野と同様に、デジタル分野においても、被害が一旦発生した場合にインターネット上で被害回復を図ることは極めて困難である。さらに、直接の加害行為や違法行為だけが問題となるのではなく、それが瞬時にインターネットを通じて拡散されることよって被害が拡大するという特徴がある。このため、予防的規制が重要となる。

ア　機能的なリスクベース・アプローチによる規制への転換――業法的規制の限界

CPSの構造を持つ社会システム（社会的CPS）を規制する際には、①情報通信のインフラと、②このインフラ上で展開されるサービスの両面から規制を展開すべきであるが、３(2)①で指摘したように、②については規制の空白がある。

これまで行政法では、「特定の業態」を前提にし、その業態への参入要件を定め、

事業者の行為を規制する手法、いわゆる業法的規制が一般的である。しかし、CPS では同一事業者が複数レイヤーを横断してサービスを提供することから、業法的規制という手法では、規制対象が曖昧化し、結果として過少／過剰規制が生じる。

社会的 CPS においても、フィジカル空間からサイバー空間へのセンシング及びサイバー空間からフィジカル空間への制御には、情報通信サービスが使われることになるが、コンピュータ同士が通信（データのやり取り）をする仕組みを、その役割ごとに７つのステップに分けた国際的なガイドラインである OSI 参照モデル（Open Systems Interconnection – Basic Reference Model）を単なる技術的な通信プロトコルの分類にとどめず、プラットフォームにおける「機能・認知階層」の分析枠組み（アナロジー）として応用し、インフラから UI/UX・行動誘導領域までを一体的に捉え直すと（表２参照）、社会問題の発生源となっている Layer 5-7 について、我が国では規制がほとんど行われていない実態が浮かび上がる。これは、我が国の現行規制（電気通信事業法や情プラ法を所管する総務省等）が、なお情報通信サービス（媒介サービス）を念頭に置いた物理的インフラや伝送層（L1-4）を中心とする規制にとどまっており、上位層における情報分析・情報生成サービスやアテンションの過剰捕捉等に対して適切な法規制を行えていないという「規制の空白」を象徴している。

これに対して、EU では、DSA（デジタルサービス法）が「情報仲介サービス」として情報通信を担う全レイヤーを包含してサービスの内容に即してリスクを評価した上で規制している[59]。特に、L5-7 を跨ぐリスクを重視し、レイヤーを横断してデータが循環してリスクが増幅する構造（例えば、収集したデータによるアルゴリズムの先鋭化）に対して遵守義務を重層的に課すことで、リスクに応じた規制が行われている（表２参照）。

レイヤーを横断的にデータが循環してリスクが増幅する CPS の構造を前提にし、さらに、PF・AI によって業態が流動化している状況を念頭に置けば、業法による規制ではなく、機能的かつリスクベースでの規制手法を採用する必要がある。提供されるサービスに応じて機能に基づいてライセンスを分け、また、当該サービスのリスクに応じて遵守義務を定めるべきである。（規模や頻度に応じてどのような手法をとるべきかについては比例原則に基づくべきである）。サービスが複数のレイヤーに跨って展開される場合には、関連するレイヤーの規制を重畳的に適用することが、適切な規制につながるものと考えられる。

表２　デジタルサービスの機能階層（OSI モデルの応用）と法規制のミスマッチ

階層(OSI モデル応用)	機能技術レベル	道路・物流に基づく比喩	対象となる機能現象（リスク領域）	日本の現行規制の対応状況	（参照 EU DSA）
L7	アプリ層	看板・誘導	UI/UX、ダークパターン、行動誘導、生成AI・情報生成	規制なし（空白）	階層化された義務/ PF 事業者である VLOPs および VLOSEs への追加義務、心理的操作の禁止
L6	表現層	荷物の中身の見せ方	アルゴリズムの提示形式	限定的（透明化・情プラ法）	階層化された義務/ PF 事業者としての義務（レイヤー横断的規律でアルゴリズムの透明性確保、リスク評価と軽減策の義務付け）
L5	セッション層	配送ルートの最適化	継続的接続・レコメンド・ユーザーの「アテンション」の継続的捕捉（中毒性・認知バイアス）	弱い（データ収集・循環は進んでいるが、アルゴリズム自体への介入は不十分）	階層化された義務/Hosting 事業者としての義務
L4	転送層	配送トラックの管理	確実に相手に届くように制御する仕組み（データ転送・中立性）	物理・伝送中心（電気通信事業法・情プラ法：情報の媒介者規律）	階層化された義務/Caching 事業者としての義務
L3–L1	インフラ層	道路・信号地面	物理的な回線・ルーター（データの通り道自体・通信の健全性）	物理・伝送中心（電気通信事業法・情プラ法：情報の媒介者規律）	階層化された義務/Mere conduit（単純媒介）事業者としての義務

＊表２における「階層（L1～L7）」は、単なる通信プロトコルの技術的分類にとどまらず、下層（物理インフラ・データ転送）から上層（レコメンド・アテンション捕捉・UI/UX 等）に至るプラットフォーム全体の機能・認知構造と、そこで生じるリスク領域を整理・分析するための参照モデル（アナロジー）として応用したものである。我が国の現行規制（総務省等）が物理的インフラや伝送層（L1～L4）を中心とした「媒介者規律」に偏重しており、上位層（L5～L7）における情報分析・生成サービスや行動誘導等に対して規制の空白が生じている実態（ミスマッチ）を示している。

＊スマホ法は L4～5（通信の制御・管理が主な役割）の規制を通じて、L7 について競争環境の基盤整備を目的としあらかじめ禁止事項と遵守事項を指定する規制手法を採用

（出典）法学委員会リスク社会と法分科会分科会第 18 回資料（令和８年５月３日）千葉恵美子作成

このようにOSIモデルをプラットフォームの機能階層として整理･適用した場合、L7（アプリ層）では、法益侵害の予防のための規制、L5-6（セッション層・表現層）では、依存性創出や認識歪曲の回避のための規制、L4-5（転送層等）: PFの中立性の維持や構造的排除の禁止を目的とする規制、L1-3（インフラ層）では、通信インフラの健全性のための規制が中心になる。

各レイヤーで遵守されるべき義務については、サービスの内容に応じてリスクを評価し規制内容を定める「機能的リスクベース・アプローチに基づく事前規制（ex ante regulation)」によるべきである。これは、特定の「業態」に着目して、許認可など当該業態への参入要件を定め、当該業態に参入した事業者に行為を命じる「業法的規制」における事前規制とは異なることに注意すべきである。規制の仕方については、比例原則に基づき、規制の必要性（システムの普及度や利用頻度、侵害の重大性、被害の拡散速度など）と手段の適切性に照らして、事業者に遵守義務の履行の手段については選択の余地を認めるべきである。その際には、機能的に同等であることについては説明責任を事業者に課すべきである。

上記の事前規制に対しては、特に、SNSにおける規制をめぐって、アメリカの保守層を中心に、EUのDSAやDMAによる規制に対して、表現の自由を害する、PF事業者の編集の自由や営業の自由に対する侵害であるといった批判がある。

しかし、上記の規制は、個人が発信するコンテンツ自体に対する規制ではなく、システムの設計・運用に対する規制である。そもそも、伝統的メディアにおいて編集の自由が保障されるのは、どの事実に光を当て、どのような文脈で報じるかという編集判断そのものが１つの表現活動であり、国民が自己統治のための判断材料を得るプロセス――すなわち国民の知る権利に応え、民主主義を支える営み――として不可欠だからである。これに対し、PF 事業者によるコンテンツの選別・配列は、このような民主的機能を目的とするものではなく、アルゴリズムによるエンゲージメントの最大化という商業的利益に基づくものである。加えて、PF事業者が事実上の情報流通インフラとして機能し、利用者に代替手段がない場合、当該事業者の恣意的なコンテンツ選別は、むしろ利用者やコンテンツ提供者の表現の自由・知る権利を制約する方向に作用し得る。DSAがPF事業者に課しているのも、編集判断への介入ではなく、システミックリスクの評価・軽減義務（同法34条・35条）や透明性義務であり、規制の焦点はあくまでもシステムの設計・運用にある。

３(2)①で述べたように、個人の最適化が必ずしも社会全体の利益（社会的厚生）につながらない状態、つまり、負の外部性が市場メカニズムによって内部化されない構造である場合、及び、情報の拡散と自動化によってシステム全体として社会を不利益に陥れている状態（逆最適化）が生じている場合に、公共の福祉の観点から、事業者の営業の自由を規制するにすぎない。

イ　AI・データ規制と「ランタイム・ガバナンス」の必要性――動態的システムに対する制御

（ア） AI リスクの多層性と現行法の限界

生成 AI の実装により、今や AI のリスクは単一の法分野で解決できる規模を超えている。現在は個人情報保護法や著作権法の枠内での「データの利用可否」に議論が偏っているが、社会的 CPS に AI が実装化されることによって、AI は利用者の選択行動に深く介入することになり、３(2)①で述べたように社会的 CPS の構造的リスク(①意思決定のブラックボックス化、②情報の非対称性の質的拡大、③サイバー空間とフィジカル空間のフィードバックループ化、④過失責任主義の機能不全）の発生が深刻化することなる。しかし、我が国では、社会的 CPS に実装化される AI の挙動に対して、利用者をいかに保護するべきかという観点からの規制はほとんど行われていない。

（イ） AI ガバナンスの「３層構造モデル」

AI のリスクを「どこで」「誰が」管理すべきかを明確化するため、以下の３層に分けたガバナンスを提唱する。①AI 基礎モデル（開発者層）：学習データの根源的バイアス、著作権、汎用的な安全性を管理、②特定 AI システム（インテグレーター層）：用途特有の誤作動、不当な選別、精度不足を管理、③提供サービス（PF 事業者層）：利用者の被害、情報の操作、不透明な取引へのリスク対応である。

EU の AI Act（Regulation（EU）2024/1689）は、主に「用途に応じてリスクを縦割りに分類し、市場に投入する主体（Provider）や運用する主体（deployer）に義務を課している[60]。しかし、サプライチェーンが複雑化する中では、誰がどこまで責任を負うべきかの境界線が曖昧になりがちである。これとは異なり、このような３層モデルを提唱するのは、責任の所在を明確にして、AI ガバナンスの不全のリスクをできるだけ減少させるとともに、開発者への過度な責任集中による萎縮効果を防ぎ、サービス提供者のみを規制する「対症療法」的規制の限界を打破し、一貫したリスク管理を可能にするものである。

AI エージェントは、AI 基盤モデルを特定の用途にカスタマイズし、自律的な計画立案、ツールの利用、記憶の保持などの機能を備えたアーキテクチャとして、ソフトウェアに組み込んだ AI システムである。したがって、上記３層モデルでは、中位層の「特定 AI システム」に当たり、AI エージェントによる利用者へのサービスの提供は、下位層の「提供によるサービス」に当たる。

EU AI Act では、主に設計・開発・市場投入を行う Provider に多くのリスク管理義務を課しているが、AI エージェントは、既存の AI 搭載ソフトウェアとは異なり、ネットワークを介した「動的なフィードバックループ(データの双方向性)」が前提となっている。PF は、この動的フィードバックループを媒介・駆動するためのインフラである。したがって、AI Act が定義する静的な「プロバイダー／デプロイヤー」の２元論的な役割分担よりも、本３層モデルを用いた方が、エージェント特有の動的なリスクに対する責任の所在をはるかに明確にできる。最近の

PF ビジネスにおいては、PF 事業者自体が AI 基盤モデルを提供しつつ、その上で自社・他社の特定 AI システムを稼働させ、多種多様なサービスを展開する垂直統合的な動きを見せている。例えば生成 AI 検索の分野では、検索市場を支配する PF 事業者は「クローラー」と呼ばれるインターネットを自動で巡回するプログラムを使って、情報を整理して、検索エンジンがすぐに読み取れるようにしているが、検索サービスだけでなく、生成 AI 検索の分野でもこの仕組みを利用してサービスを提供している。そこでは、PF 事業者が、新聞社等のコンテンツ提供者に対して検索インデックスからの離脱か、生成 AI へのコンテンツ提供の受忍か、という二者択一（選択の余地がない状況で、提示された唯一の選択肢を受け入れるか、何も選ばないかのどちらかしかない状態となる、いわゆる「ホブソンの選択」）を強いており、各国で競争法上の問題として顕在化している。この構造は、コンテンツ提供者の投資回収を困難にすることを通じて伝統的メディアの経営基盤を弱体化させ、ひいてはメディアの多様性・多元性の減退、さらにはそれが支えてきた文化の多様性の衰退を招来しかねない[61]。こうした垂直統合に伴うレバレッジのリスクに対し、AI ガバナンスの３層モデルによる階層分離は、基盤モデル提供者・AI システム運用者・サービス提供者それぞれの立場においてリスク管理責任を明確化し、特定の層における市場支配力が他の層に不当に波及することを抑止するためにも有効であるものと考える。[9]

（ウ） 「ランタイム・ガバナンス」の導入：設計から運用へ

生成 AI は情報の仲介に奉仕するだけでなく情報の生成を行うことから、AI は運用段階で自己学習・最適化を行う（動的最適化のリスク）。このため、事前審査段階及び設計時の事前規制のみでは制御しきれない。生成 AI の実装によって情報を利活用して展開されるサービスについては、プロンプトの入力時、生成プロセス（計算時）、出力時の各段階でリスク評価が必要となる。運用中の挙動をリアルタイムで制御する「ランタイム・ガバナンス」が不可欠となる。具体的には、動的ガードレール（Dynamic Guardrails）と重大な違反検知時に機能を自動停止させる仕組み（サーキット・ブレイカー）の実装を設計時のみならず、運用中の遵守義務としても義務付けるべきである。

ガードレールは、国際標準（ISO/IEC 等）を参考に、AI に不変的な制約条件としてコード化して実装させることになるから、単に事前規制（ex ante regulation）であるだけでなく、予防的な法執行が行われることになる。行政機関は、事後的な制裁に重点を置く法の執行者から、ガードレールが適切にコードとして実装されているかをランタイムで監視・検証し、システムの健全性を監督する「ガバナンスの守護者」としてその役割を転換すべきである。高度なアルゴリズム監査やリアルタイムの監視を求める場合、その技術的リソースや専門性をどう担保する

[9] 我が国政府は、生成 AI のリスクへの対応が必要であることを「知的財産推進計画 2026 ～成長戦略を支える知財戦略の推進～」（2026 年６月 12 日）に盛り込んだ（同計画Ⅲ１．(2) 参照）。keikaku_all.pdf

かが問題となるが、専門的な第三者機関との連携スキームなども視野に入れるべきである（４(6)参照)。

したがって、上記のような共同規制は、事業者が技術基準を充たすガードレールをシステムに組み込み、ガードレールがランタイムで法の執行を担い、行政機関が技術基準をランタイムで監視し、被害の発生ないしそのおそれがある場合に、行政機関がエンフォースメントを発動するという役割分担を行うことになるから、近時、機動的な規制手法として有力に主張されている「アジャイル・ガバナンス」の考え方とも異なる[10]。

AI の実装は、特定のレイヤーに限定されないことから、L7 では、法益侵害の予防のためのガードレール（ダークパターンの探知、認知的干渉の防止など)、L5-6 では、依存性創出や認識歪曲の回避（未成年者保護を含む）のためのガードレール（アテンションの過度な搾取の禁止、依存性を高めるフィードバックループの遮断、出力のデバイスのチェックなど）[11]、L4-5 では、プラットフォームの中立性の維持や構造的排除の禁止を目的とするガードレール（データのポータビリティを阻害する不当な囲い込みの防止、データ処理プロセスにおけるプライバシー保護など）の設置を検討すべきである（なお、EU の DSA は生成 AI の登場前に立法されたことから、情報の仲介サービスが中心であり、各レイヤーで生成 AI された場合の動的最適化問題には対応していない)。

（エ） データガバンナンスとアルゴリズム規制の統合

データについては、これまで保護法益として当該法益の帰属主体を特定し、個人情報の保護、プライバシーの保護、肖像権の保護、著作権の保護、営業秘密の保護といったように、法益となる客体を特定し、その帰属主体を明らかにして、保護に値するのかが議論されてきた。また、事業者がデータを利用するためには、データの帰属主体の同意や契約が必要である。

著作権法 30 条の４や個人情報保護法の最近の改正提案には、データとして処理することを目的とし、著作物や個人情報を利用する場合には、法益の帰属主体の個別の許諾なしで利用できるとする考え方が導入されている[65]。上記の改正によって、データの帰属主体の同意がないデータへのアクセスについては、原則として違法性が阻却されることになる。

そこで、個人情報の保護、プライバシーの保護、肖像権の保護、著作権の保護、営業秘密の保護とこれらの個別の法益に対する侵害者に対して責任を追及する問

---

[10] アジャイル・ガバナンスでは、最終的なゴール設定に法の役割があることになり、ゴール設定に際しては利害関係者のコミュニケーションが重視され[62]、企業の自主的な取組など、非法的なルールが中心で、法的サンクションや責任が全面にはできてこない[63]。これに対する批判として[64]。

[11] CPS の構造を持つ社会システム（社会的 CPS）においては、前述したように利用者であること自体が利用者の法的地位を脆弱化させており、リスクを予見・回避できる余地は利用者には少ない。特に、利用者が未成年者である場合、心身の発達段階にあり、心身への悪影響に対する回避措置が必要である。各国で対応措置（SNS 利用についての年齢制限など）が検討されているが、未成年者を保護するための不変的な制約条件（例えば、「アテンションの過度な搾取の禁止」「依存性を高めるフィードバックループの遮断」など）も「動的ガードレール」の１つとして AI に組み込むことを検討すべきである。

題とは別に、データ・ガバナンスという観点からの規律を行うことが必要になる。「システムの挙動を決める変数（リスクの源泉）」としてのデータ論への転換を図るべきである。

データを法的保護の対象としてだけでなく、システムの挙動を決定する「制御因子」として再定義し、データとアルゴリズムを不可分のガバナンスの対象とし、AI の運用段階（ランタイム）において、入力データの変質や再学習が「予期せぬ差別や誤認（動的瑕疵）」を生じさせていないかを継続的に監視・検証する義務を事業者に課すべきである。これにより、開発時の予測を超えた挙動に対しても、リアルタイムの修正を行わなかったという不作為を責任の根拠とすることが可能となる。

⑤　感染症リスクに対する規制に関する提案

感染症規制の枢要は、リスク対応の標準化とリスク評価の柔軟化・明確化であると思われる。すなわち、感染症危機時にどのようなリスクを想定し、どのような社会的対応が必要であるかは、事前の十分な制度化と運用指針の確立が必要であると考えられる。感染症法の類型的規制はその方向性を目指したものと思われるが、例外としてのリスク評価の柔軟化が不十分であり、課題を有している。他方、特措法の規制はリスク対応の標準化がほとんどされず、すべてが政府対策本部の決定や基本的対処方針に委ねられる形になっている。これは、柔軟性という意味では好ましいとも見えるが、リスク評価の適正性確保や事後的検証・是正の仕組みが併用される必要があり、その種の仕組みが特措法には全く存在しない。感染症リスクに適切に対応するには、一定程度のリスク対応の標準化とリスク評価の適正性確保の仕組みが必要である。

医療規制との関係に関しても基本的な方向性は同様であり、医療機関ごとの分担や任務の標準化と危機発生時の全社会的な調整が必要であるが、規制の柔軟化のためのリスク評価の適正性確保を可能にする仕組みを併用する必要があると考えられる。

(3)　リスク対応における私法的手法の役割

リスクに対応する際には、私法的手法、より具体的には、民事責任も重要な役割を果たす。以下では、環境リスク（ここでは、環境関係のリスクという意味で用いている）と、デジタル関係のリスクについてこの点を取り上げる（なお、その際、民事差止も含めて扱う）。

民事責任においては、被害者の損害の填補のために損害が賠償される。我が国ではこの点に異論がないが、同時に、損害の発生抑止の観点を踏まえて責任主体を決定する考え方がアメリカはもちろん、欧州でも広がりつつある。この点に関しては、従来、過失責任にせよ、危険責任にせよ、事故の発生をコントロールし得る者が責任主体となってきたが、AI の機能向上に伴い、例えば、自動車損害賠償保障法の運行供用者は、完全自動運転の場合には、全く事故の発生をコントロールできなくなるが、それでも（実質的な）無過失責任の責任主体であり続けることが適切か、という問題が発生しつつある

[66][67]。これは、従来の（過失責任・危険責任を含めた）不法行為責任において、損害の填補の観点から適切と考えられた責任主体が、ほぼ同時に事故の抑止の観点からも適切と考えられたのに対し、AI の機能向上に伴い、従来にない状況が発生していることに基づくものである。

① 環境リスクに対応する民事責任の役割

我が国の裁判例では、環境リスクに対する民事責任は、多くの場合、民法 709 条を根拠として問われてきた。もっとも、上述したように、環境リスクには様々な科学的不確実性を有する場合が多く、公害のケースにおいても、しばしば、被害者が（加害者の）過失（予見可能性及び結果回避義務）や、（加害行為と損害との）因果関係を証明することが困難となった。もっとも、裁判例は、公害に関する過失について、生命・身体に危害が及ぶおそれのある場合には、被告が結果を回避するためにいくら費用がかかるかについては考慮されるべきでなく、万一被告の活動の安全性に疑問が生じたときには、被告企業の操業停止義務が認められるとする立場が四大公害訴訟判決[12]によって示され、被害者の証明を容易にしてきた。環境法における予防原則に通底する立論である。一方、因果関係については、いわゆる門前到達説[13]や疫学的因果関係論が採用されることが少なくない。また、複数の加害者の行為により公害が生じた場合に関しては、加害者の行為が「共同」で行われている場合には、因果関係について、加害者の共同行為と損害との因果関係を証明すれば足りる（個々の加害行為と損害との因果関係を証明しなくてもよい）とする考え方が、下級審裁判例[14]及び多数説によって採用されてきた。

他方、気候変動に対しては、欧州では石油メジャーに対して温室効果ガスの削減を求める訴訟[15]や政府の温室効果ガス削減目標の不十分性を問う訴訟が認容されたケース[16]が見られるところ、我が国では、石炭火力発電所を被告として住民らがその差止を求めた事件などが存在する。もっとも、石炭火力発電所差止請求訴訟では、被害者原告の権利侵害、及び権利侵害と損害との因果関係が認定されていない。既に、熱中症被害など様々な具体的な権利侵害が気候変動の結果生じていると考えられるが、損害との因果関係の証明はなお困難であり、更に検討を必要とする。

環境リスクの中には、個々人の権利・利益に対するリスクだけでなく、集団的な利益のリスクとしての性格を持つものも少なくない。前者は従来型の訴訟によって一応対処できるが、後者については、我が国の現行法にはない、環境公益訴訟の導入が必要である（４(5)）。

---

[12] 特に、熊本水俣病第１次訴訟判決（熊本地判昭和 48 年３月 20 日判例時報 696 号 15 頁）。

[13] 新潟水俣病第１次訴訟判決（新潟地判昭和 46 年９月 29 日下級審民集 22 巻９＝10 号別冊１頁）。

[14] 四日市公害訴訟判決（津地四日市支判昭和 47 年７月 24 日判例時報 672 号 30 頁）、西淀川公害第１次訴訟第１審判決（大阪地判平成３年３月 29 日判例時報 1383 号 22 頁）。

[15] 第１審はこれを認容した（Milieudefensie et al. v. Royal Dutch Shell plc., The Hague District Court, 26 May 2021, ECLI:NL:RBDHA:2021:5339. ）。もっとも、控訴審では原告が敗訴している。

[16] Urgenda Foundation v. State of the Netherlands, Supreme Court of the Netherlands, 20 Dec. 2019, ECLI:NL:HR:2019:2007.

②　デジタルリスクに対する民事責任の役割

デジタル分野の EU 法は、非常に計画的に制定されており、内容も先進的である。EU 法の特徴は、行政規制が中心であり、基本権保護、市場競争のフェアネス、あるいは静的な製品安全といった、既存の法のパラダイムをデジタル空間へと拡張し、システミックなリスクやプラットフォーム構造に起因する新しいリスクに対応しようとしている点にある[30]。

例えば、DSA ではダークパターンを禁止するとともに、情報仲介サービスに対してシステミックリスクの評価・軽減を義務付け、データ法は IoT データのアクセス・共有ルールを整備してデータ流通の公正性と相互運用性を確保している。また、AI 法は高リスク AI の安全性と基本権保護を図るリスクベース規制を導入し、DMA はエコシステムの公正競争の確保を目的としている。

しかし、EU 法は、サイバー空間とフィジカル空間が不可分に融合し、運用段階で動的にユーザーの認知を誘導し続ける CPS の特性を十分には捉えきれていない。そのアプローチは、依然として「事業者にリスク管理を委ねるメタ規制」や「事後的な是正」の枠組みにとどまっているからである。EU 法は「動態的なシステミックリスク」や「意思決定過程のブラックボックスのリスク」にまだ十分に対応していない。

本報告で言及した「動的に変化を制御するランタイム・ガバナンス規制」（４(2)④イ参照）、以下に述べる私法秩序の根幹をアップデートする「システム公序」及び「責任の二段階分離モデル」（４(3)参照）は、公法と私法をハイブリッドに適用して規制する新たなガバナンスモデルである。

社会のデジタルインフラ化が進む AI 時代において、規制しないことがデジタル化を促進すると考えること（古典的なリバタリアン的思考で放置すればイノベーションが起きるという発想）は、国内企業だけでなく海外のビッグテックをも規制しないことになることから、我が国の「ヒト・モノ・金・データ」が大きなリスクに晒されるおそれがあることになる。真に人間の自律性を担保するためには、CPS という新しい動態的な社会システムそのものの健全性を統治し、社会システム全体の最適化を図る以外に方法はない。

ア　システム公序概念の提唱

既に見てきたように、CPS 構造を持つ社会システムでは、利用者への個別の最適化の積み重ねによって、社会全体の福祉を損なう場合がある。

PF 事業者が自己の収益最大化（アテンション・エコノミー）を優先するあまり、レコメンデーション・システムや UI/UX のデザインを通じて、個人の自律性を侵食し、個人の利益の最適化の集合が、社会全体の利益を損なう「社会的厚生の逆最適化」が生じているとすれば、法は、利用者の選択のインフラが公正さを欠く場合に、事業者の営業の自由を制限し、構造的な是正を求める法の介入が認められるべきである。CPS の構造を持つ社会システムでは、利用者の意思形成そのものが構造的に誘導されているからである。したがって、個別の意思表示理論（点）だけでなく、意思決定環境（システム）の健全性を維持するために、新たな公序概念として「シ

ステム公序」という考え方を導入する必要がある。

自然環境の汚染と対比するならば、利用者の合理的選択の可能性が、PF 事業者によって提供されるシステムによって構造的に阻害される状態は「意思決定環境の汚染」（負の外部性）に当たると換言しても良いかもしれない。

伝統的な契約法では、個人の自由な意思形成を前提として合意に効力を認め、「個別の意思表示の瑕疵」（誤認・困惑）がある場合に効力を認めないことを前提としている。しかし、アルゴリズムやUI/UX デザインなどのアーキテクチャによって構造的に醸成される「意思決定環境」の下でしか、利用者が個別の意思表示をすることができないという状態は、これまでの意思表示理論では想定されていなかった事態といえる。

伝統的な公序論では「何を合意したか（Content）」、意思表示の「内容」の倫理的・社会的妥当性が主に問題となってきた（民法 90 条）。これに対して、デジタル空間では「いかに合意させられたか」、意思決定をする「空間」が問題となる。

そこで、公序良俗（民法 90 条）の現代的変容として、利用者の意思形成に至る「過程（Process）」の健全性が失われているとして、PF 事業者が適用するサービス利用の環境から発生する一連の利用者による意思表示の効力を包括的に否定し得る場合を認めるべきである。

PF 事業者が構築したアーキテクチャによる誘導によって利用者の自律的選択が形骸化されている場合には、「個人の合理的な意思決定プロセスを阻害しないためのインフラ的条件」という観点から、システム構造そのものの是正（Structural Remedy）を求めて法が介入することが正当化されるべきである。

物理空間における工作物の安全欠如の場合と同様、PF 事業者が収益の最大化のために消費者の認知バイアスを利用して統計的に誘導強度が高いシステムを放置する行為や、代替的選択肢がなく選択を変更しづらいシステムや情報の非対称性が意図的に利用されてシステムを設計する行為は、システム公序に反する「構造的瑕疵」に当たると捉えるべきである。したがって、システム公序に反する「構造的瑕疵」を利用して取引が行われた場合には、個別の契約の効力を包括的に認めないだけなく（４(4)参照）、公正な競争市場を支えるインフラ的条件を毀損していることになり、競争法の観点からも、不公正な取引方法の１つとして、法的な介入が認められるべきである。

イ　責任主体の再定義―責任の二段階分離モデルの提案

CPS では、被害発生の原因を特定することは簡単ではなく、誰に過失があるのか、因果関係があるのかが不明確化し、過失責任モデルが機能不全に陥り、責任の空白地帯が生じている（３(2)①参照）。このため、責任主体の再定義が不可欠である。CPS の構造を持つ社会システムでは利用者にサービスを提供するに際して、複数の当事者が登場する。特に、PF ビジネスでは、ネットワークインフラを提供している者、PF 事業者、AI 基礎モデルの開発者、特定 AI システムの開発者、特定 AI システムによってサービスを提供する者などが関与している。また、生成 AI のシステムへ

の実装によって、システム自体が動的に変化している。

（ア） 「ガバナンスの不全」に基づく PF 事業者の責任―対外的な責任集中制度

情報流通プラットフォーム対処法では、大規模な PF 事業者も規制対象となっているが、基本的には、「情報の流通を媒介する者」への規律を念頭に置いている。取引 PF 消費者保護法でも、PF 事業者を依然として「媒介者」として位置付けて規制している。しかし、PF 事業者は、単なる情報の媒介者ではなく、PF 事業者は市場の構造そのものを形成する主体であり、自らが定めたルール（利用規約）に基づき、独自のエコシステムを形成し統治している。

PF 事業者は、利害の異なる多面的な市場を統合し（市場の組織化）、PF 利用規約に基づいてデータを収集し、コード（技術的設計）によってデータを生成し、利用者の行動を構造的に既定している（アーキテクチャによる支配）[30][68][69][70][71]。また、PF 事業者は、自らのシステムに組み込んだ AI（他社製であっても）を自らの支配するアーキテクチャの一部として受容しており、AI を駆使してシステム・サービスを動的に最適化して自らの収益の最大化を達成するように、システムの挙動を排他的に制御している。

デジタルリスクの発生原因が、CPS の構造を採る社会システム自体にあることからすれば、民事責任を考えるに当たっても「点（個別行為）」に対する非難ではなく、「システム（構造）」の統治の不全を原因として責任を肯定すべきである。このシステムを統括して収益を上げ、収益の最大化のためにシステムを制御するインセンティヴが期待できるのは、PF 事業者である。したがって、被害を被った利用者に対しては、原因の所在が不明な段階であっても、システムの「ガバナンスの不全」を理由に、PF 事業者がシステムの統括者として責任を引き受けるべきである（対外的な責任集中制度）。

（イ） 対内的な責任分担制度

他方で、PF 事業者と利用者へのサービスに関与する事業者（例えば、特定 AI システムの開発者・設計者、AI 基盤モデルの開発者・設計者）との間では、システムのガバンナンス不全に対する寄与度に応じて責任を負担すべきである（ネットワークインフラ（L1～3）を提供している者のうち、利用者へのサービスの原資となっているデータの利活用、生成に関与していない者については、これまでと同様に、利用者へのサービスを提供するシステムに関与していないので、システムの利用者に対する上記の責任については原則として免責される）。このような責任の二段階分離モデルが、被害者保護と開発者のインセンティブ管理を両立させる AI 時代の新たな責任分配の基盤となるものと考える。

なお、二段階分離モデルでは、PF 事業者が真の原因者に責任の分担（求償権）を求めることができる実効性が欠ける場合や AI 基礎モデルがオープンソースである場合などには、PF 事業者が事実上の最終的損失負担者として固定されるリスクがある。利用者だけでなく、PF 事業者にとっても、AI はブラックボックス化しているから、損害の発生の原因を特定するのは容易ではない。責任分担制度を効

率的に稼働させる事前の仕組みを別途自ら検討しておくことが必要となる。

（ウ） PF 事業者の責任の免責要件

PF 事業者がシステムのガバナンス保全の責任を負うということは、システムや AI の挙動が「技術的に予見不能」であったとしても、直ちに免責されないことを意味する。

しかし、システム不全に対する責任は、結果責任ではないから、PF 事業者の責任が阻却される場合がある。したがって、このような意味で、PF 事業者の責任は無過失責任ではない。

被害者が「被害の発生」と「システムの関与」を疎明した場合、事業者が「適切なランタイム・ガバナンス（動的ガードレールの設置・運用など）を尽くしていたこと」を証明しない限り、システムの欠陥（不全）を認めるべきである（立証責任の転換）。

例えば、自動運転車を使ったモビリティサービスを提供するシステムの場合、事故原因の如何や被害が人損か物損かにかかわらず、被害者が被害の発生と自動運転車両による事故であること、DPF を介したモビリティサービスであることを主張・立証すれば、被害者に対して直接サービスを提供した運行管理サービス提供者（モビリティ PF 運営者：PF 事業者）がシステムの統括者としてガバナンス不全の責任について第１次責任を負うことになる。

ここで事業者に求められる説明責任は、単なる事後的な釈明ではなく、技術基準や行政法上の事前規制に準拠した運用のログに基づく「ガバナンス・プロセスの適正に行われていたことの証明」（本証）である。動的ガードレールを突破して事故が発生した場合には、その突破が「当時の技術水準において回避不能であったこと」までを説明できれば、免責が認められるものと解される。この構成により、民事責任は被害救済のみならず、事業者に対して最新の安全技術を導入し続ける強力なインセンティブとして機能することになる。

事業者が「適切なランタイム・ガバナンスを尽くしていたこと」を証明できたかどうかについては、技術基準制度と前述した行政法における動的ガードレールを適切に設置・運用に関する事前規制（ex ante regulation）が参照されることになり（４(2)④参照）、どのような反論によって説明責任を尽くしたといえるかが免責されるかどうかの判断にとって重要となる。

このような民事責任を強化する上記の考え方に対しては、責任主体とする事業者が責任を逃れるために事故原因の究明に協力せず、被害を発生させた原因究明につながらず、また被害者も救済されないとして、責任追及と原因究明を分離して民事責任・刑事責任を免責した上で、被害者の救済に対しては保険制度によるべきであるとする考え方も展開されている[72][17]。しかし、人の行為を対象として過失責任主義を責任原理とするのではなく、上記のようなシステムを対象とし、

[17] 事故原因究明のために刑事について起訴猶予による法的制御の可能性を探る見解として、[73]を参照。

システムのガバナンス不全を責任原理とする新たな考え方に立てば、原因究明をしない限り免責されないことになるので、上記の懸念は払拭されることになる。

ウ　AI 実装における責任分配のあり方

（ア）　非 PF 型の AI システムの活用による民事責任

PF による統括的管理が必ずしも行われていない場合の AI の活用による民事責任としても、医師による画像診断の誤り、弁護士業務補助の際の不具合、配送ルート最適化 AI の不具合、自動運転の際のサイバー攻撃（PF による統括的管理がなされる前の段階に限る）、自律走行ロボットの暴走、取引審査 AI によるバイアス発生に伴う差別、AI を用いた健康機器アドバイスの不具合などによる損害発生の問題が生じ得る（これを「対人サービス（非 PF 型）」と呼ぶことができる）。AI の判断がオフラインの世界に影響を与えるという点では、CPS 特有のリスクが発生していることになるが、上記の場合には、AI の関与の度合いに応じて経過的な責任制度を検討する必要がある。

これらについては、民法 709 条、製造物責任法（以下「PL 法」という）を基礎としつつ、①AI が人の判断や行動を補助したり支援したりすることが予定されているケース（補助・支援型）と、②AI が人の判断や行動を代替することが予定されているケース（依拠・代替型）に分け、損害が発生した場合の AI 開発者・運用者と、AI 利用者のいずれが責任を負うべきかを判断する必要がある。AI の利用者は、①の場合には過失責任を負うことがあるが、②の場合には責任を負う場面は限定される。

民法及び PL 法の下では、AI の開発者・利用者には過失責任、開発者には（製造物の）欠陥責任が課され得るが、原告の立証の困難や、製造物の強行的な安全性要求事項の不遵守を理由として、過失・欠陥の推定が認められる場合がある（経済産業省「AI 利活用における民事責任の解釈適用に関する手引き〔第 1.0 版〕」（2026 年）参照）。PL 法については、現行法では、他の製造物に組み込まれている場合にのみ、AI の欠陥を問うことができるにすぎないため、EU 改正指令を参照しつつ、他の製造物に組み込まれているか否かにかかわらず AI が製造物に当たるとする法改正を行う必要がある[67]。また、製品引渡し後の AI ソフトウェアのアップデートにより生じた不具合を欠陥判断において考慮し得るかが問題となるが、引渡し時点でアップデートが予定されている製造物に関しては、最終アップデート時点までの影響を欠陥判断において考慮し得ると考えられ、この点を法改正によって明らかにする必要がある。

なお、自動運転の結果発生した損害については、当面、自動車損害賠償保障法の下で対応することとされているが（国土交通省）、レベル４やレベル５の段階に至った場合、自動車の保有者（運行供用者）は、運行支配を行っているとはいい難い状況に陥るため、人身損害に関して自動車の保有者に対する責任を中心とする現行の自動車損害賠償保障法の体制を維持できるかについて検討が必要となる[67]（（イ）以下を参照）。

（イ） PF 型の AI システムにおける責任分配のあり方

AI エージェントのように、PF を介して、対人サービスに AI が実装される場合には、PL 法の改正のみでは不十分である。

EU 改正 PL 指令（Directive（EU）2024/2853）では、AI（AI ソフトウェアお及び AI を搭載したシステム）も「製品（Product)」に含まれるものとし（同指令 Article 4(1)及び前文 Recital 13 等)、ソフトウェアや AI の特性に鑑み、「引き渡し後のソフトウェアの更新（アップデート)」や「安全性維持に必要な更新の不提供」、さらには「引き渡し後も学習・変化し続ける機能（Continuous learning)」に起因する欠陥（講学上の「動的瑕疵」）を PL 責任の対象に含めている（同第 6 条 1 項(c)号・(f)号等)。

一方、EU の AI Act は、主に「用途に応じてリスクを縦割りに分類し、市場に投入する主体（Provider）や運用する主体（deployer）に義務を課し、主に設計・開発・市場投入を行う主体である「提供者（Provider)」に多くのリスク管理義務や事前適合性評価義務を課す行政規制を行っている。

このような「動的瑕疵」や AI のサプライチェーンにおける責任分配をめぐり、EU では「AI 基盤モデルの開発者（OpenAI 等)」と「それを API 等で組み込んで自社システムを開発する者（二次開発者)」の責任関係が議論されてきた[74]。

これに対し EU の AI Act 及び改正 PL 指令の下では、製品やシステムに「重大な改変（substantial modification)」を加えた上で市場に流通・使用に供した者を実質的な責任主体（AI Act 上の「Provider」及び改正 PL 指令上の「製造者（Manufacturer)」）とみなす枠組みをとっている。すなわち、二次開発者が「重大な改変」を行った場合は、その二次開発者が製造者としての PL 責任（改正 PL 指令第７条・第８条等）や規律上の義務を負う。他方、元の基盤モデル開発者の責任については、改変が自らの管理外でなされたことだけでなく、損害の原因となった欠陥が改変によって生じたものか（あるいは改変前からモデルに存在していたものか）といった欠陥の発生時期や要因を踏まえ、同指令第 11 条の免責要件（市場投入時の欠陥の不存在等）に照らして個別具体的に判断される。これにより、二次開発者の軽微な変更を理由に元の開発者が不当に責任を免れる事態を防ぐと同時に、管理外で加えられた改変に起因する欠陥についてまで元の開発者に無限に責任が及ぶことを防止する枠組みとなっている。

もっとも、AI 基盤モデル開発者・特定 AI システム開発者と PF 事業者が同じ主体によって行われる場合には、PF 型の AI システムでも上記の解釈を拡張することによって対応できるが、異なる法主体によって行われている場合には、上記の法改正では対応できない。具体的には、①AI エージェントが PF を介して対人サービスに利用される場合、自律的にタスク設計と実行を不断に繰り返すことになるが、元の AI 基盤モデル開発者・特定 AI システムの開発者は「製造者の管理が及ばない場所で重大な改変が行われた」として当然に免責され、AI エージェントを利用して PF を介して対人サービスを提供する PF 事業者が製造物責任を負うこ

とになるのか、②動的瑕疵についても、開発危険の抗弁を主張できる余地をどの程度認めるかという点である。これらの帰結如何によって、AI エコシステムにおける責任分配の公平性が問われることなる。また、被害者から見れば、AI のブラックボックス性もあり、そもそも多数のプレイヤーの中から原因者を特定し、個別に立証することは極めて困難であるという問題がある。

a　ガバナンス不全に基づく責任と正当化根拠

そこで、ここでも、PF 事業者を「ゲートキーパー」と位置付け、被害者に対して窓口責任（外形的責任）を負わせる制度（対外的な責任集中制度）と、賠償した PF 事業者が、改正 PL 法に基づき、原因者（AI 開発者等）に対して「動的な瑕疵」を理由に求償できる制度（対内的な責任分配制度）の２つに分離するモデルを提案する。このような二段階分離モデルが、被害者保護と開発者のインセンティブ管理を両立させる AI 時代の新たな責任分配の基盤となるものと考える。

前者（対外的な責任集中制度）については、システムのアーキテクチャを支配し、データの利活用により利益を得ている PF 事業者に危険責任主義に基づき「システム管理責任」を負わせるべきである。具体的には、システムの開発・設計段階だけでなく、運用段階でも継続して「ガバナンス不全」に基づく責任を問うべきである（表３参照）。　AI のブラックボックス性や挙動の予測不能性を鑑みれば、個別の挙動に関する予見可能性を問う従来の過失論は限界にある。むしろ、「ガバナンス・プロセスの不適正さ」を帰責の正当化の根拠と据えるべきである。

表３　既存の制度の責任原理との比較

比較項目	民法 709 条（過失責任）	現行製造物責任法	ガバナンス責任モデル
責任の根拠	過失主義（不注意）	欠陥責任（製品の不備）	ガバナンス不全責任（統治の不備）
正当化原理	自己責任	危険責任・報償責任	危険責任・システム管理責任 ゲートキーパー責任
責任主体	加害者（個人/法人）	製造業者等	PF 事業者（システム統括者）
判定基準	具体的な「結果」の予見可能性・回避可能性	引渡時の「製品」としての安全性の欠如	プロセス（運用状況）の適正さ（動的ガードレールの有無）
証明責任	被害者が過失を証明	被害者が「欠陥」を証明	事業者が「適切な管理」を証明（証明責任の転換）
時間的射程	行為時（点）	引渡時（点）	運用期間中（線：ランタイム）
主な弱点	AI のブラックボックス化により「予見可能性」の証明が困難。	ソフトウェアやサービスへの適用が不明確。動的変化に対応不能。	責任が集中する PF 事業者の経済的負担 →対内的責任分担制度の導入へ

（出典）法学委員会リスク社会と法分科会第 18 回資料（令和８年５月３日）千葉恵美子作成

後者（対内的な責任分配制度）については、PL 法の改正によって、原因者（AI 開発者等）に対して「動的な瑕疵」を理由に求償することになる。PL 法は、従来、被害を被った消費者保護のための制度として位置付けられたが、AI エコシステムにおいては、複雑なサプライチェーン内での責任分担を適正化する機能も期待されることになる。AI の実装形態は非 PF 型から PF 型へとシームレスに移行し得る性質を持つことから、製造物責任制度として両者を矛盾なく共存させるべきである。

被害者との関係において、PF 事業者はゲートキーパーとしてガバナンス不全の責任を負うが、内部的には PF 事業者と AI 開発者等による「共同不法行為」の性質を帯びる。もっとも、本モデルではガバナンス不全を責任の根拠に据えるため、内部負担の算定には過失割合ではなく「システムの寄与度」を基準とすべきである。

したがって、PF 型における求償プロセスの簡略化を目的として、EDR（イベントデータレコーダー）の記録（「認識フェーズの誤認（AI 側）」なのか、「制御

フェーズの判断ミス（ルールベース側）」なのかなど）を活用した清算モデルの活用を提案する。

具体的には、高度な技術的原因究明に時間を要することを想定し、あらかじめ統計的リスクに基づいて合意された分担比率（拠出金）に従い、暫定的に清算を行う仕組みである。この決定プロセスの透明性を行政法上の事前規制（認証制度）などに基づいて担保し、あらかじめ合意されたルールに基づく迅速な清算を可能にすることは、経済合理性に適った AI 時代の責任分配の基盤となる。もっとも、EDR の記録にも誤りがある可能性があり、想定外の事態が起きる場合もあることから、事後的な調整の仕組みも用意しておくべきであろう。

b　PF 事業者のガバナンス責任の免責と被害者救済のあり方

PF 事業者が説明責任を十分に果たしたとことを立証した場合には、PF 事業者の責任が阻却される場合がある（４(3)②イ(ウ)参照)。ガバナンス不全の責任が免責される場合には、別途、被害者が救済されない場合に備えて、保険制度や被害補償制度との組み合わせを考えることが必要となる。

レベル４以降の自動運転システムを念頭に保険制度や被害補償制度との組み合わせを考えてみることにしたい。レベル４以降については、もはや「製品の販売」ではなく、モビリティ PF 運営者（PF 事業者）がプラットフォームによる統括的管理(ソフトの統合や運用の設定など)の下で､「移動というサービス」を提供することになるものと考えられる（｢PF 型｣)。

レベル４の自動運転システムでは、まだ、運行利益も運行支配もモビリティ PF 運営者にあるから、モビリティ PF 運営者に運行供与者責任を認めた上で、モビリティ PF 運営者が現行の自動車損害賠償責任（自賠責）保険の契約者となるべきである。

しかし、レベル５の自動運転システムの場合には、もはや運転者の概念がなくなる。システムそのものが運転サービスを提供する主体になると考えるべきである。したがって、自動運転システムを構成する者（モビリティ PF 運営者を含めて自動運転システムの一部として認証を受けた者に限定すべきである）の共同責任を認めた上で、自動運転システムを構成する者全員による拠出型の補償基金（保険制度）を創設し、個別の過失を問わない補償に近い救済制度によって担保すべきである（表４参照)。

表４　自動運転システムと責任・自賠責保険制度（人損）との関係

項目	従来 （手動運転）	レベル４ （PF 管理）	レベル５ （システム統括）
責任の中心	運転者・保有者	モビリティ PF 運営者 ガバナンス責任	システム構成体（連帯） ガバナンス責任
責任の性質	運行供与者責任 （自賠３条）	運行供与者責任 （実質的支配）	共同危険責任 ガバナンス責任
保険の役割	個別の保有者が 契約者	PF 運営者 契約者	構成者全員による 拠出型保険
被害者救済	比較的容易	PF 運営者を 特定すれば容易	システム構成体を 相手どれば容易

（出典）法学委員会リスク社会と法分科会第 18 回資料（令和８年５月３日）千葉恵美子作成

(4)　リスク対応における司法手続の役割

これまで述べてきた環境リスクやデジタルリスクに対する対応においても、その最終手段としての司法制度、すなわち裁判所の役割が重要となる。一般に、取り返しのつかない被害の発生を事前に防止するためにも、予防に勝る救済はないといえるが、被害の発生後には、単に被害者救済の視点からではなく爾後の健全なシステム構築のためにも、事後的救済が重要な課題となる。したがって、環境リスクやデジタルリスクに対する対応においても「司法アクセス」の保障（憲法 32 条。SDGs. 16. 3 も参照）は不可欠であり、我が国においても、予防的救済と事後的救済の両面から、リスク対応のための司法的救済システムを構築する必要がある。

まず、環境リスクの中には、個々人の権利・利益に対するリスクだけでなく、集団的な利益に対するリスクとしての性格を持つものも少なくない。ところが、従来の訴訟制度は、民事訴訟についても（についても、環境法規が十分に執行されていない状態（執行の欠缺）を是正するための有効な救済手段として、十分機能していない[75]。比較法的には、一方で、アメリカ合衆国では市民訴訟制度等、法の実現における私人の役割を重視する制度が、他方で、欧州では団体訴訟制度のような一定の実績を積んできた団体に法の実現の役割を課する制度が導入されてきた。特に欧州では、オーフス条約の下で団体訴訟制度が一般化している[18]。我が国では、2001 年６月 12 日に公表された「司法制度改革審議会意見書」の中で、団体訴訟の導入について、個別の実体法においてその法律の目的やその法律が保護しようとする権利、利益等を考慮して、検討すべき旨が指摘され、これを受け、後述のように消費者利益の救済のための団体訴訟制度が設けられた。しかし、環境利益の保護に関する団体訴訟制度は現在のところ設けられてはいない。それゆえ、既に消費者利益の保護のために差止的救済と金銭的救済の局面で一定の成果を挙げている上記団体訴訟のような立法による環境団体訴訟制度の創設が望まれる。こ

[18] オーフス条約については、https://unece.org/fileadmin/DAM/env/pp/documents/ac_jap_informal_rev.pdf を参照。

れにより、環境リスク対応のための予防的救済及び事後的救済を実現すべきである。

次に、デジタルリスクについても、情報の瞬時の拡散によって広範囲に甚大な被害を発生させるおそれがあることから、ランタイム規制に対応した予防的手法だけでなく、集団的な予防的救済制度や事後的被害回復制度を導入することが必要である。具体的には、先に述べたシステム公序違反（４(3)②ア参照）を理由とし、同様の取引の効力を包括的に否定できるような場合に、集団的救済に道を拓くべきである。その際に、活用できると考えられるのが、先に述べた「司法制度改革審議会意見書」の提言を受ける形で制定された消費者団体訴訟制度の枠組みである。すなわち、2006 年には、消費者契約法の改正により、内閣総理大臣の適格認定を受けた消費者団体が事業者等の違法行為の差止請求をすることができるとする消費者団体訴訟制度が導入され、2013 年には、多数の消費者被害の損害賠償による救済を実効化するために、消費者裁判手続特例法も制定され、2022 年の法改正により、対象範囲の拡大などを図る法改正もなされている[76]。そこで、一方で、消費者契約法の改正を通じて、システム公序の侵害のおそれを理由とする差止訴訟制度を設けるとともに、他方で、システム公序に違反して同種の取引がなされた場合には、共通義務確認訴訟の対象になることを明示した上で、消費者裁判手続特例法を改正して、損害賠償請求権や不当利得返還請求権だけでなく原状回復請求権にまで拡張して集団的救済制度を構築すべきである。このような事後的救済制度を創設することにより、アルゴリズムによって構造的に醸成された「意思決定環境の汚染」という共通の争点に対し、一括して契約関係の解消と不当利得の吐き出しを命じることが可能となる。不当利得金額の算定に際しては困難が予想されるが、民事訴訟法 248 条の積極的な活用が期待される。さらに、意思決定環境が汚染された状態で、システム公序に反して継続的に取引が行われている状態は、デジタル空間において消費者の選択を構造的に歪めていることになることから、公正な秩序の回復を実現するために、独占禁止法においても、消費者団体訴訟の導入を検討すべきである。

以上は、環境リスクやデジタルリスクに対する本案訴訟を通じた予防的救済と事後的救済の提案であるが、不可逆的な被害発生の予防の観点からは、民事保全を通じた仮の救済制度、すなわち仮処分制度の拡充も重要な課題となる。

そのほか、各種個別立法（条例も含む。）を通じて、我が国における私人等による法実現を涵養するための方策（例、弁護士費用を含む費用の支弁、報奨金の支払等）も考案されるべきである。

(5)　リスクに対する社会的対応

本報告で取り上げるリスクの中には、部分的に社会的対応が考えられるものもある。

①　生物多様性損失リスクに対する企業の対応と TNFD（自然関連財務情報開示タスクフォース）

生物多様性の価値は、上述したように、貨幣評価によって一定程度可視化できるが、不可逆性、代替困難性、文化的・地域的価値をすべて市場価格に換算できるわけではないため、科学的不確実性の下での予防的対応、順応的管理、参加型評価を組み合わ

せることが望ましい[77]。これらは公法的手法､私法的手法で対処する場合もあるが、近年、CSR や ESG を基にした企業の対応が重要性を増している[78]。

生物多様性損失リスクへの企業対応は、事業継続、サプライチェーン、投融資、保険、地域社会との関係を含む経営上のリスク管理として位置付ける必要がある[77][79]。昆明・モントリオール生物多様性枠組みのターゲット 15 は、特に大企業・多国籍企業・金融機関に対し、生物多様性への依存、影響、リスクを定期的に評価し、透明性をもって開示することを求めている[80]。これに対応する実務枠組みとして TNFD は、自然関連のリスクと機会を、ガバナンス、戦略、リスクとインパクト管理、指標と目標の観点から開示する枠組みを提示している。さらに IPBES ビジネスの生物多様性及び自然の恩恵への影響と依存に関する方法論評価（いわゆる「ビジネスと生物多様性アセスメント」）は、すべての企業が生物多様性に依存し、同時に影響を与えていること、また、企業行動を変えるためには、個社の自主的取組だけでなく、規制、金融、データ、能力形成、価値観を含む実現環境の整備が不可欠であることを示している[78]。我が国においても、TNFD 型の開示を入口としつつ、単なる情報開示や評判管理に終わらせず、土地利用、調達[81]、投融資[82]、地域合意形成における意思決定へ反映させる制度的・実務的仕組みを構築することが求められる。

② 生成 AI のリスクに対する社会的対応

AI の中でも特に生成 AI がもたらす新たな形態のリスクを縮小するための対策は、大きな課題である。先に区別した３つのレベル（２(5)参照）のうち相互行為レベルでは、EU において同意のないディープフェイクポルノを禁止する AI 法改正が予定されているなど [19]、海外では標的型リスクへの法的対応が始まっている。他方、個人内面レベルでの環境型リスクに対する法的対応は、個人の内面への介入や日常生活の監視を伴うため、その適否を慎重に検討する必要がある。また、社会制度レベルでのリスクの中でも偏向型リスクについては、市民の操作的行為に対する監視・規制の実施困難性が大きな障害となる。それゆえ、特に個人内面レベルでの環境型リスクと社会制度レベルでの偏向型リスクに対しては、市民社会におけるエートス（価値観）の醸成が不可欠であり、これを促進するような教育プログラムや民間団体活動の促進などが求められる。

③ 東京一極集中、地方における人口減少のリスクへの対応

1) 東京一極集中については、1980 年代にアジェンダとして社会的に広く認識されるようになったといえよう。

これを受け、本格的に動き出したのが「首都移転」構想である。1990 年には衆参両院で「国会等の移転に関する決議」が採択され、正式に「東京一極集中」を排除し、「21 世紀にふさわしい政治・行政機能の確立」を目指すこととなった。1992 年には「国会等の移転に関する法律」が施行され、国会等移転調査会が設置される。その報

[19] European Parliament, “Tackling AI Deepfakes and Sexual Exploitation on Social Media” (briefing), 15 January 2026 (https://www.europarl.europa.eu/news/en/agenda/plenary-news/2026-01-19/8/tackling-ai-deepfakes-and-sexual-exploitation-on-social-media).

告書の冒頭においては、従来から指摘されてきた交通渋滞や住宅問題に加え、地震災害への脆弱性や、国際都市としての活動が制約されることへの危機感が表明されている。また、首都機能を移転することにより、東京中心の社会構造が変革され、新しい政治・経済が実現し、リスクを分散し、国土の災害対応力が高まると期待されていた[83]。

報告書が公表された1995年は、阪神淡路大震災が発生したこともあり、首都移転の必要性については一定の合意が成立していたといえる。その後、国会等移転審議会が設置され、具体的な移転先の候補地選定などの議論が始まるが、2000年代に入ると首都移転の政策課題における優先順位は急速に下がった。首都圏の知事の反発や、小泉政権以降の「行政改革」「財政再建」の路線と、巨額の費用を要する首都移転は馴染まなかったこと、などが影響したと考えられる。

だが、2011年の東日本大震災の発生により、首都東京への機能集中の問題が改めて可視化された。国土全体での機能分担、また首都圏での大規模災害発生時における首都機能の継続性が大きな課題として共有された[84]。その後、COVID-19の発生により一時的に一極集中は緩和するかにも見えたが、現在は再び集中が進んでいる[83]。

上記の東京一極集中の災害リスクに鑑み、首都東京への機能集中の分散について早急に再検討すべきであると思われる。

2) 人口減少問題に関しては、学術会議も、これまでいくつかの提言・報告[20]を発出してきた。本分科会も、これらの提言等が示した将来像（「持続可能な幸福社会」「幸福な人口縮小社会」「多様性の増大を前提とした国土政策や地域づくり」）を目指すべきであることに異論はない。

しかし、東京一極集中や人口減少を多様なリスクの１つとして捉え、これらのリスクに対しどのようなガバナンスを行うべきか検討する本報告では、東京一極集中や人口減少に対し法や政策がどのような役割を果たすべきかという観点から提案する。

人口減少のリスクに関し、国も、人口減少を抑えようとする子育て支援政策や人口減少を前提にして生活環境を維持しようとするコンパクトシティ政策等、様々な地方創生政策をとってきたが、必ずしも十分な成果は出ていない。

この点につき、これまでの地方創生政策は、国民を政策・支援・誘導の対象として捉え、国民の多くも他人事のように考えているのではないかという疑問が出てくる。しかし、「保育園落ちた日本死ね」という言葉がブログに投稿されたことをきっかけに、待機児童問題や子育て支援が国の重要課題の１つとなったように、国民が東京一極集中や人口減少を自分達の「これまでの生活が維持できなくなるかもしれないリスク」の問題と認識するようになれば、東京一極集中や人口減少に対する法政策は、一歩進むのではないか。東京電力福島第一原子力発電所事故では、政府の指示により住民が避難させられ、また、住民が自主的に避難する中で、「コミュニティにおいて生きる権

[20] 提言「「人口縮小社会」という未来－持続可能な幸福社会をつくる－」（2020年８月24日）、報告「深化する人口縮小社会の諸課題―コロナ・パンデミックを超えて」（2023年９月26日）、報告「縮小社会を前提とした持続可能な国土・地域を構想するために」（2026年２月20日）。

利の侵害」、「生活基盤損害（いわゆるふるさと喪失損害）」が問題とされ、帰還困難区域に居住していた住民には一人1,000万円に及ぶ損害賠償が認められたが、人口減少問題においては、明確な加害者が存在しない中で、より時間をかけて、しかし、近年においては急激に、同様の状態が始まっているのである。

「これまでの生活が維持できなくなるかもしれないリスク」は、国民の「これまでの生活を維持する利益」に対応している。この「これまでの生活を維持する利益」が憲法25条にいう「健康で文化的な最低限度の生活を営む権利」（生存権）に含まれるかどうか意見が分かれるであろう。しかし、国民には「これまでの生活を維持する利益（権利）」があることを前提に、その利益（権利）を重視した法政策が策定されれば、東京一極集中や人口減少というリスクに対する有効な法政策となり得るのではないか。

人口減少問題に対する対応・対策は、それによって生ずる弊害に対する対応・対策（適応策）の検討と、数十年レベルで見るときに人口の安定につなげるための方策（緩和策）の検討に分けられる。地域において（地域に裨益する再生可能エネルギーの導入のような）環境政策を実施するとともに、新たな雇用を生み、地域経済を活性化させる地域循環共生圏の試みが環境省で行われ（第６次環境基本計画参照）、また、類似の試みが農林水産省で行われているが、このような地道な取組は、上記の適応策だけでなく、緩和策としても有効であろう[21]。

(6) リスク対応における専門家・科学者の役割

科学技術の発展は、人類の幸福を拡大させてきたが、「後期近代」ともいわれる現代においては、生産された富の分配よりも、むしろリスクの分配が社会課題の中心となる「リスク社会」に移行するといわれる。このような社会では、専門家や科学者は、リスクの定義・評価・管理に積極的に関わる、制度維持の中心的役割を果たすこととなるため、専門家に対する市民の信頼は、より一層、重要になってくる[1]。

また、社会学者のギデンズが指摘したように現代社会は、様々な専門家のネットワークとしての「専門家システム」によって維持されている。実のところ、一般市民は十分な専門的知識を持っていないものの、そのような専門家システムの判断に大きく依存せざるを得ない。したがって、リスク社会において専門家や科学者は、その専門性に基づく科学的な正しさのみならず、社会に対する説明のあり方や制度的な透明性が、その判断の社会的な正当性を決めるといえる[86]。

このようなリスク社会的状況において、専門家・科学者の役割が特に問題となるのは、不確実性の高い問題と向き合うシーンである。科学哲学者のラヴェッツらが提案した”post-normal science”の考え方によれば、不確実性が高くまた関係する人々の範囲が広くなるような科学的判断－典型的には気候変動やパンデミックへの対応などが挙げられるだろう－においては、「専門家」の範囲を拡大し、様々なタイプの知を政策判断に含めていく必要があることが示される。その際に、一般市民の参加が求められる場

[21] [87]は、環境政策を起点として、地方創生を目指す途について検討している。

合もあるが、それは決して科学への信頼性や権威を否定するものではなく、むしろ、不確実性が高い問題領域における解決の方向性を示すものである[88]。

以上のことは、現実の政策実務の国際的なスタンダードにも反映されている。例えば経済協力開発機構（OECD）のレポート“Scientific Advice for Policy Making”では、政策決定における科学的助言の役割においては、政治的な圧力からの独立の重要性を強調しつつも、決して「唯一の正解を示す存在」などではなく、科学的証拠の提供と解釈、不確実性やリスクの明確化などを通じて、「政策選択肢を構造化する（structuring policy options)」役割を担う存在として規定されている[87]。また、そのような政策決定に関わる人材の中心は、単なる行政官でも通常の意味での科学者でもない。このような科学と政策の境界領域で働く専門的人材の育成やキャリアパスの明確化もまた、重要な課題の１つであると考えられる[90]。

以上のように、リスク社会における専門家・科学者の責務は、単に専門的・科学的知見を提供することだけではない。その不確実性や限界、またそこに伴うリスクについて社会と共有し、民主的な議論を支えることが重要な役目であるといえる。健全な学術と社会の関係を維持するためには、そのような場を整備するための仕組みを充実させることが求められるだろう。

＜参考文献＞

[1] Beck, Ulrich (1986), *Risikogesellschaft : Auf dem Weg in eine andere Moderne*, Suhrkamp.

[2] Giddens, Anthony (1994), *Beyond Left and Right: the Future of Radical Politics*, Polity Press.

[3] Latour, Bruno (1991), *Nous n'avons jamais été modernes - essai d'anthropologie symétrique*, La Découverte.

[4] Knight, Frank (1921), *Risk, Uncertainty and Profit,* Houghton Mifflin.

[5] Keynes, John Maynard (1936), *The General Theory of Employment,Interest and Money*, Macmillan.

[6] 中山竜一「リスクと法」橘木俊詔・長谷部恭男・今田高俊・益永茂樹編『リスク学入門 1』(岩波書店・2007 年) 87 頁以下

[7] 戸部真澄『不確実性の法的制御』(信山社・2009 年)

[8] 桑原勇進『環境法の基礎理論―国家の環境保全義務』(有斐閣・2013 年)

[9] 下山憲治「リスク言説と順応型の環境法・政策」環境法研究 7 号 (信山社・2017) 6 頁以下

[10] OECD (2003), Emerging Risks in the 21st Century--An Agenda for Action, https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2003/04/emerging-risks-in-the-21st-century_g1gh2feb/9789264101227-en.pdf

[11] Slovic, Paul (1987), "Perception of Risk", Science, Vol. 236, No. 4799, pp. 280-285.

[12] Goffman, Erving (1974), Frame Analysis-An Essay on the Organization of Experience, Harper and Row.

[13] 中山竜一「リスク社会における公共性」井上達夫編『岩波講座哲学第 10 巻　社会/公共性の哲学』(岩波書店・2009 年) 129 頁以下

[14] IPBES (2019) Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.

[15] 諸富徹「持続可能な発展を計測する指標」亀山康子＝森晶寿編著『グローバル社会は持続可能か』(岩波書店・2015 年) 48 頁以下、大塚直「法・制度と持続可能な発展-世代間衡平を中心として」大塚直＝諸富徹共編著『持続可能性と Well-Being』(日本評論社・2022 年) 9 頁以下

[16] 阿部泰隆『行政法解釈学Ⅰ』(有斐閣・2008 年)

[17] Carson, R. T., Mitchell, R. C., Hanemann, M., Kopp, R. J., Presser, S., & Ruud, P. A. (2003). Contingent valuation and lost passive use: damages from the Exxon Valdez oil spill. Environmental and resource economics, 25(3), 257-286

[18] FAO (2025) Global Forest Resources Assessment 2025, https://doi.org/10.4060/cd6709en.
[19] Managi, S., & Kumar, P. (2018). Inclusive Wealth Report 2018: Measuring Progress toward Sustainability. Routledge, USA.
[20] Champ, P. A., Boyle, K. J., & Brown, T. C. (Eds.). (2017). A Primer on Nonmarket Valuation (2nd ed.). Dordrecht, The Netherlands: Springer.
[21] Johnston, R. J., Boyle, K. J., Adamowicz, W., Bennett, J., Brouwer, R., Cameron, T. A., Hanemann, W. M., Hanley, N., Ryan, M., Scarpa, R., Tourangeau, R., & Vossler, C. A. (2017). Contemporary guidance for stated preference studies. Journal of the Association of Environmental and Resource Economists, 4(2), 319-405.
[22] NIST (National Institute of Standards and Technology), Framework for Cyber Physical Systems: Volume 1, Overview, Version 1.0, NIST Special Publication 1500 201, 2017.
[23] 千葉惠美子「デジタル・プラットフォームとAIがもたらす社会システムの変容とわが国のデジタル関連法制の現状」NBL1307号（2026年）５頁以下
[24] 大内伸哉ほか『フリーランス法制を考える：デジタル時代の働き方と法』(弘文堂・2025年)
[25] 稲谷龍彦「特集日本社会のDXと法　企画趣旨」法律時報97巻２号（2025年）２頁
[26] ローレンス・レッシグ（山形浩生訳）『Code Version2.0』翔泳社、2007年
[27] Shoshana Zuboff（野中香方子訳）『監視資本主義―人類の未来を賭けた闘い』東洋経済新報社、2021年
[28] 大屋雄裕＝東藤大樹「AIマッチングにおける二つの公平性：労働法的検討を基礎として」季刊労働法282号（2023年）109頁以下
[29] 曽我部真裕＝林秀弥＝栗田昌裕『情報法概説（第３版)』(弘文堂・2025年)
[30] 千葉惠美子編著『デジタル化社会の進展と法のデザイン』(商事法務・2023年)
[31] 伊永大輔「新しい事前規制（ex ante regulation）の意義と課題」NBL1309号（2026年）32頁以下
[32] 米村滋人「なぜ日本のコロナ対策は失敗を続けるのか―行政と専門家の構造的問題に目を向けよ」世界966号（2023年）189頁以下
[33] 米村滋人「感染症と医療・法・社会―われわれは感染症危機といかに向き合うべきか」法律時報95巻８号（2023）４頁
[34] 米村滋人「新型コロナウイルス感染症と医療体制の問題」HAB Newsletter 27巻1号（2020）27-29頁
[35] 中央防災会議(2025)「首都直下地震の被害想定と対策について（報告書)」(令和７年12月19日・中央防災会議防災対策実行会議首都直下地震対策検討ワーキンググループ)
[36] 土木学会(2025)「国土強靭化定量的脆弱性評価・報告書」(2025年６月・土木学会土

木計画学研究委員会国土強靭化定量的脆弱性評価委員会）
[37] 藤井敏嗣『富士山噴火－その日に備える』（岩波新書・2025 年）
[38] 中央防災会議(2020)「大規模噴火時の広域降灰対策について」（令和２年４月中央防災会議防災対策実行会議大規模噴火時の広域降灰対策検討ワーキンググループ）
[39] Cutter, S.L., Boruff, B.J. ,& Shirley, W.L. (2003), “Social Vulnerability to Environmental Hazards”, Social Science Quarterly, Vol. 84, No. 2, pp. 242-261.
[40] Pelling, M. (2003), The Vulnerability of Cities-Natural Disasters and Social Resilience, Earthscan.
[41] 日本学術会議人口縮小社会における問題解決のための検討委員会、報告「深化する人口縮小社会の諸課題―コロナ・パンデミックを超えて」、2023 年９月 26 日
[42] 「地方創生に関する総合戦略」（令和７年 12 月 23 日閣議決定）
[43] 岸本充生「リスク概念の展開と多様化」日本リスク研究学会編『リスク学事典』丸善出版・2019 年） ６－９頁
[44] 藤井健吉ほか「レギュラトリーサイエンス（RS）のもつ解決志向性とリスク学の親和性―薬事分野・食品安全分野・化学物質管理分野の事例分析からの示唆―」日本リスク研究学会誌 27 巻１号（2017）11-22 頁
[45] 大塚直『環境法 BASIC（第４版)』（有斐閣・2023 年）63 頁以下
[46] 北村喜宣『環境法（第６版)』（弘文堂・2023 年）
[47] 環境リスクと予防原則について、植田和弘＝大塚直監修『環境リスク管理と予防原則』（有斐閣・2010 年）
[48] N. de Sadeleer, Environmental Principles: From Political Slogans to Legal Rules (2002), 159-160.
[49] 赤渕芳宏「予防原則と『科学的不確実性』」環境法政策学会誌 10 号（2007 年）167 頁以下
[50] 大塚直「公害・環境・原発リスクと不法行為法（拡張版)」大塚直＝米村滋人編著『多様なリスクへの法的対応と民事責任』（商事法務・2024 年）108 頁以下
[51] 特集「排出量取引制度が始まる」ジュリスト 1621 号（2026 年）
[52] 島村健「予防的介入と補償」石田眞＝大塚直編『企業社会の変容と法創造　第６巻：労働と環境』（日本評論社・2008 年）215 頁以下
[53] 山田洋「気候変動への適応と水害リスクの防御」法律時報 91 巻８号（2019 年）66 頁以下
[54] 三好規正「気候変動時代における実効的な流域治水と自治体の役割」自治総研 48 巻 519 号（2022 年）14 頁以下
[55] 櫻井敬子「流域管理・再論」日本不動産学会誌 36 巻１号（2022 年）64 頁以下
[56] 大橋洋一編『災害法』（有斐閣・2022 年）
[57] 宇賀克也「【巻頭言】流域治水関連法について」行政法研究 49 号（2023 年）21 頁以下

[58] 亘理格「自然災害防止法制と予防原則的対応」法学新報 132 巻 11・12 号（2026 年）1056 頁以下
[59] 三枝健治「デジタル取引の環境整備に向けた EU 法制の展開」NBL1308 号（2026 年）16 頁以下
[60] 古川直裕ほか『別冊 NBL No.192　EU AI 法概説』（商事法務・2025 年）
[61] 林秀弥「生成 AI 検索の競争法的規律―比較法的検討と日本法への提案」NBL1310 号（2026 年）23 頁以下
[62] 稲谷龍彦「Society5.0 における新しいガバナンスシステムとサンクションの役割」千葉惠美子編『デジタル・プラットフォームとルールメイキング』（日本評論社・2023 年）225 頁以下
[63] 羽深宏樹「アジャイル・ガバナンス概説」NBL1202 号（2021 年）44 頁以下
[64] 山本龍彦「アジャイル・ガバナンスと憲法」法時 95 巻８号（2023 年）28 頁以下
[65] 上野達弘＝奥邨弘司編著『AI と著作権』（勁草書房・2024 年）
[66] 藤田友孝「自動運転をめぐる民事責任法制の将来像」藤田編著『自動運転と法』（有斐閣・2018 年）277 頁以下
[67] 大塚直「総括 ― 科学技術の発展に伴う多様なリスクと不法行為法（拡張版）」大塚直＝米村滋人編著『多様なリスクへの法的対応と民事責任』（商事法務・2024 年）476 頁以下
[68] 根岸哲＝泉水文雄＝和久井理子編著『プラットフォームとイノベーションをめぐる新たな競争政策の構築』（商事法務・2023 年）
[69] 土田和博編著『デジタル・エコシステムをめぐる法的視座―独占禁止法・競争政策を中心に』（日本評論社・2024 年）
[70] 山本龍彦編集代表『怪獣化するプラットフォーム権力と法（全４巻）』（慶應義塾大学出版会・2024～2025 年）
[71] 横溝大編著『デジタルプラットフォームの越境性――対応した規整枠組の模索』（日本評論社・2026 年）
[72] 原田大樹「デジタル時代の規制手法論」戸部真澄=川合敏樹編・山田洋先生古稀記念『環境行政法の現代的課題』（信山社・2025 年）188 頁以下
[73] 稲谷龍彦「技術の道徳化と刑事法規制」松尾陽編『アーキテクチャと法』（弘文堂・2017 年）93 頁以下
[74] Hacker, P. (2023). Lifting the Veil of AI: Liability, Information and Supply Chains in the AI Act and Product Liability Directive. *European Law Journal*. Advance online publication. doi.org;Heiderhoff, B., & Ebers, M. (Eds.). (2024). *Algorithms and civil liability*. Nomos; Hart Publishing..
[75] 大塚直『環境法（第４版）』（有斐閣・2020 年）
[76] 新堂幸司『新民事訴訟法〔第６版〕』（弘文堂・2019 年）
[77] IPBES. 2026. Summary for Policymakers of the Methodological Assessment Report on the Impact and Dependence of Business on Biodiversity and

Nature’s Contributions to People. Jones, M., Polasky, S., Rueda, X., Brooks, S., Carter Ingram, J., Egoh, B. N., von Hase, A., Kohsaka, R., et al. eds. IPBES secretariat, Bonn, Germany. DOI: 10.5281/zenodo.15369060.

[78] Taskforce on Nature-related Financial Disclosures (TNFD) . 2023. Recommendations of the Taskforce on Nature-related Financial Disclosures. Version 1.0.

[79] 中尾圭志. 2025. 「持続的な自然資本管理に向けた企業の情報開示：TNFD 賛同企業における自然資本評価の現状と課題」『林業経済研究』71(2): 12-25. DOI: 10.20818/jfe.71.2_12.

[80] Convention on Biological Diversity (CBD) . 2022. Decision adopted by the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity: 15/4. Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework. CBD/COP/DEC/15/4.

[81] Nakao, K., & Kohsaka, R. 2026. Applicability of supply shed approach in global supply chains: integrating supply shed and landscape approaches for natural capital assessment. Environmental Research Communications 8: 022501. DOI: 10.1088/2515-7620/ae3d83.

[82] 日本生命保険相互会社『日本生命ネイチャー・ファイナンス・アプローチ』2025 年８月.
https://www.nissay.co.jp/kaisha/csr/shisan_unyou/esg/pdf/2025-nature-finance-approach.pdf

[83] 国会等移転調査会(1995)「国会等移転調査会報告」(平成７年 12 月答申)

[84] 山口広文「大規模災害時における首都機能の継続性をめぐる視点」レファレンス 63 巻 2 号 (2013) 7-27 頁

[85] 藤波匠「人口の東京一極集中の実相と地方創生のあるべき姿」JRI レビュー Vol.４,No.122 (2025) 57-70 頁

[86] Giddens, Anthony (1990), The consequences of modernity, Polity Press in association with Basil Blackwell.

[87] 環境法政策学会編「人口減少社会における地方創生―環境法政策の観点から」環境法政策学会誌 29 号 (2026 年)

[88] Funtowicz, Silvio O. & Ravetz, Jerome R. (1993), ″Science for the post-normal age″, Futures, 25 (7), 739-755.

[89] OECD (2015), Scientific Advice for Policy Making--The Role and Responsibility of Expert Bodies and Individual Scientists, https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2015/04/scientific-advice-for-policy-making_g17a262a/5js3311jcpwb-en.pdf

[90] Pielke Jr., Roger A. (2007), The Honest Broker: Making Sense of Science in Policy and Politics, Cambridge University Press.

＜参考資料＞審議経過

法学委員会リスク社会と法分科会

令和６年３月 13 日　（第 26 期・第１回）
1)委員会設置の趣旨説明
2)委員自己紹介
3)委員長の選出、副委員長・幹事の指名と承認
4)委員会の進め方

令和６年７月 22 日　（第 26 期・第２回）
1)報告「リスク社会論の論点整理・再論：法理学の視点から」（中山竜一委員）

令和６年 11 月 17 日　（第 26 期・第３回）
1)報告「存亡リスク研究：分配的正義論からの検討」（宇佐美誠委員）

令和７年１月 13 日　（第 26 期・第４回）
1）報告「ELSI 登場の背景について」（神里達博委員）

令和７年２月２日　（第 26 期・第５回）
1）報告「リスク社会における法的対応–公害・原発事故、地球環境、AI の人為的リスクに対する民事責任を中心として」（大塚直委員）
2)「報告」の提出の可能性に関する討議

令和７年４月 13 日　（第 26 期・第６回）
1）報告「デジタル化に伴う社会システムの変容と法のデザイン」（千葉惠美子委員）
2）意思の表出「報告」の取りまとめについて

令和７年６月８日　（第 26 期・第７回）
1）報告　「アテンション/データエコノミー下のデジタル社会の課題」（林秀弥委員）
2）報告「デジタル社会の課題：子ども向け広告・マーケティング規制（EU 法を中心に）（川和功子委員）

令和７年８月 11 日　（第 26 期・第８回）
1）報告「EU グリーンディール法規制の考え方～制度設計のレギュラトリーサイエンス」（藤井健吉委員）

令和７年９月８日　（第 26 期・第９回）
1）報告「人口減少社会におけるリスクとその対応－まちづくり・公共交通・インフラ政策を中心に」（山下竜一委員）

令和７年９月 23 日　（第 26 期・第 10 回）

1）報告「自然災害防止法制と予防原則的対応」（亘理格委員）
令和７年 10 月 19 日　（第 26 期・第 11 回）
1）報告「医療・医薬品のリスクと法規制のあり方」
（米村滋人委員）
令和７年 11 月 24 日　（第 26 期・第 12 回）
1）講演「AI のリスクとその規制：二つの AI」（大屋雄裕氏）
令和７年 12 月 20 日　（第 26 期・第 13 回）
1）報告「リスクに対する予防的介入と補償」（島村健委員）
令和８年１月 31 日　（第 26 期・第 14 回～第 16 回）
令和８月２月 10 日　1）意思の表出について
令和８年３月９日
令和８年４月４日　（第 26 期・第 17 回）
1）意思の表出について
2） 話題提供「現行法下の AI に関する不法行為責任について」（大塚直委員）
令和８年５月３日　（第 26 期・第 18 回～第 20 回）
令和８年５月 10 日　1）意思の表出について
令和８年５月 31 日

環境学委員会 環境政策・環境計画分科会
令和６年３月 21 日　（第 26 期・第１回）
1）第 26 期分科会等活動に関する確認について
2）第 26 期活動方針の検討・意見交換について
令和６年７月 29 日　（第 26 期・第２回）
1）報告「環境政策・環境計画とグローバル規制構造」
（藤井健吉氏）
令和６年 11 月 30 日　（第 26 期・第３回）
1）中尾圭志氏からの話題提供
令和７年２月 17 日　（第 26 期・第４回）
1）報告「環境経済評価の研究動向」（柘植隆宏委員）
2）意思の表出について
令和７年５月 28 日　（第 26 期・第５回）
1）報告「自然資本の管理：政策と経営」（馬奈木駿介委員）
2）意思の表出について
令和７年７月 30 日　（第 26 期・第６回）
1）報告「環境情報開示と環境価値評価」（栗山浩一委員）
2）意思の表出について
令和７年９月 17 日　（第 26 期・第７回）

1）報告「日本におけるグリーンインフラの展開と課題」（村上暁信委員）
2）意思の表出について

令和７年 10 月 27 日　（第 26 期・第８回）
1）前回会議の議事要旨について
2）委員の追加について
3）分科会の活動報告・活動予定（意思の表出、行事開催等）について
4） 他委員会主管の共管分科会及び関連する課題別委員会に関する情報共有

令和７年 11 月 27 日　（第 26 期・第９回）
1） 報告「ネイチャーポジティブ達成に向けた期間機関投資家の役割と日本生命の取組状況」（宮本泰俊氏）

報　　告

カーボンニュートラル施策推進のためのリスク検討フレーム

令和８年（２０２６年）９月２５日

日　本　学　術　会　議

総合工学委員会・機械工学委員会合同
工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会

この報告は、日本学術会議総合工学委員会・機械工学委員会合同工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会の審議結果を取りまとめ公表するものである。

日本学術会議
総合工学委員会・機械工学委員会合同工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会

委員長	辻　佳子	（連携会員）	東京大学環境安全研究センター教授
副委員長	宮崎　恵子	（第三部会員）	一般財団法人日本舶用品検定協会調査研究部専任部長（国際担当）
幹　事	柴山　悦哉	（連携会員）	大学共同利用機関法人情報・システム研究機構理事
幹　事	西田　佳史	（連携会員）	東京科学大学工学院機械系教授
	越塚　誠一	（第三部会員）	東京大学大学院工学系研究科教授
	遠藤　薫	（連携会員）	学習院大学名誉教授
	大倉　典子	（連携会員）	環太平洋大学国際経済経営学部特任教授／芝浦工業大学名誉教授
	小野　恭子	（連携会員）	国立研究開発法人産業技術総合研究所研究戦略本部サーキュラーテクノロジー実装研究センター副研究センター長
	鎌田　実	（連携会員）	一般財団法人日本自動車研究所代表理事／研究所長／東京大学名誉教授
	蒲池みゆき	（連携会員）	工学院大学副学長／情報学部教授
	神里　達博	（連携会員）	千葉大学大学院国際学術研究院教授
	上條　正義	（連携会員）	信州大学繊維学部教授
	庄司　裕子	（連携会員）	中央大学理工学術院教授
	須田　義大	（連携会員）	東京工科大学片柳研究所長／教授／東京大学名誉教授
	丹下　健	（連携会員）	国立研究開発法人森林研究・整備機構理事長
	野口　和彦	（連携会員）	横浜国立大学 IMS 次世代工学システムの安全科学研究ユニット客員教授
	平尾　雅彦	（連携会員）	東京大学名誉教授
	藤井　健吉	（連携会員）	花王株式会社研究開発部門研究主幹／研究戦略・企画部部長
	松尾亜紀子	（連携会員）	慶應義塾大学理工学部教授
	水野　毅	（連携会員）	埼玉大学名誉教授
	宮崎久美子	（連携会員）	東京工業大学（現 東京科学大学）名誉教授
	持丸　正明	（連携会員）	国立研究開発法人産業技術総合研究所情報・人間工学領域フェロー
	岸田　伸幸	（連携会員(特任)）	開志創造大学大学院事業創造研究科教授
	澁谷　忠弘	（連携会員(特任)）	横浜国立大学総合学術高等研究院教授

本報告の作成に当たり、以下の方々に御協力いただいた。

遠藤　明	国立研究開発法人産業技術総合研究所執行役員材料・化学領域長
佐々木義純	住友化学株式会社スペシャルアドバイザー
進藤　秀夫	一般社団法人日本化学工業協会専務理事
富永　賢一	東洋エンジニアリング株式会社常務執行役員 CTO
中谷　隼	東京大学大学院工学系研究科准教授
新美雄太郎	三井住友信託銀行株式会社サステナブルビジネス部調査役
半田　繁	一般社団法人日本化学工業協会常務理事
藤井　宏行	一般社団法人日本化学工業協会技術部部長
藤井　実	国立研究開発法人国立環境研究所社会システム領域システムイノベーション研究室室長

本報告の作成に当たり、以下の職員が事務及び調査を担当した。

事務	新田　浩史	参事官（審議第二担当）
	渡邊英一郎	参事官（審議第二担当）（令和８年７月から）
	角田美知子	参事官（審議第二担当）付参事官補佐
	冨岡千香子	参事官（審議第二担当）付審議専門職付
調査	辻　政俊	上席学術調査員

要　　旨

１　作成の背景

気候変動の緩和は、全世界共通の喫緊の課題である。人類社会の持続的な発展と将来世代への責任を果たすため、国、企業、研究機関、地域社会、個人を含むあらゆる主体が温室効果ガス排出削減に向けた取組を進めることが求められている。しかしながら、温室効果ガス排出を実質的にゼロとするカーボンニュートラルの実現は、個別施策の積み重ねによって達成されるものではない。エネルギー供給、炭素資源供給、資源循環、産業構造、社会インフラ、地域社会、消費行動等を含む社会システム全体の変革を伴うものであり、多様な主体による長期的かつ継続的な意思決定が必要となる。速やかな施策実現のためには、施策実施の障害となるようなリスク事象が発生してから対策を検討する事後的なマネジメントではなく、立案時からの事前的なリスクマネジメントが必要であり、さらに施策の中止や遅延のみならず、施策相互の影響や社会全体への波及を見据え、立案段階から多様なステークホルダーがリスクを共有し、意思決定に反映することが求められている。

２　現状及び問題点

一方で、カーボンニュートラルのような産業システムや社会システムの変革には多様な課題が存在する。土地利用や生態系への影響、重要鉱物資源への依存、バイオマス利用における土地利用競合、リサイクル高度化に伴うエネルギー消費増加、回収炭素資源の品質変動、これらの仕組みを支える社会インフラや制度、地域社会における安心感の醸成等の技術的・環境的・社会的課題が挙げられる。

さらに、カーボンニュートラル施策が社会に定着するためには、技術的成立性だけではなく、経済的成立性、制度的成立性、社会的成立性、人的成立性を合わせた５つの側面の成立性が満たされる必要がある。すなわち、必要な技術が実現できることに加え、事業として継続可能な経済性を有すること、関連制度や規制と整合すること、社会や地域から安心感を持って受容されること、さらに施策を担う人材や組織能力が確保されることが求められる。これらの成立条件が満たされない場合、施策は期待した効果を発揮できず、導入の遅延や中断を招く可能性があり、ひいては気候変動緩和という目標を達成できない重大なリスクとなる。

現状では、個別の製品や製造システムの安全リスクや経済リスクをマネジメントする仕組みは存在するが、カーボンニュートラル施策に求められる包括的で俯瞰的なリスクを事前に把握する基盤は存在しない。

３　報告の内容

本報告の目的は、施策推進の障害を抽出することではなく、カーボンニュートラル施策の成立条件を体系的に確認し、多様な主体が共通認識の下で意思決定を行うためのリスク検討フレームを提示することにある。特に、施策の立案段階からリスクを共有し、事後的な対応ではなく、事前に対策を検討するフィードフォワード型の意思決定を支援する。

(1)　リスク検討フレームの要件

カーボンニュートラル施策推進を目指すリスク検討フレームには、前述の５つの側面の成立性を横断的に確認するとともに、施策の推進を阻害する可能性があるリスク、施策目標が達成できない場合のリスク、施策を推進し実現することに伴うリスクを体系的に特定できることが求められる。

(2)　リスク検討フレーム

カーボンニュートラル施策の立案・推進に関わるリスクを３つに分類した。これらの３つのリスク分類に対して、リスク検討フレームでは具体的にリスク項目を列挙し、リスク検討を支援する。

第１に、「施策の推進を阻害する可能性があるリスク」である。このリスクとその原因を把握することにより、施策実施に先立って阻害要因を緩和又は排除するための対策を検討することができる。

第２に、「施策目標が達成できない場合のリスク」である。１つの施策が実現できないことによる影響は、広く産業や社会に及ぶ。施策の目標の適切性や重要性を実施者のみならず影響を受けるステークホルダーが共有し、資源配分の意思決定や他の施策と比較しての優先順位の検討に資することができる。

第３に、「施策を推進し実現することに伴うリスク」である。カーボンニュートラル施策は気候変動緩和を目的とするが、その実現過程や実現後において、気候変動以外の新たな影響を生じる可能性がある。施策の持続可能性を確保するためには、このような副次的影響についてもあらかじめ検討する必要がある。

これら３つの類型を体系的に整理することにより、施策の成立条件、施策間の相互依存性及び社会全体への影響を俯瞰的に把握することを可能とする。

(3)　リスク検討フレームの活用

リスク検討フレームを活用したリスクマネジメントのために次のような手順を提案した。

①　リスクマネジメント体制の構築
②　リスクマネジメントの前提の明確化
③　検討すべきリスク項目とステークホルダーの特定

リスク検討フレームに加え、時間的な進展に伴う包括的リスク検討のために社会実装に向けた５つの側面に関わる５つの成熟度レベル（ＸＲＬ）の利用を提案した。リスクの原因となったり、影響を受けたりするステークホルダーの特定のために、ステークホルダー・マップの作成とリスク・ステークホルダー対応マトリクスの利用を提案した。

これらの提案に基づいて、実際に炭素自立シナリオやプラスチック循環を対象としたカーボンニュートラル施策を立案している実務者チームによる実践的検討を行った。従来は個別に議論されていた技術、資源、制度、社会受容性、人材等の課題を統合的に整理し、多様なステークホルダーとの関係の中で可視化できることが、今回対象とした化

学産業におけるプラスチック資源循環システムという１産業分野の１事例において確認された。今後は多様な分野の異なる施策での適用を行い、その結果を蓄積し、継続的にリスク検討フレームとその活用方法を改善する必要がある。本フレームは完成形ではなく、多様な主体による適用と実践を通じて、継続的に改善・発展させていくことが重要である。

施策の中止や遅延のみならず、施策相互の影響や社会全体への波及を見据え、立案段階から多様なステークホルダーがリスクを共有し、意思決定に反映することが求められている。本フレームは、特定されたリスクの評価や対応策検討・実施について具体的な手法を提示するものではないが、施策の成立条件とステークホルダー間の関係性を議論する共通言語となるものである。

本フレームが、国、自治体、企業、研究機関、金融機関、地域社会等、多様な主体の共通言語として活用され、カーボンニュートラル施策の円滑かつ効果的な推進に資することを期待する。

目　　次

１　はじめに 1
２　カーボンニュートラル施策推進におけるリスク検討フレームの意義 4
⑴ カーボンニュートラル施策立案及び推進の現状と問題点 4
⑵ カーボンニュートラル施策推進のためのリスク検討フレームの役割 5
⑶ リスク検討フレームの要件 6
３　リスク検討フレーム 7
⑴ 施策の推進を阻害する可能性があるリスク 7
① 社会的合意の課題 7
② 産業移行の課題 7
③ 需要側の選択の課題 8
④ 気候変動緩和効果に関する課題 8
⑵ 施策目標が達成できない場合のリスク 9
① 地球温暖化の進展に伴うリスク 9
② ＣＮ施策未達成に伴う社会・経済・政策上のリスク 9
⑶ 施策を推進し実現することに伴うリスク 10
① 産業への影響 10
② 資源・エネルギーに関するリスク 10
③ ハード・トゥ・アベイト産業への影響 11
④ 気候変動以外への影響 12
⑤ 生活への影響 12
⑥ 国・地域への影響 13
⑦ 国際的リスク 13
４　リスク検討フレームの活用 14
⑴ 本リスク検討フレームの活用方法 14
① リスクマネジメント体制の構築 15
② リスクマネジメントの前提の明確化 15
③ 検討すべきリスク項目の特定 15
④ ステークホルダーの特定 17
⑵ 実務者によるリスク検討事例 19
① 検討経緯 19
② フレームを利用したリスクの抽出 20
⑶ リスク評価と対策検討に向けた課題 23
５　報告のまとめ 25
＜参考文献＞ 27
＜参考資料１＞　審議経過 30
＜参考資料２＞　安全工学シンポジウム開催 32

１　はじめに

気候変動の緩和は、全世界共通の喫緊の課題である。気候変動に関する政府間パネル（ＩＰＣＣ）は、人間活動が主として温室効果ガス（ＧＨＧ）の排出を通じて地球温暖化を引き起こしてきたことには疑う余地がないとしており、世界平均気温上昇を産業革命前から1.5℃以内に抑えるためには、2050 年代初頭までにカーボンニュートラル（ＣＮ：ＧＨＧ排出量を正味ゼロとする状態）を達成する必要があることを示している[1][2]。人類社会の持続的な発展と将来世代への責任を果たすため、国、企業、研究機関、地域社会、個人を含むあらゆる主体がＧＨＧ排出削減に向けた取組を進めることが求められている。

近年、ＣＮに向けた取組は、単なる環境政策の枠組みを超え、エネルギー政策、産業政策、安全保障政策、資源循環政策等と密接に関係するようになっている。欧州連合（ＥＵ）による炭素国境調整措置（ＣＢＡＭ）の導入[3]、米国の一部の州における大規模な脱炭素産業支援政策、中国をはじめとする各国のエネルギー転換投資等、世界各国は脱炭素化と産業競争力の確保を同時に目指している。また、近年の地政学的緊張の高まりやエネルギー・資源価格の変動は、エネルギー安全保障や資源確保の重要性を改めて浮き彫りにしている。環境政策に関する学術研究の立場からも現状は岐路にあるとの認識について複数の論考が示されている[4]。脱炭素化はもはや環境保全のみを目的とする施策ではなく、社会・経済システム全体の持続可能性を左右する重要課題となっている。

日本においても、グリーントランスフォーメーション（ＧＸ）推進戦略[5]の下で、再生可能エネルギー導入、水素・アンモニア利用等の取組に加え、金属やプラスチックの資源循環、バイオマス利用、カーボンリサイクル技術の開発等が進められている。特に化学産業や素材産業においては、エネルギーの脱炭素化だけではなく、化石資源由来の炭素資源を持続可能な循環炭素資源へ転換することが求められている。社会はエネルギーだけでなく、プラスチック、化学品、建材等、多様な炭素含有製品によって支えられており、ＣＮ社会の実現には化学・素材産業に留まらず、炭素含有製品のサプライチェーン全体が連携し、炭素そのものを社会の中で循環利用しながら必要量を安定的に確保する仕組みが不可欠である。すなわち、再生可能エネルギーへの転換とともに、循環可能な炭素資源を基盤とする「炭素自立型社会」への移行が求められている[6]。

日本学術会議においても、循環経済を活かし自然再興と調和する炭素中立社会への移行に関する検討委員会から提言「気候危機に対処するための産官学民の総力の結集－循環経済を活かし自然再興と調和する炭素中立社会への転換－」が公表され、循環経済や自然再興との統合的推進の重要性が指摘されている[7]。

しかしながら、ＣＮの実現は、単一技術の導入や個別施策の積み重ねによって達成されるものではない。エネルギー供給、炭素資源供給、資源循環、産業構造、社会インフラ、地域社会、消費行動等を含む社会システム全体の変革を伴うものであり、多様な主体による長期的かつ継続的な意思決定が必要となる。本報告においては、このようなＣＮの実現

を目的とする国や自治体による行政施策、産業[1]における技術・製品・サービス[2]開発や新技術導入・業界内や異業種連携、大学や研究機関等による研究開発や人材育成、学会等学術団体によるルールや提言の策定、金融機関等による投資、地域社会の連携、ＮＰＯ等による提言・啓発等、すべての活動をカーボンニュートラル施策（以下、ＣＮ施策）と呼ぶ。

一方で、このようなＣＮ施策による社会システムの変革には多様な課題が存在する。例えば、再生可能エネルギー導入に伴う土地利用や生態系への影響、重要鉱物資源への依存、バイオマス利用における土地利用競合、リサイクル高度化に伴うエネルギー消費増加、回収炭素資源の品質変動、これらの仕組みを支える社会インフラや制度、地域社会における安心感の醸成[8]等の技術的・環境的・社会的課題が挙げられる。

さらに、ＣＮ施策が社会に定着するためには、技術的成立性だけではなく、経済的成立性、制度的成立性、社会的成立性、人的成立性を合わせた５つの側面の成立性が満たされる必要がある。すなわち、必要な技術が実現できることに加え、事業として継続可能な経済性を有すること、関連制度や規制と整合すること、社会や地域から受容されること、さらに施策を担う人材や組織能力が確保されることが求められる。これらの成立条件が満たされない場合、施策は期待した効果を発揮できず、導入の遅延や中断を招く可能性がある。

また、ＣＮ施策の多くは研究開発から社会実装、設備更新、廃棄に至るまで長いライフサイクルを有し、その影響は広範な地域や産業に及ぶ。さらに、エネルギーシステムと炭素循環システムは相互に密接に関連しており、１つの施策の選択が他の施策の成立性や有効性に影響を与える。そのため、問題発生後に対応する事後的なフィードバック型の取組だけでは十分ではなく、施策の企画・設計段階から成立条件とそれを阻害するリスク[3]を体系的に把握し、多様な主体が共有しながら事前に意思決定を行うフィードフォワード型のアプローチが求められる。

ＣＮ施策の成否は、政策立案者、事業者、研究者、金融機関、地域住民、消費者等の多様なステークホルダーの判断と協力によって決まる。各主体は異なる価値観や評価軸を有しているため、施策推進に当たっては個別分野の専門知識のみならず、多様な主体が共通の視点で課題、不確実性及び機会を議論できる枠組みが必要である。

総合工学委員会・機械工学委員会合同工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会では、2020 年に「工学システムの社会安全目標の新体系」についての提言[9]、2023 年に「工学システムに対する「安心感」の醸成」についての見解[8]を発出している。しかし、ＣＮ施策は工学システムに限定されず、また事故や災害以外の多様なリスクが想定されるため、第 25 期より、ＣＮ社会への移行に関わる多様な主体の意思決定を支援することを目的として、施策推進に伴うリスクを体系的に検討するためのフレームについて議論を進めてきた。また、公益社団法人化学工学会地域連携カーボンニュートラル推進委員会（Ｃ

[1] 産業とは、エネルギー産業や製造業にとどまらず、すべての産業セクターを含む
[2] 製品・サービスとは、工業製品にとどまらず、農林水産業の産出物、運輸業による輸送、サービス業による無形の価値提供などを広く含む
[3] リスクには様々な定義があるが、本報告においてはＣＮ施策に関する好ましくない影響やその発生の可能性を広くリスクと呼ぶ

Ｎ推進委員会）との連携の下[10]、炭素自立シナリオやプラスチック循環を対象とした実践的検討を通じて、その有効性を検証してきた。

本報告で提示するリスク検討フレームは、単にリスクを抽出するためのツールではない。ＣＮ施策の可否を規定する５つの側面の成立性を体系的に確認し、多様な主体が共通認識の下で意思決定を行うための基盤を提供することを目的とする。

２　カーボンニュートラル施策推進におけるリスク検討フレームの意義

(1)　カーボンニュートラル施策立案及び推進の現状と問題点

ＣＮ施策は、エネルギー供給、資源循環、産業構造、地域社会及び消費行動を含む社会システム全体の変革を伴う。このため、施策の評価や意思決定においては、個別技術や個別事業の成立性だけではなく、施策全体の成立条件を俯瞰的かつ体系的に検討することが重要となる。本報告では、技術、経済、制度、社会及び人材に関わる５つの側面の成立性の観点から、施策推進に伴うリスクを整理するためのフレームを提案する。

国のＣＮ施策としては、2050 年炭素中立を目指すことを 2020 年に宣言し、2025 年２月には 2040 年度の排出量を 2013 年度から 73%削減という目標（ＮＤＣ：国が決定する貢献）を国連に提出した[11]。この目標に向けて地球温暖化対策計画が策定され、エネルギー転換、産業・業務・運輸等の省エネや脱炭素化、地域・くらしの脱炭素化、横断的取組としてのカーボンプライシングや循環経済への移行、吸収源確保、世界への貢献等の施策が示されている。

産業界においても、2025 年３月に日本経済団体連合会がカーボンニュートラル行動計画を公表し、その中で 2050 年ＣＮ実現に向けたビジョン及び 2023 年度までの実績に基づくフォローアップを示している[12]。この計画には、産業界毎の行動計画も示されている。

個々の企業においても、ＧＨＧプロトコル [4][13][14]に基づいて企業のバリューチェーン全体のＧＨＧ排出量を算定・開示し、その削減のための事業計画や技術開発を進めている。

学会や大学、研究機関、民間団体においても多くのＣＮシナリオの提言がなされている[6][15][16][17][18][19]。

しかしながら、ＣＮ施策では、技術成熟度（ＴＲＬ：Technology Readiness Level）が低い技術の開発と利用、国外の資源や製品が必須となる技術利用、社会実装の事例がない施策、経済性や社会受容性が未知の施策、気候変動緩和効果の定量的な算定が不十分な施策等、施策自体の実現の遅れや失敗可能性がある。加えて、立案される施策は、政策領域、産業領域、事業領域毎の個別の施策であることが多く、施策間の依存や排他等の相互作用、人材や資金、土地、資源等のリソースの不足や競合等についての俯瞰的な検討が不足しているものも少なくない。例えば、ＣＮ実現における重要な施策の１つである再生可能エネルギーの主力電源化は、コスト上昇等の経済性や環境影響を含めた立地、デジタルトランスフォーメーション（ＤＸ）施策やＡＩ向けデータセンター拡大による需要増加、発電・送電・受電の不整合、海外製品依存、計画から設置、保守、廃

[4] ＧＨＧプロトコルは、世界資源研究所（ＷＲＩ）、持続可能な開発のための経済人会議（ＷＢＣＳＤ）が設立したＧＨＧプロトコルイニシアチブが策定した事業者のサプライチェーン全体からのＧＨＧ排出量を算定するための国際基準である。事業者が直接排出したＧＨＧを「スコープ 1」、他事業者から供給されたエネルギー使用により排出したＧＨＧを「スコープ 2」、その他の事業活動にかかわるサプライチェーン全体からのＧＨＧ排出を「スコープ 3」の 3 つのスコープに区分されている。

棄までのマネジメント人材の不足等、実現には多くの不確実性がある。そして、再生可能エネルギー主力電源化施策の推進と成否は、すべての産業分野のＣＮ施策やＤＸ施策等に影響を与える。

このように、ＣＮ施策の成否は、５つの側面の成立性によって規定される。ＣＮ施策推進の障壁となるリスクは、これら５つの成立条件のすべてを充足する過程に存在しうる。また、あるＣＮ施策の推進とその成否は、ＣＮを目的としない施策を含めた他の施策推進のリスクとなりうる。しかし現状では、これらの成立条件を体系的かつ俯瞰的に検討するための共通的な枠組みが十分に整備されているとは言い難い。その結果、個別主体の視野に基づく限定的なリスク検討に留まったり、問題発生後に対応する事後的な取組に依存したりする場合も少なくない。

(2)　カーボンニュートラル施策推進のためのリスク検討フレームの役割

前述のようにＣＮ施策推進には多様な形態のリスクが想定されるため、施策の速やかな実現のためには、施策の実施主体が立案時や実施時にできる限り早くリスクを俯瞰的に把握し、推進の障壁となる前に排除・緩和することが求められる。

一般的な製品安全や製造現場での安全対策では、リスクを考慮すべきシステム範囲が限定的であり、これまでの知見に基づいて実施者や設計者自らがリスク事象を把握し、リスクの発生確率や発生時の被害程度を定量し、対策を取ることが可能な事象も多い。それでもリチウムイオン電池使用製品廃棄処理時の発火問題のように、社会実装からの時間が短く、普及が急速な技術では技術導入による大きな便益と製品ライフサイクルにわたるリスクとのトレードオフの検討が不十分な事例も少なくない[20][21]。さらにＣＮ施策では、対象とするシステムが広範かつ複雑であり、多数の主体が関与するため、単一の主体のみで網羅的なリスク分析を行うことは困難である。

リスク管理における国際的な標準化指針である ISO31000[22]では、あらゆる種類のリスクのマネジメントを行うための共通の取組方法が示されている。この中で、リスク分析には、不確かさ、リスク源、結果、起こりやすさ、事象、シナリオ、管理策及び管理策の有効性の詳細な検討が含まれることが定義されており、また、１つの事象が複数の原因及び結果を持ち、複数の目的に影響を与えることがあることも記載されている。この考え方をＣＮ施策に適用すると、施策を適切に立案・実施するためには、その影響をリスクという観点から体系的に検討する必要がある。

ＣＮ施策では、考慮すべきシステム範囲が格段に広く、適切な立案と速やかな実施・実現のためにはリスク分析と対策が不可欠である一方で、施策の実施主体だけでは網羅的な分析や対策ができない。本報告で提示するリスク検討フレームは、施策の実施主体が個別施策に内在するリスクを抽出するためだけのものではない。５つの側面の成立性という観点から施策の成立条件を体系的に確認し、多様なステークホルダーが共通認識の下で議論を行うための共通基盤として機能することを目的とする。

(3)　リスク検討フレームの要件

このような役割を果たすために、リスク検討フレームは多様な施策に内在するリスクや外部の施策や状況から引き起こされるリスクを広範に、かつ体系的に提示する必要がある。そして、リスクマネジメントを行う施策主体が俯瞰的に施策に関連するリスク項目を抽出できる構成であることが必要である。そのために、ＣＮ施策推進に関するリスクを以下の３つの観点から整理する。

第１に、「施策の推進を阻害する可能性があるリスク」である。これは技術、経済、制度、社会、人材の５つの側面の成立条件が満たされないことにより、ＣＮ施策推進の継続が困難となるリスクである。このリスクとその原因を把握することにより、施策実施に先立って阻害要因を緩和又は排除するための対策を検討することができる。

第２に、「施策目標が達成できない場合のリスク」である。検討対象のＣＮ施策が目標を達成できないことによる影響は、当該ＣＮ施策実施者のみならず広く産業や社会に及ぶことがある。当該ＣＮ施策が実現されることを想定して実施される他の施策の実施にも影響を及ぼすリスクがある。その帰結として、社会全体で気候変動の緩和ができないことによって引き起こされる地球環境や人間社会、生態系等に影響を及ぼすリスクまで想定される。このようなリスクを特定することは、施策の目標の適切性や重要性を実施者のみならず影響を受ける他の施策実施者を含むステークホルダーが共有し、資源配分の意思決定や他の施策と比較しての優先順位の検討に資することができる。

なお、施策を実施しないことによって、技術イノベーションの機会を失う、新たな市場創出の機会を失う、国際競争力を失う等の産業機会や経済機会を逸失するリスクが存在するが、ＣＮ施策としてではなく、産業施策としての議論であるため対象外とした。

第３に、「施策を推進し実現することに伴うリスク」である。ＣＮ施策はＧＨＧ排出量をネットゼロとし、その結果として気候変動緩和を目的とするが、その実現過程や実現後において、気候変動に対する好ましい影響とは独立した、土地利用、生物多様性、資源利用、地域社会、産業活動、消費生活等に対する新たな影響を生じる可能性がある。施策の持続可能性を確保するためには、このような副次的影響についてもあらかじめ検討する必要がある。

したがって、ＣＮ施策推進を目指すリスク検討フレームには、５つの側面の成立性を横断的に確認するとともに、施策の推進阻害原因となるリスク、目標が達成できない場合のリスク、施策を推進し実現することに伴うリスクを体系的に分析できることが求められる。

なお、リスク検討フレーム及びその活用方法は、ＣＮ施策の実施内容や主体によって変わりうるものである。今後の多様な主体の検討によって、フレームの改善や活用事例の集積が必要である。

３　リスク検討フレーム

ＣＮ施策は、技術開発、社会実装、制度整備、社会受容、及び人材育成の各段階において多様な不確実性を伴う。第２章で述べたように施策の成立条件を体系的に確認する観点から、リスク検討フレームは、リスクを３つの類型「施策の推進を阻害する可能性があるリスク」、「施策目標が達成できない場合のリスク」及び「施策を推進し実現することに伴うリスク」に整理する。

以下では、これら３つの類型に沿ってリスクを整理する。第１の類型については主として施策の成立条件の観点から、第２、第３の類型については主として影響を受ける対象の観点から整理する。なお、個々のリスク事象は複数の成立条件や主体に関連する場合があるため、多様な主体によるリスクの網羅的把握を目的として整理を行った。

(1)　施策の推進を阻害する可能性があるリスク

①　社会的合意の課題

ア　気候変動に関する認識不足

気候変動に関する科学的知見の認識不足により、ＣＮ施策の重要性、優先性、研究開発や投資、社会や産業転換の判断ができない。

イ　各主体の立場や利害の相違

経済的発展段階や想定される気候変動の影響、ＣＮ施策による利害や優先順位の相違がある主体間では施策実施に合意・協調できない。

ここで主体には、個人、企業、産業分野、行政組織、地域、国家、社会全体等が包括的に含まれる。

②　産業移行の課題

ア　企業の施策や検討の不備

施策立案時の検討不足、投資不足により、施策遂行ができない。下記のような課題により事業者の施策遂行が中断する。

イ　施策実装コストの増大

施策実装に伴う技術、企業経営、産業構造、社会生活の転換コストの増大によって、実装が進まない。

ウ　社会技術として対応すべきリスクの残存

実施者が施策実装や関連するサービス・事業転換を目指しても、人材や資源等のリソース不足や社会制度未転換、ユーザーの新規サービス・製品の不受容、既存サービス・製品の継続ニーズ等、社会技術として対応すべきリスクが残存する。

エ　システムライフサイクルの課題

施策を実現するシステムの技術開発、システム設計、システム構築、システム運用、システム管理、システム廃止までのライフサイクル（以下、システムライフサイクル）が適切に進まない。ここでは例えば以下のような課題がある。

・技術開発において目標とする機能が達成できない。

・システム設計において要求される要素技術が存在しない。
・システム構築において要求される要素装置が存在しない。
・システム運用において安定性や安全性、信頼性が確保できない。
・システム管理において不具合の検出ができない、保守ができない。
・システム廃棄の方法が確立していない。
・システムライフサイクルの遂行を可能とする人材が不足する。
・システムを構築・運用する事業者が存立できない。

オ　製品ライフサイクルの課題

ＣＮ施策を実現する製品やサービスに必要な資源やエネルギーの入手から素材・製品生産やサービスの提供、使用、廃棄までのライフサイクル（以下、製品ライフサイクル）が適切に運用されない。ここでは例えば以下のような課題がある。

・必要な資源・素材・エネルギーが調達できない。
・素材・製品生産やサービス提供において有害物質や危険な廃棄物が発生する。
・製品やサービスの使用において安定性や安全性が確保できない。
・製品の廃棄・リサイクル方法が確立していない。
・製品やサービスが使用者に受容されない。
・ライフサイクル内の物流において安全に保管・輸送できない。
・製品ライフサイクル全体でのＧＨＧ排出量が既存技術より削減できない。
・ライフサイクルコストが既存技術に対して著しく上昇する。

③　需要側の選択の課題

ア　既存製品・サービス利用の継続・ＣＮ施策による新製品・サービスの不選択

経済性や使い勝手、情報不足、消費者の非合理的行動等の理由により、新技術による製品・サービスが選択されない。

イ　選択の意義の認識不足や無力感

製品・サービスの地球環境への影響を認識できない、あるいは個人が地球環境を意識して行動を変化させても効果が小さいという無力感から、新技術による製品・サービスが選択されない。

④　気候変動緩和効果に関する課題

ア　気候変動緩和に必要なＣＮ施策の実現時期と内容の検討が不十分

・各分野の実施マイルストーンの設定が不十分である。
・ＣＮ施策の気候変動緩和効果の検討が間違っている。
・製品・サービスのライフサイクルとしての検討が不十分である。

イ　気候変動緩和に対して、ＣＮ施策の寄与の検討が不十分

・立案したＣＮ施策自体は成功したが、その施策の実施だけでは、気候変動が食い止められない可能性がある。
・個別の施策実施を見ているため、俯瞰的な全体最適が実現できない可能性がある。

(2)　施策目標が達成できない場合のリスク

①　地球温暖化の進展に伴うリスク

ＣＮ施策が実現できない、あるいは実現できた場合でもそのＧＨＧ排出量削減効果が期待通りではなく、地球温暖化が進行し、その帰結としての気候変動が人間社会や生態系の大きなリスクであることは科学的に明らかである[1][2]。ここではこのリスクについての具体的列挙は割愛するが、リスク検討においては以下の指摘に留意する必要がある。

ア　非気候要因によるリスク

人為起源の非気候要因（例えば、天然資源の持続不可能な利用、生息地の分断、及び汚染物質による生態系の損害等の環境・生態系への負荷、人口増加、都市化、経済的格差等の社会経済的要因）が現在の生態系の気候変動に対する脆弱性を悪化させている。

イ　リスクの偏在

人間の脆弱性は、地域や自治体の行政及び国の政府、コミュニティ、民間部門によるインフラや基本的サービスの提供能力が最も低いところに、将来的にも集中し続ける。

ウ　国境を越えたリスク

極端な気象と気候は、サプライチェーン、市場、及び天然資源の流れを通じ、国境を越えて経済的・社会的影響を引き起こしており、水、エネルギー及び食品の部門をまたいで国境を越えたリスクが増大すると予測される。

②　ＣＮ施策未達成に伴う社会・経済・政策上のリスク

ＣＮ施策が実現できない場合には、地球温暖化の進展そのものによる影響に加え、国際的な協調体制、政策運営、産業活動及び社会生活にも様々な影響を及ぼす可能性がある。これらは気候変動の直接的な影響とは異なるが、ＣＮ施策の成否に伴って生じる重要な社会的リスクである。

ア　国際協調枠組みの混乱

ＣＮ施策が目標どおり実現できなかった状況で、ＣＮ施策進展や国力の差異等によって国際協調が混乱する可能性がある。

イ　政策枠組みの混乱

ＣＮ施策が目標どおり実現できなかった状況で、次の環境政策や経済政策、エネルギー政策、技術政策が混乱する可能性がある。

ウ　産業構造の混乱

ＣＮ施策が目標どおり実現できなかった状況で、事業環境の変化に伴う継続可能性が低下する可能性がある。

エ　社会生活の混乱

ＣＮ施策が目標どおり実現できなかった状況で、生活スタイル変化や生活コストの上昇、生活の快適性や満足感の低下等の影響がある。

(3) 施策を推進し実現することに伴うリスク

① 産業への影響

ア 事業者・事業分野間格差の拡大

ＣＮ施策に対応し展開できる事業者・事業分野とできない事業者・事業分野間で格差が拡大する可能性がある。

イ 必要とされる人材の変化

既存人材で、ＣＮ施策に関わる事業を運営したり、技術を開発することが困難になったり、ＣＮ施策で求められる人材が獲得できなかったり、移行期における既存技術を使用した製品・サービスやそれを支えるシステムの運営・保守に関わる人材が不足する可能性がある。

ウ 資金・投資の流れの変化

新たな産業・技術システムの参画により、投資の流れが急激に大きく変化し、ＣＮ施策に対応する事業の資金が不足したり、過度に集中する可能性がある。事業形態や製品・サービスが変化するために、既存事業投資の回収を行えない可能性がある。

エ 地域格差の発生

ＣＮ施策に関わる知的財産を押さえ新たな産業を育成できた地域・国、ＣＮ施策の遂行に求められる地理的条件を満たす地域・国と、そうでない地域・国と格差が発生する可能性がある。

② 資源・エネルギーに関するリスク

ア 供給の不足や不安定

・資源・水素等の新たなエネルギーキャリア・再生可能エネルギーの生産・輸送設備が不足したり、生産地の偏在や気候条件により不安定な供給になったりする可能性がある。
・新技術を用いたシステムに様々な問題が発生し、必要な量を安定的に供給できない可能性がある。
・供給される資源・エネルギーの質が安定しない可能性がある。

イ コストの変化

産業コストは、増加する可能性も減少する可能性もあるが、ここでは、リスクを好ましくない影響と捉えているので、増大の視点でまとめている。

・新システムに必要な原材料の確保が難しくなり、コストが増大する可能性がある。
・新システムが予定通りの稼働ができずに、コストが増大する可能性がある。
・新システムに付帯する送電・蓄電・輸送・貯蔵システムの設置、バックアップ設備の確保によるコストが増大する可能性がある。

・事業の小規模化によってスケールメリットが失われ、ネットワークメンテナンスや効率化に支障を来す可能性がある。
・重要技術の特許を他国・他企業に取得され、その知的財産使用に費用が発生する可能性がある。

ウ　技術への影響

・持続可能な炭素資源・水素等の新たなエネルギーキャリア・再生可能エネルギー等の生産・供給の安定化システムの技術開発、安全性、設置場所、コスト等に課題が発生する可能性がある。
・新技術のシステムの安全性の問題が発生する可能性がある。
・新システムの運用に専門的技術や熟練が必要となり、そのシステムの設置や運用に課題が発生したり、継続できなかったりする可能性がある。

エ　既存技術の衰退

・新システムへの移行期に火力発電や石油化学等の既存技術及びその運転・保守技術が衰退する可能性がある。

オ　資金不足・事業継続の問題

・投資が不足したり、事業が安定化しなかったり同業者との競争に勝てないことで、事業が継続できなくなる可能性がある。

カ　システムライフサイクル・製品ライフサイクルの視点でのリスク

・第３章(1)②で記したシステムライフサイクル及び製品ライフサイクルに関する課題は、ＣＮ施策が実現した状況下でのシステム維持においても課題として発生することがある。

③　ハード・トゥ・アベイト産業[5]への影響

ア　業況の悪化

・石炭・石油・天然ガス等化石資源の生産・供給が縮小することによる価格高騰の可能性がある。
・炭素や化石資源を使用した製品やサービスの需要が減少する可能性がある。
・製品販売・サービスが不振に陥ったり、人材が集められなくなったりする可能性がある。
・安全投資が減少し安全性に問題が発生する可能性がある。
・上流や下流の関連産業、ＣＮ施策への転換に成功した産業にも影響が生じる可能性がある。

イ　新たな製造プロセスの課題

---

[5] ハード・トゥ・アベイト産業とは、石炭や石油など炭素を多く含む化石資源を原燃料として使用し、電化が困難で、既存技術ではGHG排出削減が困難な産業を指す。例えば、鉄鋼、化学、セメント、紙・パルプ、航空、海運などの産業が該当する。

・ＧＨＧを排出しない、あるいは大幅に削減できる新たな生産技術の開発、原材料転換、あるいは設備投資や新たな原材料調達、安全性、労働生産性、品質、コスト等の問題が発生する可能性がある。
・炭素循環システムの構築や運用に必要な技術や資金が不足したり、関係者との協調ができなかったり、コストの高騰によって循環システムが成立しなくなる可能性がある。

ウ　他施策への影響

・ハード・トゥ・アベイト産業への影響が、他産業や経済全体に影響を及ぼす場合がある。

④　気候変動以外への影響

ア　自然環境への影響

自然環境や、生態系、景観等に好ましくない影響を与える可能性がある。

イ　地域資源への影響

土地利用や水資源等の地域資源の枯渇・競合の問題を起こす可能性がある。

ウ　社会・生活への影響

生活環境が変化して、生活や社会活動に好ましくない影響を与える可能性がある。

エ　文化への影響

製品・サービスの変化や選択肢の減少等により、文化に好ましくない影響を与える可能性がある。

オ　新たな環境・健康・安全への影響

新たな製品・サービスの廃棄段階を含むライフサイクル全体や含有物質によって環境・健康・安全に好ましくない影響を与える可能性がある。

⑤　生活への影響

ア　選択肢の変化

新たな製品・サービスの展開と既存製品・サービスの廃止によって生活スタイルの選択肢に影響をもたらす可能性がある。

イ　生活費の変化

新たな製品サービスの展開と既存製品サービスの廃止によって生活費に影響をもたらす可能性がある。新製品サービスへの切り替えのコストや手間がかかる可能性もある。

ウ　生活の快適性・満足感の変化

新たな製品サービスの展開と既存製品サービスの廃止によって生活の快適性や満足感に影響をもたらす可能性がある。

エ　ＣＮへ貢献している実感の変化

ＣＮ施策の成功に対する充実感の反面、快適性や満足感が得られず、ＣＮ施策受容性や参加に変化が起きる可能性がある。

⑥　国・地域への影響

ア　経済・産業への影響

ＣＮ施策の進捗により、国・地域の制度・経済・産業・生活に影響をもたらす可能性がある。

イ　影響の差異の発生

地理的、経済的状況等の差異により ＣＮ施策の効果に差異が出る可能性がある。

ウ　国間、地域間格差の拡大

地理的、経済的状況等の差異により、経済格差や産業競争力格差が拡大する可能性がある。

⑦　国際的リスク

ア　特定の国への依存

ＣＮ施策の進展状況で、資源確保や知的財産等で、特定の国への依存が強まる可能性がある。

イ　国際競争の激化

ＣＮ施策の主導権争いや資源や市場確保に関して競争が激化する可能性がある。

4　リスク検討フレームの活用

(1)　本リスク検討フレームの活用方法

第３章で示したリスク検討フレームは、ＣＮ施策に伴う多様なリスクを体系的に把握するためのものである。しかし、リスク項目を列挙するだけでは施策の実効性向上には十分ではない。重要なことは、抽出されたリスクを関係するステークホルダーと結び付け、リスク分析結果を施策マネジメントによる迅速で継続的な意思決定及び施策改善の支援に活用することである。

本リスク検討フレーム活用の全体像を**図１**に示す。まず、①にて説明する施策マネジメント体制の中にリスクマネジメント体制を構築し、施策マネジメントとリスクマネジメントが協働して継続的に意思決定に反映できる体制とする。その上で、②にて説明するようにリスクマネジメントの前提条件を明確化する。第３章に示したリスク検討フレーム構造を参照しながら、③にて説明する施策の時間的進捗を示すXRLロードマップによって、第３章(1)に述べた推進阻害となるリスクを特定し、④にて説明するステークホルダーとその関係性を示すステークホルダー・マップを用いて原因となるステークホルダーを特定する。同様にステークホルダー・マップやシステムライフサイクル情報、他の施策情報から第３章(2)に述べた施策の遅延や中止による影響、あるいは第３章(3)に述べた施策の推進や実現による影響と、その影響を受けるステークホルダーを特定する。その結果を④にて説明するリスク・ステークホルダー対応マトリクスとして整理し、リスク評価及び対応策検討・実施へ展開する。

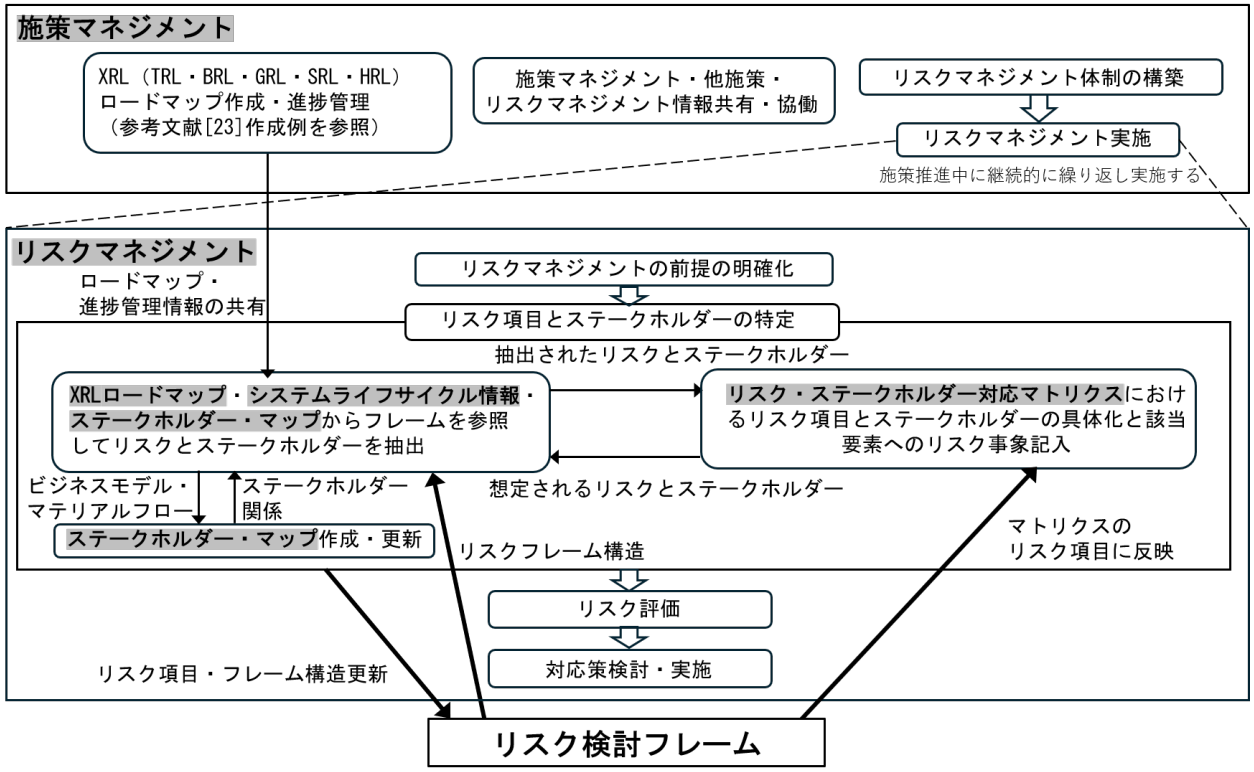


図１　リスク検討フレームを活用したＣＮ施策のリスクマネジメントの全体像

（リスク評価及び対応策検討・実施は施策によって進め方が異なるため、本報告では具体的な手法として提示していない）

以下に、リスクマネジメント実施の要点を整理する。

①　リスクマネジメント体制の構築

個々の施策のリスクマネジメントを実施するためには、施策を熟知し、リスクの原因と影響を受ける事象、さらにリスクの評価及び対策を検討できる専門知識をもったチームを構成し、意思決定者とリスクに関わる情報を共有できるリスクマネジメントを実施する必要がある。

検討すべきリスクの中には、国際情勢や政策変更、自然災害により発生するリスクのように、個別のマネジメント主体では、その発生を防ぐことが難しいリスクも含まれる。また、対象となるＣＮ施策が実現できても、気候変動やその他の環境問題が解決できない可能性もある。これらのリスクの存在は認識し、対策を検討しておく必要があるので、リスクマネジメント体制においてもそのような知識が得られることが望ましい。

リスクマネジメント実施の間においても、必要に応じて、リスクの原因となる、あるいは影響を受けるステークホルダーが参加するサブチームの設置によるリスク項目の共有やリスク回避の検討、リスクマネジメントや施策に関わる専門家の参画によるマネジメントのレビュー、国際関係や環境学等の体制外の専門家への調査を行うことも必要である。

②　リスクマネジメントの前提の明確化

リスク検討を始めるにあたって、迅速かつ的確な意思決定に反映するために以下の事項を議論し、明確にしておく必要がある。

- マネジメントの対象となる施策の目標
- 達成時期や実施期間
- システムライフサイクルの範囲
- リスク検討の結果を意思決定に活用する主体（例えば、行政における首長、企業における経営者、技術開発プロジェクトリーダー等）
- リスクマネジメントにおける情報管理

以下の③④は、その後に続くリスク評価、対応策の検討・実施と並行して継続的に実施し、施策やリスク対策の進捗に応じて繰り返す必要がある。

③　検討すべきリスク項目の特定

構築したリスクマネジメント体制において、リスク検討フレームを参考にして、対象とする施策において検討すべきリスク項目とそれに関わるステークホルダーを特定する。本節では、リスク項目の特定について議論するが、次節④ステークホルダーの特定と並行して実施することが望ましい。

リスク項目としては、第３章のフレームの分類に応じて、以下のように検討を行う。

１）「施策の推進を阻害する可能性があるリスク」第３章(1)

立案から実施のすべてのフェーズを通して、施策遂行上の障害となるリスク項目を特定する。同時に、特定されたリスク項目に関わるステークホルダーを明確にする。

２）「施策目標が達成できない場合のリスク」第３章(2)

立案フェーズでは、施策の目標達成の必要性と実施者、産業、社会への役割を明確にする。実施フェーズでは、施策達成の遅延、計画変更、中止の判断が必要な場合に、影響を受けるステークホルダーとリスク項目を特定する。

３）「施策を推進し実現することに伴うリスク」第３章(3)

立案から実施までの移行期間及び実施後を含むすべてのフェーズを通して、施策の推進中や目標を達成した後に影響を受けるステークホルダーとリスク項目を特定する。

ＣＮ施策では、再生可能エネルギー・水素・アンモニア・（原料としての）二酸化炭素・バイオマス・（再利用可能な資源としての）廃棄物等、他の施策がその供給可能性を前提に進めている素材やエネルギー、社会インフラが少なくない。また、異なる施策が同じ資源・エネルギーを調達する場合に制約や競合が発生しうる。

リスク項目の特定には、第３章に示したフレームを参照しつつ、第２章で議論したように５つの側面の成立性という視点が必要である。そのために、X Readiness Level（ＸＲＬ）の考え方を援用し、施策の時間的進捗におけるリスクを検討することが有効である。ＸＲＬは、内閣府第３期戦略的イノベーション創造プログラム（ＳＩＰ）で取り入れられた成熟度レベルの考え方であり、**表１**に示すように、施策の成立性に関わる５つの側面のそれぞれに対応する成熟度として、従来から技術開発水準の評価指標として用いられていた技術成熟度 Technology Readiness Level（ＴＲＬ）に加え、ビジネス成熟度（ＢＲＬ）、ガバナンス成熟度（ＧＲＬ）、社会成熟度（ＳＲＬ）、人材成熟度（ＨＲＬ）を評価指標としている[23]。ＴＲＬ以外の成熟度レベルを評価指標に加える考え方は、米国エネルギー省が提案する Adoption Readiness Level（ＡＲＬ：採用成熟度）[6][24]等多くの提案があり、社会技術への適用の検討も行われている[25]。本報告では、成立性の５つの側面に対応させて施策の時間的進捗を検討できる点からＸＲＬを採用した。

図１の全体像においては、施策成立条件やその時間的推進計画は施策マネジメントの中で議論し、ＸＲＬロードマップ（参考文献[23]に例が示されている）として作成され、また進捗管理されていると想定している。リスクマネジメントにおいては、このＸＲＬロードマップと進捗管理情報を共有する。

---

[6] ＡＲＬは、価値提案、市場受容性、リソース成熟性、事業許諾の４つの側面で評価を行う。ＸＲＬと同様な項目を含むが、投資、インフラ、人材がリソースに含まれるなどＸＲＬとは分類が異なる。

表１　社会実装に向けた５つの成熟度レベル

（ＳＩＰ資料[23]を参考に再構成した）

技術成熟度レベル：ＴＲＬ Technology Readiness Level	技術が社会の技術要求水準に達するまでの段階
ビジネス成熟度レベル：ＢＲＬ Business Readiness Level	事業が安定して成立するまでの段階
ガバナンス成熟度レベル：ＧＲＬ Governance Readiness Level	制度や規制が完備するまでの段階
社会成熟度レベル：ＳＲＬ Social Readiness Level	社会受容性が高まり、一定の普及水準に達する段階
人材成熟度レベル：ＨＲＬ Human Resources Readiness Level	社会実装に必要な人的資源の育成と活用の段階

ＣＮ施策では、ＴＲＬの向上は不可欠である。しかし、ＴＲＬの進捗が順調であっても経済環境、政策動向、社会インフラとしてのシステム安全、地域や市民、ＮＰＯの協力や社会受容性、そして施策実施に必要な人材の確保等、一要因からシステムライフサイクル全体への波及が大きなシステミック・リスクとなることが想定される。さらに、異なる施策間のＸＲＬ進捗の時間的不整合に起因するリスクも想定される。このため､ＸＲＬの各成熟度の進捗を施策遂行の評価指標として捉えるだけではなく、施策の時間的進捗におけるリスクを抽出するツールと捉えた包括的なリスク検討が求められる。個別の施策のＸＲＬ進捗の想定から前記１)「施策の推進を阻害する可能性があるリスク」の特定ができる。加えて、異なる施策のＸＲＬ進捗の検討と総合し、相互の時間軸を含む依存関係を検討することによって、2)「施策目標が達成できない場合のリスク」、３)「施策を推進し実現することに伴うリスク」についても特定ができる。

④　ステークホルダーの特定

ステークホルダーの特定と異なるステークホルダー間の関係の理解、特定されたリスクとステークホルダーの関係の検討にはステークホルダー・マップやリスク・ステークホルダー対応マトリクスを作成し、可視化することが有効である。いずれも標準的なプロジェクトマネジメント手法として広く活用されている可視化手法を参考にしている[26]。

ステークホルダー・マップは、対象とする施策に関係するステークホルダーを列挙し、ステークホルダー間の物質やサービス、金銭、人材の流れ、政策等の関係を図示したものである。ビジネスモデルの分析や改善でもしばしば活用される。また、社会

学の分野において社会と人間の関係の分析手法として提案されているアクターネットワーク理論[27]と類似する手法である。

ＣＮ施策として二酸化炭素回収・利用の実施（ＣＣＵ：Carbon dioxide Capture and Utilization）を例としたステークホルダー・マップの作成例を**図２**に示す。施策が実現できない原因となるステークホルダーとリスク（例えば、水素製造事業者の社会実装が遅れ調達ができない、金融機関が融資を行わない）、施策が実現できない結果として影響を受けるステークホルダーとリスク（例えば、CO_2排出事業者が想定したCO_2の受け入れ先がなくなる）、実現する結果として影響を受けるステークホルダーとリスク等が検討できる。

ステークホルダー・マップは、リスク検討において更新されるものである。特にリスク分類の２）や３）の検討においては、施策の遅延・中止・推進によって影響を受けるステークホルダー範囲が広がることが想定される。例えば、図２における「従来製品製造事業者」は、施策推進の障壁としてＣＣＵ実施事業者のリスク原因となり、施策推進・実現の結果として自身が事業縮小影響を受けるリスクがある。このような関係を共有することで、従来製品製造事業者が新規事業立案に活用する等、すべてのステークホルダーによるリスク対応策の検討を可能にする。

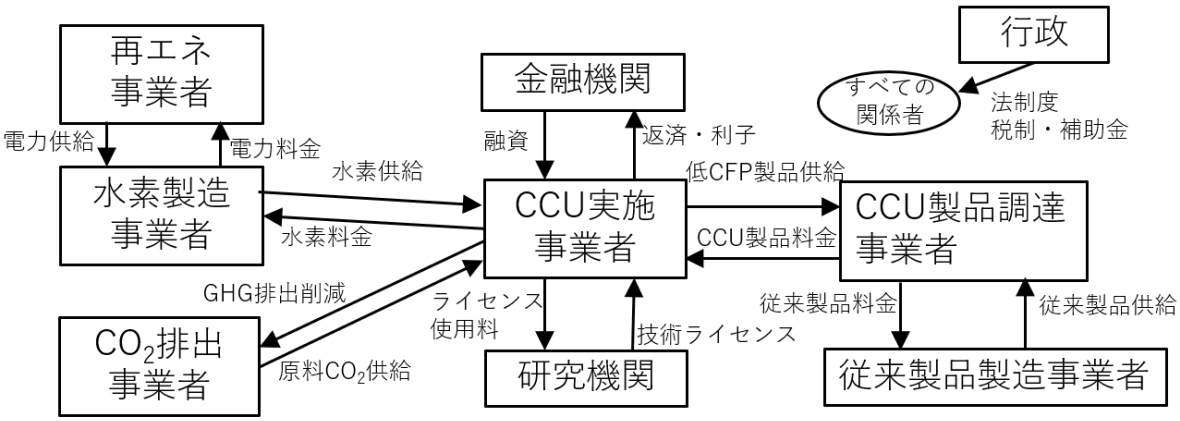


図２　二酸化炭素回収・利用（ＣＣＵ）のステークホルダー・マップ例

（マップの概念を示すための例示である）

リスク・ステークホルダー対応マトリクスの活用によってリスクの原因となる、あるいは影響を受けるステークホルダーを検討できる。

第３章(1)の「施策の推進を阻害する可能性があるリスク」についてのリスク・ステークホルダー対応マトリクスの構造例(部分)を**表２**に示す。マトリクスの行は第３章で示したフレームのリスク項目を示し、列には、例のように一般的な名称を列挙することから始め、ステークホルダー・マップ作成と並行しながら特定されたステークホルダーをより具体的に列挙しながら分析することもできる。このマトリクス上で、リスクがあると判断される項目とその原因となる、あるいは影響を受けるステークホルダーとの交差要素をマークしたり、具体的なリスク事象を記述することでリスクの特

定を行うことができる。ここでは施策の推進を阻害する可能性があるリスクについて例示しているが、施策目標が達成できない場合のリスクや施策を推進し実現することに伴うリスクについても同様なリスク・ステークホルダー対応マトリクスを作成することも有効である。

表２「施策の推進を阻害する可能性があるリスク」についての リスク・ステークホルダー対応マトリクスの構造例(部分)

原因となるステークホルダー / リスク項目		国際関係	行政		事業者				研究開発	市民	…
			国	地域	エネルギー	製造	物流	…			…
①社会的合意の課題	1) 気候変動に関する認識不足										
	2) 各主体の立場や利害の相違										
②産業移行の課題	1) 企業の施策や検討の不備										
	2) 施策実装コストの増大										
	3) 社会技術として対応すべきリスクの残存										
	⋮										
③需要側の選択の課題	1) 既存製品利用の継続・ＣＮ施策による新製品の不選択										
	2) 選択の意義の認識や無力感										
⋮	⋮										

(2) 実務者によるリスク検討事例

① 検討経緯

第３章で示したリスク検討フレーム及び前項(1)①で示した活用方法は、工学システムのリスクを広く検討してきた分科会内で議論し、安全工学シンポジウムにおいて一般参加者や関係する専門家との討議を経て構築したが、実務者による活用可能性の検証が必要との意見もあった。

公益社団法人化学工学会ＣＮ推進委員会では、学会として具体的なＣＮ施策を策定し、社会に提言を行っている[6]。実務者による活用可能性の検証のために同委員会と連携し「カーボンニュートラル施策推進のためのリスク検討フレームワーキンググループ」(以下WG)を設置した[10]。メンバーは分科会メンバー３名を中心に、前項(1)①「リスクマネジメント体制の構築」に準拠し、ＣＮ推進委員会の提言の１つであるプラスチック資源循環システムに関わるステークホルダーを加えた 12 名である。内訳は、化学企業所属１名、プラントエンジニアリング企業所属１名、化学業界団体所属３名、金融機関所属１名、国立研究機関所属２名、大学研究者４名であり、ＣＮ推進委員会や化学工学会会員以外からも招聘した。

まず、前項(1)②「リスクマネジメントの前提の明確化」に従い、以下を合意した上で検討を進めた。

１）検討対象ＣＮ施策として、ＣＮ推進委員会が立案した化学産業における炭素自立ビジョン[6]の中で化石資源に代わる炭素資源として取り上げられているプラス

チック・木質バイオマス・回収 CO_2 の中から、すでに複数の化学企業が技術開発を進めているプラスチックを取り上げる。すなわち、プラスチック資源循環システムがシステム範囲となる。

2）化学産業として 2050 年にＣＮを達成する。すなわち、2025 年から 2050 年までの期間を想定する。

3）プラスチック材料を生産する化学産業の視点に立ち、その経営層がプラスチックリサイクルの事業化、社会実装を行う際の意思決定の場でのリスク検討とする。

②　フレームを利用したリスクの抽出

まず、WGメンバー各自が、第３章に示したリスク検討フレームを参照して、プラスチックリサイクル施策についてリスクを抽出した。このとき、**表２**のようなリスク・ステークホルダー対応マトリクスを作成し、リスクがあると判断される項目とその原因となるあるいは影響を受けるステークホルダーの該当部をマークし、その説明を付記する作業を行った。

このようにして抽出されたリスクをWGにおいて討議し、プラスチックに関わるマテリアルフローをベースに**図３**に示すステークホルダー・マップを作成した。これによってステークホルダーとその意思決定項目を可視化し、どのステークホルダーの意思決定が、どのようなリスク事象の原因となるか、あるいはどのリスクがどのようなステークホルダーの意思決定に影響を及ぼすかを可視化した。なお、このステークホルダー・マップの作成においては、最初からシステム範囲やステークホルダーを特定することはしない。単純な構造から始め、リスク抽出と並行する討議によってステークホルダーやリスク項目を追加・統合したり、フロー構造を修正したりすることによって、WGにおけるシステム範囲やステークホルダーの粒度・位置付けに対する理解を共通化する役割も持つ。

このような可視化図によって、ステークホルダーの連関とリスクの関係がWGメンバーにおいて共有された。さらにリスク事象の回避のために実施者が対策を実施できるか、協調すべきステークホルダー、さらに回避あるいは緩和方法の議論が可能となる。

施策によっては、ステークホルダー・マップはマテリアルフローベースではなく、資金フローや役務関係等をベースとして示すことも考えられる。**図３**においても、行政、金融、学術等フロー上では示すことができない重要なステークホルダーが存在する。この上に抽出されたリスク事象をマップに重ねて示したのが**図４**である。このマップから、化学企業の視点で、自社内で回避できるリスク、他者との連携が回避に必要となるリスク、発生すると施策遂行が困難になるリスク等をリスク群として整理ができる。ここから、リスクの重要度を評価・特定し、施策マネジメントと情報を共有し、回避・緩和策の検討・実施に進む。WGでは、従来事業と比べてステークホルダー関係が複雑で、従来のようなハザードと発生確率の掛け算という定量化手法が適用

しがたいこと、政策や消費の影響を強く受けること等の指摘があったが、リスクの定量化や対応策の検討は今後の課題である。

この事例に対するWGでの一連の作業と討議によって、リスク検討フレームとその活用について、以下の点が確認できた。

1）リスク検討フレームとリスク・ステークホルダー対応マトリクスはリスク抽出に有益であった。また提示したフレームの網羅性は高いと評価された。一方で、リサイクル手法によるリスク項目の違いは明確にできず、技術選択等の意思決定では技術ごとの要求事項等の詳細化が求められる。

2）WGメンバーの専門性により、抽出されるリスクには差異があり、異なる専門性を持つメンバーの参画が重要である。例えば、化学企業・エンジニアリング企業は化学プロセスの設計からプラント建設・運転については経験があるが、廃棄物としてのプラスチックについては知見が少なく、プラスチックリサイクル分野の学術専門家の知見が有益であった。

3）マテリアルフローベースのステークホルダー・マップは、プラスチックリサイクルという事例については有効であったが､フローに含まれない政策決定者や金融、学術、社会が関わるリスクは適切に可視化できなかった。マップの作成方法について異なる事例による体系化の必要性が指摘された。

4）可視化によって、従来業務や専門分野と関連性が小さいステークホルダーの重要性が認識できた。例えば、製品の下流であった消費者行動が自身の原料調達に与える影響が認識できた。さらにリサイクル制度専門家によって制度上のリスク原因が提示され、共有できた。

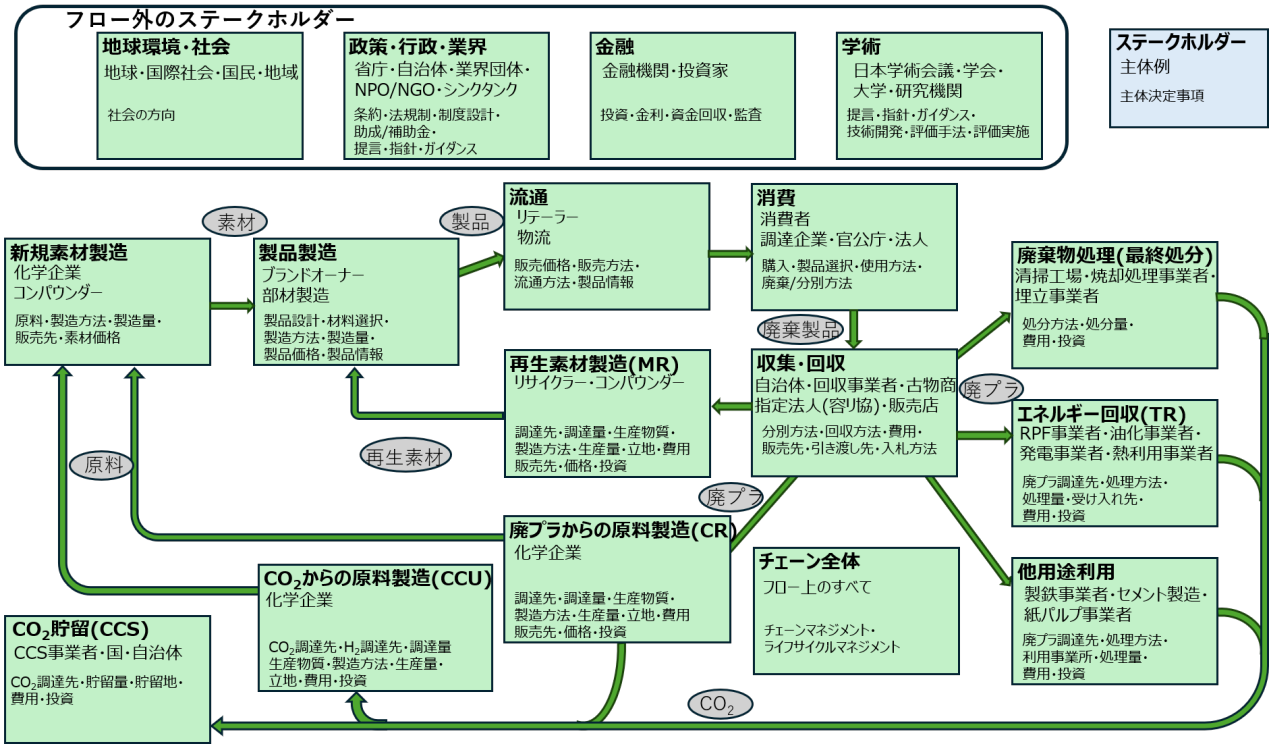


図３　プラスチックリサイクルに関わるマテリアルフローをベースに作成したステークホルダー・マップ

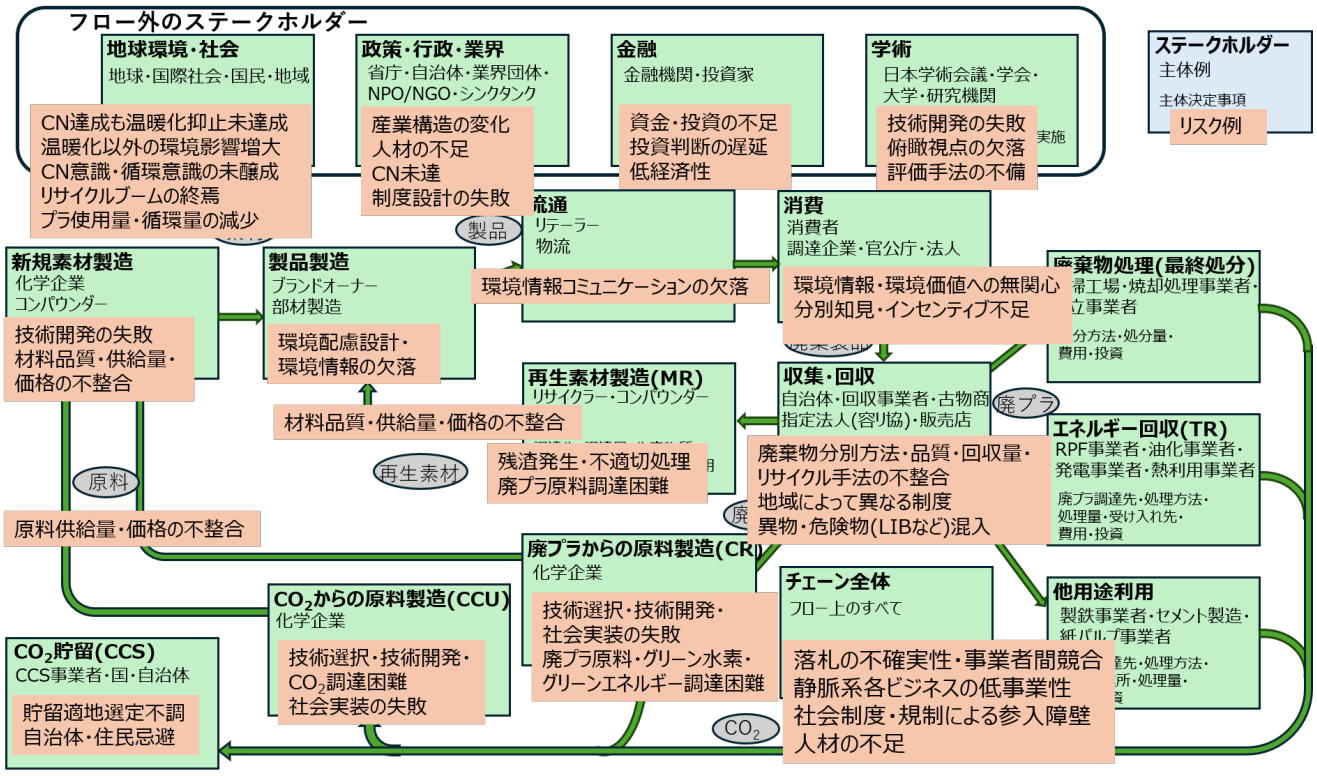


図４　プラスチックリサイクルに関わるステークホルダー・マップ上で特定されたリスク項目例

(3)　リスク評価と対策検討に向けた課題

前節(2)で示した実務者によるリスク検討では、リスク検討フレームを活用することにより、従来は個別に議論されていた技術、資源、制度、社会受容性、人材等の課題を統合的に整理し、多様なステークホルダーとの関係の中で可視化できることが、今回対象とした化学産業におけるプラスチック資源循環システムという１産業分野の１事例において確認された。今後は多様な分野の異なる施策での適用を行い、その結果を蓄積し、継続的にリスク検討フレームとその活用方法を改善する必要がある。例えば、国や自治体等の政策立案者は、規制緩和施策、補助金や税制等の経済施策等が対象となるが、その施策の影響を受ける主体の多くが民間事業者や地域であり、民間事業者が実施する施策や地域への影響を第３章(2)及び(3)を活用して検討する必要がある。加えて、第３章(1)に挙げた民間事業者における施策推進を阻害するリスクを認知し、政策でリスクを緩和する施策検討も必要とされる。産業や金融機関の施策では、第３章(1)に挙げた施策推進を阻害するリスクの回避・緩和が重要となるが、従来と同様の技術的及び経済的成立性に関わるリスクにとどまらず、制度的、社会的及び人的成立性について表１に挙げた５つの成熟度によるリスク検討が欠かせない。第３章(2)の活用によって、実施主体内部のリスク事象による施策実施遅延や中止が外部の施策に与える影響を認識することも必要である。特に、ＣＮ施策として活用が期待される再生可能エネルギーやグリーン水素、バイオマス、廃棄物を利用する施策では、産業間や地域社会の連携施策の立案も求められる。第４章(2)で紹介したＣＮ推進委員会は、周南コンビナートの脱炭素施策の推進のための産学官民連携組織[28]に参画し、同地域のＣＮロードマップ策定を議論している。その成果は、参画企業社員とその家族、省庁や市の職員、市民、地元高専生、研究者らが参加するシンポジウムで共有している[29]。このような場は、域内産業構造の変化に対する地域社会のステークホルダーによる受容性の違いを相互に理解し、リスクを低減する活動となっている。教育研究機関においては、技術成熟度に関わるリスクを把握すると共に、社会実装を視野に入れ、産業等と協調して５つの成熟度にかかわるリスクを包括的に共有することが求められる。特に人的成立性に関わるリスクを回避する役割を認識する必要がある。

このように、ＣＮ施策に伴うリスクは、技術、経済、制度、社会及び人材に関わる多様な要因が相互に影響しながら発現する。そのため、個別技術や個別主体を対象とした従来のリスク検討だけでは十分ではなく、施策全体の成立条件とステークホルダー間の関係性を踏まえた包括的な分析と評価が求められる。特に、政策変更、市場動向、国際情勢、社会受容性、人材確保等に関わるリスクは定量化が難しく、また複数のリスクが連鎖的又は同時に発生することによって施策全体へ影響を及ぼす可能性がある。本フレームは、特定されたリスクの評価や対応策の検討について具体的な手法を提示するものではないが、施策の成立条件とステークホルダー間の関係性を分析し、議論する共通言語となるものである。

したがって、今後はリスク検討フレームを活用した事例の蓄積を進めるとともに、リスクの重要度評価手法、ステークホルダー間でのリスク共有手法、対策の優先順位付け

手法等について検討を進める必要がある。また、本フレームが国、自治体、企業、研究機関、金融機関、地域社会など多様な主体の共通言語として活用され、主体や施策分野ごとにフレームの詳細化を行ったり、活用手法をガイドライン等として具体化したりすることも望まれる。本フレームは、そのような評価及び意思決定の基盤として機能し、カーボンニュートラル施策の円滑かつ効果的な推進に資することを期待する。

５　報告のまとめ

気候変動は、地球全体の持続可能性に対する脅威であり、その緩和のためにＣＮを達成し、さらにＧＨＧ排出量を負にすることが必須である。その危機意識の共有の下で、国、企業、研究機関、地域社会等、多様な主体が様々な施策を立案し推進している。一方で、ＣＮ施策は、エネルギーシステム、資源循環システム、産業構造及び社会システムの変革を伴うため、その推進過程及び実現後において、環境、健康、経済及び社会に対する様々な影響や不確実性が生じる可能性がある。

このようなリスクが事後的に明らかになることは、その対策のために施策推進の中止や遅延につながる。このためには、ＣＮ施策の立案時からリスク検討を行い、事前的にリスクを把握し、その原因となる、あるいは影響を受けるステークホルダーを特定し、速やかに対策をとることがＣＮの早期の実現につながる。

加えて、ＣＮの実現には、エネルギー転換のみならず、資源循環、産業構造の変革、社会システムの再構築を含む長期的かつ広範な取組が必要であり、個別技術の開発や導入だけでなく、経済性、制度整備、社会受容性、人材確保等、多様な成立条件を満たすことが求められる。現状のＣＮ施策の検討では、個別技術や個別分野ごとの議論が中心であり、施策間の相互依存性や社会全体への影響、さらには施策推進を阻害する要因や実現後に生じる新たな課題を俯瞰的に検討するための共通的な枠組みは十分に整備されているとは言い難い。

本報告では、ＣＮ施策に関わるリスクを、「施策の推進を阻害する可能性があるリスク」、「施策目標が達成できない場合のリスク」、「施策を推進し実現することに伴うリスク」の３つに分類し、それらを技術、経済、制度、社会及び人材に関わる５つの側面の成立性の観点から体系的に検討するためのリスク検討フレームを提示した。また、ステークホルダー・マップやリスク・ステークホルダー対応マトリクス等の活用方法を示し、多様な主体による実践的なリスク検討の考え方を整理した。

本フレームの目的は、リスクを網羅的に列挙し、個別施策のリスク項目の特定を支援することだけではなく、ＣＮ施策の成立条件を体系的に確認し、多様なステークホルダーが共通認識の下で議論を行うための基盤を提供するものである。また、施策推進の障害を抽出することを目的とするものではなく、施策の成立条件を早期に把握し、多様な主体が共有することによって、ＣＮ施策の円滑かつ効果的な実施を支援することに意義がある。特に、施策の立案段階からリスクを共有し、事後的な対応ではなく、事前に対策を検討するフィードフォワード型の意思決定を支援することに意義がある。

今後、国、自治体、企業、研究機関、金融機関、地域社会、ＮＰＯ等、多様な主体において、本フレームを活用したリスク検討とステークホルダー間、及び施策間での対話が進むことを期待する。また、実際の活用事例や社会情勢の変化を踏まえながら、継続的な改善と発展が図られることが望まれる。さらに、本報告には含まれないリスクの定量的評価や対策検討における優先順位決定、具体的な対策の考え方等の知見の蓄積と体系化が必要である。体系化においては、個別にリスク評価や社会的合意のための検討や施策が進めら

れ、かつ社会・産業からの関心も大きい原子力技術[30]、再生可能エネルギー技術[31][32]、水素・アンモニア等の新規エネルギーキャリア利用の技術[29]等の連携が求められる。

ＣＮ施策の推進においては、温室効果ガス排出削減効果のみを評価軸とするのではなく、その成立条件と社会的影響を俯瞰的に検討し、多様な主体がリスクと機会を共有しながら意思決定を行うことが重要である。本報告で示したリスク検討フレームが、そのための共通言語として活用され、持続可能でレジリエントなＣＮ社会の実現に寄与することを期待する。

＜参考文献＞

[1] IPCC (Intergovernmental Panel for Climate Change) (2021-2023) Sixth Assessment Report
https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/

[2] IPCC 第６次評価報告書統合報告書政策決定者向け要約(文科省、経産省、気象庁、環境省暫定訳)、2024 年 11 月
https://www.env.go.jp/content/000265059.pdf

[3] European Commission (2023-2026) Carbon Border Adjustment Mechanism -The EU’s environmental policy tool for fair carbon emissions pricing
https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy/first-circular-economy-action-plan_en

[4] 環境経済・政策学会、環境論壇「岐路に立つグローバル化と環境政策」掲載論文 17 報、19 巻１号、2026 年３月 31 日、26-111
https://www.jstage.jst.go.jp/browse/reeps/19/0/_contents/-char/ja

[5] 経済産業省、ＧＸ２０４０ビジョン ～脱炭素成長型経済構造移行推進戦略 改訂～、2025 年２月
https://www.meti.go.jp/press/2024/02/20250218004/20250218004-1.pdf

[6] 公益社団法人化学工学会地域連携カーボンニュートラル推進委員会、カーボンインディペンデンス（炭素自立）ビジョン 3.0：CO_2排出削減が困難な産業の循環経済への変革
https://www.cn.scej.org/wp-content/uploads/2025/09/Carbon-Independence-Vision-3.0-1.pdf

[7] 日本学術会議、提言「気候危機に対処するための産官学民の総力の結集 －循環経済を活かし自然再興と調和する炭素中立社会への転換－」、2025 年 10 月 27 日
https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-26-t393-2.pdf

[8] 日本学術会議総合工学委員会・機械工学委員会合同工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会、見解「工学システムに対する「安心感」の醸成」、2023 年９月 27 日
https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-25-k230926-3.pdf

[9] 日本学術会議総合工学委員会・機械工学委員会合同工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会、提言「工学システムの社会安全目標の新体系」、2020 年８月 28 日
https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-24-t293-5.pdf

[10] 公益社団法人化学工学会地域連携カーボンニュートラル推進委員会リスク検討フレームワーキング
https://www.cn.scej.org/activity/working/risk_consideration_framework/

[11] 環境省、日本のＮＤＣ（国が決定する貢献)、2025 年２月 18 日
https://www.env.go.jp/content/000291804.pdf

[12] 日本経済団体連合会、経団連カーボンニュートラル行動計画、2025 年３月 30 日
https://www.keidanren.or.jp/policy/2025/087.html
[13] World Resources Institute and World Business Council for Sustainability、温室効果ガス(GHG)プ ロトコル 事業者排出量算定報告基準改訂版（日本語版)、2005 年３月
https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2022-12/corporaterevised-edition-japanese.pdf
[14] World Resources Institute and World Business Council for Sustainability、企業のバリューチェーン（スコープ３）算定と報告の標準 -ＧＨＧプロトコル 企業の算定・報告基準の補遺-（環境省日本語訳)、2011 年９月
https://www.env.go.jp/earth/ondanka/supply_chain/gvc/files/Scope3_Guideline.pdf
[15] JST 低炭素社会実現のための社会シナリオ研究事業、カーボンニュートラル：明るく豊かな社会か暗く貧しい社会か、2025 年３月
https://www.cn-scenario.rcast.u-tokyo.ac.jp/wp-content/uploads/2025/04/2025-0300-JST 暫定版シナリオ報告書-2025-04 修正.pdf
[16] Akito Ozawa, Tsamara Tsani, Yuki Kudoh, Japan's pathways to achieve carbon neutrality by 2050 - Scenario analysis using an energy modeling methodology, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 169, November 2022, 112943
https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112943
[17] 地球環境産業技術研究機構、カーボンニュートラルに向けたトランジションロードマップの策定（2025 年度版)、2026 年４月 10 日
https://www.rite.or.jp/system/global-warming-ouyou/download-data/FY2025sectorroadmap.pdf
[18] 自然エネルギー財団、自然エネルギーによるエネルギー転換シナリオ（第１版改訂版)、2024 年 12 月 24 日
https://www.renewable-ei.org/pdfdownload/activities/REI_2040senario_rev-edition_20241224.pdf
[19] 東京大学 未来戦略ＬＣＡ連携研究機構、種々の制約を未然に回避しセクター間の対立を考慮した 2050 年のネットゼロに移行した日本、2026 年２月
https://utlca.box.com/shared/static/capkk7zy2i4p94mf4r1xn58lrhy0ikji.pdf
[20] 国立環境研究所、自治体の不燃系廃棄物処理施設および小型家電リサイクル施設におけるリチウムイオン電池に起因した発火・火災対策に関する技術資料 ―リチウムイオン電池起因の発火・火災対策ガイドライン―、2024 年 10 月
https://www-cycle.nies.go.jp/jp/report/pdf/2024_LIB_ignition_guideline.pdf
[21] Atsushi Terazono, Masahiro Oguchi, Hiroyuki Akiyama, Hiromitsu Tomozawa, Toru Hagiwara, Jo Nakayama, Ignition and fire-related incidents caused by

lithium-ion batteries in waste treatment facilities in Japan and countermeasures, Resources, Conservation and Recycling, Volume 202, March 2024, 107398
https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107398
[22] International Organization for Standardization (2018), ISO 31000:2018 - Risk management - Guidelines
[23] 内閣府科学技術・イノベーション推進事務局、次期戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）の検討状況について、2022年９月
https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/taskforce/smartbousai_3/siryo5.pdf
[24] U. S. Department of Energy, Adoption Readiness Levels (ARL) Framework
https://www.energy.gov/technologycommercialization/adoption-readiness-levels-arl-framework, 2026年８月26日参照
[25] Steve Griffiths, Joao M. Uratani, Dlzar Al Kez, Aoife M. Foley,Vanessa Chan, Aligning sociotechnical systems perspectives and adoption readiness levels to accelerate clean energy adoption, Nature Reviews Clean Technology, Volume 2, March 2026, 231-244
https://doi.org/10.1038/s44359-026-00146-5
[26] Project Management Institute, A Guide to the Project Management Body of Knowledge, 8th edition, January 13,2026
[27] ブリュノ ラトゥール（伊藤嘉高訳）、社会的なものを組み直す: アクターネットワーク理論入門、法政大学出版局、2019年１月11日
[28] 周南コンビナート脱炭素推進協議会、周南コンビナートの脱炭素を産・学・官・民で共創する
https://sicdcpc.com/
[29] 周南コンビナート脱炭素推進協議会シンポジウム、周南から発信する未来のカーボンニュートラル社会、2026年４月27日
https://sicdcpc.com/activity/event/2026/0314_report/
[30] 日本学術会議総合工学委員会原子力安全に関する分科会、提言「原子力安全規制の課題とあるべき姿」、2020年６月30日
https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-24-t290-6.pdf
[31] 日本学術会議総合工学委員会エネルギーと科学技術に関する分科会、提言「長期の温室効果ガス大幅排出削減に向けたイノベーションの加速」、2020年５月12日
https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-24-t289-1.pdf
[32] 日本学術会議総合工学委員会エネルギーと科学技術に関する分科会、見解「活動的縁辺域における持続可能な洋上風力発電開発に向けて　-海底地質リスク評価の重要性-」、2023年９月22日
https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-25-k230922-5.pdf

＜参考資料１＞　審議経過

総合工学委員会・機械工学委員会合同工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会における審議経過

2024 年１月 29 日　第１回分科会

役員の選出、活動方針について

2024 年２月 26 日　第２回分科会

安全工学シンポジウムについて

2024 年 10 月１日　第３回分科会

第 26 期活動計画について

2024 年 11 月１日～11 月 11 日　第４回分科会

分科会委員の追加について

2025 年２月 16 日　第５回分科会

意思の表出骨子の内容について、安全工学シンポジウムについて

2025 年４月 28 日　第６回分科会

意思の表出申出書の内容及び「見解」骨子について、安全工学シンポジウムについて

2025 年 10 月 11 日　第７回分科会

「見解」案について

2026 年１月６日　第８回分科会

「見解」案について

2026 年１月 12 日　第９回分科会

「見解」案について

2026 年７月５日　第 10 回分科会

「見解」案について

2026 年８月 24 日　第 11 回分科会

「見解」案について

2026 年９月 21 日　第 12 回分科会

「報告」案について

ＣＮ施策推進のためのリスク検討フレームの活用方法については、公益社団法人化学工学会地域連携ＣＮ推進委員会ＣＮ施策推進のためのリスク検討フレーム WG にて審議した。

2025 年１月 18 日　第１回 WG

日本学術会議総合工学委員会・機械工学委員会合同「工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会」が取りまとめた記録「カーボンニュートラル施策推進のための影響検討フレームの構築」(2023 年９月)の骨子について説明を行った。

2025 年２月７日　第２回 WG

施策立案者としてフレーム活用の可能性について議論し、公益社団法人化学工学会地域連携 CN 推進委員会が立案している施策のうち、プラスチックリサイクルを事例とし

て、各 WG 委員が化学産業の視点からリスク検討フレームの適用を検討することを決定した。

2025 年３月３日　第３回 WG

各 WG 委員がフレームを適用した結果について報告し、フレームの適用可能性を議論した。

2025 年４月 22 日　第４回 WG

前回に引き続き、各 WG 委員がフレームを適用した結果について報告し、フレームの適用可能性を議論した。

2025 年５月 20 日　第５回 WG

各 WG 委員がフレームを適用し、抽出されたリスクを整理し、リスク影響を受けるステークホルダーとリスク原因となるステークホルダーを明確にする必要性を確認した。

６月 26 日に開催する安全工学シンポジウム 2025（主催：日本学術会議）における企画セッション「カーボンニュートラル施策のリスク検討フレーム　ープラスチックリサイクル施策を例としてー」における議論に協力した。

2025 年６月 19 日　第６回 WG

プラスチックフローに沿って影響を受けるステークホルダー、原因となるステークホルダーを整理し、抽出したリスクを含めて可視化することを検討した。

安全工学シンポジウム 2025 開催内容について協力した。

2025 年８月８日　第７回 WG

６月 26 日に開催した安全工学シンポジウム 2025 における企画セッションの開催結果を分科会委員より報告し、これまでの検討で不足している点について検討を加えた。

プラスチックフローに沿って可視化したリスクについて、その意義を議論した。

2025 年９月２日　第８回 WG

プラスチックフローに沿って可視化したリスクについて、その意義と活用の可能性について議論した。

＜参考資料２＞　安全工学シンポジウム開催

安全に関する学際的なシンポジウムとして日本学術会議主催で 40 年以上にわたり継続して実施されている。

（1） 安全工学シンポジウム 2024

1．開催日時　令和６年（2024 年）６月 26 日（水）～６月 28 日（金）9:30～17:00

2．開催形式

主催：日本学術会議総合工学委員会・機械工学委員会合同工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会

共催：安全工学会、他 32 学協会

3．開催場所等

日本学術会議講堂、会議室５-A（１）、６-A((１)(２))、６-C((１)(２))＋ZOOM によるハイブリッド開催。４つのパラレルセッションで、すべての会場でハイブリッド開催。

4．テーマ

「カーボンニュートラル施策のリスク検討フレーム　−プラスチック資源循環を例として−」

5．開催趣旨：

令和６年（2024 年）度は、「技術・社会の変化と安全工学のパラダイムシフト」のテーマのもと開催する。異分野間での安全に対する取組の差異、あるいは共通する理念について有意義な意見交換が期待でき、日本学術会議総合工学委員会・機械工学委員会合同工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会で進めている「カーボンニュートラルリスク検討フレーム構築」の検討成果について広く一般への発表がなされるとともに、多分野の専門家からの意見集約を行う。

6．概要：

ＣＮ施策の影響には、施策の主目的にもなっている地球温暖化対策の成否から、産業への影響や、生活の利便性への影響まで多様である。このような社会に大きな変革を与える技術施策を考える際は、その施策の完遂を妨げる可能性やその施策がもたらす社会への多様な影響を事前に検討しておく必要がある。本セッションでは、ＣＮ施策のリスク検討フレームについて概観し、化学工業のＣＮを題材としたリスク視点の一整理、産業のＣＮ施策がプラスチック資源循環に与える影響、ＣＮ化に伴うリスクを踏まえたプラスチックの廃棄と製造方法、の講演のあと、体系的に整理したＣＮ施策において検討すべきリスク項目の適用について議論した。

（2） 安全工学シンポジウム 2025

1．開催日時　令和７年（2025 年）６月 25 日（水）～６月 27 日（金）9:40～17:00

2．開催形式

主催：日本学術会議総合工学委員会・機械工学委員会合同工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会

共催：一般社団法人日本原子力学会、他 31 学協会

３．開催場所等

日本学術会議講堂、会議室５-A（１）、６-A((１)(２))、６-C((１)(２))＋ZOOM によるハイブリッド開催。４つのパラレルセッションで、すべての会場でハイブリッド開催。

４．テーマ

「カーボンニュートラル施策のリスク検討フレーム　-プラスチックリサイクル施策を例として-」

５．開催趣旨：

令和７年（2025 年）度は、「社会と工学で共創する安全」のテーマのもと開催する。異分野間での安全に対する取組の差異、あるいは共通する理念について有意義な意見交換が期待でき、日本学術会議総合工学委員会・機械工学委員会合同工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会で進めている「カーボンニュートラルリスク検討フレーム構築」の検討成果について広く一般への発表がなされるとともに、多分野の専門家からの意見集約を行う。

６．概要：

ＣＮ施策の影響には、施策の主目的にもなっている地球温暖化対策の成否から、産業への影響や、生活の利便性への影響まで多様である。このような社会に大きな変革を与える技術施策を考える際は、その施策の完遂を妨げる可能性やその施策がもたらす社会への多様な影響を事前に検討しておく必要がある。本セッションでは、循環型産業への転換によるカーボンインディペンデンスの実現について概要し、化学産業におけるプラスチックリサイクルのリスクと社会実装、プラスチック汚染と他の環境問題とのトレードオフ、の講演のあと、体系的に整理したＣＮ施策において検討すべきリスク項目の適用について議論した。

報　　告

異なる背景を持つ人々が共に生きるための
言語に関する理念・認識の共有と取組の必要性

令和８年（２０２６年）９月 28 日

日　本　学　術　会　議
言語・文学委員会
言語コミュニケーションと共生分科会

この報告は、日本学術会議言語・文学委員会言語コミュニケーションと共生分科会の審議結果を取りまとめ公表するものである。

日本学術会議言語・文学委員会言語コミュニケーションと共生分科会

（職位は分科会出席時のもの）

委員長	定延　利之	（第一部会員）	京都大学大学院文学研究科教授
副委員長	平田オリザ	（第一部会員）	芸術文化観光専門職大学長
副委員長	庵　　功雄	（連携会員）	一橋大学森有礼高等教育国際流動化機構国際教育交流センター教授
副委員長	傳　　康晴	（連携会員）	千葉大学大学院人文科学研究院教授
幹　事	林　　良子	（連携会員）	神戸大学大学院国際文化学研究科教授
	加藤　重広	（連携会員）	北海道大学大学院文学研究院教授
	木部　暢子	（連携会員）	大学共同利用機関法人人間文化研究機構長
	金水　　敏	（連携会員）	放送大学大阪学習センター所長
	小泉　政利	（連携会員）	東北大学大学院文学研究科教授
	小西いずみ	（連携会員）	東京大学大学院人文社会系研究科教授
	小林　　隆	（連携会員）	東北大学アドミッション機構特定教授
	堀江　　薫	（連携会員）	愛知大学文学部教授
	宮本　陽一	（連携会員）	大阪大学副学長

本報告の作成に当たり、以下の方々に御協力いただいた。

合崎　京子	麗澤大学国際学部准教授
岩田　夏穂	武蔵野大学グローバル学部客員教授
浦野　　茂	三重県立看護大学看護学部教授
只野　雅人	専修大学法務研究科教授
狩俣　繁久	琉球大学名誉教授
北原モコットゥナシ	北海道大学アイヌ・先住民研究センター、アイヌ共生推進本部教授
斉藤　圭祐	全国言友会連絡協議会理事長
酒井奈緒美	国立障害者リハビリテーションセンター研究所研究員
三部光太郎	明治学院大学社会学部非常勤講師
杉本　篤史	東京国際大学国際関係学部教授
関水　徹平	明治学院大学社会学部准教授
高嶋由布子	国立障害者リハビリテーションセンター研究所任期付研究員
福永　由佳	国立国語研究所研究系教授
松本　尚子	上智大学法学部教授

三木那由他　大阪大学大学院人文学研究科講師
山丸　ケニ　アイヌ民族文化財団民族共生象徴空間運営本部伝承課主事
和氣　純子　東京都立大学大学院人文科学研究科教授

本報告の作成に当たり、以下の職員が事務を担当した。

事務　郷家　康徳　参事官（審議第一担当）
加瀬　博一　参事官（審議第一担当）付参事官補佐
東松　敬宏　参事官（審議第一担当）付審議専門職

要　　旨

１　作成の背景

本報告の背景には、日本社会における言語的少数者と多数派話者との関係が、政府の掲げる「共生」の理想状態から大きく離れているという問題意識がある。現在、日本では日本語母語話者が圧倒的多数を占めるが、その一方で、手話等の使用者、先住民族の言語や地域言語の継承者、外国語母語話者といった多様な言語的少数者も存在している。しかし、これらの人々が自らの言語で生活する権利は十分に保障されているとは言い難い。

本報告はこの状況を改善するため、日本政府が「自分の言語で生活する権利（以下「言語権」）は基本的人権である」「言語は単なる情報伝達ツールではなく、思考や文化、アイデンティティと不可分の存在である」という理念・認識を社会に広く浸透させ、教育・行政・広報の三面から取り組む必要性を提起するものである。

近年、AI 翻訳や補聴器・人工内耳等の技術の発展により、言語的障壁が技術的に完全に解消可能であるかのような認識が広まりつつある。しかしこうした認識は、言語の本質的な役割（すなわち人間にその言語ならではの世界認識法、思考法を与え、また人間の社会帰属意識の拠り所ともなることで、人間の根本を支えるという役割）を看過しており、「言語的少数者が多数派の言語に適応すればよい」という非対称な関係を温存しかねない。本報告は、このような誤解を是正し、言語の多様性を尊重する社会の実現に向けた基本的な考えを提示することを目的としている。

２　現状及び問題点

(1)　言語的少数者を取り巻く状況

日本における言語的少数者は主に三類型に整理される。

第一の類型は、手話等で生活する人々である。法制度上は合理的配慮の義務化が進んだものの、手話通訳の不足、地域格差、教育環境の不備等が残っている。手話が公的言語として十分に認められていない点も課題である。特に、ろう児が十分な言語環境を得られない場合、言語獲得そのものに困難が生じる可能性が指摘されている。

第二の類型は先住民族や地域言語の継承者である。国外では言語復興のために教育制度を整備する事例がある一方、日本では制度的支援が不十分であり、言語が衰亡しようとしている。特に深刻な危機的状況にあるアイヌ語や琉球諸語は、教育制度の中で体系的に継承される機会がほとんど存在しない。その他の地域言語も同様の状況にある。

第三の類型は外国語母語話者である。在留外国人は増加を続けており、多

文化共生が政策課題として掲げられているものの、教育・医療・行政・災害対応等の場面において日本語中心の運用が続いており、実質的な不利益が生じている。これらは単なる利便性の問題ではなく、生命や安全、社会参加に関わる深刻な問題である。

(2) 問題の本質

これらの問題の本質は、「言語権は基本的人権である」という認識が日本社会に十分に共有されていないという点にある。このため、言語的少数者への対応は権利の問題として位置付けられず、「配慮」や「福祉」の問題として扱われがちである。

言語権が基本的人権であるというのは、そもそも言語が本質的に他言語に完全には翻訳できないという性質を持つからである。それぞれの言語は、単なる情報伝達のツールではなく、語彙体系、文化的意味、思考様式、音韻・音声、社会的機能等の点で、固有の世界を形成している。したがって、翻訳技術や補助技術によって言語の違いを完全に解消することはできない。この点に対する理解不足が、問題の解決を阻んでいる。

3 報告の内容

本報告は、日本社会において異なる背景を持つ人々が共生するために日本政府がとるべき施策について、以下３つの方向性を提示する。

(1) 言語権に関する理念の説明と啓発

最も重要なのは、「言語権は基本的人権である」という理念を、政府が主体となって国民に明確に説明し、広く啓発することである。技術の進展によって言語の問題が軽視されがちな現状においては、この理念の共有が不可欠である。このような理念に基づき言語的多様性を尊重することは、単に少数者保護にとどまらず、社会全体の包摂性と創造性を高める効果を持つ。異なる言語背景を持つ人々の参画は、新たな知識や価値観の流入を促し、地域社会の活性化やイノベーションの創出につながる。また、多言語対応の進展は観光振興や国際競争力の強化、人材確保の面でも大きな利点をもたらすと考えられる。

(2) 理念の共有・啓発に当たっての障壁とその突破

上記の理念を説明・啓発するに当たって障壁となるのが、言語は単なる情報伝達ツールであるという認識である。実際には、言語は情報伝達のツールであるにとどまらず、思考・文化・アイデンティティを形成する基盤である。この認識も上記の理念と併せて広く社会に浸透させることによって、言語そのものの価値を尊重する社会認識への転換を図り、「翻訳や補助技術があれば

十分」という発想から脱却する必要がある。

(3)　教育・行政・広報の三面からの取組

上記(1)(2)の理念と認識を社会に定着させるため、日本政府には、教育・行政・広報の三面からの取組が求められる。具体的には、教育においては、言語の多様性や言語権に関する内容を学校教育に組み込むこと、行政においては、多言語対応や手話通訳を基本的公共サービスとして位置付けること、広報においては、多様な言語の可視化を進め、社会の認識を変革することである。

これらの取組を通じて、言語の違いを前提とした制度設計と社会環境の整備を進めることが必要である。

４　まとめ

本報告は、日本社会における言語的少数者の問題を、配慮や福祉の問題ではなく「権利の問題」として再定義し、「言語権の保障」と「言語の多様性の尊重」を社会の基本原則として確立する必要性を示している。その実現のためには、言語に関する理念と認識の共有及び制度的対応の双方が不可欠であり、本報告はその出発点を提示するものである。

目　　次

１　はじめに 1
２　現状１　日本語母語話者と言語的少数者との関係について 2
(1)　手話等で生活する言語的障害者 2
(2)　先住民族の言語、地域言語の継承者 3
(3)　外国語母語話者 5
３　現状２　言語の多様性の尊重と言語の違いによる差別の禁止について .. 7
(1)　自治体（都道府県） 7
(2)　大学 8
(3)　学会 8
４　問題のありか 10
５　報告の内容 11
(1)　言語権に関する理念の説明と啓発 11
(2)　理念の説明・啓発に当たっての障壁とその突破 11
①　障壁となる考え 12
②　障壁突破の必要性 12
③　言語はどのように情報伝達のツール以上のものと言えるのか 14
ア　言語の意味面について 14
（ア）　世界の「切り分け方」は言語ごとに異なっている 14
（イ）　世界は言語が「作って」いる 15
（ウ）　人間の思考は言語の影響を受けている 16
イ　言語の音韻・音声面について 16
ウ　言語の社会的な面について 16
(3)　教育・行政・広報の三面からの取組 17
(4)　付言―専門家に求められる啓発活動 18
６　結論 19

＜参考文献＞ 20
＜参考資料＞審議経過 26

１　はじめに

現在、日本国内において圧倒的多数を占める日本語母語話者（言語的多数者）[1]と、それ以外の言語的少数者との関係は、日本政府が目指しているはずの「共生」（異なる背景を持つ人々が違いを尊重しながら共に生きること）から大きく離れている。本報告は、この状況を改善するには、日本政府が「自分の言語で生活する権利（以下「言語権」）は全ての人間が持つ基本的な権利の一つであること」そして「言語が人間にとって情報伝達ツール以上の存在であること」を広く社会に浸透させ、教育・行政・広報の三面から取り組む必要性を提起するものである。

あらかじめ、用語について説明を加えておく。

ここでの「言語」とは、音声を媒体とする言語に限らない。日本政府が批准した、国際連合（以下「国連」）の「障害者権利条約」第２条[2]と同様に、手話その他の非音声言語をも含むものとする。また、方言と見なされ得るものをも含んでいる。

ここでの「日本国内における言語的少数者」とは、日本国内において日本語以外の言語で生活する者を指す。

以下では、手話や触手話その他の非音声言語を「手話等」、それ以外の言語を「音声言語」と記す。

---

[1] 日本語を母語（第１言語）としている者。なお、「言語的少数者」とは、23 期提言「音声言語及び手話言語の多様性の保存・活用とそのための環境整備」（言語・文学委員会科学と日本語分科会，平成 29(2017)年８月 22 日）で使用された語で、話者人口が少数である言語の話者を指す。

[2] 内閣府 平成 25 年版障害者白書（全体版）付録「６ 障害者の権利に関する条約（英文）」第２条
“..“Language″ includes spoken and signed languages and other forms of non‐spoken languages; ..”
https://www8.cao.go.jp/shougai/whitepaper/h25hakusho/zenbun/furoku_06.html（最終確認：令和８(2026)年９月 15 日。以下の web ページの最終確認日も全て同日である。）なお、「障害」の「害」という文字表記については、文化庁文化審議会国語分科会の取りまとめ「「障害」の表記に関する国語分科会の考え方」（令和３年３月 12 日，https://www8.cao.go.jp/shougai/suishin/h20jigyo/toriatukai.html）において改めるべきものとはされていないことを確認し、上記条約等の表記に揃えてある。

２　現状１　日本語母語話者と言語的少数者との関係について

日本語母語話者と言語的少数者との現在の関係は、日本政府が目指しているはずの「共生」とは大きく乖離した状況にある。以下、「日本国内における言語的少数者」を「(1)手話等で生活する言語的障害者」「(2)先住民族の言語、地域言語の継承者」「(3)外国語母語話者」に三分し[3]、日本政府の施策とともに述べる。

(1)　手話等で生活する言語的障害者

国連の「障害者権利条約」を批准したことを背景に、日本政府は令和６(2024)年４月に改正障害者差別解消法を施行した。これにより、障害者に対する事業者の合理的配慮の提供が、それまでの「努力義務」から「義務」へと変わった[1]。

手話通訳者の配置は、合理的配慮の典型例である。そして、合理的配慮によれば、手話通訳者配置のための手間や費用負担は、（過重な負担に当たる場合を除き原則として）事業者の負担となる。手話通訳を申請する者（以下「申請者」）の負担ではない。

申請者の負担を原則無料にするという方針は、改正障害者差別解消法の段階で突然に打ち出されたものではない。この方針は、改正障害者差別解消法の施行以前、具体的には「障害者の日常生活及び社会生活を総合的に支援するための法律」（平成25年４月１日施行）の時点から、地方公共団体に対しては示されていた。厚生労働省から各都道府県・各指定都市・各中核市民生主管部(局)長あてに通知された「地域生活支援事業における意思疎通支援を行う者の派遣等について」（平成25年３月27日）[2]では、市町村に対して「事業の実施方法については、地域における事業実施の差異を解消する観点から、別紙１の区市町村意思疎通支援事業実施要綱を参考に実施するように努められたい。」として、申請者の費用負担を原則無料とする旨が記載された別紙１が添付されている[4]。また、都道府県に対しても、「都道府県では、市町村相互間の連絡調整等を経てもなお、市町村が手話通訳者及び要約筆記者の派遣を実施できない場合等に手話通訳者及び要約筆記者の派遣事業を実施する必要がある。」との理由から、「都道府県意思疎通支援事業実施要綱を別紙２のとおり作成したので、本実施要綱を参考に事業を実施するように努められたい。」として、申請者の費用負担を原則無料とする旨が記載された別紙

[3] 手話等で生活する者を「言語的少数者」に含めることについては、第 23 期提言「音声言語及び手話言語の多様性の保存・活用とそのための環境整備」(言語・文学委員会科学と日本語分科会、平成 29(2017)年８月 22 日）の以下の記載を参考にしている。「ろう者とは『日本手話という日本語とは異なる言語を話す言語的少数者』であるという認識に支えられた研究は始まったばかりで、多様な手話言語の記録と保存はいまだ不十分である。」

[4] 「○○市（区市町村）意思疎通支援事業実施要綱」（申請者の費用負担）第 14 条「意思疎通支援者の派遣に要する申請者の費用負担は、原則無料とする。」

２が添付されている[5]。

だが、手話政策の実質化は遅れており、日本政府は国連の障害者権利委員会から懸念を表明されている。懸念の内容は、「盲ろう者のように、より多くの支援を必要とする障害者を含む、全ての障害者に対する情報提供及び意思疎通の支援の不足」「テレビジョン番組及びウェブサイトを含め、障害者が公共情報及び通信を利用する機会を得るために直面する障壁及び地方政府間の格差」「日本手話の公用語としての法律上の承認の欠如、手話使用の研修の欠如、及びあらゆる活動分野における手話通訳の欠如」の３点にわたっている[3]。

さらに、手話等を母語とする者に対する教育（特に初期段階の教育）における言語環境整備の問題も残されている。手話に触れる機会を十分に持たないまま教育を受けているろう児は、言語獲得そのものに困難をきたす可能性があるということが指摘されている[4]。また、手話の習得時期の違いが言語能力に差をもたらすことや、早期の言語曝露の不足が神経的な言語処理にも影響し得ることが報告されている[5][6]。

手話通訳者の不足や地域間の格差のために、必要な場面で通訳が確保できないという問題も依然として存在する。これらは、単なる支援体制の問題にとどまらず、言語的権利の保障の在り方に関わる課題であると言える。

(2)　先住民族の言語、地域言語の継承者

多文化共生の問題は、日本語（共通語）でコミュニケーションができる人々の間にも生じている。日本社会には、日本語（共通語）以外にも、先住民族の言語や地域言語が存在するが、その多くは危機的状況にある。これらを消滅から守り、どう継承していくかも多文化共生の重要な課題である。

例えばアイヌ語は、国際連合教育科学文化機関（UNESCO。以下「ユネスコ」）では「非常に深刻な危機言語」と位置付けられている[6]。その背景には、アイヌ民族が日本人（和人）との武力抗争に破れ、植民地化・同化政策の対象となっていったという15世紀以来の経緯がある[7]。アイヌ語は日本語の方言ではなく別系統の言語であり、北原モコットゥナシ氏（北海道大学）によれば[7]、言語の危機に関するユネスコの評価枠組（９個の指標と、各指標につき０点～５点の６段階評価）[8]では現在のアイヌ語はほとんど０点になり、挨拶や自

---

[5] 「○○県(都道府県)意思疎通支援事業実施要綱」(申請者の費用負担) 第14条「意思疎通支援者の派遣に要する申請者の費用負担は、原則無料とする。」

[6] “Atlas of the world's languages in danger”
https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000187026
文化庁「消滅の危機にある言語・方言」
https://www.bunka.go.jp/seisaku/kokugo_nihongo/kokugo_shisaku/kikigengo/

[7] 日本学術会議「言語・文学委員会」言語コミュニケーションと共生分科会（第26期・第10回、令和７(2025)年12月７日）での北原氏の報告「文化的ジェノサイドの問題としてアイヌ語を考える」

[8] UNESCO Ad Hoc Expert Group on Endangered Languages“Language Vitality and Endangerment”(2003)、内訳は以下の９尺度である。(1)言語がどの程度次の世代に継承されているか、(2)母語話者数、(3)コミ

己紹介の際の決まったフレーズ等、ごく限られたいくつかの場面で使用されるのみである。

また、八丈・奄美・沖縄・宮古・八重山等には多様な言語群があるが、これらも危機的状況にあることが指摘されている。前出のユネスコの評価枠組では、八重山語・与那国語が「重大な危機」にあり、八丈語・奄美語・国頭語・沖縄語・宮古語は「危機」にあるとされている。（ユネスコでは「言語」と「方言」は区別されず「言語」で統一されており、本報告もそれを踏襲している。）これらの言語を構成するさらに小さなレベルの言語群も同様の危機的状況にある。

平成20(2008)年、国連人権委員会は日本政府に対して、アイヌと琉球／沖縄の人々を先住民族として明示的に認め、彼らの言語や文化財の保護と促進策を強化するよう勧告している[8]。「アイヌの人々の誇りが尊重される社会を実現するための施策の推進に関する法律」（令和元(2019)年５月24日施行）ではアイヌ民族が「先住民族」と明記されている[9]。その一方で専門の言語教育機関は、アイヌ語や地域言語については設置されておらず、ろう学校という専門の言語教育機関があるろう者の状況と大きく違っている。また、日本の学校教育においても、日本語（共通語）がほぼ唯一の教育言語として用いられており、アイヌ語や琉球諸語、その他の地域言語が体系的に教育される機会は極めて限られている。つまり教育の機会が与えられていないために、アイヌ語や地域言語の話者数は増加していない。このような教育制度における位置付けの弱さが、これらの言語の継承を困難にしている要因として挙げられる。その結果、家庭内での継承が困難になった段階で、言語の断絶が生じやすい構造となっている。

また、国際的に見れば、例えばニュージーランドにおけるマオリ語教育のように、先住民族の言語を学校教育の中に組み込み、言語復興を国家的に支援する事例も存在する。これと比較すると、日本における言語継承のための制度的支援は十分とは言い難い。

結果として現在、マイノリティ（例えばアイヌ民族の子孫）が差別を日々感じ続けているにも関わらず、マジョリティは「被害者（純粋なアイヌ民族）は既に存在しなくなったのだから、もはや問題はない」と感じてしまう深刻な状況[9]が生じている。令和５(2023)年には、国連の先住民族に関する専門家機構(EMRIP)の年次会合において、アイヌと琉球の先住民族コミュニティが日本政府に対し、先住民族の共同体を中心にした言語保護計画を策定するよう、

ュニティ全体に占める話者の割合、(4)どのような場面で言語が使用されているか、(5)伝統的な場面以外で新たに言語が使用されている場面があるか、(6)教育に利用されうる言語資料がどの程度あるか、(7)国の言語政策（明示的、非明示的態度を問わず）、(8)コミュニティ内での言語に対する態度、(9)言語記述の量と質。 https://ich.unesco.org/doc/src/00120-EN.pdf

[9] この現状を北原氏は「暴力のアフターライフ(afterlife)」つまり暴力が終わった後もその影響が社会の中で形を変えて生き続けている状況と呼んでいる。出典は注７に同じ。

具体的にはアイヌ語と琉球諸語を日本の公用語と認め、学校教育制度に取り入れ、またアイヌ語や琉球諸語の特別な言語週間を設けるよう、声明を発している[10]。「先住民族」の認定についてはさまざまな立場があるが、学校教育制度に危機言語の教育を取り入れることを望む当事者が存在することは確かである。

(3) 外国語母語話者

日本国内の在留外国人数は、出入国在留管理庁によれば平成24（2012）年以降、新型コロナウィルス感染拡大の時期に当たる令和元(2019)年～３(2021)年を除いて増加の一途を辿っており、過去にない規模を更新している[11]。中長期滞在者数も、出入国在留管理庁によれば、令和６年（2024）末現在で349万4,954人と、前年末（312万9,774人）より36万5,180人（11.7%）増加している[10]。

「多文化共生」という言葉は、総務省の報告書で「国籍や民族などの異なる人々が、互いの文化的ちがいを認め合い、対等な関係を築こうとしながら、地域社会の構成員として共に生きていくこと」と定義され[12]、以上の情勢の中で様々な施策のキーワードになるに至っている。

しかし、福永由佳氏（国立国語研究所）が指摘するように[11]、「多文化共生」を掲げた施策の前提として、そもそも外国語母語話者が日本語母語話者と対等に生きることが目指されているのかは疑問の余地がある。学校や職場等、社会の様々な場で差別や偏見が生じていることは、出入国在留管理庁の有識者会議でも「現状及び課題」として指摘されているところである[13]。「日本語教育の推進に関する法律」（令和元(2019)年６月28日施行）が施行され、有識者会議でも共生社会の実現のために日本語学習の機会提供が取り上げられていること[14]、また近年は多言語対応や技術的な支援が広がったことにより、外国人自身によって解決可能になるものが増えてはいるが、外国語母語話者が不利益、不平等な立場に置かれている状況には看過できないものがあると福永氏は指摘している。

さらに、外国語母語話者が直面する言語的障壁は、日常生活の様々な場面において具体的な不利益として現れている。例えば医療現場においては、診察内容や治療方針に関する十分な説明が理解できないことにより、適切な医療を受ける機会が制限される場合がある。また、災害時においても、避難指示や生活支援に関する情報が日本語中心で提供されることにより、必要な行動を迅速にとることが困難になるといった問題が指摘されている。行政手続

[10] 参考文献は[11]と同じ。
[11] 日本学術会議「言語・文学委員会」言語コミュニケーションと共生分科会（第26期・第９回、令和７(2025)年９月７日）での福永氏の報告「在日外国人の言語生活と課題―外国人が受ける社会的不利益―」

きにおいても、書類や窓口対応が日本語に偏っているため、制度を利用すること自体が障壁となるケースが少なくない。近年は「やさしい日本語」[15][16]の普及によって、行政手続きや災害時等の必要最小限の情報に接しやすくなってはいるが、それでも一定の日本語の知識は求められる。これらの問題は、単なる利便性の問題ではなく、生命・安全や基本的な社会参加に関わる深刻な問題である。

以上で示したように、(1)手話等で生活する言語的障害者、(2)先住民族の言語、地域言語の継承者、(3)外国語母語話者のいずれにおいても、日本語母語話者と言語的少数者との関係は、「共生」と言えるようなものにはなっていない。有識者会議で課題が指摘され、国連でも勧告・懸念の対象とされるといった状態からの脱却が望まれる。

３　現状２　言語の多様性の尊重と言語の違いによる差別の禁止について

「多文化共生」の定義（２(3)に掲載）からも明らかなように、「共生」に至るには、互いの違いを認め合い、対等な関係を築く必要がある。しかし、言語の多様性を尊重し、差別を生まないという認識は、日本社会に十分に浸透していない。

日本では、文化庁の「国語に関する世論調査」が毎年実施され[12]、日本語（共通語）に焦点を絞った言語意識が調査されているが、その一方で日本語（共通語）以外の言語や方言に関する世論が取り上げられ調査されることは、ほとんどない[13]。また、日本には、言語的少数者の言語を紹介・教育する施設はほとんどない。その例外である民族共生象徴空間（ウポポイ）の入園者の感想には、そもそもアイヌ語という言語の存在を知らなかったというものがあるという[14]。これらは、ただ広報や行政が不十分なだけで、言語の多様性を尊重し、差別を生まない認識自体は、日本社会に十分に浸透していると言えるだろうか。ここでは、認識の社会浸透の度合いを示す一つの指標として、各種団体が行っている「宣言」を取り上げる。

多様性を尊重する宣言等は、現在では様々な団体が行っている。だが、こと言語の違いによる差別については、言及されていないことが非常に多い。公共性が高く、多様性の尊重に特に積極的と考えられる、自治体（都道府県）、大学、学会の状況を順に以下に示す。

(1)　自治体（都道府県）

現在では多くの自治体が、多様性を認め尊重する旨の条例や宣言を制定・発出している。例えば、障害者の差別の解消のために条例を制定した都道府県は、内閣府の調査によれば令和６(2024)年４月１日現在で41団体にのぼる[17]。

だが、ほとんどの場合、それらの条例において、差別禁止の対象として具体的に挙げられているのは、「障害の有無」の他、「部落出身か否か」「人種」「国籍」「信条」「性別」「性的指向[15]」「性自認[16]」「社会的身分」「門地」「職業」「年齢」「心身の機能の障害」「病歴」による差別である。条例で差別禁止の対象として「文化」による差別を挙げているのは３団体[18][19][20]、「手話話者か否か」による差別を挙げているのも３団体

---

[12] 文化庁「国語に関する世論調査」
https://www.bunka.go.jp/tokei_hakusho_shuppan/tokeichosa/kokugo_yoronchosa/

[13] 例外的な調査に内閣府「アイヌに対する理解度に関する世論調査」（令和４年 11 月）がある。
https://survey.gov-online.go.jp/hutai/r04/r04-ainu/

[14] 日本学術会議「言語・文学委員会」言語コミュニケーションと共生分科会（第 26 期・第 10 回、令和７(2025)年 12 月７日）での山丸ケニ氏の報告「アイヌ語の取り組みについて」

[15] 「性的指向」とは、どんな性を好きになるかということ、セクシャル・オリエンテーションを意味する。

[16] 「性自認」とは、自身の性別に関する認識、ジェンダー・アイデンティティを意味する。

[21][22][23][17]、「言語」による差別を挙げているのは１団体しかなく[24]、「方言」に至っては確認できない。

(2) 大学

令和６(2024)年５月１日現在、日本の大学に在籍する外国人留学生数は、33万6,708人、対前年度比5万7,434人（20.6%）増で、留学生総数は過去最多となっている[25]。この状況を反映して、多様性の尊重を宣言している大学は過去10年間で増えている。だが、それらの宣言における言語への言及は、表１のとおりまちまちで、多くはない。

表１　過去10年間の大学の多様性尊重宣言における言語への言及の有無

大学名	宣言の記載日	有無
法政大学	平成28(2016)年６月８日	無
早稲田大学	平成29(2017)年７月１日	無
中央大学	平成29(2017)年10月	有
神奈川大学	平成30(2018)年９月28日	無
明治大学	平成30(2018)年11月23日	無
立教大学	令和３(2021)年４月８日	無
大阪大学	令和３(2021)年９月３日	無
北海道大学	令和３(2021)年12月１日	有
九州大学	令和４(2022)年３月14日	有
東北大学	令和４(2022)年４月５日	無
東京大学	令和４(2022)年６月23日	有
名古屋大学	平成30(2018)年９月11日、令和４(2022)年12月22日	有
一橋大学	令和５(2023)年３月29日	有
慶應義塾大学	令和元(2019)年９月20日、令和５(2023)年４月１日	無
千葉大学	令和６(2024)年９月24日	有
京都大学	令和７(2025)年４月17日	無

（出典）　各大学のホームページ([26]-[41])

(3) 学会

日本には、日本学術会議に指定された「協力学術研究団体」だけでも2,100以上の団体が存在する[42]。それらの中で「言語系学会連合」[43]に加盟している会員学会38団体は、言語の多様性に対する関心が特に高いと想定され

[17] 条例の案としては以下も加えることができる。
愛媛県「愛媛県手話言語の普及及び障がいの特性に応じた意思疎通手段の利用の促進に関する条例(案)」
https://www.pref.ehime.jp/site/gikai/135073.html

るが、多様性尊重の宣言は38団体中６団体[44]-[49]、言語による差別禁止の宣言は１団体にとどまる[18]。また、集会における手話通訳やノートテイキング等、情報保障への言及は９団体のホームページ上に見られるものの[50]-[58]、手話通訳者等の手配を申請者負担ではなく全額を学会負担とするのは２団体しかない[19]。これは、方針（申請者の費用負担を原則無料とする）が、現在に至ってもまだ学会には浸透していないということを示している。

以上、(1)自治体（都道府県）、(2)大学、(3)学会の各状況が示しているように、言語の多様性を尊重すべきという認識は、日本の社会全体に浸透していない。

このような状況の背景には、言語による差異が他の属性に比べて可視化されにくいという事情があると考えられる。すなわち、言語の違いによる不利益は、しばしば個人の能力や努力の問題として理解されてしまい、構造的な問題として認識されにくい。また、日本社会においては、日本語（共通語）を前提としたコミュニケーションが自明視されているため、言語的少数者の存在そのものが周縁化されやすい。こうした事情が、言語の多様性に関する認識の遅れをもたらしていると考えられる。

[18] 日本語学会。参考文献[49]を参照。
[19] 日本言語学会、日本歴史言語学会。参考文献[53][58]を参照。

４　問題のありか

言語の多様性を尊重するという世界的な趨勢の根底にあるのは、「言語権は、全ての人間が持つ基本的な権利の一つである」という理念である。言語の多様性に関する国連の活動は、全てこの権利の理念に基づいている。

この権利の理念は、国際的に議論されている「言語権（linguistic human rights）」[59]の概念とも関わる。言語権とは、個人や集団が自らの言語を使用し、維持し、発展させる権利を指すものであり、単なる文化的権利にとどまらず、人間の尊厳やアイデンティティに関わる基本的権利として位置付けられている。この観点に立てば、言語的少数者の問題は福祉や配慮の問題ではなく、権利の問題として捉え直される必要がある。

手話等について述べれば、改正障害者差別解消法の基盤となっている国連の障害者権利条約では、手話という言語で生活することが障害者の権利として認められている[60]。また、音声言語についても、国連が2019年を「先住民族の言語の国際年」(International Year of Indigenous Language)と定めているように[61]、少数民族の言語権が特に保護の対象とされている。

言語の多様性を尊重すべきという認識が日本社会に浸透していない主因は、この理念が国民に対して十分には説明されていないことにあると考えられる。「言語的少数者は気の毒／かわいそう」あるいは「日本語習得の努力不足」といった情緒・感情で把握されてしまえば、言語の多様性の尊重に関する法令は善意政策にしか見えなくなる。結果として、努力目標に過ぎないものとして等閑視されがちになってしまう。

５　報告の内容

本報告は、日本社会において異なる背景を持つ人々が共に生きるために、日本政府がとるべき施策について、以下の３つの方向性を提示する。

(1)　言語権に関する理念の説明と啓発

日本社会から言語による差別をなくし、言語的少数者との共存をはかるには、日本政府が「言語権は、全ての人間が持つ基本的な権利の一つである」という理念を国民に対して説明し、啓発する必要がある。このことが、本報告の最も重要な内容と言える。

この理念は、ユネスコや国際連合を中心に国際的に共有されてきた言語権に関する諸宣言においても繰り返し確認されている。例えば、言語権に関するユネスコの「言語権に関する世界宣言」は[20]、言語の使用が個人の尊厳及び文化的アイデンティティと密接に結びつくものであり、その保障は基本的人権の一環であると位置付けている。また、国際連合の「民族的または種族的、宗教的および言語的少数者に属する者の権利に関する宣言」は[21]、少数者が自らの言語を使用する権利を承認し、「先住民族の言語権に関する宣言」は[22]、先住民族が自らの言語を維持・教育・継承する権利を保障している。

なお、本報告で述べる「言語権」は、現在の日本の法制度において十分に確立された権利とは言えないが、上の段落で示したユネスコその他の宣言に見られるように、人間が誰しも生まれながらにして持っている基本的人権の一つである。この認識が十分に共有されていない現状を変えていくべきというのが本報告の主旨である。

以上のような理念に基づき言語的多様性を尊重することは、単に少数者保護にとどまらず、社会全体の包摂性と創造性を高める効果を持つ。異なる言語背景を持つ人々の参画は、新たな知識や価値観の流入を促し、地域社会の活性化やイノベーションの創出につながる。また、多言語対応の進展は観光振興や国際競争力の強化、人材確保の面でも大きな利点をもたらすと考えられる。

(2)　理念の共有・啓発に当たっての障壁とその突破

(1)の理念を共有・啓発するに当たっては、強固な障壁となる考えがある。

---

[20] ユネスコ「言語権に関する世界宣言」(Universal Declaration of Linguistic Rights, 平成８(1996)年バルセロナ宣言) https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000104267

[21] 国際連合「民族的または種族的、宗教的および言語的少数者に属する者の権利に関する宣言」(Declaration on the Rights of Persons Belonging to National or Ethnic, Religious and Linguistic Minorities, 平成４(1992)年)
https://www.ohchr.org/en/instruments-mechanisms/instruments/declaration-rights-persons-belonging-national-or-ethnic

[22] 国際連合「先住民族の権利に関する国際連合宣言」(United Nations Declaration on the Rights of Indigenous Peoples、UNDRIP, 平成 19(2007)年)
https://www.un.org/esa/socdev/unpfii/documents/DRIPS_japanese.pdf

以下ではその考えを紹介した上で、その考えを突破しなければならない理由を明らかにする。

① 障壁となる考え

(1)の理念の共有・啓発に対して障壁となるのは、「言語は情報伝達のツールだ（それ以上のものではない)」という、社会にしばしば見受けられる認識である。この認識に基づけば、異なる背景を持つ人々が共に生きるために解決しなければならない諸問題は、「情報が伝わらない」という問題一点に集約されてしまう。そして、翻訳技術や補助技術の開発・普及によって問題は完全に解決するという誤解が導かれてしまう。

情報伝達をサポートする技術が特に目覚ましく発達している今日、「言語権は、全ての人間が持つ権利」という理念は、多くの国民にとって必ずしも理解しやすいものではなくなっている。手話等で生活する者について言えば、補聴器のノイズ制御や指向性等が以前より大幅に改善され、人工内耳も技術の発達が著しい[23]。また一般に、人工知能（以下「AI」）による言語翻訳は、高水準のものが誰でも無料で利用できる状況にあり、その翻訳精度は今後も向上していくことが予想される。これらの状況を踏まえれば、「言語少数者の問題は情報伝達のサポート技術を利用することで完全に解決できる」といった考えがもっともらしく見えてしまいかねない。

② 障壁突破の必要性

だが、この考えは、様々な問題を見落としている。

まず、保育園は騒音が激しいため、ろう・難聴児にとって、手話等に代えて補聴器や人工内耳を用いることは必ずしも有効ではない。障害者権利条約第24条第３項(c)が述べる「社会的な発達を最大にする環境」の確保につながらない可能性がある[63]。また、補聴器・人工内耳はマジョリティ（音声言語）に合わせる技術であり、これらのみに頼ることは、ろう・難聴児が手話で生活する言語権を奪いかねない[64]。

以上は補聴器や人工内耳に限ったことではない。情報伝達サポート技術は、言語的多数者と言語的少数者とのコミュニケーションにおいて、「相手に合わせるのは言語少数者の側」という負担の非対称性を温存しかねない。

さらに、これら以前の、より根本的な問題もある。それは、「言語少数者の問題は情報伝達のサポート技術で完全に解決できる」という考えはそもそも、言語が人間にとってどういうものなのかという本質的な部分を看過しており、言語に対する不十分な理解に基づいているということである。というのは、言語は単なる情報伝達のツール以上の存在だからである。

[23] 文献[62]を参照。

言語が情報伝達のためのツール以上の存在であるということは、恵まれた環境にある者には必ずしも想像しやすいことではない。だが、何らかの形で情報伝達の危機に置かれた人々が、「自分の言語」にこだわる事例は少なくない。

例えば、ろうの集団には、手話文化を脅かすものとして、人工内耳に対する反対運動が存在する[65]。

また、吃音の症状を持つ日本語母語話者の中には、マジョリティに合わせない、すなわち吃音を隠したり矯正しようとしたりしないという考えが近年見られる。NPO法人全国言友会連絡協議会理事長[24]の斉藤圭祐氏は、自身の吃音を「治したい」「消したい」「治療しないとやっていけない」とはもはや考えておらず、今は「これが自分の言葉」という認識を持っていると言う[25]。吃音症状を持つ従業員が接客を行う「注文に時間がかかるカフェ」[66]や、海外の“Did I Stutter”プロジェクト[67]にも同様の認識が見られる。

さらに、ALS[26]の症状が進行して発話できなくなり、音声合成システムを使って講演を続けていた故・山口進一氏は、信号処理された合成音ではなく、自分の音声を元にした合成音声で話すことがいかに自分にとって大切かを語っている[27]。

「自分の言語」というものに対する、これらの人々の考えや認識は、紛れもなく現実であるが、「言語は情報伝達のツールだ（それ以上のものではない）」という言語観では説明できない。この言語観に基づく「言語少数者の問題は情報伝達のサポート技術で完全に解決できる」という考えも、こうした人々の考えや認識に寄り添うものとは言えない。

実際には、言語とは、情報伝達のツールであるにとどまらず、思考・文化・アイデンティティを形成する基盤である[28]。言語は代替不可能な存在で、どの言語も他言語に翻訳しきれない。「自分の言語で生活する」とは、翻訳可能なレベルを超えて、その言語ならではの世界に暮らすということであり、

---

[24] 言友会とは、1966年に発足した、日本における最古、最大の吃音者のセルフヘルプグループである。連絡組織として全国言友会連絡協議会があり、この協議会は「吃音があっても、豊かに生きる」を基本方針としている。令和7(2025)年7月現在、国内の45箇所に加盟団体がある。

[25] 日本学術会議「言語・文学委員会」言語コミュニケーションと共生分科会（第26期・第8回、令和7(2025)年7月5日）での報告「吃音があっても、豊かに生きる ～吃音のある人への社会的支援の取り組み～」

[26] 筋萎縮性側索硬化症。「手足・のど・舌の筋肉や呼吸に必要な筋肉がだんだんやせて力がなくなっていく病気」（難病情報センター[68]）とされる。

[27] RKB毎日放送『電撃黒潮隊』「自分の声で生きたい―ALS患者の挑戦―」(JNN系2001年1月27日放送)、2001年1月25日付毎日新聞テレビ番組紹介記事　https://www.arsvi.com/d/als2001.htm

[28] 言語とアイデンティティの関係は複雑で微妙なものである。もっとも、アイデンティティ概念は、Erik Ericksonの初期的な構想([69])から、会話相手や状況次第で変わり得る概念への発展(例[70])、あるいは解消へと(例：多様な‘キャラ’(Kyara)がアイデンティティに取って代わる、例[71])、さまざまな形で展開しており、アイデンティティを論じるには多くの紙幅が必要となる。他方、多くの人々が自らの話す言語に基づいた帰属意識を持ち、それが集団間の摩擦・衝突や個人の孤立と結びついているという現実もある。本報告は後者を視野に置くものであるため、アイデンティティについては最小限の記述に留めた次第である。

その権利は情報伝達のサポート技術では保障されない。以下、このことを具体的に示す。

③　言語はどのように情報伝達のツール以上のものと言えるのか

言語には様々な面があり、言語の研究もそれぞれの面に応じて様々であるが、言語が情報伝達ツール以上の存在、より具体的には人間にその言語ならではの世界の認識法や思考法を与えるものであり、また人間の社会帰属意識の拠り所ともなるものであること、したがって他言語に完全には翻訳しきれず代替不可能であるということは、分野や学派を問わず広く認められている。以下、言語が情報伝達のルール以上の存在であり、他言語に翻訳しきれないことを、言語の意味面、音韻・音声面、社会的な面の三面にわたって示す。

ア　言語の意味面について

ここでは、世界の「切り分け方」と「創造」、さらに人間の思考に対する言語の影響を順に述べる。

（ア）世界の「切り分け方」は言語ごとに異なる

例えば、４辺の長さ、４つの角の大きさが全て等しい四角形を意味する語「正方形」のように、個々の語句が表す意味が完全に客観的に把握できる場合があることは言うまでもない。だが、多くの語の意味はそうではない。

例えば、虹の色が日本語では７色で表される一方、アメリカ英語では６色で表される。そしてデンマーク語では４色、ウェールズ語では３色で表されるように、「赤」や「橙」といった色彩語の数は言語ごとに違っている[72]。言語に色彩語が何語あるのか、各々の色彩語が、赤外線と紫外線で挟まれた色彩スペクトルのうちどこからどこまでかを担うかといったことは、客観的に決まっているわけではない。それぞれの個別社会ごとの諸事情に影響され、言語間でずれている。これは、ソシュールがそれ以前の言語観（言語とは既に決まっている事物に付けられた名前であるという言語命名論(nomenclaturism)）を批判した時点から現在に至るまで[73]、広く認められていることである[29]。このように、世界の「切り分け方」は言語ごとに異なるので、言語間翻訳はあくまで近似値でしかない。

[29] 例を挙げる：“Saussure was root and branch opposed to nomenclaturism, the view that a language consists of names whose function is to label independently identifiable objects or ideas. In opposition to this view, he insists that a language is a system of signs, and that the signifying features of a sign depend on its intralinguistic relations to other signs belonging to the same system rather than on its extralinguistic relations to pre-existing objects or ideas.” [Holdcroft 1991: 66][74]

そして、諸事情の中で特に無視できないのが文化的な事情である。ある魚が英語では“yellowtail”という一語で画一的に表される一方、伝統的に魚食文化を持つ日本社会では、同じ魚が成長に応じて「わらさ」「いなだ」「はまち」「ぶり」等に細分化されて呼び分けられるように、多くの語句の意味は個別言語社会の文化に影響されている。言語はそれぞれの社会の文化に基づいて世界を切り分けるものである。

意味の細分化を、当該言語の文化的側面と安易に結びつけることの危険性が指摘されてはいるが[30]、この指摘は言語と文化の結びつけ自体を否定したものではない。一部の細分化は今日においても、当該言語の文化的側面と関連するものと考えられている[31]。

（イ）世界は言語が「作って」いる

以上の例は、世界共通の客観的な事物（虹の色や魚）に対する各言語の「切り分け方」が一様でないことを示している。

だが、例えば中国語の“黄色”という語に、古くは高貴なイメージ、現代では猥褻なイメージが貼り付いているように、語句の意味は客観的な事物の切り分け（今の例なら色彩スペクトル上の一区画）という形で捉え切れるわけではない。

言葉の意味はむしろ、各時代・各地域の母語話者たちがその言語によって作り出すものである。したがって、他言語には翻訳できない。日本語の「侘び」「寂び」のような伝統芸術に関する語が、他言語では“wabi”や“sabi”とされ、翻訳が事実上放棄されているのは、そのことを示している。

これは伝統芸術に関する語に限ったことではない。例えば「ぼけっと（する）」という表現は、Frances Sanders 2014 [77]では他言語に翻訳できないとされている。「ぼけっと（する）」に限らず、オノマトペ（擬音語・擬態語）は日本語学習者にとって習得困難であることが日本語教育の分野では以前から知られている（例：獅子見 2016 [78]）。さらに、形容詞「かわいい」のように[32]、母語話者にとっては何気ない卑近な日常語であっても、実は他言語にない独自の概念を意味しているということは珍しくない。それぞれの言語は、他言語では表し難い機微や情感に

[30]「雪」に相当するイヌイット語の語彙数について、事実と異なる膨大な数が記されることがあったのは、無責任な文献引用とねつ造が繰り返されたためとされる。Pinker (1995)[75]を参照。

[31] 例を挙げる：“Some Inuit languages have many terms related to sea ice, and some Australian languages have well-developed terminologies for referring to types of sand. Both examples are clearly linked to the natural environment, but many other cases of lexical elaboration cannot be predicted based on the environment alone. For example, Hindi has many terms for love, and Yana, an indigenous language of Northern California, has many terms related to eyes and sight.” [Khishigsuren et al. 2025, 一部省略][76]

[32] 例えば Pellitteri (2018)[79]を参照。

満ちた、独自の世界を母語話者に提供している。

（ウ）人間の思考は言語の影響を受けている

言語の影響は、世界の表し方（切り分け方、作り方）にとどまらず、人間の思考にも影響を与えている。

一例を挙げれば、英語は、多くの名詞の複数形には語尾に接尾辞“-s”を付けるように（例：book - books)、「単数か、複数か」という数の区別を持つ言語である。他方、日本語は、多くの名詞を単数・複数の区別なく同じ形で表すが（例：書籍は１冊でも２冊でも「本」)、細長いものは「１本、２本」、膜状のものは「１枚、２枚」というように、ものの形状の区別を持つ言語である。そして、ものの数の区別を持つアメリカ英語の母語話者は、ものの個数に着目しやすい一方で、日本語と同様にものの形状の区別を持つユカテカ語（ラテンアメリカインディアンのマヤ語族の主要言語、 Yucatec language）の母語話者は、ものの形状に着目しやすいとされる（Lucy 1992 [80])。このように、言語が母語話者の思考にも多かれ少なかれ影響を与えるということは、従来から「言語相対仮説」「サピア＝ウォーフの弱い仮説」と呼ばれる。母語が話し手の思考を決定するという「言語決定説」と異なり、言語相対仮説は広く受け入れられている。

以上のように、言語の意味には客観的に捉えきれない、当該の言語ならではの部分がある。そこにこそ母語話者の情感が宿り、芸術が生まれる。さらに思考も個別言語の性質に影響される。

イ　言語の音韻・音声面について[33]

客観的には捉えきれない、当該の言語ならではの部分には、音韻・音声面も関わる。このことは、例えば石川啄木の短歌「ふるさとの　訛なつかし　停車場の　人ごみの中に　そを聴きにゆく」にも端的に現れていることである。

ウ　言語の社会的な面について

以上の意味面、音韻・音声面で述べたことにより、言語は、母語話者にとって、当該言語社会への帰属意識の拠り所となっている。これは、言語と、その言語が話される当該言語社会が、話し手の中では一体となっているということである。

[33] 音韻とは音声のタイプである。例えば「hake」と「hage」で意味がはっきり異なるのは（刷毛と禿)、日本語では音声「k」と音声「g」は音韻が別々だからである。中国語（共通語）では音声「k」と音声「g」は音韻が同一であるように、音韻のメンバーは言語ごとに異なる。

このことは、アイヌ語の復興にとって「空間」が重要とする前出・北原モコットゥナシ氏（北海道大学）の指摘と重なるところがある。明治期以降に日本語母語話者の北海道への流入が爆発的な勢いで増加した結果、アイヌ社会はアイヌだけの空間を維持できなくなり、日常生活のどこでもマイノリティという状態になっていき、アイヌ語は衰退の一途を辿ることになった。アイヌ語の復興のためには、「和人（日本語母語話者）が入らないアイヌだけの空間」つまり、アイヌ語だけが交わされるコミュニケーションの空間が必要であると北原氏は述べている[34]。

ある言語で話すとは、話し手にとっては、当該の言語社会に帰属する成員の一人として自身を再認識するという、アイデンティティに関わる行為である。「言語的少数者の問題は情報伝達のサポート技術で完全に解決できる」という考えは、この問題を伝達可能な、ごく大まかな意味内容のみに関わる問題と捉え、音韻・音声をも無視している点で、限界を持つと言わざるを得ない。

以上、言語が情報伝達のツールを超えた存在であることを、意味面、音韻・音声面、社会的な面の三面にわたって示した。これは、言語が他言語に翻訳しきれない、代替不可能な存在であるということでもある。

「自分の言語で生活する」とは、情報伝達を自分の言語で間に合わせるということにとどまらず、その言語社会固有の事物や概念の中で感じ考え、自己のアイデンティティを再確認することである。こうした生活の権利が脅かされ、奪われているという言語的少数者の問題は、情報伝達のサポート技術だけで根本的に解決することは難しい。

以上の認識も上記(1)と併せて広く社会に浸透させ、言語そのものの価値を尊重する社会認識への転換を図り、「翻訳や補助技術があれば十分」という発想から脱却する必要がある。

(3) 教育・行政・広報の三面からの取組

上記(1)(2)の理念と認識を社会に浸透させるには、教育、行政、広報の三面からの取組が求められる。

教育においては、言語の多様性や言語権に関する内容を学校教育の中に位置付けることが必要である。より具体的に述べれば、言語の多様性に関する内容を教育に位置付けるとは、日本語共通語を暗黙裡に教育の前提とするのではなく、日本語に様々な方言があり、日本社会に日本語とは異なる様々な言語の母語話者が存在するという現状をまず教育するということである。また、言語権に関する内容を学校教育に位置付けるとは、自分の言語で生活す

[34] 日本学術会議「言語・文学委員会」言語コミュニケーションと共生分科会（第 26 期・第 10 回、令和 7 (2025)年 12 月 7 日）での北原氏の報告「文化的ジェノサイドの問題としてアイヌ語を考える」

る権利が人間の権利として世界で認められており、日本語以外の言語を母語とする者もその例外ではないということ、さらに、この権利の侵害が、翻訳のみによっては解決しきれないということを教育するということである。

行政においては、今述べた言語権の理念を実現すべく、多言語対応や手話通訳の整備を単なる付加的サービスではなく、基本的な公共サービスとして位置付けることが求められる。

さらに広報においても、例えば学校・病院・役所など公共施設だけでなく商店や飲食店ごとの対応言語を地図上に表示する、災害時対応の言語ニーズも重ねて表示するといった方法で、日本社会の中に日本語（共通語）だけでなく多様な言語が存在するという現状を多くの国民がより理解しやすくなるよう、状況の可視化を進める必要がある。さらに、例えば多言語環境や言語的少数者の生活を描くドラマ・ドキュメンタリー作品の制作の支援等を通して、言語権の理念を普及・浸透させる必要もある。また、「日本語を軽視するのか」といった疑問に対しては「日本語重視」と「多言語対応」が対立しないことを示す、「コストがかかりすぎる」といった危惧に対しては「事故・トラブル回避のための投資」と説明するといった、反発への予防的な広報も並行して行い、社会全体の認識を変えていく必要がある。

(4)　付言―専門家に求められる啓発活動

本報告は日本政府に対して、言語権に関する理念の説明と啓発、教育・行政・広報での取組を求めるものだが、自治体、大学、学会による差別禁止宣言の状況（３に掲載）は、特に大学や学会の自律的な動きを期待させるものでもある。日本政府による理念や方針、規程の明示とともに、言語権専門家による啓発活動が求められることを付記しておく。

６　結論

日本社会において異なる背景を持つ人々が共に生きるためには、日本政府は「自分の言語で生活する権利（言語権）は全ての人間に保障されるべき基本的人権である」という理念を、国民に明確に説明し、広く啓発する必要がある。

さらに、「言語は単なる情報伝達のツールではなく、人間が思考、文化、アイデンティティを形成する基盤である」という認識を、上記の理念と併せて、社会に浸透させる必要がある。

上記の理念と認識を社会に定着させるため、教育・行政・広報の三面からの具体的な取組を通じて、言語の違いを前提とした制度設計と社会環境の整備を進めることが必要である。今後、日本社会が真に「共生」を実現するためには、言語の多様性を前提とした制度設計と社会認識の転換が不可欠である。そのための第一歩として、本報告が示した理念と認識の共有が広く進むことが求められる。

＜参考文献＞

月日が不明のものは年のみを記載している。Web ページの最終確認日は注２に記載のとおり令和８年９月 15 日である。

[1] 政府広報オンライン「事業者による障害のある人への『合理的配慮の提供』が義務化」令和７(2025)年９月 16 日.
https://www.gov-online.go.jp/article/202402/entry-5611.html

[2] 厚生労働省「地域生活支援事業における意思疎通支援を行う者の派遣等について」　平成 25(2013)年３月 27 日.
https://www.mhlw.go.jp/web/t_doc?dataId=00tb9187&dataType=1&pageNo=1

[3] 障害者権利委員会（第 27 会期)「日本の第１回政府報告に関する総括所見」Ⅲ B 45 項. 令和４(2022)年 10 月 7 日.
https://www8.cao.go.jp/shougai/suishin/seisaku_iinkai/pdf/data/r05/s2-8.pdf

[4] Allen, Thomas E., Amy Letteri, Song Hoa Choi & Daqian Dang. “Early visual language exposure and emergent literacy in preschool deaf children: Findings from a national longitudinal study.” *American Annals of the Deaf* 159(4), pp. 346-358, 2014.

[5] Sümer, Beyza & Aslı Özyürek. “Language use in deaf children with early-signing versus late-signing deaf parents.” *Frontiers in Communication* 6, pp. 1-14, 2022.
https://www.frontiersin.org/journals/communication/articles/10.3389/fcomm.2021.804900/full?utm_source=chatgpt.com

[6] Twomey, Tae, Cathy J. Price, Dafydd Waters & Mairéad MacSweeney. “The impact of early language exposure on the neural system supporting language in deaf and hearing adults.” *Neuroimage* 209. 2020. doi: 10.1016/j.neuroimage.2019.116411

[7] 中川裕「アイヌ語の現在と未来―危機言語の維持と復興」本田俊和他編『文化人類学研究 先住民の世界』14 章、東京：放送大学教育振興会、2005 年３月.

[8] Human Rights Committee “Consideration of reports submitted by states parties under article 40 of the covenant.” 2018 年 12 月 18 日 (CCPR/C/JPN/CO/5) .
https://digitallibrary.un.org/record/646529?ln=en&v=pdf

[9] 公益財団法人アイヌ民族文化財団「アイヌの人々の誇りが尊重される社会を実現するための施策の推進に関する法律」平成 31 (2019) 年.
https://www.ff-ainu.or.jp/web/overview/about/files/ainushisakusuishinhou.pdf

[10] EMRIP16 “Item 6 - Joint Statement from Two Indigenous Groups Ainu and Ryuku-Okinawa Japan.” 2023 年 7 月 19 日.
https://aippnet.org/emrip16-item-6-joint-statement-from-two-indigenous-groups-ainu-and-ryuku-okinawa-japan/

[11] 出入国在留管理庁「令和６年末現在における在留外国人数について」令和

７(2025)年３月 14 日.
https://www.moj.go.jp/isa/publications/press/13_00052.html
[12] 総務省「多文化共生の推進に関する研究会報告書～地域における多文化共生の推進に向けて～」平成 18(2006)年３月.
https://www.soumu.go.jp/kokusai/pdf/sonota_b5.pdf
[13] 外国人との共生社会の実現のための有識者会議「意見書～共生社会の在り方及び中長期的な課題について～」p. 28 令和３(2021)年 11 月.
https://www.moj.go.jp/isa/content/001359624.pdf
[14] 外国人との秩序ある共生社会の実現のための有識者会議「意見書」令和８(2026)年１月 14 日.
https://www.cas.go.jp/jp/seisakukaigi/gaikokujinzai/pdf/ikensho.pdf
[15] 庵功雄『やさしい日本語―多文化共生社会へ―』東京：岩波書店、2016 年８月 20 日.
[16] 庵功雄編著『「やさしい日本語」とその周辺―多様な広がりと進化する理念―』東京：ココ出版、2026 年３月３日.
[17] 内閣府障害者施策担当「障害者差別の解消の推進に関する地方公共団体の取組状況調査」p. 41, 令和７(2025)年８月.
https://www8.cao.go.jp/shougai/suishin/sabekai/pdf/region/r06-kekka.pdf
[18] 群馬県「群馬県多文化共生・共創推進条例」令和３(2021)年 10 月 20 日.
https://www.pref.gunma.jp/uploaded/attachment/11596.pdf
[19] 静岡県「静岡県多文化共生推進基本条例」平成 20(2008)年 12 月 26 日.
https://www.pref.shizuoka.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/054/860/johrei-tabunka.pdf
[20] 兵庫県「ひょうご多文化共生社会推進指針(改定)」令和３(2021)年３月.
https://web.pref.hyogo.lg.jp/sr13/documents/shisin2-2.pdf
[21] 宮城県「手話言語条例」令和３(2021)年３月 26 日.
https://www.pref.miyagi.jp/documents/7253/847374.pdf
[22] 岡山県「岡山県手話言語の普及及び聴覚障害、視覚障害その他の障害の特性に応じた意思疎通手段の利用促進に関する条例」令和４(2022)年３月 18 日.
https://www.pref.okayama.jp/uploaded/attachment/394889.pdf
[23] 広島県「広島県手話言語条例」令和７(2025)年９月.
https://www.pref.hiroshima.lg.jp/uploaded/attachment/639773.pdf
[24] 三重県「差別を解消し、人権が尊重される三重をつくる条例」第２条 令和４(2022)年５月 20 日.
https://www.pref.mie.lg.jp/JINKEN/HP/m0051700058.htm
[25] 独立行政法人日本学生支援機構(JASSO)「外国人留学生在籍状況調査」 令和７(2025)年４月.
https://www.studyinjapan.go.jp/ja/statistics/enrollment/data/25043010000.html
[26] 法政大学「法政大学ダイバーシティ宣言」2016 年６月８日.
https://www.hosei.ac.jp/hosei/daigakugaiyo/rinen/diversity/?auth=9abbb458a78210eb174f4bdd385bcf54
[27] 早稲田大学「早稲田大学ダイバーシティ推進宣言」2017 年７月１日.
https://www.waseda.jp/inst/diversity/about/mission-2/diversity_decla

ration/
[28] 中央大学「中央大学ダイバーシティ宣言」2017 年 10 月.
https://www.chuo-u.ac.jp/campuslife/diversity/declaration/
[29] 神奈川大学「神奈川大学ダイバーシティ宣言」2018 年 9 月 28 日.
https://www.kanagawa-u.ac.jp/aboutus/variouspolicies/diversity/
[30] 明治大学「明治大学ダイバーシティ＆インクルージョン宣言」2018 年 11 月 23 日.
https://www.meiji.ac.jp/koho/diversity-and-inclusion/index.html
[31] 立教大学「立教大学ヒューマン・ディグニティ宣言」2021 年４月８日.
https://www.rikkyo.ac.jp/news/2021/04/mknpps000001jk45.html
[32] 大阪大学「大阪大学ダイバーシティ＆インクルージョン（D&I）推進宣言」2021 年９月３日.
https://www.di.osaka-u.ac.jp/diversity-and-inclusion-declaration/
[33] 北海道大学「北海道大学 ダイバーシティ＆インクルージョン推進宣言」2021 年 12 月１日.
https://diversity.synfoster.hokudai.ac.jp/statement/
[34] 九州大学「九州大学 ダイバーシティ、エクイティ & インクルージョン 推進宣言」2022 年３月 14 日.
https://www.kyushu-u.ac.jp/f/47337/20220314_promotion_dei_jp.pdf
[35] 東北大学「東北大学ダイバーシティ・エクイティ＆インクルージョン(DEI)推進宣言―多様性と公正性を包摂する教育・研究・就労環境の実現のために―」2022 年４月５日. https://dei.tohoku.ac.jp/vision/about/
[36] 東京大学「「東京大学 ダイバーシティ＆インクルージョン宣言」制定について」2022 年６月 24 日.
https://www.u-tokyo.ac.jp/ja/about/actions/di01.html
[37] 名古屋大学「個人の尊厳を守り多様な個性を尊重する名古屋大学基本宣言」2018 年.
https://www.nagoya-u.ac.jp/about-nu/declaration/diversity/index.html
「東海国立大学機構ダイバーシティ、エクイティ、インクルージョン＆ビロンギング(Diversity, Equity, Inclusion & Belonging: DEIB) 推進宣言」2021 年.
https://www.nagoya-u.ac.jp/about-nu/declaration/deib/index.html
[38] 一橋大学「一橋大学ダイバーシティ・エクイティ＆インクルージョン推進宣言」2023 年３月 29 日. https://www.sankaku.ad.hit-u.ac.jp/dei/
[39] 慶応義塾大学「慶應義塾 協生環境推進憲章」2026 年４月 18 日.
https://www.diversity.keio.ac.jp/about/charter.html
「ダイバーシティ・エクイティ＆インクルージョン(DEI)の推進に関する基本方針」2023 年４月１日.
https://www.diversity.keio.ac.jp/diversity/policy.html
[40] 千葉大学「C-DEIB 推進宣言・C-DEIB 基本方針」2024 年９月 24 日.
https://www.gakuzyutsu.chiba-u.jp/about/c-deib/outline.html
[41] 京都大学「京都大学 DEIB 推進宣言」2025 年４月７日
https://www.deib.cwr.kyoto-u.ac.jp
[42] 日本学術協力財団・科学技術振興機構・日本学術会議『学会名鑑』Web 版 2017 年２月. https://gakkai.scj.go.jp/

[43] 言語系学会連合「会員学会リンク」
https://uals.net/aboutus/organization/
[44] 一般社団法人言語文化教育研究学会「倫理規程」第５条 2024 年５月９日.
https://alce.jp/dat/moral.pdf
[45] 社会言語科学会「社会言語科学会倫理綱領」第２条 2023 年 12 月 24 日.
https://www.jass.ne.jp/about/code-of-ethics/
[46] 朝鮮語教育学会「朝鮮語教育学会倫理綱領」第５条 2024 年 10 月 19 日.
https://jakle.sakura.ne.jp/code_of_ethics/
[47] 日本英語学会「日本英語学会倫理綱領」第２条 2022 年７月３日.
https://elsj.jp/%E6%97%A5%E6%9C%AC%E8%8B%B1%E8%AA%9E%E5%AD%A6%E4%BC%9A%E5%80%AB%E7%90%86%E7%B6%B1%E9%A0%98/
[48] 日本言語学会「日本言語学会倫理綱領」第３条 2021 年 11 月 19 日.
https://ls-japan.org/modules/documents/rules/15.pdf
[49] 日本語学会「日本語学会倫理綱領」第２条 2024 年４月１日.
https://www.jpling.gr.jp/wp-content/uploads/2024/04/rinri_koryo20240401.pdf
[50] 一般社団法人言語文化教育研究学会 「手話通訳者等利用費用助成に関する規定」 2019 年 7 月 22 日. https://alce.jp/dat/signed.pdf
[51] 社会言語科学会「大会参加時の手話通訳者利用費用補助金支給制度について」2026 年. https://www.jass.ne.jp/meeting/conference-next/sign/
[52] 日本音声学会「2025 年度 第 39 回日本音声学会全国大会」2025 年.
https://www.psj.gr.jp/jpn/wp-content/uploads/2025/07/2025PSJprogram.pdf
[53] 日本言語学会『言語研究』168 号彙報 p.176, 2025 年７月.
https://ls-japan.org/wp-content/uploads/2025/09/168_ihou_web.pdf
[54] 日本語学会「手話通訳、ノートテイキング等の利用の際の補助金制度について」2020 年８月３日. https://www.jpling.gr.jp/taikai/support/
[55] 公益社団法人日本語教育学会「春季大会発表・参加にかかわる手話通訳者等利用費用助成のご案内」2025 年.
https://www.nkg.or.jp/event/.assets/shuwa-josei2025spring.pdf
[56] 日本語文法学会 「ノートテイキング等の利用の際の補助について」
https://www.nihongo-bunpo.org/conference/support/
[57] 日本通訳翻訳学会「第 26 回年次大会」2025 年.
https://jaits.jp/meeting/new-meeting-04/
[58] 日本歴史言語学会「2017 年大会案内) 2017 年 11 月 10 日.
https://jp-histling.com/2017/11/10/2017convention-program/
[59] Skutnabb-Kangas, Tove & Robert Phillipson (eds.), in collaboration with Mart Rannut. *Linguistic Human Rights: Overcoming Linguistic*

Discrimination. Berlin; New York: Mouton de Gruyter, 1995.
[60] United Nations “Convention on the Rights of Persons with Disabilities (CRPD) 2006. https://social.desa.un.org/issues/disability/crpd/convention-on-the-rights-of-persons-with-disabilities-crpd
[61] United Nations “Action plan for organizing the 2019 International Year of Indigenous Languages.” 2018 年４月 16～27 日. https://docs.un.org/en/E/C.19/2018/8
[62] van der Berg, Willem, Anneke de Groot & Pieter Jansen. “Advances in cochlear implant technology for hearing restoration in children.” *International Journal of Otolaryngology Research* 2026 8 (1), pp. 40-46, 2026. https://www.doi.org/10.33545/26646455.2026.v8.i1a.83
[63] 高嶋由布子・伊藤理絵「ろう・難聴児の就学前教育と支援の現状と課題―社会性の発達に着目した“特別支援保育”のあり方の検討」『乳幼児教育・保育者養成研究』３, pp. 3-23, 2023 年３月. https://www.jstage.jst.go.jp/article/jecectet/3/0/3_3/_article/-char/ja
[64] 高嶋由布子・杉本篤史「人工内耳時代の言語権―ろう・難聴児の言語剥奪を防ぐには―」『言語政策』16, pp. 1-28, 2020 年３月. https://jalp.jp/wp/wp-content/uploads/2021/04/gengoseisaku16-takashima.pdf
[65] Gibson, W.P. “Opposition from Deaf Groups to the Cochlear Implant.” *Medical Journal of Australia* 155 (4), pp. 212－214, 1991. DOI: 10.5694/j.1326-5377.1991.tb142221.x
[66] 大平一枝『注文に時間がかかるカフェ―たとえば「あ行」が苦手な君に―』東京：ポプラ社、2024 年１月 11 日.
[67] Did I Stutter https://www.didistutter.org/
[68] 厚生労働省「看護師等によるＡＬＳ患者の在宅療養支援に関する分科会（第１回）」〈資料１〉平成 15(2003)年２月３日. https://www.mhlw.go.jp/shingi/2003/02/s0203-2a.html
[69] Erickson, Erik H. *Identity and the Life Cycle*. New York: International Universities Press, 1959.［エリク・H・エリクソン（著), 小此木啓吾（訳編), 小川捷之・岩田寿美子（訳)『自我同一性―アイデンティティとライフサイクル』［新装版］東京：誠信書房, 1982.］
[70] Ochs, Elinor. “Constructing social identity: A language socialization perspective.” *Research on Language and Social Interaction*, 26 (3), pp. 287-306, 1993.
[71] 岡本裕一朗『12 歳からの現代思想』東京：筑摩書房, 2009 年.
[72] Hjelmslev, Louis. *Omkring Sprogteoriens Grundlæggelse*. Copenhague:

Akademisk Forlag, 1943.（ルイ・イェルムスレウ（著），竹内孝次（訳）『言語理論の確立をめぐって』p. 65，東京：岩波書店，1985 年４月１日.）
[73] Saussure, Ferdinand de. *Cours de Linguistique Generale*. Edited by Charles Bally, Albert Sechehaye & Albert Riedlinger, Paris: Payot, 1916/1949.（フェルディナン・ド・ソシュール（著），小林英夫（訳）『一般言語学講義』東京：岩波書店，1972 年 12 月 22 日改版.）
[74] Holdcroft, David. *Saussure: Signs, System, and Arbitrariness.* Cambridge: Cambridge University Press, 1991.
[75] Pinker, Steven. *The Language Instinct: How the Mind Creates Language*. London: Penguin Books, 1995.（スティーブン・ピンカー（著），椋田直子（訳）『言語を生み出す本能』（上・下），東京：NHK ブックス，1995 年）
[76] Khishigsuren, Temuulen, Terry Regier, Ekaterina Vylomova & Charles Kemp.“A computational analysis of lexical elaboration across languages.” *Psychological and Cognitive Sciences* 122 (15), 2025 年４月 10 日. https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2417304122
[77] Frances Sanders, Ella. *Lost in Translation: An Illustrated Compendium of Untranslatable Words from Around the World*, Calif.: Ten Speed Press, 2014.（エラ・フランシス・サンダース（著）、前田まゆみ（訳）『翻訳できない世界のことば』東京：創元社，2016 年４月 11 日.）
[78] 獅々見真由香「日本語の会話におけるオノマトペの基本語彙選定―『BTS による多言語話し言葉コーパス』と『BTSJ による日本語話し言葉コーパス』を用いて―」『日本語教育』165，pp. 73-88，2016 年 12 月.
[79] Pellitteri, Marco. ″Kawaii aesthetics from Japan to Europe: Theory of the Japanese “cute” and transcultural adoption of its styles in Italian and French comics production and commodified culture goods.″ *Arts* 2018 7(3), 24, 2018 年７月. https://doi.org/10.3390/arts7030024
[80] Lucy, John A. 1992. *Grammatical Categories and Cognition: A Case Study of the Linguistic Relativity Hypothesis (Studies in the Social and Cultural Foundations of Language, 13)*. Cambridge: Cambridge University Press, 1992 年.

＜参考資料＞審議経過

令和６（2024）年

３月 20 日　言語コミュニケーションと共生分科会（第１回）
役員の選出、開催頻度、方針について

６月８日　言語コミュニケーションと共生分科会（第２回）
今後の活動計画について

８月９日　言語コミュニケーションと共生分科会（第３回）
表出案作成準備１　日本手話をめぐる状況について

９月 15 日　言語コミュニケーションと共生分科会（第４回）
表出案作成準備２　発達障害をめぐる状況について

12 月 21 日　言語コミュニケーションと共生分科会（第５回）
表出案作成準備３　共生のための演劇について

令和７（2025）年

２月９日　言語コミュニケーションと共生分科会（第６回）
表出案作成準備４　ひきこもり者をめぐる状況について

３月５日　言語コミュニケーションと共生分科会（第７回）
表出案作成準備５　コミュニケーションにおける不正義の諸相について

７月５日　言語コミュニケーションと共生分科会（第８回）
表出案作成準備６　吃音者をめぐる状況について
表出する意思を「提言」から「見解」に変更

７月 13 日　法学委員会「新たな人権の研究」分科会と連携

７月 23 日　社会学委員会価値とイノベーションの創発による福祉システム検討分科会と連携

９月７日　言語コミュニケーションと共生分科会（第９回）
表出案作成準備７　弱小方言（シマクトゥバ）、在日外国人をめぐる状況について

９月８日　法学委員会社会と教育における LGBTI の権利保障分科会包括的反差別法検討小委員会と連携

12 月７日　言語コミュニケーションと共生分科会（第 10 回）
表出案作成準備８　アイヌ語をめぐる状況について

令和８（2026）年

４月６日　言語・文学委員会　査読

６月１日　第一部　査読

９月 14 日　科学的助言等対応委員会　審議

９月 17 日　表出する意思を「見解」から「報告」に変更

報　　告

ネイチャーポジティブを実装可能にする生態科学：定義・指標・ミティゲーションヒエラルキー、そしてネイチャーファイナンス

令和８年（２０２６年）９月２８日

日　本　学　術　会　議

統合生物学委員会・基礎生物学委員会合同

生態科学分科会

この報告は、日本学術会議統合生物学委員会・基礎生物学委員会合同生態科学分科会の審議結果を取りまとめ公表するものである。

日本学術会議統合生物学委員会・基礎生物学委員会合同生態科学分科会

委員長	森　章	（連携会員）	東京大学先端科学技術研究センター（農学生命科学研究科兼担）教授／横浜国立大学総合学術高等研究院客員教授
副委員長	石川　麻乃	（連携会員）	東京大学大学院新領域創成科学研究科教授
幹　事	中野　伸一	（連携会員）	京都大学生態学研究センター教授
幹　事	藤井　一至	（連携会員）	福島国際研究教育機構 土壌ホメオスタシス研究ユニットユニットリーダー
	北島　薫	（第二部会員）	京都大学名誉教授
	伊東　明	（連携会員）	大阪公立大学大学院理学研究科教授
	巌佐　庸	（連携会員）	九州大学名誉教授
	大手　信人	（連携会員）	京都大学大学院情報学研究科教授
	鏡味　麻衣子	（連携会員）	横浜国立大学大学院環境情報研究院教授
	佐竹　暁子	（連携会員）	九州大学大学院理学研究院教授
	塩尻　かおり	（連携会員）	龍谷大学教授
	高田　まゆら	（連携会員）	中央大学理工学部人間総合理工学科教授
	辻　和希	（連携会員）	琉球大学農学部教授
	徳地　直子	（連携会員）	京都大学フィールド科学教育研究センター教授
	中丸　麻由子	（連携会員）	東京科学大学環境・社会理工学院教授
	橋本　禅	（連携会員）	東京大学大学院農学生命科学研究科（未来ビジョン研究センター兼任）教授
	深町　加津枝	（連携会員）	京都大学大学院地球環境学堂准教授
	安田　仁奈	（連携会員）	東京大学大学院農学生命科学研究科教授
	吉田　丈人	（連携会員）	東京大学大学院農学生命科学研究科教授

本報告の作成に当たり、以下の方々に御協力いただいた。

角谷　拓	国立環境研究所 生物多様性領域室長
梶川　裕矢	東京大学未来ビジョン研究センター教授
栗山　浩一	京都大学大学院農学研究科教授
近藤　倫生	東北大学大学院 生命科学研究科教授
田中　雄揮	東京大学先端科学技術研究センター特任専門職員

中村　圭吾　　土木研究所 流域水環境研究グループ グループ長
西澤　啓太　　東京大学先端科学技術研究センター助教
廣野　聡一郎　東京大学先端科学技術研究センター特任専門職員
藤本　悠司　　東京大学先端科学技術研究センター連携研究員

本報告の作成に当たり、以下の職員が事務を担当した。

郷家　康徳　　参事官（審議第一担当）
加瀬　博一　　参事官（審議第一担当）付参事官補佐
増田　能伸　　参事官（審議第一担当）付審議専門官

要　　旨

１　作成の背景

生物多様性の損失は気候変動と並ぶ地球規模の危機であり、企業・金融・政策の各領域で「ネイチャーポジティブ（Nature Positive、自然再興）」が社会目標として広がっている。本報告では、ネイチャーポジティブを、自然の損失を止めて反転させ、回復を目指す社会目標として扱う。これは、2022年に採択された昆明・モントリオール生物多様性枠組（Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework; KM-GBF）の2030年ミッション「生物多様性の損失を止め、反転させ、自然を回復軌道に乗せること」と方向性を共有する。国内でも、生物多様性国家戦略2023-2030が「2030年のネイチャーポジティブの実現」を掲げ、2025年４月１日には、企業や自治体等の地域活動を促進する「地域における生物の多様性の増進のための活動の促進等に関する法律」（令和６年法律第18号。以下、地域生物多様性増進法）が施行された。

本報告では、2017年の日本学術会議統合生物学委員会生態科学分科会の報告「生態学の展望」以降の生態科学の発展を踏まえるとともに、報告「持続可能な森林管理における現状と課題」（2023年）及び報告「サステナブル投資による産業界のインパクト」（2023年）、提言「第７期科学技術・イノベーション基本計画に向けての提言」（2024年）における関連論点を引き継ぎ、ネイチャーポジティブを生態学の観点から整理する。

２　現状及び問題点

個々の取組が自然の損失を食い止め、回復に結び付いたかを、共通の方法で測定・報告し、その結果を検証できる仕組み（測定・報告・検証：Measurement, Reporting and Verification; MRV）は、まだ十分に整っていない。また、事業による影響をまず避け、次に小さくし、損なわれた自然を回復し、それでも残る影響だけを別の保全で補うという優先順位が、地域制度や企業・金融の意思決定に十分組み込まれていない。以上を踏まえ、本報告は、国・自治体、企業・金融機関、地域団体・市民、研究者に共通する科学的な考え方と要件を示す。

３　報告の内容

(1) 取組の成果を検証するには、比較の出発点となる自然の状態を明示し、自然変動や測定誤差も考慮する必要がある。介入の効果や損失回避を評価する場合には、必要に応じて、取組を行わなかった場合の状態を比較対象として設定する。

(2) 生物多様性は一つの数値だけでは評価できない。生物や生態系の状態を主な指標とし、悪化の原因と、社会が講じた対策を補助的に確認する。特に、里山や半自然草地のように人の管理によって維持される自然では、管理の減少や不足そのものが劣化要因となり得るため、こうした状態変化を適切に評価する必要がある。こうした課題への対応を、国際的な測定・評価方法の改善に対する我が国からの貢献として

位置付ける。

(3) 開発や事業の影響に対しては、まず影響が生じないように立地や計画を見直し、次に影響を小さくし、損なわれた自然を現地で回復する。それでも残る影響に限って、別の場所での保全による埋め合わせ（代償）を検討する。この「回避→最小化→復元→代償」の優先順位をミティゲーションヒエラルキーという。特に、重要な生態系や不可逆的な影響が想定される場所について、開発等を避けるべき区域や条件をあらかじめ明確にする国・自治体の役割が重要である。

(4) 生物多様性・生態系の保全と回復に資金を配分する仕組みでは、成果を測定・報告し、検証可能性を確保するとともに、見せかけの環境対策や制度の濫用を防ぐ要件を整えることが重要である。一方、質の高い自然を損なわずに守る行動は、劣化した自然の回復に比べて成果を変化量として示しにくく、十分に評価されない場合があり、その仕組みを整えることが必要である。

(5) 地域生物多様性増進法に基づく認定制度を実効的に機能させるには、認定時だけでなく、その後も自然の状態と管理の継続を追跡する必要がある。そのため、共通の測定・記録方法、データの長期的な保管と利用条件の明示、検証可能性の確保、専門人材の育成が重要である。必要に応じて、第三者がデータや分析を検証できる仕組みを整えることも求められる。

(6) 観測は、専門家による現地調査や市民調査と、衛星観測、環境 DNA、音響・カメラ等の技術を、それぞれの特性に応じて組み合わせ、データ管理、検証、意思決定までを一つの仕組みとして設計する必要がある。観測条件、記録項目、観測努力量、誤差・品質情報を共通の形式で記録することで、地域や主体が異なる取組を比較し、長期的な変化を確かめられる。この仕組みにより、回復後の変化を継続的に確認できるほか、具体的な劣化の脅威があり対応を行う場合には、適切な比較対象と組み合わせて損失回避の効果を評価することもできる。専門家は、導入時に観測結果と実際に生息する生物の種類や構成との対応を確かめ、その後も必要に応じて再確認することができる。一方、日常の反復観測は、標準化した作業として企業や地域団体も担うことができる。これにより、専門家の関与を観測設計や品質管理に重点化しながら、費用と人員の負担を抑えて長期観測を継続できる。

(7) 国は共通基準とデータ基盤を整え、自治体は保全すべき場所を地域計画に位置付け、企業・金融機関は影響の回避を優先して意思決定や資金配分に反映し、市民・地域団体は管理と観測を支え、研究者は観測設計、測定・検証手法、不確実性評価を支える。こうした役割分担により、自然を守る行動への資金配分、制度間の比較、成果に応じた継続的な改善へとつながる。さらに、生態学と経済学・政策科

学・社会科学を統合する「ネイチャーポジティブ科学」を発展させ、我が国の二次的自然、管理不足による劣化、長期観測の知見を国際的な標準形成につなげることが重要である。

目　　次

１　背景：なぜ今ネイチャーポジティブか …… 1
⑴ 国際枠組み（KM-GBF）が示した「2030 ミッション」 …… 1
⑵ 我が国の生物多様性国家戦略（2023-2030）とネイチャーポジティブ …… 3
⑶ ビジネス・金融部門の動向：任意開示から制度開示へ …… 3
２　基本原則：ミティゲーションヒエラルキーと適応的管理 …… 5
⑴ なぜ回避が最重要か：ミティゲーションヒエラルキーの定義と原則 …… 5
⑵ ミティゲーションヒエラルキーを地域・事業・金融に共通化する …… 6
⑶ 意思決定フロー：測定・報告・検証と適応的管理 …… 7
⑷ 代償（オフセット）を適用する際の要件 …… 7
３　ネイチャーポジティブの定量化と可視化 …… 8
⑴ ネイチャーポジティブの実現状況を捉える３つの要素 …… 8
⑵ 「生物多様性」の可視化と「ネイチャーポジティブ」指標束の考え方 …… 8
⑶ 基準状態と比較対象 …… 9
４　モニタリング体系と測定・報告・検証要件 …… 12
⑴ ネイチャーポジティブを検証するためのデータの統合 …… 12
⑵ 測定・報告・検証の３つの設計原則、二層構造と最小要件 …… 12
⑶ 測定・報告・検証における留意点 …… 14
⑷ 観測技術の役割分担と継続運用 …… 15
５　社会・ビジネスへの適用 …… 18
⑴ 陸域・陸水域・海域の利用変化に関わる事業 …… 18
⑵ 生物資源の利用・汚染に関わる事業 …… 18
６　ネイチャーファイナンスの実現 …… 19
⑴ 資金手段に共通する考え方 …… 19
⑵ 各資金手段への適用 …… 20
⑶ 生物多様性クレジットの利用条件 …… 20
７　我が国における社会実装 …… 22
⑴ 生態系評価課題：二次的自然 …… 22
⑵ アンダーユース型自然劣化へのミティゲーションヒエラルキーの適用 …… 23
⑶ 地域実装の制度：地域生物多様性増進法と「自然共生サイト」 …… 24
⑷ 我が国の生物多様性総合評価（JBO）と指標基盤の整備 …… 25
８　優先課題（研究・制度・実務の乖離）と今後の論点 …… 26
⑴ 直近の優先課題 …… 26
⑵ 研究・実装上の今後の論点 …… 26
⑶ 異論・懐疑論への公平な対応 …… 27
⑷ 国内外での継続的な社会実装への接続 …… 27

付録

＜用語の説明＞ …… 29
＜参考文献＞ …… 30
＜参考資料＞ 審議経過 …… 34

１　背景：なぜ今ネイチャーポジティブか

「ネイチャーポジティブ」という語で提示される、生物多様性の保全と回復が国際的に重要な共通テーマとなっている。第１章では、ネイチャーポジティブという社会目標が、国際枠組み、我が国の国家戦略、地域戦略、そしてビジネス・金融の各領域でどのように位置付けられてきたかを概観する。その上で、本報告が扱う課題がどこにあるかを示す。なお、本報告では「ネイチャーポジティブ」を、自然の損失を止めて反転させ、回復を目指す社会目標として用いる。また、本報告で述べる「社会実装」とは、その目標を実現するための原則、指標、モニタリング及び測定・報告・検証が、政策、地域計画、企業・金融、市民・地域活動の意思決定と継続的な行動に組み込まれることをいう。

(1) 国際枠組み（KM-GBF）が示した「2030 ミッション」

生物多様性の国際的な枠組み形成は、気候変動対策と並行して進展してきた。1992 年リオデジャネイロで開催された各国首脳会議（いわゆる、地球サミット）では、生物多様性条約（Convention on Biological Diversity; CBD）が採択された。しかし、その後の取組は気候変動対策に比べて遅れた。気候変動対策は、温室効果ガスという共通の指標で数値化しやすく、また大気を通じて世界全体がつながっているため、早期から制度化が進んだ。これに対し生物多様性は、構成要素が多く、地域ごとに異なり、変化も捉えにくい。そのため、共通の測定・評価方法を整えること自体が難しかった。しかしながら近年、リモートセンシング、DNA 分析、人工知能（Artificial Intelligence; AI）解析等の科学技術が発展し、生物多様性に関する定量的なデータ取得と継続的なモニタリングが可能になってきた[1]。

生物多様性の保全は気候変動緩和にも貢献し得る。植物の多様性が失われると陸域の炭素貯留量が減少すると推定されており、生物多様性の保全と炭素吸収の維持は多くの場合両立する。ただし、その効果の大きさは生態系や地域によって異なる[2][3]。さらに、生物多様性及び生態系サービスに関する政府間科学-政策プラットフォーム（Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services; IPBES）は、2024 年に「ネクサス評価」を公表した。同評価が気候変動・生物多様性・水・食料・健康の相互作用を科学的に評価したことで、環境問題の同時解決の必要性が国際的に認識されるに至った[4]。

2010 年の CBD 第 10 回締約国会議（COP10）で採択された愛知目標（2011-2020 年）の達成度は限定的であり[5]、2019 年 IPBES 地球規模評価は「約 100 万種が絶滅危機」と警告した[6]。2020 年の世界経済フォーラム報告書[7]、英国財務省によるダスグプタレビュー[8]に代表される多くの経済報告書では、世界 GDP の約半分（44 兆米ドル）が自然資本に依存し、生物多様性損失が経済システムの重大リスクであることが強調されている。この認識を踏まえ、2022 年の CBD 第 15 回締約国会議（COP15）で昆明・モントリオール生物多様性枠組（Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework; KM-GBF）が採択された。同枠組みでは、ビジネスによる生物多様性への影響評価・情報開示が求められている。

KM-GBF は、2050 年ビジョンと 2030 年ミッションを明示し、「生物多様性損失を止め反転させ、自然を回復軌道に乗せる」ことを 2030 年までの緊急行動として掲げる[9-11]。なお、KM-GBF の採択文書では「ネイチャーポジティブ（Nature Positive）」という語を正式な目標名としては用いていない。しかしながら、「ネイチャーポジティブ」は、この 2030 年ミッションと方向性を共有しつつ、主として政策・ビジネス・金融の領域で広がってきた社会目標・実践概念であるため、本稿ではこの語を使用する。KM-GBF の枠組みの中で採択された 23 の行動目標は、保護区拡大だけでなく、土地利用、汚染、侵略的外来種、気候変動対策を含む包括的な変革を要請している（空間計画、30%の劣化地回復、30%の土地と水域の保護、持続可能な農林水産等）。特にターゲット 18 及び 19 は、2030 年までに生態系や環境に悪影響を与えうる補助金を年間 5,000 億米ドル削減し、生物多様性関連の公的・民間資金を年間 2,000 億米ドルに拡大することを目標としている。現在の資金水準との乖離は年間約 7,000 億米ドルと推計されており[12-13]、これが埋まらない限り、他の目標達成も困難と見られている。このような文脈において、ネイチャーポジティブは保全倫理の問題だけでなく、企業や金融機関が自然への依存・影響を事業リスクとして把握し、どの事業や活動に資金を配分するかという経済上の意思決定の問題として扱われるようになっている。

生物多様性損失が財政リスクとして現実化する経路も明らかになりつつある。例えば、米国の農村郡を対象とした分析では、白鼻症候群というコウモリに致死的な真菌感染症によってコウモリ個体群が減少し、農地でコウモリが害虫を捕食することによる防除機能が弱まった。その結果、農村郡の固定資産税収が約 16%減少し、地方債の上乗せ金利が約 0.115 ポイント上昇したことが報告されている[14]。この結果は、生態系サービスの喪失が地方政府の歳入や借入コストに波及し得ることを示しており、保全活動を財政リスク管理や投資判断と結び付ける可能性を示す実証例となっている。

国際的には、IPBES が 2026 年２月に、企業活動・金融と生物多様性の関係を扱う「ビジネスと生物多様性評価報告書」（以下、IPBES ビジネス評価報告書）を承認・公表した。なお、気候変動対策との関係については、日本学術会議提言「気候危機に対処するための産官学民の総力の結集－循環経済を活かし自然再興と調和する炭素中立社会への転換－」（2025 年 10 月 27 日）が、カーボンニュートラル・循環経済・ネイチャーポジティブの同時達成を政策的に求めている。本報告は、その生態科学的基盤を提供することを意識している。IPBES ビジネス評価報告書は、次の二点を指摘している[15]。第一に、自然を損なう資金の流れが、生物多様性の保全・回復に向かう資金を大きく上回っていること。第二に、企業による生物多様性影響の開示が依然として限定的であり、その背景に、自然と事業活動の影響を分析するための基礎データの不足と、事業活動の中で実施可能な継続的モニタリング体制や測定・評価手法の不足があることである。

(2) 我が国の生物多様性国家戦略（2023-2030）とネイチャーポジティブ

我が国の生物多様性国家戦略 2023-2030（第六次戦略）は、KM-GBF 採択を受けた国家

戦略の改定要請を踏まえつつ、閣議決定（2023年３月31日）として位置付けられ、「2030年のネイチャーポジティブの実現」を明確に掲げている[16]。この国家戦略は、ネイチャーポジティブへの取組を明示し、状態目標・行動目標と、その進捗を評価する指標群を設定している。一方、「ネイチャーポジティブをどう測るか」「どの空間スケールで、どんなデータで検証するか」をめぐり、研究・行政・企業・地域の共通基盤を整えることは、本報告が扱う重要な課題である。

生物多様性国家戦略2023-2030の実施状況の中間評価は、2026年２月に公表された[17]。KM-GBFは、2030年までに陸域と水域の30%を有効な保護下に置く目標（30by30）を掲げている。ここでいう保護には、保護地域に加え、保護地域以外で生物多様性保全に資する地域（Other Effective area-based Conservation Measures；OECM）が含まれる。上記の中間評価によれば、我が国における達成状況は、陸域が約21%（保護区・自然共生サイト合計）、海域が13.3%にとどまっている[17]。ただし、生態学的にはこの数字が何を意味するかを精査する必要がある。面積の達成は保全の質を保証するものではなく、OECMとして認定された自然共生サイト[1]については、認定後の管理継続性、生態系の状態変化、及び生物多様性への実質的な貢献を独立した指標で追跡することが不可欠である。

生物多様性及び生態系サービスの総合評価（Japan Biodiversity Outlook；JBO）は、その第３版であるJBO3が2021年に公表されている[18]。これに続くJBO4に向けた中間提言[19]では、「測定可能な生物多様性の状態」の基盤データが依然として脆弱であることが指摘されている。特に、都市緑地、河川、湿原、藻場、干潟、生態系ネットワーク等の状態を測る指標やデータが不足している。

(3) ビジネス・金融部門の動向：任意開示から制度開示へ

ネイチャーポジティブの実現には、自然資本への影響・依存が大きいビジネス・金融部門においても行動変容が必要とされる。国際的には、ビジネス・金融部門が自然関連リスクを把握・開示する枠組みとして、自然関連財務情報開示タスクフォース（Taskforce on Nature-related Financial Disclosures；TNFD）がある。TNFDが2023年９月に公表した最終提言（v1.0）は、企業が事業活動における自然への依存と影響を把握し、投資家へ開示することを推奨している[20]。その具体的な手順として、自然との接点を特定する（Locate）、依存と影響を評価する（Evaluate）、リスクと機会を分析する（Assess）、対応と開示を準備する（Prepare）というLEAPアプローチが示されている。我が国では、2026年２月時点で賛同企業数が210社に達し、国別で世界最多となっている。今後は、賛同企業数だけでなく、取組の効果を継続的に測定し、開示内容の質を高め、事業活動における実際の行動変容につなげることが重要である。

---

[1] 民間などの取組によって生物多様性の保全が図られている場所として国が認定する区域。2030年までに陸域と水域の30%を保全する国際目標「30by30」を達成するために作られた仕組みで、認定された場所のうち、保護地域との重複を除く区域はOECMの国際データベースに登録される。

他方で、TNFD の開示枠組みは任意となっており、企業間の比較可能性や開示の網羅性には限界がある。IFRS 財団（国際財務報告基準財団）[2]の下にある ISSB（国際サステナビリティ基準審議会）[3]は、IFRS S1・S2 を基礎に、2026 年に自然関連リスク・機会に関する開示要件の標準設定を進めている[21-22]。これは、任意開示からルール化された開示（制度開示）への移行を示す動きの一つである。欧州では企業サステナビリティ報告指令（CSRD）[4]により、大企業に対する非財務情報の開示義務化が法規制と制度によって段階的に始まっている[23]。また、ISSB が財務的影響の開示を重視するのに対し、社会・環境への影響をより重視する枠組みもある。グローバル・レポーティング・イニシアティブ（Global Reporting Initiative; GRI）[5]は 2024 年に生物多様性専用の非財務影響開示基準「GRI 101: Biodiversity」を策定、2026 年 1 月に発効した[24]。

情報開示の制度整備は重要な第一歩であるが、開示だけでネイチャーポジティブが実現するわけではない。開示された情報が、経営、立地選定、調達、製品設計等の意思決定に使われ、企業行動の変容につながることが必要である。具体的な経路には、バリューチェーン上の調達・供給・操業、事業戦略やビジネスモデル、融資・投資・保険の審査、認証制度や企業の評判を通じた消費者行動、生物多様性クレジット（保全・回復による改善を一定の単位として認証し、保全活動等へ資金を流す仕組み）の市場、公共調達等がある。TNFD は、企業に対して原材料の調達から製造・流通までを含むバリューチェーン全体の自然への依存と影響を把握するよう求めている。しかし、関係主体が多く複雑なバリューチェーンでは、中小企業を含む関係者から必要な情報を集めることが難しい。この課題に対しては、製品やサービスの原材料調達から廃棄・リサイクルまでの環境負荷を評価するライフサイクル・アセスメント（LCA）等を活用し、バリューチェーン全体で対策を評価・実施する体制を整える必要がある。

[2] 世界共通の会計基準やサステナビリティ開示基準の策定を担う民間の非営利組織

[3] 企業が環境や社会等のサステナビリティ情報を発表する際の世界共通のルールを作るための国際的な組織。IFRS 財団によって設立

[4] 環境、社会、ガバナンスに関する情報の開示を企業に義務付ける欧州連合（EU）の指令。対象は EU 域内の大企業や上場企業、及び一定の条件を満たす EU 域外の主要企業等で、信頼性の高いデータの公表と第三者による保証が要請される。

[5] 企業や組織が環境、社会、経済に与える非財務の影響（インパクト）を透明性高く報告するための国際基準を策定する国際非営利団体

２　基本原則：ミティゲーションヒエラルキーと適応的管理

第２章では、ビジネス・金融部門におけるネイチャーポジティブへの取組の原則の考え方となる「回避→最小化→復元→代償」という優先順位を示す。この優先順位を含む基本的枠組みを、以降「ミティゲーションヒエラルキー（影響緩和の階層）」という。なぜ回避が最も重要なのか、それを地域・事業・金融にどう共通化するか、実施に当たっての意思決定フローと目標と途中経過に乖離が生じた場合の「適応的管理」、代償の濫用の防止について順に述べる。これらの実施に不可欠となる測定や評価については、続く２つの章で述べる。

(1) なぜ回避が最重要か：ミティゲーションヒエラルキーの定義と原則

ミティゲーションヒエラルキーは、開発や事業が生物多様性及び生態系サービスに及ぼす影響を管理するための基本的枠組みである。一般に、「回避（Avoid）」→「最小化（Minimize）」→「復元・修復（Restore / Rehabilitate）」→「代償（Offset / Compensate）」の優先順位で検討・実施される。近年は、残余影響の相殺に加え、より広い自然再興への「貢献（Contribute）」を含む議論もみられる。ただし国際的なガイダンスにおいては、代償は回避・最小化・復元を尽くした後に残る「残余影響」に対する最後の手段として位置付けられている（図１）。

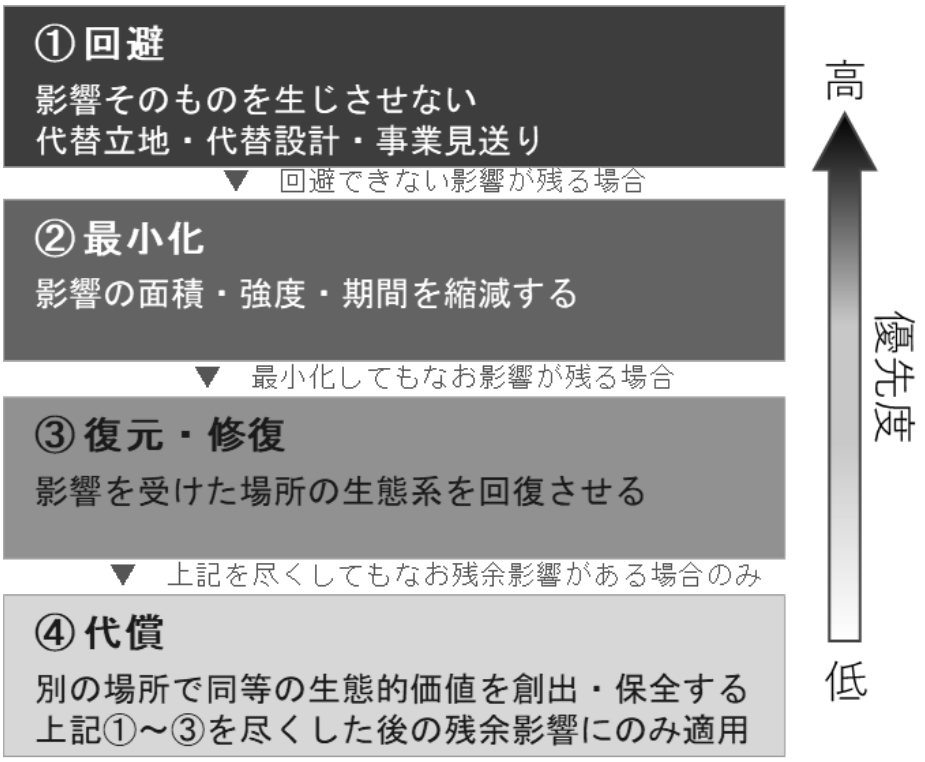


図１　ミティゲーションヒエラルキーの優先順位（概念図）※ 分科会で作成

生態科学の観点から回避が最優先となるのは、絶滅や代替不能な生息地・生物間相互作用の喪失は不可逆的であり、復元が成功しても機能回復には時間遅れが生じ、さらに代償が他地域で行われる場合には局所的な連結性、在来性、景観の歴史性や文化

的価値が失われうるからである[25]。

回避の優先性は生態科学的な要請であるにとどまらず、社会全体の経済的厚生の観点からも合理的である。質の高い生態系を保護・維持する回避行為は、劣化した生態系の復元に比べてコストが低く、不確実性も小さい。復元プロジェクトは成功確率が低く、機能回復には数十年を要することがある。代償に至っては、空間的ずれとタイムラグにより、損失した生物多様性の価値が実質的に回収される保証はない。したがって、ミティゲーションヒエラルキーの順守は、環境配慮義務であると同時に、リスク管理と長期的な資本効率の観点から合理的な意思決定原則である。回避の価値を制度・金融の文脈で適切に評価するためには、まず保護・維持されている生態系の状態そのものを捉えることが重要である。さらに、具体的な開発や劣化の脅威がある場合には、必要に応じて、その脅威が回避されなかった場合を比較対象として、回避された損失を評価することができる。こうした評価には、観測努力量や手法の違いを考慮した継続的なモニタリングが重要となる。観測バイアスを除去した長期モニタリングデータがなければ、回避による便益は見えないままとなり、資金が回避よりも「測りやすい復元」へと流れる構造的な歪みが生じる。

(2) ミティゲーションヒエラルキーを地域・事業・金融に共通化する

ネイチャーポジティブを実装する際、ミティゲーションヒエラルキーは、異なる主体や場面をつなぐ共通言語として機能しうる。横断的生物多様性イニシアティブ（Cross-Sector Biodiversity Initiative; CSBI）[6]は、これを単なる環境配慮手順ではなく、事業者のリスク管理と意思決定の枠組みとして位置付けている[26]。本報告が重視する適用領域は三つある。第一に、自治体の地域計画や自然共生サイト等の地域実装。第二に、立地選定・設計・施工・管理からサプライチェーンまでを含む事業実施。第三に、融資・投資・財政的補助・保険等の金融配分である。これらを同じミティゲーションヒエラルキーという原理で束ねることによって、ネイチャーポジティブを具体的な意思決定原則として社会実装に埋め込むことが可能になる。ただし、個別の事業主体がこの優先順位を自発的に順守するだけでは、回避の実現には限界がある。とりわけ回避については、重要な生態系や不可逆的な影響が想定される場所について、開発等を避けるべき区域や条件をあらかじめ明確にしておくことが重要である。環境影響評価や空間計画において回避を優先し、公的主体が景観全体を見据えた意思決定の枠組みを整えることは、個別事業における回避を実効的にする上で重要である。欧州では自然回復法（Nature Restoration Law）が生態系回復の義務的目標を設けており、復元を制度的に担保する先行事例として参照できる[27]。個別事業者への経済的インセンティブは、こうした制度的基盤があってはじめて有効に機能する。

---

[6] 採掘産業等における生物多様性保全を目的とした国際パートナーシップ。10 年間の活動を経て 2024 年末に終了し、成果物を国際石油産業環境保全協会（IPIECA）等の関係機関に引き継いだ。

⑶ 意思決定フロー：測定・報告・検証と適応的管理

ミティゲーションヒエラルキーに基づく意思決定は、まず直接影響・間接影響・累積影響の範囲を特定することから始まり、次いで代替立地や代替設計、場合によっては事業の見送りを含む回避を最優先に検討する。その上で、影響の面積・強度・期間を縮減する最小化、原則として現地での復元・修復を優先し、そして回避・最小化・復元を尽くした後に残る影響に限って代償へと進む。

各段階においては、「測定」により定量把握及び評価がなされ、「報告」により測定結果が意思決定に反映され、「検証」により目標との比較がなされる必要がある。検証の結果、成果と目標との間に負の乖離が見込まれれば、目標を達成するための設計や管理に修正を加え、その結果を再度「測定」するというサイクルに継続的につなげていく必要がある。このサイクルを「適応的管理」といい、特に最小化、復元、代償の段階では必要とされる。

⑷ 代償（オフセット）を適用する際の要件

ミティゲーションヒエラルキーにおいて重要なのは、最初から代償（オフセット）を前提にせず、まず影響そのものを避けられないかを検討し、その後に最小化、復元、代償へ進むことである。避けられない影響について代償を検討する場合にも、安易な代償の選択を防ぐため、その適用範囲と要件を明確にする必要がある。本報告では、最低限の要件として次の四点を整理する。

- 回避・最小化・復元の十分性が説明されない限り、代償に進まないこと
- 絶滅リスクや代替不能な生息地・生物間相互作用の喪失のような不可逆的影響は、原則として回避の対象とすること
- 時間遅れと空間的ずれを評価すること
- 成功確率と失敗リスクを織り込み、計画上の改善を過大評価しないこと

最終的な目的は、代償の濫用を防ぐことにとどまらず、回避を経済的にも合理的な選択肢として機能させることにある。回避へのインセンティブが存在しない限り、事業者は回避よりも安価な代償を選び続ける。この空白を埋めるには、回避行為を直接評価・認証し、融資条件の改善や保険料率の引き下げ等と結び付ける仕組みが求められる。その科学的根拠としては、事業が実施される前の対象地の生態系の状態を評価し、具体的な開発や劣化の脅威がある場合には、必要に応じて、その脅威が回避されなかった場合の状態も比較対象として評価する。なお、これまでの生物多様性オフセットの実証研究をレビューした知見によれば、代償の採用された多くの事例で生物多様性の純損失の無い状態（ノーネットロス）が実現できておらず、代償が必ずしも有効とは限らないことが示されている[28]。こうした知見を踏まえ、代償を適用する際には、その範囲と条件を慎重に設定する必要がある。

３　ネイチャーポジティブの定量化と可視化

ミティゲーションヒエラルキーに基づくネイチャーポジティブの取組では、その実現状況を継続的に測定・報告・検証（MRV）し、結果に応じて取組を修正する適応的管理が重要である。そのためには、生物多様性の状態そのものを把握するとともに、その変化をもたらす圧力や社会の応答も併せて評価する必要がある。第３章では、ネイチャーポジティブの実現状況を捉えるための三つの要素、生物多様性の状態を定量化・可視化するための指標、及び評価の基準について示す。

(1) ネイチャーポジティブの実現状況を捉える３つの要素

本報告では、ネイチャーポジティブの実現状況を、状態（State）、圧力（Pressure）、応答（Response）の三つの側面から把握する。「状態」とは、生態系や生物群集そのものの健全性、連結性、機能性であり、ネイチャーポジティブの達成状況を直接示す主な指標である。「圧力」とは、土地利用改変、過剰利用、汚染、侵略的外来種、気候変動等、生物多様性を損なう社会側からの駆動要因を示す指標である。「応答」とは、回避・最小化・復元を支える制度、管理、資金配分等、圧力を低減し状態を改善するための社会での対応結果を示す指標である。この三つの役割は同じではない。重要なのは「状態」であり、「圧力」と「応答」は、状態が変化した原因や、改善のための取組が行われているかを把握するために用いる。圧力や応答が改善していても、実際の生物多様性の状態が改善しているとは限らず、ネイチャーポジティブの達成状況は状態指標により確認すべきである。

この三つの要素による整理は、経済協力開発機構（OECD）の圧力―状態―応答（Pressure-State-Response; PSR）枠組みとも整合し、KM-GBF が掲げる生物多様性の損失停止・反転・回復に向けた進捗を、状態の変化、その原因、社会の対応に分けて把握する上で有用である。なお、ミティゲーションヒエラルキーの文脈では「ネットゲイン（net gain）」という概念も用いられる。ネットゲインとは、回避・最小化・復元・代償を経た後に、残余影響を上回る正味の生物多様性改善が実現されている状態を指す。これは、個別の事業や地域における生物多様性改善を評価する際に、ネイチャーポジティブとの関係を考える上で重要な概念である。

(2) 「生物多様性」の可視化と「ネイチャーポジティブ」指標束の考え方

ネイチャーポジティブの社会実装には、生態系健全性、在来種群集の組成・機能・多様性、重要生息地の質と連結性を直接捉える状態指標が主となる。状態指標について、「生物多様性」の可視化・定量化は途上にある。生物多様性を単一指標に収斂させると、重要な劣化要因（外来種、連結性崩壊、機能低下等）を見落とすこととなる。状態指標の選定に当たっては、生物多様性の複数の次元を考慮することが重要である。主要な次元は、以下である。

（ア）種多様性（在来種の種数・個体数・機能群の構成等）

（イ）生態系機能（生産性、分解速度、送粉・種子散布、土壌安定性、炭素や養分循

環等、生態系サービスを支える機能）

（ウ）生息地の質と連結性（面積・断片化度・回廊の有無等）

（エ）遺伝的多様性（個体群の遺伝的健全性、集団サイズ、近交弱勢リスク等）

このうち、実装の第一段階で優先するのは（ア）と（ウ）であり、（イ）と（エ）は実施可能性に応じて追加する。これにより、企業や地域主体の参入可能性を確保しつつ、必要に応じて生態系機能や遺伝的多様性まで評価を拡張できる。

ネイチャーポジティブの実現状況は、状態・圧力・応答の三つの指標群から捉える。そのうち状態指標では、生物多様性の（ア）～（エ）の４次元を考慮し、評価目的と実施可能性に応じて組み合わせる。本報告では、これらを単一の値に集約せず、相互参照可能な「指標束」として扱う。KM-GBF においても複数の目標群（ターゲット）とモニタリングの枠組を要することが提示されている。我が国においても、JBO4 中間提言にて検討が進み、同提言の付属書表 2.2-2 では、生物多様性国家戦略の状態目標ごとに複数の指標を設定した指標束が提示されている。ネイチャーポジティブへの進展とその達成を判断する際には、評価する空間・時間スケールに応じて主要な状態指標と判定基準をあらかじめ定め、損失の停止・反転を複数の指標から評価する。

(3) 基準状態と比較対象

ネイチャーポジティブの取組を科学的に評価するためには、比較の基準となる状態を明示する必要がある。基準状態（ベースライン）は、介入前又は評価開始時の生態系の状態をいう。介入の効果や損失回避を評価する場合には、必要に応じて、介入が行われなかった場合に生じていたと想定される状態を比較対象として設定する。このような比較対象を反実仮想という。評価に当たっては、年変動、撹乱、気候変動等の自然変動や外的要因を、介入による変化と可能な限り区別する必要がある。

ベースライン設計において特に注意が必要なのは、既に質の高い生態系状態を維持している場所の扱いである。劣化した場所を回復させる活動は短期間で大きな「改善」として計測されやすい一方、高質な生態系を現状のまま保護・維持する活動は、ベースラインからの変化が小さいために改善として評価されにくいという非対称性が生じる。しかしこの非対称性は、ミティゲーションヒエラルキーが「回避」を最優先とする思想と根本的に矛盾する。回避・保護こそ最も価値の高い行動であるにもかかわらず、現状維持には計測上の改善量が現れないため、評価・資金配分の面で不当に不利になりかねない。この問題に対応するためには、絶対値評価（現状の生態系の質そのものを評価する）と変化量評価（ベースラインからの改善幅）を組み合わせた複合的な指標設計、あるいは脅威シナリオを用いた反実仮想（「介入がなければどこまで劣化していたか」）の明示が必要である。損失回避を数値で評価する場合は、取組がなければ劣化していたと考える根拠を示し、比較対象の選び方、測る項目と期間、計算方法を事前に決める。結果の不確かさや利益相反も明らかにし、第三者が検証できるようにする。

表１　生態系の保全状態別にみるネイチャーポジティブ評価の課題と対応策

保全状態	代表的な生態系	評価上の課題	影響を避けるための優先順位上の位置付け	必要な対応
高質・保全済み生態系	原生林・自然草原・湿原・サンゴ礁等	ベースラインが既に高く、変化量評価では改善が現れにくい。回避・保護の便益が見えにくく、資金配分上不利になりやすい	回避（開発等の影響を生じさせないこと）の最優先対象。一度失われれば回復が困難	現状の生態学的な質を評価し、具体的な脅威がある場合は、保護しなかった場合の劣化も推定する。回避行為へ直接的なインセンティブを設ける
劣化・復元対象生態系	二次林・放棄農地・劣化湿地等	変化量が計測しやすく資金が集まりやすい。ただし追加性・永続性・手法の一貫性を確保しなければ見かけの改善が生じる	復元（損なわれた生態系を回復すること）・代償（残る影響を別の保全で埋め合わせること）の対象。成功確率と時間遅れを考慮する	長期モニタリングによる成果検証。ベースラインの自然変動幅の明示。独立した第三者による検証
管理依存型二次的自然	里山・半自然草地・ため池・水田等	管理の継続そのものが生物多様性の維持条件。管理放棄による劣化は緩慢で検出が遅れる。国際指標では過小評価されやすい	回避（管理放棄の防止）と復元（管理の再開）が重なる領域	管理強度・モザイク性を捉える指標の開発。管理コストへの直接還元。アンダーユース型劣化の定量化
開発圧力下の生態系	都市近郊林・沿岸域・農地周縁部等	脅威が差し迫っており、回避の経済的価値が最も高い状況。現行制度では回避よりも代償が安価になりやすい	回避の経済的合理性が最も明確な場面	開発等を認めない区域の指定。回復困難な影響の事前特定。融資・許認可条件に、回避→最小化→復元→代償の順序を組み込む

※ 分科会で作成

例えば、既に良好な状態を維持する森林では、現状の生態学的な質を評価するとともに、具体的な劣化要因が存在する場合には、保全しなかった場合に想定される変化と比較することで、回避された損失を評価することが考えられる。このような反実仮想の設計には慎重さが求められる。比較対象として特に劣化した場所を意図的に選べば、取組の効果を実態以上に大きく見せることができ、グリーンウォッシュ（実態以上に環境へ配慮しているように見せること）につながり得る。途上国の森林減少・森林劣化を抑えて温室効果ガス排出を減らす取組を支援するREDD+[7]では、取組がなければ生じなかった改善かを問う「追加性」の過大評価が問題となってきた[29]。生物多様性クレジットでも、追加性に加えて、改善が長期間維持される「永続性」、ある場所で減らした負荷が別の場所へ移る「リーケージ」を厳密に扱う必要がある。

ここまで述べた評価上の課題は、生態系の状態によって現れ方が異なる。既に質の

[7] REDD＋は「途上国における森林減少・森林劣化に由来する排出の抑制、並びに森林保全、持続可能な森林経営、森林炭素蓄積の増強（Reducing emissions from deforestation and forest degradation and the role of conservation, sustainable management of forests and enhancement of forest carbon stocks in developing countries）」で、途上国が気候変動対策に取り組むインセンティブを与える仕組み。

高い生態系では変化量が現れにくく、劣化地では改善が計測しやすい。里山のように人の管理の継続が前提となる生態系では、管理放棄による緩慢な劣化（後述）が検出されにくい。開発圧力下の生態系では、回避の経済的価値が最も高い。表１に、生態系の保全状態ごとの評価上の課題と、第２章で述べた影響を避けるための優先順位における位置付け、及び必要な対応を整理する。

４　モニタリング体系と測定・報告・検証要件

第４章では、ネイチャーポジティブの取組を継続的に検証するための測定・報告・検証（MRV）を、地域制度や企業が実際に運用できる観測体系として具体化する。まず、異なる観測手法をつなぐ共通原則を示す。次に、どの主体でも満たすべき最低要件と、目的に応じて水準を高める考え方を整理する。最後に、専門家による較正・検証と、企業・地域主体による反復観測をどのように役割分担するかを具体例で示す。JBO 等の国全体の評価との接続は第７章で扱う。

⑴ ネイチャーポジティブを検証するためのデータの統合

ネイチャーポジティブの評価は、個別の測定手法を並べるだけではなく、観測、データ管理、検証、意思決定を一つの「観測システム」として設計する必要がある。生物多様性は場所ごとの差が大きく、サイト規模で生息する生物の種類や構成、景観・地域規模の生息地変化を捉えなければならない。したがって、現地で得る詳細な情報と広域・時系列の情報を接続し、どのように測り、記録し、比較し、意思決定に用いたかを追跡できる仕組みが測定・報告・検証の基盤となる。

ここで共通化すべきなのは、すべての主体が同じ機器や調査方法を使うことではなく、対象範囲、観測時点、状態・圧力・応答という指標の区分、観測努力量、誤差・品質情報、手法の較正履歴、データ形式、検証可能性を確保するための記録・手順である。これらを揃えれば、現場条件に応じて異なる観測方法を用いても比較できる。逆に、複数の側面を一つの「生物多様性スコア」に足し合わせるだけでは、どの側面が改善し、どの側面が悪化したかが見えにくくなるため、本報告では複数の状態指標を保ったまま相互参照できる形を基本とする。

観測手法には役割分担がある。リモートセンシングは広域・時系列の生息地変化を捉え、環境 DNA、音響、カメラ等は種・群集の変化を繰り返し記録し、専門家による現地調査はそれらの記録が実際に生息する生物の種類や構成をどの程度捉えているかを確認する基準となる。市民科学や参加型調査は観測密度と継続性を補い、企業・自治体の管理記録は、いつ、どのような管理や投資が行われたかを示す。なお、適切な組合せは生態系によって異なり、海洋や水域では環境 DNA 観測や音響観測等が種・群集レベルの状態把握の主要な手段となり得る[1]。どの手法も単独ですべてを捉えるものではなく、必要な情報を役割分担して取得することが重要である。具体的な継続運用の形は本章⑷に示す。

⑵ 測定・報告・検証の３つの設計原則、二層構造と最小要件

企業のネイチャーポジティブ主張、生物多様性クレジット、金融機関の融資・投資判断等、ビジネスや地域活動の多様な活用場面を横断して信頼性を担保するためには、測定・報告・検証共通の最小要件が必要である。本報告では、ネイチャーポジティブの実現のためにビジネスや地域社会が実施する測定・報告・検証のスキームの設計原則として、次の３つを重視する。

- 科学的に妥当であること
- 費用に対して十分な情報を得られること
- 専門家を常時配置できない主体でも継続して参加できること

測定・報告・検証の要件は一律である必要はないが、異なる主体・制度・活用場面（地域制度の認定、企業の開示、生物多様性クレジット市場、金融機関の投融資判断等）間での比較可能性を担保する共通の基盤は共有されなければならない。一律に高水準を求めれば中小企業や地域主体の参入障壁となり、緩すぎれば制度・市場への信頼を損なう。そこで、すべての主体に共通して求める要件と、活用目的に応じて追加する要件を分ける。本報告では、これを第一層（最小基盤要件）と第二層（拡張要件）から成る二層構造として整理する。

第一層（最小基盤要件）は、主体や規模、活用場面にかかわらず、比較可能で検証可能な評価を行うために共通して満たすべき基本的な要件であり、次の６要素から成る。

① 対象範囲の明示：どのサイト・種・生態系を対象とするのかなどを明示する。
② 基準状態と比較対象の設定： 介入前又は評価開始時の生態系の状態を明示する。介入効果や損失回避を評価する場合には、必要に応じて、「介入がなければどうなったか」を比較対象として設定する。
③ 状態・圧力・応答から成る指標束：状態指標を主指標とし、圧力・応答は診断的・補助的に用いる。状態評価では、対象とする生物多様性の状態と生息地の状態を直接捉える指標を含める。単一の分類群のみを測定する場合には、その結果をサイト全体の生物多様性の評価に一般化せず、成果の主張範囲を当該分類群と関連する生息地の状態に限定する。生態系機能や遺伝的多様性を含む追加的な指標は、評価目的に応じて組み込む。
④ データ取得方法とメタデータの標準化（手法・精度・取得日時・担当者等の記録）
⑤ 誤差や外的要因を含む不確実性評価
⑥ 報告・検証可能性・更新の仕組み： 何を測り、どのような条件で測り、どの程度確かなデータかを共通の形で記録し、必要に応じて第三者が検証できるようにする。

第一層で共通化するのは、取得すべき情報、記録方法、品質管理及び検証可能性である。データは恒久的に保管し、利用条件を明示した上で、必要に応じて第三者が検証できる範囲でアクセス可能にする。第二層（拡張要件）は、活用場面や主体の必要に応じて上積みするものであり、より高頻度な観測、より多くの分類群、生態系機能や遺伝的多様性の指標、追加の独立調査による相互検証、サイトを超えた景観規模の評価等が含まれる。複数の観測手法を組み合わせること自体は第二層に限られず、第一層を効率的に満たす方法にもなり得る。第二層で求めるのは、より厳しい説明責任に応じて独立した検証や追加情報を上積みすることである。したがって、第一層を比較可能性と検証可能性を確保するための共通基盤とし、第二層では目的や責任に応じ

て評価内容を拡張する。最初からすべての主体に同じ高水準を求めるのではなく、共通の基盤を保ちながら必要に応じて評価水準を高めることが重要である。具体的な観測技術の組合せと、専門家・実施主体の役割分担については、後述する。

(3) 測定・報告・検証における留意点

測定・報告・検証要件において根本的に重要なのは、観測過程自体の偏りへの対処である。生物多様性の観測データは、調査手法、サンプリング努力量、検出のされやすさの違いによって系統的に偏る。これを無視して「改善」を主張すれば、測り方を変えるだけで成果を大きく見せる余地が生じる。信頼性の高い測定・報告・検証には、手法間の差の定量化、観測努力量の補正、年変動・気候変動・撹乱の影響と介入効果の分離が必要である。また、介入効果や損失回避を評価する場合には、必要に応じて、取組を行わなかった場合の変化を時系列比較、空間比較、モデル等から推定する。既に質の高い自然を維持する場合等、具体的な劣化の脅威を設定できない場合には、生態系の状態そのものを継続的に評価することを基本とする。なお、測定・報告・検証は、最小化・復元・代償（オフセット）の成果を測定するだけでなく、回避によって維持された生態学的状態や回避された損失を定量的に示すためにも重要である。質の高い生態系が保護・維持されていることを検証可能な形で示すことは、回避を制度や金融の中で適切に評価するための科学的基盤となる。

観測努力量の標準化は、測定・報告・検証の信頼性を担保する上で特に重要な技術的課題である。生物多様性の観測データは、調査地点数・調査時間・調査者の技能・季節・天候等、観測に投入された努力量によって検出される多様性が大きく変動する。努力量が異なる調査間で得られたデータをそのまま比較すれば、実際には何も変わっていなくても多様性が増減したように見える。この「見かけの変化」は、モニタリング体制が整備された地域と粗い地域の間で系統的な格差を生み出し、評価の公平性を損なうだけでなく、グリーンウォッシュの余地を拡大してしまう。

調査地点数、調査時間、季節、調査者の技能等が異なると、実際の生物多様性が同じでも観測される種数や個体数は異なり得る。このため、こうした調査条件の違いを考慮して、異なる調査間で比較可能な指標を算出する必要がある。そのための手法として、種の検出されやすさを考慮する検出確率モデルや占有モデル、調査努力量の違いをそろえて種数を比較する種蓄積曲線の標準化等があり、生態学では既に広く用いられている。しかし、企業・地域・金融機関が参照する測定・報告・検証報告においてこれらが標準的に適用されることは稀であり、努力量の記録自体が欠如している場合も多い。測定・報告・検証最小要件に観測努力量のメタデータ記録と標準化された補正手順を組み込むことが、比較可能で検証可能なモニタリングの技術的な前提条件となる。

データの透明性を確保するとともに、利用条件や権利に配慮しながら、必要な検証や再解析が可能な形でデータを管理することは、測定・報告・検証の実効性を高める上で重要である。IPBES ビジネス評価報告書（2026）は、生物多様性に関する知識の欠

如を五つの観点から整理している。「事業関連データ」「データのアクセシビリティと透明性」「証拠の網羅性」「手法の採用」「手法の適用可能性」である。その上で、開示基準を策定する標準設定機関（Standard-Setting Bodies）にも、オープンで相互運用可能なデータ基盤の整備を求めている[15]。

我が国においても、地域制度、企業、研究機関が生成する生物多様性データを共通フォーマットで長期的に保管し、利用条件を明示した上で、必要な主体が利用・検証できる形で管理する仕組みが重要である。共通項目の例としては、サイト識別子、位置、観測日時、調査方法、観測努力量、対象分類群・種名、個体数又は検出記録、生息地情報、精度・品質情報、データ作成者、利用条件が挙げられる。これにより、異なる主体のデータを照合し、再解析し、第三者が検証できる。ただし、公開や共有を一律に求めるべきではない。先住民・地域コミュニティを含むデータ提供者が、自らのデータの利用条件や共有範囲を決定できるデータ主権を尊重する必要がある。国家機関、地域社会、研究機関、民間部門が共通原則の下で参加できる連合型の設計とすることで、比較可能性と権利保護を両立させることが望まれる。

観測から政策報告までの過程を、後から検証できるよう透明性を確保して設計するには、現場観測、標準化したデータ収集、認定された分析手順、透明な報告を接続する必要がある[30]。新技術と既存調査を系統的に較正しなければ、記録された変化が実際の生態系変化なのか、手法変更による見かけの変化なのかを区別できない。したがって、観測手順、データ形式、メタデータ、品質管理を共通化し、国際的にも相互利用できる形で設計することが重要である[8]。また、データの制限等の理由により定性的データを用いる場合も、判断根拠と限界を明示し、恒久的に保管した上で、必要な範囲を第三者が検証できる形にすることが望ましい。

(4) 観測技術の役割分担と継続運用

前節までの要件を現場で実行する際には、観測技術の役割を大きく三つに整理できる。第一は、衛星・航空機等によって生息地の面積、構造、連結性を広域・時系列で追う観測である。第二は、環境DNA、音響、カメラ等によって種・群集の変化を同じ手順で繰り返し記録する観測である。第三は、専門家による分類学的・生態学的調査であり、必要に応じて他の観測手法を較正・検証する基準となる。市民科学や企業・自治体の管理記録も、観測密度や管理履歴を補う情報として組み込める。各手法の特徴と制約は表２に整理した。

この役割分担の目的は、専門性をなくすことではなく、専門家が特に必要となる工程と、標準化によって他の主体も担える工程を分けることである。導入後も、一定期間ごと、観測機器・分析法・参照データベースを変更したとき、又は結果に不整合が生じたときには再確認する。一方、日常の反復観測は、録音機や自動撮影装置の設

[8] 種の出現記録等については、ダーウィンコア（Darwin Core）など国際的に用いられているデータ標準がある。国内のデータ形式についても、こうした既存標準との互換性を確保することが望ましい。

置・回収、決められた地点での水・土壌採取など、標準化した作業として企業や地域団体が担える。環境 DNA の分析や大量の画像・音声の同定など専門的な処理は、研究機関や分析事業者等に集約することもできる。

例えば、水路やため池を含む里山では、代表的な場所に自動録音機と自動撮影装置を設置し、陸域では決められた地点の土壌を、水域では水を年に数回採取して環境 DNA を調べ、衛星観測で植生や土地被覆の変化を追うことができる。鳥類・コウモリ・昆虫類は主に音響、哺乳類はカメラ、水生生物は水の環境 DNA、土壌生物は土壌の環境 DNA、生息地の広がりや連結性は衛星観測というように役割を分ける。これらを同じ区画の共通の観測計画と記録形式の下で継続し、導入時と定期的な検証時に専門家の調査と照合する。このような役割分担により、企業や地域団体が機器の運用や定点採取等の反復観測を担い、専門家が観測設計、較正、品質管理、検証に重点を置くことができる。

実際の観測では、すべての手法を毎回同じように使う必要はない。導入時には、専門家による現地調査と環境 DNA、音響、カメラ、リモートセンシング等を同じ場所や時期に行い、それぞれの手法で得られる結果を確かめる。その後は、自動観測や決められた地点での採取など、繰り返しやすい方法を中心に観測を続け、一定期間ごとに専門家による調査と照らし合わせる。こうすることで、費用や人員を抑えながら、自然の変化を長期にわたって追跡できる。さらに、蓄積されたデータは、復元後の変化や損失回避の効果を評価するとともに、新しい観測技術を導入する際にも、それまでの観測結果と比較して継続的に利用するための基盤となる。既存の生物多様性データベースは広域把握に有効だが、サイトレベルの成果検証には現地での一次観測が不可欠であり、その手法と役割分担を表２に整理した。

表２　主要な測定・報告・検証技術の特徴と役割分担

技術手法	スケール	取得データ	強み	課題・制約	測定・報告・検証での主な用途
環境 DNA・DNA メタバーコーディング	地点～水系	種組成（魚類・両生類・植物・微生物等）を水・土壌・空気中の DNA から推定	非侵襲・高感度・多種同時検出。希少種・外来種の早期検出。市民参加しやすい	個体数・バイオマスの直接推定には補正が必要。参照 DB の整備状況に依存	較正後の種組成変化の反復観測。水系・土壌等の多分類群把握、希少種・外来種の検出
衛星リモートセンシング	地域～国土	植生指数・土地被覆・生息地面積・連結性。光学・SAR・ハイパースペクトル等	広域・時系列を低費用で継続取得。長期保管データの活用が可能	種レベルの同定は困難。林床・水中は取得限界あり。雲・大気の影響を受ける	ベースライン・反実仮想の設定。生息地変化・回避効果の定量化
ドローン（UAV）	地点～地域	レーザー点群による三次元森林構造。マルチスペクトル画像による植生・樹種判別	高解像度・高頻度。衛星では把握困難な林床・樹冠構造の詳細観測が可能	飛行時間・航続距離の制約。許可取得コスト。データ処理に高度な技術が必要	生態系構造・回復状況の精密評価。復元プロジェクトの進捗検証
音響モニタリング	地点～地域	鳥類・コウモリ・昆虫・カエル等の音声。AI 自動識別による種認識が急拡大	低コスト・非侵襲の長期連続観測。夜間・林内でも有効。市民科学と統合可能	音響指標と種多様性の較正が必要。ノイズの影響あり。機材保守のコストがかかる	較正後の鳥類・コウモリ・昆虫等の種組成・活動の反復観測。種・群集の変化・管理効果の追跡

技術手法	スケール	取得データ	強み	課題・制約	測定・報告・検証での主な用途
カメラトラップ	地点～地域	哺乳類・鳥類・爬虫類等の動画・静止画。個体識別・活動量・生息密度の推定が可能	非侵襲・長期連続観測。夜行性・警戒心の強い種も記録可能。AIによる自動識別が進展	広域展開には保守管理の労力が大きい。種ごとに検出確率が大きく異なる	哺乳類・鳥類等の種組成・個体群状態の反復観測。管理介入の効果検証
市民科学（eBird・iNaturalist 等）	地点～広域	鳥類・植物・昆虫等の出現記録・写真。eBirdは年間2億件超の観測を収集	広大な地理的・時間的カバレッジ。長期トレンド分析への活用が進んでいる	サンプリング努力量の空間的・時間的不均一性が大きい。観察者の技能差による検出確率の変動	広域・長期のベースライン構築。地域の生物多様性把握の補助
毎木調査・植物相調査	地点～地域	樹木の種組成・胸高周囲長・位置。植物群落の種リスト・被度・優占度	森林構造・バイオマス・炭素ストックの直接計測。更新・枯死動態の把握が可能	高コスト・専門知識が必要。調査頻度・面積に制約あり	森林生態系の状態指標の直接観測。バイオマス・炭素の測定・報告・検証基盤。樹木種多様性の評価
底生生物・水質調査	地点～水域	底生生物の種組成・密度。水温・pH・溶存酸素・栄養塩等の物理化学的環境	水域生態系の健全性を生物・化学の両面から評価できる。圧力・応答指標として有効	採集・分析に専門知識が必要。水域タイプ（河川・湖沼・海域）によって手法が異なる	圧力（汚染・富栄養化）と生物応答の連結。里地里山・湿地の状態把握
両生類モニタリング（卵塊・鳴き声調査）	地点	両生類の卵塊数・鳴き声による種の在/不在・個体数変動	低コスト・非侵襲。水田・ため池・湿地の管理状態の指標として感度が高い	季節・天候依存性が高い。鳴き声同定には専門知識が必要	里地里山・水田・ため池の生物多様性増進の成果指標。管理依存的生態系の状態把握
分類学的調査（現地調査）	地点	詳細な種リスト・個体数・群集構造・機能形質。標本・バウチャーの作成が可能	信頼性の高い観測。他手法の較正・現地検証基準として不可欠	高コスト・専門性が必要。調査頻度・地点数に制約あり。長期的な専門家確保が困難	導入時・定期的な較正と検証。状態指標の直接観測。高質生態系の絶対値評価の基盤

※ 分科会で作成

５　社会・ビジネスへの適用

第５章では、第２章のミティゲーションヒエラルキーと適応的管理、第３章の定量化・可視化、第４章の測定・報告・検証（MRV）を、社会・経済活動の意思決定にどのように組み込むかを具体例で示す。IPBES 地球規模評価は、自然の変化をもたらす主な直接要因として、土地と海の利用変化、生物の直接採取、気候変動、汚染、侵略的外来種を挙げている[6]。ここでは、このうち土地・海の利用変化、生物の直接採取、汚染を例として取り上げる。個別の企業や商品・制度を推奨するのではなく、異なる事業に共通する意思決定の考え方を示す。

⑴ 陸域・陸水域・海域の利用変化に関わる事業

農業、鉱業、工業・発電、都市・インフラ、レジャー等、土地や海域の利用を伴う事業では、まず重要な生態系への影響を避ける立地や、既に改変された場所の利用を検討する。回避できない影響については、事業範囲の縮小、工法の変更、生物の移動経路や緑地の確保等によって影響を小さくし、必要に応じて現地での復元を行う。場所の選択に制約がある場合でも、まず回避可能性を検討し、その後に影響の範囲・強度・期間を減らすという順序を維持する。

事業の実施前に対象地の生物多様性の状態を把握し、実施後も継続して観測する。介入の効果や損失回避を評価する場合には、必要に応じて適切な比較対象を設定する。測定・報告・検証によって計画した対策と実際の生態学的変化を確認し、想定外の悪化があれば管理方法や事業設計を見直すといった適応的管理につなげる。

⑵ 生物資源の利用・汚染に関わる事業

漁業や林業等の生物資源を直接利用する事業では、資源量や生態系の状態を把握した上で、採取量・時期・方法の調整、保全区域と利用区域の設定、森林では一部の樹木や枯死木を残す等の施業によって影響を小さくし、必要に応じて資源や生息地の回復を図る。鉱工業、運送業、農業等に伴う汚染については、排出や流出そのものを避ける工程・資材の選択を優先し、その上で排出量の削減、農薬・肥料使用の適正化、栄養塩や土砂の流出抑制等を組み合わせる。

これらの取組についても、対策を実施したことだけを成果とせず、資源利用や汚染による負荷が実際に減少したか、生物の種類や構成、生息地の状態が維持・改善したかを継続的に確認する。測定・報告・検証によってその変化を把握し、必要に応じて管理方法を見直す。以上のように、事業活動では、影響を避け、低減し、必要に応じて復元するとともに、その結果を継続的に測定・検証して管理の見直しにつなげることが重要である。

６　ネイチャーファイナンスの実現

ネイチャーファイナンスとは、生物多様性・生態系の保全・回復に資金を配分する仕組みの総称であり、融資・債券、株式投資、保険等を含む。「ネイチャーポジティブ経済移行戦略」[31]では、企業、金融機関、投資家、消費者、自治体等に期待される行動が整理されている。本報告では、こうした政策動向を踏まえつつ、ネイチャーファイナンスを単に「自然へ資金を流すこと」ではなく、自然を損なう活動への資金を減らし、保護・維持・回復を支える活動へ資金を振り向けることとして捉える。

基本となるのは、資金配分においてもミティゲーションヒエラルキーの順序を守ることである。まず影響の回避・最小化・復元を支援し、生物多様性クレジット等による代償は、それでも残る影響に対する補完的な手段として扱う必要がある。代償が回避より優先されれば、資金供給がかえって自然損失を助長するおそれがある。第６章では、この考え方に基づき、各種の資金手段がネイチャーポジティブに寄与するための条件を整理する。

(1) 資金手段に共通する考え方

ネイチャーファイナンスには、融資・債券、株式投資、保険等の様々な資金手段がある。いずれの場合も、資金配分の判断に生物多様性への影響の回避・最小化・復元を組み込み、その結果を測定・報告・検証できることが重要である。

ネイチャーファイナンスの設計における重要課題の一つは、質の高い自然を損なわずに守る「回避」が劣化した自然の復元に比べて経済的に評価されにくいことである。復元では劣化した状態からの改善量を成果として示しやすい一方、質の高い自然を維持する場合には変化量が小さいため、成果が見えにくい。このため、資金が復元や代償に偏り、回避・保護が相対的に評価されにくくなる可能性がある。この偏りを是正するには、まず保護・維持されている自然の状態そのものを評価する必要がある。さらに、具体的な開発や劣化の脅威がある場合には、第３章で述べた反実仮想を用いて、その脅威が回避されなかった場合と比較し、回避された損失を評価することができる。こうして確認された生態学的成果を、回避を支援する契約条件や資金配分に反映する仕組みが重要である。なお、ここでいう生態学的成果とは、活動量や資金投入量ではなく、生態系の状態や生物の種類・構成、生息地の状態に実際に生じた維持・改善・回復を指す。

ここで、測定・報告・検証が直接示すのは貨幣価値そのものではなく、維持された生態学的状態や回避された損失である。これを経済的に評価する場合には、生態系サービス等の将来の便益や損失を考慮することができるが、生態学的評価と貨幣的評価は区別する必要がある。介入を正当化するには、介入による追加的な社会的便益が、生物多様性・生態系サービスの損失を含む社会的費用を上回ることを示す必要がある。また、特定地点で生じた自然損失を別地点で代償しただけでは、それ自体をネイチャーポジティブの達成とみなすことはできない。代償は、回避・最小化・復元を先に検討した上で、それでも残る影響に対する手段として位置付ける必要がある。生態系サービスへの支払い（Payments for Ecosystem Services; PES）等を回避・最小化を

支える形で活用することが考えられる。

⑵ 各資金手段への適用

融資や債券引受では、契約条件を通じて、事業者に生物多様性への影響の回避・最小化・復元を求めることができる。資金提供前の審査では、代替となる場所や方法の検討、影響の縮小、復元計画、残余影響、モニタリング計画等を確認し、必要に応じて資金供給の条件に組み込む。測定・報告・検証で得られる生態学的情報を、こうした融資等の判断に反映することが重要である。その際、影響の回避が優先して検討されていることと、回避・最小化・復元後の残余影響が適切に把握されていることを確認する。

株式投資では、機関投資家や評価機関が、企業の自然への依存・影響とその対策を、投資判断や企業との協議に用いる。融資のように個別事業の契約条件を直接設定するものではないため、企業全体の開示情報を、実際の事業地点やサプライチェーンにおける生態学的な状態や変化と接続することが重要となる。例えば、企業活動による生物多様性への影響を集約した指標を用いる場合にも、その値だけで判断するのではなく、影響の大きい地域や事業について、回避・最小化・復元が適切に行われているかを現地の情報から確認する必要がある。

保険では、自然災害や生態系劣化によって生じる事業リスクを価格化し、複数の主体の間で分担する。保険そのものが自然損失を直接回避・最小化するわけではないが、生態系の状態や回復可能性、事前の回避・管理の実施状況を、保険の引受判断、補償条件、保険料率等に反映できれば、自然の維持・回復をリスク低減として評価することができる。例えば、生態系の劣化によって災害リスクや事業中断リスクが高まる場合には、その関係を測定・報告・検証によって把握することが、保険を通じて生態系管理を促す基盤となる。

⑶ 生物多様性クレジットの利用条件

生物多様性クレジットは、保全・回復による生態学的な成果を一定の単位として認証し、保全・回復活動への資金配分につなげる仕組みである。一方、生物多様性は場所による違いが大きく、時間遅れや管理の影響も受けるため、異なる場所や時点の成果を単純に比較・交換することは難しい。追加性、永続性、リーケージ、測定方法、地域固有性、社会的公正等についても慎重な設計が必要である［32-33］。なお、本報告は、生物多様性クレジット市場を無条件に推進するものではない。その利用に当たっては、基準状態（ベースライン）と参照状態（レファレンス）の明確化、追加性と永続性の確認、リーケージへの対応、ミティゲーションヒエラルキーとの整合、地域固有性と社会的公正、さらに検証可能性と透明な運用ガバナンスを確保する必要がある。国際的にも、こうした市場の信頼性を高めるための原則や枠組みが提案されている[34-35]一方、市場の拡大が実質的な自然損失を覆い隠す可能性への懸念も示されている[36]。市場の実効性を評価する際には、取引、契約、検証等に伴う費用や、市場の

信頼性を確保する制度設計にも留意する必要がある[37-38]。

生物多様性クレジットにおいても、回避・保護の評価上の非対称性に留意する必要がある。これはミティゲーションヒエラルキーの「回避優先」の考えと整合しない。このため、現状の生態学的な質そのものを評価し、具体的な開発や劣化の脅威がある場合には、必要に応じて、保護しなかった場合に生じたと考えられる損失も評価することが重要である。

成果は、調査方法や頻度を変えただけで改善したように見せてはならない。調査条件と観測努力量を記録し、手法間の差を補正し、自然変動と事業効果を区別した上で、独立した第三者がデータと分析を再検証できることを最低条件とする。

クレジットの発行時期には、改善確認後に発行する方式と、将来の改善を見込んで事前に発行する方式がある。前者は検証可能性が高いが資金化まで時間がかかり、後者は早期に資金を得やすい一方、予測外れのリスクを負う。特に事前発行では、生態系の不確実性や時間遅れ、管理への依存性等を適切に考慮する必要がある。予測した成果が達成されなかった場合の取消しや補償、長期モニタリングを制度上確保するとともに、予測方法自体も第三者が検証できるようにする必要がある。

自然市場では活動量だけでなく生態学的成果を測定・報告することが重要である[39]。特に、市場で用いる指標が実際の生態学的成果を適切に捉えること、取組による追加的な効果を確認すること、リーケージに対処すること、成果の根拠となるデータ・分析方法・前提を検証可能にすること、長期的なモニタリングと必要に応じた独立した検証を確保することが重要である。データを一般公開できない場合にも、適切なアクセス条件の下で独立した検証が可能な仕組みを確保する必要がある。また、大規模な復元事業に関与する企業の大多数が生態学的成果を報告していないことも指摘されており[39]、例えば、森林の管理面積や植栽本数等といったような実施量だけでなく、生態系の状態や種群集の回復といった成果へ評価軸を移す必要がある。民間の認証枠組み[40]についても、その科学的根拠と運用実績を独立に検証する必要がある。

7　我が国における社会実装

第７章では、我が国が直面する固有の課題として、人の管理によって維持されてきた二次的自然と、その管理の減少・消失による劣化を取り上げる。まず、こうした生態系が国際的な評価枠組みで捉えにくい理由を示し、次に、第２章の影響を避けるための優先順位をこの問題にどう適用するかを述べる。その上で、受け皿となる国内制度と、国内の生物多様性指標基盤との接続を検討する。

(1) 生態系評価課題：二次的自然

国際的なネイチャーポジティブ指標は、しばしば生態系の原生度や完全性を中心的な評価軸として設計されている。しかし、人間活動と自然の相互作用の中で形成・維持されてきた生態系、すなわち二次的自然は、世界各地に普遍的に存在する。こうした生態系は、萌芽更新、刈り取り、放牧、火入れ、農業等の適度な撹乱や継続的管理の下で、高い種多様性と固有の生態的関係性を維持してきた文化的・生態的遺産であり、長期にわたる人間の関与が生物多様性の形成・維持に寄与してきた形態である。森林、草地、農地、水域等の異なる土地利用や生息地が空間的に組み合わさり、管理や遷移に伴ってその構成が時間的にも変化する景観を、ここでは「景観モザイク」と呼ぶ。里山イニシアティブの「社会生態学的生産ランドスケープ・シースケープ」は、このような景観を捉える代表的概念である[41-42]。

このような二次的自然は、我が国の里地里山に限られた特殊な例ではない。ヨーロッパには刈り取りによって維持される採草地（ヘイメドウ）や、畑・牧草地の境界に残される生垣（ヘッジロー）がある。北米や豪州には先住民の火入れ管理によって維持されてきた草原やサバンナがあり、アフリカやアジアには遊牧と農業を組み合わせた半自然草地がある。南米等では樹木と農業を組み合わせるアグロフォレストリーが営まれている。このように、人間の管理と生物多様性が共存する生態系は世界各地に認められる。我が国では人口減少・過疎化に伴う管理減少が生物多様性変化の重要な要因となっており[43]、この問題は国際的にも注目されているものの、一定の乖離がある。国際的な指標では、原生植生の割合や生態系の完全性、人為影響の少なさを重視する傾向があり、人為的管理によって良好な状態が維持される二次的自然が過小評価される場合がある。

本報告が重視するのは、以下の二点である。第一に、里山や半自然草地のような管理依存的な生態系では、管理放棄後の遷移や森林化に伴って、開放地性の鳥類、節足動物や植物等の多様性が大きく低下しうるにもかかわらず、その喪失が現行の評価枠組では十分に反映されにくい点である。第二に、例えば「森林か非森林か」といった二元的な状態把握では、モザイク的な土地利用や文化的な継続管理の価値が捉えにくく、管理減少による二次的自然の再森林化（二次林への遷移等）が一律に生態系の状態「改善」と誤認されるおそれがある点である。

これらの課題に対応するため、本報告では、二次的自然を「原生自然の劣化版」ではなく、人の関与の下で生物多様性と社会的利用が両立し得る社会生態系として捉え

る。社会と自然が変化に適応し機能を維持する力（社会生態レジリアンス）の観点からは、原生度だけでなく、管理の継続性、景観のモザイク性、種多様性、地域社会の学習と適応能力も重要となる。生息地の連続性は個体の移動や遺伝的交流を支え、森林・草地・農地・水域等が組み合わさった景観は、採餌、繁殖、越冬等といった生活史の異なる段階に必要な場所を提供する。このため、個々の地点だけでなく、景観規模で連続性やモザイク性を評価することが重要である。

(2) アンダーユース型自然劣化へのミティゲーションヒエラルキーの適用

ミティゲーションヒエラルキーは、主として一次自然への影響管理を念頭に発展してきたが、人間の暮らしと生物多様性が密接に結び付いた二次的自然においては、開発や過剰利用だけでなく、管理の減少・消失によるアンダーユース型劣化が深刻な脅威となる。とりわけ我が国では、人口減少と少子高齢化により、農地、草地、里山林、水路、ため池等の管理の担い手が失われ、その結果として二次的自然に特有の生態系機能や生物多様性が低下してきている。このような状況では、回避は管理の減少・消失をもたらす社会経済的要因への事前対処、最小化を管理強度低下の抑制、復元を減少・消失した管理の再開として捉えることができる。代償については、管理再開や復元が困難な場合に限り、同等の生態的価値を有する別地点での保全を検討する必要がある。

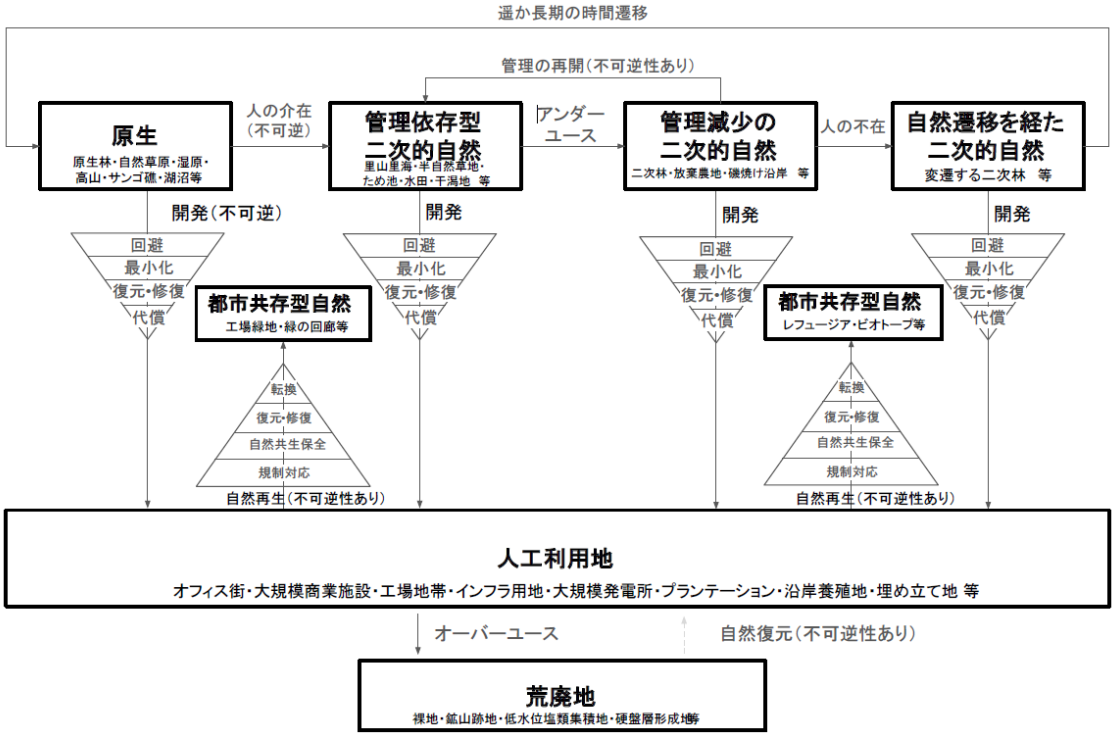


図２　自然状態と人による土地利用の類型・遷移概念図　※分科会で作成

ここで重要なのは、「復元」を原生自然への回帰だけで捉えず、二次的自然における望ましい生態的状態の回復として理解することである（図２）。刈り取り、放牧、火入れ、萌芽更新、水管理など、人間の関与そのものが生態系機能の維持に不可欠な場合には、その管理の再構築が復元の中核となる。この理解は、CSBI が示すミティゲーションヒエラルキーにおける復元の位置付けとも整合する［26］。また、科学的根拠に基づく目標設定ネットワーク（Science Based Targets Network; SBTN）は、自然への負の影響を回避・削減し、生態系を再生・復元するとともに、自然損失の根本要因に対処するシステム全体の変革を進める行動枠組みを、「AR3T（Avoid, Reduce, Regenerate, Restore, Transform）」として整理している［44–45］。このように、ミティゲーションヒエラルキーは、二次的自然においても、管理減少による劣化への対応順序を整理する意思決定原則として適用できる。一次自然、二次的自然、都市・人工地、荒廃地の間の遷移と、人為利用・管理との関係は、図２に概念的に示す。アンダーユース型劣化への対応には、生態学的な管理方法だけでなく、その担い手を確保し、管理を継続できる制度的な仕組みも必要となる。

(3) 地域実装の制度：地域生物多様性増進法と「自然共生サイト」

「地域における生物の多様性の増進のための活動の促進等に関する法律」（令和６年法律第 18 号。以下、地域生物多様性増進法）は、企業や自治体等による地域での生物多様性増進活動を後押しする制度であり、2025 年４月１日に施行された[46]。基本方針、活動計画の認定制度、関連する手続のワンストップ化や規制特例等を通じて、地域における保全・回復等の取組を支援する。これと接続する自然共生サイトは、2030 年までに陸域と水域の 30％を有効な保全下に置く「30by30」目標に資する仕組みであり、認定区域のうち保護地域との重複を除く区域は、保護地域以外で生物多様性保全に資する地域（OECM）として国際データベースに登録される。

制度上、「生物多様性の増進」は維持・回復・創出を含む広い概念として扱われている。認定に当たっては、重要地域・原生的生態系・里地里山・生態系サービス・伝統文化・希少種・限定種・生活史・緩衝及び連続連結性という、生物多様性の価値に関する９基準のうち一つ以上を満たすことが求められる[47]。今後、これらの基準への適合をどのような証拠によって判断するか、その科学的根拠の明確化に対する生態学としての貢献が必要である。制度は、主務大臣（環境大臣・農林水産大臣・国土交通大臣）が定める基本方針の下で、二つの計画類型を運用する。生物多様性の増進活動実施計画は、企業・NPO 等が生物多様性の維持・回復・創出に資する活動を自ら計画・申請するものである。連携増進活動実施計画は、市町村が地域の多様な主体の取りまとめ役として作成する計画であり、認定の申請主体は市町村に限定されている。市町村が多様な主体と連携して区域内の生物多様性保全を進める場合には、個別地点だけでなく、それらの配置やつながりを含めて評価・管理することが重要である。

認定サイトの情報は「見える化システム」で公表され、活動内容を報告できる仕組みとなっている。また、認定後には更新の機会があり、活動状況やモニタリング結果

等が確認される。生態学的な成果を評価するためには、認定時から一貫したモニタリングを行い、認定後の状態変化を継続的に把握できるようにすることが望ましい。認定後の各サイトにおける生物多様性価値の継続的な担保に向けて、測定・報告・検証の充実が今後の重要な課題となる。したがって、認定を入口として、その後の生態学的な成果を追跡・検証し、その根拠を透明な形で示していくことが重要である。

(4) 我が国の生物多様性総合評価（JBO）と指標基盤の整備

生物多様性及び生態系サービスの総合評価（JBO）は、我が国の生物多様性と生態系サービスの状態を科学的知見に基づいて総合評価する枠組みである。地域生物多様性増進法に基づく認定、企業のネイチャーポジティブに関する取組、金融機関の評価等で異なる指標が用いられる場合、それらの結果を相互に比較・参照することが難しくなる。このため、JBO で用いられる国レベルの指標体系と、地域制度や民間の取組で用いられる指標との対応関係を整理し、相互運用性を高めることが重要である。

８　優先課題（研究・制度・実務の乖離）と今後の論点

第８章では、研究、制度、実務の間に残る乖離を整理する。直近の優先課題、今後の研究・実装上の論点、異論への対応、そして国内外の社会実装への接続を順に述べる。

(1) 直近の優先課題

地域生物多様性増進法の施行、TNFD への賛同企業数の増加、JBO4 に向けた指標整備等、我が国の取組は前進している。一方、これらを生態学的成果につなげるためには、研究、制度、実務の間に残る課題への対応が必要である。今後の優先課題は次の四点である。第一に、ベースラインと不確実性を含む共通の測定基盤を整え、介入の効果や損失回避を評価する場合には、必要に応じて適切な比較対象や反実仮想を設定すること。第二に、影響の回避を制度や金融の意思決定に組み込むこと。第三に、地域制度の拡大に対応して、適切なデータ管理と検証可能性を確保し、必要に応じて第三者による検証を行える仕組みを整えること。第四に、活動量や資金投入量だけでなく、生態学的成果を評価することである。

(2) 研究・実装上の今後の論点

科学的には、介入効果を評価するための比較設計や因果推論の方法、環境 DNA 観測・音響自動観測・リモートセンシングと分類学的調査との較正、追加性を検証する方法、気候変動と生物多様性損失の統合評価、予算制約下でも継続可能な長期モニタリング設計が重要な課題となる。制度・実務面では、国家戦略、地域制度、企業・金融の取組、JBO 等で用いられる指標や測定・報告・検証の相互運用性を高めること、重要な生態系や不可逆的な影響が想定される場所で回避を優先する条件を明確にすること、必要な検証体制を整えることが課題となる。

実装に当たっては、国が制度間で共有できる測定項目やデータ形式等の基盤を整え、自治体が地域計画と関係者の合意形成を進め、企業・金融機関が事業や資金配分の判断に生物多様性への影響を反映する等、主体ごとの役割を明確にすることが重要である。市民・地域団体は現場管理や観測、地域知の記録に参加し、研究者は観測設計、手法の較正、不確実性評価、効果検証等を支える。こうした役割分担とデータの相互運用性を高めることで、地域制度、企業開示、金融判断の間で科学的情報を相互に参照しやすくなる。

また、ネイチャーポジティブの社会実装には、生態学と経済学・政策科学・社会科学を統合する学際的な分析枠組みが必要である。生態学的モデルと経済モデルを接続した代償（オフセット）市場の分析[48]、行動科学を用いた政策評価、資金配分と生態学的成果を結ぶ分析等を進め、既存の学問領域を横断する「ネイチャーポジティブ科学」を構築することが重要である。気候変動は保護地域内の生物多様性にも重大な影響を及ぼすため[49-50]、気候適応と生物多様性保全を一体的に扱うことも不可欠である。制度の実効性を左右する専門人材の育成も重要である。英国の生物多様性ネットゲイン制度では制度概要、行政機関の役割、評価指標の運用手引きが整備されている

[51-53]一方、自治体が制度を実装するための生態学的な技能・専門性の確保自体が課題として明示されている[54]。我が国でも、認定審査、観測設計、手法の初期・定期較正、品質管理、測定・報告・検証の妥当性確認、生物多様性クレジットの評価を担える専門人材の確保が重要である。専門家が観測設計、較正、品質管理、検証等に重点を置き、反復観測については地域主体や事業者等と役割分担することは、限られた専門人材を有効に活用する一つの方法となる。併せて、研究者、実務者、行政職員の間で継続的に知識を共有することも重要である[55]。

(3) 異論・懐疑論への公平な対応

ネイチャーファイナンス、自然資本市場、クレジット、代償等については、推進か否定かを先に決めるのではなく、成立条件・限界・リスク・科学的な要件を公平に整理することが求められる。実務負担、測定可能性、追加性や永続性の証明困難性、リーケージ、地域間公平性、合意形成コスト、データ不足などの批判的論点を明示した上で、代替案や段階的導入の選択肢を併記することが重要である。

(4) 国内外での継続的な社会実装への接続

自治体、企業・金融機関、実務者、学協会等との継続的な意見交換を通じて、論点整理を社会実装へ接続していくことが求められる。2026〜2027 年には、国際開示基準やネイチャーポジティブ・イニシアティブ（Nature Positive Initiative; NPI）[56-57]、CBD 第 17 回締約国会議（COP17）等の国際的マイルストーンが重なる。我が国の生態学・生物多様性研究者コミュニティにとって、二次的自然、アンダーユース、測定・報告・検証、ミティゲーションヒエラルキーに関する科学的知見を国際標準形成へ接続する好機である。

第一に、IPBES ビジネス評価報告書（2026）が指摘したデータの欠如に対して、我が国の長期生態系モニタリングの経験と環境 DNA や音響等の新技術を組み合わせた方法論を示すことが、国際科学プロセスへの貢献となる[58]。国内でも、林野庁が森林の生物多様性保全とネイチャーポジティブに関する指針[59]、森林生態系の生物多様性動向[60]、企業向け手引き[61]を公表している。これらを長期観測や新技術と接続することで、森林分野から国際的な測定・報告・検証の議論に貢献できる。特に里山・半自然草地における管理依存的な生態系のモニタリング事例は、他地域と共有する価値がある。また、地球規模生物多様性観測ネットワーク（GEO BON）や、共通手順で環境 DNA を観測する国際ネットワーク（ANEMONE Global）等は、各国・地域のデータを比較可能な形で統合する実例である。こうしたネットワークへの参加と、我が国のデータ・手法の共有は、KM-GBF の進捗評価や国際的な指標整備への具体的な貢献となる。

第二に、TNFD や ISSB 等の開示標準の検討において、生物多様性の状態を「何によって測るか」という生態学的な科学基盤との接続を強めることが重要である。TNFD は 2025 年に自然データ・バリューチェーンの高度化に関する勧告[62]を公表し、データ基盤整備の方向性を示している。生態学的な科学基盤との接続はなお課題である。本

報告で整理した測定・報告・検証の考え方は、企業開示に用いる生態学的情報を検討する際にも参照し得る。国際的にも自然再生プロジェクトの影響を測定・認証するサイトベースの生物多様性基準の必要性が提起されており[63]、生態学的成果をどのように測定するかについて標準化の議論が進められている。

第三に、二次的自然やアンダーユースによる生物多様性変化を捉える指標・手法を国際的な議論に提示することも重要である。管理放棄による変化は、原生自然の改変や過剰利用を主に想定した指標だけでは十分に捉えにくい場合がある。我が国を含むアジア地域で蓄積されてきた知見を、CBD や IPBES 等の国際的な指標・評価の議論に提供することは、こうした空白を補い、国際的な指標・評価の改善に重要な貢献となる。

付録　＜用語の説明＞

用語	本報告での意味
ネイチャーポジティブ	自然の損失を止めて反転させ、回復を目指す社会目標
測定・報告・検証	取組の成果を測定し、共通の形式で報告し、その内容を検証できるようにする一連の仕組み
ミティゲーションヒエラルキー	事業の影響を、回避、最小化、復元、代償の順に検討する優先順位
基準状態（ベースライン）	取組の成果を比べる出発点となる自然の状態
参照状態（レファレンス）	回復や保全の目安として比較に用いる、同じ種類の生態系が良好な状態にあるときの姿
反実仮想	取組を行わなかった場合に、自然がどのように変化したかという想定
ネットゲイン	事業の影響を差し引いても、全体として生物多様性が改善している状態
残余影響	回避、最小化、復元を行ってもなお残る負の影響
代償（オフセット）	残余影響に限り、別の場所での保全・回復によって埋め合わせること
追加性	その取組がなければ生じなかった改善であること
永続性	改善された状態が長期にわたって維持されること
リーケージ	ある場所で負荷を減らした結果、別の場所で負荷が増えること
グリーンウォッシュ	実態以上に環境へ配慮しているように見せること
ネイチャーファイナンス	生物多様性・生態系の保全と回復に資金を配分する仕組み
生物多様性クレジット	生物多様性の保全・回復による改善を一定の単位として認証し、活動へ資金を流す仕組み
アンダーユース	里山や半自然草地等で、従来行われてきた利用や管理が減少・消失していること。ここでは、その結果として生物多様性や生態系の状態が劣化することを含む。

＜参考文献＞

[1] Sutherland, W.J. et al. (2026) Nine changes needed to deliver a radical transformation in biodiversity measurement. Proceedings of the National Academy of Sciences 123 (10) e2519345123. doi: 10.1073/pnas.2519345123
[2] Weiskopf, S.R. et al. (2024) Biodiversity loss reduces global terrestrial carbon storage. Nature Communications 15: 4354. doi: 10.1038/s41467-024-47872-7
[3] Mori, A.S. et al. (2021) Biodiversity–productivity relationships are key to nature-based climate solutions. Nature Climate Change 11: 543–550. doi: 10.1038/s41558-021-01062-1
[4] IPBES (2024) Thematic Assessment Report on the Interlinkages among Biodiversity, Water, Food and Health of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Harrison, P.A., McElwee, P.D. and van Huysen, T.L. (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany. doi: 10.5281/zenodo.13850054.
[5] Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2020) Global Biodiversity Outlook 5. Montreal.
[6] IPBES (2019) Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Brondizio, E.S., Settele, J., Díaz, S., Ngo, H.T. (eds.). IPBES Secretariat, Bonn, Germany.
[7] World Economic Forum (WEF) (2020) Nature Risk Rising: Why the Crisis Engulfing Nature Matters for Business and the Economy. WEF, Geneva.
[8] Dasgupta, P. (2021) The Economics of Biodiversity: The Dasgupta Review. HM Treasury, UK Government.
https://assets.publishing.service.gov.uk/media/602e92b2e90e07660f807b47/The_Economics_of_Biodiversity_The_Dasgupta_Review_Full_Report.pdf
[9] CBD (2022) Decision adopted by the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity at its fifteenth meeting (COP15 Decision 15/4: Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework). CBD, Montreal. https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-15/cop-15-dec-04-en.pdf
[10] CBD (2024) Decision adopted by the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity at its sixteenth meeting (COP16 Decision 16/19). CBD.
https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-16/cop-16-dec-19-en.pdf
[11] CBD (2025) Report of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity on its sixteenth meeting. CBD/COP/16/13.
https://www.cbd.int/doc/c/1f89/fe4e/3aafae10b74a93c7aa36b9b7/cop-16-13-en.pdf
[12] UNEP Finance Initiative (UNEP-FI) (2023) Nature and Finance: Charting a Course for Policy Support. UNEP-FI, Geneva.
[13] Paulson Institute, The Nature Conservancy, and Cornell Atkinson Center for Sustainability (2020) Financing Nature: Closing the Global Biodiversity Financing Gap.

[14] Nakhmurina, A. et al. (2026) The fiscal impact of biodiversity loss and a pathway for conservation finance. Science 391: 1110–1113. doi: 10.1126/science.ady0066
[15] IPBES (2026) Summary for Policymakers of the Methodological Assessment Report on the Impact and Dependency of Business on Biodiversity and Nature's Contributions to People (Business and Biodiversity Assessment). Approved at IPBES-12, Manchester, 3-8 February 2026. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.15369060
[16] 環境省 (2023)「生物多様性国家戦略 2023-2030」（令和 5 年 3 月 31 日閣議決定）. https://www.env.go.jp/content/000124381.pdf
[17] 環境省 (2026)「生物多様性国家戦略 2023-2030 の実施状況の中間評価」（2026 年 2 月）. https://www.env.go.jp/content/000379260.pdf
[18] 環境省 (2021)「生物多様性及び生態系サービスの総合評価 2021（JBO3: Japan Biodiversity Outlook 3）」.
https://warp.ndl.go.jp/web/20250106205720/http://www.biodic.go.jp/biodiversity/activity/policy/jbo3/generaloutline/files/JBO3_pamph_jp.pdf
[19] 環境省 (2025)「生物多様性及び生態系サービスに関する総合評価 2028（JBO4）に向けた中間提言」（2025 年 10 月）. https://www.env.go.jp/content/000348019.pdf
[20] Taskforce on Nature-related Financial Disclosures (TNFD) (2023) Recommendations of the Taskforce on Nature-related Financial Disclosures v1.0, September 2023. https://tnfd.global/wp-content/uploads/2023/08/Recommendations-of-the-Taskforce-on-Nature-related-Financial-Disclosures.pdf
[21] IFRS Foundation / ISSB (2023) IFRS S1 General Requirements for Disclosure of Sustainability-related Financial Information and IFRS S2 Climate-related Disclosures, June 2023. https://www.ifrs.org/news-and-events/news/2023/06/issb-issues-ifrs-s1-ifrs-s2/
[22] IFRS Foundation / ISSB (2026) Biodiversity, Ecosystems and Ecosystem Services — Project Update, February 2026. https://www.ifrs.org/projects/work-plan/biodiversity-ecosystems-and-ecosystem-services/
[23] European Union (2022) Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD). Directive 2022/2464/EU.
[24] Global Reporting Initiative (GRI) (2024) GRI 101: Biodiversity 2024 (effective 1 January 2026). GRI Standards.
[25] Mori, A.S., Isbell, F. (2024) Untangling the threads of conservation: A closer look at restoration and preservation. Journal of Applied Ecology 61: 215–222. doi: 10.1111/1365-2664.14552
[26] Cross Sector Biodiversity Initiative (CSBI) (2015) A cross-sector guide for implementing the Mitigation Hierarchy. CSBI. https://www.icmm.com/website/publications/pdfs/environmental-stewardship/2015/guidance_mitigation-hierarchy.pdf
[27] European Commission (2024) Nature Restoration Law enters into force (15 August 2024). https://environment.ec.europa.eu/news/nature-restoration-law-enters-force-2024-08-15_en

[28] zu Ermgassen, S.O. et al. (2019) The ecological outcomes of biodiversity offsets under "no net loss" policies: A global review. Conservation Letters 12(6): e12664. doi: 10.1111/conl.12664
[29] Swinfield, T. et al. (2026) Learning lessons from over-crediting to ensure additionality in forest carbon credits. Nature Communications 17: 3944. doi: 10.1038/s41467-026-71552-3
[30] Gonzalez, A. et al. (2026) From data to decisions: Toward a Biodiversity Monitoring Standards Framework. Proceedings of the National Academy of Sciences 123: e2519347123. doi: 10.1073/pnas.2519347123
[31] 環境省・農林水産省・経済産業省・国土交通省 (2024)「ネイチャーポジティブ経済移行戦略」（2024 年 3 月）. https://www.env.go.jp/content/000213092.pdf
[32] Croci, E. et al. (2025) Biodiversity credits schemes: A comparative analysis. Journal of Cleaner Production 523: 146382. doi: 10.1016/j.jclepro.2025.146382
[33] Wunder, S. et al. (2025) Biodiversity credits: an overview of the current state, future opportunities, and potential pitfalls. Business Strategy and the Environment 34(7): 8470–8499. doi: 10.1002/bse.70018
[34] International Advisory Panel on Biodiversity Credits (IAPB) (2024) Framework for high integrity biodiversity credit markets, November 2024. https://www.iapbiocredits.org/framework
[35] World Economic Forum (WEF) / Biodiversity Credits Alliance (BCA) / International Advisory Panel on Biodiversity Credits (IAPB) (2025) High-Level Principles to Guide the Biodiversity Credit Market, May 2025. https://www3.weforum.org/docs/WEF_High_Level_Principles_to_Guide_the_Biodiversity_Credit_Market_2025.pdf
[36] WWF International (2024) WWF Position on Voluntary Biodiversity Credits, October 2024. https://wwfint.awsassets.panda.org/downloads/biodiversity-credits-position---october-2024---final.pdf
[37] Fisher-Vanden, K., and Olmstead, S. (2013) Moving pollution trading from air to water: potential, problems, and prognosis. Journal of Economic Perspectives 27(1): 147–172. doi: 10.1257/jep.27.1.147
[38] UK Government (2025) Voluntary carbon and nature markets: raising integrity (consultation), April 2025. https://www.gov.uk/government/consultations/voluntary-carbon-and-nature-markets-raising-integrity
[39] zu Ermgassen, S.O.S.E. et al. (2026) Five rules for scientifically credible nature markets. Nature Ecology & Evolution 10(2): 181–192. doi: 10.1038/s41559-025-02932-z
[40] Verra (2024) SD VISta Nature Framework v1.0, October 2024. https://verra.org/wp-content/uploads/2024/10/SD-VISta-Nature-Framework-v1.0.pdf
[41] Takeuchi, K. (2010) Rebuilding the relationship between people and nature: the Satoyama Initiative. Ecological Research 25(5): 891–897. doi: 10.1007/s11284-010-0745-8
[42] Duraiappah, A.K. et al. (eds.) (2012) Satoyama-Satoumi Ecosystems and Human Well-Being: Socio-Ecological Production Landscapes of Japan. United Nations University Press,

Tokyo.
[43] Uchida, K. et al. (2025) Biodiversity change under human depopulation in Japan. Nature Sustainability 8: 883–893. doi: 10.1038/s41893-025-01578-w
[44] Science Based Targets Network (SBTN) (2023) SBTN Technical Guidance: Guide for Readers, May 2023. https://sciencebasedtargetsnetwork.org/wp-content/uploads/2023/05/Technical-Guidance-2023-Guide-for-Readers.pdf
[45] Science Based Targets Network (SBTN) (2024) Corporate Manual for Setting Science-Based Targets for Nature, July 2024. https://sciencebasedtargetsnetwork.org/wp-content/uploads/2024/07/Corporate-manual-for-setting-SBT-for-Nature.pdf
[46] 地域における生物の多様性の増進のための活動の促進等に関する法律（令和 6 年法律第 18 号），公布：2024 年 4 月 19 日，施行：2025 年 4 月 1 日.
[47] 環境省 (2026)「地域生物多様性増進活動の手引き：生物多様性の価値」（2026 年）. https://www.erca.go.jp/nature/pdf/30by30site-append02-ValueofBiodiversity.pdf
[48] Simpson, K.H. et al. (2021) Understanding the performance of biodiversity offset markets: Evidence from an integrated ecological-economic model. Land Economics 97(4): 836–857. doi: 10.3368/le.97.4.030420-0032R
[49] Mori, A.S. et al. (2024) Urgent climate action is needed to ensure effectiveness of protected areas for biodiversity benefits. One Earth 7(10): 1874–1885. doi: 10.1016/j.oneear.2024.08.003
[50] Archer, E. et al. (2025) Achieving the Global Biodiversity Framework under climate change. Global Change Biology 31(5): e70249. doi: 10.1111/gcb.70249
[51] UK Government (2024) Biodiversity net gain: overview and statutory guidance, February 2024. https://www.gov.uk/guidance/biodiversity-net-gain
[52] Environment Agency (2024) The Environment Agency's role in Biodiversity Net Gain, April 2024. https://environmentagency.blog.gov.uk/2024/04/02/the-environment-agencys-role-in-biodiversity-net-gain/
[53] UK Government (2025) The Statutory Biodiversity Metric User Guide, July 2025. https://assets.publishing.service.gov.uk/media/689c5ee17b2e384441636196/The_Statutory_Biodiversity_Metric_-_User_Guide_-_July_2025.pdf
[54] Local Government Association / Planning Advisory Service (2025) BNG essentials for LPAs. Updated 2 October 2025. https://www.local.gov.uk/pas/environment/biodiversity-net-gain-bng-local-planning-authorities/bng-essentials-lpas
[55] Mori, A.S. et al. (2025) Assessing the priorities of stakeholders regarding forest ecosystem services in Japan. Journal of Applied Ecology 62(4): 753–760. doi: 10.1111/1365-2664.70008
[56] Nature Positive Initiative (NPI) (2025) Draft State of Nature Metrics for Piloting, January 2025. https://www.naturepositive.org/app/uploads/2025/02/Draft-State-of-Nature-Metrics-for-Piloting_170125.pdf
[57] Nature Positive Initiative (NPI) (2026) Consultation Brief: Finalising consensus on a universal state of nature metrics framework, February 2026.

https://www.naturepositive.org/app/uploads/2026/02/Consultation-Brief_State-of-Nature-Metrics_Feb26.pptx.pdf
[58] Mori, A.S. et al. (2023) Perspective: sustainability challenges, opportunities and solutions for long-term ecosystem observations. Philosophical Transactions of the Royal Society B 378(1881): 20220192. doi: 10.1098/rstb.2022.0192
[59] 林野庁 (2024)「森林の生物多様性保全とネイチャーポジティブに関する指針」（生物多様性保全に資する森林管理のあり方に関する検討会，2024 年）．https://www.rinya.maff.go.jp/j/sin_riyou/tayousei/attach/pdf/kentoukai-22.pdf
[60] 公益財団法人日本生態系協会 (2025)「令和 6 年度 森林生態系における生物多様性の動向に関する評価手法検討にかかる委託事業 報告書」（林野庁委託事業, 2025 年 3 月）. https://www.rinya.maff.go.jp/j/sin_riyou/tayousei/top.html
[61] 林野庁 (2025)「森林の有する多面的機能に関する企業の自然関連財務情報開示に向けた手引き」（2025 年２月）．https://www.rinya.maff.go.jp/j/sin_riyou/tayousei/attach/pdf/tnfd.kentoukai-18.pdf
[62] TNFD (2025) Recommendations for Upgrading the Nature Data Value Chain for Market Participants, November 2025. https://tnfd.global/wp-content/uploads/2025/10/Recommendations-for-upgrading-the-nature-data-value-chain-for-market-participants_DIGITAL.pdf
[63] Bartholomew, D.C. et al. (2026) Open letter: The need for a site-based biodiversity standard measuring and certifying impacts from nature-based projects. Plants, People, Planet. doi: 10.1002/ppp3.70169

＜参考資料＞

審議経過
令和６年
３月２２日　生態科学分科会（第１回）今後の活動について意見交換
９月２日　　生態科学分科会（第２回）意思の表出について意見交換
令和７年
４月２１日　生態科学分科会（第３回）分科会として意思の表出を行うことを決定
令和８年
３月１８日　生態科学分科会（第４回）報告案の内容について議論

報　　告

老朽・遺棄化学兵器廃棄事業の節目を見据えて

―新たな課題とリスク管理に関する今後の在り方―

令和８年（２０２６年）９月２８日

日　本　学　術　会　議
総合工学委員会・機械工学委員会合同
工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会

この報告は、日本学術会議総合工学委員会・機械工学委員会合同工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会老朽及び遺棄化学兵器の廃棄に係るリスク評価とリスク管理に関する検討小委員会での審議結果を踏まえ、総合工学委員会・機械工学委員会合同工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会において取りまとめ公表するものである。

日本学術会議総合工学委員会・機械工学委員会合同
工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会

委員長	辻　佳子	（連携会員）	東京大学環境安全研究センター教授
副委員長	宮崎　恵子	（第三部会員）	一般財団法人日本舶用品検定協会調査研究部専任部長（国際担当）
幹　事	柴山　悦哉	（連携会員）	大学共同利用機関法人情報・システム研究機構理事
幹　事	西田　佳史	（連携会員）	東京科学大学工学院機械系教授
	越塚　誠一	（第三部会員）	東京大学大学院工学系研究科教授
	遠藤　薫	（連携会員）	学習院大学名誉教授
	大倉　典子	（連携会員）	環太平洋大学国際経済経営学部特任教授／芝浦工業大学名誉教授
	小野　恭子	（連携会員）	国立研究開発法人産業技術総合研究所研究戦略本部サーキュラーテクノロジー実装研究センター副研究センター長
	鎌田　実	（連携会員）	一般財団法人日本自動車研究所代表理事／研究所長／東京大学名誉教授
	蒲池みゆき	（連携会員）	工学院大学副学長／情報学部教授
	神里　達博	（連携会員）	千葉大学大学院国際学術研究院教授
	上條　正義	（連携会員）	信州大学繊維学部教授
	庄司　裕子	（連携会員）	中央大学理工学術院教授
	須田　義大	（連携会員）	東京工科大学片柳研究所長／教授／東京大学名誉教授
	丹下　健	（連携会員）	国立研究開発法人森林研究・整備機構理事長
	野口　和彦	（連携会員）	横浜国立大学 IMS 次世代工学システムの安全科学研究ユニット客員教授
	平尾　雅彦	（連携会員）	東京大学名誉教授
	藤井　健吉	（連携会員）	花王株式会社研究開発部門研究主幹／研究戦略・企画部部長
	松尾亜紀子	（連携会員）	慶應義塾大学理工学部教授
	水野　毅	（連携会員）	埼玉大学名誉教授
	宮崎久美子	（連携会員）	東京工業大学（現 東京科学大学）名誉教授

	持丸　正明	（連携会員）	国立研究開発法人産業技術総合研究所情報・人間工学領域フェロー
	岸田　伸幸	（連携会員（特任））	開志創造大学大学院事業創造研究科教授
	澁谷　忠弘	（連携会員（特任））	横浜国立大学総合学術高等研究院教授

老朽及び遺棄化学兵器の廃棄に係るリスク評価とリスク管理に関する検討小委員会

委員長	小野　恭子	（連携会員）	国立研究開発法人産業技術総合研究所研究戦略本部サーキュラーテクノロジー実装研究センター副研究センター長
副委員長	新井　充		東京大学名誉教授／公益財団法人総合安全工学研究所理事長
幹　事	岸田　伸幸		開志創造大学大学院事業創造研究科教授
	宮崎　恵子	（第三部会員）	一般財団法人日本舶用品検定協会調査研究部専任部長（国際担当）
	辻　佳子	（連携会員）	東京大学環境安全研究センター教授
	朝比奈　潔		元株式会社神戸製鋼所主監
	川原　志郎		環境省大臣官房環境保健部化学物質安全課環境リスク評価室室長補佐
	関　実		千葉大学名誉教授
	髙木　和広		国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構生物系特定産業技術研究支援センター研究リーダー
	古崎新太郎		東京大学名誉教授
	山内　博		聖マリアンナ医科大学客員教授
	山口　芳裕		杏林大学名誉教授／国際医療福祉大学特任教授
	横田　真		元内閣府遺棄化学兵器処理担当室参事官

本報告の作成にあたり、以下の職員が事務及び調査を担当した。

事務	新田　浩史	参事官（審議第二担当）
	渡邊英一郎	参事官（審議第二担当）（令和８年７月から）
	角田美知子	参事官（審議第二担当）付参事官補佐
	冨岡千香子	参事官（審議第二担当）付審議専門職付
調査	辻　政俊	上席学術調査員

要　　旨

１　作成の背景

老朽・遺棄化学兵器（以下、OACW）[1]廃棄事業は国内外にて遺棄された化学兵器の廃棄処理を対象とする事業で、化学兵器禁止条約（以下、CWC）[2]に基づく国際的責務である。CWCが求める米ロを含む主要締約国の廃棄はほぼ完了し、特に日本政府による中国吉林省ハルバ嶺[3]での処理も 2027 年に完了予定である。一方、中国の未発見埋設地への対応や処理施設の配置や設備能力／稼働率の適正化など今後の合理的な運用等には課題があり、また、テロ組織やウクライナ戦争でのロシア軍の使用など化学兵器使用の今日的脅威が顕在化している。これらの課題について、日本学術会議の多面的な学術的支援が望まれる。本報告はこれら課題について、幅広い関係者と情報を共有し共通認識の形成を目指している。

２　現状及び問題点

日本政府による中国での遺棄化学兵器（以下、ACW）[4]処理には、安全と環境保全を重視した発掘・処理が求められる。日本学術会議は専門小委員会を設置し、リスク評価や処理技術、医療体制、作業安全等につき学術的見地から意見表出を続けてきた。ACW の処理残渣には有毒なヒ素が含まれるため、処理残渣処分方法が検討されている。また、ハルバ嶺以外の埋設地が今後も新たに発見される可能性が残り、長期的視野に立った効率的で柔軟な事業運営と国際交渉に基づく持続可能な体制確立が将来的問題と考えられる。

３　報告の内容

(1) ヒ素含有 OACW の安全な処理と安心な処分のための技術開発と制度整備

旧日本軍 OACW の多くはどの処理法でも残渣にヒ素が残り、処理時だけでなく一時保管から最終処分まで厳格な管理が必要である。発掘・鑑定を慎重に行い、もし土壌汚染が確認されれば原因を見極め、必要であれば作業中断と方法改善が求められる。残渣処分は国内外の事例を踏まえ慎重な検討を要する。第三国処分は経済条件や政治的反発など不確実性が大きく、代替として日本国内への持ち帰り処分も考えられるが、地域合意と法的整備が課題である。さらに無機ヒ素を、低毒性で体内蓄積性が低いとされるアルセノベタイン（AsB）へ変換する無害化技術の研究開発を推進し、法制度の整備や、変換後の長期安全保管方法を確立する必要がある。

(2) 中国東北区の想定埋蔵 ACW の網羅的調査及び情報共有による不測の事故の未然防止

環境省は全国調査（1973）とフォローアップ調査（2003）で国内老朽化学兵器（以下、OCW）[5]埋蔵が想定される地点を事故防止のため公表している。中国東北区には ACW の未

---

[1] 用語の説明（p.21）参照。
[2] 用語の説明（p.21）参照。
[3] 用語の説明（p.24）参照。
[4] 用語の説明（p.21）参照。
[5] 用語の説明（p.21）参照。

発見埋蔵地が残るとみられるが完全に把握できていない。中国の経済開発では既存市街地の更新より新規造成に向かい、未利用の山林・原野開発が進みがちで、埋蔵地発見や事故の契機となり得る。一般市民を巻き込む事故を未然防止するため、わが国の環境省調査にならった網羅的な埋蔵地調査・評価を東北区中心に行い、日中の関係部局と中国の土地利用当局で共有することが望まれる。

(3) ACW 処理事業の長期化に備える先進探査技術とリスクコミュニケーション

ハルバ嶺の処理完了後も、中国各地で今後も新たな埋設地が発見される可能性は残されており、長期的な対応を要する。先進探査技術の可能性を探る必要がある。また、平時からの情報共有と緊急時情報提供（クライシス対応）を一体的に整備し、関係機関の連携の下で運用体制の強化を図ることが重要である。さらに、処理技術及び作業工程については、現地の状況や日中両国の経験を踏まえ、効率的かつ円滑な運用に向けた継続的な改善を進めることが望まれる。そして、関係国間の信頼関係に基づく協力の下、安定的かつ着実な事業推進に資する適時対話と学術的情報発信の取組の強化が望まれる。

(4) 今後も発生が懸念される処理事案を想定したガバナンスの知識集約型改革

今後も既知の未発掘埋設地と新発見される埋設地の処理が続くことが見込まれ、不測の事故を防ぐため、日中で協力して、潜在的埋蔵地を把握し事故の未然防止に努め、日本も新たな発見地に即応できる体制を整えるべきである。そして、把握精度向上のため、日中研究者による歴史資料の収集検証や、現地調査を通じたオープンデータ・デジタルマッピングで潜在地情報の動的収集と集約、並びに周知共有を進めることを提案する。また、国内処理対応で培った自治体連携、住民対話等の知見を中国の個別事案に活かすため、内閣府所管の ACW 事業と省庁所管の OCW 事業との連携を強化する機能統合などのガバナンス体制改革が望まれる。そして、これらの改革成果を ACW 事業へ円滑に反映できるよう、中国側との折衝に当たる内閣府 ACW 担当室の体制も整備すべきである。

(5) 長期持続的な環境安全並びに化学軍備管理[6]を担う人材育成と知識・技術の継承

OACW 関与企業では事業縮小と技術者高齢化で後継者不足が進んでおり、経験継承のため処理技術・運用記録を集中保存し活用すべきである。軍民両用性化学物質は産業に不可欠だが兵器転用の危惧があり、テロや事故も想定されるため、情報共有と初動対応者を含む教育訓練整備が必要になる。環境汚染浄化技術や特殊案件に対応できる専門家も求められる。さらに無機ヒ素曝露には潜伏期間が長い発がんリスクがあり、作業員の離職後のケアも含む長期健康管理体制の整備が必要である。無機ヒ素に詳しい産業衛生専門家が減少しており、日常的管理を担う実務者、ヒ素化合物の環境影響評価、AsB 合成技術など各種専門家の後進育成が急がれる。

[6] 用語の説明（p.22）参照。

目　　次

１　はじめに 1
２　わが国の老朽・遺棄化学兵器廃棄事業でのリスク要因とその変化 4
３　ヒ素含有老朽・遺棄化学兵器の安全な処理と安心な処分のための技術開発と制度整備 6
(1)　ヒ素含有処理残渣の安全な一時保管及び最終処分手段 6
(2)　無機ヒ素の無害化（アルセノベタイン化）技術研究開発 8
４　中国東北区の想定埋蔵 ACW の網羅的調査及び情報共有による不測の事故の未然防止 11
５　ACW 処理事業の長期化に備える先進探査技術とリスクコミュニケーション 12
(1)　今後新たな処理対象埋蔵地等が予想される背景並びに蓋然性 12
(2)　ステークホルダーとの安全・安心リスクコミュニケーション 13
６　今後も発生が懸念される処理事案を想定したガバナンスの知識集約型改革 15
(1)　即応性維持と持続可能性強化が求められる将来的状況 15
(2)　省庁連携ないし機能統合による処理事業ガバナンス改革[51]-[56] 15
７　長期持続的な環境安全並びに化学軍備管理を担う人材育成と知識・技術の継承 . . . 17
(1)　化学物質の安全に関する産業技術者の育成 17
(2)　ヒ素専門人材育成確保の必要性 18
８　まとめ 20
＜用語の説明＞ 21
＜参考文献＞ 25
＜参考資料１＞審議経過 29
＜参考資料２＞シンポジウム開催 30
＜付録＞ 31
付録１　ヒ素化学兵器の低毒性化処理：無機ヒ素のアルセノベタインへの変換及び最終処分 31
付録２　老朽・遺棄化学兵器問題に関する主要な政策決定等一覧 39
付録3　ヒ素化学兵器処理由来の無機ヒ素曝露作業者に対する離職後長期健康管理体制の必要性 41

１　はじめに

第二次世界大戦終結後も各地に残された旧日本軍化学兵器を処理する老朽・遺棄化学兵器（OACW）廃棄事業（以下、本事業）が大きな節目を迎えている。

本事業は、日本国内で発見された旧日本軍化学兵器（以下、老朽化学兵器;OCW）に対する老朽化学兵器処理事業と、国外の専ら中国で発見される旧日本軍化学兵器（以下、遺棄化学兵器;ACW）に対する遺棄化学兵器処理事業で構成される。

前者は環境省または発見場所を管轄する官公庁の管理の下、戦後、日本国内各地で発見された OCW は断続的に処理が行われ、2000 年に福岡県苅田港[7]で発見された約 3,000 発の回収・処理を 2014 年に完了したのを最後に発見がない。環境省は昭和 48 年に当時存命だった旧日本軍関係者や地域住民に対し徹底的な調査を行い、OCW が存在する可能性のある地点、水域等を網羅的にリストアップし、今もフォローアップを続けている[1]。新たな OCW が発見される可能性は年々減少していくと考えられるが、万一発見された場合に随時回収・処理する準備が必要なことは今後も変わることはない。

一方、後者は、先の戦争中に旧日本軍が中国大陸に持ち込んだ化学兵器が終戦後も残されたままであったため、1990 年に中国政府がその解決を日本政府に要請してきたことから問題として認識された。その後、1995 年９月に日本が化学兵器禁止条約（CWC）を批准し、1997 年４月に中国が批准、同年に同条約が発効したことから、日本は中国の ACW を廃棄する同条約上の義務を負うこととなった[2]。CWC 締約国は「この条約に従い、他の締約国内に遺棄した全ての化学兵器を廃棄することを約束する」（第１条３）と定めているからである。また、CWC は「締約国は、化学兵器の輸送、試料採取、貯蔵及び廃棄に当たっては、人の安全を確保し及び環境を保護することを最も優先させる」（第４条 10）と定めており、遺棄化学兵器処理における人的安全の確保と環境の保護もまた CWC 上の義務である。これらの条項により化学兵器の禁止に留まらず、その廃棄義務、安全確保、環境保護を明文化した点で、CWC は 1899 年のハーグ陸戦条約に始まる一連の近代的化学軍備管理の国際的努力において画期的であるといえる。

CWC は締約国の保有する全ての化学兵器の廃棄及び今後製造・配備・使用しないことを定め、化学兵器の製造に必要な原材料や特定の機械設備の製造や輸出入を規制する管理と、その査察を行う化学兵器禁止機関（OPCW）[8]を設置し、規制対象の化学剤や原材料等もリスト化した点で前例がない。ACW の遺棄国による廃棄義務も化学軍備を全廃する上で必要な条項といえる。

日中間では CWC 成立に先立ち 1991 年から政府間協議が重ねられ、1999 年７月に「遺棄化学兵器の処理に関する日中覚書」が署名された。そして、日本政府内では同年４月に総理府（現内閣府）遺棄化学兵器処理担当室が、翌年１月には中国外交部内に日本遺棄化学兵器問題弁公室が、それぞれ設置されて、ACW 処理事業が本格化するに至った。

この時点までに日本政府は 1991 年以降約 20 回中国各地で現地調査を行い ACW の実態把握に努めていたが、最大の懸案は当時 70 万発から 200 万発という大量の埋蔵が推定され

[7] 用語の説明（p.22）参照。
[8] 用語の説明（p.21）参照。

た吉林省ハルバ嶺埋設地における ACW 処理であった。CWC は発効から 10 年以内に締約国に廃棄義務の履行を定めて、当初期限の 2007 年までにハルバ嶺での処理を遂行する技術手段が求められた。この前例のない技術的課題と期限付の緊急性、また、CWC に基づく国際公約という性格が産官学にわたり広く関心を集めた。日本学術会議においても第 18 期にて ACW 処理が重要テーマに採択され、老朽及び遺棄化学兵器の廃棄に係るリスク評価とリスク管理に関する検討小委員会の前身となる専門委員会が発足して活動を続け現在に至っている。これまでに発出した報告・提言を表１に掲げる。この間、当該小委員会は、内閣府遺棄化学兵器処理担当室（以下、内閣府 ACW 担当室)、内閣府遺棄化学兵器処理事業に関する有識者会議、関係省庁、処理事業関係企業等と人的な交流を重ねて学術的・専門的知見の周知と活用を促し、本事業の推進に一定の貢献をしてきたといえる。

表１　これまでの報告、提言

題名	公表時期
遺棄化学兵器の安全な廃棄技術に向けて（対外報告）	2001 年７月 23 日
遺棄化学兵器の廃棄技術に対する科学的リスク評価とリスク管理を目指して（対外報告）	2002 年 11 月 26 日
老朽･遺棄化学兵器のリスク評価と安全な高度廃棄処理技術の開発（対外報告）	2005 年３月 23 日
老朽･遺棄化学兵器の廃棄における先端技術の活用とリスクの低減（提言）	2008 年７月 24 日
老朽･遺棄化学兵器の廃棄処理の実施における保安対策―中国の遺棄化学兵器処理の開始に当って―（提言）	2011 年６月２日
老朽・遺棄化学兵器廃棄の安全と環境の保全に向けて（報告）	2019 年９月 20 日

ただし、CWC が定める 10 年以内の廃棄義務履行は本事業のみならず米ロなど大量保有国にも厳しい条件だったため、OPCW での協議を経て再三延長され、現時点の期限は 2027 年である。また、地中や水中から回収された化学兵器は OPCW の鑑定を受け ACW と認定された時点から 10 年以内の期限が設定される取決めが設けられ、時間的制約は遵守困難とはいえない。しかし、ハルバ嶺処理工場建設等に要したコスト[9]を考慮すれば迅速な処理が望まれる。幸い現時点では 2027 年度でハルバ嶺埋設地処理を完了する計画の進捗が報告されている。日本学術会議の関与経緯からは、ハルバ嶺処理完了を ACW 処理事業に対する学術界の支援活動の一つの節目と見ることができる。

さらに、今後の中国での本事業運営が大きく変わることが見込まれる意味でも一つの節目といえる。ハルバ嶺での処理完了後、中国東北区を中心に高機動型処理施設によるオンサイト処理が見込まれている。同処理施設は既に稼働実績もあり、ハルバ嶺処理場の経験

[9] 本事業の 2025 年度予算執行額は 581 億円、1999 年の事業開始以降 2025 年度末までの累計は約 5,866 億円である。[46]

等の横展開もあり、運営上の不安は小さい。しかし、中国には未発掘・未発見の埋設地が相当数散在すると見込まれており、今後何年かけて何発を処理する必要があるのか全く見通せない状況がある。こうした不透明な先行きに対応する運営の在り方につき、日本学術会議には処理技術、オペレーション管理、事業経営、ステークホルダーガバナンス等の多面的な解析や評価が蓄積されており活用が望まれる。これは、日本国憲法前文が掲げる国際協調を通じた平和主義の実践に他ならないと考えられる。

他方、世界に目を転じると、CWC 成立時に大きな課題だった米ロが冷戦下で備蓄した大量の化学兵器（以下、ストックパイル）[10]の廃棄はほぼ完了した。化学兵器は CWC 未加盟のイスラエルや北朝鮮など個別事情がある極少数の国に残るのみとなり、CWC 成立当初の目的に照らしても一つの節目が来たと言うことができる。

以上のように、ハルバ嶺 ACW 処理の完了は、複数の文脈において、象徴的な節目として位置づけることができる。

しかし、CWC による化学兵器禁止体制に対する、今日的な脅威の顕在化が指摘できる。権威主義体制下のテロ支援国家が CWC を潜脱し化学軍備を整える懸念は今後もある。非国家組織により化学兵器が密造され非正規戦争やテロ活動に使用される可能性は、オウム真理教地下鉄サリン事件(1995)に照らして否定できない。これらの脅威を抑止するため化学兵器製造にも民生用にも有用な軍民両用性化学物質（DUC）[11]規制の強化徹底が新たな課題になっている。また、DUC の中には現代的な戦用化学剤としては不十分だがテロ目的には利用可能な有毒物質も含まれ問題を複雑化している。さらに、2022 年に始まったウクライナ戦争では度々ロシア軍の化学兵器使用が報じられ、2024 年及び 2025 年に OPCW はウクライナからの要請に基づき３回にわたりこれを検証し[3][4][5]、米国務省はその使用を報告している[6]。使用されたのは致死性の低い暴動鎮圧ガスとされるが、CWC は警察用化学剤も戦時使用を禁止しており、CWC 加盟主要国の一つが公然と違反を繰り返す事態は深刻である。これからの CWC 体制の在り方に日本としてどう寄与するのかも、この節目の時期に考えておく意義があると考えられる。

本報告は、日本の国際的責任と貢献を果たすため、CWC に基づく ACW 処理事業を引き続き事故無く円滑に推進できるよう、従来最優先で取り組まれたハルバ嶺埋設地 ACW 処理の終結に目途が付き、広域の処理事業を新型機材や方法で長期にわたり実施する展望が見えて来た現段階の視点で、新たに優先的に取り組むべき様々な課題について、関係省庁、現在と将来の受託企業関係者、必要な能力を有する科学者／技術者及び同コミュニティと情報を共有して課題解決に向けた議論を喚起し、共通認識を形成することを目指している。

[10] 用語の説明（p.23）参照。
[11] 用語の説明（p.23）参照。

２　わが国の老朽・遺棄化学兵器廃棄事業でのリスク要因とその変化

中国における遺棄化学兵器の処理は、内閣府 ACW 担当室が主体となった国の事業として、2027 年のハルバ嶺の処理完了期限に向けて本格的な操業が進行している。旧日本軍の主要な化学兵器はヒ素を含む特徴があり、びらん剤製造所の従業員の中毒は著しかったと記録されている[4]。炸薬にピクリン酸を使用していることも特徴で、打撃等の機械的刺激に対して敏感に反応する。言うまでもなく、化学兵器の処理においても安全を第一に考えなければならない。作業は発掘回収においても、廃棄処理においても、日本側が主体となって進められるが、周辺の作業や補助的な作業は中国側が行っている。双方の作業員の安全を確保することが第一であるが、周辺の住民の安全への配慮も当然必要となる。

地球規模の環境破壊や回復が検討課題だった第 18 期日本学術会議にて OPCW での議論を紹介した結果、地雷処理と共に遺棄化学兵器処理を重要テーマに採択することとなり、「荒廃した生活環境の先端技術による回復」研究連絡委員会の中に「遺棄化学兵器の安全な廃棄技術の研究促進」小委員会を設け活動を開始した。その後、幾度かの改組を経て活動を続けている。その目的は、化学兵器の廃棄処理が安全にかつ順調に進捗するよう、科学的な第三者として意見表明などを通じて支援することであると考えられる。こうした立場で委員会（前身の研究会を含む）は提言・報告６件、予稿集その他 15 件以上の意見表明[8]-[28]を行ってきた。そのために当該小委員会は、リスク因子の収集と把握、技術的解決策の探索と絞り込み、周辺課題の洗い出しと補完的技術の整理を行った。その過程で、産業技術や行政・外交などからくる実務的かつ多面的な課題や制約を踏まえつつ、諸科学分野横断的に発散と収束を繰り返すモード２[29]型の知的活動を、複数の主要因子毎に随時並行的に繰り返して、より洗練された成果を導いてきた。

それら主要因子毎の当該小委員会の活動動向をまとめると、最初は化学兵器問題の情報収集から始まり、各種の処理技術の比較検討、環境衛生や医療体制の確保、事業運営の問題などを経て、近年はハルバ嶺処理場の操業進展を背景に、ヒ素を含む廃棄物の処理・処分、ヒ素曝露に関する労働衛生・医療体制、化学兵器処理と環境問題などのリスク因子に関し議論してきた。さらに、近い将来顕在化する可能性のある新たなリスク因子の探索や評価の議論が行われている。

そうした議論の成果を踏まえて化学兵器の発掘回収における主な安全上の配慮事項をまとめると以下のとおりである。

１）不測の爆発や化学剤漏洩の防止
２）腐食などによる容器の破損対策
３）松花江、広州など透明度の低い水中での作業の安全対策

また、廃棄処理において特に配慮すべき事項は以下のとおりである。

１）腐食した砲弾、容器の取扱い
２）加熱爆破において爆破できない砲弾の取扱い
３）制御爆破における火薬の性能評価
４）排気の除塵、除染
５）終了期限を意識した長時間の運転、多数の装置の並列運転による複雑性

本事業予算は高水準で推移しており、無駄なく効率的な推進が重要である。そのためにも、安全と環境汚染の防止策に留意する必要がある。また、事業の範囲が地理的に拡大した故、処理事業システム全体を眺めた適切な管理運営も重要である。さらに、期限どおりハルバ嶺での処理が終了しても、各地に散在する遺棄化学兵器が残されており、加えてその後も発見される可能性は無視できない。この終結点が見えない発掘回収と処理をどのような形で完遂するのか、国際的な交渉をしつつ解決に導かなければならない。管理運営上の長期的な展望が望まれる。

3　ヒ素含有老朽・遺棄化学兵器の安全な処理と安心な処分のための技術開発と制度整備

(1)　ヒ素含有処理残渣の安全な一時保管及び最終処分手段

発掘・回収されるOACW化学剤の大半を占める「あか剤」及び「きい二号剤」は原料にヒ素を使用している。これらはいかなる処理を行った後も残渣にヒ素が含有される。ヒ素は毒性が強いため、処理時のみならず、残渣の最終処分と、それに至る間の一時保管時のリスク管理を徹底しなければならない。ヒ素を含まない他の化学剤については、経年劣化により毒性が低減や消失することが期待できる。また、OACW構成部材に含まれる可能性がある鉛などの有害金属は通常弾薬と同様の処理が可能であり、技術的課題の問題は小さい。以上を踏まえ、本章では特に問題となるヒ素に焦点を当てる。

① 遺棄化学兵器処理に伴う土壌ヒ素汚染と同含有残渣

本事業の前提として、戦後の混乱時に発生した旧日本軍のOACWを廃棄する事業であり、旧日本軍の通常弾や連合国の弾薬類は対象ではない。

このため、回収・処理開始時には事前確認の必要性があり、ハルバ嶺埋設地でも、その他中国各地の事案でも、日中共同で専門家による試掘と鑑定を行っている。さらに、事業開始後も、発掘された弾薬類は個別に旧日本軍弾薬類か否か、通常弾か化学弾か、化学弾であれば化学剤の種類について、確認・特定が行われている。これらの鑑定には、必要に応じX線透視装置なども用いて鑑定している。

こうした慎重な姿勢は、発掘・回収が終了した埋蔵地跡周辺土壌に残る可能性がある汚染対策についても、堅持すべきと考えられる。さらに、埋蔵弾薬類の回収時に、化学剤による発掘坑周辺の土壌汚染が認められた場合、ACWの長期劣化によるものか、回収時の要因によるものかの見極めも望まれる。後者の場合、作業の中断と実施方法の改良・変更等の対策実施が求められる。土壌汚染未然防止だけでなく、安全な発掘環境保全のためにも必要である。

ハルバ嶺での処理が完了して今後各地の多様なACW処理に取り組む際に、高機動型移動式処理設備に限らず、新たな処理設備や発掘・回収機材／方法などのイノベーションを図る際には、それに伴い生起するヒ素関連リスクを確認の上、導入するべきことは言うまでもない。

②残留物の処分方法：ヒ素汚染廃棄物と土壌の処理例

OACW処理事業に伴う残留物の処分方法について主要な事例を掲げる。

OCW処理の例では異なる処分方法の実績として以下の２件に留意すべきである。

ア　屈斜路湖事案[30][12]

屈斜路湖事案では、発生した処理残渣は、管理型処分場である苫小牧隔離処分場（当時）で永久埋設処分した。湖底から回収したため汚染土壌はない。

[12] 用語の説明（p.23）参照。

イ　苅田港事案[31]

製鉄産業に属する既存のヒ素処理可能施設を利用して高温溶融によるスラグ化などの処理を行い、工業系のヒ素廃棄物と同様の処分を行った。海底から回収したため汚染土壌はない。

ACW 処理の例では以下の２件が注目される。

ウ　移動式制御爆破設備[32]

ハルビンで実施中の処理場に移動式制御爆破設備が設置されている。これらの廃棄物は、ハルバ嶺処理の廃棄物などとまとめて処分するため隔離保管してある。なお、これらで処理される ACW は ACW 事業開始前から中国側が回収し保管してあったもののため、回収・保管地の汚染土壌は中国側が処理しており、本報告の対象外となる。

エ　高機動型移動式処理設備[33]

新設計の高機動型移動式処理設備は発見・回収された場所に移動して処理することを基本として運用開始された。廃棄物は当面ウの事案と同様に保管するのが良いと考えられる。土壌汚染の有無や対策などは埋蔵・発掘地の環境や状態が多様なため、個別に対応しなければならない。

③第三国における残留ヒ素最終処分案と不確実性

中国 ACW 事業で発生したヒ素残留残渣を第三国、具体的にはドイツの民間処分場で最終処分する案があり、内閣府 ACW 担当室が一定の検討を行った経緯がある。

ア　第三国処分案に係る不確実性

第三国処分には受入側に起因する不確実性の問題がある。検討対象となったのは将来の資源回収を目的に、リサイクル技術確立までの間、産業廃棄物を、岩塩坑跡を利用した地底処分場で安全に保管することを主目的とする民間企業の施設である。通常は各種工場など顧客から貨車で大量に産業廃棄物を受け入れているため、ACW 事業で生ずる廃棄物は極めて量的に小さい。このため、受入量と単価に係る経済的諸条件の適正な調整が難しかった。また、処分場周辺地域で日本が中国で処理した廃棄物を、何故ドイツで処分するのかという反対気運が政治問題化する可能性も懸念され進展していない。内閣府 ACW 担当室は、あくまでオプションの一つとの立場を表明している[34]。

イ　第三国処分案を踏まえた代替案の検討

第三国処分案の経験を踏まえた代替案として、ヒ素含有物質の日本国内持ち帰り・

処分を検討すべきではないかと考えられる。ドイツと同様にOECD加盟国であり、かつCWC締約国である日本には、OCW事案において国内処分を行った前例（３(1)②参照）が存在する。この経験を踏まえると、中国におけるわが国のACW事業に対して、同様の国内処分技術を応用できないと考える理由は乏しい。

課題となるのは受入体制の整備であり、日本国内事例に鑑み地域住民とのコンセンサスの存在を前提とした地方自治体レベルのコミットメントが不可欠である。そのために、日本由来の廃棄物としての受入シナリオを作成し、同時に公になった際に想定される地域住民の反発や不安、並びに、ネット社会を含むメディア世論への対応策を、予め十分準備しておくべきである。（５(2)参照）

考え得る方式２例を掲げる。これらはあくまで現時点の案であり、十分な研究に基づき詳細案を作成し、然るべき手順を踏んで意思決定と実現を図らなければならない検討課題である。

（ア）埋立処分案

国内の管理型処分場で永久埋設処分する案である。処分場選定に際しては、関係法規制だけでなく、適切な処分場施設や地元コンセンサスの基盤の有無、中国からの搬入に適した国際的港湾の利用可否、並びに、廃棄物の国内陸上輸送の便などを慎重に考慮する必要がある。

（イ）既存処理可能施設での処理案

既存の国内製鉄所高炉を利用して溶融し、他の製鉄スラグと同じく産業廃棄物として安全に処分する案である。これは苅田港事案の廃棄物処分と同様である（３(1)②イ）。金属産業ではヒ素を含む製鋼・精鉱残渣の大量処理が日常的に行われており、そのプロセスを利用するものである。現にそうした処理を操業している施設類は、所定の環境アセスメントや安全対策を行い、許認可を受けた民間事業所であり、地域と共存共栄し一定の信頼関係を築いていることが期待できる。ACW廃棄物を日本国内へ移入し、産業廃棄物と同等に扱うことは国内法規制上、想定外と考えられるため、本案を実現するには関係省庁・自治体と連携した法的対応が必要と考えられるので、十分な検討を要する。

(2)　無機ヒ素の無害化（アルセノベタイン化）技術研究開発

本事業で旧日本軍のOACWを処理して生ずる残渣に含まれる有毒な無機ヒ素を無害化する技術について一定の概念実証（PoC；Proof of Concept）が得られている（付録１参照）。実用化に向け研究開発を推進することが望ましい。

① 無機ヒ素低毒性化の意義

WHOは自然環境（地下水中の無機ヒ素）由来の無機ヒ素曝露による慢性ヒ素中毒について[35]、患者及びハイリスク者は約9,000万人にのぼると指摘、特に、アジアでの

被害が甚大であり[36]、健康障害として発がん（皮膚がん、肺がん、肝がん、膀胱がん）が懸念されている[37]。本報告における「無機ヒ素の低毒性化」とは、無機ヒ素が有する極めて高い毒性を著しく低減させることにより、人の健康障害の予防及び根絶を図るものである。なお、ここでは、無機ヒ素を低毒性化させて生じる化合物としてアルセノベタイン（AsB）を想定している。

② AsB の生合成及び毒性・代謝・排泄

海水中に微量存在する無機ヒ素は、植物性プランクトンにより AsB へと生合成され、その後、食物連鎖を通じて人の体内へと取り込まれる。しかしながら、人及び哺乳類においては、AsB を生合成する機序は備わっていない。AsB の毒性については、急性・慢性ヒ素中毒の主要原因となる無機ヒ素（マウス経口投与の半数致死量の値、0.03 g/kg）と比較して、その半数致死量の値（マウス経口投与、10 g/kg）は著しく高く、低毒性であることが確認されている。さらに、AsB は体内でほとんど代謝を受けず、迅速に尿中へ排泄され、体内への蓄積性は低いと考えられてきた[38]。

③ AsB の人工合成技術

AsB は、グリニャール反応を利用した化学合成が可能であるものの、その合成には高い危険性及びコストが伴うため、現状グリニャール反応は主に研究用として限定的に利用されている。一方、日本の研究者により、海洋生物における AsB の生合成過程を模倣する技術開発が報告されているが[39][40][46]、変換効率の面では依然として課題が残されている。これらの課題解決を目指し、バイオミメティックシステム、バイオインスパイアード触媒システム、酸化チタン光触媒システムを用いた新たな合成法が確立されたものの、触媒効率のさらなる向上を含めた技術改良が急務である[42]。

④ AsB に係る法制度と技術の実用化及び社会実装に向けた課題

現行の国内法制上、AsB はヒ素化合物として、毒物及び劇物取締法の規制対象に位置づけられる。また、土壌汚染対策法においても「砒素及びその化合物」として、第二種特定有害物質（重金属等）と分類されており[43]、状況に応じて必要な措置を講じることになっている。したがって、当該技術の実用化及び広範な社会実装を推進するためには、まずは各法制度においての AsB の物性や無害性などの確認と、制度で定める物質の範囲についての検討を促す必要がある。

⑤ 遺棄ヒ素化学兵器処理物の AsB 変換及び長期保管の展望

日本国内で発掘された遺棄ヒ素化学兵器の制御爆破処理により生成された金属ヒ素と無機ヒ素の混合物について、既に AsB への変換が実現されている。一方、中国における遺棄ヒ素化学兵器処理事業に起因する無機ヒ素含有廃棄物については、その量が限定的であることから、現行または改良された技術により AsB 変換が可能になると予測できるので、今後の実証を含めた検討が望まれる。また、処理物の量が少ないため、

事業としての継続性に疑問が呈され、商業化が進展しにくい現状にある。このため、社会公募型の短期事業として推進することが相応しいと考えられる。

遺棄ヒ素化学兵器処理から発生する無機ヒ素を AsB に変換した後、これを一般環境下で長期間にわたり安全に保管するためには、AsB の安定な特性を活かし、強化ガラスとステンレス製キャニスター内に保存する方法が有効であると考えられる。この保存方法により、長期にわたって安全な状態を維持できる可能性が推測される。この保存方法を検討するべく、パイロットプラントでの実証試験等で長期安定性を確認することも必要と考えられる。

本技術に関する基礎研究及び実証研究の充実は、処理事業の飛躍的発展並びに環境保全の観点から、極めて重要な意義を有するものである。

４　中国東北区の想定埋蔵 ACW の網羅的調査及び情報共有による不測の事故の未然防止

日本国内になお未処理の OCW が埋蔵されている可能性は否定できない。ただし、環境省は「旧軍毒ガス弾等の全国調査」（昭和 48 年）と同「フォローアップ調査」（平成 15 年）を行い、国内で OCW の埋蔵等が想定される地点等を広く調査分析して公表している[44]。それらは本件に関して利用可能な最も網羅的情報であり、今後の国内での土地利用の計画や許認可等へ反映することで、不測の事故の未然防止を図ることができる。

中国の ACW も未発掘・未発見の埋蔵地等が残存することが想定される。日本の環境省同様に中国当局もそうした埋蔵地等の情報収集に努めていると考えられるが、遺棄が発生した約 80 年前の状況を勘案すれば、チチハル事件（2003）[13]の原因となった類の埋設地を完全に把握することは難しい。

また、ACW が残る可能性が特に高い中国東北区（遼寧省・吉林省・黒竜江省）での、経済発展に伴う土地開発が、新たな埋蔵地発見の契機となることが懸念される。中国政府は 2003 年以降、東北振興戦略を通じ中国東北区経済の再活性化を目指し、新たな開発機運が生まれているが、土地に余裕がある中国では、新規開発に際し、既存施設や街区のスクラップ＆ビルドよりも、新たに用地を造成する傾向が見られる。このことは、従来未利用の山林・原野へ開発が進む要因になる。未発見 ACW 埋蔵地も、こうした場所に多いと予想される。

チチハル事件（2003）に代表される不測の ACW 事故を未然に防ぎ、安全な廃棄処理を推進するためには、想定埋蔵地に対する体系的な対応が不可欠である。日本においては、環境省「旧軍毒ガス弾等の全国調査」を通じた想定埋蔵地の網羅的把握とリスク評価の成果を、事故防止及び適切な処理体制に役立てている。これを踏まえ、特に未発見埋蔵地の存在が想定される地域における、同様の考え方に基づく調査及び評価の実施が有効と考えられる。

[13] 用語の説明（p. 24）参照。

５　ACW 処理事業の長期化に備える先進探査技術とリスクコミュニケーション

(1)　今後新たな処理対象埋蔵地等が予想される背景並びに蓋然性

日中戦争が 1945 年に終結した後、中国では内戦が勃発して共産党が勝利し現在の中華人民共和国政府が 1949 年に誕生した。ACW がその後多く発見され、かなりの数が中国軍により吉林省敦化市の丘陵地帯ハルバ嶺に、２つの地点（１号坑、２号坑）に分けて地中３～７m の深さに埋設された。1990 年に中国政府から日本政府に対して、(各地に存在するものも含めて) ACW の処理が依頼され、1999 年に日中間において廃棄処理に関する覚書が締結された。この覚書により ACW の処理を日本が担当することになっている。なお、化学兵器禁止機関(OPCW)においてもこの話題が科学諮問委員会で討議された。

実際の処理方法は、中国から外交ルートを通じて ACW の存在が日本側に連絡され、それに基づいて発掘回収・廃棄処理を日本が行い、これに中国側が協力して処理が行われている。ハルバ嶺に埋設されたものに対しては、同地内に処理工場が建設され、2014 年から廃棄処理を開始している。

ハルバ嶺にどの程度の数の ACW が埋設されたかについてはデータがなく、当初は 30 万発以上の ACW が存在すると考えられていたが、調査が進むにつれてその数が減少し現在は 10 数万発程度とされている。処理には神戸製鋼（株）製の爆破処理装置が用いられたが、その後大規模処理の可能な川崎重工業（株）製の大型加熱爆破処理装置が追加された。いずれの装置にも両社から技師、運転員が運転操作、装置の維持管理に参加している。2025 年度末までに 99,768 発を処理した[45]。順調に進めば 2027 年度末には処理が終了する見込みである。

ハルバ嶺の他にも中国各地（東北部のみならず、西は内蒙古、南は広西壮族自治区南寧まで）に ACW が存在し、発見の都度中国から廃棄処理の要請が日本に対して行われている。最初の発掘回収は黒竜江省北安で 2000 年に行われ、これらを保管庫に収容して移動式処理装置（爆破）にて廃棄処理を行って来た。最近では高機動型移動処理装置（加熱爆破）により大量に処理を進めている。2025 年度末現在、南京、石家荘、武漢、ハルバ嶺など中国各地で計 183,241 発の ACW が回収され、そのうち 149,378 発が処理された[46]。この数値から、ACW がいかに多く、また広範な地域に存在しているかが理解される（図１）。

以上のような ACW 発掘・回収・処理の成果にも関わらず、問題は、今後も新たな ACW が発見され続ける可能性を否定できない点にある。これらの存在を正確に早く把握しない限り処理事業全体の将来計画が作成できず、事業終了の目途が立たない。これらの ACW は都市部（建設工事等で発見される）の他にも河川、海中、山中に存在していると考えられる。全容の把握には、空中からのリモートセンシング、あるいは低空でのドローン利用により、砲弾類の存在を探索できることが望まれる。地雷探索においては地中レーダー(GPR)の他に、X 線や中性子線を利用した高感度センサーによる金属探知も研究されている[47]。こうした先進技術を ACW 探索に適用し、中国側とも協議したうえで、埋設された ACW 探索の効率化を図ることが望ましいと考えられる。

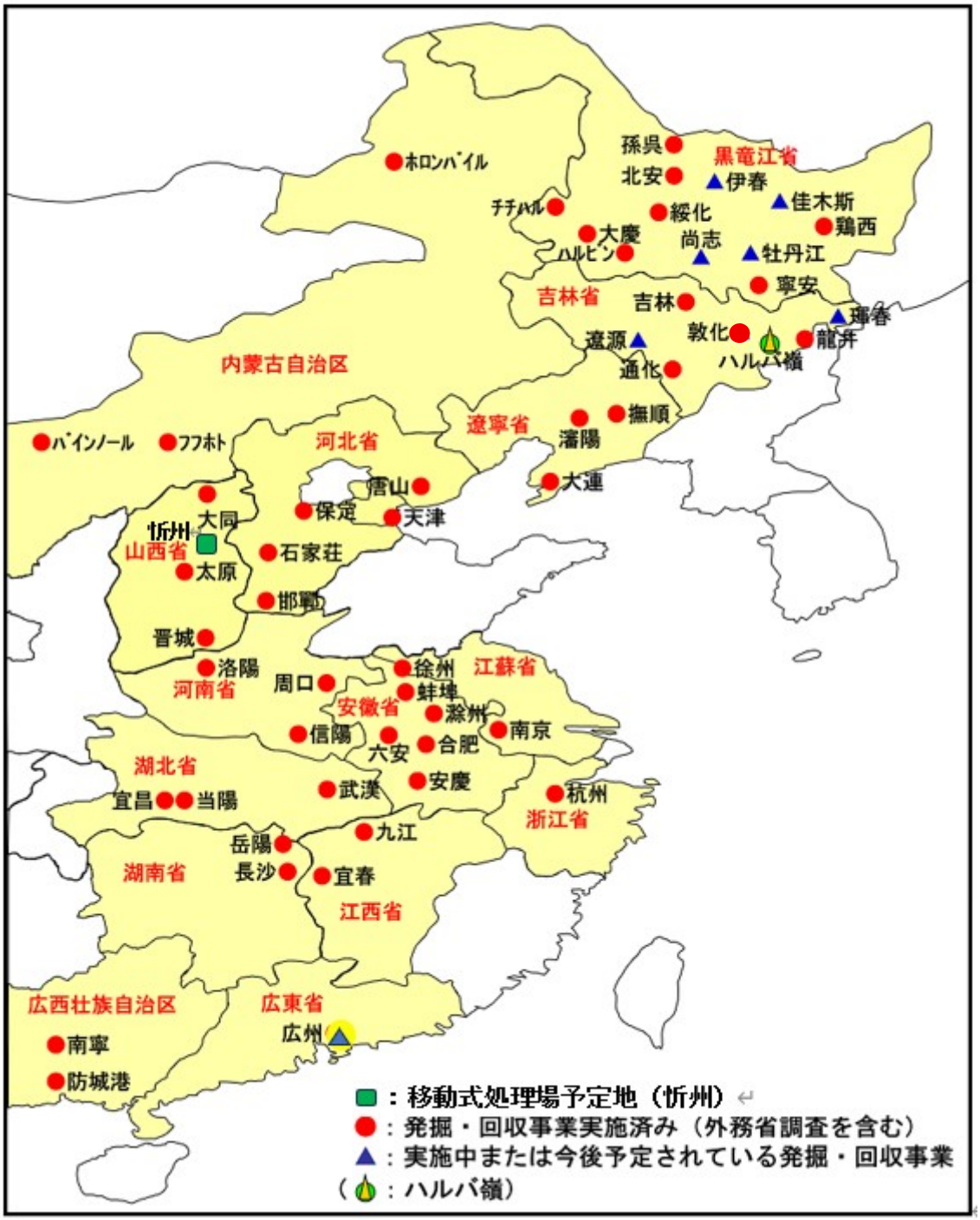


図１　中国遺棄化学兵器回収場所

出典：内閣府 ACW 担当室（2026）に加筆修正

(2)　ステークホルダーとの安全・安心リスクコミュニケーション

「リスクコミュニケーション」の概念を OECD は「リスクについての、個人、機関、集団間での情報や意見のやりとりの相互作用的過程」と定義した[48]。つまり、単なる情報提供では不十分であり、相互理解と信頼構築を目的とした対話が求められる。様々なリスクが存在する OACW 処理事業も例外ではない。また、プロジェクトマネジメント(PM)の世界標準 PMBOK/PMI では、ステークホルダーは、当該プロジェクトの決定、活動、成

果に影響を与えるか、影響を受ける個人、グループ、組織を指す[49]。OACW 事故のリスクがある地元住民や産業、各級自治体、日中両国関係部署、事業関係企業と株主・取引先、その従業員・家族など、また、両国の納税者と有権者、メディア、NGO など、さらには OPCW や CWC 加盟諸国などもこれに該当する。これら多様なステークホルダーは、それぞれ異なる価値観や関心、知識レベルを持つため、リスクに関する情報を一方向的に伝えるだけでは、誤解や不信感を生みかねない。本事業にとって日本学術会議も一つのステークホルダーであり、本意思の表出自体が内閣府 ACW 担当室等の情報発信に応えたアカデミアとの双方向コミュニケーションといえる。

信頼はリスクコミュニケーションの核心である。どれだけ正確な情報を提供しても、送り手側が信頼されなければ、その情報は受け入れられず、むしろ不安を増幅させる可能性がある。したがって、平時からの関係構築、すなわちステークホルダーとの継続的な対話や情報公開、透明性の確保が極めて重要である。また、深刻な事故等が発生した緊急時は、迅速かつ正確な情報提供が重要になる。ただし、情報の発信だけでは不十分であり、ステークホルダーが意思決定の理由や、関係者としての役割などを理解し、納得できる信頼感の醸成が不可欠である。こうした緊急時の対応を特にクライシスコミュニケーションと呼び、平時のリスクコミュニケーションと区分する立場[50]もある。しかし、緊急時のクライシスコミュニケーションは発生頻度こそ低いものの、平時から重要な検討対象とするべきであり、安全・安心に資する広義のリスクコミュニケーションの一環として位置付けて取り組むことが適切であると考えられる。

なお、リスクコミュニケーションには文化的背景や言語の違いも影響する。日中共同の ACW 事業では勿論、OPCW など国際社会での発信に際しても、ステークホルダーの様々な価値観や慣習を尊重した表現や手法が求められる。

そして、特定領域の研究者や企業の専門家など、高度専門家が強い関心を寄せる分野であることから、関係学会や学術誌、国際会議や各種イベントを通じて、科学的に高度な内容を継続的に発信して、アカデミア及び公衆の理解と評価を高めておくことが重要である。こうした平時からの取組は事業の円滑化に資するだけでなく、万一問題が発生した際にも善後策の推進に有益である。日本学術会議も、この領域において貢献し得る存在である。

６　今後も発生が懸念される処理事案を想定したガバナンスの知識集約型改革

(1)　即応性維持と持続可能性強化が求められる将来的状況

ハルバ嶺事業終了以降も、既に特定されている埋設場所での作業が継続されることになる見込みであり、さらに新たな埋設場所の発見に備えた円滑かつ安全な対応が求められる。このため、平時からの情報の整理と、発見時の迅速な対応に資する体制の在り方について、関係機関間での検討が重要となる。

日本では、環境省が「旧軍毒ガス弾等の全国調査」（昭和 48 年）と同「フォローアップ調査」（平成 15 年）を行い、日本国内で OCW の埋蔵等が想定される地点等を広く調査分析して公表し、これらを国内での土地利用の計画や許認可等へ反映することで、OCW による事故を極小化することができてきた（４参照)。日本学術会議は、こうした知見を踏まえ、想定埋蔵地への対応に関する考え方や手法について学術的に整理し、関係機関等における検討及び情報共有に資する形で提示していくことができると考えられる。また、新たな事案発生時の対応手順や即応体制の在り方についても、関連する知見の集約と共有を進めることが重要である。そして、この課題は事業の継続性に関わる重要事項であることから、関係機関間の適切な連携の下で、着実に検討を進めていくことが望まれる。

このことを踏まえると、特に未発見 ACW 埋蔵地が想定される中国東北区を対象に、環境省「旧軍毒ガス弾等の全国調査」と同様の網羅的な想定埋蔵地調査と評価を実施し、その成果を日中両国の廃棄事業関係部局で共有することが望まれる。さらに、新たな埋設場所が発見された場合に備え、対応手順や即応体制を平時から整備しておくことが重要である。両国歴史学者、地域研究者が協力したオープンデータ・デジタルマッピングを行い、オンラインで共有するプロジェクトの形で進めることが有用である。

なお、今後上記のような協力を中国側と円滑に推進していくためには、本件を日中の外交関連活動の重要な案件として位置づけて実施していくことが重要であり、内閣府ACW担当室の体制も、そのことを踏まえて整備していくことが必要と考えられる。

(2)　省庁連携ないし機能統合による処理事業ガバナンス改革[51]-[56]

日本国内の毒ガス弾等に関する対応については、「被害の未然防止」という視点から、当該地域の地方自治体と密接に連携しながら、事前の調査、対象物の安全な処理のみならず、処理を行った後の対象地区の地下水の質に関する調査等も実施している。調査の結果、健康被害の可能性が少ない地区については、その旨公表し、地下水の利用を許容する一方、健康被害の可能性がある地区については、継続的にモニタリングを実施し、飲料水としての利用の可否に関する情報を提供している。

毒ガス弾等のように健康被害を与える可能性の高い化学物質を対象とする回収・処理事業であるため、政府は個々の事案の対応にあたって、「国内における毒ガス弾等に関する今後の対応方針について」（2003 年 12 月 16 日閣議決定）を踏まえて、「毒ガス弾等による被害の未然防止を図る」ための措置を着実に実施し、当該周辺地域の住民の懸念の

解消に努めてきている。その結果、既に解決したといえる案件（寒川事案[57][58][14]、習志野事案など）も出ている。

これらの対応については、環境省の毒ガス情報センターが事務局となり 2004 年度以降継続的に開催されている「国内における毒ガス弾等に関する総合調査検討会」で、審議、フォローされており、関連資料も公開されている。

ACW 処理事業も同じく旧日本軍の化学兵器の処理を対象にしているが、対象物が中国に存在していることもあり、「化学兵器禁止条約に基づきわが国が有する義務を適正に履行し、日中関係の増進にも資する」ことを目的として事業を推進している。発掘、回収事案の対象場所が中国全土に点在していることと、大量の化学兵器の存在が確認されているハルバ嶺の発掘、回収、処理設備の整備に時間がかかったことなどもあり、これまでの事業は、条約上の義務に直結する ACW の発掘、回収、処理が主体となっていた。

しかし、事業開始から 20 年以上の年月が経ち、ハルバ嶺の発掘、回収、処理設備に加え、高機動型処理設備も稼働する状況になってきており、個別の事案それぞれの解決を見据えた検討が必要となってきている。個別の事案の解決のためには、わが国が国内における毒ガス弾等の問題対応で行ってきたとおり、対象地域の自治体との密接な連携を通した住民とのコミュニケーションが不可欠である。中国での事業であるので、自治体、住民との連携・コミュニケーションは中国側が中心となって行うことになるが、わが国が国内における毒ガス弾等の問題解決で蓄積してきた経験、情報の提供は、中国での個別事案の解決に大きく貢献し得るものであり、日中関係の増進にも資することになる。また、ACW 処理事業全体の効果的・効率的推進にも寄与するものと考えられる。

上記のような貢献を実施するためには、これまで別々に推進されてきた ACW 処理事業と日本国内における毒ガス弾等の問題対応事業の連携関係を密なものにする必要がある。幸いなことに ACW 処理事業に関する連絡調整会議には、毒ガス情報センターが所属する組織の長である環境省総合環境政策局環境保健部長が既にメンバーとして参加している。両事業の密接な連携関係実現を通して、日中双方にとってより有益な形で ACW 処理事業が推進されることが期待される。

[14] 用語の説明（p.23）参照。

7　長期持続的な環境安全並びに化学軍備管理を担う人材育成と知識・技術の継承

環境安全と化学軍縮を担う長期的な視点から見ると、産業由来、並びに、戦争に用いられる化学物質には、戦用化学物質（Warfare Chemical Agent 以下 WCA）と一般産業における軍民両用性化学物質（Dual Use Chemicals 以下 DUC）が含まれる。このため、化学物質の環境安全並びに化学軍備管理を担う産業実務者、化学研究者の確保に関し以下の問題があると考えられる。

(1)　化学物質の安全に関する産業技術者の育成

①　事業規模の縮小と高齢化に伴う人材不足対策

OACW に関わる企業では、人材の高齢化と技術後継者の不足が否めない。これまで事業を担ってきたベテランが高齢化する一方で、事業規模が縮小していくという認識から後継者の確保が進まず、技術継承の停滞が懸念されている。

OACW に関わる日本企業は、当初より、日本国内の原子力分野における安全性に関するノウハウをベースに、化学兵器を扱う上での特殊な技術（検知法、防護法、汚染管理法、除染法等）を英国国防省の研究所（Dstl）にて修得し、屈斜路湖事案等の現場でも指導監督を受けて経験を積んだ。化学剤の大気放出基準に関してはアメリカの基準を採用し、その基準の判定に用いるモニタリングシステムも採用するなどした。

当初日本国内の廃棄作業は防衛庁陸上自衛隊員（当時）と民間廃棄業者が行い、民間業者は社内に特別なチームや組織を設けて業務に当たった。将来の ACW や OCW 関係事業拡大を見込んでのことである。しかし、現在 OCW 案件はほぼ出尽くし、また、ACW 関係もマーケットの縮小を踏まえ、企業側も優秀な人材の配置転換や受け皿組織の解体を実施するなどして縮小傾向にある。自衛隊 OB も経験を生かして民間企業従業員として ACW 業務に従事しているが、後継者育成が主目的ではないように見受けられる。

一方、2000 年頃から OACW 事業に従事してきた経験豊富な人材も高齢化が進んでいる。現在、業務に従事している作業者も、将来を見据えて技術を習得し、今後の事業を担おうとする層は必ずしも十分ではない。したがって、優秀な後継者を確保するための動機付けをいかに行うかが重要な課題となる。

技術者の世代交代に伴う経験不足を補うためには、過去の OACW 処理事業における技術やオペレーション全般の記録を、アクセス可能な形で一元的に保存することが有用である。例えば、陸上で発見・回収された ACW に対して同様の処理を行う場合、ハルバ嶺での汚染残土処理には、寒川事案での大量汚染土壌の処理実績が参考となり得る[59]。

②　DUC 問題

OPCW や CWD[15]で注目が高まっている DUC は、市民生活に不可欠なものを作るのに必要な化学物質であると同時にそれ自身にも毒性や爆発性があるものを言う。シアン化水

[15] 用語の説明(p.21)参照。

素（青酸ガス）はナイロン、プラスチック製造の中間体で猛毒であり、神経剤タブンの原料でもある。これらがテロリストに狙われて使用されれば、環境汚染を引き起こすおそれがある。なお、近年のウクライナ戦争では、ロシアのミサイルが、意図の有無は不明ながら DUC 工場に着弾し、有毒ガスが飛散して周辺の住民が被災した事例が報告されている。

これらの事態を未然に防止し、また発生時に適切に対応するための能力が、今後、産業界において化学物質の管理や安全に携わる専門家に求められる。OACW 事業関連施設も DUC 施設と同様の性格を持つリスクがあると考えられ、OACW 事業の安全確保に関わる人材にも、DUC に関する専門能力は不可欠である。DUC 関連の人材育成自体が新たな課題だが、DUC の安全対策は、場所、種類、周辺状況により予防手段、善後措置が異なる。現場で初期対応を担うファーストレスポンダーを含む関係者間の時宜を得た情報共有が重要になると考えられ、そうした視点を踏まえた教育・訓練方法の開発と実装を推進することが望まれる。

③ 従来技術の伝承・修得と化学物質の環境安全に対する重要性の認識

安全な ACW 処理従来技術の教育と人材確保は、ハルバ嶺ほか既に開始されている中国関係案件のために喫緊の課題である。

④ 今後想定される ACW の特殊案件のための人材確保

既に存在が知られており今後の処理を想定した準備が行われている中国吉林省遼源市の ACW 埋設地案件は世界的にも類例がない事案である[60][61][62]。

大量に遺棄されていた旧日本軍の液体きい剤を処理するため、CWC 発効以前に中国側が石灰を投入したが中和し切れていない特殊な混合物の処理が課題である。この物体は、盛土の下に埋設されたコンクリート貯液槽内に収納されており、住民の悪臭クレーム対策として全体を覆い被した状態にある。

⑤ 作業者（特に無機ヒ素曝露）の健康フォローアップ体制の確保

化学兵器処理に伴う作業者曝露、特に無機ヒ素曝露のあった作業者については、離職後を含めた長期的フォローアップが不可欠である。無機ヒ素による発がんは、一般的に曝露から発症までの潜伏期間が 30 年以上と極めて長いことが特徴である。そのため、作業期間中の健康診断のみでは健康影響を適切に把握することは困難である。しかし、既存の労働衛生管理体系では、国内外を問わず、離職後を含む長期的な健康管理指針の構築及びフォローアップ体制は十分に確立されておらず、健康管理方法の見直しが課題である。（付録３参照）

(2) ヒ素専門人材育成確保の必要性

無機ヒ素はかつてガラス製造での清澄剤や農薬・除草剤の原料として大量に使用されていたが、近年、その需要が消失したことから、無機ヒ素を取り扱う作業環境における

産業衛生の専門家も極めて少なくなった。処理作業に伴って発生する無機ヒ素曝露の管理においては、米国産業専門家会議が定める許容濃度と生物学的モニタリング（尿中ヒ素形態分析）が有効な手法とされており、これらの知識と技術を習得した管理実務者の育成が急務である。

一方で、中国のハルバ嶺周辺では、埋設された土壌から遺棄ヒ素化学兵器の分解物である無機ヒ素やジフェニルヒ素化合物が検出されている[63]。ジフェニルヒ素化合物の一部には小脳を標的臓器とする作用が確認され[64]、無機ヒ素による生活習慣病とは異なる生体影響が明らかになっている。中国における慢性ヒ素中毒は依然として終息しておらず、処理事業から発生した無機ヒ素、さらに埋設土壌中ジフェニルヒ素化合物については、慢性ヒ素中毒の原因となるヒ素とは明確に区別ができるように、地下水のヒ素汚染防止技術及び関連知識を有する専門人材の確保と育成が不可欠である。

また、AsB の人工合成技術（3(2)③参照）についても、同分野における研究経験者は少数でかつ退職年齢に達しており、後進の育成についても、その技術改良と並行して検討すべき重要な課題である。

８　まとめ

本報告は OACW 廃棄事業の現状と将来課題を総括し、安全で効果的かつ持続可能な処理体制を確立するための合意形成に資するよう編纂された。第１章で述べたとおり、本事業には三つの意味で節目の時期が来ており、それに伴い顕在化する問題に焦点を当てている。

まず、日本学術会議が本事業への支援に係る契機となった最大級の埋設地ハルバ嶺の ACW 処理は 2027 年に完了できる見通しである。このため、ハルバ嶺処理の最終段階で懸案となる、高い毒性を有するヒ素含有残渣の一貫した厳格管理；特に最終処分の問題解決、並びに、処理作業従事者に対する、ヒ素曝露の長期的健康影響を踏まえた離職後を含む継続的な健康管理体制の構築が強く求められる。ACW 処理には手作業が必要な工程があり、その過程で漏出した化学剤で作業者が受傷する事故が現実に発生している。負傷者に対しては急性期治療だけでなく、後遺症が発生するリスクにも備えなくてはならない。特に、処理過程で生じるヒ素含有残渣は高い毒性を有するため、処理から最終処分まで一貫した厳格管理が不可欠である。無機ヒ素を低毒性なアルセノベタインへ変換する技術開発と制度整備が重要である。

次に、ハルバ嶺処理の完了で中国での ACW 処理が終了する訳ではない。CWC に基づく国際的責務として日本は中国における ACW 処理を推進しており、ハルバ嶺処理の完了以降も、未発掘埋設地や今後発見が想定される潜在的埋設地の存在による事業長期化への対応が大きな課題となる。広大な国土で散発的に発見され、高機動型処理施設で処理する終わりが見えない段階に入るため、従来とは異なる見地からの学術的支援が望まれる。先進的探査技術や情報処理手法を応用した、中国東北区での想定埋蔵地調査と日中関係機関間での情報共有の強化が事故防止の基盤となる。そのため、今後の新埋設地発見事案を想定した ACW 処理実務連携の強化、中国 ACW 処理と国内 OCW 処理とに対応できる柔軟で統合された日本側ガバナンス体制、それらを可能にする様々なレベルの日中協力の推進が望まれる。

三番目に、東西冷戦軍備競争を背景に成立した CWC の国際的課題や国際情勢にも大きな節目が来ている。本事業を通じたわが国の経験や見識を活かした建設的な貢献も視野に入れることが求められると考えられる。本事業の技術・知識の継承と関係する諸専門分野の人材育成は、OACW 処理事業の持続的推進に不可欠なだけでなく、国際協調による化学軍備管理を通じた日本の国際平和貢献努力にとっても重要といえる。

最後にまとめとして第３章～第７章で報告した事項を掲げる。

(1) 遺棄化学兵器由来無機ヒ素含有廃棄物の安全な恒久的処分のための技術開発
(2) 中国東北区の想定埋蔵 ACW の網羅的調査及び情報共有による不測の事故の未然防止
(3) ACW 処理事業の長期化に備える先進探査技術とリスクコミュニケーション
(4) 今後も発生が懸念される処理事案を想定したガバナンスの知識集約型改革
(5) 長期持続的な環境安全並びに化学軍備管理を担う人材育成と知識・技術の継承

以上

＜用語の説明＞

CWC

化学兵器禁止条約（化学兵器の開発、生産、貯蔵及び使用の禁止並びに廃棄に関する条約、英語: Chemical Weapons Convention, CWC）は、化学兵器の開発・生産・取得・貯蔵・移譲・使用を全面的に禁止し、既存の化学兵器と関連生産施設の廃棄を締約国に義務づける国際条約。1993 年に採択され、1997 年に発効した。2026 年現在 193 ヶ国が締約国であり、履行機関として設置された OPCW（化学兵器禁止機関）が各種の実効的な検証活動を実施している全世界の化学兵器廃絶を目指す実務的枠組みである。化学軍備管理だけでなく、軍民両用性化学物質（DUC）の軍事転用防止、化学テロ対策、被害国への支援・国際協力も行っている。また、1925 年以降に他国領域内に同意なく遺棄した化学兵器も廃棄処理を行うことを定めており、遺棄国に処分に必要な費用や技術の提供を義務付けている。

CWD

CWD は英国国防省の研究所の主催で年一回開催される化学兵器の軍縮に関する国際会議（International Chemical Weapons Demilitarization Conference）の略称。

OACW

OACW（Old and Abandoned Chemical Weapons；老朽・遺棄化学兵器）は、過去の戦争で製造・放置され、現在も発見・処理が必要な化学兵器の総称。CWC 上、OCW（Old Chemical Weapons；老朽化学兵器）は、1925 年以前に製造、または 1925～1946 年に製造され劣化により使用不能なもの、ACW（Abandoned Chemical Weapons；遺棄化学兵器）は 1925 年以降に他国領内へ当該国の同意なく遺棄されたもの（OCW を含む）と定義される。その処理に当たっては、OPCW の検証の下で安全最優先に進めることが CWC に定められている。

日本国内の地中や水域で発見される旧軍化学兵器は全て OCW に属し、発見地を管轄する官公庁・地方自治体が、防衛省と環境省の協力の下に戦時中の不発弾等と同様に危険物として処理している。諸外国においては、第一次世界大戦の古戦場や各国内の軍事演習場等から OCW が発見されており、CWC の定めに従い当該国が対処している。

ACW は遺棄国の責任で処理する義務を CWC が定めており、これまでのところ、旧日本軍の中国遺棄化学兵器のみが ACW に該当する事案である。ただし、CWC が成立した 1990 年代初頭には冷戦終結に伴いワルシャワ条約機構諸国内に備蓄された旧ソ連軍化学兵器の処分が懸念されており、そうしたより広い観点で ACW が規定されたと考えられる。

OPCW

OPCW（Organization for the Prohibition of Chemical Weapons；化学兵器禁止機関）は、1997 年４月 29 日に発効した化学兵器禁止条約（CWC）に基づいて設立された国際機関で、本部をオランダ王国ハーグ市に置く。

締約国の安全保障と国益を担保しつつ化学兵器の廃棄と非生産に関する信頼性・透明性のある検証の実施、化学兵器に対する防護と援助の提供、化学の平和利用についての国際

協力、及び締約国の増加と条約履行能力の向上を主眼として活動している。化学兵器は締約国が実施主体として廃棄し、OPCW は締約国の廃棄を現地査察により検証する。

締約国は 193 ヶ国（2026 年現在）である。北朝鮮、エジプト、南スーダンは未署名、イスラエルは署名済だが批准していない。2013 年にノーベル平和賞を受賞した。

化学軍備管理

化学兵器の使用や保有を、軍備管理条約等を通じて制限しようとする試みを言う（Chemical arms control）。最初の近代的化学軍備管理の国際的努力の成果であるハーグ陸戦条約（1899）は、規制対象の化学兵器を化学戦専用の投射物に限定したため、第一次世界大戦での大規模な化学戦を許した。その反省に立ち化学兵器の戦時使用禁止を定めたジュネーブ議定書（1925）は、先制不使用は約したが抑止目的で保有を続けた英仏、署名したが批准しなかった日本、参加を見送った米国など不完全な取決めとなり、第二次エチオピア戦争（1935-36）におけるファシストイタリア軍や、アジア・太平洋戦争（1937-45）における旧日本軍などの化学兵器使用を防げなかった。そこで、化学兵器禁止条約（Chemical Weapons Convention；CWC, 1993）は、化学兵器の使用も保有も製造も一切禁止することで化学軍備全廃を目論んで制定され、現代の化学軍備管理に関する主要な国際法となって現在に至る。

化学兵器関連物質略語一覧

略語	化学物質の名称	旧日本軍の呼称	備考
DA	ジフェニルシアノアルシン	あか剤	くしゃみ剤(嘔吐剤)。
DC	ジフェニルクロロアルシン	あか剤	くしゃみ剤(嘔吐剤)。
DF	メチルホスホニルジフルオリド	(保有せず)	GB(サリン)の前駆物質。
DPAA	ジフェニルアルシン酸	(呼称なし)	DAやDCの加水分解物。
GB	イソプロピルメチルフルオロホスホネート	(保有せず)	神経剤;サリンとして知られる。
QL	イソプロピルアミノエチルメチル亜ホスホン酸エステル	(保有せず)	VXの前駆物質。
VX	O-エチル-S-(2-ジイソプロピルアミノエチル)メチルホスホノチオラート	(保有せず)	神経剤。
マスタード	2,2'-硫化ジクロロジエチル	きい1号剤	びらん剤;イペリットとしても知られる。略号HD。
ルイサイト	2-クロロエテニルジクロロアルシン	きい2号剤	びらん剤;きい1号剤の一部に混合使用。略号L。

苅田港の化学兵器処理

福岡県苅田町の苅田港での浚渫工事中に 2000 年に発見された 18 個の不審物が化学弾と判明した。戦時中、近隣の旧日本軍施設に化学兵器が備蓄されており、発見された化学弾は、終戦直後に苅田港沖に投棄されたものの一部であった。

浚渫工事は直ちに中断され、苅田港全体における化学弾の探査、回収、処理方法の検討が開始された。2003 年までに新しい磁気探査技術が開発され、2004 年には処理施設が運転を開始された。この一連の作業は苅田港をいくつかの工区に分け、先行探査作業と後続

の回収・処理作業を工区ごとに１年ずつずらして実施することを繰り返した。

予定工区 23km の作業が終了する 2013 年までに約 3,000 発の化学弾が回収・処理され、処理設備は 2014 年に解体・撤去された[65]。

屈斜路湖事案

1995 年 10 月に旧日本軍関係者の証言に基づき屈斜路湖の湖底探査を実施し、1996 年 10 月に湖底から化学弾 26 発を揚収した。1997 年５月に日本国内初の老朽化学兵器処理事案として OPCW に申告して 2000 年 11 月に廃棄処理を完了し、処理残渣は苫小牧の管理型処分場に埋設処分された。

軍民両用性化学物質（DUC）

軍民両用性化学物質（DUC: Dual-Use Chemicals）とは、民生・産業で正当に使われる一方、化学兵器の製造や使用にも転用可能な化学物質を指す。OPCW は「平和的用途があるが、化学兵器にも使われ得る化学物質」と定義している。代表例にインク原料だがマスタードガス（HD）などびらん剤の前駆体にもなるチオジグリコール、ナイロン製造等で使われるが有毒性を持ち化学兵器としても使われていたシアン化水素（HCN）などがある。DUC は物質自体を一律禁止することが困難なため、国際的な枠組みと国内法によって厳しく用途・取扱い・移転を管理（申告、輸出入管理、産業査察、企業のコンプライアンス）されている。

また、DUC の補完的概念に WCA（Warfare Chemical Agent；戦用化学物質）があり、専ら化学兵器や化学兵器の製造以外の用途が認められない化学物質を指す。WCA の開発・生産・取得・貯蔵・移譲・使用は CWC により厳しく禁止されている。

ストックパイルとノンストックパイル

化学兵器のうち、使用を目的としてストックされているものは、一般的にストックパイル（備蓄化学兵器）と呼ばれ、化学兵器禁止条約上は申告して廃棄の義務がある。一方、使用目的ではなく、海中や地下に投棄または埋設されたものや、不発弾となったもの、さらに遺棄化学兵器などはノンストックパイルと呼ばれ、積極的に探査・回収する義務は無い。しかし、一旦回収されればリカヴァード・ミュニション（回収弾）と称してストックパイルとは区別し、製造年代や効力の度合いに応じて廃棄せねばならない。

寒川事案[57][58][59][66]

2002 年９月に神奈川県寒川町の旧相模海軍工廠跡地内の圏央道橋脚工事現場で、化学剤（びらん剤及び催涙剤）入ビール瓶 11 本が出土して作業員６名が被ばくして発疹、かぶれなどの負傷する被害を受けた。現場を管轄する国土交通省は防衛庁（当時）の協力の下、現場と周辺で発掘作業を行い、翌年３月までに 806 本の化学剤充填ビンを回収した。これら充填ビン及び発掘残土は、化学剤は薬剤を用いた中和処理、空き瓶及び汚染土壌は加熱・焼却処理により 2003 年度中に安全に処理が完了した。

チチハル事件

2003 年８月４日に中国東北部のチチハル市内で、旧日本軍が遺棄したマスタード剤入りドラム缶型容器による化学兵器被ばく事故が発生し、死者１名、子供５名を含む負傷者 43 名を出した。日本政府は、迅速に救護及び調査のチームを派遣し、旧日本軍遺棄化学兵器による事故と確認し、救急医療と無害化処理費用を中国に支払った。事故被害者らは、無償の救急医療で一応回復した後、一時金を中国当局より受け取った。しかし、事故の影響で次第に困窮してきたことを受けて、被害者と遺族計 48 名が 2007 年に日本政府に対する損害賠償請求を提訴したが、東京地裁（2010）と東京高裁（2012）で共に退けられている。

中国吉林省ハルバ嶺

中国における旧日本軍 ACW 最大級の埋設地は、中国吉林省東南部の延辺朝鮮族自治州中部の敦化市と安図県境界中央部の敦化市側にあり、埋設地がある丘陵地帯の名称から通称ハルバ嶺埋設地、あるいは埋設抗上に日本政府が建設・運営している処理施設と合わせハルバ嶺処理場と呼ばれている。吉林省を含む旧満州国へ 1945 年８月の終戦直前にソ連軍が侵攻し、守備する旧日本軍を各地で敗走させた結果、旧満州国内に備蓄されていた旧日本軍化学兵器が地中埋設や水中投棄など様々な形で中国東北区各地に遺棄された。国共内戦を経て朝鮮戦争も終結し、中華人民共和国政府の指導で東北区の開発が進められる過程でそれら ACW が各地で多数発見され、中国側に回収された。その相当数が中国当局によりハルバ嶺山中に埋められたのがハルバ嶺埋設地である。埋設された ACW の総数は詳らかでなく、CWC が発効した 1997 年当時は化学砲弾約 100 万発～数 10 万発とみられていたが、現在では 10 数万発程度と推定されている。ただし、旧日本軍 ACW と判別が困難な旧日本軍の通常兵器・弾薬や、戦乱で放棄された各国製通常兵器・弾薬類も混在して埋蔵されているため、処理場では非常に慎重な発掘・回収・鑑別作業が続いている。なお、鑑別の結果、旧日本軍 ACW でないと判明した埋設物は中国側が処理するため、所管の中国軍へ引き渡している。

＜参考文献＞

[1] 環境省ホームページ「昭和４８年の「旧軍毒ガス弾等の全国調査」のフォローアップ調査」 https://www.env.go.jp/chemi/gas_inform/research/index.html

[2] 内閣府遺棄化学兵器処理担当室『中国における旧日本軍遺棄化学兵器処理事業の概要』、2002.

[3] OPCW, NOTE BY THE TECHNICAL SECRETARIAT REPORT OF THE OPCW TECHNICAL ASSISTANCE VISIT ON THE ACTIVITIES CARRIED OUT IN SUPPORT OF A REQUEST BY UKRAINE (TECHNICAL ASSISTANCE VISIT TAV/04/24) https://www.opcw.org/sites/default/files/documents/2024/11/s-2338-2024%28e%29.pdf

[4] OPCW, NOTE BY THE TECHNICAL SECRETARIAT REPORT OF THE OPCW TECHNICAL ASSISTANCE VISIT ON THE ACTIVITIES CARRIED OUT IN SUPPORT OF A REQUEST BY UKRAINE (TECHNICAL ASSISTANCE VISIT TAV/05/24 AND TAV/01/25) https://www.opcw.org/sites/default/files/documents/2025/02/s-2370-2025%28e%29.pdf

[5] OPCW, NOTE BY THE TECHNICAL SECRETARIAT REPORT OF THE TECHNICAL ASSISTANCE VISIT ON THE ACTIVITIES CARRIED OUT IN SUPPORT OF A REQUEST BY UKRAINE (TECHNICAL ASSISTANCE VISIT TAV/02/25 AND TAV/03/25) https://www.opcw.org/sites/default/files/documents/2025/06/s-2415-2025%28e%29.pdf

[6] United States Department of State, Annual Report on Compliance with the Chemical Weapons Convention (CWC) https://2021-2025.state.gov/condition-10c-annual-report-on-compliance-with-the-chemical-weapons-convention-cwc/

[7] 行武正刀：“一人ひとりの大久野島”、ドメス出版 (2012)

[8] 化学工学会遺棄化学兵器廃棄研究会、『第１回講演会予稿集』、2000.

[9] 日本学術会議荒廃した生活環境の先端技術による回復研究連絡委員会、『報告：遺棄化学兵器の安全な廃棄技術に向けて』、2001.

[10]化学工学会遺棄化学兵器廃棄研究会、『第２回講演会講演要旨集』、2002.

[11]日本学術会議荒廃した生活環境の先端技術による回復研究連絡委員会『報告：遺棄化学兵器の廃棄技術に対する科学的リスク評価とリスク管理を目指して』、2002.

[12]化学工学会遺棄化学兵器廃棄研究会、『第３回講演会講演要旨集』、2003.

[13]化学工学会遺棄化学兵器廃棄研究会、『第４回講演会講演要旨集』、2004.

[14]日本学術会議荒廃した生活環境の先端技術による回復研究連絡委員会遺棄化学兵器に対する高度処理技術の開発専門委員会、『報告：老朽・遺棄化学兵器のリスク評価と安全な高度廃棄処理技術の開発』、2005.

[15]日本学術会議総合工学委員会・機械工学委員会合同工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会、『提言：老朽・遺棄化学兵器の廃棄における先端技術の活用とリスクの提言』、2008.

[16]日本学術会議総合工学委員会工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会『遺棄および老朽化学兵器の安全な廃棄技術第５回講演会予稿集』、2008.
[17]日本学術会議総合工学委員会工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会、『シンポジウム「遺棄および老朽化学兵器の爆発リスク及び爆破処理技術の安全性」予稿集』、2009.
[18]日本学術会議総合工学委員会、『安全工学シンポジウム 2010 講演予稿集』、2010.
[19]日本学術会議総合工学委員会・機械工学委員会合同工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会、『提言：老朽・遺棄化学兵器の廃棄処理の実施における保安対策―中国の遺棄化学兵器処理の開始に当たって―』、2011.
[20]日本学術会議『シンポジウム：遺棄及び老朽化学兵器廃棄処理のリスク管理』、2011.
[21]日本学術会議総合工学委員会、『安全工学シンポジウム 2013 講演予稿集』、2013.
[22]日本学術会議総合工学委員会、『安全工学シンポジウム 2015 講演予稿集』、2015.
[23]日本学術会議総合工学委員会、『安全工学シンポジウム 2016 講演予稿集』、2016.
[24]日本学術会議総合工学委員会、『安全工学シンポジウム 2017 講演予稿集』、2017.
[25]日本学術会議総合工学委員会・機械工学委員会合同工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会、『報告：老朽・遺棄化学兵器廃棄の安全と環境の保全に向けて』、2019.
[26]日本学術会議総合工学委員会、『安全工学シンポジウム 2018 講演予稿集』、2018.
[27]日本学術会議総合工学委員会、『安全工学シンポジウム 2019 講演予稿集』、2019.
[28]日本学術会議総合工学委員会、『安全工学シンポジウム 2023 講演予稿集』、2023.
[29]Gibbons, M.編著, 小林信一他訳[1997]『現代社会と知の創造』丸善ライブラリー
[30]Outline of destruction of chemical munitions of Lake Kusshаro project in Japan (CWD2001) Joseph K Asahina, Toru Hishida
[31]DA VINCH Operations at Kanda, Japan, Post CWD2005 and Subsequent Substantiating Tests at slide12 (CWD2006) Ryusuke Kitamura, Katsuo Kurose
[32]第 24 回遺棄化学兵器処理事業に関する有識者会議議事録 資料 1 p.3、2024 年 7 月 31 日
[33]DAVINCH operations updates 2021, P11,12,16 (CWD2021) Ayumu Kuriyama, Ryusuke Kitamura
[34]第 24 回遺棄化学兵器処理事業に関する有識者会議議事録 p.5-7、2024 年 7 月 31 日
[35]WHO. Arsenic. 2022 Dec 7.
https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/arsenic
[36]Yamauchi H, Takata A. Past and current arsenic poisonings. In: Yamauchi H, Sun G, editors. Arsenic contamination in Asia, biological effects and preventive measures. Singapore: Springer; 2018. pp. 1-11. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2565-6_1
[37]International Agency for Research on Cancer (IARC). Arsenic, metals, fibres, and dusts. A review of human carcinogens. Volume 100 C. IARC Monographs on

the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Lyon: IARC; 2012. pp.41-93. https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Arsenic-Metals-Fibres-And-Dusts-2012

[38]Yamauchi H, Yoshida T, Takata A. Arsenic exposure and health effects: Differences by chemical structure, chemical form and arsenic methylation capacity. In: Huq I, editor. Arsenic in environment - sources, implications and remedies. London: IntechOpen; 2023. https://www.intechopen.com/chapters/1136758

[39]Nakamura K, Hisaeda Y, Pan L, Yamauchi H. Detoxification system for inorganic arsenic: transformation of As2O3 into TMAO by vitamin B12 derivatives and conversion of TMAO into arsenobetaine. Chem Commun. 2008;41:5122-4.

[40]Nakamura K, Hisaeda Y, Pan L, Yamauchi H. Methyl transfer from a hydrophobic vitamin B12 derivative to arsenic trioxide. J Organomet Chem. 2009;694:916-21.

[41]Nakamura K. Biomimetic and bio-inspired catalytic system for arsenic detoxification: bioinspired catalysts with vitamin-B12 cofactor. On Biomimetics, London: Intech Open; 2011. https://www.intechopen.com/chapters/18166

[42]中村浩一郎、山内博、ヒ素の無毒化法とレアメタルのリサイクル技術の開発、環境省、環境研究総合推進補助金、2009-2011. https://www.env.go.jp/policy/kenkyu/suishin/kadai/syuryo_report/pdf/K2334.pdf

[43]環境省、特別管理産業廃棄物の処理基準の概要 https://www.env.go.jp/recycle/waste/sp_contr/03.html

[44]環境省ホームページ「国内における旧軍毒ガス弾等に関する取組について」 https://www.env.go.jp/chemi/gas_inform/index.html

[45]内閣府遺棄化学兵器担当室ホームページ「第 26 回遺棄化学兵器処理事業に関する有識者会議」資料１別添１」https://wwwa.cao.go.jp/acw/pdf/kaigi_26shiryo_1-1.pdf

[46]内閣府遺棄化学兵器担当室ホームページ「第 26 回遺棄化学兵器処理事業に関する有識者会議」資料１」 https://wwwa.cao.go.jp/acw/pdf/kaigi_26shiryo_1.pdf

[47]Furuta, K, and Ishikawa J. ed.: Anti-personnel Landmine Detection for Humanitarian Demining, Springer (2009)

[48]OECD, OECD Guidance document on Risk Communication for Chemical Risk Management, 2002. (邦訳　化学物質のリスク管理に向けたリスクコミュニケーションに関する OECD ガイダンス文書)

[49]Project Management Institute『プロジェクトマネジメント知識体系ガイド (PMBOK® ガイド) 第５版』p.391、2013

[50]独立行政法人製品評価技術基盤機構化学物質管理センター『化学物質管理におけるリ

スクコミュニケーションガイド』p.7、2017
[51]遺棄化学兵器問題に関する取組体制について（1997年８月26日閣議了解）
[52]遺棄化学兵器問題に対する取組について（1999年３月19日閣議決定）
[53]遺棄化学兵器問題に関する基本方針について（2015年３月24日閣議決定）
https://wwwa.cao.go.jp/acw/index.html#sec3
[54]遺棄化学兵器処理事業に関する有識者会議開催要綱
（2008年6月18日内閣府特命担当大臣決定）
https://wwwa.cao.go.jp/acw/kaigi.html#sec1
[55]国内における毒ガス弾等に関する今後の対応方針について
（2003年12月16日閣議決定、2006年12月26日一部改正）
https://www.env.go.jp/content/900408903.pdf
[56]国内における毒ガス弾等に関する総合調査検討会
https://www.env.go.jp/chemi/gas_inform/sonota_singi/sonota01.html
[57]Destruction of OCW Contained Soil at Samukawa Japan(CWD2005) Inada et.al., Japan
[58]笹木和彦（2004）「圏央道で発見された毒ガスに対する取り組みについて」
https://www.mlit.go.jp/chosahokoku/h16giken/pdf/0307.pdf
[59]Destruction of OCW Contained Soil at Samukawa Japan(CWD2005) Inada et.al., Japan
[60]第24回遺棄化学兵器処理事業に関する有識者会議議事録、2024年7月31日
[61]第23回遺棄化学兵器処理事業に関する有識者会議議事録、2023年7月26日
[62]第20回遺棄化学兵器処理事業に関する有識者会議議事録、2020年2月26日
[63]Zhang Y, Xi H, Zhu Y, Zhao S, Ji C. Study on the composition and distribution characteristics of As in As-containing agent contaminated soil. Environmental Research. 2022;214(Pt 3):114039.
Doi: 10.1016/j.envres.2022.114039
[64]環境省、ジフェニルアルシン酸による健康影響について、1-24, 2026.
[65]Kitamura R. Recovering and destruction of chemical weapons, a relook into Kanda operation. Presentation at the CWD2016. London: Chemical Warfare Demilitarization Conference, 2016.
[66]外務省、「国内における旧日本軍の老朽化学兵器廃棄問題の現状」、2004.
https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/bwc/cwc/rouchikuka.html

＜参考資料１＞審議経過

令和６年

４月 15 日　老朽及び遺棄化学兵器の廃棄に係るリスク評価とリスク管理に関する検討小委員会（第１回）
　役員の選出、今後の進め方について

７月 30 日　老朽及び遺棄化学兵器の廃棄に係るリスク評価とリスク管理に関する検討小委員会（第２回）
　意思の表出の方向性について

10 月９日　老朽及び遺棄化学兵器の廃棄に係るリスク評価とリスク管理に関する検討小委員会（第３回）
　意思の表出の執筆分担について

令和７年

１月７日　老朽及び遺棄化学兵器の廃棄に係るリスク評価とリスク管理に関する検討小委員会（第４回）
　意思の表出執筆状況及び意思表出申出書について

２月 16 日　工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会（第５回）
　意思の表出文書の分類について

４月４日　老朽及び遺棄化学兵器の廃棄に係るリスク評価とリスク管理に関する検討小委員会（第５回）
　意思の表出案について

７月 14 日　老朽及び遺棄化学兵器の廃棄に係るリスク評価とリスク管理に関する検討小委員会（第６回）
　意思の表出案について

９月９日　老朽及び遺棄化学兵器の廃棄に係るリスク評価とリスク管理に関する検討小委員会（第７回）
　意思の表出案について

11 月 20 日　老朽及び遺棄化学兵器の廃棄に係るリスク評価とリスク管理に関する検討小委員会（第８回）
　科学的助言等対応委員会助言書への対応について

令和８年

１月６日　工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会（第７回）
　報告案について

３月 30 日　老朽及び遺棄化学兵器の廃棄に係るリスク評価とリスク管理に関する検討小委員会（第９回）
　報告案の査読対応について

６月 15 日　老朽及び遺棄化学兵器の廃棄に係るリスク評価とリスク管理に関する検討小委員会（第 10 回）
　報告案の査読対応について

７月５日　　工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会（第８回）
　　意思の表出案について

＜参考資料２＞シンポジウム開催

令和元年７月５日　安全工学シンポジウム 2019、オーガナイズセッション 13
「遺棄化学兵器の廃棄に係るリスク評価・管理」
OS-13-1　化学兵器処理の現状と今後の課題―デュアルユース化学物質とテロ対策―
OS-13-2　老朽化・遺棄化学兵器の制御爆破処理実績
OS-13-3　中国吉林省ハルバ嶺の事業環境分析
OS-13-4　ヒ素曝露と生活習慣病

令和４年６月 30 日　安全工学シンポジウム 2022、オーガナイズセッション 18
「老朽・遺棄化学兵器の廃棄に係るリスク評価・管理の現況と展望」
OS-18-1　化学兵器禁止条約の成果／限界と新たな課題
OS-18-2　有機ヒ素化合物による土壌地下水汚染と対策
OS-18-3　ヒ素曝露と健康影響：現状と将来の課題

令和６年６月 27 日　安全工学シンポジウム 2024、オーガナイズセッション８
「老朽および遺棄化学兵器廃棄の廃棄に係るリスクの評価と管理」
OS-8-1　化学兵器禁止条約の実施に伴う成果とその限界及び新たな戦い
OS-8-2　環境省における旧軍老朽化学兵器等への対応について
OS-8-3　中国における旧日本軍の遺棄化学兵器処理状況
OS-8-4　埋設ヒ素化学兵器由来の土壌ヒ素から発生する健康影響とその対策

令和８年６月 26 日　安全工学シンポジウム 2026、オーガナイズドセッション 16
「老朽・遺棄化学兵器廃棄事業の節目を見据えて」
OS-16-1　旧日本軍遺棄化学兵器処理事業の現状と課題
OS-16-2　環境省における旧軍老朽化化学兵器等への対応状況について
OS-16-3　老朽・遺棄化学兵器処理における作業者長期健康管理の必要性

＜付録＞

付録１　ヒ素化学兵器の低毒性化処理：無機ヒ素のアルセノベタインへの変換及び最終処分

１　無機ヒ素の低毒性化技術の必要性

無機ヒ素（iAs）は、急性及び慢性ヒ素中毒の主因であり、三価及び五価の化学形が存在する。三価の三酸化ヒ素（亜ヒ酸）は特に毒性が強く、かつてはガラス製造における清澄剤や農薬原料、自殺・他殺の手段としても利用されてきた。一方、五価の iAs は自然界に広く存在し、特に地下水汚染を通じてヒトへの慢性的な健康障害を発生させることが知られている。南米（アルゼンチン、チリ、メキシコ）やアジア（中国、インド、バングラデシュ等）では、五価 iAs による大規模な慢性ヒ素中毒が発生し、世界保健機関（WHO）の推計ではその被害者数は 9,000 万人を超えるとされている[1]。iAs は肺がん、皮膚がん、膀胱がん、肝がんなどの発がん性に加え[2]、生活習慣病の増悪因子としても機能することが報告されている。さらに、近年では子供の認知障害や成人の認知機能低下との関連性も指摘され、影響の深刻化が懸念されている。

iAs 以外のヒ素による健康被害としては、ヒ素化学兵器であるルイサイトの経皮暴露（皮膚・呼吸器・神経障害、認知機能障害）及びジフェニルクロロアルシン（DA）とジフェニルシアノアルシン（DC）の原料となるジフェニルアルシン酸の経口摂取による健康被害（小脳障害）が知られている[3]。なお、ルイサイト、DA と DC を制御爆破処理や加熱燃焼処理する過程では iAs が生成される。

これらのことから、iAs 及びヒ素化学兵器による健康障害は、現在及び将来にわたる人類に対する重大な脅威であるといえる[3]。

遺棄ヒ素化学兵器（ACW）の処理事業は国際公約に基づき実施されており、処理過程において発生する無機ヒ素（iAs）の適切な管理が求められている。iAs を確実かつ安全に低毒性化する技術の確立は、健康被害と環境リスクの低減に直結する重要課題である。特に、iAs を低毒性のアルセノベタイン（AsB）に変換する技術は、革新的な効果が期待される。環境省の研究支援により[7]、日本の研究者によって、iAs やヒ素化学兵器を低毒性の AsB に変換する有効な技術が開発されたが、実践応用には多くの研究課題が残されている。

２　無機ヒ素の低毒性化の定義

iAs は、その有害性から日本及び中国を含む世界各国で厳格な法規制の対象となっている。日本では、ヒ素を含む廃棄物は特別管理産業廃棄物として扱われ、土壌汚染対策法、水質汚濁防止法、大気汚染防止法の適用を受け、厳格な管理が義務付けられている。特別管理産業廃棄物は、管理型最終処分場または遮断型最終処分場にて管理される[5]。中国では、ヒ素産業廃棄物、ヒ素含有汚泥、排水処理残渣などが危険廃棄物に分類され、固体廃棄物汚染環境防止法により管理が義務付けられている[6]。こうした法規制により iAs はヒトの生活環境から隔離されるが、しかし、その毒性は持続する。

一般的に、iAs の毒性抑制策として、三価 iAs の五価への酸化的変換、硫黄との結合に

よる溶解性の低下、セメント固化による固相化、そして、植物による吸収・蓄積を利用したファイトレメディエーションなどが挙げられる。これらの対策は、無害化（Detoxification / Decontamination）を目的とし、健康障害の抑制を間接的に達成することを目指している。一方、iAs を化学的に別の低毒性な化合物に変化させることにより、毒性を大幅に低減する、いわゆる「無毒化」（Detoxification）も検討されている。具体的には、iAs を AsB に変換する技術である。

３　無機ヒ素の低毒性化技術：アルセノベタインへの変換

自然界には、iAs を AsB に変換する機序が存在する。海水には、広くほぼ均一に低濃度の iAs が含まれており、これを植物性プランクトンがメチル化して AsB に変換し蓄積する。AsB を蓄積した植物性プランクトンは、動物性プランクトンに捕食され、さらに魚類や甲殻類が捕食する食物連鎖を形成し、最終的にヒトが摂取する。

人工的な iAs のメチル化による AsB への変換は、植物プランクトンが保有するメチル化機序の模倣から始まり、バイオミメティックシステムが最初に確立された（図１）[4,7,8,9]。その後、経済性と収率を高めたバイオインスパイアード触媒システム（図２）、そして、酸化チタン光触媒システム（図３）も検討されている[4,9]。

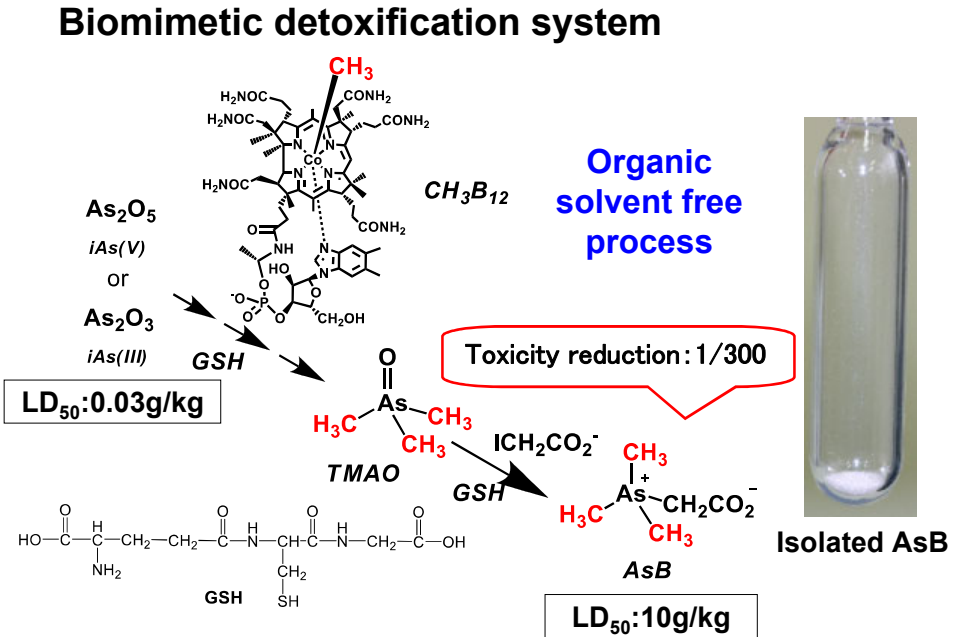


図１　バイオミメティックシステムによる iAs の AsB への変換[4,9]

(1) バイオミメティックシステム

iAs は、メチル基供与酵素としてビタミン B_{12}、還元酵素としてグルタチオン（GSH）などと反応することによりトリメチルアルシンオキシド（TMAO）が生成され、この TMAO にヨード酢酸と GSH を反応させると AsB が合成される（図１）[4,7,8,9]。

(2) バイオインスパイアード触媒システム

バイオインスパイアード触媒システムは、バイオミメティックシステムのメチル基供与体のビタミン B_{12} を改良し、酸化チタン（TiO_2）と複合触媒を形成し、そこに紫外線照射を行う。iAs は、ビタミン B_{12}—酸化チタン複合触媒存在下での紫外線照射によりメチル化が生じ、直接的に AsB が生成される（図２）[4,9]。

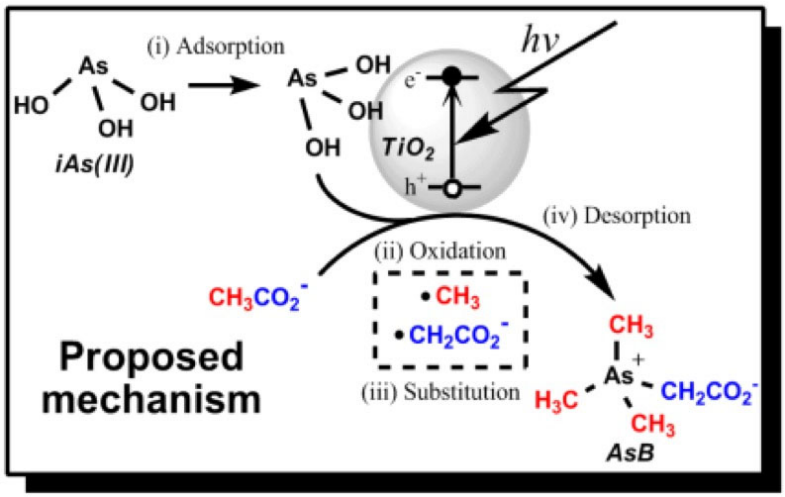


図２　バイオインスパイアード触媒システムによる iAs の AsB への変換[4,9]

(3) 酸化チタン光触媒システム

酸化チタン光触媒システムを用いた iAs の AsB への変換は、ビタミン B_{12} 及びアミノ酸を必要としない合成法である。iAs 及びその代謝物（メチルアルソン酸、MMA; ジメチルアルシン酸、DMA）に対し、酸化チタン光触媒と酢酸存在下において紫外線照射すると AsB が直接合成される（図３）。

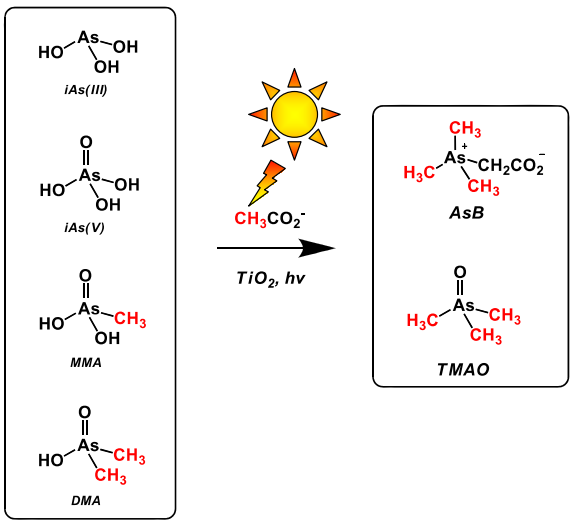


図３　酸化チタン光触媒システムによる iAs の AsB への変換[4,9]

この合成システムは、様々なヒ素化合物への適用可能性が期待されるが、更なる検討が

必要である。なお、iAs はメチル化により大幅に減毒される。これに対して、メチル化金属（メチル水銀、メチル鉛、メチル錫）は一般的に強毒性であることから、酸化チタン光触媒システムにて水銀、鉛、錫について検証した結果、いずれもメチル化されず、毒性に変化がないことを確認している[4,9]。

４　AsB の毒性・代謝・排泄

ヒトは、海洋生物の食物連鎖において生成される AsB を、魚介類の摂取を通じて日常的に体内に摂取している。国際社会においては、AsB の毒性、代謝、排泄に関する情報は、1980 年代後半から広く認識されている。AsB の急性毒性の指標である半数致死量（LD_{50}）は 10g/Kg と低毒性であり（図１）、関連するトリメチルアルシンオキサイド（TMAO、図３）も低毒性で 10.6g/Kg である。なお、iAs の半数致死量は 0.03g/Kg である。AsB は物理・化学的に安定であり、体内では代謝されず、蓄積性も低く、摂取した全ては尿中へ短時間にて排泄される。半減期は短く約３時間である[3]。

５　ヒ素化学兵器の低毒性化処理の実証と課題

ヒ素を含む化学兵器には、ルイサイト、DA、DC、アダムサイトなどがあり、旧日本軍が製造した主なヒ素化学兵器は、ルイサイト、DA、DC である。

ヒ素化学兵器の低毒性化処理に関する基礎研究と実践応用は限られている[4,9]。一方、ヒ素化学兵器の処理技術（無害化に相当）として、硫黄燃焼炉で焼却処理して硫化ヒ素として回収する方法、セメント等の固化剤で固化・不溶化する方法、ロータリーキルンにより 800℃～1100℃の温度で加熱する方法などが提案されている。しかし、硫化ヒ素への変換では、容易に分解され三酸化ヒ素や硫化水素ガスが発生する。セメント固化では、長期安定性という観点から信頼性が低く、再度、iAs の溶出が懸念される。ロータリーキルン法では、高温加熱から発生する iAs の制御が難しく、大気環境汚染や作業環境曝露の危険性が存在する。

安全性と信頼性に欠ける遺棄ヒ素化学兵器（ACW）の従来の低毒性化処理に対し、処理作業の安全性が高く、処理物が低毒性の物質となる低毒性化技術が開発され、実証試験も成功している。以下に、この処理技術の概要を示す。制御爆破処理後の残渣を酸処理し、iAs を全て抽出する。ろ過法により不要物を除去し、ろ液をバイオミメティックシステムで処理する（図１）。その後、カラムクロマトグラフ法により AsB を単離する（図４）。

なお、制御爆破処理後の iAs 含有廃棄物量は、同システムを用いて AsB として単離することにより、約 1/25 に減少できるという利点も存在する[4,9]。

図４　遺棄ヒ素化学兵器の制御爆破処理から発生した iAs の AsB への変換[4,9]

６　無機ヒ素汚染水の直接的な低毒性化処理

低濃度の iAs 含有産業廃液及び環境 iAs 汚染水を対象に、酸化チタン光触媒システムを用いて iAs を AsB に直接変換する試験が実施され（図５）、基礎的な知見の収集及び実用化の可能性が確認されている[4]。この酸化チタン光触媒システムの応用は、iAs やヒ素化学兵器の汚染水や汚染土壌に対応することが目標であるが、多くの研究課題が存在する。

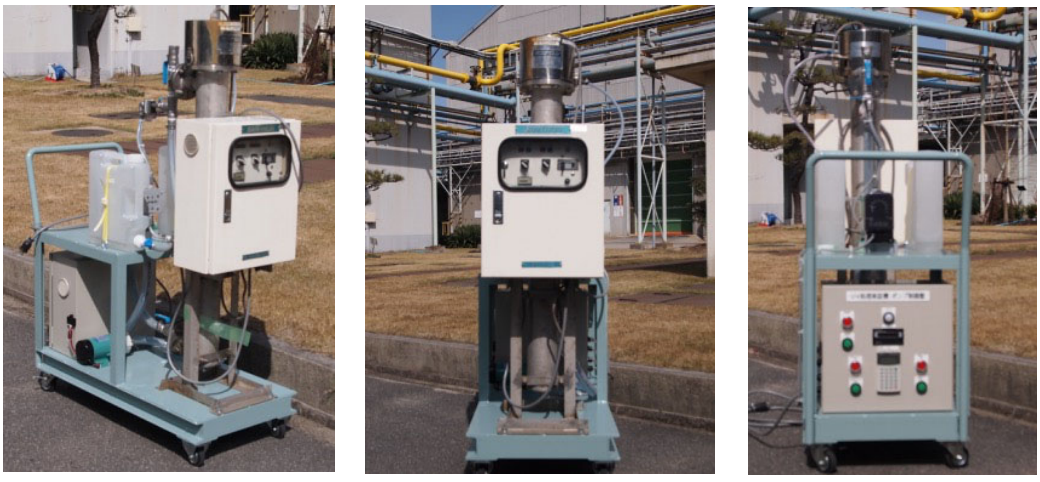


図５　iAs 汚染水の AsB への変換に関する自動処理装置（移動処理装置の実証モデル）[4,9]

７　アルセノベタインの法規制の解除に向けた安全性試験

AsB は、哺乳動物を用いた実験的検証において低毒性であることは国際的に証明されている。しかしながら、AsB は工業用材料としての用途がないことから、化審法に基づく法

規制（厚生労働省、毒物劇物取締法）の解除に向けた取組は未だ行われていない。ヒ素化合物のうち、半導体製造の基盤材料となるガリウムヒ素（GaAs）やインジウムヒ素（InAs）は、国内外における需要が多く、わが国の独占的な半導体材料であることから、官民（経済産業省、厚生労働省、電子材料製造企業・団体）挙げての毒物指定解除が行われた経緯がある。このような実績から、AsB の法規制解除に向けては、その目的を明確にした関係省庁の連携が不可欠であると考えられる。

これまで、研究者を中心に、AsB の毒物指定解除に向けて、急性毒性試験（経口、経皮、吸入）、皮膚刺激試験、眼刺激試験が実施されてきたが[4]、全ての検査結果を得るには至っていない。このことから、改めて、OECD ガイドライン及び Good Laboratory Practice（GLP）に準拠した研究機関において、AsB の安全性試験を実施する必要があると考えられる。この結果を基に、関係省庁の連携により審査に望むべきと判断される。関連して、AsB の前駆体である TMAO（図３）も低毒性化処理の実践・普及に有効性があり、毒物指定解除を達成すべきである。

８　アルセノベタインによる最終処分の構想

AsB は魚貝類に由来し、尿中に排泄される低毒性なヒ素化合物であることが証明されている。毒物劇物取締法の指定から解除された場合、AsB は物理的・化学的に安定しているため、最終処分及び長期保管が可能となると考えられる。以下に、達成可能な候補を示す。

A)　管理型最終処分場または遮断型最終処分場での保管

B)　鉱山廃鉱での AsB の長期保管

A)管理型最終処分場または遮断型最終処分場での保管

AsB の毒物指定が解除された場合、その保管場所は、一般的なヒ素産業廃棄物と同様に、管理型最終処分場または遮断型最終処分場での保管が可能となる。

B) 鉱山廃鉱での AsB の長期保管

AsB の長期保管方法としては、その物理的・化学的安定性を利用した保管方法が考えられる。具体的には、AsB をガラス容器に充填し、それをステンレス製の容器で覆い、鉱山の廃鉱に保管する方法である。この方法は、銅製錬から発生する残渣を鉱山廃鉱に保管している事例を参考にしたものであり、実用化を検討する価値が高いと考えられる。

９　研究組織の再構築

iAs の低毒性化技術は、ヒ素代謝に精通した研究者により考案された。当初は、人工的に植物性プランクトンを用いて iAs を代謝させる試みが行われた。その後、有機合成の専門家により、バイオミメティックシステムにおいて iAs を AsB に変換することが成功し、技術が発展した。さらに、バイオインスパイアード触媒システム及び酸化チタン光触媒システムへと発展した。これらの研究は、環境省の環境研究総合推進費補助金によって実施された。３年間の研究では基礎的な成果が得られたが、実用化には多くの課題が残されている。一方、基礎的研究成果に基づき、日本板硝子株式会社において特許が取得された。

上記の研究は、ヒ素の毒物学者である山内博（北里大学教授、現・聖マリアンナ医科大

学客員教授）と日本板硝子株式会社（中村浩一郎博士、有機合成専門家、研究支援者、元会長・社長、藤本勝司）との共同研究として実施したものである。しかしながら、多くの研究課題について、研究費の維持が困難となり、中断に至っている。

今後、遺棄ヒ素化学兵器の制御爆破処理から発生する iAs に対する低毒性化処理の開発には、研究実績のある研究者を含めて、新たな研究組織、場所と設備など政府支援が不可欠である。過去の研究実績から、基礎的研究の補充や社会実装までの時間は約５年で達成が可能と判断される。

10 まとめ

遺棄ヒ素化学兵器の制御爆破処理から発生する iAs は、環境省の研究費支援を受けた日本国内の研究者により、低毒性の AsB への変換が達成された。本技術については、遺棄化学兵器処理事業における長期的な安全性の確保、処理後に残存する無機ヒ素の毒性低減及び将来的な技術継承という観点から、その意義と活用可能性を関係機関の間で共有し、研究・技術開発上の位置づけを明確にする必要がある。一方、中国においては、iAs の低毒性化に関する科学的成果は報告されておらず、この技術的空白は国際的に見ても注目すべき点である。今後、中国政府から低毒性化処理技術の導入を求められた場合、日本側における技術的対応が困難になるおそれがある。また、当該技術の研究者は高齢化が進んでいるものの、研究活動の継続は可能であり、技術の継承・発展には早急な対応が求められる。わが国が有する iAs の低毒性化技術は、国際的にも稀有な成果であり、これを政府の研究支援により維持・発展させることは国益に直結する。

11 文献

[1] Yamauchi H, Takata A. Past and current arsenic poisonings. In: Yamauchi H, Sun G, editors. Arsenic contamination in Asia, biological effects and preventive measures. Singapore: Springer; 2018. pp. 1-11. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2565-6_1

[2] International Agency for Research on Cancer (IARC). Arsenic, metals, fibres, and dusts. A review of human carcinogens. Volume 100 C. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Lyon: IARC; 2012. pp.41-93. https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Arsenic-Metals-Fibres-And-Dusts-2012

[3] Yamauchi H, Yoshida T, Takata A. Arsenic exposure and health effects: Differences by chemical structure, chemical form and arsenic methylation capacity. In: Huq I, editor. Arsenic in environment - sources, implications and remedies. London: IntechOpen; 2023. https://www.intechopen.com/chapters/1136758

[4] 中村浩一郎、山内博、ヒ素の無毒化法とレアメタルのリサイクル技術の開発、環境省、

環境研究総合推進補助金、2009-2011.
https://www.env.go.jp/policy/kenkyu/suishin/kadai/syuryo_report/pdf/K2334.pdf
[5] 環境省、特別管理産業廃棄物の処理基準の概要
https://www.env.go.jp/recycle/waste/sp_contr/03.html
[6] 日本貿易振興機構、中国の環境規制について、2017 年
https://www.jetro.go.jp/ext_images/_Reports/02/2017/2706617da848f9e5/report.pdf
[7] Nakamura K, Hisaeda Y, Pan L, Yamauchi H. Detoxification system for inorganic arsenic: transformation of As2O3 into TMAO by vitamin B12 derivatives and conversion of TMAO into arsenobetaine. Chem Commun. 2008;41:5122-4.
[8] Nakamura K, Hisaeda Y, Pan L, Yamauchi H. Methyl transfer from a hydrophobic vitamin B12 derivative to arsenic trioxide. J Organomet Chem. 2009;694:916-21.
[9] Nakamura K. Biomimetic and bio-inspired catalytic system for arsenic detoxification: bio-inspired catalysts with vitamin-B12 cofactor. On Biomimetics, London: Intech Open; 2011.
https://www.intechopen.com/chapters/18166

付録２　老朽・遺棄化学兵器問題に関する主要な政策決定等一覧

１　遺棄化学兵器問題への対応方針と対応体制

①遺棄化学兵器問題に関する取組体制について（1997 年８月 26 日閣議了解）

・化学兵器禁止条約の発効に伴い内閣官房に遺棄化学兵器処理対策室を設置
・関係省庁が参加する形の遺棄化学兵器処理対策連絡調整会議を設置

②遺棄化学兵器問題に対する取組について（1999 年３月 19 日閣議決定）

・遺棄化学兵器の廃棄処理事業は総理府が担当（その後内閣府が担当）
・連絡調整会議等の場で総合調整
・基本方針「化学兵器禁止条約に基づきわが国が有する義務を適正に履行し、日中関係の増進にも資する」

③遺棄化学兵器問題に関する基本方針について（2015 年３月 24 日閣議決定）

https://wwwa.cao.go.jp/acw/index.html#sec3

・内閣官房遺棄化学兵器処理対策室の業務を内閣府に一元化
・基本方針「わが国が有する義務を適正に履行する」「日中関係の増進にも資する」
・連絡調整会議は内閣府において開催
  議長：内閣府大臣政務官
  構成員：内閣官房副長官補（外政担当）、内閣府大臣官房審議官、外務省アジア大洋州局長、財務省大臣官房審議官、文部科学省科学技術・学術政策局長、厚生労働省労働基準局安全衛生部長、経済産業省大臣官房審議官、環境省総合環境政策局環境保健部長、防衛省防衛政策局長
・①閣議了解、②閣議決定を廃止

④遺棄化学兵器処理事業に関する有識者会議

https://wwwa.cao.go.jp/acw/kaigi.html#sec1

・遺棄化学兵器処理事業に関する有識者会議開催要綱
  （2008 年６月 18 日内閣府特命担当大臣決定）
  https://wwwa.cao.go.jp/acw/pdf/kaigi_01shiryo_3.pdf
・目的：遺棄化学兵器処理事業の適正な実施と透明性の向上を図るため、内閣府副大臣の下に、中立・公平な立場で客観的に検討を行い、必要な意見及び助言を行う
・検討事項
  ・遺棄化学兵器処理事業の実施状況
  ・遺棄化学兵器処理事業に関する予算の執行状況

２　日本国内の毒ガス弾等問題への対応方針と対応体制

①国内における毒ガス弾等に関する今後の対応方針について

（2003 年 12 月 16 日閣議決定、2006 年 12 月 26 日一部改正）
https://www.env.go.jp/content/900408903.pdf

・「旧軍毒ガス弾等の全国調査」フォローアップ調査の閣議報告を受け決定
・対応方針「毒ガス弾等による被害の未然防止のため」
・環境省（または国有地等担当省庁）が防衛省と協力して、警察庁及び消防庁と連携しつつ、掘削、運搬、保管、処理等を行う。
・環境省が情報センターを設置
  ・環境省環境保健部環境リスク評価室内に毒ガス情報センターを設置
  ・毒ガス弾等に関する情報の集積・分析、適切な周知・広報を実施

②国内における毒ガス弾等に関する総合調査検討会
https://www.env.go.jp/chemi/gas_inform/sonota_singi/sonota01.html
・設置要項
https://www.env.go.jp/chemi/gas_inform/sonota_singi/gas/gaiyo.html
・目的：国内における毒ガス弾等による被害の未然防止を図るため、環境省が対策を講ずるに当たり、総合的に指導・助言を行う
・検討事項
  ・毒ガス弾等汚染が懸念される地区の調査
  ・毒ガス弾等の分析
  ・毒ガス弾等に係る環境調査（地下水汚染、土壌汚染等）
  ・安全確保措置（モニタリングの結果を踏まえ、地下水の飲料利用自粛を要請など）

付録3　ヒ素化学兵器処理由来の無機ヒ素曝露作業者に対する離職後長期健康管理体制の必要性

１　問題の背景

ヒ素化学兵器処理事業に従事する作業者に対し、処理過程で生成する無機ヒ素に起因する健康影響について、離職後を含む長期的な健康管理指針及び追跡実績は、国内外に前例が存在しない。本事業は国際的にも希少な取組であり、既存の労働衛生管理体系では対応が十分に確立されていない点が課題である。

無機ヒ素は、生活習慣病（非感染性疾患）である高血圧、心血管疾患、糖尿病の原因及び増悪因子として疫学的に認められており[1]、加えて、国際がん研究機関（IARC）により Group 1：ヒトに対して発がん性がある物質と分類されている。特に、皮膚がん、肺がん、肝臓がん、膀胱がんが無機ヒ素により発症する癌として認定されている[2]。

無機ヒ素による発がんは、一般的に曝露から発症までの潜伏期間が 30 年以上と極めて長いことが特徴である。そのため、作業期間中の健康診断のみでは健康影響を適切に把握することは困難であり、離職後を含めた長期的フォローアップが不可欠である。すなわち、健康管理体制は、現行の労働安全衛生法（安衛法）及び特定化学物質障害予防規則（特化則）に準じつつも、将来の健康影響に備えた独自の長期管理システムを構築する必要がある（図１）。

図1　問題点の概要

２　対象のヒ素と対象者

中国において発掘・回収・処理が進められている老朽化遺棄化学兵器には、ルイサイト、ジフェニルクロロアルシン（DA）、ジフェニルシアノアルシン（DC）の３種類のヒ素化学剤が含まれる。これら化学剤が充填された砲弾の発掘及び回収作業に従事する者は、化学兵器禁止機関（OPCW）により規定された保護基準に基づく防護装備管理が行わ

れており、これまで作業由来の曝露事故の報告はなく、ヒ素化学剤そのものによる急性毒性問題は除外できると判断される。

一方、砲弾内のヒ素化学剤を処理する工程においては、神戸製鋼における制御爆破処理、川崎重工における加熱爆破処理の２種類の技術が採用されている。処理方法は異なるものの、最終的には無機ヒ素（主として五価ヒ素）として回収され、処理後は中国国内に保管されている。加熱爆破方式では、化学剤分解後に五価無機ヒ素を生成することが想定され、一方、制御爆破処理では金属ヒ素及び五価無機ヒ素の粉塵が発生し、ナノ粒子が混在する可能性が推測される。これらの作業工程において想定される主な曝露機会は、処理後の固形物を回収する作業、装置内部の清掃・点検、フィルター交換、設備メンテナンス作業等であり、無機ヒ素粉塵の吸入暴露が主要な曝露経路となる。この曝露形態は、日本国内における銅製錬、非鉄精錬、三酸化ヒ素製造、半導体用ヒ素化合物製造などの産業現場で蓄積された労働衛生学的知見から十分に想定可能である。

無機ヒ素粉塵に曝露し得る対象者は、上記作業に従事する神戸製鋼及び川崎重工の作業員である。作業環境と健康管理は、安衛法及び特化則に基づき運用されている。これまでのところ、鼻粘膜障害、呼吸器症状、口腔粘膜症状、消化器症状、体重減少、末梢神経障害など無機ヒ素急性中毒で典型的に観察される症状に関する申告はなく、急性期高濃度曝露が存在した可能性は低いと考えられる。

しかしながら、無機ヒ素曝露の最大の健康障害は慢性毒性及び発がんであり、特に、発がんには一般的に 30 年以上の潜伏期間を要する[2]。そのため、急性症状の不在のみを根拠としてリスクが不存在と結論することは科学的にも行政的にも不適切である。長期的な健康影響の評価には、曝露量の把握、作業歴、特殊健康診断、尿中ヒ素モニタリング記録の長期保存と追跡が必須である。

３　無機ヒ素曝露による健康障害

作業に起因する無機ヒ素曝露における急性中毒発生の可能性は、これまでの毒性学、労働衛生、及び産業保健の知見から極めて低いと判断される。一方、無機ヒ素による慢性中毒は、経気道曝露（主として職業性）及び経口曝露（飲料水や食品汚染）により発生する。皮膚からの体内吸収は一般に無機ヒ素では起こりにくいとされるが、ルイサイト、三塩化ヒ素、アルシンガスなど一部のヒ素化合物では明確に皮膚吸収毒性が認められる。

職業性無機ヒ素曝露による健康障害は、歴史的には銅製錬や非鉄精錬、ヒ素農薬製造に従事した労働者で報告されており、特に肺がんと皮膚がんの発生が注目された。しかし近年では、職場の換気改善、密閉系設備導入、作業環境測定制度の強化により、発がんリスクは一定程度低減したと考えられている。

他方、飲料水汚染（主として井戸水）による環境性慢性ヒ素中毒は、中南米や南アジアで深刻な公衆衛生問題となっている[1-3]。WHO の推計では[4]、患者及びハイリスク者は世界で約 9,000 万人、うち中国では約 300 万人に達すると報告された。慢性ヒ素中毒の原因物質は無機ヒ素であり、ヒ素化学兵器処理過程で生成される無機ヒ素と同一である。

慢性無機ヒ素中毒の症状については、職業性及び環境性中毒から膨大な臨床情報と疫学データが蓄積されている。典型的な初期症状として、皮膚色素沈着・脱失及び手掌・足底角化症が高頻度に認められる。また、無機ヒ素曝露は生活習慣病（非感染性疾患）、すなわち高血圧、心疾患、糖尿病の発症及び増悪因子として位置づけられ、国際的にも共通認識となっている[1]。

無機ヒ素曝露による健康障害において最も重篤な影響は、皮膚がん、肺がん、肝がん、膀胱がんの発生である[2]。これらの腫瘍は一般に曝露から 30 年以上の潜伏期間を経て発症する。なお、日本人に多い大腸がん、胃がん、腎臓がん、膵臓がん、前立腺がんについては、現時点で無機ヒ素との明確な因果関係は認められていない。

近年、新たに注目を集めている健康影響として認知機能障害が挙げられる。認知機能障害は複合要因によるが、無機ヒ素はその一因となる可能性が報告され始め、特に加齢との相互作用が国際的研究課題となっている。この研究領域は今後の政策判断において重要な基盤となるため、継続的な毒性学研究の情報収集や疫学解析の推進が必要である。

４　離職後における長期健康管理の支援制度の必要性

中国において処理が進められている三種類のヒ素化学剤（ルイサイト、ジフェニルクロロアルシン、ジフェニルシアノアルシン）を充填した砲弾の解体・処理過程では、分解反応及び酸化反応を通じて無機ヒ素（主に五価無機ヒ素）が生成される可能性が高い。したがって、労働安全衛生法（安衛法）及び特定化学物質障害予防規則（特化則）に基づき、厳格な作業管理と継続的な健康管理の実施が不可欠である。事業受託会社である神戸製鋼及び川崎重工においては、これらの法令遵守が周知されている。

日本ではかつて、銅製錬や非鉄精錬の副産物として得られる三酸化ヒ素が木材防腐剤、農薬、ガラス製造、化合物半導体などに利用されており、多数のヒ素取扱い作業者が存在した[1]。しかし近年、日本国内でのヒ素需要は大幅に縮小し、ヒ素の取扱い労働者を対象とした長期健康追跡の知見が乏しくなりつつある。

一方、ヒ素化学兵器処理事業における無機ヒ素曝露については、安衛法及び特化則に準じた管理体制がどの程度透明性と説明責任を確保しているのか、制度的に不明瞭な点が存在する。また、この問題は国際的にも十分な事例蓄積がなく、適切な対策モデルが存在しないことが推察される。

無機ヒ素曝露に起因する健康障害の最大の問題点（遅延性発症）は、発がんに至る潜伏期間が 30 年以上[2]に及ぶことである。したがって、短期的な健康調査のみでは健康影響を適切に把握できず、作業従事期間の終了や離職を境に健康管理が途切れることは、将来的な医療・補償問題を引き起こす可能性が高い。

中国での処理事業終了までにはなお一定の期間が確保されている。この期間を活用し、内閣府、神戸製鋼、川崎重工ほか関係企業が中心となり、離職後の長期健康管理制度を構築する必要がある。その際、現行の安衛法及び特化則を基盤としつつ、独自の長期追跡システムを整備することが望まれる。

以下に制度設計上の重要項目を示す。

制度構築において確立すべき主要項目

- 作業環境測定結果（作業区域のヒ素濃度）の長期保存と公開性の確保
- 作業従事歴の電子保存と追跡可能化
- 特殊健康診断記録の長期保存（40 年を目標）
- 生物学的モニタリング（尿中ヒ素濃度）の保存
- 健康管理データの保管主体・保管期間・取扱い責任者の明確化
- 劣化を防ぐための情報のデジタル化推進
- 離職者向け相談窓口の設置と周知
- 相談や救済申請があった場合の第三者的評価組織の設置
- 離職後の定期健康診断の実施及びその費用負担規定の明確化
- 無機ヒ素起因の健康影響に関する国際的情報収集と分析専門家の確保

５　まとめ

処理事業従事者に対する長期健康管理制度の構築は、将来の健康被害発生時における行政的・倫理的責任の遂行及び社会的信頼の確保に不可欠である。本資料に基づく制度設計は、わが国独自の健康保護政策の改善に寄与し、国際的にも先例として重要な意味を持つと考えられる。

６　文献

[1] Yamauchi H, Yoshida T, Takata A. Arsenic exposure and health effects: Differences by chemical structure, chemical form and arsenic methylation capacity. In: Huq I, editor. Arsenic in Environment-Sources, Implications and Remedies. London: IntechOpen; 2023. https://doi.org.10.5772/intechopen.1001454.

[2] International Agency for Research on Cancer (IARC). Arsenic, metals, fibres, and dusts. A review of human carcinogens. Volume 100 C. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Lyon: IARC; 2012. pp.41-93. https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Arsenic-Metals-Fibres-And-Dusts-2012

[3] Yamauchi H, Takata A. Past and current arsenic poisonings. In: Yamauchi H, Sun G, editors. Arsenic contamination in Asia, biological effects and preventive measures. Singapore: Springer; 2018. pp. 1-11. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2565-6_1

[4] WHO. Arsenic. 2022 Dec 7 [cited 27 July 2023]. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/arsenic.

報　　告

生成 AI と可視化を活用した教育改革の方向性に関する報告

令和８年（２０２６年）９月２８日

日　本　学　術　会　議

総合工学委員会

科学的知見の創出に資する可視化分科会

この報告は、日本学術会議総合工学委員会科学的知見の創出に資する可視化分科会教育改革と可視化小委員会の審議結果を踏まえ、総合工学委員会科学的知見の創出に資する可視化分科会において取りまとめ公表するものである。

日本学術会議総合工学委員会科学的知見の創出に資する可視化分科会

委員長	小山田耕二	連携会員	大阪成蹊大学データサイエンス学部学部長／教授
副委員長	武田秀太郎	連携会員	慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科准教授
幹事	中村　浩章	連携会員	大学共同利用機関法人自然科学研究機構核融合科学研究所研究部プラズマ・ 複相間輸送ユニット教授
幹事	日置　尋久	連携会員	京都大学大学院人間・環境学研究科教授
	明和　政子	第一部会員	京都大学大学院教育学研究科教授
	村山　美穂	第二部会員	京都大学野生動物研究センター教授
	越塚　誠一	第三部会員	東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻教授
	淺間　一	連携会員	早稲田大学次世代ロボット研究機構ヒューマン・ロボット共創研究所上級研究員（研究院教授）
	大倉　典子	連携会員	環太平洋大学国際経済経営学部特任教授／芝浦工業大学名誉教授
	田中　覚	連携会員	立命館大学情報理工学部教授
	筑本　知子	連携会員	大阪大学レーザー科学研究所教授
	坪倉　誠	連携会員	神戸大学大学院システム情報学研究科 教授／理化学研究所計算科学研究センターチームリーダー
	藤代　一成	連携会員	駒澤大学グローバル・メディア・スタディーズ学部教授／慶應義塾大学名誉教授

教育改革と可視化小委員会

委員長	小山田耕二	連携会員	大阪成蹊大学データサイエンス学部学部長／教授
副委員長	筑本　知子	連携会員	大阪大学レーザー科学研究所教授
幹事	服部　翔大		横河デジタル株式会社コンサルティング事業本部 AI コンサルティング部マネージャー
幹事	水井　賢文		株式会社富士テクニカルリサーチ営業本部本社営業部本社営業室主幹
	志村　祐康		東京科学大学工学院准教授
	林　宏樹		雲雀丘学園中学校・高等学校教諭
	巳波　弘佳		関西学院大学副学長／教授
	山辺　真幸		一橋大学大学院ソーシャル・データサイエンス研究科特任講師／慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科特任講師

本報告の作成にあたり、以下の職員が事務及び調査を担当した。

事務	新田　浩史	参事官（審議第二担当）
	渡邊英一郎	参事官（審議第二担当）（令和８年７月から）
	角田美知子	参事官（審議第二担当）付参事官補佐
	冨岡千香子	参事官（審議第二担当）付審議専門職付
調査	辻　政俊	上席学術調査員

要　　旨

１　作成の背景

近年、日本においては科学的知見の創出力の低下が指摘されており、特に協働的問題解決能力や主体性・創造性といった非認知能力の育成が課題となっている。また、従来の教育は知識の再現を重視する傾向が強く、学習者の認知特性や非認知能力の個人差を十分に考慮してこなかったという構造的問題が存在する。一方、生成 AI の発展により、学習過程や相互作用を可視化し、思考や協働を支援する新たな教育環境の構築が可能となっている。このような背景のもと、生成 AI と可視化を活用した教育改革の方向性を整理する必要がある。

２　現状及び問題点

現在の教育においては、発話量や成績といった限定的な指標に基づく評価が主流であり、学習者の思考過程や貢献が十分に把握されていない。また、協働学習においては、特定の学習者に発話が偏ることや、十分に意見を表明できない学習者が生じることなど、参加の偏りが課題となり得る。さらに、生成 AI の教育利用については、活用経験の差により理解や態度にばらつきがあり、制度的支援や教育設計が十分に整備されていないという問題がある。

これらの課題により、学習者の多様性を前提とした教育や協働的学びの質の向上が阻害されている。

３　報告の内容

本報告では、生成 AI と可視化を基盤とした教育改革の方向性について、以下のように整理するものである。

第一に、生成 AI の出力に含まれる偏りを可視化し、批判的思考力を育成する教材として活用することが重要である。

第二に、生成 AI を用いて発話や議論構造を可視化し、グループ学習における参加の偏在を緩和することを目指した環境を整備することが考えられる。

第三に、生成 AI を提案支援ツールとして位置づけ、人間の判断力・倫理観と統合した教育を推進することが必要である。

以上のように、生成 AI と可視化を活用した教育改革は、人間の多様性を尊重しつつ、協働的学びと主体的思考を促進する基盤となり得る。

目　　次

１．背景：生成 AI 時代における教育改革と特性可視化の必要性 1
⑴公開シンポジウムにおける議論 4
⑵日韓共同アンケート調査から得られた示唆 5
⑶国内実践例 6
２．個人差の可視化及び生成 AI を活用したグループ学習支援の先行事例 9
⑴個人差（認知能力・作業記憶・非認知能力）の可視化を通じた教育改善の事例 9
⑵生成 AI を活用したグループ学習支援の研究動向 9
３．海外事例に基づく、日本が今後開発を進めるべき教育技術の妥当性 11
⑴AI バイアスの教材化：AI の偏りを可視化し、批判的思考力を育てる必要性 11
⑵AI ファシリテーションの導入：協働学習の質を高める技術的根拠 11
⑶人間力と AI リテラシーの統合育成：国際潮流との整合性 12
４．具体的な改革の方向性 13
⑴AI バイアスの教材化：AI の偏りを可視化し、批判的思考力を育てる 13
⑵AI ファシリテーションの導入：グループ学習における参加促進環境の整備 14
⑶人間力と AI リテラシーの統合育成：提案支援ツールとしての AI 活用文化の確立 14
５．改革の効果を捉えるための評価観点と指標化 15
⑴学習者間の相互理解の深化を捉える指標 16
⑵グループ内の発話バランスを捉える指標 17
⑶学習者特性に応じた指導を捉える指標 17
⑷生成 AI 共創型学習の普及・定着と活用の質を捉える指標 18
６．倫理的留意点と今後の課題 19
７．結語 21
＜参考文献＞ 22
＜参考資料１＞審議経過 24
＜参考資料２＞シンポジウム開催 25

１．背景：生成 AI 時代における教育改革と特性可視化の必要性

近年、日本における科学的知見創出力の低下が、複数の国際指標や学術的議論により指摘されている。OECD の PISA 2015 調査では、日本の 15 歳生徒は、科学的リテラシー、数学的リテラシー、読解力に加え、協同問題解決能力についても国際的に高い成績を示した。一方、協同に対する態度に関する質問では、「異なる意見について考えるのは楽しい」と回答した生徒の割合が OECD 平均を大きく下回るなど、他者の異なる意見を積極的に受け止める姿勢には課題も認められた。この結果のみから日本の教育全体を評価することはできないが、知識・技能や課題遂行能力の高さに加えて、対話を通じて異なる意見を取り入れる主体的・協働的な学びを充実させる必要性を示唆する国際的指標の一つと位置づけることができる [1]。また、OECD Education at a Glance 2023 では、人的資本の質を支える能力として、創造性や協働性、主体性といった非認知的・汎用的能力の重要性が強調されている [2]。研究人材育成の観点からも、若手研究者数や博士課程進学率の低迷が指摘されており、知識を受動的に獲得する教育モデルからの転換が求められている。

この背景には、日本の教育が長らく「知識の正確な再現」を重視してきたことに加え、学習者一人一人の認知特性や非認知能力の違いを十分に考慮してこなかったという構造的課題がある。教育心理学及び協働学習研究では、作業記憶容量、注意制御、自己効力感、協調性といった個人差が、学習成果やグループ活動への参加の在り方に大きく影響することが示されている [3]。しかし、これらの特性は外見から把握しにくく、従来の教室環境では「発話量」や「成績」といった限定的な指標によって評価されがちであった。

一方、生成 AI の急速な発展は、教育環境に大きな変化をもたらしつつある。本報告における「生成 AI」とは、大規模言語モデルを基盤とし、文章や問い、要約などを生成する技術に加え、話者の発話音声や映像といった複数の情報様式を統合的に処理するマルチモーダル AI を含むものを指す。特に本報告で想定する生成 AI は、学習者や教育者の判断を代替する自律的主体ではなく、対話や学習過程を支援するための補助的技術として位置づけられる。生成 AI は、知識検索や文章生成といった機能を通じて学習者の思考や理解を補助するだけでなく、対話の履歴や作業の過程を手がかりとして、学習の進行状況や思考の変化を可視化する可能性を有している。本報告における「可視化」とは、データ分析や自動的な判断を行うことそのものを指すのではなく、学習過程や相互作用の様相を人間が理解・解釈しやすい形で表現することにより、教育者及び学習者による判断や省察を支援するための方法を指す。ここでの省察とは、提示された情報をもとに自らの指導実践や学習行動を振り返り、その意味や問題点を多角的に捉え直すことで、次の改善や学びへとつなげる一連の知的思考プロセスを意味する。可視化は意思決定を代替するものではなく、人間の判断を前提とした対話や検討を促進する補助的手段として位置づけられる。UNESCO は、生成 AI を教育に導入する際の指針として、「学習者中心性」「人間の判断の補完」「透明性と説明可能性」を重視し、AI を教師や学習者の代替ではなく、思考や判断を支援するツールとして位置づけるべきであると示している [4]。

日本の教育文化においては、協調性や集団調和が重視される一方で、学習場面における発話や自己主張が慎重になりやすい傾向が指摘されてきた。このような傾向は、日本に固

有のものとして単純化できるものではないが、OECD による国際比較調査においても、学習者の自己効力感や発話行動の現れ方が文化的・社会的文脈と密接に関連していることが示されている［1］［2］。こうした文化的・社会的背景のもとでは、学習場面において発話量の多寡が学習者の能力や理解度と短絡的に結び付けられやすいという課題も指摘されている。しかし、OECD が示す社会情動的スキルの枠組みでは、協働性や粘り強さといった能力は単純な行動指標からは測れないことが強調されている［9］。

特に注目されるのが、生成 AI を用いたグループ学習支援である。協働学習は、批判的思考力や多様な視点の統合を促進する有効な学習形態である一方で、発話の偏在や同調圧力、内向的学習者の沈黙といった課題を内包していることが指摘されてきた［3］［4］。こうした現象は日本に限らず多くの国・地域で観察されており、OECD の協働的問題解決能力に関する調査でも、グループ内での発話行動や意思表明の在り方が教育慣行や文化的背景と関連していることが報告されている［1］。 これに対し本報告では、協働学習の場面においてとりわけ「発話の偏在」や「少数意見の埋没」、「未検討論点の見落とし」といった教育上の構造的課題に着目し、その解決を図るアプローチを検討する。

近年、AI を活用して発話状況や論点の分布を分析・可視化し、協働学習を支援しようとする研究が進められている。その教育効果については、今後の実証的検証が必要である。これにより、従来は「能力が低い」と誤解されがちであった学習者の思考や貢献が、適切に認識される余地が広がる。

日本学術会議はこれまでも、可視化技術が科学的知見の創出に果たす役割を重視してきた。2017 年の提言「科学的知見の創出に資する可視化に向けて」では、可視化を単なる表現技術ではなく、人間の認知を拡張し、議論や理解を促進する知的基盤として位置づけている［5］。また、2023 年の見解「大学教育の分野別質保証のための教育課程編成上の参照基準　総合工学分野～社会課題に立ち向かう総合工学分野の人材育成～」においては、社会課題に立ち向かう人材育成のために、分野横断的能力や協働的学習の重要性が明示されている［6］。

本報告における「可視化」とは、単なる画像化や情報提示を意味するものではなく、従来は把握しにくかった学習過程や相互作用、思考構造を、人間が理解・省察しやすい形で顕在化することを指す。可視化研究においては、しばしば “see the unseen（見えないものを見る）” という考え方が重視されてきた。本報告における可視化も、この立場に基づき、発話関係、論点分布、相互参照構造、未検討論点、思考過程の変化など、従来の教室環境では暗黙的であった関係性や過程を可視化対象として捉えるものである。

例えば、グループ学習において、発話頻度の偏在、少数意見の埋没、相互参照関係の偏りなどを図示・構造化することにより、学習者及び教育者による対話的な振り返りと判断を支援することを想定している。したがって、本報告における可視化は、生成 AI が生成した文章そのものを指すのではなく、学習活動や相互作用の背後にある構造や特徴を、人間が理解可能な形で表現するための方法論として位置づけられる。

これらを踏まえると、生成 AI を活用した「学習者特性の可視化」及び「参加促進型グループ学習環境の設計」は、教育学・情報学・心理学・倫理学を横断する複合的課題であり、

単一分野による検討では十分とは言えない。本報告でいう「学習者特性」とは、学力水準のみならず、認知能力（例：作業記憶、注意制御）、非認知能力（例：動機づけ、自己効力感、協調性）、及び学習行動の傾向を含む、学び方に関わる個人差の総体を指す。学術分野を代表し、社会に対して中立的かつ俯瞰的立場を有する日本学術会議が、この課題について報告することには大きな意義がある。

本報告は、生成 AI を教育の効率化手段としてのみ捉えるのではなく、人間の多様性を尊重し、学びの場における相互理解と参加を促進するための基盤技術として再定義することを目的とするものである。これは、「AI を使う教育」から「AI とともに考える教育」への転換を示すものであり、日本の教育改革における重要な視座を提供する。本報告は、特定の教育段階や制度に限定したものではなく、初等中等教育から高等教育に至る教育現場、及びそれを支える政策・社会的文脈を横断的に視野に入れ、生成 AI と可視化を人間中心的に活用するための基本的な方向性と留意点を整理することを目的とする。

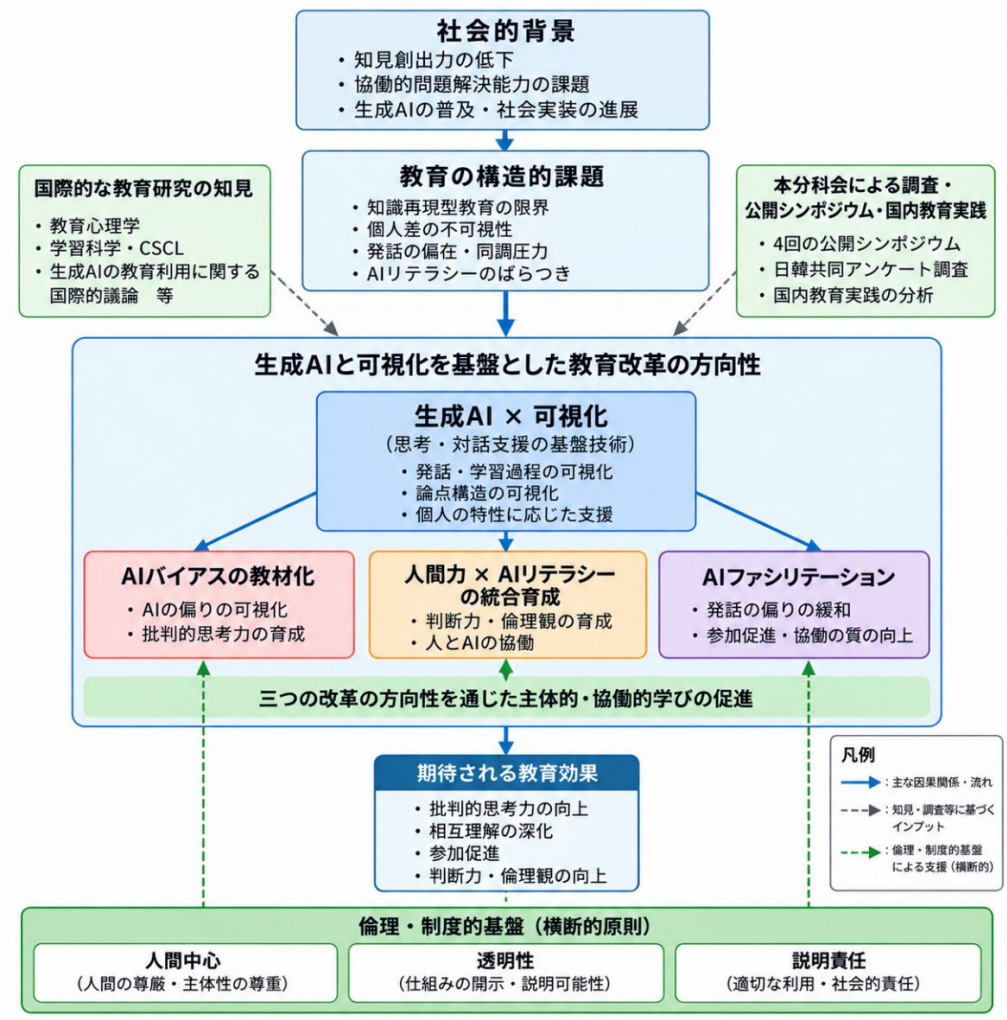


図　1　生成 AI と可視化を活用した教育改革に関する本報告の全体構造

（出典）総合工学委員会科学的知見の創出に資する可視化分科会教育改革と可視化小委員会にて作成

図１は、本報告の全体構造を示したものである。まず、知見創出力の低下や協働的問題解決能力の課題、生成 AI の普及といった社会的背景を踏まえ、知識再現型教育や個人差の不可視性などの教育の構造的課題を整理した。その上で、生成 AI と可視化を思考・対話支援の基盤技術として位置づけ、「AI バイアスの教材化」「AI ファシリテーション」「人間力と AI リテラシーの統合育成」という三つの改革の方向性を提示している。さらに、これらの方向性が主体的・協働的学びの促進を通じて教育的効果につながることを示すとともに、人間中心・透明性・説明責任を基盤とする倫理的留意点を横断的原則として位置づけている。これら三つの方向性は、国際的な教育研究の知見、本分科会による調査・公開シンポジウム、及び国内教育実践の分析結果を踏まえて導出したものである。

(1) 公開シンポジウムにおける議論

本報告は、日本学術会議総合工学委員会科学的知見の創出に資する可視化分科会が、2025 年度に開催した４回の公開シンポジウム（参考資料２参照）における議論の成果を踏まえて取りまとめたものである。これらのシンポジウムは、生成 AI の急速な普及を背景に、教育改革において可視化技術及び生成 AI をどのように位置づけ、活用すべきかを、多様な立場から検討することを目的として段階的に開催された。

2025 年４月に開催された公開シンポジウム「教育改革と可視化―生成 AI の普及と向き合う AI・データサイエンス教育」では、生成 AI が社会実装の段階に入りつつある現状を踏まえ、AI・データサイエンス教育の在り方が広く議論された。特に、生成 AI を単なる技術ツールとして扱うのではなく、科学的方法に基づく思考や課題解決能力の育成とどのように結び付けるかが重要な論点として共有された。また、教育現場における可視化の役割として、学習過程や思考の構造を明示し、学習者自身の気づきと行動変容を促す可能性が指摘された。

続く 2025 年７月の公開シンポジウム「生成 AI 時代の人間力育成」では、生成 AI が高度化する時代においても、人間に固有の判断力、協働力、責任感といった「人間力」の育成が不可欠であるとの認識が改めて確認された。本報告における「人間力」とは、生成 AI の存在を前提とした状況においても、人間が最終的な判断と責任を担うために必要な、判断力、倫理観、協働性、自己省察力の総体を意味する。学生のコンピテンシー評価結果や PBL（Project-Based Learning：実社会の課題解決にグループで取り組む課題解決型学習）教育の実践報告を通じて、可視化されたデータが学習者の自己理解を深め、主体的な学びを促進することが議論された。また、生成 AI は学習や指導を代替する存在ではなく、教員・学生双方の思考を支援する「提案支援ツール」として位置づけるべきであるとの共通理解が形成された。

また、2025 年 10 月に開催された公開シンポジウム「教育改革と可視化―生成 AI の光と闇」では、生成 AI の利点とともに、その内在するバイアスや倫理的課題が正面から取り上げられた。LLMに含まれる文化的・社会的バイアスを可視化し、それ自体を教材として批判的思考力を育成する可能性や、PBL 型グループ学習において生成 AI を発話促進のファシリテータとして活用する実践事例が共有された。また、AI による意思決定支援を

どのように人間の判断と協働させるかという倫理的論点について、「AIを使う倫理」から「AIとともに考える倫理」への転換の必要性が議論された。

さらに、2026年３月の公開シンポジウム『教育改革と可視化－生成AIは大学をどう変えるのかー』では、山田礼子氏（同志社大学）による基調講演「生成AI時代の高等教育改革」が行われた。同講演では、生成AIの急速な普及を踏まえ、高等教育において「変えるべきもの」と「守るべきもの」を区別して議論する必要性が指摘された。具体的には、評価方法、授業設計、ガバナンス等については生成AI時代に対応した見直しが必要である一方で、批判的思考力、主体性、倫理的判断、人と人との対話といった教育の本質的価値は維持・発展させるべきであることが強調された。また、AI時代の教育改革は、学習者のウェルビーイングと包摂性の向上を目的として進められるべきであることが議論された。

本報告で提示する「AIバイアスの教材化」「AIファシリテーション」「人間力とAIリテラシーの統合育成」という三つの改革の方向性は、こうした第４回シンポジウムで議論された論点とも整合するものである。

⑵ 日韓共同アンケート調査から得られた示唆

本報告における議論を補完する探索的資料として、2026年２月に釜山大学（Pusan National University）及び大阪成蹊大学の教員を対象として実施した生成AI利用に関する共同アンケート調査の結果を紹介する。本調査では、両大学において同一の設問を用い、生成AIの利用状況、将来の利用に対する態度、教育利用に対する認識、制度的研修・支援の必要性、及び生成AIに関する自己評価等について回答を求めた。

回答者は、釜山大学26名、大阪成蹊大学191名であった。両大学では回答者数及び回答値の分散が異なるため、平均値の比較には等分散を仮定しないWelchのt検定を用いた。

その結果、生成AIの利用時間、将来の利用に対する前向きな態度、教育利用への賛成度、及び自己評価については、釜山大学の回答者群の平均値が大阪成蹊大学の回答者群より高かった。各項目について統計的な群間差が認められた（いずれも $p < .01$）。一方、制度的研修・支援の必要性については、両大学の回答者群の間に統計的に有意な差は認められなかった。

ただし、本調査は二大学の教員を対象とした探索的な横断調査であり、利用経験が生成AIへの態度や理解度を因果的に高めたことを示すものではない。また、大学間の差には、教育環境、専門分野、回答者構成等の影響が含まれる可能性がある。

その上で、生成AIの利用が多い回答者群を含む大学において、生成AIに対する理解や将来利用への態度も高い傾向が同時に観察されたことは、利用経験と生成AIに対する理解・態度との関連を今後検証する必要性を示唆している。また、制度的研修・支援の必要性について両大学に共通した認識がみられたことから、生成AIの教育利用を個々の教員の経験だけに委ねるのではなく、組織的な支援の在り方を検討する必要がある。

なお、本調査は本報告の三つの改革の方向性を実証するための調査ではなく、今後検証すべき課題を探索的に把握するための資料として位置づける。

⑶国内実践例

以上の議論は、国内の教育現場でも具体的な形を取り始めている。大阪成蹊大学データサイエンス学部における「未来クリエーションプロジェクト４」は、２年次後期に配置された演習科目であり、実社会の課題を想定したデータサイエンス実践を通じて、論理的思考力と協働的問題解決能力の育成を目的としている。本科目では、企業や組織を想定した課題設定のもと、学生が複数名のグループに分かれ、データの加工・分析・可視化を行い、その結果を提案としてまとめるPBL型学習が展開されている。

典型的な実践では、まず教員から提示される「加工済みデータ」を起点として、各グループが元データの構造や生成過程を推測する課題に取り組む。学生は、プライバシー保護やデータ加工の意図を踏まえながら、どのような情報が失われ、どのような推測が可能であるかを議論し、推定アルゴリズムを設計・実装する。この過程では、各自が異なるグループのデータを担当することにより、単一の正解に収束しない多様な仮説や分析方針が生まれる構造が意図的に設けられている。

グループ内の議論では、発話量や役割分担に偏りが生じやすい場面も見られるが、教員は中間段階で分析過程や議論の構造を可視化し、どの観点が十分に検討されているか、どの仮定が暗黙のまま置かれているかを学生と共有する。これにより、発言が少なかった学生が分析上の重要な気づきを示す場面や、異なる視点からの再検討が促されるなど、協働的学びの質的向上が示唆された。

最終段階では、各グループが元データ推定の方法と結果、推定に伴う限界や倫理的配慮について発表を行い、他グループからの質問や指摘を受けて考察を深める。学生は、分析結果そのものだけでなく、どのような仮定のもとで判断を行ったかを説明することが求められ、思考過程を言語化・可視化する経験を積む。この一連のプロセスを通じて、データ分析を「正解探索」としてではなく、不確実性を前提とした判断と対話の営みとして捉える姿勢が育成されている。

以上は、大阪成蹊大学データサイエンス学部における一つの授業実践であり、本分科会委員から提供された授業実践資料及び実践報告をもとに整理したものである。授業においては、学生が分析過程や判断の前提を言語化し、グループ内外で共有する活動が実施されている。

一方、生成AIによる議論ログ分析、未検討論点の提示、発話バランスの可視化等を統合した支援環境については、現時点ですべてが当該授業に実装され、その教育効果が実証されているものではない。そこで本報告では、実際の授業実践から得られた課題を出発点として、生成AIと可視化を活用した今後の学習支援環境を構想するための国内実践の一例として本事例を位置づける。

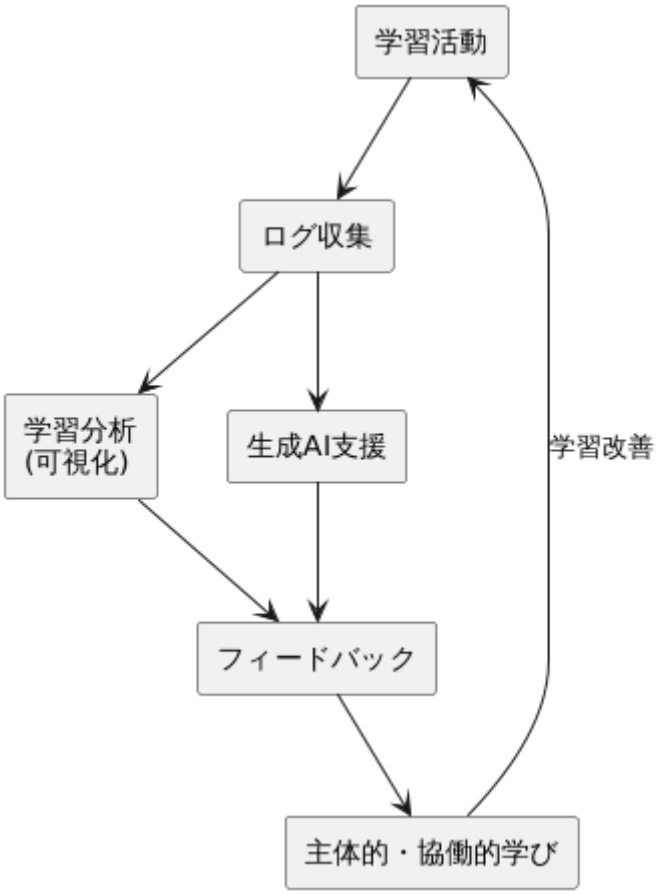


図 2　生成 AI を活用したグループ学習支援の概念モデル

（出典）総合工学委員会科学的知見の創出に資する可視化分科会教育改革と可視化小委員会にて作成

図２は、大阪成蹊大学データサイエンス学部における授業実践から得られた課題を参考として、本報告が今後の方向性として構成した概念モデルである。したがって、図中のすべての機能が既に同大学で実装されていることを示すものではない。この図で、ログは、発話ログ、操作ログ、議論ログから構成され、それぞれの定義は、以下のとおりである。

- 発話ログ：学習者や教員による音声またはテキストでの発言内容及び発言時刻等を記録したデータ
- 操作ログ：学習支援システムや生成 AI 利用時の入力、閲覧、編集、資料参照等の操作履歴
- 議論ログ：発話ログ及び操作ログを基に、発言間の参照関係、論点の展開過程、意思決定の経緯等を含めて構造化した議論全体の記録

学習活動から得られる発話ログや操作ログを分析し、未発言者や少数意見、論点の偏りを把握する。その結果を基に生成 AI が論点要約、未言及論点の提示、問い生成等を行い、学習者及び教員へフィードバックすることで、協働的学習を支援する。

同時に、教員には学習者の参加状況や議論の進行状態を把握するためのダッシュボードが提供され、適切な介入判断を支援する。本概念モデルは、発話量の単純な多寡に依

存しない「個人差の可視化」と、生成 AI による参加促進機能を統合することで、協働的学習の質的向上を実現する基盤を示すものである。

本実践において観察されるように、グループ学習における発話量や役割分担には一定の偏在が生じる傾向があり、発話量の多寡のみでは学習者の理解度や貢献度を適切に評価できないという課題が明らかとなる。特に、発話が少ない学習者であっても、分析や仮説形成において重要な視点を有している場合があり、そのような貢献は従来の教室環境では可視化されにくい。

このことは、グループ学習の質を高めるためには、発話量の単純な計測ではなく、発話内容の関係性や思考過程、相互参照の構造を含めた「個人差の可視化」が不可欠であることを示唆している。また、こうした可視化は、単なる観察や記録にとどまらず、生成 AI を活用することにより、議論の偏在や未言及の論点をリアルタイムに提示し、学習者の参加を促進する仕組みとして設計される必要がある。

したがって、今後の教育環境においては、(1) 発話量及び発話内容の構造的把握、(2) 学習者間の相互参照関係の可視化、(3) 未発言者や少数意見の顕在化、(4) 教員による介入判断を支援する情報提示、という観点から、「個人差の可視化及び生成 AI を活用したグループ学習支援」に関する要件を体系的に整理することが求められる。

本報告は、上述の４回の公開シンポジウムで積み重ねられた議論やグループ討論の実践例から想起された課題を総合し、生成 AI と可視化を教育改革の文脈において人間中心的に活用するための方向性を整理したものである。具体的には、「AI バイアスの教材化」「AI ファシリテーション」「人間力と AI リテラシーの統合育成」の三つの改革の方向性を提示する。これらの方向性は、教育学・学習科学における知見、OECD や UNESCO 等の国際的議論、本分科会が実施した公開シンポジウム及び日韓共同調査、さらに国内教育実践の分析結果を踏まえて導出したものである。本共同調査で認められた大学間の差についても、その要因を文化的特性のみに帰属させることはできず、教育環境、専門分野、回答者構成等の影響を考慮する必要がある。

また、本報告は教育行政、学校・大学、教員、研究者及び産業界を主な対象とし、単発の技術導入や制度論にとどまらず、学習者の特性理解、協働的学びの質的向上、教員の指導判断の高度化、そして倫理的配慮を含む包括的な視点から、今後の教育改革に資する方向性を提示することを目的としており、教育効果の実証を目的とするものではない。

２．個人差の可視化及び生成 AI を活用したグループ学習支援の先行事例

⑴個人差（認知能力・作業記憶・非認知能力）の可視化を通じた教育改善の事例

教育心理学及び学習科学の分野では、学習成果の個人差が、知識量のみならず、作業記憶容量、注意制御、動機づけ、自己効力感といった認知的・非認知的要因に強く依存することが明らかにされてきた。特に作業記憶は、複数の情報を同時に保持・操作する能力であり、数学的推論、読解、問題解決などの高次認知活動において中心的な役割を果たすとされている［7］。

こうした知見を背景に、英国や米国を中心として Intelligent Tutoring System（ITS）の研究と実装が進められてきた。Koedinger らによる Cognitive Tutor をはじめとする ITS の研究では、学習者の解答履歴、誤答パターン、反応時間などをもとに、認知的負荷や理解状態を推定し、提示する課題の難易度や支援の量を動的に調整する手法が実用化されている［8］［10］。これにより、作業記憶容量の小さい学習者に過剰な負荷を与えることなく、段階的な理解を促進できる可能性が示されている。

ITS の具体例として、Carnegie Learning の Cognitive Tutor や ASSISTments が挙げられる。Cognitive Tutor については、学校現場を対象とした大規模な評価研究が行われており、導入初年度には明確な効果が確認されなかった一方、２年目には高校段階で統計的に有意な学習成果の向上が報告されている［11］。また、ASSISTments についても、中学校数学を対象としたランダム化比較試験において、システムを用いた宿題と教員研修を組み合わせた介入による学習成果の向上が報告されている［12］。これらは、学習者の解答履歴や理解状況に応じて学習支援を調整する技術が、教育実践の中で検証されてきた事例として位置づけることができる。

非認知能力の可視化に関しては、OECD が提唱する「Social and Emotional Skills（SES）」の枠組みに基づき、協調性、忍耐力、主体性などを質問紙調査や行動ログから推定し、学習支援に活用する試みが進められている［9］。また、協働学習における学習者の相互作用や調整過程を可視化し、学習者自身の振り返りや学習支援に活用する研究も進められている［13］［14］。

これらの事例に共通するのは、個人差を「能力差」として序列化するのではなく、「学び方の違い」として可視化し、学習改善の手がかりとして用いている点である。

⑵生成 AI を活用したグループ学習支援の研究動向

Computer-Supported Collaborative Learning（CSCL：コンピュータ支援協働学習）の研究では、生成 AI の普及以前から、議論ログを計算機的に分析し、協働学習の過程を把握・支援する研究が行われてきた［3］［15］。Rosé らは、自然言語処理を利用して協働学習過程を分析する方法を検討しており、これは現在の生成 AI を用いた対話分析につながる研究的基盤の一つと位置づけることができる［15］。

近年は、大規模言語モデルを協働学習に組み込み、学生との対話、フィードバック、グループ討論支援等に利用する探索的研究が進められている［16］［17］。例えば、LLM をグループ討論に参加する学習エージェントとして利用し、対話を継続的に把握して学生

の参加を支援しようとする研究が報告されている。一方、その研究では、単純なプロンプトのみでは複数話者の対話を正確に処理することや、教育的に適切な介入を生成することには限界があることも報告されている［17］。

したがって、生成 AI によって発話の偏りが緩和される、あるいは内向的な学習者の参加が向上するといった教育効果が既に一般的に実証されているとみなすことは適切ではない。 現段階では、生成 AI を用いて議論内容を整理し、未検討の論点や異なる視点を提示することによって協働学習を支援できる可能性が示されつつあり、その教育効果については今後の実証研究が必要である。

３．海外事例に基づく、日本が今後開発を進めるべき教育技術の妥当性

⑴AI バイアスの教材化：AI の偏りを可視化し、批判的思考力を育てる必要性

本報告における「AI バイアス」とは、学習データの構成、モデル設計、社会的・文化的背景等に由来して、特定の属性、価値観、立場等が AI の出力に体系的に反映される偏りを指す。これは、質問の表現や入力条件を変更したことによって単に出力が変化する現象そのものとは区別する。ただし、入力条件を意図的に変化させ、その出力差を比較することは、潜在する AI バイアスを検討する一つの方法となり得る。

UNESCO は、生成 AI の教育利用に際して、生成内容の信頼性、バイアス、文化的・言語的多様性等を批判的に検討する必要性を指摘している［4］。

そこで本報告では、生成 AI を「正解を提示する装置」としてのみ利用するのではなく、同一の課題について入力条件や表現を変化させ、その出力の差異を比較し、その差が単なる応答変動なのか、特定の社会的・文化的偏りを反映したものなのかを検討する学習活動を提案する。

このような活動が批判的思考力を高めるという教育効果については、今後の実証的検討が必要である。一方、AI の出力を無批判に受容せず、その根拠、限界、偏りを検討する学習機会を設けることは、人間中心の生成 AI 利用を求める国際的方向性と整合する［4］。

⑵AI ファシリテーションの導入：協働学習の質を高める技術的根拠

協働学習の重要性は国際的に広く認識されているが、実際の教育現場では、特定の学習者に発言が偏ることや、十分に意見を表明できない学習者が生じることなど、参加の偏りが課題となり得る。こうした課題に対して、近年、AI を活用してグループ学習における議論や参加状況を分析し、協働学習を支援する研究が進められている。

AI ファシリテーションとは、本報告では、生成 AI を用いて学習者間の議論や学習過程を整理・可視化し、未検討の論点、異なる観点、参加状況等を提示することによって、人間による対話や協働学習の調整を支援することをいう。生成 AI が議論そのものを主導したり、学習者に代わって判断したりすることを意図するものではない。

Learning Analytics や CSCL（Computer-Supported Collaborative Learning）の研究では、学習過程や相互作用を分析・可視化する研究が蓄積されてきた。一方、生成 AI を用いて議論の偏りや未検討論点を提示する支援については、近年研究が進められている段階にあり、その教育効果が十分に実証されているとはいえない。したがって本報告では、AI ファシリテーションを、既に効果が確立された教育技術としてではなく、協働学習を支援するために今後検証すべき改革の方向性として位置づける。

グループ学習では、学習者間の関係性や集団の状況によって、自らの意見を十分に表明しにくい場合がある。こうした状況に対して、AI を媒介として発話状況や議論の偏りを可視化し、異なる意見や未検討の論点を提示することは、人間によるファシリテーションを補完する手段となる可能性がある。ただし、その有効性については、教育現場における実証的な検証が必要である。

⑶人間力と AI リテラシーの統合育成：国際潮流との整合性

近年の国際的な AI 政策・教育政策では、「AI リテラシー」を単独の技能として捉えるのではなく、倫理、協働、創造性といった人間的能力との関係を重視する方向性が示されている。

EU の AI Act[18]や OECD の AI 原則[19]では、AI の社会実装において「人間の判断の最終責任」と「人間中心設計」が繰り返し強調されている。

教育分野においても、生成 AI を単なる「作業代行ツール」として用いるのではなく、学習者の思考を刺激し、選択肢を広げる提案支援ツールとして活用することが考えられる。こうした活用は、教員が授業設計や評価の在り方を見直す契機ともなり得る。

UNESCO の生成 AI に関するガイダンスでは、人間中心のアプローチを基本とし、生成 AI の利用において人間の主体性を維持することの重要性が示されている［4]。こうした考え方は、AI を単なる操作技能として捉えるのではなく、人間の判断や倫理と関連づけて利用する必要性を示している。

本報告では、こうした国際的な議論を踏まえ、AI リテラシーを AI の操作技能としてのみ捉えるのではなく、人間の判断力、倫理観、他者との協働、自らの学習や判断を振り返る省察と関連づけて育成することを重視する。人間力については、人間力戦略研究会（2003）が「社会を構成し運営するとともに、自立した一人の人間として力強く生きていくための総合的な力」と定義し、知的能力、社会・対人関係力、自己制御力をその構成要素として示している[20]。本報告では、この既存の定義を踏まえつつ、生成 AI 時代の教育という文脈から、特に判断力、倫理観、協働性、自己省察力に着目する。本報告では、これらを生成 AI 時代の教育において重視すべき「人間力」として位置づける。さらに、生成 AI を単なる支援ツールとして用いるにとどまらず、人間の思考や対話を触発する存在として位置づけ、人と AI が相互に影響し合いながら学びを深める学習の在り方を「生成 AI 共創型学習」と呼ぶ。以下では、この考え方を前提として、具体的な改革の方向性を整理する。

４．具体的な改革の方向性

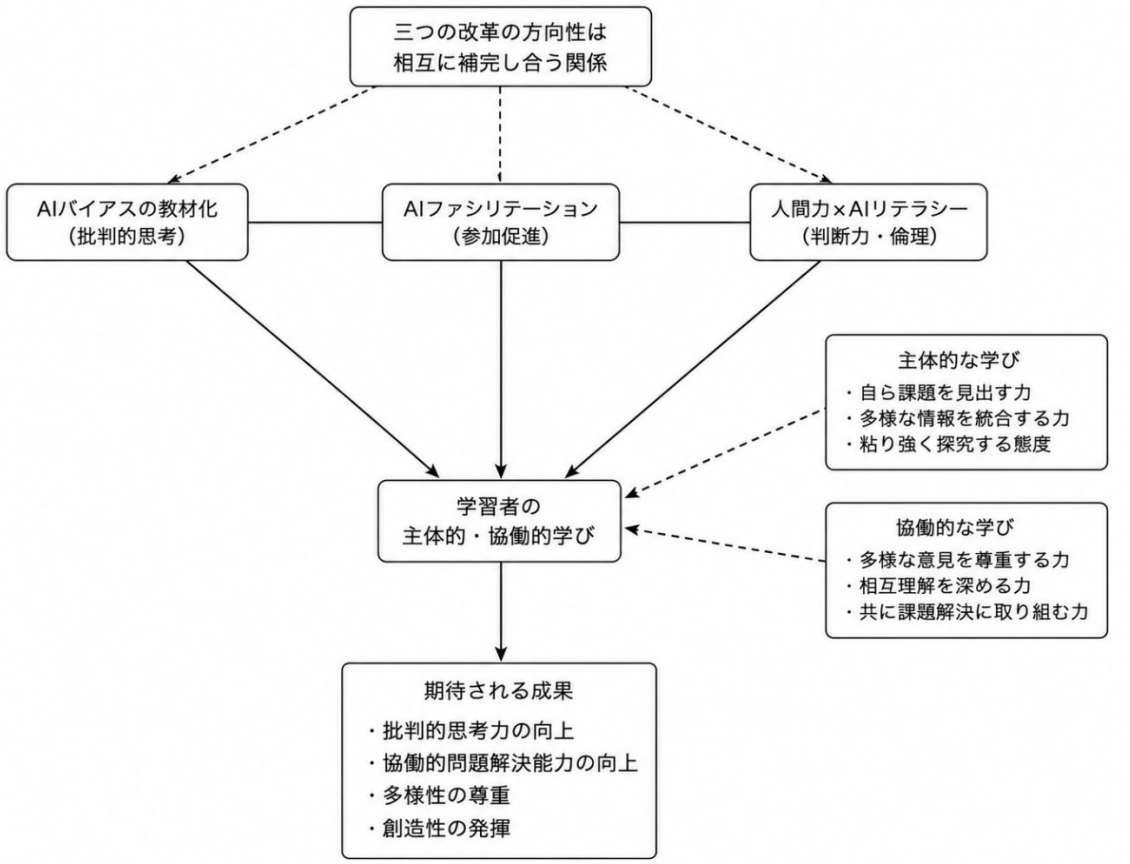


図 ３　三つの改革の方向性と主体的・協働的学びとの関係

（出典）総合工学委員会科学的知見の創出に資する可視化分科会教育改革と可視化小委員会にて作成

図３は、本報告で提示する三つの改革の方向性を示すものである。「AI バイアスの教材化」「AI ファシリテーション」「人間力と AI リテラシーの統合育成」は、それぞれ異なる教育課題に対応するものであるが、本報告では、これらを相互に補完し得る方向性として位置づける。三つを組み合わせることによって教育効果が高まることが実証されているわけではない。むしろ、AI の出力を批判的に検討する能力、他者との対話を支援する環境、AI を利用しながら最終判断を人間が担う能力を相互に関連づけて教育設計することが重要ではないか、というのが本報告の提案である。

(1)AI バイアスの教材化：AI の偏りを可視化し、批判的思考力を育てる

日本の教育において AI バイアスを教材化する改革の方向性は、生成 AI を「正解生成装置」として扱うのではなく、「人間社会の価値観や限界を映し出す対象」として学習の俎上に載せることである。具体的には、同一の問いを異なる条件や表現で生成 AI に入力し、その応答の違いや偏りを比較・分析する学習活動を授業に組み込む。これにより、学習者が、AI の出力が一意ではなく、入力条件や学習データ、モデルの設計等の影響を受け得ることを検討する機会となる。

AIバイアスの教材化は「なぜその答えが出たのか」「他の答えはあり得ないのか」と問い返す姿勢を育てる点に意義がある。教員はAIを評価者として用いるのではなく、誤りや偏りを含む教材資源として位置づけることで、科学的リテラシーやメディアリテラシーと接続した批判的思考力育成につなげることが期待される。

⑵AIファシリテーションの導入：グループ学習における参加促進環境の整備

AIファシリテーションの導入は、グループ学習における参加状況や議論の過程を可視化し、学習者と教員による協働学習の調整を支援することを目指すものである。具体的には、AIを用いて発話量、論点の分布、未言及の視点等を分析・可視化し、議論の状況を学習者や教員にフィードバックする仕組みを整える。AIは結論を提示するのではなく、参加状況や異なる観点、未検討の論点などのメタ情報を提示する役割を担う。こうした情報を学習者自身が参照することにより、議論の状況を振り返り、必要に応じて参加や議論の進め方を調整することが期待される。AIによる支援は教員や学習者によるファシリテーションを代替するものではなく、それを補完する手段として位置づけ、その教育的効果については今後実証的に検証する必要がある。

⑶人間力とAIリテラシーの統合育成：提案支援ツールとしてのAI活用文化の確立

人間力とAIリテラシーの統合育成における改革の方向性は、AIを「使ってよいか否か」という管理対象から、「共に考えるための提案支援ツール」へと再定義する点にある。学生に対しては、AIの出力をそのまま採用するのではなく、複数案の一つとして比較・検討し、自らの判断で取捨選択する学習設計を行う。一方、教員に対しても、授業設計や評価基準の検討にAIを活用し、その過程を学生と共有することが重要である。

このような教育設計により、AI活用を単に禁止・許容の対象として扱うのではなく、AIをどのように利用し、どのように判断したかという思考過程を学習者が明示する学習文化への転換を促すことが期待される。本報告でいう「人間力」をAIと対立する概念としてではなく、AIリテラシーと相互に関連するものとして捉え、AIの提案を批判的に検討し、自ら判断し、その判断に責任を持つことのできる学習者を育成することが重要である。

５．改革の効果を捉えるための評価観点と指標化

以下では、第４章で提案した「AI バイアスの教材化」「AI ファシリテーションの導入」「人間力と AI リテラシーの統合育成」という三つの改革の方向性について、その教育的効果をどのように把握・評価するかに焦点を当てる。

本章では、**学習者間の相互理解、グループ内の発話バランス、学習者特性に応じた指導、生成 AI 共創型学習の普及・定着**という四つの評価観点を提示する。これらは三つの改革の方向性と一対一に対応するものではなく、それぞれの改革が主体的・協働的学びに及ぼす効果を異なる側面から評価するための観点として位置づけるものである。具体的には、

- **AI バイアスの教材化**は、批判的思考や他者理解を促進することから、**学習者間の相互理解**や**生成 AI 共創型学習**の観点と深く関係する。
- **AI ファシリテーション**は、発話の偏在を緩和し協働的学習を支援することから、**グループ内の発話バランス**や**学習者特性に応じた指導**の観点と密接に関係する。
- **人間力と AI リテラシーの統合育成**は、人間による判断や倫理的活用を重視することから、**生成 AI 共創型学習**や**学習者特性に応じた指導**を通じて評価される。

このように、四つの評価観点は三つの改革を相互補完的に評価するための枠組みであり、それぞれの改革が主体的・協働的学びの形成にどのように寄与しているかを多面的に把握することを目的としている。

ここでいう概念操作化（concept operationalization）とは、学習者をテストや数値によって評価・序列化することを意味するものではない。むしろ、日常の授業やグループ活動の中で、どのような対話や関わりが生じているのかを教員と学習者が振り返り、指導や学習改善に生かすための視点を共有することを目的としている。本改革は、「態度」「理解」「参加」「文化」といった抽象度の高い概念を対象としているため、従来のテスト得点中心の評価では効果を十分に捉えることができない。そのため、行動ログ・相互作用・意思決定過程を可視化し、複数指標を組み合わせて評価する設計が不可欠である。以下では、各観点ごとに、測定可能な指標へと落とし込むための方策を示す。

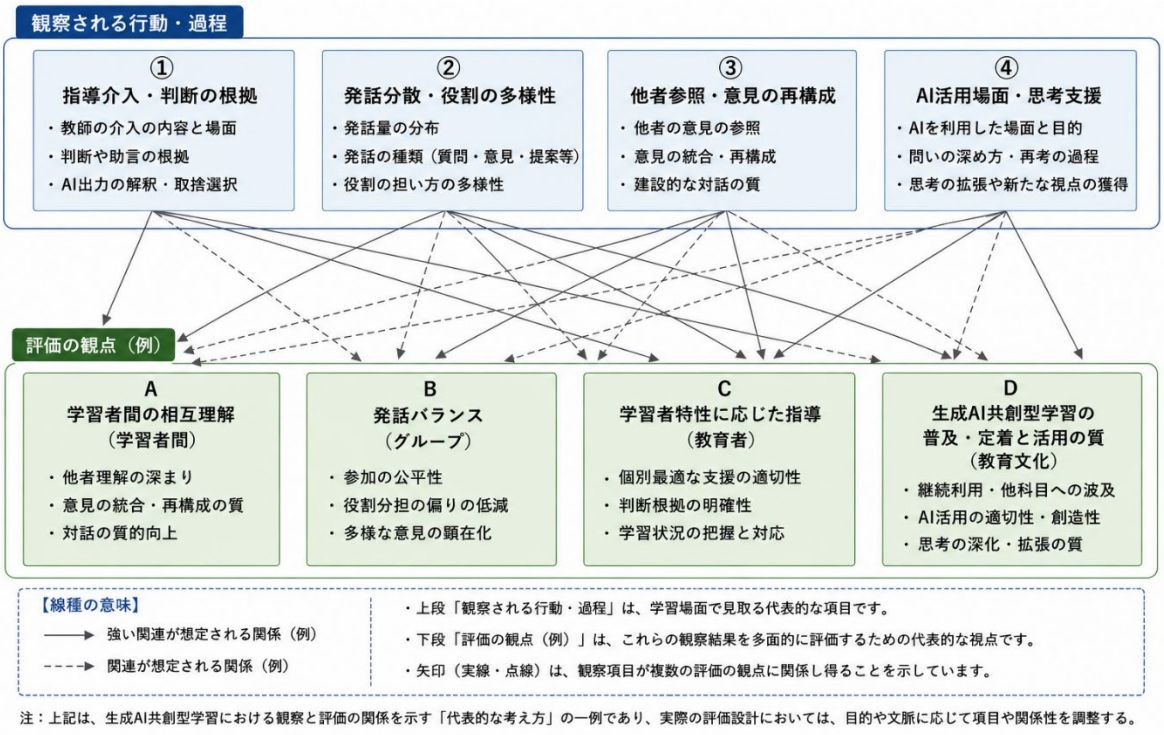


図 4　教育改革の効果を捉えるための観点と対象の対応関係（概念整理）

（出典）総合工学委員会科学的知見の創出に資する可視化分科会教育改革と可視化小委員会にて作成

図４は、第４章で提案した三つの改革の方向性を、どのような評価観点から把握するかを整理した概念図である。四つの評価観点は三つの改革の方向性と一対一に対応するものではなく、主体的・協働的学びを形成する過程を多面的に評価するための枠組みとして位置づけている。具体的には、学習者間の相互理解、グループ内の参加状況、教育者による指導の在り方、生成 AI 共創型学習の定着状況を、それぞれ観察可能な行動や学習過程と対応付けることで、三つの改革の効果を総合的に評価することを意図している。本図は代表的な考え方を示した概念図であり、すべての指標や方法を一律に導入することを目的とするものではない。なお、以下の四つの評価観点は、三つの改革の方向性と一対一に対応するものではなく、複数の改革に横断的に関係するものである。

(1) 学習者間の相互理解の深化を捉える指標

本節では、「AI バイアスの教材化」及び「人間力と AI リテラシーの統合育成」によって期待される批判的思考や他者理解の深化を評価する観点として、学習者間の相互理解を取り上げる。学習者間の相互理解は主観的概念であるが、「他者の考えを把握し、それを踏まえて自らの思考を調整する行為」と定義することで操作化が可能となる。具体的には、グループ学習前後での相互認知の変化に着目する。

測定方法としては、

- 他者の意見要約の正確性
- グループ内で参照された他者意見の回数
- 自己の意見修正・再構成の頻度

などを指標とする。生成 AI を用いて議論ログを分析することで、「誰の発言が、どの程度他者の発言に言及しているか」「異なる立場を踏まえた発言がどれだけ出現しているか」を定量的に把握することが考えられる。また、学習者自身に「他者の考えをどの程度理解できたと感じているか」を問う主観評価を併用することで、行動指標との対応関係を検証する。これにより、相互理解を単なる感想ではなく、相互参照行動の変化として測定可能な概念へと変換できる。

⑵ グループ内の発話バランスを捉える指標

本節では、「AI ファシリテーション」の導入による参加促進や協働的学びの質の向上を評価する観点として、グループ内の発話バランスを取り上げる。発話バランスは、比較的操作化しやすい観点であるが、単なる発話回数では不十分である。重要なのは、「誰が」「どのタイミングで」「どの役割の発話をしているか」である。

具体的指標としては、

- 発話量の分散（Gini 係数等）
- 各学習者の発話占有率の推移
- 問い・提案・反論など発話機能の多様性

が考えられる。AI ファシリテーションを導入した場合、これらの指標が時間経過とともにどのように変化するかを追跡することで、介入効果を評価できる。特に重要なのは、「静かな学習者の発話が増えたか」だけでなく、「その発話が議論の進展に寄与しているか」を分析する点である。生成 AI を用いた意味解析によって、発話内容の関連性や新規性を補助的に分析することも考えられる。ただし、「関連性」「新規性」の判断には評価基準の設定と人間による妥当性確認が不可欠であり、生成 AI による判定をそのまま学習者評価に利用することは適切ではない。今後、人間による評価との一致度等を検証する必要がある。

⑶ 学習者特性に応じた指導を捉える指標

本節では、「AI ファシリテーション」及び「人間力と AI リテラシーの統合育成」を支える教育実践として、学習者特性に応じた指導を評価する観点を整理する。教育者による特性対応指導は、「学習者の違いを認識し、それに応じて指導を調整しているか」という観点で定義できる。これを操作化するためには、教員の指導行動と判断根拠を可視化する必要がある。具体的には、

- 教員が参照した学習者データの種類（発話ログ、理解度、参加度等）
- 指導介入のタイミングと対象
- 一斉指導と個別支援の比率の変化

を指標とする。教員がこれまで蓄積してきた専門的経験に基づく判断は教育実践に不可欠である。学習ログや可視化情報はこれを置き換えるものではなく、教員が自らの判断を振り返り、必要に応じて別の観点から検討するための補助情報として位置づける。

⑷ 生成 AI 共創型学習の普及・定着と活用の質を捉える指標

本節では、三つの改革の方向性が教育現場に定着しているかを総合的に評価する観点として、生成 AI 共創型学習の普及・定着と活用の質を取り上げる。生成 AI 共創型学習の普及を評価する際には、生成 AI を活用した教育改革の効果を、どのように捉え、どのように評価可能な形に整理するかを示す必要がある。ここで示す指標や方法は、すべてを一律に導入することを意図したものではなく、教育現場や目的に応じて選択的に活用されることを想定している。重要なのは、学習者の変化や学びの質を、単一の数値ではなく複数の視点から捉えようとする考え方である。

生成 AI 共創型学習の普及は、単なる導入数ではなく、「どのように使われているか」に着目する必要がある。概念的には、「AI を思考の代替ではなく、思考の支援として活用する学習文化の定着」と定義できる。本報告でいう「生成 AI 共創型学習」とは、生成 AI を思考の代替ではなく、問いの生成や視点の拡張を促す協働的パートナーとして位置づけ、人間と AI が相互に影響しながら学びを深める学習形態を指す。

測定指標としては、

- AI 利用場面の多様性（発想、比較、振り返り等）
- AI 出力に対する修正・批判・再構成の頻度
- 教員・学生双方の AI 活用ルールの明確化度

が挙げられる。授業設計資料や学生成果物を分析することで、AI がどの段階で使われているかを把握できる。

さらに、複数年度にわたる継続利用の有無や、他科目への波及状況を追跡することで、一過性の試行に終わらず、教育文化として定着しているかを評価する。

６．倫理的留意点と今後の課題

―「AI を使う倫理」から「AI とともに考える倫理」への転換―

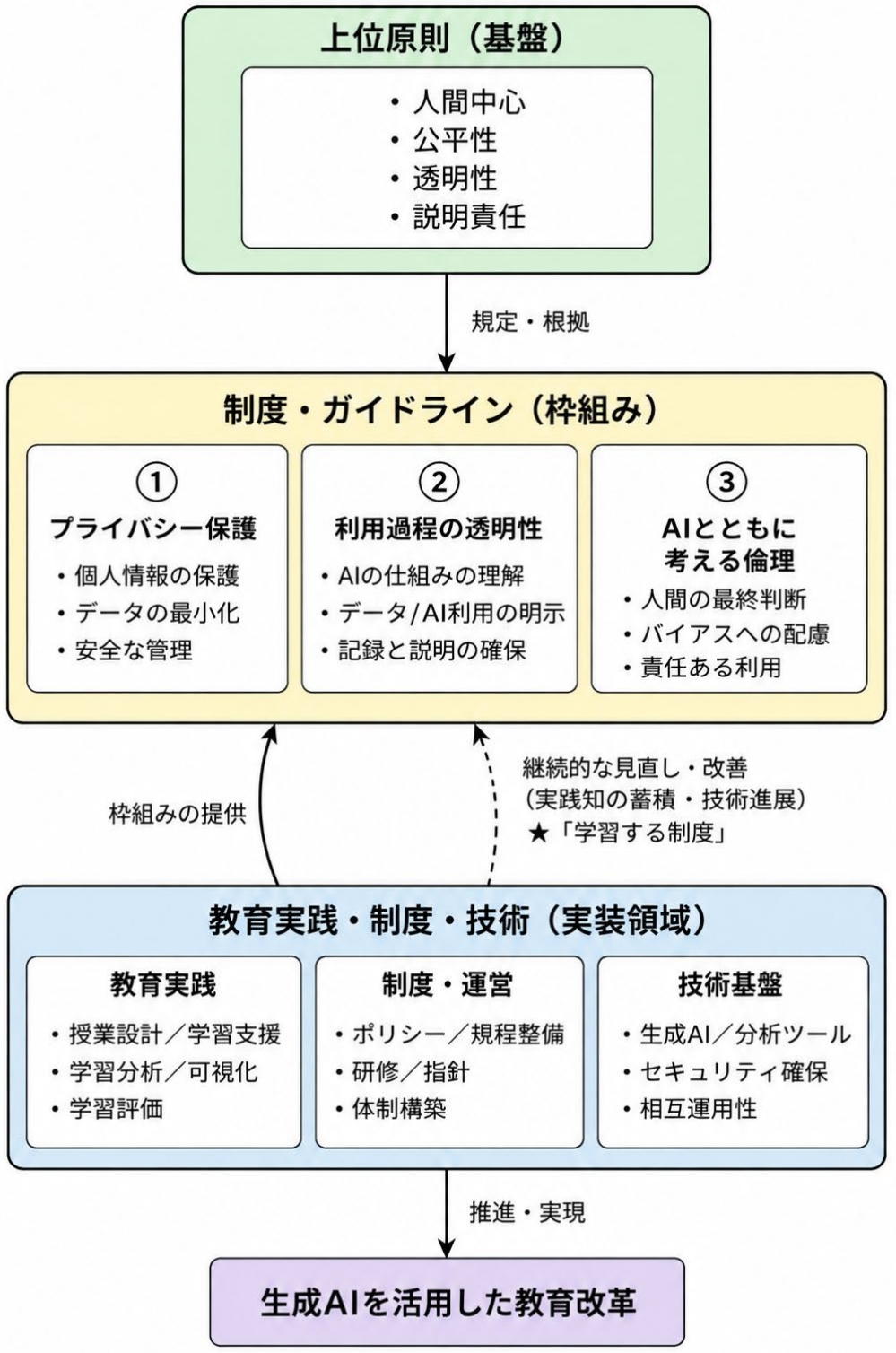


図 ５　生成 AI を活用した教育改革における倫理的留意点の位置づけ

（出典）総合工学委員会科学的知見の創出に資する可視化分科会教育改革と可視化小委員会にて作成

生成 AI と可視化を教育に利用する際には、少なくとも三つの倫理的論点を区別して検討

する必要がある。

第一は、プライバシー及び個人情報の保護である。発話ログ、操作ログ、学習履歴等は学習者の行動や思考過程に関する情報を含むため、取得目的、保存期間、利用範囲、第三者提供等を明確にし、必要最小限のデータ利用とする必要がある［4］。

第二は、AI利用過程の透明性と説明責任である。ここでいう透明性は、生成AIの内部計算過程を完全に説明できることを意味しない。教育者・学習者が、どのデータを、どの目的でAIに入力し、どのような出力を得て、それを人間がどのように判断に利用したかを可能な範囲で確認できる状態を意味する。生成モデル内部の説明可能性そのものについては、引き続き技術的・研究的課題が残る。

第三は、「AI とともに考える倫理」である。生成 AI の提案を採用するか否かについて、最終的な判断と責任を人間が担うことを前提とし、AI を判断主体ではなく、人間の思考や対話を支援する補助的存在として位置づける必要がある。

これら三つの論点を、人間中心、公平性、透明性、説明責任といった横断的原則の下に位置づける［18］［19］。図５は、この関係を示したものである。

7．結語

本報告は、生成 AI と可視化の急速な進展を背景として、教育における学びの質や人間の役割を改めて問い直し、人間中心的な教育改革の方向性を学術的観点から整理したものである。生成 AI は、適切に位置づけられれば、学習者の特性理解や協働的学びを支援し、教育者の判断を補完する有効な基盤技術となり得る一方で、その活用には倫理的配慮と慎重な設計が不可欠である。本報告は、特定の制度改正や施策の実施を直接求める提言を行うものではなく、初等中等教育から高等教育に至る教育現場及びそれを支える政策・社会的文脈を横断的に視野に入れ、今後の教育実践や政策形成において共有されるべき基本的な視座と論点を提示することを目的とする。

一方で、本報告で示した方向性を実現するためには、関係主体による継続的な取組が不可欠である。教育行政には生成 AI 利用ガイドラインや学習ログ活用に関する制度・倫理基盤の整備が、学校・大学には教員研修の充実や AI 活用授業の実践と評価が求められる。また、研究者には AI ファシリテーションの導入技術や教育効果評価手法、可視化技術の研究開発が期待されるとともに、産業界には教育現場の課題に即した教育用 AI システムの開発や学校との共同研究の推進が期待される。

生成 AI と可視化を、人間の判断や責任を代替する技術としてではなく、人間の多様性を尊重し、相互理解と協働を促進するための知的基盤として活用していくために、本報告が今後の議論と試行の出発点となることを期待する。また、本報告で示した特性可視化は、学習者を固定的に分類・序列化することを目的とするものではなく、学習者の多様性を理解し、学びを支援するための補助的手段として活用されるべきである。

＜参考文献＞

[1] OECD (2017). PISA 2015 Results (Volume V): Collaborative Problem Solving. PISA, OECD Publishing, Paris. https://doi.org/10.1787/9789264285521-en

[2] OECD (2023). Education at a Glance 2023: OECD Indicators. OECD Publishing, Paris. https://doi.org/10.1787/e13bef63-en

[3] Dillenbourg, P., Järvelä, S., & Fischer, F. (2009). “The Evolution of Research on Computer-Supported Collaborative Learning.” In N. Balacheff, S. Ludvigsen, T. de Jong, A. Lazonder, & S. Barnes (Eds.), Technology-Enhanced Learning: Principles and Products, pp. 3-19. Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9827-7_1

[4] Miao, F., & Holmes, W. (2023). Guidance for Generative AI in Education and Research. UNESCO, Paris.

[5] 日本学術会議総合工学委員会・機械工学委員会合同計算科学シミュレーションと工学設計分科会（2017）提言「科学的知見の創出に資する可視化に向けて」、2017 年 8 月 8 日。

[6] 日本学術会議総合工学委員会総合工学企画分科会（2023）見解「大学教育の分野別質保証のための教育課程編成上の参照基準　総合工学分野～社会課題に立ち向かう総合工学分野の人材育成～」、2023 年 9 月 27 日。

[7] Baddeley, A. (1986). Working Memory. Oxford University Press.

[8] Koedinger, K. R., Anderson, J. R., Hadley, W. H., & Mark, M. A. (1997). “Intelligent Tutoring Goes to School in the Big City.” International Journal of Artificial Intelligence in Education, 8, 30-43.

[9] OECD (2021). Beyond Academic Learning: First Results from the Survey of Social and Emotional Skills. OECD Publishing, Paris. https://doi.org/10.1787/92a11084-en

[10] Woolf, B. P. (2009). Building Intelligent Interactive Tutors: Student-centered Strategies for Revolutionizing E-learning. Morgan Kaufmann. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-373594-2.X0001-9

[11] Pane, J. F., Griffin, B. A., McCaffrey, D. F., & Karam, R. (2014). “Effectiveness of Cognitive Tutor Algebra I at Scale.” Educational Evaluation and Policy Analysis, 36(2), 127-144. https://doi.org/10.3102/0162373713507480

[12] Roschelle, J., Feng, M., Murphy, R. F., & Mason, C. A. (2016). “Online Mathematics Homework Increases Student Achievement.” AERA Open, 2(4), 1-12. https://doi.org/10.1177/2332858416673968

[13] Chen, W., & Tan, J. S. (2019). ″Learning Analytics for Collaborative Learning in Singapore Schools.″ Journal of Educational Technology & Society, 22(3), 45-58.

[14] Järvenoja, H., Näykki, P., & Järvelä, S. (2019). "How students prepare for collaborative learning: Visualizing dynamic regulatory processes." Instructional Science, 47(4), 459-485.

[15] Rosé, C. P., Wang, Y.-C., Cui, Y., Arguello, J., Stegmann, K., Weinberger, A., & Fischer, F. (2008). "Analyzing collaborative learning processes automatically: Exploiting the advances of computational linguistics in computer-supported collaborative learning." International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning, 3(3), 237-271. https://doi.org/10.1007/s11412-007-9034-0

[16] Anderson, E., Lin, G. C., Farid, A., Fenech, M., Hanks, B., Klopfer, E., Doherty, E., Hirshfield, L., Ko, M.-L. M., Foltz, P., Nguyen, H., Nguyen, V., Ludovise, S., Santagata, R., Cao, L., Scardamalia, M., Soliman, D., Resendes, M., Khanlari, A., Costa, S., Chan, C. K. K., & Nguyen, A. (2025). "Exploring GenAI Technologies within Collaborative Learning." In J. Oshima, B. Chen, F. Vogel, & S. Järvelä (Eds.), Proceedings of the 18th International Conference on Computer-Supported Collaborative Learning - CSCL 2025, pp. 499-506. International Society of the Learning Sciences. https://doi.org/10.22318/cscl2025.991659

[17] An, Y., Li, S., Yang, Y., Ma, S., Cheng, G., & Xu, X. (2024). "Developing an LLM-Empowered Agent to Enhance Student Collaborative Learning Through Group Discussion." Proceedings of ICCE 2024

[18] European Parliament & Council of the European Union (2024). Regulation (EU) 2024/1689 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act). Official Journal of the European Union.

[19] OECD (2019). Recommendation of the Council on Artificial Intelligence, OECD/LEGAL/0449.

[20] 人間力戦略研究会 (2003)『人間力戦略研究会報告書』、2003年４月

＜参考資料１＞審議経過

2024 年

３月 11 日　科学的知見の創出に資する可視化分科会（第１回）
役員の選出、今後の進め方について

11 月８日　科学的知見の創出に資する可視化分科会（第２回）
教育改革と可視化小委員会の設置について

2025 年

１月 20 日　教育改革と可視化小委員会（第１回）
今期中に意思の表出を発出することを決定

2026 年

１月 23 日　科学的知見の創出に資する可視化分科会（第６回）
意思の表出の申出書案を承認

５月 19 日　科学的知見の創出に資する可視化分科会（第７回）
報告書案を承認

＜参考資料２＞シンポジウム開催

2025 年４月 12 日　公開シンポジウム「教育改革と可視化―生成 AI の普及と向き合う AI・データサイエンス教育」開催
（https://www.scj.go.jp/ja/event/2025/381-s-0412.html）

2025 年７月 14 日　公開シンポジウム「生成 AI 時代の人間力育成」開催
（https://www.scj.go.jp/ja/event/2025/385-s-0714.html）

2025 年 10 月８日　公開シンポジウム「教育改革と可視化―生成 AI の光と闇」開催
（https://www.scj.go.jp/ja/event/2025/389-s-1008.html）

2026 年３月 19 日　公開シンポジウム「教育改革と可視化－生成 AI は大学をどう変えるのか－」開催
（https://www.scj.go.jp/ja/event/2026/396-s-0319.html）

報　　告

高校生の生物学習をめぐる高大接続上の課題

－興味・関心と理科科目選択の乖離の解消に向けて－

令和８年（２０２６年）９月２９日

日　本　学　術　会　議

基礎生物学委員会・統合生物学委員会合同

遺伝学分科会

この報告は、日本学術会議基礎生物学委員会・統合生物学委員会合同遺伝学分科会の審議結果を取りまとめ公表するものである。

日本学術会議基礎生物学委員会・統合生物学委員会合同遺伝学分科会

委員長	颯田　葉子	（連携委員）	総合研究大学院大学統合進化科学研究センター教授
副委員長	山本　　卓	（連携委員）	広島大学大学院統合生命科学研究科生命科学専攻ゲノム編集イノベーションセンター教授
幹　事	入江　直樹	（連携委員）	総合研究大学院大学統合進化科学研究センター教授・センター長
幹　事	平田　たつみ	（連携会員）	大学共同利用機関法人情報・システム研究機構国立遺伝学研究所教授
	岩崎　博史	（第二部会員）	東京科学大学総合研究院細胞制御工学研究センター教授
	小林　武彦	（第二部会員）	東京大学定量生命科学研究所ゲノム再生研究分野教授
	荒木　喜美	（連携会員）	熊本大学生命資源研究・支援センター教授
	飯野　雄一	（連携会員）	東京大学大学院理学系研究科生物科学専攻名誉教授
	石川　麻乃	（連携会員）	東京大学大学院新領域創成科学研究科先端生命科学専攻教授
	沖　昌也	（連携会員）	福井大学学術研究院工学系部門生物応用化学講座教授
	片山　勉	（連携会員）	九州大学大学院薬学研究院臨床薬学部門教授
	篠原　美紀	（連携会員）	近畿大学農学部生物機能科学科教授
	德富　智明	（連携会員）	川崎医科大学小児科学特任教授

本報告の作成に当たり、以下の方に御協力いただいた。

本郷　裕一　東京科学大学生命理工学院教授

本報告の作成に当たり、以下の職員が事務を担当した。

郷家　康徳　参事官（審議第一担当）

加瀬　博一　参事官（審議第一担当）付参事官補佐

増田　能伸　参事官（審議第一担当）付審議専門官

要　　旨

1 作成の背景

科学技術立国を謳う我が国にとって、高等学校における理科教育が重要であることはいうまでもない。高等学校は幅広い知識や考え方を身に付ける絶好の機会でもあるが、高等学校において、特に理系を志望する人材が、医学、薬学、環境学、農学の基礎となる生物学を学ぶ機会が少ない現状は、極めて深刻な課題である。また高校生の大学入学者選抜（以下、大学入試）にかける時間と労力は大変大きいが、入学者選抜（以下、入試）のためにこれら貴重な学習機会が失われている状態は一刻も早く解消されるべきである。

こうした問題意識の下、理科の科目選択の現状を調査・分析し、その対策を練ることは、将来の我が国を背負う若者の育成にとって重要である。

本報告で扱う課題は、生物学への関心の低下一般ではなく、主として高等学校の発展科目「生物」及び大学入試における生物選択の少なさと、生徒の興味・関心との間に生じている乖離である。「生物基礎」の履修状況や、生物学リテラシー全般とは区別して論じる。さらに本報告の目的はすべての生徒の基礎的な遺伝・ゲノムリテラシーを育むとともに、関心を有する生徒が受験上の不利益を過度に懸念することなく、生物をより深く学べる環境の整備にある。

2 現状及び問題点

大学入試で理系を志望する受験生の生物の受験者数が低い水準にとどまっている。大学入試センター共通テストの理科の選択者の中でも、令和８年度試験の受験者数で見ると、化学が約 18 万人、物理が約 14 万人なのに対して、生物は約５万６千人であり、化学の約３割、物理の約４割にとどまっている。

特に理系を志望する生徒で「生物離れ」が進んでいる原因は入学者選抜制度と高等学校での進路指導の方針が影響を与えている可能性が示唆される。また「生物離れ」の一因として「生物は暗記科目である」という認識にもよるところが大きい。

3 報告の内容

(1) 大学入試制度に関しての報告

大学入試では特に理科２科目の選択において「物理・化学」の組合せを選択する受験生が多い。アンケートで「物理を履修した」と答えた受験生の多くは、進路指導の際に先生に相談したところ、「生物より物理の方が、進路の選択肢が広がるので物理を選択する方が良い」というアドバイスをもらい、そのアドバイスに従ったという。しかし、本分科会が医学部等を中心に入試科目を調査した範囲では、生物を選択できない大学・学部は一部に認められたものの、「生物」を選択することによって受験可能な大学の範囲が一律に大きく狭まるとは確認されなかった。「物理・化学」選択の方が進路の選択肢が広いという一般の認識が、実際の入試制度をどの程度反映してい

るかについては、今後、より幅広い志望分野や大学・入試方式について検討する必要がある。

(2) 生物をどう教えるかの観点からの報告

生物離れの一因として挙げられる「生物は暗記科目である」という認識については、昨今の教科書には、最新の知見が多く取り上げられるようになっており、このことが覚えなければならない専門用語が増えることに直結する。そこで、基礎生物学委員会・統合生物学委員会合同生物科学分科会が生物学の基本的な単語（最重要語と重要語）を「高等学校の生物教育における重要用語の選定について(2025 年版)」[4]でおよそ 500 語に絞りリストとして公開した。このリスト公開の狙いは、生物をどう教えるかの観点から「生物」を暗記中心の科目とはせず、本質的な理解を重視する学びへと導くために学習内容の重点を明確にすることにある。そして、「生物」が探究の楽しさにあふれた魅力的な学問であるというメッセージを、高校生をはじめとする学習者を含め、広く社会に向けて発信している。

(3) 報告の内容の要約

本報告では、大学入試問題及び入学者選抜制度そのものについては、過去の良問、教科書、探究学習にしっかり取り組んでいれば高得点を得られるような問題を出題すべきであること、さらに、選択科目間での受験生の不安を払拭するため、得点調整を積極的に導入するとともにその事実を公表することを求める。また、進路指導における「物理・化学」偏重を是正するため、高等学校の教員間において最新かつ正確な入試科目情報を共有・活用する取組の推進を提案する。高等学校における生物教育においては、「生物」を暗記中心の科目とせず、本質的な理解を重視する学びへと導くという重要用語リストの趣旨を共有し、「生物」が探究の楽しさにあふれた魅力的な学問であることを学習者に伝える取組が進められることを期待する。

目　　次

１　はじめに 1
２　問題点の指摘 2
⑴ 大学入試制度と関連して 2
⑵ 高校生物の教科書と関連して 4
３　解決策の模索 5
⑴ 大学入試制度の変更すべき点 5
⑵ 大学初年次教育との接続から見た高校生物の内容 6
４　報告 …… 9
⑴ 大学入試問題、制度について 9
⑵ 進路指導について 9
⑶ 高校での生物の教え方について 9
＜参考文献＞ 10
＜参考資料＞ 審議経過 11
＜付録１＞ 熊本大学薬学部、６年制学科と４年制学科の１年生（2025 年度入学）を対象にした「生物選択と物理選択の選択理由を問うアンケート調査結果」……12
＜付録２＞ 福井大学工学部での 2025 年度新入生アンケート調査の結果まとめ …… 14
＜付録３＞ 大学入試における理科選択科目についての調査結果 ……16

１ はじめに

科学技術立国を謳う我が国にとって、高等学校における理科教育が重要であることはいうまでもない。高等学校は幅広い知識や考え方を身に付ける絶好の機会でもあるが、高等学校において、特に理系を志望する人材が、医学、薬学、環境学、農学の基礎となる生物学を学ぶ機会が少ない現状は、極めて深刻な課題である。また高校生の大学入学者選抜（以下、大学入試）にかける時間と労力は大変大きいが、大学入試のためにこれら貴重な学習機会を失っている状態は一刻も早く解消されるべきである。

こうした問題意識の下、理科の科目選択の現状を調査・分析し、その対策を練ることは、将来の我が国を背負う若者の育成にとって重要である。

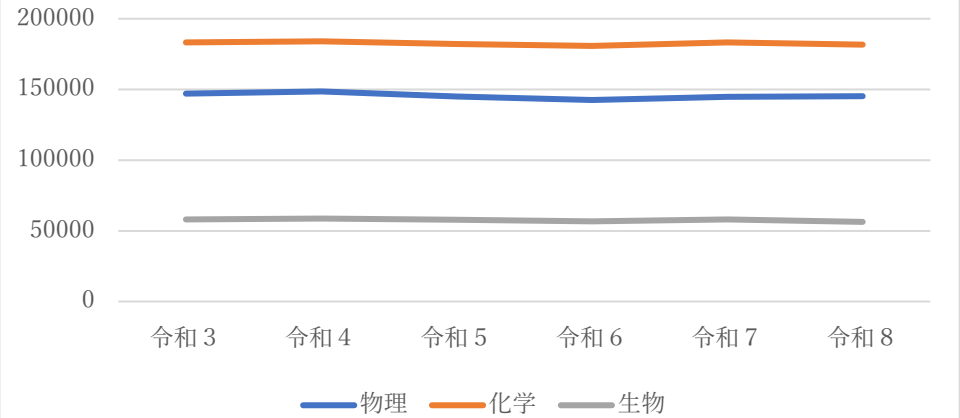
本報告で扱う課題は、生物学への関心の低下一般ではなく、主として高等学校の発展科目「生物」及び大学入試における生物選択の少なさと、生徒の興味・関心との間に生じている乖離である。「生物基礎」の履修状況や、生物学リテラシー全般とは区別して論じる。さらに本報告の目的はすべての生徒の基礎的な遺伝・ゲノムリテラシーを育むとともに、関心を有する生徒が受験上の不利益を過度に懸念することなく、生物をより深く学べる環境の整備にある。

2　問題点の指摘

(1) 大学入学者選抜制度と関連して

大学入試で生物の受験者数が物理や化学と比較して少ない状況が続いている。理科の選択者の中でも、令和８年度の受験者数で見ると、化学が約 18 万人、物理が約 14 万人なのに対して、生物は約５万６千人であり、化学の約３割、物理の約４割にとどまっている。（図１）。

図１　理科３科目の大学入試センター共通テストの受験者数の推移



（出典）大学入試センター共通テスト受験者数の推移（https://www.dnc.ac.jp/kyotsu/suii/R3_.html）及び令和８年２月５日プレス発表資料より委員会で作成：令和3年度から令和8年度までは、大学入学共通テストの結果

しかし新入生の入試時の理科の科目選択に関する意見を熊本大学薬学部の新入生を対象にしたアンケート調査(2025 年)の結果では（付録１[脚注１]）、入試の際に「生物」を選択した学生 35 名の中に「生物が好き」という学生は 29 名（83%）とかなりの頻度で存在している。物理を選択した学生 51 名に理由を問うと、過半数を超える 32 名（63%）が「入試に生物がない大学も多いから選択肢を多くするために物理にした」と回答した。さらに、51 名の物理を選択した学生の中で「物理が好き」な学生は 21 名（41%）にとどまり、生物選択者と比べて消極的な選択が目立つ。

同様の結果は 2025 年度に福井大学工学部で 118 名の新入生を対象とした「選択した科目とその理由」に関するアンケート調査でも得られている。付録２[脚注 2]にあるように、118 名の回答者中、物理・化学を選択した者は 104 名（88%）であり、その主な理由は進路・受験上の有利性（「物理・化学」で受験できる大学が多い）で、興味や好奇心といったことを理由に挙げた学生はごく少数であった。一方「生物・化学」を選択した者は 14 名と少数であったが、その理由のほとんどが生物への興味や志望であった。中でも物理・化学を選択した学生の中に数名、「本当は生物が好きで、生物を

選択したかったが、高等学校の先生に『進路先がまだ決まっていないのであれば、進路先の選択肢が広い物理を選んだ方が良い』と勧められて『物理・化学』を選択した」という生徒がいた。この結果は、入学者選抜制度や進路指導のあり方が、高校生の理科科目選択に大きな影響を与えている可能性を示唆している。本分科会は、高校生が受験上の不利なく「自分の興味のあることをとことん学べる環境」をいかに構築すべきか、その具体的な対策を議論した。

※［脚注１］ 熊本大学の承諾を得て掲載
［脚注２］ 福井大学の承諾を得て掲載

(2) 高校生物の教科書と関連して

高校生の「生物離れ」の一因として、「生物は暗記科目である」という認識が生物選択に影響していることが示唆される。先のアンケート調査の結果でも、熊本大学で「物理」を選択した学生に「なぜ生物を選ばなかったか」の問いに対して、２番目に多い回答は「生物は暗記科目で、暗記が嫌いだから」であった。同様の結果は福井大学のアンケート調査からも得られている（付録１及び２）。

生物の発展は21世紀に入って目覚ましいものがあるのは確かであり、こうした知識の最前線に生徒たちを触れさせることは新たな知見に接する機会を提供するという点で意義があると思う一方で、教科書に掲載することにより、「生物」の知識で暗記すべき項目が過剰になっているのではないかという懸念がある。新たな知識を教えるだけで、本来の「生物学」の面白さを伝えることにつながるのかは検討の余地がある。このような理由から、「生物で何を教えるべきか」の基準を議論する必要があると思われる。

この点に関しては、日本学術会議基礎生物学委員会・統合生物学委員会合同生物科学分科会が中心となり、高校生物学で教えるべき重要単語およそ500語を選んでいる。これまで教科書の内容や現状に則して、2017年[2]、2019年[3]そして2025年[4]に改訂を行っている。最新の2025年の改訂[4]により最重要語 201 語、重要語 288 語、合計 489 語 から成る2025年版重要用語リストが発表になった。本リストのねらいは、「生物」を暗記中心の科目とせず、本質的な理解を重視する学びへと導くために学習内容の重要な点を明確にし、「生物」が探究の楽しさにあふれた魅力的な学問であるというメッセージを、高校生をはじめとする学習者を含め、広く社会に向けて発信することである。つまり、この重要用語のリストを通じて、「これを覚えればよい」というお墨付きを与えるのではなく、むしろ「重要用語は生物学がもつ概念理解と科学的推論を支える共通言語として位置付ける」べきである。つまり、重要用語にまつわるデータや事例を基に、遺伝、変異、進化、恒常性等を相互に関連付け、「生物」における「統合的な理解」を達成できるような学習を重要用語習得の到達目標にすべきであり「この重要用語の背景にある生物学の面白さ、なぜこの言葉が重要用語になっているのか」、を一緒に知ってもらえればという大学側の希望も含まれているはずである。この重要語には、ただ単に暗記するだけではない意味が含まれているのだ。

３　解決策の模索

(1) 大学入学者選抜制度の変更すべき点

生物の受験者が減っている理由は、アンケート調査の結果（付録１及び付録２）から、「物理・化学」を選択した方が受験上有利であると考えている受験生が多いことがうかがえる。つまり大学入試の各大学の個別試験での選択肢が「物理・化学」に偏っていることが、生物受験者の減少を招いているとの指摘がある。そこでこの認識が実際の入学者選抜制度を反映しているのかを検証するため、医学部等の入試科目を調査した（付録３）。「物理・化学」に入試選択科目が偏っているかを、医学部をターゲットとして調べてみると、国公立の６校（名古屋市立大学・群馬大学・金沢大学・愛媛大学・九州大学・佐賀大学）を除いては、私立大学も含めて、生物・物理・化学の中から２科目選択であった(付録３)（北海道大医学部は物理が必須で、生物・化学から１科目を選択）。さらに東京都の私立大学（一部）のうち特に、理工学系の工学系と、医歯薬系の薬学で生物選択ができない例が散見されるが、本分科会が医学部等を中心に入試科目を調査した範囲では、生物を選択できない大学・学部は一部に認められたものの、「生物」を選択することによって受験可能な大学の範囲が一律に大きく狭まるとは確認されなかった。「物理・化学」選択の方が進路の選択肢が広いという一般の認識が、実際の入試制度をどの程度反映しているかについては、今後、より幅広い志望分野や大学・入試方式について検討する必要がある。

また、九州大学医学部では、令和 10 年度（2028 年度）の前期日程の入試より、理科の試験科目が「物理・化学」だけでなく「物理・化学・生物」からの２科目選択となることが予告された。他大学で「物理・化学」を必須としている医学系・薬学系においても、生物学の理解を重視して、アドミッションポリシーに即した理科科目指定のあり方を検討し、生物選択を導入することを提案する。さらに、工学系でも今は生物の持つ機能を活用して有用な物質生産や技術開発を目指す工学分野としての生物工学が活発になっている。それらの分野でも「生物」の知識は必須なものである。

しかし、学生の間では特に「物理・化学」と「生物・化学」を選択した場合の得点差を気にしている様子が見て取れる（アンケート後学生に意見を聞いたところ、特に「物理・化学」と「生物・化学」を選択した場合の得点差を気にする声もあった。）特に生物は高得点を取りづらいため、大学入学共通テストで実施されているような得点調整への配慮が必要かもしれない。また、既に得点調整を行っている大学においては、大学入学共通テストのようにその事実を公にして、受験生に選択科目間での有利不利の不安を払拭すべきである。

また入試問題は、単に知識の有無を問うものではなく、どのような能力を測定するのかを明確に定め、その能力が適切に評価されるよう、設問構成、資料の選択、解答形式などを精緻に設計しなければならない。さらに、不公平を生じさせる要素や曖昧な表現を排除し、受験生の解答から妥当な評価が得られるかを多角的に検討する必要がある。このように、良質な大学入試問題の作成には、一般に想像されている以上の

労力と高度な専門性が要求される。このような状況を反映して、平成 20 年度入試から「入試過去問題活用宣言」が本格的に導入され、令和８年５月には国立 48 大学、公立 36 大学、私立 112 大学が参加している。「入試過去問題活用宣言」とは、参加している大学同士が、過去に蓄積された良問をお互いの大学コミュニティの共有財産として認め合い、自校の入試問題として利用できる仕組みである[5]。

その一方で、現行の入試の運用においては、「過去問と類似している問題は避けるべきである」という非公式ながら強い圧力が存在し、その結果、毎年“新作”の問題を作成することが事実上求められている[5]。このような状況は、元々負担の大きい作問作業を、更に困難なものにしている。実際に過去問との類似を過度に避けようとする風潮が大学入試問題作成の負担増加や問題の質の低下につながる可能性が指摘されている[5]。改善に向けた取り組みは進められているものの、良質な問題を継続的に作成するための負担は、現在においても大学入試が抱える課題の一つとなっている[5,7,8]。

特に生物と歴史では、この問題が顕著である。重要な概念や基本的な史実は限られており、本質的な問いは本来、普遍的な性格を持つはずである。しかし、新作であることを過度に求めると、問題を成立させるために、例外的知識や周辺的事実、枝葉末節の解釈に依存した問題が作問されやすくなる。その結果、本質的な能力を測ることができないばかりか、受験勉強の方向性を歪め、入試の質そのものを低下させることにもつながる。

そもそも入試の本来の目的は、新奇な問題への対応力を測ることではなく、大学教育に必要な基礎的理解や思考力、判断力を適切に評価することにある。この観点からすれば、過去問と構造的に類似した問題であっても、測るべき能力が同一であり、かつ暗記によって正解できないように設計されているのであれば、何ら問題はないはずである。したがって、「過去問の類似問題は出題してはならない」という一律の不文律（制限）は、論理的に見て妥当性を欠いていると言わざるを得ない。

過去問を「避けるべきもの」とみなすのではなく、むしろ積極的に活用すべき評価資源として位置付け直すことこそ[5]が、良問作題の持続可能性を確保し、入試の質を実質的に高めるために不可欠である。

(2)　大学初年次教育との接続から見た高校生物の内容

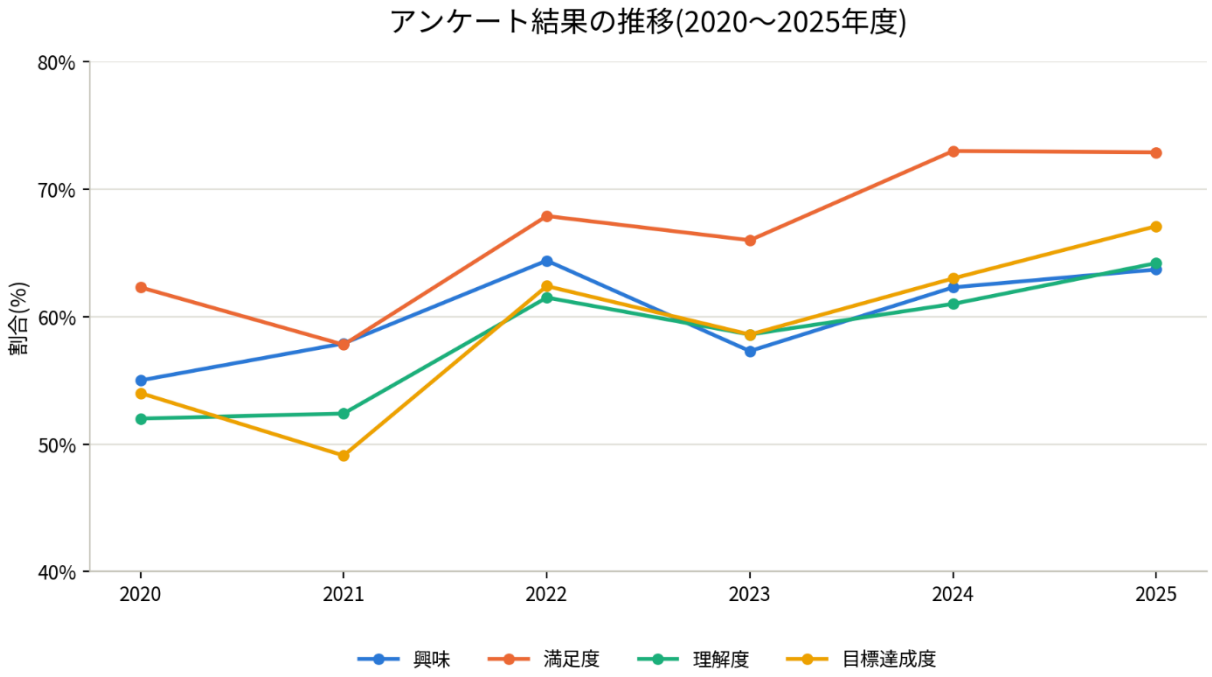
高等学校で生物を深く学ぶ機会のなかった学生に対し、大学初年次に生物の知識を身に付けさせる取組は、いくつかの大学で実際に行われている。ここでは、東京科学大学の１年生を対象とした必修科目「生命科学基礎」（４期制の第１期又は第２期に開講）におけるアンケート調査結果［脚注 3］を紹介したい。本講義はオムニバス形式ではなく、生命科学の基礎事項を体系的に学ぶことを目的として実施されており、紹介するのはその講義終了後に実施した調査である。

東京科学大学の理工系学部においては、総合型選抜などの特別選抜を除き、一般選抜入学者の全員が物理・化学を選択して入学している。このような背景があるにもか

かわらず、2020 年度から 2025 年度までの６年間のアンケート調査によれば、おおむね 60%以上の学生が「生命科学基礎」について「やや満足」または「満足」と回答した。理解度についても 50%前後の学生が「good」あるいは「very good」と評価し、関連分野への興味に関しては 50%以上の学生が「少し高まった」または「高まった」と答えている。さらに、シラバスの目標達成度に対する自己評価では、60%近い学生が「mostly」あるいは「very much」と回答した。

※[脚注 3]　東京科学大学の承諾を得て掲載

図２　東京科学大学アンケート結果の推移（2020 年度～2025 年度）



出典：東京科学大学での生命科学の基礎講座（４期制の第１期又は第２期に行われる）の講義終了後のアンケート調査の結果より委員会で作成

比較対象となるアンケートが存在しないため、この結果だけで「大学生になってからの生物の勉強として十分であるか」までは判断できないが、おおむね良好な結果であると言える。しかし、少なくとも入試で生物を選択しなかった学生の過半数が内容を理解し、興味を持ったことは確かである。

この結果は、大学で体系的な基礎生物学に触れた学生たちが、生物に対して抵抗感を抱くことなく、むしろ新鮮な驚きをもって好意的に受け止めている姿を映し出している。そもそも彼らの多くが高校時代に「生物」を選択しなかったのは、興味や能力の欠如ではなく、理工系入試の科目選択という制度上の影響に過ぎない。受験のプレッシャーから解放されれば、高度な内容も新鮮に吸収できるだけの豊かなポテンシャルを、彼らは元々備えていることが示唆される。

しかし、東京科学大学が初年次教育において体系的な講義を提供するなど、生物教育を重視する先進的な試みがある一方で、理工系入試全体には、入学選抜から「生物」を除外する旧来の仕組みや「入学後に学べばよい」とする捉え方が根強く残っている。教える側の都合として、全員「生物」を知らない方が教えやすいということもあるだろう。これまでも、大学入学後に初めて「生物」を本格的に学ぶ学生と、高等学校で「生物」を十分に履修してきた学生との間には、入学後の知識の差がどうしても埋まらないという深刻な問題が指摘されてきた[6]。こうした問題は現在においても認識されており、高等学校での生物の履修状況の違いに対応するため、未履修者を対象としたリメディアル教育等の取り組みも行われている[9]。

大学入学後のフォローアップには自ずと限界がある現状を考慮すると、高等学校において生物の基礎知識をあらかじめ身に付けておくことの重要性は極めて高い。高校生物学の知識をあらかじめ持っているのが望まれるのは、農学や生物生産、環境系の学部はもちろんのこと、生命科学に関係する医学部、歯学部、看護学部、保健学部、薬学部、そして現在では工学部においても、高校段階での生物学の事前履修が不可欠である。あらかじめ知識を身につけて大学の授業に臨むことは、新たな知識や発見に出会うチャンスを増やす。そのような新境地に早く触れることができるようにするためにも、高校での学びは不可欠である。そして、高校段階での生物学の事前履修がどのくらい身に付いているかを明らかにできるような入試の出題、そして生き物の本質を問うことの面白さが伝わるような出題が望まれる。

4　報告

(1) 大学入試問題および大学入学者選抜制度について

各大学では、単に知識を試すような問題に偏らず、過去の良問、教科書、探究学習にしっかり取り組んでいれば高得点を得られるような入試問題の作成を目指すべきである。生物を入試科目から除いている大学については、今後「生物」を加えるようにご検討を願いたい。また、科目間の得点調整についても、選択科目での有利不利をなくし、受験生の不安を払拭するために積極的に実施し、その事実を公表すべきである。

(2) 進路指導について

「物理・化学」選択の方が進路の選択肢が広いとの認識が見られる一方、本分科会が医学部等を中心に入試科目を調査した範囲では、そのような認識が調査対象とした大学・学部に一律に当てはまるとは確認されなかった。

「物理・化学」偏重の選択の仕方について、高等学校における進路指導においては、生徒の興味・関心に基づく科目選択が可能となるよう配慮することが今後の課題として位置付けられる。

(3) 高等学校での生物の教え方について

現在の高校生物については「暗記」重視という教育方針に危機感を抱いた日本学術会議生物科学分科会が高等学校で教えるべき最重要語 201 語、重要語 288 語、合計 489 語 から成る 2025 年版重要用語リストの発表を行った[4]。本リストのねらいは、『「生物」を暗記中心の科目とせず、本質的な理解を重視する学びへと導くために学習内容の重点を明確にし、「生物」が探究の楽しさにあふれた魅力的な学問であるというメッセージを、高校生をはじめとする学習者を含め、広く社会に向けて発信することである。』としている[4]。高等学校における生物教育においては、「生物」を暗記中心の科目とせず、本質的な理解を重視する学びへと導くという重要用語リストの趣旨を共有し、「生物」が探究の楽しさにあふれた魅力的な学問であることを学習者に伝える取組が今後の課題となる。

＜参考文献＞

[1]日本学術会議 科学者委員会・科学と社会委員会合同 広報・科学力増進分科会、提言「これからの高校理科教育のあり方」、2016 年２月８日、https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-23-t224-1.pdf

[2]日本学術会議　基礎生物学委員会・統合生物学委員会合同　生物科学分科会、報告「高等学校の生物教育における重要用語の選定について」、2017 年９月 28 日、https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-23-h170928-1.pdf

[3] 日本学術会議　基礎生物学委員会・統合生物学委員会合同　生物科学分科会、報告「高等学校の生物教育における重要用語の選定について(改訂)」、2019 年７月８日、https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-24-h190708.pdf

[4] 日本学術会議　基礎生物学委員会・統合生物学委員会合同　生物科学分科会、報告「高等学校の生物教育における重要用語の選定について(2025 年版)」、2025 年 11 月 14 日、https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-26-h251114.pdf

[5] 「入試過去問活用宣言」https://www.nyushikakomon.jp/sengen.html

[6] 松田良一・正木春彦編著, 「日本の理科教育があぶない」, 学会センター関西, 1998

[7] 佐々木嘉三　著　『入試過去問活用宣言』「大学時報」May 2007 年　pp.40-41.

[8] 伊藤　圭、椎名 久美子、荒井 清佳、桜井 裕仁、大塚 雄作　著　『問題バンクを利用した入学者選抜試験の導入と出題に関する意識』「大学入試研究ジャーナル」vol 35, pp.305-312, 2025.

[9] 刀根菜七子、三島健一、藤岡稔大　著　『生物リメディアル教育の長期的な効果の検証―新規学修プログラムの開発に向けて―』「薬学教育」vol 6, pp.1-7, 2022.

＜参考資料＞ 審議経過

令和６年

３月 15 日　遺伝学分科会（第１回）

役員の選出、今後の進め方について

７月 26 日　遺伝学分科会（第２回）

中等教育における遺伝学（生物学）のあり方について

高校における生物学の選択者の減少や、それに伴う生物教師の採用数減少、入試における生物の扱いや難易度などについて広く議論があり、意見交換

12 月 13 日　遺伝学分科会（第３回）

高校における生物学の選択者の減少や、入試における生物の扱いや難易度、生物学教科書の問題、生物学リテラシーの重要性、などについて広く意見交換。今後は生命科学分野の大学入試の分析を行い、遺伝学分科会として報告をまとめることになった。

令和７年

６月 11 日　遺伝学分科会（第４回）

報告の骨子案の作成について

11 月 29 日　遺伝学分科会（第５回）

「意思の表出」の申出書素案の確認と報告書骨子の策定

令和８年

７月８日　遺伝学分科会(第６回)

「意思の表出」の査読結果に対する対応

＜付録１＞　熊本大学の薬学部、６年制学科と４年制学科の１年生（2025 年度入学）を対象にした「生物選択と物理選択の選択理由を問うアンケート結果

創薬・生命薬科学科（4 年制）	
2025/11/20 の出席者数	33
アンケート回答者数	33

生物選択	13	物理選択者	20
選択理由			
その科目が好きだから	11	その科目が好きだから	6
入試で点数を取りやすいから	1	入試で点数を取りやすいから	7
親または先生に勧められたから	0	親または先生に勧められたから	5
その他	7	その他	2
生物系に進学したかったから	3	工学部志望だった	2
物理が苦手	3		
教科書を読んで面白いと思った	1		

物理を選んだ人にお聞きします	
生物は共通テストが難しいから選ばなかった	2
入試に生物がない大学も多いから選択肢を多くするために物理にした	15
高校で、理系を対象に生物を教える先生がいない、もしくはそういうコースが無かった	0
生物は暗記科目で、暗記が嫌いだから	8

薬学科（6 年制）	
2025/11/20 の出席者数	54
アンケート回答者数	53

生物選択	22	物理選択者	31
選択理由			
その科目が好きだから	18	その科目が好きだから	15
入試で点数を取りやすいから	4	入試で点数を取りやすいから	12
親または先生に勧められたから	0	親または先生に勧められたから	9
その他	5	その他	4
物理が苦手だった	5	理系は物理が多いからなんとなく	1
		生物が苦手だったから	2
		薬学部で生物を学べるから、高校では物理を学習しようと思った	1

物理を選んだ人にお聞きします	
生物は共通テストが難しいから選ばなかった	2
入試に生物がない大学も多いから選択肢を多くするために物理にした	17
高校で、理系を対象に生物を教える先生がいない、もしくはそういうコースが無かった	1
生物は暗記科目で、暗記が嫌いだから	15

＜付録２＞　福井大学工学部での 2025 年度新入生アンケート調査の結果まとめ

【1】選択した科目の集計

選択科目	回答数
物理と化学	104 人
生物と化学	14 人
合計：118 人	

【2】選択理由の要点まとめ（自由記述の傾向分析）

A. 「物理と化学」選択者の主な理由（104 人）

① 進路・受験上の有利性（非常に多数）

- 大学受験で使える大学・学部が多い
- 物理を選んだ方が将来の進路の選択肢が広がる
- 進学予定が決まっていなかったため、汎用性を重視
- 高校の先生や先輩の助言で物理を勧められた

② 生物のネガティブイメージ（多数）

- 生物は暗記量が多くて大変そう
- 生物はテストの点が取りにくい
- 物理の方が論理的で計算が得意な自分に合っていた

③ 環境要因・制度面（一定数）

- 高校で生物の授業が開講されていなかった
- 物理選択者が多数派で流れに乗った
- 生物の先生が嫌だった／生物選択は女子ばかりで敬遠した

④ 興味・好奇心（少数）

- 物理の現象に興味があった（例：ドップラー効果、光学）
- IT や工学への興味があり、物理が必須だった

B. 「生物と化学」選択者の主な理由（14 人）

① 生物への興味・志望（多数）

- 人間の体・免疫・遺伝・生体機能などに強い興味
- 動植物、自然科学が好きだった
- 医療・看護・薬学・農学など生物が関係する分野を志望

② 苦手科目の回避（複数）

- 物理が苦手／テストが壊滅的だった
- 暗記が得意なので生物の方が向いていた

③ 教師・環境の影響（少数）

- 生物の先生がよかった／授業が楽しかった
- 身近な人（姉の病気など）をきっかけに医療に関心

【3】総合的な傾向・結論

- 圧倒的多数（約 88%）が「物理と化学」を選択。
- 主な理由は「進路の幅が広がるから」「生物は暗記が多く大変そう」という受験・進路志向。

「生物と化学」選択者は「明確な興味・志望がある人」に限られる傾向が強い。

＜付録３＞ 大学受験における理科選択科目に関する調査結果

（出典：河合塾が提供する進路・大学入試情報サイト
https://www.keinet.ne.jp/eikan/ の「栄冠めざして Vol.２（2026 年度入試科目・配点・日程一覧）―電子書籍版」より許可を得て転記）

学部医学科（黒丸は必修、白丸は選択、菱形は科目を跨いで選択）

報　　告

新たな音響学の学術領域の創成とそれを推進するコンソーシアムの創設に向けて

令和８年（２０２６年）９月２９日

日　本　学　術　会　議

総合工学委員会・機械工学委員会合同

計算科学シミュレーションと工学設計分科会

この報告は日本学術会議総合工学委員会・機械工学委員会合同計算科学シミュレーションと工学設計分科会計算音響学小委員会の議論の結果を、計算科学シミュレーションと工学設計分科会が取りまとめ公表するものである。

日本学術会議総合工学委員会・機械工学委員会合同
計算科学シミュレーションと工学設計分科会

委員長	金田千穂子	（連携会員）	東北大学国際集積エレクトロニクス研究開発センター教授
副委員長	渋谷　陽二	（連携会員）	信州大学特任教授／長崎大学客員研究員／大阪大学名誉教授
幹　事	大出真知子	（連携会員）	国立研究開発法人物質・材料研究機構構造材料研究センター計算構造材料グループ主任研究員
幹　事	松尾亜紀子	（連携会員）	慶應義塾大学理工学部教授
	越塚　誠一	（第三部会員）	東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻教授
	髙木　周	（第三部会員）	東京大学大学院工学系研究科教授
	伊藤　恵理	（連携会員）	東京大学大学院工科学技術研究センター教授
	伊藤　宏幸	（連携会員）	ダイキン工業株式会社テクノロジーイノベーションセンターリサーチコーディネーター
	今水　寛	（連携会員）	東京大学大学院人文社会系研究科教授
	大島　まり	（連携会員）	東京大学大学院情報学環/生産技術研究所教授
	大林　茂	（連携会員）	東北大学流体科学研究所教授
	河合　宗司	（連携会員）	東北大学大学院工学研究科教授
	岸本喜久雄	（連携会員）	東京工業大学（現 東京科学大学）名誉教授
	北村　隆行	（連携会員）	滋賀県立大学理事
	小林　広明	（連携会員）	東北大学大学院情報科学研究科特任教授（研究）／総長特別補佐（国際共創担当）
	小山田耕二	（連携会員）	大阪成蹊大学データサイエンス学部長／教授
	坂本　真樹	（連携会員）	電気通信大学大学院情報理工学研究科情報学専攻教授／副学長
	佐々木直哉	（連携会員）	立命館大学総合科学技術研究機構客員教授／山形大学客員教授
	高田　章	（連携会員）	ロンドン大学特任教授
	高橋　桂子	（連携会員）	早稲田大学ナノ・ライフ創新研究機構規範科学総合研究所上級研究員／研究院教授
	店橋　護	（連携会員）	東京科学大学工学院教授
	坪倉　誠	（連携会員）	神戸大学大学院システム情報学研究科教授／理化学研究所計算科学センターチームリーダー
	所　千晴	（連携会員）	早稲田大学理工学術院教授／東京大学大学院工学系研究科教授

	藤井　孝藏	（連携会員）	東京理科大学工学部情報工学科客員教授
	藤代　一成	（連携会員）	駒澤大学グローバル・メディア・スタディーズ学部教授／慶應義塾大学名誉教授
	藤田喜久雄	（連携会員）	大阪大学大学院工学研究科機械工学専攻教授
	福田　弘和	（連携会員）	大阪公立大学大学院工学研究科機械系専攻機械工学分野教授
	山本　誠	（連携会員）	東京理科大学工学部機械工学科教授

日本学術会議総合工学委員会・機械工学委員会合同
計算科学シミュレーションと工学設計分科会
計算音響学小委員会

委員長	坂本　真樹	（連携会員）	電気通信大学大学院情報理工学研究科情報学専攻教授／副学長
副委員長	吉村　卓也		東京都立大学システムデザイン研究科機械システム工学域特任教授
幹　事	山本　崇史		工学院大学工学部機械工学科教授
幹　事	若槻　尚斗		筑波大学システム情報系教授
	金田千穂子	（連携会員）	東北大学国際集積エレクトロニクス研究開発センター教授
	満倉　靖恵	（連携会員）	慶應義塾大学理工学部システムデザイン工学科教授
	饗庭絵里子		電気通信大学情報理工学研究科機械知能システム学専攻准教授
	石濱　正男		明治大学客員研究員
	大久保　寛		東京都立大学システムデザイン研究科電子情報システム工学域教授
	岡村　宏		芝浦工業大学名誉教授
	雉本　信哉		九州大学大学院工学研究院機械工学部門教授
	小机わかえ		神奈川工科大学工学部機械工学科教授
	坂本　慎一		東京大学生産技術研究所教授
	嵯峨山茂樹		東京大学名誉教授（大学院情報理工学系研究科）／電気通信大学客員研究員（大学院情報理工学研究科）
	篠崎　隆宏		東京科学大学工学院情報通信系教授
	戸井　武司		中央大学先進工学部精密機械工学科教授
	西口　磯春		神奈川工科大学情報学部情報メディア学科名誉教授
	西脇　眞二		京都大学大学院工学研究科機械理工学専攻教授
	萩原　一郎		明治大学研究・知財戦略機構研究特別教授／東京工業大学（現東京科学大学）名誉教授

矢田部浩平	東京農工大学工学部知能情報システム工学科准教授
横山　真男	明星大学情報学部情報学科教授

本報告作成にあたり、以下の職員が事務及び調査を担当した。

事務	新田　浩史	参事官（審議第二担当）
	渡邊英一郎	参事官（審議第二担当）（令和８年７月から）
	角田美知子	参事官（審議第二担当）付参事官補佐
	冨岡千香子	参事官（審議第二担当）付審議専門職付
調査	辻　　政俊	上席学術調査員

要　　旨

１　作成の背景

計算力学を基盤とするコンピュータシミュレーションは、1990 年代、製造業の製品開発プロセスの大変革をもたらし、開発期間の短縮、開発コストの削減に大きく貢献した。また、計算力学は消費者に対して製造者への即時のフィードバックを与えることを可能とし、製造者と消費者の一体化も加速する。一方、近年、電動走行車や自動走行車、空飛ぶクルマの開発などにより、特に、製品開発における音の問題は大きく変わりつつある。例えば、空飛ぶクルマの市街地上空の飛行による騒音問題の発生は、都市騒音としての３次元的音場での解決が必須である。さらに、騒音からストレスレス環境音への変換や都市空間での静止・移動騒音源間の連携、生活空間騒音の音質と生体反応との連鎖など、従来技術の延長上にない技術革新が必要となる。そのためには、多様な分野との本質的な連携が不可欠である。このような課題は、日本では、学術(大学など)と技術(企業など)とさらに社会(地域・行政など) の連携がないと、前に進まない場合が多い。

すなわち、従来の音響学に加え、生体反応に関する生命科学や音楽などの芸術・心理学、環境、都市、モビリティなどの多分野を融合し、手法・データ群を集約する包括的な新たな音響学と、その基盤技術と適切な応用を推進する研究母体としてコンソーシアムの創設が急務である。ここで扱うシミュレーションは、音や振動といった物理量を評価する従来のコンピュータシミュレーションを基軸とするが、受け手となる人を想定し、人間に与える影響までを考慮したシミュレーションという包摂的な意味合いを持つものとする。工業製品に対しては、産業革命以降は機能や性能など物理的価値が着目されてきたが、単なる物理的価値が諸外国との差別化要因とならない現状では、人間が体感できる高品質な感性価値や空間価値が求められ、多分野を連携した音響環境の研究推進は高い国際競争力を有する。

計算音響学小委員会では、音の発生、音の伝播、聴覚器官による音響に対する感覚、音楽、騒音等、音に関するあらゆる現象を扱っており、真に工学・芸術・心理学・感性工学・生理学・医学・環境学など幅広い学際領域を議論の対象としてきた。これまで、スーパーコンピュータによるコンサートホールの音響シミュレーション、音声に関するシミュレーション、AI と音質シミュレーション、楽器の発音機構から作曲、さらに、感性の領域に及ぶシミュレーションにも踏み込むなど、多様な議論が進んでいる。これは、日本学術会議の特徴である、単独の学会では扱えない多様な領域を含んでおり、これらの音を中心とした多様な研究は世界的に見てもユニークな学際的研究になり得る。すなわち、理工学が芸術・心理学・生理学などと融合した新たな学際的研究になり得るものであり、他の理工学系の学際研究とも双方向の波及効果を持ち得る。第６期科学技術・イノベーション基本計画（2021～2025年度）で掲げた、サイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させたシステムによる多様な幸せ（well-being）を目指した「人間中心設計」の推進のためにも、上記研究の展開は喫緊の課題である。

２　現状及び問題点

コンピュータシミュレーションに基づくモデルベース開発技術はドイツが描く第４次産業革命「インダストリー4.0」の中核をなすもので、ドイツでは大きな予算が注がれている。項目１で述べたとおり、第 23 期に計算音響学小委員会が誕生して以来、議論されたテーマは多岐にわたり、その学際的な研究領域のコンセプトは「インダストリー4.0」とは異なる独自のものである。しかし、計算力学分野を見てみると、スーパーコンピュータ「富岳」における重点課題は、破壊・流体解析が中心であり、芸術・心理学・感性工学・生理学などとの連携は必ずしも十分ではない。すなわち、各分野で先端的な研究が進んでいるものの、これらを相互に連携させる機能がなく、十分なシナジー効果が得られていない。以上を踏まえ、本小委員会では、新たな学際的音響学の創出に向けた音響を核とするシミュレーション技術の開発についての課題と解決について検討してきた。具体的には、以下の問題点が確認された。

１）HPC (High Performance Computing)技術、音響信号処理技術、モデルベース開発技術、ディープラーニング(深層学習)を中核とする AI 技術を駆使し、芸術・心理学・感性工学・生理学などと連携した新たな音響学を核とするシミュレーション技術が開発できるか？

２)これらの諸分野のそれぞれが発展し、互いに連携可能な段階に達しているか？

３)如何にして、製品が希望するものとなるように、消費者自身がシミュレーションを通して作り手とコミュニケーションをとれるようになるか[1,2]？

４)AI の適用技術に関する大きな変化として、この数年の AI 学習機能の複雑系への適用の飛躍的な向上がある。音響計算の分野において、既存の学術分野の壁を越えた幅広い取組に対応できるか？

３ 課題解決のための方策

本小委員会における議論の結果を計算科学シミュレーションと工学設計分科会において取りまとめ、以下のような意見を得た。

⑴ 明確な国家的政策立案と施策

１）関連する産官学の機関は、工学・芸術・心理学・感性工学・生理学・医学・環境学などが融合した新たな音響学として、それを核とする包括的音響基盤の創出に向けた環境の整備を進めるべきである。

２）関連する産官学の機関は、この新たな音響学の創出における取組に関し、工学・芸術・心理学・感性工学・生理学・医学・環境学などを連携した科学技術のさらなる創出に展開していくべきである。

３）関連する産官学の機関は、我が国の工業製品のプレゼンス向上や人材育成についての政策を立案するにあたり、オープン科学時代に入った今、製品開発における視点の多角化として、Push 型から Pull 型(ユーザー目線)も包含し、付加価値創出のアプローチ推進を勘考すべきである。

⑵ 長期的研究体制と産官学連携によるコンソーシアムの創設

1）音響学の他、工学・芸術・心理学・感性工学・生理学・医学・環境学などの分野において、それらを個々に深化させつつ、それらの融合研究に向けた、個人や組織の属する領域を超えた有機的な連携をするコンソーシアムを創設し、長期的な研究体制を構築すべきである。

2）革新的HPCI(High Performance Computing Infrastructure) においては、これらの分野を連携した音響学に関する、永続的かつ学際的な研究開発組織を構築すべきである。

⑶ 人材育成

1）大学等の高等教育機関においては、音響学を核として専門性を高めながら、工学・芸術・心理学・感性工学・生理学・医学・環境学など関連領域の専門家の講義を受講し、卒業研究などの研究段階で関連分野の研究室とも連携できるカリキュラムをデザインすべきである。

2）音や振動といった物理量を評価する従来のコンピュータシミュレーションを基軸とするが、人間に与える影響までを考慮する人間中心の視点を教育課程において習得させるべきである。

目　　次

１　はじめに 1
２　報告の背景、課題、提案 4
(1) 背景 4
(2) 課題 4
(3) 提案 5
３　新たな音響学を構成するテクノロジー 7
(1) 音響信号処理・波動解析の緻密化モデルの構築技術 8
①音響信号処理に関するモデル構築技術 8
②高度波動解析（ミクロ組織・複合構造・混相・接触など）に関するモデル構築技術 9
(2) 計算処理高度化による大規模モデル処理/深層学習・AI 技術 9
①HPC（High-Performance Computing）技術 9
②ディープラーニングを中核とする AI 技術 10
(3) 心理学、感性工学、生理学（脳科学）、芸術 11
(4) 予防医学、音楽療法 12
(5)社会システム、環境、都市計画、VR 12
４　新たな音響学創成のための分野連携 14
(1) 音響と心理学、感性、芸術分野の連携 14
(2) 音響と生理学・医学の連携 15
(3) 音響と環境・社会との連携 15
５　新たな音響学創成のための方策とその波及効果 18
(1) 明確な国家的政策立案と施策 18
(2) 長期的研究体制と産官学連携によるコンソーシアムの創設 19
(3) 人材育成 19
(4) 学術領域の創成 20
(5) コンソーシアムの創設と期待される成果 21
＜用語の説明＞ 22
＜参考文献＞ 24
＜参考資料１＞審議経過 35
＜参考資料２＞シンポジウム開催 38

1　はじめに

1)デジタルデータの活用: 計算力学を基盤とする計算機による物理シミュレーションの普及は、自動車業界での物理モデルからデータモデルへと開発スタイルの変革をもたらし、開発効率向上に著しく貢献した[3]。さらに、世界的な環境規制、自動車の電動化、自動走行の実現などへの迅速な対応のため、多分野が連成した統合・融合問題を扱う必要が生じるなど、実機評価に代わりデータモデルを用いるコンピュータシミュレーションに対する新たな技術ニーズが生じている。

2)インダストリー4.0: ドイツではこのような動きを第４次産業革命と位置付け「インダストリー4.0」が精力的に進められている。また、米国では IIoT（産業向け IoT）を推進する IIC が設立され[4]、中国では 2015 年に「中国製造 2025」が打ち出されるなど、情報化と産業化の融合や品質の強化、環境への配慮などを重視した産業構造の強化が進められている[5,6]。ここでは、実体とデジタル空間を交互に活用するサイバーフィジカルシステムやデジタルツインなどの適用による製造業の構造的な改革を目指している[7,8,9]。具体的には、製品や製造工程などをコンピュータシミュレーションによってデジタル空間上に再現し、デジタル空間上で開発を進め、その結果を現実に展開する。また、現実世界における結果をコンピュータシミュレーションにフィードバックすることで、開発をさらに加速する[7,8,9]。さらに、デジタルモデルは、消費者にも、製造者への即時のフィードバックにより、製造者と消費者の一体化を加速し、品質の確保や製品の魅力度が問われる時代となる。最近では、音質の良さへの付加価値が問われている[10]。

3)新たな音響学へのアプローチ: このような科学技術の製品への新しいアプローチとニーズは、音響に関する多くの学術分野に跨る学際的領域での研究にも重要である。

4)音響学に関わる産業界の動向 ： 自動車業界では、車の音は商品性に深く関係しており、扱う問題も、車外騒音から音質まで極めて多様である。また、自動車産業は、機械工業全体に対して約４割の売上を占め、研究開発費は約 3.7 兆円で、研究開発者の多くが何らかの形で振動騒音問題に関わる程、音響学に多くの資金・物・人が注がれ、先端的な取組が進んでいる[11,12]。また、我が国には世界的な楽器メーカーが多く、音響に関する科学技術は我が国の一つの強みである。世界市場におけるピアノのシェアではヤマハ株式会社は首位、株式会社河合楽器製作所も２番手グループ、ヤマハ株式会社の電子ピアノやポータブルキーボードなどの電子楽器は世界シェアの約半分である[13]。

各種の電動モビリティでは、電動走行車や自動走行車、空飛ぶクルマの開発などにより、音の問題は質的に変化し、音質に関する新たな技術の研究開発が必要となる[14]。また、空飛ぶクルマが市街地上空を飛行するには、多岐にわたる騒音問題の解決は必須で、従来技術の延長上にない、新たなアプローチが求められつつある。また、電気自動車ではエンジンの消滅により車室内は静粛となるが、電動化に伴う耳障りな高周波音やタイヤと路面で発生するロードノイズなどを調節することで快適なサウンドデザインが実現できる[15,16]。また、エアコンでは動作音の周波数特性の変更による体感温度の変化[17]、受動的な聴覚刺激が主となる後席乗員での体感する音圧変化[18,19]、乗員の視覚による車速の変化[20]、変速操作での五感における感覚間相互作用[21]などを考慮した高次元な

人間中心設計が求められている。

5)関連する学会などの動向: 計算音響学小委員会では、音の発生、音の伝播、聴覚器官による音響に対する感覚、音楽、騒音等、音に関するあらゆる現象を扱っており、工学・芸術・心理学・感性工学・生理学・医学・環境学など幅広い学際領域を成している。これまで、スーパーコンピュータを用いた「コンサートホールの音響」のシミュレーション、AI と音質シミュレーション、機械学習に基づく自動車走行音の特徴量抽出[22,23]、楽器の発音機構のモデリングとシミュレーションから作曲に至るまで、また、感性の領域にも踏み込むなど、多様な議論が進んでいる。

6)音に関連する手法の動向: 自動車の自動運転等で熟成している AI の適用範囲の拡大により、この数年の AI 学習機能の複雑系への適用拡大がある。ここでは、適切な教師データ群等の習得が重要であり、生体系を含む広範囲の多量なデータ群の習得が有効である。そのためには、既存の学術分野の壁を越えた新分野での研究活動・機械学習への寄与が求められている[24,25,26]。音のデザイン手法としては、音の印象を主観評価に捉え、音色を多次元的に分析して改善する研究[27]、さらに、映像と音楽や効果音などとの相乗効果を体系的に捉えるマルチモーダル性が研究されている[28]。他国では、フランス国立音楽音響研究所(IRCAM)で、人間の知覚や感性に基づいた音デザインを標榜しており[29]、EU では環境騒音に関するガイドラインが定められており[30]、環境音の与える人への影響を考慮した先鞭をつける実施例がある。「人間中心設計と音響学」に関して、「令和４年版情報通信白書」[31]にあるメタバースやテレワーク､オンライン授業の急速な普及､動画・音楽配信市場の拡大などを背景に音声技術は成長分野である。音に関する科学技術を、感性を含めた心理的、生理的な領域にまで拡大させることは、広域分野を融合した新たな学際的研究になり得る。音を人間視点で評価する「人間中心設計」を入れた「ものづくり」は、我が国のものづくりにおいても重視されるべき視点である[32]。包括的音響シミュレーションの考え方は、①従来の音響学に加え、生体反応に関する生命科学や「心地よい音」を明らかにする芸術・心理学を融合した、新たな音響学と②人間の感覚・特性・感性を踏まえ、人に与える影響までを積極的に評価する人間中心設計視点とを核とするものである。包括的音響シミュレーション基盤の創出が急務である。

以上のように、計算音響学小委員会では、日本学術会議の特徴である、単独の学会だけでは扱えない多岐にわたる最先端の音響関連技術の現状と課題を議論しており、日本音響学会が扱ってきた領域にとどまらない幅広い分野の連携を想定した、極めて学際的な取組がなされている。

以上を踏まえ、本報告では第５章に示す方策を提案する。

前で述べたインダストリー4.0 では、その実働組織としてプラットフォーム・インダストリー4.0 が構築されていた[33]。同様に、我が国においても、本コンセプトの実現のための実働組織が必要である。

本取組は音響学のみならず、理工学・人文社会科学・生命科学等、多くの分野に関わっている。そのため、新たな研究組織では、これまでの縦糸的研究組織に加えて横糸的組織も加えた、分野横断型の取組を進める必要がある。このような学際研究を効果的に進める際には、核となって動くグループがなくては、表面的な議論に終わってしまいかねない。例えば、インダストリー4.0 では、フラウンホーファー研究所が産学連携の核となっている[7,8,9]。一方、自動車業界では、現在、100 年に一度の大改革が起こっていると言われており、ハードウェアだけでなく AI や IoT などの情報技術との深い連携が進みつつある。その中で、音響技術についても大幅な進歩を遂げようとしている[14,34,35]。

また、本コンソーシアムの創設は、Society 5.0 の実現に向けた、well-being の実現への貢献も期待できる。音響は心身という個人的でミクロな面と、環境という社会的でマクロな面をもつ。情報過多でストレスの多い現代社会において、人体に適度な刺激を与える音響システムは、人体への刺激と効果のバランスの取れた音響支援医療を提供する可能性も示唆されている[36,37,38]。

2　報告の背景、課題、提案

(1) 背景

音響学は、理工学分野の一大テーマである一方、幸福度、安心・安全性、ストレス緩和の面から、人文社会学と深く関係する。さらに、音や振動の刺激が人の生理・心理状態に影響を及ぼすことが知られており、これを活用した音楽療法[39,40]なども研究されているなど、音響学は生命科学とも深く関わっている。

このように、音響学には多くの学術分野が関係しているが、これらは別個のコミュニティで検討・展開されてきた。計算音響学小委員会では、個別ではなく、多くの学会に帰属するメンバーからなるという日本学術会議の特徴を活かし、これらを融合すべく、議論を進めてきた。その中で、従来の音響学に加え、生体反応に関する生命科学や「心地よい音」を明らかにする芸術・心理学を融合した、新たな音響学の構築の必要性が指摘された。音楽などの創造芸術は、単に「心地よい」ではなく、高度な精神的影響を与えていることが知られているが、「心地よい音」とはどのような音であるのかという問いに対して現時点でも明確な解はない。人にとってストレスを与えず、リラックス感や前向き感等を与えるものであると考えることはできるが、その本質については単に工学の視点のみからでは解決不可能であると考える。そのため、この問い自体も本報告で想定する重要なテーマであると位置づけ、芸術の観点からも音の関わりに注目する。このように本報告では「心地よい音」の本質を問う中で音と芸術の関わりを重要視し、工学・芸術・心理学・感性工学・生理学・医学・環境学など幅広い学際領域で多様な議論を重ねることで、この問いに対する解を提示することを目指す。

これらのねらいは、「人間特性を考慮した音を製品に与える」というコンセプトを提示するものである。また、この新しい音響学は、well-being の実現にも貢献する。

Society 5.0 に向け、このコンセプトを実現していくには、従来の延長にない、音響を核とし、芸術や心理学、生理学などを融合した、新たな科学技術基盤の開発が必要である。また、そのためには、研究開発を進めるための基盤的組織が必要である。特に、これは、従来のような、分野ごとの縦糸型組織だけでなく、ダイバーシティに富んだ、分野融合の横糸型組織を指向する。そのような柔軟性に富んだ組織として、音響環境に関する新たなコンソーシアムを創設すべきである。

(2) 課題

日本学術会議総合工学・機械工学委員会合同計算科学シミュレーションと工学設計分科会計算音響学小委員会では、音響計算分野で取り組むべき対象を検討し分科会でも共有してきた。以下に、指摘された課題を示す。

1)電動化、自動運転、空飛ぶクルマ等の大変革が起きている移動体の交通音環境の研究

2)幼児発育(脳の発達)や高齢者の認知症対応等の音声・言語処理技術も取り入れた複合的な取組の研究

3)自動車に関する「音と脳の反応」及び「音の場での複合感覚利用による豊かさや能力の向上」の研究
4)生活空間(居住乗り物、オフィス、教室等)で曝露される音響の音質の生体への影響に関する研究
5)都市空間、工場・オフィス、道路・空港等の騒音における騒音規制・音環境の評価視点の改善に関する研究
6)都市空間における車と人の流れのコンピュータシミュレーションによる賑わいに対する音環境と行動変容に関する研究
7)楽器による音響の場と癒し効果に関する研究
8)楽器の音質の作り込みに関する研究
9)ニューラルネットワークを用いた、癒し効果を人間の表情、しぐさで評価する研究
10)グループ間での会話ネットワークによる心のケアの評価に関する研究
11)生活環境で曝露される環境音響の生体(生理・心理)や脳機能への影響に関する研究

これらの課題の解決に向けた、音響を核とする分野融合型シミュレーション技術の開発と、そのための環境構築、人材育成が必要である。

特に、音響計算として、AIに関するアプローチは重要である。この数年を経て、自動運転モデルは、従来の 3D 精密地図を用いるルールベースのシステムから、センサー入力への移動体や Map 情報を機械学習する方式に大きくシフトしている。すなわち、走行道路状況の把握を複合センシング機能と必要な教師データで処理する方式である。この最先端として、VLM(Vision Language Model)が主流であり、カメラ情報から必要な対象物認識と対応すべきアクションを同時に、柔軟に獲得できる。さらに、生成 AI 等の大幅な機能が向上したシステムの実現により、チップの計算能力の効率化と相まって、自動車システム全体へのアプローチへと拡大し、広域の教師データ群の学習・充実を獲得することで、その付加価値は飛躍的に進化し始めている。

ビジュアルと同様に、音響関係の課題に対しても、これらのシステムモデルは適用が可能である。しかし、音響関係の付加価値は、心理・生理的側面、健康・医学関連や社会性とつながっており、人権、倫理面等の高い壁があるため、俯瞰的見地からのアプローチは、大きな困難を伴う。まず必要となるのは、現在の学術的分野の壁を取り外し、お互いに連携し、新しい学問分野としての協力体制と学習する教師データ群の蓄積と活用が重要となる。したがって、音響計算分野は、これらの連携のコアテクノロジーとして、有機的に機能すべきである[41,42,43,44]。

(3) 提案

提案１ 新たな音響学の学術領域の創成
提案２ 新たな音響学創成のためのコンソーシアムの創設

これらの提案に基づく取組によって、以下の成果が期待される。

1)オープンイノベーションや MBD（モデルベース開発）など DX による知識・技術の国際的結集
2)空飛ぶクルマ等新製品での問題の先取り
3)転動による非線形加振や複合構造内の波動伝搬現象であるロードノイズ、空気力学的音響と構造振動の連成現象である風音という自動車騒音の最難課題の実現象の解析
4)対象を構造物振動や空中音響から、分子レベルのトライボロジや生体内波動へと深化
5)ヒトの聴覚の作用を定量的に計測し、モデル化する機能を実現
6)設備等の音の場の構築自体を研究課題として捉え、新しい機能・環境を創造
7)社会空間でのコミュニケーション・相互理解・体験共有を含む音響伝達の位置、距離、時間を超える音響の共有の実現・普及支援の実現
8)人間等の行動や生活に適合する環境音の提供、さらに積極的である健康維持、医学療法支援や認知症を含む高齢者生活支援等の well-being の体系化への寄与拡大
9)音楽としての創造的、芸術的行動への可能性の支援の増大
10)俯瞰的見地より、国民、世界の豊かさ、幸福度の向上への寄与拡大

上記(2)で述べた課題の解決に向けたシミュレーション技術の開発は、単純な計算技術の発展で達成することは困難であり、分野融合的な横断研究に加え、実験やモデリング技術の開発も必要となることに留意が必要である。

３　新たな音響学を構成するテクノロジー

国連が提唱するSDGsのように、近年、GDPのような経済成長を目指す指標だけでなく、精神的な豊かさや幸福感、健康度・健康寿命・安全度・教育への新指標が社会目標として模索されている。人間本来の感性・知能・身体の観点からの人間らしさの追求である。

第 23 期に計算音響学小委員会が誕生して以来、議論されたテーマには、モデルベース開発技術の他、HPC技術、音響信号処理技術、ディープラーニングを中核とするAI技術などが挙げられ、このような分野横断的な議論は「人間中心設計」を目指す極めてユニークなものである。また、音楽療法は、普段より音響・情報にさらされる生活の中での効果の科学的検証は難しく、現在の技術の延長にはなく、これを実現するためには、理工学・人文社会科学・生命科学などの分野の深い連携によるブレイクスルーが必須である。この幅広い分野が連携した、新たな音響学の包括的音響シミュレーションというコンセプトは「インダストリー4.0」とは異なる独自のものである。また、ゲームや映画等において視覚、聴覚、触覚（さらに場合によっては嗅覚も）への刺激を与えるバーチャルリアリティ技術が発達している[45]。これらは刺激の再現性を高め「疑似体験させる」ことの影響や効果を追求しているが、本報告においては、後述するように人に与える影響を、計算音響学を通じて多面的かつ積極的に評価することで新しい分野を拡げようとする点が異なっている。

すなわち、音響や振動現象への対応技術だけでは、要求されるニーズに対して対応が難しくなっており、その対応法の可能性が包括的音響シミュレーションに求められている。具体的には、「AI とデータサイエンスを活用し、生体反応や個人の感受性、微細な振動エネルギーの動きまで再現・予測するデジタルツイン・シミュレーション」、「ナノ等のミクロな現象領域や多重のパラメータを含む大規模なモデルも含めた解析シミュレーション」等がある[46,47]。すなわち、包括的音響シミュレーションでは、これらの手法を包括的に扱い、音響に関連する複合領域でのアプローチを試みる必要がある。同時に、これらの手法を実現するには、リアル情報の取得が重要であり、個人、グループをはじめ、関連産業、公的機関の IoT 等による情報の取得及び保全の協力体制やそこから得られるデータベースの活用が求められる。新しい音響学の立場からも、産官学をカバーするプラットフォームの実現への働きかけが重要である。

下記の(1)は、ミクロな振動エネルギー挙動の解明により、音源レベルから音質改善にも踏み込んだ検討を試みるものである。音響として課題の多い人工音の代表として、例えば、交通騒音ロードノイズや生体・社会への生活・都市音響の影響等による複雑系モデルの課題を取り上げる[34,35]。さらに引き続き、他の対象分野に展開する。(2)は、新たな音響学の包括的音響シミュレーションの前提となる大規模計算モデルや AI 技術を取り上げている。人間中心設計に適合するために、データサイエンス等の体系化等の推進も含むものである。(3)～(5)は、音響の対象モデルとして、生体や社会モデル等を内含する複合領域へのアプローチを推進するもので、AI によるデジタルツイン等の手法の適用が課題である。

以下、包括的音響シミュレーションを支える諸技術について、それぞれの現状とニーズ

の方向性を述べる。これらの内容からも分かるように、すでに多くの分野で、音響・振動の工学的アプローチや演算能力の高度化が複合的に取り組まれている。科学技術全般としての統計資料[48]や音響を取り巻くいくつかの研究領域(サウンドスケープ[49]、聴覚刺激研究[50]、音楽と健康全体[51]、音と回復・健康[52]など)の文献調査を行うと、主要研究拠点として英国勢(University College London (UCL)など)が突出しており、欧州主導の研究ネットワーク形成[53,54]が活動している。音響学分野の研究活動の統計学的分析に関する文献は直接ないものの、これらの文献や日本では日本音響学会誌や各大学等の論文調査を行うと、日本は自動車や建築などの音響研究、快適性評価の分野が活発であり、欧州は日本の活動分野からさらに先の健康、Well-being、都市政策との音響の連携に関する研究文献が多い。

すなわち、日本では、音響学研究その大半は、その分野の主要テーマの解明や最適化に取り込むことが主題であり、その分野でのより広域での新しいテーマの発掘や他の分野との境界領域での新しい命題の構築までは届いていない場合が多い可能性がある。その達成のためには、様々な分野の研究連携やデータベースの構築が欠かせない。特に、人間中心課題には、プライバシーや社会的制約をクリアするための共同連携と価値観の共有が欠かせない。世界でのトップグループの研究を確保するには、大規模な多様な研究内容が求められ、それによる研究能力の構築につながる[48]。

(1) 音響信号処理・波動解析の緻密化モデルの構築技術

①音響信号処理に関するモデル構築技術

音響信号処理に関する技術は、デジタル信号処理を中心に多様な発展を遂げてきている。基礎技術としては、音場計測、各種フィルタ、時間周波数分析等があるが、その他にも以下のような核となる基礎技術がある[55,56,57]。

1)音源分離関連技術・音源定位関連技術：適応型アレー等を用いたビームフォーマー、ICA(独立成分分析)等によるブラインド(目隠し)信号処理、SAFIA(音源分離法)等信号のスパース(まばらな)性を用いた方法、CASA(計算論的聴覚情景分析)による情景分析等。さらに各種遅延時間推定法による音源定位と音源追跡等。

2)音場制御技術：頭部伝達関数、バイノーラル(両耳による立体音響)システムを活用した音場制御法。境界音場制御、スピーカアレー(列)による制御等。さらに、雑音・残響抑制技術、騒音の能動制御技術等の手法も含む。

3)距離・時間をキャンセルするコミュニケーション技術：音楽や音声の録音・再生の自由度を向上させる音響周辺技術も広義の音響信号処理とする。以下のような進展が想定される。

(a)遠隔地間の同時録音技術

遠隔の複数の演奏者が一つの楽曲を完成させる過程を実現する技術。遠隔地での通信の時間遅れの影響を双方向送受信に関する低遅延伝送により、録音と再生の質を飛躍的に高める手法[58]。

(b)高精度な音響領域分離制御[59]

展示会やオフィスシェアリングなどの一つの空間で異なる音の再生を複数の人が利用できる技術。

4)音響と振動の複合知覚での連成解析技術：両者の相互作用に関する新しい音響複合モデル構築技術、リアル・バーチャルな映像との複合知覚連成モデル等の構築技術。例えば、高精度の臨場感再生技術によりバーチャルな臨場感を実現し、well-beingにも寄与する[60]。

②高度波動解析（ミクロ組織・複合構造・混相・接触など）に関するモデル構築技術

1)ランダム加振力解析：現象モデルの解明が課題となる事例が多い。例えば、変動感の要因として、ロードノイズ評価では、路面表面近くの通気性の変動やタイヤ空洞内音響共鳴等がある[61,62]。

2)波動伝搬解析：モード解析や統計的エネルギー解析では難しい中周波波動伝搬に対し、グリーン関数(単発インパルス加振応答に対応)の応用や大規模計算による時間軸での波動伝搬解析手法が求められる[63,64,65]。

3)非線形・可変性モデル解析：複合的複雑加振メカニズムを伴う課題への解析技術、接触問題の事例で、ゴムと路面凹凸の滑り転動接触加 振力発生の力学モデルの構築[66]。張力構造・薄板構造問題では、タイヤでの空気圧による復元力を利用する独特の構造特性のモデル化等が課題である[67]。

4)分散系と群速度：振動の固体伝搬は周波数により速度が異なるために分散現象が生じる。群速度として現象を記述する理論的手法の開発が求められる[68]。また、回転体のコリオリ力(地球自転に起因)による半径方向と周方向の振動連成等を含めた解析技術も課題である[69]。

5)化学的ポテンシャル力を考慮する分子設計を内含する高度材料技術の開発との連携が必要である[70]。

6)計算流体力学による流れ場・音場の定量的な解明と予測技術を構築する[71]。

7)加振による音響・振動エネルギーの挙動とその因果関係の可視化が求められる[72,73]。

(2) 計算処理高度化による大規模モデル処理/深層学習・AI技術

①HPC (High-Performance Computing) 技術

音響の波動シミュレーションは、周波数領域で有限要素法を用いて行われるものが多い。この場合、対象となる空間領域全体を離散化して得られる、大規模な線形方程式に帰結される。求解のための計算負荷は非常に大きいため、領域分割法を用いて並列計算はしているが[74,75]、大規模なマトリックスを分解するプロセスに時間を要し、並列度を大きくしても効率向上には限界がある。そのため、理化学研究所等が公開している「京」や「富岳」の利用事例[76]には、構造力学や音響に関するものはほとんど見当たらない。更なるHPCの活用が求められる。

一方、船舶のプロペラや風車の翼回りの流れのコンピュータシミュレーションな

ど流体工学に関する事例が中心になっているのは、時間領域で流速分布の発展を解くアルゴリズムが並列計算に向いていることが要因と考えられる。これまで、音響波動シミュレーションを時間領域で行った事例としては、時間領域有限差分法（FDTD法）を用いた音場シミュレーション[77]、発生音響車室内の音場解析[78]や人体内の波動伝搬の問題を扱ったものが検討されている[79]。また都市・建築・環境に関連するものとして環境音が快適性に与える影響[80]についての検討や、減衰に関する材料特性や壁の反射・吸音特性など周波数依存性を有するものの時間領域での表現が困難であることも[81]、波動音響の時間領域シミュレーションに関する課題であると考えられる。

さらに、今までアプローチが難しかった複合領域へのHPCの活用が期待される。

1）音響の脳等への生理的、心理的影響のミクロなメカニズムの解明
特に、領域横断の複合アプローチや時系列変化を伴う生体ミクロ反応など
例えば、極低侵襲型BMI(Brain Machine Interface: 脳と機械をつなぐ)デバイスの開発により、IoB(Internet of Brains)の脳波計測が実用化されると、HPCの活用により、AI 技術による膨大なデータサイエンスで、生理学的能力と音響を中心とする知覚能力の関連性の見える化等が可能となる[82]。

2）社会環境での音場の広域解析、都市・道路レベルの音環境予測、建築物等の生活環境でのマクロなアプローチ
例えば、コンサートホールのような建築空間の室内インパルス応答等の音響数値シミュレーションを、高精度で効率的に音響設計するには、HPC 技術の活用が実用化されることが望まれる[81]。

これらの新しい音響学での大規模複合モデル処理には、モデル構築技術とともに、スーパーコンピュータさらに光コンピュータ等のHPC活用が重要である。

②ディープラーニングを中核とするAI技術

ディープラーニング(深層学習)をはじめとする機械学習技術は急速に発展しており、音に関する応用としては、従来からの音声認識や音声合成にとどまらず、音響のコンピュータシミュレーションにも広がりつつある。そのような流れの研究としては、以下のようなものが知られており、現在も発展し続けている[25,41,44]。

1）2019 年ごろからは、物理現象の観測データから物理法則を発見するための深層学習が開発されている[83,84,85]。これらの手法では、エネルギー保存則などの物理法則を保つようにニューラルネットワークが設計されており、これを利用すれば、ロバスト(ばらつきに安定)なコンピュータシミュレーションが可能となる[86]。これにより、音をデータとして与えるだけで、それを再現するための物理モデルの導出とコンピュータシミュレーションが自動的に行えるようになると期待される。

2）従来、画像に対して利用されていた超解像技術[87]の、コンピュータシミュレーションの高精度化への応用が進んでいる。これは、高速に実行可能な粗い精度のシ

ミュレーションデータを元に精密な物理シミュレーションを可能とする技術であり、これによるコンピュータシミュレーションの高速化・高精度化によって音響技術の開発の加速が期待される。

3)ニューラル作用素と呼ばれる方法は、コンピュータシミュレーション時に与えられるパラメータや初期値データなどからシミュレーション結果を直接に予測することを可能にする手法である[88,89]。従来のコンピュータシミュレーションと比較し、精度に劣る一方、極めて高速であり、リアルタイムシミュレーションの実現可能性をもつ。これらのデータサイエンスの手法は、生体モデルや思考・感覚・感情モデルを取り込んだ音響複合モデルへの適合が求められる。

(3) 心理学、感性工学、生理学（脳科学）、芸術

空気伝播による音響信号に対する生体の感受性に関するテクノロジーは、主として聴覚として扱われる。単なる音波の物理現象としてだけでなく、耳での電気信号への変換に関する生体機能や、脳での生理的、心理的な知覚に関する機能の研究も含まれる[90,91]。これらは、音響心理学として包括される。さらに、脳波等の客観的な生理的指標と主観評価を関連付けることにより音質評価も音響心理学の領域と融合しながら、多様に発展している[92,93,94]。

人の聴覚特性に関しては、一般的に、周波数認知能力は、対数的音階と認知され、蝸牛（基底膜）における周波数分析はフィルタバンク（ウェーブレット分析）的であり、また、音圧変化にも非線形で対数的とされる。脳で処理されるものとしては、マスキング効果、うなり、和音、ミキシング等への反応、感情への反応等がある。これらの現象を説明する指標として、音響の各種な数理処理とパラメータが用意されている[95]。このように、人間の聴覚は時間的な変化・非線形な感性反応・意味の重層性を含む[96]。さらに、音が「快」か「不快」か、「安心」か「警戒」かは、物理量だけでなく文脈・記憶・情動・文化に大きく依存する。このように、聴覚のモデル化は困難であり[97]、これに対して学際的な立場から取組む意義は大きい。

また、音などの感性に関する包括的音響シミュレーションとして、人の心に計算論的アプローチで迫ろうとする（Affective Computing）試みがある[98]。また、ニューラルネットワークを用いるAI深層学習は幅広い学術分野にまたがる生体等の複雑系(表情、感情、心理等を含む)の大規模モデルへの適用が可能で、計算能力の拡大とともに、因果のわかるアルゴリズム等が用いられ因子の明確化が可能となった[99]。音楽、楽器、作曲に対する芸術的、創生的追求とその生体(生理、心理、脳)に対する影響への科学的アプローチは近年試みられるようになっており、その分野は複合領域としてその体系化が求められている[100,101,102,103,104]。

加えて、音響技術は芸術領域、とりわけ音楽分野においても本質的な役割を果たしている。従来の音楽制作や演奏における音響技術は、録音、再生、音場設計といった支援的機能にとどまっていたが、近年ではこれらが創作そのものに深く関与するようになっている。すなわち、音響信号処理やAI技術の進展により、作曲・編曲・演奏・

評価の各過程が計算論的に拡張され、新たな芸術表現を創出する基盤となりつつある[105]。

例えば、音響特徴量の抽出や統計的モデル化に基づく音楽分析は、楽曲構造や音楽的文脈の理解を支援するだけでなく、創作支援や自動作曲システムの実現にも寄与している[105]。また、深層学習を用いた音楽生成技術は、作曲スタイルの学習や即興生成を可能とし、人間と AI の協調的創作という新たな芸術形態を生み出している[106]。さらに、演奏時の音響フィードバックをリアルタイムで制御する技術や、演奏者の身体動作や生体信号を音響に結び付けるインタラクティブシステムは、演奏行為そのものを拡張する試みとして注目される[107]。

加えて、建築音響や音場制御技術は、コンサートホールや劇場空間における音響体験の設計において不可欠であり、空間そのものを含めた芸術表現の質を規定する要素となっている[108]。近年では、バーチャルリアリティや拡張現実と連動した音響提示技術により、物理的制約を超えた音楽体験の設計も可能となり、鑑賞者の没入感や情動反応を計算的に設計する研究が進展している[28]。

このように、音響技術は単なる再現・伝達手段を超え、芸術表現の生成・拡張・評価に関与する基盤技術として位置付けられる。今後は、音楽理論や芸術学と、音響工学・AI・脳科学を統合した枠組みにより、創造性や感性の定量化と設計が可能となることが期待される。この方向性は、新たな音響学における「人間中心設計」の重要な柱の一つである。

(4) 予防医学、音楽療法

音響による健康保全や予防医学への効果、音響による生体へのストレス回避のアプローチは、身体的な不調や心の働きを含めた生体反応データベースの分析とスコーピングが主体であり、最近は、データに対する AI 分析による支援システムへの試みも活発である[36,47]。しかし、予防医学としては、PHR(Personal Health Record)の整備によるデータベース構築は緒に就いたばかりである。データ群の AI 制御モデルと解析的数理モデルによる生体・環境・音響モデルの構築によるデジタルツインが提案されている[109]。

音楽療法[39,40]は、高齢社会での認知症に対する効果も含めて、有効な事例がいくつか報告されているが、その寄与を明確にするテクノロジーは少ない。また、生体への音響学の影響の科学的検討としては、脳科学の分野での計測値と療法等との統計学的研究、AI 学習による評価指数の数値モデル化などが提案されている[99,110,111,112]。子供、特に乳幼児期では、聴覚情報処理能力が十分でないため、保育の音環境には課題が多くあり、多角的取組が求められている[113,114]。さらに、児童青年期での教育現場や最近の成人・学生のリモートワーク、オフィスでのストレスに対しても、音環境の影響が注目される事例があるが、多角的で体系的なアプローチは少ない[115]。

(5)社会システム、環境、都市計画、VR

社会学面では、都市空間等の統計学的な生体、都市・住宅環境の挙動に関する数理モデルの構築と数値シミュレーションが行われている。

交通騒音予測は、都市環境空間において移動を含む音源モデルを用いるマルチエージェントシミュレーションが行われている。さらに、都市空間における環境音の聴感モニターによる因子分析が統計学的手法で導入されている[116,117,118]。

最近では、サイバーフィジカル空間としての社会空間の構築がスマートシティ等のプロジェクトとして、社会導入の試行が加速している。スマートフォン、タウンカメラ等に代表される IoT によるデータ群の蓄積、活用が進みつつあり、社会システムの可視化シミュレーションの活用が推進されている[119]。

日本においては高齢化が一段と進み、人口当たりの認知症発生率は世界の中でも高く、重要な課題である[120,121]。認知症の予防・ケアにおける音環境やコミュニケーションの役割が注目されており、個人レベルでの研究とともに、社会生活でのコミュニケーションが大きく寄与する。実体験だけでなく、バーチャルリアリティによる疑似体験を含む社会での高齢者の交流モデルの検討が進みつつある[122,123,124]。

また、近年のバーチャルリアリティ（VR）及び拡張現実（AR）技術の進展は、音響と視覚の統合による新たな社会環境設計の可能性を大きく広げている。従来の音環境設計が物理空間の制約に強く依存していたのに対し、VR 技術の導入により、視覚・聴覚を統合した仮想空間において音環境を設計・評価することが可能となっている[125,126]。

特に、空間音響技術と視覚提示の同期は、没入感（プレゼンス）を向上させる重要な要素であり、仮想環境における体験の質を規定する[108]。このようなマルチモーダル統合環境は、エンターテインメントにとどまらず、ストレス低減や心理的回復といった well-being への直接的応用が期待されている。

例えば、自然環境の映像と環境音を組み合わせた VR コンテンツは、注意回復やリラクゼーション効果をもたらすことが報告されており、都市生活における精神的負荷の低減手段として注目されている[28]。また、医療・福祉分野においては、音響と視覚を統合した仮想体験が認知機能の維持や情動安定に寄与する可能性が示されている[127]。

さらに、スマートシティに代表されるサイバーフィジカルシステムにおいては、実空間の音環境データと仮想空間のシミュレーションを統合することで、都市環境設計の高度化が可能となる。すなわち、都市音環境をデジタルツインとして再現し、その上で視覚・聴覚統合型の仮想環境評価を行うことで、快適性や健康影響を事前に予測する新しい設計手法が期待される[128]。

このように、視覚と聴覚を統合したバーチャルリアリティ技術は、個人の感性や心理への作用にとどまらず、都市・社会システム全体の設計においても重要な役割を担う。新たな音響学においては、これらの技術を基盤として、人間中心の well-being を実現する環境設計が重要な研究課題となる。

４　新たな音響学創成のための分野連携

製造業は我が国 GDP の２割弱を占めており[129]、我が国の産業構造を支える業界である。我が国の強みであるものづくり産業が、サイバーフィジカル技術を牽引しつつ、ハイパフォーマンスコンピューティング技術や生命科学・芸術・社会科学と連携して、発展させることができれば、Society 5.0 を実現し、真に豊かな社会に向けた新時代の産業を、ものづくり産業のみならず、社会・芸術・医療の全ての分野において創出し、我が国から世界に展開できると期待される。その一環として、新しい音響学の持つ付加価値創生による役割は大きい。

以下に、そのような連携の代表的な例を挙げる。世界での音響学などに関する科学技術の動向[48,49,50,51,52,53,54]でも、研究トピックの継続(音響基盤領域)は維持しているものの、新規(複合領域)では、諸外国に後れを取っている。また、科学から技術へのバランスの移動が続いており、研究者の伸びは他の主要国と比べて小さい傾向は音響学にも影響が及ぶものと考えられる。音響・振動分野は世界のトップクラスを維持しているものの、従来研究の深化より、より新しい、付加価値の大きい、魅力的な複合分野での連携が重要である。以下の例などの深化・拡張が求められる。（図１参照）

(1) 音響と心理学、感性、芸術分野の連携

我々の生活の中には、情報伝達音、環境音、音楽として、多くの音響が密度濃く浸透している。音楽や放送等による音響のビジネスだけでなく、生活環境音の改善、音響の癒し効果、音楽療法、さらに芸術の領域等まで音の付加価値に対してニーズが強まっている。その結果、音響の明解な認識だけでなく、well-being としての音響の俯瞰的研究が注目を浴びている[130]。 音環境の個人、社会への影響、特に音楽による脳への影響は大きく、知能、記憶力、心身制御、健康から協調性、社会性への影響、さらに脳の発育の重要な課題として注目されている[131]。欧米では、この横断的複合分野での研究や新指標の設定への動きが始まっている[132]。日本は、個別には優れた研究があるが俯瞰的な研究分野では後れている。

例えば、英国王立音楽大学の演奏科学センターでは、心理学・音楽学・工学・医学・教育学などの異分野協働型の「演奏科学」研究拠点を構築し、異なる視点から多分野の専門家が協働し研究を開始している[133]。演奏科学は、演奏者の微視的な身体挙動をバイオメカニクス的な手法で調査し、また発せられる音の変化を音響工学的に分析し、その関係を数理的に明らかにしようとするもので、こうした分野との協働により、楽器などの音源のモデル化や、より心地よい音の生成などをすすめることができる[134,135]。また、我が国でもムーンショット目標９において、音楽の効果を脳科学的に解明し次世代の感性を育むことを目指すプロジェクト[136]が 2022～2024 年に実施され、音楽・医学・心理学の分野融合による研究開発が取り組まれた。本報告は、これに加えて AI・デジタルツインを取り入れた包括的音響シミュレーションによるアプローチを目指すものである。

⑵ 音響と生理学・医学の連携

計算音響学で現在用いられている多くの手法は、耳からの聴覚に限定されており、その結果の数理的評価は、脳の反応に関する評価の一部に過ぎない。生体への観察による評価との関係を明らかにするには、音響に関する生体反応を知ることが重要であり、生体、脳との生理的、心理的検討の連携により、研究領域を広げる必要がある。さらに、音刺激が特定の遺伝子群の発現パターンの変容に与える影響を扱う等の DNA の研究も重要になるものと考える[137]。

すなわち、音響学と合わせて、医学領域での脳科学や健康、予防・回復期医学、各種治療支援等のミクロな面から、社会学の領域から生活社会環境音としてのマクロな面までの複数領域での検討が求められる。

宗教や医学との音楽の結びつきは古代から現代まで続いている。しかし、近代の医学は自然科学として独自に発達しており、音楽との連携を行うには、音楽による患者への治療的特性を客観的に明らかにするために、総合的(生理的、心理的、社会的)な働きの影響を明確にする必要がある。音楽療法は、音楽による心理療法ということができ、言葉を超える心と身体への影響が研究されてきたが、明確な見える化が難しい。日本では、特に知的障害者や認知症高齢者に対する音楽療法は多くの取組があるが、効果指標の確立、音楽方法の選択、施法最適化等を明確化し、医学的エビデンスに基づいて医療の中で活用される音楽療法である音響支援医療の構築を目指すべきである[138]。さらに、心地よい音、生理的に効果のある音など音響支援医療分野における研究成果や知見を取り入れることで、well-being の改善に向けた人間特性を考慮した音を備える製品の設計が可能になる。

⑶ 音響と環境・社会との連携

生体や社会構造に関して、適合するモデルの設定に当たり、明解な演繹的機能は把握が難しいものが多い。これらを含む計算音響学においては、包括的音響シミュレーションとして、HPC を活用するデジタルツインによる解析手法が有効である。すなわち、現在進行しつつあるサイバーフィジカルシステムの実現により、IoT により得られたリアルデータ群の AI によるデータの学習に基づくシミュレーションと従来の数理モデルシステムとの連携が重要となる[43]。

包括的音響シミュレーションにおいては、異なるアプローチが混在する学術分野を連携させ新領域を形成する際に、柔軟性のある計算学を両者の接着剤の役割として活用することができる。色々な分野で音響の効果は認められているが、説得力のある論理展開が難しい場合が多い。特に人間に関わる分野では、芸術としての独自の観点に基づき歩んでいるものも多い。しかし、自然界に広く分布し、生体にも深くかかわっている音響は、その働きは省エネルギー的であり、言語以上にユニバーサルであり、代替不可能な効果も多く紹介されている[138]。ここでは、振動・音響の理工学の演繹的シミュレーションと医学、社会等の科学的観察によるデータベースのアプローチを、計算音響学を介して融合して、音響をキーワードとして新しい成果を創出することを

試みる。数理モデルではモデル化が難しいものを AI データ制御モデルによるデータサイエンスのアプローチで補う、あるいは逆に、AI データ制御モデルでは物理的な説明が難しいところを数理モデルで補うという相互補完的な連携が有効であり、これによりモデルの高精度化が可能になる。

我が国では、因果の分かる機械学習技術を用いて、データの集合からその数理モデルを導く、従来型の解析スタイルの逆のアプローチを用いた研究が、進められている[99,112]。この研究の中で開発される数理モデルは、これまで数式モデルがないがために汎用的な解決が得られなかった人文社会やより多様な生命現象への波及効果も期待される。さらに、近年の生成 AI 技術の進展は、生成 AI 音楽のレベルから、音響データの合成、感性に基づいた音環境生成などのより高いレベルへのアプローチにより、音による情動調整もしくは情動誘導といった分野への応用の可能性も期待できる[26]。

そのためには、コンソーシアムの創設を手がかりとして、音響学に関する連携拠点を形成し、国内外の研究者と協働する体制を構築することができれば、世界的リーダーを目指すことができる。具体的には、まずは、ゼロカーボン化等の大変革が起きている交通音環境及び人口構成課題の幼児発育・認知症対応等への複合的な音響の生体影響や音楽支援療法等の研究を取り上げるべきである。

以上に挙げたような連携を実現するためには、包括的音響シミュレーション構築に加え、異なる分野を連携する観点から下記項目が必要となる。

1)複合分野でのリアルデータのデータベースの構築と連携

2)各分野でのセンシング方式のリアルタイム、ウェアラブル機能の充実(含、センサー装着時の違和感や生活パターンへの影響の排除、データ互換)

3)人体に関しては、個人情報の保護及び研究倫理上の要件を満たしたうえで、各分野ごとの倫理上の規定を遵守し、個人情報が特定されない状態でのデータ保全

4)AI 学習の演算速度及び推論能力の向上

ここで、1)は、異分野間のフォーマット変換、リアルタイム連携を含むデータベース構築[139]、2)は、互換性を有するストレスフリーな生体計測データ[140,141]と音や振動等の物理量との相互活用、3)は、人間工学研究における倫理基準の担保[142]とデータ保全等のガバナンスの構築[143]、4)は、複合領域での AI 利活用促進のため、超高速かつ省電力でリアルタイム推論を行う計算環境の構築[144]、これらの観点から、それぞれが必要とされる。

図１は、新たな音響学がどのような分野の連携から成り立つかを俯瞰的に図示したものである。

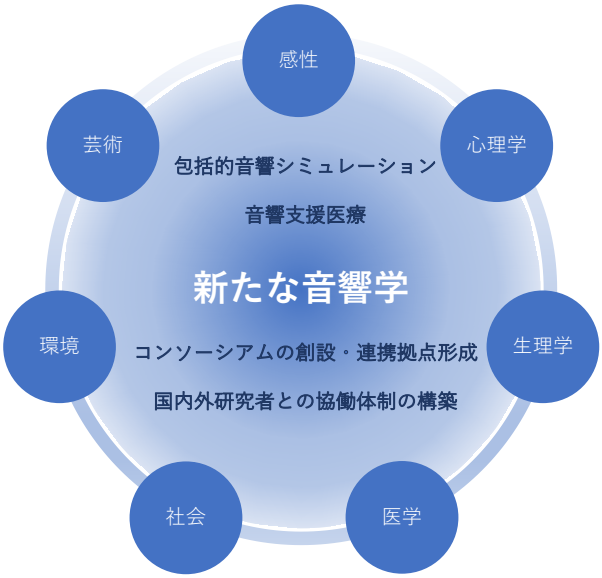


図１．新たな音響学創成のための分野連携

５　新たな音響学創成のための方策とその波及効果

計算科学シミュレーションと工学設計分科会では、上記の議論の結果として、以下のような意見を得た。

(1) 明確な国家的政策立案と施策

1)関連する産官学の機関は、工学・芸術・心理学・感性工学・生理学・医学・環境学などが融合した新たな音響学として、それを核とする包括的音響基盤の創出に向けた環境の整備を進めるべきである。

2)関連する産官学の機関は、この新たな音響学の創出における取組に関し、工学・芸術・心理学・感性工学・生理学・医学・環境学などを連携した科学技術のさらなる創出に展開していくべきである。

3)関連する産官学の機関は、我が国の工業製品のプレゼンス向上や人材育成についての政策を立案するにあたり、オープン科学時代に入った今、製品開発における視点の多角化として、Push 型から Pull 型(ユーザー目線)も包含し、付加価値創出のアプローチ推進を勘考すべきである。

これまで説明してきたように、音響学とその関連分野は、大きな変革の時を迎えている。一方、我が国の学術分野の国際的な位置付けは昨今大きく後退しており、文部科学省の科学技術・学術政策研究所[145]によれば、2018～20 年の年平均数で、引用数が上位10%に入る質の高い論文の数は 12 位であり、20 年前の４位、10 年前の６位からの下落傾向が続いている。本報告は、音響学を中心とした幅広い学際領域の学問基盤の強化を目指すものであり、これは、先に述べた学術分野の創出及び推進に資するものである。

本報告が示す方向性が国の政策や関連機関の取組に反映され、我が国の学術・産業分野の競争力向上につながることが期待される。本報告に関する、我が国の優位性や社会的な価値、SDGs への貢献などは以下のとおりである。

【国際的な我が国の優位性】我が国は世界トップクラスの音響性能をもつ製品を開発できる産業力がある。例えば、高性能で快適な音質の自動車、世界的な音楽再生システムブランド、国際コンクールで使われる楽器などである。特に、自動車関係は強力であり、電動化時代の自動車車内騒音を支配する風音の解析では、我が国の強みであるスーパーコンピュータ「富岳」による CFD(Computational Fluid Dynamics)を行っており、実車風洞での高度計測技術と組み合せて、世界トップレベルにある。

【社会的な価値・SDGs への貢献など】現在のグローバル化社会は、情報過多や価値観の違い等が干渉し複雑な多層構造を持ち、対応が難しい。そのため、人類の目標が、経済的利便社会だけでなく、人間性の確保、幸福度、健康度、安らぎ等へとシフトしている。本報告が目指す、横断的複合領域的な、人間の感受性を取り入れた音響学は、このような社会で重要な役割を果たす。

また、本報告の目指す新たな音響学は、学際的な多面的視点とそれらを包括する数理に支えられ、科学的知見として説得力をもつ（知的価値）。また、新たなコンソーシアムの目指すサイバーフィジカル技術は、経済的利便性と well-being を考慮しており、人類が抱える様々な大きな課題を解決（国民の理解）するイノベーションを創出する（経済的・産業的価値）。

音響による情報伝達は言語の壁を取り除きコミュニケーションのユニバーサル化につながることが期待される[96,146]。音楽によるコミュニケーションは、生育において協調性、社会性を増強させ、パートナーシップ、平和と公平、不平等の回避等につながると言われている[147,148]。また、音楽による脳の活性化は、音響支援医療や認知症への効用が期待され、健康と福祉に貢献する（SDGs への貢献）[149]。

⑵ 長期的研究体制と産官学連携によるコンソーシアムの創設

1）音響学の他、工学・芸術・心理学・感性工学・生理学・医学・環境学などの分野において、それらを個々に深化させつつ、それらの融合研究に向けた、個人や組織の属する領域を超えた有機的な連携をするコンソーシアムを創設し、長期的な研究体制を構築すべきである。

2）革新的 HPCI(High Performance Computing Infrastructure) においては、これらの分野を連携した音響学に関する、永続的かつ学際的な研究開発組織を構築すべきである。

【音響環境に関する新たなコンソーシアムの考え方】

このコンソーシアムの創設は、これらの課題を解決する下地となるものである。

まず、工学・芸術・心理学・感性工学・生理学・医学・環境学などを融合した音響学の研究を推進するためには、関連する研究者が適宜コミュニケーションを取り、連携して研究開発を進める必要がある。また、コンソーシアムに海外との連携も加えれば、組織の壁を越えた国際的な協力体制を構築することができる。その際、文化的背景による感性の差異を考慮し、我が国の強みを活かした技術が構築されるよう留意する必要がある。

⑶ 人材育成

1）大学等の高等教育機関においては、音響学を核として専門性を高めながら、工学・芸術・心理学・感性工学・生理学・医学・環境学など関連領域の専門家の講義を受講し、卒業研究などの研究段階で関連分野の研究室とも連携できるカリキュラムをデザインすべきである。

2）音や振動といった物理量を物理現象として定量評価する従来のコンピュータシミュレーションを基軸とするが[150,151]、人間に与える影響までを考慮する人間中心の視点を教育課程において習得させるべきである。

文理融合研究や分野横断型アプローチの重要性は、以前から指摘されている一方、現在のところ、実際に連携が進んでいるのは一部の研究分野に限られる。音響は、工学・芸術・心理学・感性工学・生理学・医学・環境学などが自然に連携する分野であり、幅広い研究分野からなる文理融合研究・分野横断型アプローチによるイノベーションの創出が期待される。音響分野での連携手法は、他分野にも応用可能であり、これを教材とした分野横断型人材の育成カリキュラムの構築が望まれる。

また、今後は製造者と消費者の距離が縮まっていくことが想定され、シミュレーションを活用した消費者から製造者へのフィードバックが進むと予想される。それを可能とするためには、シミュレーション技術の教育も必要である。実際、現在も、義務教育へのプログラミングの導入は進んでいるが、その際、活用法を併せて学ぶことが、教育効果上、極めて重要である。そのため、単純にプログラムの書き方を教えるにとどまらず、その活用方法であるシミュレーション手法の教育も行われるべきである。

(4) 学術領域の創成

以下、上記５(1)～(3)までで述べた活動の結果として期待される成果・展開について述べる。まず、新たな音響学とそれを支えるシミュレーション技術の創出によって、人文・社会科学、生命科学、理学・工学などが連携した、新たな研究領域創出が期待される。具体的には、例えば、以下のような新たな研究領域が期待できる。

１）音響と心理学、感性、芸術分野の連携領域

音が人間に与える心理的な影響を基本として、感性や芸術分野まで幅広く取り扱う。以下のような項目を扱う研究領域が挙げられる。

(a) 機械や自然界の音や振動が人体に与える心理的影響
(b) 機械製品の持つ音響特性と感性評価
(c) 音楽音響が人体に与える心理的影響と芸術性
(d) 音(振動)の物理特性と心理・感性的影響の因果関係
(e) 画像／映像／VR などの画像系分野と音声・音響分野の融合

２）音響と生理学・医学の連携領域

音が人間に与える生理的な影響を基本として、医学・医療までを含めた連携を考える。以下のような項目を扱う研究領域が挙げられる。

(a) 音響の生理量・脳活動に対する影響
(b) 音響や音楽が持つ医療的な効果（音響支援医療）
(c) 音(振動)の物理特性と生理的・医学的影響の因果関係

３）音響と環境・社会との連携領域

音が環境に与える影響を基本として、広く社会への影響を取扱う。以下のような項目

を扱う研究領域が挙げられる。

(a) サウンドスケープによる音環境の評価と設計
(b) 交通による振動騒音と住環境の評価（法規制と関連）
(c) 音振動環境と健康影響（疫学的調査を含む）
(d) 高速インターネット等を用いる臨場感のあるリアルタイム音響共有の検討
（→３項(1)①３)）も参照）

(5) コンソーシアムの創設と期待される成果

提案するコンソーシアムにおいては、まず、我が国の強みであるものづくり関係の音響技術を活かしながら、他の研究を牽引しつつ、学際的な研究へと発展させる。さらに、前項で挙げた新たに創出される研究領域における進展が付け加えられることにより、多様なイノベーションの創出を目指し、国際会議やフォーラムの開催により、その成果を発信する。

成果の社会への還元については、成果をこのコンソーシアムにストックしてゆくとともに、透明性を持たせながら社会に還元させる。また、参加者がシミュレーション・計測により得た基本的なデータは原則、データベースに登録し公開し、オープンデータ化を推進する。また、音楽、楽器、人体振動、環境騒音、輸送機器振動騒音などのデータについても、可能な限り、必要とされる研究開発機関に提供されるよう配慮する。

これを実現するためには、データへのアクセシビリティを確保する手段を提供することが望ましい。例えば、オープンソースソフトウェアの開発等において、近年はGitHubに代表されるオープンソースプロジェクトの開発を支えるウェブプラットフォームが有効に活用されている。複数の研究機関における連携を推進するためには、研究プロジェクトの管理、研究データのバージョン管理やアップデート状況の可視化など、プロジェクトを推進するための有効なツールとなり得る。コンソーシアムでは、このようなツールを有効活用し、研究者間で円滑に基本的な研究データや研究成果を共有し、円滑な分野連携が図られることを推奨する。

音響環境に関する新たなコンソーシアムにおいては、新しい分野の構築が求められるため、柔軟な発想をもつ、ダイバーシティに富んだ人員構成とすべきである。また、コンソーシアムを構成する研究者に対する教育カリキュラムを用意し、各研究者も幅広い見識が得られるように配慮する。これにより、学際的研究の成果を広く国内に普及させ、我が国の研究能力を向上させる。

＜用語の説明＞

1］包括的音響シミュレーション

環境まで含む音や振動などの物理量を評価する従来のコンピュータシミュレーションに加え、受け手となる生体(人など)への影響などのモデル化(AI学習モデルなどを含む)を複合する包括的なシミュレーションである。従来の物理量に加え、人間の感覚・特性・感性などをパラメータとして音響を複合的に評価し、最適化に向けた提案を得ることをねらいとする。

2］音響支援医療

従来の音楽療法などでは明確でなかった音響による医学への支援に対して、音響支援の科学的アプローチを行い深化させ、音響支援による医療技術としての活用の可能性を明確にするものである。

3］新たな音響学

従来の音響学では、音響の物理現象と生体(人など)への影響の一面を評価することはできていたが、その評価の深化や生体の多面的評価を統合評価することはこれからの課題である。音響学を、心理学・感性工学・生理学などの幅広い側面から捉え、さらには感情や芸術的表現、環境などの社会的観点などを加え、音を核とする新たな学際研究として提案する音響学。

4］多様な幸せ(well-being)

第６期科学技術・イノベーション基本計画では、我が国が目指すべき Society 5.0 の未来社会像を、「持続可能性と強靭性を備え、国民の安全と安心を確保するとともに、一人ひとりが多様な幸せ（well-being）を実現できる社会」と表現している。このように、単なる富の追求ではない、新たな価値観としての多様な幸せ(well-being)が示されており、これと同義として用いている。

5］人間中心設計[152]

第５期科学技術基本計画において提唱された Society 5.0 では、サイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を融合させ、ビッグデータを踏まえた AI やロボット技術の活用により、一人一人の人間が中心となる社会実現を目指すと述べられている。人間に対する価値を向上させることを重視するこの考え方を「人間中心設計」としている。

6］HPC 及び HPCI

HPC（High Performance Computing)[153]は、大規模かつ複雑なデータを高速に処理するコンピュータの機能やシステムを示す。具体的には、複数のコンピュータ等をネットワークで接続し、並列処理を行う AI や IoT、ビッグデータ等の解法ニーズへの適用を期待されている。さらに、HPCI(High Performance Computing Infrastructure)[154]は、スーパーコンピ

ュータ「富岳」を中心に国内の大学や研究機関の HPC 群を連結した共用計算環境基盤である。

7] IoT

IoT(Internet of Things)[155]は、身の回りの様々なモノの状態の情報授受をインターネットを介して処理するシステムを表す。状態監視[156]、自動認識[157]、遠隔操作等の応用が可能である。

8] サイバーフィジカルシステム

サイバーフィジカルシステム[158,159]は、センサー、アクチュエーター、組み込みシステム等を含むフィジカル(現実)空間を、サイバー(デジタル情報仮想)空間とリアルタイムで融合させ、その最適化を目指すシステムである。

9] デジタルツイン[160]

デジタルツインは、IoT 機器などを介して現実空間の情報を取得し、サイバー空間内に現実空間の環境を再現することであり、ブラックボックスを持つ現象解析や未知未来の予測等に用いられる。

10] IIC

IIC(Industrial Internet Consortium)[161]は、産業技術分野の IoT 技術の普及と開発を推進する世界的な非営利団体を示す。

11] メタバース

メタバース(Metaverse)[162]は、仮想空間上に自分のアバター(分身)を介して、仮想体験や活動を可能とするシステムである。

＜参考文献＞

[1] 萩原 一郎, 計算科学における夢・ロードマップ, 学術の動向, 19 巻 10 号, pp.12-17, 2014. https://doi.org/10.5363/tits.19.10_12

[2] 橋口 真宜, 佟 立柱, 米 大海, 次世代を担う人のためのマルチフィジックス有限要素解析, 近代科学社, 2022 https://www.kindaikagaku.co.jp/book_list/detail/9784764960312/

[3] 山本 透, 脇谷 伸, 原田 靖裕, 香川 直己, 足立 智彦, 沖 俊任, 原田 真悟, 実習で学ぶ モデルベース開発: 「モデル」を共通言語とする V 字開発プロセス, コロナ社, 2023 https://www.coronasha.co.jp/np/isbn/9784339046830/

[4] Jetro: インダストリアル・インターネット・コンソーシアム (IIC) の活動状況、2021 https://www.jetro.go.jp/world/reports/2021/02/ed2b5f3d1764dc9d.html

[5] Ling Li, China's manufacturing locus in 2025: With a comparison of "Made-in-China2025" and "Industry 4.0", Technological Forecasting and Social Change, 135 (2018) pp. 66-74. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.05.028

[6] Run Zhao, Exploring a New Lean Operation Model for Chinese Manufacturing Enterprises by Comparing Major "Industry 4.0" Strategies, 日本情報経営学会誌, 38, pp. 54-61, 2018. https://doi.org/10.20627/jsim.38.1_54

[7] 岩本 晃一, インダストリー4.0-ドイツ第 4 次産業革命が与えるインパクト, 日刊工業新聞社, 2015 https://pub.nikkan.co.jp/book/b10021129.html

[8] 尾木 蔵人, 決定版 インダストリー4.0 -第 4 次産業革命の全貌, 東洋経済新報社, 2015 https://www.gov-book.or.jp/book/detail.php?product_id=298301

[9] コンスタンツェ・クルツ, フランク・リーガー, 木本 栄(訳), 無人化と労働の未来-インダストリー4.0 の現場を行く, 岩波書店, 2018 https://www.iwanami.co.jp/book/b378353.html

[10] 戸井 武司, 脱炭素社会における生活空間のサウンドスケープ, 日本音響学会誌, 79 巻 2 号, pp.94-99, 2023. https://doi.org/10.20697/jasj.79.2_94

[11] 萩原 一郎, 応用数理の遊歩道(105) 第 2 回「騒音振動・最適化シミュレーション」, 応用数理, 2021, 31 巻 2 号, pp. 34-37. https://doi.org/10.11540/bjsiam.31.2_34

[12] 基幹産業としての自動車製造業, 一般社団法人 日本自動車工業会, https://www.jama.or.jp/statistics/facts/industry/

[13] Deallab: 楽器業界の世界市場シェアの分析、2025、ディールラボ web: https://deallab.info/music-instruments/

[14] 山内 勝也, 次世代自動車の静音性による新しい音デザイン課題の展望, 日本音響学会誌 73 巻 1 号, pp.21-24, 2017. https://doi.org/10.20697/jasj.73.1_21

[15] 柴橋 和真, 金澤 立哉, 田辺 総一郎, 戸井 武司, EV パワートレインノイズ知覚に基づく車室内暗騒音のサウンドデザイン, 自動車技術会論文集, 54 巻 2 号, pp.278-283, 2023. https://doi.org/10.11351/jsaeronbun.54.278

[16] 浅川 香, 矢野 敦仁, 木村 勝, 片平 建史, 山﨑 陽一, 長田 典子, 車室内エンジン加速音及び定速走行音の聴取時における感情評価の個人特性, 日本音響学会誌, 77 巻 11 号, pp. 694-697, 2021. https://doi.org/10.20697/jasj.77.11_694

[17] 有光 哲彦, 岡崎 啓吾, 戸井 武司, 音環境及び色環境の複合刺激が体感温度に及ぼす影響の評価,日本音響学会誌, 71 巻 6 号, pp.267-275, 2015. https://doi.org/10.20697/jasj.71.6_267

[18] 山口 雅夫, 渡邊 泰英, 前田 修, 大久保 信行, 戸井 武司, 視聴覚情報および運

転意志を考慮したEV 走行音の印象変化，自動車技術会論文集，45 巻，5 号，p. 859-864，2014，https://doi.org/10.11351/jsaeronbun.45.859
[19] 朝倉 巧，聴感実験における視覚情報の影響，日本音響学会誌，74 巻 12 号，655-662，2018. https://doi.org/10.20697/jasj.74.12_655
[20] H. Fastl，Audio-visual interactions in loudness evaluation，Proc. 18th Int. Cong. Acoust.，pp. 1-6，2004. https://mediatum.ub.tum.de/doc/1138383/152725.pdf
[21] 五十嵐 啓紘，戸井 武司，変速音と変速ショックおよび変速操作力の感性調和設計に基づく変速操作感の創生，自動車技術会論文集，55 巻 3 号，pp.442-448，2024. https://doi.org/10.11351/jsaeronbun.55.442
[22] 大島 遥汰，麻生 海，田辺 総一郎，戸井 武司，音響マルチパラメータを用いたニューラルネットワークによる自動車走行音の特徴量抽出，自動車技術会論文集，56 巻 2 号，339-345，2025. https://doi.org/10.11351/jsaeronbun.56.339
[23] 吉川 岳，ニューラルネットワークによる列車走行音からの線路内異常検知手法，電気学会論文誌D，142 巻 10 号，pp.752-761，2022. https://doi.org/10.1541/ieejias.142.752
[24] Jin S. Seo； A Focused Survey of Generative AI-Based Music Therapy Systems: Recent Progress and Open Challenges，Applied Sciences (MDPI)，16(9)，4120，2026. https://www.mdpi.com/2076-3417/16/9/4120
[25] Stowell D. 2022. Computational bioacoustics with deep learning: a review and roadmap. PeerJ 10:e13152 https://doi.org/10.7717/peerj.13152
[26] Li F，Zhang C，Liu C，Jia H and Wang Z (2026) AI-driven proactive music therapy in the era of digital mental health. Front. Psychol. 17:1832950. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2026.1832950
[27] 難波 精一郎，桑野 園子，音の評価のための心理学的測定法，コロナ社，東京 (1998) https://www.coronasha.co.jp/np/isbn/9784339011043/
[28] 岩宮 眞一郎，音楽と映像のマルチモーダル・コミュニケーション，九州大学出版，福岡(2011) https://kup.or.jp/booklist/hu/art/978-4-7985-0059-1.html
[29] 川上 央，フランス国立音楽音響研究所(IRCAM)における音のデザイン活動の紹介，日本音響学会誌，68 巻 1 号，pp.43-48，2012. https://doi.org/10.20697/jasj.68.1_43
[30] 横島 潤紀，森長 誠，欧州地域向け環境騒音ガイドライン(2018)の解説，日本音響学会誌 77 巻 2 号，pp.135-142，2021. https://doi.org/10.20697/jasj.77.2_135
[31] 令和 4 年版情報通信白書，総務省，https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r04/pdf/index.html
[32] 永野 博,インダストリー4.0 は何の革命か，ビッグデータ，オープンデータの動きと軌を一にする社会システム革命の始まり，情報管理 59 (3)，147-155，2016. https://doi.org/10.1241/johokanri.59.147
[33] 長島 聡，日本型インダストリー4.0，日本経済新聞出版社，2015 https://bookplus.nikkei.com/atcl/catalog/2015/9784532320355/
[34] 中嶋 聖雄ほか編，「100 年に一度の変革期」を迎えた自動車産業の現状と課題，早稲田大学自動車部品産業研究所叢書，柘植書房新社，2019 https://tsugeshobo.com/modules/books/index.php?lid=115
[35] ＜特集＞未来社会を共創する自動車技術，会誌「自動車技術」，2022 年 10 月号 https://www.jsae.or.jp/news/detail/949/
[36] 岸田 文，江頭 優佳，レジリエンス研究とストレスの客観的計測法，日本生理人類

学会誌 28 巻 1 号 pp. 10-16, 2023. https://doi.org/10.20718/jjpa.28.1_10
[37] 伊藤 英則, 個人身体信号から癒しの映像・音楽を生成するシステム, 人工知能学会誌 23 巻 3 号, 2008. https://doi.org/10.11517/jjsai.23.3_334
[38] 岩永 誠, 森 数馬, 音楽と自律神経系活動の関係：音楽への反応と心臓血管系反応の測定法, 音楽知覚認知研究 Journal of Music Perception and Cognition 23 巻 1 号, pp. 57-68, 2017. https://doi.org/10.32199/jsmpc.23.1_57
[39] 星野 悦子, 音楽療法とは何か: 音楽の根源に備わる多様な力の利用, 日本音響学会誌, 64 巻 8 号, pp. 468-474, 2008. https://doi.org/10.20697/jasj.64.8_468
[40] 中嶋 麻菜, 海老原 直邦, 西条 寿夫, 大平 英樹, 音楽のストレス解消効果について -心理的指標および生理的ストレス指標による検討-, 人間環境学研究, 11 巻 1 号, pp. 19-25, 2013. https://doi.org/10.4189/shes.11.19
[41] R. Zaheer, I. Ahmad, D. Habibi, K. Y. Islam and Q. V. Phung, A Survey on Artificial Intelligence-Based Acoustic Source Identification, in IEEE Access, vol. 11, pp. 60078-60108, 2023, https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3283982
[42] Meng, Yiping & Sun, Yiming. (2025). From Biometrics to Environmental Control: AI-Enhanced Digital Twins for Personalized Health Interventions in Healing Landscapes. https://doi.org/10.48550/arXiv.2505.06263.
[43] Karniadakis, G.E., Kevrekidis, I.G., Lu, L. et al. Physics-informed machine learning. Nat Rev Phys 3, 422-440 (2021). https://doi.org/10.1038/s42254-021-00314-5
[44] Brockmann-Bauser M. How Well Will AI Help Recognize Voice Disorders? A State-of-the-art Review of Current Acoustic Assessment Strategies and Future Applications. World J Otorhinolaryngol Head Neck Surg. 2025 Apr 8;11(4):518-523. https://doi.org/10.1002/wjo2.70015. PMID: 41477130; PMCID: PMC12753194.
[45] 平成 30 年 情報通信白書, 総務省 https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h30/html/nd111350.html
[46] 調査報告書, デジタルツインに関する国内外の研究開発動向, 研究開発戦略センター, 科学技術振興機構, 2021 https://www.jst.go.jp/crds/pdf/2021/RR/CRDS-FY2021-RR-09.pdf
[47] 木下 翔太郎, デジタルツイン技術の医療・健康分野における応用可能性と倫理的・法的・ 社会的課題 (ELSI) , 総務省 学術雑誌「情報通信政策研究」6 巻 1 号 pp.89-109, 2022. https://doi.org/10.24798/jicp.6.1_89
[48] 文部科学省科学技術・学術政策研究所: 科学技術指標 2026、NISTEP REPORT No.212, DOI: https://doi.org/10.15108/nr212
[49] Andy W. L. Chung , Wai Ming To : Mapping Soundscape Research: Authors, Institutions, and Collaboration Networks, Acoustics2025, 7(2), 38;https://doi.org/10.3390/acoustics7020038.
[50] Meiqi Zhang, Fang Li, Dongyu Wang, Xiaohong Ba, Zhan Liu : Mapping Research Trends from 20 Years of Publications in Rhythmic Auditory Stimulation,2022. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9819413/
[51] Koehler, F., Anglada-Tort, M., Silverman, M. J., Abbazio, J., Riegelman, A., & Saarikallio, S.: Research Trends in Music and Health in the Last 50 Years: A Bibliometric Analysis, Musicae Scientiae, 2026, https://doi.org/10.1177/20592043261484139
[52] Eleanor Ratcliffe: Sound and Soundscape in Restorative Natural Environments:

A Narrative Literature Review,2021, Frontiers in Psychology, https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.570563
[53] Dick Botteldooren, Tjeerd Andringa: Soundscape of European Cities and Landscapes: Understanding and Exchanging, WG1, COST Action TD0804, : Soundscape of European Cities and Landscapes, 2009-2013. https://www.cost.eu/actions/TD0804/#tabs|Name:parties
[54] Jian Kang, Francesco Aletta, Tin Oberman, Andrew Mitchell, Mercede Erfanian: On the Development of Soundscape Indices(SSID), ERC Advanced Grant (Grant No. 740696). https://api.semanticscholar.org/CorpusID:267366581
[55] 主要な音響処理技術一覧（東京電機大学音響処理研究室資料） https://www.kanedayyy.jp/asp/asp_ovview01.html
[56] 柏野 邦夫，小特集「音環境理解の近年の動向」にあたって，日本音響学会誌，75巻9号，pp. 510-511，2019. https://doi.org/10.20697/jasj.75.9_510
[57] 澤田 宏，荒木 章子，牧野 昭二，音源分離技術の最新動向，電子情報通信学会誌，91(4)，pp. 292-296，2008 https://www.journal.ieice.org/summary.php?id=k91_4_292&year=2008&lang=J
[58] 情報通信研究機構（NICT）ワイヤレスネットワーク研究センター ワイヤレスシステム研究室，低遅延・多数接続ワイヤレス（STABLE），2023 https://www2.nict.go.jp/wslab/pj_stable.html
[59] S. Kikiuchi et al., Region separation control for broadband sounds by multiple sources, Proc. of the 24th ICA2022, ABS-0133 (2022) (https://kyushu-u.elsevierpure.com/en/publications/region-separation-control-for-broadband-sounds-by-multiple-source-2/ にて概要参照可)
[60] 大山 英明ほか，体験共有における投射について，人工知能学会全国大会論文集，第32回，2018 https://doi.org/10.11517/pjsai.JSAI2018.0_3D2OS7b01
[61] M. Ishihama, I. Satoh, T. Yamashita: Road Noise Improvement Method Using Acoustic Power Flow Excitation in a Passenger Compartment, Proceedings of JSAE autumn conference, a181203 (2018) https://tech.jsae.or.jp/paperinfo/en/content/p201802.046/
[62] M. Ishihama, T. Kagaya, J. Wachi, Y. Komagamine: Analysis of Tire Noise Generation Mechanism Based on Tire Surface Shape Scanning and FEM Modeling, Outstanding Paper at FISITA 2014, F2014-NVH-051 (2014) https://go.fisita.com/store/papers/FISITA2014/F2014-NVH-051
[63] W. Desmet, et. al.: CAE Methodologies for Mid-Frequency Analysis in Vibration and Acoustics, Katholieke Universiteit Leuven, ISBN 978-94-6018-523-6 (2012) https://cordis.europa.eu/project/id/214909/reporting
[64] P.J. Shorter, B.K. Gardner, P.G. Bremner: A Review of Mid-Frequency Methods for Automotive Structure-Borne Noise, SAE Transactions, Vol. 112, Section 6, pp.1610-1616 (2003) https://doi.org/10.4271/2003-01-1442
[65] M. Ishihama: A Study on Vibration Transmission Through Body Structure Causing Road Noise by Considering Warping and Shear Center Location, Proceedings of JSAE autumn conference, a211070 (2021) https://tech.jsae.or.jp/paperinfo/en/content/p202102.163/
[66] M. Ishihama: Trochoidal Curve Representation of Tire Rolling Motion as The Basis of Tire Vibration Analysis. Proceedings of JSAE 2022 Spring Congress,

S221003 (2022) https://tech.jsae.or.jp/paperinfo/en/content/p202201.141/
[67] Y. Nakajima: Advanced Tire Mechanics, Springer ISBN 978-981-13-5798-5 (2019) https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-13-5799-2
[68] J. F. Doyle: Wave Propagation in Structures, Chapter 8, Springer ISBN 978-3-030-59678-1 (2020) https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-59679-8
[69] M. Heckl, Tyre Noise Generation, Wear, Vol. 113, pp 157-170 (1986). https://doi.org/10.1016/0043-1648(86)90065-7
[70] H. Tanaka, et. al.: Prediction of the friction coefficient of filled rubber sliding on dry and wet surfaces with self-affine large roughness, Mechanical Engineering Journal Vol.3 No.1 (2016). https://doi.org/10.1299/mej.15-00084
[71] T. Kuraishi, K. Takizawa, T. E. Tezduyar: Tire aerodynamics with actual tire geometry, road contact and tire deformation, Computational Mechanics, Vol.63, pp. 1165-1185 (2019). https://doi.org/10.1007/s00466-018-1642-1
[72] 岡村 宏, 林田 興明, ダイナミックシンキング CAE : 機能から構造へのシンセシス, Dynamics & Design Conference 日本機械学会, No. 528, 2004 https://doi.org/10.1299/jsmedmc.2004._528-1_
[73] 村田 和宏, 三山 壮, 村山 誠英, 中村 弘毅, 中満 翼, 川端 直人, 山崎 徹, 振動騒音低減のための二段階設計法の実験的検証, 自動車技術会論文集, 50 巻 3 号 pp. 810-815, 2019. https://doi.org/10.11351/jsaeronbun.50.810
[74] 村上 裕哉, 山本 広太, 工藤 彰洋, 武居 周, 時間領域並列有限要素法に基づく大規模音響解析, 日本シミュレーション学会論文誌, 10 巻 4 号, pp. 89-98, 2018. https://doi.org/10.11308/tjsst.10.89
[75] 奥園 健, 大鶴 徹, 岡本 則子, 富来 礼次, 反復解法を適用した時間領域有限要素法による室内音場解析, 日本建築学会環境系論文集, 73 巻 628 号, pp. 701-706, 2008. https://doi.org/10.3130/aije.73.701
[76] スパコン (HPCI) 利用事例の紹介, https://fugaku100kei.jp/cases/.
[77] 土屋 隆生, 音場シミュレーションと音空間レンダリング, 電子情報通信学会 基礎・境界ソサイエティ Fundamentals Review, Vol.10, No.3, pp.206-218, 2017, https://doi.org/10.1587/essfr.10.3_206
[78] 鹿野 洋, 横山 栄, 坂本 慎一, 笹岡 岳陽, 波頭 伸哉, 3 次元 FDTD 法による車室内音場解析ー拡張作用境界モデルの適用, 生産研究, 63 巻, 2 号, pp.235-240, 2011, https://doi.org/10.11188/seisankenkyu.63.235
[79] 千藤 雄樹, 工藤 祥典, 柏 達也, 大谷 忠生, 高精度３次元音場解析のための FDTD(2,4)法, 電子情報通信学会論文誌 A, J85-A, No. 8, pp. 833-839, 2002 https://cir.nii.ac.jp/crid/1050564288761702528
[80] 仁科 エミ, 大橋 力, ハイパーソニック・エフェクトを応用した市街地音環境の改善とその生理・心理的効果の検討, 都市計画論文集, No.42-3, pp.139-144, 2007, https://doi.org/10.11361/journalcpij.42.3.139
[81] T. Yoshida, T. Okuzono, K. Sakagami: A Parallel Dissipation-Free and Dispersion-Optimized Explicit Time-Domain FEM for Large-Scale Room Acoustics Simulation. Buildings, Vol. 12, 105 (2022). https://doi.org/10.3390/buildings12020105
[82] 金井 良太;身体的能力と知覚能力の拡張による身体の制約からの解放、実施状況報告書、2024 年度版、Moonshoot https://www.jst.go.jp/moonshot/program/goal1/files/12_kanai_report2024.pdf.

[83] S. Greydanus, M. Dzamba, J. Yosinski: Hamiltonian Neural Networks, In Advances in neural information processing systems (NeurIPS) (2019). https://doi.org/10.48550/arXiv.1906.01563
[84] M. Cranmer, S. Greydanus, S. Hoyer, P. Battaglia, D. Spergel, S. Ho: Lagrangian Neural Networks, ICLR 2020 Deep Differential Equations Workshop (2020). https://doi.org/10.48550/arXiv.2003.04630
[85] T. Matsubara, A. Ishikawa, T. Yaguchi: Deep Energy-Based Modeling of Discrete-Time Physics, In Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS) (2020). https://doi.org/10.48550/arXiv.1905.08604
[86] C. Legendre, Y. Kitano , Y. Nakashima, W. Kobayashi, G. Minorikawa, A machine learning-based methodology for computational aeroacoustics predictions of multi-propeller drones , inter-noise 2021 https://www.researchgate.net/publication/353771519_A_machine_learning-based_methodology_for_computational_aeroacoustics_predictions_of_multi-propeller_drones
[87] J. Li, Z. Pei, T. Zeng: From Beginner to Master: A Survey for Deep Learning-based Single-Image Super-Resolution, ArXiv abs/2109.14335 (2021). https://doi.org/10.48550/arXiv.2109.14335
[88] L. Lu, P. Jin, G. Pang, Z. Zhang, G.E. Karniadakis: Learning nonlinear operators via DeepONet based on the universal approximation theorem of operators, Nature Machine Intelligence. Vol. 3, pp. 218-229 (2021). https://doi.org/10.1038/s42256-021-00302-5
[89] Z. Li, N. B. Kovachki, K. Azizzadenesheli, B. Liu, K. Bhattacharya, A. Stuart, A. Anandkumar, Fourier Neural Operator for Parametric Partial Differential Equations, In The International Conference on Learning Representations (ICLR) (2021). https://doi.org/10.48550/arXiv.2010.08895
[90] Sakai KL, Oshiba Y, Horisawa R, Miyamae T, Hayano R. Music-experience-related and musical-error-dependent activations in the brain. Cereb Cortex. 2022 Sep 19;32(19):4229-4242. https://doi.org/10.1093/cercor/bhab478. PMID: 34937087; PMCID: PMC9528789.
[91] 田所 克俊, 鈴木 桂輔, 音楽の歌唱や聴取の繰り返しパターンが脳機能の活性に与える影響, ライフサポート, 26(3), pp. 89-99, 2014. https://doi.org/10.5136/lifesupport.26.89
[92] 佐藤 正之, 音楽の認知と情動の脳内機構, 神経心理学 34 巻 4 号, pp. 274-288, 2018. https://doi.org/10.20584/neuropsychology.17047
[93] 原 進, 林 裕介, 満倉 靖恵, 上出 寛子, 騒音に励起されるストレスの評価のための感性アナライザ適用可能性～空飛ぶクルマの社会受容性評価に向けて～, Technical Journal of Advanced Mobility, Vol. 2, No. 3, pp. 31-41, 2021. https://doi.org/10.34590/tjam.2.3_31
[94] 荻野 幹人, 満倉 靖恵, 半教師あり学習を用いた自然音に対する事象関連電位の分類, 電気学会 電子・情報・システム部門大会, pp. 611-616, 2021 https://ieej.bookpark.ne.jp/products/ieej-btc2021os05004?_pos=1&_sid=2a286492b&_ss=r
[95] 伊東 乾, 音楽の音響空間情報論, 東京大学大学院情報学環紀要　情報学研究, No.89, 2015 https://www.iii.u-tokyo.ac.jp/manage/wp-

content/uploads/2018/04/89_2.pdf
[96] 岩宮 眞一郎; サイン音の科学：音声情報と非音声情報の役割と調和, コロナ社, 2012 https://www.coronasha.co.jp/np/isbn/9784339013252/
[97] Albert S. Bregman : Auditory Scene Analysis: The Perceptual Organization of Sound, Cambridge, MA, USA: MIT Press, 1990 https://doi.org/10.7551/mitpress/1486.001.0001
[98] 熊野 史朗, 寺田 和憲, 鈴木 健嗣: Affective Computing, 人工知能. 35巻6号, pp. 819-823, 2020. https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjsai/35/6/35_819/_pdf/-char/en
[99] Diago,L., Kitaoka, T., Hagiwara,I. and Kambayashi,T.,Neuro-fuzzy quantification of personal perceptions of facial images based ona limited data set, IEEE Transactions on Neural Networks, Vol.22,No.12(2011-12),pp.2422-2434. https://doi.org/10.1109/TNN.2011.2176349
[100] 若槻 尚斗, 西宮 康治朗, 音楽音響に用いられる楽器計測技術, 日本音響学会誌 74 巻 10 号, pp. 570-577, 2018. https://doi.org/10.20697/jasj.74.10_570
[101] 嵯峨山 茂樹, 自動作曲システムOrpheus, 電子情報通信学会誌, Vol.102 No.3, pp.214-220,2019 https://www.journal.ieice.org/summary.php?id=k102_3_214&year=2019&lang=J
[102] 横山 真男, ヴァイオリンの音色研究, 可視化情報, Vol.35, No.136,2015. https://doi.org/10.3154/jvs.35.17
[103] 金沢 純一, 長谷川 浩志, 岡村 宏, 田中 幸和, 菅原 淳一 :ギターの音質と表面板の力木配置の関係について、Dynamics & Design Conference,2007, https://doi.org/10.1299/jsmedmc.2007._324-1_
[104] 山崎 徹, 曽根 崇正, 橋本 崇史, 黒田 勝彦, 振動エネルギー伝搬解析によるヴァイオリン構造の考察, 日本機械学会論文集B編, 78巻 789号, pp. 988-992, 2012. https://doi.org/10.1299/kikaib.78.988
[105] 後藤 真孝 編, 北原 鉄朗, 深山 覚, 竹川 佳成, 吉井 和佳, 「音楽情報処理」, コロナ社, 2023. https://www.coronasha.co.jp/np/isbn/9784339013726/
[106] 浜中 雅俊, インタラクション可能な仮想演奏者, 情報処理学会研究報告 (MUS) , 2020. https://gttm.jp/hamanaka/wp-content/uploads/2023/05/IPSJ-MUS20127009.pdf
[107] 三浦 寛也, 浜中 雅俊, Deep Augmented Performers: メロディモーフィングと身体機能の融合によるアンサンブル演奏システム, 情報処理学会研究報告, Vol. 2021-MUS-132, No. 4, pp. 1-8, 2021 https://jglobal.jst.go.jp/detail?JGLOBAL_ID=202102275778751595
[108] 前川 純一, 森本 政之, 阪上 公博, 「建築・環境音響学」, 共立出版, 2011. https://www.kyoritsu-pub.co.jp/book/b10008031.html
[109] 山下 祐一, 計算論的精神医学: 脳の数理モデルを用いて精神疾患の病態に迫る, 日本生物学的精神医学会誌, 30巻3号, pp. 114-116, 2019. https://doi.org/10.11249/jsbpjjpp.30.3_114
[110] Diago, L., Kitaoka, T. and Hagiwara,I., Development of a System for Automatic Facial Expression Analysis, Journal of Computational Science and Technology,Vol.2,No.4(2008-8),pp.401-412. https://doi.org/10.1299/jcst.2.401
[111] 北岡 哲子、田中 兼一、北崎 智之、萩原 一郎、癒し構造分析とグッズの分析・評価への応用：日本感性工学会論誌, Vol.9,No.1,pp.43-49(2009).

https://doi.org/10.5057/jjske.ja080922-1
[112] Diago,L.,Abe,H.,Minamihata.A. and Hagiwara,I., Pattern Classification with Holographic Neural Networks: A New Tool for Feature Selection, Innovation in Machine and Deep Learning Case Studies and Applications,Book series :Studies in Big Data (Springer),2023-6. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-40688-1_3
[113] 嶋田 容子, 幼児の自由遊びにおける行動と音環境の関連, 日本心理学会大会発表論文集, 第85回 PT-008,2021 https://doi.org/10.4992/pacjpa.85.0_PT-008
[114] 野口 紗生, 船場 ひさお, 子ども施設の音環境向上のための教育的取り組みの必要性, 日本音響学会誌 77 巻 11 号, pp. 710-717, 2021. https://doi.org/10.20697/jasj.77.11_710
[115] 有馬 雄祐, 橋本 幸博, 背景音楽が創造性を高める可能性, 日本音響学会誌 77 巻 4 号, pp. 256-261, 2021. https://doi.org/10.20697/jasj.77.4_256
[116] 井本 桂右, 環境音分析の研究動向, 日本音響学会誌 75 巻9号, pp.512-518,2019. https://doi.org/10.20697/jasj.75.9_512
[117] 田鎖 順太, 松井 利仁, 我が国における道路交通騒音による健康リスク, 日本衛生学雑誌, 76巻 論文 ID:19014, 2021. https://doi.org/10.1265/jjh.19014
[118] 下山 晃司, WHO-EU 環境騒音ガイドラインと社会調査データからみる騒音施策展開への課題, 航空環境研究 No.24, pp.1-10,2020. https://aerc.jp/_public/202010/aerc-2020-3-06.pdf
[119] 天野 辰哉, 水本 旭洋, 山口 弘純, 松田 裕貴, 藤本 まなと, 諏訪 博彦, 安本 慶一, 中村 優吾, 田上 敦士, 新生活様式におけるコミュニティ形成のためのサイバーフィジカル空間共有基盤の設計開発, 第29回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, 2021 https://yukimat.jp/data/pdf/paper/CPSpaceSharing_c_202110_amano_DPSWS.pdf
[120] OECD; Health at a Glance 2023: OECD Indicators, OECD Publishing, Paris, 2023.11 https://www.oecd.org/en/publications/health-at-a-glance-2023_7a7afb35-en.html
[121] 朝田 隆; 日本における認知症有病率の基礎となった大規模疫学調査, 「都市部における認知症有病率と認知症の生活機能障害への対応」総合研究報告書, 厚生労働省総合研究事業, 2013 https://www.tsukuba-psychiatry.com/wp-content/uploads/2013/06/H24Report_Part1.pdf
[122] Onishi T, Yamasaki M, Hara T, Hirotomi T, Miyazaki R. Esports for Seniors: Acute Effects of Esports Gaming in the Community on the Emotional State and Heart Rate among Japanese Older Adults. Int J Environ Res Public Health. 2022 Sep 16;19(18):11683. https://doi.org/10.3390/ijerph191811683. PMID: 36141954; PMCID: PMC9517021.
[123] 藤井 啓介, 北濃 成樹, 神藤 隆志, 佐藤 文音, 國香 想子, 藤井 悠也, 大藏 倫博, 独居高齢者における地域活動への参加と抑うつとの関連性, 理学療法科学, 32巻 1号 pp. 105-110, 2017. https://doi.org/10.1589/rika.32.105
[124] 柴田 崇徳, メンタルコミットロボット「パロ」の開発と普及：認知症等の非薬物療法のイノベーション, 情報管理, 60 巻 4 号 pp. 217-228, 2017. https://doi.org/10.1241/johokanri.60.217
[125] 日本バーチャルリアリティ学会 編, 「バーチャルリアリティ学」, コロナ社, 2010. https://www.coronasha.co.jp/np/isbn/9784904490051/

[126] 廣瀬 通孝, 「バーチャルリアリティ」, 産業図書, 1993. https://www.kinokuniya.co.jp/f/dsg-01-9784782851371
[127] Kubota, K., Katayama, T., Takamaru, K. et al. Immersive virtual reality for older adults with mild cognitive impairment, dementia, or cognitive frailty: a systematic review and narrative synthesis (2019-2025). BMC Geriatr 26, 189, 2026. https://doi.org/10.1186/s12877-025-06957-8
[128] 内閣府, 「スマートシティガイドブック」, 2021. https://www8.cao.go.jp/cstp/stmain/20210412scity.html
[129] 我が国の産業構造を支える製造業, 経産省, https://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2026/pdf/honbun_1_1_1.pdf
[130] T Zaatar M, Alhakim K, Enayeh M, Tamer R. The transformative power of music: Insights into neuroplasticity, health, and disease. Brain Behav Immun Health. 2023 Dec 12;35:100716. PMID: 38178844; PMCID: PMC10765015. https://doi.org/10.1016/j.bbih.2023.100716
[131] Ruokonen, I., Tervaniemi, M., & Reunamo, J. (2021). The significance of music in early childhood education and care of toddlers in Finland: an extensive observational study. Music Education Research, 23(5), 634-646. https://doi.org/10.1080/14613808.2021.1965564
[132] Agres, K. R., et al.; Music, Computing, and Health: A roadmap for the current and future roles of music technology for health care and well-being, Music & Science, Vol. 4, pp. 1-22, 2021. https://doi.org/10.1177/2059204321997709
[133] Williamon A, Aufegger L and Eiholzer H (2014) Simulating and stimulating performance: introducing distributed simulation to enhance musical learning and performance. Front. Psychol. 5:25. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00025
[134] Ding, Y.; Biomechanical and machine learning approaches to automating the identification of musical styles and emotions through human motion analysis, Molecular & Cellular Biomechanics, Vol. 21, No. 2, 2024 https://doi.org/10.62617/mcb.v21i2.397
[135] Trost W, Trevor C, Fernandez N, Steiner F, Frühholz S. Live music stimulates the affective brain and emotionally entrains listeners in real time. Proc Natl Acad Sci U S A. 2024 Mar 5;121(10):e2316306121. https://doi.org/10.1073/pnas.2316306121. Epub 2024 Feb 26. PMID: 38408255; PMCID: PMC10927510.
[136] 山脇 成人ほか; 音楽の気づき科学で次世代の感性を育む, ムーンショット目標9, JST ムーンショット型研究開発事業, 2022 https://www.hiroshima-u.ac.jp/system/files/193164/0915.pdf
[137] Kanduri, C., Raijas, P., Ahvenainen, M., Philips, A. K., Ukkola-Vuoti, L., Lahdesmaki, H., & Järvelä, I. (2015). The effect of listening to music on human transcriptome. PeerJ, 3:e830. https://doi.org/10.7717/peerj.830. PMID: 25789207; PMCID: PMC4362302.
[138] 高橋 多喜子, 音楽療法概説, 日本補完代替医療学会誌, 1巻 1号, pp.77-88, 2004. https://doi.org/10.1625/jcam.1.77
[139] OECD, The Research Data Alliance (RDA)'s Data Fabric Initiative, 2019, https://www.oecd.org/en/publications/access-to-public-research-data-

toolkit_a12e8998-en/the-research-data-alliance-rda-s-data-fabric-initiative_6bf9b1f9-en.html,
[140] Ates, H.C., Nguyen, P.Q., Gonzalez-Macia, L. et al. End-to-end design of wearable sensors. Nat Rev Mater 7, 887-907 (2022). https://doi.org/10.1038/s41578-022-00460-x
[141] Wang, M., Yang, Y., Min, J. et al. A wearable electrochemical biosensor for the monitoring of metabolites and nutrients. Nat. Biomed. Eng 6, 1225-1235 (2022). https://doi.org/10.1038/s41551-022-00916-z
[142] Department of Health, Education, and Welfare; National Commission for the Protection of Human Subjects of Biomedical and Behavioral Research. The Belmont Report. Ethical principles and guidelines for the protection of human subjects of research. J Am Coll Dent. 2014 Summer;81(3):4-13. PMID: 25951677 https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25951677/
[143] OECD, Recommendation of the Council on Health Data Governance, OECD/LEGAL/0433 https://legalinstruments.oecd.org/public/doc/348/348.en.pdf
[144] Zixuan Zhou et al. , A Survey on Efficient Inference for Large Language Models, ArXiv, 2404.14294, https://arxiv.org/abs/2404.14294
[145] 科学技術・学術政策研究所, 科学技術指標 2022, https://www.nistep.go.jp/sti_indicator/2022/RM318_00.html
[146] スティーヴン・ミズン; 歌うネアンデルタール：音楽と言語の進化, 早川書房, 熊谷 淳子 訳, 2006. https://www.kinokuniya.co.jp/f/dsg-01-9784152087393
[147] Stefan Koelsch: From Social Contact to Social Cohesion-The 7 Cs、Music and Medicine、2013, Vol. 5, No. 4, pp. 204-209, DOI: 10.1177/1943862113508588.
[148] Patrick E. Savage, Psyche Loui, Bronwyn Tarr, Adena Schachner, Luke Glowacki, Steven Mithen, & W. Tecumseh Fitch: Music as a coevolved system for social bonding, Behavioral and Brain Sciences, 2021, Vol. 44, e59, DOI: 10.1017/S0140525X20000333
[149] Fancourt, D., & Finn, S. ; What is the evidence on the role of the arts in improving health and well-being? , Arts and Well-being 報告書, A scoping review, WHO Regional Office for Europe, 2019 https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK553773/
[150] Wang, Haitao, Zeng, Xiangyang, Lei, Ye;4Ren, Shuwei, Reform and Practice on the Acoustics Simulation Education, Proceedings of the 2023 International Conference on10Education, Management, Economics and Electronics Engineering (ICEMEE 2023). http://dx.doi.org/10.4108/eai.24-11-2023.2343538
[151] Moheit L, Schmid JD, Schmid JM, Eser M, Marburg S. Acoustics Apps: Interactive simulations for digital teaching and learning of acoustics. J Acoust Soc Am. 2021 Feb;149(2):1175. https://doi.org/10.1121/10.0003438. PMID: 33639808.
[152] ISO 9241-210, Ergonomics of human-system interaction -- Part 210: Human-centred design for interactive systems, 2019 https://www.iso.org/standard/77520.html
[153] 文部科学省: 次世代HPC・AI研究開発支援センター「設立経緯」, HAIRDESC, HPCI公式解説ページ, 2025 https://hairdesc.jp/establishment/
[154] 文部科学省: 「革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ

（HPCI）について」，文部科学省ホームページ.
https://www.mext.go.jp/a_menu/kaihatu/jouhou/hpci/1307375.html
[155] 平成 28 年 情報通信白書（資料編　用語解説），総務省
https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h28/html/nd300000.html
[156] S. Grollmisch, J. Abeser, J. Liebetrau and H. Lukashevich, Sounding Industry: Challenges and Datasets for Industrial Sound Analysis, 2019 27th European Signal Processing Conference (EUSIPCO), A Coruna, Spain, 2019, pp. 1-5. https://doi.org/10.23919/EUSIPCO.2019.8902941
[157] Sukanta Kumar Dash, et al., A Comprehensive Review on Audio based Musical Instrument Recognition: Human-Machine Interaction towards Industry 4.0, Journal of Scientific & Industrial Research Vol. 82, Jan 2023, pp. 26-37.
https://nopr.niscpr.res.in/handle/123456789/61207
[158] 内閣府: 「第 6 期科学技術・イノベーション基本計画」，内閣府ホームページ. 2021, https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/6honbun.pdf
[159] E. A. Lee, "Cyber Physical Systems: Design Challenges," 2008 11th IEEE International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC), Orlando, FL, USA, 2008, pp. 363-369,
https://doi.org/10.1109/ISORC.2008.25.
[160] 内閣府: 「10. デジタルツイン．スマートシティのリファレンス・アーキテクチャ」，2025,
https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/smartcity/scra4_2025_0523_10.pdf
[161] 吉野晃生（総務省 先端技術 WG 資料）:「Industrial Internet Consortium の最新状況と日本への対応」， 2016,
https://www.soumu.go.jp/main_content/000415662.pdf
[162] 佐藤 一郎, メタバースのシステム構成論的な考察―プラットフォーム化が進むメタバースの特性と課題, 総務省 学術雑誌「情報通信政策研究」 第６巻第１号, 2022
https://www.soumu.go.jp/main_content/000851756.pdf

＜参考資料１＞審議経過

平成 26 年

12 月１日　計算科学シミュレーションと工学設計分科会（第 23 期・第１回）
第 23 期計算音響学小委員会の設置承認

平成 27 年

３月９日　計算音響学小委員会（第 23 期・第１回）
委員長、副委員長、幹事の選出　話題提供

７月 31 日　計算音響学小委員会（第 23 期・第２回）
話題提供

12 月２日　計算音響学小委員会（第 23 期・第３回）
話題提供

平成 28 年

３月 23 日　計算音響学小委員会（第 23 期・第４回）
話題提供

７月９日　計算音響学小委員会（第 23 期・第５回）
話題提供　ヴァイオリン工房についての情報収集

平成 29 年

９月４日　計算音響学小委員会（第 23 期・第６回）
話題提供

12 月７日　計算科学シミュレーションと工学設計分科会（第 24 期・第１回）
第 24 期 計算音響学小委員会の設置承認

平成 30 年

８月 21 日　計算音響学小委員会（第 24 期・第１回）
提言案“次世代計算音響学に向けて”の検討

11 月５日　計算音響学小委員会（第 24 期・第２回）
話題提供　提言案についての討論

令和元年

７月４日　計算音響学小委員会（第 24 期・第３回）
話題提供　提言案についての討論

令和２年

12 月７日　計算科学シミュレーションと工学設計分科会（第 25 期・第１回）
第 25 期 計算音響学小委員会の設置承認

令和３年

６月 28 日　計算音響学小委員会（第 25 期・第１回）
役員の選出　話題提供

12 月１日　計算音響学小委員会（第 25 期・第２回）
話題提供　今後の方針についての自由討議

令和４年

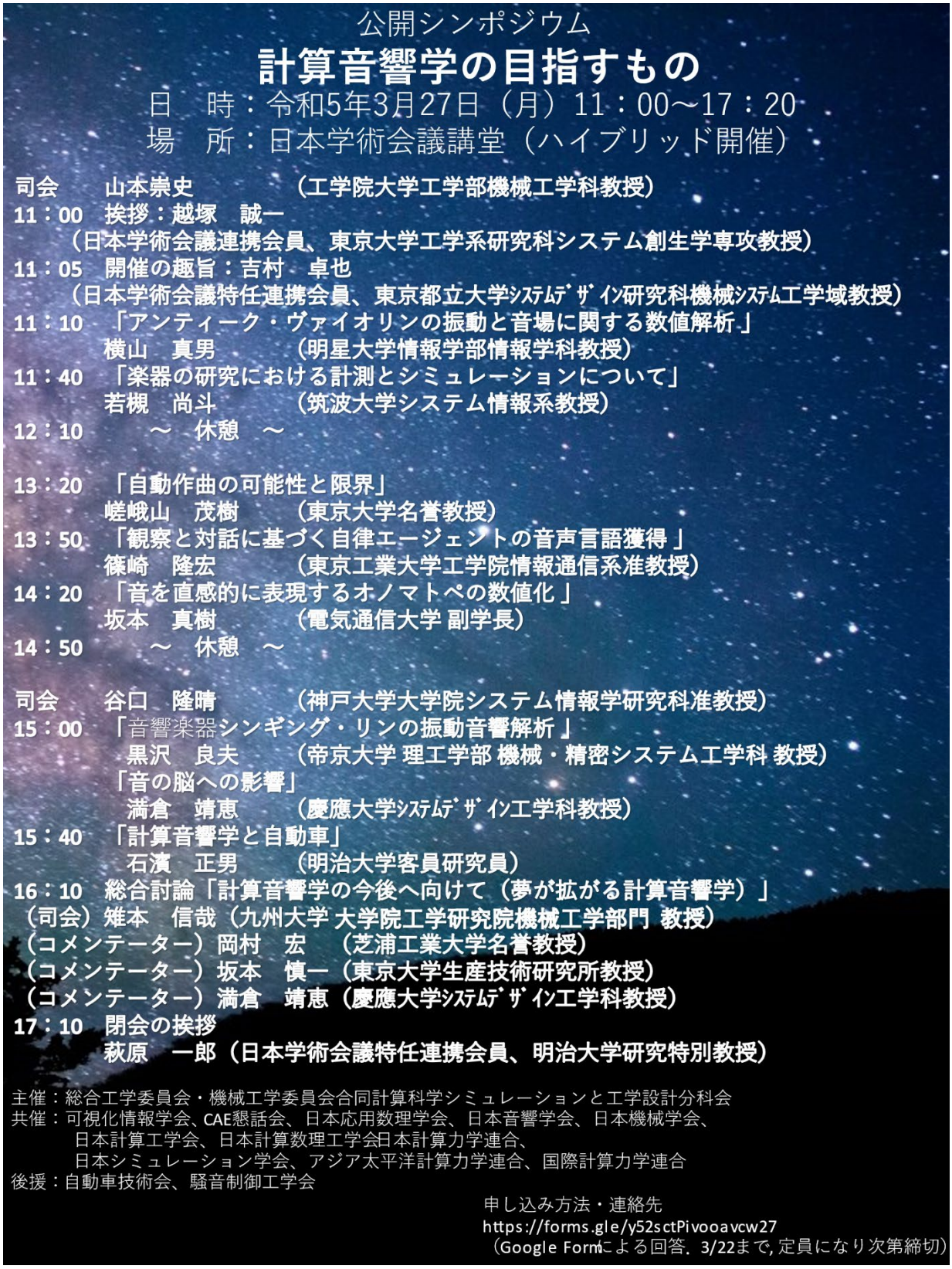
３月４日　計算音響学小委員会（第 25 期・第３回）
話題提供　今後の方針についての自由討議
８月 12 日　計算音響学小委員会（第 25 期・第４回）
話題提供　シンポジウムの開催　見解案の提出
「未来の学術振興構想」の策定に向けた「学術の中長期研究戦略」についての議論
12 月 15 日　計算音響学小委員会（第 25 期・第５回）
シンポジウムの開催　見解案の提出　「未来の学術振興構想」の策定に向けた「学術の中長期研究戦略」についての議論

令和５年
３月 22 日～30 日　計算科学シミュレーションと工学設計分科会（第 25 期・第７回）
メール審議　見解案「音響を核とするバーチャルシミュレーションの開発に向けて」承認
３月 27 日　計算音響学小委員会（第 25 期・第６回）
意思の表出についての議論。シンポジウムの議論を受け、多様な視点からの記述を加えた。心理学・教育学委員会との連携や産業界との意見交換は今後の課題とする。

令和６年
３月 29 日　計算科学シミュレーションと工学設計分科会（第 26 期・第１回）
第 26 期 計算音響学小委員会の設置承認
９月 19 日　計算音響学小委員会（第 26 期・第１回）
役員の選出今後の方針についての自由討議
９月 20 日～30 日　計算科学シミュレーションと工学設計分科会（第 26 期・第５回）
メール審議　計算音響学小委員会の委員の追加について承認
12 月２日　計算音響学小委員会（第 26 期・第２回）
話題提供見解とする方策
12 月 10 日　計算科学シミュレーションと工学設計分科会（第 26 期・第６回）
（計算力学小委員会（第 26 期・第３回）との合同会議）
計算音響学小委員会より、小委員会の活動と意思の表出に向けた進捗状況を報告し分科会と共有。見解の発出までの流れに関する確認が行われた。
12 月 20 日～27 日（意見交換）、令和７年１月６日～８日（審議）
計算科学シミュレーションと工学設計分科会（第 26 期・第７回）
メール審議　申出書案（見解「新たな音響学を構築するバーチャル音響環境研究所の創設に向けて」）を承認

令和７年
７月 10 日～18 日　計算科学シミュレーションと工学設計分科会（第 26 期・第８回）
メール審議　見解案「新たな音響学の学術領域の創成とそれを推進するコンソーシアムの創設に向けて」を承認

その後、総合工学委員会の査読結果を受け「見解」から「報告」への区分変更を決定。

＜参考資料２＞シンポジウム開催

令和５年３月 27 日　公開シンポジウム「計算音響学の目指すもの」を開催