

記 録

文書番号	第 25 期-050828-25550900-086
委員会等名	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
標題	社会のための継続的イノベーション
作成日	令和5年（2023年）8月28日

※ 本資料は、日本学術会議会則第二条に定める意思の表出ではない。掲載されたデータ等には、確認を要するものが含まれる可能性がある。

この記録は、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・社会のための継続的イノベーションに関する小委員会における審議内容を総合工学委員会原子力安全に関する分科会において取りまとめて公表するものである。

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

委員長	関村 直人	(連携会員)	東京大学副学長、大学院工学系研究科教授
副委員長	越塚 誠一	(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻教授
幹事	野口 和彦	(連携会員)	国立大学横浜国立大学 IAS リスク共生社会創造センター客員教授
幹事	森口 祐一	(連携会員)	国立研究開発法人国立環境研究所理事、東京大学名誉教授
	大倉 典子	(第三部会員)	中央大学大学院理工学研究科客員教授・研究開発機構機構教授、芝浦工業大学名誉教授・SIT 総合研究所客員教授
	柴田 徳思	(連携会員)	株式会社千代田テクノ大洗研究所所長、東京大学名誉教授、高エネルギー加速器研究機構名誉教授、総合研究大学院大学名誉教授
	竹田 敏一	(連携会員)	福井大学附属国際原子力工学研究所特任教授
	矢川 元基	(連携会員)	公益財団法人原子力安全研究協会会長、東京大学名誉教授、東洋大学名誉教授
	山地 憲治	(連携会員)	公益財団法人地球環境産業技術研究機構 (RITE) 副理事長
	松岡 猛	(連携会員(特任))	宇都宮大学地域創生推進機構宇大アカデミー非常勤講師

社会のための継続的イノベーション検討小委員会

委員長	松岡 猛	(連携会員(特任))	宇都宮大学地域創生推進機構 宇大アカデミー非常勤講師
副委員長	越塚 誠一	(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻教授
幹事	澤田 隆		元・内閣府原子力政策担当室政策企画調査官
幹事	山本 章夫		名古屋大学大学院工学研究科総合エネルギー工学専攻教授
	吉村 忍	(第三部会員)	東京大学大学院工学系研究科教授
	小野 恭子	(連携会員)	国立研究開発法人産業総合研究所安全科学研究部門主任研究員

関村 直人 (連携会員)	東京大学副学長、大学院工学系研究科教授
矢川 元基 (連携会員)	公益財団法人原子力安全研究協会会長、東京大学名誉教授
佐倉 統	東京大学大学院情報学環・学際情報学府教授
白鳥 正樹	横浜国立大学名誉教授
中村 晋	日本大学工学部土木学科教授
宮野 廣	法政大学大学院元客員教授

本件の作成に当たり、以下の職員が事務を担当した。

事務	佐々木 亨	参事官 (審議第二担当)
	柳原 情子	参事官 (審議第二担当) 付参事官補佐
	影山 祥子	参事官 (審議第二担当) 付審議専門職付

要 旨

第 24 期原子力安全に関する分科会及び原子力安全に関する分科会福島第一原発事故調査に関する小委員会では、福島第一原発事故の直接原因となった津波について、どれだけの関連する知見が、事前に、学会、行政、産業界に蓄積されていたか、それが事故発生防止にどれだけ活用されたかの検討を行ってきた。当時我が国では、津波に関連する知見は散在したままで、知見を組み合わせ（知の統合）て、対策を取られることは無かった。つまり、課題に対する適切な解決方法がうまく機能していなかったと思われる。

新知見の扱い、社会のリスク認知、あるいはこれらに基づき、技術と社会が相互作用しながらスパイラル的に革新を起こしていくことが私たち社会にとって大変重要であるとの見解に至り検討を重ねてきた。

現代社会では技術の高度化と社会の複雑化があいまって、技術—社会の相互作用が顕著になってきている。新しい知見・技術の利用や受け入れの過程で社会システムが変化すると、その変化した社会システムに適応する技術の革新が求められるという形で、技術と社会がお互いにフィードバックや影響を与えつつ、スパイラル的に革新が生じるという姿となっている。

日々新たに出てくる新知見に対し、社会の受容のもとイノベーションを実施する必要がある。現代のイノベーション実現においては、技術開発あるいは企業活動といった狭い領域のみではなく、社会の受容におけるリスク認知の重要性を認識しつつ、学术界、規制行政機関、推進行政機関、産業界、市民社会等からの幅広い取組が必須になると考えられる。

本記録では、技術と社会がスパイラル状に相互作用しつつ革新を起こし、安全の確保のために新知見を速やかに活用していく姿を、継続的イノベーションと呼ぶ。イノベーションという言葉には、技術が不連続に進化するというイメージがあるが、本記録では、継続的イノベーションという言葉に、新知見の取り込みを不断に行っていくという意味も込めている。福島第一原子力発電所事故は、多様な観点での不断の新知見の取組が実施できなかった事例として挙げる事が出来る。

技術及び社会が相互作用し共創することは、生態系において多様な生物が相互に依存しながら環境を動的に変化させていくことと類似しており、これを「エコシステム」と捉える事が出来る。このエコシステムにおいては、技術サイドでは社会からの要請を受けた技術の革新や進歩が、社会サイドでは技術に対する社会のリスク認知が車の両輪となる。すなわち、技術サイドに対する社会からの要請は、社会のリスク認知に基づいて行われると考えた。

本記録では、特に社会のリスク認知に関連し、継続的イノベーションの障害となり得る課題として(1)社会のニーズドリブンの新技術開発/新知見導入の課題、(2)知識基盤の構築過程と妥当性の課題、(3)知識生産における構造的課題、(4)ガバナンスにおける課題を取り上げ、それらについて検討を進めた。

(1)の社会のニーズの課題では、社会のニーズに駆動される形で新技術の開発や新知見の導入を行うべきであると考え。その際の社会のリスク認知のあり方では、特にグレー

ゾーンにあるリスクを関係者間で徹底的に議論する習慣も重要となる。

(2)の知識基盤の構築過程と妥当性の課題では、科学者・技術者が持つ知識やその枠組みの妥当性を確認するための方策が必要となるが、これはまだ十分に確立されていないことを指摘し、国際原子力機関（International Atomic Energy Agency, IAEA）の ISiD（Institutional Strength-in-Depth）の枠組みを対応の一例として示した。ISiDの本質である双方向性に十分に留意し、社会からのフィードバックを適切に考慮する双方向アプローチをどのように確立するかが今後の課題である。

(3)の知識生産における構造的課題では、知識基盤を生産する上で留意すべき点について検討を行った。知識基盤の構造的な「欠け」（構造災）が生じる要因として5項目を取り上げ、検討を行った。新技術・新知見の導入にあたっては、それらに内在するリスクを社会と共有する必要がある。リスク評価においては、存在論的リスク観と構築的リスク観の二つがあることを示し、構築的リスク観の考え方を知識生産において体系的に取り入れていくことが重要であると指摘した。また、構築的リスク観を活用するにあたり必要となる「対話型専門知」の重要性も指摘した。

(4)のガバナンスにおける課題では、上述の3課題について、誰がどのようにリーダーシップを取って対応すべきかが問題であるが、学术界のみで課題の解決を行えるわけではなく、今後議論を深める必要があるとの認識である。

本記録では、以上の問題意識のもと、社会的に関心の高いエネルギー、自然災害、感染症分野に関して具体的事例を取り上げ、技術-社会システムとしての継続的イノベーション実現のための重要事項の抽出を行った。取り上げた事例は、(1)小型モジュラー型原子炉（Small Modular Reactor, SMR）、(2)再生可能エネルギー、(3)巨大火山噴火、(4)新型コロナウイルス感染症（COVID-19）への対応、である。また、これらの事例から得られた重要事項に基づき、継続的イノベーション実現のための共通事項について検討を行った。

以上の結果、継続的イノベーション実現に向けての提言をまとめるにあたって必要となる以下の重要事項が抽出された。

- ・継続的イノベーションの実現には、技術と社会がエコシステムとして一体となって革新が進むことが必要である。
- ・エコシステムにおいて、技術サイドでは社会のニーズを受けた新知見導入や技術革新が、社会サイドでは技術に対するリスク認知に基づく社会の受容が重要となる。
- ・技術と社会の相互作用の観点からは、技術の知識基盤の構築過程と妥当性が重要となる。日本においては、この構築過程と妥当性を検証する社会的なモデルは構築途上にあると考えられるが、国際原子力機関（IAEA）の Institutional Strength-in-Depth（ISiD）がその一つのモデルとなり得る可能性がある。
- ・技術のリスクを客観的に評価する存在論的リスク観に加え、社会と対話しながらリスクの相場観を共有する構築的リスク観を導入する必要がある。このような枠組みを実現するための方法論として統合的なリスク情報活用による意思決定（Integrated Risk-Informed Decision Making, IRIDM）がある。

- 構築的リスク観に基づく議論を行うためには、「対話型専門知」を有する専門家が多様な視点のステークホルダー間のコミュニケーションを経常的に実施する体制を確立することが必要である。それは、開かれた形で繰り返し意見交換出来る仕組みとなり、巨大火山噴火のような、低頻度高影響事象に付随する大きな不確実さに対応するためのきっかけになり得る。
- 原子力の安全設計の原則の一つである深層防護は、知識の欠けを前提としたものであり、知識生産における構造的課題に対応する一つの方策である。
- 複雑な意思決定システムの中では、新知見の有無のみではなく、新知見が実際に活用できる状態であるかどうかを確認することが重要である。
- 技術と社会の相互作用からなるエコシステムのガバナンスについては、共通的な課題がある。学术界は重要な貢献をなしうると考えられるが、学术界のみではガバナンスに関連する課題を解決することは困難である。ガバナンスが成功した事例を探索しつつ、継続して議論を深める必要がある。
- 超学際的アプローチを考えると、課題の解決策を考えることに加えて、課題そのものを解消させる方策を検討することも有効である。

目 次

1	はじめに	1
(1)	背景	1
(2)	現状及び問題点	1
2	継続的イノベーションとは	3
3	継続的イノベーションにおける課題	5
(1)	社会のニーズドリブンの新技術開発/新知見導入の課題	5
(2)	知識基盤の構築過程と妥当性の課題	6
(3)	知識生産における構造的課題	8
(4)	ガバナンスにおける課題	10
4	具体的な事例	11
(1)	小型モジュラー型原子炉	12
①	これまでの経緯と現状	12
②	社会のニーズドリブンの技術開発/新知見導入の課題	12
③	知識基盤の構築過程と妥当性の課題	13
④	知識生産における構造的課題	14
⑤	ガバナンスにおける課題	15
(2)	再生可能エネルギー	15
①	これまでの経緯と現状	15
②	社会のニーズドリブンの新技術開発/新知見導入の課題	16
③	知識基盤の構築過程と妥当性の課題	16
④	知識生産における構造的課題	17
⑤	ガバナンスにおける課題	17
(3)	巨大火山噴火	17
(4)	新型コロナウイルス感染症（COVID-19）への対応にみる社会の変化と継続的イノベーション	18
(5)	4つの事例を通じた考察	20
5	継続的イノベーションの実現に向けて	21
6	まとめ	22
7	申し送り事項及び今後の方針	22
	<用語集>	24
	<略語集>	25
	<参考文献>	26
	<参考資料1> 審議経過	28
	<参考資料2> 再生可能エネルギーに関して	31
	<参考資料3> 巨大火山噴火に関して	35
	<参考資料4> 原子力総合シンポジウムにおける報告	41

1 はじめに

(1) 背景

福島第一原子力発電所（以下「福島第一原発」という。）事故は、東北地方太平洋沖地震に伴う巨大津波によって非常用電源が浸水し、安全機能を喪失したことによって、我が国に甚大な被害をもたらした。この事故の発生は想定外で予期できぬものであったのかとの問いかけが、事故直後から広く社会でなされてきた[1-7]。

第 24 期原子力安全に関する分科会及び原子力安全に関する分科会福島第一原発事故調査に関する小委員会では、福島第一原発事故の直接原因となった津波について、どれだけの関連する知見が、事前に、学会、行政、産業界に蓄積されていたか、それが事故発生防止にどれだけ活用されたかの検討を行ってきた。その成果の一つとして、報告「我が国の原子力発電所の津波対策—東京電力福島第一原子力発電所事故前の津波対応から得られた課題—」を 2019 年 5 月に公表した[8]。

この報告では、既存の知見を組み合わせる（知の統合）ことにより、万一敷地を超える津波が発生し発電施設が浸水した場合に、電源設備が喪失して環境に深刻な影響を与えることが推察できたと判断した。

その結果、自然災害に対する事故への対応を準備することができていれば、福島第一原発における事態への対処は大きく異なっていたのではないかと考えられる。しかしながら、当時我が国では、これらの知見は散在したままで、知見を組み合わせ（知の統合）で、対策を取られることは無かった。つまり、課題に対する適切な解決方法がうまく機能していなかったと思われる。知見の組み合わせについては、「第 6 期科学技術・イノベーション基本計画」[9]においても、自然科学と人文・社会科学を融合し、俯瞰的な視野で物事を捉える「総合知」により、人間社会の総合的理解と課題解決に資することの重要性が述べられている。

その後も「福島第一原発事故調査に関する小委員会」及び第 25 期の「社会のための継続的イノベーション検討小委員会」では新知見の扱い、社会のリスク認知、あるいはこれらに基づき、技術と社会が相互作用しながらスパイラル的に革新を起こしていくことが私たち社会にとって大変重要であるとの見地から検討を重ねてきた。その結果、原子力分野のみならず広く各種工学システム、社会システムの多様な場面において、このような革新を実現するために解決すべき課題が存在するとの結論に至っている。

これらを踏まえて、総合工学委員会原子安全に関する分科会として、本記録をとりまとめるものである。

(2) 現状及び問題点

私たち人類は日々の学問、科学技術の進歩により得られた知見・技術を生活の利便性、安全性の向上などに活かしてきている。しかし、これらの知見・技術を普く人類共通の財産として活用することは容易なことではないことも事実である。地域を越えた他の社会への浸透、閉じられた組織内での知見の外部への公開、特定の分野で得られた知見・技術の他分野での応用、新たな知見（新知見）・技術の積極的な活用などには種々の障壁

が存在する。日々大量に世に出てくる新知見・技術の扱いについては十分な見極めも必要である。具体的には、新知見・技術が、真の知見・技術なのか、恒久的なものなのかについては歴史の検証を待たなければならない。しかし、場合によっては歴史の検証を待つ余裕がない場合もあることも事実である。いずれにしても、新知見・技術の活用は諸分野における安全管理、あるいは科学技術イノベーション、社会システム変革等多くの分野で波及効果が期待されるのは確かであり、現代社会では技術の高度化と社会の複雑化があいまって、技術—社会の相互作用が顕著になってきている。文献[10]において、「20世紀前半までは科学技術の研究成果が、社会のプレイヤー、すなわち産業界や公的組織、に活用されて社会へ広まっていくという、いわばリニアモデルのような展開が代表的だった。しかし、科学技術と社会の関係は双方向に影響し合うものになってきた」と述べられているように、新知見・技術の利用や受け入れの過程で社会システムが変化すると、その変化した社会システムに適応する形で技術の革新が求められるという形で、技術と社会がお互いにフィードバックや影響を与えつつ、スパイラル的に革新が生じるという姿となっている。

スパイラル的に革新が生じるためには、技術が社会と対話しつつ、あるいは社会が技術と対話しつつ技術を受容・実装するプロセスが不可欠である。社会からの受容を決める重要な要素として、新知見・技術に対する社会のリスク認知がある。イノベーションにおける新知見・技術の導入では、それらに内在するリスクを受容者と推進者との間で共有する必要がある。

リスク認知の共有が難しい点の一つとして、頻度は低いが発生すると重大な影響がある低頻度高影響事象がある。巨大地震・津波・噴火といった極端な自然現象が様々な人工物に与える影響は、この低頻度高影響事象として捉えることが出来る。発生頻度が低いことから、発生頻度に関する認識の不確かさが大きく、発生頻度が非常に低いものについては、そもそも事象が発生するという認識すら持てない場合もあると考えられる。いわゆる何が起こるのかの知識が十分でない unknown unknowns の領域である。リスクの評価には、発生頻度と影響の大きさが寄与するが、社会のリスク認知においては、影響の大きさが重要であり、リスクの定量評価という観点からは重要である発生頻度の重要度は小さいとされている。このような低頻度高影響事象にどのように対応していくかは難しい問題である。

COVID-19 に対するリスク認知と原子力に対するリスク認知を対比的に考えてみる。COVID-19 では、全ての人がリスクについて理解し、自分なりにリスクの大きさを解析したうえでその対応を迫られている。一方で、原子力では、福島第一原発事故以前に関しても、平常時に一般の人がリスクについて理解する必要がない（少なくとも、理解されて来たとはいえない）ため、事故時に一部の人々のみがリスクへの対応を迫られる構造となっている。すなわち、原子力では国民全体でリスクについて理解しリスクを許容しながら改善していくという文化になっていない。この違いは本質的であり、種々のイノベーションのための新技術のリスク認知のあり方には大きな広がりがある。

また、COVID-19 では、発災当初の 2020 年と比較して社会のリスク認知は変化してき

ている。市民がリスクにどのように向き合うか自発的に考え、行動が変化している。現在、COVID-19 に対するリスクの相場観が形成されつつあり、その判断の結果や経験が周囲や今後の判断に影響するという相互作用の下、最終的にはリスクを許容して「気にしなくなる」定常状態への過程にあるとも言える。自動車は社会に導入されて以降十分な時間が経過し、リスク相場観が形成され、ベネフィットとの兼ね合いで最終的な定常状態が成立している他の例であろう。

COVID-19 のリスクは最初の予測（架空）のリスクから、顕在化した（現実の）リスクに変わった。架空のリスクは、現実のリスクに比べ何桁も過大に恐れられる。このため、当初架空リスクだったため恐れられていたものが、次第に現実リスクとなってリスク認知が変化した例と考えられる。

現代のイノベーション実現においては、技術開発あるいは企業活動といった狭い領域のみではなく、社会の受容におけるリスク認知の重要性を認識しつつ、学术界、規制行政機関、推進行政機関、産業界、市民社会等からの幅広い取組が必須になると考えられる。しかしながら、福島第一原発事故における新知見導入の失敗に見られる様に、このような幅広い取組を実現するための体制や方法論は必ずしも十分なものではなかった。

本記録では、2、3で継続的イノベーション及びその課題について述べた後、4において、社会的に関心の高いエネルギー、自然災害、感染症分野に関して具体的事例を取り上げ、技術-社会システムとして、イノベーション実現のための重要事項の抽出及びこれらの重要事項を俯瞰することにより得られる本質的な事項について検討を行う。

2 継続的イノベーションとは

ここでは、本記録で議論の対象とする、イノベーションの捉え方とイノベーション実現にあたっての問題意識について述べる。

日本学術会議においては、2006年～2007年にかけてイノベーション推進検討委員会が設置され、また、2014年には、内閣府に総合科学技術・イノベーション会議が設置されているなど、科学技術におけるイノベーションの重要については従来から広く認識されている。イノベーションは非常に広い概念であり、様々な定義が可能であるが、本記録では、「課題に対する新しい解決方法(input)で、これまでに存在する解決方法より、より高い効果・効率・持続可能性・公平性などのいずれか、これらのうちの複数、あるいは全部を実現(output)し、社会全体に新たな価値(outcome)をもたらすもの」と定義する[11]。

イノベーションの語には、革新的な改革のイメージがあり、不連続に実施されると広く捉えられているが、安全の確保のためには新知見を速やかに活用し手遅れとならない様にする必要がある。その意味で、本記録では継続的イノベーションという語を用い、不断の対応が必要であることを強調している。

イノベーション自体は、古くからある概念であり、シュンペーターは1900年代初頭にイ

ノベーションが以下の五つに分類されるとした[12]。

- 1)新しい財貨（プロダクト・イノベーション）
従来とは異なる、革新的な商品（新製品・新サービス）を開発すること。
- 2)新しい生産方法（プロセス・イノベーション）
革新的な生産方法や、流通方法を導入すること。
- 3)新しい販路（マーケット・イノベーション）
新たな市場に参入し、新規の顧客、ニーズを開拓すること。
- 4)新しい供給源（サプライチェーン・イノベーション）
商品をつくる原材料や、供給ルートを新規開拓すること。
- 5)新しい組織（オーガニゼーション・イノベーション）
組織を変革することで、業界に大きな影響を与えること。

また、新エネルギー・産業技術総合開発機構（New Energy and Industrial Technology Development Organization, NEDO）の「オープンイノベーション白書」によると、イノベーション創出のパターンは、以下の三つに分類される[13]。

- 1)発明牽引型：新発明の製品・サービスがイノベーションとなり得る。製品・サービスの新しい発明そのものに価値が高く、そのまま世に普及する。
- 2)普及・展開型：製品・サービスの改善の価値が高く、大量生産・大量消費などで普及する。
- 3)21世紀型：市場の製品・サービスと技術が結合し、新たな価値として提供される。デジタル技術を用いて、世界の数十億人にスピーディーに普及する。

イノベーションと類似の用語としてインベンションがある。「インベンションは技術のハードル、イノベーションは顧客や社会のハードル」であるが、「従来はインベンションの技術のハードルが高く、イノベーションの顧客のハードルが低かった」「昨今は、イノベーションのハードルが相対的に高くなっている。インベンションの技術のハードルを越えることが出来ても、イノベーションのハードルを越えられない事例が増えてきている」[14]とされている。インベンションはイノベーションの起点になりうるが、イノベーションそのものではない。

本記録で議論するイノベーションは、シュンペーターが提案した従来型のイノベーションではない。4で説明する小型モジュラー型原子炉(Small Modular Reactor, SMR)を例にとると、本記録の議論の対象は、安全性を高めるための技術、コスト低減のための製造方法、ファイナンスリスクを低減するための市場への導入方法、などに関するイノベーションではない。また、技術的な発明であるインベンションでもない。これらについては、既に様々な議論が行われている。

本記録では、技術単体では議論できず、技術－社会の相互作用が大きなウエイトを占める問題において、継続的にイノベーションを実現するための課題を検討する。技術－社会の相互作用が顕著である状況下では、新しい知見・技術の利用や受け入れの過程で社会シ

システムが変化すると、その変化した社会システムに適応する形で技術の革新が求められるという形で、技術と社会がお互いにフィードバックや影響を与えつつ、スパイラル的に革新が生じる可能性がある。これが、継続的イノベーションの本質である。「第6期科学技術・イノベーション基本計画」[9]においては、「イノベーションという概念は、今や、経済や社会の大きな変化を創出する幅広い主体による活動と捉えられ、新たな価値の創造と社会そのものの変革を見据えた「トランスフォーマティブ・イノベーション」という概念へと進化しつつある」と記載されている。本記録の継続的イノベーションは、さらに、社会の変革が技術にフィードバックされるプロセスまでを視野に入れたものである。

技術及び社会は、それぞれ発展のための固有のシステムを有しているが、この固有のシステムは技術、社会それぞれで閉じられている性格が強かったと考えられる。例えば、イノベーションは、技術発展のための一つのシステムであると捉えることが出来るが、技術だけに閉じられたものである。一方、ここで議論しているように、技術及び社会が相互作用し共創することは、生態系において多様な生物が相互に依存しながら環境を動的に変化させていくことと類似しており、これを「エコシステム」と捉えることが出来る。文献[9]では、「価値共創型の新たな産業を創出する基盤となるイノベーション・エコシステムの形成」として言及されている。本記録では、この「エコシステム」とこのエコシステムを成立させるための重要な要素として社会のリスク認知を取り上げる。継続的イノベーションを実現するためには、エコシステム及び社会のリスク認知に関連する事項について解決すべき課題がある、ということが本記録書の問題意識である。

3 継続的イノベーションにおける課題

ここでは、2で述べた継続的イノベーションを実現するにあたっての課題を検討する。1で述べたように、継続的イノベーションを実現するにあたってのキーポイントは、技術－社会の相互作用からなるエコシステムと、エコシステムの重要な要素となる社会のリスク認知であると考えられる。3では、このリスク認知に関連し、継続的イノベーションの障害となり得る課題を(1)社会のニーズドリブンの新技術開発/新知見導入、(2)知識基盤の構築過程と妥当性、(3)知識生産における構造的課題、(4)ガバナンス、に分類し、以下で議論する。

(1) 社会のニーズドリブンの新技術開発/新知見導入の課題

19世紀から20世紀にかけ、科学技術が急速に発展していた時代は、技術のイノベーションのハードルは高かったが、一方で、技術を社会実装するにあたり必要となるイノベーションのハードルは相対的には低かったと考えられる。しかしながら、21世紀以降、複雑さを増し、またグローバル化されつつある社会の中では、イノベーションに比べて社会との対話が必要となるイノベーションのハードルが相対的に高くなりつつある。

新技術や新知見を社会実装するためには、技術、社会、規制、市場など様々なハードルがある。従来は、技術そのものを実現するハードルが支配的であったところ、現在で

は、社会や規制のハードルが支配的になりつつある。すなわち、新技術の開発や新知見の導入は社会からのニーズに基づく必要があり、これは言い換えると、社会からの二つの「じゅよう」、すなわち「受容」と「需要」を十分に考慮する必要があることと言える。

さらに、原子力技術の場合、社会からの二つの「じゅよう」に加え、規制への適合性についても社会実装にあたっての重要な因子となる。この点は、電源としての原子力と他の技術、例えば再生可能エネルギーを比較するとより明確になる。再生可能エネルギーは広く社会から受容されている。社会や規制のハードルは、現状では比較的低い状態であり、技術や市場のハードルが高い状態である。

継続的イノベーションの本質は、技術—社会からなるエコシステムにおいて進む革新である。従来は技術が先に開発され、社会がそれに合わせる形で技術の社会実装が進んできたが、継続的イノベーションを実現するためには、このプロセスを抜本的に見直す必要がある。すなわち、社会のニーズが先にあり、それに合わせる形で技術が開発され、社会が技術の形を決めるアプローチが採用されるべきである。言い換えると、社会のニーズに駆動される形で新技術の開発や新知見の導入を行うべきである。これは、文献[9][10]においても、「ニーズプル型のイノベーション創出」「構想段階からより多様な意見を求めていくことで、より今日の社会の課題に応える解決に的確に到達出来る」として言及されている。例えば、4で考察の対象としているSMRは新型炉として設計・開発を行うものであり、既存の施設を改修するものではない。そのため、専門家が検討し、出来上がった設計を社会に説明するのではなく、社会のニーズを満足するように設計をすることが出来る。すなわち、社会を技術に合わせるのではなく、技術を社会のニーズに合わせる事が出来ると考えられる。

社会からの受容を決める重要な要素として、新技術や新知見に対する社会のリスク認知がある。これまでも公衆のリスク認知と専門家のリスク認知にギャップがあることは広く知られており、新技術・新知見を社会実装するにあたって十分な留意が必要であることは明らかである。従来は、専門家が新技術・新知見について説明、すなわち情報発信し、その内容を公衆に理解してもらおうアプローチが取られていた。しかしながら、一方向のコミュニケーションに基づくこのような社会実装のスタイルは、現代社会においては限界があり、このようなアプローチはもはや適切ではないと考えられる。1において、不確かさの大きい低頻度高影響事象及び予測のリスク認知の難しさについて述べた。これらについては、社会と専門家のリスク認知のギャップが生じやすい点であるが、このギャップを「技術を説明し理解してもらおう」プロセスだけで埋めることは困難であるとの認識を持っておく必要がある。すなわち、技術として、このギャップを埋めるための方法論を検討しておく必要がある。

(2) 知識基盤の構築過程と妥当性の課題

3(1)では、社会のニーズを出発点とした新技術開発や新知見導入及びこれらを社会に実装する際のリスク認知の重要性について述べた。一方、東京電力福島第一原発事故により、原子力技術やそれに関わる専門家の信頼性は著しく失われている状態である。

Jasanoff は「ある社会が、その共同の行為を決定するための基礎として、科学知識がどのような仕方であつても公共的に受け入れられるかを表す概念」として、市民認識論を提唱した[15]。この考え方に基づくと、新技術開発や新知見導入の基礎となっている知識そのものの妥当性に加え、どのような知識が開発のベースにあるべきか、どのようなプロセスで知識基盤を構築すべきかに立ち返って検討することが重要になる。

各国で妥当とされる市民認識論的なモデルは異なるとされる。例えば、米国は「論争的」なスタイルで、情報へのオープン・アクセス、パブリック・コメント、法的手段等を重視しつつ、定量的分析に支えられた健全な科学に基づく「どこでもないところからの眺め」(view from nowhere)が「客観的」と見なされやすいとされる。英国では共同体主義に基づいて、議論を通じたバランスのとれた判断(balanced judgement)が重視され、政府の科学的助言においては、社会的地位の高いエリートが様々な科学的知見を公共的知識に統合していくスタイルが好まれる。ドイツでは、様々な組織間でのコンセンサスを重視し、「客観性」は「あらゆるところからの眺め」(view from everywhere)と見なされ、関連する組織の代表者が会した場で公共的知識がつけられていく、とされている[15, 16]。

日本において、20 世紀には専門家の知識に基づくモデルが妥当とされた時代もあつたが、状況は大きく変化しつつあり、特に福島第一原発事故以降、この変化が、加速・顕在化している。福島第一原発事故から 12 年間の経過したが、日本において妥当とされる知識基盤のモデルについては、まだ模索が続いている段階であると考えられる。諸外国のモデルを参考にしつつ、どのような知識基盤構築のモデルが日本において適切なものか、議論を深めていく必要がある。

原子力発電所のように、供用期間が数十年に及ぶライフサイクルが長い技術において、社会が妥当と考える知識基盤のモデルが時代とともに変化していく場合、どのように対応していくかも課題となる。例えば、原子力発電所においては、定期安全レビュー(Periodic Safety Review, PSR)に基づき、一定期間(10 年)ごとに主として安全性に関する大規模な見直しを行う取組がある。これは、発電所設備の経年劣化などの直接的な観点のみならず、より幅広い観点からの見直しを行うものである。国際原子力機関(International Atomic Energy Agency, IAEA)の文書によると、10 年ごとに行う定期安全レビューの意義として、安全基準の変化、技術や科学的知見の変化、経年劣化、運転経験の蓄積などの純技術的な観点に加えて、社会環境の変化、管理体制やマネジメント法の変化など原子力安全に間接的に影響を及ぼす因子についてもレビューを実施することが挙げられている[17]。この PSR の考え方を援用するならば、ライフサイクルが長い技術においては、適切な時間間隔で構築された知識基盤の妥当性など、市民認識論的な観点からのレビューを実施することが一つの対応策として考えられる。

科学者・技術者が持つ知識やその枠組みの妥当性を確認するためには、それを検証する方策が必要となるが、これはまだ十分に確立されていない。原子力の場合、原子力の専門知識を有した信頼できる第三者がこの検証を行うことが考えられるが、確認のためにどのような現実的なプロセスが設計できるかについて検討を行う必要がある。IAEA は、

Institutional Strength-in-Depth (以下「ISiD」という。)という考え方を提唱している[18]。ISiDにおいて、原子力安全を担保するのは原子力安全に関して第一義的責任を有する原子力事業者と規制組織のみではない。ISiDは三つの層から構成されており、第一層は国内外の原子力事業者、第二層は国内外の規制組織、第三層は立地自治体、学术界などを含む国内外の関連組織である。ISiDは、多様な視点を持つステークホルダーが原子力安全に関与し、特に第三層の関係者が原子力事業者と規制組織に問いかけを行うことにより、安全上の欠けや抜けを可能な限り少なくすると言う概念である。従って、特に社会を代表する ISiD の第三層の関係者が知識基盤のレビューを実施することにより、市民認識論的な観点からの知識基盤の妥当性の確認にも寄与できる可能性があると考えられる。

このような関係を実現するためには、各ステークホルダーは互いの姿勢や努力を認め合う成熟した関係を築き、対等のコミュニケーションを図るようにしていかなければならない。また、ISiDの考え方に則ってステークホルダーがコミュニケーションを取る場合、ISiDの本質である双方向性に十分に留意する必要がある。従来、日本の科学技術の開発においては、官が方向性を示し、有識者会合などでこの方向性を議論する一方向型のアプローチが取られることが多かったが、継続的イノベーションに必要な技術と社会の相互作用を考えると、社会からのフィードバックを適切に考慮する双方向アプローチをどのように確立するかが課題である。

(3) 知識生産における構造的課題

3(2)では、知識基盤の構築過程と妥当性に関する検証の重要性について述べたが、その知識基盤を生産する上での課題について、やや詳細に検討を行う。

松本は、「構造災」[19]において、知識基盤の構築過程において、構造的に「欠け」が生じる要因があるのではないかと述べており、構造災が発生する要因として、①先例が間違っているときに先例を踏襲して問題を温存してしまう、②複雑性と相互依存性が問題を増幅する、③小集団の非公式の規範が公式の規範を長期にわたって空洞化する、④問題への対応においてその場かぎりの想定による対症療法が増殖する、⑤責任の所在を不明瞭にする秘密主義がセクターを問わず連鎖する、ことを挙げている。例えば、福島第一原発事故の直接要因である津波の新知見導入にあたっては、これらの状態が見られていると考えられる。従って、構造災を起こす上記①～⑤の要因が知識生産における構造的課題の一つとなっており、新技術や新知見の導入を阻害していると理解できる。そうすると、イノベーションを継続的に行っていくためには、構造災を引き起こす要因を取り除いていく必要があり、そのための取組は、3(1)、3(2)で述べた内容と共通すると考えられる。

Downerは、認識的事故(epistemic accident)という概念を提唱しており[20]、事故前はそれなりに妥当であると考えられていた意思決定が、実際に事故が起きた後になってみると、遡って不合理だったと結論付けざるを得ないような状況が生じうるとしている。この根本的な原因は、複雑な技術システムに対する知識や認識の限界が要因であり、知

識生産において、「知っている・知っていない」という二分法ではなく、複雑な意思決定システムの中で知見が実際に活用できる状態であったかどうか、がポイントになるとしている。これは、学術で重要視されている「分かっている・分かっていない」「知っている・知っていない」に加えて、「活用できる・出来ない」という第三の視点が必要であり、この第三の視点が知識生産において構造的に欠けていたとみることが出来る。福島第一原子力発電所事故における津波の新知見導入に関しても、「知見があった・なかった」という観点に加えて、安全対策を実施するための意思決定システムでこの知見を活用できた状態であったかどうか重要であったと考えられる。

イノベーションのための新技術・新知見の導入にあたっては、それらに内在するリスクを開発者と社会との間で共有する必要がある。しかし、リスクを社会と共有することは容易ではない。リスク評価においては、存在論的リスク観と構築的リスク観の二つがあるとされる[21]。存在論的リスク観は、評価対象には「真のリスク」があり、評価者の知識や評価手法が精緻になればリスク評価の結果が真のリスクに近づいていくとする考え方である。原子力発電所の確率論的リスク評価を始め、工学システムのリスク評価は基本的に存在論的リスク観に基づいていると考えられる。一方、構築的リスク観は、客観的な手法によりリスクを評価するというより、ステークホルダー間で議論を重ね、「リスクの相場観」を醸成することによりリスクを共有するという考え方である。存在論的リスク観では、リスク評価は専門家が客観的に行うものであり、それを社会に説明するというアプローチになるが、一方で、このようなアプローチは社会のニーズに基づく新技術・新知見導入や知識基盤の妥当性確認には直接つながらない。3(1)、(2)での議論を踏まえると、リスク評価やリスクに関連するコミュニケーションにおいて、構築的リスク観の考え方を知識生産において体系的に取り入れていくことが重要になると考えられる。このような取組は、リスク認知の共有が難しい低頻度高影響事象等に対しても有効性があると期待される。原子力分野では、リスク情報の活用が近年精力的に検討されており、その中でリスク情報に基づく統合的な意思決定手法(Integrated Risk Informed Decision Making, IRIDM)が取り入れられつつある[22, 23]。IRIDMでは、客観的に評価されたリスクに関する情報を入力情報の一つとして、ステークホルダーとの対話も含めて統合的・多角的な観点から意思決定をする方法であり、存在論的リスク観と構築的リスク観を取り入れ、これらを融合する手法であると理解することが出来る。このような手法の活用をさらに進めていくことが重要である。

存在論的リスク観と構築的リスク観では、いずれも「リスク」を取り扱うが、両者のリスクの性質が同一ではないことに留意しておく必要がある。存在論的リスク観では、リスクを定量評価することから、リスクを低減させる取組が主眼になる一方、構築的リスク観では、「どのようなリスクがあるか」という枠組みから検討することも多くなり、結果としてリスクを発生させている問題や課題そのものを解消させるという取組にもなり得る。従来 of 工学的アプローチでは、問題や課題の解決を提示する、という知識生産の構造であったが、このように問題や課題そのものを解消させる、という新たな構造は継続的イノベーションにおいて重要となる。IRIDMでは、このようなリスクの性質の

違いも含めた形で意思決定を行える仕組みであるが、IRIDMの実践にあたっては、「リスクを低減させる」「リスクの源を解消させる」というアプローチの違いを念頭に置いておく必要があると考えられる。なお、3(2)でISiDについて述べたが、ISiDは構築的リスク観との親和性が高いということも指摘しておきたい。ISiDの本質は、多様な視点を持ったステークホルダーが対話することであり、これは構築的リスク観の具体的な取り組みとして位置づけることができる。

IRIDMにおいては、リスク情報に基づき議論を行うが、リスク評価者以外の幅広い関係者で議論を行う場合、どうしても議論が定量的・比較的になりがちである。複雑な工学システムのリスク評価は様々な前提条件や仮定を置いて行われるが、幅広い関係者との議論でリスク評価の詳細まで情報を共有することは現実問題として困難である。これは、言い換えると、知識の伝達過程において不可避に発生する単純化により、複雑な情報の本質が欠落していくということであり、構築的リスク観に基づくリスク評価を行う上では避けて通れない課題である。現時点では、この問題に対する簡易な処方箋はないと考えられるが、知識生産過程における構造的な課題の一つであることを認識しておくことは重要である。

存在論的リスク観では、リスク評価は専門家が客観的に行うものであり、幅広い関係者がそれに関与することは本質的に困難である。また、構築的リスク観に基づき、幅広い関係者に議論への参加を求めたとしても、専門的な知識(専門知)が欠如しているとの理由から幅広い関係者の参加は困難であることが予想される。これを解決するための一つのキーポイントが「貢献的専門知」に加えて「対話型専門知」の重要性を明確にすることではないかと考えられる[24]。「貢献型専門知」は従来から認識されている専門家が有している知識であり、例えば複雑な工学システムのリスク評価を客観的に行う際に必要となる。一方、「対話型専門知」は、「貢献型専門知」ではなく、専門知を必要とするプロジェクトの重要事項を議論できる知識のことである。構築的リスク観に基づくリスク評価においては、「貢献的専門知」がなくても、「対話型専門知」により、知識生産過程の確認は可能であるはずで、これが知識生産過程における構造的な課題の解決につながるものと考えられる。また、「対話型専門知」を有する専門家は、技術—社会という大きなエコシステムにおける課題を検討する必要がある継続的イノベーションにとって必要な人材であると言える。

従来、高等教育機関における人材育成は、「貢献型専門知」を有する専門家の育成に注力してきたが、今後は、「貢献型専門知」を有する従来の専門家の定義を拡張し、社会をつなぐ「対話型専門知」を有する人材をどのような専門家と位置づけるのか、また「対話型専門知」を有する人材をどのように見だし、育成していくのか、が重要な課題になる。

(4) ガバナンスにおける課題

継続的イノベーションが技術と社会の相互作用・スパイラルアップで進んでいくものであるとすると、その推進力は社会のニーズ、それに応じて革新が進む技術のシーズ、

になると考えられる。このような状況のもと、適切な知識基盤の構築過程の検討、知識基盤の妥当性確認、知識基盤に関する課題の解決、リスク評価上の課題など、3の(1)～(3)に述べた内容について、誰がどのようにリーダーシップを取って対応すべきであるかは必ずしも自明ではない。文献[10]においては、「多様な価値観を認めた上で、それらに対する社会の評価を加味し、かつデータや客観的事実に基づき、解決策の候補を求め、それを社会に問い、一定の合意を形成しつつ実行に移していくと言う段取りである。これは新たなガバナンスと言って良い」と述べられている。もちろん学界はこれらの課題の解決に対して重要なプレイヤーになると考えられるが、一方で継続的イノベーションの本質を考えると、ガバナンスについては学界のみで課題の解決を行えるわけではなく、今後議論を深める必要がある。

また、社会のリスク認知のあり方は、社会の文化のありようと密接に関係すると考えられる。科学技術において安全であることとは、リスクが許容されるレベル以下に抑制されていることであり、危険と安全の間には明確な境界はなく、幅広いグレーゾーンが存在する。このグレーゾーンを許容できる文化、あるいは、これを許容する/許容しないための議論が明示的に行われる文化は、イノベーションと親和性が高い文化であると言えるかもしれない。日本では、グレーゾーンに関して議論する取組はあまり行われてきておらず、ある判断基準に従って安全か危険かを判断するアプローチが主流であったと考えられる。社会に継続的イノベーションが定着していくためには、グレーゾーンにあるリスクを関係者間で徹底的に議論する習慣も合意を形成する過程で重要となると考えられる。

4 具体的な事例

ここでは、技術と相互作用を行う社会とで構成される「エコシステム」におけるイノベーションという立場で、社会的に関心の高いエネルギー、環境、感染症分野の中から具体的な事例を取り上げ、継続的イノベーションの実現における課題について、特にエコシステムにおける社会のリスク認知に関連する議論を行う。

(1)で述べる小型モジュラー型原子炉及び(2)で述べる再生可能エネルギーについては、3で述べた4つの課題(社会のニーズドリブンの新技術開発、知識基盤の構築過程と妥当性、知識生産における構造的課題、ガバナンス)が関連するエネルギー分野の代表的な技術例として取り上げる。(3)で述べる巨大火山噴火については、発生に関する不確かさが大きく、また、社会のリスク認知の観点からも影響が極めて大きい低頻度高影響事象の代表例として取り上げる。(4)で述べる新型コロナウイルス感染症対応については、リスクや社会への影響に関する評価の不確かさが大きかった発生当初の状況から、知識や経験の獲得を通じて社会のリスク認知が変化した事例として取り上げる。

これら4つの事例は、いずれも技術-社会の相互作用からなるエコシステムにおいて、社会のリスク認知が大きな影響をもたらしている例として考えることが出来る。そこで、4の最後に、これら4つの事例から得られた重要事項を俯瞰し、横断的・共通的な事項について検討を行う。

(1) 小型モジュラー型原子炉 (Small Modular Reactor, SMR)

① これまでの経緯と現状

2で述べたイノベーション創出のパターンを原子力分野に当てはめると、以下のよう整理できると考えられる。

- ・1950年代以前は発明牽引型：核分裂の発見が核兵器の開発につながり、その技術が動力炉に適用された。すなわち、核分裂とその制御技術に牽引される形で動力炉の開発と導入が行われた。
- ・1960年代～2000年代は普及・展開型：標準化され、性能や経済性が向上した軽水炉が開発され、各国へ普及した。

一方、原子力発電所の事故やトラブルなどにより、2000年代からは多くの国において原子力技術の開発は停滞している。原子力技術は、21世紀型イノベーション（4ページ参照）を取り入れることが出来なかった、あるいは、21世紀型イノベーションに追従することが出来なかったと理解することが出来る。

現在、日本を含め世界各国では、電気出力が数十万 kW～150 万 kW 程度の発電用原子炉が使用されている。これに対し、東京電力福島第一原発事故の教訓を設計に取り込んだ次世代の原子炉として、SMRの研究開発が活発に行われ、海外においては、カナダ・米国など2030年代における導入が計画されている国もある。

SMRは、電気出力が比較的大きい既存の発電用原子炉に比べ、以下の特徴を有している[25, 26]。

- ・一つの原子炉から得られる電気出力は30万kW程度以下である。
- ・一つの原子炉施設が複数の原子炉モジュールから構成されている場合があり、電力需要に応じて運転する原子炉モジュール数を変化させるなど、電力需要(負荷)変動への対応を柔軟に行うことが出来る。また、発電用のみならず、水素製造など多目的の熱利用が想定されていることも多い。
- ・多数の小型原子炉モジュールを使用するため、工場において主要なモジュールを生産し、それを輸送して現地に据え付けることが可能である。そのため建設作業が簡素化され、建設コスト、建設工期、初期コストなどが低減できる可能性がある。
- ・一基あたりの原子炉の熱出力が小さいため、一基あたりの崩壊熱が小さく、東京電力福島第一原子力発電所事故のようにポンプなどを使用する冷却機能を喪失しても、対流や熱伝達など自然現象を使用した放熱が可能である。

以下では、SMRを継続的イノベーションの一例として考え、3で検討した諸課題について検討する。

② 社会のニーズドリブンの新技術開発/新知見導入の課題

東京電力福島第一原発事故の直接原因は、設計想定を遙かに上回る外的事象(津波)

により電源が喪失し、その結果、原子炉の冷却が継続できず、崩壊熱により炉心に装荷されている核燃料が高温になり損傷したことであった。その結果、大量の放射性物質が環境中に放出され、社会に甚大な影響を与え、その影響は現在も継続している。原子炉の安全確保の観点から最重要事項の一つは、原子炉の冷却の継続である。これを達成するためには様々なアプローチがあり得るが、SMR では一基あたりの炉心モジュールの出力を下げた原子炉あたりの崩壊熱レベルを低下させたこと、冷却にあたっては、電源などの動力源を使用せずに熱伝達や対流などの自然現象のみを利用して放熱を図ること、さらに半地下式にするなどの方策で自然現象や人為事象などの外部のハザードのリスクを低減すること、などの概念が検討されている。

このように、福島第一原発事故の教訓は、現在検討中の SMR の設計概念の基礎となっており、頻度は非常に低くても、放射性物質を大量に外部に放出し周辺に重大な影響を与える事故を避ける方針である。また、海外では、SMR の敷地外における緊急時避難計画を不要にする可能性についても検討がなされている。これは、頻度が考慮されにくく、深刻度の影響に重きを置く社会のリスク認知を考慮し、重大な事故における影響の大きさを技術的に抑制する取り組みの一つであるとも言える。文献[27]に、事故が大きな影響をもたらす場合の安全目標の考え方の一つとして、ある事故の影響が大きくなるほど、その事故の発生頻度の目標値をより低くする考え方が示されている。原子力の場合、例えば、事故の発生確率と被ばく線量の積が一定であればリスクは等価と考えることも出来るが、被ばく線量が大きい領域（より事故の影響が重大な領域）については、より発生頻度を低く制限することが適切という考え方である。これは、低頻度高影響事象を抑制するための技術的なアプローチであり、一例として文献[28]において、SMR などの革新炉に対する安全目標という形で提案がなされている。

また、既存の原子力発電所が発電用途に限定されている一方で、カーボンニュートラル実現のためには産業の脱炭素化が重要となり、カーボンフリーの熱源が求められている。そのため、発電用途のみならず、多目的熱利用を想定した SMR の設計もなされている。また、今後も再生可能エネルギーの導入が進むと考えられることから、発電量や電力需要の増減に応じて出力を変動させる負荷追従能力が重要となる。SMR は、負荷追従性を当初から念頭に置いて検討がなされている。

原子力発電所は、計画から運転開始までの期間が長くなるため、投資のためのハードルが高くなりがちである。そのため、出力を小さくした複数の原子炉モジュールを使用することで建設期間や初期の建設コストを下げるなどの方向性が検討されている。

以上のように、SMR は社会からのニーズを取り入れながら検討が行われている。ただし、SMR は新しい概念を導入した設計が採用されており、そのような原子力プラントに対する社会的受容性については、十分な議論がなされておらず、今後の課題である。

③ 知識基盤の構築過程と妥当性の課題

SMRの検討は、主として原子力メーカーやベンチャー企業などにおいて、これまでに国際的に確立されてきた原子力に関わる経験や知識基盤をベースに実施されている。一方、3で述べたように、社会のニーズを取り入れつつ開発されたとしても、SMRが製品として準備できた段階で社会にその内容を説明することは、継続的イノベーションの本質を考えると適切ではない。従来、日本においては、産官学のうち、官が主導して学が「お墨付き」を与え、産が取り組みを進める、というモデルであったと考えられるが、継続的イノベーションの観点からはこのモデルには「社」（社会）が欠けていることに留意する必要がある。一方、このモデルに取って代わり得る「社産官学」を考慮したアプローチは確立されておらず、手探りで進める必要があると考えられる。ISiDの考え方を活用すれば、開発の初期から公開のシンポジウムや社会の代表であるメディアとの意見交換などを活用し、社会からのフィードバックを適切に取り込みつつ技術開発を進めていく必要がある。特に、原子力防災計画に関わる原子力災害対策重点地域(Emergency Planning Zone, EPZ)の設定方法については、社会との接点として最も重要な点の一つであり、十分な意見交換が必要になる。また、重要なステークホルダーである規制当局との意見交換も開発初期から実施することが重要であり、これは規制プロセスの設計や規制の予見性向上に寄与する。

SMRの開発にあたっては、様々な新たな技術的課題に遭遇すると予想される。例えば、SMRでは、自然現象(伝熱、自然対流など)を利用した除熱技術が採用されるケースが多いが、既存の原子炉での経験は多いとは言えず、解析に伴う不確かさが増大するなどの可能性がある。これらの技術的課題に適切に対処していくためには、関係するステークホルダーが共通の知識基盤を構築していくことも重要である。もちろん、規制当局と産業界の独立性は前提条件として重要であり、また、民間の研究開発については、知的財産権についても考慮する必要がある。例えば、学术界が実験データなどの事実関係の知識基盤構築を主導するなどの取り組みを進めることが考えられる。

④ 知識生産における構造的課題

新型炉の開発にあたっては、最新知見を積極的に取り入れることは当然であるが、認識的事故を避けるためには、最新知見を「知っている・知らない」という状態ではなく、SMRの設計に落とし込める形、つまり「使える」状態にまで昇華させることが重要である。このためには、例えば学協会における規格基準類の検討などを活用することが考えられる。

SMRのような新技術を導入するにあたって、リスクに関する認識を社会と共有することは重要である。従来の存在論的リスク観に基づくリスク評価は、SMRの研究・開発時に実施されるが、その結果を開発の各段階でステークホルダーと共有しつつ、構築的リスク観の観点からリスクの相場観を構築することが重要になる。このためには、シンポジウムやワークショップなど、開かれた形で繰り返し意見交換出来るしくみを構築しておく必要がある。このような多くのステークホルダーが関わる議論を進める際、IRIDMの考え方を適切に使用する必要がある。

上記の意見交換においては、専門家が関わる必要がある。貢献的専門知については、開発に直接関与する者、あるいは開発をマネジメントしている者など適切な人材が存在するが、一方で対話型専門知を有する人材をどのように集めるかについては、あらかじめ検討しておく必要がある。

知識生産における構造的課題の一つとして、知識に構造的に「欠け」が生じる可能性が指摘されている。この欠けをできるだけ少なくする方策として、上記で述べたように新技術の開発の初期段階から多様なステークホルダーからの意見を取り込むことが挙げられるが、それでもなお、知識に欠けが生じることを前提としておく必要がある。原子力における安全設計の原則の一つとして取り入れられている深層防護は、知識の欠けや見落としを前提とした不確かさに対応するための方法論の一つであり、多様な防護策を多重にとることで全体としての防護性能を向上させるものである。深層防護においては、異常な状態や事故を発生させない品質マネジメント、十分な安全余裕といった方策をとり、それでもなお異常状態が発生した場合には、事故の進展を緩和する多様な冷却系を多重に設定する対応を行う。もちろん、知識の欠けを前提とすると、想定出来ない事故シナリオについても検討しておく必要がある。そのため、現行の原子力施設に対する規制基準においては、深層防護の後段として「どのような事故シナリオかは問わず、炉心損傷を必ず想定して放射性物質の放出防止・低減対策を講ずる」といった考え方を取り入れることで、知識の欠けを前提とした対策を講じている。

⑤ ガバナンスにおける課題

前述の②～④の取組に際しては、様々なステークホルダーが関与することとなる。また、多様な視点を確保しつつ客観的なデータと社会のリスク認知に基づき、達成可能な技術について社会と合意するという非常に複雑なプロセスが求められる。ボトムアップ的にこのようなプロセスを実行することは事実上困難であると予想されるが、トップダウン的に実行する場合に要求されるガバナンスのあり方については、確立されていないと考えられ、今後の検討課題である。

(2) 再生可能エネルギー

① これまでの経緯と現状

再生可能エネルギーは地球温暖化防止という人類の生存に関わる問題解決のために検討・導入されつつある「課題に対する新しい解決方法(input)」で、社会の持続可能性を目指しており、環境とエネルギーの双方に関与している。ここで、技術—社会が一体となったエコシステムの課題を検討していく重要な事例として取り上げる。

再生可能エネルギーとは、太陽光や風力など、常に自然界に存在するエネルギーのことであり、石炭や石油、天然ガスなどの資源に限りのある化石燃料とは異なり、“資源が枯渇しない”、“資源が局在していない”、“CO₂を排出しない”という特徴を持つ。主なエネルギー源として“太陽光”、“風力”、“水力”、“地熱”、“バイオマス”、“温度

差”、“波力”、“潮流”が挙げられる。地球温暖化の原因となるCO₂を排出しないエネルギー源として注目を浴び、各国で開発導入が進められている。

再生可能エネルギーは、小規模発電所/分散型電源となる場合がほとんどである。大規模発電所と比較すると小規模であり、必然的に分散する性質がある。そのため、万一災害などによりいくつかのエネルギー生成箇所が停止しても、全体への影響は微弱になり、需給バランスを維持できる可能性が高まる。

再生可能エネルギーは既に述べた様に、地球温暖化防止の目的で社会から導入が望まれており、経済的、技術的、環境影響などの制約を克服しての導入が進められている。

再生可能エネルギーの利点を再度まとめてみると、自給率の向上、エネルギー源が枯渇しない、CO₂の排出量が少ない、小規模/分散型であり不具合が生じても影響範囲が少ない、概して施設設計が簡単、非常時のエネルギー確保に役立つ等がある。一方、現状での負の側面としては、発電量変動が大、コストが大、小規模発電、立地の制約、騒音・景観・観光への影響、低エネルギー変換効率等が挙げられる。

これらに起因する問題点として、安定的な電源として制御しにくい、安定した大容量電源とならない点がある。地産・地消型のシステムでも、ナショナルグリッド等の外部との接続が必要とされ、現状の電力システムとの組み合わせが避けられない問題が出てくる。

再生可能エネルギーの社会実装を実現するにあたっては、これらの問題点・課題を克服し、技術—社会からなるエコシステムにおける革新、つまり継続的イノベーションを進める必要がある。

② 社会のニーズドリブンの新技術開発/新知見導入の課題

(2)①で述べたように、再生可能エネルギーは、温室効果ガス排出量が少ない国産電源として日本において広く社会から望まれており、積極的に導入が進められ需要も高い。すなわち、社会のニーズが先にあり、それに合わせる形で技術が開発されており、社会や規制のハードルは現状では比較的低い状態であり、むしろ高効率の太陽電池開発、発電コスト低減、安定的な蓄電デバイスの開発など、技術や市場のハードルが高い状態であると見ることが出来る。現状、太陽光発電の導入が急速に進んでいるのは優遇・支援政策が導入者の利益につながるというインセンティブの効果も見逃せない。今後、状況により、社会的受容の程度が変化する可能性は残っている。その場合は社会のリスク認知が重要な因子となってくる。グレーゾーンにあるリスクを関係者間で徹底的に議論する場を事前に確立しておくことが必要である。

③ 知識基盤の構築過程と妥当性の課題

再生可能エネルギーについては地球温暖化防止の切り札としての役割が期待され、広く技術的側面についてその特長が喧伝されている。社会もこれに対して特段の疑念を抱いている段階ではない。しかし、再生可能エネルギーの実装が進み、身近に関与

する段階になると、再生可能エネルギーに関する情報・知識の妥当性を確認する必要性が当然ながら出てくる。妥当性確認は、現在広く社会的にはなされていない状態であるので、議論を通じたバランスのとれた判断がなされる英国型の方法、つまり様々な科学的知見を公共的知識に統合していくスタイルが適当であると考えられる。そのためには再生可能エネルギー導入において優遇・支援を行っている政府・地方自治体が、事業者、学术界、規制者、利用者、周辺住民等と一体となり知識基盤のレビューを実施できる体制、つまり「対話型専門知」を持った多様な視点のステークホルダー間のコミュニケーションを経常的に実施する体制を確立することが必要である。情報へのオープン・アクセス、パブリック・コメントの枠組みも早期に確立しておくことが重要であり、ここでは新たに発生する可能性のあるリスクの洗い出しが主要な議論となるであろう。

④ 知識生産における構造的課題

知識基盤を生産する上で留意すべき点として、構造的に「欠け」が生じる要因を検討しておくことが必要である。再生可能エネルギーの場合は、その施設の性質上、原子力発電に見られる大規模災害の恐れはほとんどない。考えられるリスクとして、周辺住民に対する、騒音、汚染等の環境的な影響が指摘されている。また、太陽光パネルの場合は長期使用後の廃棄処理プロセスの確立が話題に上っている。さらに今後実装が進むに従い明らかになってくるリスクもあり得る。

⑤ ガバナンスにおける課題

再生可能エネルギーシステムの場合は社会との関わり、社会のあり方が主要な課題となっているが、特に再生可能エネルギーは発電量の不安定さの故、既存化石燃料による電力システム網に組み込み調整・一元管理を必要とする技術的課題がある。電力網に組み込まれているのは社会のほぼ全世帯であるので、新技術が社会全体と密接に関係する初めての例となるのではなかろうか。現状では、太陽光発電の電力を各電力会社が買い取る制度となっており、瞬時の必要消費電力量の調整は、各電力会社が個別に実施している。

今後再生可能エネルギーを積極的に導入するためには、エネルギー源の適正な配分（再生可能エネルギーと化石燃料間）、蓄電技術の開発、発電網の管理、発電量の調整・管理を総合的な見地から一元的に推進する全社会的な組織の構築が望まれる。この組織には、前述の「対話型専門知」を持ったステークホルダーによるコミュニケーション実施の機能も備える必要がある。

(3) 巨大火山噴火

巨大火山噴火は万一発生した場合、私達の社会生活に甚大な影響を与えることが想像される自然災害であり、社会のリスク認知も高い。ここでは一例として原子力発電所の安全対策との関係で検討する。

巨大火山噴火とは、2019年12月18日の原子力規制委員会「原子力発電所の火山影響評価ガイド」によれば、「大量の火砕流によって広域的な地域に重大かつ深刻な災害を引き起こすような噴火であり、噴火規模としては、数10km³程度を超えるような噴火」と規定している。発生頻度は過去12万年間に30km³以上の火山噴火は17回発生していて、およそ7,000年に1回の割合となる極めて稀な事象である（参考資料3-3参照）。

巨大火山噴火に対しては、大量の火砕流によって広域的な地域に重大かつ深刻な災害を引き起こすような噴火が原子力発電所に与える影響を評価し、立地不適格でなければ、適切な安全対策を検討するとともに、社会への広範な影響拡大防止策の検討も行う必要がある。

巨大火山噴火に対する安全性確認の社会ニーズは、原子力発電の安全性の社会ニーズの一部となるものであるが、巨大火山噴火に対する社会のリスク認知が社会ニーズの前提の一つとなる。

巨大火山噴火の規模とその発生頻度に関する知識としては、火山研究者の研究成果、事業者の知見、司法の判断、規制の判断、市民の意見等が存在しているが、これらにはかなりの隔りがある（参考資料3）。このようにリスク認知に寄与する情報が少ない中、基本的な研究の進展と平行して、IAEAの提唱しているISiDと同等の枠組みを用いた妥当性確認を行うことが考えられる。今後、知見の進展に伴い、この確認は随時更新される必要がある。

巨大火山噴火という身近には経験の少ない事象に関する知識の生産過程における構造的課題を見ていくと、③小集団の非公式の規範が公式の規範を長期にわたって空洞化する、④問題への対応においてその場かぎりの想定による対症療法が増殖する、の2側面が課題となる可能性がある。これらを回避するため、「対話型専門知」を活用した構造的な課題の解決を行っていくことが考えられる。

巨大火山噴火は極めて稀な事象であり学問的な知見も乏しい、まさに不確実な事象に如何に向き合うかという典型的な事例である。そのリスクには極めて大きな不確かさが伴い、対策の有効性にも大きな不確かさが伴う。従って、費用対効果を高い精度で定量的に示すことは極めて困難となっている。リスク情報に基づき議論を行う必要があるが、明確な存在論的リスク観が期待できない状況であるので、構築的リスク観に基づき当事者間だけでなく社会全体でリスク認知を共有しつつ問題解決にあたっていくのがエコシステムとして妥当と考える。そして、このための有力な方法論として、IRIDMの活用が考えられる。

(4) 新型コロナウイルス感染症（COVID-19, coronavirus disease 2019）への対応にみる社会の変化と継続的イノベーション

2019年に発生した新型コロナウイルス感染症（COVID-19）は、世界の複数の地域で同時に大流行するいわゆるパンデミックの状態となった。パンデミックの発生により私達人間の社会生活は大幅な制限を受けることになり世界経済も大きな縮小を余儀なくさせられている。

パンデミックは、ある種昔から知られているリスクである。世界経済フォーラム (World Economic Forum, WEF) の「グローバルリスク・ランドスケープ」では、パンデミックは影響の大きいリスクとして常に認識されてきており、WEF のリストには、社会的リスクの一つとして、「迅速で甚大な感染症の広がり Rapid and massive spread of infectious diseases」が挙げられていた[29]。

COVID-19 による影響がここまでグローバルに広がり、かつ、医療・健康と経済とのバランスをはじめとした多面的なトレードオフ問題に世界中がこれほどまでに悩ませられるとは想像できなかっただろう。例えば、Collins によるパンデミック下で現実に対処されたことの指摘「大多数の国では、厳格なリスク低減措置を課すと同時に、市民の自由を完全に、あるいは長すぎる期間、制限するのではなく、かなりのリスクが残留することを容認している。」「政策立案者は、複雑に絡み合ったシステム（医療、経済、社会、世界規模の輸送など）に迅速かつ強力で介入する以外にほとんど選択の余地がなかった。」[30]がある。実際、日本でも 2020 年 3 月には義務教育学校における全国一斉臨時休校の要請が出され、一般市民に対しても、自治体単位で緊急事態宣言、まん延防止等重点措置による行動制限が課せられた。会食の禁止、マスク着用義務等の行動規制といった様々な感染防止策も要請された。

しかし日本では、このような行動変容を要請する理由や根拠はほとんど明らかにされなかった。新興感染症でデータが不足していること、及びウイルスの性質が時々刻々変化するパンデミック進行時はこれらの点を十分に議論する時間をとることができない。したがって、平時に、感染拡大防止のために人権や経済活動をどこまで犠牲にすることを是とするか、という点を話し合っておくことが望まれる。そのために、「どんな社会に生きたいか」という点を含めた、リスクに関する対話を普段から行える枠組みづくりが課題と考えられる。

一方で、2022 年現在、COVID-19 に対するリスク認知は発災当初の 2020 年と比較して変化してきている。緊急事態宣言等の行動制限要請が 2022 年 4 月以降出されていないといった物理的な要因がこの変化を後押ししていると考えられるものの、市民がリスクにどのように向き合うか自発的に考え、行動が変化している（対面での講義や会議、個人旅行など。横並びになりやすい公立学校の行事の実施可否なども、教育現場で自発的に考え、それぞれに最終決定を下しているのが現状である）。これは興味深いことである。現在、COVID-19 に対するリスクの相場観が形成されつつあり、その判断の結果や経験が周囲や今後の判断に影響するという相互作用の下、最終的にはリスクを許容して「気にしなくなる」定常状態になる、その過程にあると考えられるからである。

これは、特に超学際的分野において問題が「解消していく」プロセス[31]といえ、解決策を与えるだけに対応ではない、という領域になってくる。構築的リスク観の立場にたてば、リスクは社会的側面によって作られる性質のものでもあるため、リスクを発生させている問題を「解消させる」という対応はありうる[31]。社会としてのリスクを低減させる政策と同様に、社会の安定につながる（納得を得られる）政策も重視されて良いのではないのか。

COVID-19 への対応で、イノベーションの観点から興味深いもう一つの点はワクチン開発のスピードの速さである。

SARS-CoV-2 の科学的評価は、ゼロから開始されたのではなく、従来のコロナウイルスに関連する多数の証拠と解析に基づいていた。とはいえ、SARS-CoV-2 ウイルスの完全な遺伝子配列が、世界保健機関 (World Health Organization, WHO) の最初の警告からわずか10日で世界中で利用可能になった[30]。さらに、mRNAを用いた全く新しい種類のワクチン開発という新技術開発がなされた。これらは、社会のニーズが技術開発を後押しした (ニーズドリブンの) イノベーションと考えられる。人類共通の課題への迅速な対応が求められている点、また、イノベーションに関する情報、技術が開示され客観性・妥当性については疑念が持たれることは少ない点で、知識生産の構造的課題がほぼ解消されている稀有な例となっているのではないか。また、米国の「オペレーション・ワープ・スピード」、英国ケンブリッジ大学とアストラゼネカの協力関係など、ガバナンスの良好事例として教訓を得ることができるものと考えられる。

(5) 4つの事例を通じた考察

以上、4つの事例において、継続的イノベーションの観点から重要事項の抽出を行った。3に示したように、継続的イノベーションの本質は、技術と社会が相互作用しながら一体のエコシステムとして革新が進んでいく点にある。

4つの事例を通じて、技術と社会が相互作用するエコシステムが実効的になっている、あるいは実効的になったケースは継続的イノベーションが進みやすいと見ることが出来る。具体的には、今回取り上げた事例のうち、再生可能エネルギーと新型コロナウイルス感染症対策である。一方、SMR 及び巨大火山噴火の事例については、現時点において、必ずしもこのエコシステムが実効的になっているとは言えないと考えられる。

実効的なエコシステムが構築されている、あるいは構築されていない事例の違いは、社会のリスク認知がキーポイントになっていると見ることが出来る。再生可能エネルギーの例においては、社会のリスク認知が低く (安全であるとの認識のもと)、社会のニーズに基づく形で社会実装が進められている。また、技術の社会実装が進むことにより、例えばエネルギーの地産地消といった形で社会のあり方が変化していくと予想される。コロナウイルス感染症については、これが未知のリスクであった初期段階には対応がスムーズに進まない側面もあったものの、コロナウイルス感染症の広がりとともにこの感染症自体が身近なリスクとなり、その結果社会のリスク認知が変化し、ワクチンの開発と言った技術サイドの革新、あるいはテレワークの普及などの社会の変化などが相互作用しながら継続的イノベーションが実現されている。

それでは、継続的イノベーションを実現するための実効的なエコシステムを構築するために、社会のリスク認知の観点からどのような対応を取り得るだろうか。コロナウイルス感染症対策については、感染症の広がりに伴い、未知かつ想像上のリスクが現実かつ身近なリスクに変化し、これによって社会のリスク認知が変化した。このように、社会のリスク認知が外的環境により変化し、リスク認知が高いという問題自体が解消する

ことで、継続的イノベーションが実現することは今後も生じると予想される。しかしながら、このような例が実現するためには、何らかの強制力(この例の場合は制御できない感染症の広がり)が働く必要があることに留意が必要である。なお、この例は、超学際的アプローチにおいて、問題そのものが解消する例となっており、問題の解決策を検討することのみが対応策でないことを示す好例になっている。

その他の考え方としては、社会のリスク認知の観点を技術の革新に取り込むことが考えられる。福島第一原発事故の例のように、深刻な影響を社会に与える技術は、事故の発生頻度が低かったとしても、社会のリスク認知は高くなる。そのため、社会に対する深刻な影響が原理的に発生しない、あるいは、発生することが極めて考えにくいといった設計を採用する方向性が考えられる。重大な結果をもたらす事故の発生頻度をより低くする設計目標の設定は、このような設計を実現するための一つの例とみることができる。

ガバナンスの確立は、4つの事例に共通する困難な点であると考えられる。SMRの社会実装、再生可能エネルギー導入量拡大に向けた統一的な電力需給調整システム、巨大火山噴火に対する社会の共通認識の確立、コロナウイルス感染症対策における健康と社会活動の両立といった点については、現時点でははっきりとした解決策は見つかっていないものと考えられる。社会のリスク認知や技術のリスクに関する情報(リスク情報)に基づき、多角的な視点から意思決定を行う IRIDM が解決策の候補となり得るものの、その実践は緒に就いたところであり、今後のさらなる取り組みが必要である。

5 継続的イノベーションの実現に向けて

4まで、継続的イノベーションの定義、課題、及び具体的な事例を通じて継続的イノベーションの実現に向けての検討を行ってきた。これまでの検討の結果、提言をまとめるにあたって必要となる以下の重要事項が抽出された。

- ・継続的イノベーションの実現には、技術と社会がエコシステムとして一体となって革新が進むことが必要である。
- ・エコシステムにおいて、技術サイドでは社会のニーズを受けた新知見導入や技術革新が、社会サイドでは技術に対するリスク認知に基づく社会の受容が重要となる。
- ・技術と社会の相互作用の観点からは、技術の知識基盤の構築過程と妥当性が重要となる。日本においては、この構築過程と妥当性を検証する社会的なモデルは構築途上にあると考えられるが、国際原子力機関(IAEA)の Institutional Strength-in-Depth (ISiD)がその一つのモデルとなり得る可能性がある。
- ・技術のリスクを客観的に評価する存在論的リスク観に加え、社会と対話しながらリスクの相場観を共有する構築的リスク観を導入する必要がある。このような枠組みを実現するための方法論として統合的なリスク情報活用による意思決定(Integrated Risk-Informed Decision Making, IRIDM)がある。

- ・構築的リスク観に基づく議論を行うためには、「対話型専門知」を有する専門家が多様な視点のステークホルダー間のコミュニケーションを経常的に実施する体制を確立することが必要である。それは、開かれた形で繰り返し意見交換出来るしくみとなり、巨大火山噴火の様な低頻度高影響事象に付随する大きな不確実さに対応するためのきっかけになり得る。
- ・原子力の安全設計の原則の一つである深層防護は、知識の欠けを前提としたものであり、知識生産における構造的課題に対応する一つの方策である。
- ・複雑な意思決定システムの中では、新知見の有無のみではなく、新知見が実際に活用できる状態であるかどうかを確認することが重要である。
- ・技術と社会の相互作用からなるエコシステムのガバナンスについては、共通的な課題がある。学术界は重要な貢献をなしうると考えられるが、学术界のみではガバナンスに関連する課題を解決することは困難である。ガバナンスが成功した事例を探索しつつ、継続して議論を深める必要がある。
- ・超学際的アプローチを考えると、課題の解決策を考えることに加えて、課題そのものを解消させる方策を検討することも有効である。

6 まとめ

本記録は、継続的イノベーションをキーワードにして、技術と社会が相互作用しながらスパイラル状に革新が進み、新知見が不断に導入されていくプロセスを実現するための課題について検討した。

継続的イノベーションの本質は、技術と社会の相互作用であり、両者が共創していくエコシステムが必要となる。このエコシステムにおいて、技術サイドでは社会のニーズや受容に基づく技術革新、社会サイドでは新技術や新知見に対する社会のリスク認知が重要な役割を果たす。本記録では、エコシステムを実現する重要な要素としての社会のリスク認知に注目し、(1)社会のニーズドリブンの新技術開発/新知見導入、(2)知識基盤の構築過程と妥当性、(3)知識生産における構造的課題、(4)ガバナンス、の観点から小型モジュラー型原子炉(SMR)、再生可能エネルギー、巨大火山噴火、新型コロナウイルス感染症対応の4つの事例について分析を行った。

その結果、エコシステムが実効的に機能している例では、継続的イノベーションが進みやすく、そうでない例については、社会のリスク認知の観点から解決すべき課題があることが抽出された。また、共通的な課題として、技術と社会が共創していくためのエコシステムのガバナンスのしくみの検討があげられた。

7 申し送り事項及び今後の方針

第 25 期総合工学委員会原子力安全に関する分科会及び原子力安全に関する分科会社会のための継続的イノベーション検討小委員会では、第 24 期の福島原子力発電所事故の検討結果を出発点とし、精力的に検討を重ねてきたが、重要な課題であるため学会会議の意

思表出とするには、残念ながら時間が足りず、今期はこの検討結果を本記録として残すことにした。

今後、提言（あるいは見解・報告）としてまとめるにあたり、以下の事項の検討が必要であることが小委員会において確認された。

1. 原子力の視点からの検討であることを明らかにするため、例えば、タイトルを「原子力安全からの科学技術の適用に関する社会のための継続的イノベーション」とすることも考えられる。
2. 「社会のための継続的イノベーション」とはどのようなものを更に明確に示す。「社会」として何を対象としているか、イノベーション実現の時間軸をはっきりとさせる。
3. 具体的な検討事項として、小型モジュラー型原子炉、再生可能エネルギー、巨大火山噴火、コロナウイルスの4項目を取り上げた意味の明確化。
4. 継続的イノベーションの理念的な面は明らかになってきたが、これを実現するための具体策について更なる検討をすすめ、結論として主張したいことを整理し明確にする。
5. 今後の検討にあたって、留意すべき点としては、本文の記述に関する論拠を明確にする、関連する学術会議の過去の報告等を精査する、学術会議の他の活動との連携を密にする、広い分野の専門家・学術界以外の専門家を小委員会に招聘し意見を伺うことが確認された。

<用語の説明>

安全：リスクが許容されるレベル以下に抑制されていること。

安全目標：現状のレベルと比較でき、その許容レベルを定めるもの。一つまたは複数の判断基準を含んだものであり、ステークホルダーを考慮に入れた実現可能な目標。

危険：安全が損なわれそうな状態。

リスク：危害の発生確率及びその危害の度合いの組み合わせ（ISO/IEC Guide 51. の定義）。

リスクマネジメント：リスクマネジメントとは、重要なリスクから優先的に対処していく仕事の進め方である。リスクマネジメントは、潜在的リスクの特定、リスクの分析評価、リスクの最小化または緩和、リスクマネジメント戦略の実施、教訓と反映のプロセスを繰り返すことにより達成される。

イノベーション：「課題に対する新しい解決方法で(input)、これまでに存在する解決方法より、より高い効果・効率・持続可能性・公平性などのいずれか、これらのうちの複数、あるいは全部を実現し(output)、社会全体に新たな価値(outcome)をもたらすもの」。

便益：有用性の評価値。あるシステムを導入した場合のリスク減少量も広義の便益に加えて考える場合もある。

社会コスト：ある活動の過程において、活動主体によって考慮され負担されることがなく、第三者または社会全体によって負担されることになる費用または損失のこと。

認識的事故：事故前はそれなりに妥当であると考えられていた意思決定が、実際に事故が起きた後になってみると、遡って不合理だったと結論付けざるを得ないような状況において発生する事故。John Downer により 2019 年に提唱された概念。

IRIDM：Integrated Risk Informed Decision Making の略。客観的に評価されたリスクに関する情報を入力情報の一つとして、ステークホルダーとの対話も含めて統合的・多角的な観点から意思決定をする方法

市民認識論：ある社会が、その共同の行為を決定するための基礎として、科学知識がどのような仕方で妥当なものとして公共的に受け入れられるかを表す概念。Sheila Jasanoff により、2000 年代初めに提唱された。

エコシステム：本来は、多様な生物が相互に依存しながら形成する生態系を表す用語。本記録書では、技術と社会がそれぞれ備えている固有の閉じたシステムではなく、技術と多様な社会のステークホルダーが相互に影響とフィードバックを受けながらスパイラル的にイノベーションを起こすシステムを表す。

存在論的リスク観：評価対象には「真のリスク」があり、評価者の知識や評価手法が精緻になればリスク評価の結果が真のリスクに近づいていくとする考え方。

構築的リスク観：客観的な手法によりリスクを評価すると言うより、ステークホルダー間で議論を重ね、「リスクの相場観」を醸成することによりリスクを共有するという考え方

貢献的専門知：専門家が有している知識であり、例えば複雑な工学システムのリスク評価を客観的に行う際に必要となる。

対話型専門知：「貢献型専門知」は有していないが、専門知を必要とするプロジェクトの重要事項を議論できる知識

<略語集>

COVID-19 (coronavirus disease-19) 新型コロナウイルス感染症

IAEA (International Atomic Energy Agency) 国際原子力機関

IRIDM (Integrated Risk Informed Decision Making) リスク情報に基づく統合的な意思
決定手法

ISiD (Institutional Strength-in-Depth)

PSR (Periodic Safety Review) 定期安全レビュー

mRNA (messenger Ribonucleic acid) メッセンジャーRNA

SARS-CoV-2 ウイルス (severe acute respiratory syndrome coronavirus 2) サーズコロ
ナウイルスツ

SMR (Small Modular Reactor) 小型モジュラー型原子炉

WEF (The World Economic Forum) 世界経済フォーラム

<参考文献>

- [1] 政府事故調報告（東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会、中間報告：2011年12月26日、最終報告：2012年7月23日）
- [2] 国会事故調報告書（東京電力福島原子力発電所事故調査委員会、2012年7月5日）
- [3] 民間事故調報告（福島原発事故独立検証委員会、2012年3月11日）
- [4] 東電事故調報告（福島事故調査報告書、東京電力、2012年6月20日）
- [5] 学会事故調報告書（福島第一原子力発電所事故その全貌と明日に向けた提言：学会事故調 最終報告書、2014年3月）
- [6] 日本学術会議原子力利用の将来像についての検討委員会原子力発電の将来検討分科会、提言「我が国の原子力発電のあり方について－東京電力福島第一原子力発電所事故から何をくみ取るか」、2017年9月12日
- [7] 日本学術会議総合工学委員会原子力事故対応分科会、報告「東京電力福島第一原子力発電所事故の教訓」、2014年6月13日
- [8] 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、報告「我が国の原子力発電所の津波対策－東京電力福島第一原子力発電所事故前の津波対応から得られた課題－」、2019年5月21日
- [9] 第6期科学技術・イノベーション基本計画（閣議決定、令和3年3月26日）
- [10] 持続可能社会に向けた科学技術・イノベーションロードマップの提言 STI Roadmap to Achieve the Sustainable Development Goals、(日本工学アカデミー、科学技術イノベーション2050委員会)
- [11] ジェームズ・A・フィルズ・ジュニア、クリス・ダイグルマイヤー、デイル・T・ミラー、「ソーシャルイノベーションの再発見：誰が未来をつくるのか」、スタンフォード・ソーシャルイノベーション・レビュー、(2008).
- [12] ヨーゼフ・シュンペーター 「経済発展の理論」(八木紀一郎・荒木詳二 訳)、日経BP、(2020).
- [13] NEDO、オープンイノベーション白書、
https://www.nedo.go.jp/library/open_innovation_hakusyo.html
- [14] インベンションとイノベーション、森川博之、明電時報、pp.2-3、(2019).
https://www.meidensha.co.jp/rd/rd_01/rd_01_02/rd_01_02_21/rd_01_02_17_01/_icsFiles/afieldfile/2019/10/11/No365_01_kantougen_web_191007.pdf
- [15] S. Jasanoff, Designs on Nature: Science and Democracy in Europe and The United States, Princeton University Press, (2005).
- [16] 菅原慎悦、私信、(2021).
- [17] Periodic Safety Review for Nuclear power Plants, No. SSG-25, IAEA (2013).
- [18] Ensuring Robust National Nuclear Safety Systems - Institutional Strength in Depth, INSAG-27, IAEA (2017).
- [19] 松本三和夫、「構造災 科学技術社会に潜む危機」、岩波書店、(2012).

- [20] J. Downer, Anatomy of a Disaster: Why Some Accidents Are Unavoidable, LSE Discussion Paper No. 61, March 2010.
- [21] 菅原、「原子力分野における安全目標とその社会的議論の批判的分析」、科学・技術・社会、30, pp.3-33, (2021).
- [22] A Framework for an Integrated Risk Informed Decision Making Process, INSAG-25, IAEA (2011).
- [23] 関村、原子力発電所の継続的な安全性向上のためのリスク情報を活用した統合的意思決定に関する実施基準：2019（IRIDM標準）とその背景について、原子力規制委員会 継続的な安全性向上に関する検討チーム(第12回)資料3-1 (2021).
<https://www.nra.go.jp/data/000357148.pdf>
- [24] H. コリンズ、R. エバンズ著、「専門知を再考する」、名古屋大学出版、(2020).
- [25] (一般社団法人)海外電力調査会、「世界の小型モジュール炉の開発動向」、(2021).
<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/iinkai/teirei/siry02021/siry032/index.htm>
- [26] 日本原子力研究開発機構、「海外における SMR の開発・導入動向」、(2021).
<https://www.jaea.go.jp/04/sefard/ordinary/2021/20211014.html>
- [27] 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、報告「工学システムに対する社会の安全目標」、2014年9月17日, p.9.
- [28] Risk-Informed Performance-Based Technology Inclusive Guidance for Non-Light Water Reactor Licensing Basis Development, NEI18-04, Fig. 3-1, (2019).
- [29] World Economic Forum (WEF) (2020) The Global Risks Report 2020 15th Edition, <https://www.weforum.org/reports/the-global-risks-report-2020> (Access:XXXX)
- [30] Collins, A. (2020) COVID-19: A risk governance perspective, Spotlight on Risk, IRGC. <https://www.epfl.ch/research/domains/irgc/spotlight-on-risk/> (Access:XXXX) (日本語訳は日本リスク学会理事会コロナウイルス対策検討チーム (2020)
- [31] 近藤康久(2021)学術の動向 26 (2) p.102-107.

＜参考資料 1＞ 審議経過

〔原子力安全に関する分科会〕

第 25 期

2020 年

- 12 月 7 日 総合工学委員会原子力安全に関する分科会（第 1 回）
委員長選任、副委員長、幹事指名が行われた。
福島第一原発事故調査に関する小委員会の設置が承認された。
小委員会の名称は活動内容に合わせて、松岡委員を中心に検討する。

2021 年

- 3 月 5 日 総合工学委員会原子力安全に関する分科会（第 2 回）
「社会のための継続的イノベーション検討小委員会」と称する小委員会を
設置する提案について、説明がなされた。
- 6 月 25 日 総合工学委員会原子力安全に関する分科会（第 3 回）
「社会のための継続的イノベーション検討小委員会」の委員構成が固まり、
第 1 回を 7 月 5 日に開催の予定との報告があった。

2022 年

- 2 月 18 日 総合工学委員会原子力安全に関する分科会（第 4 回）
福島原発事故の調査結果を引き継ぎつつ、SMR、再生可能エネルギー、火
山を例に、イノベーションについて議論し、報告書を作成すべく活動し
ているとの報告があった。
- 9 月 20 日 総合工学委員会原子力安全に関する分科会（第 5 回）
「社会のための継続的イノベーション検討小委員会」の検討内容の報告
がなされ、小委員会から報告としての意見の表出にすることが承認され
た。

2023 年

- 1 月 26 日 総合工学委員会原子力安全に関する分科会（第 6 回）
「社会のための継続的イノベーション検討小委員会」の報告案の内容が
説明され質疑応答がなされ、基本的に了承された。
- 7 月 11 日～13 日 総合工学委員会原子力安全に関する分科会（第 7 回）
メール審議により記録案「社会のための継続的イノベーション」が承認
された。

〔社会のための継続的イノベーション検討小委員会〕

第 25 期

2021 年

- 4 月 21 日 日本学術会議幹事会（第 311 回）
社会のための継続的イノベーション検討小委員会設置の承認
- 7 月 5 日 第 1 回小委員会

松岡委員長、越塚副委員長、山本幹事、澤田幹事が選定された。
審議内容のコアを原子力安全に置くが、できれば一般化したアウトプット
を出せるようにすることとなった。

9月7日 第2回小委員会

まずは、SMR と再エネ関係を題材に議論を進めていく方向性とした。

10月28日 第3回小委員会

継続的にイノベーション（大きな変革）をしようとする姿勢を指すと解釈
するのが小委員会名の理解とした。

今後は分散型電力網が増えてくると考えられ、小型の SMR と再生可能エネ
ルギーは同じカテゴリーで考えられるのではないかとの認識が持たれた。

12月17日 第4回小委員会

本報告の読者をよく想定する必要がある。原子力分野か、より広い分野の
人を対象とするのかが議論された。

2022年

2月7日 第5回小委員会

イノベーションが技術主体の印象を与えるが、イノベーションは社会の価
値の変革であるとの認識が持たれた。

社会のコンセンサスが必要だが、コンセンサスの方法・内容の議論が無い
ので加える必要がある。

4月6日 第6回小委員会

存在論的リスク観と構築論的リスク観を取り上げる。

IRIDM や ISiD をどのように関連付けるか検討。

再生可能エネルギー、巨大火山噴火、Covid-19 での論点について、もう少
し議論する必要を確認した。

6月3日 第7回小委員会

リスクは人間が感じるものなので、言い合い納得することで不安を解消す
る役に立つのではないかとの議論が持たれた。

7月27日 第8回小委員会

イノベーションにおいて、市民の意見を反映出来る形で進められるように
提言が出来ると良いのではないか。

9月15日 第9回小委員会

一方向ではなく、技術と社会の相互作用と考えるべき。社会の変化を捉え
て技術も変わるべき。システム的なスパイラルアップが必要との認識と
なった。

コロナでは、全ての人がリスクへの対応を迫られた。一方、原子力につい
ては、一部の人のみがリスクへの対応を迫られる構造となっている。この
違いが本質的である。

10月27日 第10回小委員会

リスク認知、というベースがあり、それについて課題(1) 小型モジュラー型原子炉、(2)再生可能エネルギー、(3) 巨大火山噴火、(4) Covid-19 関連があるのとの見解となった。

12月22日 第11回小委員会

低頻度高リスク事象をどう考えるか？ 原子力では深層防護の考え方でSA対策をしている。これを踏まえて「エコシステム」を考えるとという前置きを置くこととなった。

高影響事象を防ぐために、知らないことが有ったとしても多重防護で防ぐという考え方は原子力以外の分野でもあるのではないか。

2023年

2月15日 第12回小委員会

新知見を取り込む形で、イノベーションを実施する必要があることを明確にする。

リスクに関する対話の枠組み作りやそれに関係する組織の構築などについては、実現するためにはかなり大変。今後の見通しを持っておいた方が良い。

3月30日 第13回小委員会

報告案の取り扱いについて討議し、今回は記録として残すことにした。

6月8日 第14回小委員会

今後の進め方について小委員会としての取りまとめを行った。

<参考資料2> 再生可能エネルギーに関して

1. EIMY(Energy In My Yard)の特徴

地球環境の保護、再生可能エネルギーの有効利用には EIMY によるエネルギーの地産地消が重要な役割を果たすと言われている。EIMY においては、地域の需要をまず考え、その地域で利用可能な再生可能エネルギーの最適組合せを考える。そのエネルギーはその地域で消費することを基本とし、不足の場合にはナショナルグリッド等により外部から移入し、余剰の場合は外部に供給する。このシステムは、その地域の需要の特色に応じたシステムであり、地域の業者により維持管理される。このようなシステムは、地球環境問題に貢献するとともに、地域経済とエネルギーセキュリティに寄与し、地域の住民は、その地域のエネルギーの恩恵を享受できる。また、地域の再生可能エネルギー利用拡大のインセンティブにつながり、このような地域が増えることにより地球温暖化対策に寄与することになる。EIMY は地域需要や地域振興を重視することから、“エネルギーの地産地消”ということになる。

EIMY にはエネルギー貯蔵も含まれる。風力、太陽などの自然エネルギーはその供給量の変動と需要とのマッチングが問題になるが、蓄電池、水素エネルギーによる貯蔵のほか、床暖房における蓄熱機能や地下熱貯蔵、温水貯蔵などの小規模なエネルギー貯蔵も有効な選択肢である。

再生可能エネルギーは広く分布している反面、エネルギー密度が小さいことが特徴である。このため、人口密度が高く、いろいろな社会的要素、経済的要素が他地域との関連で複雑にからみあっている都市域に比べ、再生可能エネルギーが豊富に存在し、エネルギー需要が少ない農山村が EIMY 活用には適していると言える。

2. 再生可能エネルギーの将来予測

環境省の報告書（平成 25 年度 2050 年再生可能エネルギー等分散型エネルギー普及可能性検証検討報告書）に再生可能エネルギーの世界全体・国内外における現状及び将来見通しが述べられている。この内容を概観する事により再生可能エネルギーがどの様に期待されているかが明らかになってくる。

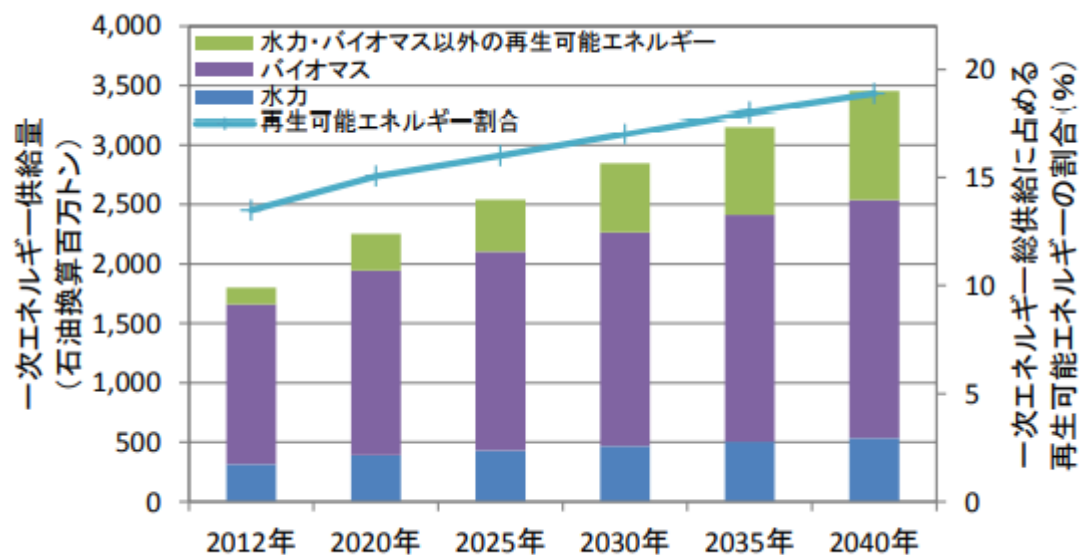
ここでは、再生可能エネルギー導入の意義として、温室効果ガス削減等の環境改善に関するグローバルなもの、エネルギー自給率の向上や化石燃料調達に伴う資金流出の抑制、産業の国際競争力の強化、また雇用の創出や地域の活性化や非常時のエネルギー確保等のローカルなものまで非常に多岐にわたると述べられている。このような再生可能エネルギーは、次世代に真に引き継ぐべき良質な社会資本と考えられる。

世界全体、OECD 加盟国及び我が国において、一次エネルギー供給全体に対する再生可能エネルギー供給の割合は、それぞれ 2012 年時点で 13.2%、8.6%、4.1%である。（2022 年現在ではそれぞれ、14%、15%、11%となっている。）

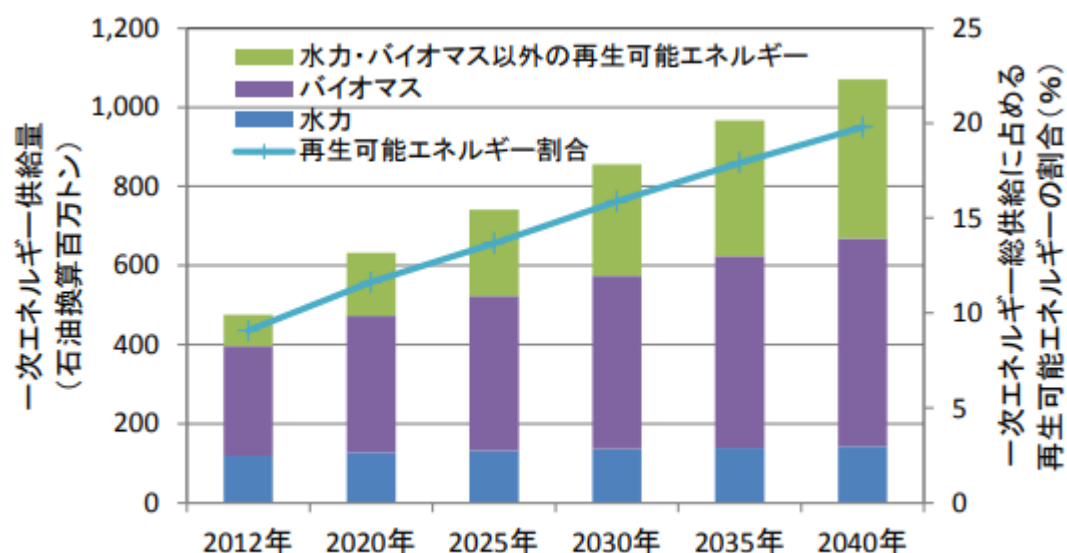
各国が持っている再生可能エネルギーの将来見通しを整理してみる。ここでは、各国が導入目標として掲げている数字の他、研究機関等が見通しやシナリオとして示している数

字も参考として含まれている。

International Energy Agency (IEA) による世界と OECD 加盟国における再生可能エネルギーの供給見通しは図参 2-1、図参 2-2 の様になっており、バイオマスによるエネルギー供給が再生可能エネルギーの中で大きな割合を占めている。それ以外の再生可能エネルギー供給は 2020 年以降拡大が見込まれている。

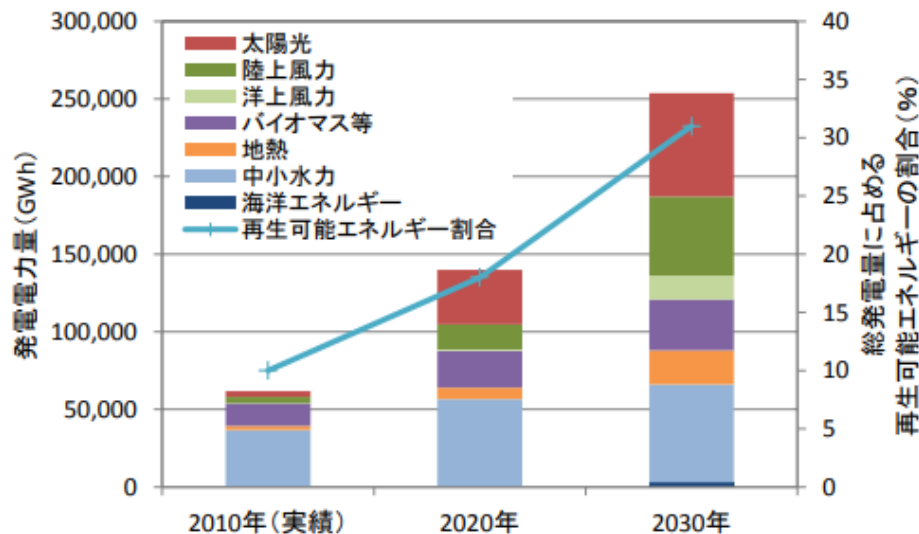


図参 2-1 世界における再生可能エネルギーの将来予測
 (出典) 環境省、平成 25 年度 2050 年再生可能エネルギー等分散型
 エネルギー普及可能性検証検討報告書 (P47 図 2-30)



図参 2-2 OECD 加盟国における再生可能エネルギーの将来予測
 (出典) 環境省、平成 25 年度 2050 年再生可能エネルギー等分散型
 エネルギー普及可能性検証検討報告書 (P48 図 2-31)

一方、我が国における予測としては、エネルギー・環境会議 [国家戦略室, 2012]による見通しが図参 2-3 の様になっている。太陽光発電と風力発電が設備容量、発電量ともに拡大することが見通されている。

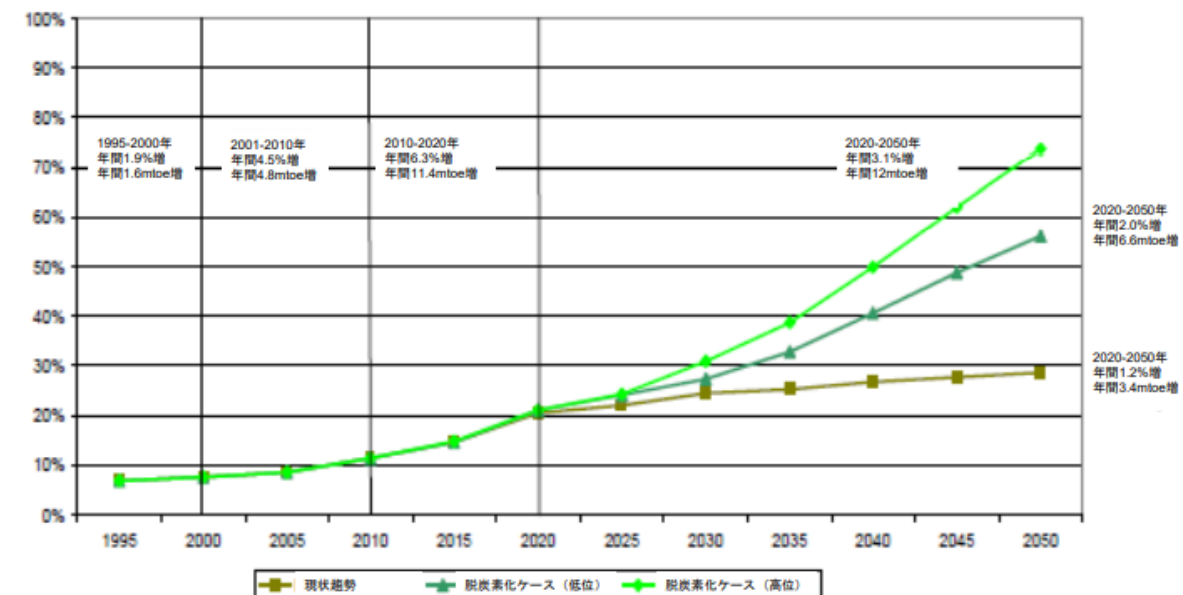


図参 2-3 我が国における再生可能エネルギーの発電電力量の見通し

(出典) 環境省、平成 25 年度 2050 年再生可能エネルギー等分散型

エネルギー普及可能性検証検討報告書 (P52 図 2-37)

EU Energy Roadmap 2050 は、2011 年 12 月に欧州委員会が温室効果ガス削減を主眼としたロードマップとして可決し、発行された。それによると更に長期の予測が図参 2-4 の様になされている。



図参 2-4 最終エネルギー消費量に占める再生可能エネルギーの割合 [%]

(出典) 環境省、平成 25 年度 2050 年再生可能エネルギー等分散型

エネルギー普及可能性検証検討報告書 (P75 図 2-51)

いずれのシナリオにおいても、再生可能エネルギーは重要な位置を占めており、2050年時点で最終エネルギー消費量の少なくとも55%（2012年時点では約10%）が再生可能エネルギーで賄われると試算されている。これにより、2050年までに1990年比80-95%削減という温室効果ガス削減目標の達成は可能と結論づけており、持続可能性、エネルギーセキュリティ強化の施策を推進に寄与すると考えられる。

<参考資料3> 巨大火山噴火に関して

以下、各分野において取り組まれている巨大火山噴火のリスク評価・対策について述べ、本記録本文での議論の参考とする。

1. 電気技術協会原子力発電所火山影響評価技術指針（JEAG4625-2015）の取組

本指針では、火山現象が原子力発電所の安全性に与える影響の有無の評価及びそのために必要な調査・検討、並びに必要な設計上の考慮事項について規定している。それにより巨大火山噴火リスクの最新の知見に基づき原子力プラントの安全性を確保する方策を提案している。

評価には、確率論的なリスク評価に基づく評価を行うことが考えられるが、火山現象は非常に多様な現象であり、現時点では、全ての現象に対して確率論的手法が確立されていないわけではない。従って、評価及び調査・検討の各項目においては、現時点における火山学に関する最新知見に基づき判断することになるが、火山現象の不確かさをも踏まえた上での、合理的な判断を下すことを基本としている。

調査対象の火山は、第四紀に活動した火山としている。一つの火山の寿命は平均すると40万年程度であり、活動休止期間も十数万年程度のものが多い（Demboya et al. 2007（2.1.1-5））。このことから、原子力発電所の供用期間中に「活動の可能性を考慮する火山」としては、1万年前以降活動した火山のみでなく、第四紀に活動した火山を検討対象とする。

調査対象の火山現象は、①火山灰等の降下、②火山弾等の放出、③火砕流及び火砕サージ、④溶岩流、火山ガスの噴出、⑤岩屑なだれ、⑥火山泥流、⑦新火口の形成、としている。

調査は、文献調査、地形調査、地質調査を適切に組み合わせて実施する。また、必要に応じて地球物理学的調査等を実施する。調査の実施にあたっては、調査の考え方、判断の根拠等を記録に残す。

原子力発電所の安全性への影響を考慮する火山現象において、詳細設計段階での対応可能性を示すことができない火山現象について供用期間中の敷地への到達を想定することが必要ないと判断した場合においても、当該現象が過去に発電所の位置に到達したと考えられる場合には、供用期間中に当該火山のモニタリングを行う。

火山灰等の堆積については、荷重としての影響が懸念される。大気中に浮遊する火山灰については、建屋の換気系や内燃機器の給気系等に影響を及ぼすことが懸念される。海面に、浮遊又は海水中に懸濁する火山灰等については、火山灰等が冷却水の取水域で浮遊・懸濁し、非常用冷却水の取水に影響を及ぼすことが懸念される。

火山灰等がサイトに到達したとしても、プラントを安全に停止し、高温停止状態から、冷温停止状態へ移行し、かつ、冷温停止状態を維持し、使用済燃料貯蔵プールについては、冷却機能を維持することを目的とし、その目的の達成のために使用しなければならない設備を評価対象設備としている。ただし、安全重要度が下位の設備であっても、その停止により、上位の安全重要度の設備の運転に影響を及ぼす場合は、下位の安全重要度の設備も

評価対象としている。さらに、運転員及び作業員の安全確保、火山現象の間接的影響への配慮も実施する。

また、「重大事故等対処施設」とは、設計基準事故を超える事故の発生後、重大事故の発生及び拡大の防止に対処するための設備をいう。これの影響評価も実施する。

(参考)

国際原子力機関（IAEA）の安全基準

米国規制委員会（NRC）の規制

2. 原子力規制委員会の考え方

原子力規制委員会は2018年3月7日に『設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動の評価』に関する基本的な考え方について」を公表し、いわゆる巨大噴火に関する基本的な考え方をまとめている。その後、2019年12月18日に「原子力発電所の火山影響評価ガイド」の改正を行っている。そこでは巨大噴火を「大量の火砕流によって広域的な地域に重大かつ深刻な災害を引き起こすような噴火であり、噴火規模としては、数10 km³程度を超えるような噴火」と規定している。

設計対応不可能な火山事象については、当該事象が原子力発電所の運用期間中に影響を及ぼす可能性が十分小さいかどうかを評価する。過去に巨大噴火が発生したことがある火山については「巨大噴火の可能性評価」を実施する。この評価では火山学上の各種の知見を参照しつつ、運用期間中に巨大噴火が発生するという科学的に合理性のある具体的な根拠があるかどうかを確認するとしている。現状では、巨大噴火によるリスクは、社会通念上容認される水準であると判断している。これは、電気技術協会原子力発電所火山影響評価技術指針で示された主として工学的な安全対策を越える様な巨大噴火に対する考え方を示している。

なお、「運用期間中の巨大噴火の可能性が十分小さい」と評価して許可を行った場合でも、評価の根拠が継続していることを確認するため、火山活動のモニタリングを実施する。モニタリング評価結果については、原子炉安全審査会に設置されている原子炉火山部会において少なくとも年一回評価することとしている。

3. 市民の意見一例

民間の組織（原子力市民委員会）では規制委員会の考え方について2018年5月31日に声明を出している。そこでは過去12万年間に30 km³以上の火山噴火は17回発生していて、およそ7,000年に1回の割合となるとして、これは1万年に1度という「安全目標」を上回る頻度で発生していることになるとの見解を出している。

また、「巨大噴火によるリスクは、社会通念上容認される水準であると判断できる」としていることは科学上の定量的リスク評価を放擲して、「社会通念」という、責任主体のありかも判断基準も不明な概念の中に逃避してしまっているとしている。

火山噴火予知の困難性については、火山噴火予知連絡会の藤井敏嗣前会長の、2014年の川内原発の再稼働に向けた規制審査に際しての主張を引用している。「現在の火山噴火予

知のレベルでは、数十年に及ぶ原発の運用期間での噴火予知は不可能ということだ。そもそも、そうした長期間での噴火予知の手法自体が確立していない。噴火を予知できるのは、せいぜい数時間から数日というのが現状だ。2011年の霧島新燃岳の噴火のように、地震などの前兆がなかったため、予知すらできないうちに噴火が起きることもしばしばある」（『週刊東洋経済』のインタビュー）。

不確実さの大きな巨大噴火事象については安全であると判断することは困難であるとの主張となっている。

4. 裁判における判断

2021年1月17日に広島高等裁判所は四国電力伊方原発3号機（愛媛県伊方町）の運転差し止めを認めた仮処分決定を行った。

「火山影響評価ガイド」では原発から半径160キロメートル圏内にあり、258万年前以降に噴火した火山の影響評価を求めている。広島高裁は、阿蘇山が大きな噴火をした際の火山灰などの噴出規模が、四国電の想定「約3～5倍にのぼる」と指摘し、噴火想定が過小だと判断。これを前提とした規制委の判断を「不合理」と批判した。判決では「検討対象火山の噴火の時期及び程度が相当前の時点で予測できることを前提とする部分は不合理である。」とし、「設計対応不可能な火山事象の本件発電所敷地への到達可能性が十分に小さいか否かを判断することになる。」とした。その結果、「阿蘇については、過去最大の噴火規模である阿蘇4噴火(VEI 7)について判断することになる。そして、同噴火については、その火砕流が伊方原発敷地に到達した可能性が十分小さいと評価することはできない。」として仮処分決定を行っている。

判決文は88ページであり、火山噴火については20ページを割き詳細に議論している。その中には藤井教授の火山噴火予知の困難性についての意見や、内閣府の委員会において原教授・藤井教授のカルデラ噴火が非常に危機的なものであるとの提言等も引用している。

この広島高裁の仮処分決定を不服とした四国電の申し立てによる異議審で、広島高裁(横溝邦彦裁判長)はその後2021年3月18日に、異議を認め運転を容認する決定をした。四国電の地震や火山に対する安全性の評価は不合理ではないと判断し、昨年差し止め決定を取り消した。阿蘇カルデラが大規模噴火を起こす危険性については「可能性が具体的に高いとは認められない」としている。これは自然災害リスクについて裁判所に独自の科学的知見はなく、具体的な危険を住民側が立証しなければ運転差し止めを命じる法的判断はできないという立場に立っている。

この判決文は266ページに及ぶ大部のものであり、火山噴火に関しては86ページを割いて、学識経験者の意見も参考にしている。

いずれの判決も「設計対応不可能な火山事象の本件発電所敷地への到達可能性」が許容できるかできないかの判断に依っていることになる。

5. 学術界からの発信

学術界からは気象庁火山噴火予知連絡会会長であった藤井敏嗣東京大学名誉教授が積極

的に発信をしている。レジリエンスジャパン推進協議会火山防災WG（内閣府中央防災会議防災対策実行会議火山防災対策推進WG）から座長として、緊急提言を出している。その中で「火山防災が抱える現状の課題を解消し、小規模噴火から超巨大噴火に至るまで総合的な火山防災を国家戦略として推進するためには、各省庁が担っている火山防災にかかわる監視、観測、研究、技術開発、リスク評価、情報発信、政策実施などの機能を一元的、横断的に推進できる機関（国立火山防災推進機構：仮称）の設置が不可欠である。」と述べている。提言には技術的な情報も多く含まれ過去の主要な火山噴火は表参 3-1、図参 3-1 の様に、火山噴火のリスクの位置づけは図参 3-2 の様に示されている。

また藤井は、火山第 61 巻（2016 年）に「わが国における火山噴火予知の現状と課題」の論文を発表し、火山噴火予知の現在の実力を社会に正しく認識してもらうことも重要である、との立場で解説を行っている。本論文内では、2000 年有珠山噴火と三宅島噴火、浅間山 2004 年噴火の経験と 2009 年噴火の対応、霧島山新燃岳 2011 年噴火、口永良部島 2014 年・2015 年噴火、御嶽山 2014 年噴火、箱根 2015 年噴火について記載されている。これらの経験から「現在の火山学のレベルでは火山噴火予知の実現には程遠いことは確かであるが、より確実な火山防災のためには火山噴火予知研究を推進することは重要である。また、火山噴火予知が実用化する以前であっても、火山観測に基づく現実的な噴火対応に関して改善すべき点は多い。」と述べている。「低頻度大規模噴火の研究」の節には「このような国家としての存亡に関わる火山現象であるが、火山噴火予知や火山防災という観点からの調査研究は行われていない。」の記述がある。

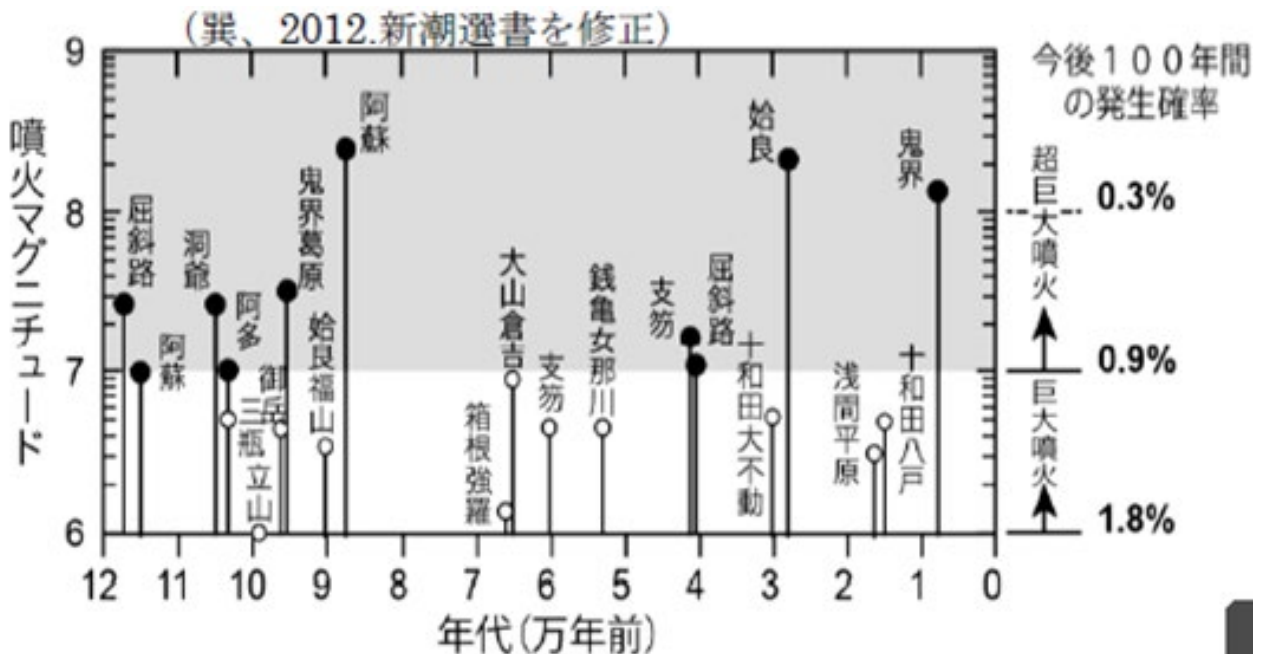
最後に、火山研究者が集う日本火山学会としては、純粋アカデミーとしての火山学の振興に努力すると共に、防災としての火山噴火予知の研究振興にもこれまで以上に貢献することが望まれる、と結んでいる。

表参 3-1 17 世紀以降の大規模噴火（噴火 M4、M5）の歴史

世紀	噴火回数	大規模噴火 (M5)	大規模噴火 (M4)
		噴出量 (10 ⁹ ton 以上)	噴出量 (0.1~1) × 10 ⁹ ton
17 世紀	5 回	1640 駒ヶ岳(北海道) 1663 有珠山(北海道) 1667 樽前山(北海道)	1684-90 伊豆大島(東京) 1694 駒ヶ岳(北海道)
18 世紀	8 回	1707 富士山(山梨静岡) 1739 樽前山(北海道) 1779-82 桜島(鹿児島)	1716 霧島新燃(鹿児島) 1769 有珠山(北海道) 1777-79 伊豆大島(東京) 1783 浅間山(長野) 1792 雲仙岳(長崎)*1
19 世紀	5 回	1888 磐梯山(福島)*2	1813 諏訪之瀬島(鹿児島) 1822 有珠山(北海道) 1853 有珠山(北海道) 1856 駒ヶ岳(北海道)
20 世紀	7 回	1914 桜島(鹿児島)	1929 駒ヶ岳(北海道) 1934-5 薩摩硫黄島(鹿児島) 1943-5 有珠山(北海道) 1946 桜島(鹿児島) 1977-8 有珠山(北海道) 1990-5 雲仙岳(長崎)
21 世紀	1 回		2013-16 西之島(東京)
合計	26 回	8 回	18 回

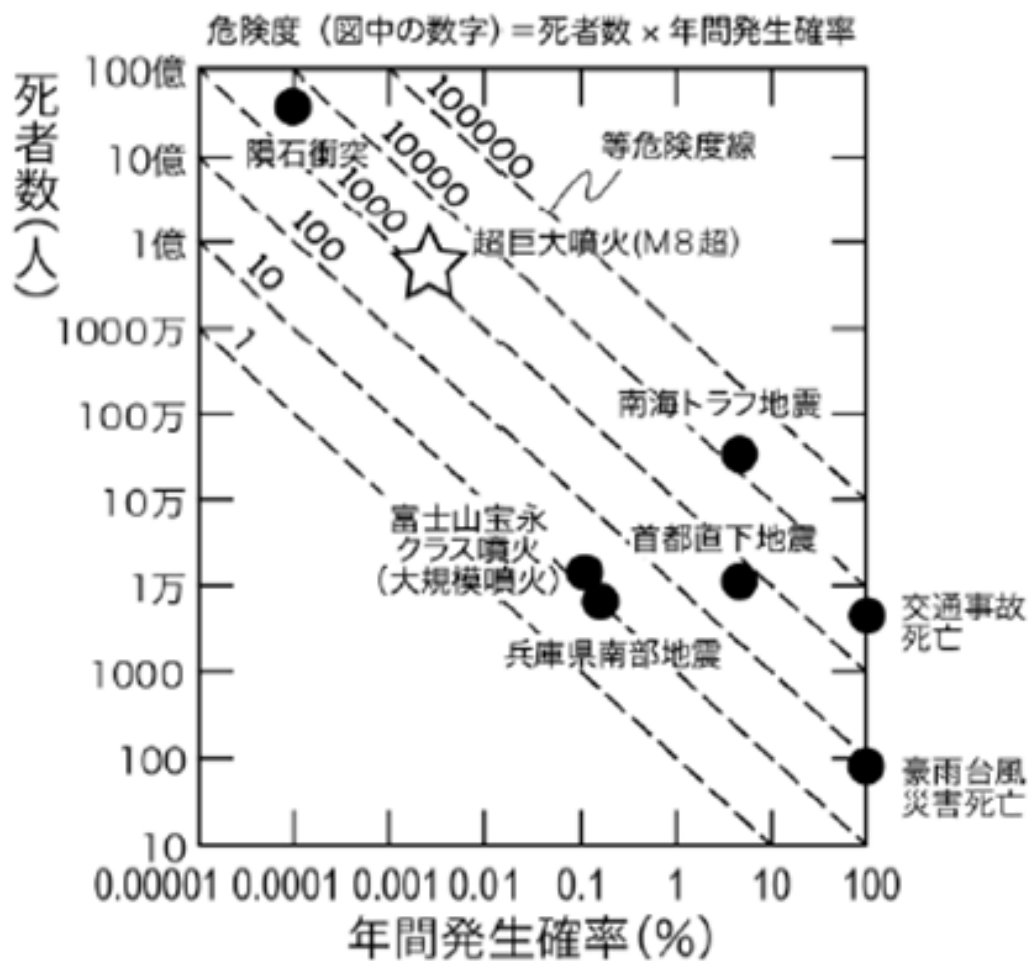
*1：眉山山体崩壊を含む、*2：主に岩屑なだれ

(出典) 一般社団法人レジリエンスジャパン推進協議会、国土強靱化政策への緊急提言書
(平成 28 年 4 月) 火山防災ワーキンググループ<緊急提言> p. 145 表 2



図参 3-1 過去 12 万年間に発生した巨大噴火 M6 (○=11 回) と超巨大噴火 (●=10 回)

(出典) 一般社団法人レジリエンスジャパン推進協議会、国土強靱化政策への緊急提言書
(平成 28 年 4 月) 火山防災ワーキンググループ<緊急提言> p. 145 図 1



図参 3-2 主な自然災害の危険度 (巽・鈴木、2014、科学 84 を修正)
 (出典) 一般社団法人レジリエンスジャパン推進協議会、国土強靱化政策への緊急提言書
 (平成 28 年 4 月) 火山防災ワーキンググループ<緊急提言> p. 146 図 3

学会の認識としては、現在の火山学のレベルでは火山噴火予知の実現は難しいとのことで、火山防災にかかわる監視、観測、研究、技術開発、リスク評価、情報発信、政策実施などの機能を一元的、横断的に推進できる機関の設置が重要である。

<参考資料4> 原子力総合シンポジウムにおける報告

令和5年1月26日に、原子力総合シンポジウム2022「新たな社会状況に貢献する原子力技術の期待と課題」が、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主催により日本学術会議講堂（オンライン併用）にて開催された。プログラム構成は以下の様になっており、本付録ではそこで報告した本小委員会の検討内容について紹介する。

プログラム（敬称略）

10:00-10:10 開会挨拶 関村直人（原子力安全に関する分科会委員長、東京大学副学長・教授）

「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」の活動の報告

司会 越塚誠一（原子力安全に関する分科会副委員長、東京大学教授）

10:10-10:40 森口祐一（原発事故による環境汚染調査に関する検討小委員会委員長、国立環境研究所理事）

「東京電力福島第一原子力発電所事故による環境汚染の調査研究の進展と今後に向けた課題」

10:40-11:10 松岡猛（社会のための継続的イノベーション検討小委員会委員長）

「継続的イノベーションの検討」

11:10-11:40 中島健（研究用原子炉の在り方検討小委員会委員長、京都大学教授）

「研究用原子炉の在り方に関する『見解』策定に向けて」

休憩 80分（昼休み）

原子力を取り巻く社会状況の変化

司会 大倉典子（原子力安全に関する分科会委員、芝浦工業大学名誉教授）

13:00-13:40 竹内純子（国際環境経済研究所理事、内閣官房GX実行会議委員）

「原子力事業の不透明性をいかに克服するか」

原子力技術活用への期待と課題

13:40-14:20 上坂充（原子力委員会委員長）

「我が国の原子力政策の在り方について」

休憩 10分

司会 野口和彦（原子力安全に関する分科会幹事、横浜国立大学客員教授）

14:30-15:10 更田豊志（前原子力規制委員会委員長）

「原子力の安全を支える知識基盤・技術基盤の強化に向けて」

15:10-15:50 吉田浩子（東北大学研究教授、日本保健物理学会会長、国際放射線防護学会理事）

「福島第一原子力発電所事故後の取り組みから考える原子力の課題 放射線防護か

らの視点」

休憩 10 分

総合討論 16:00-17:30

コーディネーター 関村直人

パネリスト

シンポジウムの各講演者

奥山俊宏（上智大学教授、元朝日新聞編集委員）

川村慎一（日本原子力学会会長）

17:30-17:35 閉会挨拶 川村慎一

原子力総合シンポジウムにおける
社会のための継続的イノベーション検討小委員会からの報告内容

原子力総合シンポジウム2022

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主催

原子力総合シンポジウム2022
「新たな社会状況に貢献する原子力技術の期待と課題」

継続的イノベーションの検討

令和5年1月26日
松岡 猛 (宇都宮大学、日本学術会議特任准会員)

TMATSUOKA, Utsunomiya University

1

原子力総合シンポジウム2022

はじめに

- ◆ 東北地方太平洋沖地震に伴う巨大津波によって引き起こされた福島第一原子力発電所事故は**想定外で予期できぬものであったのか?**
 - ◆ 原子力事故対応分科会 報告「東京電力福島第一原子力発電所事故の教訓」2014年
 - ◆ 記録「東京電力福島第一原子力発電所1号機において発生した事故事象の検討」2014年
 - ◆ 記録「東京電力福島第一原子力発電所において発生した事故事象の検討(続報)」2016年
 - ◆ 吉田至幸、宮野廣「福島第一原発事故は従前の津波対策で予防できたか—事故以前の想定津波高さ評価と東電の対応の考察—」日本原子力学会誌2018年1月
 - ◆ 報告「我が国の原子力発電所の津波対策—東京電力福島第一原子力発電所事故前の津波対応から得られた教訓—」2019年

TMATSUOKA, Utsunomiya University

2

原子力総合シンポジウム2022

- ▽ 報告では、既存の知見を組み合わせる(知の統合)ことにより、万一敷地を超える津波が発生し発電施設が浸水した場合に、電源設備が喪失して環境に深刻な影響を与えることが推察できたと判断した。
- ▽ 第6期科学技術・イノベーション基本計画においても、自然科学と人文・社会科学を融合し、俯瞰的な視野で物事を捉える「総合知」により、人間社会の総合的理解と課題解決に資することの重要性が指摘されている。
- ▽ 第25期の「社会のための継続的イノベーション検討小委員会」では新知見の扱い、知識基盤の構築、あるいはこれらに基づくイノベーションの実現について検討を進めてきている。

TMATSUOKA, Utsunomiya University

3

原子力総合シンポジウム2022

新知見による革新

- ◆ 学問、科学技術の進歩により得られた知見・技術を普く人類共通の財産として活用することは容易なことではない。
- ◆ 現代社会では技術の高度化と社会の複雑化があいまって、技術—社会の相互作用が顕著になってきている。
- ◆ 新しい知見・技術の利用や受け入れの過程で社会システムが変化し、その変化した社会システムに適應する形で技術の革新が求められる。

—技術と社会がお互いに影響を与えつつ、スパイラル的に革新が生じる。

TMATSUOKA, Utsunomiya University

4

原子力総合シンポジウム2022

- ◆ スパイラル的に革新が生じるためには、技術が社会と対話しつつ、あるいは社会が技術と対話しつつ**技術を受容・実装するプロセスが不可欠となる。**
- ◆ イノベーションに内在する**リスクを受容者と推進者との間で共有する必要がある。**
- ◆ 小委員会では、**エネルギー、環境、感染症分野に関して具体的事例を取り上げ、技術—社会システムとしての継続的イノベーション実現のための重要事項の抽出を行っている。**

TMATSUOKA, Utsunomiya University

5

原子力総合シンポジウム2022

継続的イノベーションとは

- ◆ 2006年～2007年にかけて学術会議にイノベーション推進検討委員会が設置される。
- ◆ 2014年には内閣府に総合科学技術・イノベーション会議が設置された。
- ◆ イノベーションを「課題に対する新しい解決方法(input)で、これまでに存在する解決方法より、より高い効果・効率・持続可能性・公平性などのいずれか、これらのうちの複数、あるいは全部を実現(output)し、社会全体に新たな価値(outcome)をもたらすもの」と定義する。

TMATSUOKA, Utsunomiya University

6

原子力総合シンポジウム2022

イノベーションとインベンション

- ◆ インベンションは技術的な発明である。
- ◆ インベンションはイノベーションの起点になりうるがイノベーションそのものではない。
- ◆ イノベーションは、新たな価値の創造と社会の変革をもたらし、更に社会の変革が技術にフィードバックされるプロセスも含むものとする。

T.MATSUOKA, Utsunomiya University

7

原子力総合シンポジウム2022

エコシステム

- ◆ 技術及び社会が相互作用し共創することは、生態系において多様な生物が相互に依存しながら環境を動的に変化させていくことと類似しており、これを「エコシステム」と捉えることができる。
- ◆ すなわち、継続的イノベーション実現には、エコシステムについての課題を解決するエコシステムのイノベーションが必要（背後にある問題意識）。

T.MATSUOKA, Utsunomiya University

8

原子力総合シンポジウム2022

継続的イノベーションにおける課題

- ◆ 継続的イノベーションを実現するにあたってのキーポイントは、**社会のリスク認知**である。
- ◆ リスク認知に関連しての課題
 - (1) 社会のニーズドリブンの新技術開発/新知見導入
 - (2) 知識基盤の構築過程と妥当性
 - (3) 知識生産における構造的課題
 - (4) ガバナンス

T.MATSUOKA, Utsunomiya University

9

原子力総合シンポジウム2022

(1) 社会のニーズドリブンの新技術開発/新知見導入

- ◆ 新技術の開発や新知見の導入は社会からのニーズに基づく必要がある。→「受容」と「需要」
- ◆ 従来：技術が先に開発され、社会がそれに合わせ実装される。
- ◆ 今後：社会のニーズが先にあり、それに合わせる形で技術が開発される社会が技術の形を決めるアプローチ。
- ◆ 社会からの受容を決める重要な要素として、新技術や新知見に対する**社会のリスク認知**がある。

T.MATSUOKA, Utsunomiya University

10

原子力総合シンポジウム2022

- ◆ 公衆のリスク認知と専門家のリスク認知にギャップがあることは広く知られている。
- ◆ しかし、このギャップを「技術を説明し理解してもらう」プロセスだけで埋めることは困難であろう。→方法論の検討
- ◆ **危険と安全の間**には明確な境界はなく、幅広いグレーゾーンが存在する。
- ◆ このグレーゾーンを許容できる文化、あるいは、これを許容する/許容しないための議論が明示的に行われる文化が、イノベーションと親和性が高い文化であろう。

T.MATSUOKA, Utsunomiya University

11

原子力総合シンポジウム2022

(2) 知識基盤の構築過程と妥当性

- ◆ 科学知識がどのような仕方で妥当なものとして公共的に受け入れられるか。
 - 基礎となっている知識そのものの妥当性
 - どのようなプロセスで知識基盤を構築すべきか
- ◆ 米国：「どこでもないところからの眺め」(view from nowhere)
- ◆ 英国：議論を通じたバランスのとれた判断(balanced judgement)
- ◆ ドイツ：様々な組織間でのコンセンサス→「あらゆるところからの眺め」(view from everywhere)

T.MATSUOKA, Utsunomiya University

12

原子力総合シンポジウム2022

- ◆ 日本：専門家の知識に基づくモデルが妥当とされた。
- ▶ しかし、福島第一原子力発電所事故以降、変化が加速・顕在化している。
- ▶ 妥当とされる知識基盤のモデルについては、まだ模索が続いている段階。諸外国のモデルを参考にしつつ、どのようなモデルが適切なのか、議論を深めていく必要がある。
- ▶ IAEAのInstitutional Strength-in-Depth (ISID)という考え方がある。
- ▶ 成熟した関係、対等のコミュニケーション、双方向アプローチを確立する。

T.MATSUOKA, Utsunomiya University

13

原子力総合シンポジウム2022

(3) 知識生産における構造的課題

- ◆ 知識基盤の構築過程において、構造的に「欠け」が生じる要因がある。
 - ① 先例が間違っているときに先例を踏襲して問題を温存してしまう。
 - ② 複雑性と相互依存性が問題を増幅する。
 - ③ 問題への対応においてその場かぎりの想定による対症療法が増殖する。
 - ④ 責任の所在を不明瞭にする秘密主義がセクターを問わず連鎖する。
- ◆ イノベーションを継続的に進めていくためには、構造災を引き起こす要因を取り除いていく必要がある。

T.MATSUOKA, Utsunomiya University

14

原子力総合シンポジウム2022

- ◆ Downer：複雑な意思決定システムの中で知見が実際に活用できる状態であったかどうか、がポイントになる。
- ◆ 福島第一原子力発電所事故における津波の新知見導入に関しても、安全対策を実施するための意思決定システムでこの知見を活用できた状態であったかどうか重要であった。

T.MATSUOKA, Utsunomiya University

15

原子力総合シンポジウム2022

- ◆ 新技術・新知見に内在するリスクを社会と共有する必要がある。
- ◆ 存在論的リスク観と構築的リスク観
 - ▶ 存在論的リスク観：評価対象には「真のリスク」があり、評価者の知識や評価手法が精緻になればリスク評価の結果が真のリスクに近づいていくとする考え方。
 - ▶ 構築的リスク観：ステークホルダー間で議論を重ね、「リスクの相場観」を醸成することによりリスクを共有するという考え方。
- ◆ 構築的リスク観の考え方を知識生産において体系的に取り入れていくことが重要。
- ◆ リスク認知の共有が難しい低頻度高影響事象等に対しても有効性があると期待される。

T.MATSUOKA, Utsunomiya University

16

原子力総合シンポジウム2022

- ◆ 原子力分野でのリスク情報に基づく統合的な意思決定手法(Integrated Risk Informed Decision Making, IRIDM)
 - ▶ ステークホルダーとの対話も含めて統合的・多角的な観点から意思決定をする方法。
 - ▶ 存在論的リスク観と構築的リスク観を取り入れ、これらを融合する手法であると理解することが出来る。
- ◆ 存在論的リスク観ではリスクを定量評価することから、リスクを低減させる取り組みが主眼になる。
- ◆ 構築的リスク観では、「どのようなリスクがあるか」という枠組みから検討することも多く、リスクを発生させている問題や課題そのものを解消させるという取り組みにもなり得る。

T.MATSUOKA, Utsunomiya University

17

原子力総合シンポジウム2022

- ◆ リスク評価者以外の幅広い関係者で議論を行う場合、リスク評価の詳細まで情報を共有することは現実問題として困難である。
 - この問題に対する簡易な処方箋はないと考えられるが、知識生産過程における構造的な課題の一つである。
- ◆ 「対話型専門知」は、「貢献型専門知」は有していないが、専門知を必要とするプロジェクトの重要事項を議論できる知識のことである。
- ◆ 「対話型専門知」を有する専門家は、継続的イノベーションにとって必要な人材である。
- ◆ コミュニケーターが介在することにより、知識の伝達過程における単純化が発生し、構築的リスク観の障害になる可能性もある。
- ◆ インベンションに関わる技術者が直接社会と双方向的な対話を行うことも重要であると考えられる。

T.MATSUOKA, Utsunomiya University

18

原子力総合シンポジウム2022

(4) ガバナンス

- ◆ 技術と社会の相互作用・スパイラルアップにおいて、その推進力は社会のニーズ、それに応じて進む技術の革新がシーズとなる。
- ◆ 誰がどのようにリーダーシップを取って対応すべきであるかは必ずしも自明ではない。
 - 「多様な価値観を認めた上で、それらに対する社会の評価を加味し、かつデータや客観的事実に基づき、解決策の候補を求め、それを社会に問い、一定の合意を形成しつつ実行に移していくと言う段取りである。これは新たなガバナンスと言って良い。」
- ◆ ガバナンスについては学術界のみで課題の解決を行えるわけではなく、今後議論を深める必要がある。

T.MATSUOKA, Utsunomiya University

19

原子力総合シンポジウム2022

具体的な事例

- ◆ 4つの論点に関連するエネルギー分野の代表的な技術例として—**小型モジュラー型原子炉、再生可能エネルギー**
- ◆ 不確かさが大きく、社会への影響が極めて大きい低頻度高影響事象の代表例として—**巨大火山噴火**
- ◆ リスクや社会への影響に関する評価の発生当初の状況から、知識や経験の獲得を通じて社会のリスク認知が変化した事例として—**新型コロナウイルス感染症対応**

T.MATSUOKA, Utsunomiya University

20

原子力総合シンポジウム2022

小型モジュラー型原子炉 (Small Modular Reactor, SMR)

(1) 社会のニーズドリブンの新技術開発

- ◆ 福島第一原子力発電所事故の教訓は、現在検討中のSMRの設計概念の基礎となっており、頻度は非常に低くても、放射性物質を大量に外部に放出し周辺に**重大な影響を与える事故を避ける方針**である。
- ◆ SMRの設計概念は、低頻度高影響事象に対し、影響の大きさを技術的に抑制する取り組みである。
- ◆ SMRは新しい概念を導入した設計が採用されており、そのような原子力プラントに対する社会的受容性については、十分な議論がなされておらず、**今後の課題**である。

T.MATSUOKA, Utsunomiya University

21

原子力総合シンポジウム2022

(2) 知識基盤の構築過程と妥当性

- ◆ 社会からのフィードバックを適切に取り込みつつ技術開発を進めていく必要がある。
- ◆ 規制当局との意見交換も**開発初期から実施**することが重要。

(3) 知識生産における構造的課題

- ◆ 開発の各段階でステークホルダーと共有しつつ、構築的リスク観の観点から**リスクの相場観を構築**することが重要になる。
- ◆ 対話型専門知を有する人材をどのように集めるかについては、あらかじめ検討しておく必要がある。

T.MATSUOKA, Utsunomiya University

22

原子力総合シンポジウム2022

(3) 知識生産における構造的課題(続き)

- ◆ 知識に欠けが生じることを前提としておく必要がある。—「どのような事故シナリオかは問わず、**炉心損傷を必ず想定して放射性物質の放出防止・低減対策を講ずる**」といった考え方。

(4) ガバナンス

- ◆ 達成可能な技術について社会と合意するというプロセスが必要。—**トップダウン的に実行する場合に要求されるガバナンスのあり方については、確立されていない。**

T.MATSUOKA, Utsunomiya University

23

原子力総合シンポジウム2022

再生可能エネルギー

- ◆ 再生可能エネルギーは**地球温暖化防止**という人類の生存に関わる問題解決のために検討・導入されつつある「課題に対する新しい解決方法(input)」で、社会の持続可能性を目指している。
- ◆ 問題点として、安定的な電源として制御しにくい、大容量電源とならない点がある。地産・地消型のEMIVシステムでも、ナショナルグリッド等の外部との接続が必要とされ、**現状の電力システムとの組み合わせが避けられない。**
- ◆ 再生可能エネルギーの社会実装を実現するにあたっては、これらの問題点・課題を克服する必要がある。

T.MATSUOKA, Utsunomiya University

24

新千代総合シンポジウム2022

(1)社会のニーズドリブンの新技術開発

- ◆ 社会のニーズが先にあり、それに合わせる形で技術が開発されている。
- ◆ 優遇・支援政策が導入者の利益につながるというインセンティブの効果も見逃せない。
- ◆ 今後、状況により、社会的受容の程度が変化する可能性は残っている。グレーゾーンにあるリスクを関係者間で徹底的に議論する場を事前に確立しておくことが必要である。

TMATSUOKA, Utsunomiya University

25

新千代総合シンポジウム2022

(2)知識基盤の構築過程と妥当性

- ◆ 技術の妥当性確認は、現在広く社会的にはなされていない状態であるので、議論を通じたバランスのとれた判断がなされる必要がある。
- ◆ 「対話型専門知」を持った多様な視点のステークホルダー間のコミュニケーションを**経常的に実施する体制**を確立することが必要である。
- ◆ 新たに発生する可能性のあるリスクの洗い出しが**主要な議論**となるであろう。

TMATSUOKA, Utsunomiya University

26

新千代総合シンポジウム2022

(3)知識生産における構造的課題

- ◆ 構造的に「欠け」が生じる要因を検討しておくことが必要である。

(4)ガバナンス

- ◆ 既存の電力システム網に組み込み調整・一元管理を必要とする技術的課題がある。
- ◆ 電力網に組み込まれているのは社会のほぼ全世界であるので、新規技術が、即**社会全体と密接に関係する**初めての例となるのではなからうか。
- ◆ 再生可能エネルギーを積極的に導入するためには、エネルギー源の適正な配分、発電網の管理、発電量の調整等を行う**全社会的な組織の構築**が望まれる。

TMATSUOKA, Utsunomiya University

27

新千代総合シンポジウム2022

巨大火山噴火

- ◆ 万一発生した場合、私達の社会生活に甚大な影響を与えることが想像される自然現象。
- ◆ 発生頻度は過去12万年間に30km³以上の火山噴火は17回発生していて、およそ**7,000年に1回**の割合となる。
- ◆ 火山研究者の研究成果、事業者の知見、司法の判断、規制の判断、市民の意見等が存在しているがこれらにはかなりの隔りがある。
- ◆ 巨大火山噴火は極めて稀な事象であり学問的な知見も乏しい、まさに**不確実な事象に如何に向き合うか**という典型的な事例である。
- ◆ 構築的リスク観に基づき当事者間だけでなく**社会全体で問題解決にあたっていく**のが妥当と考える。

TMATSUOKA, Utsunomiya University

28

新千代総合シンポジウム2022

新型コロナウイルス感染症 (COVID-19)

- ◆ 医療・健康と経済とのバランスをはじめとした**多面的なトレードオフ問題**に世界中が悩まされている。
- ◆ 日本では、行動変容を要請する理由や根拠はほとんど明らかにされなかった。実体としては十分に議論する時間をとることができなかった。
- ◆ 2022年現在、COVID-19に対する**リスク認知**は発災当初の2020年と比較して変化してきている。。
- ◆ 市民がリスクにどのように向き合うか**自発的に考え、行動が変化している**（それぞれに最終決定を下している）。

TMATSUOKA, Utsunomiya University

29

新千代総合シンポジウム2022

(1)社会のニーズドリブンの新技術開発

- ◆ 社会のニーズが技術開発を後押しした（ニーズドリブンの）イノベーションと考えられる。
- ◆ イノベーションの観点から興味深い点は**ワクチン開発のスピードの速さ**である。
- ◆ SARS-CoV-2ウイルスの完全な遺伝子配列がWHOの最初の警告からわずか10日で世界中で利用可能になった。
- ◆ mRNAを用いた**全く新しい種類のワクチン開発**という新技術開発がなされた。

TMATSUOKA, Utsunomiya University

30

新学力総合シンポジウム2022

(3)知識生産における構造的課題

- ◆ ワクチン開発等のイノベーションに関する情報、技術が開示され客観性・妥当性については疑念が持たれることは少ない点で、知識生産の構造的課題がほぼ解消されている。
- ◆ 現在、COVID-19に対するリスクの相場観が形成されつつあり、その判断の結果や経験が周囲や今後の判断に影響するという相互作用の下、最終的にはリスクを許容して「気にしなくなる」定常状態になる過程にあると考えられる。
- ◆ 社会としてのリスクを低減させる政策と同様に、社会の安定につながる（納得が得られる）政策もあるのではないか。

T.MATSUOKA, Utsunomiya University

31

新学力総合シンポジウム2022

まとめ（得られた知見の整理）

- 技術の開発過程を最上流から社会と共有すること
- 技術の説明そのものではなく、それを支える知識基盤の妥当性を確認すること
- 評価結果を極度に単純化して「社会への説明」を行わないこと
- 新知見導入や技術開発の複雑なプロセスを社会と共有するための方策(例：リスク情報を活用した統合的な意思決定)の実践を検討する。

T.MATSUOKA, Utsunomiya University

32

新学力総合シンポジウム2022

まとめ（得られた知見の整理2）

- 対話型専門知を有する人材の育成
- 複雑な意思決定システムの中で知見が実際に活用できる状態であることを確認する。
- IRIDMでは、統合的・多角的な観点から存在論的リスク観と構築的リスク観を取り入れ、これらを融合する。
- リスクの相場観の構築のため、開かれた形で繰り返し意見交換出来るしくみを構築する。

T.MATSUOKA, Utsunomiya University

33

新学力総合シンポジウム2022

まとめ（得られた知見の整理3）

- ステークホルダー間のコミュニケーションを経常的に実施する体制を（具体的な仕組みとして）確立する。
- 再生可能エネルギーの導入には、全社会的な組織の構築が望ましい。
- 「どんな社会に生きたいか」という点を含めた、リスクに関する対話を普段から行える枠組みづくりが課題。

T.MATSUOKA, Utsunomiya University

34