

記 録

文書番号	SCJ 第 25 期 050914-25541200-094
委員会等名	日本学術会議化学委員会・総合工学委員会・材料工学委員会 合同触媒化学・化学工学分科会 日本学術会議環境学委員会環境科学分科会
表題	「Well-being を念頭においた持続可能な社会のための化学・ 化学工学の在り方」
作成日	令和5年（2023年）9月14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、日本学術会議化学委員会・総合工学委員会・材料工学委員会合同触媒化学・化学工学分科会及び環境学委員会環境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。

日本学術会議化学委員会・総合工学委員会・材料工学委員会合同
触媒化学・化学工学分科会

委員長	所 千晴	(第三部会員)	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
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教授
幹事	後藤 雅宏	(連携会員)	九州大学大学院工学研究院主幹教授
幹事	関根 泰	(特任連携会員)	早稲田大学先進理工学研究科教授
	阿尻 雅文	(連携会員)	東北大学材料科学高等研究所教授
	安保 正一	(連携会員)	大阪府立大学名誉教授・福州大学国際顧問
	岩澤 康裕	(連携会員)	電気通信大学燃料電池・水素イノベーション研究センター長・特任教授
	大河内美奈	(連携会員)	東京工業大学物質理工学院教授
	工藤 昭彦	(連携会員)	東京理科大学理学部応用化学科教授
	須山 章子	(連携会員)	東芝エネルギーシステムズ株式会社エネルギーシステム技術開発センターシニアエキスパート
	辰巳 敬	(連携会員)	東京工業大学名誉教授
	辻 佳子	(連携会員)	東京大学環境安全研究センター教授
	椿 範立	(連携会員)	富山大学大学院理工学研究部(工学)教授
	都留 稔了	(連携会員)	広島大学大学院先進理工系科学研究科教授
	野田 優	(連携会員)	早稲田大学理工学術院教授
	平尾 雅彦	(連携会員)	東京大学先端科学技術研究センターシニアリサーチフェロー
	藤岡沙都子	(連携会員)	慶應義塾大学理工学部准教授
	藤田 照典	(連携会員)	三井化学(株)シニア・アドバイザー、中部大学先端研究センター教授
	三浦 佳子	(連携会員)	九州大学大学院工学研究院化学工学部門教授
	宮崎あかね	(連携会員)	日本女子大学理学部教授
	藤岡 恵子	(特任連携会員)	株式会社ファンクショナル・フルイッド代表取締役社長

日本学術会議環境学委員会環境科学分科会

委員長	北川 尚美	(第三部会員)	東北大学大学院工学研究科教授
副委員長	大政 謙次	(連携会員)	高崎健康福祉大学農学部長・教授、東京大学名誉教授
幹事	恒川 篤史	(連携会員)	鳥取大学乾燥地研究センター教授
幹事	宮崎あかね	(連携会員)	日本女子大学理学部教授
	所 千晴	(第三部会員)	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
	阿尻 雅文	(連携会員)	東北大学材料科学高等研究所教授
	大河内美奈	(連携会員)	東京工業大学物質理工学院教授
	桑野 園子	(連携会員)	大阪大学名誉教授
	小崎 隆	(連携会員)	愛知大学国際コミュニケーション学部教授、京都大学名誉教授
	後藤 雅宏	(連携会員)	九州大学大学院工学研究院主幹教授
	谷 晃	(連携会員)	静岡県立大学食品栄養科学部教授
	辻 佳子	(連携会員)	東京大学環境安全研究センター教授
	野田 優	(連携会員)	早稲田大学理工学術院教授
	花木 啓祐	(連携会員)	東洋大学情報連携学部教授
	平尾 雅彦	(連携会員)	東京大学先端科学技術研究センターシニアリサーチフェロー
	藤岡沙都子	(連携会員)	慶應義塾大学理工学部准教授
	真木 太一	(連携会員)	九州大学名誉教授
	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
	山本佳世子	(連携会員)	電気通信大学大学院情報理工学研究科教授
	吉田 丈人	(連携会員)	大学共同利用機関法人人間文化研究機構総合地球環境学研究所准教授、東京大学大学院総合文化研究科准教授
	和田 元	(連携会員)	同志社大学理工学部教授
	藤岡 恵子	(特任連携会員)	株式会社ファンクショナル・フルイッド代表取締役社長

本記録の作成にあたり、以下の方々に御協力いただいた。

菊池 康紀	東京大学未来ビジョン研究センター准教授
木村 雅晴	住友化学株式会社サステナビリティ推進部担当部長

本記録の作成にあたり、以下の職員が事務及び調査を担当した。

事務	佐々木 亨	参事官（審議第二担当）
	高橋 直也	参事官（審議第二担当）付参事官補佐（令和5年3月まで）
	柳原 情子	参事官（審議第二担当）付参事官補佐（令和5年4月から）
	近藤 慈恩	参事官（審議第二担当）付審議専門職付

要 旨

1 記録作成の背景

経済・社会・環境の三側面を均衡させつつ持続可能な社会を目指す SDGs の概念が広く浸透するに伴い、人類のウェルビーイング (Well-being) を念頭に置いたイノベーションへの期待が高まっている。しかし、これまでの歴史では、例えば、化学産業の技術革新のように、経済性や効率の最大化が主眼とされてきた。それによって便利な社会を実現しつつも、一方で環境問題を引き起こすなど、光と影の部分が混在し、社会の要請に答えられない場合も出てきた。そこで本記録では、社会ニーズが効率の最大化から経済・社会・環境の三側面の調和へと急激に変化している現状を踏まえ、社会から求められるイノベーションやそれを支える学術の在り方が変容していることを改めて整理し、それを実現するための新たな素材や製品をつくり出す学術である化学と、そのつくり出し方を極める学術である化学工学の在り方について議論した結果を報告する。

2 現状及び問題点

(1) 新技術がもたらす光と影

化学産業がもたらした技術革新は、例えば、自動車やガソリン、アンモニア、人工素材など多方面での大量生産を可能とし、人々の生活を大きく変えて便利なものとした。一方、その影として、大気汚染、水質汚染、土壌汚染による陸や川や海などの汚染や、環境問題を引き起こし、それをさらに新技術を生み出すことで解決してきた。このような活動の繰り返しの中で、2009年に Johan Rockström らによって提起されたプラネタリーバウンダリーの考え方では、生物多様性、窒素循環、気候変動、リン循環が地球の限界を超えつつあるという問題が指摘された。また、2021-22年に発表された国連気候変動に関する政府間パネル第6次報告書でも、温室効果ガスの人為的な排出が気候変動を確実に引き起こしていることが指摘された。つまり、これまでの効率を求めた人為的な活動の結果が、地球全体に大きな影響を引き起こしていることが明らかとなった。

化学産業で進められてきた技術開発は、着想のきっかけは社会ニーズにあったかもしれないが、開発が進むにつれて技術シーズの市場への展開や、市場ニーズへの対応を個々にはかることが主眼となった。現在注目されているような地球環境や在るべき社会像を念頭に置くことが、社会全体でも強く求められる状況ではなく、この考え方が不足していたために、技術革新に影をつくってしまったということもできる。

(2) 科学技術開発の役割の変化

そのような中で、近年、特に環境面への貢献を意識した科学技術開発が進められるようになってきた。環境への調和や資源循環に加え、生産そのものに対する責務を認識するようにもなり、化学産業の志向は、経済・社会・環境の三側面を考えた方向に急速にシフトしつつある。

原料調達、生産、利用から廃棄を含め、製品のライフサイクルを通じた環境や社会への影響を評価するという発想は、科学技術に、社会という視点を導入することで、新たな見方を提供しており、ライフサイクルアセスメントとして定量的、客観的な議論が進

められている。また、産業においても、製品のライフサイクル全体において、健康・安全・環境に配慮することを経営方針の下で公約し、自主的に環境安全対策の実行、改善をはかっていくというレスポンスブルケア活動が経営の主流となっている。

このような社会と科学技術とが一体化しつつある新たな潮流の中で、化学産業においても、従来の市場を中心とした技術開発から、社会を中心とした技術開発への展開が始まりつつある。そして、開発した技術シーズに基づきそれを社会実装しようという従来型のフォアキャスト型のアプローチから、未来の社会ビジョンに基づきどのような技術が必要となるかを考えて技術開発を行うバックキャスト型のアプローチへの変化が求められている。また、そのためには、目的とする未来の社会ビジョンを市民とともに考え、描いていく新たな方法論も必要となる。

3 記録の内容

(1) サイエンスコミュニケーションとその重要性

問題解決のための科学技術ではなく、未来の社会ビジョン実現のための科学技術においては、専門家ではない市民との間で、いわゆるサイエンスコミュニケーションが重要となる。また、そのような社会ビジョンづくりに参画する市民が求めるのは、より具体的で現実的な情報であり、専門家に求められるのは、市民が主体的に選択できるように、未来を描くツールとなる科学技術のメニューを市民に寄り添いながら提示することである。本記録では、化学・化学工学分野で試みられている公開シンポジウムを活用した双方向性のサイエンスコミュニケーションの事例を紹介し、議論の先にさらなるアクションリサーチが必要であることを述べた。

(2) アクションリサーチとコ・ラーニングの重要性

社会を中心とした科学技術においては、市民とともに未来社会ビジョンをつくることが重要である。そのための活動は、研究者と市民が社会で協働して取り組む実践的研究（アクションリサーチ）という形で進んでいる。本記録では、まず、先行する農業・農学分野における持続可能な土地管理の例を紹介し、アクションリサーチについて理解を深めた。続いて、化学・化学工学分野で試みられている社会問題が先進して顕在化している島嶼地域（種子島）でのアクションリサーチを紹介し、次の段階として、未来社会ビジョンを実現するためのシナリオの必要性と、その実行基盤となるコ・ラーニング（Co-learning）の重要性について述べた。

(3) 効率性（Efficiency）も充足性（Sufficiency）もという考え方

従来の技術開発が効率性（efficiency）を目標にしてきたのに対し、今後求められる技術開発では、それを多様性（diversity）や公正性（equity）、包摂性（inclusion）、そして人と社会のウェルビーイング、あるいは充足性（sufficiency）と結び付けて考えることが重要視されていることを示した。そして、未来社会の在るべき姿、ビジョンを市民とともに考え、その達成のために新たな科学技術とともに生み出すという活動では、画一的な未来社会像や一方的な価値観の押し付けではなく、多様な社会の在り方を前提として、地域社会とそこで生活し働く人々が、雇用と健全な労働環境の確保を含め、本当に求めるもの（ウォンツ、wants）にも目配りする必要があることを述べた。

目 次

1	はじめに.....	1
2	持続可能な社会における化学・化学工学の役割の変遷.....	4
	(1) 科学技術がもたらす光と影	4
	(2) 科学技術開発の在り方の変化.....	5
3	サイエンスコミュニケーションとその重要性.....	7
	(1) 新たなコミュニケーション	7
	(2) 市民とともに考えるサイエンス・未来社会づくり.....	7
	(3) 今後の展開	8
4	アクションリサーチとコ・ラーニングの重要性.....	10
	(1) 農業・農学分野のアクションリサーチの事例.....	10
	(2) 化学・化学工学分野のアクションリサーチの事例.....	11
	(3) 未来の社会ビジョンに向けたシナリオとコ・ラーニングの重要性.....	12
5	効率性 (Efficiency) も充足性 (Sufficiency) も.....	14
6	おわりに.....	17
	<用語の説明>.....	18
	<参考文献>.....	21
	<参考資料1>審議経過.....	23

1 はじめに

本記録の題名にある社会のウェルビーイング (Well-being) という表現は、1946年の世界保健機関 (WHO) 設立時 (保健憲章1948年4月発効) から使用されている[1]。広義には、身体・精神・社会との関わりが持続的に良好な状態であることを意味する概念であり、本記録の主題である「持続可能な社会」の本質とも言える。

2030アジェンダ[2]には、2030年までに達成すべき17の持続可能な開発目標、いわゆるSDGs (図1) が示されている。そこには、随所にSDGs達成における科学技術とイノベーションの必要性が記述されており、研究者・技術者・研究機関、学術団体の役割は極めて大きい。目標9は、技術革新の重要性が述べられており、また、目標6の水や目標7のエネルギーの確保も科学技術の課題と考えられる。さらに目標12も、資源、廃棄物、化学物質の管理など環境科学に関わる内容を含んでいる。このように各目標の達成に対し、広い分野の多様な科学技術の貢献が期待されている。



図1 SDGsの17のゴール(1 貧困をなくそう、2 飢餓をゼロに、3 すべての人に健康と福祉を、4 質の高い教育をみんなに、5 ジェンダー平等を実現しよう、6 安全な水とトイレを世界中に、7 エネルギーをみんなにそしてクリーンに、8 働きがいも経済成長も、9 産業と技術革新の基盤をつくろう、10 人や国の不平等をなくそう、11 住み続けられるまちづくりを、12 つくる責任つかう責任、13 気候変動に具体的な対策を、14 海の豊かさを守ろう、15 陸の豊かさも守ろう、16 平和と公正をすべての人に、17 パートナーシップで目標を達成しよう) [2]

図2に示すように、SDGsはその分野の広さと多様性だけでなく、環境問題一つを取って

も、人、社会に関連した多面的でそれぞれが連関する問題を内包している。様々な問題の解決には、このような階層的な多面性、そして人と社会との関係を理解しつつ進める必要がある[2]。

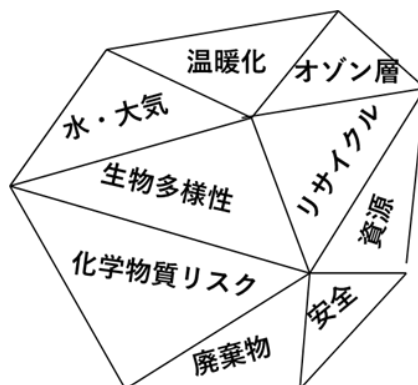


図2 環境問題の多面性[3]

また、「民間企業の活動・投資・イノベーションは、生産性及び包摂的な経済成長と雇用創出を生み出していく上での重要な鍵である。（中略）労働者の権利や環境、保健基準を遵守しつつ、ダイナミックかつ十分に機能する民間セクターの活動を促進する。」[2]と述べられており、上記の多様な新技術開発が、雇用や健全な労働環境の確保、すなわち「人」「社会」を中心としたものであるべき点には留意しておきたい。

解決すべき問題が多様性、多面性、階層性を有するのと同様、掲げられた17の目標についても、「統合され不可分のものであり、持続可能な開発の（経済・社会・環境）三側面をバランスする」ものであり、「人間、地球及び繁栄のための行動計画」であることが、2030アジェンダの冒頭に記載されている。つまり、SDGsの目標の達成に取り組む基本姿勢として、すべての組織や個人が取組が求められ、また、その達成には、誰一人取り残さないという強い意志が示されている。すなわち、社会、そして人を中心としたものの考え方に基づく科学技術の在り方の大切さが示唆されている。

従来、産業における新技術開発の最終目標を、製品やプロセスの効率の最大化、環境への排出物の最小化、経済性・利益の追求とされることが多かった。しかし、近年では、図3に示すような経済・社会・環境の三側面が調和した人と社会のウェルビーイング、すなわち心身ともに健やかで安心と幸せが満たされている状態の実現に求める考え方が急速に浸透しつつある。

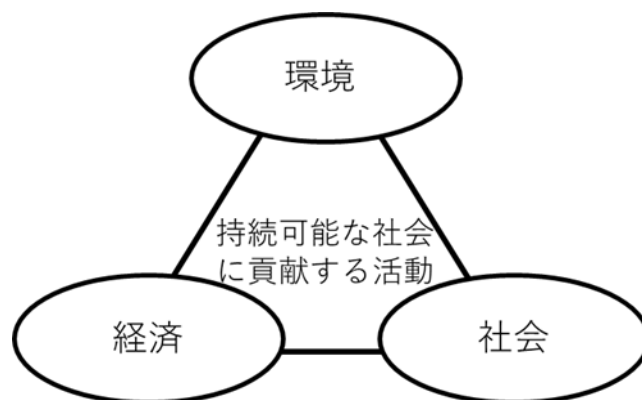


図3 持続可能な開発における経済、社会及び環境の三側面[3]

このような社会と産業の大きな変化に対し、科学技術を支える学術分野に視点を移し、社会と学術との関係を考えてみる。農学や医学、薬学のように、その成り立ちから、社会と学術とが一体となって発展してきたものも含め、多くの学術分野において、社会ニーズと学術との乖離が問題となっている。特に、上述のSDGsの目標12、13、14、15に密接に関係している化学・化学工学の分野では、近年、新技術の社会実装の重要性が再度叫ばれはじめている。先に触れた「社会における科学技術の在り方」と同様、それを支える学術も、社会における位置付け、関わりと取組の方法について再考していく必要がある。

そこで本記録では、人と社会のウェルビーイングや持続可能な社会創成に関わる新たな素材や製品を創り出す化学と、そのつくり出し方を極める化学工学の学術、技術分野の状況を一例として取り上げ、社会における科学技術や学術の在り方について考えてみたい。

まず、化学産業において、従来の市場・社会や顧客の個別ニーズを踏まえて経済性や効率を最大化してきた技術開発から、経済・社会・環境の三側面が調和した、人と社会を中心とする開発への急激な変化について述べる。次に、社会を中心とする技術開発のために、学術界と市民とのサイエンスコミュニケーションを通じ、ともに未来の社会づくりを進める動きについて説明する。これは、技術シーズに基づいて社会実装しようという従来のフォアキャスト型のアプローチから、未来の社会構想や将来ビジョンに基づき、どのような技術が必要となるかを考えて技術開発を行うバックキャスト型のアプローチへの変化の必要性と言い換えることもできる。そして、ニーズ志向の技術開発から、未来の社会ビジョン志向の開発へのシフト、学術界と市民とが協働で取り組む実践的な研究であるアクションリサーチや、ウェルビーイングを最大化する新たな考え方（評価軸の変化）について述べる。最後に、ウェルビーイングを念頭に置いた持続可能な社会をつくり上げるために必要な新たな化学・化学工学の在り方において、効率性のみでなく充足性も重要なのではないかとこの観点も含めて議論したい。

2 持続可能な社会における化学・化学工学の役割の変遷

(1) 科学技術がもたらす光と影

日本学術会議では、科学技術がもたらす「光と影の問題[4]」を様々な角度から議論し、科学技術と社会との連動の重要性を指摘してきた。化学・化学工学に関わる技術開発においても多くの事例が挙げられる。

ガソリンの大量生産技術の開発は、大きな社会変革を引き起こし、利便性の高い移動・輸送手段をもたらした。その一方で、大気汚染を引き起こし、大きな二酸化炭素(CO₂)排出源をつくることとなった。アンモニア合成は、人類が初めて窒素固定を可能とし、それにより肥料、ポリマー、医薬、爆薬等の新たな科学技術を生み出した。しかし、現在は、自然界が生み出すアンモニア量よりも多量のアンモニアが化学合成されており、人工肥料による過剰な窒素は土壌から流出し、河川や海洋で富栄養化や無酸素化などの環境問題を起こしている。また、化学産業は、綿や絹に代わる素材を人工でつくことに成功し、人々の生活はより豊かになった。一方、化学産業は多くの環境問題を引き起こしてきた。これらの大気汚染、水質汚染、土壌汚染による陸や川や海などの汚染といった社会の問題も、新たな技術を生み出すことで解決をはかってきた(図4)。

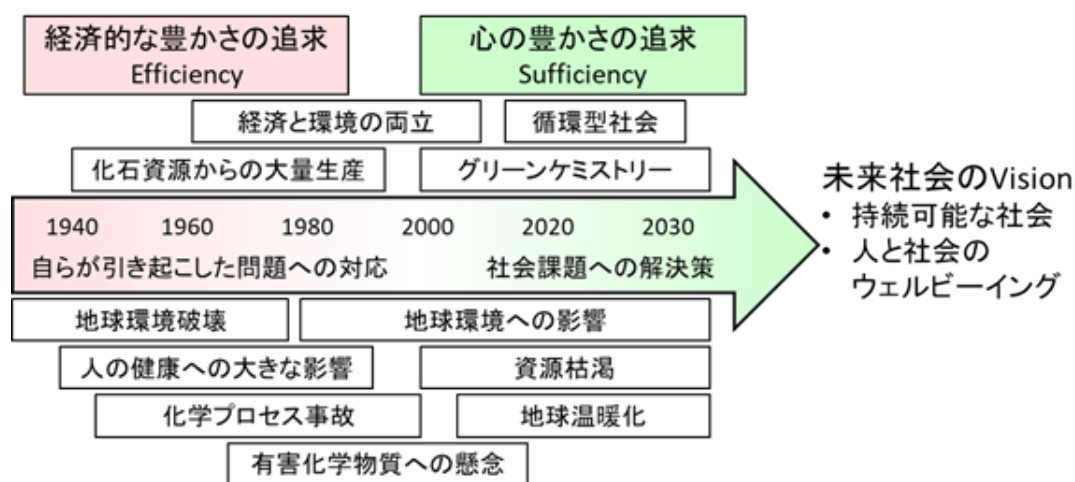


図4 科学技術と社会の関係性の変化[3]

大きな社会変革と経済成長を支えたエネルギーについても同様のことが言える。古来より、人類は薪を使って火を手に入れ、家畜や風力を移動に使い、風力や水力を穀物の製粉に用いるなど自然エネルギーを活用してきた。18世紀に入り石炭を用いた蒸気機関によって産業革命が起こり、石油や天然ガスなど化石資源の利用の広がりとともに物質的豊かさも飛躍的に向上した。同時に、窒素酸化物(NO_x)や硫黄酸化物(SO_x)などによる公害問題が顕在化、その解決も科学技術により実現してきたが、現在でも、光化学オキシダントなどの問題が残っている。近年は、無色無臭のCO₂が地球温暖化を引き起こしていると認識され、原子力や、太陽光・風力などの再生可能エネルギーによる解決がはかられている。しかし、核のゴミやソーラーパネル廃棄物など別の問題も生じている。

いずれの問題も科学技術によって解決できたように見えるが、そもそも、それらは自

らが引き起こした問題に対する対応であった（図4）。地球レベルの時定数が長く、大きなスケールの問題となった時、従来のようなレジリエンスな対応を期待できない事態を生み出す可能性はないだろうか。

2009年にJohan Rockströmらによって提起されたプラネタリーバウンダリー、すなわち持続可能性を維持できる限界において、生物多様性、窒素循環、気候変動、リン循環の観点では、既に地球の限界を超えつつあると指摘された[5]。また、2021-22年に発表された国連気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第6次報告書においても、温室効果ガスの人為的な排出が地球温暖化を確実に引き起こし、特にCO₂、メタン（CH₄）、一酸化窒素（N₂O）の排出削減に注力する必要性が謳われている。このように人為的な活動の結果が、全球的に大きな影響を引き起こしてきている[6]。

従来実施してきた、市場ニーズに応えるために課題を設定して問題を解決するという対応を中心とする科学技術開発について、再考する必要がある。すなわち、化学や化学工学の行ってきた技術開発は、着想のきっかけは社会ニーズにあったかもしれないが、技術シーズの市場への展開や、市場ニーズへの対応を個々にはかるものであって、社会全体に対してどのように貢献し、どのような社会をつくりたいのかを志向してはいなかった。その考え方の欠如が、「影」をつくる要因だったのかもしれない。

(2) 科学技術開発の在り方の変化

そのような中で、近年、特に環境面への貢献を意識した科学技術開発が進められるようになってきた。環境への調和や資源循環に加え、生産そのものに対する責務を認識するようになり、化学産業の志向は、経済・社会・環境の三側面を考えた方向に急速にシフトしつつある。

例えば、LEDの発明は、照明の省エネルギーと温室効果ガス（GHG）排出量削減に大きく貢献している。近年の太陽電池の技術革新は目覚ましく、発電効率向上と大規模生産による生産効率向上により、低価格化と急速な社会実装が進んだ。GHG排出量削減への貢献はもちろん、今や石炭火力よりも安価となり、自然エネルギーは環境には良いが高価格という概念は、大きく変わった。

このように、社会全体への貢献の面から科学技術を評価する考え方も広まりつつある。例えば、高性能の断熱材は、その製造工程においてはGHG排出量が増大するが、それが社会実装されれば、住居に使われることで冷暖房電力量、すなわちGHG排出量削減に貢献する。社会という視点で考えれば、さらに、廃棄された場合の影響も考慮すべきである。炭素繊維の航空機の利用は、機材軽量化を達成し、それによって必要な燃料、すなわちGHG排出量削減に繋がっている。この場合も、炭素繊維の製造でのGHG排出量増加と利用した場合のGHG排出量削減に加え、リサイクル等、廃棄物の処理でのGHG排出量の影響を考慮する必要がある。さらには、原料調達も含め、生産、利用から廃棄までの製品のライフサイクル全体を通じた環境や社会への影響を評価することが重要となる。この評価法は、科学技術に社会という視点を導入することで新たな見方を提供しており、ライフサイクルアセスメント（LCA）という新たな手段として定量的、客観的な議論が進められている。

また、産業においても、経済・社会・環境の三側面を考慮した新たな動きが見られる。製品のライフサイクル全体において、健康・安全・環境に配慮することを経営方針の下で公約し、自主的に環境安全対策の実行、改善をはかっていくというレスポンシブルケア活動は経営の主流となっている。

このような社会と科学技術とが一体化しつつある新たな潮流の中で、化学産業において、従来の市場を中心とした技術開発から、社会を中心とした技術開発への展開も始まっている。市場で受け入れられることは事業に不可欠だが、社会に適合することで長期にわたり持続可能となる。例えば、住友化学株式会社が開発した防虫剤入り蚊帳（オリセットネット）は、アフリカにおいて、マラリヤから数万人の市民を救ったばかりでなく、現地での生産によって雇用を生み出し、収益で現地の教育施設拡充を支援することで地域社会の発展にも貢献している。この事例は、一つの開発製品の社会実装が未来の雇用、健全な労働環境の確保、地域社会ビジョンと融合していくことで、社会とともに持続可能な好循環を生み出せることを示唆している。

従来の開発した技術シーズに基づき、それを社会実装しようというフォアキャスト型のアプローチから、未来の社会構想、将来ビジョンに基づき、どのような技術が必要となるかを考えて技術開発を行うバックキャスト型のアプローチへの変化があれば、レジリエンスが期待できないような大きな社会影響のある技術開発はなくなるであろう。上述の技術開発の例はいずれもフォアキャスト型だけではなくバックキャスト型のアプローチによって社会に貢献する実装に至った例であるが、特に防虫剤入り蚊帳などはその要素が強い。バックキャスト型のアプローチのためには、如何に市民とともに未来の社会ビジョンを考え、描いていくのが重要となり、そのための方法論が必要となる。

3 サイエンスコミュニケーションとその重要性

(1) 新たなコミュニケーション

社会を視野に入れた未来ビジョン達成のための科学技術の開発（図4）においては、科学者などの専門家と非専門家の市民との間での、いわゆるサイエンスコミュニケーションが重要となる。従来は、専門家から非専門家への一方向の知識の伝達が主であったが、近年、一般市民の科学に対する不信が顕在化していることから、双方向的な対話を基本理念とするサイエンスカフェなどの新たな形式のコミュニケーションが模索されている。

そうした中、上記のような社会ビジョンづくりに参画する市民が求めるのは、より具体的で現実的な情報である。専門家に求められるのは、サイエンスにおけるソムリエの役割であり、レストランのメニューの説明のように、ビジョンづくりに必要となる様々な科学技術を、光だけでなく予想される影の部分も含めて客観的に提示することである。

提示された未来社会ビジョンのメニューから市民が選択する時の考え方については、フューチャーデザイン（Future Design）を立ち上げた経済学者の西條辰義氏が、北米のイロコイインディアンの掟を例に挙げ、提言を行っている[7, 8]。そこでは、「7代先の子孫のために決めるのではなく、7代先の子孫になったつもりで決断する。」そして、「そのような考え方にたてば、未来から搾取するようなことはない。」と述べている。

(2) 市民とともに考えるサイエンス・未来社会づくり

上述のように、必要な科学技術とそれが社会に与える影響を考える際には、科学者などの専門家がソムリエとしての役割を果たすことができるが、未来社会の基本構想は市民がより主体的につくっていくこととなる。

そのための社会と学術の融合の場をつくっていく取組は、環境学の分野において先行しており、地域の美しい自然や豊かな生態系を維持していく環境保全を目的とする数多くの事例がある。例えば、宮崎県では、2016年から日南海岸のサンゴ礁生態系を保全するために、大学、地元のダイビングショップ、漁業者、市役所からなる保全協議会を立ち上げ、セクターを超えた定期的な交流と、サンゴ群集の保全の協働作業を行っている[9]。サンゴ捕食者のオニヒトデの駆除や、地元の海の状況を写真展などのイベントで一般市民に知らせることで、ステークホルダー間の信頼関係の醸成と地域主体の生態系保全に成功している。

これに対し、化学技術や産業に関わる分野では、今まさに市民とともにサイエンスを考えることの重要性が認識されたところである。そして、そのための一つの方法として、公開シンポジウムを活用し、専門家と非専門家の双方向のコミュニケーションを行う活動が進められている。以下に、その事例を紹介する。

2022年に開催された日本学術会議公開シンポジウム「みんなで考えるカーボンニュートラルと化学」では、専門家による講演の後、化学技術の責務と挑戦、地球温暖化防止の実現に向けた多様な人々の役割について、聴衆を含めた全員参加型のグループ討議が行われた。中学生から70歳以上まで幅広い年代の参加者が、オンラインあるいは対面で少人数のグループに分かれ、2050年に在りたい社会の姿と自分たちの役割について議

論した。各グループにファシリテーターと大学生のアシスタントを配置し、中立の立場で参加者の発言を引き出すことを心掛けた。中高生を含む次世代を担う若者をはじめ、世代や立場の異なる参加者の多様な視点の意見が交わされた。専門家間の技術論やシステム論ではなく、非専門家の参加者が自ら未来の社会像や生活像、文化との関わりなどの観点から議論を行う場となった。このようなファシリテーターが経験を積み、上述のサイエンスソムリエのような役割を担う人材として育成されることが望まれる。

このような学生や市民との共創の場をつくる活動は、国際的にも進められている。Chemical Engineering for Sustainable Development Goals をテーマとした国際会議[10]において、一般市民や高校生も参加できる複数の企画が実施された。その一つでは、SDGsに関わる学生からの自由な研究提案が募集され、6カ国の大学 20 チームと開催地（札幌市）の高校5チームがショートスピーチとポスタープレゼンテーションを行い、300名近くの参加者とともに、多様な地域での未来の社会ビジョンとそれに対する化学技術の貢献について活発な議論がなされた。また、学生オーガナイザーによるネットワーキングイベントも実施され、事前に行われた SDGs に関する各国学生の意識調査結果なども共有された。そして、イベントの最後には、参加者からの投票によって大学5チームと高校5チームの研究提案が表彰され、まさに、国を超えた多様な意見交換に基づき、市民が自ら未来の社会ビジョンを描いたと言える。

また、上述の国際会議では、国際連合工業開発機関（UNIDO）と共同でSDGs 特別シンポジウムを開催し、目標9の産業と技術革新の基盤、及び目標17のパートナーシップを主題とし、包括的で持続可能な化学産業についての議論を行った。UNIDO からの開発途上国でのSDGs 達成に向けた技術移転に関する講演の後、中小企業からSDGs に向けた実践例として、排水処理、海洋プラスチックのサーマルリサイクル、水銀廃棄物の管理、環境保全型洗剤など、途上国や離島での取組が紹介された。その後、一般市民も含めた参加型ワークショップを実施、10名弱のグループに分かれて議論が行われた。学協会では狭い技術論と類似した結論が得られることが多いが、市民の参画により、より広く、多角的な観点からのアイデアが多数提案された。

さらに、アジア諸国の学生が異なる文化や背景を持つ仲間と協力し、企業へのインタビューや文献調査、専門家との議論を基に、SDGs の達成に向けた研究提案を行う国際的な共同ワークも継続的に実施している。この取組では、まず、学生たちが様々なオンラインツールを駆使して国を超えた仲間と議論を重ね、アジア地域における水不足解消やプラスチックごみ問題解決などの研究提案を行う。次に、その提案内容について、高校生や一般市民を含む多数の聴衆が参加してグループ討議を行うことで、提案を実現するために必要な技術や対象地域の地理的・自然的条件に加え、その地域の文化や慣習を理解することの重要性などが指摘され、仮想的ではあるが、まさに社会ニーズを踏まえた技術実装のための具体的な議論の場となっている。

(3) 今後の展開

未来の社会ビジョンづくりは、市民自ら行う必要がある。専門家や非専門家、様々な世代や文化的背景の人々が、意見交換を行う場が重要であり、それによって当事者意識

を向上させることができる。また、新たなアイデアも生まれてくるものとする。

従来、市場ニーズや産業ニーズに応えるための新技術開発が進められてきたが、未来の社会づくりをともに行っていくことで、将来ビジョンに応えるためのニーズを明らかにし、新たな科学技術を開発していくという、新たな学術の在り方が求められる。そして、そのためには、科学者と当事者（市民）が協働で取り組むアクションリサーチへの展開が必要となる。

4 アクションリサーチとコ・ラーニングの重要性

(1) 農業・農学分野のアクションリサーチの事例

未来社会、そして人と社会のウェルビーイングを達成するための科学技術という考え方で大切なことは、市民と科学技術者が協働して未来社会ビジョンをつくり上げていくことであると述べた。そのための活動が、社会が抱える様々な問題を研究者と個々の問題の当事者（市民）が協働で取り組む実践的研究（アクションリサーチ）として、既に始まっており、農業・農学分野で先行している。ここでは、エチオピアでの砂漠化・土地劣化に対する事例を紹介する。砂漠化・土地劣化を防いで持続的に生活するために、国際社会では「持続可能な土地管理」(Sustainable Land Management、略して SLM) の重要性が認識されている。エチオピア北西部に位置するエチオピア高原では、特に雨による土壌侵食（水食）が深刻な問題となっており、土壌侵食を防ぐために、様々な土地管理の技術が導入されている[11]。化学・化学工学に関連するものとしては、例えば、ポリアクリルアミド（PAM）等の土壌改良剤の効果が研究され、その導入が検討されている。このような個別要素技術は、SLM 技術と呼ばれ、それを普及させるための方法や、仕組み、仕掛けは SLM アプローチと呼ばれている。アクションリサーチという視点からは、この SLM アプローチが重要である。

土壌改良剤の例で言えば、その普及には、それを直接的に導入する農民のほか、農民に土壌改良剤を利用する方法を教える農業普及員、普及に携わる地域の行政官、適切な利用法を検討する大学や国・州の研究者など、様々な人々（ステークホルダー）が関わっている。技術の普及に際しては、様々なステークホルダーが各々の立場で関わりながら協働することが必要であり、そのような協働の場は、イノベーションプラットフォームと呼ばれる。そこでは、地域の問題について人々が話し合い、皆で解決策を考えている。あるいは「フィールドデイ」として、ほかの村の人々を招待して、先進的な取組事例を共有するイベントが開かれている。

これまでの砂漠化対処の経験から、SLM アプローチには三つの基本的な方向性が認められる。第一に参加型（協同型）アプローチである。農民を中心に据え、農民からのボトムアップを重視し、彼らに責任を与えることで農民のエンパワメントを促す。啓蒙、能力開発、研究、普及、組織化などがその重要な要素となる。第二に統合型アプローチである。土地の生産力を向上させるとともに、農民の生計の改善や、女性の地位向上をはかるといった、村落の環境・経済・社会を総合的・統合的に良くしていこうとするアプローチが指向されている。第三に多様な主体が参加するパートナーシップ型アプローチである。プロジェクトと関わる多様な主体、すなわち行政官、NGO (Non-governmental Organization、非政府組織)、農民、土地所有者、研究者、マスメディア、援助機関などが、それぞれの役割を分担しながら連携していける枠組みを持つことが重要である。

砂漠化対処の領域で得られたこのような経験や知見は、アクションリサーチの在り方を考える上でも参考となる。アクションリサーチでは、個別の技術や製品を研究・開発するとともに、開発された技術・製品を普及させるための方法、仕組み、仕掛けをも研究の対象として包含する必要がある、そのために社会経済系の研究者も参加する、より

包括的な枠組みが求められる。

(2) 化学・化学工学分野のアクションリサーチの事例

上述したように、これまで化学産業で進められてきた技術開発は、社会や市場からのニーズ、個別の顧客ニーズへの対応を、社会が求める経済性で展開をはかることが中心であった。現在注目されているような地球環境や在るべき社会像を念頭に置くことが、社会全体でも強く求められる状況ではなく、この考え方が不足していた。そのため、化学・化学工学分野のアクションリサーチの事例は数少なく、ようやく始まったところである。ここでは、種子島において、島外からの研究者・技術者が、島内の産業や自治体、中高生らとともに、地域の問題を解決するために展開しているアクションリサーチの事例を紹介する[12, 13]。

日本は、諸外国に比べ人口減少や少子高齢化などが進んでおり「課題先進国」と言われている。その中でも、さらに深刻な問題が顕在化している地域に島嶼地域がある。鹿児島県にある種子島は、人口約 28,000 人、面積約 445 km²、西之表市、中種子町、南種子町の 1 市 2 町がある島である。架橋等で日本四島と結ばれていない島の中では 5 番目に大きな島であるが、人口は 1970 年代に減少しはじめ、高齢者率は 2010 年で 30% を越えるなど、日本の平均推移と比較しても 20 年程進んでいると言える。島外から輸送されるガソリンや軽油など化石燃料のコストは高く、日本四島と比べて不利な状況にある。

この種子島において、地域の問題を解決し生態系を保持しつつ持続的な産業強化を行うために、地域と大学等研究機関の共同研究によって、農林工融合型の思考による地域システムの設計が議論されてきた。島内のサトウキビから原料糖を製造するサトウキビ産業は、基幹産業の一つであり、島の文化の一部でもある。そこで、サトウキビを中心とした技術・システムの開発と設計が進められ、サトウキビの品種変更と製糖プロセスの技術導入や条件変更により、原料糖の増産と副生するバガスやエタノールの増産を同時に実現できることが示された。そして、それを実現するための選択的発酵プロセスによる還元糖のエタノール化、数理モデル化を通じた条件探索、パイロット実証なども完了し、その実装の確度は十分に高められている。また、製糖工場のバガス用ボイラーでの木質チップの活用や製糖と林業の産業共生、製糖廃熱を活用した蓄熱輸送による産業共生など、地域内の脱化石資源のための技術オプション（メニュー）が提案、設計され、一部の実証試験が推進されている（図 5）。

種子島には、サトウキビのほかに、安納芋などの青果用さつまいも、焼酎やでんぷん加工用のさつまいも、水稻、和牛（肥育）などの様々な農畜産業が存在している。サトウキビは、世界的にも食料・バイオマスの原料として最も活用されている植物の一つであるが、上述の製糖廃熱の蓄熱輸送による産業共生という新たな技術オプションによって、島内のクリーニング店や焼酎工場、施設園芸などで必要な 100℃程度のいわゆる低温の熱需要への対応にも活用できる。また、このように製糖工場で得られる未利用のエネルギーを地域の中で利用できれば、脱化石資源に繋がるだけでなく、新たな雇用を生み出し、またサトウキビ産業の基盤強化にもなる。ほかにも、種子島の森林は、樹齢が高くなりすぎ製材に適した資源が少ない“伐らなすぎて”不健全な状態にあり、伐採して

木質チップ化することで、脱化石資源と森林健全化を同時に目指すことができる。さらに、出力抑制されている太陽光発電や、地域交通、福祉など、異業種間で問題を解決するために資源を共有する産業共生が、種子島のような農林業地域での脱化石資源化の地域イノベーションに繋がること明らかになりつつあり、得られた知見のほかの地域への展開が期待されている。

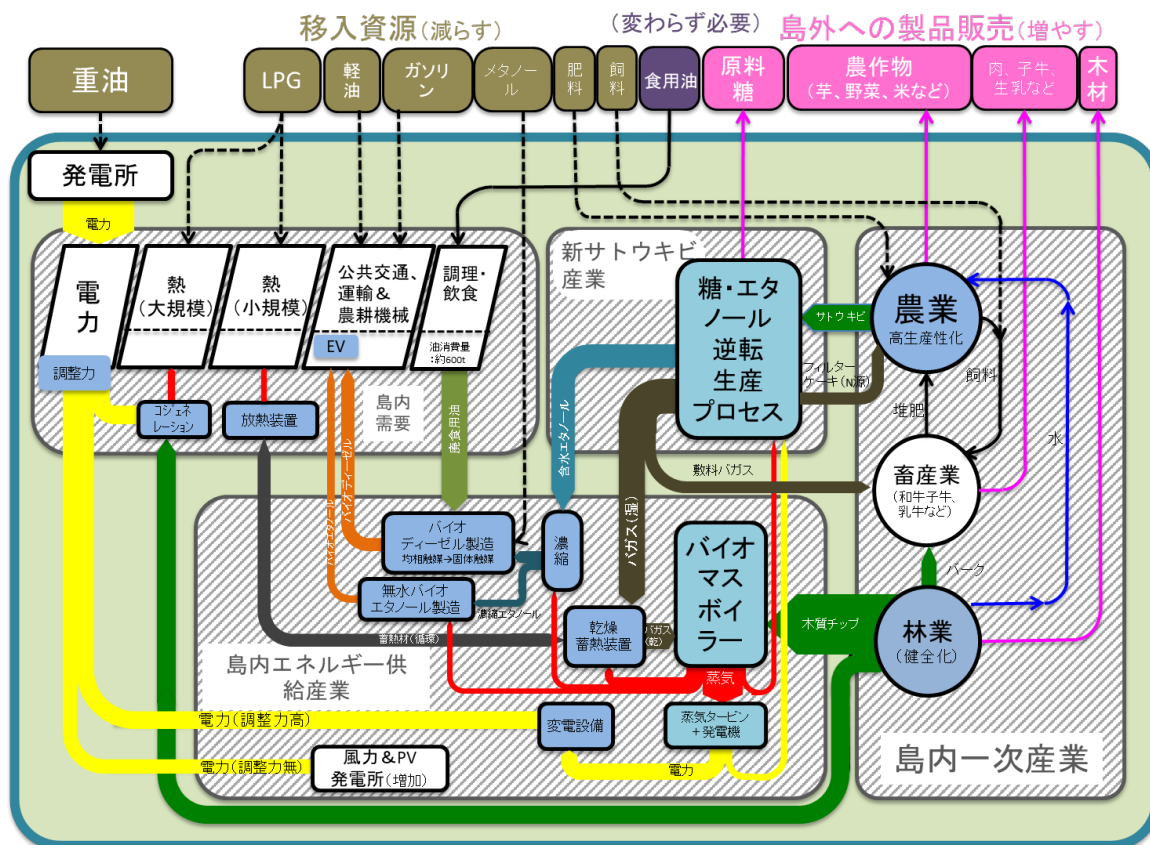


図5 種子島における技術オプションに基づく産業共生システム[13]

(3) 未来の社会ビジョンに向けたシナリオとコ・ラーニングの重要性

これらのアクションリサーチで見出された技術オプションは、新しい地域システムへと変革するために、地域が取り得る選択肢であり、これらを組み合わせ、未来の地域社会ビジョンへ向けたシナリオ計画を行っていく必要がある。このとき、実装可能な技術が社会経済的・環境的に受容可能なだけでは、地域に変革を起こすことが困難であることも、地域活動を通じて同時に分かってきている。真に地域にとって魅力ある社会ビジョンとなっているかが大事であり、その情理やストーリーに基づくシナリオが必要である。そこで、地域の中学生・高校生らと地域の未来を考えるワークショップが毎年実施され、地域主催のシンポジウムにて中高生らが成果を発表し、島内外の関係者・住民と科学技術者が意見交換をしながら、地域社会のビジョンとシナリオを熟議する場がつけられている。この取組は2016年から始まり、それ以降、形を変え「種子島脱炭素未来ワークショップ」として、2023年現在まで継続している[14]。

このワークショップでは、まず、専門家が地域の中高生向けに上述のような地域の問

題と解決の方策について特別授業を実施する。中高生らはそこで学んだことと、実際に地域の住民として知っている地域の特徴や状況、条件、思いなどを融合させ、未来の社会ビジョンの議論を行う。その上で、専門家が紹介した技術やシステムを批判しながら、実際に首長らへ政策提言を行っている。こうした過程で専門家らも地域の知を学び、お互いに学び合うコ・ラーニングの場が共創されている。コ・ラーニング（図6）は、知識、情報、目標を共有し、ともに考え、知恵を出し合う対話の積み重ねであり、これによって、地域、大学、企業といった立場が異なる人々同士の「すれちがい」を乗り越え、持続可能な社会の実現に向けて自律的・継続的に共創・協働していくための有力な基盤になる。



図6 自律的変革を生むコ・ラーニング基盤[14]
 (芝浦工業大学栗島英明氏提供、JST COI-NEXT JPMJPF2003)

5 効率性 (Efficiency) も充足性 (Sufficiency) も

既に述べてきたように、従来の科学技術（特に化学）は、新技術・新物質を創成し、社会に実装することで、人々の暮らしを便利にして効率的な生活を実現、また同時に、資源やエネルギーを効率的に利用することで地球環境の改善にも貢献してきた。これらの技術開発の評価軸の中心にあったのは、効率性 (Efficiency) であった。しかし、最近では、人と社会のウェルビーイングを中心に据え、未来の社会ビジョンを市民とともに作り、その達成のための新技術の開発を進めていくために、産業界における開発の評価軸は大きく変わってきている。

ここで改めて、何を、また、それをどのように生産すべきかについて、関連する評価軸について考えてみたい。

まず、生産現場について考えてみよう。近年、あらゆる分野での AI (Artificial Intelligence) や IoT (Internet of Things) 技術の導入により、生産の場で大きな変化が生じている。例えば、AI、IoT が組み込まれた製造装置の遠隔監視システムにより、設備運転や製品品質は安定化し、人手による工数の削減にも結び付き、工場の生産性は向上している。つまり、目標 9 「持続可能な産業化と技術革新」、目標 12 「持続可能な消費と生産」に貢献している。

これを、目標 5 「ジェンダー平等」や目標 8 「働きがいのある人間らしい雇用 (decent work)」という視点から考えてみよう。化学工場では、2年から4年程度 24 時間連続で休みなく運転されている現場も多く、深夜勤務もあり、高所作業や力が必要な作業のために男性の職場という意識が強かった。しかし、工場の遠隔監視や安全管理を支援する AI・IoT システムや、作業者が着用して重量物の運搬作業を支援するパワードスーツ、タブレット端末による可視化などの新技術の導入は、化学工場を女性や高齢者、外国人でも働ける職場に変えることができる。それは同時に、誰にとっても安全で安心な働きやすい職場となり、ワークライフバランスにも適切に対応できる優しい職場環境を提供してくれる。

また、多様性のある組織の方がイノベーションを産み出しやすいことも知られている。つまり、先に述べた生産性の向上だけでなく、人材確保の多様性や快適な職場環境を持つことによる企業価値の向上も期待できる。すなわち、どのような職場をつくるかを考える上で、その評価軸が生産性や効率だけではなく、多様性や公正性、包摂性、そして社会とのウェルビーイング、充足性 (sufficiency) といった多様な評価軸が必要であることが分かる。

先に議論した未来社会づくりと同様、このような未来の職場像も、経営者と労働者とがともに議論してつくり上げていく必要がある。そのような議論の例を、以下に紹介する。

「日本の化学産業のあるべき未来工場について語る会」[15]では、様々な分野の企業の管理職、女性を含む現場勤務者、大学教員、女性や留学生を含む学生が集まり、在るべき未来の化学工場の姿を議論した。そして、「自らが開発・製造に関わる製品が社会で人々の役に立っていることが働きがいに繋がる」、「チームで問題解決ができると達成感がある」、「本質的に人的作業をなくす技術が望まれる」、「長時間労働を良しとする国民性を変えていきたい」、「経営層の意識変革が必要だ」、「女子トイレの設置を要望したら、ジェンダー

フリーの誰でもトイレも設置された」、「多数派は少数派がどのような言葉に傷つくかを知らない」など、多彩な意見が出された[16, 17]。

このような議論の成果をまとめたものを図7に示す。これまでは、化学工場の中心は製造装置であって、その効率性 (Efficiency) の向上が工学の役割であった。これに対し、そこで働く人々からの視線によって、その幸福感や充足性 (Sufficiency) を高めることも化学工場の役割であることが指摘され、工学の役割が拡大していることに気付くことができた。SDGs 達成のための活動の方向性を決める場合に重要とされる多様な関係者の共創 (co-design) [18-20]は、多様な人々の包摂 (inclusion) によって初めて実現できるものである。科学技術が目指すべき方向性を考える上でも、効率や既に定着しつつある環境への配慮に加えて、例えば、技術開発者・提供者・工場労働者にとっての自己実現 (やりがい・楽しさ) や、技術を享受する者にとっての多様性・公平性・包摂性への配慮、将来世代への配慮のような、人と社会のウェルビーイングに関わる多様な視点から技術を見つめ直すことで、新たな気付きを得ることが極めて重要であろう。

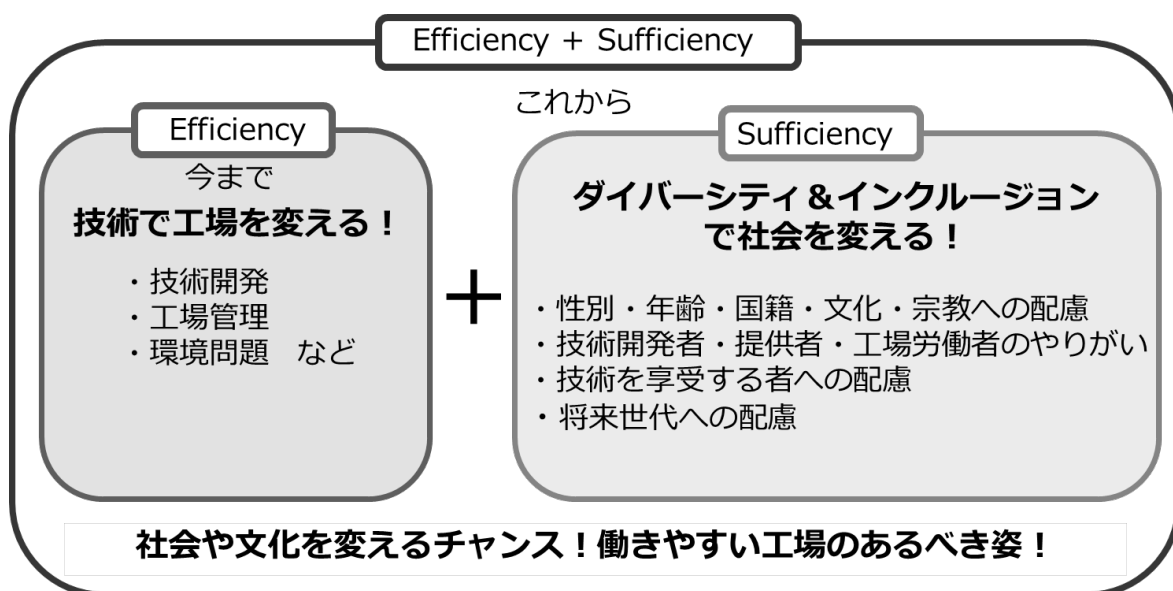


図7 日本の化学産業のあるべき未来工場について語る会で得られた新たな考え方[3]

ここでは「化学工場とそこでの働く場、労働者」を対象とした未来ビジョン策定の試みを紹介したが、同様の議論を、在るべき未来の社会像と捉えて市民とともに考えることも可能である。3章、4章で述べてきたことは、未来社会の在るべき姿、ビジョンを市民とともに議論し、それに新たな多角的な評価軸の充足性 (Sufficiency) を導入することで、つくり上げていくことに繋がる。

そのような議論においては、画一的な未来社会像や一方的な価値観の押し付けではなく、多様な社会の在り方を前提として、地域社会とそこで生活し働く人々が、雇用と健全な労働環境の確保を含め本当に求めるもの (ウォンツ、wants) にも目配りをする必要がある。充足性 (Sufficiency) という概念には「必要十分なバランス」を達成するという方向性も含まれている。

従来の科学技術は、効率性 (Efficiency) という単一の評価軸の最大化を目標とし、その実現を通じて社会に貢献してきた。しかし、これからは、人と社会のウェルビーイングを目標に加え、その達成のために多様性と公正性、包摂性を含めた多角的な評価軸の充足性 (Sufficiency) を持ち、新たな科学技術を生み出し、市民とともに社会づくりを行っていくべきであろう。

6 おわりに

本記録では、経済・社会・環境の三側面が調和した、人と社会のウェルビーイングを念頭においた持続可能な社会の構築に向け、改めて重要度が増している科学技術について、化学・化学工学を例に、これまでの歴史を振り返りながらその在り方を議論し、在るべき姿を実現するための市民、産業界、学术界の連携について整理した。

従来、産業界においては、効率や経済性の最大化を最上段の目的としてきたが、近年では、社会や環境をも強く考慮した経営や新技術開発へと急速に変化している。生産現場における労働者、そして製品を享受する社会、市民のウェルビーイングを念頭に置き、評価軸として効率性（Efficiency）とともに、人と社会の観点からより多角的な評価軸の充足性（Sufficiency）を持った開発が進められている。

学术界においては、社会ニーズと學術の乖離が問題となってきたが、近年、市民とともに未来の社会ビジョンづくりを行う動きや、その実現を目指した研究者と市民が社会で協働して取り組むアクションリサーチが進んでいる。そのような活動では、専門家である科学者から市民に向けての一方向の情報提供だった従来の関係が、市民参加型の議論の場（双方向コミュニケーション）へと変化している。学术界は、新技術やシステムを取り入れた際の未来社会像を個別の技術やシステムごとに予測し、一方、市民は地域の歴史的背景や文化も勘案し、人文社会系を含めた広い分野の科学者とも議論しつつ、最終的には自ら未来像を選択していくことが必要となる。

このように、市民、産業界、学术界が協働し、経済・社会・環境の三側面を調和させた未来社会像をつくっていく中で、今まで産業界や学术界などの専門家から社会へと一方向だった技術開発は、双方向に連動したものへと変化している。ウェルビーイングを達成する持続可能な社会をつくり上げるための新たな化学技術の開発には、さらに人文社会系の研究者を含めた超学際的研究の重要性も増しており、共同作業を前提とした人に寄り添った新たな化学・化学工学の在り方が求められている。

<用語の説明>

AI:

Artificial Intelligence の略称で人工知能と訳される。知的な機械、特に知的なコンピュータプログラムをつくる科学と技術のこと。

IoT:

Internet of Things の略称。様々なものがインターネットに繋がる仕組みのこと。

NGO:

非政府組織。様々な国際的な社会課題に対して取り組む政府以外の民間組織のこと。

アクションリサーチ:

社会が抱える様々な問題のメカニズムを、研究者と個々の問題の当事者が基礎的研究で解明し、得られた知見を社会生活に還元して現状を改善することを目的とした実践的研究のこと。ドイツの心理学者レビンが提唱。

ウェルビーイング (Well-being):

身体が幸福や健康である状態に加えて、精神的、社会的にも満たされている広い意味の幸福を指す概念。

ウォンツ:

ニーズとは生活上必要なある充足状況が奪われている状況 (= 欠乏状態) のこと、本質的に満たしたいギャップ。これに対し、ニーズを満たすための特定のモノが欲しいという欲望のこと、ギャップを埋める手段 (フィリップ・コトラーの定義による)。

エンパワメント:

組織を構成する一人一人が本来持っている力を発揮し、自らの意思決定により自発的に行動できるようにして、組織的、社会的、構造に外郭的な影響を与えるようになること。

温室効果ガス:

水蒸気、二酸化炭素 (CO₂)、メタン、一酸化二窒素、フロンなど、大気圏にあって、地表から放射された赤外線の一部を吸収することにより温室効果をもたらす気体のこと。

課題先進国:

我が国は「課題先進国」と称されるように、諸外国に先んじて人口減少、少子高齢化とそれに伴う生産年齢人口の減少、都市部への人口集中が進んでおり、加えてインフラの老朽化や気候変動 (気候変化) による自然災害の増加、大型地震の発生等、近年様々な問題が顕在化してきている。

気候変動（気候変化）：

Climate change の訳。本来、数十年以上の時間スケールで起こる気候の変化を指すため、「気候変化」と訳すのが正確であるが、日本では対象とする時間スケールが年々～数十年と短い「気候変動」を「気候変化」の意味も含めて用いられることが多い。

コ・ラーニング（Co-learning）：

ともに学び合う、共同学習のこと。一方的に教える教育ではなく、対話と協働を重視する学習方法のことを指す。

サイエンスコミュニケーション：

非専門家に対して、科学の面白さや科学技術を巡る問題を伝え、ともに課題を考え、意識を高めることを目指した活動のこと。

バックキャスト型：

未来の目標や状況を想定し、そこから現在に戻って何をすれば良いかを考える方法のこと。問題の解決にバックキャスト型の手法を講じた場合には、フォアキャスト型では想定できない未来像を描くことが可能となるため、大きな変革や劇的な変化が求められる問題の解決に対して有効であると言われる。

パワードスーツ：

人間が「着用」して筋力を増強する形態で、重量物の持ち運びや走る、跳ぶといった、人間としての動作を強化・拡張する目的で使用されるスーツのこと。

フォアキャスト型：

現在や過去のデータから未来を予測する方法のこと。様々な問題の解決にフォアキャスト型の手法を講じた場合には、「できるところからやる」という立場を取ることが多い。

プラネタリーバウンダリー（Planetary boundaries）：

人類が生存できる安全な活動領域とその限界点を定義する概念であり、「地球の限界」あるいは「惑星限界」とも呼ばれる。

北米のイロコイインディアンの掟：

北アメリカの先住民であるイロコイ族は多数の部族の総称であるが、彼らが重要な事項を決定する際は、全員が納得するまで話し合い、現世代のことではなく7世代先の子孫のことを最優先にしていたという思想が伝えられており、サステイナブルと民主主義の原点として改めて注目されている。

ライフサイクルアセスメント：

原料調達、生産、利用から廃棄を含め、製品のライフサイクルを通じた環境や社会への影響を評価するという発想は、科学技術に、社会という視点を導入することで、新たな見方を提供しており、ある製品やサービスの、原料調達、生産、利用から廃棄を含めたライフサイクル全体、またはその特定段階における環境負荷を定量的に評価する手法。

レスポンシブルケア：

化学物質を取り扱う企業が、化学物質の開発から製造、物流、使用、最終消費を経て廃棄、資源循環に至るライフサイクルの全過程において、自主的に安全、健康、環境を確保し、製造する化学製品の品質の維持と向上をはかり、さらにこれらの活動の成果を公表して社会との対話を進める自主的な取組。

<参考文献>

- [1] 世界保健機関 (WHO) 憲章、<https://japan-who.or.jp/about/who-what/charter/>
- [2] 国際連合 (UN)、Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development、2015
- [3] 大政謙次、阿尻雅文、北川尚美、青野光子、「持続可能な社会への道 —環境科学から目指すゴール—」、学術会議叢書 27、学術会議協力財団、2020
- [4] 日本学術会議、「科学技術の光と影を生活者との対話から明らかにする」分科会、SCJ 第 23 期-2909 13-23030002-062、記録「グローバル成長を支えるエネルギー戦略と未来構想—北部九州の取組 影から光へ—」、平成 29 年 9 月 13 日
- [5] 武内和彦 (監修)、石井菜穂子 (監修)、谷淳也 (翻訳)、森秀行 (翻訳)、J. ロックストローム、M. クルム、「小さな地球の大きな世界 プラネタリー・バウンダリーと持続可能な開発」、丸善出版、2018
- [6] 環境省、「気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 第 6 次評価報告書 (AR6) サイクル」、<https://www.env.go.jp/earth/ipcc/6th/index.html>
- [7] T. Saijo, Beginning of Future Design, Japan SPOTLIGHT, 2019, pp.4-6
https://www.jef.or.jp/journal/pdf/224th_Cover_Story_01.pdf
- [8] R. Yoshioka, Future Design Applied in the Town of Yahaba in Iwate Prefecture, Japan SPOTLIGHT, 2019, pp.10-12
https://www.jef.or.jp/journal/pdf/224th_Cover_Story_03.pdf
- [9] 環境省、「サンゴ礁生態系保全行動計画 2016-2020 取組状況報告」、<https://www.env.go.jp/nature/biodic/coralreefs/ins/conf/R1/mat02-6.pdf>
- [10] 第 18 回アジア太平洋化学工学連合会議、<http://apcche2019.org/>
- [11] A. Tsunekawa, K. Ebabu, N. Haregeweyn, M. Tsubo, D. T. Meshesha (eds), Evidence Based Guideline for Implementing Sustainable Land Management (SLM) Technologies and Approache, SATREPS-Ethiopia Project, Imai Print Co., Ltd., Tottori, Japan, 2023, pp.129, https://www.alrc.tottori-u.ac.jp/slm/en/activity/slm_guideline_e.pdf
- [12] 日本学術会議環境学委員会環境科学分科会、化学委員会・総合工学委員会・材料工学委員会合同触媒化学・化学工学分科会公開シンポジウム、「社会協働と地域社会における未来社会ビジョン創生への挑戦」、平成 29 年 9 月 5 日
- [13] Y. Kikuchi, M. Nakai, Y. Kanematsu, K. Oosawa, T. Okubo, Y. Oshita, Y. Fukushima, Application of technology assessments into co-learning for regional transformation: A case study of biomass energy systems in Tanegashima, Sustainability Science, 15, 2020, pp.1473-1494
- [14] 中井美和、栗栖俊之、神園奉和、柿内康志、大久保達也、菊池康紀、エネルギーの経験学習がリテラシーと選好に与える影響の分析～種子島の高校生を対象として～、日本 LCA 学会誌、15(4)、2019、pp.343-359

- [15] 化学工学会 SDGs 検討委員会、ワークショップ「日本の化学産業のあるべき未来工場について語る会」、<https://www.sdgs.scej.org/activity/act-01/>
- [16] 化学工学会 SDGs 検討委員会、第 84 年会化学工学ビジョンシンポジウムー未来のあるべき化学工場ー、<https://www.sdgs.scej.org/activity/act-02/>
- [17] 五所亜紀子、化学工学会第 84 年会第 4 回化学工学ビジョンシンポジウム「SDGs 検討委員会報告」、2019、Z318
- [18] 堀田康彦、蟹江憲史、「持続可能な消費と生産に関する国際政策動向」、日本 LCA 学会誌、15(2)、2019、pp. 136-143
- [19] T. Tasaki, et al., Development of a Co-design Method of Sustainable Consumption and Production Patterns. Proc. EcoDesign2019, 2019, C4-2.
- [20] アジア地域における持続可能な消費・生産パターン定着のための政策デザインと評価 (PECoP-Asia)、アジア太平洋持続可能な消費と生産円卓会議 (APRSCP)、Reconfiguring Consumption and Production in Asia and the Pacific、2018
http://www.susdesign.t.utokyo.ac.jp/s-16/docs/policybrief_A4_180706.pdf

<参考資料 1> 審議経過

- ・化学委員会・総合工学委員会・材料工学委員会合同触媒化学・化学工学分科会
【第 24 期】

平成 29 年

- 12 月 27 日 触媒化学・化学工学分科会（第 1 回）
役員を選出、今後の進め方について

平成 30 年

- 06 月 01 日 触媒化学・化学工学分科会（第 2 回）
公開シンポジウム企画案、意思の表出の題材について
- 09 月 13 日 触媒化学・化学工学分科会（第 3 回）
公開シンポジウム企画案、意思の表出の議論の進め方について
- 11 月 27 日 触媒化学・化学工学分科会（第 4 回）
公開シンポジウム企画案、意思の表出のまとめ方について
- 11 月 27 日 公開シンポジウム「次世代エネルギー社会の超低炭素化に向けた課題とチャレンジー温室効果ガス 80%削減のフィージビリティとリアリティについて考える(2)ー」
- 12 月 27 日 触媒化学・化学工学分科会（第 5 回）
公開シンポジウム企画案、意思の表出に向けての議論について

平成 31 年

- 04 月 12 日 触媒化学・化学工学分科会（第 6 回）
公開シンポジウム企画案、意思の表出に向けての議論について
- 04 月 12 日 公開シンポジウム「サステイナブルな社会に向けた科学技術と自然界での炭素・水素・酸素・窒素の循環の調和」

令和 1 年

- 12 月 26 日 触媒化学・化学工学分科会（第 7 回）
意思の表出の進め方について

令和 2 年

- 03 月 05 日 公開シンポジウム「2050 年、持続可能なエネルギー社会を目指して」
(COVID-19 パンデミックのため中止)
- 09 月 27 日 触媒化学・化学工学分科会（第 8 回）
来期の活動について

【第 25 期】

令和 2 年

- 12 月 25 日 触媒化学・化学工学分科会（第 1 回）
役員を選出、今期の方針について

令和 3 年

- 06 月 22 日 触媒化学・化学工学分科会（第 2 回）

- 公開シンポジウム企画案、意思の表出案について
- 11月06日 触媒化学・化学工学分科会（第3回）
意思の表出案について
- 11月06日 公開シンポジウム「カーボンニュートラルに向けた熱エネルギー利用の可能性と課題」
- 12月24日 触媒化学・化学工学分科会（第4回）
意思の表出案について

令和4年

- 03月22日 触媒化学・化学工学分科会（第5回）
公開シンポジウム企画案、意思の表出案について
- 07月30日 触媒化学・化学工学分科会（第6回）
意思の表出案について
- 07月30日 公開シンポジウム「みんなで考えるカーボンニュートラルと化学」
- 12月22日 触媒化学・化学工学分科会（第7回）
報告の方向性と課題について

令和5年

- 04月28日 触媒化学・化学工学分科会（第8回）
意思の表出「報告」案について
- 06月14・15日 分子研研究会「化学・工学・環境学を例とした持続可能な社会のための産学官民連携の在り方」
- 06月15日 触媒化学・化学工学分科会（第9回）
意思の表出「報告」案について

・環境学委員会環境科学分科会

【第24期】

平成29年

- 12月26日 環境科学分科会（第1回）
役員の選出、分科会の運営について

平成30年

- 06月01日 環境科学分科会（第2回）
公開シンポジウム開催案について
- 11月27日 環境科学分科会（第3回）
公開シンポジウムについて
- 11月27日 公開シンポジウム「次世代エネルギー社会の超低炭素化に向けた課題とチャレンジー温室効果ガス80%削減のフィージビリティとリアリティについて考える(2)ー」

平成31年

- 02月01-05日 環境科学分科会（第4回）（メール審議）

公開シンポジウムの主催について

令和1年

07月04-08日 環境科学分科会（第5回）（メール審議）

10月30日 公開シンポジウム「気候変動適応に関する農業分野（民間）の取り組み」

令和2年

01月22日 環境科学分科会（第6回）

来年度の活動について

03月13日 環境科学分科会（第7回）

公開シンポジウムの概要案について

08月20日 環境科学分科会（第8回）

来期への引継ぎについて

10月16日 学術会議叢 27「持続可能な社会への道－環境科学から目指すゴール－」
出版

【第25期】

令和3年

03月31日 環境科学分科会（第1回）

役員の選出、分科会の運営について

06月18日 環境科学分科会（第2回）

公開シンポジウム企画案について

11月06日 公開シンポジウム「カーボンニュートラルに向けた熱エネルギー利用の可能性と課題」

令和4年

02月23日 環境科学分科会（第3回）

意思の表出の在り方、公開シンポジウム企画案について

04月27日-05月02日 環境科学分科会（第4回）（メール審議）

公開シンポジウムの開催について

07月30日 公開シンポジウム「みんなで考えるカーボンニュートラルと化学」

09月29日 公開シンポジウム「東南アジアのアブラヤアシ農園の持続的開発の問題点と課題」

10月22日 環境科学分科会（第5回）

公開シンポジウム企画案、意思の表出について

令和5年

01月31日 環境科学分科会（第6回・メール審議）

意思の表出案について

04月28日 環境科学分科会（第7回）

意思の表出「報告」案について

05月12日 環境科学分科会（第8回）

公開シンポジウム企画案、意思の表出について

- 06月14・15日 分子研研究会「化学・工学・環境学を例とした持続可能な社会のための産学官民連携の在り方」
- 06月15日 環境科学分科会（第9回）
意思の表出「報告」案について