

原子力の魅力を高めるための課題と
その解決のための提言

日本原子力学会
未来像検討
ワーキンググループ

2022年3月

CONTENTS

活動の経緯	1
提言 1 個別の原子力プラントの価値を把握する.....	2
提言 2 気候変動の影響を緩和するために技術を総動員する.....	3
提言 3 原子力の要素技術を用いて短中期的課題の解決に挑戦する.....	4
提言 4 原子力・放射線のコミュニティを活性化する.....	5
提言 5 社会的受容性を再考する.....	6
提言の基盤となった議論	7
電源システムの安定性への貢献.....	7
気候変動対策に利用可能な技術.....	8
再生可能エネルギーに対する敬意.....	8
既設炉の最大限の活用.....	9
水素利用と原子力の関係.....	10
核融合研究における民間資金の活用.....	10
オープンな研究開発の可能性.....	11
分野横断的な活動を活性化させる試み.....	12
安全の目標.....	13
革新的な原子力技術の研究開発.....	14
放射性廃棄物管理における留意点.....	15
委員名簿	16
未来像検討ワーキンググループに関連したイベント.....	17

活動の経緯

東京電力福島第一原子力発電所事故（1F 事故）から 10 年という節目に当たり、日本原子力学会の理事会は、2050 年を担う世代に原子力の未来像の検討を依頼し、それをシンポジウム等によって学会員全体で共有することを企画した。この検討は、全 19 部会、若手連絡会、学生連絡会から推薦された委員によって構成された未来像検討ワーキンググループ（以後、未来像 WG）によって進められてきた。未来像 WG は、学会事故調の「原子力学会には自由で率直な意見交換を妨げる環境があった」という指摘を真摯に受け止め、少人数での議論を繰り返して問題意識を洗い出した。また事故調提言フォローの報告会に併せて中間報告会を開催したり、39 歳以下の学会員で構成される若手連絡会の勉強会の場を利用することで、外部の幅広い意見を聴取しながら検討を進めてきた。

これらの活動の結果、未来像 WG では、2050 年において原子力と放射線の平和利用が社会課題の解決における有力なオプションであり続けるために解決すべき課題を 5 項目に整理し、その解決に向けた提言を学会員全体で共有すべきビジョンと共に取り纏めたので、ここに報告する。

個別の原子力プラントの 価値を把握する

日本のエネルギー政策の基本方針は、安全性を大前提とし、エネルギー安全保障、経済効率性、環境適合を同時に達成することである。このコンセプトは2050年においても大きく変わらないだろう。したがって、原子力エネルギーの持つ基本的魅力、すなわち燃料調達先が多様なこと・備蓄が可能なこと・電源系統の安定化に寄与すること・運転コストが安定していること・運転段階で温室効果ガスを排出しないこと等は、将来にわたって維持される見込みである。

ただし、これらの魅力は相対的なものであり、エネルギーシステムの中で状況に応じて時々刻々と変動することに留意が必要である。低廉な価格で十分な電力量を供給できることは競争の前提となる。既設原子炉の電源系統への貢献に着目すると、取引市場が形成されている設備容量や需給調整能力に加えて、慣性力の提供、立地の分散、台風等の自然災害等に対する電源としての強靱さ、系統事故からの回復力の提供といった要素にも価値がある。それを発掘するには合理的な取引手法を提案する必要があるが、その前提となるのはプラント毎の価値を定量的に把握することである。

気候変動の影響を緩和するために 技術を総動員する

2050年のカーボンニュートラル達成は、実現可能かもしれないが、とても難しい目標設定である。電力部門の完全な脱炭素化だけでは不十分であり、あらゆる分野で新しい技術を導入する余地がある。原子力関係者は、一次エネルギーの乏しい日本において再生可能エネルギーが重要なパートナーであり、その導入に向けた技術開発が進んでいることを真摯に認め、気候変動対策に民間資金が大量流入している状況を原子力の追い風にすることができていない現状を直視する必要がある。また、カーボンニュートラルな社会では、脱炭素電源は付加価値にならないことも忘れてはいけない。化石燃料の代わりに海外産の二次エネルギーの輸入も予想されるが、その規模感は準国産エネルギー確保のための核燃料サイクルの開発方針に影響を与え得る。

具体的な政策を提言するためには、定性的な議論から直ちに脱却し、需要家目線で解像度の高い検討を行う必要がある。検討の基盤は、慣性力や電圧と周波数の維持機能などの原子力プラント毎の系統安定化に対する貢献度を定量化することである。次世代炉の新設やリプレースに必要な制度の検討に直ちに着手しなければならない。既設炉を最大限活用するため再稼働や長期運転と長期サイクル運転に全力で取り組むと共に、アップレーティングや出力調整のオプションも考える必要がある。水素やアンモニアの利用に関しては、技術開発要素が多岐にわたるので、利用や調達の見通しをモニタリングすると共に、原子力側において関連する研究開発では柔軟なアプローチをとる必要がある。

原子力の要素技術を用いて 短中期的課題の解決に挑戦する

原子力・放射線を用いた研究開発にはスケールが大きく複雑なものが多く、研究コミュニティには慎重なアプローチを採用する組織文化が根付いている。慎重さには多くの良い側面があるが、環境変化への迅速な対応を妨げたり、チャレンジ精神を損なうこともある。国際社会の直面する課題は、直ちに、あるいは10年程度の期間のうちに解決することを求められることが多い。例えば、2016年に採択された持続可能な開発目標（SDGs）は2030年をターゲットとしている。

革新的な原子力システム全体の導入を15年以内に完了することは容易ではないので、我々には少し異なるアプローチが求められている。参考となるのは、核融合システム開発における新しいイノベーション戦略である。原子力・放射線研究を社会貢献に位置づけたいのであれば、長期的にエネルギー問題へ貢献することを基盤としつつ、要素技術を応用して短期的な社会課題の解決に貢献することも重要な使命と認識すべきである。両方の課題を行き来しながら研究開発をスパイラルアップさせる戦略が必要である。

原子力・放射線の コミュニティを活性化する

原子力の魅力の中には、容易に貨幣価値に換算できないものも存在する。その多くは、関係者が蓄積してきた知識基盤と関係している。これまでは、官庁や業界団体によってコーディネートされた共同研究や、大規模研究設備の共同利用の枠組みが有効に機能し、様々な階層において高度な技術と人材が共有されることで、効率的に原子力産業の課題に取り組むことができた。わたしたちは、これらの基盤がまだ残っている間に、オープンな研究開発の利点を取り込んで、新しいスタイルを作り出す必要がある。

日本原子力学会は既に多様な専門領域を内包しているが、分野横断的な活動を活性化させると共に、所属やジェンダー、世代等、地域等の観点でもより広い包絡性を持つべきである。市民科学者の参加も重要である。幅広い方にご参加頂くため、負担を感じずに参加できることに加え、知識レベルに差異があっても参加者が相互に刺激を与え合える環境を作ることが大切である。若手連絡会や学生連絡会の活動は良好事例である。海外の研究開発成果を導入するのに障壁となる慣習や制度を粘り強く是正し続けると同時に、対等な協力関係を構築するための海外戦略が必要である。カーボンニュートラル達成に向けて多種多様な技術の組み合わせを考えるには、原子力関係者だけで完結しない建設的な議論が必要である。オープン化の利点の一つは、開発者が予想できなかった潜在的な価値が外部で発見されることにある。このような機会を得るため、一次データを含む研究成果を戦略的に公開することや、外部との擦り合わせポイントを厳密に規定したうえで研究開発を進めることが必要である。

社会的受容性を再考する

原子力エネルギーを推進するうえで社会的受容性の向上が不可欠であることや、そのために安全目標を国として設定することが望ましいことは、長年にわたり繰り返し指摘されてきた。一方、1F事故後の状況は、これまで主たる目標とされてきた急性被ばく死亡リスクの抑制が原子力の社会受容と直接結び付かないことを示している。

わたしたちは、あたかも一つの社会というものがあるかのような言論を止め、原子力に関するすべてのステークホルダーと、個別に、かつ真摯に向き合う必要がある。とりわけ、小型モジュール炉などの革新炉の設計、核燃料サイクルや群分離・核変換技術、放射性廃棄物管理などの研究開発では、社会的受容性というコンセプトをどのように技術的に取り込むかが重視される。プロジェクトを成功させるには、社会を構成する様々なアクターがそれぞれ何を重視するのかを把握して説明責任を果たし、その意見を段階的に織り込みながら透明性をもって仕様を固める手続きが大切である。また、将来世代のリスクプロファイルが現代と大きく異なる可能性に留意すべきである。原子力技術には、社会にも高いセキュリティレベルを要求する技術のトップランナーとして、リスクマネジメントの新しい形を提案し続ける責任がある。

提言の基盤となった議論

電源システムの安定性への貢献

原子力等の同期電源には交流電源の周波数や波形を安定させる働きがあり、その役割は需要変動や系統事故において特に重要である。一つの同期電源の系統安定性への貢献度は設備容量に概ね比例するが、その重要度は系統全体に占める非同期電源の割合に大きく依存する。英国等では系統安定化の要素の市場取引が開始されている。日本の場合、系統の構成が異なることに加え、非同期電源の割合が時間帯によって大きく変動するという特徴もあり、海外の仕組みをそのまま導入することはできない。また、台風等の大きな自然災害下でも発電を継続できる原子力プラントは、自然災害等に起因する大規模な系統障害の抑止や緩和に貢献できる可能性を有する。これらの価値をプラント毎に取引する方法を設計するためには、さまざまな系統事故を電源側の視点でシミュレーションしたり、電源供給に対する自然災害リスクの評価を精緻化することが必要である。

気候変動対策に利用可能な技術

2050年にカーボンニュートラルを達成するには、電力部門の完全な脱炭素化だけでは不十分なことは自明である。製造・運輸・家庭など、すべてのセクターにおいて、電化、海外から輸入する水素等の二次エネルギーの活用、CO₂の回収・貯留技術など、あらゆる技術の利用可能性を排除せずに検討する必要がある。将来像を精緻に描くことは難しいが、脱炭素に向けた取り組みと電力需要は正の相関を取りやすい。

再生可能エネルギーに対する敬意

学会員の中には、再生可能エネルギー等の欠点を論う風潮がまだ残っている。再生可能エネルギーの導入ポテンシャルに関する試算に大きな幅があるものの、日本の場合、社会的受容性を考慮しつつ最大限の導入を図ると現在の電力量の50%程度を賄うことができると評価されている。政策的な後押しもあり、再生可能エネルギーは既に大量に導入されている。今後もこの潮流は継続し、再生可能エネルギーの導入において課題となる出力変動対策等を解決するための技術開発が着々と進むと推測される。

再生可能エネルギーの主力電源化が進む中、原子力発電所には再生可能エネルギー導入時の課題を解決する役割が重要となる。例えば、慣性力や無効電力供給量の不足による電圧維持機能の低下といった電力システムの安定性の課題を解決する視点で再生可能エネルギーと原子力の補完関係を構築し、それぞれが共存するようなビジョンや価値を示していく必要がある。

既設炉の最大限の活用

日本の長期運転の課題は、運転開始から60年を超えるプラントに対する規制制度の整備である。安全な長期運転を実現するには、新型プラントに準ずる安全設備を持たせるための改造技術、経年劣化の評価や影響緩和の技術、世代を超えた知識伝達等が必要である。日本は長期運転に必要な技術基盤を有しているが、規制制度が整備される見通しなしに、それを維持することは困難である。

海外では燃料交換サイクルを長期化することで、高いプラント稼働率を実現している。日本でも定期事業者検査の期間は24ヶ月まで延長可能であるが、長期サイクル運転を実現するには核燃料の改良が必要となる。燃料の継続的改良は既設プラントの性能自体を向上させることに直結する。海外の先行技術導入を容易にするためにも、複数プラントで共通する技術要素を一括評価するトピカルレポート制度の効果的な運用が期待される。

水素利用と原子力の関係

水素発電を電力部門の脱炭素化にむけた選択肢として最大限追及するという政府の方針が明確となり、国内における水素利用に関する実証が活発化している。水素発電においては大量の水素を必要とすることから、多セクターでの水素製造が検討されており、その一つとして原子力の活用が考えられている。原子力に関しては発電時にCO₂を排出しないことから、水素発電設備と組み合わせることにより、CO₂フリーな水素製造を実現することが期待できる。米国等では、電力卸売市場からの収益減少を背景に、軽水炉を活用した水素製造による新市場への参入が検討されている。

水素製造に関する国の政策や海外動向を踏まえて、カーボンニュートラルに向けた原子力の選択肢を広げるためにも、原子力発電所を活用した水素製造に関する検討を進めていく必要がある。例えば国内では、原子力発電所の余剰電力と水素製造を組み合わせることにより、製造過程でCO₂を排出しない「ゼロカーボン」での水素製造が来年度から敦賀市で実施される予定であり、このような検討をより活発に進めていくことが期待される。

核融合研究における民間資金の活用

核融合分野では、世界的なサステナビリティ投資ならびに化石燃料からの投資引き上げの潮流を受け、究極のグリーンエネルギー実現という夢に向けた民間投資が盛り上がりの機運を見せている。著名投資家からの投資を含む核融合ベン

チャーへの累計投資額は2021年末時点で約5,000億円に達した。これにより、核融合分野は、ITERやDEMOのような公的プロジェクトと、民間における先進要素技術の開発を2トラックで並走させている。後者は短期的なマイルストーンを設定して技術開発と実証を繰り返すことで、環境意識の高い投資家への訴求に成功している。この事例は、環境上の利点を客観的に訴求し、かつイノベーションにより小型化・低コスト化・早期実現が可能であることを示すことで、新たなプレーヤーである民間投資家やスタートアップを惹きつけることが可能であることを示唆している。

オープンな研究開発の可能性

原子力は多様な技術領域を統合した総合工学であり、原子力システムの信頼性向上のための研究課題は、計算科学技術や分析技術を代表とする様々な学術領域の発展に貢献してきた。原子力産業界の課題を解くことで原子力以外に使える能力を培うという構造は、1F廃炉研究にも見出される。一方、様々な技術を組み合わせてカーボンニュートラルに向けたエネルギーシステムを提案したり、原子力産業で培われた要素技術をスピノフしてエネルギー以外の社会課題の解決に挑戦するには、多様な専門性を持つ人との協業や異分野からの人材流入が求められる。コミュニティのオープン化を図るためには、原子力の技術基盤がいまだに魅力的なポテンシャルを有していることをアピールすると同時に、参入障壁となっている技術的な特性（例えば、特殊な用語の使い方）を戦略的に変化させる必要がある。

分野横断的な活動を活性化させる試み

若手連絡会（JYGN）の主催する若手勉強会や若手討論会（NEFY）は、若手という一つの世代の集まりとして、様々な専門分野を背景とした人々が集い、取り上げた話題に対して議論する場を作り上げている。特に、NEFYの参加者からは「他分野との連携」や「原子力に囚われずに広く社会を捉える必要」を指摘する声が上がっており、こうした取り組みを通じて内側から分野横断的な活動に対するマインドが構築されていることは重要な点である。学生連絡会が主催する学生ポスターセッションの場も分野を超えた交流の場として定着している。これらの取り組みを学会全体に波及させることが望ましい。原子力学会は、情報通信技術を積極的かつ有効に活用し、地域を超えたコミュニケーションを活性化させることで、対話の輪に入っていただく障壁を下げるべきである。

安全の目標

原子力施設の安全性を議論するための目標は、定性的な目標、定量的な目標、安全評価の結果と照合できるようブレークダウンされた性能目標で構成される。上位の目標は国や組織の価値判断そのものであり、「何をまもりたいか」は時代と共に変化する可能性がある。個人の死亡リスクに占める被曝の割合を十分小さくすることは不変の重要な原則であるが、生命科学の進歩が発がんリスクのマネジメントを変えるなら、定量的な目標を根本から見直す必要が生じる可能性がある。

まもるべき対象は生命だけではない。原子力エネルギーは既に日本の社会インフラの一つになっており、その状態は全ての人に影響を与えている。自己決定権や環境権といった価値観にも配慮しつつ、ステークホルダーの意見を早い段階で原子力施設の意思決定に織り込むことや、全ての人を満足させることはできないという認識に立って不利益を受ける人を救済する仕組みを予め設けることなども考える必要がある。

革新的な原子力技術の研究開発

いずれの研究開発においても、特定のアプローチに固執するのではなく、柔軟性や迅速さ等の価値を重視し、社会環境の変化に素早く適合できる戦略が必要である。

マイクロ炉を含む小型モジュール炉（SMR）の研究開発は民間主導で進められている。海外を中心に多様な SMR 概念が提案されているが、規制基準を含む SMR 開発を支える技術基盤の整備は、日本における SMR 導入の採算性とは区別して検討する必要がある。中長期的な研究開発が必要な原子力技術開発を民間主導で継続するためには、民間投資を活性化する施策や複数年に渡る研究開発予算の利用が可能な枠組みを具体化することが望ましい。

資源に乏しく再生可能エネルギーのポテンシャルも比較的小さい日本においては、大型のナトリウム冷却高速炉を用いた核燃料サイクルによって原子力資源の貯蓄性を活かすことは有力なオプションの一つである。残念ながら「もんじゅ」を中核とした研究開発は中止が決まったが、そこで培われた知見を展開することにより、ナトリウム冷却高速炉のみならず多様な核燃料サイクル概念を国際協調の中で生み出すことが期待されている。

群分離・核変換技術は原子核科学と炉工学の学際領域として大きなポテンシャルを秘めており、放射性廃棄物減容のオプションにもなる。ただし、現在の核変換技術がアクチニドを主たる処理対象としているのに対し、地層処分の安全評価上重要な核種はヨウ素-129 等であるというギャップを丁寧に扱う必要がある。

放射性廃棄物管理における留意点

放射性廃棄物の安全で合理的な管理は、原子力の社会受容を左右する重要な課題である。廃棄物の安全論理は多くの産業である程度まで一般化できる可能性があるものの、現状では原子力業界内でさえ起源ごとに規制体系や事業主体が異なっており、全体像を容易に見通せる状況ではない。

高レベル放射性廃棄物の場合、安定な地層により長期間にわたって放射性物質を人間環境から離隔するために必要な技術開発は概ね完了しており、その成果はサイトを特定しない包括的技術報告書として纏められている。現在二つの自治体がサイト選定に向けた文献調査を受け入れているものの、更に多くの地域が調査に関心を寄せる環境を作って、多数の地域から候補地を絞り込む手続きを取ることが理想の姿であり、“おしつけ”でない納得感のあるサイト選定の要件となる。事業主体は、地理的特徴などの調査結果に加え、当該地域の住民の懸念も織り込みながら、調査地点ごとにセーフティケースを評価して提示し、調査自治体の首長と知事の同意が得られた場合に事業を次のステップに進める手続きを取る。セーフティケースをコミュニケーションツールとして機能させるためには、技術情報の分かりやすい発信が前提となる。加えて、事業主体や国が主導しない形で市民どうしのフラットな意見交換を促進し、その結果を事業主体がモニタリングしながら評価に織り込んでいく工夫が必要である。

委員名簿

炉物理	竹田 敏 *	計算科学技術	鈴木 正昭
核融合工学	武田秀太郎	水化学	端 邦樹
核燃料	鈴木恵理子	水化学	清水 亮介
核燃料	渡部 雅	原子力安全	村上 健太 #
バックエンド	小林 大志	原子力安全	佐藤 寿樹
バックエンド	草野由貴子	原子力安全	高橋 直己
熱流動	淀 忠勝	新型炉	山本 智彦
放射線工学	佐藤 優樹	リスク	杉野 弘樹
ヒューマン・マシン・システム研究	藤野 秀則	学生連絡会	岡村 知拓
加速器・ビーム科学	羽倉 尚人 *	学生連絡会	村本 武司
社会・環境	堀尾 健太	若手連絡会	中森 文博
社会・環境	稲村 智昌	若手連絡会	村上 洋平
保健物理・環境科学	寺阪 祐太	若手連絡会	吉永 恭平
保健物理・環境科学	佐々木道也	理事会推薦	平野 喬博
核データ	寺田 和司 *	理事会推薦	熊谷 裕司
核データ	湊 太志	理事会推薦	川村 慎一
材料	叶野 翔	オブザーバー	中島 健
原子力発電	稲垣 健太	オブザーバー	佐治 悦郎
原子力発電	増子 順也	オブザーバー	岡嶋 成晃
再処理・リサイクル	秋山 大輔		(#リーダー *幹事)

【未来像検討ワーキンググループに関連したイベント】

VISION2050 事故を振り返り未来を見据える（第二部）原子力の未来像を考える

日本原子力学会（1F 事故 10 年事業）主催

2021 年 3 月 11～12 日 オンライン開催

資料等は <https://www.aesj.net/vision2050symp> で公開中

【未来像検討ワーキンググループが参照したイベント】

若手勉強会（Young Generation Roundtable）

日本原子力学会 若手連絡会 主催

（2020 年 8 月～2022 年 2 月の開催分を記載）

議論を活性化するため“チャタムハウスルール”を採用

開催案内等は <http://www.aesj-ygn.org/> で告知

第 14 回 「宇宙探査における原子力利用」2020 年 9 月

第 15 回 「高速炉サイクル若手座談会～高速炉サイクルは何処へ～」2020 年 12 月

第 16 回 「気候変動問題入門：なぜ『カーボンニュートラル』を目指すのか？」2021 年 1 月

第 17 回 「核融合の早期実現という破壊的イノベーション」2021 年 6 月

第 18 回 「2030 年温室効果ガス 46%削減目標の達成は可能か？」2021 年 6 月

第 19 回 「メディアを知る」2021 年 6 月

第 20 回 「OECD/NEA で働く若手日本人職員に聞く。」2021 年 8 月

第 21 回 「電力システムの概要とカーボンニュートラルに向けた課題」2021 年 9 月

第 22 回 「放射線は義務教育でどのように教えられているか」2021 年 9 月

第 23 回 「医療・生命科学に貢献する原子炉の役割。—新たな試験研究炉がもたらす産業イノベーションの可能性—」2021 年 9 月

第 24 回 「米国から見た日本の原子力」2021 年 12 月

第 25 回 「健全な「核燃料サイクル」に必要なものとは何だろう」2022 年 2 月

日本原子力学会 未来像検討ワーキンググループ
原子力の魅力を高めるための課題とその解決のための提言

発行 2022 年 3 月

発行所 一般社団法人 日本原子力学会

〒105-0004 東京都港区新橋 2-3-7 新橋第二中ビル

TEL : 03-3508-1261

E-mail : atom@aesj.or.jp

URL : <https://www.aesj.net>

©2022 Atomic Energy Society of Japan

ISBN : 978-4-89047-184-3

