

総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会
原子力小委員会 革新炉ワーキンググループ 第1回会合
議事要旨

日時：令和4年4月20日（水） 12：30～15：00

場所：オンライン

議題：革新炉開発について

出席者 ※敬称略

座長	黒崎 健	京都大学複合原子力科学研究所教授
委員	遠藤 典子	慶應義塾大学グローバルリサーチインスティテュート特任教授
委員	小野 透	(一社)日本経済団体連合会 資源・エネルギー対策委員会 企画部会長代行
委員	小伊藤 優子	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構高速炉・新型炉研究開発部門
委員	斉藤 拓巳	東京大学大学院工学系研究科原子力専攻 准教授
委員	高木 直行	東京都市大学大学院総合理工学研究科共同原子力専攻教授
委員	高木 利恵子	エネルギー広報企画舎代表
委員	田村 多恵	株式会社みずほ銀行産業調査部参事役
委員	永井 雄宇	電力中央研究所主任研究員
委員	松久保 肇	原子力資料情報室事務局長
委員	山口 彰	公益財団法人原子力安全研究協会理事
専門委員	大島 宏之	日本原子力研究開発機構理事
専門委員	大野 薫	日本原子力産業協会情報・コミュニケーション部課長
専門委員	中熊 哲弘	電気事業連合会原子力部長
事業者	大島	日本原子力研究開発機構理事
	加藤	三菱重工業常務執行役員原子力セグメント長
	久米	日立製作所執行役常務原子力ビジネスユニット CEO
	薄井	東芝エネルギーシステムズ取締役／原子力技師長

(事務局)

経済産業省 遠藤 電力・ガス事業部原子力政策課長

(オブザーバー)

内閣府 實國 原子力政策担当室参事官

外務省 永吉 国際原子力協力室長

文部科学省 新井 原子力課長

議事概要

<事務局より資料3「革新炉ワーキンググループの設置について」説明>

<事務局より資料4「第25回原子力小委員会における議論概要（革新炉関連）」説明>

<事務局より資料5「革新炉ワーキンググループの進め方（案）」説明>

<事務局より資料6「エネルギーを巡る社会動向を踏まえた革新炉開発の価値」説明>

<日本原子力研究開発機構理事より資料7「国内の新型炉技術開発の現状と社会ニーズへの対応」説明>

<三菱重工業より資料8「三菱革新炉開発の取組み」説明>

<日立製作所より資料9「日立の新型炉開発の取組みについて」説明>

<東芝エネルギーシステムズより資料10「東芝エネルギーシステムズの革新炉への取組み」説明>

(委員)

- 原子力事業者やメーカーは民間企業であるため経済価値を創出することが大前提。政策議論においては、民間企業の事業予見性を確保するための制度設計が大きな検討課題になる。原子力関連技術にもイノベーションが期待されており、各事業者の発表から、実際にそれが起きていることが理解できた。
- 米国を中心とした西側諸国における革新炉開発に対する政策支援では、既存炉における中露の寡占状態を転換するために革新炉を通じて新しいビジネスモデルの確立を図っていると考えるを得ない。
- 日本政府が革新炉において民間企業をサポートする場合に、政府として何のために革新炉が必要なのか明確な提起が必要。
- 民間の経済価値を考えた場合、巨大なイニシャルコストを軽減するための投資採算性の検討の結果、小型炉が必要であるとの判断は合理的だが、一方で社会的なコスト低減も必要。炉型を問わず、英国で導入が見込まれる早期投資回収のRABモデルは、日本においても検討に値する。
- 社会的なコストとしてはUPZの設定など、規制当局との連携が欠かせない。
- エネルギー基本計画や閣議決定などでリプレイスが明記されなければ原子力が衰退していく。現行炉の状況を考えると、革新炉が導入されるには時間を要する。米国との連携を深め、グローバル市場の開拓においてまずは実績が必要であり、民間の企業に期待したい。
- 今後のWGの議論において小型炉の燃料の議論も深めるべき。

(委員)

- 事務局の説明資料は、総論的だった半面、革新炉の炉型ごとに何が得意で何が苦手かといった特徴が見えにくかった。次回以降は得意不得意が比較できるような資料構成が望ましい。例えば安全性についても原子力システム全体に共通する部分と炉固有のものは明確に分かれている。水素製造についても電気分解なのか、あるいはIS法や高温熱利用かで変わってくる。そういった点も分けられると、リソース分配の議論が深まる。
- 革新炉をどう定義するかについて、軽水炉型とそうでないものは分けた方が良いのではないかと考えている。開発のリードタイムを考えたときに、軽水炉型はすでにビジネスになっている部分もあるが、高温ガス炉や高速炉はより付加価値を備えているものという見方もでき、切り分けが必要。
- 次回議論することになると思うが、廃棄物、サイクルとの接続性はこれまであまり議論されていない

い。低濃縮燃料のままでよいのか、TRISO 燃料のようなものを使う必要があるのかといった燃料供給の話。あるいは、廃棄物の有害度低減についても前提条件があり、2 次廃棄物の発生、炉自体の廃止措置のしやすさ/しにくさ、といった視点もある。原子力の持続性を考えるためにサイクル全体での位置付けも論点にしてほしい。

(委員)

- 日本では温室効果ガス排出量について 2030 年に 46%削減、2050 年にカーボンニュートラル (CN) が目標だが、この時間軸での革新炉の位置付けが疑問。諸外国の事情を見ると貢献できないことは明らか。日本国内で考えたときに、2050 年時点で小型炉を何基建設できるのかなど冷静に考えるべき。既存サイトへの増設でも、楽観的に見て数基程度ではないか。
- 日本は高速炉には多額の研究開発費をつぎ込んできたが、実用化は 2050 年以降。この時点で CN 実現という観点から高速炉の意義が理解できない。
- 高温ガス炉で水素が安価に製造できる可能性があるという説明があったが、実証できたとしても出力 60 万 kW の水素製造量は 2 万トン以下ではないか。2050 年で予想される水素需要量は 2000 万トンであり社会的なインパクトとしては微量。技術的にできることと社会的なインパクトは違う。小さな貢献度の電源に巨額な補助を与えることは合理的な政策とは言えない。国が根拠を持って示すべき。
- 海外展開について、革新炉・小型炉を開発している国は各国とも国産化率を上げたい。SMR は大量生産を前提としており、コスト削減の観点からも、コモディティ化、一般化していく。この中で、日本が保有する大型軽水炉技術はどの程度求められているかをしっかりみていくべき。パーツの輸出についても客観的な市場分析が必要。
- 革新炉のコストは競争価格に下げられると言っているが現実にそうなるのか。モジュール工法は AP1000 でも売れだったが、ウェスティングハウス規模のメーカーでもモジュール工法で生産されたモジュールの品質が悪くコスト増の要因になった事例がある。革新炉メーカーの見解を客観的に見る必要がある。
- ロシアのウクライナ侵攻では、民生の原子力施設が攻撃対象になった。大型・小型を問わず原子炉が攻撃の標的になり得るのが現状。核物質防護、原子力発電所への攻撃が懸念される。どれだけ核セキュリティに費用をかけて、コストを誰が払うかも重要な問題。ウクライナでは国営企業が原発を保有しており、国の準軍事組織が警備。一方、日本は民間の電力会社が保有しており、核セキュリティのコストは民間企業が負担すべきと考える。
- SMR の分散立地は、現実的な選択肢なのかという点について、ウクライナ侵攻を受けて改めて検討する必要があるのではないか。
- サイクル全体の持続性についても改めて検討すべき課題と考える。

(委員)

- エネルギー安全保障の強化や 2050 年 CN 実現に向けて原子力には期待が寄せられている。原子力の新たな社会的価値を再定義すべく議論することは、時宜を得ており、歓迎したい。
- 評価基準について、事務局の資料に必要なキーワードはそろっているが、プライオリティやタイムラインは考えていく必要がある。安全性の確保・向上は最も重要な評価軸となるのではないか。ま

た、放射性廃棄物の最終処分を含むバックエンドへの対応も重要な評価軸と考える。これらはすでに日本が直面している課題であり、我が国にとってのプライオリティは相当に高い。スピード感を持った取り組みが必要。

- 再生可能エネルギーの補完や水素製造は従来なかった原子力の新たな価値。特に、産業界としては水素製造への貢献を大いに期待している。高温ガス炉や核融合は、開発の時間軸は異なるものの日本に技術的な優位性があると認識しており、着実に進めて欲しい。
- 事務局資料に、2050年段階で石炭火力とガス火力の合計の設備容量が50GWを切る見通しが示されている。既設の原子力発電所の運転期間を20年間延長したとしても、2050年に向けて増大する需要を賄えるとは思えず、危機感を覚える。最近の需給ひっ迫を踏まえても、再エネだけでなく安定電源である火力や原子力が相当規模必要。将来の電力の安定供給確保の観点からも、革新炉の早期の実装を期待する。

(委員)

- 産業構造を考慮すると日本の目指す姿は、安定的で安価なエネルギー供給、技術自給率を高める、長期的な持続性の3つである。
- 安定・安価なエネルギー供給については、既設の軽水炉を再稼働して実現できる。
- 技術の自給率は、サプライチェーンの維持や雇用が重要。OECDの評価では、原子炉1基でプラントライフサイクルにおいて、直接雇用と間接雇用を含め20万人年の雇用を生むとしている。リプレイスによってエネルギー産業が育ち、技術自給率が高まる。
- 長期の持続性と脱炭素の両立は難しい。現実には日本は化石燃料を16兆円輸入し、最近ではウランの値段も上がっている。このような状況では原子力の持つポテンシャルを最大限に活用する必要がある。それは、発電、熱利用、中性子利用である。まず、これまで軽水炉は発電だけをしてきた。革新炉では、高温システムを提供できるので熱利用の使い方も出てきた。さらに、高速炉では中性子を利用でき、燃料の増殖、高レベル放射性廃棄物の減容が可能である。それに加えて、医療用RI製造などにより、持続性のある社会、クオリティオブライフの向上にも寄与できる。

(委員)

- 今後の論点を3つ示す。1つ目は、革新炉開発の時間軸。社会的な要請が高まっているのは2050年CN実現と認識。様々な炉型があるが、技術開発の不確実性を考慮し、時間軸を考えると、貢献できる炉型は限られるのではないかと懸念がある。電中研では、地域住民や農業の受容性を考慮すると、再生可能エネルギーに期待できる発電量は6500億kWh程度と推計しているが、一方で、2050年の国内電力需要は1.3兆kWhを超える推計が多く、研究機関から発表されている。どの炉型がどの程度貢献できるかを念頭において議論する必要がある。
- 2つ目は、CN社会での革新炉のビジョン。グリーン成長戦略の中で、4つの炉型は一定の方向性が示されている。しかし、将来的に必要な規模等は不明瞭であり、事業者が投資していくには不十分な状態。米国や英国では既存炉を含めて戦略を立てて、予算や法律面でも環境を整備している。国が原子力技術の開発を支援するにあたっては、国の目標と整合しており公益性が高いことを示すことも重要。革新炉開発において、長期的なビジョン、具体目標の設定が重要。

- 3つ目は、原子力の社会的価値。本WGでは、主に供給側（特に革新炉）の価値が取り上げられていた。しかし、同じ価値を供給できるその他技術も開発が進められている。LCOEだけではシステムにおけるその技術の価値が評価できないように、それらの競合技術との比較もしていく必要がある。将来の社会におけるニーズの検討も必要で、革新炉から製造された水素や熱についても、どの温度帯でどの程度有効活用が見込めるかなど、需要側の視点の検討が進められていくことも期待している。

（委員）

- 革新炉の定義付けについては、様々な意見があると思うが、社会に発信していくことが重要。
- 評価基準について、これまでの研究開発の結果としての技術成熟度のみならず、いつまでにどれくらいの費用をかけると実用化まで進めるのかといった点を踏まえて、将来の技術成熟度合までを踏まえた総合的な判断になるのではないか。
- サプライヤーの人員・設備を維持できる事業規模があるということは、原子力事業の継続において不可欠な要素である。評価基準における市場性という点では、世界の市場規模も含まれていると認識している。一方、技術開発をする企業からすると、事業継続に不可欠な市場規模について考えがあるのではないかと思う。世界の革新炉市場の何パーセント程度を日本の企業が獲得することを目的とするのか、その市場規模を獲得する蓋然性を示すために、革新炉間のコンセプトの比較や同じ炉型内では企業間の比較のような競争力の分析が必要ではないか。
- 原子力による産業界への熱源・水素供給について、鉄鋼業の高炉1基に必要な水素は、高温ガス炉であれば太陽光の1600分の1の敷地面積で足りる。日本のように国土が狭く再エネ資源にも恵まれない国では、社会全体のCNに向けて現実的な策を考える上で、こういった示し方はわかりやすいのではないか。
- 革新炉の認知度を高めるためにも、安全性の訴求と合わせて誰が見てもわかる資料を今後も提示してほしい。

（委員）

- 日本では、原子力平和利用の3Sの特にセーフティに重きを置いてきた。セーフティは今後も重要だが、ロシアのウクライナ侵攻に伴うザポリージャ原子力発電所への攻撃を目の当たりにし、セキュリティやリスクへの意識が高まっている。原子力安全について価値観のパラダイムシフトが起きているといえるのではないか。
- 革新炉開発は、リスクをも前提として、セーフティのみならず外部ハザードへのセキュリティにも重きを置きつつ、地政学リスクも克服するような革新的な安全を考えることが求められているのではないか。
- 技術的にゼロリスクにできないものは、リスクを低減する制度や方策を併せて検討することが重要。
- ウクライナのように発電所に武力攻撃を受けた際には、日本では自衛隊を活用するということが話題に上っているが、他にも国際的なタスクフォースや基金を作るなど、今後検討していく意義がある。
- なぜ革新炉開発が必要なのか、それを国が支援すべきかについては、その答えは一つではないが、

市場のシェアやグローバルサプライチェーンに変化をもたらし、核不拡散の規範などの価値観の変化をも促すのが革新炉ではないか。その結果、国際的な原子力ガバナンスを変え得るものになる可能性を秘めている。こうした認識を共有して今後検討を進めていく必要がある。

(専門委員)

- 日本のエネルギーの在り方を検討していくに当たっては、S+3Eの観点も重要。原子力技術はエネルギー安全保障だけでなく、電源の脱炭素化、CNの実現に向けて様々な社会ニーズに対応するポテンシャルを有している。革新炉開発については、社会実装の現実的な目線を持ちつつ、前に進めていく必要がある。
- 事業者目線でも、第一には安全性の担保が一番重要な評価軸になる。これと並んで事業の予見性も重要と考えている。予見性の確認には、技術成立性、炉型ごとにどのような規制要求があるのかという見定めを経て、確度よく経済性が評価できなければいけない。加えて、投資回収の担保の観点も非常に重要。建設・運転の上では、サプライチェーンが重要であるため、国内の産業基盤も重要な評価軸である。総合的に評価して、社会実装にふさわしい炉型が選ばれる仕組みが重要。その際に、炉型によって導入判断が可能となる時期は様々なため時間軸を意識することが重要。
- 既設の軽水炉については、現在安全性向上に取り組んでいる。その延長線上で開発される炉型は、ユーザーの立場からすると規制や経済性の予見性は他の炉型より大きいと考えている。オランダの事例もあるが、予見性の大きさを踏まえて判断されたかと捉えている。
- 革新炉の価値は発電だけでなく、放射性廃棄物の減容・有害度低減等の炉が持つ固有の優位性をきちんと評価することが重要。足元では予見性がそれほど高くないものであっても、その技術が社会実装されることで代えがたい価値を生む可能性があるものは長期的な目線で評価していくことが必要。
- 技術自給率が高いという日本の持つ強みを維持しつつ、産業基盤を毀損することなく、さらに発展するように時間軸を意識しながら評価されることを期待する。

(委員)

- 立地地域との関係性。CN実現に向けた社会の変革に対する原子力の役割が示されたと考える。炉型によるものもあるが、負荷追従や水素製造、廃棄物減容といった革新炉としての特性、災害時のレジリエンスやサプライチェーンの国産率といった原子力発電としての特性がある。革新炉は技術面に革新的な進化があるものの、ベースは今の原子力発電であり、その先に革新炉があると理解した。
- これからの原子力発電は様々な役割を担うとともに、安全性も向上することだが、立地地域からすると安全性は大前提で当たり前としてお願いしたい。その上で将来的に革新炉を導入していくに当たり、立地地域に受け入れられるには、共に歩み共に成長する姿勢も重要。
- 今ある技術を守るということも重要な要素。再稼働の遅れや廃炉で運転プラントが減少しているだけでなく、これまで支えてきた地元企業の技術力の継承も厳しい状況にある。将来の革新炉導入のための素地作りとして、新設やリプレイス含めて新たな経験の蓄積も重要。
- 人材育成への貢献も重要な要素。革新炉を含めたこれからの原子力技術が、地元企業の技術力や他

の産業への応用力や展開力、子供達の科学技術への関心の向上に貢献できれば、その地域に人が定着し集まってくることも期待できる。原子力関連の科学技術に強い人だけでなく、文学や社会学や経済、芸術の分野といった様々な分野の人材に関心を持ってもらい、巻き込んでいくことが重要。様々な分野の人材が原子力に携わるようになっていけば、国民の理解という点において、そういった人材からの波及効果が期待できるのではないかと。地元の人材が育ち、地元の人材が誇りをもって携わっていたり、誇りを持って地域の方が受け入れたりする形を目指してほしい。

(専門委員)

- 日本では、2050年CN達成のため、S+3Eの観点からも原子力を持続的に活用するとしている。優れた原子力技術を保有する日本は、将来を見据えて革新炉開発に取り組むことは必要。革新炉開発は技術立国を目指す日本が世界をリードすべき分野の1つであり、日本の技術・産業基盤の維持・発展や人材の確保・育成にもつながる。
- 成熟した信頼性の高い技術をベースに、安全性・コストパフォーマンスの追求、発電以外の用途にも使える新しい技術を追求していくことはどちらも重要。
- 革新炉開発を検討するに当たっては、ユーザーの視点を踏まえつつ、具体的なニーズを把握し、2050年CN実現を踏まえた時間軸やリソースを勘案しつつ、開発に優先順位を付けることが必要。
- 原子力・革新炉の価値を例えばSDGsの17項目のような形で社会に積極的に示していくという観点も重要になる。
- 米国・英国では、大型軽水炉の既設及び新設への支援をしつつ、積極的に革新炉開発も進めている。また、フランスも同様と聞いている。革新炉開発には時間がかかるが、社会実装をするまでに、技術・人材・サプライチェーンが散逸しては、国産技術での建設がままならないことが懸念される。技術・産業基盤維持の観点から、日本においても足下の事業環境を整えることが革新炉開発を円滑に進める上で重要である。

(専門委員)

- 安全性と社会実装の観点からの経済性は当然として、その先の持続性まで考えていくべき。
- エネルギーの長期的な安定確保、環境負荷低減、廃棄物についても考える必要がある。国際情勢を勘案すると、核不拡散抵抗性も今後はさらに重要になると考える。
- 時間軸を考慮して優先順位を付けて考えていく必要がある。軽水炉はある程度維持できると思うが、高速炉や高温ガス炉といった革新炉については、サプライチェーンはますます困難な状況になっている。こういった技術をどう維持していくのかという点についても議論すべき。
- 軽水炉及び各炉型で何が優先されるべきか、その中で必要な人材をどう確保するかについても2050年よりも手前でクリティカルな状態になると思われるので、こういった視点も入れて検討して欲しい。

(委員)

- 本WGは原子力の意義や価値をしっかり議論する場と感じた。
- SMRについては、サプライチェーン維持の点では、数十年に1基の大型炉よりは、数年に1基作れ

る小型炉は有利。特に米国ではそういった事情があるのではないか。

- 他の委員も指摘されているように、ここで議論されることは風呂敷を広げすぎになる傾向がある。時間スケールを考えると CN の目標時期には革新炉は間に合わないということもあるのではないか。そういったことも整理すべき。
- 特に SMR については、日本への適正も考えるべき。日本に合うのか、CN の目標に間に合うのか、そういった SMR の特性は本当に小型炉でないとは達成できないのか、という観点も持ち、大型炉も含めて見ていく必要がある。
- 原子力の社会的な価値に関する評価項目について、事務局の資料に「その他・非エネルギー分野の貢献」という記載があるが、原子力の多目的利用ということと理解した。CN について、原子力だけでなく太陽光や風力でも貢献できるというのが社会的風潮。核エネルギーがなぜ必要かをわかりやすく示さなければ原子力が認められないのではないか。原子力がエネルギー業界にとどまらず、汎用性を持つのが重要ということが原子力小委員会で行われているようだが、「その他」の内容を拡充してはどうか。工業・社会インフラ・医療・農業にも RI が使われている。医療に関しては、半減期が短いので海外からでは供給不足になることもある。原子力は電気を作ることが一番有効な使い方であるが、核反応を使わなければならないことは放射性同位元素を作ることであり、医療分野への寄与は大きい。発電所+医療用 RI 製造所など、原子力発電所が多目的に役立っていることを社会に伝えていく、またはそういった応用をするための規制を考えていくことが必要。
- 評価項目として、安全・廃棄物・NPT、RI 製造等の発電外利用、立地の問題といった評価軸を入れて時間依存性で見て、様々な炉型を比較していくことが必要。

(委員)

- 以上をもって、委員・専門委員 13 名より一通りご発言いただき、重要なご示唆をたくさんいただいた。廃棄物、核燃料サイクル、燃料、革新炉開発の時間軸、インパクト、評価軸のプライオリティ、持続性、長期的ビジョン、革新炉の定義づけ、セキュリティ、安全性、ニーズの把握、技術立国として世界をリードすること、立地地域、多目的利用、SDGs に関連したわかりやすい発信など、すべてをカバーできていないかもしれないが、色々な考えをいただいた。
- 事務局からの状況の説明の後、4 者から革新炉の開発状況についてもご説明いただいた。4 者 4 様で興味深く、革新的安全性、水素製造、熱利用、再エネとの連動など、大型軽水炉を含め、小型炉、ガス炉、高速炉といった様々な炉型についての、日本の技術力の高さを再認識できた。これらは本当に強みなのと思っている。
- 委員からいただいた様々なご意見については、事務局で整理し、次回以降の WG の議論に反映してもらいたい。

以上