

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2回会合
議事要旨

日時：令和4年5月19日（木） 9：45～12：00

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

プレゼンター 竹下健二 東京工業大学 科学技術創成研究院
José Reyes NuScale Power
Eric Williams TerraPower

(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 播本 国際原子力協力室 首席事務官

文部科学省 新井 原子力課長

議事概要

<事務局より資料3「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>

<プレゼンターより資料4「TerraPower社の高速炉開発について」説明>

(委員)

- Natriumの建設に絶対的に必要な Versatile Test Reactor (VTR) から得られる知見はあるか。ここから得られる知見がないと Natrium が作れないということはあるか？
- 炉側は PRISM ベースで 30 年間の実績があり、ソルトループも太陽エネルギー等で商用化されている技術だが、その両者をつなぐ熱交換器が新しい部分と認識している。熱交換器が開発のタイムスケジュールを遅らせることはないか。

(プレゼンター)

- VTR は止まっている。元の計画では、VTR を作って試験をすることで Natrium 炉の展開をサポートする予定だったが、連邦政府が先進炉の実証を優先させることになった。Natrium が先行することになる。
- 米国には何十年もの高速炉の経験があり、TerraPower 社内にも高速試験炉の運転経験者がたくさんいる。但しそれらは、商用炉ではない。商用炉の要件を満たすのは試験炉より難しい。
- 熱交換器の設計は難しくないが、ナトリウムと溶融塩のリークが起こった時にどのような相互作用があるかがポイント。熱交換器は 2 次系につながっているため原子炉から離れていることはプラスになる。スケジュール上ネックになるのはおっしゃる通りであるが、熱交換器の実験は進んでおり、これまでの結果によれば、2 つの相互作用の結果はそれほど厳しい事象ではない。

(委員)

- Nuclear Island と Energy Island が分かれており、両者に距離があるとナトリウム漏洩時のリスクが上がる懸念があるが、将来的に複数の Nuclear Island と Energy Island をハブのように使用するなどの意図があるのか。

(プレゼンター)

- 目指していたものの 1 つに、サイト内に複数のユニットの立地を可能にし、同じ燃料取扱い建屋や Energy Island を共有できるようにする計画がある。この計画に関心を寄せている電力会社もある。
- 溶融塩のタンクが複数あり、いくらでも増やせる。タンク貯蔵によって 5.5 時間 500MW のピーク電力を提供できるが、もし 10 時間必要なら溶融塩のタンクを増やすことが簡単にできる。

(委員)

- ナトリウム漏えい時の対策を追加で考えているか。

(プレゼンター)

- いくつかの追加の工学的安全措置を講じている。一番極端な方法では、1次系の液体を取り出して浄化することができる。1次系配管で漏れがあっても、その周りをガードパイプというもう1つの配管が囲っている。
- たくさんの配管が1カ所に集まっている場合は、不活性化したコンクリートのコンポーネントに入れる。金属で内張り、アルゴンガスを入れている。Fast Flux Test Facilityという試験設備があり、そこで運転経験を得た。最初に絶縁部がリークを検知できる。このスペースに他にも漏洩検知システムも入れる。

(委員)

- プロジェクトスキームについて、製造工場を持っていないと思うが、パーツ等はどう調達し、どのように組み立てるか。
- 使用済み燃料貯蔵は乾式貯蔵に移行出来る燃料か。

(プレゼンター)

- TerraPower社は確かに製造機能を持っていないし、計画もない。製造は専門家に任せて調達は自分たちです。カスタムエンジニアードされたコンポーネントを適切なサプライヤーから調達し、よりコモディティ型の設備は、ベクテル社の協力を得る。建設・工事もベクテル社が行う。
- 現行炉と同様、プール貯蔵し10年後に乾式貯蔵へ移行する。米国原子力規制委員会(NRC)の方針として、オンサイトの乾式貯蔵を100年ぐらいと記憶しているが、長期スパンで認められている。現在、米国に最終処分場がないことが課題である。

<プレゼンターより資料5「核燃料サイクルシミュレータ NMB4.0を用いた原子力利用シナリオの定量解析」説明>

(委員)

- 導入規模とインパクトに関して。経産省の資料では革新炉でできることがいろいろ示されたが、できることが問題ではなく導入することに意味があるかどうか問題である。高速炉による資源の有効活用や放射性廃棄物の有害度の削減といったところでは、実現するためには何基の高速炉と再処理施設、MOX燃料加工施設が必要で、何十年かけて実施する計画か、そのために必要な費用等の数的な見積もりが必要。高速炉1基導入できても社会的にはほとんどインパクトがない。水素製造が出来る高温ガス炉を1基導入しても必要な水素量にはほとんどインパクトがない。
- 革新炉開発の価値を考えるに当たっては、いつどの程度社会に実装していくかを見る必要がある。他の電源との比較考慮も必要。その時点で他の電源が導入されている中で革新炉が本当に必要か、議論が必要。
- エネルギー安全保障と原子力の観点では、原子力は内包する危険性から1基で確認された問題の水平展開もあり得る。フランスでは、老朽化などから複数の原発が多数停止し発電電力量が大幅に低下している。原発は1度建設すると40年または60年稼働することを前提にするので老朽化によるトラブルも前提とされる必要がある。ウクライナでは攻撃前に原発が3基稼働していたが、攻撃中

でさえ1基運転させていた。原子力は、燃料供給の観点だけでなくリアルな安全保障や共通要因事象による原発の複数基停止といった課題も見ておく必要がある。

(委員)

- エネルギー安全保障の中での原子力の位置付けを整理頂いた。TerraPower や NuScale といった新しい原子力企業がコンセプトを確立し、実際に許認可申請等のプロセスが進展している。日本の原子力技術を保有する企業が提携や出資をしているが、対等に議論を続けるには政府支援が必要。カーボンニュートラル (CN) に向けたエネルギー安全保障について、革新炉の炉型によっても貢献度は濃淡があり、今後の革新炉の技術整理において炉型ごとの相違点が明らかになると比較しやすい。既存技術や他の技術でもリスクに対応できるものがあり、革新炉での対応に優位性があること、革新炉でしかできないこと、既設技術の延長でもできることなどエネルギー全体の中で考える必要がある。

(委員)

- エネルギー資源に乏しく欧州のように外国との系統連系もない日本では、リスクマネジメントの観点から原子力を含むバランスのいいエネルギーミックスが必要。毎年繰り返されるようになった需給ひっ迫やウクライナ情勢による新たな課題、2050年のCN、経済性の問題においても原子力は必須。欧米では革新炉の研究開発に大胆な支援措置が講じられている。日本でも NEXIP の支援があるが、さらに踏み込んだ戦略的対応が求められる。
- 高速炉は、放射性廃棄物の減容化・有害度低減のための重要技術であることに加え、常陽、もんじゅの知見があり、日本が国際的に強みを有している分野。国際協力を活用しつつ研究開発を強力に推進して欲しい。
- こうした取り組みの前提となる原子力の産業・技術基盤の維持は極めて重要。地域経済や雇用への波及効果も期待できる。震災後、原子力サプライチェーンの脆弱化が進む中で、新設方針を含む政府の明確なメッセージが必要。

(委員)

- 日本で米国のように SMR による石炭火力の代替が進まないのには理由がある。耐震性、土地の適性、人口密集地、原子力の受容性の問題もある。日本でのリプレイスは、既存の原子力立地点のリプレイスが現実的で確実な方法と思う。
- フランス、オランダ、ポーランドでは今すぐに着手できる炉型を選択した。選択にあたり、事業者は地元との対話を通じて理解を得ることも重要になる。
- カナダの事例で、女性や障害者、先住民の雇用についても言及されていたが、そのような観点到に思いを巡らすことは重要。土地や地域に合った工夫や知恵を互いに出し合えるといい。成功事例は革新炉の導入にも有効になる。
- 技術開発の各段階で様々な課題があるが、課題や解決に向けた取り組みを具体的に明らかにした方が、実現性の高いものと受け止められる。

(委員)

- CNに向けたエネルギー安全保障における革新炉の貢献の可能性は、炉型によって技術成熟度やこれまでの実績が異なるため時間軸を踏まえたアクションが必要。
- 革新的軽水炉は実績があり、規制対応の予見性も高く、即応という点で期待できる。国が果たす役割として明確に戦略を示すことが重要。それがなければなかなか投資につながらない。
- 革新炉の中でも多くの技術開発が必要な炉型については、これからの社会に合った形で開発のリリースを投資する必要がある。ガス炉はサイクル・廃棄物の点からどう位置付けるのかの議論が必要。高速炉では、廃棄物の削減はできるが、MA分離やMA含有燃料の技術的成熟度はそこまで高くないため、実際にMA分離等をどこまで行うべきか、発生する二次廃棄物の量も含め、現実的な解の議論も必要。
- どのような炉型でもライフサイクル全体で最適化・合理化されるべきで、高速炉等の今後の廃止措置の知見を活かして廃止措置しやすい炉を検討するという観点もある。

(委員)

- 再生可能エネルギーの導入が進む中でエネルギー安全保障の確保を改めて検討する必要があるが、ロシアのウクライナ侵攻とそれに対するエネルギー分野への経済制裁が発動された状況にあることを踏まえ、今後のエネルギー安全保障においては経済安全保障も考慮する必要がある。
- 戦略的不可欠性の観点からは、市場性はもとより日本が不可欠な存在となるような技術を選定し、国際市場の獲得やグローバル・サプライチェーンの構築を戦略的に行っていくことが重要。日本は高温ガス炉の研究炉を有しているが、中国は実証炉を有し、既に臨界を達成して実証データを蓄積している。中国が今後、国内への導入を進めると、市場規模が大きい価格を下げるのが可能となり、国際市場での競争力も高まり普及しやすくなる。中国優位の市場で、我が国が重視してきた高い品質管理や核不拡散等の価値が尊重されるか疑問が残る。そのため、価値観が共有できる国と連携し、外国の資金も活用して開発を進めるのが良い。国際的な原子力ガバナンスへの貢献にもつながる。
- 戦略的自律性の観点からは、他国に過度に依存せずに燃料を確保できること、要素技術の成熟度、技術自給率に重みを置いて技術を選定することが重要。5月11日に経済安全保障推進法が成立し、今後はサプライチェーン強靱化のための制度が整えられていくと思われるが、革新炉に関するサプライチェーン強靱化も含めて検討することが必要。
- 戦略的不可欠性と戦略的自立性を確保するための技術が異なる場合は、当面開発方針は二本立てで進め、一定期間を経てデビューできる体制を整備することが望ましい。

(委員)

- 事務局資料のCNに向けた安全保障の再定義のスライドについて、参考文献のIEA報告書とエネルギー白書の説明や意図がスライドの記載と少し異なっている。IEA報告書はトランジションの際に検討すべき安全保障の項目である一方、エネルギー白書は移行期というより将来的に目指すべき国のエネルギー安全保障の定義や定量化の内容である。しかし、スライドでは両者が切り分けられていないので革新炉開発がどのように貢献できるか、時間軸として間に合うのかが見えにくくなって

いる。どこまでを新たなリスクと定義するか基準が必要。

- 移行期のリスクに対して革新炉で貢献できる炉型は限られている。エネルギー安全保障への貢献が革新炉開発にとって重要と位置付けるのであれば、エネルギー安全保障の再定義を慎重に整理し、エネルギー安全保障のリスク低減方法には革新炉以外の選択肢も考慮する必要がある。
- 我が国の革新炉の考え方について、米国では40万kW未満の石炭火力代替としてSMRの相性がいいという説明だったが、日本で石炭代替として原子力を考える場合は小型のみが適しているとはいえない。サイズ以外のSMRの価値の評価も必要。

(委員)

- 評価項目の重みづけについて、近年では3E+Sの中で、安全と環境が重視され、セキュリティが低下していたが、最近ではウクライナ情勢で状況が変わってきた。日本で開発する炉型に関して、どの評価軸に重みを置くかによって、開発すべき炉型が変わってくると思われる。NuScaleは安全性と初期投資を下げるという魅力があるが、熱中性子炉であって持続性はない。つまり、燃料を維持する能力はないという意味で日本に合うのか。
- 一方、Natriumは、最初はウラン燃料を使うが、核燃料サイクルができるようになれば増殖ができ、それがサステナビリティに繋がる炉型である。但し、NuScaleと比べて時間がかかる可能性があるが、先ほどの話では、7年でやりきるとしている。高温ガス炉は、固有の安全性、高温で水素が製造できるというメリットがあるが、熱中性子炉であり、また廃棄物のリサイクル性が問題といわれている。このように、それぞれ一長一短であるので、廃棄物の側面も考えると、一体どういった評価指標を重視して考えていくかという重みづけの議論をこれからしていく必要がある。

(委員)

- 新型炉開発者がベンチャー企業として成立し得るのが米国の強み。一方、日本では巨大なグローバルリスクマネーの流入が、あらゆるテクノロジー分野で期待しにくい。原子力はまさにそうである。そのため、政府支援の意味付けは大きく、そうすると社会の理解が非常に必要になる。
- 現在のエネルギー基本計画や首相や大臣の発言などには、リプレース、新設について明確な発言はない。そのような環境の中で、事業者はどのようなインセンティブで革新炉開発に挑むのか。
- TerraPower等は常に商用化を念頭に研究開発しており、研究開発で閉じては意味がない。米国の新型炉開発は、明らかに中露を意識した戦略と考える。一方、日本は、再稼働も進まず、先進国でありながら停電リスクの高い電力の需給問題にさらされている。原子力においてもイノベーションは重要であり、革新炉は当然のシナリオであるが、先にリプレースの政策決定がないと、革新炉の議論は空中分解してしまうことになりかねない。一刻も早く、資源エネルギー庁及びその他の政策立案者をお願いしたい。

(委員)

- 1点目として、環境、経済、地政学、技術、社会など様々なリスクについて俯瞰的な見方が必要であると思う。
- 2点目として、原子力を考える上でもう一つの重要な点は、持続性とレジリエンスという問題だと

思う。持続性という点で、まずは 2030 年断面をみるだけではだめで、長期に渡って見通していくという視点が大事である。レジリエンスについては、過去を見ると、10 年毎ぐらいに社会情勢が変化している。その中で、3E+S、あるいはその+ α となる色々な要因が求められている。その中で、色々な変動要因に対して耐性、レジリエンスをもったエネルギーシステムを構築する。そういう意味では革新炉の位置付けが明確になったといことでもあり、ぜひその議論の中に、持続性とレジリエンスという視点を入れて頂きたい。

- 3 点目は、そのような分析を行う際に、シナリオを把握することが大変重要であり、本日、竹下先生の発表であったように、ツールを用いて評価し、不確かさがあっても活用して考えていくのが重要。

(専門委員)

- エネルギー安全保障は、資源の海外依存度と技術の海外依存度を長期にわたり如何に低くするかという議論に言い換えられる。ウランは相対的に安定確保しやすく、他の資源と同様に価格上昇のリスクはあるものの、発電コストに占める燃料費の割合が小さいので、価格上昇しても電気料金への影響は小さい。また、革新炉の燃料リサイクルにより、資源の海外依存度そのものを下げることができる。これは、評価軸として重要な視点の 1 つと考える。
- エネルギー安全保障においても一つ重要なことは、エネルギーを生み出す技術の海外依存度を下げることである。全て国産技術が理想であるが、開発コストの観点、技術の国際標準化の観点から、コア技術を自国でしっかり押さえた上での、国際協力を活用することが肝要と考える。
- 廃棄物問題解決は原子力利用に必須であり、革新炉開発で重視すべき評価軸である。減容だけでなく、有害度の低減期間を人が現実的に管理できる期間に短縮すること、Pu バランスの適正化を行うことが求められる。JAEA で開発中の高速炉サイクル技術は、Pu と MA を閉じたサイクルの中で回すものであり、廃棄物問題の一つの解になると思う。
- 革新炉の開発において、エネルギー安全保障、核拡散抵抗性、廃棄物問題解決、Pu バランスの適正化といった評価軸に加えて、安全性、経済性、柔軟性、送電システムへの適合性、そして現時点での技術成熟レベルに照らした社会実装コスト・時間を勘案し、どの技術をどの時期に実装するのが良いのか、どのシナリオが効果的なのかを、評価ツールを用いて整理していくことが重要。
- その整理に基づいて革新炉の社会実装に向けた計画を早期に具体化し、開発に対する国の支援策を打ち出すことがサプライチェーンの維持や人材の確保に繋がると考える。

(専門委員)

- 事業者としてもエネルギー安全保障が重要な問題である。
- 原子力に関して、まずは再稼働が当面の課題であるが、革新炉開発の観点では、いつの時点から社会実装されるかという予見性の整理が、重要な評価軸である。
- 技術開発の中で、炉型だけでなく、廃棄物問題が大きく、その解決は避けては通れない。その問題のブレークスルー技術は評価軸として大きく取り上げるべきである。事業者として、資源と廃棄物の観点から進められている核燃料サイクル政策は、重要課題と認識しており、軽水炉サイクルに取り組んできたが、将来的に高速炉サイクルの議論も重要と考える。従って、そういった革新炉固有

の優位性の価値を適切に評価されるべきと考える。

- ユーザーである事業者として、今後は設計や規制基準が国際的に共通化され、運用段階にも関わってくると思うため、ぜひとも開発段階から国際連携を進めていただきたい。

(専門委員)

- 高い技術力を有する日本が革新炉開発や機器供給を含めた建設プロジェクトに積極的に関与することは、国際貢献だけでなく、技術・産業基盤の維持強化、人材育成にも繋がる。
- 革新炉のなかでもとりわけ、資源の有効利用、廃棄物の減容化・有害度の低減などが期待できる高速炉の開発は、核燃料サイクル政策と親和性が高く、SDGs に欠かせない循環経済にもマッチしている。
- エネルギー安全保障、エネルギー自給率改善、地球温暖化対策の観点から、海外への化石燃料依存度を減らすことが急務である。最新の安全システムを組み込んだ大型軽水炉は、電力の安定供給やCO2削減が期待できる欠かせない存在と考える。そのため、今後の新設に向けてスピード感を持って取り組む必要があると考える。

<プレゼンターより資料6「NuScale 社の SMR 開発について」説明>

(委員)

- 燃料は、最初は5%以下の低濃縮ウランを使用すると思うが、HALEUに代わっていく時、燃料の供給性とその持続性はどうか。

(プレゼンター)

- Framatome が最初の燃料サプライヤーであり、サプライヤーは複数いる。Nuscale は低濃縮ウランの利用を想定しており、供給はしっかりしている。

(委員)

- NuScale 社は工場を所有していないと認識しているが、誰がどのように製造して現地に運んでいくのか。事業主体は誰になるか。

(プレゼンター)

- NuScale 社は製造業ではないため、戦略パートナーに任せる。製造に関して IHI、建設に関して日揮と議論しており、韓国のパートナーとも議論している。出荷に関して、パーツを工場で作り、組み立て、場所によってはトラックで運ぶこともあれば別のやり方をすることもある。初号機に関しては、建設地であるアイダホ州で作って運ぶ。ルーマニアのチームもあり様々なメーカーに可能性がある。

(委員)

- 日本では福島第一原子力発電所事故後に原子力への不信感が払拭されていない。米国では TMI 事故

を経験し、国民感情に影響を与えたと聞いているが、どうやって乗り越えたか。

(プレゼンター)

- 米国エネルギー省 (DOE) と密接に協力している。DOE から初めの頃から研究内容や設計の基本的なことを一般に説明してきた。規制当局 (NRC) もレビューを独立に行い、NRC とはレビュープロセスの中で数百ものミーティングを実施してきた。それは公開で、一般の参加もあった。アイダホでも一般公衆と設計について数百もの対話会を開いた。安全と設計が全然違うということについても一般に説明してきた。
- 啓蒙、教育も重要と考え、エンジニアリングのシミュレータを4つの大学に提供し、大学で NuScale のオペレーションを学んでもらっている。それを世界的に展開できればと期待している。

(座長)

- 本日は、革新炉を開発している NuScale や TerraPower の話を直接聞くことで理解が深まったと思う。また、各国によって革新炉の価値のとらえ方が違うということが分かった。また諸外国では非常にアクティブで色々なことが進んでいることを再認識した。
- 事務局資料の最後の方のスライドの各炉型の評価で、今回初めて利点と課題がたたき台の形で示された、それらを今後深掘りして行くと理解している。
- 最後に NuScale 社から聞いた規制対応の話は、革新炉開発の課題として次回以降の議論につながると思う。
- 本日、各委員から頂いたご意見については、事務局において整理し、次回以降の議論で反映する。

(事務局)

- 事務局資料の P. 11 にある、米国での石炭火力代替としての SMR の導入について、日本でも石炭火力のリプレースで SMR を作っていくことを想定したものではなく、あくまでも参考情報として紹介したことを念のため補足する。
- 前回及び今回のワーキンググループでご説明したエネルギーをめぐる社会動向を踏まえた革新炉開発の価値について提起されている論点を踏まえて、次回は予算、組織、サプライチェーン、規制のあり方といった革新炉開発の課題について扱う予定である。
- 次回以降の開催日程について、事務局で調整の上、委員の皆様にご個別に連絡する。

以上