

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8回会合
議事要旨

日時：令和6年10月22日（火） 10：00～11：55

場所：オンライン

議題：次世代革新炉の現状と今後について

出席者 ※敬称略

座長	斉藤 拓巳	東京大学大学院工学系研究科 教授
委員	浅沼 徳子	東海大学工学部 准教授
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	黒崎 健	京都大学複合原子力科学研究所 所長、教授
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 大洗研究所
委員	澤 和弘	北海道大学大学院工学研究院 特任教授
委員	高木 直行	東京都市大学大学院総合理工学研究科 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）みずほ銀行産業調査部 次長
委員	永井 雄宇	（一財）電力中央研究所社会経済研究所 主任研究員
委員	松久保 肇	（特非）原子力資料情報室 事務局長
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	（一社）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	大塚 康介	電気事業連合会 原子力部長
専門委員	小西 哲之	（一社）フュージョンエネルギー産業協議会 会長

（事務局）

経済産業省 多田 電力・ガス事業部 原子力技術室長

欠席者 ※敬称略

委員 遠藤 典子 早稲田大学理工学術院総合研究所 研究院教授

議事概要

＜事務局より資料１「次世代革新炉の現状と今後について」の説明＞

＜専門委員より資料２「高速炉・高温ガス炉実証炉プロジェクトの進捗状況」説明＞

＜専門委員より資料３「フュージョンエネルギーの現状と産業会の取組」説明＞

＜事務局より資料４「第８回革新炉ワーキンググループに対する意見」代読＞

（委員）

- 革新軽水炉について。原子力規制委員会と ATENA の意見交換が実務レベルの技術的意見交換に進んでいくということで、規制との意見交換が進んでいるということで良かったと思う。
- 高速炉、高温ガス炉について。海外連携も含めて着実に進めてほしい。
- 核融合について、これから先の技術ではあるが、今何ができるか、また、支援できるところ含めてキャッチアップしていきたい。

（委員）

- GX 推進戦略に沿った更なる支援について。同戦略で掲げた次世代革新炉の開発と建設に必要な技術について、部品等の多くは、現在のサプライチェーンに頼っているところがある。しかし、建設の空白期間や再稼働の長期化から、日本の原子力産業は既にサプライチェーン維持が困難になっている。一番の解決方法は革新炉の建設が進むことだが、現状は、政府実施の自由化により大規模電源に関する資金調達が困難になっており、電源の費用回収も不透明な状況である。そういった状況を踏まえると、実証段階への技術開発支援に加えて、人材育成やサプライチェーンの維持強化に関する具体的な支援策が組まれることを望む。
- 何に留意して高速炉・高温ガス炉の実施事業を進めていくかについて。これは、資料１スライド 13 の次世代革新炉ロードマップは技術開発が軸となって作成されているが、開発段階によって、求められる詳細は異なるので、その段階に応じて技術以外の要素の内容も更新改善していくことが重要。例えば、高温ガス炉の場合、既に基本設計に入っているが、司令塔的な存在となる組織が存在しておらず、実用化を考えるのであれば、熱利用水素製造の技術を求めている事業者、利用者の意見要望も取り入れながら、詳細設計の段階に入ることが必要と考える。また、建設・運用の段階までつなげるには、立地の選定や地域住民の理解協力を得るためのコミュニケーションも必要である。運転までつながるロードマップを作成するのならば、供給側の技術視点だけでなく、ユーザー面・ソフト面を考慮したロードマップを今後作成していくようなればと思う。

（委員）

- 核融合に関する説明に関する質問。資料１スライド 40 でも核融合の議論を前倒しする必要性が指摘されているという話があった。また、資料３では、イギリスやアメリカで、近年、核融合のアクティビティが盛り上がっているという話があった。しかし、このような盛り上がりを見せている技術的な根拠や何らかの大きな進展があったという話はなかったように思う。他国がにぎやかでベン

チャーの投資も増えている、だから日本もやろう、と聞こえた。技術的な進展を教えてほしい。

- 電力需要増の見通しの中、既設炉の再稼働の重要性が高い。
- 本 WG では、炉本体の視点以外の核エネルギーシステム全体を俯瞰した議論が今後展開出来たらよいと思う。高温ガス炉をこれから推進していく上で開発運営主体が誰になるのか、だれが何のためにガス炉を必要としているのかを明確にする必要があると思う。水素製造が大きいと思うが、国の掲げる現在の目標値は 100 円/Nm³ ぐらいで、2050 年で 20 円/Nm³ など。例えばガス炉ならこれを下回るのか。鉄鋼業界の期待では 8 円/Nm³ というのが 5 年ぐらい前に示されている。未だに大きな開きがあるので、誰が何のために使って、何が目標か、それをいつ頃達成するのか。
- 更にはサイクルの議論も欠かせないと思う。高速炉・軽水炉ではマイナアクチノイドの回収・リサイクルまで考えた徹底した廃棄物寿命短縮や処分場の合理化を考えている一方で、ガス炉はオープンサイクルでいくのかといった議論である。

(委員)

- 原子力小委員会でもこの会議の場でも以前に述べたが、革新炉として議論する前の段階にあると思う。革新炉開発をするならば、ユーザーが誰でこういった地域に建設してその社会が受け入れ可能なのかといった社会実装のイメージがまず必要だと考える。今回の開発にも税金が投入されて、結局できませんでしたという場合に誰が責任をとるのかという話になってしまうと思う。
- エネルギー資源問題を議論するならば、LNG の話ではなく、ウラン供給の不安定さについて問題提起されるべきと考える。開発の意味について、国は国民に対する説明の義務があると思う。
- これまでは核融合について文部科学省が担当していたと認識している。今日の説明では、商用利用にはまだ遠いところにあると思うが、主務省は文部科学省なのかどうか。その場合、経済産業省で議論する必要性がわからない。

(委員)

- 高温ガス炉と高速炉について。実証炉のためにはまだ燃料や材料のデータをとる必要があると思うが、照射データはその取得に予算も時間もかかる。スケジュール的に失敗も許されないから、早めに計画を確定する必要がある。特に、日本では照射はほとんどできないので、海外で実施する場合、照射データが流出してしまうのではという戦略的なところも考えなければならない。
- 実際のエネルギー政策として、新增設・リプレースをするというシナリオならば、立地候補地の方に、UPZ の違いなど新型炉の特徴を早めに説明を行う必要があると思う。その結果が開発計画にフィードバックすることも考えられる。

(委員)

- 革新炉開発の技術ロードマップの骨子案でまとめた中の安全規制当局との共通理解の醸成について、技術的な意見交換会が設置されたということは進展の見える良い事例だと思う。
- 各炉型の開発のポートフォリオを踏まえると、革新軽水炉の建設運転に早期に漕ぎつけるということが、建設・運転・保守だけでなく規制も含めた人材育成・維持に向けて最も現実的な方策であると思う。それを加速する上で、具体的なサイトはともかく、いつまでにどのくらいの新規原子力発

電源が必要かを国がエネルギー政策等で示していただきたい。これは事業者やサプライチェーン関係者が安心して原子力事業を進めるためというだけでなく、立地地域の方々にも必要なものである。エネルギー基本計画等の国の文書の中で、革新炉の開発・建設に向けた国としての姿勢を、しっかりと発信していただきたい。

(委員)

- 核融合炉について。昨年4月に策定されたフュージョンエネルギーイノベーション戦略では米国やイギリス政府が国家戦略を策定したことにより、民間投資が増加していることに倣って、我が国としても原型炉建設に明確に言及することにより、民間投資を刺激して国内に技術基盤を育むことが掲げられている。この戦略では、米国やイギリスと我が国の競争目的が同じものとされているように思うが、日本として競争へ挑む目的や戦い方というのを、よく検討する必要があると思う。
- 高速炉について。実証炉開発について、低価格で安定した質の高い電気の供給というニーズは国民の普遍的なものと思うが、社会的な変化に伴う新たなニーズを見だし、汲み取るプロセスを経るということは、原子力に係る既得権益を守るために実証炉開発が推進されているわけではないということ国民に理解いただくためにも重要なプロセスであると思う。産業部門のカーボンニュートラルを進めていくためには電気事業者以外の企業の参入スキームの検討が必要だと思う。また発電以外の利活用の幅を広げるイノベティブなプロジェクトをマネジメントするスキームの検討も必要だと思う。
- 高温ガス炉について。中国での開発が進んでおり、イギリスの他、中東でもニーズがあるようなので、経済安全保障の観点から、戦略的不可欠性を高めるような、政策面での支援を検討することが有意義ではないかと思う。
- 革新軽水炉について。海外市場の現況や市場を獲得する際の課題などについて事務局または事業者からご教示いただけると、本ワーキングで検討できるのではないかと思う。

(委員)

- ロードマップの精緻化について。現在5つの炉型ごとにロードマップが示されているが、これらの炉型は非常に多様で、目的や用途、開発のフェーズも異なる。ロードマップは、その時々状況を反映して常にバージョンアップすべきであり、今後は注力するところに少し強弱をつけてもいいように思う。
- 司令塔組織、実施主体の重要性について。高速炉や高温ガス炉の実証事業が開始され、また、GX経済移行債も活用され、中核企業も選定された。高速炉開発に関しては、研究開発統合機能を充実させるために、JAEA内に高速炉サイクルプロジェクト推進室が設置された。この事業は概念設計や基本設計だけでなく、詳細設計、建設、運転まで繋がるため、それに即した体制が必要になると感じしており、今のうちから将来を見据えた体制構築について検討していただきたい。

(委員)

- 次世代革新炉の開発実装に向けた取り組み状況がよく理解できた。
- 開発については、中国・ロシアが先んじており、次世代の原子力技術で優位に立たれてしまう可能

性がある。これは我が国にとって経済安全保障、国家安全保障上の懸念に繋がる可能性がある。

- 経団連は今般、エネルギー基本計画の見直しに向けた提言を公表し、革新炉の開発スケジュールの可能な限りの前倒しの観点から、開発から商用に至るまでの一元的な推進体制の整備や、これまで以上の大胆な予算措置の重要性を指摘した。特に、将来必要となるリプレイス、新增設等の明確なロードマップを示した上で、国と関係事業者も関与しつつ、例えば、内閣府に設置する原子力委員会等の場で、定期的に開発の進捗確認を行う仕組みを構築していくことの重要性を強調している。
- 個別の炉型については、将来原子力発電の設備容量が急激に減少していくことや、建設のリードタイム等を踏まえれば、技術的成熟度の高い大型の革新軽水炉について、早急に建設案件の具体化を進める必要がある。
- 高温ガス炉について、将来水素を利用することが見込まれる産業の需要家にとっての期待は、「海外からの調達に比肩しうる競争力ある価格の水素が大量かつ安定的に供給されること」。この点、国内での水素製造を考えた場合、高温ガス炉は最も有望と考えられる。鉄鋼利用での目標価格についても指摘があったが、これはあくまで、代替する燃料や還元剤とのコストイーブンからの計算値であり、代替物の価格やカーボンプライシングなどの外部条件が変われば当然変わり得る。政府・事業者には、こうした点を踏まえて開発・実装に向けた環境整備を推進いただきたい。
- 高速炉については、高レベル放射性廃棄物の処分やプルトニウムバランスの確保の観点から、実用化の意義は大きい。資料1に記載の通り、もんじゅの反省を踏まえつつ、適切な体制のもとで開発を実施いただきたい。医療用RIの製造など、高速炉の新たな利用にも期待。
- 核融合については、新たな産業として捉えて、着実な技術開発に取り組むことが重要と考える。周辺技術も含む産業化の観点からも、フュージョンエネルギー産業協議会による取り組みの意義は大きいと感じた。将来の我が国のエネルギー源確保の観点から、次期エネルギー基本計画での位置づけを高めるとともに、具体的な政策の推進を求めたい。

(委員)

- 資料1スライド13に今後の道行きということで線表が出ているが、目標戦略のところで5つの炉型が横並びで示されている。商用炉、実証炉、原型炉というように各炉型で開発段階が大きく異なり、取り組むべきステップが違っているように感じた。5つの炉型のうち、国内で実際に建設をして取り組んでいくべき炉型と海外との協力関係の中で日本の技術を生かしていける部分について少し切り分けて取り組んでいった方がいい。
- 特に革新軽水炉に関しては新設やリプレイスで活用していくべき技術だと考えており、かなり具体的に取り組んでいく必要があると思う。高速炉に関しても国内建設を今目指して取り組んでいるため、この炉型については線表に含めて考えていく必要があると思う。小型軽水炉、高温ガス炉については国内建設よりもむしろ海外の進捗がかなり進んでいると感じた。燃料の製造技術についても日本国内で高い技術を持っているメーカーがあると聞いており、日本国内の技術を海外に導入するためにサポートできるといい。
- 今日の説明の中でバックエンドの観点が非常に少ないと思った。国民の理解を得るためにもバックエンド・廃棄物についてどう取り扱っていくかという観点を今後含めていけたら良いのではないかな。

(専門委員)

- 事業者としては原子力発電の持続的な活用の実現に多くの選択肢を確保しておくことが重要と考えている。
- 革新軽水炉については、現行の中大型軽水炉の設計をベースに最適化された安全設備などによって安全性を高めたものであり、既存技術の延長線上にあり成熟度が高く、事業者が早期の導入に向けて選択する可能性が最も高い炉型と考えている。ATENA と原子力規制委員会との議論を行い、実務レベルの技術的意見交換会を進める方針が示されたことから、今後規制の予見性が高まり、基本設計完了に向けての検討が加速していくと考えている。
- 高速炉開発は、核燃料サイクルと合わせて、国家として長期的視点に立ち、一貫性を持って取り組むべき重要な政策課題である。2022 年 12 月に見直された戦略ロードマップでは、技術的な開発工程を初め、開発体制や事業環境といった開発に必要な条件整備に向けてマイルストーンが設定されたと認識している。7 月には事業者からの派遣メンバーを含む実証炉の研究、開発統合組織が JAEA 内に設置されており、事業者の経験やノウハウを活かした協力を進めている。
- SMR については、国内外で研究開発が進められており、革新軽水炉に加え、リプレース・新增設を行うに際しての選択肢の一つになりうると考えている。高温ガス炉については、水素利用といったユーザーの巻き込みが重要であると考えている。
- 原子力全体のサプライチェーンの維持・強化など、事業者の視点で議論に加わっていきたいと考えている。
- 核融合については、2030 年代の発電実証への挑戦が掲げられているが、電力の安定供給に資するエネルギーシステムとしては、乗り越えなければならない様々な課題があり、ITER 計画などを通じ、研究開発を推進することが必要な段階と考えている。事業者としては引き続き今後の動向を注視するとともに国内での議論の場に参画するなど協力していきたいと考えている。
- 本日の説明を受けて海外での次世代革新炉の導入状況が非常に活発であるとの印象を強く受けた。海外での取り組みをそのまま国内に展開することは難しいが、事業環境整備などの国の関与について、国内でも参考にすべきと感じた。また、次世代革新炉の今後の開発に係る道筋が示されることは、人材やサプライチェーン維持の観点からも業界全体の活性化や底上げにつながることを期待される。

(専門委員)

- 資料 1 スライド 13 の今後の道行きについて、2022 年 11 月に 5 つの炉型についてそれぞれの技術ロードマップを作成し、集約したものと理解している。それ以降、革新軽水炉については、サプライチェーン・人材の維持強化、資金調達・回収、安全審査など事業環境整備の重要性が原子力小委員会で議論されている。産業界はこれらの議論やタイムラインを反映した革新軽水炉技術ロードマップが示されることを期待している。
- 国の指針は事業者、サプライチェーン企業が設備投資や人材の採用など重要な決定の判断材料となるものである。資料 1 スライド 13 の下段にある長期脱炭素電源オークションについても原子力小委で様々な課題が指摘されている。革新炉の規制基準についても、ATENA と原子力規制庁が対話を

開始しており、これらの検討スケジュールも記載することが適切であると考えている。

- 資料１スライド 21、革新軽水炉の概要で SRZ だけが例に挙げられているが、原子力産業界では、ほかにも HI-ABWR や iBR 等も開発が進んでいるため、こちらも記載が必要である。
- 最も社会実装のタイミングが早いと思われる革新軽水炉開発における政府の役割について、高い経済性と供給安定性に優れた革新軽水炉開発の加速が必要である。政府には革新軽水炉の技術開発と導入促進に向けた積極的な経済的支援の検討を要望する。政府がより積極的、具体的に意思表示をしていただくことにより、民間企業の先行きに対する不安や懸念が緩和され、技術力、サプライチェーン、人材の維持強化に繋がると考えている。

（事務局）

- 本日、様々な課題提示、あるいは今後の議論の進め方などをご提示いただいた。例えば人材育成サプライチェーンのあり方を議論すべきではないか、司令塔組織のガバナンスの話だと思うが、ガバナンスをしっかりとっていくべきであるとか、あるいは、ユーザー側のニーズも踏まえながら進めていくべきだなど、ご意見をいただいた。我々としても、こうした課題を一つずつ踏まえながら、今後の対応を進めていきたいと考える。
- 委員からの核融合に関する質問について。事務局の理解としては、これまでも ITER 等の国際的な連携が進んできた状況で、民間の取組が積みあがってきたと考えており、ここ数年で急激な変化があったというよりは、これまでの議論や技術の蓄積がそれにつながっているのではないと思う。また、別の委員からの質問について。内閣府あるいは文部科学省において、核融合のビジョン、研究開発、そういった中身については、中心的に議論があるところだが、一方でエネルギー政策としての位置づけとして、可能性も含めて現在の立ち位置あるいは今後の見通しについて、本ワーキンググループでもご議論いただきたいという思いがあり、本ワーキンググループでも取り上げさせていただいた次第。

（専門委員）

- 高速炉・高温ガス炉開発を進めるにあたり、人材確保・育成、更にはサプライチェーンの回復・維持は少しでも早く手を打たなければいけない課題と認識している。常陽の再稼働、新規制基準適合、また、実証炉の概念設計等にも困難を感じている。エネ庁でもサプライチェーンについては認識いただき、方策を考えてもらってはいるが、実際にモノづくりが動かないと歯止めがかからないのではと感じている。対策としては、ロードマップを昨今の国内外の情勢変化、リソースの変化、再稼働、核燃料サイクルとの整合性などを勘案した上で、民間が参入しやすい政策、国の役割も絡めて、より実効性の高いものに仕上げていくということが非常に重要ではないかと考えている。
- 開発に際しては、その地域住民の方々からの信頼と安心感の醸成がとても大事であるが、一方で開発側においても、開発推進に対する安心感、協力するサプライチェーンの安心感の醸成も大事であり、そのために方向性を示すロードマップをしっかりと示していくことがとても大事ではないかと思う。

（専門委員）

- 原子力も含め、エネルギー技術として絶対に必要になるものがサプライチェーンと人材育成である。日本の場合には知識や技術もあるためその継承も含まれる。サプライチェーン、人材育成、マーケット予測、イノベーション、産業化が必要であるという認識のもとに、J-Fusionは活動している。経済産業省がこのタイミングで、核融合を挙げていることは大変ありがたい。
- 国家、あるいは公的な機関が学術研究をしてその成果がうまくいったときに初めて産業界にこれを譲り渡していくという仮定のもとに高速炉開発は行われてきたが、産業化に向けて必ずしもスムーズに受け渡しができる状態でなかったということは事実だと思う。21世紀のイノベーションのスタイルは違っており、民間が最初からイノベーションに積極的に取り組む。スタートアップであれば果敢に技術リスクを取ることができる。だからこそ SMR の開発は米国で民間によって行われていて、それが成功したものが今、社会実装の段階に入っている。
- サプライチェーンやユーザーをフォローしたロードマップを組むべきとの委員からの指摘はその通りである。核融合と核分裂でも、サプライチェーンが異なり、必要な物資も異なり、使われる場所も異なる。そのマーケットがあるという認識のもとに投資がなされていることはご理解いただきたい。原子力が根付いていない途上国でも需要があるという認識の下、投資が行われている。
- 基本的に核融合の技術ベースは高かった。だからこそ、ITER 計画は 2006 年に先進国を中心に賛成して建設をスタートして、2006 年の条約時点では 10 年後には一切建設が終わって運転できると考えられており、2003 年で設計は確定させてしまった。その間に高温超電導や AI ベース・コンピュータベースの製造技術の新材料といった技術が生まれており、これらを取り込んでいくことで、実現可能性が高いと民間が信じるに至った要因の 1 つである。
- 見通しが変わった更なる要因として、グリーン資金が、社会的な需要によって投資されていることである。市場動向が変わったからこそ、開発の重心が移ってきたと思っている。化石燃料を含む他のエネルギーセクターからも多くの投資があり、海外市場の可能性は非常に大きい。商業利用はまだ遠いので、経済産業省のワーキンググループで扱うのはまだ早いという指摘が委員からあったが、既に核融合市場は年間数千億円の規模で存在している。電力エネルギーの供給に至るまでにはまだ時間がかかると思うが、その段階で参入しようとしてももう遅く、この間に実装される技術や装置のシェアは決まってしまう。産業政策である限りは経済産業省でやっていただくのは大変意味があると思う。科学技術としての公共政策としては文部科学省の計画であるが、国の支援を得てアメリカ等のように産業として育てていかないといけない。そうしなければ、科学技術の研究成果は残念ながら国民生活に直結しない。
- 原型炉は国の計画の 1 つであってフラッグシップになるものだが、動きとしては間違いが冒せないゆえに遅くならざるを得ない。その代わりに、早く小回りの利く民間が今チャレンジする。それが新しい産業を作る活動になるという動きを作っていることはご理解いただきたい。公的機関の役割と民間の役割、その助け合いについて、スタイルが変わってきている。リスクを取るチャレンジは基本的に民間ベースでやりながらも、それをいかに国として有効に活用するかを考えて頂きたい。国同士での産業の今後の成長性の取り合いに勝っていかなければならない。貴重な芽を積むことのないよう今後のご支援をお願いします。

(座長)

- 5 炉型でフェーズが異なる中でロードマップの精緻化、具体化を行うべきであるという指摘は共通していた。特にその中で、実施主体、社会実装のイメージあるいはニーズとのマッチングを図りながら実施していく必要があるという指摘があった。
- 規制との対話が非常に重要であり、バックエンドも含めたトータルのシステムとしての評価の重要性についても指摘があった。
- 優先順位をつけて、成熟度の高い革新軽水炉を加速すべきとの指摘もあった。サプライチェーン、人材育成も非常に重要で、海外展開を含めて加速すべきという指摘もあった。
- 高速炉を進めていく上で燃料材料のデータ、特に照射場をどうしていくかという問題は、非常にクリティカルな問題になり得る。
- 今回この革新炉ワーキンググループでは核融合を初めて具体的に取扱った。連続運転も含めたエネルギーの取出しにはまだまだ課題がある。一方で、イノベーションが期待されるため、それをシームレスに産業に繋げていくという点で、民間と国の役割分担をした上で、産業としての育成をすべきという意見があった。一方、エネルギーシステムとしての成熟度という点については将来性についてどう考えるかという意見もあった。
- ロードマップの精緻化を含めて今後議論していく。今回のワーキンググループで今後の議論の種になるご意見をいただいた。
- 本日の意見はこれから事務局で整理して今後の議論に反映してもらいたい。

(事務局)

- 次回以降の本ワーキンググループについては開催時期が未定だが、開催方針が決まった際には、日程調整のうえ、各委員に連絡する。

以上