

## 高速炉開発会議

### 第23回 戦略ワーキンググループ

日時 令和6年12月13日（水）13：00～13：33

場所 オンライン

#### 1、開会

##### ○多田原子力政策課技術室長

定刻となりましたので、ただいまより第23回戦略ワーキンググループを開催いたします。御多忙の中、皆様、御出席いただき、ありがとうございます。

今回のワーキンググループの開催方法につきましては、オンラインにて行わせていただきます。また、本日の会議の様子はY o u T u b eの経産省チャンネルで配信させていただきます。

オンライン開催ということで、皆様には事前にメールで資料をお送りしていますが、画面上でも適宜投影させていただきますので、よろしく願いいたします。

議事に入る前に、本ワーキンググループの出席者に変更がございますので、御紹介いたします。

文部科学省原子力課、奥原子力課長の後任として、有林様が御出席されております。

また、経済産業省からは、原子力技術室長として私、多田が着任しております。

なお、資源エネルギー庁次長の畠山につきましては、所用により遅れての出席となります。

#### 2、議事

##### ○多田原子力政策課技術室長

それでは、早速議事に移りたいと思います。

本日の議題は、高速炉実証炉開発の進め方でございます。

資料1について、J A E Aと事務局から説明させていただきます。

初めに、J A E A高速炉サイクルプロジェクト推進室の安藤様より、1、高速炉実証炉の概念設計の進め方について御説明をお願いいたします。

○安藤高速炉サイクルプロジェクト推進室長

JAEA高速炉サイクルプロジェクト推進室の安藤でございます。

資料1を用いまして、高速炉実証炉の概念設計の進め方について、整理結果のまとめを御説明します。

高速炉サイクルプロジェクト推進室は本年7月、高速炉実証炉の開発の概念設計段階の研究開発統合機能を担う組織として原子力機構内に設置されました。プロジェクト推進室では高速炉実証炉の概念設計を開始するに当たりまして、実証炉の主要仕様、実証炉技術と燃料サイクル技術の開発について、技術的な検討を実施してまいりました。

1つ目としましては、高速炉の実用化に必要な技術を実証炉で実証するという観点から、高速炉実証炉の炉型、出力といった主要仕様を検討いたしました。2つ目としまして、高速炉実証炉の概念設計で実施すべき炉システムのR&D計画を検討しました。3つ目として、燃料技術の具体的な検討に向けた燃料サイクルのR&D計画を検討いたしました。本日はそれぞれの内容について御説明したいと思います。

まず、高速炉実証炉の概要について御説明します。

左に主な仕様を参考として記載しておりますが、高速炉実証炉の概念設計の出力は、実用化へのスケールアップでの技術的連続性を確保でき、大型炉・小型炉にも展開可能な電気出力60万kW級としております。出力の設定の考え方については次のページで御説明します。炉心につきましては、酸化物燃料炉心または金属燃料炉心としております。どちらを選択した場合でもプラントシステムへの影響は限定的でありますので、基本的にプラント側のR&Dは共通に進めることができ、違いのあるところについて、並行してR&Dを実施することになります。そのほか、炉心出口温度、原子炉停止系、主冷却系、崩壊熱除去系、原子炉建屋についても表に記載のように設定してございます。

また、右には高速炉実証炉の鳥瞰図を示しております。国内でこれまで蓄積してきた技術に加えて、海外の運転経験を反映可能な炉型としまして、タンク型炉を対象とすることにより、合理的な開発を進めることにしております。

このページでは高速炉実証炉の出力を60万kW級に設定した考え方を御説明します。

実証炉の概念設計の出力につきましては、電気出力60万kW、50万kW、40万kWといった幅を持った出力規模につきまして、3つの観点、すなわち技術的に実現可能なのか、今後社会実装していくために必要となる技術がきちんと実証できるのか、建設コスト・発電コストといった経済性がどこまで見込めるのかという観点で比較検討いたしました。

まず、1つ目、技術的実現性につきましては、原子炉容器の耐震が成立するののかということと、大口径の原子炉容器を製作できるのかが重要なポイントとなるのですが、いずれのケースでも原子炉容器の直径は約16メートルであり、あまり差がないことから、出力に対して有意な差はないと評価いたしました。

2つ目、技術実証性につきましては、100万kW級の実用炉を想定した場合の技術的連続性を確認するという観点で、炉心の燃焼度・増殖比の実証可否や一次系ポンプ等のプラント使用機器の耐震・流力振動の実証可否について評価いたしまして、60万kW級が優位と結論しました。

3つ目、建設・発電コストについては、実用炉における経済性を見通しを得るため、実用炉に近い条件で実証する観点から、60万kW級が有利と評価いたしました。

以上の評価を行いまして、高速炉実証炉の概念設計の出力を60万kW級とすることが適当としております。

こちらのページでは、高速炉実証炉の概念設計期間の工程の考え方をまとめております。

概念設計の期間は大きく2つに分かれておりまして、2026年度までをフェーズ1、2027年度から2028年度をフェーズ2としております。本ページの内容につきましては、後ほど7ページ以降で図表を用いながら御説明いたします。

こちらのページは参考といたしまして、高速炉実証炉の概念設計で実施すべき主要な技術開発をまとめたものでございます。

安全性／信頼性、経済性といった高速炉の開発目標を達成するために、プラントを構成する各設備に求められる機能要求を整理いたしまして、それを満たすために必要となる技術課題を抽出してございます。

こちらは5ページの概念設計期間の工程の考え方のうち、炉システムの主要な成果の予定を線表の形でまとめたものです。炉心燃料につきましては、後ほど燃料サイクルのところでお説明しますので、表題には「炉心燃料以外」と記載してございます。

2026年度までのフェーズ1では、一番上の行に書いてございます、設計仕様や設計条件を暫定した上で概念設計を行いまして、性能の中間評価を行います。そのために、耐震性評価、耐熱性評価など、現状既にある評価手法を用いて設計の成立性を確認いたします。

また、2番目の行に書いてございます中間熱交換器、IHX、蒸気発生器、SG、ポンプの試験体、A t h e N a、大型ナトリウム試験装置ですが、そういうものを用いた工学規模の試験の計画や試験装置の設計・整備も行います。

3番目の行に書いてございます高温構造設計手法、高温材料強度基準、原子炉容器内の熱流動評価技術など、設計のために必要となる評価手法の整備と、それを検証するためのナトリウム流動伝熱試験施設、PLANDTL等を用いました試験の計画や試験装置の設計・整備を行います。

2028年度までのフェーズ2におきましては、フェーズ1の技術的成果を反映しまして設計の見直しを行います。そのために、3番目の行に書いてございます、設計評価手法の検証を進め、2番目の行に書いてございます、主要機器の設計成立性に関わる工学規模の試験に着手し、データを取得してまいります。

その上で、一番上の行に書いてございます、検証された評価手法や設計成立性に関わる試験データを設計に反映しまして、設計の妥当性を確認し、最後に性能評価を行い、安全性、経済性等の開発目標への適合性見通しを確認いたします。

このページでは、主要な設計評価の考え方を御説明いたします。

評価手法の開発としては、新しく採用する技術のため開発が必要になるもの、従来ループ型向けに開発してきた技術をタンク型炉に適用するために改良が必要となるものがございます。主な評価項目としましては、耐震性評価、耐熱性評価、ガス巻込み評価、スロッシング評価、自然循環崩壊熱除去評価、シビアアクシデント評価がございます。

これらの評価項目に対しまして、フェーズ1では、現状の手法をタンク型に適用できるように改良しまして、その指標を用いて設計評価を行います。また、評価手法を検証するために行う試験の計画立案、試験装置の設計・整備を行います。

フェーズ2では、既存の試験データを用いて評価手法を検証し、検証された評価手法により設計成立性を確認します。また、新たに実施する試験データの取得も進めます。

ここからは主要な設計評価の計画について少し詳しく御説明いたします。

表の見方ですが、それぞれの評価項目につきまして、関連する評価手法、評価する場合のクライテリア、フェーズ1、フェーズ2でのそれぞれの評価のポイントを整理してございます。赤字で記載のところは、フェーズ1とフェーズ2の評価のポイントの違いをハイライトしているものでございます。

フェーズ1とフェーズ2の評価のポイントの違いを大まかに申し上げますと、フェーズ1では、代表的な項目に着目して設計の成立見通しを得るということを目的としまして、まず安定した設計条件や設計オプションで設計評価を行います。フェーズ2では設計の成立確度を高めることを目的といたしまして、フェーズ1の議論を踏まえて、設計条件や設計仕

様を絞り込み、より詳細な評価を行います。

耐震性評価につきましては、原子炉容器等の機器の座屈による破損防止のため、構造健全性を確保できる板厚等の機器の構造を明らかにしていきます。耐熱性評価では、原子炉構造、冷却系機器のクリープ疲労損傷による破損防止のため、機器の耐熱性評価を行い、プラント寿命中の健全性を確保できる構造にしていきます。ガス巻き込み評価では、原子炉容器の液面からガス気泡が炉心に流入することを防止するため、ガス気泡が中間熱交換器の入り口から吸い込まれないことを確認していきます。続きまして、スロッシング評価ですが、地震によって原子炉容器液面がスロッシングした場合に、原子炉容器上部にかかる荷重を評価しまして、それに耐え得る構造を明らかにしていきます。自然循環崩壊熱除去評価では、異常時でも自然循環によって炉心を冷却し、燃料の破損を防止できることを確認するため、自然循環崩壊熱除去時の燃料温度を評価します。最後にシビアアクシデント評価では、炉心が損傷した場合でも再臨界を起こさず、原子炉容器内で事象を収束させることができることを確認するための評価を行ってまいります。

ここからは、燃料サイクルの話に移ります。

大きな流れとしましては、2026年度を目途に、MOX燃料と金属燃料について燃料技術の具体的な検討を行いますので、フェーズ1ではそれに向けた知見の整備を行い、フェーズ2ではその検討の結果を踏まえた燃料製造実証施設等の概念設計に着手する流れになってございます。

フェーズ1では1番目の行、炉心燃料について、設計仕様を暫定した上で検討を進め、性能評価を行います。また、「常陽」再稼働後の照射に向けた準備なども行います。2番目の行に書いてございますように、燃料サイクルについては、燃料製造施設と燃料再処理施設の概念検討も行います。3番目の行、燃料サイクルのR&D、国際協力につきましては、まず、MOX燃料について、MA含有燃料製造技術、燃料大量生産技術、MA分離プロセスなどのR&Dを行います。金属燃料につきましては、日米協力を通じて米国の知見を得るとともに、国内では金属燃料サイクルの廃棄物処理に関する試験を実施しまして、燃料技術の具体的な検討に向けた知見を整備してまいります。その上で、フェーズ2では燃料技術の具体的な検討の結果を踏まえ、燃料製造実証施設等の概念設計に着手いたします。

このページでは、MOX燃料サイクル技術について少し詳しく御説明いたします。

燃料製造につきましては、国内ではJAEAの東海のプルトニウム燃料第一開発室から第三開発室での製造実績が既にございます。これらの成果の一部は、日本原燃のMOX燃料

加工工場に反映されているところでもございます。一方、今後の課題といたしましては、経済性向上を目的とした高速炉燃料製造技術の高度化、MA含有燃料の取扱い等のための遠隔保守技術開発が挙げられます。

再処理につきましては、国内では東海再処理工場において軽水炉燃料の再処理実績は十分あり、一部の技術は日本原燃の六カ所再処理工場にも反映されております。一方、高速炉用MOX燃料の再処理に必要なプロセス開発や、MAの分離回収技術等につきましては、今後の技術開発が必要な状況です。

2026年度の燃料技術の具体的な検討に向けましては、安全性、経済性を含め、実用システムの性能評価をすること、軽水炉ウラン燃料の再処理をベースとして追加で必要になる部分の技術的な見通しを評価すること、必要な実証炉燃料製造施設等を検討し、許認可に向け必要になる実証試験の計画を明確にすることをを行う計画です。

続きまして、金属燃料サイクル技術についても御説明します。

燃料技術と再処理金属燃料の燃料製造と再処理につきましては、米国で高速炉実験炉EBR-IIの燃料製造と再処理の実績が既にごございます。また、ウラン試験ですけれども、国内での工学規模までの試験も実施してございます。また、金属燃料の再処理の技術につきましては、廃棄物処理について、まだ米国での実績がないということがございまして、こちらについては国内での開発が必要な状況です。

2026年度の燃料技術の具体的な検討に向けましては、安全性、経済性を含め、実用システムの性能を評価すること、燃料製造、再処理について米国技術を導入可能であるか否かを日米協力を通じて技術的観点から確認すること、実証炉燃料製造施設等を検討し、許認可に向け必要な実証試験の計画を明確にすること、サイクルとの共存性を考慮し、軽水炉燃料への乾式再処理適用性を評価することをを行う計画です。

資料の説明は以上になります。

今後は、本日御説明しました高速実証炉の主要仕様に基づき、計画した炉と燃料サイクルの開発を着実に進めてまいりたいと思いますので、引き続きよろしくお願い申し上げます。

以上です。

○多田原子力政策課技術室長

ありがとうございました。

続いて、事務局より、2の高速炉実証炉の開発体制について御説明したいと思います。スライド15ページ以降で御説明いたします。

スライドの16ページ目を御覧ください。最初の2つの丸はこれまでの振り返りでございますが、令和4年12月に原子力関係閣僚会議で決定した戦略ロードマップに基づきまして、選定されたナトリウム冷却炉概念の設計とそれに付随した技術開発、将来的には製造・建設等も担う中核企業を改めて選定し、開発体制を明確にすることが定められているというところでございます。当該ロードマップに基づきまして、経済産業省におきまして公募を行い、戦略ワーキンググループの下に設置された高速炉技術評価委員会において審査した結果、中核企業として三菱重工株式会社が選定されたところでございます。

前回、第22回戦略ワーキンググループでは、炉と燃料サイクルの研究開発全体を一定のレベルまで完遂するとともに、両者を統合して基本設計につなげていく機能、研究開発統合機能を担う研究開発統合組織を原子力機構内に設置することとされました。本組織は本年7月1日に設置済みでございます。

今般の開発体制の移行を踏まえ、研究開発統合組織は炉と燃料サイクルの研究開発全体を統合すべく、原子力機構内での炉・燃料サイクルの研究開発に加え、経済産業省の公募で選定した中核企業においてこれまで取り組んできた研究開発の連続性、継続性の確保の観点を踏まえ、中核企業による概念設計及び関連する研究開発のマネジメントに取り組むこととしたいと考えております。

説明は以上でございます。

それでは、ただいまの説明に関しまして、御発言を希望される場合、オンライン会議システムの「手を挙げる」機能にて発言表明していただくようお願いいたします。順次こちらから指名させていただきたいと思っております。では、よろしくようお願いいたします。

それでは、文部科学省、よろしくようお願いいたします。

○清浦審議官

文部科学省です。

本日は概念設計が進められている実証炉の出力規模や研究開発項目の開発工程などにつきまして、技術的実現性、技術的実証性、経済性などの観点から検討が進められ、その整理結果をお示しいただいたものと承知しております。このような設計の足場となる出力規模や進め方が定まったことは概念設計の着実な進展であると認識しております。

さらに、原子力機構内に発足した研究開発統合組織が、炉と燃料サイクルの研究開発に加え、より合理的な開発体制に向け中核企業による概念設計などのマネジメントに取り組むことが示されたものと承知しております。こうした体制への移行によりまして、概念設計の

効率的な遂行が図られるとともに、プロジェクト全般の合理的な遂行が可能となることを期待しております。

実証炉のための燃料、材料の照射場として重要であります高速実験炉「常陽」につきましては、昨年度の新規制基準の適合性に係る設置変更許可の取得に引き続き、本年9月には地元了解もいただくことができ、運転再開に向けた安全対策工事などを着実に進めております。文科省としても、令和8年度半ばの運転再開に向けて、必要な予算についても確保すべく尽力するとともに、こうした取組を通じ、引き続き高速炉実証炉の開発に貢献していく所存でございます。

以上です。

○多田原子力政策課技術室長

ありがとうございました。

続きまして、JAEAの板倉副理事長、よろしく願いいたします。

○板倉副理事長

原子力機構の板倉でございます。

JAEAでは前回のこのワーキンググループの御決定を踏まえまして、今年の7月に研究開発統合組織、プロジェクト推進室をJAEAの中に設置したところでございまして、現在、概念設計に関する研究開発の取りまとめなどの検討を進めているところでございます。

今日御説明しました実証炉の出力等の仕様につきましては、この実証炉の最大の目的であります経済性の実証を果たせるように、将来、軽水炉と同等の経済性を持てるようにという観点から検討したところでございます。

また、今後のR&Dの計画につきましても、中核企業が行うものも含めて全体像を示させていただいたところでございます。これを円滑に進めるためには、今まさに予算のシーズンだと思いますが、ぜひ国のほうでは予算措置もよろしく願いしたいと思っております。

それからまた、事務局から説明のありましたサイクル関係につきましては、こちらは原子力機構がR&Dも進めてきたところでございますが、やはり現時点では様々な人的あるいは技術的資源を有しているステークホルダーの方の御協力もいただくことが重要と考えておりますが、サイクルにつきましては、私どもが先頭になって検討を進めていきたいと考えているところでございます。

それから、この実証炉の開発に不可欠な高速実験炉「常陽」の状況について、今御説明いたしますと、今年の9月に地元自治体から安全工事に関する事前了解も無事いただくこと

ができて、今、原子力規制庁との間で設工認の議論なども進めておりますが、令和8年度半ばに運転再開するという目標の下に全力で取り組んでいるところでございます。

最後に御説明いただきました、新しい開発体制の移行につきましては、この研究開発統合組織は原子力機構に設置され、従来エネ庁さんが行っていた機能も移ってきたというところから、エネ庁さんが中核企業を選んだということも含めて、我々が承継をさせていただくという考え方で、しっかりと体制づくりも進めてまいりたいと思っておりますので、よろしくをお願いいたします。

以上でございます。

○多田原子力政策課技術室長

ありがとうございました。

それでは、電事連、水田原子力推進・対策部会長、よろしくをお願いいたします。

○水田原子力推進・対策部会長

電気事業連合会原子力推進・対策部会長の水田でございます。

高レベル放射性廃棄物の減容化、有害度低減、そして資源有効利用をはじめ、プルトニウムの燃焼や使用済MOX燃料の運用を広げるという観点から、高速炉サイクルの意義は非常に大きいと考えております。実証炉の実現に向けて、事業者としても引き続き協力してまいります。

高速炉の出力規模でございますけれども、実証炉から実用炉まで、実用化までのスケールアップに技術的な課題を残さないよう、実証炉の出力規模は適切に設定される必要があると考えております。現時点において実用炉の出力規模を決めることはできませんけれども、事業を進める観点からは経済性の観点が重要であって、スケールメリットが期待できる大型炉、例えば100万kW級が選定されることが十分予想されると思っております。

また、高速炉の価値として挙げられているプルトニウムやマイナーアクチノイドの燃焼を考えたときも、出力が大きいほうが1基当たりで燃やせる量が多くなるということから、大型炉が有利になると考えております。

最終的には立地等、様々な状況を勘案して出力が決定されることになるとは思いますけれども、100万kW級の大型炉も将来選択できるように実証炉の開発を進めていくことが望ましいと考えております。今回選定いただいた60万kW級という出力規模は実用炉を見越したスケールアップの実現性とか、経済性を踏まえても合理性があると考えております。

また、概念設計の段階で実施すべきR&D計画について御説明がありましたけれども、炉

と燃料サイクルのそれぞれの開発を一体的に進めていく必要があると思います。その点を常に意識しながら、技術開発に向けた取組を着実に進めていく必要があると考えております。

高速炉の規制基準につきましては、平成25年6月に新規制基準の関係規則等に係るパブリックコメントに対する考え方として、原子力規制委員会において、今後の安全審査を行うまでに基準を見直すという方針が示されております。高速炉の今後の設計開発を進めるに当たっては、規制の予見性を高める必要があると考えますので、規制基準の見直しに係る課題整理やスケジュール等、今後の対応について検討しておく必要があると考えます。

R & Dや設計開発、あるいは規制基準などに関わる検討につきましては、事業者の軽水炉での経験とかノウハウが活用できると思いますので、引き続き協力してまいりたいと考えております。

以上でございます。

○多田原子力政策課技術室長

ありがとうございました。

それでは、続いて三菱重工、三牧原子力セグメント長、よろしく申し上げます。

○三牧原子力セグメント長

三菱重工の三牧でございます。御説明どうもありがとうございました。

弊社は昨年度10月に中核企業に改めて選定いただきました。今年7月に設置された高速炉サイクルプロジェクト推進室と一緒に、炉の設計やR & Dを進めております。まず、中核企業として4点ほどコメントさせていただきます。

まず、1点目です。2026年度を境にしまして、フェーズDアプローチを採用されるということですが、私どもといたしましては、設計オプションを含めて十分な検討を行って、国、原子力機構さん、電力さんの御意見をいただきながら進めていきたいと考えてございます。

2点目です。R & Dでは設計根拠となるデータ取得、解析手法の高度化といったところメインになるわけですが、並行しまして、ナトリウムの取扱い技術といった高速炉基盤技術の伝承も意識して取り組んでいくと考えてございます。

3点目です。今後、開発を進めていくに当たって、サプライチェーンの構築についても課題があると認識してございます。今後、施策、研究開発をやりますけれども、それを通じましてサプライチェーンの確認もしていくということを考えてございます。

最後に4点目です。今回、仕様とかR & D計画について御説明いただいたんですけども、今後炉の開発に当たっては、実施主体の決定、立地、規制等の課題も解決していく必要があると認識してございます。燃料制度についてもいろいろな課題があると認識しています。これらについて議論が加速されることを期待しております。

あと、最後に御説明があった開発体制ですけども、弊社のグループ会社である三菱FBRシステムズにて実証炉の設計、研究開発を連続性、継続性を持って取り組んでいくと考えてございます。引き続き関係諸機関の御指導御鞭撻をよろしくお願いいたします。

以上でございます。

○多田原子力政策課技術室長

ありがとうございました。

それでは、一通り御意見いただいたと思いますが、そのほかいかがでしょうか。ないようであればまとめに入りたいと思います。

それでは、本日の議論のまとめといたしまして、資源エネルギー庁次長の畠山から一言御挨拶を考えていたところでございますが、前の予定が押しているようでございますので、すいません、代わりに私からまとめをさせていただきたいと思います。

本日は、まず、JAEAより高速炉実証炉の仕様及び炉や燃料サイクル技術の研究開発の状況について御報告をいただきました。今年7月にJAEAに新たに立ち上げた研究開発統合組織の下で、引き続き炉と燃料サイクルを一体的なものとして概念設計や研究開発を着実に進めていただきたいと思います。

同時に実証炉の開発に当たっては、電気事業連合会からもございましたが、規制の予見性を高める必要があると考えております。既に規制対応に係る課題整理や、そのために必要な研究開発の洗い出し、妥当性評価を進めていただいているところでございますが、規制対応の経験、知見を有する電力事業者や中核企業とも連携して、これらを進めていただきたいと思います。

また、開発体制につきましては、高速炉実証炉開発事業における研究開発の連続性や継続性の観点からは、研究開発統合組織が中核企業のマネジメントを行うことが適切であるということも併せて確認させていただいたところでございます。

高速炉はエネルギー供給の脱炭素に貢献するとともに高レベル放射性廃棄物の減容化、有害度低減、資源の有効利用といった核燃料サイクルの効果をさらに高めるものと考えております。実現に向けて実証炉開発をより一層強力に進めてまいりたく、今後も関係者の連

携の下でプロジェクトを進めていきたいと考えております。

本日はどうもありがとうございました。

### 3、閉会

○多田原子力政策課技術室長

以上をもちまして、第23回戦略ワーキンググループを閉会いたします。

本日はありがとうございました。