

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10回会合

日時 令和7年12月11日（木） 10：00～12：04

場所 オンライン

議題 次世代革新炉（高速炉及び高温ガス炉）の動向について

1、開会

○宮下原子力技術室長

皆様、おはようございます。時間になりましたので、ただいまより総合資源エネルギー調査会原子力小委員会第10回革新炉ワーキンググループを開催したいと思います。原子力技術室長の宮下でございます。よろしくお願ひいたします。

委員及び専門委員の皆様におかれましては、お忙しいところ御出席いただきまして、誠にありがとうございます。本日の会議は、対面とオンラインのハイブリッド開催となっております。また、本日の会議の模様はY o u T u b eの経産省チャンネルでライブ配信させていただきます。よろしくお願ひいたします。資料は全て電子媒体化してi P a dに入っていますけれども、使い方が分からなかったら、お手元に紙が用意しておりますので、見ていただければと思います。

それでは、ここから斎藤座長に議事進行をお願いしたいと思います。よろしくお願ひします。

○斎藤座長

ありがとうございます。東京大学の斎藤です。本日はよろしくお願ひいたします。

それでは、まず初めに、事務局から本日の委員の出欠状況について報告をお願いします。

○宮下原子力技術室長

ありがとうございます。

本日の会合につきましては、遠藤委員が欠席となっておりますが、定足数を満たしておりますので、御報告させていただきます。よろしくお願ひします。

○斎藤座長

ありがとうございました。

続きまして、委員の御退任、御就任について報告させていただきます。専門委員でした、電気事業連合会の大塚委員におかれましては、退任されまして、後任として電気事業連合会原子力部長の岡田融様に交代されております。

それでは、岡田様、一言ご挨拶をお願いします。

○岡田専門委員

ありがとうございます。今回から参加させていただくことになりました電気事業連合会の岡田と申します。電気事業の観点から、いろいろとこのワーキングに貢献できればと思っておりますので、どうぞ引き続きよろしくお願ひいたします。ありがとうございます。

○斎藤座長

ありがとうございました。

2、議事

○斎藤座長

それでは、議事に移っていきたいと思います。

本日のワーキンググループでは、事務局より資料1について説明をいただいた後に、高速炉及び高温ガス炉の実証炉プロジェクトを手がける日本原子力研究開発機構から開発状況などについて資料を使って説明いただきます。

それでは、まず、事務局から説明をお願いいたします。

○宮下原子力技術室長

ありがとうございます。前回開催した10月の会議では、軽水炉、小型軽水炉について議論させていただきましたが、今回の会議は、高速炉、高温ガス炉についてテーマにして、実証炉に向けた取組等を御紹介した後に、いろんなコメント、御意見をいただきたいなと思っております。本日の会議で研究開発の進捗などを説明した後、御議論いただいた後に、今回の会議だけではなく、1月に予定されている革新炉ワーキンググループでも同じように、高速炉、高温ガス炉について御議論いただきたいなと思っておりますので、全2回分使って、この高速炉、高温ガス炉についての意見交換なり議論を進めていかなければと思っております。

それでは、説明に入らせていただきます。資料1、高速炉／高温ガス炉の国内外動向という資料を御確認いただければと思います。

資料めくりまして、この資料ですけれども、2ページ目にあるように、高速炉の最新動向、高温ガス炉の最新動向を、海外の状況も踏まえて御紹介させていただくという資料になつ

ております。

3ページ目をお開きください。まず、高速炉の最新動向について御説明させていただきます。高速炉実証炉開発事業ということで、常陽やもんじゅを経て技術的な成立性を確認してきた高速炉につきましては、実用化への見通しを得るために、実証炉を開発するというプロジェクトが進んでおります。2023年9月から始まっている事業であります。

左側、事業の概要ですけれども、実施者はJAEAさん、中核企業として三菱重工さんに入っていただいて研究開発を進めているという体制になっております。その下に予算額、プロジェクトの額、これまで1,700億円を超えるプロジェクトとなっておりまして、来年度、令和8年度も570億円を超える額を要求させていただいているというビッグプロジェクトになっております。

右側を見ていただきまして、研究開発については次のページで説明させていただきますが、主な取組ということで、国際連携は、例えば、日米の間では2026年、来年度に予定されております燃料技術の検討に向けた、特に金属燃料に関する技術協力を進めております。また、日仏は実証炉に関するR&D、設計レビューの協力など、国際協力も進んでおります。また、規制との共通理解の醸成ということで、2つ目のポツですけれども、原子力規制庁と実証炉に関する技術的な意見交換を進めているということもプロジェクトとして始まっております。

次のページ、おめくりください。研究開発の全体像でございます。詳細はこの後、JAEAさんからプレゼンテーションしていただこうと思っておりますけれども、大きく青枠の原子炉の周りと、緑枠に囲まれております燃料の周りということで研究開発が進んでいる状況になっております。

例えば、原子炉についていえば、左上にありますとおり、原子炉設計・免震ということで、今までもんじゅはループ型だったんですけれども、タンク型の設計成立性の確認、また、高速炉特有の免震システムの開発等を実施しているところであります。

あと、冷却系・ナトリウム技術のところを見ていただければ、大型化・高性能化した主要機器についての実証等もこの事業の中で行っております。

左下の部分、安全性向上のところは、例えば、真ん中のポツですけれども、動力を必要としない安全システムの開発など、R&Dを進めているところであります。

燃料に関しても簡単に説明させていただきますと、右上の緑色の枠ですけれども、燃料の研究開発・製造・サプライチェーンということで、例えば、来年度予定されておりますMO

X燃料・金属燃料の性能等の評価についてデータを収集しているところでございます。

右側の真ん中、照射のところですけれども、例えば、実証炉燃料の照射ということで、常陽を今後、稼働していくば、実証炉燃料の照射ということも進めていきたいなと思っております。

そのほか、右下の部分、高速炉の再処理ということで、例えばMA分離・回収技術など、今後の高速炉サイクルで必要となる技術開発を実施しているという状況であります。

次のページ、5ページ目を御覧ください。海外の動向を簡単に御説明させていただければと思います。フランス、アメリカ、中国、ロシアと並んでおりますけれども、例えばフランスでいえば、一番上のポツで、今、エネルギー政策ロードマップである第3次エネルギー多年度計画というものがありまして、マクロン大統領が議長を務める原子力政策会議で、この具体化を進めているという状況でございます。

その下のポツですけれども、2024年9月には、日仏政府間で高速炉開発に係る協力の合意文書の改定・期間延長をしていて、実証炉開発について、フランスでの開発実績及び運転経験を日本にも取り込んでいくというようなことになっております。

アメリカでございます。トランプ政権になって、今年の5月ですけれども、原子力に関する大統領令が4本公表されております。その中には、先進炉及び燃料製造ラインのパイロットプログラムを開始するというものがありまして、オクロ社なり、その下にあるテラパワー社について、政府への支援、プロジェクトが進んでいるという状況にあります。

また、2024年1月には、アルゴンヌ国立研究所・JAEA・電中研・MHI・MFBRの間で、金属燃料に関する共同研究契約に合意をしていて、この契約に基づいて、金属燃料に関する技術情報を受け取っていくという流れになっております。

ロシア、中国はそこに書いてあるとおりですけれども、それぞれ着実に実験炉、実証炉、実用炉に向けて動いているという状況でございます。

続きまして、6ページであります。米国における高速炉開発の動向ということで、テラパワー社の話、オクロ社の話を記載しております。民間の動きとして、このような炉の開発も動いているということでございます。

テラパワー社のところを見ていただくと、3つ目のポツですけれども、米国のNRCは、建設許可申請の審査完了を当初の2026年6月から半年間前倒しをしまして、2025年末としていたところなんですが、つい先日、12月1日付で同審査が完了したという状況になっておりまして、プロジェクトが前に進んでいるという状況だと認識をしております。

オクロ社については、3つ目のポツですけれども、2025年9月にアイダホ・ナショナル・ラボラトリのサイトで初号機の起工式を行っているということで、現在、建設運転一括許可申請を行っておりまして、事前申請を行っていて、年内にも同許可の申請を予定しているという状況でございます。

以上、高速炉についての動向でございます。

7ページ目以降、高温ガス炉の動向について御説明させていただきます。

まず、高温ガス炉実証炉開発事業ということで、8ページ目を御覧いただきますと、HTTRを通じて技術的な成立性を確認してきた高温ガス炉でありますけれども、HTTRの次のステップとして水素製造に挑戦するということと、また、その実用化の見通しを得るために、実証炉開発事業を2023年8月から開始しております。

事業の概要、左側を見ていただきますと、こちらも実施者はJAEA、三菱重工ということで進んでおりまして、これまでの予算措置としては1,970億円、来年度概算要求も628億円ということで、こちらもビッグプロジェクトとなっております。主な実証炉の仕様の3つ目になりますとおり、HTTRの改造によってカーボンフリー水素をつくっていくということにも取り組んでいるという状況でございます。

右側の主な取組内容ですけれども、国際連携については、日英連携による炉と燃料の研究開発、こちらは国と国との間で進んでおります。また、規制との共通理解の醸成ということで、先ほど申し上げたHTTRでの水素製造試験に向けて、今年の3月ですけれども、JAEAから原子力規制委員会に対して原子炉の設置変更許可を申請しているところであります。こちらは現在審査中となっております。

次のページ、9ページに行っていただきまして、研究開発の全体像でございます。

大きな項目としては、左上にあります原子炉と水素製造施設の接続ということで、先ほど申し上げた水素製造施設と高温ガス炉をつなぐところの技術の確立をR&Dとしてやっております。

また、その水素製造施設でどのように水素をつくっていくかということで、左側の真ん中ですけれども、カーボンフリー水素製造の実証に向けて、こちらも研究開発を進めております。

また、右側を見ていただきますと、受動的冷却システムの研究開発や、実証炉に向けた炉心の大型化に伴う各種の開発なり、原子炉実証炉に向けたR&Dも進んでいるところでございます。

右下、燃料のところを見ていただければ、被覆燃料粒子の製造技術や、高温ガス炉向けの濃縮技術の確立など、そのようなフロントエンドの部分も実証しているという状況でございます。

続きまして、10ページでございます。高温ガス炉に関する茨城県からの要望ということで、今年の6月に茨城県から発出された国に関する提案要望ということで、下の赤枠のところを見ていただければ、上のほうの矢印に書いてあるんですけれども、現在の研究開発体制・成果・立地を最大限生かすことができるとともに、臨海部などに大きな水素需要が見込まれる茨城県内に実証炉を設置することと、そういう要望が茨城県から出ているところでございます。

同時に、一番下の矢印のところですけれども、実施主体及び設置場所の早期選定に向けた議論を加速してほしいという要望も出ておりまして、国内からも、プロジェクトを進めてほしい立地場所について要望が出ているという状況でございます。

続きまして、11ページでございます。高温ガス炉の海外の動向でございます。イギリス、アメリカ、ポーランド、中国と並んでおりますけれども、イギリスは一番上のところを見ていただければ、水素製造、高温熱を供給ということで、2030年代初頭の高温ガス炉実証炉建設を目指しているということでして、このプロジェクトに対して、J A E Aとイギリスの国立原子力研究所がチームを組んでプロジェクトを進めているという状況でございます。

アメリカのところを見ていただければ、こちらは実際、民間として高温ガス炉の建設プロジェクトが進んでおります。X – e n e r g y社が高温ガス炉の開発を進めておりまして、2つ目のポツを見ていただきますと、2030年代初頭の運転開始を目指して、米国の化学メーカーであるD o w社がテキサス州にX – e n e r g y社の高温ガス炉を建てるというプロジェクトを進めております。こちらもN R Cの建設許可申請は既に行われております、2026年末までに審査が終わるというプロジェクトになっております。

ポーランドは、脱炭素化に向けた石炭火力の代替として高温ガス炉を想定しております、J A E Aと協力して研究開発を進めているところでございます。その下、文科省－ポーランド間、あと経産省－ポーランドの政府の間で、二国間協力の強化を目的とした覚書が結ばれていて、これに基づいて各種協力が進んでいるところでございます。

中国は、もう実際に実証炉が動いておりまして、実用炉の初号機についても2026年度に着工し、2030年には動き出すという予定でプロジェクトが進んでおります。

次のページ、12ページであります。米国における高温ガス炉開発の動向ということで、先

ほど御紹介させていただきましたX—e n e r g y社とD o w社のプロジェクトについて、簡単に御説明させていただければと思います。

D o w社ですけれども、テキサス州に4基の高温ガス炉を入れる計画で、2030年代初頭の運転開始を目指してプロジェクトが進んでおります。こちらは化学工場内の電源及び蒸気製造設備の代替ということで建設が計画されているものとなっております。

プロジェクトとしては、アメリカのD O E、エネルギー省から総額3,750億円、25億ドルの約50%の支援が出ているということで、これが大きな推進力になっているのではないかと承知しております。

また、2025年3月にN R Cに建設許可を出していて、2026年には審査を完了させるという状況になっております。

以上、資料1で高速炉、高温ガス炉の国内外の動向について御説明させていただきました。この後、J A E Aのほうから高速炉プロジェクト、ガス炉プロジェクトについて、技術開発の詳細な状況を説明いただくとともに、実際に技術開発以外に実証炉を建てていく、このプロジェクトを前に進めていくためのポイントというか、論点についても御紹介いただくことになっておりますので、この事実関係を理解、認識していただきながら、今日は御議論いただけるといいかなと思っております。以上でございます。

○齊藤座長

ありがとうございました。

続きまして、日本原子力研究開発機構の安藤高速炉サイクルプロジェクト推進室長から、資料2について説明をお願いします。

○安藤高速炉サイクルプロジェクト推進室長

おはようございます。日本原子力研究開発機構の高速炉サイクルプロジェクト推進室の室長をしております安藤と申します。本日は、高速炉実証炉の開発状況について御説明さしあげる機会をいただき、どうもありがとうございます。

本日のプレゼンでは、高速炉実証炉と燃料サイクル施設につきまして、設計、研究開発を進めております状況について御説明しますとともに、今後の課題としてどういうものがあるかというところについて御紹介させていただきたいと思います。

次のページをお願いいたします。こちらのページは、これまでの経緯を簡単にまとめております。2022年12月に改訂されております高速炉開発の戦略ロードマップがございまして、そこでは、2050年までに実証炉が運転開始されることが望ましいということで、今後の開発

の作業計画が設定されてございます。下に書いてございますように、2023年夏に炉概念の仕様を選定する。2024年から2028年度にかけては、実証炉の概念設計と研究開発を行う。今まさにこの段階にあるというところでございまして、今後のマイルストーンといたしまして、2026年頃に燃料技術の具体的な検討、2028年頃に実証炉の基本設計・許認可手続への移行判断をするという作業計画が定められているというものでございます。

それに従いまして、高速炉実証炉の概念設計対象となる炉概念と中核企業の選定が行われてございます。ナトリウム冷却タンク型高速炉を概念設計の対象として選定しまして、中核企業としては三菱重工業株式会社殿を選定しているところでございます。

また、概念設計段階における体制が示されておりまして、これを受けまして、原子力機構に、研究開発を統合する組織として高速炉サイクルプロジェクト推進室が昨年7月に設定されています。

また、実証炉の概念設計の基本仕様といたしまして、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60万kWe級とすることが、2024年の戦略ワーキングで定められているところでございます。

次のページをお願いします。このページでは、高速炉実証炉の開発状況といたしまして、全体的な計画を御説明したいと思います。

1つ目のポツ、上に書いてございますけれども、これは先ほど申し上げたとおり、大型炉・小型炉への展開が可能な600MW_e級のナトリウム冷却タンク型炉を対象として、今、設計とR&Dを進めているところでございます。

下に実証炉プラントの基本仕様というのが書いてございますけれども、炉型としてはナトリウム冷却タンク型高速炉、電気出力は600MW_e級、燃料方式というところに酸化物燃料または金属燃料と2つ書いてございまして、今はこの酸化物燃料と金属燃料両方についての検討を進めているところでございまして、こちらを来年度、2026年度頃に、どちらにするのかというところを比較評価したいと思っております。炉心出口温度については550°C、原子炉建屋につきましては、3次元免震建屋または水平免震建屋を採用することによりまして、安全性、信頼性を向上するということを図っているところでございます。

そういう基本仕様をまとめているというところと、右側に開発工程を書いてございます。全体工程といたしましては、2024年から2028年までが概念設計の期間なんですけれども、これを2つのフェーズに分けてございまして、2024年から2026年までは概念設計のフェーズ1、2027年から2028年にかけてはフェーズ2といたしまして、左に設計と書いていまして、

炉心設計から重要課題まで線が引いてありますけれども、こういうスケジュール感で、まずフェーズ1については一巡の設計を行うということを考えています。2026年に燃料が比較評価されますので、その結果を踏まえまして、かつ、その下に書いてございます研究開発の結果もインプットしながら、反映しながら、概念設計のフェーズ2を行いまして、そこで概念設計をきちっとまとめていくという全体的な工程でございます。

次のページをお願いします。こちらのページは、高速炉実証炉の開発状況としまして、概念設計の例を御説明したいと思います。先ほど炉心設計からBOP設計まで幾つかの項目が挙げられておりましたけれども、そのうち、まず系統設計につきましては、左側に図が描いてございますが、これは原子炉容器の横から見た図になってございまして、1次主冷却系の系統仕様を検討しているところでございます。概略系統図として左に描いてございますけれども、右側のところに中間熱交換器：4基と書いてあります。これは1次系と2次系のナトリウムの熱交換をする熱交換器ですけれども、これを4基設定するだとか、左側に1次系ポンプ：3基と書いてございます。こちらも1次系の冷却材を加圧するためのポンプで、これを3基設定するということで、こういう1次主冷却系の概略系統図を整備しているところでございます。

右側は機器設計という観点で御説明しますが、主要機器の設計例といたしまして、原子炉容器、中間熱交換器について図を示してございます。

原子炉容器につきましては、これは上から見た図になっていますが、直径が約16メートルということで、その中に炉心、燃料等交換のためのプラグ、1次系ポンプ、中間熱交換器を配置しているというところも検討してございます。

右側、中間熱交換器でございまして、こちらは高さが約17メートル、径が約3メートルという大きさの中間熱交換器について今、概念を構築しているところでございまして、その構造健全性・製作性について、きちんと成立するのかというところを今検討しているところでございます。

次、お願いします。以上が設計のお話だったんですけども、ここからは研究開発、R&Dの中身について御説明したいと思います。

この5ページに書いてございますのは、主にJAEAがやっております研究開発の内容をお示ししております。JAEAとしては、評価手法の整備、規格・基準の整備、研究開発基盤の整備という、この3本柱でR&Dを進めているところでございます。

まず、評価手法の整備といたしましては、左側に2つ書いてございまして、左上、安全性

+ 経済性：核・熱・構造の課題解決と書いてございますけれども、これまで核特性とか炉心変形特性とか熱流動解析、これをばらばらに解析したものと連成させて評価するという手法の開発であったり、左下に書いてありますもんじゅで得られた設計・建設知見を反映するということでデータベースを整理したりとか、評価技術を実験で検証するということでナトリウム試験とかということを進めてございます。

左下は、安全に関わるところですけれども、シビアアクシデント評価というもので、炉心が損傷した場合の物質移行についての研究開発を進めています。真ん中に書いてありますように、シミュレーションコードというのをつくっているというところが1つありますと、さらにその評価精度を上げるために、左に書いてあるような試験研究も並行して進めているというものですございます。

続きまして、規格・基準の整備という観点で申し上げますと、下のところに安全設計基準というものが書いてございます。こちらにつきましては、高速炉の設計の特徴を反映した安全設計基準をつくってございまして、IAEAに御紹介し、審議していただきまして、基準化をしているというところでございます。

右の真ん中のところ、構造・材料の規格・基準、維持規格と書いてございますけれども、主に機械学会を中心に、構造・材料規格、維持規格について整理するために必要な技術的な検討、あるいは実験によるデータの取得を進めております。

残る研究開発基盤の整備という観点では、上に実用炉向け燃料開発と書きまして、常陽による炉心燃料材料の照射試験、右上に機器の性能・信頼性実証、設計評価手法の総合検証と書いてございますけれども、A t h e N a と呼ばれる試験施設を用いた機器の総合試験を考えているところでございます。こちらについては後ほどまた詳しく御説明します。

では、6ページをお願いします。こちらは高速炉実証炉のR&D状況といたしまして、主に中核企業であります三菱重工殿、MFBR殿で進めていただいているR&Dの状況について御説明するページでございます。

左に表が描いてございます。主なR&D項目例と書いてございますけれども、大型化するために必要なR&D、安全性向上、信頼性向上、サプライチェーンを再構築するために必要なR&Dという観点で、必要なR&D項目を抽出してございます。主に100項目程度のR&D項目が抽出されていまして、今、そのR&D計画に従いまして、肃々と研究開発を進めていただいているという状況でございます。

右側がR&D実施状況の例というふうに幾つか例示をさせていただいているけれども、

まず、左に書いてあるような316F R鋼の材料強度試験であったり、右上に書いてあるのは3次元免震システムの開発、右下に書いてあるのは316F R鋼の伝熱管の試作試験も進めているという状況でございまして、こちらについては順調に進捗しているところでございます。

次、お願ひいたします。7ページに参りますと、こちらは先ほどちょっと御紹介いたしました、A t h e N aと呼ばれる大型ナトリウム試験施設の整備の状況について御説明しております。

1ポツ目に書いていますけど、A t h e N aは、高速炉実証炉の機器の技術実証について、L Pガスの燃焼により原子炉における発熱を模擬しまして、冷却材であるナトリウムを用いた試験研究を実施する施設ということでございまして、真ん中に図が描いてございます。A t h e N a完成予想系統図と書いてございます。全体的にボイラーで加熱をしながらナトリウムを回して、右に蒸気発生器の図が描いてございますけれども、その蒸気発生器のような大型機器を備えて、そこの試験をすることができる施設になってございます。

現在、A t h e N aにつきましては、施設の整備をしている状況なんですけれども、この黄色で書いてあるところ、マザーループと書いているところ、ここについては既に整備済みというところでございます。左のところにナトリウム加熱器（整備中）と青に書いてあるところについては、今まさに工事を進めているところでございまして、今後の計画では、その上に描いてあるような加熱器のナトリウム系統であったり、試験ループについても整備していくという状況になってございます。

上のポツの2つ目に書いてございますけれども、高速炉実証炉に採用予定のヘリカルコイル型蒸気発生器、これは下の図に書いてある蒸気発生器ですが、そういう性能を確認するための伝熱流動試験を今計画してございまして、そのための準備を進めているところでございます。

次、お願ひいたします。8ページ、こちらは実用炉向けの燃料開発ということで、常陽を使いました燃料の照射試験について説明しているものでございます。常陽及び実証炉におきまして燃料照射をすることによりまして、高速炉燃料の高燃焼度化、マイナーアクチニドの含有燃料を段階的に実証していきたいと考えてございます。常陽につきましては、2026年度中の再稼働を目指しまして、対応工事を進めております。再稼働後に実施予定の燃料照射試験に向けた試験準備をしているところでございます。

下に描いてあるのは、左側が常陽の図になってございまして、右側に書いてあるのは、こ

これまで照射試験をやった例を示しているところで、上側は常陽における太径中空燃料の照射挙動データ、下側はマイナーアクチニドを含んだMOX燃料の照射挙動データについてを取得しているところでございます。

次、お願いいいたします。以上が高速炉実証炉側の御説明だったわけですけれども、今後の進め方といったしまして、1つ目のポツに書いてございますように、2026年頃に燃料技術の具体的な検討ということで、酸化物燃料、金属燃料を選択していくための準備を進めていきたいと思っています。

概念設計のフェーズ1、これは2026年度までですけれども、そこでは実証炉の初期概念、設計方針・条件を暫定いたしまして、一巡の設計を行って成立性の見通しを得たいと。フェーズ2、2027年から28年度につきましては、基本設計の仕様・条件及び研究開発計画を確定するということで、実証炉の基本設計、許認可手続への移行判断が2028年度に予定されていますけれども、それに向けて、開発目標にきちんと適合しているのか、許認可がきちんと通るのかというところについて検討して整理をしていきたいと考えてございます。

次、10ページをお願いいたします。ここからは燃料サイクル施設の話に移りたいと思います。このページでは、燃料サイクル施設の設計作業の状況といったしまして御説明しております、上の1つ目のポツに書いてございます。燃料技術の具体的な検討をする場合には、MOX燃料と金属燃料のサイクル施設がどういう施設なのか、その施設がどういう性能を発揮するのかというところを評価する必要がございます。その比較評価をするために、燃料サイクル施設の概念検討を2024年度から実施しているところでございます。具体的な中身としては、MOX燃料、金属燃料とともに、燃料製造施設と再処理施設の概念を検討してございます。概念を検討した上で、経済性、施設の設計成立性、廃棄物発生量、そういう燃料の選択のために必要な情報となりますプラントレベルの各種性能を評価していきたいと考えてございます。

次のページをお願いします。こちら11ページは、MOX燃料のサイクル技術の開発状況を御説明しております。燃料技術の具体的な検討では、今、技術の成立性を見通すに当たってどこがポイントになるか、どこが難しいのかというところに注力して研究開発を行っているところで、今、この左側に燃料製造技術開発、右側に再処理技術開発のフローが描いてございますけれども、一連のいろいろな技術があると。

原液の溶液、Pu富化度調整から始まって、燃料集合体に至るまでの一連のプロセスと、それを達成するために必要なセル内の遠隔保守、発熱対策、そういう技術開発項目がありま

す。このうち四角で書いてあるところ、ここが燃料の技術の成立性を見通すために重要な研究開発項目として今、研究開発を進めていくこととして、脱硝・転換・造粒、ダイ潤滑成型、焼結・O/M調整、セル内遠隔保守、発熱対策、この項目について今研究開発を進めているところでございます。

右側、再処理技術開発でございます。再処理技術開発の一連のフローが描いてございますけれども、ここも、今キーとなる技術としまして、抽出（コプロセッシング法）のところとMA回収のところに注力しまして、研究開発を進めているところでございます。

図中、青四角と赤四角の色の違いがありますけれども、青四角で書いてあるところについては、常陽ともんじゅの燃料製造技術、既に確立済みの技術でございますけれども、そこからさらに経済性を向上させるための高度化開発を進めていくということ。あと、赤で書いてあるところについては、国内で工学規模試験までは既に実施されているんですけども、それ以外に必要な基盤的な技術開発、データ取得等をやっているというものでございます。

次、お願いします。金属燃料サイクル技術の開発状況になります。こちら金属燃料側の開発状況なんですけれども、MOXと同様に、燃料技術の具体的な検討に必要なところに注力してやっているところでございまして、左側が金属燃料の製造技術、右側が乾式再処理の技術開発になります。

左側なんですけれども、燃料技術開発といったしましては、左側の軽水炉の使用済み燃料、MOX粉からウラン・プルトニウム合金を取り出すプロセス、右に書いてあるのは、ウラン・プルトニウム合金からこの燃料集合体をつくるという一連のプロセスが描いてございます。この中で現在進めておりますのは、この赤で書いてあるところ、MOX粉からウラン・プルトニウム合金をつくり出すプロセスの中の電解還元をするというプロセス、ここについて研究開発を進めているところでございます。

右側は同じく乾式再処理技術の開発が書いてございまして、燃料集合体をせん断して、それを電解精製して、廃棄物を処理するという一連のプロセスが描いてございます。ここにつきましても、現在やっているところについては、この赤でゼオライトカラムと書いてございますけれども、電解精製から出てきたものをゼオライトカラムというものを通して廃棄物を抽出するというプロセスなんですが、ここについて注力的に開発をしているところでございます。こちらもMOXと同じく赤と青と紫という色分けがされてございますけれども、青で書いてあるところにつきましては、国内で過去に工学規模試験まで実施しているという形でございます。紫で書いてあるところにつきましては、米国で試験の実施例が既にある

というところなんですかけれども、別途国内で工学規模の試験実績がないものですから、やつてていく必要があるというものが色分けで示されてございます。

続きまして、13ページをお願いします。ここは今後の燃料サイクルに関する今後の進め方が書いてございます。燃料サイクル分野につきましては、2026年に予定している燃料技術の具体的な検討、ここに向けてしっかりとやっていくというところがまず大事になっています。性能比較に必要な情報の提示をするということが今、重要でして、そのために技術評価を進めてございます。2026年に燃料選定がきちんとされた後には、採用された燃料技術を対象に、2026年度までの開発内容に加えて、実際に今度は燃料製造施設あるいは再処理施設を造っていくということになりますので、そのために必要な開発全体をやっていくということを考えております。特に、燃料製造設備に関しましては、早めに造る必要がございますので、2027年度から施設の概念設計に着手したいと考えてございます。

その下に表が描いてございます。2026年度までの開発項目については、先ほど御説明したとおり、①から③、①、②と書いてございます技術を開発してございますが、2027年度以降につきましては、新たに、燃料製造においては④、⑤、再処理については③から⑥に書いてある、実際に物をつくるために必要な技術をしっかりと開発していく必要があると。

続きまして、14ページ、こちらは金属燃料の話になりますけれども、金属燃料につきましては、米国の実験炉E B R - II の実績、燃料サイクル施設F C F の運転経験がありますので、そこに基づいて技術的な見通しがあるかないかというのを判断していくと考えてございます。

一方、それを実際に国内で採用するということになりましたら、国内でもしっかりと確認していく必要がありますので、機器のモックアップを作成し、成立性等を国内で改めて確認していく必要があると考えてございます。

同様に、下に表が描いてございますけれども、今左側に書いてあるような技術開発をやつておりますけれども、2027年度以降は、燃料製造については②から④、燃料再処理についても②から④に書いてあるような技術開発もしっかりと進めていく必要があるという風に考えております。

続きまして、15ページ。こちらは高速炉とサイクル両方についてですけれども、国際協力、特に二国間協力について御説明したページになってございます。日米、日仏、カザフとの協力が書いてございますけれども、まず、左側に書いてある日米協力につきましては、米国が高速炉サイクルで採用している金属燃料を中心とした協力を進めてございます。まず1つ

目に書いてありますのは、先ほどエネ庁さんからも御紹介ありましたテラパワー社、そこともMOUを結びまして、大型商用炉、常陽の照射とか金属燃料許認可とか、その辺についての情報交換を進めていっております。

2つ目、金属燃料等に関する共同研究、これはCRADAと呼ばれる共同研究ですけれども、米国の金属燃料、サイクル技術の導入について情報を得たりしております。

その下、シビアアクシデントに関しましても、CRADA協力というのをやってございまして、金属燃料の溶融燃料について試験をやるということをやっております。

4点目につきましては、CNワーキングというのが書いてあります。これは日米民生用原子力研究開発ワークショップというものでございますけれども、その中で金属燃料、乾式再処理、評価手法開発、材料開発を進めているものでございます。

右上に行きまして、こちらはフランスとの協力になります。フランスは、タンク型炉及びMOX燃料についての協力を進めておりまして、R&D取決めと設計取決め、2つの取決めを結んでございます。まず、R&D取決めにつきましては、MOX燃料及びタンク型炉に関連したR&Dの協力、設計取決めにつきましては、仏国の先行炉、フェニックスから出したスーパーフェニックス、ラプソディー等の過去の設計経験をこちらの設計にも反映するという観点で協力を進めているというところでございます。

最後、日カザフの協力ですけれども、カザフスタンが持っています試験用原子炉IGRで実際にその燃料を溶かした試験というのをやってございまして、シビアアクシデント試験というものを進めているところでございます。

以上が設計及び研究開発の状況でございます。

ここからは、16ページに参りますが、高速炉の社会実装に向けた課題について、幾つか御紹介したいと思います。今16ページにお示ししている表につきましては、右上にも書いていますけれども、令和6年10月に革新炉ワーキングでJAEAのほうから御提示した課題認識でございまして、政策に関してはプロジェクトマネジメント上の課題、技術に関しましては技術的課題、基盤インフラ整備、人材技術につきましては人材技術伝承というレイヤーに分けて課題を整理したものでございます。この真ん中に書いてある青の破線で囲っているところにつきましては、ここまでの中のプレゼンの中で御説明した内容になってございまして、ここからは赤で書いてあるところについて、特に主体、規制についての御説明をしたいと思ってございます。

次のページをお願いいたします。17ページですが、これは実施主体について、これまでな

された議論を整理したページになってございます。

一番上のポツに書いてございますのは、原子力機構の研究開発力と電気事業者のプロジェクトマネジメント能力を結集した司令塔組織の機能を特定する必要がありますよねというのが、2022年12月の戦略ロードマップに書かれています。その上で、体制をどうしましようという検討がされまして、概念設計段階では、プロジェクト全体のマネジメント機能は引き続き政府、高速炉開発会議戦略ワーキングが司令塔としての機能を担いましょうと。一方で、研究開発統合機能を担う研究開発統合組織は原子力機構に設置しましょうということが2024年6月に決まりまして、昨年の7月、高速炉サイクルプロジェクト推進室が原子力機構にできたという経緯がございます。

今後なんですけれども、その実用化の見通しが明確になるステップ3以降は、この開発の司令塔組織は事業運営体制に機能を引き継いでいくということも戦略ロードマップに書かれておりまますし、サイクル技術につきましては、研究開発のために大量のプルトニウムを扱うホット試験が必要になるので、民間が主体的に開発を進めるのはかなり難しいだろうということで、当面は、原子力機構がステークホルダーとの連携を図りつつ開発の中心的役割を果たすことが求められるということも戦略ロードマップに書かれているところでございます。

というところでございまして、今後、実証炉、燃料サイクル施設をどの主体が開発していくのかというところについては、この議論を踏まえて検討していく必要があると考えてございます。

続きまして、18ページに参ります。高速炉安全規制の予見性についてでございますけれども、それに向けては、やはりその規制の予見性を高めていくことが必要と考えてございます。高速炉の規制につきましては、研究開発段階発電用原子炉の関係規則が整備されているわけですけれども、これにつきましては、2013年段階で原子力規制委員会のほうから、安全審査を行うまでに改めて検討し基準を見直すという方針が示されているところでございまして、3つ目のポツですが、日本原子力学会の新型炉部会に次世代ナトリウム冷却高速炉の安全設計評価方針検討会が設置されまして、高速炉の特徴を踏まえた、次世代ナトリウム冷却高速炉の安全設計方針が検討されて策定されているところでございます。

それと並行いたしまして、原子力機構としても、これは2025年10月、つい最近のお話ですけれども、高速炉実証炉に関する原子力規制庁との面談による対話も開始してございます。

内容は、下に3つプリットが書いてございますけれども、1つ目は、先ほど申し上げた原学会でいただいている安全設計評価方針について、その考え方についても御説明していくということと、2つ目にプリット書いていますけれども、酸化物燃料と金属燃料炉心の採択手順、免震技術、燃料の排出技術、そういうところについても検討状況について意見交換をしてございます。今後も高速炉実証炉に関する技術情報について、継続的に意見交換を行うことで合意してございまして、肅々と進めていきたいと思っております。

このように高速炉の安全規制についての予見性を高めていくことが必要になってございますけれども、最後のポツに書いてているのは、革新軽水炉側で動いている状況を御紹介しているというものでございまして、この革新軽水炉につきましても、原子力学会で次期軽水炉の技術ワーキングで検討していただいた上で、原子力規制委員会と事業者が規制基準に関する意見交換を既に開始しており、今1年程度の意見交換を想定してございます。こちらはもう既に進んでいるというところでございまして、高速炉につきましても同じようなスキームで規制庁と話ができるかといったところも考えていきたいと考えてございます。

以上、課題2つ挙げてございますけれども、これら課題にしっかりと取り組みながら、高速炉開発を着実に進めてまいりたいと思ってございます。

説明は以上でございます。

○斎藤座長

ありがとうございました。

それでは、続きまして、日本原子力研究開発機構の坂場高温ガス炉プロジェクト推進室長より、資料3について御説明をお願いします。

○坂場高温ガス炉プロジェクト推進室長

原子力機構の坂場と申します。私からは、高温ガス炉実証炉の開発状況としまして説明します。

このスライド構成ですが、これまで茨城県大洗町にありますHTTRを通しまして、R&Dであったり、そういったことに関しまして、実証にどのようにつなげていくかという観点でのスライドはJAEAから、さらに設計とR&Dに関しましては中核企業であります三菱重工さんのスライドが入っています。それぞれのスライドに関しましては、上部にクレジットがありますので、そちらを御参照ください。

次のページをお願いします。説明の内容でございますけれども、まず、高温ガス炉実証炉

の開発状況、次いで、課題として考えられることを入れております。

次のページをお願いします。御案内の方も大勢いらっしゃると思いますが、まずは高温ガス炉の開発の歴史でございます。1960年代に開発を開始しまして、その後、R & Dとしまして、右下にあるような研究開発施設、炉内のガスループ（OGL-1）、これはJMT-Rを元につくったヘリウムガスループでありますとか、VHTRCとしての臨界実験装置、大型のヘリウムループのHENDEL、こういったものを用いながら基本設計、詳細設計を進めてまいりまして、その後、建設を91年に開始し、98年には初臨界を達成しています。その後、出力上昇試験を経まして、2004年には原子炉出口950°Cの取り出しに成功しています。これは世界初とありますけれども、現時点でもなお950°C達成の実績を有しているのはHTTRだけということでございます。その後、850°Cの連続30日運転でありますとか、950°Cの連続50日運転などを経まして、福島の事故が起こる前に、安全性実証試験としまして、これは後で説明しますが、9MWでの試験を実施しました。その後、福島以降、停止しまして、新規制基準に対する対応を経まして、2021年に運転再開、その後、2022年と2024年に安全性実証試験として、ステーションブラックアウトテストでありますとか、LOFC、冷却材喪失試験といったものを実施いたしました。これらにつきましては、後で説明いたします。

次のページをお願いします。このHTTRの仕様でございますけれども、30MW、3万kWの熱出力、冷却材としましてヘリウムガス、原子炉出口は950°Cの取り出しに成功しています。それから、炉心の構造材としては黒鉛ブロックといったものでございます。

次のページをお願いします。こちらは安全性実証試験を示したものでございます。この試験で何を行ったかと申しますと、出力100%における運転中に原子炉を冷却する冷却材流量を強制的にゼロにするという試験でございます。また、その間、通常こういった事故事象が起きた場合には、制御棒が自動的に挿入され、スクラムされるわけですけれども、制御棒の操作をしないということをしました。すなわち、止める、冷やす、閉じ込めるのうち、止める機能と冷やす機能を喪失させた試験でございます。

右側のグラフを御覧になってください。これは、上から流量、出力、温度を示しています。時間ゼロでガス循環機の流量をゼロにしました。強制的にゼロにしていまして、その後、速やかに下がってゼロの状態を維持し続けるということでございます。その間、出力の変動でございますけれども、流量のゼロに伴いまして、負の反応度フィードバックが入りまして、出力は約15分ぐらいかけてほぼゼロになるところまで落ちます。その状態を維持した後に、大体14時間ぐらいのところでちょっと上昇しているところが御覧になっていたらどうかと

思いますけれども、これは正の反応が入ることによりまして、一度臨界になります。その後、正の反応が入ることによって温度が上がり、負の反応度フィードバックが入って落ちる。こういった揺らぎを繰り返しながら静定していくというのが、これは物理現象のみで行われましたところでございます。その間、燃料の温度、これは解析値でありますけれども、冷却材流量の停止と同時に一度上がりますけれども、速やかに落ちていって低い状態で維持され続けるといったものでございます。すなわち、H T T R、高温ガス炉におきましては、事故発生時に制御棒を挿入せずとも、冷却なくとも物理現象のみで、原子炉が自然に静定・冷却されていることを確証したといった試験でございます。すなわちこれは、炉心溶融が起きない設計が成立するということであります。

こういった技術を今後、実証炉に生かしていくに当たりましては、H T T Rの延長線上の技術を活用することによりまして、出力を大きくしない限り、上限600メガワットと言われていますが、それ以下にする限りは、こういった固有の安全性が維持できるということでございます。

H T T Rの当初の目的は、原子炉技術、高温ガス炉の技術基盤の確立と熱利用試験技術の確立とあったわけですが、これをもって原子炉・高温ガス炉の技術基盤の確立は、もう終えたと考えています。

次のページをお願いします。5ページです。そういう意味で、高温ガス炉の技術成熟度という観点で、上から、左側ですけれども、炉心燃料の技術、原子炉構造の技術、冷却系統の技術、安全関連設備の技術、運転保守の技術、その他としまして、特に水素製造技術といったことでT R Lを入れてございます。

一番下のカーボンフリー水素製造法に関しましては、この後出てきます水素製造法による違いとしまして、5ないし6と考えているところでございます。

次のページをお願いします。開発のスケジュールでございます。この先、2050年のカーボンニュートラルを目指しまして、いかに高温ガス炉を使っていくかということにおきましても、特にH T T Rを用いた水素製造試験、あるいはその後の実証炉の設計、何に使うかということは、結局蒸気を使うのか、水素を使うのか、熱をそのまま使うのか、エンドユーザーエンタクワイアメントに対しまして、何をどのようにするかということはこの先の議論になってくるわけでございますけれども、まずここで1つ挙げてございますのは、一番下の線、Super Course 50とあります。こちらは製鉄業界でございまして、現在、直接水素還元製鉄といったプログラムが進められてございます。ここでは大量の安定した水素が

用いられるということでございまして、特に高温ガス炉の熱を使って大量の水素をつくるということで、直接水素を供給していくということが一つのカーボンニュートラルに向けた構想となってございます。

そういう意味で、このプログラムと上手にリンクさせながら実証炉の開発を進めてまいりたいと思っているところでございますけれども、特に一番上のHTTR－熱利用試験、この後で説明申し上げますが、HTTRを用いた水素製造試験におきましては、許認可を経て、水素製造を2028年以降で可能な限り早く達成して、その技術をさらにSuper Core 50などの要素技術開発、実証試験といったところに活かしていきたいと考えているところでございます。

次のページに参ります。そういう意味で、開発状況の課題としまして、原子炉技術の確立としまして、炉心、大型化に伴う炉心構成、あるいは設備、燃料、安全基準、構造規格といったもの、それから熱利用技術の確立としまして、接続技術、水素製造技術といったものがございます。これら個々の開発状況に関しまして、次のページから詳しく説明申し上げます。

8ページをお願いします。こちらはHTTR－熱利用試験、すなわちHTTRを用いた水素製造試験でございます。内容としましては、世界最高温度、950°Cを記録したHTTRを活用し、高温ガス炉と水素製造技術の接続に係る安全設計、安全評価技術を確立していくと考えています。そのために必要な機器、システム設計技術を確立するということも必要になります。

右側の試験のイメージでございますが、HTTRから配管を引き出しまして、ここは改造することになります、それを左にあります水素製造施設につなげていく、すなわち直接配管でつないで水素を製造するということでございます。絵の中では水蒸気改質器と書いておりますが、水素製造側に技術開発要素を求めてくないために、まずは水蒸気改質器、炭酸ガスを出しますけれども、これをつなげます。期間的に間に合ってくれば、カーボンフリー水素製造技術を最初につなげるということもあり得ます。HTTRを用いた試験としましては、まず、水蒸気改質器で許認可を取りまして、その後に速やかにカーボンフリーにつなげたいと考えています。

試験スケジュールでございますけれども、緑の線が安全設計・安全評価、許認可を示しています。青い線が設計、それから据付け等を示しています。緑の線でございますけれども、今年の3月27日に規制委員会に対しまして設置変更許可申請をいたしました。その後、後で説明しますが、法令の適用部分の議論を経まして、9月に補正申請を行っています。可能で

あれば、2026年中に許認可、設工認含め取得すると考えていたところでございますけれども、これはこの先の議論の中でどのようにしていくかということで、規制委員会との審査の過程で決まっていくものでございます。できれば2028年には一発目の水素製造を開始したいと考えてございまして、グリーン成長戦略におきましては、2030年までに原子炉施設と水素製造施設の接続技術を確立するとございますので、可能な限り早期に接続しまして、過渡変化等の試験等を経て技術を確立していきたいと考えてございます。

次のページをお願いします。9ページ、課題でございますけれども、こういったシステムをつくるに当たりましては、左側であります、高温隔離弁、高温配管、ヘリウム循環機といった新たな開発が必要でございます。高温隔離弁におきましては、過去にR & D、モックアップ施設を作ったことがございますけれども、新たに、特にヘリウムガスは非常に漏えいしやすい気体でございますので、シール等のリークがどの程度しっかりと抑えられるか、シール性能の確認といった開発が必要となってまいります。

それから、システム全体としましては、プラント全体設計、あるいは安全設計、これは新規制基準の対応としての規制の適合性評価を含みますが、こういったものがこの接続技術の確立ということで必要な課題となつてまいります。

次のページをお願いします。こちらは規制委員会との議論を通しました、その過程の状況でございます。まず、法令をどこまで、炉規法、原子炉等規制法を適用するのか、あるいは特に一般産業法規としまして、高圧ガス保安法をどこまで適用するのかということを議論してまいりました。

まず赤い線、炉規法の部分でありますけれども、原子炉が安全に停止し、その状態を維持するために必要な設備としまして赤い点線部分、それから一般産業法規としまして、原子炉の安全な停止やその状態の維持に必要なない設備としまして緑の点線部分としまして、現状、補正以降はこういった議論を示してございます。当初3月27日の段階では、この左側の下にありますポンチ絵の左から原子炉、中間熱交換器、水素製造装置、水蒸気改質器、それから、それ以外の施設で分類しているわけでございますけれども、運転中、HTTRをいかなる状況においても運転を維持させるという観点で、水蒸気改質器の出口側の遮断弁の後で区切っていたわけでございますが、規制委員会から、HTTRはスクラムしてよいという判断を得られましたので、左側の中間熱交換器出口のあります原子炉建家隔離弁を境界とするということを両者で認めました。審査に関しましては、この先になりますので、これが成立するかどうかというのはそれ次第になります。

この非常に大きなポイントとしましては、将来、水素製造装置側に関しましては、一般産業界が入っていくことを想定するわけでありますけれども、こういった運転に関しましては炉規法を適用させないということで、一般産業界の参入に対する障壁を大きく低くすることができるだろうと考えてございます。したがいまして、この先、規制庁との間におきまして、これを成立させていくということが非常に大きなポイントになってくるわけでございます。

次のページに参ります。11ページです。高温ガス炉の実証炉の開発状況でございます。左側、プラントの基本仕様でございますけれども、出力は200メガワット、炉心としましてはピンインブロック型、原子炉出口温度としましては、経済性等々を考慮しまして950°Cではなく900°Cといたしてございます。水素製造方法としましては、水蒸気改質器、あるいはカーボンフリー水素製造法ということになります。

全体の開発工程でございますけれども、現在、概念設計を進めています。設計、それから研究開発を並行してございまして、特に研究開発という観点では、モックアップ試験としまして、ヘリウム循環機、高温隔離弁等を行っています。また、サプライチェーンの再構築を含めまして、材料データの取得、すなわち高温クリープ強度データの取得等を進めているところでございます。特に設計に関しましては、現状、立地箇所が決まっていないわけでございまして、基準地震動、あるいは気象条件等は、それぞれ厳しいところを想定した仮置きとして進めているところでございます。これらを定めまして、2027年以降の基本設計に臨んでいくわけでございますけれども、可能な限り早期に立地を決めることによりまして、そういった試験、設計を行うための、それぞれのパラメーターを設定するということが、この先重要なになってまいるところでございます。

12ページに移ります。続きまして、HTTRからの大型化に伴いまして、幾つか構成機器が大型化されます。特に中間熱交換器、水素製造に関しては極めて重要な設備になってくるわけでございますけれども、これは2ループ化、形式としては1ループ化、1ループでありますけれども、2ループ化といったものの検討、あるいは構造健全性、製作性、検査性、機器輸送性等の観点におきまして評価を進めました。おおむね成立性が見通せるという段階まで来ているところでございます。

13ページに参ります。開発状況としましては、大型化、設計寿命の延長、追加設備、サプライチェーンの構築という観点におきましては、特にスタンドパイプの製作性の検証でありますとか、材料としまして、高温材料とかのクリープ試験、こういったものが長期間のデ

ータが必要になってくるわけでございますけれども、こういったものを随時進めているという状況でございます。

次のページに参ります。次に、カーボンフリー水素製造装置に関するフィージビリティースタディーでございますけれども、まずは、水蒸気改質器、炭酸ガスを出しますけれども、を、つなげると申しましたが、その先のカーボンフリー水素製造装置の開発も並行して進めているところでございます。こちらはS O E Cとメタン熱分解を書いてございますけれども、それぞれスケールアップ、あるいは特にS O E Cに関しては、高温ガスに特化したような高温アシスト型の装置をつくるといったことを進めてまいってございます。こういったものの中から、現在、F Sとして、何が高温ガス炉にとって最も適切なカーボンフリー水素製造設備かといった検討もしております、S O E C、あるいはメタン熱分解が候補になっているところでございます。

次のページが、原子力機構におきまして、熱化学法としましてI S法を開発してきたわけでございますけれども、こちらもカーボンフリー水素製造法としまして、水から高温ガスの熱だけで、ヨウ素とそれから硫酸を循環させることによって、水素と酸素を出すというシステムでございます。

一方で、材料的な課題に関してはおおむね解決の方法は見いだしてきたものであります、長期間の連続運転という観点では、ある意味、化学成分、すなわちヨウ素、それから硫酸系の、ケミカルのある一定のバンド幅に長期間収めなければいけないのですが、ここまで、そういう長い化学反応の中で徐々に変わってくるといったところも、克服するのがなかなか大変でございまして、恐らく2050年には間に合ってこないだろうということで、熱化学法のR & Dは、将来のスケールアップに魅力があるので継続しますけれども、前ページで説明しましたとおり、S O E C、メタン熱分解が、恐らく高温ガス炉の中では最有力の候補になってくるのではないかと現状では考えてございます。

次のページに参ります。16ページです。燃料の開発に関するものでございます。まず、H T T Rにおきましては、今現在、1次燃料が入っています。2次燃料も製造してございますけれども、当初、原燃工でつくりました高温ガスの燃料は2次燃料を最後としまして、それ以降は製造されてございません。したがいまして、その製造能力、あるいはノウハウの維持が課題と。これはサプライチェーンの維持という観点で最も重要なポイントになってくるところでございます。

それから、技術維持の一環としまして、これまでの技術は、まずはJ A E Aに対しまして、

原燃工から技術を移管するということで合意してございます。

並行しまして、将来の実証炉の燃料をどこから調達するかという観点で、そのオプションの一つとしまして、イギリスを考えてまいりました。燃料製造工程のプログラムは、イギリスのプログラムでありますけれども、その中で、今回、GXの下でのトレーニングを実施しまして、先方からUKNNL、これはイギリスの国研でございます。それからウェスティングハウスが親会社でありますスプリングフィールズから技術員を呼びまして、技術の移管のトレーニングを行ったということでございます。

そういう意味で、国内で燃料を維持させていくのか、あるいは海外からの調達オプションも考えていくのかということは極めて重要でございまして、そういう意味で、国内の燃料という観点では、この先実証炉、さらにその先の実用炉を考えますと、サプライチェーンとしては、いかにそのプログラムが続いていくものかということが非常に重要なポイントだと聞いてございますので、実証だけではなくて、その先の、2050年の脱炭素に向けた実用化に向けてどういったステップを踏まえていくのかといった議論も、この先必要になってくるということでございます。

次のページに参ります。17ページです。規格・基準の整備であります。大洗にありますHTTRに関しては、旧科技庁の内規としまして、高温材料、あるいは黒鉛等々の規格を用いてまいりました。まず、安全基準という観点におきましては、高温ガス炉は、冒頭申しましたとおり、極めて安全性が高く、この先、PAZ、UPZ等、非常時の避難区域を縮小できるということは期待できます。そういう意味で、原子力学会の下に研究専門委員会、あるいは日本機械学会の下にタスクを立ち上げまして、原子力委員会の中では、高温ガス炉が有する安全上の性能の立証という観点で、特に論点の①でありますけれども、著しい炉心損傷の実質排除は可能かといった議論を進めているところでございます。当初は規制委員会が将来つくるであろう規格・基準という策定を目指そうとしていたわけでございますけれども、委員会としましては、この先耐え得る、十分エビデンスで活用できる技術が、エビデンスそのものがそろっているのかという観点での議論を進めています。日本原子力学会の中にJAEA、大学、産業界から委員として入っていただきまして、公開報告書として取りまとめるという作業を進めています。これは全3年のうちの3年目まで進んでまいりました。その後、規制庁との意見交換を踏まえて、規格・基準を策定し、実証炉の許認可対応に活かしていきたいというふうに考えています。

一方、機械学会に関しましては、特に高温材料、黒鉛材料といった観点での規格化、オ

ソライズを経てガイドラインをつくって、あるいは事例規格を作成して、実証炉、あるいは許認可に対応していきたいということを考え、進めてまいっているところでございます。こちら、機械学会も全3年の計画のうちの、今年は3年目に入っているところでございます。

次のページに参ります。イギリスとの連携でございます。イギリスも我が国と同様に、特に脱炭素が困難な、産業界の脱炭素をどのように図っていくかという観点で、高温ガス炉に注目してございました。昨今は政権が替わりまして、一部プログラムが大分変わっているところがあるのでございますけれども、このプログラム自身が、前政権が始まった段階におきましては、革新炉としまして高温ガス炉を選択し、2030年代初頭の実証炉の運転開始を目指しまして、イングランドの北東部にありますハートルプールという町、ここは工業地帯、コンビナートになっているわけでございますが、そこにAGR、炭酸ガス冷却炉がある横に高温ガス炉を造って、蒸気、あるいは水素を供給することによって脱炭素を図るということを目指しておりました。特に、この地域、原子炉施設が長年ございまして、パブリックアクセプタンスという観点で、70%以上の住民が賛成派であるということから、世界的にも最も早く工業地域の脱炭素に原子炉施設が使われるのではないかと考えられているところでございます。その中で、JAEAは、先方の国研でありますUKNNLとチームを組みまして、イギリスの競争的資金を獲得し、フェーズA、Bと進めてまいりました。あるいは、燃料に関しましてフェーズA、それから、プログラムが変わってステップ1という形で、これまで進めてまいりました。現在、下の棒グラフでありますけれども、フェーズBが今年の12月、今月に終わると。あるいは来月かという話も聞こえくるんですけど、間もなく終了します。燃料に関しましては、先週の情報では、こちらは2026年3月まで延長されるということでありましたけれども、いずれにしましても、新しい政権に替わりまして、プログラムは方針が転換されて、間もなく発表予定と聞いておりますが、次のプログラムの中でどのように民間を中心にやっていくのかという議論が進められているところでございます。

原子力機構は、これまで、実証に関わる情報でありますとか燃料の技術を提供し、日本の技術でイギリスで高温ガス炉を造り、その技術を日本に持ち帰ると。あるいは、イギリスの中での規制基準の状況を参考にしながら日本の規制基準に活かすといったことを考えてまいりましたが、この先もイギリスとの連携を図りながら、脱炭素をイギリスで実証させて我が国に持ち帰り、その技術を日本の実証炉、あるいは実用炉に役立てていきたいと考えているところでございます。

次のページに参ります。19ページです。中国の状況でございます。中国でございますが、

中国は、まずは実験炉のHTR-10という10メガワット、それからこの絵にありますHTR-PM（実証炉）、こちらは250メガワットサーマル2基1ユニットとして使っているもの、それから、その先のHTR-PM600S、これは商用炉でございますが、HTR-PM2基、1ユニットをさらに掛ける3、合計6炉心を使って1ユニットとするといったプログラムがございます。HTR-10のときには、おおむねHTTRと同じようなタイミングで始まったものの、やはり、福島以降の停止期間の中に、中国がずっと進めていましたHTR-PMが、既に2021年の段階で送電網接続、2023年には商用運転も開始しているという状況でございます。

中国の場合は、原子炉出口温度は750度と低いために、まずは電力として使っているという状況にございます。軽水炉との比較におきまして、蒸気タービンも使っていることがありますので、軽水炉よりも効率が落ちると評価がなされておりまして、HTR-PM600Sにおきましては、蒸気をつくるということに主眼を置いています。この図の中で、PWRとHTR-PM600Sを一緒につくりまして、軽水炉で蒸気をつくり、温度を上げる部分を、高温ガス炉を使うというプログラムを進めておりまして、来年から建設着工ということを先週のIAEAの会議で聞きまして、恐らくそのとおり進んでいくのではないかというふうに考えられます。

20ページに参ります。こちらは、宮下室長からも御説明ありましたが、X-energyがDow Chemicalと共に進めているものでございます。右下の中で、Dow Chemicalは100%子会社のLong Mott Energyというものをつくりまして、ここが、実際には原子炉を造る、4炉心1ユニットという形で造っていきまして、蒸気を供給して、脱炭素を図るといったプログラムがあります。X-energy自身はAmazonからの投資も得まして、さらにその先のプログラムを進めるということを発表しているところであります。4基の後の、それから12基等々を進めていることでございます。

次のページ、21ページですが、課題であります。

さらに22ページに参りまして、これは全体の課題という観点では、事業の予見性の確保、あるいは立地の選定、事業主体の体制の確立ということになるわけでございますけれども、規制基準、それから燃料サプライチェーンの構築、立地という観点では、これは宮下室長からございましたとおり、茨城県が実証炉の誘致を中央要望の中に記載したといったことがありますので、その中で、茨城県のどこに具体的に造っていくのかという議論、あるいは、日本全体としてどう考えるのかといった議論が必要であるかと考えているところでござい

ます。民間企業主体による事業モデルの構築というのも重要な観点になってまいります。

23ページです。そういう意味で、課題でございますけれども、現在、設計や研究開発は順調に着手、執行している段階、社会実装につながる実証炉開発へとさらに発展させるために、基本設計をさらに本格化すべきとの基本設計、最終条件の確定に向けて、早期の実施主体、あるいは設置場所の選定が必要であると。次に、海外で先行するプロジェクトの事例も踏まえますと、社会実装につながる実証事業のさらなる発展には技術以外の課題の特定と対応が必要、規制見通し、その他の事業との差異、水素社会の動向。実証炉規模の原子炉の許認可対応や建設、運転、保守管理に対応するには、現在、高温ガス炉プロジェクトに係る人員に加えまして、JAEA内外からの追加の人的リソースの確保が必要であるということです。

24ページです。国内外の事例としましては、Dow Chemicalの話、それから、NRCに関しましては、特にX-energyとの間でスケーラブルな緊急時区域設定の議論を進めておりまして、現在、400メートルとするといった評価がNRCの中で進められているところでございます。最後ですが、革新軽水炉に関しまして、原子力学会の軽水炉の技術ワーキンググループを経た上で、原子力規制委員会と事業者が規制基準に関し、意見交換をしています。1年程度の意見交換を想定しているところでございます。

私からは以上になります。

○斎藤座長

ありがとうございました。

それでは、自由討論及び質疑応答に移らせていただきます。オンライン参加の方については、会議システムの手を挙げる機能にて発言表明をお願いいたします。順次、こちらから指名させていただきます。また、会場におられる皆様については、ネームプレートを立てていただきまして、こちらで当てさせていただくという形を取りたいと思います。また、会場の皆様はマイクの御利用をお願いします。手元のボタンでオンオフを切り替えられます。指名順については、事務局で整理を行ってもらいますが、若干前後する可能性もあるので御容赦ください。時間が若干押しております、できる限り多くの皆様に発言をいただきたいと思いますので、大変恐縮ですが、1人3分をめどに発言をまとめていただけると幸いです。また、時間があれば2巡目も考えたいと思います。

本日欠席の遠藤委員から頂戴した意見書については、資料配付及び後日ホームページ上に掲載予定の議事録の中に内容を記載していきたいと思います。

どうぞ。

○宮下原子力技術室長

すみません、遠藤委員から、結局意見書は出てこなかつたです。

○齊藤座長

じゃ、意見書はないということですね。

それでは、御意見のほう、いかがでしょうか。

○宮下原子力技術室長

あと、もう一点、事務局からなんですけれども、今日 J A E A さんから技術的なR & D の進捗について丁寧に御説明いただいたんですけれども、各資料の最後のほうに、社会実装に向けた、こういうことが課題なんだよというのも簡単にまとめてきていただいております。ロードマップの具体化に向けては、多分、この社会実装に向けた課題というものについて、ほかにもこういう観点があるんじゃないとか、こういうものも大切にしたほうがいいんじゃないかというところも御意見いただけだと、1月に次の会議をやるときに、そのあたりも中心に議論できていいくかなと思っております。

よろしくお願ひ申し上げます。

○齊藤座長

宮下室長、ありがとうございました。

それでは、御意見のほう、いかがでしょうか。

それでは、澤委員、お願ひします。

○澤委員

すみません。今、ちょうどガス炉の話が終わったところなので、ちょっと流れがいいかと思って、先にガス炉について3点、確認というかお願ひがありまして、1つは茨城県のほうで立地、誘致していただいているというのが非常にありがたいんですけども、これ、多分、御説明にもありましたけれども、具体化しないと、基準地震動も気象状況も全然決まらないので、実証炉計画をちゃんと進めるには、いつまでにやらなきゃならないかって、恐らくあると思うんです。そのマイルストーンも明確にしないと、多分、スケジュールをつくれないと思いますので、まず、それを明確にしていただきたいのが1点目です。

2点目が、これもガス炉特有というか、ガス炉が厳しいと思うんですけど、実施主体が、なかなか電力とかいうふうにはならないということで、今、御説明あったように、X-energyとDowとか、アメリカでは上手にその辺をやろうとしているので、日本は、これ

も同じように、いつまでにこういう仕組みをつくらなきゃならないのか。これもやっぱりマイルストーンとして、やっぱりスケジュールに入れ込んでいただきたいと。あと、その方法ですね、どういうふうにやっていくかというのも、やっていただきたいというのが2点目です。

3番目、これもちょっと新しくなくて、既に出ているもので申し訳ないですけど、燃料サプライが、やっぱりイギリスを頼るのは危ないんじゃないかなとちょっと個人的には思っています。やはりベースは国内に拠点をつくるべきだと最終的には思うんですけども、それも同じく、問題であるのは分かるんですけど、いつまでそれを決めてやっていかなきやならないかと。やっぱり、この3点とも、全てスケジュールに直結するものなので、そこを明確にしていただきたいというのがコメントです。

以上です。

○斎藤座長

ありがとうございました。そのほか、いかがでしょうか。

松久保委員、お願いします。

○松久保委員

ありがとうございます。

まず、このワーキングの目的について確認させていただきたいと思っています。原子力基本法は、原子力の利用は「平和の目的に限り、安全の確保を旨として、民主的な運営の下に、自主的にこれを行うものとし、その成果を公開し、進んで国際協力に資するものとする」という目的事項があったと思います。つまり、平和利用は原子力利用の大前提であり、ここを外れた議論というのはあり得ないというふうに理解しているんですけども、事務局にこの点、御見解を伺いたいと思います。

2点目ですけれども、高速炉や高温ガス炉の実証開発事業について、今日の資料にもありましたけど、高速炉で1,714億円、高温ガス炉で1,970億円、合計で3,684億円と、支出がかなり増えてきていると思います。GX基本方針には2025年度までに高温ガス炉、高速炉の開発、研究開発設計等を実施して、その後、実証炉開発というスケジュールが示されていて、10年間で1兆円という投資になっていたと思います。GXの基本は官の資金によって民間資金を促すというスキームだったと思います。ではですね、先ほどお話をあったとおりなんですが、民間投資がいつどのようなタイミングで検討するのかというところです。非常に重要なことになってくるんだと思うんです。また、当然、官の資金は国民の税金です。

もんじゅでは、損切りしないままずるずると投資をし続けた結果、2兆円を超える国費が投資されてしまったということです。そういう意味では、官の投資というのはもう既に十二分に投資したと正直私は思っているんですけれども、支出総額の見込みというものが示されないままに出し続けることに正当性があるのかということは、きちんと評価するべきじゃないかというふうに思います。

また、今日の資料にも経済性を含めて実用化の見通しを得るために実証炉開発事業を行うということになっているわけですけれども、実証化段階に移る前に、どういった条件であればその後に進むかということについてクライテリアをきちんと設けるべきだと思います。その際、技術的成熟性というのはさることながら、高速炉や高温ガス炉、これも当然経済行為である以上、サイクル全体を俯瞰した客観的な経済性評価というのは極めて重要なじやないかと思いますので、そのあたりもぜひ検討材料に加えていただきたいと思います。

もう一点ですけれども、米国の原子力規制、今日、いろいろ御紹介いただきましたが、私が理解しているところでは、推進側がかなりプレッシャーを加えて、規制当局の独立性を毀損するような形で制度が改正されて、そういう中で規制の迅速化が行われていると思います。日本では規制庁の独立性を毀損するような圧力を推進サイドがかけるようなことはあってはならないというふうに思いますし、ぜひ、そのあたり御考慮いただければと思います。

あと、この間、経産省、高速炉開発の意義として、有害度低減というのをすごく強調されてきたと思います。ですが、今日は資料になかったんですけれども、高速炉の炉心設計では増殖比が1を超える設計が目的とされていると思います。確か、1.3とか1.2とかぐらいまでいけるとかという資料になっていたと思うんです。なので、ということは高速増殖炉を目指されているんですかと。もしそうなのであれば、そういうふうにきちんと明示するべきだというふうに思います。

最後にJAEAさんに質問です。再処理について、今日、御説明いただいたんですが、MOXは湿式再処理で、金属燃料は乾式再処理という2本立てでお考えなのかがちょっとよく分からなかったので、そのあたり教えていただければと思います。

もう1点、高温ガス炉での水素製造を行った場合、どの程度の製造コストになるというふうに想定されているのか、もし検討されているのであれば、感度分析も含めて行われているのか、そのあたりを教えていただければと思います。

以上になります。ありがとうございました。

○斎藤座長

松久保委員、ありがとうございました。

そのほかはいかがでしょうか。オンラインの方も含めて。

それでは、まず、オンラインの黒崎委員、お願ひします。

○黒崎委員

斎藤先生、どうもありがとうございます。

私のほうから、3つコメントがあります。1つが、実施主体の話なんですけれども、実証炉、高速炉、高温ガス炉とともに、実証の段階で、どういう形で実施主体を考えていくかという話なんですけれども、実証炉段階ということと、あと、まだまだ不確実性が大きいところもありますので、やはり私はある程度国の関与というのが必要なんじゃないかなというふうに思っています。これが1つ目です。

2つ目が燃料サプライチェーンの話でして、今は実証炉の話をしていますが、その前段階の、例えばH T T Rとか、あるいは常陽、これを動かしていくために必要な燃料のような話もあります。そういうたった燃料サプライチェーンの構築というのは、実はかなり私は切羽詰まっているんじゃないかなというふうに思っていますので、炉システムの話はきちんとやるにしても、燃料、あるいは燃料サイクルの話もきちんとやっていただきたいなと思っています。これが2つ目です。

3つ目がサイクル技術の話でして、これは特に高速炉のサイクル技術の話になります。さつき松久保委員が、酸化物、金属という意味合いでの話をされていましたが、どちらにするにしろ、J A E Aの関与というのは非常に重要で、必須だと思っています。ただ、J A E Aがサイクル技術をきちんとできる、例えば人材とかあるいは環境というのがどこまで整っているのかなというところは若干不安なところもありますし、今のうちにきちんとこ入れをして、手厚くサイクル技術を研究開発できるようにしていただければと思っています。

私のほうからは以上です。

○斎藤座長

黒崎委員、ありがとうございました。

少し、ここからオンラインの先生方を御指名させていただきたいと思います。

続いて、永井委員、お願ひします。

○永井委員

どうもありがとうございます。こんにちは、電中研の永井です。

私のほうからは、本日の発表を通じて、2点コメントさせていただきたいと思います。まず、1点目ですけれど、資料2のスライド16に高速炉のプロジェクトマネジメント上の課題についてです。司令塔組織の展開や安全規制の予見性についてはその後説明がありますが、民間投資を呼び込む施策に関しては記載がありません。スライド17でも、研究開発のためにプルトニウムを使うなどから、民間が主体的に開発に取り組むのはハードルが高いと指摘されています。現時点を目指しているのは実証炉の段階であることを考えると、なかなか民間投資を呼び込むのは困難な状況にあると思うのですが、このあたりについて、具体的にどのように民間投資を呼び込むのか、考えがあるようでしたら教えていただきたい。

2点目は資料3のスライド22にある高温ガス炉の実施体制の確立についてです。民間企業主導による事業モデルの構築と書かれていますが、高温ガス炉が経済性を持つには需要家が求める価格で水素製造をすることが重要になります。参考までに、水素・燃料電池戦略会議によると、パリティコストは製鉄のほうでノーマル立米当たり8円、化学部門で18.5円となっています。高温ガス炉は高速炉のように放射性廃棄物の減容化や有害度の低減など、サイクル政策にとって重要な役割があるわけではないことを考慮すると、社会実証につなげるためには、需要家が求める価格での製造が重要になるため、技術以外の課題においても目標値を設定して開発を進めていくことを望みます。

私のほうからは以上になります。

○斎藤座長

永井委員、ありがとうございました。

それでは続きまして、オンラインの田村委員、お願いします。

○田村委員

みずほ銀行、田村です。御説明くださいまして、ありがとうございます。

海外では原子力の機運が高まっており、特に高速炉、高温ガス炉において、メーカーを中心に民間企業の取組が加速していると、今日の資料で理解しております。

日本には常陽であったり、もんじゅ、HTTRの経験ということで、技術的に一定程度の先行した部分もあったのかもしれないですけれども、今後、海外でプロジェクトがどんどん進んでいきますと、海外との技術提供であったり提携というのは大事ですけれども、日本においてどうしていくのか、技術としてどうするのかという観点は必要かと思っております。

また、規制の話でございますが、JAEA様の資料でもありましたけれども、規制がどう

なっていくのかというところは、進めていく上で論点になるということですので、あらかじめ議論を進めていくということは必要かと思っております。海外でも規制の議論はいろいろあるのだと思っておりませんので、それをそのまま日本にということでは当然ないかと思っておりますけれども、日本の地理的な性質とかも踏まえながら、海外の規制も参考にしながら、どういうことがあり得るのかというふうに、効率的に議論が進んでいけばいいのかなと思っております。

最後、感想ではありますけれども、アメリカにあった化学会社のDowさんの工場の中に置くというような話というのは非常に、こちらとしてはそういう事例があるのだなと思いましたし、現状の中で、日本においてはそういうことは想定はされていないのかなというふうにも思いますけれども、それはどのようなニーズがあるのかということは考えていく必要はあるのかなと思いました。

以上です。

○斎藤座長

田村委員、ありがとうございました。

それでは、続きまして、またオンラインになりますが、高木利恵子委員、お願いします。

○高木（利）委員

議長、ありがとうございます。

御説明ありがとうございました。私、高木からは、2点ほどコメントさせていただきます。まず、資料3のスライドの22ページのところ、先ほど、永井委員からもコメントあった箇所と同じですが、この社会の課題、立地の選定・実施体制の確立のところにおいて、これまでになかった「民間企業主導による」という言葉が入っています。従来の資料ではこの文言は入ってなかったと思いますが、少し具体化されたというか、前に踏み込んだなという印象を持ちました。もし、関係者などと何か議論や進展があったのであれば教えていただきたいです。

それに絡んで、茨城県から高温ガス炉の実証炉を県内に誘致する要望があったということは、この事業への理解の表れということでありたいことだと思います。今後の具体的な立地の選定に当たって、議論の活性化にもつながる効果もあると思います。立地の選定に当たっては、申し上げるまでもないと思いますが、プロセスはオープンで公正であるべきだと思います。要望があった茨城県においてはもちろんのこと、そのほかの地域にも情報開示したりとか、各層と丁寧で最適なあるいは適切なコミュニケーションというのが必要になつ

てくると思います。

こうしたプロセスが国民から原子力事業に対する信頼を積み上げていくということになると思いますし、原子力はほかにもいろいろ課題を抱えておりますけど、そういう課題解決の後押しにもなると思っております。一つ一つの機会を信頼構築のよい機会と捉えていただいて、ぜひお願ひしたいと思います。

それから、もう一つですが、次の23ページの課題の3項目のところで、JAEA内外から追加の人的リソースの確保が必要であると触れられております。これも必要な体制を整えるべく既に検討されているのかもしれません、高速炉では高速炉サイクルプロジェクト推進室というのを設置して、開発事業は計画どおり順調に進んでいると事前に事務局のほうからも御回答、説明いただきましたので、そういう知見等を活かして、あるいは、さらに発展・拡大させながら高温ガス炉の実証炉においても体制を整えて進めていただきたいと思います。

以上になります。ありがとうございます。

○斎藤座長

ありがとうございます。

それでは、そのほか、会場の委員も含め、小伊藤委員、お願ひします。

○小伊藤委員

座長、ありがとうございます。

これまでの技術開発の努力は、我が国の技術基盤の強化を図る上で非常に重要であったと考えています。一方で、高速炉については、国費を投じながらも実証炉建設の時期が先延ばしになってきました。そのため、国民の皆様の理解を得ることがやはり重要であり、安全性や事業としての経済性だけでなく、エネルギー政策のほか、産業政策など、政策全体との整合性を明確にすることが有意義ではないかと考えます。

高速炉や高温ガス炉の議論は単なる電力供給の話にとどめず、次世代社会のエネルギーインフラをどう設計するのかという視点が必要だと思います。既存のインフラは確実に老朽化が進みます。革新炉のリードタイムを考えると、運転開始は最も早くても10年以上先になるのではないかと予想されるんですけれども、その頃には、次世代半導体など、戦略物資の国内製造拠点化が実現している可能性もあるのではないかと思います。こうした将来像を踏まえて、分散型エネルギーや地政学的リスクを考慮した議論のアップデートが必要ではないかと思います。

また、実証炉建設の時期やその判断を先送りにすることには、技術の成熟度を高めたり、国際動向を見極めるなどのメリットもございますが、同時に人材や技術、それから、産業基盤の維持が困難になるというデメリットもございます。このバランスをどう取るかが課題ですが、国費を投じた成果を国民が享受できるように、政府の政策的支援を期待します。

最後に、革新炉をめぐる議論は国家戦略をどう達成するのかを問うものであると考えます。実証炉建設のための条件は、短期間で整備することが困難であろうと思います。実証炉建設、そしてその先の展開を視野に入れて、これまで築いてきた技術基盤を生かした革新炉が次世代社会の基盤として活用されるよう、事業環境の整備を含めて、議論する時期に来ているのではないかと思います。

私からは以上になります。

○斎藤座長

ありがとうございました。

それでは、一旦、オンラインの小西専門委員、お願いしたいと思います。

○小西専門委員

失礼いたします。小西でございます。私からも申し上げたいことが何点かございます。

まず、高速炉、高温ガス炉共に我が国が多分世界でトップレベルの技術を開発してきた貴重な財産であるので、これを何とか生かしていただきたいという強い願いがございます。ただ、その中でもちょっと心配になるところが幾つかございます。4点ほど挙げさせていただきます。

1つは燃料サイクルの話です。やはり燃料サイクルに関する国内外の状況はどんどん変わってきておりますので、先ほど特に高速炉のほうの増殖の話も出てまいりましたけれども、実際出てきたプルトニウム、あるいはMOXをどうするんだという話まではちゃんと、これは技術としてのお話はありましたけれども、最終的な物質サイクルとしての扱いはどのように今後戦略を考えていくかということはちょっと不安が残るのかなとは思っております。高速炉についても、高温ガス炉にしても共通ですけれども、そういう意味で、まず、燃料サイクルのサステナビリティというのは、一旦使用した燃料のその先の行き方、それから、一番最初の燃料の製造の話も含めて、国の中でちゃんとできるということを特に見ていただきたいと思っております。

もう一つ問題だと思っていますのはサプライチェーンです。燃料サイクルだけではなくて炉を構成する様々な部品、炉だけではないです。プラントシステムとしてのサプライチェ

ーンが日本の国としてちゃんと構成できるのかしらということについてもちょっと不安がございます。開発を始めてからかなり時間がたってしまったために、幾つかの技術が既に絶えていたり、国外も含めてなかなか入手が困難になっているものもあるかと考えております。

具体的な例でいうと、これは高温ガス炉の例ですけれども、高温で使用する部品の幾つか、今回、水素製造に話が特に集中されているわけですけれども、I S法で使います例えばシリコンカーバイドの部材であるとか、こういうものがちゃんと今後とも産業技術として継承されていくのかというのはちょっと不安があると思っております。人的な資源、ワークフォースについても同じでございまして、やはり高速炉、高温ガス炉とも必ずしも軽水炉システムと共に通とは限らない技術と運転のためのスキルというのがございますし、設計、製作についても人的な資源も含めて継承がなされているかというところは不安があるかと考えております。

もう一つ、ちょっと考えなければいけないのかなと思いましたのが、やはり産業化という視点でございます。実は私、今アメリカに来ておりまして、アメリカのエネルギー省の新しい産業政策、エネルギー政策の中でどのように革新原子力を扱うかという議論に実際参加しているんですけど、具体的にいようと、そこではアンダーセクレタリーのダリオ・ギル氏が先頭になって、ジェネシスマッショナリという新しい政策を導入しています。何をやっているかというと、要は、まず、エネルギー政策としての原子力、核融合=フェュージョンも含めですけれども、いかに民間がリードして社会実装をしていくかという視点での政策でございます。

せっかくここで実証炉を造っても、これも複数の委員の方から御指摘ありましたけど、民間が主体となって、事業として行っていく成立性が見通せなければ、まず、技術として国が持っているといつても結局これが民間にちゃんと伝わっていないか。民間が投資をしたいという形の産業として育ってくれなければ、実証炉を造ってもその先がつながらないという問題があると思いますので、ここはやはりこの段階でもちゃんと民間資金が入って、事業として成立するという見通しがちゃんと得られてこそ、初めてこの先のステップに進めるのかなと思っております。

ジェネシスマッショナリには実はもう一つの側面がございまして、具体的にアメリカではAI、それからクオントム=量子コンピューティングとセットで、新しいアメリカの産業としてつくって育てていくというミッションの下につくられたエネルギー政策の中で、革新

原子力のようなものも実は扱われているということでございます。幾つかシナジーもあるわけですけれども、こういうこれから世界の産業の芽になるものを我が国としても育っていくという視点で革新原子力というものを見ていただいたときに、一体これからこの国の、特に技術革新、イノベーションを中心とした新しい産業を起こすという視点で、果たして高温ガス炉なり高速炉というのが一つのコアとして育てていけるのか、そういう視点の議論も必要なのではないかと思っています。

原子力というのが、ある意味、非常に成熟してはいるものの先の閉ざされた技術であってはならないと私は考えております。新しい産業としてこの国が育てていくためには、やはりその周りの産業構造としてどのような産業と組んでやっていくか。具体的にいうと、特に電力需要について、ここから先、情報産業との結びつきが必須であると考えている世の中でございますので、そういうところも見ていただければと思っております。

小西からは以上でございます。

○斎藤座長

ありがとうございました。

続きまして、小野委員、お願いします。

○小野委員

経団連の小野です。

まず、高速炉について、詳細な御説明に感謝いたします。具体的な開発スケジュール、開発課題等が非常によく分かりました。高速炉は我が国の核燃料サイクルの確立に不可欠であり、本日御紹介のあった技術ロードマップに沿って確実に進めていただきたいと思います。高速炉本体はもとより、燃料サイクルの確立も極めて重要なテーマであると認識いたしました。

「常陽」の稼働については、我が国が大部分を輸入に頼る医療用R I供給の観点からも活用が期待されていると考えます。この点、一般社会の理解促進にもつながるのではないかと思いました。実証段階から産業並びに医療利用も視野に入れて、規制や制度面、運用面を含めた包括的な検討を期待したいと思います。

続いて、高温ガス炉について、詳細な御説明に感謝いたします。開発が確実に進んでいることを非常に心強く思いました。高温ガス炉については、発電以外の分野である熱供給や水素製造など幅広い用途への活用が期待されています。私自身、鉄鋼業をバックグラウンドとしておりますが、鉄鋼業の視点から見ても、もし今後、国内で水素還元製鉄を実現しようと

した場合、高温ガス炉は非常に有望な水素供給元と考えられ、その実装には大変期待しているところです。

先ほどコストの話が出ましたが、そこで述べられていたコストは、たしか検討当時の為替レートや現在の還元剤である原料炭の国際市況等からはじかれたものであり、当然、為替レートは相当変わっておりますし、原料炭の市況も相当変わっていることに加え、カーボンプライスは乗っておりませんので、当然ながら、言及されたコストとは異なったパリティプライスが出てくると考えております。

一方、2050年のカーボンニュートラル実現からバックキャストで考えると、恐らく2040年くらいまでには実証炉による大量かつ安定した水素製造の開始が必要となりますため、今から速やかに実証炉の立地や事業体制を決定する必要があると思っています。

加えて、熱や水素の供給源としての可能性を踏まえると、それらを消費する需要地との近接性が重要となり、高温ガス炉固有の安全性を反映した安全基準、規制の設計が必要であると考えます。将来の実用化に向けてはバックエンドプロセスの確立とともに、より実装時に想定される課題に関する研究開発を進めることも重要であると考えます。

最後に、共通する課題として、他の委員もおっしゃいましたが、高速炉、高温ガス炉に共通する課題が、国内の原子力人材の不足や、サプライチェーンの問題かと思います。実用化を進める上で、技術開発と並行して人材基盤の維持強化及び企業横断的な体制構築が必要だと思います。既存原子力の活用はもとより革新炉開発についても、次代につなぐ国策として、しっかりと進めていただきたいと思います。

○斎藤座長

ありがとうございました。

それでは、続いて、浅沼委員、お願いします。

○浅沼委員

いろいろ御説明ありがとうございました。海外を含めて非常に規制のスピードが速いなというのは印象としてありました。松久保委員からの御説明でその辺の裏事情みたいなものが分かって少し納得したところもありますが、日本国内としても、いざ、もう少し設計が進んでいく段階で規制が間に合わないとか、共通理解が伴っていないというのは非常に問題かなと思うので、現在、対話を進められているということなので、より着実に計画が進められるように進めていただきたいなと思っています。

もう一つ、私、実施主体の件で、ガス炉のほうで茨城県が要望書を提出されたということ

で、すごく前向きな捉え方をされているということですばらしいなと思ったんですが、実は今年に入って、ある県で核燃料サイクルの話をしてほしいと言われて核燃料サイクルの話を一般の方にしたんですけども、そのときに実は高速炉の実証炉建設に向けて大分話が進んでいるんですということを言ったら、原子力発電ですとか、燃料サイクルに大変強い関心を持っておられる方ですら、その事実を御存じなかったです。実施主体はどうするかとか、立地地域をどうするかという話が出てきたときに、そういう高速炉の開発が行われているということが地元の方が御存じなければ突然降って湧いた話になってしまって、なかなか理解が得られないのではないかというのがちょっと懸念されています。

なので、新聞等の紙面でも核融合に関しては非常にたくさん情報が載っているんですけども、高速炉、ガス炉、実証炉開発に関してはあまり目に触れる機会がないので、来年、2026年度に燃料選択されるということですので、そういった何か大きな動きがあるタイミングで、ぜひいろいろな方に広く知っていただけるような取組をしていただけたらいいのかなと思っております。

私からは以上です。

○斎藤座長

ありがとうございました。

それでは、一旦オンラインに行きたいと思います。大島専門委員、お願いします。

○大島専門委員

大島ですけれども、ありがとうございます。

今回ロードマップの具体化に向けました情報提供をいろいろありがとうございます。現在のロードマップは皆さん御存じのように技術開発の視点から作成されたものですから、やはり国内外の情勢・動向を勘案しまして、より現実感を持って具体化していくことが非常に大事だと思っております。その際には当初CO₂削減への貢献度が非常に大きかったんですけども、複数の委員の方のコメントにもありましたけれども、やはり経済／エネルギー安全保障とか、実用化に向けて民間事業者が実施主体に手を挙げられるような事業環境整備であるとか、さらには人材確保・育成といった観点でもよくよく整理して取り組んでいくことが大事だと思います。

本日は高速炉、高温ガス炉の報告にありましたように、GX予算を活用して、それぞれの技術開発は着実に進められていると認識しておりますけれども、これは私、以前も申し上げましたけれども、高速炉、それから、高温ガス炉の場合は燃料も含めて長期にわたってもの

づくりの機会がちょっとなかつたというところもありまして、残念ながらメーカーの撤退とかサプライチェーンの一部が厳しい状態にあることは事実でございます。

また、人材につきましても、例えば大学における教育課程が消滅しているところも少なくなくて、我々としても人材確保、育成、さらにはサプライチェーンの回復、維持、こういったものについては少しでも早く手を打たなければならない課題だという認識でございます。この辺は深掘りすると革新炉ワーキンググループの範疇を超えてくるのかかもしれませんけれども、こういった点につきましても、皆さんのお知恵を拝借しながら、国際協力の活用も視野に入れて、何らかの議論、提案が今後なされていくとよいと思います。

それから、ロードマップの具体化、精緻化には、やはり規制の予見性の確保、それから立地がポイントになると思います。

高速炉も高温ガス炉も実用化に向けて、その特性を最大限に引き出すには、それぞれ安全上の特徴を勘案した適切な規制基準が必要でございます。現在、私ども J A E A では実験炉であります高速実験炉「常陽」とか、それから先ほど紹介ありましたH T T R、これに関する複数の審査に実際対応してございますけれども、やはりその辺りがないために、軽水炉をベースに議論が進んでおりちょっと苦労するところが正直ございます。

本日の報告では規制基準の整備に向けた活動も報告されていますけれども、I A E A とか、それから、米国等の国際動向をしっかりとフォローしつつ、各炉型の特性、アドバンテージを取り込んだ適切な規制基準を可能な限り早期に策定して、予見性を確保していくということがロードマップの具体化において非常に重要であると考えます。

高速炉ロードマップにつきましては、単に実証炉の運開とか、それに必要な燃料製造、再処理技術の開発、施設整備ということだけではなくて、例えば燃料再処理とかプルトニウムバランスといったものを勘案した軽水炉サイクルとの共存という、より広い視点から導入の在り方とか、タイムラインをどうするかとかいったものを現実的に検討していくことが非常に大事かと思います。

私のほうからは以上になります。

○斎藤座長

ありがとうございました。

それでは、会場の高木直行委員、お願ひします。

○高木（直）委員

では、私からは社会実装の課題という観点から 3 点述べさせていただきたいと思います。

1つは「資源とバックエンド」という観点です。現在、中国他複数国が原子力発電を増やしているところで、ウラン消費は増えています。カーボンニュートラルの目標を日本は掲げておりますが、それは達成すればそれで終わりでなく、その先も持続しなければいけない。当然そういうものであります。そういう意味で、これからウラン消費が増え続けることが予想され、やはり資源の問題というのを考えておかなくてはいけない。最近資源論への視点が少し弱まっているのではないかと思われます。炉型戦略というのはそもそもそういった観点で考えていかなくてはいけないし、バックエンドに関しましても整合性のある、世の中に納得いただける処分方法というのを考えていかなくてはいけない。

このバックエンドに関して。完全なリサイクルを目指す高速炉サイクルと、一方のガス炉というのは、まだサイクル方針がはっきり論じられていません。それはワンススルーでいくのか、またはリサイクルするのか、方針をもう少し明確にしていかないと、社会に提示したときに全く違う概念が2つ並ぶことになります。それらが同時並行で進められているということに違和感を感じられるのではないかと思います。

2点目は、「実施主体の本気度」です。高速炉はこれまで軽水炉に統いてサイクルを回し高速炉に行くというのは、電力の考えでも、方針でもありました。ガス炉についてはまだ実施主体も炉の役割も明確になっておりません。高速炉サイクルの電力側のスタンスにしても、これは30年前とあまり状況が変わっていないかもしれませんのがその本気度、いざ本当に商業炉として導入するといったときに、そういう覚悟、体制があるのかということも社会実装の大きな課題と思料します。

以上をまとめた3点目として、国として「一本筋の通った政策」が必要です。一方では最終処分する廃棄物の量や発熱量を減らし、処分面積を減らすためにマイナーアクチノイドを回収し燃やしますといっておきながら、一方はワンススルーのサイクルを考えているのでは筋の通った方策ではない。国民も納得できないと思いますので、一本筋の通った国の方針を示していくことが必要だと思っております。

以上です。

○斎藤座長

ありがとうございました。

それでは、オンラインの大野専門委員、お願いします。

○大野専門委員

ありがとうございます。私からは2点申し上げたいと思います。

まず、技術、工程に関してです。高速炉プロジェクトの推進は今後の高速炉開発に伴う関係産業全体の実力涵養に寄与するものといたしまして、大きな期待を寄せております。資料2に概念設計の全体工程を御提示いただいておりますけれども、製作、建設までの全体工程もお示しいただけますと、産業界といたしましても活気づくかと思いますので、ぜひお願ひしたいと思います。

また、高温ガス炉につきましても、実用化に向けた技術開発の一層の進展を期待しております。資料3にお示しいただいております高温ガス炉の開発スケジュールでは、2030年から製作、建設を開始するということになっておりますけれども、例えば環境影響評価の開始時期ですとか、原子炉設置許可申請時期等の手続も含めたロードマップとして御提示いただけますと、関係者が共通認識を持って備えることが可能になるかと思います。

2点目が人材面、教育面に関してです。こうした実証炉開発、建設は、我が国の原子力人材基盤を再構築する重要な契機になると考えております。産業界では若手人材の確保に課題を抱えていらっしゃる企業様も多く、将来の担い手育成は共通の関心事項でございます。その意味で、具体的な実証プロジェクトが進むことは、若い世代に将来のキャリアを描ける材料を提供できる点で大きな意義があると考えております。

技術の内容や開発の意義、事業の進捗などを次世代層に分かりやすくアピールしていくということも重要でありますし、そのようなアピールは国民の理解にもつながるものかと思います。

また、実証炉の開発プロセスは、若手人材が実際の現場で学び、参加できる貴重な機会となります。現場に根差した学びの機会が広がるということは、長期的に原子力技術を支える人材確保にも寄与するものと認識しております。

以上になります。ありがとうございました。

○齊藤座長

ありがとうございました。

それでは最後になりますが、岡田専門委員、お願ひします。

○岡田専門委員

ありがとうございます。本日、高速炉の開発というところは原子燃料サイクル全体を見ていく上でも国として長期的視点に立って、一貫性を持って取り組むべき非常に重要な課題というところで認識しているのですけれども、今日の御説明で、実証炉の概念設計の各種課題に対して研究開発がJAEAさんのほうで着実に進めさせていただいているということが分

かり、本当感謝申し上げます。また、高温ガス炉のほうにつきましても、国内外で研究開発が着実に進められているということが分かりましたので、こちらもありがとうございます。

2050 年のカーボンニュートラル実現に向けて、電力として新增設、建て替えを行う際にガス炉も選択肢の一つになり得るとは思いますが、熱、水素というところが結構メインになってくるようなところもあると思いますので、熱、水素を必要とするユーザーのさらなる巻き込みみたいなものも必要になってくるかなということを感じました。

また、本日の資料の中で、革新軽水炉側のほうで電気事業者が規制基準に関する意見交換を進めているというところは御紹介いただいたと思うのですけれども、やはり高速炉、実証炉においても規制の予見性といったものは重要な課題でして、研究開発を進める上で原子力規制庁さんとの意見交換の結果をちゃんと概念設計にフィードバックしながら進めることが、設計の手戻りですとか、それに伴います工程遅延のリスクですとかいうところを減らす観点で望ましいかなと思います。

また、2028 年度の実証炉の基本設計、許認可手続への移行判断におきましても、規制の予見性に目途が立っているということは非常に重要で、今後のスケジュールを考えていきますと、ちゃんと規制の対応も 2028 年度までに完了していくというところが望ましいと思いますので、既に始めていただいているところもありますけれども、例えば今のサイクルプロジェクト推進室さんのほうが規制対応の代表となって、そういう予見性向上に向けて進めるのも一案かなと思います。これは実証炉本体に限った話ではなくて、燃料製造ですか再処理のほうについても同様に対応が必要かなと思うところです。

また、高温ガス炉のほうの御説明で、課題に人的リソースの話もあったかと思うのですが、高速炉のほうも同じく燃料サイクルの技術ですとか、「もんじゅ」での経験ですとかいうところを持っていらっしゃる J A E A さんの人的リソースは非常に重要となると思っていまして、そういう有識者をちゃんと実証炉のプロジェクトに集めて推進していくといったことも大事かなと思っています。それに向けて事業者としても、先ほど本気度という話もございましたけれども、ちゃんと推進室への、今、既に人的支援を行っているところではございますが、高速炉の戦略ロードマップに基づいて、軽水炉の運用で培ってきた経験だとかノウハウというところをしっかりと生かし、引き続き事業者としても協力を進めたいと思っております。

最後に、既にこれから進めていく上での論点みたいなものはいろいろキーワードが出ているかと思いますが、振り返りますと、全体、規制の予見性を向上していくということです

とか、国による事業環境整備をしっかりとしていくだとか、サプライチェーン・人材を維持、強化をしていくと、あと経済性なんかも踏まえて、原子力発電の見通し・将来像の整合、連動みたいなところをどうきちんと細かく整備していくかということが、これから必要になってくるかなということを思いました。

どうもありがとうございます。私からは以上です。

○斎藤座長

ありがとうございました。

時間が来ているんですが、少しコメントに対して事務局及び JAEA から回答を手短にお願いしたいと思います。まず、事務局の宮下室長、お願いします。

○宮下原子力技術室長

様々な御意見いただきまして、ありがとうございました。次回 1 月の会も高速炉と高温ガス炉の会議でありますので、その際にもしっかりと返させていただきたいと思っております。

一個一個話すと長くなってしまうので、私からはこの辺にしておきます。

○斎藤座長

それでは、続きまして、JAEA の安藤室長からお願いします。

○安藤高速炉サイクルプロジェクト推進室長

いろいろなコメント、どうもありがとうございました。幾つか御質問がありましたので、そこはまた改めて次回お返したいと思います。

1 点、高速炉の開発状況が一般の方に響いていないという御発言があったと思いますけど、まさにそれは我々感じているところでございまして、どうしても今、技術開発に注力して、外側の皆さんに発信していくところが少し不足しているかなというのは反省しているところですので、今日のコメントも踏まえてしっかり対応していきたいと思います。ありがとうございました。

○斎藤座長

それでは、続きまして、坂場室長、お願いします。

○坂場高温ガス炉プロジェクト推進室長

具体的に細かい話は次回回答させていただくことにしまして、特に水素のコストに関しましては、やはり 2050 年というのは今と全然価値観が違うだろうと。すなわち炭素税などを考慮した場合、現行、日本の場合 300 円弱ですけれども、ヨーロッパの一部は既に 1 万円、あるいは 3 万円とかになってきているわけです。私どもの評価の中で 3 万円台、IEA

とかO E C Dの評価で3万円とか、あるいは個別の評価で10万円という評価もあるわけです。

そういうた今とは全然違う社会が来たときのコストとしてどうなるかを考えつつ、さらにパリティコストとしてどうなのかといったようなことも、次回以降、議論させていただければと思っているところあります。

以上です。

○斎藤座長

ありがとうございました。

本日少し時間がなくて、最後、議論が十分煮詰まらなかつた部分ありますが、次回また継続して議論させていただきたいと思いますので、よろしくお願ひいたします。

本日、ロードマップの改定につながる様々な意見が非常に出たかと思います。多くの部分は重なる部分もございまして、特にこれから主体を選んでいく中で、国と民間の関与のバランスはどうなっていくのか、あるいは、上位のエネルギー政策、産業政策との関連の話が出ておりましたし、そういうたところがこれからロードマップに入ってくるというのは議論の論点の一つになるのではないかと思います。

また、あわせて、やはりこちらも高速炉、ガス炉両方ともサイクルとの整合性だったり、あるいは燃料サイクル自体の成立性、サステナビリティの話というのが出ていたと思います。そういうたところもこれから単純に技術の点だけではなくて、ロードマップに入していくべきものなのかなと思いましたし、やはり共通して、これはいろいろなところで言われておりますが、全体としてのサプライチェーンですか人材育成、これから様々な形で人材の取り合いになってくると思いますので、その辺りのところでこれはどういうふうに考えているのかというのは非常に大きな点としてあろうかと思いました。この辺りは次回また継続してぜひ議論していきたいと思いますので、次回も活発な御議論をよろしくお願ひします。

それでは、一旦ここで事務局にお返ししたいと思います。

3、閉会

○宮下原子力技術室長

ありがとうございます。事務連絡でございます。

先ほど申し上げたとおり、もう既に委員の皆様にはスケジュール調整させていただいておりますけれども、1月下旬でまた革新炉ワーキンググループを開きまして、今日の議論の続きをさせていただければと思っております。正式にはまた御連絡させていただきますので、よろしくお願ひいたします。

○斎藤座長

それでは、これをもちまして、第10回の革新炉ワーキンググループを閉会といたします。
本日はありがとうございました。