

高速炉開発会議戦略ワーキンググループ（第10回）

日時 平成30年6月1日（金）15：02～16：53

場所 経済産業省本館17階国際会議室

○村瀬部長

それでは、時間になりますのでそろそろ始めたいと思います。

本日は英語の同時通訳をお願いしております。お手元の黒のレシーバーの上に白のインターフォンを差し込んでいただいて、左上のダイヤルを回して、日本語を聞きたい方はチャンネル1、音量は右上のダイヤルで調整できます。不具合等が生じた場合には事務局職員までお声かけいただけますでしょうか。

それでは、ただいまから第10回の戦略ワーキンググループを開催いたしたいと思います。本日はご多忙の中ご参集いただき、まことにありがとうございます。早速、1つ目の議題に入らせていただきたいと思います。

本日は、フランス原子力庁（CEA）で第4世代炉の研究開発を担当しておられますニコラスデヴィクトールプログラムマネージャー様をお招きをしております。デヴィクトール氏からはフランスのサイクル政策の現状や方針、それから高速炉開発、特にASTRID計画についての詳細等につきましてご説明をいただきます。

早速ご説明をいただきたいと思いますのですが、本日はカメラが入っておりますので、冒頭カメラ撮りのお時間を30秒ほどいただきたいと思います。しばらくお待ちください。

よろしいでしょうか。それでは、撮影の方はご退室をお願いできますでしょうか。

引き続き傍聴は認めておりますので、その前提でお願いいたします。

それでは、デヴィクトール氏からご説明をいただきたいと思います。デヴィクトール様、よろしく願いいたします。

○デヴィクトールプログラムマネージャー

村瀬様、また皆様方からこのような場でフランスの高速炉に関する戦略政策についてお話をさせていただくこと、またこうして皆さんの戦略ワーキンググループでお話をさせていただくことを非常に光栄に存じ上げます。

まず、私どもはフランスの原子力政策を2010年～2017年にかけて、まず紹介をしたいと思います。この高速炉の計画について話をします。

まず、フランスでは2015年にエネルギー移行法という法律に基づく枠組みができました。これによりまして、将来、原子力を基幹電源とするということを確認しております。これはMOX燃料、特にプルトニウムのリサイクルをベースにするということで、まずは燃料サイクルを軽水炉で行うことになりました。このプルトニウムリサイクルによりまして、将来の持続的な原子力エネルギーを確実にするということです。さらに、ウラン貯蔵の最適活用、またプルトニウムの貯蔵量や産業廃棄物の量や放射能など最小化できると。このため、燃料サイクル並びに高速炉のブレークスルーが必要になります。そして、2010年からのASTRID計画で、このR&Dをサポートするための計画です。

フランスには多年度のエネルギー計画があり、それが5年ごとに改訂されております。次は2018年の終わりに更新されることになっております。クローズドベースの燃料サイクルの戦略をここでは提唱しております。フランスは主概念として、湿式法をベースとした再処理、例えばラアグのほうでもやっておりますけれども、酸化物燃料の処理に使っていきます。そこではASTRIDで代表されるSFR(ナトリウム冷却高速炉)が使われます。さらに、他の周辺技術の開発も進めていきます。

CEAがまさにそのリーダーとしてASTRIDのプログラムを引っ張っております。フランスの政府とCEAで2010年に合意をしており、それを元にしております。この合意内容は、2010年から2019年のASTRIDの基本設計検討までが対象になっております。ここには4本の柱がありまして、それをスライドで説明しております。このプログラムでは、フランスが今まで培ってきた、ナトリウム冷却高速炉の技術のパフォーマンスの実証をします。スーパーフェニックスは電気出力1,200メガワットでございましたが、こういったような経験、またそれに先立つフェニックス(電気出力250メガワット)の経験や研究開発を生かしていくということになります。

ASTRIDのプログラムはフェニックスが閉鎖される2009年よりも前から始めております。多くの活動がこれまでも実施されておりました、例えば新しい世代の数値シミュレーションのツールや、実験設備などもかなり整備されております。

ASTRIDは、技術の実証炉という位置づけで、産業ベースで使えるもの、またサイズは安全や信頼性、運転性能、さらに将来の商業炉としての経済性も実証したいということで考えております。

このASTRIDによりましていろいろな技術革新、例えば過酷事故の緩和とか、さらに運転中の検査をナトリウム環境下で行ったりというようなことを実現していく予定です。

16社ほど産業界からのパートナー企業が参加いただいております、日本の企業も含まれて

おります。各社お持ちの経験やノウハウを活用しながら、フランス、日本の実験施設、さまざまなものがありまして、これらを活用してプログラムを支援するということになっております。

ナトリウム冷却高速炉の研究開発ということで、1996年から国際協力が始まりました。さらに2014年には三菱重工さんと、さらには原子力機構なども一緒になってフランスと日本で持続可能な原子力エネルギーを使っていく、高速中性子炉サイクルの研究も始まりました。このように研究や設計などについての貢献がいろいろなされておまして、このページでまとめています。

特に強調したいのは、この協力関係の幾つかの側面です。フランスからこういったようなことをしてきたのか。まず、日本にも協力・貢献してもらい、デザインの分野で質を高めております。日本の実験施設を使ってフィージビリティ検討もやっております。これによって非常に前向きな形で的確な研究の価値ある実験ができております。

また、共同実験のプログラムによって、炉心を模擬したナトリウム中の熱流動試験検討、これはプランドル2(PLANDTL2)と言われておりますけれども、これらも最近始まっております。また、常陽が再稼働することになれば、例えば、新しい被覆材や、さらに吸収材(原子炉制御用)などの開発にも役立ちます。

このように、日本の技術や知識、知見、また実験設備などが非常にASTRIDでも重要になっております。

それでは、フランスの状況として2017年末、それから今後のプログラムについてお話をさせていただきます。

フランスの新政権は2017年の夏にエネルギー政策を含めた公共政策のレビューということを発表いたしました。その中に2つポイントがあり、まず高速中性子炉の商業的な展開は、現在のウラン市場の状況を鑑みても、それほど緊急性を要しないということになりました。これは既に日本の電力にも共有している結果だと思えます。

そして、新しい状況の中でフランス政府はCEAに対して、現在のASTRID計画の定義について質問をしました。その質問に答える形でCEAは、ナトリウム冷却高速中性子炉シミュレーション計画ということを行ったわけですが、その中には電気出力100~200メガワットの実証炉が含まれています。このSFRのシミュレーション計画は、今後の継続的な年度予算に沿って行います。

このナトリウム冷却高速中性子炉のシミュレーション計画というのは、ASTRID計画と基本的にその目的は同じわけですが、長期的にクローズド燃料サイクルを維持し、また安全かつ競争

力のある工業規模のSFRのネットワークを維持するというのがその目標に入っております。

この経済的な側面ということを考えなければいけません、1つは発電、もう1つは燃料サイクルすなわちプルトニウム、ウランという核分裂物質の管理、この2つを考えて、経済性を見ていかなければいけません。

このSFRシミュレーション計画によって以前のASTRID計画よりも安いコストでデータを取得できる必要があります。そのデータによりまして、1ギガワットの商業炉の設計及び許認可を取得できる、なおかつこの稼働データ、実績等の取得に関しては電力の要求する仕様を満たした形にするということが必要です。

例えばフランスで言えば60年の寿命、稼働率は80%、それから使用済みMOX燃料からのプルトニウムと酸化物分散強化型被覆管による燃焼度120ギガワット/トンHMのウラン、プルトニウム酸化型炉心、そういう仕様を満たすということです。

この整備計画ですけれども、これは検証済みの数値シミュレーションツールを開発し、商業規模のSFRの設計及び許認可をスピードアップさせることが可能になります。これは今まで実証炉の運転もしくはそのフィードバックの経験や実験計画などから得られたデータがあるからです。

フランスでは実用化に関しては2060年をターゲットにしております。そして、2080年ぐらいに商業的なSFRの稼働が始まるように出資を行っていくという決定をしていくこととなります。これは日本の電力の方も考えていらっしゃるのかと思います。

このスライドなんですけれども、SFRのシミュレーション計画における応用の方法論を説明しております。まず第一段階といたしまして、問題を特定する。すなわち、発電仕様について、商業的なSFRを開発するに当たってどういう問題を特定しなければいけないかということです。

このEDFの仕様のサマリーをここでご紹介しているんですけれども、その経済性の改善に係って幾つかの問題を申し上げます。取り替えないコンポーネントに関しては60年の寿命。そして、燃料取扱いのシステムのパフォーマンスを改善すること、最適化すること。また、電力変換システムの性能の強化、特に蒸気発生器の性能の強化。また、その設計コードの最適化。また、新しい製造方法もしくは建設法を用いていくということなどです。

ほかにも安全の強化ということが関係していますけれども、例えば、サイト外への放射性物質の放出を伴うような過酷事故が起こらないように、実証していくということなどです。また、その崩壊熱除去技術、除去の仕組みの改善、またナトリウムの存在する環境でも工業性能に達するような共用中の検査ができるようになるということです。

これらを解決する答えとして、3つの柱があると考えています。1つは、数値シミュレーション計画です。この目標というのはすべての状況、すなわち通常運転、それから事故の状況、何か起こったときの状況下の運転というものを考えて、堅牢な安全の実証を行っていく、実証していくということです。こうしたシミュレーションツールというのは、予測可能性があることが重要になってきます。それによって設計並びに建設のフェーズを短縮し、そして後には運転を支援し、メンテナンスについても最適化していくということです。ハイパフォーマンスコンピューティングが進捗してくると、これは助けになると思います。

この数値シミュレーションツールの検証というのは、フランス、日本、そしてほかの海外のパートナーにおける設備施設における実験計画が活用されます。具体的な実証炉を含め、次のスライドでご説明していきたいと思います。

このシミュレーションツールの予測可能性の能力を利用しまして、核データもしくは材料特性といったような基礎科学に関する知識も獲得していきます。

次のスライドですが、ほかの観点からこの3本の柱の関係を説明したものです。これは同時に実施されるわけですが、先に申し上げたようにSFRのシミュレーション計画によってデータの獲得が可能になります。それによって、1ギガワットの商業炉を発電の仕様を満たすような形で設計、それから許認可を取得することができる。そしてまた、ウラン、それからアクチニドの管理ができるようになるということです。それはプルトニウムを燃やしたいという意図があればということにはなりません。そして、大規模な核変換の戦略にも即した形になります。

マルチフィジックス、それからマルチスケールのシミュレーションツールを開発する必要があります。そして、デザインコードの最適化。これらの検証のため、基礎研究を他の実験設備の中でやっていく、New-ASTRIDの中でやっていく実験計画でやることになります。

New-ASTRIDの開発というのは、設計オプション、現在のオプションの中で成熟したものを使っていきます。スライド12です。

2018年の段階で、これまでASTRID計画でやってきたいろいろな成果を使うことができます。フランスと日本の間でもこれまで様々なプロジェクトをやってきました。常陽などの知見が蓄積されており、データベースもあります。また、数値シミュレーションツールもあります。さらに、実験設備なども構築されています。または今設計中のものもございます。これによりましてSFRのシミュレーション計画をサポートするアクティビティがそろってきている状況にあるかと思います。

フランスのほうで設計をし、また許認可をし、運転をした大出力のSFR、いわゆるスーパー

フェニックス、1,200メガワット級のものがあります。これはラブソディーやフェニックスのフィードバック経験をベースに建設・運転しました。さらにシミュレーションや実験計画にも貢献しております。非常に具体的な実験データベースを持っており、熱流動なもの、また中性子に関するものなど、これはスーパーフェニックスをベースにいろいろと蓄積があります。さらに、フェニックスの廃炉についても知見を獲得しています。

大型炉心を商用ベースのSFRで使用する際は、モンテカルロ法の解析コードを活用することもできますし、またスーパーフェニックスのニュートロニクスに関するデータベースなどの確性の判断に使えます。New-ASTRIDで照射を行うことができます。さらに酸化物分散型ODS被覆材の材料的確性の判断にも使えます。

このように、さまざまな中性子工学のモックアップ、これはゼフィール(Zephyr)施設などをベースにやることができます。さらに、60年という耐用寿命の中で、全く交換が必要ない材料もあります。これらの解析に関しましては、フェニックスやスーパーフェニックスにおける分析が使えます。さらに、CFDといった熱機械学的なモデルなどを使って検討もできます。さらに、原子力プラント全体の構造挙動なども考えながらできます。そのときに高性能コンピューティングなど、また実験などを使って検討ができるとともにNew-ASTRIDでの検討ができるかと思えます。

また、大規模のコンポーネントを開発するためには、製造並びに運転の経験からのフィードバックが必要になります。わからないことが出てきた場合には、試験をいつでもできる状況が得られるかと思えます。

新ASTRIDの仕様におきましては、過酷事故やナトリウム漏えいといった状況に対するさまざまな条件を、今まで同様踏襲しております。

炉の出力に余り影響のないようなトピックもほかにいろいろと考えられております。例えばナトリウム下における検査、またナトリウムの漏えいに対する対応、さらに過酷事故の解析など、これらも新ASTRIDで実験ができます。

さらに、設計コードの最適化、例えばRCC-MRxとかJSMEなどが対象となりますが、こういったものの最適化もすることになっています。

次のスライドについて、様々な目的がありますが、それらをどのようにSFRシミュレーション計画で統合しているのかをあらわしております。新ASTRIDでは、燃料の性能を実証する能力、これはさまざまなオプションやまたさまざまな事象の管理、例えばプルトニウムのマルチサイクルやプルトニウム燃焼に使うのか、核変換をどう扱うと考えるのか、またフランスや日本の

コアなど、どのようにしてコンポーネントとともに実証していくのか、こういったようなものをしっかりと考え、またそれに対応することができるようになっていくかと思っています。

SFRの挙動に関してのデータを集めるための計装類など、実際の条件をベースに、例えば照射条件だとか総合的な実証をする必要があるときにしっかりとデータをとれるような計装ができるかと思っています。

新ASTRIDでは、実際の条件、特に産業用途でSFRを使うときの状況を実証できるかと思っています。特に検査や修理保全など、稼働中の状況でも検証ができると。さらに、長期にわたってどういったパフォーマンスができるのか、SGのパフォーマンスを見たり、送電線網につながっているときの状況をベースに実証ができます。

さらに、これまでフランス、日本でやってきた内容も、技術的には陳腐化することもあります。特に更新された新しい安全や規範、その枠組みなどを、各フェーズで検証していく、フィードバックをかけていく必要があります。将来のSFRなどでそういったような継続的な確認ができ、さらにはスキルの保全というようなことも必要になります。

技術サイド、メーカー側、サプライチェーン、保守管理、またさらに安全当局、規制当局並びに研究開発などのスキルを維持していくという意味でもプロジェクトが重要かと思っています。

2018年はまさにこのロードマップを準備する年です。その目的を明確にし、それからコストの評価、新ASTRIDの仕様などによって、こういったことが意味を持つのかということも明確にすることになります。

レポートをCEAからフランス政府に2018年末に出します。そして、2019年にプログラムの決定を仰ぎます。それが良い決定になった場合には、この2019年にSFRのシミュレーション計画を使っていくということを決定します。そして、スタートアップが2020年になります。SFRのシミュレーション計画は5年のフェーズごとに行われていきます。そして、その間のロードマップがつけられます。最初のフェーズに参加したからということで、その次の参加を縛るものではないです。

第1回目のフェーズである2020年～2024年では、前もった予測のプログラムということで、例えば先ほど説明した数値シミュレーション、研究開発の活動、さらにNew-ASTRIDのデザインが終わった段階で、その後詳細設計に入る準備をするということになります。マイルストーンを2024年に作ります。そして、さらにその先の建設への許認可を得るということを目指するための詳細デザイン設計に入るということになります。

フランスで提案しておりますのは、日本に是非ともメインの海外パートナーになっていただ

きたいということです。特にこのSFRのシミュレーション計画について。既に2か国では技術協力を2014年に合意しております。

2020年～2024年間の共同のプログラムの例として、これはもし両国が協力を続けるという決定をしたとしての話ですけれども、まず最初に、数値シミュレーションツールを共同で開発し、拡大していくということです。これは例えばSIMMERV、それからSEASONプラットフォームの開発、過酷事象対応で行っていくということです。

次に、実験的なプラットフォームにおける共同のロードマップの実施、例えばAtheNa、MLT-3、常陽、これは日本ですね。あとはPlinius2、これはフランスです。これらを使った共同の実験計画を追及するという。それから、New-ASTRIDの設計、研究の共有です。

2018年、日本が出す答えというのはフランスの政府にとって重要なインプットとなります。フランスはパートナーシップを拡大する準備ができております。米国とフランスは2018年4月に趣意書を調印いたしました。これはSFRの将来的な協力の可能性についてのものです。CEAはDOEと2018年から協力を開始しまして、SFRのシミュレーション計画に米国が参加する可能性について検討していきます。

どうもありがとうございました。

○村瀬部長

ありがとうございました。

デヴィクトールさんからの非常に包括的で具体的なお説明いただきました。本当にありがとうございます。

これから質疑の時間に入りたいと思いますが、ご発言をいただける方はネームプレートを立てていただくか、もしくは私のほうに合図をいただければと思います。

それでは、増子さんお願いします。

○増子審議官

ご説明ありがとうございました。

ちょっとお伺いしたいのは、従来のASTRIDのミッションとして、放射性廃棄物の減容化、有害度の低減というのはかなり大きな柱になっていたと思いますが、その新しいASTRID計画でもそのような考えでいいかというのが1点目。

さらに、放射性廃棄物の減容化とか有害度の低減をする上で、やはりマイナーアクチノイドの抽出ですね、分離というのが重要になってくるんですが、その辺の再処理工程、分離工程、これをどういうふうにしていくのか、その具体的計画があるのか、その辺をまずお聞かせく

ださい。

○デヴィクトールプログラムマネージャー

増子さん、ありがとうございます。

ASTRIDでは核変換用燃料の適正評価を行っていくということです。それは炉の開発とともに
行っていくわけですが、分離、それから核変換に関してのプログラムも実施しております。
そして、燃料集合体を明確化して、アメリシウムやほかのマイナーアクチニドの核変換を
やっていきます。そしてまた、特定の燃料集合体を、プルトニウムに焦点を当てて、プルトニ
ウム燃焼集合体の的確付けを行っていきます。

それから、3番目に燃料パフォーマンスに関して言いますと、プルトニウムのマルチリサイ
クル、プルトニウムの同位体組成がどうであれマルチリサイクルをするというその3点でござ
います。

○村瀬部長

では、私から確認とご質問をさせていただきます。

確認としては、この新しいASTRIDプログラムに変更される背景、どういったきっかけで新し
い計画のほうにシフトされようとしているのかということ。

それから、これも確認ですが、将来に向けて経済性のある、商業的な炉の建設に向けた政策
をとり続けるというフランス国のコミットメントは引き続き強固なものであるという中での取
組なのかということ、確認をさせていただきたいと思います。

あと質問ですが、新しいプログラムの中で100メガ～200メガの実証炉を検討するというこ
とになっていますが、この規模が適切だとお考えになっている理由を簡潔に教えていただければ
と思います。

○デヴィクトールプログラムマネージャー

はい、ありがとうございます。

まず、何がきっかけだったかと言いますと、なぜASTRIDを新シミュレーション計画にしたか
と言いますと、商業的なSFRの展開を遅らせるという決定が行われたということが1つあります。
EDFが去年、2060年以前にはSFRに投資はしないという決定をアナウンスいたしました。このた
め、フランス政府、それからフラマトム(Framatome)とかCEAとかオラノ(ORANO)といったフラ
ンスのパートナー社はいろいろと意見交換をいたしまして、その4つの当事者の中でASTRIDプ
ログラムを調整していこうとなりました。

そして、今後時間をかけて正当性を確認したり、もしくはそのパフォーマンスについて検証

ができる、その商業的な高速炉、運転についてのパフォーマンスの検証の余地、検証する時間があるということがわかりました。すなわち、実験設備に関しての出資ですとか、実証炉の投資についてもう少し調整をすることになりました。

2017年末、そして2018年の初めの時点で分析をいたしまして、その新しい実証炉の出力について評価を行いました。フランスのEDFからその仕様を受け取ったわけですが、使用済みのMOX燃料からのプルトニウムが再処理されて、その産業規模でそのプロセスを検証していくということを考えました。ラアグ(La Hague)再処理工場の改造をそれほど行わなくてできるようにということです。ラアグの設備については軽水炉向けのMOX燃料製造に使われております。この分析に基づきまして、100～200メガワットは適正であるということになりました。今日150メガワットくらいということで検討を進めております。

ちょっと重要なポイントとして、産業パートナーといろいろな検討を行っているわけですが、デザインオプションの事前選択をする中で、経済的な商業炉、高速炉を開発するということを言っているわけです。こういった情報を日本のパートナーの方たちと共有させていただいております。非常に前向きなディスカッションをしております。

この部分の合意も日本のパートナー様のほうも同じ意見をお持ちというふうに理解しております。

○村瀬部長

ありがとうございます。

それでは、産業界サイドからもご意見いただきたいと思います。三菱重工の加藤さん。

○加藤事業部長

三菱重工の加藤でございます。

私どもは2014年の実施機関間協定締結からASTRIDに協力させていただいて、これまで日本の技術をASTRIDに適用するとともに、協力を通じて日本の高速炉技術を向上できたと考えております。

このたび新しいプログラムとなりまして、出力も変更されるということで、もしこのプログラムに参画でき、プラントの概念構築から協力できれば、日本のアイデアをご提示することもできますし、私どももそのような設計機会を通じて技術力の向上が図れると考えております。

もちろん参画するかどうかは、国あるいはJAEA殿との協議の結果を受けてということになりますが、もし参画する場合には双方にとって大変有意義なプログラムになるんじゃないかと考

えております。

○村瀬部長

ありがとうございます。市村さん。

○市村委員長

電事連の市村でございます。

新たな開発計画につきまして詳細にご説明をいただきまして、誠にありがとうございました。

本日説明頂いたフランスのナトリウム冷却の高速炉の開発方針はシミュレーションツールとR&D、そして小型高速炉による実証、これらを通じまして商業炉規模の高速炉建設の技術的な知見を獲得していくというものであろうと理解をいたしました。ですので、この開発の方法は今後の我が国の高速炉開発にとりまして大変参考になる可能性があるのではないかと考えました。

今後も貴国との国際協力を通じまして、高速炉に必要な技術の蓄積ができるのではないかと期待する次第でございます。

○村瀬部長

それでは、青砥理事、お願いします。

○青砥理事

デヴィクトールさん、プロジェクトの内容について説明いただきありがとうございます。

1つ質問があって、もう1つコメントになります。

質問のほうは、これまでと違った小さな出力のリアクターとシミュレーションを組み合わせで商用炉に向かっていくと。その中で自分たちが注目しているのは、これまで貴国フランスの中で経験されたフェニックス、スーパーフェニックスのデータがそのサイジングの評価の中でどう使われていくのかということと、そのためにいろいろなデータベースをもう既に構築されていると思うんですが、そのナレッジデータベースの構築状況といったものももしお話になれるのであれば教えていただきたいと思います。

我々としても、基本的な方向は同じで、かなり今の計算機シミュレーションというよりもAI技術も含めた形で大きな設計に向けた今までの経験を入れこんでいくというやり方、方向はほぼ同様なことを考えておりますので、今後こういう対応の中でまずはお話があったベーシックな部分のR&Dデータを整える。それを踏まえた形のシミュレーションをやりつつ、そのバリデーションやベリフィケーションを実施していく、そのやり方について我々としても一緒の方向で協力していきたいというふうに思っております。

○デヴィクトールプログラムマネージャー

青砥さん、コメントと質問ありがとうございました。

このSFRシミュレーション計画整備プログラムの中で新しいシミュレーションツールを開発いたしまして、新規のデータ、実験データを獲得しようとしています。例えば常陽とかAtheNaとかフランスの施設における特定のプログラムの施設のために実験データを獲得するとともに、過去のデータ、例えばフェニックス、スーパーフェニックスの実験データを活用していくということです。プレゼンテーションの中でも申し上げました。

実験的なデータベースというのを私どもも持っております。その中には生のデータ、その処理されたものだけではなくて、生のデータというのもあります。我々はパートナー、このSFRのシミュレーション計画についてのパートナーと情報共有するという用意があります。

既に提供されている情報はそのSFRのパートナーと共有したいと思いますし、日本、それから米国と協定を結んで実験データをすべてのパートナー間で共有することができればいいと思っております。

このデータをまず最初に何に使うかと言いますと、シミュレーションツールの検証です。物質材料特性、フェニックス、スーパーフェニックス、それからほかの原子炉、ほかの国のものも入れたいと考えています。そして、この外挿の方法論を使って、この新しいシミュレーションに生かしてその予測可能性のモデルというのをつくらうとしています。これは推論的なモデルをつくらうとしています。ほかの国、米国のNダップという方法論ですとか、そういったものを使おうとしています。これは作業プログラムの一貫として、2020年からパートナーと一緒にやっていきます。

○村瀬部長

増子さん、お願いします。

○増子審議官

先ほど100～200メガに至った経緯とか、影響はないというようなお話伺いましたけれども、既に日本の新聞報道等で、もんじゅよりも低い出力で本当に実証炉と言えるのか的意見もあると思うんです。きょうも見ても、社説を書かれるような方々が結構おられるので、その辺端的にわかりやすくご説明いただけたら幸いです。

○デヴィクトールプログラムマネージャー

フランスでも同じような状況がありました。新実証炉は250メガワットのフェニックスよりも小さいじゃないかと。今は100～200メガワットを計画で考えている。我々は、まずラプソデ

イー、それからフェニックス、次にスーパーフェニックスからいろいろなフィードバックを獲得したと思っております。それらとマルチフィジックス、マルチスケールのツールを使って、シミュレーション計画の開発を支援できると思っております。そして、その分析的なプログラムを専用の設備で使っていく。例えばAtheNaとか核データだったらZephyrとか、そういったもので使えます。

また、改善の必要はあります。例えばスライドでご紹介しましたけれども、共用中の試験、ナトリウムが在しているときの試験の的確条件を改善していくとか、それからSGの改善について、我々の分析に基づいてこの100~200という数字が十分であるというふうに考えました。先ほどその燃料、それから革新的な炉心という説明の中で少しこのレンジ、100~200というお話をしたと思いますが、そういった意味で十分であろうと考えました。

それから、もう1つは、背景的な状況としてスーパーフェニックスの設計を考えたときの方法論なんですけれども、これはラブソディーの設計経験を生かしております。これは100メガワットだったんですね。フェニックスは250メガワットでした。なので、小型、出力が小さいもの、それから大きいもの、そのレンジの経験を持っているわけですので、そういったところを全部シミュレーションツールの中に生かしていけるというふうに思っています。

○村瀬部長

ありがとうございます。他にございますでしょうか。よろしいですか。

あと、私からももう1つ質問なんです。今年まだ貴国においても様々なことを検討中だと理解しております、今年にストラテジックロードマップを準備されるというようなことで今日ご説明いただいたと思います。現時点で可能な範囲で構わないんですが、その安全性ですか信頼性といったようなことのターゲット、もしくはコストターゲットといったもので、具体的に現時点で想定されてこの場で言及できることがもしあれば、ご紹介いただけますでしょうか。

○デヴィクトールプログラムマネージャー

2018年に、新しい計画向けに最初の戦略ロードマップを構築したいと思っております。それを政府に対して、多年度エネルギー計画を策定されるインプットとしたいと思っております。SFRのプログラムの進展をベースに考えていきたいと思っております。

シミュレーション計画の目的、それからあと仕様については、まだすべてが固まっているわけではありません。フランスのパートナー間での合意もありまして、今日本のパートナーともいろいろな意見交換をしている最中です。この仕様をベースに、こういった設計のオプション

を選択するのか、さらにその仕様をベースにして最初のコスト見積りをするという状況なので、まだその仕様さえ決まっておらず、ちょっと出せる状況にはまだないと言っていいかと思いません。

もちろんそれについては日本のパートナーの皆さんとも共有化をする機会が出てくると思います。こういった協力、また準備をしていく過程でそういった機会があるかと思っております。

○村瀬部長

それでは、武田室長。

○武田室長

原子力技術庁の武田でございます。デヴィクトールさんにはいつもお世話になっておりまして、今日もありがとうございます。

プレゼンテーションの一番最後に、アメリカとの連携の可能性について触れておられます。先月4月にはSFRに関する将来の協力に関する意図表明も署名されたかと思えますけれども、アメリカとのパートナーシップの可能性、アメリカとの連携から期待すること、もし今の時点でわかることがあればお願いいたします。

○デヴィクトールプログラムマネージャー

武田さん、ありがとうございます。

ジャック (Jacq) 氏、CEAのチェアマンですけれども、2018年4月にアメリカのペリー (Perry) 長官のほうとも合意をしました。エネルギー省の方ですね。米国のほうでは議会のほうで投票、議決をとって、高速炉のプログラムを支援するということを決定しております。その予算をとるということで、そこでCEAと一緒にやることでこのプログラム構築開発の一助にしたいと考えました。

フランスの立場としては、高速炉に関心がある様々な国と一緒にやりたいと。米国の国立研究所などと2012年から協力関係を持ってきたわけですが、この協力を拡大してASTRIDに支援をしていただくということについては、そういった議論が始まったばかりですが、この協力をまずは延長するというようになっております。

そして、基本的な科学、例えば材料データを集める、それからマルチスケール、マルチフィジックスのシミュレーションの構築、そして実験設備の共有の仕様等の項目を考えています。そしてこういった原子炉のプロジェクトとして必ずしもサイクルに関しては同じ見解を持ってはいないんですけれども、どういう形で扱っていくのかということについて話し合いを始めています。シミュレーション計画において米国とパートナーシップをとれると期待しております。

米国との合意をするということはフランスにとって重要です。フランスではクローズドな酸化燃料を使った、それから湿式のサイクルを維持するという方針を持っており、米国とは異なる技術ではありますが、この協力に期待しております。

○村瀬部長

ありがとうございます。他に大丈夫でしょうか。

それでは、時間も迫っておりますので、この1つ目のセッションはこのぐらいにしたいと思います。

改めまして、デヴィクトールさんからきょうは大変有意義なプレゼンテーションをいただきました。心から感謝を申し上げたいと思います。

日本、我が国でもフランスと同様に、2018年を目指して高速炉のロードマップを策定するという作業を進めているところでございまして、本WGはまさにそれに向けた検討の場になります。各国のさまざまな取組をこれまでもこの場でご紹介をいただけてきましたが、今日はフランスの検討状況を非常にわかりやすく詳しくおまとめいただき、またありがたいことに、我が国も含めた形でのパートナーシップについてのご提案もいただいているところでございます。我々もどういった今後協力が可能なのかといったようなことを今日ここにいる関係省庁、それから関係機関、それから事業者とも議論を深める中で、今後の可能性について検討してまいりたいと考えているところでございます。

本日のこの議論は我々の検討に大変大きな貢献をしてくるものになるというふうに確信をしているところでございます。

この論点に限らず、日本とフランスの間では原子力をめぐって様々な協力関係がこれまで構築されてきたというふうに思います。具体的なプロジェクトも進んでおりますし、ハイレベルのコミットメントの中での取組もこれまで進められてきたということかと思えます。引き続き両国の良好な関係が続くことを我々としても心から願っているところでございます。

今日はお忙しい中はるばる日本まで来ていただいてこのようなところでプレゼンテーションをしていただいたこと、改めて心より感謝を申し上げたいと思います。この場にいる者一同から改めて感謝を申し上げたいと思います。ありがとうございました。

○デヴィクトールプログラムマネージャー

こちらのほうこそこのような機会をいただきまして、ありがとうございました。

このプログラムについてご紹介をさせていただき、また日仏間の協力についての私の提案を聞いていただき、ありがとうございました。このSFRだけではありません。おっしゃいました

ようにさまざまな広範囲にわたる原子力の協力が日仏間にはございます。

ありがとうございました。

○村瀬部長

ありがとうございました。

デヴィクトール様は第1部ということで退室をいただくことになってございます。ありがとうございました。

それでは、2つ目の議題に入らせていただきたいと思います。同時通訳はここまでということにさせていただきます。

戦略ロードマップの策定に向けまして、今後獲得すべき技術、時期を明らかにすることが必要になってくるわけですが、技術的見地からも具体的な検討を進めていくということでコンセンサスをいただいたところかと思えます。

その一環といたしまして、FaCTの研究開発成果、それからもんじゅ等から得られた知見、それから最近までのこのASTRID協力から得られた技術と、我が国がこれまでに獲得した高速炉技術の評価について、実務者間で検討・整理を行ってきたところでございます。このたびその結果がとりまとまったということでございますので、高速炉に関するこれまでの技術開発についてということで、JAEAの佐賀山理事長シニアアシスタント様よりご説明をいただきたいと思います。

説明に先立ちまして、原子力技術室長の武田のほうより、本整理の目的やこれまでの経緯等につきまして、資料2を用いて簡単にご説明をさせていただきますと思います。

それでは、よろしく申し上げます。

○武田室長

はい、ありがとうございます。

資源エネルギー庁原子力政策課原子力技術室長の武田でございます。

資料2、我が国が保有する高速炉技術の評価をごらんいただければと思います。

我々この作業をしていく中で将来に向けて高速炉サイクルシステムの実用化に向けて今後獲得、保有すべき技術、これを抽出する必要があるわけですが、その大前提として、今我々が現時点でどのような技術を持っているかということを整理、評価する作業を進めてまいりました。その結果がある一定程度の熟度に達したと考えたものですから、今回報告させていただきます。

資料2の背景と目的のところにありますとおり、常陽の建設以来、もんじゅ、FaCT、そしてASTRIDというふうに我が国は高速炉技術を獲得・蓄積してまいったわけですが、その現状の分

析を試みております。

検討の進め方でございますが、高速炉システム及び燃料サイクルシステムの分野ごとに、これらを構成する主要機器ですとか、評価手法等の技術課題を分類しました。専門的見地から客観的に評価できるよう、技術成熟度の各段階を定義して、これに対して各技術課題の技術成熟度を評価しています。

評価にあたっては、範囲として常陽・もんじゅまでの段階と、その後の実用化に向けたFaCTフェーズ1、ASTRID協力の各段階に分けて検討を行っております。

客観性、中立性を担保する観点から、各分野の専門家の方にもレビューいただいて、そのコメントも反映した上でとりまとめさせていただいております。

それでは、JAEAのほうから専門的な観点からのご説明をお願いしたいと思います。よろしくお願いいたします。

○佐賀山理事長シニアアシスタント

それでは、資料3が全体の進め方等を書いているものですので、これに沿って説明することにしたと思います。

今武田さんのほうからご説明あったように、その目的、検討の進め方はそのとおりなのですが、ここで評価対象としている技術は、酸化物燃料、それからナトリウム冷却高速炉、これに適合した燃料サイクル技術、再処理や燃料製造ですね。それと、FaCTという実用化の検討の中で副概念として位置づけました金属燃料高速炉サイクル、これはナトリウム冷却高速炉の燃料の部分で金属燃料に変わって、それに従って再処理技術とか製造技術もそれに適合したものに變更されるわけですけども、その大きく分けて3種類のことについて評価をやりました。

さっき武田さんのほうからご説明した資料2の2ページですね、ここにTechnology Readiness Levelという指標の説明がございますけれども。これはもともとはNASAで開発された手法で、その後DOEですとかフランスの先ほどのデヴィクトールさんたちのCEAも高速炉とか燃料サイクル技術へ適用してその評価をやっています。

TRLは1～9までに分かれています。それで、1～3というのは比較的ベーシックなその技術の成立性を見極めるような段階ですね。それから、それが大体できるところで、TRL4からさらに上のレベルを目指すんですが、4、5というのは技術の開発段階で、いわゆるコンポーネントですとか設備の開発をする段階ですね。つまり原理的にはできるということがわかったので、それを実際に使えるようなレベルのコンポーネントにするという、そういう技術レベルです。

それから、その上が実証段階、それからシステムの試運転段階とつながっていきますが、要はこういう技術ができるということがわかったときに、その後例えばもんじゅとかフェニックスでいってるところのプロトタイプ炉というのをつくってやるというのは、こういうTRL6、それから7というフェーズに入るわけです。

このような指標をもとに、炉の技術とかサイクルの技術分析をしたということです。

資料3のほうに戻しますが、3ページのところにこれまでの高速炉の流れですね、日本での開発の流れを示します。一番最初に常陽、いわゆる高速炉の炉心の原理的な成立性を確認していく実験炉というのがつくられて、その後もんじゅの段階に移って。もんじゅの段階というのは発電炉としての原理確認というか、発電システムとしての実証をするというものです。

それで、その後に実証炉・実用炉という絵になっていますが、この段階でいわゆる経済的な実証をするということになります。我々としてはこの常陽・もんじゅの建設までができて、もんじゅは約1年間の試運転を経験した後に、費用対効果等のこともありまして、停止することが決まったわけですが。このもんじゅをつくり、建設し、試運転のあるレベルまでを行ったということで、日本の技術はそれなりのテクニカルレジネスレベルまで達していると、後でまた紹介しますが、そういう認識です。

その先、コマーシャル化するためには、安全性、信頼性、経済性、これを向上していく。特に経済的でないとダメなわけで。安全性というのは福島事故の経験も踏まえまして、これはもう絶対的に守るべき条件ということになるわけですが。そこに高い信頼性ととも、経済性、オペレーションコストとかコンストラクションコストとかいろいろありますけれども、そういったところを達成していくということになっていくことになります。

その次の4ページ目のところで、炉技術の今回のTRL評価の範囲ということで書いてありますが。常陽・もんじゅで開発された技術、そしてそれをもとに使える部分と、これを少し改良しなくてはならない部分、それからさらに先ほど申し上げた安全性、信頼性、経済性を上げるために、さらに新しい革新技術と言われるものを使わなければならない、そういうところがあるので、大きく3種類に分けました。

パイグラフが4ページ目の右下のところに示してありますが、常陽、もんじゅで開発された技術ということが4分の3ぐらいありまして、それを改良する技術というのがちょっと薄い緑で、濃い緑のところは革新技術ということで書いてあります。常陽、もんじゅまでで開発された技術で、その高速炉に関するかなりの部分の技術のカバーができていくということになります。

それで、常陽、もんじゅのさらに改良してもう少し実用化に近づけていくという部分が少し。それから、革新技術というのがこの程度の割合であります。

ちょっとここで資料4の2ページ目をごらんになっていただきたいんですが。これは棒グラフで示していますが、先ほどのパイグラフで示したのと同じです。それで、いろいろな技術について、例えば安全関連設備の技術とか、ナトリウム対策だとか炉心燃料だとかいろいろアンダーラインが引いてあって左側のほうに書かれていますけれども、これが各技術の分類です。そのブルーのところは常陽、もんじゅまでの技術で、ある程度技術的な確立というか開発がかなり進んでいて、TRL6以上。上のところにTRL4~5という開発段階と、実証段階以上ということとTRL6以上と書いてあるところがございますけれども、つまり2つの赤い点線で、右側の線です。これを超えているということは、もうその技術は実証段階に入っているということで、かなりの技術レベルにあるというふうにお考えいただければ結構です。

それで、このグラフにあるように、かなりの部分は常陽、もんじゅまでの知見でできるんですが、先ほど申し上げた安全性、信頼性、経済性ということを高めるために、ここで幾つか挙げたような緑で示す技術、例えば安全性ですと、パッシブな原子炉停止とか、自然循環によるパッシブな崩壊熱の除去とか、こういった項目があります。

こと細かに説明していくとお時間非常にかかってしまうので、非常に要約的に申し上げます。安全関連設備の技術というのは、TRLでいくと大体6~7ぐらいであって、技術の実証段階にあります。その次のナトリウム対策、運転保守の技術に関しては一部を除いてTRL5~6であって、追加の開発も一部必要なんですけれども、技術の実証段階に進めるような状況まできています。それから、炉心燃料の技術に関しては、一部を除いてTRL5~7、多少ばらつきがありますが、追加の開発も一部必要なんですけれども、技術の実証段階に進めるような状況にある。それから、その次の原子炉構造の技術ですね、これに関してはもうTRL5~7ぐらい。技術の実証段階にあるか、または技術の実証段階に進めるような状況に入ってきていると。それから、その下の冷却系の技術、その他の設備の技術としては、これもほぼ同様、TRL5~7ぐらいというところにあります。

それから、原子炉補助設備の技術に関しては、技術は大部分まではもんじゅまでで実証されておりまして、一部燃料取扱いシステムの簡素化の技術がTRL6ぐらいにあるということで、これはかなり完成度が高いということになります。

それから、計測制御に関する技術はもうほとんどもんじゅまでで実証されている。ただ、この右側のほうにSGのリーク検出だとかものによっては別なところでも扱っていて、それ以外の

ものは大体こういうレベルにあるということになっています。

ちょっと後になってしまいましたけれども、○印とか●とか◎で示しているのは、向上させるべき技術の質を分類したものです。

以上が炉に関する評価のまとめです。

それから、その次の資料3で、今度は再処理に関連して少しご説明します。

再処理の技術というのは、湿式法でやる場合は軽水炉で六ヶ所でやっている技術の延長線上の技術というか、そこがベースになっていて、高速炉としてやらなければならないところを追加するというようなそういう技術だとお考えいただければ結構です。これは、軽水炉の燃料と比べて高速炉の燃料というのはプルトニウムの含有率が高いので、燃料を溶かすための硝酸溶液の濃度を上げるとか、臨界を防止するために溶解槽の大きさの制限をするとか、これは別にそういうデザインをしてそういう設備をつくらなければいけませんから、大変だというよりは、そういう全く軽水炉と同じ技術ではない。それを応用しながら変えていく技術だということをご説明したくてそういう説明をしました。

この下の絵にありますように、10ページですね、一応JAEAの中にあるCPFという試験設備を持っていますが、そういったところで高速炉用の小型の実験設備でそのプロセスの開発を一部やって、六ヶ所での知見をベースにして高速炉の検討をするというようなやり方での開発になっているわけです。

それで、9ページのほうにその技術の分類を書いておりますが、これも炉と同じように、これまで東海再処理(TRP)ですとかCPFで開発された技術を、六ヶ所の再処理プラントに導入されたような実績を目安にTRLを評価しています。その下にFaCTフェーズIで検討された革新技術とありますが、経済性、安全性、信頼性向上をベースとした上で、核不拡散性だとか、環境負荷低減性を向上させるための技術開発を実施してきました。

その右側のパイグラフにあるように、やはりこれまでの軽水炉等の再処理で得られた技術、これがかなりの部分をバックデータとして持っていて、そこにそれを改良する部分と、炉と同じように追加の革新技術でやる部分とがあります。

先ほどのA3の資料4のほうに、同じように棒グラフでその状況が記載してございます。ここにありますように、例えば受入・貯蔵・解体・せん断工程というのがありますけれども、これは集合体の形が軽水炉と高速炉で多少違うというようなことがあるので、解体する技術に関してはやり方が少し違ってくるということで、グリーンの開発しなきゃいけない技術ということになっているわけですが。集合体の貯蔵とか搬送とか分配器とか、あと集合体のせん断機とか、

そういったものはかなり軽水炉の知見をうまく活用して、そこに少しつけ足すような形でやれるということになっています。これらの技術は従ってTRL6以上ということで、かなり達成度はもう進んでいるということですね。

その下の溶解、清澄工程というところですが、これもほとんどTRLは5以上で、追加の開発も一部必要なんですけれども、実証段階に進めるような状況にあるということですね。

それから、その下のマイナーアクチナイドの回収とかそういう工程になってきますと少し状況が変わってきていて、まずその下の晶析、分離・精製・溶解洗浄工程というのがありますが、まず晶析プロセスとかいうのがあります。これは普通の軽水炉のようなかなりの多段のプロセスをかなり合理化して、できるだけ合理性、経済性を上げようということいろいろトライをしている技術で、こういったところはまだTRLは4~5というようなことになっています。

それから、その下の濃縮ですとか脱硝・転換工程に関しては、これはかなり使える部分があるわけですが、マイクロ波脱硝装置という高速炉用に開発をしているような部分があって、そういったところはまだTRL5というような状況にある。

それから、マイナーアクチナイドの先ほど言いました回収のことに関してはかなりまだちょっと、TRL4~5ぐらいの状況にあります。開発のハードルが高くて開発が難しいということよりも、開発が余り進んでいない、これから少し頑張らなきゃいかんという意味合いですが、そういったところにあります。

そういったところで、大体再処理に関してもここでごらんになっていただけるように、かなりの部分は、先ほどのパイグラフでも言いましたけれども、これまでの知見を活用すればよく、いくつかの分野で新しく追加する技術をやればよいというような状況にあるということが言えます。

それから、またもとの資料3の11ページですかね。燃料製造に関してですね。この燃料製造に関しても、これまで高速炉の常陽の燃料ですとかもんじゅの燃料というのをJAEAの中で製造してきているわけです。ですから、高速炉用の燃料をつくる技術としてはかなり進んでいます。もちろん軽水炉のMOX燃料の製造ということと、高速炉のMOX燃料の製造というのは、先ほど申し上げたように、例えばプルサーマルの燃料をつくる場合のプルトニウムの含有率というのは5%とかその程度なんですけど、高速炉の場合ですと20%とか、場合によってはプルトニウム全体としては30%近くの含有率になりますので、そのつくり方も自ずと変わってくる場所があります。

12ページ、その下のところにパイグラフで同じようなことを示していますけれども、燃料製

造に関しても、ブルーのところがこれまでのPu-2、Pu-3で開発された技術で、Pu-2、Pu-3というのは東海で常陽とかもんじゅの燃料つくってききましたと言いましたけれども、こういった燃料製造をもとにして培ってきた技術、それを一部改良する、さらに今回革新技術ということでグリーンの部分がありますが、そういう部分をつけ加えていくことになります。

先ほどのA3の資料4の4ページ目に、燃料製造ではじゃあどんなふうな感じになっているかというのをちょっとご説明します。TRLとしてですね。先ほど申し上げたように、高速炉用の燃料というのは結局濃いので、そのつくり方というか、そのやり方が大分軽水炉のものを改良しなきゃならないというところが多いので、そういった点が少し全体として緑の部分が多い背景にあります。

とはいっても、これまで常陽、もんじゅを通じてつくってきておりますので、さらにそれを合理的につくるということ。それから、マイナーアクチナイドを含有した燃料を将来的には使っていきたいということがありますので、より経済性を上げるという部分と、マイナーアクチナイドを混入したようなものを遠隔自動でつくれるような技術、そういったところに焦点を当てて今後の開発をやっていくことになります。

この4ページ目にありますように、大体先ほどパイグラフで見ただいたように、ブルーの部分とグリーンの部分、大体こんな形でバランスしていて、今後このグリーンのところを、まだTRL4とか5というところもありますので、そういったところを少し全体のレベルアップをしていく必要があるということになります。

以上が燃料サイクルまで含めたMOX燃料のナトリウム冷却高速炉技術のテクニカルレジネスのレベルの状況です。

それから、その次に金属燃料の高速炉、これもナトリウム冷却高速炉ではあるんですが、炉心がいわゆるMOX燃料ではなくて金属燃料にした場合の開発の状況をご説明します。

資料3の16ページに、金属燃料サイクルの開発の位置づけと開発状況ということが書いてあります。日本は主概念をMOX燃料で、副概念を金属燃料ということでFaCTの段階では開発をしまいりました。ではこの金属燃料というのはどういう国が注目しているのかというと、アメリカは金属燃料ということで、DOEをはじめとしてほぼその考え方を固めています。それからあと、インドとか中国ですね、今ナトリウム冷却高速炉開発を加速しようとしている国々ですね、これらの国々は現在はMOX燃料、湿式再処理というのをベースに考えているんですが、将来的に、つまり実用化をしていく段階の初期段階ではMOXを使うでしょうが、そう遠くなく金属燃料に切り替えていきたいという計画を持っています。これは金属燃料のほうが性能が良い

ので、いわゆる炉をどんどん増設するような場合には便利だということがあります。それから、韓国は朝鮮半島内の問題もあって、再処理が許されていないわけですがけれども、再処理を何とかしてやりたいということもあって、アメリカの協力でアメリカの技術を学ぶということを一生涯やってます。これらの国々は金属燃料を志向している国々というふうに見ていただいて結構だと思います。

ここに書いていないロシアですね、ロシアは、フランスもそうですが、MOX燃料を追及する国ということですよ。

金属燃料高速炉のテクニカルレジネスのレベルですが、資料4のA3の資料で言うと、5ページ目にまず炉についての状況が書いてあります。炉に関しては、基本はナトリウム冷却高速炉なのでほとんどの技術は同じです。ですから、MOX燃料の先ほどご説明した絵のMOXの炉のところを単に薄い緑色で書いただけです。濃い緑の部分、これが金属燃料として開発をする必要がある部分ということになります。

炉心の安全性、つまり炉心が溶けたときにどうなるかというようなシビアな事故状態を考えた場合、もちろんそれが起こらないようにするんですけども、そのシビアアクシデントを考えた場合の評価の仕方とか挙動はMOX燃料の場合とは違ってきますので、これは固有の技術として開発する必要があります。

それから、炉心燃料の高燃焼度の被覆管材料開発だとか、これほぼ同等ではありますが、金属燃料ということで燃料のタイプが違ってきますので、この部分は違う技術が必要になってくるということになります。

この部分に関しては、TRLとしては4~5ぐらいというまだ開発段階にある。ただ、アメリカはこの技術をもう既にかかなりのレベルまで到達してきていますので、例えばアメリカと連携をすれば、この技術をより合理的に開発できるという可能性はもちろんあります。

ではその次に、同じくA3の資料4で、燃料の再処理、燃料製造がどうかというところをご紹介します。

この技術は副概念ということもあって、アメリカの技術をいろいろ勉強してやってきているところもあって、再処理の技術もそれなりのレベルまでは到達しています。ただ、この金属燃料に関しては、JAEAというよりは、JAEAもそれをフォローしながら一緒にやっていますが、電中研さんが中心となってこれまで開発を進めてきていて、電中研とうまく連携をしながら、国内ではその開発を進めてきているという状況です。

この金属燃料の再処理に関しては、電気分解の方式なので、溶液で溶かして抽出するという

湿式法とは全く違う、いわゆる溶融塩、溶けた塩の中に金属のプルトニウム、ウラニウムを溶かして、それを電気分解で取り出すというやり方になります。したがって、その技術のレベルはここにありますように4~5ないしは6ぐらいまでいってるものもあると。

それから、塩の処理とか、その廃棄物として出てくるようなところに関してはまだTRL4のレベルにあるという状況で、レベル5にこれからいくところというような感じです。

それから、製造に関しては、射出成形製造ということで、これもMOX燃料とはつくり方が違うんですけども、これに関してもまあまあそれなりのアプローチはしていますので、TRL5~6ぐらいというようなところにあります。

これが日本がこれまで培ってきたナトリウム冷却高速炉、MOX燃料、湿式再処理、及び金属燃料、乾式再処理の技術の現状と言えるかと思います。

では次に、お時間も余りないですが、日仏協力でこれまでデヴィクトールさんも先ほど説明がありましたが、ASTRID協力ということでどういったことをやっているか、それによって日本の技術レベルがどの程度進歩したかということについてご紹介します。

資料5ですが、ASTRIDの概要というのがその2ページ目を書いてございますが、ASTRID協力ということで、これまでやってきたのは、電気出力60万のタンク型炉についての協力です。現在やっているのもそうです。

ちょっと時間がないので飛ばしまして、4ページ目に主要な協力項目というのがあります。これですね、参考資料2というのが配られていると思うんですけども、それを見ながら簡単にご説明します。

まず最初、設計協力1で、崩壊熱除去系ですね。フランスでは3種類の崩壊熱除去系を原子炉容器ないしその周辺に置こうというふうに考えていて、自然循環型のもの、それから強制循環型のもの、それから炉壁をダイレクトに冷やすものという3種類の概念をやっています。日本はこのうちの強制循環型という部分についての分担設計を実施しています。

それから、その次の7ページですね、ちょっと飛ばしまして、受動的炉停止というのがあります。これは原子炉停止をいわゆる温度感知合金の温度が上がったときに制御棒が自動的に落ちてしまう、つまり外からのアクションがいらないと、そういう概念ですが。この原子炉停止系のシステムは日本で既に実証炉開発の中で開発をしてきた概念なんですね。それをフランス側のほうに適用して協力をしようということでトライしているものです。

それから9ページ目ですね、これが免震装置です。これはフランスのほうでも原子炉建屋の下に積層ゴムを置いて免震をしようとしているので、ここは一緒にやれるということで一緒に

検討してきています。

それから、11ページ目ですが、これは原子炉建屋の中に原子炉格納容器というのがありますが、その格納容器の一部を区切って、いわゆる過酷事故が起こったときに、仮にナトリウムが原子炉容器外に噴出したような場合でもその影響をできるだけ小さく抑え込もうということで、そういう区画を設けてやっているんですが、そういう区画を構成する設備の設計と一緒に検討しているということです。

それから、13ページ目が、原子炉構造周りのことなんですが、これは炉心が溶けたときに、その溶けた熔融燃料が下に落ちるわけですね。その溶けて落ちた燃料を受けるコアキャッチャーという受け皿を原子炉容器の中に設置して、これは日本の設計でもフランスの設計でも同じようにつけようとしているんですけども、この溶けた燃料の冷却性能についての検討。それから、その上の炉心上部機構というのがありますが、そこのデザイン。それから、原子炉構造の健全性がいわゆる熱荷重を受けたときにどうかとか。あと、原子炉容器の中の流動がどうかとか。こういったところをフランスのほうと一緒に検討をしております。

それから、15ページですが、タンク型炉に関する知見の統合ということなんですけれども、フランスと協力をする場合、フランスは御存じのように日本と比べて非常に地震力が小さいわけですね。そのため、日本の高い地震動になった場合でも適合性があるかどうかといったところをあわせて検討して、ASTRIDで用いている技術を日本に適用したときのアプリケーションについての検討もやっています。

それから、その後17ページ以降はR&D協力なんですけど、これは26項目ぐらいありまして、いろいろな分野、原子炉の技術のR&Dですとか、常陽による照射だとか、燃料に関するものとか、過酷事故に関するコードの共同開発だとか、評価だとか、種々のことをやっています。

資料4のA3のページの一番最後の7ページ目に、テクニカルレジネスレベルがついています。ASTRID協力をやることによってどんなメリットがあったのかということについてお話ししたいと思います。

この7ページ目の青い部分と緑の部分は、先ほど炉のほうで説明したグラフです。そこに紫の部分とオレンジ色の部分、そこで書いたのは、日仏協力により新たに獲得した技術。タンク型炉の耐震性を強化するための技術もあります。

これまで日本はループ型の概念をFaCTまではやってきたんですが、ASTRIDと協力することによってタンク型炉にバリエーションを広げる場合の技術を新しく獲得することができたということです。

それから、タンク型炉、ループ型炉とで技術的な違いの部分はそれほど多くはなくて、かなり共通部分が多いということで、この緑の点々で書いてあるところ、これは我々がさらに開発をしなければいけないと思っている革新技術の部分ですが。そういったところに関しても開発を進展させることができたということです。

ですから、安全性にかかわるところ、これはかなり共通部分が多いので我々も積極的にやってきましたが、ナトリウム対策とか運転保守の技術に関しても、SGのリーク技術だとか、炉心燃料に関しても高燃焼度燃料の被覆管とか、高燃焼度燃料に関する技術ですとか。原子炉構造に関しても、材料開発とかコンパクトな原子炉容器内の流動ですとか、新型の炉心上部機構とか、そういったところにそれぞれこの点々を書いてありますように、また燃料取扱系のシステムもごさいますけれども、こういったところの技術の進展を見ることができたということが言えます。

したがって、上のところに要約しておきましたけれども、フランスと協力することによって、日本がこれまで開発してきた技術にさらに上乘せすることができた部分とか、新しいタンク型炉のオプションとしての技術を得ることができたということがございまして、ASTRID協力というのはそれなりに意味のある協力をしてきたというふうに考えております。これは、ただし設計に関する部分なので、R&Dに関する部分は現在26項目と言いましたが、それらについての計画をつくっているところでありまして、そういったところが実施に移れば、これは日本の高速炉に関する適用も可能ですし、フランスの技術側に適用も可能ですので、両国にとってかなり合理的な進め方ができるというふうに言えるかと思えます。

説明をはしょって申しわけなかったんですが、技術の達成度というのは、先ほど申し上げたような棒グラフでございいただいたように、ナトリウム冷却高速炉及びその使用する燃料及びサイクルに関しては実証段階のところまで来ているというふうに言えるかと思えますし、フランスとの協力に関してはそれなりに意味のある協力ができているというふうに考えております。

今後フランスが計画を変えるということが正式に決まれば、またそれに適合した協力の仕方というのを、仏との協力を続けていく場合には、もちろん考えていく必要があるかと思えます。

以上です。

○村瀬部長

ありがとうございました。

それでは、質疑に入りたいと思いますが、いかがでしょうか。

○武田室長

どうもありがとうございます。一緒に作業をやってきたところですが、質問をお考えいただいている間に少しだけ質問させていただきます。

最後におまとめいただいたとおり、我が国は長きにわたってさまざまな方が努力をしてきたし、投資もしてきたということで、高いレベルにある、実証段階にあるというまとめだったと思いますが、同時に、この棒グラフをつくることによってこれからの課題、主に取り組まなきゃいけない課題というのも明らかになったように思います。簡潔に、主な点をご説明いただければと思います。

○佐賀山理事長シニアアシスタント

まず、炉のほうに関しては、1つはシビアアクシデント、つまり福島を経験しておりますので、もともと高速炉というのは炉心が溶融するという状態を安全審査の中でも既に審議してきております。ただ、それをできるだけ軽微な状態で終わらせるというか、エバケーションフリー、即ち地元の方たちが逃げなくて良い、原子炉容器ないし格納容器の中で事象が終息するというようなところに持っていかないと、なかなか受け入れてもらいにくいだろうと思っておりますので、その安全性をさらに高める、高度化していくというところが1つ大きなポイントとして出てくると思います。

それからあと、ナトリウム冷却高速炉はかなりいろいろな国でもやってきているんですが、実用化はまだ十分進んでなくて、第4世代炉の国際フォーラムでも2030年を商用炉の導入時期としているわけですが、それをロシアなどの国は実践しようとしています。この様に実用化時期がやや遅い理由はやはりコストが高いということがあるんですね。ですから、コストを下げなきゃいかん。商用利用できるようにしなくちゃいけない。当然建設コストだけではないので、オペレーションコストも下げなきゃいけないということになりますから、信頼性の高い技術に高めなきゃいかんということです。ここで挙げている課題というのもそういったところなわけです。

これを全く新しい技術でやるか、これまでの改良技術でやるか、そういったところを世界のパートナーともよく相談して、うまい選択をしていくことが重要かなと思います。

ということで、炉に関しては今申し上げたようなところになります。

それから、サイクルに関しては、やはりサイクル技術がある程度の値段するのはしょうがないだろうというようなこともありますけれども、やはりコストを下げなきゃいけない。それからあと、いわゆるマイナーアクチナイドを燃焼させるというようなことになるとすると、その取り出しとか、それをもとにした燃料をつくるか、そういったところも必要になってくる

わけですね。それがごみ処理にもつながってくるわけですし。高速炉の持っている一番の特質を生かすことにもなるわけですから、そういった技術の開発が必要になってくるということになりますね。

ですから、そこで先ほどMOXだけじゃなくてメタルも紹介しましたがけれども、これらも含めて、今申し上げたような技術に焦点を当てて開発していくということがポイントになるだろうと思います。

○村瀬部長

ありがとうございました。他にいかがでしょうか。

○加藤事務部長

三菱、加藤です。

先ほどの説明非常にわかりやすく、今の技術がどういう程度にあるのかという実証とかですね、非常にわかりやすい説明資料だったかなと思います。

我々、私どもはこの高速炉の開発初期段階から参画させていただいて、他炉型との比較検討の結果、弊社提案概念が採用されて、2007年に高速炉開発中核メーカーに選定されて、JAEAさんのもとでこれまでナトリウム高速炉の技術人材を蓄積してまいりました。

本日ご紹介いただいた、現時点で我が国が保有している技術は、これまでの常陽、もんじゅの経験で蓄積されたものをベースに実用化に向けてFaCTで技術を積み上げてきたものですが、冒頭言いましたように、我が国のナトリウム冷却高速炉の技術はほぼ実証段階にきているんだなということご理解してございます。実用化まであと少しということが体系的、視覚的に共有できたかなと思いました。

これまで蓄積されて保有している技術が無駄にすることなく、有効に活用して今後の高速炉開発を進めてまいりたいというふうに考えております。

○村瀬部長

他にいかがでしょうか。

○市村委員長

同じような繰返しの所感になるんですけども。今ご説明いただいた内容も、一昨年末に示されました高速炉の開発方針に記載されていますように、実証炉の建設を進める段階におおむね達しているということを改めて確認できたと思っています。

一方で、燃料サイクル技術の方は高速炉技術に比べて一層の研究開発が必要な部分があると感じています。

いずれにしても、今後国際協力を活用して、この高速炉サイクル技術、このレベルのさらなるアップということを図っていくということが重要ではないかと考えます。

以上でございます。

○村瀬部長

ありがとうございます。

○田口副理事長

今佐賀山さんからの説明でもありましたように、ナトリウム冷却高速炉自体はもう既に、もんじゅ、ちょっと途中で最後まで完成することはできませんでしたが、実際プラントをつくって動かしてというかなりの経験を持ってあって、それを今回ある意味では客観的に評価をしたということだと思えます。

今後これらをどうやって生かして次につなげていくかということが重要だと思いますので、もちろん国際協力、これはもう最大限活用する、それから国内の体制も、また恐らく今回の議論である意味では新たな体制でスタートするということになると思いますので、ぜひその辺具体的にどうやっていくかというのをこれからのロードマップではっきりさせていただければ、JAEAとしては今まで研究開発の中心を担ってきたという役割を、これからも引き続き果たしていく必要があると思っていますので、どうぞよろしくお願い申し上げます。

○村瀬部長

ありがとうございました。

それでは、この議題はこれで閉めさせていただきたいと思えます。ありがとうございました。

本日は2つの議題について議論させていただきました。1つ目は、フランス、デヴィクトールさんからフランスのサイクル政策やASTRID計画を中心とした高速炉開発の現状についてご説明いただきました。今後の日仏のASTRID計画の在り方も含めて、本日の議論を参考にしながら検討を続けて、2018年中を目途に策定を目指しておりますロードマップに反映をしていきたいというふうに考えます。

また、2つ目の議題、先ほど田口副理事長からまとめていただきましたけれども、FaCTプロジェクト以降、我が国が獲得してきた高速炉開発技術について整理をいただきました。今後の開発目標を設定していくに当たっても、まず我が国が足元で保有する技術レベルをしっかりと把握することは大変重要であると思えます。今後どのような形で新しい体制をつくっていくかということをしっかりこの場でも議論させていただいて、ロードマップの中でしっかり明確にしていきたいと思えます。ご協力をいただいた皆様方に感謝を申し上げたいと思えます。

それでは、本日の会議は以上とさせていただきます。

次回以降の進め方につきましては、本日の議論も踏まえつつ、事務的に調整を進めさせていただいた上で関係者の方にご報告、ご連絡をさせていただきたいと思います。

引き続きのご協力をお願いしたいと思います。

ありがとうございました。