

総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会
原子力小委員会 革新炉ワーキンググループ第2回会合

日時 令和4年5月19日(木) 9:45～12:00

場所 オンライン

議題 革新炉開発について

1. 開会

○黒崎座長

ただ今より総合資源エネルギー調査会原子力小委員会第2回革新炉ワーキンググループを開催いたします。委員及び専門委員の皆さま方におかれましては、ご多忙のところご出席いただきありがとうございます。まず本日の会議の開催方法などにつきまして、事務局から説明をお願いいたします。

○遠藤原子力政策課長

事務局でございます。本日のワーキングの開催方法につきまして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生放送させていただきます。オンライン開催ということで皆さまには事前にメールで資料をお送りしてございますが、W e b e xの画面上でも適宜投影させていただきますのでよろしくお願いたします。

2. 議事

- ・革新炉開発について

○黒崎座長

ありがとうございました。それでは議事に移りたいと思います。先日の第1回ワーキングでは革新炉開発の価値として、安全性や水素、熱利用、非エネルギー分野のイノベーションについて重点的にご議論いただきました。本日のワーキングでは第1回に引き続き、革新炉開発の価値についてご議論いただきます。そうした中で事務局からは、エネルギー安全保障や廃棄物問題解決への貢献といった価値についてご説明いただきます。

またT e r r a P o w e r社からは高速炉開発や国際連携について、東京工業大学の竹

下教授からは廃棄物問題に関連して、核燃料サイクルシミュレーターを用いた原子力利用シナリオの解析について、NuScale社からはSMR開発や規制対応についてご説明いただきます。

なお、ご都合上TerraPower社におかれては、ご発表及びそれに対する質疑応答の終了後にご退出となります。またNuScale社におかれましては途中からご入室され、委員の皆さまの自由討議のあとにご発表及び、それに対する質疑応答ということになります。それではまず資料3、革新炉開発の価値について事務局からご説明をお願いいたします。

○遠藤原子力政策課長

事務局でございます。資料の3、1枚おめくりを賜りまして目次をご覧ください。カーボンニュートラルに向けたエネルギー安全保障と銘打ってございます。革新原子力でどのような価値を実現できるか、どのような価値を実現していくべきかという議論を前回させていただきましたが、その続きでございます。

1-1カーボンニュートラルに向けたエネルギー安全保障の世界的な潮流というところで、ちょっとご説明を全体論でさせていただきます。2ページをご覧ください。IEAのクリーンエネルギートランジションの安全保障と書いてございます。国際エネルギー機関IEAが昨年分析を発表したものでございまして、エネルギー安全保障上の懸念を、クリーンエネルギートランジションという言葉を使いながら、クリーンなエネルギーを入れていく上で、エネルギー安全保障といった、より広範な課題。狭義な供給ということだけではなくてさまざまな安全保障という観点から、クリーンエネルギーとどのような形で向き合っていくべきか、ということで幅広い価値観を包含したものを、こういう形でまとめてございます。

それから1枚おめくりをいただきまして3ページでございます。これは米国のエネルギーサプライチェーン戦略というものでございまして、2022年にアメリカ、エネルギー省がエネルギーサプライチェーンの脆弱性リスクの分析と政策勧告を実施いたしました。戦略的機会、それから技術固有の政策的戦略という形で下にご書いてございますが。クリーンエネルギー経済においては、クリーンエネルギー技術、製造するための材料や部材、デジタル部品へのアクセスといった幅広い観点でさまざまな課題をエネルギーサプライチェーンとして拾っている、ということが1つの特徴でございます。

それから1枚おめくりいただきまして1-1-3、欧州の新産業戦略でございます。こ

れも将来的に欧州産業をグローバルリーダーであり続けるという形で考えた場合に、エネルギーというものだけではなく、幅広い分野を対象としてございますが。こと、エネルギーにつきましても、それからエネルギー以外の熱利用に関しましても、カーボンニュートラル、デジタルという文脈でさまざまなサプライヤーですとか、それから要素技術と、こうしたものをどのような形で欧州で保持、育成をしていくかという観点で戦略を策定している、ということでございます。

次に1-2に移らせていただきまして、今ご説明申し上げました、より幅広い観点。産業政策的な観点も含めたエネルギー戦略。その中でも特に原子力を含めた世界的な潮流がどうなっているか、というところを具体的にご説明させていただきます。

6ページでございます。中露が今の現行の原子力市場の中心となってございます軽水炉で世界市場を席卷しているということございまして。だいたい世界の6割をさまざまな輸出信用ですとか、そういった手段を用いて席卷しているということでございます。これはすなわち、技術でも中露がこうした機会を生かして優位性を保っているということでございます。それは先ほど申し上げたサプライチェーンというところにも響いてくるということでございます。

1枚おめくりをいただきまして、そうした強みを生かしまして、さらにはいわゆる革新炉といわれるもの、新たな炉型においても中国ロシアがさまざまな将来に向けた研究開発で欧米に模して、どんどん研究開発を進めているということでございます。

8ページをご覧くださいますと、こうしたものも1つの危機感背景と考えてございますが、米国、英国それぞれ原子力技術のリーダーシップ、それから先ほど申し上げた幅広い文脈、産業政策も含めた幅広い文脈でのサプライチェーンの再構築というものを取り組んでいるということでございます。米国の例は、先般の審議会でも革新炉ワーキングでもご説明をさせていただきましたので詳細のご説明は割愛をさせていただきます。

1枚おめくりをいただきまして9ページでございます。原子力エネルギーにおける米国のリーダーシップ回復戦略という形で、より具体的に国家の安全保障というところにも絡めましてエネルギー安全保障、さらには国家サプライチェーンといった幅広い観点から、より合目的にと言いますか、直截的にアメリカリーダーシップの回復戦略というものをしっかり作っているということでございます。

10ページをご覧くださいますと、原子力のエネルギーにおけるリーダーシップ回復戦略の中で具体的に例えば上流のウラン、それから技術革新、それから投資の促進、さらには

輸出競争力というところまで、いわゆる川上から川下に至るまで、さまざまな安全保障の観点からのエネルギーのリーダーシップの回復戦略というものをアメリカは具体化をしているということでございます。

それからさらに1枚おめくりいただきますと、石炭火力の代替としてのSMRということも指摘がされてございます。30万kW以下の石炭火力、これがアメリカ、かなりございまして。ちょうどここを代替するものとして、いわゆるベースロード電源の石炭、そしてある程度、確実な供給が読める。しかも安価であるというようなところでの電源として、これから脱炭素が進む中で安全保障上は、これはSMRに頼っていくべきだということを戦略的に打ち出しているということが1つの特徴でございます。駆け足でございましたが以上、アメリカでございます。

さらに1枚おめくりいただきますと12ページにイギリスの例を載せてございます。英国のエネルギー安全保障戦略と書いてございます。これも前回の革新炉ワーキングで簡単にご紹介をさせていただきましたが、特に右側の建設中・計画中の原発というところをご覧いただきますと、過去の制度のもとでは、市場制度のもとでは中国からの出資、さらには中国からの炉の直接の輸入というようなところに結実をしていると。これは、安全保障上の懸念もございまして、今の市場制度、投資制度のもとでは、これはなかなか問題をほらんだ状態であるということが、明示的に言われてございます。

さらに1枚おめくりいただきますと13ページでございますが、こうした観点からもイギリス国内の資本が投資環境の整備によってしっかりと安全保障上、重要な原子力に回っていくという仕組みをイギリスは打ち出したということでございます。

14ページをご覧いただきますとフランスの例を書いてございます。フランスはさまざまなシナリオ分析を行った上で、原発を維持する、それから新設をしていくということが経済性、それから先ほど申し上げた安全保障、エネルギー安全保障といった観点から望ましい。特にそのときの1つの特徴は、いわゆる軽水炉、大型の軽水炉、フランスはサプライチェーン持っておりますので、プルーブンである軽水炉から作っていくということが1つの特徴でございます。

15ページにも具体的なフランスの2030の目標、それからマクロン大統領が発言をした内容。今、申し上げた内容でございますが、こうしたことを書いてございます。1つ、その再エネと原子力を対立項でとらえるのではなくて、併用、補完しながらということで、2つの柱と掲げているのが1つの特徴かと思っております。

16 ページをご覧ください。オランダも若干似てございまして。市場調査の結果、実証済みのブルーブンな大型の軽水炉を将来に向けて建設をしていくという方針を明らかにしてございます。

さらに1枚おめくりをください。石炭火力の発電の廃止というものが昨年のC O P 26 でうたわれたわけでございますが、アメリカの 30 万 kW の石炭火力の代替 SMR と同様でございまして大型の石炭火力の代替として、今申し上げたオランダ、大型の軽水炉、ブルーブンであるものを入れていく。それからポーランドは、これからさまざまな炉型の革新炉というものも検討している状況でございまして、いずれにしましても、安定供給、安全保障の観点から、いわゆるベースロードといわれる使い方、使われ方をしてきた石炭火力に代替して原子力を使っていくということも明示的に打ち出しているということでございます。

その後ろ、参考でウクライナの原子力情勢を付けてございまして本日はご説明、割愛させていただきます。

さらに1枚おめくりをいただきまして。こうしたウクライナの状況が、先ほど申し上げたイギリスそれからフランス、オランダ、こうした国々にも影響してきているわけでございます。一方で原子力発電から、脱却するという事を明確にしてございましたドイツでも、一時期、運転期間を延長するという議論がございました。これはなかなか炉型に適合する燃料の追加調達が難しいという事情もありまして、延長は否定をされたという状況でございました。

さらに1枚おめくりいただきますとベルギーでございまして、これも同様に脱原子力法に基づきまして、40 年での閉鎖をもともと規定していた原子力を 2015 年から 10 年間運転期間を延長するという事を決定してございます。以上、駆け足でございましたが、国際的にはエネルギー安全保障という文脈も背景に原子力に対する見直し、さらには組み込みが、今申し上げたような形で進んでいるところでございました。

その先、22 ページでカーボンニュートラルに向けたエネルギー安全保障の再定義というところを簡単に整理させていただいてございます。さまざまな形でカーボンニュートラルに向けたエネルギー安全保障のリスク低減の対策がございまして、エネルギー安全保障という観点からすると、いわゆる従来型のリスク、それからカーボンニュートラルや電化の推進を進めていく上で、さらにあらわになってくる新たなリスク、それぞれにどのような形でリスク低減を、ほうぼう組み合わせていくかという議論がされているというものでござ

ざいまして。

これは、I E Aの議論等をもとにわれわれで整理をさせていただいたものでございます。左側の従来型のリスク、それから新たなリスク、それぞれに対してどのような形で原子力、革新原子力が貢献をしていけるかということを以下で整理をしてございますので、駆け足でございますがご説明申し上げます。

まず 23 ページをご覧ください。燃料資源の供給途絶リスク、いわゆる従来型のリスクでございますが、これについては高速炉による資源の有効利用ということを従来からうたっているところでございます。

さらに 24 ページをご覧くださいと、炉型の革新による気候変動等に伴う自然災害のリスクへの対応ということで、温暖化が進みまして自然災害がさらに厳しくなってくるといったときに、いわゆる革新原子力ということで安全性を抜本的に高めたところで、どのように対応していくかという対応も取られているということでございます。

それから2つ目、25 ページでございます。変動電力、いわゆる再エネ等の拡大に伴いまして電力供給が、あるいは価格がさまざま動くと。この傾倒を安定化するためにどのような形で原子力が貢献をしていけるか。前回も簡単にご説明をさせていただきましたが、例えば大型の軽水炉の負荷追従、それから今日もご説明賜りますがN u S c a l eのようなSMRの分割したユニットの組み合わせ、それから予備への蓄熱といったさまざまな技術が使われているということでございます。

それから 26 ページをご覧くださいと、これは可搬型、それから系統がさまざまに分かれているというようなところにもさまざまな技術を適用するということ。

それから 27 ページをご覧くださいと、これは従来もあることでございますが、同期電源として系統の安定に原子力をどのように活用していくかというところで貢献の可能性があるのでないかということでございます。

それから 28 ページをご覧ください。エネルギー多消費産業の空洞化。先ほどもございました産業の空洞化というところにどのような形で対応していけるのかということが課題。

29 ページをご覧くださいと、例えば高温ガス炉による水素の供給で、このようなものにどのような形で製造業に具体的に効いてくる形で貢献ができるかということもございます。

30 ページに同じ文脈で、べたっとベースロードでしっかり産業用の電力の供給ということで言うと、石炭の代替ということであれば原子力を使っていけるということで、先ほど

もご説明申し上げました、アメリカ、オランダ、ポーランドの例を再掲してございます。

それから 32 ページはサプライチェーン途絶・地政学リスクへの対応ということで、技術自給率の話をもとめてございます。時間の関係で 32 ページ、33 ページの国内の例はちょっと割愛をさせていただきますが、産業への波及効果といった側面も含めて、原子力がサプライチェーンを支える 1 つの軸になってきたということでございます。

これも 34 ページをご覧くださいますと国際比較を載せてございますが、先ほど申し上げたとおり、中露が持続的に新規建設を実施し、産業面でもこういうところがさまざま、いわゆる中露とそれ以外の国との格差につながってきている可能性があるかと。

35 ページをご覧くださいますと、米国やフランスの具体的なサプライチェーンの途絶という例を載せてございます。

それから 36 ページをご覧くださいますと、いわゆる商業炉だけではなくて実験炉、照射炉、こうしたところの整備というところも、世界的にさまざまな実験炉の老朽化が進む中で、技術のシーズをどうやって見つけていくかということであると、日本でもここが商業炉同様に問題になってくるという点を挙げさせていただいてございます。

37 ページ以降は、今日ご説明も賜りますが、こうしたサプライチェーンの途絶、それから技術がなかなか生まれていかないというところを一国ではなくて戦略的にアメリカ、それからイギリス、フランスといった国々とどのような形で国際提携を進めていくかというところを付けてございます。詳細のご説明は割愛させていただきます。

42 ページに飛んでいただきまして、さらにこうしたところは 2 国間だけではなくて第 3 国への協力と、こうしたものも含めてさまざま手を打っていくべきではないかという議論もございます。

それから 43 ページ以降は、公正なトランジションが進まないリスクへの対応ということでございまして、いわゆる摩擦的失業等も含めまして、産業構造の転換に伴う地域への雇用の波及も含めたさまざまな経済、雇用への波及もケアをするべきではないか、これも 1 つのリスクではないかということで。今、原子力がその地域の経済、雇用にどのようなインパクトがあるかということを簡単にまとめさせていただいてございます。詳細のご説明は割愛をさせていただきますが、こうしたさまざまな動きが経営と原子力のインパクト、こうしたものを地域経済、雇用という観点からもしっかりととらえていく必要がある、必須の要素ではないかということでございます。

それから 46 ページ以降が、核拡散へのリスクということでセキュリティリスクにも対

応する。例えば航空機衝突のようなテロに対する革新炉の対応。それから 47 ページをご覧くださいと、核拡散抵抗性ということで、いわゆる原子力爆弾のような核兵器に転用するような物質をどのような形で安定的に平和利用を進めていくかといったような技術への貢献ということを書いています。それから参考で、ウクライナ系統が欧州系統と同期接続したということを書いています。その後ろもサイバーセキュリティを書いています。時間都合で詳細は割愛させていただきます。

51 ページ以降でございます。ちょっとテーマが変わりまして廃棄物・資源問題の解決への貢献ということでまとめてございます。核燃料サイクルのさまざまな処分面積、それから資源の半減期といったところへの貢献をまとめてございます、53 ページまで。これは前回、原子力小委本体でもご説明したパートでございますので、割愛させていただきます。

54 ページをご覧くださいと、世界の高速炉の開発状況というところで、これも先ほど同様、中国、ロシア、そうしたところで研究開発がどんどん進んでいるということでございます。

55 ページ以降は、これは国内でどのような高速炉政策を取ってきたか、それから多様な高速炉サイクル概念、どのようなものがあるかというご説明でございます。これも小委本体でご説明をした都合もございまして、時間のご都合上、割愛させていただきます。

58 ページをご覧くださいと、アメリカでは革新炉、軽水炉向けの核燃料サイクルの技術開発が進んでいるということで、下に ONWARDS プログラム、それから採択事業等が書いてございますが、革新炉のための燃料サイクルを 2030 年までに評価をするという形で、具体的に政府でマイルストーンが決められているということでございます。

それから 59 ページにはフランスの例も書いてございますが、今回は割愛させていただきます。60 ページには円滑な廃炉に向けての技術革新ということで、廃炉全体のライフサイクル全体を見据えたプラントの設計の最適化といった例もございます。

以上、ばたばたと駆け足でご説明してまいりましたが、最後、革新軽水炉の特徴というページからでございます。評価軸に沿った各炉型の評価。これは今回で全て出そろっているわけではございませんが、1つの議論の参考としまして革新軽水炉、それから 3-2 で小型モジュール炉、3-3 でナトリウム冷却高速炉、それから 3-4 で高温ガス炉、3-5 で熔融塩炉、3-6 で核融合炉という形で、とりあえず現段階での整理といたしまして、整理と言いますか、ご議論いただく上での目安としてどのようなそれぞれ利点、課題があるかというところをまとめさせていただいてございます。

今日は、これらそれぞれについてのご説明、それからご議論ということではございませんが、今後の議論への参考として整理をさせていただきました。これでフィックスというわけではございません。68 ページをご覧くださいと、これも前回、革新炉ワーキングで議論させていただきましたが、日本国内の炉型の技術開発における評価基準は今、このような形で議論をしている。その上で 69 ページをご覧ください。本日、議論いただきたい論点ということで、ちょっと書き方が不適切でございます。本日というよりは、今回の議論も含めて今後、議論いただくということで書いてございますが。

例えば革新炉開発における価値軸。前回ワーキング、それから今回ご説明申し上げた安全保障・廃棄物問題についての、さらなる明確化、深堀。さらには今日ご説明申し上げた中では、原子力の国際戦略。サプライチェーン、技術標準といったさまざまな課題に対してどのような形で国際的に対応していくかと、そのあり方。さらには革新炉の価値ですとか各国、今日ご説明申し上げたような各国の戦略をふまえて我が国における革新炉開発の道筋を検討する上での考え方、戦略はどのようなものがあるか。例えばその産業政策、サプライチェーン政策と、いわゆる技術政策。これを並行的、整合的にどのようにやっていくか。それから最後のほう、申し上げました複数の技術に対する相対評価、例えば熟度、実現性、それから市場性等をふまえて、どのような観点が必要かという議論を深めていくべきかなと思っております。

時間がかかりました。事務局からは以上でございます。

○黒崎座長

ありがとうございました。それでは続きまして資料 4。高速炉開発や、その国際連携についてアメリカ、TerraPower 社の Eric Williams エンジニアリングディレクターから、ご説明をいただきます。Williams ディレクターは、アメリカエネルギー省の先進的原子炉実証プログラムの 1 つに選定されている Sodium 炉のエンジニアリングのチームリーダーでいらっしゃいます。それでは Williams ディレクター、よろしく願いいたします。

○Williams エンジニアリングディレクター

ありがとうございます。本日、この非常に重要なトピックで話をする機会をいただきます。CEO の Chris Levesque が話すはずだったのですけれども、今回かなわないということで大変残念に思っております。

TerraPower で今、開発をしております Sodium について、ご紹介をさ

させていただきます。次のスライドをお願いします。まず申し上げたいのは、今年1月にMOUを取り交わしたという点でございます。日本のJAEAとの間でこのSMRの技術開発で協力をしていくというMOUであります。私どもとしても大きな期待をかけております。非常に生産的な日米間での協力が期待できると。活動の対象、こういうことが一緒にコラボレーションできるのではないかとということで、ここに挙げております。このプログラムを前に進めるための専門的な知識を、私どもとしても提供していきたいと思っております。

こちらがN a t r i u mの配置、構想図ということになります。特徴といたしましては、N u c l e a r I s l a n dという、この下側と、それからE n e r g y I s l a n dを分離しているということでありまして、これがその発電、それから熱を作るという段階のところになります。N a t r i u m、これはさまざまな安全のメリットが、すなわち熔融塩を冷却材として使うという特徴、これを生かしたものであります。

少し、この熱がどこに行くのか、という話をしたいと思っております。原子炉建屋の中にあります、この压力容器の中で発熱する。これは、この原子炉の中の熔融塩のシステムで熱をし、そしてまた別の配管のほうに行くと。そしてこのソルトシステムのほうに、熱を移すということになります。2つ、大きな熔融塩のタンクがありますが、そこで熱、すなわちエネルギーとして、そこで貯められるということになります。そういう基本的な配置になっております。

次のスライドをお願いいたします。この新しいアーキテクチャーを使うことによって、原子力の可能性を再定義することができるということでありまして、1つ目といたしましてはコスト削減ということです。D e s i g n t o C o s tというプログラムをT e r r a P o w e rでは持っております。N a t r i u mを使うということで、さまざまなアーキテクチャーとして、この原則が取り込まれているということです。

その中でやっているのが、いわゆる原子力のスプロール化を排除するということです。今の軽水炉技術ですと、これが起きている崩壊熱を原子炉から除去するためには、カスケード型のシステムが必要になる。最終的にヒートシンクにたどるということになるわけですが、そうすると工事費も非常に上がるということになります。安全系がプラント全体で必要になるからです。安全系を非常に小さくするというので、このコスト削減を図ろうということ。しかも設計をシンプルにするということになっております。

それから工期短縮も 36 カ月で作るということで今、考えております。どうやってやる

かと言いますと、Energy Islandを別にすることによって、できるだけ早くEnergy Islandのところを作ってしまうということをするわけです。それから非常に高い熱効率ということになります。これがナトリウム高速炉の特徴ということになります。

それからもう1つの特徴。これは、再生可能エネルギーとの融合ということです。再生可能エネルギーというのは間欠性である。連続していないという特徴があります。低コストで、そして熱を貯蔵できる能力をできるシステムを作ることによって、再生可能エネルギーの間欠性を補うということです。なので、対峙するのではなくて、相互補完するということになります。この再生可能エネルギーがグリッドにつながっている。そしてこちらでは、エネルギーを貯蔵しているということで、さらに効率がよくなるということになります。石炭火力のリプレースメントということは今、考えております。後ほど、もう少し説明いたします。

Na t r i u mの現在の発電容量は345MWということであります。今、アメリカの市場では石炭火力の不足といったことで、そういったものが必要である。そのエネルギー貯蔵をしているということで、これと組み合わせることで、5.5時間、500MWまで拡張可能ということになるわけであります。

次をお願いします。他にもいろいろとコストにかかる場所なんですけれども、原子炉そのものの基本的なデザインのコストの部分というものがああります。そして冷却材としてナトリウムがあります。それから1次系の全てが、この統合型の1次系と呼ばれている原子炉容器の中に入っているということです。このナトリウムのシステムを含めて、全て大気圧で運転することができます。ナトリウムというのが大変高温で、しかも液体でいられる大気圧であるということで、非常に効率のターゲットとしては、とても高いものを目指すことができます。それからまた、非常に熱伝導性が優れているということです。つまり徐熱系をシンプルにできるということにもつながります。効果的な形で熱を、事故のときにも除去することができます。

次です。こちらのアーキテクチャーの図を見ていただきますと、より進んだアーキテクチャーということで、これから先、このようなことを考えています。これはNa t r i u mの実証を超えてというところなんです、基本的にここに書いてあるのは、この2次的なNa t r i u mのシステムをプラントのデザインから外すということなんです。つまり熔融塩、これはナトリウムから熔融塩への交換ということになります。そしてその中間の

ナトリウムのシステムがいらないということです。今、ちょっとそこが大きすぎるということなんです、現状の技術では。ですから、先進型のコンパクトな熱交換器を設計する必要があります。それができれば、経済性はさらに高まることになります。

次です。分かっていることとして、この廃棄物というのが大変重要な問題。特に公衆にとって、それから原子力業界にとってもということで、先進的な燃料設計によってわれわれは同時に、イノベーティブな技術を開発をして、安全性、セキュリティ、それから取り扱いの作業空間のために、使用済み燃料貯蔵技術のイノベーションを進んでおります。そしてまた量も減らそうというふうに考えています。つまり燃料として、よりその燃焼度が高いものにする、そしてウランの利用効率を高めていくということを目指しています。

次をお願いします。注目しておりますのが、3つの主な根本的な安全のための部分です。つまり制御して冷却して封じ込めるといふ、この3つなんですけれども、N a t r i u mのユニークなところというのがこの3つの面で、非常に通常のこの手法というのがありまして、パッシブなものもあり、それから内在的なものもあるということです。この内在的な安全性というものが、N a t r i u mの特徴だということです。いろいろな事象があったときにも、大変安全に対処することができる特徴を有しています。

次に行きます。われわれとしてはアメリカでは、このARDP、先進型原子炉実証プログラムという官民連携プログラム、これはエネルギー省と一緒にやっているものなんですけれども。それに参画できてうれしく思っております。50・50のコスト負担でN a t r i u mプロジェクトのために最大20億ドル、T e r r a P o w e rが半分払っているということなんですけれども、スコープとしましては、設計をして許認可を得て建設して運転を始め、運転用の能力があることを実証することもできるということを示しております。ということで、かなり大掛かりな実証プロジェクトであるといえます。

次をお願いします。私たち、ワイオミング州の仕事、これはアメリカの西ですけれども、そこで仕事ができてうれしく思っております。昨年6月に発表したんですけれども、初号機をここで作ると。この閉鎖する石炭火力発電所のサイトに作るということを発表しました。4つを評価したんですけれども、いろいろなスケジュールをもって、閉鎖するタイミングも異なっていて、プラスマイナス面両方あったので、それで細かく調査をして、そして絞り込みをした結果、ワイオミング州のケメラのサイトを選ぶことになりました。個人的には私はとても興奮をしています。なぜかと言うと、この地元のコミュニティというのが、とても前向きにわれわれを迎え入れてくれるということなんです。原子力が自分た

ちのまちにやってくるということは大変大きなメリットがあるというふうに考えてくれている。例えば、その建設に関わる仕事がやってくるというようなことに喜んでくれている。とてもその近代的な町にできるということ。それからまた、石炭火力発電所で今、働いている人も喜んでくれています。つまり、自分たちの将来の仕事が、雇用が約束されているということだからです。

次をお願いします。それから、とても野心的なスケジュールを組んでおります。アメリカの議会が言っているのが、5年から6年で導入展開しなさいという内容でした。ということで、主な建設、ライセンシングに関する節目が書いてあります。来年が初めて、特に大変なマイルストーンになりますけれども、この建設許可の申請をして、それから当局のほうに関連の文書も提出するということになります。

次をお願いします。最後になりますけれども、あと2枚あるんですけど。これからまた、緊張を要する取り組みもあるということをお願いしたいと思います。こちらに出ていますが、1次エネルギーの需要です。これがどんどん増えています。人口、それからGDPの推移と合わせて、この70年間ずっと伸びてきて、エネルギー事業は7倍になったということが分かります。この連動はこれからも続いていくと見込まれます。

次をお願いします。こちらのスライドは50年ぐらい先まで見通したものなんですけれども、これだけの成長を支えるためには、われわれ、はっきりしているのはイノベーションしなければいけないということです。新しいやり方を生み出さなければいけない。つまりエネルギーを、いろいろな国で、国内で展開していくためには、例えば核分裂の技術を活用する。そして、これを発電の分野だけでなく工業の分野にも生かすことができるというふうに考えています。

ということで、私の発表は以上となります。ご清聴どうもありがとうございました。質問があれば聞いてください。

○黒崎座長

ありがとうございました。それではこれから、W i l l i a m s ディレクターからのご説明について、10分間程度の質疑応答に移らせていただきます。ご発言もしくはご質問を希望される場合、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、こちらからご指名いたします。なお、事務局の説明については後ほどの自由討議の際にご発言いただくようお願いいたします。では、よろしく申し上げます。高木委員、お願いいたします。

○高木直行委員

高木でございます。東京都市大学からまいりました。2つ質問がございます。1つ目。

○黒崎座長

もしよろしければ日本語でも大丈夫のようですけれど、先生にお任せいたしますが。

○高木直行委員

日本語ででしょうか。2点、短い質問です。1つはこのN a t r i u mの建設に絶対的に必要なV e r s a t i l e R e a c t o rから得られる知見というのはありますでしょうか。V e r s a t i l e T e s t R e a c t o rが平行で進んでいますけれども、ここから得られる知見がないとN a t r i u mが作れないというようなことがあるのでしょうか、というのが1つです。

2つ目は、炉側はP R I S Mのベースで30年間の実績があると思います。一方、ソルトループのほうも太陽エネルギーとかでも、コマースライズされている技術ですが。その両者をつなぐヒートエクスチェンジャーが新しい部分じゃないかと思えますけれども、ナトリウムと熔融塩のヒートエクスチェンジャーの開発というのが、この計画の、先ほどのタイムスケジュールを遅らせるようなことがないでしょうかというのを教えてください。

○W i l l i a m s エンジニアリングディレクター

ご質問ありがとうございます。まずV e r s a t i l e T e s t R e a c t o rですけれども、現状、今、止まっております。T e r r a P o w e rもチームの一員としてこの開発に関わりました。もともとは計画としては、V e r s a t i l e T e s t R e a c t o rをまず作って、それを試験することでN a t r i u mの導入をサポートしていくということだったんですけれども、連邦政府のほうで、この先進炉のデモンストレーションのほうを優先させるということになりました。ということでN a t r i u mのほうが行先するということになります。なので、V e r s a t i l e T e s t R e a c t o rから何かを学ぶというメリットが期待できなくなってしまうということでありまして、もう設計段階でいろいろと知見も得られておりますので、それは活用しております。

それから経験ということでは、何十年もの経験がアメリカにはあります。実験高速増殖炉ですとか、あるいは高速炉の試験設備ですとか、T e r r a P o w e rの中にも、そもそもその高速T e s t F a c i l i t yのオペレーター経験者がたくさんおります。それがプラスに働いております。

ただし、これは商業炉ではないということで、われわれの課題としては例の設計を見て、その決定を生かせるところは生かすということはしたいと思っているんですけども、やはりコマーシャルオペレーションという観点で考える必要がある。商業炉に必要な要件を満たすというのは、試験炉よりももっと大変なものになります。ということで、技術的なチャレンジをあえて受けて、それによって例えば燃料取り扱いシステムがそうなりますけれども商業炉に生かそうと。すなわち、経験をもうちょっと管理できるようにということで考えております。

それから熱交換器についてですけども、おっしゃるとおり熱交換器というのは、それを設計するというところは、それほど技術的に難しいものではありませんが、そのナトリウムとその塩、もしもリークがあったときにどういった相互作用があり得るのかということがポイントになります。この熱交換器、これが1次系に直接つながっているのではなくて、2次系のほうにつながっている、デモ炉に関しては。ということで、原子炉からは離れているというのが1つプラスになります。われわれにどうしても必要なところ、もちろんスケジュール上ネックになるというのはおっしゃるとおりです。ですが、この熱交換器の実験がワシントン州のラボのほうで進んでおります。今、データを集めているところです。その2つの間の相互作用のこれまでの結果を見ますと、非常に易しいbenignな事象であるということが分かっております。というのも、リークの方向性としては、塩からナトリウムという方向であるということで、そこから出てくる熱というのは、あっという間に拡散するということになります。ですが、もちろんこの技術をもっと開発をして設計をしなくてはならないというのはおっしゃるとおりです。

○高木直行委員

はい、ありがとうございました。

○黒崎座長

次は、それでは斉藤委員、よろしく願いいたします。

○斉藤委員

OK, Thank you very much for your very informative talk.

○Williams エンジニアリングディレクター

ありがとうございます。

○斉藤委員

では日本語でちょっと話をさせていただきます。3ページのレイアウトを見させていただくと、Nuclear Islandと、Energy Islandが分かれているということで、先ほど議論にあったヒートエクスチェンジャーが入っているということなんです。このように距離を離してしまうと、ナトリウムの漏洩時のリスクというのが非常に上がるような懸念があるんですが、あえてこういうデザインを取るということのメリットで、例えば将来的に複数のNuclear Islandを1つのEnergy Islandでハブのようにして使っていくとか、何かそういった意図があるのでしょうか。

○Williams エンジニアリングディレクター

1つ目指していたのが、この設計上では、複数のユニットのサイトを可能にしようということなんです。つまりレイアウトとしては追加的な原子炉建屋を、反対側、つまり燃料取り扱い建屋の反対側、これは下のほうに書いてあるんですが、そこに置くということ。それからまた別の原子炉補助建屋を反対側にも作るという形で、同じ燃料取り扱い建屋を共有することができる。それからまたEnergy Islandも共有できるということも計画しています。マルチユニットのサイトとしては、そういったことを考えています。今、取り組んでいます。で、電力会社によっては、関心を寄せているところもあります。

具体的な電力会社が、その統合的なリソースプランのほうで4つのこのワイオミング州なんですけれども、4つのものを合わせて使うということを考えています。サイトのレイアウトの設計のときにも追加的なその号機を増やしていくということも考えています。

それからもう1つなんですけれども、熔融塩のタンクがあります。複数あるということも考えられます。例えばこのペアの形でいくらかでも増やすことができる、つまり、グリット側で求めていること、それに合わせてということで、だいたい5.5時間の貯蔵によるこのピークパワーのだいたいこの500MWを提供できるということ、もしも10時間ということであれば、やはりこの熔融塩のタンクを増やすことが簡単にできるわけです。例えば6のペアを使うこともできます。実際そういったことをやっているところもあります。

○斉藤委員

このナトリウムの漏れについての何か対策というのはありますか？そうか、同時通訳がうまくいってないのか。何か、ナトリウム漏れ時の対策というのは追加で考えていらっしゃるのでしょうか。

○Williams エンジニアリングディレクター

はい、このナトリウムの漏れなんです。これに対応するものとして、追加的なエンジ

ニアリングセーフガード、つまり工学的な安全の措置を講じています。幾つかやり方はあるんですけども、一番極端なやり方というのは、例えばこの口径の小さなだいたい径が2インチぐらいの配管でもって1次系の液体を取り出して、そして浄化をするということです。

その系統で漏れがあった場合ということで、そのガードパイプと呼ばれるそのナトリウムのパイプの周りにもう1つ配管があって、アルゴンを、その気体ですけれども、入れている。ですから1次的な配管のところで漏れがあっても、結局、間に隙間があって、2つ目のそれを囲むような配管がその外にあるということで、その間に、このギャップと隙間があって、そしてエアが入っていてということです。ですから、これ実際にメンテナンスができます。

それからもう1つのやり方というのが、時にたくさんの配管が1カ所に集まっているようなケースがあります。その場合には、この不活性化したコンクリートのコンポーネントに入れるみたいな感じのことをしております。そしてまた、内張を金属でやっているということです。これもアルゴンガスを入れているという状況です。通常どうなるかという、われわれの研究の結果、このFast Flux Test Facilityというのがあるんですけども、そこで運転経験を得ました。

そして例えば、そのナトリウムの配管で、どういうふうにその保存をするか、あるいはこの漏れをどうすることができるか、いろいろ考えました。最初に起こることは何かというと、この絶縁のところが結局リークを検知して、そして熱のトレースがあるわけです。ということで、そこで短絡が起こるとそれで検知ができるということ。それが経験から分かっています。それからまたほかにも、このスペースの中に漏洩検知システムも入れることとなります。

○齊藤委員

ありがとうございます。Thank you very much.

○黒崎座長

はい、現在、全体で10分ほど時間が押しておりますので、ご質問、ご回答は端的にお願いいたします。また、このあと竹下先生からプレゼンをいただくのですが、このプレゼンも10分ということで改めてお願いいたします。

それでは最後の質問ということで、松久保委員お願いいたします。

○松久保委員

ありがとうございます。ご説明ありがとうございます。お伺いしたい点は2点です。1点が、プロジェクトスキームについてです。御社、たぶん製造工場お持ちでないというふうに理解しているんですけども、パーツなどはどのように調達されて、どのように組み立てされるのかというところがお伺いしたいです。

もう1点が、燃料に関してです。使用済み燃料、乾式貯蔵に最終的には移行されるというふうに理解しているんですけども、移行できる燃料なんですか？そこについてちょっとお伺いしたいというふうに思います。

○W i l l i a m s エンジニアリングディレクター

ありがとうございます。最初のご質問ですけれども、T e r r a P o w e r、おっしゃるとおり製造機能は持っておりません。その製造能力を開発するという計画もございません。技術イノベーターをしようとしておりまして、製造は専門家に任せたいと。ただ、調達はわれわれがちゃんと責任を持ってやります。ということで、カスタムエンジニアドされたコンポーネント、適切なサプライヤーからそれを調達する。よりコモディティ型の設備に関してはB e c h t e l の協力を得るということになっております。もちろん、工事、建設のほうのリードもB e c h t e l ということになります。ということで非常にうまくいくと。もちろん、調達というのがプロジェクト全体にとって非常に重要なところになります。

2つ目のご質問ですけれども、あれ？質問は何でしたっけ？

○松久保委員

使用済み燃料の貯蔵に関して、将来的に乾式貯蔵に…。

○W i l l i a m s エンジニアリングディレクター

はい、そうです。現在、貯蔵、使用済み燃料プールのほうで貯蔵する、これは今、現行炉と同じような形になりますが、10年そこで保管したあと乾式貯蔵ということになります。これは今のやはり現行炉と同じになります。

アメリカのN R Cの方針としては、この使用済み燃料のオンサイトでの乾式貯蔵をかなり長期認められるということになっております。確か100年ぐらいのインスペクションだったというふうに思います。かなりの長期になります。契約としてはそれをする。コンテナの中でも、容器の中でも、それを輸送し、そして最終処分場できたところで、そこでそのまま保管するということになりますが、今、アメリカにはそういう場所がないということで、その能力がないので、そこが課題ということになります。

○松久保委員

ありがとうございます。

○黒崎座長

ありがとうございました。たぶん、委員、専門委員の先生方、ご質問あるかと思いますが、時間の都合でここで終了とさせていただきます。そのほかの質問があれば事務局までメール等でご連絡いただきたいと思いますということで、よろしく願いいたします。ありがとうございました。

それではW i l l i a m s ディレクターにおかれましては、ここでご退出となります。N a t r i u m 炉の開発状況がよく理解できる大変有意義なご説明でした。本日はお忙しいところ、ありがとうございました。

○W i l l i a m s エンジニアリングディレクター

こちらこそ、ありがとうございました。失礼します。

○黒崎座長

では、続きまして資料5「核燃料サイクルシミュレーターを用いた原子力利用シナリオの解析について」、東京工業大学科学技術創成研究員特任教授名誉教授の竹下先生からご説明をいただきます。では、竹下先生、よろしく願いいたします。

○竹下氏

ありがとうございます。竹下でございます。東工大とJAEAで、共同で核燃料サイクルシミュレーターのNMB4.0を開発いたしまして、バックエンドを起点とした将来の原子力利用シナリオの解析法を開発してまいりました。

次をお願いいたします。第6次エネルギー基本計画では、核燃料サイクル政策の継続が明記され、今後も原子力の発電利用が継続されます。加えて、今後2050年のカーボンニュートラルの実現には、原子力発電の貢献というのが不可欠でございます。原子力政策の柱であります核燃料サイクルは、多様なプロセスによって成り立つ大きなシステムでありまして、高度な核燃料サイクルを実現するためには、各プロセスの統合的な最適化をする必要がございます。

また、今後持続的な原子力の発電利用のためには、放射性廃棄物の処理、処分を中心とするバックエンドプロセスの確立、およびその負荷低減、これが不可欠でございます。そのためには、バックエンドプロセスを起点にした核燃料サイクルの高度化と、将来の原子力利用シナリオの定量的な解析が必要になります。

次をお願いいたします。現実的な原子力エネルギーの利用を考えますと、将来起こり得るイベントとして、この表にありますような事項が考えられます。六カ所再処理の商用運転に始まりまして、MOXの再処理、高速炉の導入など、原子力施設の利用状況が、時間経過とともに変化してまいります。それに対して、原子力の撤退も含め、ワンスルーサイクルから、高速炉サイクルの導入まで、いろいろな原子力政策が考えられます。こうした解析には、複数の原子力施設が同時に稼働するという複合的なシナリオを考えなければなりません。核燃料サイクルシミュレーションは、時間軸を持った複合的なシナリオ解析ということになります。

次をお願いいたします。核燃料サイクルの構成プロセスをモデル化し、プロセス間の物質の流れ、これはマスバランスでございますけれども、それを解析し時間的因子を考慮して、複数の原子力シナリオのパフォーマンスを並列計算して、時間因子を含む複合的なシナリオの解析を行います。

次をお願いいたします。原子力利用シナリオの計算結果を示す前に、廃棄物処分を評価軸とした動的な核燃料サイクルシミュレーションの特徴をお示しいたします。ここではPWRで、UO₂燃料の燃焼を想定して、表に示す4つの主要パラメータ、ガラス固化体への廃棄物の含有率、それと使用済み燃料の冷却期間、ガラス固化体の冷却期間、それとマイナーアクチノイドやセシウム・ストロンチウムなど核種分離をパラメータと想定します。このパラメータを標準値から、上の表にありますように、大きく変化させて最終処分への影響を評価軸として感度解析をいたします。

次をお願いいたします。これは計算条件でございますけれども、これは代表例として、UO₂燃料を燃焼度 45GWd/t で燃焼計算を行います。軽水炉で標準的な燃焼を行ったのちに、使用済み燃焼再処理、ガラス固化、そして地層処分するというものでございます。

次のページをお願いいたします。これは計算結果を示します。これの上半分は、ガラス固化体の高レベル廃棄物の含有量の影響でございますけれども、その上の左の図ですけれども、これは廃棄物処分後の時間に対する廃棄体の発熱量の関係を示しております。右の図は廃棄体処分後の時間と緩衝材でありますベントナイトの最高温度の関係を示しております。廃棄物量が 20.8%、これは通常的量でございますが、これを 35wt%まで増やしますとガラス固化体の発生本数は減少するんですけれども、廃棄体の発熱量が増加して、例えばこの緩衝材の制限温度が 100℃なんですけれども、それを簡単に超えてしまいます。

下の図は使用済み燃料の冷却期間、これは 4年から 100年に変化させた場合の廃棄体の

処分後の緩衝材の最高温度の変化を示したものでございます。長く使用済み燃料を冷却すると、発熱核種のストロンチウム・セシウムは崩壊して全体的に緩衝材の温度は下がるんですけども、廃棄物中のプルトニウム 241 がアメリシウム 241 に変わってしまって、かなり時間がたってから緩衝材の温度が上がります。それで制限因子を超えるということが見て取れます。

次をお願いします。これは上の図はガラス固化体の貯蔵期間の影響を示します。処分後にガラス固化体を冷却しておきますと、発熱核種がストロンチウム・セシウム、これが崩壊して緩衝材の温度は低下いたします。廃棄物の長期冷却をしておきますと、セシウム・ストロンチウムを高レベル廃液から分離するのと同じような効果が得られるということが分かります。下の絵が核種分離、マイナーアクチノイド分離とセシウム・ストロンチウム分離の影響です。左側がセシウム・ストロンチウム分離ですけども、廃棄体の処分後 30 年ぐらいしてから現れるピークが低下することが分かります。それに対してマイナーアクチノイド分離では、100 年以降の発熱量が低下することが分かります。

次をお願いいたします。このような感度解析のまとめを行いますと、今、示しました 4 つの主要パラメータ、発熱特性が変化したり、物量が変わったり、あるいは影響因子の発現する時期、こういうものが変化して、処分場に特徴的な影響を与えるということが分かりました。こうした特徴を組み合わせると、例えば、使用済み燃料を早期に再処理して、高レベル廃棄からマイナーアクチノイドを分離して、ガラス固化体を長期冷却すると、ガラス固化体自体の温度は非常に低下して、その結果、ガラス固化体への高レベル廃棄物の含有量を増すこともできますし、結果的にガラス固化体の本数も減らすことができます。こうしたパラメータを有効に組み合わせることで、処分場の面積の削減が可能になるということでございます。

このように感度解析から分かるように、動的な核燃料サイクルシミュレーションは将来の開発方針を決める上で大変有効であるということを示すことができましたと思います。

では次をお願いいたします。では実際に NMB 4.0 のお話をさせていただきます。まず初期燃料組成を決め、燃料の燃焼計算を次に行います。燃焼計算では 1,200 核種を全部計算することになるんですけども、ここではバックエンドのマスバランス解析に必要な 26 種類のアクチノイド核種と 153 種類の核分裂核種を選定して計算いたしました。その結果、計算時間大幅に短縮することができています。

それができますと、使用済み燃料の冷却工程、それとあと再処理工程、それと固化貯蔵、

地層処分での廃棄物発生量、処分場の面積、環境中の核種移行を評価します。

次をお願いします。実際NMB 4.0 を使った計算結果ですが、核燃料サイクルを動かして 22 世紀半ば、2150 年までに必要となる処分場の面積を比較したものです。ここで下に基本ケースというのがありますけれども、基本ケースは、これは六ヶ所の再処理工場を 40 年運転して出てくるガラス固化体 4 万本、これを処理するのに必要な処分場の面積を基準としております。最初のカラムのワンスルーサイクル、すなわち使用済み燃料を直接処分したケースですけれども、基本ケースと比較しまして 10 倍近く処分場が必要になります。

次の項目、軽水炉とありますけれども、これは再処理を継続しつつ、プルサーマルは 10% から 20% 行って、この使用済みの MOX 燃料は直接処分するというケースです。その次の項目は、軽水炉のマルチサイクルでございますけれども、これは MOX 再処理を導入して軽水炉のマルチサイクルを行います。ただ、これは処分場は減るんですけども、高次のプルトニウムを含む、プルトニウムがリサイクルされて、ガラス固化体中のマイナーアクチノイドの量が増えてくるということで、処分場の負担はそれほど減らないということになります。

次の項目、高速炉導入ですけれども、22 世紀にかけて軽水炉サイクルから高速炉サイクルに移行するというケースでございます。これマイナーアクチノイドが変換されますので、ガラス固化体の発熱量はやや抑制されますが、基本ケースのまだ 3 倍ぐらい処分地面積が必要になります。

次をお願いします。そこで解決策として分離変換技術の導入を考えます。この左の図にありますように、軽水炉の UO₂ 燃料あるいは MOX 燃料を燃やして再処理して、プルトニウムとマイナーアクチノイドを高速炉で燃やししながら、またプルトニウム、マイナーアクチノイドを回収して、高速炉燃料にリサイクルして核変換するというものです。

そのスケジュールでございますけれども、それを右側のように 2062 年ごろ高速炉を導入して、21 世紀にかけて軽水炉から高速炉に置き換えてくという想定でございます。

次をお願いいたします。これが分離変換導入後の廃棄物処分への影響でございます。①はマイナーアクチノイドの分離なしのケース、先ほど示しました高速炉だけ導入したというケースですけれども、それに対して②マイナーアクチノイド分離を導入しますと、ガラス固化体の発熱量十分抑えられて、処分場の面積は大幅に減るということでございます。ガラス固化体をさらに長期的に冷却する、これが③④のケースでございます。

そういうことをいたしますと、さらに発熱量は低下いたします。処分場の廃棄物の定置

方式も高充填が可能な方法を選ぶことができるようになりまして、結果的に 2050 年までの必要な処分場の面積はこの基本ケースよりも十分小さくなるというようなことが分かると思います。分離変換技術の導入というのは、廃棄物問題の確実な軽減につながるというところでございます。

重要なことは、これまでわが国で開発された分離変換技術を地道に導入してやれば、こういうことは達成できるということです。決して夢の技術を含んでいるものではありません。高速炉を導入し高速炉サイクルを作り、分離変換を行う。これを実際にプラントに実装していくということをすれば達成可能なものでございます。

次をお願いします。これは最後の図ですけれども、バックエンドを起点とした動的核燃料サイクルシミュレーター、NMB 4.0 の計算結果を紹介いたしました。今後の核燃料サイクルの政策をどのように進めていけばいいかの 1 つのヒントを示せたかと思えます。今後でございますけれども、こうしたシミュレーターを使ってこれはこれまで横断的に評価されてない革新炉の廃棄物問題を解析し、本ワーキングで論議すべきと思えます。

そのためには、今回開発いたしました NMB 4.0、これにさらに革新炉の炉設計データを組み込んで、さらには再処理を綿密に計算できるコードを組み込んで、精緻に動的核燃料サイクル計算ができるよう NMB を高度化したいと考えております。そうすることで、本委員会で今後検討対象となる多様な原子力利用シナリオに対しまして、NMB を使った総合的な核燃料サイクル評価を進めることができるものと確信しております。

以上でございます。

○黒崎座長

ありがとうございました。それでは自由討論、および質疑応答に移らせていただきます。なお、事務局や竹下教授へのご質問がある委員におかれましては、この時間にさせていただきますと幸いです。ご発言時間に関しましては、できる限り多くの方にご発言をいただく機会を確保するため、恐縮ですが、お 1 人当たり 3 分程度でお願いいたします。通常、前回は 4 分だったのですけれども、少し時間が押していますので、気持ち短めの 3 分ということでお願いいたします。

時間の目安としましては、2 分が経過しました段階と、3 分が経過しました段階で、それぞれの先生方のところにチャットボックスにて、お知らせさせていただきます。専門委員の方もご発言のご希望ございましたら、お時間の許す限り、ご発言いただいて構いません。ひととおり皆さまからのご意見をお伺いした上で、もし時間に余裕があれば、事務局

からのコメントや、希望がある場合の再度のご発言をいただきます。それでは、皆さまよろしくお願いたします。

そうしたら、松久保委員ですね。松久保委員、よろしくお願いたします。

○松久保委員

よろしくお願いたします。ご説明ありがとうございました。私のほうは2点、発言したいと思えます。

まず1点目、前回もお話ししたかと思うんですけれども、導入規模とインパクトに関して、若干竹下先生のお話に関係してしまうかもしれないんですけれども、今回経産省にご説明いただいた資料の中で、革新炉ではあれが出来ますとか、これが出来ますといったことでたくさんご説明いただいたと思えます。

しかしながら問題なのは、できるということではなしに、導入することに意味があるのかどうかというところだというふうに思えます。高速炉による例えば資源の有効活用とか、放射性廃棄物の有害度の削減といったところ、こういう絵を実現するためには、いったい何基の高速炉と再処理施設、MOX燃料加工施設が必要で、何十年かけて実施する計画なのか、そのためにいったい費用がいくら必要かなどの数的な見積もりなんか必要じゃないかと思えます。

例えば1基高速炉導入できたとしても、それには研究開発的な意味はあるかもしれないんですけれども、社会的にはほとんどインパクトはないというふうに思えます。高速炉に関しても、1基入っただけではほぼ意味がないというふうに思えます。例えば、理論的にも、理論的には発電と同時に水素製造できるかもしれないんですけれども、高温ガス炉1基導入できても、量的には必要な水素量に関しては、ほとんどインパクトがないというふうに思えます。革新炉開発の価値を考えるに当たっては、いつの段階で、どの程度社会に実装していくのかというところを見る必要があるんじゃないかなというふうに思えます。

当然ながら、それにおいて他の電源との比較考慮なんかも当然必要だろうというふうに思えますし、段階に応じて、その時点において、どういった電源がもう投入されている中で、革新炉が本当に必要なんですか、というところも議論すべきところだというふうに思えます。お金を投じるだけで、結局社会に実装できないということになるのであれば、過去繰り返してきた新型炉開発の轍を踏むことになるというふうに思えます。

もう1点、エネルギー安全保障と原子力の観点です。11年前、福島第一原発事故のあと計画停電行われたわけです。定期点検中だった多くの原発再稼働できなくなったという経

緯もありました。原子力は当然ながらその内包する危険性から、1基で確認された問題を水平展開するということもあり得るというふうに思います。東京電力が行っていたトラブル隠蔽が発覚した結果、東京電力の原発が全て停止したという事象もありました。

今、フランスでは老朽化などから複数の原発が多数停止しているという状況です。発電電力量が大幅に低下しているという状況になっています。原発は1度建設すると40年、または60年稼働するというを前提にするので、老朽化によるトラブルが、当然前提とされている必要があるというふうに思います。

ウクライナではロシアに占領されたザポリージャ原発、攻撃前は6基中3基稼働していたんですけども、攻撃中でさえ2基停止させただけで1基運転させているという状況でした。

今回の説明では、高速炉と再処理ができればエネルギー安全保障ができるみたいな仮想の絵が描かれているわけですけども、原子力は電力供給という観点だけではなく、安全保障、リアルの安全保障という観点、または、共通要因事象による原発の複数停止といった課題なんかも見ておく必要があるというふうに思います。

以上になります。

○黒崎座長

松久保委員、ありがとうございました。続きまして田村委員、お願いいたします。

○田村委員

田村でございます。まず最初にですけども、エネルギーの安全保障、その中での原子力の位置付けを整理いただきまして、ありがとうございます。今回プレゼンがありました、TerraPowerさん、またこのあとされるNuScaleさんといった、新しい原子力企業がコンセプトを確立し、実際に許認可申請等のプロセスが進展していること、このことが、アメリカにおいて原子力の技術革新の支援がなされている証左だというふうに理解をしております。このような企業に対し、日本の原子力の技術を保有する企業が、提携や出資をしていますけれども、対等に議論を続けていくためには、民間の力のみならず、政府の支援というものが必要であろうと思った次第です。

次にでございますが、今、出ています資料でいきますと、22ページ目でございますけれども、カーボンニュートラルに向けたエネルギー安全保障の再定義のページでございますが、こちらにおいて革新炉開発によって貢献できる可能性が示されているということでございます。客観的に見ますと緑の字で書かれているところというのは、次世代軽水炉を含

めた革新炉の炉型によっても、その貢献できる度合いというのは濃淡があるのではなからうかと思えます。今後の革新炉の技術整理におきまして、これらの項目における革新炉の炉型ごとの相違点が明らかになると比較しやすいと考えております。

また、この場合は革新炉ワーキングでございますので、革新炉に視線が集中しがちということには理解をしておりますけれども、既存技術でしたり、または他の技術でもお示しいただいたリスクに対応できることはあるというふうに理解はしております。革新炉での対応に優位性があると考えられること、革新炉にしかできないということ、また既設技術の利用の延長でできるということといったエネルギーの全体観の中で考えていく必要があるというふうに考えております。

以上です。

○黒崎座長

田村委員ありがとうございました。続いて小野委員お願いいたします。

○小野委員

本日は丁寧にご説明いただき感謝します。革新炉が果たす役割の大きさを改めて認識しました。エネルギー資源に乏しく、欧州のように外国との系統連系もないわが国にとって、リスクマネジメントの観点から原子力を含むバランスの良いエネルギーミックス形成の重要性は従来から強く認識されてきました。

そのような中、毎年繰り返されるようになった電力の需給ひっ迫やウクライナ情勢による国際的なエネルギー供給リスクなど、新たな課題の顕在化によりエネルギー安全保障上、原子力の重要性はますます大きくなっています。加えて、2050年カーボンニュートラルや、国民生活・産業の国際競争力に直結する経済性の問題を解いていく上でも、原子力は、わが国にとって必須の選択肢と思慮します。

事務局資料にも記載のとおり、欧米では革新炉を含む原子力の評価、重要性を再定義し、研究開発・建設に対して、大胆な支援措置が講じられています。わが国においてもNEXIP事業等を通じて一定の支援が行われているものの、欧米や中露に伍していくためには、さらに踏み込んだ戦略的な対応が求められます。廃棄物問題に関しては、主に高速炉について記載いただいています。

高速炉は放射性廃棄物の有害度低減や減容化を実現するために重要な技術であることに加え、常陽、もんじゅなどの知見があることから、日本が国際的に強みを有している分野でもあります。国際協力も活用しつつ、研究開発を強力に推進していただきたいと思いま

す。

最後に、こうした取り組みの前提となる原子力の産業、技術基盤の維持は極めて重要です。事務局資料にも記載のとおり、原子力産業は地域経済や雇用への波及効果も期待できます。東日本大震災後、原子力サプライチェーンの脆弱化が進む中、まずは政府が新設方針を含む明確な方向性や、メッセージを打ち出すことが重要と考えます。

○黒崎座長

小野委員、ありがとうございます。続いて高木利恵子委員、お願いいたします。

○高木利恵子委員

ありがとうございます。今回の資料の1-2-4の、スライドナンバーで言いますと、11ページに、米国における石炭火力の代替としてのSMRの導入事例、先ほどご説明のあった事例だと思えますが、それがありまして、日本でもこのような柔軟な発想でいろいろと検討していけたらいいなと思いました。

一方で、日本では今回のこの石炭火力を原子力にとった事例のような発想に至らないのには、それなりの理由があるからでして、例えば耐震性など、石炭火力と原子力とでは土地の適性が違うといった物理的な理由もあるでしょうし、石炭火力発電所があった地域が、例えば人口密集地の近くだとした場合、社会環境的な理由もあると思います。さらに最も高いハードルと考えられるのは、同じ発電施設とはいえ、原子力発電を果たして受け入れてもらえるのかということだと思います。

そういった意味で日本では、今回のようなこの石炭火力を原子力に置き換えるリプレースの選択肢を排除するわけではありませんが、既存の原子力発電所立地点でのリプレースや増設といったほうが圧倒的に現実味があって、早急に発電容量を確保していくにはそれが確実な方法だと改めて思いました。ただし、資料においてはそのあたりに言及されていませんでしたので、検討されていないのか、それともそれが大前提になっているのかというのを今後ぜひ分かりやすく資料にも示していただきたいと思います。

それから、フランスやオランダ、ポーランドでも今すぐに着手することができる炉型を選択しているように、使用者である発電事業者は、そのときのベストな炉型というのを選択し決断するものだと思います。事業者にとっては、立地点の自治体との共生が安全性の確保と同じくらいに重要でありますので、その決断にあたっては、地元の方々との対話を通じて理解を得ていくということも重要になります。新設やリプレースに向けての地元と

の対話の際には、当然経済雇用への波及効果も重要なテーマの1つになります。

カナダの事例で女性や障害者、先住民の方の雇用とありましたが、そのような観点にまで思いを巡らすことは大変重要で、地域が経済的に自立し、ひいては持続性につながっていくよう、その土地や地域に合った工夫や知恵というのを互いに出し合っていければよいと考えますし、その成功事例というのは革新炉の導入の際にも有効になると考えます。

また革新炉の技術開発の各段階においてさまざまな課題というのがあると思いますが、その課題や解決に向けた取り組みを具体的に明らかにしていただいているほうが、説明を聞く側にとってはより実現性の高いものとして受け止められると思います。今後評価基準の必要な「研究開発項目」といったところで、具体性の度合いというのも考慮されるとは思いますが、具体的な取り組みを提示するという事は、立地地域との対話における基本だと考えますので、メリットだけではなくそういった課題に関する事も今後できる限り明示するようにしていただきたいです。

以上です。

○黒崎座長

高木利恵子委員、ありがとうございました。続いて斉藤委員、お願いいたします。

○斉藤委員

ご説明ありがとうございました。カーボンニュートラルに向けたエネルギー安全保障におけるこういった新しい炉の貢献の可能性という点では、これまでの議論でも繰り返し出ておりますが、やはり炉型によって技術成熟度ですとか、これまでの実績違いますので、時間軸を踏まえた、やはりアクションが必要だと言えます。

その点で革新的な軽水炉という事務局説明にあったそういった炉については、やはり実際かなり実績ありますので、規制対応という意味での予見性も高いという炉ですので、かなり問題への即応という点で期待できると思います。

そういった中では、やはり国が果たす役割としていろんな各国の例にもありましたとおり、やはり明確に戦略を示していくということが重要だと思います。それがないとなかなか投資につながっていかないというふうに言えるんだと思います。

一方、まだまだ技術開発が必要な、本当に革新炉と呼ばれているものについては、こういった炉型は、私が学生のころから開発はあったんですが、当時とかなり境界条件が変わっていると思いますので、これからの社会に合った形で開発のリソースに対して投資をしていくという、こういったことになると思います。

例えばガス炉については、本日の議題の1つであったサイクルという点、廃棄物という点で、これどうしていくんだというのは非常に考えるべきことだと思います。非常に特殊な燃料を使っているのです、サイクル上どう位置付けていくのかという議論が必要です。

高速炉についても、確かに事務局説明や竹下先生の資料にもありましたとおり、廃棄物の削減はできます。ただ、これをどこまで削減していくのか。つまり、マイナーアクチノイドをどこまで分離するのか。実際に本日事務局資料にあったレベルまで分離しないと持続的ではないのかというのは、別途議論があるところだと思います。実際マイナーアクチノイドの分離ですとか、マイナーアクチノイドを含んだ燃料の製造というのはまだ技術的にまだまだな部分もあります。ですので、発生する2次廃棄物も含めて現実的な解としてどのあたりを狙っているのか、そういった議論が必要だと思います。

また、どのような炉型にしても、これからライフサイクル全体としてやはり、最適化、合理化があるべきで、こういったところは、実際高速炉なんかは、実際日本でこれから廃止措置が始まりますのでそういった知見も生かして廃止措置しやすいような炉、例えばそういう観点もあろうかと思っています。

私からは以上です。

○黒崎座長

斉藤先生ありがとうございました。続いて小伊藤委員、お願いいたします。あと、専門委員の方々は、委員の先生方のご発言のあとということでまたご発言いただきます。では小伊藤委員、お願いいたします。

○小伊藤委員

座長ありがとうございます。私からはエネルギー安全保障についてご意見申し上げたいと思います。

本日事務局からの説明にもありましたが、再生可能エネルギーの導入が進む中でエネルギー安全保障をいかに確保するかについて改めて検討する必要性が生じているところではありますが、加えてロシアのウクライナ侵攻やそれに対するエネルギー分野への経済制裁、いわゆるエコノミック・ステイトクラフトが発動された状況にあることを踏まえると、今後のエネルギー安全保障については、経済安全保障の観点も考慮することが必要ではないかと思っています。そこで、戦略的不可欠性と戦略的自律性についてコメントしたいと思います。

まず戦略的不可欠性についてですが、国際市場の獲得やグローバルサプライチェーンの

構築を戦略的に行っていくために、市場性はもとより、わが国が不可欠な存在となること
ができるような技術を選定するということが求められると考えます。

例えば、わが国は高温ガス炉の研究炉を有しておりますが、中国は昨年実証炉の、こちら
からHTR-PMというものでございますけれども、その臨界を達成しており、世界に先駆
けて第4世代炉の実証データを蓄積しています。中国は今後このデータを基に、国内の商
業化を進めることが見込まれますが、中国国内の市場はそれ自体規模が大きいので、価格
を下げるのが可能になると考えられます。その結果、価格競争力を付けて国際市場への
展開が可能となり、普及しやすくなると推測できます。

しかし、この中国が優位に立った市場において、わが国はアメリカといった国がこれま
で重視してきた高い品質管理ですとか、核不拡散といった価値が尊重されるのか正直疑問
が残ります。そのため、われわれの価値観を共有できる国と連携して外国の資金も活用す
るという発想で開発を進めるのが良いのではないかと考えます。

このように国際連携を図ることは、高い品質管理や核不拡散といった価値を維持するこ
とにもなり、国際的な原子力ガバナンスにも貢献するという意義があると考えます。

次に戦略的自律性についてなんですけれども、アメリカがロシアからのウラン輸入を禁
止し、国内での採掘や代替輸入先の検討を進めているものの、少なからず先進炉開発に影
響を及ぼしているという状況があります。このことを踏まえたと、例えば他国に過度に
依存することなく燃料を確保できることや、要素技術の成熟度、それから技術自給率にウ
ェイトを置いて技術を選定する必要があるように思います。

つい先日、5月11日経済安全保障推進法が成立しまして、今後はこの法律を基にサブ
ライチェーン強靱化のための制度などが整えられていくものと思いますが、革新炉に関す
るサプライチェーンの強靱化も含めてご対応いただくことが望ましいと考えます。

また戦略的不可欠性と戦略的自律性を確保するための技術というのは、異なることもあ
るかと思えます。その場合、当面開発方針は2本立てで進めることとし、一定期間を経て
レビューできるような体制を整備していくことが望ましいと思えます。

私からは以上になります。

○黒崎座長

小伊藤委員、ありがとうございました。それでは続いて永井委員、お願いいたします。

○永井委員

どうもありがとうございます。私のほうからは、本日の事務局スライド 69 にありまし

た議論いただきたい論点に対して2つコメントさせていただきます。

1つ目のコメントは、スライドの論点1にありました価値軸の項目についてです。こちらはスライド22でカーボンニュートラルに向けたエネルギー安全保障の再定義という形で、本ワーキンググループの設置目的である原子力発電の新たな社会的価値の再定義を適切に行うためにとても重要だと思っております。今回の資料でもこのスライドでの定義をもとに革新原子力の貢献の可能性というものが整理されております。

ただ、それを踏まえた上でこのスライドを見直してみますと、参考文献のIEA報告書とエネルギー白書での説明や意図と、スライドに記載されている内容が少し異なっていると感じる項目があります。

まずIEAの報告書ですけれど、こちらタイトルにもありますように、トランジションの際に検討すべき安全保障の項目というものでまとめられたものになっております。その一方でエネルギー白書のほうは、移行期というよりは将来的に目指すべき国のエネルギー安全保障の定義や定量化の内容となっております。このスライド22ではその2つが切り分けてられないので、革新炉開発がどのように貢献できるのか、また時間軸として間に合うのかなどが見えにくくなっているのではないかと思っております。

例えばですけれども、気候変動に伴う自然災害のリスクは、IEAの報告書のほうで気候変動、特に異常気象が既存のインフラに与える影響についての言及となっております。これは既存のインフラ、頻度が増している異常気象に対応できない設計になっていることに対するリスクについてで、より短期的な話になっています。またエネルギー多消費産業の空洞化のリスクというのは、IEAのほうでは公正なトランジションが進まないリスクの中の1項目という位置付けになっております。

なので、このような形で考えると、どこまでをここで新たなリスクと定義するべきかの基準が必要になるのではないかと思います。また移行期におけるリスクに対して、革新炉の中で貢献できる可能性がある炉型というのは、ほかの委員の方からもありましたけれども、限られていますと。エネルギー安全保障の貢献が、革新炉の開発にとって重要と位置付けるのであれば、エネルギー安全保障の再定義をより慎重に整理し、またエネルギー安全保障リスク低減方法は、革新炉以外にどのような選択肢があるかも踏まえた上で議論を進めることが重要だと思います。

2つ目のコメントは、論点3の「わが国における革新炉の考え方・戦略について」になります。米国では40万kW未満の石炭火力の代替としてSMRの相性がいいという説

明でしたが、石炭火力検討ワーキンググループの設備データなどを見ると、日本にある 40 万 kW の設備というのは約 1,100 万 kW にとどまります。その多くは、自家発となっており、大手電力が保有するのは、約半分以下の 470 万 kW になります。一方で 50 万 kW 以上の石炭火力は、大手電力は 3,300 万 kW 保有しています。

そのような状況を考えて、やはり日本で石炭代替というための原子力を考えるのであれば、炉のサイズとして小型のみが特段適しているというような状況とは言いにくいかと思います。なので、サイズ以外の SMR の価値などについても評価を進めながら、日本における革新炉開発の道筋について検討が進むことを期待しております。

私のほうからは以上になります。

○黒崎座長

永井委員、ありがとうございました。それでは続きまして、高木直行委員お願いいたします。

○高木直行委員

ありがとうございます。私からはこの評価項目の重み付けについてちょっとお話しさせていたきたいと思います。

もともと S + 3 E というのがあって、その中で近年では特に福島事故もあり、それから二酸化炭素の問題もあって、安全や環境の 3 E の中の 2 つの E、E n e r g y S e c u r i t y と E n v i r o n m e n t に重みがいついて、S e c u r i t y がちょっと低下していたなというふうに思っていたところですけども、ウクライナ情勢でまた少しそれが変わってきたと。

結局、先ほど話のあった N a t r i u m。それから次に話のある N u S c a l e も、または前回話があったガス炉とかそれぞれ炉に特徴がありまして、評価項目のうちのどれを重視するかによってやっぱり魅力的と見える、日本が取るべきと思われる炉型も変わってくると。N u S c a l e はひとえに安全性と初期投資を下げるということには非常に魅力がありますが、やはりそれは熱中性子炉であって、持続性がないわけですね。燃料を維持するという能力はないと。だからそういう意味で、それは日本に合うのか。

一方、先ほど話のありました N a t r i u m は、最初はウラン燃料でスタートするということですけども、二元合金でやるということですから、ゆくゆくプルトニウムを入れた三元合金なり、リサイクルができるようになればこれは増殖につながって、サステナビリティにつながる炉型である。ただし、N u S c a l e に比べるともしかしたら時間がか

かるのかもしれませんが、先ほどの話では7年でやり切るということでした。

またガス炉は固有安全性があるという強い、それから高温が取れて、水素が作れるというメリット、特徴がありますけれども、一方でこれも熱中性子炉ですから持続性がないということと、廃棄物、リサイクル性能の問題が言われているということで、それぞれやはり一長一短ありまして、廃棄物の側面も考えると、いったいどういった評価指標を重視して考えていくのかといった重み付けの議論というのを、やはりこれからしていく必要があるのではないかと思います。

以上です。

○黒崎座長

高木委員、ありがとうございます。では続きまして、遠藤委員お願いいたします。

○遠藤委員

ありがとうございます。

TerraPowerとかNuScaleとか新型炉開発者がベンチャー企業として成立し得るというところが米国の強みであると思っております。片や日本は、グローバルリスクマネーの流入があらゆるテクノロジー分野で期待しにくく、まして原子力となるとさらにそうであると考えます。

ということは政府支援、公的資金の重要性が大きく、そうなりますと社会の理解が必要になると思います。現在、エネルギー基本計画の文言や首相や大臣の発言などにおいては、リプレース、新設について明確な発言がございません。そのような環境の中で事業者がどのようなインセンティブで革新炉に挑むのか、TerraPowerのご発言が常に商用化を目指す、商用化のために何が必要かということであったように、研究開発だけで閉じる開発では、意味をなさないと思います。

今回はこのワーキンググループでは、エネルギー安全保障において革新炉の価値を評価していますが、繰り返し申し上げますとおり、米国の新型炉開発は、明らかに中露を意識した戦略と考えます。核不拡散の問題であるとか、エネルギー分野のルールメイキングにおいてリーダーシップを取るということを念頭に置いた政策だと考えます。

一方、日本は再稼働も進まず、先進国でありながら停電リスクに直面するという電力の需給問題にさらされています。彼我の差があり過ぎます。もちろん原子力のイノベーションは重要です。そのときの革新炉は当然のシナリオだと思います。

しかし、繰り返しになりますが、リプレースの政策決定がないと、これを達成してい

ただかかないと、この議論も空中分解してしまうということになりかねません。政策立案者の方々には、ぜひお願いしたいところがございます。

以上でございます。

○黒崎座長

遠藤委員、ありがとうございました。続いて山口委員、お願いいたします。これで委員は全てご発言いただいたこととなります。山口先生、よろしくお願いいたします。

何か先生のお声が、ちょっと。何か途切れ途切れになるところがあるのですけれども。

○山口委員

聞こえますでしょうか？

○黒崎座長

はい、今は聞こえております。もう一度お願いしてよろしいですか。

○山口委員

はい。

○黒崎座長

すみません。

○山口委員

じゃ、ちょっと画像。それで、実際にはリスクはいろいろ今日の資料でも挙げていただいているんですが、環境的リスク、経済的なリスク、あるいは地政学なリスク、あるいは技術によってどのようにリスクをできる、そういう総合的あるいは俯瞰的な見方が必要であるということだと思えます。

それから2点目なんですが、やはり重要な点は原子力を考える上で持続性とレジリエンスという問題かと思えます。持続性ということでは、既に議論ありましたように、2030年断面を見るということだけでは駄目で、今日、竹下先生の資料にもありましたけれども、やっぱりエネルギーの問題というのは長期にわたって見通していかないといけないわけですので、そういう視点が大事、これが持続性です。

それからレジリエンスについてですが、こう過去を見てみるとやはり10年ごとぐらいに社会情勢がいろいろ変化しているというのが分かります。そういう中で3E+Sというもの、あるいはそれにプラスアルファでいろんな要因が求められていると。

そういうことを考えると、さまざまなそういう変動要因に対して耐性を持った、レジリエンスを持ったエネルギーシステムを構築すると。そういう意味で革新炉という位置付け

が明確になったということでもあり、ぜひこの中で今の持続性レジリエンスという視点を入れていただきたいと思います。

それから3点目ですが、そういう分析を行う上でシナリオをちゃんと把握しておくことは大変重要で、そういう意味できょう竹下先生からご説明のあったようなツールを持って、もちろん評価には不確かさはあるにせよ、ああいうものを持っているいろいろなシナリオを考えていくということの大切さを改めて認識したところです。ぜひこれからそういうツールを活用して、それぞれのシナリオで何ができるのか、何が限界なのかというのを明確にした取り組みというのを求めたいと思います。

以上です。

○黒崎座長

山口先生、どうもありがとうございました。それでは続きまして専門委員の方々からご発言いただきます。まず大島専門委員、お願いいたします。

○大島専門委員

ありがとうございます、大島でございます。今までいろいろなご意見をいただいておりますが、まず本日のポイントの1つでありますエネルギー安全保障。これは資源の海外依存度ということと、それからその生み出す技術の海外依存度、この2つの依存度をいかに長期的に低くするかということに言い換えられるのではないかと考えます。

資源の依存度につきましては、原子力の場合もちろんウランになりますけれども、政情が比較的安定した信頼性の高い国々に分散して依存するということが可能な資源ですので、ほかの資源に比べれば相対的に安定確保しやすいという優位性があると考えます。

一方、ほかの資源同様、この先価格上昇のリスクというのは高くなると想定されますけれども、原子力システムの特質として発電コストに占める燃料費の割合が小さいということ、仮に資源価格が2倍3倍と変動しても電気料金への影響は十分緩和できるという点も、これは原子力、ひいては革新炉の大きな強みになるというふうに考えます。

さらに革新炉におきましては、先ほどから出ていますように、燃料をリサイクルするという技術に期待することで、ウラン資源の利用効率を大幅に高めまして、エネルギー資源の海外依存度、これそのものを一挙に下げていくということができると思います。これは評価軸としては、私は最も重要な視点の1つと考えております。

それからエネルギー安全保障でもう1つ大事なこととしましては、やはりエネルギーを生み出す技術の海外依存度、これを下げることになります。全て国産技術というの

は理想ではありますがけれども、開発コストの合理化の観点、それから技術の国際標準化、こういった観点から革新炉のコア技術をしっかり自国で押さえた上で、国際協力を活用することが肝要と考えます。

技術開発につきましては、知財の観点から同等技術レベルを有する、かつ信頼のできる2国間の協力で行っていくこと、また安全設計基準とか規格基準類、こういったものは国際標準を構築するために多国間協力、国際機関の活用で整備を進めていくなど、開発項目によりまして適切な形態で進めていくことが必要だと思います。

原子力機構におきましては、研究開発を進めております高温ガス炉は最高運転温度950°Cを達成した世界唯一のガス炉でありますし、また高速炉につきましても実証レベルまで到達しております、これはまさに国の強みとして国際協力を活用しまして、研究開発を効率的に進めているところでございます。

もう1つのポイントであります廃棄物の問題につきましては、やはり前回申しましたとおり、その解決なくして原子力自体を進めることは、私は困難と思います。革新炉で、そういった意味で最も重視すべき価値の1つだと考えます。

この点につきましては高レベル廃棄物の量を減らすだけでなく、有害度を下げる時間、これは人の感覚として現実的に管理できる期間に短縮すること、さらにはプルトニウムバランスの適正化を行うことが求められます。原子力機構が研究開発を進めております高速炉サイクル技術は、プルトニウムも高レベル廃棄物になりますマイナーアクチノイドも燃料サイクルの中で回してしまう、いわゆるクローズドサイクルを実現しようとするものでありますので、廃棄物問題の1つの解になると思います。

革新炉の開発におきましては、視点としましてエネルギー安全保障、それから核不拡散抵抗、廃棄物問題の解決、プルトニウムバランスの適正化といった評価軸に加えまして、第1回にも論点となりました安全性・経済性・柔軟性、そして送電システムの適合性、あと現時点での技術成熟レベルに照らして社会実装までにかかる時間とコスト、これを勘案しましてどのような技術をどの時期に社会実装していけば良いのか、国民生活にとって最も効果的・効率的なシナリオになるのかを、先ほど竹下先生からご紹介いただきました評価ツールを援用するなどしまして、やはり整理していくことが大事なかなと思います。

その整理に基づきまして、革新炉の社会実装に向けての計画の早期具体化、それから革新炉に対する安全規制・基準の構築・予見性確保、そして国内開発や国外開発の参入に対する国の支援・施策を打ち出していただくことが、既に厳しい状況に追い込まれておりま

すサプライチェーンの維持であるとか人材の確保につながるものと考えております。

以上でございます。

○黒崎座長

大島専門委員、どうもありがとうございました。それでは続きまして中熊専門委員、お願いいたします。

○中熊専門委員

はい、ありがとうございます。電事連、中熊でございます。エネルギー安全保障という観点ではロシアのウクライナ侵攻によって各国が代替資源の確保に追われておりますし、国内でも電力の需給逼迫、3月22日は記憶に新しいですし、このような状況が今後も続いていくだろうという予見がされている中、私ども事業者としてもこのエネルギー安全保障というのが非常に重要だということを改めて認識しているところでございます。

原子力の分野では、まずは再稼働を進めていくというところがその状況を緩和する大きな取り組みだというふうに考えてございますけれども、革新炉開発の観点では、前回も申し上げましたが、やはりいつの時点から社会実装されるのかという、そういう予見性の整理ということが極めて重要な1つの評価軸だというふうに考えてございます。その点、本日のエネ庁さんの資料にも、評価基準の中に加えていただいているというところには、一定の評価させていただきたいと思っております。

それから同じく技術開発の中では炉型だけではなくて、先ほど大島専門委員からもありましたように、この廃棄物の問題というところが極めて大きくて、この解決がないとやはり避けては通れないという意味では、この問題のブレイクスルーとなる技術というのは、重要な評価軸の1つとしてここも大きく取り上げるべきだというふうに考えてございます。

言うまでもないですけれども、わが国は資源の有効利用ですとか廃棄物の減容化・有害度低減といったところでサイクル政策の推進がなされてございますし、私ども事業者といたしましても、これは最重要課題の1つと認識しておりまして、長年まずは軽水炉サイクルの確立ということで取り組んできておるところでございますけれども、やはり将来的には今、申し上げたような目線で高速炉サイクルといったところのあり方についてもしっかりと議論していく必要があると思っております。したがって革新炉の開発という中でも今、申し上げましたような固有の優位性を持つような炉型の価値というのは適切に評価されるべきだというふうに考えてございます。

最後ですけれども、本日の論点として、原子力国際戦略のあり方というのが上げられて

ございますけれども、言うまでもないですけれども、やはり国内のリソースが限られている中で、この国際連携というのを確立して効率的に開発を行うことというのは有効だと考えてございますし、ユーザーであるわれわれの目線から言っても、この開発段階から国際連携を図ることは設計ですとか規制基準の共通化みたいなものが国際的に図られる可能性があると思ってございまして、将来社会実装したあとの運用段階におきましても国際的な連携というところが有機的につながっていくということを考えますと、こういった有望な炉型に関しましてはぜひとも積極的に開発段階から国際連携を進めていただきたいというふうに考えてございます。

以上でございます。

○黒崎座長

中熊専門委員、どうもありがとうございました。続いて大野専門委員、お願いいたします。これで皆さまから全てご発言いただいたことになるかと思えます。では大野専門委員よろしくお願いいたします。

○大野専門委員

ありがとうございます。私からは、産業界の観点から3点ほど申し上げます。

世界で革新炉開発が積極的に進められ、今後の展開が見込まれる中、高い技術力を有する日本が革新炉開発と機器供給を含めた実際の建設の双方に積極的に関与することは、国際貢献という観点のみならず、わが国の技術・産業基盤の維持・強化、人材の確保・育成にも寄与するものと考えております。

とりわけ、資源の有効利用や放射性廃棄物の減容化、有害度低減などが期待できる高速炉開発は原子燃料サイクル政策との親和性が高く、またSDGsに欠かせない概念といえるサーキュラーエコノミー、循環経済にもマッチしており、中長期的な視点を持って日本としても積極的に取り組むことが重要であると考えております。

さらに昨今の世界情勢等を鑑み、エネルギー安全保障やエネルギー自給率の改善、さらには地球温暖化対策といたしまして、海外への化石燃料依存をできる限り早急に低減していくことが急務だと考えております。最新の安全システムを組み込んだ大型軽水炉は、電力の安定供給やCO₂削減が期待できるわが国にとって欠かせない存在であると考えております。そのため、今後の新規建設に向けてスピード感を持って取り組む必要があると考えております。

以上です。ありがとうございました。

○黒崎座長

大野専門委員、ありがとうございました。それではここまで事務局の説明、それとT e r r a P o w e r 社、それと竹下先生からのご説明ありました。それで質疑応答・意見と
いうのをいただきました。

このあとは、続きましては資料6の話になります。SMR開発やその価値についてアメリカNuScale社の共同創業者でいらっしゃるJose Reyes博士からご説明
をいただきます。なお次回のワーキンググループでは、革新炉開発の課題について議論し
ますが、そのうちの1つである規制に関する課題についても次回の議論につながるテーマ
として今回ご紹介いただけるものではないかと考えています。それではReyes博士、
よろしく願いいたします。

○Reyes博士

ありがとうございます。今回このワーキンググループに招待されました。誇りに思っ
ております。私どもの設計について紹介をさせていただきます。次のスライドをお願いしま
す。これは今回の業務に関してはエネルギー省の支援を受けたということ、ということ
で謝辞ということになっております。

次のスライドをお願いします。まずNuScale Powerの紹介です。ニューヨ
ークシティーから今回私は参加しております。上場を、ニューヨーク証券取引所にしたば
かりでございます。ティッカーシンボルはSMRWSであります。2007年に設立をいたし
ました。今スタッフ、エンジニアが500人を超えております。アメリカに5カ所、ロンド
ンにもオフィスがございます。今40%の社員が若い人たちということになります。基本
的な特許でもともと始めましたが、今は600以上の特許申請中、多くの国でして
おります。そして戦略的な投資を日揮様、IHI様、JBIC様からいただいていることを
大変うれしく思っております。日本のパートナーが皆さまにも感謝しております。一
緒にこの技術を進めていきたいと思っております。

アイダホ国立研究所で最初のラボ、これはUtah Associated Municipal Power Systems
という電力向けに行っているものであります。最初のモジュール、2027年に
インストールする、そしてデリバリーをするということになって
おります。

次をお願いいたします。技術の紹介です。この技術としては、小型の、そして一体
型の原子炉からできております。非常に小さな格納容器の中に全てが入っている
ということで、

普通、格納容器というと大きなドーム型のコンクリートのものを考えますけれども、小さいスチール、22メートルぐらい。径も非常に小さなものになります。各モジュールが普通で250MW_t、最大電力で77MW_eということになります。構成が3つ、12モジュールプラント924MW_e出力、6モジュール462MW_e、それから4モジュールプラント最大308MW_eというものになります。

この図に書いてあるもの、これは工場で造るものということで、原子力発電システムとしては全く異なるコンセプトということになります。規模感ですけれども、これはNuclear Powerモジュールが左側に出ています。そして12モジュールの建屋の横に置いています。それぞれ例がありまして、12モジュールがこの電力ほぼ1GWクラスと、924MW_eになります。

横にPWR、典型的なものが出ております。このサイズとして典型的なPWRの蒸気発生器ぐらいの大きさということになります。全て工場のほうで製作をし、そして運んでそこで設置をするということになります。なので工程は全く違うということになります。新しいアプローチ、新しい原子力発電のモデルということになります。高品質なものを工場で造る、並行する形でサイトでは土木工事をするということになります。土木工事が完了したところでモジュールを運び込んで設置をすると。もうすぐに稼働できるということになります。

スチールマウントのタービン発電機のセットがそれぞれに付いているということになります。工期が短縮できます。短縮できるのは並行してやるからです。最初のコンクリート打設から3年で完了ということになります。

次をお願いいたします。これがこの3つの構成を示したものです。それぞれモジュールとしては同一のものになります。モジュールを工場で造ります。そしてカスタマーによっては4モジュール、6モジュール、12モジュールとそれぞれ、この要望が違うと思いますので、他の構成も可能ですが、理想的にはカスタマー、28の電力、アメリカ、カナダで今議論をしておりますけれども、今ある石炭火力発電所のリプレースをしたいという要望がある、要求が押しているのでリプレースメントが必要と。4モジュール、6モジュールの発電所というのは石炭火力のリプレースメントとしては非常に適切ということになります。

次をお願いします。なぜこれが実現するかと言いますと、安全性が高いからです。この設計、この設計基準事故などということはありません。すなわちこの設計基準の事故、例えば中央制御室のほうで運転員が何かをしなくてはならないということはありません。そ

れから燃料破損ありません。非常に自動化が進んでおります。パッシブセーフティをベースにしております。ワーストケースでも原子炉は自動的に停止する、AC、DC電源は必要ありません。運転員のアクションも必要としません。そして今度、無期限に冷却状態を維持することができる、注水をしなくてということです。すなわち水冷から空冷に自動的に切り替わるということで、注水は必要ないということになります。小型モジュール、SMRとしてはNRCが承認をする唯一のものになります。

先ほども言いましたけれども、規制当局でこのような形で認められたのは、新しいタイプのこの安全性が担保できたからなんです。われわれがグリッドにつなぐ必要はないわけです。つまりACの電源を特にグリッドから得る必要がないわけです。つまり例えば何か悪天候によって原子力発電所というのは通常グリッドとの接続が必要なわけですがけれども、アメリカでは少なくともそのシャットダウンはしなければいけないということが通常なんですけれども、われわれの設計の場合は、グリッドから切り離すことができるということで、つまりアイランドモードの運転ができます。

つまりフルパワー、全出力で、そして復水器のほうにこの蒸気が行かないようにする。そしてグリッドのほうが復旧しましたら、すぐにまた電力を送ることができるということです。ですから本当にこれまでの原子力発電所とは全く逆です。ブラックスタートの能力もあります。ですから小さな発電機で1つのモジュールを立ち上げることができる、そうするとプラントの残りの部分に電力供給ができます。

それから、この負荷追従については3つのモードがあります。ソーラーも使えます。それからまた、フレキシブルなシステムがあります。ということは、風力、太陽光、それを補完して安定性を保つことができます。そしてまた安全性が高いということで、われわれのプラントの設計は、このサイトのバウンダリーのところをEPZにすることができます。イマージェンシープランニングゾーン、EPZです。

次です。じゃあなぜ、この規制当局との間でうまくいったのかということなんですけれども、アメリカのNRCとのやりとりが始まったのが2008年でした。ということで、非常に早い段階から規制当局とやりとりをしてきた。そして、たくさんの質問も受けました。そして、ギャップ分析というのを規制当局が行いました。つまり、規制の中でわれわれの設計がどこが違うのか、そして規制の側で何を変えなければいけないのか、それを見ていただくということで、この規制ギャップ分析が行われました。

そしてそのあと炉型固有の審査基準を作りました。これはどういうことかと言いますと、

NRCのレビュー者たちというのが、明確な基準を用いて、このNuScaleのSMRの評価をすることができる、審査ができるということです。そしてNuScaleに対して、期待値というのがはっきりしました。つまりわれわれとして、当局に対してこの設計の申請を受けてもらうために何が求められるかということが分かりました。ということで、90日だけでこの申請書を登録することができました。

次をお願いします。この設計証明申請という申請、これについては、12,000ページ以上だったんですけれども、本当にそれを出すことができました。そしてトピカルレポートは14使いました。そして800人が関わって作りました。そして5億ドル以上を費やしたわけです。NRCが評価を行ったのが、42カ月ということです。ということで、1カ月スケジュールが短縮できたということなんです。

そして、半分ぐらいの期間で済んだということなんですけれども、電子的な形で情報もさらに、その間、つまり3年半の間に提供しております。そして追加的に7,000万ドルを手数料という形で払っております。そしてまた、NRCの質問に答えるということで、さらに2億ドルほど使ったということになります。

もちろん、たくさん技術的な検証が必要でした。こちらに書いてありますのがいろいろな試験です。規制当局が監査をしたわけです。だいたい1億ドルぐらいかけて試験を行いました。例えば、フルスケールの燃料バンドルの試験もやりましたし、それからフルハイトの完全な機能を持った、このSGの健全性の確認もしました。ということで、新しい部分がそれぞれありました。そして、試験を行ったときには、政府の担当者が立ち会うということを行いました。

次をお願いします。新しいレベルの安全性というのがNRCによって認められたわけなんですけれども、それに加えて、プラントのレジリエンシーを高めるということもやりました。強靭性を高めるということで、ブラックスタート機能があります。つまりグリッドが止まってしまった、つまり停電があったときでも対応ができる。それからアイランドモードの設計もしました。つまりオフグリッドで運転できるということです。

そして、グリッドの復旧のためのファーストリスポンダー、最初に電力が供給できるという態勢になっています。ハリケーンとか津波とか地震とかいろいろとありますけれども、非常に堅牢な耐震性も持っております。それからIHI、石川島播磨重工業にも協力をいただいております。それからまた、航空機の墜落にも対応することができるということです。

それからサイバーセキュリティについても担保しております。というのが、FPGAというフィールドプログラマブルゲートアレイの技術も活用しております。モジュールの保護システム、あるいはプラントの保護システム。そういったものが、それこそ変えられない形でしっかりとハードワイヤーされているということです。それからまた、電磁パルスへの対応、それからまた、この地磁気擾乱にも対応することができるということで、さまざまな脅威に対応することができます。

次です。ベースロード電源以上のところまでいろいろと考えました。これは何も設計の安全性によるところだけではなくて、ほかにもいろいろな用途があり得るというふうにこのNuScaleに関しては考えた。つまり、発電以外にも考えられるのではないかとということで、例えば石油の精製。これはNuScaleのプラントを、これは25万バレルの精製能力があるところ。だいたい、こちらについては検討しました。

それからアイダホ国立研究所と協力をしまして、水素製造についても検討しております。1日当たり50トン、それから逆浸透を活用したこの海水淡水化も行っております。それからまた、われわれの設計の特徴を生かしたさまざまな用途を考えております。今後何を検討していくかということなのですが、今、関心が寄せられています、特に東欧諸国、エネルギーのセキュリティに関心が高まっているからです。ということで、特にバルト諸国で関心が高まっている状況です。次のスライドですが、これが最後のスライドです。

以上となります。質問があれば聞いてください。

○黒崎座長

ありがとうございました。それではこれから、Reyes博士からのご説明について、10分間程度の質疑応答に移らせていただきます。皆さま質問ございましたら、挙手機能でお知らせください。では高木委員、お願いいたします。

○高木直行委員

東京都市大学の高木です。燃料について教えてください。燃料は、最初は5%以下の低濃縮ウランかと思うんですけども、HALEUに変わっているとき、燃料の供給性の持続性について教えてください。

○Reyes博士

質問ありがとうございます。17×17の燃料集合体、サプライヤーは複数あります。フラマトムがまず最初のサプライヤーです。相対的にウランの供給はかなり大きい。低濃縮ウランであるということで、HALEU燃料の課題には直面していないと。ということで供

給はしっかりしているということです。

○高木直行委員

HALEUは使わないんですね。ありがとうございました。

○黒崎座長

続いて松久保委員お願いいたします。

○松久保委員

ご説明ありがとうございました。私のほうから、事業主体とプロジェクトスキームについてお伺いしたいと思います。

御社、工場をお持ちでないというふうに理解しているんですけども、スライド6では工場で製造するというふうに書かれていて、どういうふうな形で製造されて、現地に運んでいくのかというところ。誰がやるのか。あとは事業主体は誰になるのかというところを教えてくださいたいと思います。

○R e y e s 博士

その工場での製造ですけれども、NuScaleは製造業ではないということで、戦略パートナーにそこはお願いをするということになります。当然われわれ今、IHIとこの製造に関しては議論しております。それからJGC、日揮と建設に関して議論しています。それから韓国のパートナーとも話をしています。ですからチャンスはいろいろあって、鍛造としては小さいということで、たくさんのメーカーが能力は持っています。

出荷に関してなんですけれども、パーツを作りますよね、工場で。そしてそれを組み立て、通常は3つに分けて送るんですけれども、トラックを使うこともあります。場所にもよります。つまり、プラントの場所によってはトラックで運ぶこともあれば他のやり方もあるということです。今、その最初のプラントはアイダホ州なんですけれども、そこで作ってそして運ぶということなんですけれども、ルーマニアのチームがあります。ルーマニア、ポーランドでも関心が高いということで、さまざまなメーカーが可能性があります。アメリカもアジアも、北欧のほうにも、メーカーとしては可能性があるところがたくさんあります。

○黒崎座長

よろしいでしょうか。

○松久保委員

ありがとうございます。

○黒崎座長

では続いて小野委員、お願いいたします。

○小野委員

非常に興味深いプレゼンテーションをありがとうございました。日本では 2011 年の福島第一原子力発電所の事故後に、原子力に対する不信感が国民の間に広がり、規制基準の強化などが進められたものの、不信感がいまだに払拭されていないと感じます。アメリカでも 1978 年にスリーマイルアイランドでの事故を経験し、国民感情に影響を与えたと聞いていますが米国ではどのように原子力に対する国民の信頼を取り戻したのか、教えてください。

○R e y e s 博士

素晴らしいご質問ありがとうございます。私ども、アメリカDOE、エネルギー省と密接な協力をしております。初めころからDOEのほうでこの研究内容を一般に説明をする。それから設計の基本的なところの説明をするということを担当してくれました。規制当局も独立の規制当局ということで、レビューを独立に行い、そしてもちろん、一般公衆としてもそのレビューに参加をするという機会がありました。

ということで、NRCとはこのレビューのプロセスの中で何百というミーティングをしました。それは公開で一般の参加もありました。アイダホのほうでも同じです。一般公衆と設計について何百という対話を開催しました。そして安全ということでは設計の質が全然違うということで、そういった基本的な違いの部分をきちんと一般に説明をするということをしました。それから、規制当局に対してもやりました。長いプロセスでした。2008年からまず始めております。

それ以降を、この設計に対しての信頼を一つ一つ積み上げてくるということをしてまいりました。やはり啓蒙、教育というのが大きな部分を占めるかと思えます。この情報を大学でも説明する機会を得ています。私の背後にあるのはエンジニアリングのシミュレーターになります。こういったシミュレーターを4つの大学に提供しています。なので、大学のほうで学生がNuScaleのプラントのオペレーションを学んでいるということです。

これはマルチユニットのモデルになります。NuScaleプラントの運転が全部分かるようになっていきます。テキサスでも、オレゴン州立大学、アイダホ大学、アイダホ州立大学、この4つの大学で学生がこれらを今既に使っています。これを世界的に展開できれ

ばと期待をしております。そういった形で一般も関わってもらう、大学の先生、学生にも分かってもらって、運転方法も学んでもらうということです。

○小野委員

ありがとうございました。大変参考になりました。

○黒崎座長

ありがとうございました。次回の革新炉開発の課題について議論がつながる大変有意義なご説明だったと思います。委員の先生方、他にもご質問等あるかと思いますが、事務局のほうまでお送りいただければ適宜対応いたしますので、よろしく願いいたします。それではR e y e s 博士、どうもありがとうございました。

○R e y e s 博士

こちらこそどうもありがとうございました。

○黒崎座長

これで本日の用意しているものは以上となります。本日の革新炉開発の価値ということ、もう一度議論するというので、いろいろ説明がありました。たくさん出てきて本当盛りだくさんだったんですけども、1つはやはり米国から2件ご発表いただいたということで、これは同時通訳の機能を使ってということ、私自身初めてだったんですけども、全く負荷なく理解することができて、非常によかったですし、実際N a t r i u mとかN u S c a l eとか、当然知ってはいたんですけども、それに携わっている人から直接話を聞くことで、本当に理解が深まったというふうに思っています。

それと革新炉開発の価値に関しては、その国によって価値の捉え方というのがやっぱり違うなというところがよく分かりました。もちろんさまざまな国の状況それぞれに応じて価値を見据えているということかなど。また、諸外国、非常にアクティブでいろんなことが進んでいるなということをもさに再認識いたしました。

それと、事務局資料の最後のほうにちょっと出てきたのですが、各炉型の評価ということで、今回初めて、利点とか課題とかを初出しと言いますか、たたき台のような形でまず出てきましたが、これを今後深掘りしていくのかなというふうに理解しています。

あと最後、N u S c a l e 社のほうから規制対応ということで、これは革新炉開発の課題のほうにつながっていくお話も聞かせていただいて、次回以降につながるのかなというふうに思っています。

本日は委員の皆さまから大変貴重な、重要なお意見を数多くいただきました。各委員か

らいただいたさまざまなご意見については、事務局において整理をしていただき、次回以降の議論へしっかりと反映してもらいたいと思っております。

それでは最後に事務局のほうからよろしくお願いいたします。

○遠藤原子力政策課長

事務局でございます。資料の 11 ページ、米国石炭火力の代替としての SMR の導入というページについて複数ご質問賜りました。これは日本でも同じように石炭の、今、立っているところにリプレースで造っていくということを想定した資料ではございませんで、ジャストご参考ということのご紹介でございましたので、念のため補足をさせていただきます。

前回、および今回のワーキンググループでご説明申し上げましたエネルギーを巡る社会動向を踏まえた革新炉開発の価値について、提起されている論点を踏まえまして、次回は予算、組織、サプライチェーン、規制のあり方といった革新炉開発の課題について扱う予定でございます。

次回以降の開催日程につきましては、事務局で調整の上、委員の皆さまに個別にご連絡申し上げますので、何卒よろしくお願いいたします。

すみません、ちょっと通信環境の整備不備がございまして大変申し訳ございませんでした。よろしくお願いいたします。

3. 閉会

○黒崎座長

ありがとうございました。それでは、これもちまして、第 2 回革新炉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。