

第14回原子力委員会定例会議議事録

1. 日 時 令和8年4月1日（水） 13：30～16：07

2. 場 所 中央合同庁舎第8号館6階623会議室

3. 出席者 原子力委員会

上坂委員長、直井委員、吉橋委員、青砥参与、岡嶋参与、小笠原参与
内閣府原子力政策担当室

井上統括官、恒藤審議官、井出参事官、中島参事官

広島大学大学院 先進理工系科学研究科 教授 栗木雅夫

資源エネルギー庁 原子力立地・核燃料サイクル産業課 課長 皆川重治

資源エネルギー庁 原子力政策課 原子力技術室 室長 宮下誠一

4. 議 題

（1）関西電力株式会社美浜発電所の発電用原子炉の設置変更許可（3号発電用原子炉施設の変更）について（答申）

（2）可搬型ミュオン源（広島大学大学院 先進理工系科学研究科 教授 栗木雅夫氏）

（3）核燃料サイクルに関する政策動向について（資源エネルギー庁）

（4）その他

5. 審議事項

（上坂委員長）時間になりましたので、令和8年第14回原子力委員会定例会議を開催いたします。

本日は、青砥参与、岡嶋参与、小笠原参与に御出席いただいております。

なお、吉橋委員はオンライン出席であります。

本日の議題ですが、一つ目が、関西電力株式会社美浜発電所の発電用原子炉の設置変更許可（答申）について。二つ目が、可搬型ミュオン源について。三つ目が、核燃料サイクルに関する政策動向について。四つ目はその他であります。

それでは、事務局から説明をお願いいたします。

(井出参事官) それでは、一つ目の議題でございます。美浜発電所の発電用原子炉の設置変更許可に係る答申についてです。

令和8年3月18日付で、原子力規制委員会から原子力委員会に諮問がございました。これは、原子力規制委員会が発電用原子炉の設置変更許可を行うに当たり、原子炉等規制法第43条の3の6第3項の規定に基づき、発電用原子炉が平和目的以外に利用されるおそれがないことの基準の適用について、原子力委員会の意見を聞かなければならないこととされていることによるものです。

本日は、この諮問に対する答申について御審議をお願いいたします。

それでは、中島参事官から説明をお願いいたします。

(中島参事官) それでは、事務局から説明させていただきます。

資料第1号を御覧ください。美浜発電所の発電用原子炉の設置変更許可に関する答申案です。

本件につきましては、美浜発電所3号炉に関しまして、熔融設備を除却し、ベイラーを設置することに伴いまして、原子力規制委員会から原子力委員会に諮問があり、そのことについて先週火曜日の定例会議におきまして、原子力規制庁から御説明がございました。

この諮問に対する答申案の内容について説明させていただきます。

次のページ、裏面ですね、裏面の別紙を御覧ください。本件申請につきましては、まず一つ目のポツですけれども、発電用原子炉の使用の目的を変更するものではないこと。

二つ目のポツですけれども、使用済み燃料については再処理法に基づく再処理等拠出金の納付先である使用済み燃料再処理廃炉推進機構から受託した核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律に基づく指定を受けた国内再処理事業者において再処理を行うことを原則とし、再処理されるまでの間、適切に貯蔵管理するという方針に変更はないこと。

三つ目のポツです。海外において再処理が行われる場合は、再処理法の下で、我が国が原子力の平和利用に関する協力のための協定を締結している国の再処理事業所において実施する。海外再処理によって得られるプルトニウムは国内に持ち帰る。また、再処理によって得られるプルトニウムを海外に移転しようとするときは、政府の承認を受けるという方針に変更はないこと。

四つ目のポツです。上記以外の取扱いを必要とする使用済み燃料が生じた場合には、過去に許可を受けた記載を適用するという方針に変更はないこと。

以上の1ポツから4ポツの妥当性が確認されているということに加えて、我が国では、

当該発電用原子炉も対象に含めた保障措置活動を通じて、国内の全ての核物質が平和的活動にとどまっているとの結論を I A E A から得ていること等を総合的に判断した結果、当該発電用原子炉が平和の目的以外に利用されるおそれがないものと認められる。

このような答申案となっております。

以上となります。御審議よろしくお願いいたします。

(上坂委員長) ありがとうございます。

それでは、今までの説明に対して質疑を行います。委員、参与から御意見がございましたら挙手をお願いします。

ないようですので、私から意見を述べます。

前回規制庁から変更申請の内容について詳細の御説明がありまして質疑を行いました。その結果、発電用原子炉が平和の利用目的以外に利用されないということを確認したところであります。

本件につきまして、案のとおり答申するというところでよろしいでしょうか。

では、御異議ないようですので、これを委員会の答申とすることといたします。

議題 1 は以上でございます。

次に議題 2 について、事務局から説明をお願いします。

(井出参事官) ちょっとまだ議題 2 の方がいらしていないので、少々お待ちいただければと思います。

では、ちょっと早いですけれども、二つ目の議題に移りたいと思います。

二つ目の議題でございますが、可搬型のミュオン源についてということでございまして、広島大学大学院先進理工系科学研究科教授、栗木雅夫様より御説明をいただきます。

本件は、原子力利用に関する基本的考え方の 3 の 8、原子力利用に係るイノベーションの創出に向けた取組に主に関連するものです。

それでは栗木教授から説明をよろしくお願いいたします。

(栗木教授) このような機会を設けていただき、ありがとうございます。広島大学の栗木と申します。

本日は、可搬型ミュオン源について説明させていただきます。

まず最初、ミュオンという粒子について御存じない方もおられるかと思っておりますので、簡単に説明させていただきます。

ミュオンというのは電子の仲間の粒子なんですが、質量が 105.6 メブという、およそ

電子の207倍という比較的重い粒子になります。自然界にはあまり存在しないんですが、パイ中間子と呼ばれる、湯川先生の研究で有名な粒子がございますが、そちらの崩壊から発生するというのが典型的な発生方法です。

特徴として、質量が重いので、電子に比べて制動輻射という反応を起こしにくいので、電子に比べてミュオンは、物質中長く走ることができるという性質がございます。そのため、電子に比べると大きな物質のイメージングですね、内部を調べるという用途に適しているという性質がございます。

また、ミュオン誘起エックス線という現象がございまして、発生するエックス線を測定しますと、物質の種類が特定できるということで、更に深さを制御できるということで、物質の深さ方向の元素分布などを調べるのにも最近は使われています。

このミュオンを人工的に発生させまして、可搬型とすることで、様々な現在ではなかなか難しい用途に使えるようになるのではないかとというのが提案の趣旨でございます。

現在は、天然、宇宙線から降ってくるミュオンというものを使った、例えばピラミッドであるとか、火山であるとかそういうものの中の観測というものが行われていますが、数が少ないということで、それに対して実験室に大量にミュオンを生成して使うということが一部なされていますが、これを可搬型とすることで、例えば現在問題となっているインフラの内部の非破壊検査であるとか、移動不可能な文化財の調査等に使えるのではないかと、そういう提案でございます。

例えばインフラの検査ですと、世界的に1950年代から社会インフラというのが急ピッチで整備されたということがございまして、現在その時期に整備されたものが耐用年数を迎えているというのが大きな、日本だけじゃなくて世界的な課題になっています。

右の写真に示されますように、橋梁の崩落事故なども起きておりまして、実際死者が出るという悲惨な事件も起きております。

国土交通省によりますと、21世紀の半ばにはこのインフラ整備費用が年間6兆円、地方道、高速道路、鉄道、港湾などを含めると更にこれよりも増えるということは予想されていまして、これを全て一律に更新するということは、資金、人材、資材、それらの面からかなり難しいとされております。それに対する対策として、内部の状態を把握して、供用期限の延長であるとか、劣化の激しいものから優先的に更新するという予防保全という考え方が提唱されてございます。

国土交通省は、予防保全によって整備費用の30%から50%の削減を見積もっておりま

して、これが実質的に実現しますと、社会課題の解決に大きく貢献できます。ミュオン非破壊検査というものがその場観測というのが実現されますと、これにも大きく貢献することができます。

私が提案する可搬型ミュオン源の構成というものは大きく三つに分けられまして、ミュオンを発生させるための電子加速器の部分と、実際にミュオンを発生させる標的の部分、そして発生させたミュオンをあるエネルギーまで加速するというその三つの部分からなります。これについて順番に説明していきたいと思います。

まず、基本的なところですが、ミュオン生成がどういうチャンネルでつくるかということを考えます。可搬型ということを考えて、電子ビームを使うというのが一つ有利な方法となります。電子ビームを使ってミュオンをつくるということを考えますと、基本的にはエネルギーを上げれば上げるほどミュオン生成どんどん増えていくんですが、可搬型とするとなるとなるべくコンパクトな装置と設定するのがよいということで、エネルギーに対して比較的多くの反応が得られるデルタ共鳴というそういうチャンネルがございますが、これを用いるのが効率的なミュオン生成につながるだろうということです。

このチャンネルを使うと仮定しますと、エネルギーは大体、400メガエレクトロンボルト当たりというのが最適値となりまして、このエネルギーを想定した電子ビームによるミュオン生成ということを検討いたしました。

まず最初に、これ2年から1年前ぐらいに提案した案でございますが、400メブの超伝導の電子ライナックをトレーラーに乗せて加速することで、400メガエレクトロンボルトという電子ビームの生成が可能であるという提案をまずいたしました。

しかし、この際、このトレーラーのサイズでこの400メガエレクトロンボルトというエネルギーが加速することを考えると、1メートル当たり80メガボルトという非常に高い電圧の加速というのが必要でして、これを実現する候補としては、Nb₃Snという物質と絶縁体の多層膜構造という、多少現在まだ完全には技術実証されていない技術が必要だということで、ちょっと現時点ではまだ絵に描いた餅というところでございます。

これに対してより現実的な案として提案したのが、次のページになりますが、周回型の軌道で最終的に400メガエレクトロンボルトまで加速しようという案です。この方式ですと、既に確立された技術を基盤にしているので、何か技術的なブレークスルーがないと実現できないということはありません。おまけに、前の方式よりも、全体の長さを短くできるということで、よりコンパクトにできるというメリットがございます。

更に、あまりちょっと詳しくは述べませんが、伝導冷却方式と呼ばれる小型の冷凍機でも実現可能ということで、かなりメリットが大きいというふうに考えております。

このシステムは、マイクロトロンと呼ばれる加速器をベースにしたアイデアです。通常マイクロトロンというのは、この上にある、このぼこぼこしたものが加速する部分なんですけど、ここで粒子が加速されて、加速されると磁石の中で曲げるときの半径が少しずつ大きくなっていくので、何回も加速しながら、少しずつ軌道の半径を大きくしながら、何回にもわたって加速するというのがこのマイクロトロンという方式でございます。

これは、現在でも一般的に使われている加速器なんですけど、例えば可搬型とすることを考えると、比較的大きな磁石が必要ということで、重量がかなり大きくなる。あと、その真ん中の部分にパイプが何本も通っておりますが、真空チャンバー、ビームパイプで空間が埋め尽くされるということで、あまり効率的ではないということで、これを改善するという必要がございます。

そのときの一つのアイデアとしては、シングルサイドベンディングと呼ばれるもので、まず、磁石に対してある角度を持って粒子を入射させると、ちょうど反射するように、入射角と同じ角度で外に出ていくという性質がございます。この性質は、実はエネルギーによらず、どんなエネルギーの粒子でも入射した角度と同じ角度で外へ出ていくという性質があります。

エネルギーで何が変わるかというのと、この赤から紫で何本か線が書いてありますが、これがエネルギーの低いほうから高い方にどんどん変化すると、このように平行移動するという性質があります。

この磁石を、ちょうど入射角45度のものを四つ右のように並べると、ちょうど四角形でレーストラック型の軌道をつくることができます。特徴としては、全てのエネルギーの粒子が上下の辺では同じ軌道を取ってくれて、横では少しばらけると、こういう面白い軌道を形成できます。これを利用してマイクロトロンをつくってやろうということです。

このアイデアをベースとしたマイクロトロンがダブルサイデッドマイクロトロンというものでして、四つの、後ほど1個当たり90度曲げるベンディングマグネットを四つ組み合わせて周回軌道を形成します。先ほど述べたように、上下の軌道は皆エネルギーが違って同じ軌道を通ってくれるので、ここに加速空洞を置くことで周回加速が可能となります。

一方、左右の軌道はエネルギーによって異なるので、周回する軌道長はエネルギーによって変わりますよということです。

この技術的な特徴としては、この磁石の面積がかなり縮減されるということで、重量をか

なり抑えられるということがあります。

更に、真ん中に真空チャンバーが沢山通るといことがなくて空間が空きますので、ここに電子入射器を置いて、内部から電子ビームを供給することで、一体型のシステムにできるということです。

この半円形の磁石が通常のマイクロトロンで想定されるもので、この磁石に対して重量が半分から3分の1程度まで実現できるということが分かります。

次、お願いします。このダブルサイデッドマイクロトロンというのは、アイデアだけではなく、実際にもう既に使われておりまして、こちらはドイツのマインツと呼ばれる場所にある研究所のMAMIという加速器で、こちらの電子加速器で、エネルギー1.5ギガ電子ボルトというかなり高いエネルギーまで加速するのに使われておりまして、このダブルサイデッドマイクロトロンという方式自体も技術的には非常に確立された技術であるということを強調しておきたいと思います。

次、お願いします。実際このダブルサイデッドマイクロトロンで実際にちゃんと加速ができるかどうかという条件は、その加速されたときの軌道の伸びが、加速周波数の波長の整数倍にちょうどなっていると、常に同期が取れて、連続的に加速されると、そういうことになります。

その条件を書いたのがこの式ですが、ちょっと詳細は説明しませんが、それを整理すると、一番下の式になります。これは、一周当たり加速されたときに軌道の伸びがちょうど加速周波数の波長の整数倍になっていればいいというのがこういう条件です。そこから磁場の強さと一周当たりの加速量というのを合わせ込むことで、この条件が満たされるということになります。

次、お願いします。これを条件を満たす数値例というのがこちらの一つですね。磁場の強さとしてはおよそ1.3テスラ、そんなに弱い磁場ではないですが、そこまで技術の粋を集めないと実現できないという強さでもないというぐらいの磁場です。

エネルギーの最大値は400 MeVと仮定して、そのときの軌道半径を1メートルと仮定します。そうすると、一周当たりに必要な加速の量というのは、 $41 \times n$ 、 n というのは整数なので、1とか2とかそういうあたりになります。

ここから一周当たり $41 \times$ 整数倍のメガ電子ボルトだけ加速されれば、周回軌道の差がちょうど波長の整数倍になってくれるということがあります。

そうすると、 $n = 1$ として一番小さい値を取りますと、二つの空洞で41メガ電子ボルト

ンボルト加速すればいい訳ですから、一本当たりの加速電圧は20.5メガエレクトロンボルトでよいということになります。

では、この20.5メガエレクトロンボルトというのは、どれぐらい高いのかということで、現在、より高い温度で超伝導空洞を形成するという技術の開発というのが進められていて、現在最も注目されているものが、このNb₃Snと呼ばれる新しい材料です。

この材料は近年盛んに研究されておりまして、この特徴としては、従来使われている純ニオブと呼ばれる金属が、絶対温度9度で転移温度となる。ですから、9度以下になると超伝導になるという性質があるのですが、それに対してNb₃Snというのは18度、18ケルビン、ほぼ倍の温度で超伝導になってくれるということで、より高い温度で超伝導になってくれるという非常に優れた性質があります。

このNb₃Snというのは、ちょっと物性的に脆いであるとか、色々と厄介な面があるんですが、近年は技術開発が進んできまして、こちらアメリカでの例でございしますが、横軸が加速電場でどこまで実際にこの加速器がオペレーションできたかというデータですが、最大値を見ると大体24メガボルトパーメーターというところまで実現されているということで、この4度で20.5メガボルトという我々の要求というのは十分に達成可能だというふうに思われます。

次に、実際今400メブという電子が得られたときに、それからミュオンがどれぐらいできるのかというの見積もったのがこちらのスライドになります。この得られた400メガエレクトロンボルトの電子ビームを、カーボン、具体的にはグラファイトになりますが、グラファイトの標的に入射しますとどれぐらいミュオンを得られるかというのを、GEANT4というシミュレーションソフトで見積もったものです。

これによりますと、右側に上下にミュープラス、ミューマイナスのヒストグラムが書かれていますが、これを100マイクロアンペアという電流に焼き直してやると、大体1秒当たり、 1.4×10^8 の8乗ということで、1億4,000万個のミュープラス、そしてミューマイナスがそれぞれ1秒当たり得られると、そういう計算になって、かなりの数が得られるということが分かります。

以上、車載型の可動式のミュオン源としてまとめたのがこちらの図になりまして。2台のTESLA空洞、大体長さが1メートルちょっとですが、この空洞を20.5メガボルトパーメートルという、現在でも既に技術的に実証されているレベルで駆動することで、この周回軌道で10周することで100マイクロアンペアの電子ビームを414メブまで加速可能

だということが分かります。

この軌道幅は半径が1メートルになりますので、軌道幅は2メートルということになって、2.5メートル幅のトレーラーにも積載可能な大きさとなっております。

実際のマイクロトロンは長さが大体3メートルから4メートル程度となりますので、標準的なトレーラーが12メートルから15メートルですから、その加速器本体だけではなくて、遮蔽壁をはさんで、RFのアンプ、実際に電力を供給する電源であるとか、超伝導空洞を駆動するための冷凍設備ですね、あとは、実際制御するためのコントロールシステム等も車載型とするような形が可能であるというふうに見られます。

ここまでがミュオンの生成というところで。

実際に、ここから非破壊検査というのをを行うためにはミュオンの再加速ですね、得られたミュオンをもう一回加速して、ある程度高いエネルギーまで加速することで、太いもの、厚いものを見れるということですね。

ミュオンの加速というのは一般的には非常に難しいとされていて、現在、様々なところで努力が続けられていますが、その理由は、発生した当時は非常にゆっくりで、光速の大体30%、それでも皆さん速いと思うかもしれませんが、400 MeVまで加速すると大体95%まで加速されます。ですから、その加速する間どんどんスピードが変わるということで、ミュオンと加速する電磁場の周波数の同期を取るのがなかなか難しいということがございます。

そこで、通常は例えばJ-PARC等の据置き型の加速器では、RFQであるとかlow β 、DTL、high β DTLとか、 $\beta = 1$ Linacとか、加速周波数の波長が少しずつ異なる加速器を並べて、徐々に加速するという方式が取られます。ただ、そのような大規模なシステムは可搬型とならないので、ではこれをどうやって解決するかというのが大きな課題になります。

マイクロトロン加速というのはまたここで考える訳ですが、マイクロトロン加速、電子の場合は上手くいった訳ですね。電子の場合なぜ上手くいったか。ローレンツ β と呼ばれる光速の何倍かという係数がちょっと加速するとすぐ $\beta = 1$ になってしまうという、非常に扱いやすい性質が電子があり、加速条件が非常に容易に満たされるということがあります。

一方、ミュオンの場合はその条件が複雑な式になっていまして、同期条件を一定に保つというのが非常に難しいということが分かります。

このちょっとどンドンずれていってしまう条件というのを何とか調整できないかということで、一つの調整代は、例えば通常のマイクロトロンはこういうふうに半円形の磁石で軌道

を曲げて徐々に加速していく訳ですが、エネルギーの軌道によって内側から外側にずっとずれていくので、それぞれの場所でこの間隔というのを調整すれば、ちょうど同期が取れるような条件ができるということが考えられます。

式で書くと一番下の式で、この $L_B(\gamma)$ というのがその調整幅で、これに条件に合うような長さを適当に入れてやればよろしいということで、問題は、それが幾何的にそういう形状を实际つくることができるかということが問題だと思います。

次、お願いします。実は似たようなことを考えた方というのが既におられまして、ナカムラ中村さんという方ですが、こちらの方は、実際ミュオンではなくて、ほぼ非常に似たような性質を持つプロトンという粒子、陽子ですね、水素の原子核に相当する陽子ですが、水素の原子核も非常に重い陽子で加速が難しいんですが、それを連続的に加速するにはどうするかということで、このように二つの磁極の間の距離を連続的に調整することで、連続的に加速できるということを提案されています。

ミュオンも、実際にこれと同じような形で、同期条件というのは取れるだろうということです。

そうやって、これを細かく分けることで、連続的に加速できるというのが *Varied GAP Microtron* というアイデアで、この上下のスペースを調整代とすることで、周回ごとに、実質的に周回時間が RF の周波数に対して一定にすることができると、そういうことでございます。

ただし、問題は、この上側は軌道が一致していますが、下側はマイクロトロン加速ですからばらけているということで、これを同じ軌道にできないかというのを考えました。

23 ページをお願いします。横軸をエネルギーにとって、縦軸は L_B でどれぐらいの隙間を空ければ上手く同期取ってくれるかというのを示したものがこの右のグラフになります。この青い点ですね。

そうすると、20メガエレクトボルトぐらいからプラスになっていって、それが0.3ですから300メブちょっとぐらいまでプラスの値を持っているので、その幅で空間を調整してやれば上手く同期が取れるということです。

この必要な空間がマイナスになるということは磁石をオーバーラップさせなきゃいけないということで、これは物理的に不可能です。このプラスの領域が可能な範囲ということになります。

そのときのこの赤い線は、上の軌道と下の軌道の距離ですから、高いエネルギーになると

どんどん空間が広がっていっています。要するに上の軌道は一致するけれども、下の軌道は大分ばらけてしまうということで、普通のマイクロトロンと一緒に、真空チャンバーの大きいものが必要になります。可搬型としてはデメリットになるということで、なるべくこれは一致させたいということを更に考えました。

それが次のページ、あともう1枚よろしくお願いします。そうですね。こちらです。先ほどの解ですと周回時間がちょうど加速周波数のある特定の整数倍という条件で計算したのですが、実は整数であればよろしいということで、そういう形で調整すると+2分の $n\lambda$ という項が加わります。この n というのをなるべくうまい具合に調整してやると、その結果が右になりますが、ギャップ間隔に相当する L_B というのが低いエネルギーから高いエネルギーまで徐々に広がっていきます。そのときに二つの軌道の間の距離というのは、この青い線で表されていますが、ほぼ一定ですね、数センチレベル内で一定ということで、レーストラック型のマイクロトロンというのが実現されます。

次お願いします。再度加速の様子を概念的に表したのがこちらで、このハーモニクスを調整することで、この場合だと上の軌道は完全に一致します。下の軌道は数センチレベルで一致してくれて、連続的な加速ができ、かつ、この磁極の大きさも抑制されていますし、真空チャンバーも大型ものが必要ないということで、ぐっと現実性が高まるということです。

次お願いします。この一連のダブルサイデッドマイクロトロンによる400 MeVの電子ビーム生成、その後標的に入射して、その後ミュオンの初期加速を行いまして、さらにダブルサイデッドマイクロトロンを入射して、所定のエネルギーまで加速します。400メガエレクトロンボルトまで加速するという構成を考えるとこんな形になります。

トレーラーが1台当たり長さが12から15メートルですから、例えば電子用のマイクロトロン、標的、そしてミュオン用のマイクロトロンというのを1台のトレーラーに積載して、もう一台のトレーラーに制御システム、RFのアンプ、冷凍機等、そういう付帯設備を乗せることで、2台のトレーラーで可搬型システムが想定されます。

実際に400 MeVのミュオンが仮に得られたとして、それを非破壊検査に使うとなるとどれぐらいのものが見れるのか、というのを推定したのがこちらのスライドになりまして、このエネルギーですとミュオンの電離損失というのが主な反応になりまして、このBethe-Blochの式というので求められます。大体2メガエレクトロンボルトのセンチメートル14パーグラムというちょっと不思議な単位になりますが、これにちょうどコンクリートの密度を掛け合わせると、コンクリートの際のどれぐらい減衰するかという、そういう係数

が出てきます。ここから計算しますと400 MeVのミュオンの飛程は、上の式から85センチメートルというふうに求められます。そうすると、若干統計的な広がりというのは発生しますので、80から95センチメートル程度をミュオンはコンクリートを通過してくれるなということで。これぐらいのエネルギーですと1メートル程度のコンクリートの内部検査というのが可能ではないかというふうに見積もられています。

以上、まとめさせていただきます。ミュオン再加速を含めた可搬型のミュオン源について検討した結果を御紹介させていただきました。

ダブルサイデッドマイクロトロンミュオンジェネレーターというものを提案しておりまして、こちらは車載型のダブルサイデッドマイクロトロンで、コンパクトなミュオン生成が可能というアイデアでございます。

これをグラファイト標的に入射しますと、1秒当たり1億個のミュープラスあるいはミューマイナスが生成可能でございます。

更にそれをアービトラリーハーモニクスバリアードギャップマイクロトロンという幾つかのアイデアを加えたもので、ミュオンを400 MeV程度までなら加速できそうだということで、先ほど示した1メートル程度のコンクリートならば非破壊検査が可能です。

さらなる加速というのは原理的には可能でございますが、強い磁場でのマイクロトロン加速とか、あるいは超伝導ライナック等を継ぎ足すということで、ここからは大分力技になってくるかなというのが現状でございます。

私の方からは以上でございます。御清聴どうもありがとうございました。

(上坂委員長) 栗木先生、御説明どうもありがとうございました。

これはまさに、先日のICUの久保先生が御説明されたミュオンの今後の利用のための分散型のシステムということになるのだ、と理解いたしました。

それでは、質疑させていただきたいと思います。それでは、直井委員からお願いします。

(直井委員) どうも栗木先生、御説明ありがとうございました。

ただ今上坂委員長の方からもございましたけれども、1Fの溶け落ちた炉心の状況を宇宙線ミュオンで透過する分析技術ですとか、加速器で人工的にミュオンビームを発生させて試料に照射して、ミュオン特性エックス線によって元素分析をするというような技術がもう既にあるというお話は既に伺ってきています。いずれもこれまでできなかったことができるようになるという革新的な分析技術ですけれども、今日のお話は、超伝導電子線加速器とマイクロトロンでミュオンビームをよりコンパクトな装置で利用できるようにするという、この

分析技術の社会実装に向けた大きなステップになるというようなお話で、大変興味深く伺いました。ありがとうございます。

それで、コンパクトなミュオン源として、今回お話があったミュオンビーム性能が出ることを確認する実証試験ですとか、そのビームを社会インフラの健全性検査ですとか、福島のデブリ分析に適用するというような実証試験、こういったものにつなげていていただきたいなと思ったのですけれども。まず、ミュオン源開発の今後のステップとして、どのようなお考えを今お持ちなのか教えていただけますでしょうか。

(栗木教授) どうもありがとうございます。

ミュオン源開発については、幾つかステップを踏んで進めていかなければいけないというふうに思っております。17ページをちょっと示していただくと、ミュオン生成の部分ですね、こちらですね、こういう形でダブルサイデッド型のマイクロトロンで粒子を加速して、最終的にはグラファイト標的というものに照射するということになっていきますが、先ほど示していましたように、基本的には24メガボルトパーメートルという加速勾配は、アメリカの研究所で実証されたものです。ただし、実証されたものというのは、いわゆるテスト型の空洞で、割合シンプルな形状で実施をされたということで、例えばここにありますように、典型的な形状として9連空洞を示してございますが、9連空洞でまだ実際にはフルに実証されていないということで。こういう実際に使われる複雑な形の空洞でいわゆるテスト空洞と同じ性能を実証するというのとは一つ課題となっているかなというふうに思います。

あとは、一番中心にある電子発生部ですね、こちらはやはり超伝導型の電子銃と言われるもので、そこから100マイクロアンペアという電子ビームを発生させるということが必要になります。こちらについては、ドイツのエルベという研究所でほぼ似たようなシステムでオペレーションしていますが、ただし、100マイクロアンペアは出てない、20マイクロアンペアまで出ているということで、その原理的に5倍増やすことに技術的な障壁がないんですが、それがフルに実証されていないということで、いわゆる実証ということで課題がございます。

実は、この100マイクロアンペアのこの超伝導RF電子銃からの電子ビーム生成という課題については、現在広島大学と、ノバセル社というスタートアップ企業がございしますが、多分12月にこちらでお話しされたと思いますが、いわゆる電子ビームを使った医療用のRI生成というシステムを、現在広島大学とノバセル社で共同開発ということを行っておりますが、そこで現在開発中の技術がそのまま使えるということで共通技術として現在開発して

おります。

(直井委員) ありがとうございます。是非そういった実証試験を経て、社会実装にできるだけ近づけていただきたいなと思います。

特に1Fの燃料デブリの非破壊分析技術としては、このミュオンを使った分析技術、大変有望な技術であると思いますので、例えばNDFさんですとかJAEAさん、それから東京電力さんなど、福島の新燃料研究をされている部隊と是非御議論いただきたいなというふうに思います。よろしくお願いいたします。

私からは以上です。

(栗木教授) 色々と技術的な可能性について議論していきたいと思います。よろしくお願いいたします。

(上坂委員長) では吉橋委員、聞こえますか。

(吉橋委員) はい、聞こえます。私の声聞こえますでしょうか。

(上坂委員長) 大丈夫です。お願いします。

(吉橋委員) 栗木先生、大変興味深い御説明ありがとうございます。

ミュオンを使うと、中性子やエックス線だったり他の放射線とはまた違う情報も得られたり、違うものが測定できるということで、このような可搬型のミュオン源というのは今後非常に期待できるなと思ってお聞きしました。

それで、私からの質問は、先ほど様々な式を示していただいていた、それらを見ながら考えていたのですが、このようなトレーラーに載せるということは、振動が起ることが想定できて、例えばビームのアライメントが大変になるとか、あとビームの入射角度が重要ということだと、ビームの広がりとか、制御が結構難しいのかなと思うのですが、そういうことはあるのですか。解決方法等であったり、問題点があれば教えてください。

(栗木教授) どうもありがとうございます。

私が想定している使用法ですけれども、稼働型とは言いつつ、いわゆる走行しながらの使用というのはあまり想定していないということは一つ断っておきたいと思います。ですから、この移動して設置した状態で使って、またそれが終わったらまた別の場所に移動してそこでまた使用するということで、使用するときは必ず静止しているということで、移動しながらの使用は想定していないということで、そういう意味では、振動ということはほとんど想定していないということは、まずお断り申し上げておきたいと思います。

そうは言っても、例えば移動することで例えばガタガタして少しアライメントがずれたり

とか、そういうことも想定されるかというふうにと思いますが、その際多分問題になるのは、この軌道の安定性、こちらでもいいし17ページでもいいのですが、軌道の安定性というのは問題になるかと思います。

それこそ色々なエネルギーが異なるものが異なる軌道を通るということで、その際、実はこの磁石に斜めに入るといふ、あるいは出射するといふ部分が必ず出てくるんですが、このとき実は基本的にはフォーカス力が強く働くということがございます。例えばそれ角度がずれたりするとそのフォーカス力が若干変わってきてしまいますので、それに対応するフォーカス力の調整というのが例えばアライメントがずれた際には必ず必要となってくるかなと思います。

そういうお答えでよろしいでしょうか。

(吉橋委員) ありがとうございます。これから実験などを通して確認されることと理解しました。是非実現できるといいなと思いました。

もう一点ですけれども、検出に関してなんですが、恐らくミュオンという透過でこれまで検出されていたと思いますが、インフラ、先ほどの橋桁等や道路だったりの検査で利用する場合は、反射で検出するようなことが必要になると思います。エックス線だったり中性子線を使ったインフラの検査でも反射の検出というのは難しいと思うんですが、ミュオンに関してもこのような反射型で検出するということは想定されているのでしょうかということと、そのような技術があれば教えてください。

(栗木教授) どうもありがとうございます。すごくいい質問というか、しゃべりたかったことにちょっとつながります。

ミュオンは二つの方法でイメージングというのが、されていまして、散乱型といわゆる透過型という二つの方法で現在ミュオンイメージングというのはされています。

例えばエックス線による例えば人の骨を見るようなイメージで考えていただければいいんですが、人の骨はエックス線を通しにくいので、その部分が白く浮き上がるという写真がございすよね。あれはいわゆる骨でエックス線が遮蔽されるという性質を利用してイメージを見ている訳で、ミュオンでも同じように、例えばコンクリートの中に鉄筋、鉄というちょっと重い物質があると、そこでよりミュオンがストップ、遮蔽されて、後ろに側にその部分だけミュオンが少ない領域ができるので、それをイメージとして取るという、そういう透過型という手法がございす。

一方で、ミュオンと物質の相互作用というのを考えますと、コンクリートという比較的

密度のものは真っ直ぐ進んでしまいますが、鉄みたいな高密度のものはそこにいつて止まってしまう場合もあるし、散乱されて角度を変えてどっちかに飛んでいくという場合がございます。そうすると、この角度を変えて飛んできたミュオンだけを集めて、そのミュオンがどこから来ているかというのを見ると、重い物質がどこにあるかというそういうのを調べることができます。これは散乱法と呼ばれているもので、実はミュオンは透過法でも散乱法でもイメージングが可能という性質がありますので、それは実際の例えば測定したい場面で透過法だけで見るのか、散乱法も一緒にするのかということで、割合両方対応可能という、柔軟に対応できると、そういう性質があるということが一つのメリットかなと思います。

(吉橋委員) ありがとうございます。御丁寧な御説明、ありがとうございます。非常に興味深いので、私ももう少し勉強してみようかなと思いました。どうもありがとうございます。

私からは以上になります。

(上坂委員長) それでは、参与からも御質問や御意見を伺います。青砥参与から御意見をいただければと思います。

(青砥参与) なかなか興味深いお話、ありがとうございます。

先ほど委員長からもありましたように、1回前にこの宇宙線のミュオンの話も合わせて、ミュオンの概括的なお話もいただいたので、非常に興味深く聞かせていただきました。

一方で、にわか勉強なので、追いついてないというか分からないところもあって、少し確認させていただきたい。先生がおっしゃっている可搬型と呼ばれているものの、その何が可搬型を規定しているのでしょうか。式とかか色んなものを見せていただくと、エレクトロンにしろ、ミュオンにしろ、加速の部分が400メブというのは、この体系の一番適切なというか、有効な力を発揮する値であって、必ずしも可搬型を規定しているものではないと。だから、可搬型と言うときの限界と言っていいかどうか分からないのですが、何をしてその巨大ではない、可搬型だというように先生が考えられていて、もしその課題が今後どのように解決されると、可搬型がもっと自由度の高いものになるとお考えなのか、そのあたりを少し教えていただけませんか。

(栗木教授) 多分電子側とちょっとミュオン側で大変特性が違うと思うんですけども。電子側で考えますと、電子ビームによるミュオンの生成ということを考えると、先ほど言った共鳴を利用するというのは効率がいいということで、そうすると大体400メブぐらいまで加速するのが一番よろしいと。

(青砥参与) 効率的だと。

(栗木教授) 効率的ということです。その400メブという電子ビームを、例えばトレーラーと今回想定しましたが、幅が2.5メートル、長さが12から15メートルぐらいの空間とすることを想定しますと、例えば400メブの電子ビームを例えば2メートルぐらい、レーストラックでぐるぐる回しながら加速するということです。1.3テスラという磁場に合わせ込んでいますが。

実際もっと強くするとかいう案もございますが、そうすると磁場を強くするということがなかなか難しくなって、例えば超伝導磁場を使うとかそういうファンシーな技術なので、あまりそこ頑張ってもしょうがないかなというのがまず電子ビーム側です。

あとミュオン側は、もう大体は、それこそミュオンの400メブという円を周回させると考えると、先ほど言ったようなやはり1.3テスラぐらいになってくると。それをどんどん強くすると高いエネルギーまで加速しますが、やはりそれも磁場をつくるのがどんどん難しくなって、例えば磁石の重量がどんどん大きくなるとか、そういう可搬型ということとちょっと矛盾する方向に行きます。

(青砥参与) ありがとうございます。半分ぐらい分かった気がします。要は、先生は最初の定義として、可搬型と言われているのは、装置の空間と、それに対する効率性のバランス。

(栗木教授) そうですね、空間と効率性と、あとは重量とのバランスというところで、現在こういうふうになってございます。

(青砥参与) 理解できたと思います。ありがとうございます。

私からは以上です。

(上坂委員長) それでは、岡嶋参与から御意見をいただければと思います。

(岡嶋参与) 先生、どうも御説明ありがとうございました。

私は、この前のミュオンの話とかと総合してですが、言ってみればミュオンは新しい放射性粒子の一つだと思っています。電子線でもない、中性子線でもない、エックス線でもない、それでいてこれで非破壊検査等ができるということが一つの魅力かと思っています。

それが今のところは結構大きな加速器でないとできないとか、そういうような状況なので、は、可搬型というのは言わばオンデマンドに近いものであり、どこか必要とする現場に持って行ける加速器だとか、あるいは、言ってみたら設置した場所、ミュオンによる非破壊検査等がもっと普及できるような形の一つの装置の提案ではないかと思いました。

そう考えたとき、色々多分まだ制約もあるだろうし、課題もあるのだろうと思いましたが。今青砥参与から質問があったように、例えばサイズ、重量だとかということの制約があるの

だろうと思いますし、その他、例えば外で利用する場合、別の制約もあるのだろうと思います。そう考えると、遮蔽とかもが問題になってくるだろうと思っています。そこで、そういう用途を前提にした場合、どういう課題が今後あるのかということを少し教えていただければと思います。

(栗木教授) どうもありがとうございます。

多分、課題と運用ということを考えると実際大きな課題が二つございまして、一つはいわゆる屋外での放射線発生装置の使用ということが現在、橋梁検査の4メブ未満、3.95メブというところに制限されているというのはまず一つで。こちら、例えば電子ビームエネルギーでも400メブということで、それに比べてかなり高エネルギーになるので、少なくとも現在の法律ではそのまま運用できない。

もう一つは、お話に出た放射線遮蔽でございまして、今回グラファイトに電子ビームを入射するという意味では、ここでかなり大量の放射線、中性子を含む放射線が発生するという事で、それをきちんと遮蔽するというシステムが必要なので、これは実は本体よりも実は大きくなる可能性があるので、そこは一つ課題かなと思います。

そうしますと、そういうある種運用にまつわる、効率的あるいは技術的な課題と考えますと、完全な可搬型とするよりは、例えば何かJ-PARC並みの大きな加速器をつくるのはちょっと大変だけれども、例えば特定のもうちょっと用途を限定した場所でミュオンを使いたいというような場所があれば、その場所に、例えば福島第一でもいいのですが、例えばそういうところに設置して、それ専用のマシンとして例えばある一定期間使うと、その役割が終わったら例えばまた別のところに移動して、別の用途でまたある一定期間使用するというような形で。完全な可搬型というよりは、比較的小型で、役割が終われば移設することもできる装置として運用していくというのが一つ現実的な運用方法かなという感じを持っております。

(岡嶋参与) ありがとうございます。

是非、社会実装ということを考えると、その辺のところの課題を解決していただきたいと思います。よろしくお願ひしたいと思います。

(栗木教授) どうもありがとうございます。

現在、例えばミュオンを使おうとすると、多分J-PARCに行かないと使えないとか、あとはもう本当に抽選で気長に待つという、その二者どちらかということになっているので、その間を何か埋めるようなことをして運用できると非常に社会的にも役に立てるのではない

かというふうに思っております。

どうもありがとうございます。

(上坂委員長) それでは、小笠原参与から御意見いただければと思います。

(小笠原参与) 御説明ありがとうございました。

3 ページ目にこの可搬型ミュオン源の色々可能な用途について挙げておられますけれども、特にそのインフラの部分につきましては、国土強靱化ということが今言われておりますし、高度経済成長時代に大量につくって、かつ増大していく人口を前提につくったインフラが今一斉にその使用の限界の期限に達しつつあるという状況の中で、こういった技術を社会実装していくことは大変意義があると思います。

特にこのミュオン源を可搬型にするという部分は、社会実装のためになさっておられる研究だと思いますので、そのところに重点を置かれているということにまず敬意を表したいと思います。

私も今まで委員、参与から質問があったことと重なりますが、この可搬型ミュオン源の技術、まだ色々な制約が、法的な制約、それからあと先ほどおっしゃられました技術的な制約、それからまた社会実装するに当たっては、例えば、そもそもこういう大きなものを通せる道路がどれだけ日本にあるのかみたいな話が出てくるかと思います。国土強靱化で朽ち果てようとしているインフラを何とか支えていかなければいけないという需要は現実のものとしてあって、非破壊検査的な技術は既に幅広く使われていると思います。既存の技術とのすみ分けというものは当然考えていかれると思いますけれども、この可搬型ミュオン源でなければできないエリアというのは、今までの既存の技術との比較において、どういうふうに特定できるのでしょうか。

(栗木教授) ミュオン源に加えて、現在非破壊検査ですと超音波であるとか、あとはエックス線の利用というのが現在始まっておりまして、あとは試験的には中性子の利用というのが始まっております。それぞれ特徴がございまして、例えばエックス線ですと、解像度はそこまですぐよくないけれども、例えば鉄骨がそこに存在するのかわからないのかというのがある程度分かると。

一方、現在想定されている中性子ですといわゆる反射法というので見ますけれども、そこらはいわゆる空間的なレゾリューション解像度というのはほぼないけれども、例えばアスファルトの中に例えば塩分がどれぐらい含まれているとか、あるいはアスファルトが健全な形であるのかあるいは土砂化というところ、もろくなっている状態なのかというのを特定する

という方法で中性子が利用されております。

それに比べますと、ミュオンはやはり空間レゾリューションが圧倒的に高いということで、例えば鉄筋でも、例えば細かい亀裂が入っているかどうかとか、そういう非常に空間、あるいは物質のコントラストを例えばコンクリートの中に、定型的には鉄筋ですけれども、重いものがあると、そこで先ほど言った反射法みたいなもので、そこからだけ反射されたミュオンが観測されるとか。

非破壊検査とはちょっと違いますが、例えばそういう形ですと、現在でも一部使われていますが、例えばコンテナの中に、例えばいわゆるウランであるとかそういう非常に高い物質が入っていないはずのものが入っていたりすると、例えばミュオンを使うと立ちどころに反射法で散乱されたのが分かるような方法でも使われていますから。

そういう空間解像度の高さというのと、その重い物質を散乱法できちんと見れるというのがほかの方法ではなかなかできない特徴かなというふうに思います。

(小笠原参与) どうもありがとうございました。

この技術の持っている比較優位性が非常によく分かりました。非常に高い意義があるかと思しますので、高い期待を持ちたいと思います。ありがとうございました。

(上坂委員長) それでは、上坂から意見を述べさせていただきます。

今、関連の質問がありましたので、そこからなのですが。今エックス線が画像がぼやけている、というお話がありましたが、今までこの定例会議で何度かNEXCO東日本から国家プロジェクトの説明があったのですが、私もかつて関わっていたのですが。大体1.5メートル厚の鉄筋コンクリートで、空間分解度は約1ミリです。

それで、PC橋の中に、外側に鉄製チューブがあって、中に鉄製ワイヤーが入って、その隙間の様子ですね。隙間がないようにグラウトを入れて、水が入らないようにして腐食しないようにしているのです。そのグラウト充填・未充填を見るというのは大体1ミリで見えている。ミュオンの特性から、非破壊検査利用は、空間分解能より元素分析ですね。腐食の錆の状態とか、そういうものを見れるといいかなというふうな感じがするのですね。

中性子は今コンクリート中の水とそれから塩分ですよね。ナトリウムの分析ということなので。そういう他の手法とのすみ分けを是非見つけていただいて。元素分析あたりをやっていくといいかなと。

(栗木教授) そうですね。今日ちょっとあまりしゃべりませんが、上坂委員長おっしゃるように、エネルギーの決まったミュオンを使うと、深さ方法を調べて、かつ元素分析、特

性エックス線を見ることで元素分析できるということで、これも現在はどちらかというところの文化財の例えば内部、例えば表面にどういうものがあつたり、材質はどうだとかそういうのに使われていますけれども、例えばそういうものを非破壊検査の手法の中に取り込むというのが、エネルギーがきちんと分かっているというミュオンビームを使うとそれも可能になるということで。そういうことも非破壊検査できると。

(上坂委員長) ですから、やはり非破壊検査は色々な手法があると思うのですよ。使い分けだと思うのですね。ですからエックス線だと断面画像ですけれども、チューブとワイヤーの位置が分かるという意味で。だけれども、どうも中で腐食しているらしいという場合、3Dで断面で見たいというのはミュオンしかできないということですからね。そういう使い分けですね。それが非常に重要というか。

(栗木教授) そうですね。上坂委員長言うように、例えばミュオンですと、透過像と散乱像の両方取ることで、3D的な理解ができるということで、よりある種トモグラフィー的な観測が可能です。

(上坂委員長) 全てそれらを一手法でみるのは困難ですから。スクリーニングをまず他の手法でやっておいて、詳しく見たいというところをミュオンで見るとかね。そういう使い分けがあるかなと思いました。

それであと、27ページの図が、まさにこれとほぼ同じ図を前回久保先生がお使いになった。将来的にはこういう分散型のシステムで使いたいのですというふうにおっしゃられた。まさにそのソリューションになっているかなと思います。

ところが、この23ページ。これ可搬型ということなのですけれども。ここまでも議論ありましたし、私も経験があるからなのですが、外で使う場合、放射線障害防止法の許可使用に関わる使用場所の一時変更の届出第9条に、4 MeV以下の加速器で、橋梁検査に限るとこう書いてある。私も、規制庁に対して、エネルギーに関してはあまり要望出したことはないので。けれども橋梁以外の用途の要望を規制庁とやりとりしたのですが、なかなか厳しくて、まだその合理化にはなっていないのでありまして。今回の加速器が400 MeVということになりますと、なかなか敷居が高いかなと思いますので。

この27ページの図。加速器をトラックに乗せるというのは置いておいて、まずはこれで十分分散型になるので、小型というか中型のシステムになる。これを据置きでまず利用していただくというのが早いかなと。

その際、やはり中型といっても、そこその規模ですから、そうすると当然用途がいつば

いあったほうがいいですね。ですから、最初の2ページ、3ページ辺にあるように、やはりミュオンのユーザーの方々の意見を非常に聞いて、3ページにあるような様々な用途を集められる。1年間、52週のうち多分30週ぐらいが利用が埋まるというような計画があると、これ非常に現実的になると思いますね。

それからあと、26ページにマイクロτροンの軌道の図があるこれ線形加速器なので、この間には当然いくつも加速管があるのですけれども、同じ加速位相に、ビームが乗るということで。非常に軌道のコントロールが重要だと思うのですが。そのためのマグネットの磁場の一様性は、既存のシンクロτροンに比べてどのぐらい厳しいものなのでしょうかね。

(栗木教授) そうですね。それについては、まだちょっとまだその精度的な研究はあんまりまだ進んでいません。

(上坂委員長) ざっとですけれども、私も加速器のマグネットをつくったとき、0.1%ぐらいの一様性でつくったように思います。

(栗木教授) 当然シミングとかそういうのは必要かなというふうに思っているんですけれども。

(上坂委員長) それ以上の精度がいるからと思うので。このマグネットの技術が非常にキー技術かなと思いました。

それから、もう今おっしゃられたように、栗木先生は別途山下了先生らとのNOVACELLですね。RI製造。アクチニウム製造のための超伝導加速器の製作に参画されておられます。まさにそれと同じ加速管が使われるということで。是非協力して開発をしていってほしいと思います。元は高エネルギー加速器研究機構の先生でいらっしゃった。高エネ研のリニアコライダー用の加速器技術です。是非それを民生応用にしてほしいと思います。

また、もっと低エネルギーでも滅菌応用とか、非常に小型の加速器ですので適用できると思いますし。超伝導だから、CWで非常に平均電流量が高いと思うのですよね。ですので、滅菌にも使えると思います。今残念ながら滅菌用の加速器がほとんど外国製のロードτροンに置き換わってしまったと、この10年でですね。とても残念な状況なので、重要な滅菌も是非国産機でやっていただきたいなと思うのですが。いかがでしょうかね。

(栗木教授) そうですね。それこそ上坂委員長おっしゃられたように、これもともと素粒子物理の国際リニアコライダーという計画のために開発された技術でございまして、ここ、そうですね、20年ぐらいで急速に進歩してきたというところで。それこそ沢山の国民の資産を利用していただいて、基礎技術として開発されてきたものです。ですから、これを基礎研究だけでなく、社会実装に応用することで、要するにある種社会に恩返しするというこ

とが可能かなというふうに思っておりますし。

それこそ先ほど出た滅菌なんていうのも、現在ほぼ、社会的需要は高いにもかかわらず、装置がほぼすべて外国製ということで、ちょっと残念な状況で。例えば学会とかでも、日本は加速器技術は優れているのに、何でその加速器の製品は少ないのだというふうにお叱りを受ける場面も多々ございますので。

これからはいわゆる基礎技術、基礎研究というものはしっかり進めていく一方で、その社会実装というところもきちんと取り組んでいきたいということで、今日はこういうミュオンという話でございましたが。先ほど話出たように、R I の製造であるとか、滅菌用の加速器というところも現在進めておりますので、そういうところでも協力できたらなというふうに思っております。

どうもありがとうございました。

(上坂委員長) 私は、栗木先生が昨年度まで日本加速器学会の会長でおられて、それで物理応用、科学応用以外のところですね。こういう民生応用も非常に推進されているのはよく存じ上げております。是非引き続きリーダーシップを発揮されて民生応用も進めていただきたいと思います。よろしくお願いします。

(栗木教授) どうもありがとうございました。

(上坂委員長) それでは、議題 2 は以上でございます。

それでは、説明者の方々、恐縮ですけれども、御退席をお願いします。

(栗木教授) はい。

(上坂委員長) それでは、三つ目の議題は、予定どおり 3 時 10 分からということで、しばらく休憩ということにさせていただきます。

(休憩)

(上坂委員長) それでは、議題 3 について、事務局から説明をお願いします。

(井出参事官) それでは、三つ目の議題でございます。核燃料サイクルに関する政策動向について、資源エネルギー庁電力・ガス事業部原子力立地・核燃料サイクル産業課課長、皆川重治様、原子力政策課原子力技術室室長、宮下誠一様より御説明を頂きます。

本件は、原子力利用に関する基本的考え方の 3 の 2、エネルギー安定供給やカーボンニュートラルに資する安全な原子力エネルギー利用を目指すに主に関連するものです。

それでは、皆川課長、宮下室長の方から御説明をよろしくお願いいたします。

(皆川課長) 原子力立地・核燃料サイクル産業課の皆川でございます。本日はお時間を頂きま

してありがとうございます。

私の方からは当面の姿である軽水炉サイクル及びサイクル政策の総論について説明をさせていただき、今、研究開発段階にあります高速炉サイクルに関しましては、室長の宮下の方から説明をさせていただきます。

まず、3 ページを御覧ください。

まず、この核燃料サイクルの推進、高速炉の実証炉の開発といったものが、エネルギー基本計画に位置付けられているというようなところにつきまして抜粋してまいりましたのが、このページでございます。すなわち、第7次エネルギー基本計画におきましては、原子力などのエネルギーの安全保障に寄与し、脱炭素効果の高い電源を最大限活用するということが必要不可欠であると。すなわち、この優れた安定供給性と技術自給率を有する自律性の高い電源であるということで、準国産エネルギー源というような形で記載をしております。

そして、この原子力発電を長期的に利用していくに当たっては、核燃料サイクルなどバックエンドへの対応が重要な課題というふうに定義をしてございまして、すなわち、この核燃料サイクルというのは、原子力発電の利用ということと一体をなして、このエネルギーの安全保障にとって非常に重要な施策であるというふうに、このエネルギー基本計画でも定義をしております。

また、その先のカーボンニュートラル実現に向けたイノベーションとしまして、高速炉につきましては、この核燃料サイクルの効果をより高めるものでありまして、実証炉の開発ということにつきまして、それから、更にはサイクル全体ということを含めて集中的な研究開発に取り組むという旨もエネルギー基本計画に記載し、政府の方針として持っているというものでございます。

そして、この核燃料サイクルの意義でございますけれども、5 ページにございますとおり、この核燃料サイクルの推進ということにつきましては、高レベル放射性廃棄物の減容化、すなわち体積、それから有害度の低減、すなわち放射線の減衰、それから資源の有効期限、この三つの観点から一貫して国の基本的方針、これは原子力委員会でかつて決めてきていただいた原子力長計など、またエネルギー基本計画においても、一貫してこのような基本的方針というふうに位置付けてきているところでございまして、この関係自治体や国際社会の理解を得つつ、引き続き推進することが重要というふうにしてございます。

このメリット、減容化というところというと、軽水炉サイクルで体積比で4分の1、有害度の低減ということで、天然ウラン並みに低減するまでの期間が10万年から約8,000

年に、また資源の有効利用ということで、新たに一、二割の燃料を製造可能である、更に、こういった効果につきましては、将来的に目指す高速炉のサイクルというところでは、更に高めることができるということをもとめてございます。

6 ページへまいりまして、この核燃料サイクルの確立に向けた取組というところでありまして、この核燃料サイクルを回していくための政策課題をブレイクダウンして整理をしております。これにつきましては、6 ページの右下の緑のところにある六ヶ所再処理工場、MOX燃料工場の竣工と安定的な長期利用ということ、そして、ここから得られましたプルトニウムをしっかりと有効利用して、サイクルは利用してこそサイクルでありますので、このプルトニウムを有効利用するということ、それからプルトニウムバランスを確保するということが、この左上でございます。

また、右上にありますように、六ヶ所再処理工場で処理するまでの間、使用済燃料をしっかりと安全に保管するというこの使用済燃料対策の推進、この三つが大きな核燃料サイクルの意義で構成する政策要素でございまして、また、この核燃料サイクルの輪っかそのものではございませんけれども、これを推進させる上で必要不可欠なものとして、左下の最終処分の実現といったところにもしっかりと取り組んでいく必要があるというものでございます。

続きまして、7 ページへまいりまして、ここからが6 ページのところの右下の緑でございました六ヶ所再処理工場及びMOX燃料工場のパワポでございます。こちらで使用済燃料を再処理して、MOX燃料として再利用するために加工するというようなこの2施設は、このサイクルの中核をなす施設だというようなことで、現在の竣工目標は六ヶ所は2026年度中、MOX燃料工場については2027年度中の竣工目標というふうにしてございます。

8 ページにありますとおり、こちら、現在は設工認と呼ばれる詳細設計の審査の途上にございます。こちらにつきましては、やはり再処理工場ということで非常に巨大でありまして、一般の原子力発電所に比べまして六、七倍程度の物量があると。また、審査前例がない、いわゆる一品ものの施設だということから、非常に審査対応にも特有の難しさがございます。

そういった中で、まずはこの発電炉の再稼働などで審査について、そこは経験を有している方々を電力、メーカーから日本原燃に約100名派遣をして体制強化をしてきており、また、この審査のフェーズが進んでいくという中で、必要なこの分野に知見がある人というようなことについても、随時産業界と国と一緒に入って調整をしながら、体制の強化をして進めてきているということでもあります。

また、進捗状況につきましては、原子力規制庁に対しても毎回の審査会合で提示をして、

進め方について共有認識を持ちながら進捗管理をしているということとともに、ウェブサイトでも公開しているというものでございます。

9 ページにまいりまして、この膨大な量の審査対応ということをしていく上で、左側にありますとおり、「対応状況@体育館」とある写真がございますけれども、このように日本原燃、多数の建屋、多数の技術項目を担当されている方々が、それぞれの建屋、技術項目の中でタコつぼ化しないようにというようなことで、きちんと横連携を取りながらこの審査というものに対応していけるようにということで、体育館に一堂に会してこの議論をするというような工夫もしてやっております。

また、地震、竜巻への対応の抜本強化のための工事であるとか、重大事故対応のための重機などの配備というようなことでも、やはりこれも相当物量が大い中ではありますけれども、この工事というのも進めてきている状況であります。

10 ページにまいりまして、このようにしまして、竣工に向けた取組を進めているところでございますが、当然竣工してゴールではありませんので、その後きちんと安定的に長期に利用していくというための保全の取組が非常に重要であるというふうに考えてございます。その準備は今から進めていく必要があるというふうに考えてございまして、ラ・アーク工場で先行して動いているこの工場に対しまして、設備の維持管理というようなことについて、職員を日本原燃から派遣をして、そこの現場の知見を学ぶと、そういった取組もやっております。

また、ガラス固化技術については、将来的に燃焼量が高いなどの多様な仕様に対応していく必要がございますので、こういうガラス固化技術の高度化といった研究も、国も支援しながらやっているというところでありまして、また、フランスで長期運転のための強靱化プログラムというものも発表されていまして、こういった運転経験で先行しているフランスからもしっかりと学びながら、また私どもの日本側での経験ということもフランス側と共有しながら、しっかりと相互に高め合うということをやっていきましょうというようなことで、国際協力の枠組みを持ちながらやっているところでございます。

11 ページにまいりまして、この安定稼働につきましては、まずは今申し上げました保全でありますけれども、それに加えて幾つか更に対応すべき課題というものもあり、一つが加工工程で生じるMOX粉末などの再利用。これもMOXにつきましては、加工工程で当然ながら成形などでMOXの粉末が出てまいります。こういったものは品質管理の観点からは再処理工程に戻して再利用するということが必要であり、フランスでもやられています。

利用目的のないプルトニウムは持たないというような原則から考えますと、このような粉末が蓄積するというような状態は適切ではなく、これをフランスの経験に学びながら、こういった再利用していくための仕組み、また設備的な改造などどのようなものが必要なのかと、こういったことも早めに検討していこうというようなことも、事業者とともに議論をしております。

また、加えまして、その下の保障措置への対応、これも稼働していく上で国際社会の信頼というのが絶対に必要なことでありまして、これは非常に重要なポイントだと思っております。やはり両工場稼働後には、プルトニウムの分析、計量管理というような作業が大幅に増加していくということは想定をしまして、まさに原子力規制委員会でも、今日は水曜日ですので、本日のところだったかと思っておりますけれども、検討会を開かれて、この保障措置体制の強化というようなこともされるとともに、事業者における対応の在り方ということについても、要するに設備管理とかについての事業者との責任の分担というんでしょうか、そういった御議論もされているというようなことを承知しております。

こういった議論につきましては、これは稼働を確保していくという意味では非常に重要だということは、私ども資源エネルギー庁も全く認識は同じでございます。こういった規制概念の御議論ということもしっかりと把握しつつ、稼働に向けて事業者側の方で設備の適切な維持管理、運用や、人材育成の確保といったことにつきましても、しっかりと私どもは事業者とともに議論し、対応していきたいというふうに考えているものでございます。

ここまでの六ヶ所及びMOX燃料工場であります。

12ページから使用済燃料対策にまいります。6ページのところの右上の箱のところの内容です。こちら、使用済燃料につきましては、いわゆるリサイクルのための資源でありますけれども、全国の発電所のところでは使用済燃料、長年の運転というようにところで使用済燃料は蓄積はしてきておりまして、法的要求容量の8割に達しているという状況であります。原子力発電を安定的、継続的に利用していく上では、この使用済燃料の再処理ということを着実に進めることが必要であり、それまでの間しっかりと保管するというスペースを確保するということが大事な取組であります。

13ページ、この貯蔵能力の拡大ということにつきましても具体的な取組の例です。乾式貯蔵施設は発電所のいわゆるオンサイトで、いわゆるキャスクで保管するというものであり、中間貯蔵施設はこのサイトとは別のところで集中的に管理するというものでございます。

そういったところの取組を各社進めており、乾式貯蔵施設ですと伊方、それから東海第二

が運用中でありまして、その他審査中の施設なども出てございますけれども、中間貯蔵施設としては、むつで一昨年の11月に事業開始をしたというところでありまして、例えば14ページにむつの例が出ておりますけれども、最大貯蔵能力が3,000トンということで、1棟目、キャスクで288基分のスペースがあり、計画では2棟目5,000トンというようなところまで計画としてはあるという状況でございます。

15ページにまいりまして、また、むつ以外にも山口県の上関町におきまして、中国電力が中間貯蔵施設に関する立地可能性調査を進めていまして、こちら、昨年の8月には立地の支障となる技術的な対応できない問題はないというふうなことで、立地は可能というような旨の報告書を町に提出をしているという状況であります。

ここまでが使用済燃料対策であります。

続きまして、16ページ以降がプルトニウムの利用、またプルトニウムバランスについてでございます。各原子力事業者、プルトニウムが事業者で40.1トン、また国内外で、またJAEAさんでお持ちの分なども含めまして44.4トン持っているというような状況であります。

17ページにまいりまして、このプルトニウムでございますけれども、サイクルを進めていくという上では、原子力委員会で策定いただきました基本的考え方の、利用目的のないプルトニウムは持たないという原則の堅持、また47.3トンという総量を超えないようにということで適切に管理していくというような方針で、私どもは管理をして進めているというところでございまして、こちらにつきましては、海外で保管している分も含めて六ヶ所が稼働していくという中では、このプルトニウムの利用側の着実な推進ということが非常に重要になってきているというふうに考えてございます。

18ページにまいりまして、プルサーマルの実施状況ですが、プルサーマル計画という形で2030年度まで少なくとも12基ということを目標に、事業者は進めてこられているところで、私どもでも交付金の創設などで、これの動きを後押ししているという状況であります。六ヶ所再処理工場が今後稼働させていくという中で、この利用側というところも一層私どもはしっかりと取り組んでいく必要があると考えてございます。

19ページにまいりまして、一方、このプルサーマルを進めていくという中でいうと、使用済MOX燃料の再処理ということの技術も必要になってまいります。これは使用済MOX燃料につきましては、技術的には再処理可能ということは、フランス、ラ・アーグ工場や日本の東海再処理施設でも試験的に再処理した実績があります。

一方で、これについてはプルトニウムが多く含まれて硝酸に溶けにくいなどの技術的な特徴がありまして、これに対応して、いかに商用での再処理施設でこの使用済MOX燃料をやっていくかというところにつきましては、この運用の方法などについて引き続きの技術開発が必要という状況であります。

このため、第7次エネルギー基本計画におきましては、2030年代後半を目途に技術を確立するべく研究開発を進めると。そしてその成果を、これはあくまで研究開発上の想定ですけれども、しっかりと実施施設に適用できるような技術的成果を上げるという観点から、六ヶ所再処理工場に適用する場合という想定を置きまして、必要なデータの充実化を進めるというようなことも明記をして取り組んでおります。

そして、この実証研究でございますけれども、20ページを御覧いただきまして、原子力事業者の方では、フランスのラ・アーク工場において、日仏共同で再処理実証研究を行うというような取組を進めてございます。こちらでは、使用済MOX燃料とウラン燃料を混合して再処理する、いわゆる混合再処理というようなやり方でデータをしっかりと取るというようなことを考えてございまして、2027年度から関西電力の高浜発電所、こちらはプルサーマルをやっている発電所でございますけれども、ここからフランスのラ・アーク工場へ使用済燃料を輸送しまして、そしてラ・アーク工場で日仏共同で再処理をするということのデータ取りをやっているというような予定で進めてございます。

私は以上で、続きまして、高速炉関係につきまして、宮下から説明をいたします。

(宮下室長) 原子力技術室長の宮下でございます。

21ページ目以降、将来の高速炉サイクル、高速炉に関する技術開発の取組状況について説明させていただきます。

まず、22ページでございます。

革新炉開発ロードマップ、高速炉という形で中表紙で記載をしておりますけれども、革新炉として5炉型をエネ庁では上げておりまして、その中の一つとして高速炉というものが含まれております。もともとロードマップ、2022年に作っていたものがあった訳ですけれども、今回色んな状況が変わったことも踏まえて、ロードマップの見直しの作業をしております。昨年の秋から原子力小委員会の下にある革新炉ワーキンググループというところで有識者の先生を交えながら、高速炉のロードマップの見直しをさせていただきましたので、その内容について説明させていただければと思います。

続きまして、23ページ目以降、高速炉の特徴、国際協力など、高速炉を取り巻く状況に

ついて説明をしております。

まず、23ページでございます。高速炉の定義として高速中性子により核分裂連鎖反応が維持される原子炉ということで、特徴の一例をそこに上げさせていただいております。ウラン利用率とエネルギー自給率の向上、放射性廃棄物の減容と潜在的有害度の低減、あとは高い安全性の実現等、様々な特徴を持っているということですのでけれども、軽水炉技術と異なる技術体系となっておりまして、例えば冷却材に水ではなくて金属ナトリウムを使うというところで、違ったイノベーティブな技術体系となっているということも特徴の一つかなというふうに思っております。

次、24ページでございます。

これまでの高速炉サイクル開発の経緯ということで、実験炉「常陽」、原型炉「もんじゅ」というプロセスを経て、足元では高速炉実証炉の開発事業を実施しているという状況でございます。この経緯のところを見ていただきまして、2016年のところから見ていただきますと、2016年12月に高速炉開発の方針というものが政府で決まりまして、2018年12月に戦略ロードマップ、2022年12月にはロードマップの改定、2023年7月には中核企業の選定を経て、2023年度から高速炉実証炉の開発事業という形で、具体的な研究開発事業が進んでいるという状況になっております。

次のページ、25ページでございます。

高速炉実証炉開発事業の概要について説明させていただきます。経済性等も含めた実用化の見通しを得るために、GX経済移行債を活用した実証炉開発事業を2023年9月から実施をしております。

左側、事業の概要のところを見ていただきますと、実施者としては研究開発統合組織としてJAEA、中核企業として三菱重工に入らせていただいてプロジェクトが進んでいるという状況になっております。

左下ですけれども、令和8年度予算額としては572億円で、2023年からの累積でいうと1,714億円ということで、かなりの研究開発費を投じたビッグプロジェクトになっております。

右側、主な取組内容のところですが、国際連携や規制との共通理解の醸成、この辺は後で説明させていただきますが、右下の部分、今後のスケジュールのところを見ていただきますと、まず大きなキーポイントとして2026年度には燃料、酸化物燃料にするのか、金属燃料にするのか、実証炉でどちらの燃料を採用するのか、燃料技術の具体的な検討を行

うというマイルストーンが予定をされています。

その後、2028年度には基本設計、許認可手続への移行の判断ということで、こちらもマイルストーンを設けていて、実際に実証炉を建設する段階への判断というのを2028年に実施するというようなスケジュールになっております。

続きまして、26ページでございます。

高速炉実証炉開発における研究開発の全体像ということで、概要を説明させていただければと思います。まず、左側、青い字で書かれているものが原子炉関係の設計なり技術開発でございます。緑色の部分が燃料なりサイクル関係の研究開発というふうになっています。原型炉「もんじゅ」から実証炉へのスケールアップに伴って、例えば大型化する主要設備の設計技術の実証、材料試験等をそれぞれ実施をしているということでございます。

次のページ、27ページでございます。

高速炉実証炉、炉の方の設計の概要でございます。実証炉プラントの基本仕様ということで、左側を見ていただければと思いますけれども、電気出力60万キロワットの実証炉を基本概念として今設計なりを進めているところでございます。

開発工程、右側を見ていただきますと、2025年、この段階では概念設計のフェーズ1ということで設計を進めているところです。先ほど申し上げたとおり、2028年の移行判断に向けて概念設計を進めていくというのが、高速炉実証炉の設計の進捗でございます。

次のページ、28ページ目を見ていただければと思います。

具体的にどのような設計開発をしているのかという一例でございます。例えば系統設計におきましては、1次主冷却系の概念設計を進めているというところでございます。また、機器設計では、例えば原子炉容器及び中間熱交換器など、主要な機器につきまして機器概念の設計を進めているという形になっております。

続きまして、29ページでございます。

そのほかR&Dの実施状況の一例でございます。主なR&D項目例ということで左側に載っておりますけれども、大型化、安全性向上、信頼性向上、サプライチェーン再構築という観点から主要機器のR&Dを進めているという状況になっております。

次のページ、30ページ目でございます。

実証炉向け燃料開発でございます。常陽での燃料照射試験ということで、高速炉の燃料については、それが健全性が保てるのかという観点から燃料照射の試験を行う必要があるということでございます。2026年度中に再稼働を目指している常陽ですけれども、その後、

再稼働後に常陽において燃料の照射試験を実施をしていくというような計画が今立っているところでございます。

続きまして、31ページでございます。

炉の設計以外の核燃料サイクル施設の設計検討の状況でございます。まず、燃料サイクル施設の設計状況ですけれども、先ほど申し上げたとおり、2026年に燃料選択というマイルストーンが待っているという状況になっておりまして、酸化物燃料及び金属燃料サイクル施設の性能について比較評価をするために、概念検討を2024年度から実施をしているという状況でございます。酸化物燃料、金属燃料それぞれ概念検討の進捗が進んでいるということでございます。

続きまして、32ページ、33ページでございます。

32ページには酸化物燃料サイクル技術の開発状況ということで、現状どちらの燃料にするか、酸化物燃料にするか金属燃料にするか、まだ決まっていないという状況でございます。具体的な検討に当たって適用技術の実用見通しを得るために必要な技術開発に限定をして実施をしているという状況でございます。

33ページは金属燃料についての開発状況でございます。こちらも酸化物燃料と同じで、実用見通しを得るために必要な技術開発に限定をして実施をしているという状況になっております。

続きまして、34ページでございます。

高速炉実証炉実現のための国際協力の全体像ということでございます。日米協力、日仏協力を軸として高速炉実証炉の開発を合理的、効果的に行う体制を構築しているということでございます。例えば日米協力であれば、金属燃料を中心とした協力ということで、民間企業であるテラパワー社とのMOUをJAEAが結んでいて、それぞれ技術情報の交換等、実施をしております。

右上にいただければ、日仏協力としてタンク型の高速炉及びMOX燃料についての協力を進めているという状況でございます。

続きまして、35ページでございます。

高速炉実証炉の安全規制の予見性についてということでございます。2028年頃の実証炉の基本設計、許認可手続への移行判断に向けて、規制の予見性を高めていくということが重要な状況になっております。一番最初に申し上げたとおり、高速炉は軽水炉と違った技術体系、特にイノベーティブ、革新的な技術を入れている部分もありますので、今後の規制の

予見性というところで見通しを作っていくことが大事というふうに思っております。

35ページが一番下のポツですけれども、2025年10月27日以降、高速炉実証炉に関する意見交換、面談を原子力規制庁と実施をし始めているところでございます。これも継続的に進めることによって、安全規制の予見性を高める取組を進めていきたいというふうに考えております。

続きまして、36ページ、37ページでございます。高速炉、海外の動向ということで、特にフランス、アメリカでは高速炉について前向きな取組が進んできているという状況だと認識をしております。

37ページにいただければ、具体例ですけれども、米国における高速炉開発の動向ということで、民間企業でありますテラパワー社はネイトリウムという高速炉、ナトリウム冷却式の高速炉について2030年代の初号機運転開始を目指してプロジェクトが進んでいるという状況でございます。許認可についても着実に進んでいるというふうに認識をしております。

続きまして、38ページでございます。

38ページ、39ページ、40ページがこのロードマップの中核というか、現状と課題及びロードマップ、今後の対応をまとめた部分になっております。

38ページ目は高速炉実現に向けた状況と課題ということで、委員の皆さんから頂いた課題をまとめている部分になっています。状況ですけれども、上の二つに書いてあるとおり、今後は2026年度の燃料選択、2028年度の基本設計の移行判断というマイルストーンに向けて研究開発、検討を着実に進めていくことが重要というふうな状況でございます。

課題ですけれども、下段の一つ目として、基本設計の移行判断の際には、技術的な観点だけではなく、中長期的な原子力政策、エネルギー政策の観点、システム全体としての経済性などの観点から総合的に判断することが必要ではないかというふうな課題を頂いております。

課題の二つ目です。サプライチェーン、人材の問題でございます。高速炉については機器製造に長期の空白期間が、もんじゅ以降、実際に高速炉の設計・研究開発が動いていることが少なく、サプライチェーン及び人材が脆弱化しているというような問題が指摘されています。

課題の三つ目でございます。高速炉の規制の予見可能性ということで、高速炉の特性を最大限引き出すには、安全上の特徴を勘案した適切な規制基準が必要ということで、規制との対話を進めていくことが必要ではないかというふうな課題を頂いております。

課題の四つ目、基本設計の移行判断を念頭にということですが、実際に実証炉を運営する実施主体を固めるという、その先に立地場所等の選定に進んでいくということが必要ではないかということでまとめています。

課題の最後、一番下ですが、高速炉プロジェクトについての国民の認知度が低いということで、国民に広く知ってもらえる広報を進めていくことが大事ではないかというような課題を頂いております。

このような現状課題を踏まえまして、39ページ、線表ロードマップをまとめています。横軸には建設前の準備段階、原子力規制、許認可プロセス、実証炉の設計、建設、運転、燃料製造施設の設計、建設、運転ということでまとめておりますけれども、2028年度の移行判断というところに赤い線、マイルストーンを設けているということを表現しております。

星の①とか星の②というところは、線表では表し切れていない部分を一番下のポイントというところで整理しております。

この線表のそれぞれの矢印は、矢印の幅自身には伸び縮みすることもあり得るかなというふうに思っておりますが、黒い矢印で表現をしております今後の段取りは変わっていかない、こういう流れでプロセスが進んでいくのだろうということを表現しております。

星の①、一番上にあります実施主体検討、立地場所検討など、それぞれのプロセスが着実に進めば、2040年代半ばぐらいには実証炉の運転が開始できるというようなロードマップを整理しております。

最後40ページでございます。

今の線表を実現するために今後の対応の方向性をまとめております。まず、一番上のポツですが、2028年度の基本設計の移行判断というところで、基本設計への移行判断の際には、技術的な観点のみならず、中長期的な原子力政策、エネルギー政策の観点、システム全体の経済性見込みなど、様々な観点から評価を行うべく準備を進めるという方向性を出しています。

また、移行判断のタイミングまでに民間への技術移転、官民での研究開発資金の確保の在り方、また高速炉特有のサプライチェーン維持、人材育成など、中長期の方向性についても検討を進めるというような方向性を出しております。

対応の方向性の二つ目です。規制の予見性向上、規制基準の整備ということで、JAEA、中核組織になっておりますけれども、規制基準の整備に向けて必要なデータ収集等を実施すると。それに併せて原子力規制庁との技術的な意見交換など、対話を進めていくという方

向性を出しております。

方向性の三つ目でございます。実証炉、燃料製造施設の実施主体の検討ということで、プロジェクトを進めていく上では、実施主体を決めていくということが極めて重要なフェーズに来ております。実際に実証炉を設置、運営する主体となる実施主体の検討を進めていくということで、2026年度の燃料選択の結果等を踏まえて、実証炉の実施主体、燃料製造施設の実施主体というものを決めていく、その先に実施主体と関係者の理解と協力を得ながら立地場所も決めていくというプロセスが大事なかなというふうに思っております。

一番下でございます。高速炉プロジェクトについての広報ということで、2026年度のタイミング、2028年度の移行判断のタイミングなど、大きなタイミングではしっかり幅広い層を対象とした広報を実施していきたいというふうに考えております。

ロードマップということで、線表とともに今後の対応の方向性をまとめさせていただきました。御議論いただければと思います。ありがとうございます。

(上坂委員長) 皆川様、宮下様、総合的な御説明どうもありがとうございます。

それでは、質疑させていただきます。直井委員からお願いします。

(直井委員) どうも皆川課長、それから宮下室長、核燃料サイクルを取り巻く状況、高速炉に関する技術開発の取組状況につきまして、大変分かりやすい資料で包括的に御説明いただきありがとうございました。

六ヶ所の再処理工場の竣工とJ-MOXの竣工が近々に予定されていまして、ようやく我が国における核燃料サイクルが回り始めるところまでやってきたなという感じがいたします。一方で、アメリカとイスラエルのイランの攻撃以降、ホルムズ海峡が封鎖されまして、原油価格も高騰していまして、エネルギー安全保障の重要性がこれほど実感できる時にはないのではないかなというふうに思います。

エネルギー安全保障をよりレジリエントにするという意味で、原子力エネルギーの利用ですとか核燃料サイクルの確立、これは6ページのところで皆川さんに示していただいたような取組をやっている訳ですけれども、これを着実に進めていくということが大変重要であるというふうに思います。

それから、再処理施設におけますプルトニウムとウランの回収、そしてそれを再利用するという国ですけれども、これは非核兵器国の中では我が国だけになります。でもこれが平和裏に行われているというIAEAの保障措置による検認ですとか、利用目的のないプルトニウムを持たないという原則の堅持とプルトニウム利用に関わる透明性の確保、これは国際社

会の理解を得る上で非常に重要な点です。

核燃料サイクルに関わる皆川課長の説明の中で11ページ、それから17ページで御説明を頂いております。

それから、高速炉及び高速炉サイクルの研究開発におきましても、この核拡散抵抗性すとか保障措置によって軍事利用へ転用がないことを検認できるという、「セーフガーダビリティ」と申しますけれども、これは重要な設計要件の一つであります。今回の説明の中には、これらの取組に関わる細かい言及はございませんでしたけれども、こういった御説明の機会では、こういったセーフガーダビリティ、それから核拡散抵抗性に関わる取組について資料に含めていただいて、世界に向けて発信していくということがとても重要になりますので、今後よろしくお願ひしたいというふうに思います。

私からのコメントは以上でございます。

(上坂委員長) ありがとうございます。

それでは、吉橋委員、聞こえますか。

(吉橋委員) はい、聞こえます。私の声は大丈夫でしょうか。

(上坂委員長) 大丈夫です。お願いします。

(吉橋委員) 核燃料サイクル政策、それから高速炉に関する取組に関して分かりやすく御説明いただきありがとうございます。

8ページ、9ページ目にあったような六ヶ所再処理工場、それからMOX燃料の竣工に向けて電力、メーカーそれぞれ皆で一致団結して審査対応していること、大変よく分かりました。

それから、日本原燃も設備等をしっかり準備されているということで、是非この竣工に向けて皆で頑張っていっていただきたいと思っております。

私からですが、最後のところで説明が必要、特に一般の方に対する説明も重要だというお話があったかと思ひます。私も本当にそれは思ひています。もんじゅが廃炉が決まって10年経った中でこのような高速炉のプロジェクトがまた動き出している訳ですけれども、この10年の間で高速炉とは何とか、そういったところが学生、若い人たちにも含めて薄れてきているとおもひます。その中で、プロジェクトを進めていく訳なので、一般の方への説明、こういうのは非常に重要だと思うのですが、現在こういった形で広報を行っていくのか、「幅広い層を対象とした広報を実施する」と一番最後には書いてありますが、分かる範囲で現在こういった形でこういったことを考えていこうと思ひているのか教えてください。

(宮下室長) 宮下でございます。コメントありがとうございます。

広報のところですけども、先生がおっしゃられるように、委員会、革新炉ワーキンググループの場でも、例えば大学の学生が高速炉とは何ぞや、ということを知る機会がなかなか無いとかというようなコメントがあって、このような対応策をまとめさせていただいております。まさにビッグプロジェクトで、しかも中長期の時間が必要とするプロジェクトなので、人材を確保するという意味でも、幅広い広報が必要なのかなというふうに思っております。

また、将来の高速炉サイクルについて、その中身、どういうことをやっているのかということについても、国民の皆様に説明をしていくということも必要なのかなというふうに思っております。

具体的にどのような場でやっていくのかということですけども、高速炉単体だけで説明をするということもあるのかも知れないんですけども、やっぱり原子力政策全体の中で、この高速炉サイクルなり高速炉というものがどういう位置付けになっていて、高速炉のプロジェクトがどんなふうに進んでいるのかというのを、体系的に分かるような形にしていくことも大事なのかなというふうに思っておりまして、まず資源エネルギー庁のホームページなどを充実させるということもあろうかと思えますし、あとは、例えば原子力委員会のこの場も活用させていただきながら、例えば白書の中で取り上げていただくなど、そういう場でも是非、広報活動の一環として取り組ませていただけると有り難いかなというふうに思っております。

あとは、先ほど申し上げたとおり、2026年度、2028年度という節目節目のタイミングがありますので、そのときには中核組織であるJAEA又は中核メーカーである三菱重工とも連携をしながら、官民合わせて色んな広報活動をしていきたいなというふうに思っております。

以上でございます。

(吉橋委員) 御説明ありがとうございます。今の学生さんたちもビッグプロジェクトに自分たちも関わりたいと思う方も沢山いると思いますので、是非、若い方たちに御説明ください。魅力あるプロジェクトであるということを、私も大学の方で示していきたいと思えますし、みんなで頑張っていければいいなと思っております。

私からは以上になります。

(上坂委員長) それでは、参与からも御意見、コメントを頂ければと思います。

青砥参与からお願いいたします。

(青砥参与) 御説明ありがとうございます。中身も非常に分厚くて、かつ説明もかなり具体的に入れていただいて分かりやすかったと思います。両委員からもありましたように、やっぱり懸念するのは、内輪の議論にならないようにというか、ステークホルダーだけが分かっている会議とか、分かっている議論の中で進められないようにしていただきたい。

と申しますのは、この資料の反省にも書いてありますように、認知度もかなり低いと思わざるを得ません。その方策として今議論のあった広報なども非常に重要です。例えばNUMOがやっているような立地ですとか、あるいはここに書いてある実施主体が決まるようなときに、その周辺の間人だけじゃなく、関係する住民だとか交渉さらに広く公衆から意見聴取をするような、様々なタイミングで色々広報活動しますと言われています。それについて、一方方向にならない意見の交換ができるような場を設けるために、色々工夫があるでしょうが、是非やっていただきたいと思います。私からのコメントというか、お願いします。

これまで色々な計画について、それがどうしてもやはり専門家だとかステークホルダーの中にとどまってしまって、外になかなか出てこない。そうすると、基本的な自分たちが目指すターゲットも民間の方々といわゆる共有ができないようなレベルで進んだりしたために、様々な障害にも遭ったと思いますので、是非その辺り心掛けていただきたいと思います。

私からは以上です。

(上坂委員長) 岡嶋参与、お願いいたします。

(岡嶋参与) どうも御説明ありがとうございます。これまでの委員や参与からも御意見、コメントもあったように、私もこの資料自体は分厚いながらも分かりやすくなっていると思っております。

聞いていて、ふと思ったのは、実は今日から2026年度ですよ。ということは、この年が本当に勝負の年になっているのだということを今日おっしゃっているようにも思って聞いていました。

例えば六ヶ所の竣工、あるいはその後のMOX工場もそうですね。それから、今年度で燃料の技術的な選択をするというお話があったと思っています。その上で、今までもお話があった広報というのは、もう今日から始めないといけないような状況じゃないのかと思って聞いていました。是非その辺の取組をやっていただきたいというのが、私からのコメントになります。

最後に一つだけ質問させてください。高速炉開発のところで、今年度、燃料の選択をします。MOX、あるいは金属燃料というお話がありました。片や常陽で照射試験をやりますと

というお話がありました。それは2026年度以降になるかと思います。そうすると、その照射試験と燃料の技術的な選択との関連はどのようになっているのだろうと思いました。この照射試験は燃料開発を進めていく上でどのように位置付けされているのかということ、もし分かる範囲であれば教えていただきたいと思います。

私からは以上コメントと質問です。

(宮下室長) ありがとうございます。資料の30ページにあるように、実証炉で実際使っていく燃料については、燃料照射試験をして各種データを集めていかなければいけないということになっています。あわせて、MOX燃料にするか金属燃料にするかというのは、今年度で決まっていく訳なんですけれども、常陽の運転サイクルも見ながら、我々も26年度で金属燃料、MOX燃料どちらにしていくのか、技術的な選択及び今後の研究開発も見ながら、実際に照射試験をどういうふうにやっていくのかというのが決まっていくんだらうなというふうに思っております。

詳細はまだこの瞬間、確実に決まっている訳ではないですけれども、常陽の運転サイクルに合わせて実証炉に必要なデータを取っていくということが、一言で言えばそういうことかなというふうに思っております。

(岡嶋参与) 分かりました。ということは、選択後の実証炉に向けた技術的な部分の確認ということが照射試験の位置付けだという理解でいいのですね。

(宮下室長) そのとおりでございます。

(岡嶋参与) 分かりました。どうもありがとうございました。

(上坂委員長) 小笠原参与、よろしくお願いいたします。

(小笠原参与) 今日は包括的かつ詳細な説明を頂きましてありがとうございます。原子力委員会の現在まとめている原子力白書では、この核燃料サイクルを特集テーマとして取り上げることになってございますので、非常に的を時宜を得た説明を頂き、有り難いと思います。

第7次エネルギー基本計画にしっかり書かれておりますが、資源安全保障、経済安全保障の観点から、やはり核燃料サイクルを確立していくということは非常に大きな意義があるかと思います。特に現在イランをめぐる情勢によって、原油の供給が途絶する危機に瀕している中では、この海外情勢に左右されることの少ない準国産エネルギーとしての原子力の意義、原子力核燃料サイクルを確立することの意義ということが、今ほど痛感されている時期はないのではないかと思います。引き続きこれに向かって着実に取り組んでいただくことを期待したいと思います。

特にクローズドの核燃料サイクルを確立するということは、極めて複雑な取組で、技術的にも今御説明のあったとおり、非常にチャレンジングな研究開発点がまだ残っておりますし、サイクルで回す訳なので、一部詰まってバランスを取って全体を進めていく必要があると考えます。

更にステークホルダーが非常に多くいる、内外にわたってステークホルダーが非常にいるという難しい取組だと思います。また資金的にも長期にわたる多額な投資が必要だということで、お願いしたいのは、今までも日本政府は非常に真剣に、優秀な方々を投入して取り組んでこられましたけれども、これからは是非政府もしっかりリーダーシップを発揮して、この複雑でかつ長期にわたる取組を完遂していただくよう、期待したいと思います。

それから、もう一つ、国際的にもやはり非核兵器国がクローズドの核燃料サイクルを確立しているという例はなかなか見られないので、色々とそういった意味でもチャレンジングな面があるかと思います。

先ほど直井委員の方からも御指摘がありましたが、保障措置を通じて、I A E Aから拡大結論というものを得て、日本の原子力活動が全て平和利用の目的に徹しているということの保証を得ていただく必要がありますけれども、この新たな局面、再処理施設が稼働するといったようなところは、保障措置を実施するI A E Aにとっても新たな先例を開くようなケースですので、そういった面でも緊密な国際協力が必要だと思います。これは今日いらっしゃるお二人ではなくて規制庁の方でなさっていると思いますが、その重要性についてはこの場でも指摘をさせていただきたいと思います。

それから、また国際協力があつた方が、私はこの取組を進めていく上では外交的にも良いと思います。現在マクロン・フランス大統領がいらしていますけれども、それだからといって申し上げる訳ではありませんが、やはりこのフランスと、価値観や利益を共有するフランスとしっかりこの面でタッグを組んでいくということは、引き続き重要ではないかと思います。今そのようになさっていらっしゃると思いますけれども、その路線を引き続き堅持していただきたいと期待します。

私からは以上です。どうもありがとうございます。

(上坂委員長) それでは、上坂から意見をさせていただきます。

約55年前に第1次オイルショックがありまして、あのときは私は中学生だったのですが、本当にそのときにエネルギー、原子力に関わる分野に興味を持ったということでもあります。したがって、現在、国民の多く、また若い世代の方が原子力の必要性を自分事とし

て考えてくださっている。そういう今、情勢になっているのではないかと思います。

その際に、やはりプルトニウムといいますと、非常に核兵器転用を心配する方々も多い。今日規制庁の方で検討会があるのですかね。そういうことで、核セキュリティー、必須についても強化していただきたいと。その上で、この核燃料サイクルと高速炉開発は、極めて重要だと思います。

また、5ページの核燃料サイクルの意義の③のところで、まさにウランの燃料の有効利用になるのだと。MOX燃料だと1割から2割の有効利用、これを後半の高速炉を使うと、更に99.3%のウラン238をプルトニウムに変えて。更に有効に、100倍とは言いませんけれども、有効に使えるのだと。これも説得性のある説明だと思います。ここもしっかりと今後強調していく必要があるかと思います。

それを受けまして、原子力委員会でも6月末に発行する予定の原子力白書でも、特集で核燃料サイクルを取り上げております。鋭意、今、編集しております、そういうところを盛り込んで、そして国全体の方針に貢献できるように鋭意努力しているところでございます。

それから、広報のやり方につきまして、色々なやり方、御発言がありました。3年前のALPS処理水の安全性に関する政府、東電、IAEA、原子力界が一丸となった広報が非常に成功例かなと思っております。現在でも毎日海水中のトリチウムのその日の迅速測定値が出ています。1か月後には詳細な分析結果が出て、その量は我々の飲料水と変わらないということが、もう毎日ホームページに出ている。これで多くの方が安全を感じる訳ですね。

それから、最近ではNUMOがJRやメトロでのスクリーンや、また全国版のTVのCMでも分かりやすい説明を行っています。先日もこちらで御説明をいただいた環境省古市様が、福島での除去土壌の広報活動も同様にやられるというふうにおっしゃられていました。

したがって、今日の資料の最後に書いてあったと思うのですが、40ページの高速炉プロジェクトについての広報。26年度は始まりました。今日から始まって28年度の移行の判断のタイミング。この大きな動きがあるタイミングで幅広い層を対象にした広報を実施するということで。まさにいいタイミングを見て、成功例もありますので、そういうものを参考にして適切なにつながる広報をしていただきたいと思います。

そのときに、吉橋委員もおっしゃられましたが、やはり文科省等々、ANEC等々と協力。やはり学生さんたちに対しても高速炉の重要性を強調すべきだと思います。そしてきっと若い方が高速炉に興味を持ってくださると、核燃料サイクルに興味を持ってくださると期待するところでございます。彼らがいざその分野に入ったときにしっかりと研究開発ができるよ

うに、今の研究開発と、それから成果の進捗をしっかりと御指導していただきたいと思います。
いかがでございましょうか。まず皆川課長から。

(皆川課長) ありがとうございます。本当に委員長御指摘、また委員の先生方、また参与の先生方から様々な御指摘を頂きまして、まず、やはり若者の方々を含めて、いかにこの中での重要性、そしてそれを双方向で議論していくのかといったところ、これはおっしゃるように、核燃料サイクル、これは高速炉も含めてですけれども、すごく難しく、かつ非常にプロジェクトの中でも特に時間軸が長いという、かつ複雑というようなところもあり、非常に難しいと。

これは審議会の中でもやはり同じような議論もあり、資料もなるべく分かりやすくというようなことを思いながらやってはいるものの、分かりやすくすると、この正確性というところが割とトレードオフするというようなこの難しさの中で、ただ、サイクルに関して様々なお立場、御議論があらうかと思えますけれども、その事実関係を双方向で議論をしていくという場を沢山取っていくということは、私どもも、特に軽水炉周りは具体的なプロジェクトを走らせているということもあり、そういうことが非常に大事なんだろうなというようなことは、やはり審議会や自治体の方々からのお求めに応じて説明を行っている際にも、非常に感じているところではございまして、ここを改めて御指摘を踏まえて、しっかりと肝に銘じてやっていきたいなというようなことを思っております。

また、それと併せて安全保障としての意義付け、そこについて、特にやはりエネルギーの安全保障というのは非常にクローズアップされている現在の中で、この意義をしっかりと位置付け、また、それを実際に活用していくということ、あるいはその一方で、やはり非核保有国の中でサイクルをやっていくというところで、ここで失敗すると、もうそれは国際的信用が得られなくなるというようなところの重さをしっかりと改めまして認識をして、そこも含めてしっかりと、いわゆる事業を監督する側としましても、この規制のところでの御議論というのもしっかりと見ながら、きちんと取り組んでいきたいというようなことを考えてございます。

私からは以上でございます。

(宮下室長) 委員の皆様、コメントをありがとうございました。技術開発もさることながら、特に広報とか理解ということが大事ではないかというコメントを沢山頂いたかなというふうに思っています。

実はこのロードマップ自身も、後ろの最後の3枚ぐらいがロードマップ部分で、その前段

は実はあんまりロードマップと関係ない部分があったりします。他方、一番最初に高速炉は何かなというふうに、知らない方でも全体を見ると何となく現状と進め方が分かるような構成になるように努力をして作ったつもりではあります。

まだまだ分かりやすさの観点では工夫が必要かなとは思いますが、こういうふうな広報なり理解をしていただけるものにもつながるような資料を作っていくということと、それと併せて、資源エネルギー庁だけではなくて、色んなステークホルダーの皆さん、電力もそうですし、JAEA、メーカーもそうですし、文科省もそうかもしれないですけども、色んな人とプロジェクト、このプロジェクトを進めていく皆さんとともに、広報はやっていけばいいかなというふうに思っております。広報は、重点的にやっていきたいと思しますので、引き続きよろしくお願い申し上げます。

以上でございます。

(上坂委員長) どうぞよろしくお願いいたします。

それでは、どうもありがとうございました。

議題3は以上でございます。

説明者、随行者におかれましては、恐縮ですが、御退席の方をよろしくお願いいたします。

それでは、次に議題4について、事務局から説明をお願いいたします。

(井出参事官) それでは、今後の会議予定について御案内いたします。

次回の定例会議につきましては、令和8年4月7日火曜日15時から、場所が中央合同庁舎8号館6階623会議室、議題については調整中であり、原子力委員会ホームページなどによりお知らせをいたします。

以上です。

(上坂委員長) ありがとうございます。

その他、委員から何か御発言ございますでしょうか。

御発言がないようですので、これで本日の委員会を終了いたします。

お疲れさまでした。ありがとうございました。

—了—