

## 第27回原子力委員会定例会議議事録

1. 日 時 令和7年7月30日（水）14：00～16：00

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、畠澤参与、岡嶋参与

内閣府原子力政策担当室

井出参事官、中島参事官

株式会社 日立製作所

可児研究開発グループ・主管研究長

文部科学省 研究開発局 原子力課

有林課長

日本原子力研究開発機構

門馬理事、永富部長、土谷部長、平根課長

### 4. 議 題

(1) 医療用等ラジオアイソトープ製造・利用推進アクションプランのフォローアップについて【A c - 225】(株式会社日立製作所 研究開発グループ・主管研究長 可児祐子氏)

(2) 医療用等ラジオアイソトープ製造・利用推進アクションプランのフォローアップについて【M o - 99/T c - 99m等】(文部科学省、日本原子力研究開発機構 理事  
門馬利行氏、同機構 部長 永富英記氏、同機構 部長 土谷邦彦氏)

(3) 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7年第27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、畠澤参与、岡嶋参与に御出席いただいております。

なお、吉橋委員、青砥参与はオンライン参加であります。

本日の議題ですが、一つ目が医療用等ラジオアイソotope製造・利用推進アクションプランのフォローアップについて、日立製作所、二つ目が医療用ラジオアイソotope製造・利用推進アクションプランのフォローアップについて、文部科学省、日本原子力研究開発機構、三つ目がその他であります。

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医療用ラジオアイソotope製造・利用推進アクションプランのフォローアップについて、株式会社日立製作所研究開発グループ・主管研究長、可児祐子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. 7、放射線・ラジオアイソotopeの利用の展開に主に関連するものです。

それでは、可児様から御説明をよろしくお願いいいたします。

(可児研究開発グループ・主管研究長) 御紹介ありがとうございます。日立製作所研究開発グループの可児と申します。本日は、このような機会を与えていただきまして、ありがとうございます。

資料にございますように、本日は、日立製作所におけるアクチニウム225製造技術の研究開発につきまして、私どもの取組を紹介させていただきます。

2ページ目に、本日の説明のコンテンツを示しております。こちら3点につきまして、この後、説明させていただきます。

3ページ目ですね。

3ページ目に、本日の発表内容のアクションプランにおける位置付けについて示してございます。本日の発表は、アクションプランの(1)重要ラジオアイソotopeの国内製造・安定供給のための取組推進の中の二つ目の項目になります。加速器を用いたアクチニウム225大量製造、この実現のための研究開発を推進しているところでございます。

次のページ、お願いいいたします。

4ページには、私ども日立製作所及び日立グループの概要を紹介しております。私ども、企業理念としまして、優れた自主技術・製品の開発を通じて社会に貢献する、を掲げてございます。グループのビジョンとして、社会が直面する課題にイノベーションで応える、これをビジョンとして掲げまして事業を推進している会社でございます。

右側に事業領域を示しております。事業領域としましては、IT、OT、プロダクト、こ

これらを組み合わせた社会イノベーション事業に取り組んでございまして、円グラフの外側に赤文字で書いておりますけれども、これらの四つの主力事業、これを中心にグローバルに事業を展開しております。また、今回のテーマに関連する事業といたしましては、PBTやX線などの放射線治療、また、核医学のPET支援サービス、そして、原子力発電、原子力関連分野の事業をこれまでにも会社の方で取り組んできております。

5ページ目をお願いいたします。

5ページ目には、私たちがアクチニウム225の製造技術、この研究開発に取り組んでまいりました、その動機をまとめております。

1枚前のスライドでもお示しましたが、これまで放射線治療ですとか核医学治療に関連した事業を会社の方でも行ってまいりましたが、広く世の中の動向を見たときに、核医学の分野というのが今後市場が大きく立ち上がっていくと予想されているというところがございました。

左下に、この分野ではよく紹介されている写真になりますけれども、アクチニウムを使った治療薬、こちらが転移がんの治療に大変有効であるという報告がなされ、こういった状況を受けて、海外、国内の製薬企業さん、メガファーマからベンチャーまで多くの投資や開発の取組が進んできているという状況がございます。また、同様に、アクチニウムに関する研究や臨床開発、こういった件数が右肩上がりに増加しているという状況もございました。こういったところで、今後、核医学の治療、特にアクチニウム225を使った治療というのが急速に進展していくだろうというように市場を捉えました。

一方で、課題としまして、アクチニウム225の現在の供給量というのは、将来の需要、予想される需要に対して全く不足しているという大きな課題があり、アクチニウム225が大量製造できる手法の確立、そして、サプライチェーンの構築というのが喫緊の課題というように捉えました。

こういった課題に対しまして私ども日立では、これまで培ってきましたシミュレーションの技術やビームモニターの技術、また、放射性核種を取り扱う技術、こういった強み技術を活用して、右上に示しましたような将来需要に対して不足しているという課題に対してアクチニウムの大量製造技術の開発に挑戦していくと考えまして、この開発に取り組んでいたという経緯でございます。

次のページ、お願ひします。

この後、コンテンツの二つ目、アクチニウム225製造技術の研究開発の概要について説

明いたします。

7ページ目になります。

こちらは、私たちが取り組んでおります光核反応方式の説明をまとめしております。

光核反応方式といいますのは、資料の中央辺りに模式図を示しておりますが、電子線形加速器で電子を加速しまして、その電子を金属ターゲットに当てたときに発生する制動放射線を、原料となりますラジウム226に照射するという体系になっております。この照射によりまして、ラジウム226が光核反応、 $(\gamma, n)$  反応を起こしてラジウム225が生成し、このラジウム225が $\beta$ マイナス壊変をしてアクチニウム225が製造できる。こういったステップの反応になります。

照射後はラジウムとアクチニウムが混合した形の試料になっておりますので、ここからアクチニウムを化学的に分離・精製してアクチニウムを取り出すといったプロセスになります。

制動放射線を使う反応には、メインとなります $(\gamma, n)$  反応のほかに、 $(\gamma, 2n)$  反応、 $(\gamma, pn)$  反応など別の反応も起こりますが、それぞれその反応でできてくる生成物にはアクチニウム225以外のアクチニウムの同位体が含まれません。この反応を使うことでアクチニウム225以外の同位体は生成しないということで、高い純度のアクチニウム225を得ることができますというのが一つ目の特徴でございます。

もう一つは、核反応に制動放射線、 $\gamma$ 線を使うということで、透過性の高い放射線を使うことから、ターゲットとなりますラジウム226、この容量を大きくする、ターゲットに用いるラジウムの量を増やすことでガンマ線との反応する量を増やすことができて、アクチニウムの量産に適した方法であるというように考えております。

このような二つの大きなメリットから私たちは光核反応方式を採用して、アクチニウム225の製造技術の開発に取り組んでまいりました。

次のページ、お願いいいたします。

8ページ目には、これまでの研究開発の経緯を示しております。

私どもは、2019年からこの開発に着手いたしました。開発当初、東北大学、京都大学と共同研究をさせていただきまして、まずは、先ほど示しました光核反応方式が想定どおりの反応が起きるかという原理検証のところからスタートいたしました。その後、製造するアクチニウムの量を段階的にスケールアップしてまいりまして、2021年にはメガベクレルオーダーの製造までスケールアップを成功してまいりました。そして、2021年から国立がん研究センターと共同研究をさせていただきまして、製造したアクチニウムが薬剤として

適用できるものかどうかといった品質の評価も行ってまいりました。2024年には、約50メガベクレルのアクチニウム225製造を実証しまして、研究用サンプルとして社外に提供を開始してございます。今年度、2025年度からは更なるスケールアップ、商用製造に向けた技術開発に取り組んでいるところです。

次、お願ひします。

続いて、次の9ページ目、10ページ目では、これまでの研究成果の概要を紹介いたします。

9ページ目は、特に加速器を使ったところの研究結果をまとめております。

アクチニウムの製造試験は、東北大学の電子線形加速器を共同利用の形でお借りいたしました、2019年から試験を行ってまいりました。左側上に、2022年に行いました試験条件の一例を示してございます。加速器側、照射側の条件としましては、加速エネルギー45メガエレクトロンボルト、電流値、平均約200マイクロアンペアといった条件で約3日間、74時間の照射を行いまして、この実験では約4メガベクレルのアクチニウムの製造を確認しております。

左下には1枚前のスライドと重複する情報がございますけれども、これまでどういった試験を行って、どれぐらいのアクチニウムを製造したかといった実績をまとめております。この表に示しますように、当初は数百ベクレルオーダーから始めまして、現在は50メガベクレルといったところまでスケールアップに成功しております。

次のページをお願いいたします。

10ページ目には、製造しましたアクチニウムの品質に関する試験結果をまとめております。

左側には、製造したアクチニウムのガンマ線及びアルファ線のスペクトルを示しております。こちらのスペクトルには、アクチニウム225と子孫核種に由来するピークのみが見られておりまして、原料でありますラジウム226ですとか、不純物として課題になるアクチニウム227、こういったものに由来するピークは検出下限以下であったということが確認できております。

右側には、国立がん研究センターと共同研究で実施させていただいた標識試験の結果を示しております。標識に用いたリガンドはDOTAをキレート部に用いますペプチドでして、これをこの試験条件のところに記載しております条件で標識を行って、その標識率を評価いたしました。その結果、99%以上の標識が確認されまして、これらの結果より、私どもが

製造しましたアクチニウム225が純度が高く、薬剤としても適用可能なものであるということが確認できてございます。

11ページをお願いします。

11ページには、これまでの試験結果を用いまして、光核反応方式で商用製造を行ったときにどのくらいのアクチニウムの製造が見込めそうかということについてシミュレーション、計算で試算をした結果を示しております。

試算条件としましては、左側に記載しておりますが、加速器のエネルギー、35メガエレクトロンボルト、電流値、平均300マイクロアンペアと設定をいたしまして、原料のラジウム226を0.1グラム使ったときという条件で計算をしてございます。この計算では、96時間、約4日間照射をし、その後72時間、3日間で分離精製を行う、ラジウムとアクチニウムを分離して得られた、回収されたラジウムは、次の照射にまた使用するといった条件で、繰り返しラジウムを照射していくことを想定しまして計算を行っております。その結果、アクチニウム225の製造量といたしまして、原料ラジウムを0.1グラム使ったときに年間約280ギガベクレルのアクチニウムが製造できるであろうという試算結果を得ております。この計算はかなり理想的な条件で計算しておりますので、実際のところ、実際の運用のときにはまた製造量というのは多少変わることはあると思いますけれども、現状、理想的な試算としてはこのぐらいの量のアクチニウムが製造できそうだといった見通しを得ているところでございます。

12ページ目、お願いいいたします。

こちらのスライドには、国内外の研究開発や実際の製造が行われております各種方法につきまして、製造方法、スケーラビリティー、品質、製造量の観点で一覧表の形でまとめております。

これまで紹介してきましたとおり、私たちが取り組んでおります光核反応方式はスケールアップがしやすい方法であり、かつ、純度に関しては原理的に純度の高いアクチニウム225が得られる方法である、製造量としては、先ほど紹介したような年間280ギガベクレル前後の製造が見込めるという特徴を持った方法でございます。この光核反応方式の特徴を生かしつつ、また、国内で開発されておりますほかの方法の方々とも協力をしながら、アクチニウムの製造方法を社会に実装していき、国内でのアクチニウム225の普及に貢献していきたいと考えております。

次、お願いいいたします。

最後に、アクチニウム225の国内製造・安定供給に向けてということで、スライドを1枚用意しております。

14ページになります。

こちらのスライド一番上の段のところには、技術成熟度レベルでTRLという指標で、開発のスタート、原理検証から社会への実装までのステップを示しております。このTRLに対しまして、アクチニウムの製造量としましては、初期の段階ではバッチ製造でキロベクレルからメガベクレル、実用環境や社会実装の段階になりますとGMP環境でのテラベクレル製造といったところが必要になってくるであろうと考えています。

これまで私どもの研究開発の取組のところでは、原理の検証から研究用のサンプル提供というところで、1バッチ当たり数十メガベクレルの製造まで開発を行ったということで、TRLで言いますと3から4相当のところまで開発が進んできていると考えております。

今後は、社会への実装に向けましては、プロトシステムを用いた実用環境での検証や実証、そして、更にスケールアップした商用製造といったところに進んでいきたいと考えております。

こういった今後のプロト実証や商用製造に向けまして検討が必要であると考えております課題を右下に4点示しております。

一つ目は、原料となりますラジウム226の安定調達及び品質の確保です。

これは、ラジウム原料を安定に調達できるということが、将来にわたって安定にアクチニウムを製造し、お客様、製薬メーカーさん、更にその先でアクチニウムを待っている患者さんに届けていく、これには、原料を安定に長期にわたって調達できる体制の構築という的是必要になると考えております。また、製造するアクチニウムの品質の安定性を確保するためには、原料の品質の確保ということも重要な観点になると考えております。

二つ目の課題として挙げておりますのは、ラジウム226を含む廃棄物の処理、管理という点でございます。

原料のラジウム及び生成物でありますアクチニウム、こちらはいずれもアルファ線核種となります。このアルファ線核種の廃棄物を今後どう処理していくか、管理していくかというところの整理というのが、アクチニウムの安定供給に向けては重要な課題になるであろうと考えております。

三つ目は、実証のための施設や設備等への投資の課題です。

今後、プロトタイプの設備や商用施設を整備していくときには、この設備という

のは放射線管理区域である必要がございますし、加速器を使うための遮蔽、また、非密封RIの取扱いといったことで、施設の整備を行うにもかなりの投資が必要となります。こういった投資のところのリスク低減というところも今後のスケールアップ、商用化というところには重要な観点であると考えております。

最後、四つ目は、需要に柔軟に対応するオペレーションやサプライチェーンの構築といったところでございます。

今後急速に増えていくアクチニウムへの需要、また、そういった需要も時によって増えたり減ったりといった、そういう可能性もあるかと思います。そういう需要の変動に対して柔軟に対応するオペレーション方法の構築、また、アクチニウムを製造した後、製薬メーカーさんから病院、患者様にお届けするまでの間には様々なステークホルダーが関与していくと思います。そういう色々なステップを含めた安定的なサプライチェーンの構築というのは、今後の安定供給に向けては重要なポイントになるかと考えております。

次、お願ひいたします。最後、15ページ目はまとめでございます。

これまで発表の中で説明したことの繰り返しとなります、読み上げさせていただきます。核医学治療、特にアクチニウム225の治療薬は今後急速な進展が予想される一方で、アクチニウム225の供給量不足が大きな課題となっております。また、国内におけるアクチニウム225治療薬の普及に向けましては、アクチニウムの国内製造とサプライチェーンの構築が必要と認識しております。こういった課題に対しまして、私ども日立では、研究開発としまして光核反応によるアクチニウム225製造を実証し、薬剤適用レベルのアクチニウムの提供を開始いたしました。今後、商用製造、社会実装を実現するためには、プロトシステム、実証の設備の整備と、それによる更にスケールアップしたギガベクレルオーダーのアクチニウムの製造実証が必要と考えております。これと並行しまして、アクチニウム製造の原料となりますラジウム226の確保及びラジウム226を含む廃棄物の取扱い、こういったところの整備が課題になると考えております。こちらこういった課題に関しましては、私どもメーカーと、あと、国の皆様ですね、官民の協力で国内製造、安定供給体制の確立が進んでいくものと考えているところでございます。

説明は以上となります。ありがとうございました。

(上坂委員長) 可児様、説明どうもありがとうございました。

それでは、御説明に対して質疑を行わせていただきます。

直井委員から。

(直井委員) どうも、可児様、御説明ありがとうございました。

L I N A C を使って光核反応方式でアクチニウム 225 を量産するという研究開発にチャレンジをされておられまして、これまでの成果、それから、社会実装に向けた今後の計画ですとか課題について御説明いただきました。これまで大変すばらしい成果を挙げられておりまして、是非社会実装を実現していただきたいというふうに思いました。

最初の質問なんですかけれども、このラジウム 226 のターゲットの化学形態について教えていただけますでしょうか。

(可児研究開発グループ・主管研究長) 御質問いただきましたラジウム 226 の化学形態ですかけれども、これまで行ってきた実験では、塩化物の固体の形でターゲットを作成して照射実験を行っておりました。

(直井委員) ありがとうございます。

それから、8 ページに、既に 50 メガベクレルのアクチニウム 225 の製造を実証して、研究用のサンプルの提供を開始されているというような御説明ございましたけれども、研究用サンプルの用途、国内においてはどういう用途で使われているか教えていただけたら幸いです。

(可児研究開発グループ・主管研究長) これまで提供しておりますサンプルは研究用の用途ということで、まだ治療、治験のものではなく、その前段階のところでお使いいただいております。

(直井委員) 例えばリガンドにちゃんとくっつくかとか、そういうような研究ということでしょうか。

(可児研究開発グループ・主管研究長) はい、そうでございます。

(直井委員) ありがとうございます。

それから、11 ページに、商用製造に向けたそのシミュレーションの結果がございます。もしこれ実現できたらすばらしいなと思ったんですけれども、これを実現するに当たって、すなわちスケールアップすることを実現するに当たって、技術的に解決しなきゃいけない課題というのはありますでしょうか。

(可児研究開発グループ・主管研究長) 技術的な課題としましては、核反応、反応のところは既に確認ができておりますので、今後、ラジウムの取扱量が増えることによります放射線への対応ですかとか、あとは、ラジウムからラドンガスが発生いたしますので、発生するラドンガスを安全に取り扱う、安定に処理するというところが今後スケールアップのところでは一

番重要になるところと考えております。

(直井委員) どうもありがとうございます。

それから最後に、14ページに社会実装までのロードマップがございます。現在、TRL 3から4レベルというようなところだという御説明を頂きましたけれども、これ社会実装に持っていくに向けて、どういうような時間軸の見通しをされておられますか。可能な範囲で教えていただければと思います。いろんな条件があつて難しいと思うんですけども。

(可児研究開発グループ・主管研究長) そうですね。御質問いただきましたところ、なかなかロードマップを引くのが難しいところもございますが、世の中、市場の動向を見ておりまして、アクチニウムの治療薬が2028年、29年頃から治験が終了して、順次市場に投入されてくるというふうに伺っております。できるだけアクチニウムの治療薬の市場への普及、この手助けができるような形で我々の開発も進めていきたいと考えております。

(直井委員) どうもありがとうございます。

私からは以上です。

(上坂委員長) 吉橋委員、聞こえますか。

(吉橋委員) 吉橋です。私の声、聞こえますでしょうか。

(上坂委員長) 聞こえます。よろしくお願ひします。

(吉橋委員) 吉橋です。オンラインで失礼いたします。

可児様の日立製作所におけるアクチウム225の製造に関して、御丁寧に御説明いただき本当にありがとうございます。

私の方からですけれども、一つ目は、先ほど直井委員からもありましたが、現在のラジウムの化学形態は塩化物ということでしたが、今後、他の形のものにチャレンジしていくとかいうことがあれば、教えていただけますでしょうか。

(可児研究開発グループ・主管研究長) 御質問ありがとうございます。

ラジウムの化学形態につきましては、今のところは今後も塩化物を想定しております。その理由といたしまして、先ほども申し上げましたが、ラジウムからラドンガスが発生しますので、照射のときにはそのラドンガスの飛散を防止するため、密封した形で照射試料を作製する必要があります。密封したときに、照射によってその容器の中に入っているほかの物質が放射線で分解してガスが発生したり、そういういったようなことがあるとよろしくないだろうというふうに考えております。これまでのところの試験ではラジウムは塩酸溶液又は硝酸溶液で扱っているんですけども、固体化にするときに硝酸塩ですと照射によってNO<sub>x</sub>ガ

スの発生なども可能性があるだろうということで、塩化物で照射をするのが安定だというふうに考えてこれまで実験してまいりました。今後も同様の考え方で塩化物で実施することを考えております。

(吉橋委員) ありがとうございます。

では、大容量化というのもそういった塩化物の形で広げていくということによろしいですね。

(可児研究開発グループ・主管研究長) はい、おっしゃるとおりです。

(吉橋委員) ありがとうございます。

それから、今後のスケールアップというか、11ページ目ですかね。こちらで商用製造の試算というのをされておりますが、今こちらで出されている加速エネルギーや電流値は将来的な目標値ということによろしいんでしょうか。

(可児研究開発グループ・主管研究長) 今現在の想定というところで、このくらいのエネルギー、電流値のところは目指したいと考えております。

(吉橋委員) ありがとうございます。

その場合、ちょっと教えていただきたいのは、照射時間というのは、例えば電流値を高くした場合に短く早く製造できるとか、そういうことは期待できるのでしょうか。

(可児研究開発グループ・主管研究長) はい、おっしゃるとおりでして、アクチニウムの生成量というのは電流値と照射時間の掛け算になるところがございますので、電流値を上げれば照射時間を短くすることも可能ですし、また、電流値を上げて更に長時間照射できるようになりますと、1回の照射での製造量を増やすことができるといったところもございます。製造の安定性、また加速器の安定性や製造したアクチニウムの市場のニーズにどのくらいマッチするかといった、そういった幾つかの観点を踏まえまして、実際の商用の際には製造条件、製造スケジュールを検討していきたいと思います。

(吉橋委員) ありがとうございます。

おそらく加速器の性能、今後どういった加速器ができるのかとか、そういったところも含めて今後検討していくということですよね。

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。

まず、青砥参与から御意見を頂ければと思います。聞こえますでしょうか。

(青砥参与) 青砥です。私の声も届いていますでしょうか。

(上坂委員長) 大丈夫です。お願ひします。

(青砥参与) ありがとうございます。

可児様、大変興味深い報告ありがとうございます。こういう大量生産の技術が日本で出来上がっていくというのは大変楽しみだと思います。

私からの質問は 11 ページ、委員の方々からも 11 ページについて幾つか質問がありましたが、理解を深めるために少し質問させていただきたいと思います。

まず、右側の生産のカーブですが、3か月間のカーブ、次第に放物線的に上がっていくように見えるのですが、これを律速しているものは何でしょうか。

その上で、装置を全体に一旦止めたりすると、次の3か月もこういう放物線的な挙動になるのか、あるいは、この3か月目のサチった形が継続されていくのかといったところ。

そしてもう一つが、ターゲットに使われているラジウム 226 ですが、これは繰り返し使用ということだったのですが、この形状とか消費とかはどう考えたらいいのでしょうか。全体の絵を理解するために三つほど説明をお願いします。

(可児研究開発グループ・主管研究長) 御質問ありがとうございます。

まず、御質問いただきました 11 ページの右側の図になりますが、こちら先ほどの説明の中ではちょっと十分な説明をしておらず、失礼いたしました。改めて説明させていただきますと、こちら青色の線、これはラジウム 225 の挙動を示しております。赤色がアクチニウム 225 の挙動を示しております。このシミュレーションでの想定は、まずラジウム 226 単体を、このグラフのゼロのところですが、ここで照射を始めます。そうしますと、96 時間照射を行いますと、ラジウム 226 の中にラジウム 225 ができてきまして、そのラジウム 225 の壊変でアクチニウムが育つことになります。照射したものからアクチニウム 225 だけを除きますと、試料の中にはラジウム 226 とラジウム 225 が残りますが、ラジウム 225 が半減期がございますので、一旦山が少し下がった形になります。次の照射では、ラジウム 226 と 225 の混合物をまた照射しまして、新たなラジウム 225 が生成して、かつ残っていたラジウム 225 と新たにできたラジウム 225 からアクチニウム 225 がまた赤い線で育つことになります。また、アクチニウムを分離してといった、それを繰り返すような想定をしております。

この3か月くらいの繰り返しを行いますと、ラジウム 225 とアクチニウム 225 の製造バランスというのがだんだん整ってまいりまして、3か月目以降継続していくと、これがサチった形で続いていくようなことになります。

御質問の中でございました、例えば3か月で照射した後に一旦一時停止をしてまた繰り返すという場合には、停止をしている間にラジウム225が減衰していきますので、停止期間によりましてこのカーブのスタートラインがグラフの2000時間よりも低いところからまた同じように立ち上がってくるような形になるといった計算でございます。

まず、ここまでとろはよろしいでしょうか。

(青砥参与) 理解できました。

ということは、結局ずっと照射継続の分離をしていかないとこの理想的な年間の量は稼げない、そういう理解でよろしいですね。

(可児研究開発グループ・主管研究長) そうですね。この年間280ギガベクレルという計算結果というのは、今説明いたしましたこういった照射のパターンで製造するケースになります。

一方で、例えば照射の試料を二つ用意しておきまして、一つ目の試料を照射して分離している間にもう一つの試料を照射してという、交互で照射をするようなパターンということも考えられまして、その場合にはまた違った製造量の試算ができますので、商用製造につきましては、どんな照射パターンが最も効率よくアクチニウムが製造できるかというところにつきましては、現在も色々なパターンを想定して計算、評価を行っております。

(青砥参与) ありがとうございます。

(可児研究開発グループ・主管研究長) 三つ目の御質問のラジウムを繰り返し使用ということにつきましては、今回このスライドで紹介しました計算というのは、理想的に100%ラジウムを使い回せると仮定して計算をしております。

一方で、実際に製造ラインの中で製造いたしますと、例えば分離のところでラジウムのロスが発生したりということは十分考えられますので、現実的には、この理想よりは若干製造量は下がる方向になる可能性はあるかと考えております。

研究開発の方では、ラジウムを極力ロスを減らすというところがラジウムの資源の有効活用という観点でも、十分な製造量を得るという点でも重要なことと考えておりまして、ラジウムのロスが発生するしたらどのステップになるか、そのロスを低減するためにはどういった方法があるか、又は、工程の中でロスがあったラジウムをどう回収するか、そういう観点について研究開発の方でも取り組んでいるところです。

(青砥参与) どうもありがとうございました。

今の状態と今後に対する検討の方向について説明いただきました。ありがとうございます

た。

(上坂委員長) それでは、畠澤参与から御意見を頂ければと思います。

(畠澤参与) 御説明いただきまして、大変ありがとうございました。国内で加速器を使ってアクチニウム225の製造に成功して、これを実際にリガンドに標識ができたというところは大変高く評価されると思います。

私の方は、やはり11ページの辺りが大変興味があるところで、ここの商用製造、大量製造の試算のところの条件ですけれども、これは加速エネルギーと電流値、それからラジウム226の量、これは以前の50メガベクレルで製造したときとほぼ同じような条件、単一の量は違いますけれども、同じような加速器の条件という理解でよろしいんでしょうか。

(可児研究開発グループ・主管研究長) 加速器の条件につきましては、これまで東北大學の方で使わせていただいている加速器が電流値が平均200マイクロアンペアというところでございますので、それよりも少しパワーアップしたものが使えるとよりたくさん製造できるのではないかということで、300という試算を行っております。

(畠澤参与) ありがとうございます。

ここでの0.1グラムのラジウム226を使った場合ということで、年間280.6ギガベクレルという数字が出てきています。これは照射直後の製造量ということなんでしょうか。それとも、生成してからの量と考えたらいいでしょうか。それとも、もっと標識するレベルのところの量と考えていいんでしょうか。どの辺りの量になりましたでしょうか。

(可児研究開発グループ・主管研究長) 今回お示しました280ギガベクレルという数字は、右側のグラフの赤のぎざぎざの線がございますが、一旦増えてゼロに落ちている、この差分のところを回収したアクチニウムとしまして、この差分を積算した値になりますので、アクチニウムを分離した段階での数値となります。

(畠澤参与) 分かりました。

今ターゲットになっている病気としては前立腺がんの患者さんがターゲットになっているわけですけれども、この患者さんが推定される、国内で対象になる患者さんは約1,000人ぐらいだと思うんです。それで、1人の患者さんに10メガベクレルを4回までマキシマムで投与したとして40メガベクレル、その1,000人ということになりますので、40ギガベクレル、年間あれば間に合うかなというぐらいですね。もちろん1,000人よりももっと前立腺がんの患者さんのもっと進行度の少ない、もっと手前手前の患者さんにも投与するとなれば、それは何千人、何万人という単位になるわけですけれども、そうなると、

もっともっとターゲットの量を増やすか、装置をシステムをもっと作るか、そういうことが必要になると思いますし、そうじゃなくても、例えば病気の種類が前立腺がんだけではなくてたくさんの疾患で治験が行われていますので、国際的にはですね。ですから、いずれもっともっと大量の量が必要になってくると思います。

ですので、次、今回の試算で恐らくここ何年かの状況は改善できると思います。例えば今、多くの患者さんが治療を受けるために海外に出かけていっているということを聞いております。その数は数百人に上っているというふうに聞いておりますので、まずこのアクションプランで推進して、こういう海外に出かけなければ治療が受けられない患者さんを何とかするというのが大事だと思いますので、今のこの試算を是非実現していただきたいというのがまず一つと、更にそれを拡大していっていただきたいなという希望でございます。

引き続きよろしくお願ひします。畠澤の方は以上です。

(上坂委員長) それでは、岡嶋参与、よろしくお願ひします。

(岡嶋参与) どうも御説明ありがとうございました。(γ、n) 反応というのはとても面白い反応だと思っております。それでこれだけの技術が完成期に近づいているのは非常に興味深いなと思ってお伺いしていました。

それで、ありのままに言ってしまえば、薬作っていくらの世界なので、最終的にお話の最後の方で挙がっている今後の課題のところが重要と思っています。それで、薬としてとか薬剤としてですけれども、現状でちょっと確認させていただきたかったのは、指標、標識というところまでで、製薬会社から現実化を考えた場合の何らかの形でコメント等の有無があったのでしょうかという点が気になりました。。せっかく技術レベルが4までとおっしゃっているんですが、その部分はどうなんだろうというところでちょっと気になりました。

それから、もう一つが、安定調達という観点からすると、材料、そもそものラジウム226をどうやって調達していくかお考えなのか、それも日立さんの中でできる話なのかどうかという点、視野としてですね。その辺も一つポイントなのかなと思っています。以上、この二つが気になっていました。

最後に、申し訳ないです。先ほどから11ページの試算結果というのが上がっているんですが、これは例えば1台の加速器で頑張って作っていこうというお考えなのか、いやいや、複数の加速器を使ってでもこれで作っていこうというお考えなのか、その辺りがちょっとよく分からなくて、多分複数になると、ある意味性能はやや容易な形というか、実現可能なレベルがやや道筋として出てくるのかとも思ったりしています。その辺のお考え、その3点に

ついて、簡潔で結構ですので教えていただければと思います。

(可児研究開発グループ・主管研究長) ありがとうございます。

一つ目の御質問の製薬メーカーさんからという、製薬メーカーさんのお声というところでございますが、私どもも製薬メーカーさん何社かの方と会話をさせていただいておりまして、製薬メーカーさん側からではどういった品質のものが欲しいか、どういった品質を求めているかという情報を頂いております。一部、今日紹介しました研究用サンプルというところでは、そのサンプルの評価をしたいといったお声も頂いておりまして、そこは今調整をしていくところでございます。

そういった、やはりおっしゃっていただいたように、きちんと薬として使えますというところは、製薬メーカーさん、またお医者さんに見ていただく必要があると思いますので、そういう取組を進めていこうということで活動を進めているところでございます。

二つ目の御質問、ラジウムの調達に関してですが、これまでのところは実験的なところでして、数百メガベクレルのラジウムを使った実験を行ってきております。商用で更に安定して長期にということになりますと、ラジウムの調達というのは大きな課題になると思っております。なかなか今ラジウム自体が希少ですし、国内でそのラジウムを商用に安定に調達できるかというとそこは非常に難しいところがあると思っておりまして、そうなりますと、やはり海外からラジウムを調達するというのが将来的には必要になると思います。

一方で、海外からの調達となりますと、なかなか一メーカーで海外と交渉してというところはハードルが高いところもございますので、そういったところにつきましては是非国ですか公的機関の御協力をお願いしたいと考えております。

三つ目の御質問は、大量製造の際、おっしゃっていただいたように、加速器をパワーアップしたり、1回に照射するラジウムの量を増やしたりというのがスケールアップの一つの方法ですし、また、別の方法として比較的に現時点でも入手が可能な加速器を複数台使ってという両方の考え方があると思います。加速器のパワーアップの方は、それ自体が開発になってしまいますと、アクチニウムを社会に届けるという道筋がまた先になってしまっては、なかなか待っている患者さんにアクチニウムをお届けするのに時間が掛かってしまいますので、加速器側の方は極力新たな開発なしで進めていけるというのが社会実装の近道になろうかと考えております。

また、取り扱う量を増やしますと、どうしても線量の関係ですとか遮蔽が厳しくなったりというところもありますので、現実的には入手可能な加速器で取り扱いやすいラジウム量で

複数のラインを作つてというのが現実的なところではないかと思っております。

あとは、その場合は施設の容量が増えてきまして施設側の費用が高くなるというところもありますので、ちょっとそういった面も考慮しながら、どの形でスケールアップしていくのが一番早く社会に届けられて、より現実的な解になるかというところは引き続き検討していきたいと思います。

ありがとうございます。

(岡嶋参与) どうもありがとうございます。

是非その辺り現実的な解のところにウエートを置いて進めていっていただければいいかなと私は感じましたので、よろしくお願ひしたいと思います。

(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。

まず、加速器についてです。初めの方の5ページの課題の欄の下の日立の強みの技術ということで、シミュレーションのところにところに電子ビーム輸送、熱負荷、除熱がありますね。昨今、世界で非常に多くの小型加速器のプロジェクトがあって、医療用、産業用。そこではやはり利用のスループットを上げたいので高出力を狙うのですよね。大電力、高出力を狙う。その結果、低エネルギー部でのビームロスが甚大になって、ノイズ放射線、発熱の問題が起きている。

それから、これ電子線形加速器は直線でターゲットに照射する分はいいのですけれども、建屋や実験炉の制約で曲げますと、エネルギー差によってビームサイズが横方向に広がる。細い真空チャンバに当たる。10キロワットの数十%がそこでロスするというような、まさに発熱ロスの問題が起きています。推測の範囲もあるのですが、多くのプロジェクトがその辺りで非常に苦しんでいる。

だから、先ほど東北大学の仕様が出ましたが、9ページに45MeVの196マイクロアンペアとあります。東北大学のこの196マイクロアンペアという値も、そういう様々な難しい側面があって、ぎりぎりで決まっていると思うのですよね。ですから、約200、300マイクロアンペアというように、簡単に上げられないと思うのです。

その辺り、日立の強みで何とか解決していただくことがとても重要だと私は思います。また、こういう現場合わせ的課題が加速器の教科書に書いていないのです。それから、ややトラブル対策的なので、余り公表したくないこともあってか、学会発表もされていないし、論文も書かれないのでですね。ですから、これらの業界でこういうことが情報共有されていないのですよ。冒頭申し上げたように、かなりのプロジェクトがそういう問題に直面していると

いうことなのですね。

是非、日立としてはこの辺りも是非全力を挙げて、設計・検討していただいて、いい加速器をまず作っていただきたいと思いますが、いかがでございましょう。

(可児研究開発グループ・主管研究長) ありがとうございます。

加速器に関しては、弊社も加速器開発をしてきた人材がございますので、今、先生から御指摘を頂きました点、十分に注意しながら、設計検討を進めてまいりたいと思います。ありがとうございます。

(上坂委員長) それから、これコメントなのですが、15ページのまとめの上から5番目のところに、廃棄物の取扱いの整備とあります。これも、原子力委員会のフォローアップのとても重要な課題でございます。現在、厚労省と原子力規制庁に、医療法に準ずる低レベル廃棄物とR I 法に準ずる低レベル廃棄物の一括合理的な管理、処分の検討をお願いしているところで。双方、綿密な打合せをやってくださっていると伺っております。

これがうまくいきますと、日本アイソトープ協会にまず一括して輸送し保管することができます。中長期的には、文科省、JAEAが検討中の低レベル廃棄物の埋設施設。こちらの方で一括に埋設できるのではないかと期待するところであります。

また、それに至るまでの日本アイソトープ協会所有の保管施設も、容量も何とかもつと伺っております。何とか今後アクションプランの中で解決していきたいと考えております。

それから、これはお願いでございます。今日はアクチニウムの製造のプロジェクトで、是非このとおり実行して目標達成していただきたいです。今日、この後、JAEAのモリブデン99の製造の話があります。研究炉を使いますので、どうしても定期検査があって、やはり数か月近く停止があるのですよね。

そこは加速器で補えないかなと思っております。まず、このプロジェクトでアクチニウム225の製造をまず成功させていただいた後、モリブデン99の、これは電子線形加速器で製造可能です。そこも考えていただけますとよろしいかなと思います。ここは、ちょっと私からのお願いでございます。

それでは、どうもありがとうございました。御説明、どうもありがとうございました。

議題(1)は以上でございます。

では、説明者におかれましては、退席の方、お願いいたします。

(可児研究開発グループ・主管研究長) どうもありがとうございました。

(説明者 退席)

(上坂委員長) 次に、議題(2)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、二つ目の議題でございます。こちらも、医療用等ラジオアイソotope製造・利用推進アクションプランのフォローアップについてということでございます。文部科学省研究開発局原子力課課長、有林浩二様、日本原子力研究開発機構理事、門馬利行様、同機構原子力科学研究所研究基盤技術部部長、永富英記様、同機構大洗原子力工学研究所環境技術開発部部長、土谷邦彦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3.7、放射線・ラジオアイソotopeの利用の展開に主に関連するものです。

それでは、文部科学省、日本原子力研究開発機構の順に説明をよろしくお願ひいたします。

(有林課長) 文部科学省原子力課長の有林です。

私の方から、資料2-1に基づいて、文科省の方における、本日、JRR-3を用いた医療用ラジオアイソotope製造について説明させていただきますが、その政策的な位置付けについて説明をさせていただきます。

それでは、めくっていただきまして、1ページ目でございます。

こちらの方でございますが、前回、「常陽」のときにも説明をさせていただきましたが、文部科学省の方では今年2月に国の方でエネルギー基本計画ができましたが、それと並行して、科学技術の観点からどのような技術が必要かというところで五つの柱を立てさせていただきました。

それが、こちらの方の1ポツから5ポツに示しているところでございますけれども、このうち、本日説明をさせていただきますJRR-3の方につきましては、1ポツの新試験研究炉の開発・整備の推進というところの二つ目に、JRR-3の安定的運用・利活用の促進というところで位置付けているところでございます。

次の2ページ目、御覧ください。

こちらの方ですが、予算等につきましては令和7年度17億円を措置しております、まさにこちらに記載しておりますけれども、概要のところにございますが、JRR-3につきましては、世界トップレベルの高性能な中性子を生み出す研究炉でございます。

詳細につきましてはこの後の原子力機構の方から説明をさせていただきますが、我々としては、この資料自体が概要と、経緯と実績、そして今後の方針という三つのパートで構成されておりますけれども、この右下にございます今後の基本方針に記載しておりますが、この二つ目、医療用RI(モリブデン99等)製造に関する研究開発の推進ということで、

JRR-3 の安定的な運用・利活用を促進する中の一つの柱としまして、医療用 RI 製造というところを位置付けているところでございます。

文科省からの政策の位置付けについての説明は以上でございます。

それでは、次は原子力機構の方からよろしくお願ひします。

(門馬理事) それでは、引き続きまして、原子力機構での取組について御報告いたします。

モリブデン 99 / テクネチウム 99 m の国内製造に向けた JAEA の進捗報告ということですございます。

資料の説明の方は担当の方からさせていただきます。お願いします。

(平根課長) では、資料を説明いたします。

私、原子力機構研究炉技術課の平根と申します。よろしくお願ひいたします。

まず、ページ 1 枚めくっていただきまして、まず、令和 6 年度の JRR-3 を用いたモリブデン 99 の製造試験の実績について説明いたします。

表中にはありますけれども、令和 6 年度については合計 6 回の照射・製造試験をしております。そのうちの最初の 2 回は照射量の評価ということで短いサイクルを利用した照射、それから、気送照射設備といって、こちらで短時間照射をするんですけども、短時間照射をして中の不純物を調べる、放射化不純物を調べるという試験をしております。残りの 4 回は試験供給ということで、合計 6 回やっております。

1 回目と 2 回目に行いました照射試験ですね。生成量評価と不純物測定、そちらの結果につきましては次のページにお示ししております。

まず一つ目が、照射の生成量の評価をしております。こちらの生成量評価は、運転中に任意に取り出すことができない垂直照射設備というところでの照射、製造量の評価をしております。これは運転中に取り出すことができませんので、令和 6 年度の最初のサイクルはたまたま短いサイクルでした。11 日間という短いサイクルでしたのでちょうどいいということで、短い時間の照射でも計算どおりの生成量を得られるかどうかというのを確認しております。結果としましては、右側の方に書かれておりますけれども、短い照射期間であっても計算結果とよく一致するということを確認しております。

その下に示しておりますのが不純物特定の結果です。放射化物ですね、試料はごく微量なんですけれども、試料の中に放射化物質、そちらを測定しております、不純物を測定しております。得られているピークのほとんどはモリブデン 99 なんですかけれども、中にはテクネチウムとかタンゲステンとかありますけれども、こちらは半減期が短かったり化学的に

除去可能ばかりですので、こちらについても不純物として何か問題になることはないというふうに結論付けておりまして、見通しが得られております。

その下につきまして、今後の計画で水力照射設備と垂直照射設備を使った生成量評価というのは大体これで出そろって、おおむね思わくどおりの結果が得られるということで、問題ないということは分かっております。

今後は、キャプセルにフルに詰めた場合、キャプセルを満杯で詰めた場合にどういうふうな照射量が得られるかということを照射試験していきたいと考えております。

続きまして、供給における課題です。

JRR-3では一通りのモリブデン99を製造できるということが分かってきております。現状のJRR-3の設備で用いた照射の製造と供給のスケジュール感というか、こういうスキームというか手順、頻度と量で供給できるかというのをお示ししているのがこちらの表です。水力照射という設備を使いますと、毎週100キュリーの供給が可能である。一方で、垂直照射設備、こちらは生成量が多いんですが、月1回に限られますけれども、月1回に1,000キュリーの供給が可能ということで、トータルの供給量としてはこちらの図に示しているとおりになっております。

ただ一方で、その次のページです、一方で、製薬メーカーの希望とJRR-3の現状の製造能力というギャップがあるということも明らかになっておりまして、製薬メーカーの希望としましては、供給頻度は毎週、かつ曜日を固定してほしい。それから、1回当たりの供給量が2社合計で660キュリーというのは一つの要求として出されております。

それにつきまして、JRR-3の現状の供給能力、水力照射設備を使った場合は週1回、固定曜日の出荷自体は可能なんですかけれども、1回の供給量は100キュリーと。一方で、垂直照射設備、こちらは1,000キュリーという比較的多い供給量が得られるんですけれども、こちらは月1回となってしまうということで、製薬メーカーの希望をJRR-3単独で頻度と量の両方を満たすということが難しいということが分かっております。

次のページお願いします。

その供給量の頻度、こちらを可能な限り同時に成立させるにはどのような方策があるかということでお示ししているのが、こちらのJRR-3の一つの改造案です。

先ほども申し上げました垂直照射設備というのは、強い中性子の照射場が得られますので、こちらで照射するとたくさん製造できる。ただ一方で、運転中に取り出しができないという問題がありますので、そちらを運転中に取り出しできるように改造しようというのがこちら

の二つの案です。

つり下げ方式と移送方式と二つありますけれども、こちらは挿入、取り出しの機構がどんなシステムにするかという違いだけで、基本的には垂直照射設備に任意に試料が出し入れできるように改造するというものです。ただ、こちらの改造、当然、炉心の中に物を設置したりするということもありますし、あとは許認可ですね。許認可対応も必要になってきますので、こちらが非常に高額の費用と、それから長期の工事期間を要すると予想されるものです。

こちらの改造を行いますと、まず、右側の下の方にありますけれども、生成量としては650キュリー、1回当たり。これ毎週です。供給する頃には590ぐらいになるということですので、メーカーへは590を毎週供給できるのではないかというふうに見立てております。

以上の改造を踏まえた上で、どのような供給頻度と量になるかというのを一つ図にお示ししたのが、その次のページです。

JRR-3の運転はおよそ4週間あるんですけれども、最初の1週目から照射が始まりまして、翌週の月曜日まで。火曜日に出荷ということで、サイクル中は3回ほどの出荷ができるんではないか。1回当たり500キュリーの出荷ができるんじゃないかなというふうな見立てをしております。

モリブデン99の製造に関する令和6年度の検討状況は以上です。

続きまして、テクネチウムの分離生成試験の実績について、土谷の方から御説明いたします。

(土谷部長) 原子力機構の土谷の方から、モリブデン/テクネチウムの分離抽出について説明をいたします。

ページ数は11ページとなります。

原子力機構では、テクネチウムを抽出するのに溶媒抽出法について今検討を行っております。試験フローとしましては、ペレットをJRR-3で照射をしまして、その照射した試料を大洗にありますJMT-Rホットラボの方に持ってきて、分離抽出試験を行っております。令和6年度につきましては、抽出したテクネチウムにつきまして製薬メーカーの方に供給しまして、品質確認をしていただいたという実績がございますので、今回の報告につきましてはトライアル試験、品質確認の試験結果について今回評価を行いましたので、その御報告をいたします。

次のページです。

品質確認に供したモリブデン溶液とテクネチウムの溶液の試料についてフローを示したものです。ペレットを解体して J R R - 3 で照射をしました。それを、ホットラボの方で照射したモリブデン溶液と溶媒抽出で抽出したテクネチウム溶液の分析をしていただいたというところでございます。

一方、同じバッチのペレットを用いてコールドのモリブデン溶液についても試験をしてみたというところでございます。

次のページにその結果を示しております。

ちょっと見づらい図で申し訳ございませんが、この表につきましては、モリブデン溶液の中に含まれている不純物濃度というのを調べました。ペレットの粉末のミルシートに基づいてモリブデンペレットを作つて、溶解したモリブデンの分析を行つた。先ほどお示ししましたように、照射したモリブデンペレットを溶解させた照射済みのモリブデン溶液を製薬メーカーの方に供給をして分析を行いました。今回分析した分析方法は I C P - A E S という分析方法ですが、製薬メーカーの方では、中に含まれている元素がちょっと分からぬいということなので半定量分析ということで、今回データを示していただいたものでございます。

今回分かったところにつきましては、例えばイリジウムとかレニウム、トリウム、あとアルミニウムですか、これにつきましては、モリブデン濃度が高いために I C P で分析すると干渉がありまして、結構高い値になつてしまつたという結果となつております。一方で、我々の方で未照射のモリブデン溶液を定量分析を行つた結果、ここでお示ししましたとおり、バナジウムとか銅とかほとんど含まれていないということも分かりましたので、今後、分析方法についてきっちりとした分析方法についての標準化とか精度向上が必要となるというふうには考えております。

この結果を踏まえて、製薬メーカーさんで受けられるモリブデン溶液の品質について決定をする必要があるのかなというふうには考えております。

次のページでございます。

次のページは、溶媒抽出法、M E K で抽出したテクネチウムも分析をしていただきました。試験項目としましては、おおむね製薬として評価する試験を一連やつていただいたというものでございます。その結果、ここでちょっと問題になったところは赤で示していますモリブデンの濃度が今回高い濃度になつてしまつた。基準値としては 0 . 0 1 5 % 以下でなければならなかつたものが約 1 % ほど混入があつたというところでございます。これにつきまして

は、当方で持っています試験装置の調整が少し悪くて、M E Kの方にモリブデン溶液が少し混入してしまったというところがございますので、今年度行う試験についてはそれらを注意して今再試験を行っている状況でございます。

一方で、先ほどモリブデンの中に含まれているいろんな元素を調べたんですけれども、今回抽出したテクネチウムの中には、右の表のとおり、いろんな元素を調べた結果、ほとんど含まれていないという結果になっておりますので、本方法においても、かなり純度の高い、モリブデン以外は純度の高いテクネチウム溶液が得られるものというふうには考えております。

今後、先ほども言いましたように、分離、抽出の操作について今改善をして再度試験を行っている状況でございます。

抽出の方につきましては以上でございます。

(平根課長) 以上で、照射・製造と抽出試験についての御報告でしたけれども、最後のページにまとめて記載しております。

まず、モリブデン99の照射試験につきましては、前年度に続き、令和6年度も照射・製造試験を実施したということです。期間を変えて、ちょっと短いサイクルで試験をしたところ、短いサイクルであっても、照射時間を変えても、計算どおりの、想定どおりの生成量が得られるということを確認しています。

もう一つ行いました不純物測定におきましても、モリブデン99の試料の中に、製薬化に支障を及ぼすような放射化不純物が含まれていないということを確認しております。

一方で、課題ですね。課題に関しましては供給量の課題がありまして、メーカーの希望を満たす供給量、供給頻度、J R R - 3が同時に満たすということが難しい。

それから、照射設備の改造によってそれを改善することができるということも考えられますが、高額な費用、それから、長期間を要するということ。それから、定期事業者検査で原子炉を停止している間は供給できないというような避けようがない問題があります。

それから、その次ですね。分離抽出試験の方です。こちらは、製薬メーカーとのトライアル試験を通じてモリブデン溶液の分析等を行っております。分析方法の改善とか、M E Kで抽出したテクネチウム溶液ですね、こちらの製剤化の可能性について検討を進めておりまして、品質確認の中で分析手法の精度向上であるとか、分離操作ですね。M E Kの部分とモリブデン溶液の分離操作のところの改善が必要であるという課題が見えてきております。

今後の検討課題として一番下に書いております。こちらはプロジェクト全体の課題という

ことも言えるかと思うんですけども、JRR-3の製造能力については、現実的な上限が現在ところ分かってきている。供給の在り方と原子炉以外での製造など、情報収集であるとか認識のすり合わせが必要であるというふうに考えております。また、使用済みMEKの処分については、引き続き関係者の間で協議が必要であると考えております。

原子力機構からの報告は以上です。

(上坂委員長) 説明、どうもありがとうございました。

それでは、今の御説明に対して質疑を行います。

直井委員から、お願ひします。

(直井委員) どうも御説明ありがとうございました。

まず、JRR-3でモリブデン99の製造試験というのはほぼこれ終わって、今後キャプセルをフルにペレットを入れて照射試験を行うというような予定を先ほど説明いただきましたけれども、ペレットをフルに入れるということによって、水力照射設備で100キュリーと言っていた製造量が増えるという認識でよろしかったですか。

(永富部長) 原子力機構の永富です。

垂直照射設備で運転中に途中で取り出すということはできませんので、今考えていますのは水力照射設備での製造を考えております。その水力照射設備をフルに使った実用化に向けた、そういったところを確認していくということを考えているということです。

(直井委員) それから、昨年度の報告でテクネ99の回収率がばらつくというようなことで、これ改善するというようなお話があったと思うんですけども、それが課題として挙げられていたと思うんですけども、今回の報告の中でも11ページでその確認をすると、回収率の向上のための改善試験を実施するというお話ございました。2024年度にこれについて取り組んだ結果について教えていただけますでしょうか。

(土谷部長) 原子力機構、土谷ですけれども、装置の方の性能特性試験を行っておりました。

この照射した試料を用いないで予備試験として調整試験をするんですけども、その際に、回収率が高くなかったという原因としましては、かなりセルと装置の間の距離が長いんです。それがチューブでセルの外からセルの中にMEKを送り込むんですけども、そのラインが非常に長いということが分かりました。その間に我々一定量のMEKを送ったというふうに思っていたんですけども、そういう試験をする中で、実際チューブの長さの中にどこかたまって、全部装置の方に所定の量がMEKが流れていないということが分かりまして、ある程度、装置の方に一定量いく方法を今検討をし直して、今回、一緒に実証をしていこうと、

確認をしていこうというふうに考えております。

(直井委員) 分かりました。ありがとうございます。

それから、供給ニーズが約660キュリー／週だと。現状設備では応えられないんすけれども、製剤の原料として安定的に供給するという上での技術的な課題はほぼ解決されていりというふうに考えてよろしいでしょうか。

(永富部長) そういう意味では、装置の問題とかありますけれども、技術的な問題は解決しているものと考えております。

(直井委員) そうしますと、残りは、そのM E K法によってテクネの99の分離操作の改善をしていくといったようなところ、性能を確認していくというようなことが残っているというようなことでよろしかったですか。

(永富部長) 抽出方法についてはカラム法とM E K法があって、どちらを選択するかという問題は残っているんですが、機構として今M E K法の方を技術開発をしているところですが、その技術開発に関しては今、直井委員のおっしゃられたとおりです。

(直井委員) どうもありがとうございました。

私からは以上です。

(上坂委員長) それでは、吉橋委員、聞こえますでしょうか。

(吉橋委員) 吉橋です。聞こえますでしょうか。

(上坂委員長) 聞こえております。よろしくお願ひします。

(吉橋委員) はい。J R R - 3 を用いたモリブデンの製造と、それから、モリブデンとテクネチウムの分離に関して御説明いただいてありがとうございます。

私の方からですけれども、J R R - 3 の改造というお話がありましたが、改造を行った場合は、このモリブデン製造、供給の占有照射孔として開発するというような位置付けでしょうか。

(永富部長) まだそのところというのは、どういうふうに使うかというところは整理ができておりませんが、今ここで上げている製造量というのは、ある意味、照射孔についてはモリブデン製造に優先的に回した場合ということになっております。

今後 J R R - 3 を使う上でどういった照射ニーズがあるかとかいうところは、そのときに解決しなければいけない問題だろうと思います。今はフルに使った場合に、ある意味、占有をして使った場合にどれぐらい製造できるかという試算をしているものになります。

(吉橋委員) ありがとうございます。

JRR-3もこの中性子場としては非常に研究等の用途も多いと思いますので、そういうふたところの兼ね合いもあるかと思いますが、半占有というような形でもしっかりできるような試算があるというのはいいことだなと思いました。

もう一点なんですが、分離のところで13ページ目のところのお話を少し聞かせていただきたいのですが、今回、ICP-AESを使われていて、ICP-AESでこういった元素の分析というのは多くいろんなところでされていると思うので、十分に定量評価できるのではないかと思ったのですが、これ更に標準化、精度を向上するということは、どういったところが課題になるのかというのを教えていただけますでしょうか。

(土谷部長) 今回支給したモリブデンの溶液は、かなりモリブデンの含有量が高い溶液での分析になります。そういう中でICPを用いると、干渉する波長のところが、例えばイリジウムとかレニウム、トリウム、それぞれ波長があるんですけども、それが干渉をしてかなり精度が悪くなってしまうという欠点がございます。標準液を用いてもかなり、絶対測定を行っても、かなりそういう干渉の問題、測定精度の問題が出てくると思うので、溶液の濃さとかそういうのを再度標準化して分析を行う必要があるのかなというふうに考えております。

(吉橋委員) ありがとうございます。

ICP-MSまでやる必要はないのかなと思うのですが、そういうことの検討というのもされたのでしょうか。

(土谷部長) 実際、我々の方でもICP-MSを用いて行っているんですけども、MSの方はかなり精度は高いんですが、希釈率を非常に高くしなければ、やはりモリブデンが装置の中を汚してしまって精度が悪くなるというものがございますので、逆に希釈率を高くするか、逆にモリブデンを除去して分析をしなきゃいけない。1工程、別の工程が入って精度が悪くなる可能性もあるので、色々評価したの中で、ICP-AESが非常に使いやすくて使い勝手がいいんじゃないかなというところで、今回AESの方を用いました。

(吉橋委員) 御説明ありがとうございます。

その試料をどういうふうに準備するのかというところが今後の課題だということで認識いたしましたが、こういった微量の元素分析に優れた分析方法だと思いますので、是非またしっかり分析できるようにしていただければと思います。

私からは以上になります。

(土谷部長) 御指摘ありがとうございます。

(上坂委員長) 青砥参与からも御意見を頂きたいと思いますが、聞こえますでしょうか。

(青砥参与) 聞こえております。私の声、届いておりますでしょうか。

(上坂委員長) 大丈夫です。よろしくお願ひします。

(青砥参与) ありがとうございます。

モリブデン 99 とテクネチウム 99M の製造とその分析についての御報告、ありがとうございます。

現状の進捗と今後の課題について理解できたと思いますが、一つ確認させていただきたいのは、今、吉橋委員からの質問にもありましたが、13ページについて、精度も非常に重要なと思うのですが、最終的には薬品製造というか、そちら側との受入れ基準の設定というか共有が必要だと思います。その辺りの設定について、現状、製薬メーカーとどんな話をされていて、今後どういう見通しを持っておられるかについて少し付言していただけませんか。

私からは以上です。

(土谷部長) 原子力機構の土谷です。

今回、トライアル試験として分析の方、照射済みのモリブデン溶液の分析の方は製薬メーカーの方で行っていただきました。一方で、製薬メーカーさんは、実際テクネチウムを作っているんですけども、外国から供給された核分裂法で分離・抽出したモリブデン溶液からテクネチウムの製剤を作っている状況です。

したがって、今回我々が提案しています放射化法についてのモリブデン溶液については、全く製薬メーカーさんは無知だったというところもございますので、今回、モリブデン溶液を分析することによって、ある程度こういう元素が含まれているという当たりは付けていただいたというところで、やっとこれから、こういう知見を得られたことから、どのようなモリブデン溶液の品質で受入れ可能かどうかというのが、今後議論の対象になるかというふうに考えております。

(青砥参与) 分かりました。

まだ未着手というか、スタート地点に立ったばかりと、そういう理解でよろしいですね。

(土谷部長) はい、そのとおりでございます。

(青砥参与) 分かりました。

今後、先ほどお話になった分析の標準化とか精度と併せて、是非、その辺りのターゲットをどうするかについても議論していただきたいと思います。

どうもありがとうございました。

(上坂委員長) それでは、畠澤参与からも御意見を頂ければと思います。

(畠澤参与) ありがとうございます。詳細な御説明を頂きまして、大変ありがとうございます。

私の方は、まず文科省の方の4ページ目のスライドのスキーム、国内体制構築というところで質問させていただきたいと思います。

ここに、JAEAで照射をして、それで中間事業体の方に引き渡すということですけれども、JAEAは照射プラスMEK法で分離するというところまで、このJAEAの箱の中でやるということなんでしょうか。それとも、照射試料を引き渡したので、照射したペレット、試料をただこちらの隣の原料製造メーカーに運んで、そこで何か処理をするということを想定しておられるのでしょうか。そこだけまず最初に教えていただけますか。

(有林課長) それでは、文科省の方から回答をさせていただきます。御質問ありがとうございます。

こちらの方ですけれども、今、まず実験的に少量扱っておりますので、JAEAの方でJRR-3とそれに附属するホットラボの方において分離抽出試験を行っておりますけれども、これがやはり商用になってきますとある程度の大規模な施設が必要になりますので、そのときにおいては、やはり照射したものを中間事業体が保有する施設において大規模な抽出法を使ってやっていただくというような形になるかと思っていまして、ただ、それをどのように位置付けていくのかというところは、中間事業体というものがはっきりしてから、JAEAとのどういう役割で行っていくのかというところは、これから調整になるかなと思っています。

(畠澤参与) 分かりました。

商業用で考えた場合に、ペレットを運んできて、違う事業体ですよね。この中間事業体というのは。ここに来ると、今の製薬企業のニーズというのは、カラム法で抽出精製したものを使いたい。それ、今のフィッショング法でできたものがそうだからなんですね。それで、MEK法で抽出したものを医療用として使う場合には、その医療用の原材料としてまた違う認定を受けなくてはいけないという状況になっているわけなんです。製薬企業に聞いてみますと、海外から日本に輸入されているモリブデン99溶液は向こうの方の基準で、送り先の基準で責任で不純物が入っていないというのを証明して、何かあったら向こうが責任を取るという形で送られてきているわけなんです。

ですから、そういうところの責任であるとか認証であるとか、その辺りがまだ中性子照射

法のモリブデン、それから、M E K法についてはまだ進んでいないと思うんですよね。だから、そこが今後ますできるということが分かりましたので、今度はその辺りも少し議論していかなくてはいけないかなと思うんです。

恐らく医療原材料として作ったものを、J A E Aがそれに対して責任を負うというのは、なかなかこれはハードルが高いんではないかと思いますし、現実的ではないと思うので、そこはその中間事業体の辺りが、認証というんですかね、するような形になると思うんですけども、その辺の議論をこれから必要になってくるんじゃないかなというふうに思っておりました。

それから、今度はJ A E Aの方の照射試験の方の質問ですけれども、これは、今現在、モリブデン99の日本国内への輸入というのは年間数千テラベクレルと推定されています。今回の試算によると、1,000テラベクレルの供給が年間可能だという試算になっておりましたので、そういう意味ではアクションプランの30%という値にかなり近いところ、できるんじゃないかなというふうに思いました。

ですから、是非、この量を増やすというのは非常に重要ですので、1,000テラベクレル／イヤーというのを是非目標にしていただいて、下振れしないように是非お願ひできればなというふうに思っていました。

それで、これにあともう一つ、停止期間は供給できないという問題があるとおっしゃいましたけれども、これは最初から分かっていることでありまして、ここを何とかしようということは考えてもどうしようもないことですので、別の海外と協調してやるとか国内の加速器にお願いするとか様々な方法がありますので、そこのところにまた技術協力を頂ければいいかなというふうに思っています。

それから、一番先ほどから問題になっておりますのが分離抽出のところでして、やはり、フィッショング法ではなくて中性子照射法でモリブデン99を原子炉で作るという全く新しいタイプの方法ですので、是非このM E K法がそれとマッチしているという主張であるならば完遂していただきたい。途中でやめたりしないでいただきたいというのが私の希望です。

最終的に患者さんに届くためには、不純物の検定であるとか品質の標準化、それから、恐らくこれは国際的に認可・認定されるようなレベルまで進まなくてはいけないと思いますので、すぐにできることではないですので、途中で研究を止めないで最後までしていただきたいというのが希望でございます。

畠澤の方からは以上です。

(門馬理事) 原子力機構、門馬です。ありがとうございます。

3号炉の方で製造能力はというところ、これ技術的には大体めどがついているということなので、あとは予算とか期間を踏まえてどう判断していくかということだと思うんですね。そういう意味では、要するに国内でモリブデン／テクネチウムをどこまでやるかということは、先ほどの全体のフローの中の中間事業体以降のところも含めて、全体として成立性が見込めなければならないので、多分そういった全体の見込みなんかも含めて、そういった設備の増強なんかも判断していくことになると思うんですね。その辺り、引き続き我々も協力していきたいと思います。

(上坂委員長) それでは、岡嶋参与からも御意見お願いします。

(岡嶋参与) 御説明、どうもありがとうございます。

お話を伺って、まず試験研究炉の方は装置改造まで検討されていることを知り、非常に心強いと思いました。

不勉強で申し訳ないんですが、溶媒抽出の話で、そもそもカラム法とMEK法の二つがあるという話が先ほど御説明にありました。ということは、カラム法とMEK法で、要はMEK法をやっていこうというのには、どこかにメリットがあることがあると思うのです。その辺はどういうふうにお考えなのでしょうか。

(土谷部長) 原子力機構、土谷の方からお答えいたします。

MEK法は、もともと昔から既存技術として用いられた方法でございます。そういう意味で、ただ、昔から既存技術として選ばれていたんですけれども、実用化というところまではいっていなかったという技術でございます。一方で、大きな問題はやっぱりMEKというのが有機溶媒なのでなかなか使いにくいというのもあったんですけども、今回我々提案している方法の中で、MEKの混入量も同時に調べていて、あまり混入も少ないというところまでは持っていますので、メリットとしてはいいということと、大型化にしやすいんですね。カラム法に比べて。そういう意味で、我々としてはMEK法を選んで進めているという状況でございます。

(岡嶋参与) 先ほどの畠澤参与のお話からすると、もちろんメソッドとしては理解するのですが、現実の、いや、薬という観点からしたときに、その手法開発として、最後までMEK法にこだわるんではなくて、ゴールに近い方を狙う。あるいは、現実的なところでまだ開発が大き過ぎるのであれば、どこかホールドポイントを置いてでもやっぱり判断すべきポイントがあるのではないかという気がします。

今日の御説明だと、それが一体どの辺のところの成果なのか、それがよく分からなかつたように僕は思つて聞いていました。

できたらその辺のところ少し今補足していただきて、今後どれぐらいの見通しなのかということも併せて言っていただけだと、これから先のことがもう少し分かりやすくなるんじやないかなと思うのですが、いかがでしょうか。

(有林課長) すみません、文科省ですけれども、私の理解ですと、まずどちらの方法を取るのかというところは、まさに製薬メーカーとその中間事業体の方としてどのようにやっていくかというふうに理解しております、カラム法については、今まだ民間企業、製薬企業を中心につながりながら培ってきた技術がございます。

一方で、原子力機構の方ではM E K法を開発していますけれども、やはりこれ製薬メーカーと色々と連携しながら行っています、最終的にそれらを商業ベースに乗せるときに、先ほどございましたように、それぞれのメリット、デメリットというものを判断して、最終的には彼らが中間事業体含めてどちらの方法作って、中間事業体にその役を負わせるかというような形になると思いますので、我々としては選択肢を与えるという意味において、J A E Aの方でずっと培ってきた技術というものをある程度発展させながら様々なデータを取らせていただいて提供はしますけれども、一方で、彼らも彼らの中で様々なカラム法でやってきたもの技術の進展、それは我々の方も見てはおりますけれども、それは彼らの方がどちらかというと技術としてはどこまでの進展かというところございますので、最終的には我々の方からもデータを提供させていただきながら、ただし、最終的にはそれを実施する主体側の方においての判断になるかなと思っておりまして、それに必要なデータというものを我々の方で、今回の製薬メーカーとの連携を通じながら必要なデータを適宜適切に提供していくという形で考えております。

ただ、いずれにしましても、これから中間事業体どうしていくかというような議論の中で、それぞれカラム法でどこまで進展があるかというところを突き合わせながら、どういった方法が国として取っていくべきかというところの議論になっていくのかなというふうにはちょっと思つてているところでございます。

(岡嶋参与) おっしゃることは分かりました。

とはいひ、まだこれから測定方法、分析方法の高精度化とかという話ではなくて、求めるべきゴールがあつて、それに対して今どうなのかということはやっぱり示す必要があるのでないかな思います。そういう点で、今日の御説明の中では、余りそのような内容を聞き取

れなかつたように思いましたのでコメントさせていただきました。

私からは以上です。

(上坂委員長) それでは、上坂から幾つか意見を述べさせていただきます。

まず、今現在、世界で医療用モリブデン製造・供給している研究炉は全てウラン濃縮度が90%程度の高濃縮ウラン炉であります。また、6基程度ですけれども、それらもかなりのものが運転期間も限界がありそうだということで。その中で、JRR-3が低濃縮度で、現状はモリブデン98を使った放射化法で生成される。アメリカではDOEの支援でミズーリ炉で同じ計画があったのですが、研究炉の改造等の理由でプロジェクトが休止中です。

そういうことに鑑みますと、低濃縮度での放射化法によるモリブデン99の製造というのは、皆様の研究開発が世界で初めてのチャレンジになるのだと。ここが成功すれば世界に普及するのだと思うのですね。是非頑張っていただきたいと思います。

それで、確認ですけれども、中間事業体が入るのですが、最終的にはモリブデン99という形なのか、それとも、テクネチウム99mという形で薬品メーカーさんに供給するのか。今のところどちらが有力とお考えになっていますかね。

(永富部長) まだここははっきりと決まっていないところなんですが、半減期の問題からすると、製薬メーカーに限りなく近いところ、若しくは製薬メーカーの中にそういった抽出の装置を入れなければ製薬まで時間がありませんので、製薬メーカーの方で抽出するというような感じではないのかなというふうには受け止めています。

ただ、ここに関してはまだ全体会合なんかでも決まっていないところなので、これから決めていかなければいけないことだというふうに認識しております。

(上坂委員長) それから、中間事業体が絶対必要なわけです。JAEAの方でここまで技術開発をされてトライもされている状況であれば、新たな中間事業体を探すというよりは技術移転ですね。ほかの分野で多数やられているような、JAEAの技術移転という形で中間事業体を育していくという形が一番よろしいのではないかと思います。そういう方向と考えてよろしいでしょうか。

(永富部長) JRR-3では、照射をしてあげるというか、照射することはできるんですが、我々が頒布をするというようなことは当然今できませんので、そういった中では、中間事業体というところに入ってもらって頒布するほかありませんので、製薬メーカーがまずどこがやるのかみたいなものも決まらないと、中間事業体のどういった役割を果たしてもらうかというのもちょっと決まるわけではないんですが、今おっしゃられたように、中間事業体を育

てていくといったらあれなんですが、一緒にやっていくというのは必然かなというふうに思っています。

(上坂委員長) それから、今R & D中ですけれども、今後、その品質が確認されて定常な生産になった場合、先ほど有林課長おっしゃったような設備の整備が必要だということになります。中間事業体も当然その段階では決まって、その方が薬品メーカーに頒布することになると思うのです。その際、やはり採算というのが絶対必要になってくると思うのですね。

それで、この定例会議でもこのフォローアップの中で、例えばルタテラですね。ルテチウム 177 の。4年前に薬機法通りまして保険適用になっている。それも当初低い診療報酬だったのだけれども、今少しづつ実績が上がって、診療報酬 +  $\alpha$  があり、現在、病院で治療が行われるように今なっている。それから、アクチニウムやアスタチン、アルファリミッターもこれから、診療報酬、薬価、保険適用も決まっていきます。ルタテラよりは上の値にいきそうだというような予測なのですよ。

一方、モリブデン 99 の薬価というのは、15 年ほど前でしょうか、O E C D / N E A の方で国際的に議論があつて、そして決まった。それが低くて、各国はそれではなかなか普及できないということで、各国で再調整があったというふうに伺っています。今後は、このモリブデン 99 、最近アルツハイマー病の診断・治療が始まっていますね。エーザイ、レカネマブ、それから、リリーのドカネマブですね。内科のお医者さんに聞くと、かなり伸びている。その際の診断で、モリブデン / テクネチウムを使った S P E C T で脳血流を全体検査する。それで、海馬に異常があるのであれば、今度アミロイド P E T でアミロイドが入っているかどうか診る。あるようでしたら先ほどの薬剤での治療に入るということです。今非常に伸びている。普及がされているということであれば、モリブデン / テクネチウムも新しい用途が増えていると思えるわけです。

ですので、御意見で結構なので、今後の薬価を変えていくということはこれは大きな話で。皆で全体で考えて、医者の意見も得ながら、厚労省等々と交渉していくべきですね。採算ですね。薬価に関する御意見を聞かせていただければと思います。

(永富部長) 薬価というんですか、我々の製造したものを提供する見積りというんですか、試算の方は全体会合等でも示しておるんですが、ランニングコストだけでいいますと成立性があるというふうに考えています。

ただ、やはり初期投資が、我々も設備改造を仮にするということであれば初期投資が必要になりますし、抽出装置なんかに関しては、これを製薬メーカーが持つのか、中間事業体が

持つのかというような問題はまだ解決はしておりませんが、そういったところの初期投資が必要で、それをどういうふうに回収していくのか、それが薬価に載るのか、初期投資の部分が別で、どういう形か分からないですけれども、出るのかというところが大きいんだろうと思います。

その辺りもこのアクションプラン、ちょっといま一つ進まないというところの課題だと思いますので、こういったところを解決していかなきゃいけないのかなというふうに思っています。

(上坂委員長) 有林課長、いかがですか。

(有林課長) 今、原子力機構だけの話をしているんですけども、多分、原子力機構以上に中間事業体であったり製薬企業の方が、まさにモリブデンの方で対応するために今施設 자체を色々やっていかなければいけないことになります。ですから、そういったコストは多分今 JAEAが考えている初期投資よりももっと多分スケールが大きくなると思いますので、その中で、逆に言うと、関係者全員の中でどのように費用回収するのかという中にそういった薬価の見直しというものがあるのであれば、当然そういう中に今日指摘ありました初期投資みたいなものも含めたいと思いますし、ちょっとそこは全体の中で我々としても議論に参加させていただくようにしたいと思います。

よろしくお願ひします。

(上坂委員長) ありがとうございました。どうかよろしくお願ひいたします。

それでは、御説明どうもありがとうございました。

議題（2）は、以上でございます。

説明者におかれましたら御退席の方、よろしくお願ひします。

(説明者 退席)

(上坂委員長) 次に、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、今後の会議予定について御案内いたします。

次の定例会議につきましては、令和7年8月5日火曜日、14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す。

—了—