

第20回原子力委員会定例会議議事録

1. 日 時 令和5年6月7日（火）14:00 ～ 16:55

2. 場 所 中央合同庁舎第8号館5階共用A会議室

3. 出席者 内閣府原子力委員会

上坂委員長、佐野委員、岡田委員

内閣府原子力政策担当室

進藤参事官、梅北参事官、下村補佐

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構

大島理事

高速炉・新型炉研究開発部門 戦略・計画室 平田室長

同部門 大洗研究所 高速実験炉部 高速炉技術課 前田課長

量子科学技術研究開発機構 量子生命・医学部門 量子医学研究所

内堀所長

分子イメージング診断治療研究部 東部長

先進核医学基盤研究部 放射性核種製造グループ 永津グループリーダー

原子力規制庁 研究炉等審査部門

荒川安全管理調査官

有吉上席安全審査官

片野管理官補佐

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」の進捗報告について【アクチニウム-225の製造実証、研究開発の推進】（日本原子力研究開発機構、量子科学技術研究開発機構）
- (2) 高速実験炉「常陽」について（日本原子力研究開発機構）
- (3) 日本原子力研究開発機構高速実験炉原子炉施設「常陽」の設置変更許可について（諮問）（原子力規制庁）

(4) 京都大学複合原子力科学研究所の研究用原子炉の設置変更承認（標準応答スペクトルを考慮した基準地震動の追加等）について（答申）

(5) その他

5. 審議事項

(上坂委員長) 時間になりましたので、第20回原子力委員会定例会議を開催いたします。

本日の議題ですが、一つ目が「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」の進捗報告について、二つ目が高速実験炉「常陽」について、三つ目が日本原子力研究開発機構高速実験炉原子炉施設「常陽」の設置変更許可について（諮問）、四つ目が京都大学複合原子力科学研究所の研究用原子炉の設置変更承認（標準応答スペクトルを考慮した基準地震動の追加等）について（答申）、五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。

(進藤参事官) 一つ目の議題は、「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」の進捗報告【アクチニウム-225の製造実証、研究開発の推進】についてです。

本日は、日本原子力研究開発機構、量子科学技術研究開発機構よりそれぞれ御説明いただき、併せて質疑を行う予定です。

それでは、最初に、日本原子力研究開発機構から御説明を頂きます。本日は、日本原子力研究開発機構理事、大島宏之様、高速炉・新型炉研究開発部門戦略・計画室室長、平田勝様、同部門大洗研究所高速実験炉部高速炉技術課課長、前田茂貴様に御出席いただいております。

それでは、御説明をお願いいたします。

(大島理事) 原子力機構の大島でございます。本日はよろしくをお願いいたします。

それでは、私の方からアクチニウム-225の製造実証の推進につきまして、アクションプランの進捗について御説明させていただきたいと思っております。

まず、1ページ目、開けていただきまして、こちらは昨年5月に原子力委員会で策定いただきました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概要でございます。既に御承知のとおりだと思います。この中で指のマークが真ん中のところにありますけれども、ここに「常陽」・加速器を用いたアクチニウム-225大量製造のための研究開発強化、ここが私ども担当するところございまして、「常陽」におきましても2026年度までにアクチニウム-225の製造実証を行うというところが一つの目標になっ

てございます。これにつきまして、状況について報告させていただきたいと思えます。

まず、2 ページ目でございますけれども、そもそもアクチニウムはどのように作るのかということについてまとめたものでございます。大きく製造法としましては三つございます。一つ目は、トリウム-229 をジェネレーターとして抽出する方法でございます。それから、二つ目は加速器を用いる方法、そして三つ目は原子炉を用いる方法でございます。

今世の中的には一番上のトリウム-229 を用いたものが主流でございますけれども、こちらは核兵器開発に伴って生成されたウラン-233、この関連で生じたトリウム-229 を使用して自然にできてくるアクチニウムを使うということでございます。これを持っていますのがアメリカ、それからドイツ、ロシアでございます、これらが世界的な供給元になります。供給量としましては、大体年間2 キュリー、約74 キガベクレルになりますけれども、これは前立腺がんがいますと約3,000 人分という、世界で3,000 人分ですので、供給が非常に不足しているということは明らかでございます。

この供給を増やす方法としまして、高エネルギー中性子照射場を用いる方法がありますが、このような照射場は世界的にないものですから、世界的には加速器を指向していると考えます。

一方、日本におきましては、私どもが所有する「常陽」、こちらが高エネルギー中性子の照射場ですので、こちらで作ることを検討するという流れでございます。

2 ページ目の右側の下の方に絵がございますけれども、ラジウムの226、これを「常陽」の中に入れて、高速中性子を当てますとラジウム-225 になりまして、自然崩壊でアクチニウム-225 になるというものでございます。この原理を使うということになります。

次のページを開けていただきます。アクチニウム-225 の製造フローをこちらに示してございます。上の方には「常陽」の写真が載っておりますけれども、これは試験炉ですので、比較的小さな炉でございます。熱出力は10 万キロワット、100 メガワットです。商用炉の軽水炉100 万キロワット級ですと、熱出力は3,000 くらいですので、約3% の熱出力の大きさとお考えください。こういったものでございますけれども、写真にありますように、真ん中ちょっと見づらいのですが、原子炉がありまして、その横に照射試料の試験施設がございます。「常陽」で照射したものをその隣の施設に地下のトンネルですぐに受け渡すことができるという非常にユニークな仕組みになっておりまして、ここで化学抽出を行ってアクチニウムを抽出していくことになります。

このフローでございますけれども、大きく三つの工程に分けてございます。下から半分でありますけれども、一番左側、照射前ですが、ターゲットになりますラジウムをここで装荷し、集合体の中に入れ込むという作業でございます。これを真ん中の2番目の図になりますけれども、実際に原子炉の中に装荷しまして、照射をする。その照射をしたものを今度は取り出し、そして真ん中地下通路ですけれども、そこをキャスクに入れて移送し、隣の、我々FMFと呼んでいますけれども、こちらの建屋に移して、ここで取り出して解体します。このFMFの中で化学処理をしてアクチニウムを抽出し、製薬メーカー等へ出荷するという流れでございます。

次のページに移ります。今申しました三つの過程に対しまして、更に詳細な工程をここにまとめてございます。最初の照射前でございますけれども、最初はラジウム、これを調達するということが必要になってまいります。この調達したラジウムの量によりましてけれども、やはりラジウムの取扱い、放射能的には難しくなりますので、受入れ施設の整備が必要となります。また、それを実際にターゲットとするための調整も必要となります。そして、それを照射用キャプセルに入れていきますので、そのキャプセルの製作、それからそれを集合体に入れていきますので、集合体の部材を調達して組み立てていくというのが照射前の工程になります。

次に、照射、移送、解体でございますけれども、集合体を移送しまして、実際に炉心に入れて照射をする、ターゲット照射、そして、照射したものを今度は取り出して移送することになります。移送しまして解体、キャプセル取出しを行います。

3番目は化学処理でございますけれども、取り出したターゲットを溶解して、アクチニウム-225を単離する。そして、分析をして、最終的には払出しということになります。また、もともとターゲットになりましたラジウム-226でございますけれども、こちらはほとんど減りませんので、しっかり回収して再利用するという工程がございます。

本日はこの中で進捗があります赤文字を報告させていただきます。また、青文字で書かれているところは今後実施予定でございます。また、灰色で書かれているところは、これはもう既存の施設、既存の技術でございますので、特に開発をする必要はなく、このまま使えばよいというものでございます。

では、次のページを開けていただきます。順番にまいりますけれども、まずラジウムの調達でございます。ラジウムの調達につきましては、様々な調査を行いました。まず、国内でございますけれども、機構内にそもそもラジウムがあるのか。これにつきましては、私

ども大洗研におきましては保有量としましては30ミリキュリー、1.11ギガベクレルがあるというのを確認できてございます。また、機構内全体ではそのほかにも220ミリキュリー、8.14ギガベクレルぐらいはあるということを確認しておりますけれども、これを使えるかどうかにつきましては更に確認を進めているところでございます。

それから国内の機構外でございますけれども、こちらは外部機関に調査を行っていただきまして、国内の線源を把握いたしました。その結果は、177ミリキュリー、6.55ギガベクレルがあるということが確認できておりまして、この中で譲り受け候補と書いておりますけれども、使える可能性があるというのが57ミリキュリーということでございます。

それから、海外におきましては、IAEAがグローバルラジウム-226マネジメントイニシアティブというものを立ち上げていただきまして、言ってみれば持っている国と持たない国を取り持っていただくというような仕組みでございます。これが動き始めていまして、まさに今週この会議が行われておりまして、となりの前田が参加しているところでございます。この中でどれくらいあるのかということにつきましては、全加盟国で77キュリーが登録されています。私どもも、電子メールで、実際にあるのかないのかということも含めて問合せしたところ、回答があったのが22キュリー分でした。これはくれるくないということではなくてあるということですね。これを含めて回答があるというところが22キュリーという部分でございます。また、その中で最も大きく保有している機関としては、大体大きさに6キュリーを持っているということが分かりました。

詳細は、今会議中ですのでここでは紹介できませんけれども、実際にどの程度各国が持っているのか、あるいはどういう国がニーズを持っているのかといったところが会議の中でやり取りされているかと思えます。この会議終了後に、実際にやり取りが開始されるのではないかと思います。

では、次のページをお願いいたします。6ページになりますけれども、ラジウム受入れに対する許認可の対応でございます。当然ラジウムを受け入れて照射していくわけでございますけれども、それに対しまして許認可の手続が必要になります。「常陽」におきましては、ラジウム、RIの取扱いということで、ラジウム-226非密封を追加するというところで許可を取る必要がございます。こちらにつきましては、昨年度骨子を作成いたしまして、今年度申請書類を作成しているところでございまして、一応第4四半期に申請をすることで計画しています。

また、原子炉施設としましても、使用の目的を追加することが必要でございます。これに関連した申請書の作成を今進めてございまして、こちらにつきましても下期に申請することで計画しているところでございます。

また、先ほど紹介いたしました実際に化学抽出を行う施設、FMFと称してはございますけれども、こちらにおきましてもR I 追加の許可を申請するというところでございます。こちらは娘核種も含めますと様々な追加が必要になってまいります。こちらも予定どおり申請書作成を行っておりまして、今年度第4四半期に申請を行う計画をしているところでございます。

また、核燃料使用施設ということで、こちらにも使用目的、それからグローブボックスを追加していくこととなりますので、これに対する申請が必要となります。このためのR I 申請書が固まり次第変更申請を行うことで計画をしているところでございます。

では、次のページに移ります。次のページは、ラジウム受入れのための機器整備として、グローブボックスでございます。グローブボックスにつきましては、一応3種類導入を考えております。一つ目は、既に令和4年度に導入しましたけれども、照射ターゲットを実際に作るためのグローブボックスであります。第1容器と呼んでいますが、これは既に設置が終わっております。それから、R 5年、R 6年の予定でございますが、ラジウムとアクチニウムを分離して精製するための容器、それから照射後のターゲットを取り出すための容器、こういったものを更に追加する予定となっております。これも一応計画どおり進んでいるところでございます。

それから、8ページ目に移りますけれども、ラジウム受入れのための機器整備というところで、ラドントラップと書きました。ラジウムの受入れですけれども、ラジウムは非常に半減期が短く、その後ラドンができます。ラドンになりますと希ガスになりますので、これがグローブボックス内に充満といいますか広がりまして、更に改変していくことによりまして固体成分になり、壁面に吸着します。これが被ばくの要因となってくるということでございます。こういったものを防止する、あるいは緩和するという目的で、このグローブボックスの中にラドントラップを設置することを検討しております。

下の図はラドントラップの一例で、東北大アルファ研さんの方で実際に装置として作られたものでございますけれども、基本的には原理は同じでして、私どものグローブボックスの中にこういったラドントラップを取り入れた設計が完了したという段階まで来ているところでございます。

それから9ページに移ります。照射用キャプセルの製作でございます。

こちらにつきましては、設計要求事項としまして、当然キャプセル集合体の中に入れますけれども、この中に入れる内容物、R I が外に流出することを当然防がなければなりませんので、気密性を担保しなければいけません。更には、ナトリウム冷却高速炉ですので、ナトリウムがキャプセルの中に入って来ることを防止しなくてはいけない、そういう点で気密性を担保することが必須になります。

このために、キャプセル製作、下に写真がございますけれども、外側の容器がありまして、その中に内側キャプセルを入れて、ナット、これをねじで締め込むという形がキャプセルになります。右側の写真が完成品といいますか組立てた形になりまして、更に右側の写真下側はこれをX線によって透過したものでございます。大体こうやって組み上がっていることが分かるかと思えます。

これと気密性の担保を確認するため、実際に試験を行いました。試験前の状況を確認し、それから加熱炉による昇温を行いまして、加熱が終わった後に実際に漏れがあったかなかったかということ、内容物を調べることによりまして確認を行いました。結果としましては、特に問題はないことを確認できたということでございます。

また、もう一つのポイントとしましては、やはり取扱いに優れた設計にしております。時間との勝負になります。照射してから取り出す、分解してすぐに照射物を取り出すことになり、溶接ではかなり厳しいので、ねじ構造とすることで、容易に組立てもできますし、また取り出しも迅速にできるようにしました。それは写真にあるとおりでございます。これにつきましても、先ほどの設計要求である気密性が担保されていることが確認できましたので、この方式で今後も進めることになります。

それから、10ページになります。照射後の集合体移送におきまして、先ほど申しました時間との戦いになります。図の左側の上にポチがございますけれども、「常陽」で照射したものを地下のトンネルを使って隣のF M F というところに移送するわけですが、通常ですと大体試料の取出しから移送までは20日間掛かってございます。「常陽」で照射したもの、それをF M F に移送して、ナトリウムが付いておりますので、それを洗浄して自然乾燥して解体するというのが通常のルートでございます。これを何としても縮めるということで、照射後F M F に移送する前にナトリウム洗浄を行い、それから「常陽」の施設でございまして、強制的に乾燥させてしまうということをやること、トータルで取り出しまでに5日間で済むということまで見通しが得られました。

実際にこれを確認する意味で炉外モックアップ試験を計画してございます。これは右側の図になります。実際に模擬集合体といいますかモックアップ集合体、これは実際に核燃料が入っているわけではなく、電気ヒータを入れて崩壊熱を模擬したものを作りまして、これを実際の既存設備で乾燥性能試験をやります。これによって実際に先ほど申しました5日間でできるかということの根拠を確認するということでございます。また、もちろん健全性を含めて見ていくということでございます。これを次年度試験することで計画しており、こちらにも計画どおり進んでいるところでございます。

それから、11ページに移ります。11ページはアクチニウムを単離、そしてあまり使わなかった、再利用の可能なラジウム-226の回収です。こちらは右上側にプロセスの図がございます。ラジウム線源を照射しました、照射後にこれを溶かしまして、これを隣のDGAレジンというところに持って行きます。ここで分離が行われまして、アクチニウムとラジウムに一応分離はされます。ただ、この時点ではアクチニウムは実は純粋な225だけではなくて、227も出てしまいますので、最初に分離したものについては捨ててしまうということでありまして。その捨ててしまっただけで残ったラジウム、このラジウムから自然に崩壊して出てくるアクチニウムを抽出する過程に移ります。分離液をもう一回DGAレジンに移しまして、ここで生まれてくるアクチニウム、これは225のみになりますので、これを分離していきます。ここでアクチニウムが分離できます。そして、残ったラジウムにつきましても、これを今度はLnレジンの方に移しまして、こちらで純粋なラジウム-226、また再利用できるものを取り出すという、こういうプロセスを作ります。これにつきましても、実際にラボベースですけれども、市販のフィルターも含めて十分な性能が得られるということが確認できました。

その一つのエビデンスですが、右下になりますけれども、実際にホット試験試料を確認しておりまして、DGAレジン、それからLnレジンでやった結果、アクチニウムとラジウム、あるいはラジウム単体の分離というものはしっかりできていることがわかります。特段分離については今のところ問題はないというところは確認しました。

それから、次のページに移ります。具体的な製造量の予測です。仮にですけれども、1キューリー、37ギガベクレルですね、1グラムのラジウム-226を「常陽」の中で60日照射した場合にどれぐらいできるかということを試算したものでございます。

こちら左側のグラフですが、まず、照射60日間徐々にラジウム-225ができてまいります。ラジウム-225ができますと、それに応じてアクチニウム-225が付随して出

てまいります。一旦止めますと急激にそれが下がるわけです。これはできたもの、アクチニウム-225につきましては227もできますから、先ほど申しましたように、捨ててしまいます。なぜ捨てるかということにつきましては、右側の下の図を御覧ください。まず、ラジウム-226からスタートするわけですが、これを照射しますと、ラジウム-225ができて左側に進みます。そしてまた左上にいきますとアクチニウム-225のピュアなものができますけれども、一方でラジウム-226は今度は右側の方にラジウム-227ができてしまいます。これが自然に崩壊してアクチニウム-227になりますので、この照射直後は225、227が混在することになります。これではなかなか分離はできませんので、一回アクチニウムを全部捨てます。捨てると純粋なラジウム-225が残りますので、これを使ってアクチニウム-225を抽出することになります。

先ほどの左側の図に戻りますけれども、左側の図で一旦捨ててしまったところからラジウムが自然崩壊して純粋なアクチニウムができてくるので、複数回分けてミルキングを行います。こちらは17.5日の間隔でミルキングをした結果、大体6回抽出すると、トータルで大体0.65キューリー、24.2ギガベクレルですね、1に対して0.65くらい生成するということが確認できました。

今、先ほど申しました世界の供給量が大体2というオーダーですので、それに対しまして1グラムのラジウムを使うと約0.65という程度の量ができるということが確認ができました。

これは私どもが勝手に設定した運転条件の中で評価したものですけれども、実際に医療関係に対してニーズを満たせるのかということにつきまして13ページの方で検討しております。医療側の要求は、同じ患者さんに8週間ごとにアクチニウムを4回投与することが必要だというニーズでございます。これに対しまして「常陽」の運転パターンでこれにしっかり応えられるかということを検討したものがこちらのシートになります。

5メガベクレルの量を4回投与するというので、最低年4回の運転でアクチニウム-225を製造すること、8週間おきに同量を製造することが可能かどうかというところを検討しました。その結果、先ほどの図と同様、ラジウムからアクチニウムができて、一旦捨てるというパターンが4回、1年のうち繰り返している図となります。これを8週おきに出すということで、こちらは条件としましては、先ほどは60日でしたけれども、真ん中の左側に書いてございますように、解析条件として、照射45日間、実際に製品として払い出すまでに6日間、アクチニウムの抽出を、先ほど6回でしたけれども、8回、7日間

隔としますと、合計運転日数180日の中でニーズを満たすだけのものができるということが確認できました。こういう運転パターンでいけば十分医療側のニーズを満たすことができるという確認ができております。

前立腺がんに絞りますと、年間1万4,500人くらいのニーズがあるということでございますけれども、これに対しまして1回の照射当たり2.4キュリー、88.8ギガベクレルのラジウム-226、およそ2.4グラムですね、のラジウムを照射することが必要になってくると。この程度のラジウムを照射すれば、日本人の患者に対するニーズを満たせるということになります。

それから、14ページは今申し上げたことをまとめたものでございます。昨年度の実績としましては、ラジウムの確保につきましては国内、それから海外に対して調査を行いました。その結果、十分かどうかは別としまして、一応あるということが確認できました。十分入手できるかどうかはこれからの交渉になりますけれども、線源としてはあるということが確認が取れました。

また、許認可としましては、今後R1変更許可の準備を進めていきますし、また原子炉の設置変更許可申請の準備も行っているところでございます。これも計画どおりです。

それから、照射試験の準備につきましても、モックアップ試験、R1分離/抽出技術の開発、ラジウムの取扱い、放射線ラドンの管理準備、それからラジウム-226の10ミリキュリーの確保、この辺りも着々と進めているところでございまして、こちらも特に課題はありません。

それから、製造量評価につきましては、医療側のニーズを満たす照射の方法というものを確認できたというところでございます。

それから、15ページは、これは当初お示ししました計画に沿うものでございますけれども、現在真ん中ぐらいにあります令和5年度になります。こちら「常陽」の運転再開工程、一番上でございますけれども、今新規制基準適合性審査においてまとめ資料を作成するところまで到達したということでございます。この評価を受けまして、その後運転再開に向けて更に進めていくこととなります。令和6年度末、2025年3月末を目途に運転再開を果たすという目標は今変えてございませんが、ちょっと今世の中の状況としまして、ウクライナ情勢の影響もあり、物価が高騰したり、材料が手に入らないといったことがやはり出てきてしましまして、今調整を行っているところでございますけれども、運転再開がずれる可能性は否定はできない状況にあると思います。一方で、アクションプランでお約

束しました2026年度末までに製造実証、こちらにつきましては何とかいけると考えております。こちらの目標まで後ろにずらすことは考えてございません。今の工程の中でこういった遅れが生じたとしても吸収して何としてもこの目標は達成したいと考えてございます。

また、真ん中から下に向けての様々なR&Dの展開につきましては、一応予定どおり進んでいると考えていただければと思います。

それから、最後のページになりますけれども、2023年度以降の実施内容についてですが、照射試験の準備につきましては、炉外モックアップ試験、先ほど紹介したとおりです。グローブボックスの追加整備、照射集合体等の詳細設計、許認可の取得、それからアクチニウム分離／抽出技術の開発、ラジウムの機構内の運搬、こういったものを準備として実施していく予定でございます。

また、照射試験としましては、実証試験その1ということで、これを2026年度中に行って、アクションプランをここで達成しようと考えています。それ以降は実証試験2ということで、スケールアップして量を多くし、どこまでいけるかというところを詰めていきたいというふうに考えています。最終的にはこういった工程を自動化して量産体制に結びつけていければと考えているところでございます。

17ページは、私どもの超えた領域にありますけれども、最終的にはやはり安定供給、それから製薬化まで結びつけていかなければならないわけでございますけれども、「常陽」で照射するためには、今は在庫燃料の範囲で進めてまいりますけれども、いずれは新しい燃料が必要になります。そのために今「常陽」燃料をどのようにして作っていくか、燃料製造に関わる許認可に対応して、どの施設で作るかということも含めて今検討を進めているところでございます。

それから、製薬化に向けた、これは我々の範囲を越えますけれども、やはり製薬化に向けた国や製薬メーカーの取組ということで、こちらは私どもが作るであろうアクチニウムについて、製薬化まで何としても結びつけていただけないかなということで、オールジャパンでできることをやっていく必要があるというふうに考えてございます。特に薬事承認とか、それからこちらは α 治療における治療施設の要件と書いていますが、要は α 線でございますので、その治療に当たって病院も様々な遮蔽だとか設備要件でございますけれども、 α 線でありますから少し緩和できるんじゃないかという話も聞いてございます。こういったものを含めて、より広く国民の皆様に治療を受けやすくするということも必要なのかな

と思います。そういったものを製造の後にもつなげていく必要があると思います。

また、こういったものを含めた量産体制でございます。量産体制につきましては、今「常陽」1基で予定してございますけれども、もちろん点検が入りますので、その期間を埋めていく必要がある。そういった意味では加速器と「常陽」をうまく組合せせる、あるいは可能であればもう一基炉を造ることによって間を埋めていくということも一つの方法かと考えます。そのような量産体制を更に検討していく必要があると考えます。

私の方から報告は以上になります。

(進藤参事官) 御説明誠にありがとうございました。

次に、量子科学技術研究開発機構より御説明をお願いいたします。本日は、量子科学技術研究開発機構量子生命・医学部門量子医科学研究所所長、内堀幸夫様、分子イメージング診断治療研究部部長、東達也様、先進核医学基盤研究部放射性核種製造グループグループリーダー、永津弘太郎様に御出席いただいております。

では、御説明をよろしくをお願いいたします。

(内堀所長) ありがとうございます。

量子医学技術研究開発機構の内堀です。どうぞよろしくお願いいたします。

本日は、量子科学技術研究開発機構QSTにおけますアクチニウム-225の製造に向けた取組について説明させていただきたいと思います。

本日は東の方から説明させていただきます。

(東部長) よろしくをお願いいたします。東でございます。

それでは、2ページに移ります。まず概要として、放射性医薬品全般、ラジオセラノステイクスの将来像ということで、Lancet Oncol 2020年の図を紹介させていただきたいと思います。この分野伸びが非常に期待をされている分野、特にこのLancet Oncol誌につきましては、今回議題になっておりますアクチニウム-225ではなくてルテチウム-177、既存のβ核種ですけれども、こちらを中心としても市場規模が2030年には1兆円規模になるだろうというような予測も出ておまして、非常に期待される分野であるということと言えます。

前半部分に関しまして、このような全般的な国内情勢、国際情勢についてお話をしまして、後半につきましては私どもに課せられましたアクションプランでの課題、その1年間のフォローアップについてお話をしたいと思います。

次3ページでございます。こちらアクチニウム-225の核種製造法についてのまとめで

ございます。先ほどJAEA様からも御紹介がございましたけれども、既存の方法としては従来法①と書いてございますように、トリウム-229のジェネレーターからの抽出のみということで、米国、ロシア等から供給されているという状況で、世界的に供給不足であるという状況にあります。

これに対して、やはり新たな製造法の開発が必要ということで、私どもも参加いたしました2018年のIAEAのワークショップ等でもいろいろな討議がなされましたときのスライドをこちらに準備をしております。いろいろな製造法がやはり検討されまして、丸がチが付いておりますけれども、我々QSTではこのような方法でラジウム-226に対するこの照射の方法を加速器で行うということについて研究開発をこれまで進めてきたという経緯でございます。

4ページに、世界情勢として米国のアクチニウム-225の製造開発について御説明します。エネルギー省のDOEから非常に強力なサポート体制がございまして、左側に関しましてはビルゲイツ氏の率いるテラパワー社がこの従来法を更に拡大させていこうということでいろいろな研究開発を進めていること。右側に関しましては、アメリカが誇る三つの大きな研究所であるOak Ridge、Brookhaven、Los AlamosがTri-Lab Teamというのを結成して、超大型加速器100MeVという大きなもので、長時間照射による製造・供給を行うというプロジェクトが進んでいるというような状況。しかも、米国の場合はこの原料となりますトリウム-229であったりウラン-233などもたくさんあるということで、非常に潤沢な原料、それから製造施設等をお持ちというような状況であるということになります。

ちなみに、アクチニウム-225、現在は前立腺がんだけではなく、いろいろながんに使われつつあり、5ページに御紹介差し上げますけれども、FAP製剤を例として挙げます。Imaging製剤とTRT製剤として、イメージングにも、それからアクチニウム-225を用いた治療にも用いられる薬が開発されている状況です。前立腺がんだけではなく、こちらの左の図にございますように、乳がん、胆管がん、肺がん、膵がん、その他いろいろながんにも使われているという状況で、この右の真ん中の図のように、いろいろな治験が既に始まっているという状況で、やはりアクチニウム-225を中心としますこのような核医学治療薬剤の分野は、話題に事欠かないということになります。ちなみに、このFAP製剤に関しましては大阪大学も研究をスタートしたという情報が漏れ聞こえております。

6 ページでございます。国内で必要とされる核種の総量ということで、私ども一つの目安として前立腺がんを挙げて計算を出しました。先ほど J A E A 様からも御紹介がございましたけれども、世界的には前立腺がんの死亡者数の半数ぐらいが治療対象になる、国内でも同じような形で計算できるのではないかとということで、一つの目安として出させていただきました。

既にルテチウム-177 標識 β 線製剤を使いました PLUVICTO というものが米国では承認されておりまして、そちらを中心に核医学治療を行って、更に難治性のものがアクチニウム標識製剤で治療されるというようなシナリオを作りましたところ、アクチニウム標識 PUMA 製剤に関しては国内で 7,000 人に年間使われるとして、0.15 テラベクレルぐらいが必要になるのではないかとという試算結果が出たということになっております。

7 ページでございますが、そんな中、国内でアクチニウムは今どれぐらい流通しているのかということになります。最初に御紹介いたしましたように、アクチニウム-225、従来法での製造に関しましては、図の左側のようにアメリカ、フランス、それからロシアからの供給というものがございましたけれども、昨今のウクライナ情勢等でロシアからの供給が止まっており、国内では供給体制、国際的には流通が 3 分の 1 ぐらいは減っているというような非常に難しい状況です。その他にも海外からの供給体制の整備が検討され、また国内でも少量ながら製造している施設と言うことで、メジフィジックスと Q S T をはじめとして、国内でも 2018 年から 2021 年までにかけてこのような流通があるということをお紹介させていただきます。

先ほど御紹介いたしました、将来の臨床上国内で必要になると申し上げました 0.15 テラベクレル、すなわち 150 ギガベクレルに比べまして、まだメガベクレル単位しか国内では流通していないということですので、やっとな基礎研究ができる程度しか現在国内では流通していないということがお分かりいただけるかと思えます。

8 ページにアクションプランについて御紹介を差し上げます。私どもが担当しますのは、この赤い四角で囲った部分になります。重要ラジオアイソトープの国内製造・安定供給、それからラジオアイソトープの国内製造に資する研究開発の推進というところで Q S T は尽力してまいりました。

9 ページに原子炉、加速器の比較の話がございます。アクチニウム-225 に関しましては、原子炉での製造ということで J A E A 様から非常に素晴らしい御発表を頂きましたけ

れども、やはり原子炉だけではなく、加速器にもそれなりに利点がございませう。こちらにまとめて比較をしておりますけれども、原子炉はやはり大量製造という大きな利点を持っているわけでございますが、やはり稼働が年間を通じてずっとできず、休止期がございませう。一方、加速器の利点は比放射能の高いR Iが作れるということで、研究開発に向かっていたり、コンパクトな施設で作れる、これらの利点を生かして、原子炉及び加速器のそれぞれのベストミックスですね、そういうものが医療安全保障の観点からも大変重要でないか。これはアクションプランでも提唱されている概念でございまして、このような医療安全保障の点からも加速器の製造、開発を進めるべきだというのが私どもの考え方でございませう。

それを受けまして10ページでございませうが、加速器がよいのか、原子炉製造がよいのかということで、前立腺がんとしてこれぐらいに使う場合にはどうしたらいいか、その上で我が国がアクチニウム-225の供給体制としてどのぐらいの製造量を目指すのか。それから、下の段では、どれぐらいの品質を目指すのかということが課題になります。基礎研究レベルでいいのか、それとも治験まで目指すのか、更に承認薬剤への供給や国外への輸出ができる程度まで作るのか、この辺りを考えてまいりますと、やはりそれぞれギガベクレル以下、ギガベクレル程度、テラベクレルレベルまで作るべきとなりますので、やはり原子炉だけではなく加速器で基礎研究、治験等を進めながら原子炉を使いながら海外輸出を目指す、このようなベストミックスが適切ではないか。さらに、品質が大事ですので、GMPすなわち、グッドマニファクチャリングプロダクトとして法律に基づいた形で治験薬、承認薬には厳しい規制がございませうので、これに対応した製造設備と体制を作っていくというような考え方が必要となります。

更に海外輸出を考えますと、Drug Master File、国内ではほとんど使われていない規制の考え方でございませうが、こういうものに対応しながら海外輸出も考えていくということが必要になってくる、これを加速器製造においても原子炉製造においても両方で考えていかないといけないというのが私どもの考え方でございませう。

11ページでございませうが、そんな中、R I医薬品の開発ということに我々Q S Tはこれまで尽力してまいりました。一般的な医薬品開発といいますのは右寄りの青でくくった部分になりますが、一般医薬品では研究開発、製品開発、事業化、産業化とだんだん右に進んでいくに従い、魔の川、死の谷、ダーウィンの海というような大きな障害があると言われていませう。さらに、研究開発にはお金が掛かる、一般に1,000億円規模の開発費用

が掛かるというふうに言われており、国内では特にR I の分野でいいますと、更に左の上流部分に核種原料調達、核種製造開発が絡んでくる。しかも全ての工程においてR I 医薬品の場合はR I 管理が必要になってくるということで、非常にハードルが高かった。そのために海外製品の輸入に頼ってきたという現状がございます。

そんな中で我々Q S Tとしては、この原料調達や核種製造開発のところから、更に産業化のところまで含めていろいろな研究開発を進めてまいりましたので、これらに関しても後ほど簡単に御説明をさせていただきたいと思えます。

1 2 ページに私どもが行うアクションプラン公表後に達成した大きな成果でございます。アクチニウム-2 2 5 の加速器による製造研究について御紹介をいたします。ラジウム-2 2 6 からアクチニウムを作る際に、我々は加速器でプロトン照射をする方法でアクチニウム-2 2 5 を作るという技術開発を進めてまいりました。もともと医療廃棄物として保管をされておりましたラジウム-2 2 6 をターゲット用に加工するというところからスタートし、メジフィジックス社と共同で複数の知財を確立し、アクチニウム-2 2 5 製造関連から精製に至る過程についていくつかの特許等も取得し、技術導出して、創薬拠点を2 0 1 9 年に千葉県に設立し、2 0 2 2 年4 月には世界初のギガベクレル単位のアクチニウム-2 2 5 の製造を実現したという成果でございます。

次の1 3 ページでございますが、アクチニウム-2 2 5 の製造開発の全体像を示しております。このラジウム線源を物理的に破壊をしまして、精製し、固定化し、アクチニウムとラジウムを分離をいたしまして、アクチニウムを精製して提供します。更にラジウム2 2 6 は大半が回収できますので、更にサイクルを繰り返していくということになります。

私どもはこの全工程におきましてラジウムのリサイクル率として9 0 ~ 9 8 % 達成しております。ということで、この加速器を利用したプロトン照射によるラジウム-2 2 6 からアクチニウム-2 2 5 製造法を我々が確立し、我々が知財も押さえたということが言えると思えます。

1 4 ページに私どもがこの関連で得ました知財等の一覧を示します。この出願したものと、それから赤字の部分が特許として既に取得をされている部分ということになります。特にアクションプランのフォローアップとしましては、2 0 2 2 年ということで赤く付いております2 番目の部分が特許取得、それから7 番目の部分も特許取得ということで、確実にこの分野に関しましては私どもが世界的にも知財を得て、この分野世界をリードする成果が得られていると考えております。

15ページのように、残念ながら私どものQST千葉地区ですが、大型サイクロ施設において電源部分の火災がございました。ピンク色の部分が大きな影響を受けたということで、大変な問題になっています。これが一昨年の11月でございます。

16ページでございますが、これまで私どもQSTとして2016年から製造開発を進めておりました薬剤の一覧です。上から既存薬であるβ線核種の銅-64を用いた研究開発。それから、アスタチン-211、新規α線核種に関する製造研究開発。それから、アクチニウム-225に関する製造開発。これら三つに关しましては2021年の火災によって一部は治験継続が困難になりましたが、このMABG研究については福島県立医大に技術移管して、福島県立医大で治験がスタートしております。

3番目のアクチニウム-225製剤に関しては、核種製造ではいろいろな特許を取得し、既にメジフィジックス社に技術移転をしギガベクレル単位の製造を達成しておりますが、薬剤製造開発の面では、うまくいっていない部分もあるというような状況であります。

それから、後ほど御紹介差し上げますけれども、下の段に示しますようにトレーラーハウスRI施設というものに関しても順次いろいろな研究開発を進めています。

一方、大きな影響を受けておりますのが一番下の段の次世代セラノスティックス用の核種製造になります。アクチニウム-225関連は国内のアクションプランでも非常に注目されている分野でございますが、更に10年後、20年後を見据えた場合には、次世代の新たなセラノスティックス用な核種を用いた医療応用というものが注目されてくる可能性がある。そのようなシーズをしっかりと拾い起こして研究開発を進めていくためには、私どもは大型サイクロトロンが必要ではないかと考えております。この部分が火災事故により研究計画が不可能になっているということで非常に困っている状況でございます。

17ページです。サイクロトロン火災に伴いいろいろと対応をすすめてまいりました。小型サイクロトロンは何とか修復可能でしたが、これだけで運用して、加えて核種を外部調達するだけではいろいろな治験、非臨床試験には対応できないということになります。理論上は小型サイクロトロンのみでもアクチニウム-225の製造は可能ですけれども、やはり治験に対応可能な必要量の製造等は難しいということで、外部から核種を購入することも検討しました。外部調達先として、米国エネルギー省、それから米国のNIDC、このようなところ、あるいは米国の民間企業等、それから日本メジフィジックス社から調達できないかと、いろいろと私どもも対策を練ってまいりましたけれども、なかなか難しいというのが現在の状況ということになります。詳しく説明はしませんけれども、世界的に

アクチニウム-225 需要の増大がございますので、調達状況は厳しく、我々としても何とか複数の調達先を確保しながら、我々の進めている研究開発を更に進展させていきたい。その上で、やはり自前でもアクチニウムは作れるような環境をうまく構築していきたいというのが我々の本音でございます。

18 ページに大型サイクロトロン の復旧について簡単に述べております。やはり今後の研究の発展のためには大型サイクロトロン の復旧が必要であると考えてはおります。皆様のお力を頂ければと考えております。

こちらに示すように、量子医科学コンプレックス構想として、医療用に供給できる潤沢な核種の供給ということを考えて大電流の大型サイクロトロン等の導入した拠点施設整備の構想を練っておりますので、お力を頂ければと思います。

それでは、後半でございますが、私どものフォローアップということで、QST の取組について御説明を申し上げます。

20 ページ、アクションプランに記載のアクチニウム-225 のQST 関係の技術ということで、左下の方に取組の方向性、それから政府による具体的取組というところを挙げております。大目標として、アクチニウム-225 に関してはJAEA 様が御発表なさった高速実験炉「常陽」を考えておりますけれども、先ほども申し上げましたように、ベストマッチとして加速器での開発も大変重要ではないかと我々考えております。その意味で、左下のように、スケールアップのための技術開発、それから国内外のラジウム-226 の獲得、医療利用のための研究、それからRI 製造から製薬分野での知財確保等が重要ですし、さらにアクチニウム-225 製剤の臨床試験に向けた研究の加速、それから産学官連携での加速器製造の本格化、この辺りが重要で、私どもに課せられた課題というふうに考えております。

21 ページでは私どもの取組の一つを御紹介いたします。標的アイソトープ治療研究に関する検討会を私どもは2017 年からスタートをしてしております。第1 期が2017 年から2020 年まで、第2 期ということで2021 年からスタートし、第2 期に関しましては2021 年9 月、22 年1 月、22 年11 月の3 回の検討会を行い、これらの3 回の討議内容を取りまとめまして、令和5 年4 月、QST ホームページで報告書を公開しております。これが「臨床試験に向けた研究の加速、産学官連携」に当てはまると考えております。このような形で産学官連携でオールジャパン体制での研究を今後も推進してまいりたいと思います。

22ページですが、アクチニウム-225の小型加速器による製造による世界発のギガベクレルレベルでの製造の成功は大きな私どもの成果であると考えております。こちらは日本メジフィジックス社との共同でのAMED CiCLE事業での研究成果でございますが、「スケールアップのための技術開発」と考えております。加速器を用いてギガベクレルレベル、いわゆる治験薬として十分な供給レベルと考えますけれども、このレベルまで達成できたということは、アクチニウム-225の国産化に向けて大きな前進であると私ども考えております。

それから、23ページでございますが、アクチニウム-225標識の抗ポドプラニン抗体製剤についての研究開発について私どもの成果を御紹介いたします。対象疾患は悪性中皮腫という、いわゆる建設業界の業界病とも言われるアスベスト暴露による悪性腫瘍ですが、患者数も年間日本でも900人、先進国だけでも1万人を超えるということで、先進国以外の開発途上国などでは依然としてアスベスト環境は悪く患者増加が予測されているということになります。

この抗体は、ポドプラニンに非常に接着性がよい、東北大学、加藤幸成先生の開発いたしました抗体を用いており、イメージングとしてインジウム-111、β線治療としてイットリウム-90、α線治療としてアクチニウム-225を標識するという形で既に基礎的な研究成果を上げております。AMED革新がんにて2022年に採択されまして、現在2025年の治験開始を目指して、非臨床試験が始まっています。

アクチニウム-225を用いた非臨床試験というのは国内で我々が初めてということで、非常に期待されていますが、現状としては、物価高騰の影響などをうけカニクイザルの実験等が非常に高騰し、代替でマーモセットを使う、あるいはヒトのポドプラニンのノックインしたラット・マウス等を作成するなど、代替案を用いながら非臨床研究を現在進めている状況でございます。

24ページですが、こちらはトレーラーハウス型RI施設プロジェクトについての御紹介です。RI放射性治療薬というのは必ずRIの管理区域で投与する必要がありますけれども、甲状腺がんのヨウ素-131に代表されますように、非常に治療病床は運営費用が高額ですし、建設にもお金が掛かる。さらに、国内での既存施設はほとんどが老朽化していると言ったいろいろな問題がございます。そんな中で今ルテチウム-177という新規のβ線核種標識製剤もどんどんと導入され、管理区域や治療病床というものが不足する状況の中で更にアクチニウム-225製剤の導入が予想されるということは非常に国内の医

療環境が苦しくなるだろうという状況であります。一方、飛程の短い α 線であれば移動型のトレーラーも使えるのではないかという発想で、2020年、我々はこのMCATの特許出願いたしましたして、2021年には実車を納入して、2022年6月には原子力規制庁からRI法での承認を得たという状況でございます。

これを今後はアクチニウム-225製剤についての臨床に用いていこうと、引き続き厚生労働省の細野班で医療法利用に関する検討も始めており、令和4年度の報告書も本日公表されましたが、現在千葉市保健所との行政相談を開始しており、数年以内にはアクチニウム-225製剤の治験からスタートしていきたいと私ども考えております。

こちらは「アクチニウム-225製剤の国内利用環境整備」での大きな前進であったというふうに考えます。

25ページに関しましては、このトレーラーハウス型RI施設について詳細が記されています。これは医療環境の整備ということでも大変よい提案であると我々考えておりますが、規制当局側にも大きな利点があり、形式承認が可能になるという点です。多くの医療施設からRI法や医療法についての承認申請が多数出ることによって行政側にも負担が大きくなっているのに対して、MCATのような一律の同一仕様のモデルは申請承認作業の負担軽減という意味で、行政側、規制側にも非常に利点があるのではないかと、医療環境の改善には資するというふうに私ども考えております。

25ページでございますが、更に私どもの方では、 α 線放出核種アクチニウム-225標識製剤のGMP製造設備の整備を進めております。先ほども申し上げましたように、アクチニウム-225の核種製造の部分は大型サイクロトロンが火災事故がございましたのでストップしているわけですが、その下流の部分で薬の製造設備の整備を進めております。こちらに関しましては、AMEDの医薬品等規制調和・評価研究事業から調整費を交付いただき、国内初のアクチニウム-225に対応しました α 線放出核種標識製剤のGMP製造設備の整備を令和5年3月に完了いたしました。こちらを用いて、今後は高品位なアクチニウム-225製剤の製剤化・品質検定を実現していきたいということで、アクションプランで提唱されており「アクチニウム-225製剤の臨床試験に向けた研究を加速」というところに合致した動きであるというふうに考えております。

次の27ページに詳細が書いてございますが、これまで画像診断棟PET薬剤製造エリアでPET薬剤の製造を行っていた一画を、この α 線核種アクチニウム-225製剤のGMP設備に改造したという状況です。今後の需要と計画に対応すべく α 線放出核種の使用に

特化したラボに改造するという形で治験開始に向けて準備を進めているという状況でございます。

次のページ、28ページに詳細図がありますが、ホットセル、ドラフト、無菌アイソレーター等を整備し、今後はこれを利用し、臨床応用ガイドラインの策定なども進めていきたいと思っております。このような追加交付を頂きましたAMED研究の目標は、国内で整備されていないアクチニウム-225などを含めた α 線に関する非臨床や、臨床の治験等に関するガイドラインの作成整備ですので、私どもの国内初めてのホットラボによって治験データ等を積み重ね、国内のガイドライン等の整理について尽力したいと考えている次第です。

29ページでございますが、先ほど御紹介いたしましたように、私どもの施設の大型サイクロン、AVF-930が今使えない状態になっており、現在稼動可能なのがCYPRI S HM-18です。こちらでアクチニウム作れないかということで、図に示します短寿命生産コース1、2を利用しようと整備計画を進めております。

30ページでございますが、この短寿命核種生産コースの1、2の改造等を進め、アクチニウム-225を製造できないかと整備等を進めているという状況です。これまでこちらの小型加速器はPET研究のための短寿命核種を作っていた部分ですので、私ども脳研究等でもPET核種を作っておりますので、その辺りと兼ね合いになりますけれども、アクチニウム製造についての検討を進めております。

次のページでは、アクチニウムを実際に作れるようにするために、使用量の許可変更や吸排気の設定導入その他が必要になると示しています。予算面での問題があり進んではいませんが、アクチニウム-225の国産化に向けて引き続き尽力しているという状況でございます。

最後のページでございますが、ラジウム-226の確保についてです。今週からIAEAが主催するグローバルイニシアティブというものが始まっており、私どもQSTも参加をさせていただいており、検討を進めているという状況でございます。

最後のとりまとめが33ページになります。この2022年から23年のフォローアップということで、QSTの取組として、標的アイソトープ治療に関する検討会、アクチニウム標識抗ポドプラニン抗体の非臨床研究、トレーラーハウス型RI施設のプロジェクト、GMP製造設備整備、小型の加速器を用いたアクチニウム-225製造計画への着手、さらにまた、IAEAとの連携を挙げて、まとめといたします。

最後に追加資料ですけれども、モリブデン-99からテクネ-99mの製造に関しても、簡単にコメントをまとめてまいりました。35ページになります。利点と欠点まとめてございますが、テクネチウム-99m、それからモリブデン-99、両者とも加速器製造はできるけれども、昨今の電力事情等を勘案しますと、なかなか医療経済的には難しいなどというのが私どもの考えとなります。

時間超過いたしましたけれども、以上でございます。ありがとうございました。

(上坂委員長) JAEAの大島様、QSTの内堀様、東様、御丁寧な御説明、ありがとうございました。

それでは、委員会の方から質問させていただきます。それでは、佐野委員からよろしくお願ひします。

(佐野委員) 詳細にわたる御説明、ありがとうございました。大変よく分かる資料を頂きました。

今回は昨年作成したアクションプログラムで、目標、ターゲットを設定したわけですが、それについての進捗状況をお伺いしたいと思います。やはりウクライナ戦争による資機材の高騰とか電力の高騰とか、あるいは火災とかいろいろ予期せぬ事は起きます。しかし、工夫して、皆様このターゲットを何とかクリアしようという努力をされているのはよく分かりました。

先般開かれた広島サミットの首脳声明でもこの放射線の医療応用についての言及がありました。これを進めていくという一文が入っております。本件は国際的にも非常に注目を浴びてきているし、昨年作ったアクションプログラムを何とか実現していく努力が必要だと考えます。

私の方から特別質問はないのですが、2027年度末までに国内需要の約3割を製造、これはだからモリブデン-99、アクチニウム-225については2026年度まで製造実証をし、アスタチン-211については実用化に向けた取組を強化し、2028年度をめどに医薬品としての有用性を示すとあります。それからQSTも、繰り返しませんけれども、大体どうでしょうか、目標達成するために様々な障害があるでしょうが、特に原子力委員会、あるいは政府関係者に対してこういう面で協力や支援が欲しいという点がありましたら、お願いしたいと思います。

(大島理事) それでは、JAEAの方から。

今回私どもの方から報告させていただきましたのは、ほぼスケジュールどおりで進めてい

るというお話でしたけれども、これから工事が始まってまいります。こういった工事に向けて先ほど出ました物価上昇につきまして必要な予算が膨れ上がっていくことは事実でございます。これを何とか予算確保して予定どおり進められるかというのが一つあります。

それから、規制に関しては、規制庁の中に「常陽」審査チームを作っていただきまして、審査を加速していただきました。今後も、これはお願いでありますけれども、同じような形で「常陽」に対する様々な審査というものにつきまして、効率的に行っていただけますと大変有り難いです。

あとは、もともと懸念しておりましたラジウムですが、製造実証に必要な最低限の量を確保できましたので、突き進むだけと思います。事故とかに気を付けて、きちんと進めていけば達成できると考えております。

(内堀所長) Q S Tの方は、先ほどもお話ありましたように、大型サイクロトロン火災への対応が非常に大きな課題であります。現在研究現場としては様々な研究開発を大型サイクロトロンなしで進めておるところですけれども、やはり大型サイクロトロンの復旧というのは必須だと考えております。各関係省庁と協議し、御協力いただいているところですが、更に御支援いただければというふうに考えております。

そのほか、やはりオールジャパン体制で研究開発を進める必要があるかと思っておりますので、これらについてはアカデミアあるいはそこから産業界等々協力して進める必要がありますので、そういったところにも是非御支援いただければというふうに考えています。

(東部長) ありがとうございます。

本日も御紹介いたしましたけれども、アクチニウム-225用のトレーラーハウスR I管理区域に関しましては、これ全く国内では初、世界的にもこのような施設をR I管理区域として独立に運用するものに関しては初めての試みとなります。やはり初めての試みというのはなかなかハードルが高く、R I法に関しては承認を得るのに1年半ほどかかりましたが、今後は医療法の対応ということになります。現在千葉県保健所の方では好意的に御協力いただいている、うまく進めてはおりますけれども、単独の保健所だけではなくて、厚生労働省の班研究の細野班の方でも規制側の方での対応というものに関してもきちんと検討を進めております。引き続きこのような規制面でのご協力を頂ければと存じます。

一つ例を挙げて申しますと、今どんどん国内でも整備が進んでおりますルテチウム-177に対する核医学治療の施設として、これまでR I管理区域として使われていた壁が厚く堅牢なR I治療病室ではなく、特別措置病室が使えるようになったことは、R I治療分野

では大きなエポックメイキングの出来事です。こちら厚生労働省の班研究の細野班で実現したのですが、国内ではR Iの規制については厳しく制限されていたものが、きちんとしたプロセスを経て新たに承認されるということが、この分野を発展させる大きなインパクトではないかと考えていますので、このような規制側や行政側でも御対応いただければと考えております。

それから、今週から始まりましたラジウム-226のグローバルイニシアティブ参加した印象です。ラジウム-226の入ったドラム缶を戸外で潰して処理しているような放射線規制の緩い国もあり、驚きました。国内で同じ対応は難しいなと考えますが、ラジウム-226は思った以上に世界的には豊富にあると再認識いたしましたので、有効利用できるような施設、再処理施設のようなものの国内整備や、例えばODA等で日本から技術開発の資金提供をして現地でラジウムの再処理を行うといった方法が可能なら、医療応用に向けての大きなステップになるのではないかと考えておりますので、政府関係の方々にもご検討していただけるといいなと思いました。今回このIAEAのワークショップに参加しました、私からの率直な感想でございます。

私からは以上でございます。

(佐野委員) どうもありがとうございました。

お話をお伺いしていると、関係省庁、厚労省、規制庁も含めてまあまあうまく話が進んでいるという印象を受けました。恐らく来年の今頃もう一度フォローアップの会合を開くことになると思いますが、その過程で、政府が関係することで何かの問題が生じた場合は是非原子力委員会の事務局の方と相談していただいて、うまく活用していただければと思います。

以上です。

(上坂委員長) 岡田委員、お願いします。

(岡田委員) 御説明ありがとうございます。

私の方からは基礎的な話になりますけれども、まずはJAEA様の方で、8ページのところのラドントラップのところを御説明していただきたいのですが。このラドントラップというのは、ラドンが出てきて、気体なので、それが付着してほかの娘核種もそこに張り付いてしまうということで、これをトラップしないといけないということですね。この前のページの7ページのところの、全部のグローボックスに設置するということでしょうか。

(前田課長) 原子力機構の前田でございます。

実験室レベルで最初考えていますので、基本的には内製、グローブボックスの中、要はグローブボックスの壁面をできるだけ汚染させないようにすることで、グローブボックスの中でこういった一式を入れたいなどは思っておりますが、取扱量が増えてくればグローブボックスの排気の途中に、要は建屋の排気系に直接流したくないというのがありますので、途中でトラップして減衰させてから建屋に流すというような、もうちょっと一歩外側に出たような処理も必要になるかもしれないと思っております。まずは実験室レベルでの実証ということで、これに近い形ですね、グローブボックスの中を汚染させないように局所的に引いてラドンを吸着するというようなことを考えております。

(大島理事) ラドンは気体ですので、これらが通っていきまるとそれが飛んでいく中で崩壊して別の物質に変わる。これは固体になりますので、固体になったものがくっついてしまうとそこについてしまう、そこでラドンのうちに吸着してしまうという方策です。

(岡田委員) はい、分かりました。

あと、キャプセルのところなのですが、キャプセルに関しては、これステンレスですよ。

(前田課長) はい、そうです。

(岡田委員) これは繰り返し使うものなのですか。

(前田課長) いえ、キャプセルにつきましては使い捨てを基本的に考えております。外側キャプセルについては再利用可能かと思っておるんですけども、キャプセルの中の内側は使い捨てになると思っております。

(岡田委員) 分かりました。ありがとうございます。

もう一つですけども、11ページのところで、これは先ほどの説明でよく分かったのですが、右側の図がありますね、この図のところで、DGAレジンのところで取ってしまって、溶出させ、次に進むということですね。次の図、製造量の予測のところのこの図の17.5日間のミルクキングで処理をしていくということなのですね。

(前田課長) はい、そのとおりでございます。11ページの図でいきますと、この繰り返しの部分は上側の右側のDGAレジンのところを繰り返す形になります。

(岡田委員) 分かりました。それで最後はラジウム-226を回収して使うと。分かりました。それでは、次、QSTの方への質問させていただきます。

9ページのところですね、9ページの原子炉と加速器のRI製造の比較のところですが、これ一般の人にはなかなか分からない言葉ですが、原子炉のところでは大量製造が可能、そして加速器は比放射能の高いという、この表現というのはなかなか分からないのではない

かと思うのですが、御説明していただけないでしょうか。

(永津グループリーダー) Q S Tの永津でございます。

ここで申し上げている原子炉で大量製造というのは、1回当たりの照射で、例えば10キュリー、100キュリーレベルの生産量が見込めるのが原子炉という考え方を述べております。加速器の方は、同じように1回当たりのおよそ製造量は数キュリーが最大値となりますので、両者の間にはこの絶対値としての差がございます。

一般論となりますが、いわゆる研究炉でR Iを製造する場合は、熱中性子を付加させることによって質量数を増加させる放射化、つまり基本的には比放射能が低めの生産物になってしまいます。一方で、加速器の方は核変換、陽子やアルファ粒子といった荷電粒子でターゲット物質を照射しますので、原子番号が変わります。この結果、ターゲット中に生成するR Iは別の元素になりますから、極めて高い比放射能になります。放射性医薬品として調製する場合は、薬効が出ないことが大前提です。治療は別ですが、いわゆる診断薬の場合は薬効が出ないこと、毒性が出ないことが基本でありますので、絶対論として比放射能の高いものというのが好まれるという傾向がございますので、こういう書き方をさせていただきました。

(岡田委員) ありがとうございます。

そこで両機関に御意見をお聞きしたいと思います。一般の人たちに、例えば α 製剤、こういうのを知ってもらわなければならないというときに、私たち放射線の話をするとき、 α 、 β 、 γ と言いますが、なかなか一般の人たちは放射線の種類というのは分かってもらえないけれど、この医療に関しては非常に α 線がいいんだよとか、明確に分かると思うのですね。そこで、原子力委員会ではコミュニケーションの橋渡しとして、コミュニケーターという方々が、一般の人たちに分かりやすい説明のできる存在として推奨しているのですが、そういう場合に皆さんの機関でコミュニケーターのような方を呼んで見学をするとか、そういう一般に近いコミュニケーターの方を見学などで受け入れ説明をするというような活動はなさっているのでしょうかということを知りたいです。

(大島理事) J A E Aの方としましては、直接一般の方を呼んで育成するということは特段しておりませんが、一方で見学、視察、こういった機会をなるべく多く作ってですね、現場を見ていただく、ものに触れていただくことを積極的に進めているところでございます。来ていただいた方、例えば、地元の住民の方々とか大学の先生も来ますけれども、初めて来て、「ものを見るのは大事だね」といったことはいつも言っていますので

で、そういった活動は積極的に行っています。

今もしそういった方も見学とか視察をするというチャンスが欲しいというのであれば、こちらでアレンジすることももちろん可能です。

(岡田委員) ありがとうございます。

(Q S T担当者) Q S Tでは研修事業というのを行っております。基本的にはプロの方といたしますか、そういった方、あるいは教員の方であったりとか、そういった方が中心ですけれども、基礎クラスのコースでは学生の方であったりだとか、あと若い方に来てもらう、あるいは一般の方を対象にするようなことも考えております。

また、一般公開というような形で年2回施設を開いてそこを見ていただくということもやっております。

また更に、先ほどコミュニケーターというお話がありましたけれども、未来科学館のコミュニケーターの方々と我々のシンポジウムに来ていただいて、そこで会話をして、引き続きそういった方ともお付き合いさせていただくというようなこともそういった形で行いますし、我々の施設については一般の方にも見学に来ていただきますので、お申込みいただければ御覧いただけます。

(岡田委員) ありがとうございます。

以上です。

(上坂委員長) それでは、上坂です。

細かい技術的なところをJ A E AとQ S Tにお伺いして、全体の話聞かせていただきたいと思うのですが。

まず、J A E Aの最後のページ、まとめでしょうか。今日は「常陽」再稼働もあって、そこでアクチニウムを製造すると。それから原料のラジウム-226を確保するというお話が中心でした。これはやはり薬剤ですから当然J A E Aさんは薬品メーカーではないので、その薬品メーカーと、取組といたしますか共同作業、連携がいますと思います。薬品メーカーとの連携について、今どのような協議になっているのですか。

(大島理事) 国内におきましてR I製剤メーカーさんがいますので、そういったところと意見交換を行っております。どういう状況になれば製薬をしていただけるのかについてはやはり条件等ありまして、言葉は悪いですが、商業活動になりますので、ボランティアというわけにもいきませんので、そういった生産性といいますか採算性が取れない限りはなかなか手が出ないと。その大事な条件としては、連続供給していくということです。そう

いう点で先ほど加速器、それから原子炉ですね、ベストミックスするのがいいとありましたけれども、間を置かないようにしないとなかなか製薬としては手がだしにくいという話は聞いております。ここは一つの大きな課題かと思っております。そういった意見交換の中で我々が満たすべき条件は何かということで模索している状況でございます。

(上坂委員長) 4ページに各工程の詳細が出て、課題も出ておりました。それから、15ページに構成が出ております。今日の資料でも詳細なラジウムの準備と、それから照射したところからラジウムを抽出し、またアクチニウムを抽出して、またラジウムを回収、再利用していくという工程、非常に細かい御説明ありました。この中で特に困難な過程ですね。それから規制に対してこうしてほしいとか、御要望とか、特にあるところはどこでしょうか。

(大島理事) やはり元々問題になっている、ラジウムはそもそもあるのかないのかにつきましては最近ちょっと見通しが得られてきたかなと思っております。せっかくプロセスを作っても、照射するものがなければどうにもならないので。ここについてはだんだん解決の目途が出てきたかなと思います。一方でそれを受け入れても放射線の扱いといいますか、そういうところについては少し工夫が必要でございます。そういったプロセス上でこのあたりをどうしていくかについては少し課題かなと思います。

あとやはり、規制につきましては、これは私どもとしては是非このスケジュールに合うような形でうまく進められるよう努力したいと思いますが、規制庁の皆様にも本当に積極的にいろいろ審査をやっていただいたと思いますので、同じ体制を維持していただくのはなかなか難しいとは思いますが、そういった御支援をいただければ大変ありがたいと思います。

(前田課長) 原子力機構の前田でございます。

大島の方の少し補足になるんですけども、我々原子力機構はもともと途中まではR I製造を事業としてやっておりまして、原研時代でございますけれども、そのときはやはりR I製造の技術者というかホット化学の人材の方はかなり充実していたと。ただし、途中で民間移譲して、民間移譲したのでやはり採算関係含めて輸入でいいでしょ、というお話で最終的に技術としては原子力機構としてまだぎりぎり囑託の方とか定年間際の方とか、徐々に技術のトランスファーは進んでいるんですけども、ホット化学はやはり人材が今少ないのかなというのはあります。今回ラジウムを非密封で取り扱うような人材も今育成しているところではございます。JAEAの職員であったり協力会社も含めてなんですけ

れども、そういったところは進めてはいるんですけれども、やはり人材育成は難しいなということ。今回大洗の方でやりますので、やはり東海の原科研の方から人材を引っ張って来るといのもなかなか難しいところがございますので、やはり人材の育成はなかなか難しいといったところがございます。

あともう一点、先ほど大島の方からもありましたけれども、規制の方ですね、今回資料の方に入れて、許認可関係一応羅列をさせていただいたんですけれども、R I を変更しなきゃいけない、あと「常陽」の炉自体の変更もしなきゃいけない、あと隣の施設ですね、照射試料を扱う F M F と我々呼んでおりますところの核燃使用の方も一部やはり変えなきゃいけないと認識しております、多岐にわたっているところで、かなり御尽力いただかない、我々も申請をしたとしても、規制庁さんにも審査をしていただかないといけないというところがございまして、それが先ほど大島が言ったところの補足になります。

(上坂委員長) ありがとうございます。

人材育成の件には最後の方でもう一回御質問、両者にさせていただきます。

まず、Q S T ですが、大型と小型サイクロトロンですが、小型サイクロトロンに関して、例えば 17 ページに厳しい現状のことが書いてあると思うのですが。一方、22 ページには小型加速器への期待が書いてある。それで、大型というと 30 MeV 以上のサイクロトロンと思います。そしてここでいう小型は 18 MeV で、P E T 核種 P E T 用の薬剤の製造用相当と考えればよろしいのですかね。

(東部長) 正におっしゃる通りで、そのようなご認識は正しいです。

(上坂委員長) そうすると、例えば 17 ページの下ですが、企業が今 Q S T との共同研究の下に、小型システムでの検討されている。そこでスループットといいますか、製造量の問題で、ここに書いてあるような問題が出ているということなのではないでしょうか。

(東部長) はい、現在日本メジフィジックス社としては、これ公式のコメントではないですけれども、このアクチニウム-225 を作る千葉の袖ヶ浦の C R A D L E 棟というものは飽くまで臨床試験のフェーズ 1 の製造量に対応した施設というふうに考えておりました、メジフィジックス社ではこのフェーズ 1 のその後の進捗状況次第で、2号機、3号機というような形で増設などの方向へ国内展開していくと考えておられると伝え聞いております。ですので、まだメジフィジックス社の方では独自開発されている薬剤の臨床試験を見据えて、国内に 1 施設を作ったという段階でございますので、製造量には限りがあるようです。私たち Q S T の新しい治験薬の臨床試験に向けて供給してもらえないかと申し上げまして

も今のところ余力がないのでと御回答いただいている状況でございます。

ちょっと機密保持契約もございますので、余り細かいところまでお話しできないですが、そのような状況でございます。

(上坂委員長) 以前、この定例会議で大阪大学の中野先生からアスタチン 211 の製造の現状と計画のお話を伺いました。やはり 30 MeV 程度のサイクロトロンを検討されています。また実績のある福島県立医大でもそれでアスタチンを作っている。もう病院の方で治験が始まるということです。そういう理解かなと思いました。確認させていただきました。

それから、是非この大型サイクロトロンの復旧を。これは日本で、今日説明あったような最高の実績を上げている R I 製造装置なので、是非オールジャパンで御支援したいと思うのです。是非学会とかいろいろなところでおっしゃっていただいて、オールジャパンでサイクロトロン復旧を応援していきたい と思います。

それから、人材育成に関してです。このアクションプランが出てから医学会の方々とお話しているのです。がん特別推進対策、第 4 期がスタートして、その中にもアクションプラン、それから核医学が誘致記入されているということありですね。現在放射線医学会、それから医学物理学会、放射化学会等が共同で委員会を作って、核医学のための医学物理士育成プログラムを、うまくいくと 2 年後ぐらいからスタートできるというようなお話を伺いました。そこには当然ラジオアイソトープを使った実習が入るのですね。そうすると、是非理工学部の学生、原子力系の学生も実習に参加していただいて、教育の機会を増やしてほしいと思うのです。ですので、核医学の発展がまず大事ですけど、プラス、理工学、原子力も。今おっしゃられた化学、放射化学が共通分野ですね。原子力バックエンドの研究と人材育成にもうまく共通化していただきたいと思いますと思うのですね。

思えば約 25 年前に当時の放射線医学総合研究所が中心になって粒子線治療の人材育成プログラムが日本でスタートした。多くの学会が加わって、放医研もちろんですけども、主要大学に医学物理士育成コースができた。医学部の学生、それから理工学部の学生もそこに参加できると。そして、日本の原子力系の専攻に医学物理というキーワードが定着しました。またそれを研究する先生方も増えてきたというのがこの 25 年。

ところが、ここまでの医学物理というとやはり物理系が主なのです。加速器、治療計画、放射線防護とか、物理が主だったのです。今回のこの核医学は化学が主ですよ。ですので、先ほど申し上げた医学系学会の方々が考えておられる教育プログラムは、今ある医学物理士の育成コースに放射化学的な部分が加わるというものと伺っています。今そういう

動きがありまして、是非これを日本でバラバラにやるのではなくて、医学系と理工系が一緒になって盛り上げて協働していただくと。両方の人材育成と研究開発に貢献するかと思うのです。そういう過去の例と今の動きがあるので、そういうことを含めて人材育成、それから研究開発含めて、JAEAとQSTの御意見を伺いたいと思います。

(大島理事) ありがとうございます。

JAEAとしましては、医療界の方でそういったものが進んでいるという情報は持っていませんで、今初めて認識しました。そのような動きがあるのであれば、タイアップできるのではと、もちろん思います。一方で私どもの方でも、先ほどは医療関係でございましたが、この化学に関しては、実際ニーズが結構最近増えています。というのは福島の関連でデブリの分析とか、そういったものがこれからますます出てきますので、そのような専門家がが必要です。既にJAEAの中で医療用とかですね、あるいは福島対応とかで、言葉は悪いですけど取り合いといいますか、人材を確保する試みが始まっている状況です。新たに人材を見つけるなり、あるいは異分野間で人材を共有するなど、何かしなければならぬと、一つの大きな課題として認識しております。今、自分たちで持っている人的リソースのままでいきますと、もう少し先で不足してまいりますので、それに間に合うような形で今頂いた情報も含めて人材確保・育成を勘案して進められたらと思います。

(内堀所長) QST、内堀です。

御指摘のとおり、粒子線人材育成については粒子線がん治療が先進医療になって、さらに普及していくフェーズとなったが見込まれたこともあり、医学物理士、医師、看護師、放射線技師の育成に努めるということで、多くの施設に御協力いただきながら進めたものと理解しております。

現在のこの核医学治療、標的アイソトープ治療と我々申し上げておりますけれども、この研究について核医学関係について、やはり人材の不足は大きな課題だと思います。化学や薬学、そういった分野や、医師、技師等の育成も重要だと思いますので、このような人材育成のプログラムといったものを国を挙げてやっていただくことがもし可能であれば、人材の裾野が広がっていくというふうに考えております。

大学でもなかなか関連する講座がないようなところもありますので、そういったところに広がっていくということができるかなと思いますし、やはり今後もオールジャパン体制による人材育成というのが重要かなと思いますので、是非御支援いただければと思います。

(東部長) 東からも補足させていただきます。

外照射に関しましては、基本的に線量評価治療計画がもう必須になっており、医学物理士の皆様が御活躍いただいていることは実際事実です。一方、核医学治療、あるいは標的アイソトープ治療の分野でも線量評価が必要な時代がすぐ近くに来ていると考えています。私どもQSTでは、標的アイソトープ治療線量評価研究会を立ち上げ、現在日本医学物理学会等とも連携しながら、次世代の核医学治療、標的アイソトープ治療の臨床において線量評価を導入・実践していくための人材育成プログラム等も検討中です。さらに、国内での標的アイソトープ治療線量評価に関するガイドラインや、Quality Control (QC) 標準化などについても日本医学物理学会や日本核医学技術学会、日本放射線技術学会等と連携しながら検討・推進しており、このような裾野部分も合わせて検討していかなければなかなかこの線量評価技術は国内に普及していかないであろうと考えております。その面では線量評価というのは人材育成の面でも一つ大きなキーワードになると思いますので、進めていきたいと思っております。

更に、医師の部分でいいますと、今核医学治療という形で呼称されておりますけれども、残念ながら核医学は非常にマイナーな分野でございます。放射線科の中でもメインは放射線診断医、次いで放射線治療医、更にもっと少ないのが核医学医となります。さらにその中でも核医学診断と核医学治療に分かれており、核医学治療の習熟する核医学医師は大いに不足しております。今どんどん普及・発展しているこの分野でアンケート調査しましたところ、実際に核医学治療を担当しておられるのは、放射線治療医が半数以上となっておりますので、現在日本核医学会とJASTRO（日本放射線腫瘍学会）は連携しながら、この分野の発展・普及に努めております。

それから、先ほど申し上げましたように、日本医学物理学会でも核医学分野における医学物理なども医学物理士の認定要件の一つと指定するとか、核医学物理士制度を創生するなど、核医学治療・標的アイソトープ治療線量評価という、この難しい分野に関して専門性を高めることで、医学物理士の国家資格化等も目指しながら進めるべきだというふうに考えております。

看護の世界でも、核医学認定看護師等の制度もございますけれども、このようなものを含めて、核医学治療・標的アイソトープ治療分野の裾野を広げていくに当たって、我々QSTがこれまで従事した部分で進めてきた活動を更に発展させたいと考えておりますし、これらに関して国からのサポート等を頂けると大変有り難いと考えますので、今後も御協力いただければと思います。

以上でございます。

(上坂委員長) それから、畑澤参与からも総合的な観点からコメントと質問を頂いておりますので、事務局から読み上げお願いいたします。

(進藤参事官) 本日、畑澤参与御欠席でございますけれども、コメントと質問をお預かりしておりますので、読み上げさせていただきます。

まず、日本原子力研究開発機構の発表についてでございますけれども、アクチニウム-225の供給が医療側のニーズとして国際的に高まっている中、「常陽」での製造について、医療側のニーズに対応すべく詳細に御検討を開始していただき、感謝申し上げます。

質問は、アクチニウム-225の供給価格についてでございます。施設の改造費、原材料調達費、原子炉の維持運営費、運営経費などをどのように見込むかによって供給価格は大きく影響を受けることは理解をしております。その上でお聞きしたいのは、アクチニウム-225の供給価格をどのようにお考えか伺いたいと思います。アクチニウム-225の価格が高いと薬価をそれに見合うように設定しなければならず、保険財政を圧迫してしまいます。それは保険診療を著しく困難にしてしまいます。ちなみに、現在最も高額な核医学治療は、神経内分泌治療に対するルテチウム-177治療で、1バイアル約265万円、これを数回繰り返します。この放射性医薬品は全て輸入になっております。また、国内民間企業が加速器での製造に取り組んでおり、加速器と原子炉で製造コストに差が出ないかも懸念されます。

以上、アクチニウム-225の将来の供給価格の設定方針などについてお聞かせいただければ幸いです。

次に、量子科学技術研究開発機構の発表についてでございます。加速器によるアクチニウム-225の製造実証と民間企業への技術移転を進められており、大きな進捗がありましたことに感謝申し上げます。

質問は、1番目としまして、アカデミアとして加速器施設がどこまで医療用アクチニウム-225製造と供給体制に関与できるかという点が一つ目でございます。二つ目は、複数の加速器間の連携、製造供給調整の仕組みの構築という点でございます。

まず、アカデミアとしてどれだけ関与できるかについてでございますけれども、こちらはQST単独の問題ではなく、理研、東北大、阪大などにも共通する問題と理解をしております。アカデミアとしては研究開発は極めて重要ですので、既存の施設とは別に、新規の医療用のRI製造専用の加速器の設置が必須と考えておりますけれども、アカデミアの代

表としていかがお考えでしょうかということでございます。

二つ目の製造供給の仕組みの構築についてでございますけれども、製造供給実績のあるQST、理研、東北大、阪大でアクチニウム-225を供給する場合、原子炉製造を担うJAEAとの製造供給計画の調整、あるいは加速器施設内での製造供給計画の調整、こういったことが必要になるのではないかと、そのような調整機能を持つ仕組みの必要性について、どのようにお考えでしょうか、ということが二つの質問でございます。

以上でございます。

(大島理事) それでは、JAEAの方ですけれども。

まず、価格ということでございますけれども、これにつきましては実際検討はしておりません。私も実際にRIを作って、ある意味商売といたしますか、それを分けていくということについては、実際私どもに認められておりませんので、受託照射としてですね、それを管理していく、というところが今現在できる形になります。「常陽」自体はRIを作るためだけのものではありませんので、そういったものを抱き合わせていけば、場合によってはその価格を下げる方向に行けるのではないかと一つの案としては考えることができると思います。

いずれにしましても、我々を管轄する文科省さんの方で、我々がこういう事業をするにあたってどういうふうにするかということを決めていただく必要があるかと思います。原料の調達、それから原子炉そのものの運転につきましては、例えば国が運転そのものについては予算の面倒を見るべきというふうにするのか、あるいはこういう商用化をして使うのは別用と考えるのか、考え方一つだと思います。これは正にこれから議論すべきことでありますので、今申し上げる回答はありませんけれども、そういったものはいずれ考えていかなければならないことは認識してございます。

(前田課長) 原子力機構の前田です。少しだけ補足をさせていただきます。

照射に関しては今のとおりで、大島の方からも少しありましたけれども、原料調達ですね、あるいは調達費用が非常に読めていないと。今現状国内に限られた量しかないというところがちょっと分かっておりまして、創薬、製薬、製薬で安定供給するという段階になったときは多分国外からラジウムを持って来る必要があるのではないかとというふうに考えております。

先ほど機構も、あとQSTさんからも御紹介があった国際的な取組も含めて、海外から輸送してくるということになると、ラジウムのコストがかなり高くなってしまいますので、原材

料費としてかなり高くなる可能性があるのかなというのは若干懸念しているところです。

ただまだ何も現状では進んでおりませんので、ただ原料がかなりの割合を占める可能性もあり得るといふところだと認識しております。

(東部長) Q S Tの東でございます。

価格についての話について私の方からちょっとコメントをさせていただきたいと思います。例えば、Lu-177 DOTATATEは1回265万円で4回投与、1000万円強でございます。今国内では供給されておられませんけれども、イットリウム-90のゼバリンにしましては1回450万円程度ですこのような加速器を使ったり原子炉を使ったりするというような、本当に高い技術の粋を集めて作っている放射性医薬品というものに関しては、やはり正当な評価をなすべきです。一方、例えばヨウ素-131が1回5-10万円とかですので、不当に安かったというのが実際のところだと思います。原子力委員会の検討会のときにもコメントさせていただきましたけれども、医薬品の価格が下がることはあっても上がることがないという今の医療制度には問題があると考えております。実際テクネチウム製剤に関してもOECDなどの世界的な機関において、今まで不当に安く供給されていたものを、今後は原子炉のメンテなども含めた製造国側のコストも受領国側が負担すべく、さらに高額な金額で設定していくべきではないかという動きがあるのも事実です。高い技術を結集して作った放射性医薬品というものに関するコストはきちんと反映されるべきではないかと考えております。

その一方で、非常に高額な医療費というものが国家の財政的な負担になるという大きな懸念があることも事実でございます。しかしながら、核医学治療の専門家として私から申し上げたい点は、核医学治療の低侵襲性という利点です。核医学治療というのは非常に副作用が少なく、特にα線治療の場合ですと、外来での治療が可能という大きな利点です。従来のがん治療は、手術をして長い入院をして、更にそこから抗がん剤の治療をずっと数年掛けてやっていく、もちろん早期に亡くられる方もあり、何とか根治できても、数年間は仕事できないような状態になっていた。これに対して核医学治療というのは非常に副作用が少なく、外来で治療をして、お仕事をしながらがん治療ができる可能性がありますので、薬価や診療報酬でマイナス面のみでの医療経済を考えず、「働きながらのがん治療」により税金が担保される、さらには国内RI製薬企業が大きな収益を得て、こちらからも大きな税金が見込めるといったことも含めたプラス面も勘案して、総合的に考えるという視点も必要ではないかと考えています。私どもは放射性医薬品の高額な薬価の値段を、ただ

ただ高いと悲観せず、そういうトータルの収支の中で検討すべきという認識が必要ではないかと考えます。

それから、アカデミアとして加速器の関与の範囲ということで畑澤委員から頂いた点に関してですけれども、先ほど私どもの永津の方からも詳細に説明ございましたが、原子炉と加速器に関してはやはり大きな違いがございまして、加速器に関しては少量ではあるけれども、高品位なものができる。原子炉に関しては大量製造が可能であるということになります。念頭におくべきことは、R I 放射性医薬品というものは開発初期段階から開発しているものが全て医薬品として承認されるわけではない、薬というものの開発においてはピラミッド構造のように最後に残ったひと固まりだけがしっかりとした承認医薬品として承認されるということが言えると思います。

そんな中で、小まめにいろんなR I を作って、いろんな化合物と標識をしながら、高品質のR I を標識して、まず試してみるというところからスタートするという意味でも、アカデミアを中心とするいろいろな研究機関が医薬品として用いる前段階に、まず治験、フェーズ1 ぐらいまでを対応する、それに加速器が大きく貢献できるのではないかと思います。そこからフェーズ2、3 以降になってくると、どうしても企業の関与が必要になってくると思いますので、その時点で企業の方でこれを加速器で引き続き全国展開してやるのか、原子炉の方で大量製造して、対応するのかというのを飽くまでコストを見込んだ上で企業の方で御判断なされるということになろうかと思います。

アスタチン-211 に関しては加速器でしか作れませんので、加速器を更に拡充させるという方法になると思うんですけれども、アクチニウム-225 については、両者での製造が可能ですので、大まかには関与の範囲ということでいうと、治験フェーズ1 までを加速器製造でやって、そこから以降は原子炉とのベストミックスというのが私はよいのではないかと、これは個人的な考えですけれども、考えております。

それから、国内での広域連携供給体制の仕組みということで、一つには今大阪大学が中心になさっておられますアスタチン-211 を中心とする短寿命R I プラットフォームも一つの基盤のモデルと考えております。実際にこれを用いているいろいろな研究機関でアスタチン-211 を使った基礎研究が進んでいるというのは、これは大変重要なことで、国内での α 線治療薬なんかの開発研究も大きな関与を、発展、普及に貢献されていると考えております。一方で、現在の供給体制はあくまで基礎研究レベルにあると考えております。大阪大学のフェーズ1 に対してこの短寿命R I プラットフォームが利用されたというのは事

実なんです、まだまだフェーズ1という段階で、今後フェーズ2、3を考えていならば、これを更に体制を広げていく必要があると思っております。

先ほどの繰り返しになりますが、やはりフェーズ1まではアカデミアがいろいろな薬を試し、将来性があると企業が判断された時点でフェーズ2、3に、企業治験に入っていく。その段階では、アカデミアの連携のみではなく、企業も参加した形で、国内供給体制を作っていくべきではないかと考えます。もちろんアクチニウム-225においては、原子炉と加速器施設のベストミックスを検討すべきです。が、アクチニウム-225においては加速器によるRa-226へのプロトン照射によるAc-225製造に日本メジフィジックス社が知財を持っておられることもありますし、やはり薬というのは特許の塊でございますので、なかなか核種の供給体制を国の方で簡単にコントロールするというのは難しい面があると思います。ですので、フェーズ1までは国のサポートを充実させていただいて、加速器施設の拡充や短寿命RIプラットフォームのような形の供給体制を充実させていただいて、フェーズ2、3以降、それから薬事承認以降に関してはやはり国のコントロールは難しく、企業が独自で構築するとかいろいろな形が出てくるのではないかと、個人的には考えております。

以上でございます。

(上坂委員長) ほかに委員の方から質問ありませんか。

では、どうも丁寧な説明と御回答ありがとうございました。これからもどうかよろしくお願ひします。

それでは、議題1は以上であります。

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。

(進藤参事官) それでは、こちらでQSTの方々は御退席をお願いできればと思います。

では、続きまして、二つ目の議題です。二つ目の議題は、高速実験炉「常陽」についてでございます。本日は、日本原子力研究開発機構理事、大島宏之様、高速炉・新型炉研究開発部門戦略・計画室室長、平田勝様、同部門大洗研究所高速実験炉部高速炉技術課課長、前田茂貴様に引き続き御出席いただいております。

最初に、大島様、平田様、前田様より御説明いただき、その後質疑を行う予定です。

それでは、御説明をよろしくお願ひいたします。

(大島理事) ありがとうございます。

それでは、高速実験炉「常陽」につきまして、施設の概要、新規制基準対応、そして利活

用について御説明させていただきたいと思います。

まず資料をめぐっていただきまして、これは簡単に高速炉の開発に係る国内の動向をまとめたものでございます。この高速炉の開発につきましては、国が定めました戦略ロードマップに基づいて進めているものでありまして、これが昨年12月に改訂をされました。改訂された中身は、2023年夏、今年の夏までに高速炉の概念設計を対象とする実証炉の炉概念を選定するというところ。それから、その後24年から28年度にかけて、概念設計、研究開発の実施、28年度頃に実証炉の基本設計・許認可フェーズに移行するかどうかを判断するというところが定められているところでございます。

また、「常陽」に関しましても、一昨年前になりますけれども、2050年のカーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略の中で明確に記載されておりまして、JAEAが保有します実験炉「常陽」での照射試験による検証をしっかりと進めていきなさいと書かれています。また、「常陽」におきましては、世界的にも、先ほども報告しましたがけれども、希少な医療用の放射線同位体、これを大量製造することが可能であるということで、再稼働を進めまして、先進的ながん治療への貢献が期待されることが記載されています。

こういった流れを受けて、今年2月閣議決定されましたけれども、GX実現に向けた基本方針、この中で高速炉に関しましてはここに示しますようなロードマップが記載されています。これ目安でございましてけれども、2040年代半ばには実証炉の運転を開始するということにしてございます。これに向けて様々な研究開発を展開していくということになります。

2ページ目でございますけれども、その実験炉の「常陽」の概要をこちらにまとめてございます。

こちらは、燃料・材料の照射試験を行う実験炉ということで、小さな実験でございます。

右上のところは「常陽」の系統図でございますけれども、炉心のところから、これは色で言いますと、だいたい色ですけれども、1次系ナトリウムが巡回します三つの炉心から熱交換に運ぶ。中間熱交換器で熱を交換しまして、2次系ナトリウムが更に空気冷却器まで熱を運んで、ここで冷却するというところでございます。「常陽」の場合は試験炉でございますので、様々なニーズに対応するために発電は行っておりません。空気冷却器で熱を大気に放出するという形でございます。

この「常陽」でございますけれども、その主要仕様が左側の下に書かれています。大

きさ的には100メガワット、これ、熱出力でございますけれども、商用炉の熱出力と比べますと3%ぐらいの大きさになります。ナトリウムの2ループタイプでございます、燃料としましてはウラン・プルトニウム混合酸化物（MOX）燃料を使っております。炉心は直径約78センチ、高さが50センチでございますので、2ページ目の右側に炉心の図がございますけれども、この赤いところ、炉心の部分でございますが、ドラム缶の半分ぐらいの大きさということで、非常に小さな値でございますけれども、出力的には100メガワットでございます。

実際に照射をするところにつきましては、2ページの下のところ、右下にございますけれども、蜂の巣のようになってございますが、この黄色い部分、照射試験用の集合体、ここに照射するものをはめて照射を行っていくこととなります。

めくっていただきまして、高速実験炉、これまでの経緯をまとめたものでございますけれども、こちらは1977年、ちょっと古いですが、MK-I炉心というものが始まりまして、このときは出力は50～75メガワットでございます、ここで高速炉の基本でございますプルトニウムは増殖できるかということにつきまして、増殖比が1.1を超えてくるものを確認したというところがございます。それから、1982年以降、MK-II炉心ということで、今度は材料照射、材料開発、燃料開発に特化するという意味で、照射用の炉に変えていったところでありまして、出力としましては100メガワットに到達することとなります。その後、1997年から移行炉心ということで、徐々に出力を上げて、2003年7月にはMK-IIIの炉心ということで、140メガワットまで上げたということがございます。ここでFBRの開発に関わる研究開発を効率的に行うこと、それから、外部のニーズに応えるところで研究が進んでございました。

現在こちらを、今後の流れで、100メガワットに今は出力を下げしております。こちらは、新規基準、重大事故を受けました新規基準に対応するという、安全性を最優先ということと、それから我々の使用者ニーズ、これらのバランスを取ったところがこれだけの出力ということで、この出力で現在審査を頂いているところでございまして、ほぼ審査が終わるという状況に来ているところでございます。

これまで積算運転期間でございますけれども、7万1,000時間。これは「常陽」のプラント寿命から見ますと約半分使ったということになりますので、まだ半分いけるということでございます。

試験用の集合体の照射実績としましては101体で、実際に外部利用の実績としましては

4万試料を照射した実績がございます。

次のページでございます。4ページでございますが、こちらは「常陽」におけます開発実績でございます。これまで行ってきたものを簡単にまとめたものでございます。

ちょっと時間の都合上、一つ一つは紹介しませんが、一番左上、高速炉技術の確立ということで、原理を基本的には確認したということと、増殖性などをしっかり確認したということ、それから、核燃料サイクルを、少量ではありますが、実際、「常陽」の燃料を照射してプルトニウムを抽出して、更にまた燃料を作って、それをもう一度「常陽」で燃やしたという、サイクルの輪をクローズしたという、この実績はございます。

また、その下、安全性の実証につきましては、高速炉、ナトリウム冷却でございますけれども、ナトリウムの特性を利用しまして、仮に福島と同じような事故が起こったとして、全電源を喪失したという状況の中でも、自然に自然循環という機能を使いまして、一切動力を使わずに崩壊熱が除去できるということを、これ、「常陽」を使って75メガワットの、それから100メガワットという二つの出力に際しまして、実際に実証を行いました。こういった安全性の確認についても「常陽」は大変活躍しているところでございます。

そのほかにも、国際協力でも当然使われておりますし、また、高速炉だけではなくて、基礎・基盤の研究、例えば核融合炉材料開発であるとか、それから、様々な大学では照射損傷のメカニズムの解明であるとか、こういったところにも使用されているところでございます。

それから、5ページでございます。新規制基準対応でありますけれども、こちらの経緯はこちらにまとめてございます。

これまでの経緯でございますけれども、申請は平成29年の3月に行いました。ここからはおおよそ6年、時間が経過してございます。6年掛かりまして、ここは今年の5月24日、原子力規制委員会の方で審査書案の取りまとめということがなされました。今現在、このパブリック・コメントを受けているところでございまして、これを終了しましたら、許可が頂けるような段取りになるのではないかと考えてございます。

今後の予定としましては、設工認の申請を行っていきまして、それに並行しまして改造工事を行っていき、最終的には当初の目標であります運転再開、令和6年度末、2025年3月に運転を再開できるような目標を持って進めるということでございます。

実際は、先ほども紹介させていただきましたけれども、物価上昇だとか、なかなか材料が手に入らないとか、そういったのがありますので、一応目標を今のところはこうやって考

えておりますけれども、今後は遅れが出るリスクはございます。

それから、次のページ、6ページ目でございます。こちらは、試験研究炉の新設置許可の基準規則の概要を書かせていただいております。

「常陽」もこれにのっって審査を受けたわけでございますけれども、こちら、左側は従来の規制基準ということで、研究炉指針等に基づきますと、ここに書かれている項目を基準として定められているものでございます。

これに対しまして、それら拡張していったものになりますけれども、まずは設計基準の強化ということで、この水色の部分は少し、やや太くなってございますけれども、例えば、外部からの衝撃によります損傷の防止、火災とか竜巻とか、そういったものが更にここは追加されておりますし、また、新たに規制基準新設ということでは、上のところ、少し薄い肌色になりますけれども、「溢水による損傷の防止」というものが追加されてございます。さらには、福島を反映ということでございますけれども、大量の放射性物質を放出する事故の拡大防止、いわゆるBDBA、こういったものが新たに新設されまして、これを満たすということで規則が定められているところでございます。

次のページ、見ていただきまして、7ページには、こちらが実際に新規規制基準の適合性審査の中の議論なされたもの、それから、それを受けて私どもの方で実際に追加措置を、どういうことを行うかというのをここに示したものでございます。

まずは地盤ということでございますけれども、耐震性の観点から、「常陽」、一応地盤的にはあるんですけれども、滑り係数というものが、やや粒度が低いというのがあります。いわゆる満たしてはいるんですが、低いということで、それは我々、安全性を確認、確保するという観点から、やはり地盤補強・地盤改良するということで判断いたしまして、こういったものを追加措置として記載してございます。

それから、地震につきましては、基準地震動につきましては、いろんなケースを策定いたしまして、水平成分最大が973ガル。元は300ガル台でしたけれども、おおよそ3倍になります。それから、鉛直成分につきましても591ガルというものを策定いたしまして、これに対しまして、現状のままではこれもちませんので、耐震補強を徹底して行うところで判断しております。これによりまして、追加措置としましては、耐震補強というのは書かせていただいております。

一方、津波におきましては、「常陽」はエベレーションとしましては高いところがございます。津波による影響はないという、おそれはないということで、こちらにおきましては

対応・対策は特に追加の要請はないということで、「不要」と書かせていただきます。

それから、それ以外の外部事象としましては、自然現象としましては、設計竜巻、最大風速100m/sec、それから火山灰ですけれども、あのエリアですと層厚としましては50センチの想定を勘案しました。また、外部火災の対策というものも当然必要ということでありまして、これに対しまして、竜巻飛来物の対策、それから火山灰の流入防止の対策、そして防火帯設置ということで、追加措置を検討してございます。

それから、火災につきましても、こちらは研究炉でございますけれども、商用であるということで検討させていただきました。火災の発生防止、感知・消火、それから影響軽減の措置を講じるということで、特に重要ケーブルの難燃化、それから感知器の多様化の対策を行います。それからナトリウム火災、これはもうナトリウム冷却炉の特有でございますけれども、特にナトリウム漏えいを防止するために耐震性を強化すること、それから、ナトリウムとコンクリートの接触防止のため、鋼製の床ライナーとか受樋を設置すること、これも耐震、ほとんどございますので、こういったものにつきましてもしっかりと補強していくということが対策として挙げられてございます。

それから、運転時の異常な過渡変化でございますけれども、それから設計基準もですね、こちらにつきましては、ナトリウム冷却炉ということでございまして慎重に、規制庁様の方で改めてDBAにつきまして確認を頂きました。その結果、一応追加的な措置は不要ということで御判断いただいております。

また、最も検討が必要なもの、BDBAにつきましては、炉心の著しい損傷に至る可能性がある異常事象、すべからくそのような検討を行いまして、結果として15の代表例を選定しまして、事故の対応有効性を評価いたしました。その結果、後備炉停止系とかの設置を行うとか、それから、熱的影響の緩和措置、耐震補強、それから資機材の整備、こういったものを追加措置として挙げまして、これを今後行っていくということになりました。

次のページに移ります。

こちらの図は、具体的に新規制基準対応に関わる工事の概要をお示したものでございます。時間の都合上、一つ一つは説明しませんけれども、緑で書かれた部分が地震等自然対策、自然災害に対する対策でございます。また、青で書かれているところが事故に対する対策、安全性向上というものでございます。こういったものを今後、再稼働に向けて、だんだんと工事を進めていくこととなります。

それから、9ページでございます。9ページにつきましては、「常陽」における使用済燃

料の取扱いにつきましてどうするのかということでございますけれども、こちらにつきましては設置変更許可申請書の中に記載はございますけれども、こちらについては、基本的には大きくは変えてございませんで、再処理を行う。使用済燃料につきましては、基本的に最処理を行うということでございます。再処理を行うことにつきましては、国内又は海外での再処理は、選択肢はあるということに記載してございます。

また、今回、設置変更許可の申請におきましては、規制適正化を図っておりますけれども、当該方針そのものについては変更ございません。

一方で、使用済燃料について、再処理のために引き渡すまで「常陽」で適切に貯蔵・管理することを明記させていただきました。

また、規制委員会の審査におきましては「使用済燃料の処分の方法が、一定程度実現可能な計画であることを確認する。」とされておまして、「常陽」の燃料につきましては、高レベル放射性物質研究施設、私どもC P Fでございますけれども、東海村にございます。こちらでの研究開発を通じまして、高速炉の燃料再処理について技術的な見通しを得ているということで説明させていただいております。

こちらの次のページにちょっと飛んでしまいますけれども、10ページにもございますけれども、実際に燃料を、「常陽」の照射済燃料を、せん断をして溶かして、それで抽出して、そしてウラン・プルトニウムを回収したという実績がございます。こういったものをやったということで、量的には少ないんですけれども、C P Fで実際にこういう再処理を行ったという実績はございます。これを説明させていただきました。

また、国外におきましても、今、フランスにおきましては、高速炉用の燃料の再処理の実績はございますし、また今、もんじゅの燃料を処理するというところで検討していただきまして、それに引き続き「常陽」の可能性についても研究いただくことになってございます。

先ほどの9ページの方にちょっと戻りますが、下の方になりますが、「常陽」の使用済燃料の貯蔵・管理につきましては、今現状、ここに示してございます。「常陽」は、合計、貯蔵容量が1,150体ございますけれども、現在の保管体数としましては740体でございますので、今後もしばらくは貯蔵は可能というふうに考えております。

それから、11ページの方にいきます。再開しましたらどうなりますかということでありまして、けれども、「常陽」の役割をここにまとめてございます。

やはり研究プラットフォームとしまして、ここに書かれている、6角で書かれているものがございますけれども、左側の一応だいたい色で書かれているところにつきましては、基

本的には高速炉の開発に関連するものでございます。

脱炭素に向けてエネルギーセキュリティの確保ということで、実証炉、次世代炉の開発に向けての「常陽」の活用ということでございますし、また、民間のイノベーションも様々な研究が進められておりますけれども、それに対しても「常陽」を活用いただくということでございます。また、国際協力におきましても、お互いに相互補完をしながら研究開発を進めていくところに使われるということでございます。

また、こういった研究開発の他にといいますか、もう一つのポイントは、プルトニウムの利用・燃焼をしっかりと進めていくための研究開発、それから、マイナーアクチノイド、廃棄物につきまして、こういったものにつきましても、廃棄物の短寿命化であるとか、あるいは有害低減、こういったものの研究開発につきましても「常陽」の照射試験というのは必須でございます。これを着実に進めていっているところでございます。

また、右側の黄色い部分につきましては、先ほど、前の議題にございましたアイソトープの製造でございます。これは医療用だけではなくて、工業用のアイソトープにつきましても「常陽」が活用できると考えてございます。

それから、原子力技術の育成という方で右下にございますけれども、これまでも受け入れてまいりましたけれども、大学・高専との連携で実際に研修に来ていただく、また、海外の技術者も受け入れていくところでございます。

さらには、原子力のポテンシャル追求ということで、基礎基盤研究、多目的利用ということで、特に大学の、あるいは国立研究所のニーズに対しても対応していくということは考えてございます。

12ページは今後の照射試験でございますけれども、実際再稼働しましたら、まずは国内の次世代革新炉開発。先ほどのGXの中でもしっかりと位置づけられましたので、これに向けて遅れのないように進めていくことでございます。特に実証炉、高速炉につきましては、もんじゅまで実際に造ってはございますので、造れるということに関してはあるんですけども、社会実装という観点で言いますと、それはやっぱり経済性というということを何としても追求しなければなりません。このためには、燃料の性能を上げていく、材料の性能を上げていくことは必須でございますので、こういった照射試験を行いまして、長寿命の燃料を、あるいは長寿命の材料、こういったものを開発していくのは一番のプライオリティになります。

また、2番目の四角にございますけれども、がん治療につきましてはアクチニウム、これ

はアクションプランに基づいて、しっかりこれをやっていく。さらには、製薬に向けてアクチニウムを大量生産するために研究開発を進めていくこととなります。

また、国際協力としましては、西側で今現在唯一の高速中性子となります。このために、特にアメリカ、それからフランス、こういったところからも照射場としての期待が寄せられておまして、これに対しても我々としては受け入れていくということでございます。もちろん、単に照射場を貸すというだけではなくて、共同で研究を進めておまして、我々の研究に関しても加速するという考えでおります。

それから、大学等からの受託照射ということで、特に若手の研究者、先ほどございましたけれども、こういった方々の場としても提供していくことを考えているところでございます。

ちょっと簡単でございますけれども、私の方からは以上です。

(上坂委員長) 御説明ありがとうございました。

それでは、委員会の方から質問させていただきます。

それでは、佐野委員から、よろしくをお願いします。

(佐野委員) 御説明ありがとうございました。

「常陽」については先般、現地を訪問させていただいて、大変詳細な説明を頂きました。ありがとうございました。

今日は特段の質問はございませんけれども、ページ4にあるような、これまでいろいろな開発実績、これだけでもかなり十分な実績だと思っておりますけれども、更に装いを新たにして、ページ11にあるような広範囲な役割を期待されていると。具体的に12ページにあるような今後の照射試験計画もあるということで、多目的・多方面の期待が大変大きいものがあると思っております。是非安全第一で、期待に応えていただきたいと思います。

以上です。

(大島理事) 大変心強いコメントありがとうございました。

(上坂委員長) 岡田委員。

(岡田委員) 私の方から基礎的な質問になりますけれども、例えば4ページの基礎研究、外部利用というので、この外部利用というのはどういう方々なのでしょう。

(大島理事) 今現在ですと、主に大学になります。大学の先生方の方で、特に照射損傷のようなメカニズムを解明するであるとか、そういったところには使われておりますし、また、核融合の材料というところにつきましても、こういったものを「常陽」のような高速中性

子を使って材料試験をしていただきたいということは、ニーズはございます。

(岡田委員) ありがとうございます。

それと、新設置許可基準規則の概要の、適合審査概要のところ、私はちょっとよく分からないところがありまして、外部事象のところの火山灰のところですが、この火山灰というのは、あの地域でどこを想定して飛んでくるということでしょうか。

(前田課長) 原子力機構の前田でございます。

今回、設置変更審査の中で調査して、実績としまして敷地周辺で赤城鹿沼噴火のテフラ、火山灰、こちらの方が確認されております。40センチぐらい、周辺の地層観察ですね。あとは、「常陽」の敷地内のボーリングデータの方でも赤城鹿沼由来の火山灰は確認されておまして、それを最終的に評価した結果、50センチ想定ということで評価をしております。

(岡田委員) 分かりました。以上です。ありがとうございます。

(上坂委員長) それでは、上坂から幾つか質問させていただきます。

まず、7ページですが、6年間、この新規制基準適合審査、大変御苦労されたと思うのです。この中で、御説明ありましたけれども、最も規模的に大きい対応というのは上の方にある耐震補強ですかね。地震対策、それから一番下の大量の放射性物質を放出する事故(BDBA)対応。この二つと言えるでしょうか。

(大島理事) 一応、やはり一番お金的に掛かるのは耐震補強であります。もともと想定していたのは300ガル台ですから、これが973ガルに上がるということで、当然そのままだと持ち堪えられません。ですけれども、それも特に配管が長いこともございますので、この補強については相当お金も含めて掛かることになります。

また、地盤そのものも今回補強は入りますので、こういった意味では、この辺り、一番大きなポイントになるかと思えます。

また、多量の放射性物質につきましても、これは「常陽」が特有の様々な機能を生かした上で、更に補強するという形になりますので、これにつきましても、高速炉の特有を生かして、判断して、様々な手法を試みることになります。

あとは、具体的にはこの2点が一番大きいところでございます。

(前田課長) 原子力機構の前田です。私から今の観点とは別で、事業者から審査の観点でという点でお答えさせていただきます。

やはり、「常陽」、試験研究炉の枠組みではございますけれども、出力が大きいというこ

ともありまして、商業炉並みの厳しさが求められていたというのもございます。

あともう一つ、ナトリウム冷却炉の新規制基準適合性の審査というのは今回日本国で初めてということで、規制側にもナトリウムの審査のひな形を作るという趣旨も多分あったかと思えますし、我々も初の審査対応というところはございましたので、かなり模索しながらの対応だったということです。

やはり、我々はずっと高速炉をやってきておりますけれども、規制庁さんの方では、審査という観点では、これまで「常陽」、もんじゅの御経験はあるんですけれども、新規制基準という点ではいろいろ模索しながらということだったお思います。今回、「常陽」の審査チームというのを特別に作っていただきまして、メンバーもほぼ固定の状態で長々とお付き合いを頂いた。非常に感謝をしているところでございます。

その審査の中で、やはり今回、発電炉並みということで、いわゆるシビアアクシデントを、BDDBAと呼ばれるところでございますけれども、発電炉はもう基本的に、形式としてはもうほぼ決まっているもので、シビアアクシデントとして評価すべき事象自体がもう決まっているものでございます。

一方、試験研究炉はもう全て一品物になってございますので、事象選定から、その解析コードの検証、ここからもう全部議論をやっておりました。やはりそこが、様々なケースを想定して、その事象が本当にそれで充足しているのかどうか、追加が必要になってくるといったようなことでちょっと時間が掛かってしまったのかなとは思いますが、最終的には検討の漏れのないように幅広くやまして、最終的に、資料の7ページにありますけれども、15の代表例というところまでは絞り込んで評価をしたと。

今回、事故の影響評価は、長年我々原子力機構がナトリウム炉、研究開発してきた中での解析コードを適用して評価をしてきましたけれども、原子力規制庁さんとしても、コードの検証を独自にやっていただきまして、評価結果については妥当であるという結論を出していただいたというところで、やはりそこも時間が掛かったところなのかなというふうに思っております。

(上坂委員長) はい、分かりました。

それから、燃料についてですが、使用済燃料のお話が9ページにございました。これ、再稼働になりますと、手持ちの燃料で何年もっては不十分ですね。新燃料を、どのように製造していくか。そこをちょっと教えていただきたい。

(大島理事) 燃料につきましては、今現在在庫の燃料で、当然再開するわけにいかない。その

後、新燃料が必要になります。新燃料につきましては、今、どういうふうにするべきかということですが、正に検討中でありまして、既存施設を応用していくのか、あるいは新しく造っていくのかとか、そういうことが議論することです。

特にGXの予算の中で、高速炉の実証炉を造っていくという話になりますけれども、当然、実証炉の燃料も作っていく必要がございます。そこでどういうふうにするのかとですね、あるいは絡まないのか。あるいは東海に、もともと「常陽」の燃料を作ってきたのは我々Pu-3という施設でございますけれども、こういったものを活用できるのか、できないのか。こういったものを規制庁さんと相談させていただきながら、どれがベストかということは今後は決めていく必要があるかと思っております。

まだ少し余裕がございますので、その中で決めていくということになるかと思っております。

(上坂委員長) それから、これはコメントですが、最後のページでしたかね。今後の計画にありましたが、そうだ、12ページです。先ほどの議題でもありましたように、まず、アクチニウムという世界的に非常にがん治療に期待の高い薬剤の製造というテーマがあります。また、上の方、放射性廃棄物の有害度を低減するための照射試験。正にマイナーアクチノイド、半減期が長い放射性物質をいかに低減するかと。その実証研究がこれで実施されると。また、安全性に関しても、先ほど御説明あったように、もう自然循環で安全に冷却できると。これが革新炉の安全の非常に重要なポイントであると。最初これもここで実証される。かつ、この高速炉、実験炉が西側諸国で唯一の高速照射炉ということで、とても期待度が高いです。是非早く稼働していただいて、そして、この目的を達成していただきたいと思っておりますので、頑張ってくださいと思います。

(大島理事) 温かいエール、ありがとうございます。私どもは精いっぱい頑張りたいと思っておりますので、是非引き続きよろしくお願ひしたいと思います。ありがとうございます。

(上坂委員長) ほかに委員の方から。

それでは、どうも御説明ありがとうございました。

それでは、議題2は以上であります。

次に、議題3について、事務局から御説明をお願いします。

(進藤参事官) JAEAの皆様、御説明、誠にありがとうございました。

出席者の方の交代をしていただきます。

三つ目の議題は、日本原子力研究開発機構高速実験炉原子力施設「常陽」の設置変更許可についての諮問でございます。

令和5年5月24日付けで、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試験研究用等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24条第2項の規定に基づき、試験研究用等原子炉が平和の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、原子力規制庁から説明を聴取し、委員会において議論を行った上で、次回以降、答申を行う予定です。

それでは、原子力規制庁研究炉等審査部門安全管理調査官、荒川一郎様、上席安全審査官、有吉昌彦様、管理官補佐、片野孝幸様に御出席いただいております。御説明をよろしくお願いたします。

(荒川安全管理調査官) 原子力規制庁の荒川でございます。

ただいま御紹介ありました件につきまして、資料の3-1を用いまして御説明したいと思います。今までのお話の中で繰り返しになるところもありますけれども、御説明いたします。

国立研究開発法人日本原子力開発機構(JAEA)ですが、こちらの大洗研究所、南地区にあります高速実験炉原子炉施設、常陽でございますが、これにつきましては平成29年3月に原子炉等規制法の規定に基づきまして申請がございました。審査の結果ですが、同法第26条第4項において準用する同法第24条第1項の各号のいずれにも適合していると認められますので、同法第26条第4号において準用する同法第24条第2項の規定に基づきまして、別紙のとおり、同条第1項第1号に規定する基準の適用について、平和利用でございますが、原子力委員会の意見を頂きたいということでございます。

3-1の次のページから別紙となっておりますけれども、その前に、資料3-2を御覧ください。

申請の概要ということでございまして、表紙1枚めくっていただきまして、1ページ目ですけれども、(3)でございます。変更の内容でございますが、常陽は今回の申請で、本文記載事項第3号の「試験研究用等原子炉の型式、熱出力及び基数」、第5号の「試験研究用等原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備」、それと第8号の「使用済燃料の処分の方法」、それぞれの変更をしております。

(4)の変更の理由でございますが、改正された原子炉等規制法の施行に伴いまして、常陽を試験研究用に供する原子炉等の位置、構造及び設備の基準、新規制基準適合のための変更を行うというのが一つと、これに伴いまして、原子炉本体と計測制御系統施設の構造

並びにこれらの設備を変更して高速炉燃料材料の開発のための照射試験に必要な性能を踏まえて、熱出力を100メガワットに下げるといったこと。あわせて、記載事項の一部を関係法令等の条文と整合した記載となるように変更すると。今後の照射試験計画等を踏まえて、燃料要素の種類を削減すること。固体廃棄物一時保管場所を保管廃棄物施設に変更することにより管理の改善を図るとしてございます。

変更の内容としてはこんなところなのですが、資料3-1に戻っていただきまして、表紙めくりまして裏のページですが、別紙でございます。

原子炉等規制法24条第1項第1号、平和利用への基準適合でございますが、この別紙の下半分のところですが、ポツ三つ打ってございます。一つ目ですけれども、試験研究用等原子炉の使用の目的を変更するものではないということ。それと二つ目、三つ目につきましては、これ、前の議題でJAEAからの御説明もありましたけれども、使用済燃料の処分の方法のことでございまして、これを説明を受け確認してございます。

以上のことから、試験研究用等原子炉が平和の目的以外に利用されるおそれはないものと認められるというように判断してございます。

私からの説明は以上となります。御審議のほど、よろしくお願いいたします。

(上坂委員長) この資料2-2は、御説明は特にない。

(荒川安全管理調査官) はい。こちらにつきましては、主に許可基準の3号に当たる、設備対応の話でありますので、今日はちょっと割愛させていただこうかなというふうに考えてございます。

(上坂委員長) はい、分かりました。

それでは、委員会の方からの御質問させていただきます。

それでは、佐野委員。

(佐野委員) 御説明ありがとうございました。

この3-1の別紙に、「使用の目的を変更するものではない」「使用済燃料については適切な方針を採っている」それから、「海外再処理を行う場合は政府の確認をとって」とありますが、これらをどのように確認されたのでしょうか。

(荒川安全管理調査官) 規制庁の荒川でございますが、まずは審査会合の中でこれは確認をしているということでございます。使用済燃料の処分の方法については去年の夏から秋にかけて公開の審査会合で議論させていただきましたし、加えて、申請書にもこのようなことは書いてございますので、そういった点を踏まえて、平和利用であるというふうに判断を

したということでございます。

(佐野委員) 何か確認の紙を取ったわけではなくて、審査の過程で確認できたと、こういうことですね。

(荒川安全管理調査官) はい。審査の過程、審査会合の資料の中で、その使用済燃料を国内でどういうふうにするのか、海外ではどんなところができるのか、そういったことをJAEAの方から説明を受けていますので、それは公開の会合でやらせていただいていますので、資料も公開されていますし、審査会合の動画も残っていると、そういうような状態になっております。

(佐野委員) ありがとうございます。

(上坂委員長) では、岡田委員から。

(岡田委員) 私の方からは、先ほど説明がありました変更の理由のところ、熱出力が100メガワットということで、その100メガワットというのは、以前は、その前はどのぐらいのワット数で、そして、燃料はそれによって減少したのか増えたのかということをお聞きしたい。

(荒川安全管理調査官) 規制庁の荒川でございます。

熱出力自体は、MK-III炉心というのが今ある炉心ですけれども、それは140メガワットでございます。今回変更申請ということで100メガワットにするわけですけれども、燃料集合体自体の数も減らしてございます。

(有吉上席安全審査官) 85体から79体に削減いたしました。

(荒川安全管理調査官) ありがとうございます。

(岡田委員) 85体から79体。

(荒川安全管理調査官) はい。

(岡田委員) その残りはきちんと保管されるということを確認された。

(荒川安全管理調査官) そうですね。今まで85体で運転してございましたけれども、79体になりますので、減った分はその後使っていただけますので、新燃料貯蔵庫であったりそういったところで保管がされ、これからの運転で使われるということになります。

(岡田委員) 全体として減ったとかそういうことではなくて、そこに保管されるということですね。

(荒川安全管理調査官) はい、認識のとおりでございます。

(岡田委員) ありがとうございます。以上です。

(上坂委員長) 今日は御説明なかったですけども、資料2-2、前もって見させていただいて、それから、たまたま先ほどJAEAの方から審査の状況を御説明いただきました。1点、関連でお伺いしたい。これ、出力、今もお話ありました100メガワットで、キロワット換算で10万キロワットですかね。大きな発電所2万100万は百万キロワット超えていて十分の一以下審査実績がある。これは試験研究炉ということで、かつ、世界に一つしかないタイプ。試験研究炉はみな仕様が別々です。ということで、甚だ審査は大変かと思えます。先ほどお話があったように、様々なBDBAを考えながらやっていかなければいけない。商用炉はある程度共通仕様です。研究用の場合はその都度考えていくと。そういう御苦労があったと思うのです。それも6年ほど要しているということですね。

実は私、大学の教員をやっていたときに、日本原子力学会で研究炉検討委員会というものの主査やっていました。原子力学会では人材育成という観点から研究炉を早く再稼働してほしい。当時、七、八年前はまだ研究炉が全て停止している状況だったので。それから一方、日本学術会議でも同じように研究炉の委員会がございまして、そちらでは研究開発という視点から研究炉は早く再稼働してほしいと。そういう二つの観点を2つの団体で議論して、別々の報告書を作っていたということでもあります。

要は、出力が商用炉に比べて、この常陽の場合ですと、単純計算ですけども、10分の1以下だったとすると、審査も合理的になるのではないかなと。そうすると、その審査期間を合理的に。もちろん安全全部を確認するんですけども、合理的にすることができるのではないかな。そうすると、学生の実験とか研修に早く使える。それから、科学技術に使えると。中性子が使える研究と教育を促進することが早期にできるのではないかな、そんなことを議論いたしました。

そういう観点、難しいかもしれないんですけども、この常陽の安全審査に際して、変更許可審査に関して、グレーデッドアプローチといいますけれども、出力に応じた合理的審査と。それで、原子力学会でもそのための企画セッションを何度かやりまして、規制庁からも御登壇いただいて、一緒に議論させて情報交換もさせていただいた。そういうことが過去あったということ踏まえまして、今回のこの審査では、グレーデッドアプローチはこういうところに生きたかなというふう考えるわけです。

(荒川安全管理調査官) 平和利用という観点じゃなくてという意味ですよ。

(上坂委員長) そうです。

(荒川安全管理調査官) 規制庁の荒川でございます。

試験研究炉自体の審査については、グレーデッドアプローチという考え方、一応取り入れてあります。安全性を確保した上で合理的に審査ができるようにということでやってございます。

例えばですけれども、火災対策、火災の発生防止であるとか、感知・消火、影響軽減、これ、火災の3方策と我々申し上げていますが、これも、3方策全部、全てやりなさいというふうに求めているのですけれども、試験炉については、この3方策はあるんですけれども、必要に応じて組み合わせてくださいというふうにしています。

また、耐震Sクラス、基準地震動SSSsに対して保つように造りなさいというSクラスですけれども、こういった施設を持たないような試験炉については、ビヨンドDBA対策、実用炉でいえばSA、シビアアクシデント対策というのをここに求めています。こういった、例えばですけれども、グレーデッドアプローチを図ってございます。

一方で、常陽については、上坂先生からお話がありましたけれども、出力は10分の1以下だということではあるんですけれども、やっぱり試験炉としては大きいものです。更によく言うと、国内唯一のナトリウムを冷却材に使った高速炉というところもありますので、これは慎重にやったというところがありまして、常陽についてグレーデッドアプローチ、何かあるかといえば、ちょっと思い当たらないというのが正直なお話であります。

けれども、合理的な審査という点では、我々、通常は試験炉の審査というのは審査会合開いて、担当の委員1人と、あと事務方、我々ですね、審査を進めていくわけですけれども、常陽については、審査の論点になるようなポイントというものを原子力規制委員会本体の方で、どんな項目を判断したら、見ていったらいいかというようなものを原子力規制委員会本体の方で議論していただいて、それを方針を決めもらった形で、審査会合で審査を進めてきました。全体から見れば、手戻りが起こらないようにしようということで、結果的には合理的になったんじゃないのかなというふうに私は考えてございます。

(上坂委員長) そうしますと、今後期待される実証炉実証炉、そういうところに今回の審査の方法実績が生きることがあるかもしれない。

(荒川安全管理調査官) はい、おっしゃるとおりでありまして、特にビヨンドDBA対策については、これ、JAEAからの説明がありましたけれども、どんな事象を想定しなきゃならないかというのをJAEAは、JAEAだけか分かんないですけれども、PRAみたいなものやっております、そういった結果を見ながら、さらには海外の知見というのも確認しながら、こういった事象を確認していけばビヨンドDBA対策として、審査とし

てはいいんじゃないかと。これの内容についても原子力規制委員会本体の方で確認をして
いただいて、これでいいかと、ゴーサインを頂いてやってきましたので、そういったと
ころは今後の高速炉実証炉、次のステップの炉のところでも活用はできるのかなと考
えてございます。

(上坂委員長) 私は以上、今の御回答で審査の非常に御苦勞された実態が非常によく分
かりました。

私からは質問以上ですけれども、ほかに質問は何か。

それでは、今、御質疑が、質問させていただきましたので、その質問を、本日の質問
内容、意見交換を踏まえまして委員会で検討いたしまして、特に平和利用の観点で
検討いたしまして、今後、委員会の意見をまとめたいと思います。

では、御説明、どうもありがとうございました。

(上坂委員長) 議題3は以上でございます。

次に、議題4について、事務局から説明をお願いします。

(進藤参事官) 規制庁の皆様、御出席ありがとうございました。

それでは、四つ目の議題は、京都大学複合原子力科学研究所の研究用原子炉の設置
変更承認(標準応答スペクトルを考慮した基準地震動の追加等)についての答申でござ
います。

令和5年5月17日付けで、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試験研究用等原子炉の設置変更承認を行うに
当たり、原子炉等規制法第26条第1項及び第73条の規定に基づき、試験研究用等
原子炉が平和の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案について御審議をお願いいたします。

それでは、事務局より説明をお願いいたします。

(下村補佐) それでは、資料の第4号に基づきまして、事務局より御説明いたしま
す。

京都大学複合原子力科学研究所の研究用原子炉の設置変更承認の申請について
の答申案でございます。

本件の内容につきましては別紙を御覧ください。

本件の申請につきましては、標準応答スペクトルを考慮した基準地震動を追加す
るといった、そういった変更内容でございますので、平和利用の観点から見まし
たところ、本件申請については、試験研究用等原子炉の使用の目的、これにつ
いては変更がないこと。

二つ目のポツでございますが、使用済燃料の処分につきましても、我が国が原子力平和利用に対する協力のための協定を締結している国の再処理事業者である米国エネルギー省に引き渡す方針に変更はないことということでございまして、これらの諸点については、その妥当性が確認されていること。

加えて、我が国では、当該試験研究用等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。

また、本件に関して得られた全ての情報を総合的に検討した結果から、当該試験研究用等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とする原子力規制委員会の判断は妥当である。

以上でございます。

(上坂委員長) 御説明ありがとうございます。

それでは、質問させていただきます。

それでは、佐野委員、よろしく申し上げます。

(佐野委員) 御説明ありがとうございます。私はこの答申案で結構です。以上です。

(上坂委員長) 岡田委員、お願いします。

(岡田委員) ありがとうございます。

私も、この京大炉が、京大研究用原子炉が平和利用の目的以外に利用されるおそれがないと認められると思います。

以上です。

(上坂委員長) 私も、前回、この設置変更申請の内容、十分議論理解しておりますし、かつ、平和利用の観点からも問題ないことを確認していますので、これでよろしいかと思えます。

そういうことでよろしいですか。

(佐野委員) いいです。

(上坂委員長) では、今回のこの答申案で答申をまとめさせていただくということにさせていただきます。1点、前回、商用炉、それから核燃料施設、商用施設の同様の地震動対応の設置変更申請の状況を伺いました。今度は現在稼働中等の、KUR以外の研究炉における地震動対応の設置変更申請の状況についても教えていただけないでしょうか。

(下村補佐) 規制庁の方に確認し、見ましたところを御説明いたします。

まず、新規制基準対応の設置変更許可・承認がなされている試験研究用等原子炉施設は、JAEAの原子力科学研究所のNSRNSRR、STACY、JRR-3、放射性廃棄物

処理場、あと J A E A の大洗研究所の H T T R、京都大学の K U R と K U C A、近畿大学の近大炉がございます。このうち、今回の標準応答スペクトル規制が求められている施設は、耐震 S クラス施設を有するものということで、J A E A 大洗研究所の H T T R と今回のこの京大 K U R と J R R - 3 ということになってございます。ただし、J R R - 3 につきましては、標準応答スペクトルは既許可の基準地震動に包含されているため、特設設置変更許可申請は不要となっているということで、H T T R のみが審査中でございます。

あと、常陽につきましては、先ほどの諮問の説明がございました。あの中で既にこの標準応答スペクトル対応の基準地震動も追加されていますので、そこで審査されているというふうに聞いてございます。

以上です。

(上坂委員長) ありがとうございます。

それでは、本件に関しまして、案のとおり答申をするということでよろしいでございましょうか。

それでは、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 4 は以上であります。

次に、議題 5 について、事務局から説明をお願いいたします。

(進藤参事官) 今後の会議予定について御案内いたします。

次回の定例会につきましては、6月13日火曜日14時から、場所は5階の共用D会議室でございます。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いたします。

(上坂委員長) ありがとうございます。

その他、委員から御発言ございませんでしょうか。

それでは、御発言ないようですので、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。