

第3回原子力委員会定例会議議事録

1. 日 時 令和7年1月21日（火） 14：00～16：25

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、岡田委員、青砥参与、畑澤参与、岡嶋参与

内閣府原子力政策担当室

徳増審議官、山之内参事官、武藤参事官

横浜市立大学附属病院 核医学診療科

助教 高野祥子

東芝エネルギーシステムズ株式会社 パワーシステム事業部

原子力技師長 松永圭司

4. 議 題

（1）ルテチウム-177を用いたセラノスティクスに係る当院の取組（横浜市立大学附属病院 核医学診療科 助教 高野祥子氏）

（2）東芝の革新炉の取組（東芝エネルギーシステムズ株式会社 パワーシステム事業部 原子力技師長 松永圭司氏）

（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3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、ルテチウム-177を用いたセラノスティクスに係る当院の取組、二つ目が東芝の革新炉の取組、三つ目がその他でございます。

それでは、事務局から説明をお願いいたします。

（山之内参事官）一つ目の議題、ルテチウム-177を用いたセラノスティクスに係る当院の取組でございますが、横浜市立大学附属病院核医学診療科、助教、高野祥子様から御説明い

ただき、その後質疑を行う予定でございます。

本件は、「原子力利用に関する基本的考え方」3の7、放射線・ラジオアイソトープの利用の展開に主に関連するものとなります。

それでは、高野様からの説明、よろしくお願いいたします。

(高野先生) ありがとうございます。横浜市立大学附属病院核医学診療科の高野と申します。

本日は、今、病院の中で取り組んでおります、ルテチウム-177を用いたセラノスティクスに係る当院の取組についてお話しさせていただければと思います。

まず、ルテチウム-177を用いる核医学治療ですが、こちらは近年、核医学治療の中でも非常に多く使われてくるようになっているものです。右に挙げている論文はかなり有名なものではあるのですが、米国の核医学治療の経済規模というのは今後急激に大きく成長してくるというふうに予想されています。

この表の中の紫色の部分が核医学治療に関わるものですが、2010年代にはほとんどなかったものが、20年代になって一気に増加しています。青色がテクネチウム、赤色がPET核種、緑色がその他の診断核種による経済規模を示すものですが、それに比べてこの紫色の部分は核医学治療・核医学診療の経済規模の中で約半分にまで成長するということが記されており、「Lancet Oncology」にも転載されています。

私の方でここに挙げられている治療薬の全て、核種が何を使っているかというのを調べてみたところ、オレンジ色で丸を付けたもの、つまりこの論文に挙げられた薬剤のうちの6割以上がルテチウム-177を用いているということになります。左側の表のように、PubMedで検索してもルテチウム-177の治療薬というのは近年非常に多く開発されているということが分かりますので、今後の核医学治療において、少なくとも近未来の中ではルテチウムが最も多く使われる核種ということが予想されます。

次に実際の治療効果について、こちらにも有名な論文ではありますが、お示しします。神経内分泌腫瘍という希少がんに対してですが、標準治療で増悪した患者さんに対して、標準治療の薬剤の倍量使う群と、 $^{177}\text{Lu-DOTA TATE}$ というルテチウム-177を用いた薬剤を用いた群に分けて全生存率や無病再発生存率をみた第Ⅲ相試験です。結果は近年の薬剤開発の治験において、まれに見る大差を付けて $^{177}\text{Lu-DOTA TATE}$ 群の方がより高い治療効果を示しています。また、有害事象もごく僅かであり、圧倒的な治療効果を示しています。日本でもこの薬剤について治験がなされて、最終的に現在では保険承認が得られています。

では、対象疾患はというと、ソマトスタチン受容体陽性神経内分泌腫瘍。先ほど希少がんという話を少ししましたが、大体10万人当たり5人ぐらいがいいところかなというような有病率です。PRRTの適用になるのはその中で手術治療ができない方ですので、約1割ということで、100万人当たり5人ぐらいという計算が出てきて、これぐらいが現在のルテチウムを用いた核医学治療の適応患者数ということになるかと思います。

しかし、これでも実は今、病院の核医学診療は精一杯です。神経内分泌腫瘍の患者さんにルテチウム177の治療薬を使うだけで、施設キャパシティーなどの問題で大変な思いをしているんですけれども、ではこの後どうなるかというと、こちらもこの世界では非常に有名なVISION試験というスタディーですが、前立腺がんの患者さんに対して、¹⁷⁷Lu-PSMAという治療薬を使った試験で、先ほどと同じように(既存治療薬群と比較して)全生存率で見たときに、これだけ優位な差を出して¹⁷⁷Lu-PSMA群の方がよりよい治療効果であったということです。PSMAを用いた核医学診療薬によって、前立腺がんの診療は新しい時代が来るであろうということを、ヨーロッパの泌尿器科学会は2021年当時に示しています。日本ではまだ未承認ですけれども、米国では先ほどの試験をもって、前立腺がんの患者さんに対してLu-PSMAの治療が承認されています。

では、その治療の患者さんの規模はどれぐらいかというと、前立腺がんは、ご存知の通り大変患者数の多い疾患です。ただ、現状の米国の承認範囲は、前立腺がんの患者さんの長い病歴の中で、初期治療後などに再発をされて、ホルモン治療が効かなくなって、新規ホルモン治療やタキサン系を受けて、それでも効かない状態という、治療の最終ラインのところの患者さんを対象とした承認です。ですので、日本でいうと年間900人ぐらいの患者さんではなかろうかと試算しています。

一方、今もう既に去年発表されました、PSMA fore試験という、VISION試験よりも1段階前のタキサン系抗がん剤治療を受ける前の患者さんに¹⁷⁷Lu-PSMAを使ったらどうだろうという試験の結果が出たのですが、こちらも非常によい成績を出しています。更にもう少し前の段階で使うのはどうだろうということで、ホルモン治療前の患者さんであったり、もっと前の再発がわかったばかりの段階の患者さんであったりを対象とした試験がすでに実施され、より早期の段階で¹⁷⁷Lu-PSMAを使うことが検討されています。これらの試験も今後良い成績を出す可能性が高いと、個人的には考えています。

そうしますと、対象の患者さんが勢いよく増えてくるということになります。(前立腺癌最終ラインで試算した、)年間900人という数字でも、先ほどの神経内分泌腫瘍の100

万人当たり5人とかに比べると随分多いですけども、この後更に勢いを持って対象の患者さんが増えてくると予想されます。

さらに、先ほどたくさん研究が進んでいるというふうにお話をしましたとおり、前立腺癌だけでなく、例えば膵臓や乳がんや腎がんなどのがんの間質に特異的なリガンドとルテチウム-177をくっつけた治療薬というのが今研究されていて、こちらにも既に海外でも臨床試験が始まっています。近い将来、日本にも入ってくるかもしれません。そうなりますと、本当にいくらルテチウム-177の治療薬をやっても追い付かないんじゃないのでは、というぐらい、ニーズの高いものになってくるというふうに考えています。これ以外にもたくさんの治療薬が現在研究されています。

ということで、がんの診療というのは、私が学生の頃は手術治療と化学療法と、そして放射線治療の3本柱でやるんだよということが言われていました。今の学生さんは、これに免疫治療が入るんだよというふうに習ったりするそうです。ただ、今後はここに核医学治療というもう一つの柱が加わってくると考えてもいいのではないかなというふうに思っております。

こういう話をしますと、アルファ核種の方がより治療効果が高いんでしょう、生物学的効果が高いので、しかも飛程距離が短いのですので外来治療ができるから、ルテチウムはそんなにたくさん要らなくなるのではないですかという質問を受けることがあります。確かにアルファ核種の方が生物学的学効果がなくて、ルテチウムで効かなかった患者さんにも効くというデータは実際に多く発表されていますので、そのとおりだと思います。

一方で、ルテチウムが必要なくなるのかというと、私はそうは考えておりません。というのは、近年の研究でアクチニウムを使ったほうがルテチウムより治療効果が高いよという発表があるんですけども、そちらを見ると必ず出てくるのが口腔内乾燥症の発生です。ルテチウムはGrade 1・2合わせて多く見積もって30%程度というところなのですが、アクチニウムですと82%という大規模なメタアナリシスが出ておりました。

Grade 1・2というのは、がんの治療においては軽症というふうに呼ばれますので、軽度の有害事象というふうに考えられて、軽症、時には中等症ですら、治療効果に比して許容範囲の有害事象と扱われることが多いんです。でも、口腔内乾燥症のGrade 1・2とは何かと見ていただきますと、Grade 2ですと経口摂取の変化、つまり食べ物がおかゆでないと食べられないとか、夜もお水を短時間間隔で飲まないで寝られないとか、本当に普通の食べ物が食べられない状態を定義しています。当然お煎餅なんてとても食べられません

という、そういう生活を強いてしまうことになります。

もう一本の別の論文も紹介します。こちらは、先ほどの最終ラインよりもっとずっと早い段階でアクチニウムを使ったらどうでしょうかということを検証するために、最近新しく出た論文ですけれども、やはり94%の方がGrade 1・2の有害、口腔内乾燥症を出している。この先生方は、アクチニウムは多分今、世界で使ってらっしゃると思うんですけれども、この方が別の論文の考察の中で、やはりアクチニウムの口腔内乾燥症と、それから世界的なサプライ、供給の制約を考えると、アクチニウムを使う患者さんの適用というのは、よく考えなければいけないということを書かれています。

ということで、やはりまずはルテチウムを使うという現状に関しては、少なくともしばらくは代わりがないのではないかというふうに考えています。

次に、ルテチウムを使った治療の病院での実際についてお話をさせていただきます。

まず、我々がこの治療をやりたいと思った2011年当時ですが、核医学治療を行う病床というのはRI病床や放射線治療病室と呼ばれる特殊な病室でのみできるということになっていました。一方で、その病床は日本の中で大変不足していて、甲状腺がんに対する¹³¹I内用療法だけでも、飽和を超えて治療の待機時間が非常に延びていました。待機時間が長過ぎて、日本の患者さんは待機時間が長いことで生命予後が悪化しているというデータが日本から出るほどに足りない病床で、大問題になっておりました。

そこにルテチウムの治療も承認に向けて治験を行いたい、という状況になったわけです。この放射線治療病室への入院の必要性について規定していたのが医療法施行規則第30条の15です。そこに核医学治療薬によって治療を受けている患者さんは、放射線治療病室以外には入院できないということが書かれていました。

しかしよく読むと、ただし書に、“適切な防護措置を講じた場合にはこの限りではない”ということが書いてありまして、こちらをどうにか利用できないかということで、多くの先生方のお知恵と御協力を頂いたという次第です。

そもそもRI、放射性物質の性質が薬剤の代謝経路とかによって大きく違っていて、それによって患者さんの必要な管理というのも大きく異なると考えられます。¹³¹Iの場合には気化する放射性RIですので、呼気や不感蒸泄からも出てきて、専用の排気管理も必要になりますが、ルテチウム-177ドータテート（商品名ルタテラですけれども）、こちらの場合にはRIはほとんどが尿から排せつされ、また金属核種ですので、呼気や不感蒸泄に出てくるとことはほとんどないと考えられます。ですので、尿を適切に管理するのが一番のポイ

ントということになります。

これらをどのように管理したら適切な防護措置になるのかということについて、厚労班研究の細野班の先生方に大変御尽力いただきまして、どのように行うかについてマニュアルとしてまとめていただきました。これに基づいて安全に治験が行われて、その後、厚労省関係団体の御尽力により、医療法施行規則そのものの改正がなされました。そして、特別措置病室という名前で、一般病室に特別な防護措置を講じて、排水管理は蓄尿で、排気管理は特別に必要ないよという病室を作っていただきました。関係する法令の改正とか省令の改正なんというのはたくさんあったんですけども、こちらは皆さん、多くの先生方に御尽力を頂いて、現在も特別治療室が成り立っています。

画期的な点としては、やっぱり一般病室でできるというところで、実際の患者さんにどういった指導をするかということ、トイレの中で尿を全量ためていただく。一滴もこぼさないようにしてくださいということをお願いします。残りは医療スタッフと2メートル距離を取ってくださいとか、1週間以内はおうちの方ともなるべく1メートルぐらい距離を取りましょうとか、ごみごみしたところに行ってはいけませんよと、そういった指導をさせていただきます。

病院内の特別措置病室ですけども、ここにお示ししたように幾つか防護措置を講じるんですけども、大きなところとしては、隣室の患者さんに3か月につき1.3ミリシーベルト以下に放射線量が担保されるように、多くの病院では遮蔽板を活用されているというふうに思います。また、入り口にみだりに立ち入らないような掲示を行ったり、汚染しやすい場所にはポリエチレン紙を敷いて、あらかじめ養生を行ったりします。あとは入り口に放射線測定器などの機材を備えておきます。

病院自体を見たときに、私はもともと排気の管理のときに、放射線治療病室と、新たに設置してもらった特別措置病室なんですけれども、どういうふうに違うかというのをまとめてみました。

放射線治療病室ですと常設ですので、核医学治療以外で使用できません。また、新設する際には3か月以上の申請期間や、100万単位の申請書を外注するための費用というのが掛かってきます。設備に関しても先ほどからお話ししていますように、専用の排気設備、配管設備というのが必要になってきて、遮蔽も当然必要になっております。

特別措置病室の方を見てみると、こういうのを一時的に設置するだけで済みますので、まず入院患者さんは放射線、核医学治療以外は入院できるということは、すぐに一般病室とし

てほかの患者さんを入院させることができます。病院では、今、病床利用率というのがかなり厳しく言われる状況でして、ちゃんと利用できていないと病院はすぐ赤字になってしまいますので、核医学治療以外で使えないという結構赤字病床になりがちなんですけれども、それがしっかり回転させられる、有効活用することができます。

また、手続が、これはちょっと実際によって違いがあるんですけれども、少なくとも放射線治療病室に比べれば簡便であることが多く、また専用設備が要らないので、作るまでのものと初期費用としても掛かってこないということになります。

また、ちょっと左と右に比べまして、放射線治療病室ですと、入り口の前に手洗い、更衣室、据え置き型サーベイメーターなど、前室と呼ばれる場所が必要になってきます。こういった場所が不要になりますので、病院の限られたスペースの中で、入り口に必要な機材を収納ボックス等で準備するだけで設置できるというのは、病院にとっては大変メリットが高いです。ここまでが特別措置病室のメリットが高いことかなと。

一方で、放射線治療病室は、あらかじめ床や建具など、除染しやすい素材で造ってありますけれども、特別措置病室では、こういった場所を人力で養生するということで造られているので、一回一回手間が掛かるとは言えると思います。

除染作業ですけれども、放射線治療病室は常にR I 管理区域ですので、除染し切れないときも汚染拡大防止措置ができればそのまま使用することができると思うんですけれども、特別治療室は次、一般の患者さんがまた入院されますので、退院ごとに法令基準以下まで除染する必要が出てまいります。

また、看護師の配置としては、放射線治療病室という病棟があれば専属スタッフが配属されやすいですけれども、特別措置病室は一般病棟の中で通常の治療と一緒にしようというふうに作られますので、看護師としては兼務になりやすく、ほかの通常看護と並行して受けますので、その辺りの苦労があるかなというふうに思います。

当院の特別措置病室ですけれども、このように看護助手さんが病室の養生を行ってくれています。なるべく簡便にするようにというので、汚れにくい場所と汚れやすい場所というのをしっかり区別するようにした上でマニュアルを作成しています。

また、特別措置病室の解除、除染作業ですけれども、こちらは診療放射線技師等で、ちょっと診療科はいろんな医師がやっていたんですけれども、医師と技師がチームで除染して、1部屋当たり15分から30分ぐらいを目安に除染することが多く、これを日々の診療の中で分割捻出しているという感じでした。

ただ、この解除作業、結構泥くさい作業でして、まず部屋中隅々、汚染がないかを測定します。トイレ床なんかはしばしば汚染がありますので、養生シートをR I 感染性の廃棄物として廃棄したり、汚染していないシートに関しては別に分別したりします。

便器内、便中にも多少放射能が入るとか、蓄尿操作の中で跳ねがあるとか、いろんな事情だと思うんですけども、ほぼ確実に除染が必要となる場所ですので、トイレ掃除に見えますけれども、こちら除染作業になります。

そして、特別措置病室という仕組みがあることでやっとな治療できる、本当にありがたいというのはあるのですが、やっぱり蓄尿操作というのは結構難しいことで、放射能を含む尿が一滴でもどこかに付いてしまう、またそれを踏んづけて歩いてしまうということが起きれば、当然病室の部屋中の床が汚染します。こちら、部屋から出るわけでないの、危険にどこかに汚染が広がることはないんですけども、一方でそれをまたほかの患者さんに使われる前には、全てを除染しなければいけませんので、除染に長時間を要する場合もあり、こちらを普通の掃除の業者さんにやらせるわけにいかないですので、病院内でも特殊な能力のある者がこういった作業に従事するということになっています。

こういったことをなるべく減らす工夫として、例えば便器はガラスコーティングを行うとか、トイレ用と部屋用でスリッパを2足分けるとか、蓄尿に失敗しないように患者さんに他職種で何度も教育を行うとか、病院としてはかなり細かい工夫を行っています。

それ以外にも、持ち物はもちろん最小限にさせていただくんですけども、使用しないものまで汚染することを避けるために、ビニール袋に入れて、退院までは開けないようにしていただく。それによってその中のものは絶対に汚染しないようにするといった工夫も行っています。

それでも、やはり患者さんが増加してくることによって、汚染性、感染性のR I 汚染というのはどうしても増加してきます。一滴でも尿が付着したら、測定するとはっきり出ますので、これは感染性かつ放射線性の汚染物として院内で適切な管理をする必要があって、特に例えば尿を蓄尿したボトルや採尿容器なんていうのは必ず尿が付くものですので、それをそのままごみに捨てることはできません。

感染性が除去できるものに関しては、専用の委託業者さんが日本にありますので、そちらに回収依頼をするんですけども、現実的に院内で感染性を除去できる者というのは結構限られています。

残りについては学会ガイドラインで、おむつの取扱いというのがあって、そちらに準じて

限定保管を行って、バックグラウンドレベルまで低下したことを確認して、もう一度感染性廃棄物として廃棄を行ったり、また衣類に関してはクリーニングを行ったりしております。

ただ、今までの一般的な検査用の核種と違って、治療用核種のほうが半減期が長いので、減衰保管期間も長く、また患者さんの数が増えているので、結果的に保管場所を圧迫しますし、また減衰確認に掛かる業務時間というのも非常に長くなってきています。医療機関においては、こういった汚染ごみの管理というのが治療キャパシティーの大きな制約になる可能性があるというふうに考えられます。

本当に元気で自立した患者さんでも、ご自身も気づかぬうちに尿が下着を超えて衣類についてしまう汚染がかなり多かったので、当院ではこれを減らす工夫を色々試したのですが、今はもう最終手段として、すべての患者さんにおむつを履いていただいています。ただ、蓄尿操作に関しては避けにくいので、蓄尿がちゃんとできなそうという方に関しては、適応自体をかなり制限せざるを得なかったということがあります。やっぱり患者さんの多大な御協力があってこそ成り立つのが特別措置病室だという現状があります。

一方で、すごく心苦しいことに、やっぱり御理解力が難しい、御協力が得られない、また病状ADLの観点から治療ができないという方も出てきてしまいます。ここで、当院は治療キャパシティー拡充のために幾つか設備投資の決断をいたしました。

一つ目は患者さんの蓄尿ですけれども、先ほどからお話ししているように、患者さん御自身が尿をためるというのは、どうしても飛び散る、跳ねるリスクが常にありますが、当院ではR I 貯留槽に切替えスイッチを使って直接流入させる工事を行いました。これによって、患者さんは普通にお手洗いしていただくだけで貯留槽に流れて、案内管理ができるというふうになりました。蓄尿が難しい患者さんでも治療してあげられるようになりました。

ですが、これがちょっと当院の特殊な事情によるものでうまくいっているのかもしれませんが。当院では20年以上前に閉鎖した放射線治療病室の経緯があって、R I 貯留槽は当時のまま容量が大変大きかったので、特別な工事を加えなくても直接流入してくる放射エネルギーや排水量に対応可能でした。一般的な病院ではもっと小さな貯留槽しかお持ちでないことが多いので、この配管工事以外に貯留槽の拡充工事も必要になるというふうに思われます。この配管工事だけでも当院にとってはかなり大きな資金が必要となりました。

ほかの方法として考えられるのは、尿道カテーテルの利用で、患者さん御自身が蓄尿しなくても済むという方法がありますが、これにすると先ほどの特別措置病室の遮蔽計算においては生物学的半減期が使えず、特別治療室としての利用の量が制限される可能性があったり、

あとスタッフや患者さんにとっても不要な被曝が出てきたりします。

あとは、尿を災害用トイレで固形化してためるという方法もあるそうなんですけれども、これに関しては固形化した尿の廃棄に関する問題が出てまいります。ということで、なかなか一筋縄ではいかないところなのかなというふうに思っています。

もう1個、当院で行った設備投資ですけれども、当初このように遮蔽板、左側のように遮蔽板を設置しておりましたけれども、治療患者さんが増えてくると、毎回遮蔽板を移動して、ただ設置するだけではなくて、それによってベッドの配置の変更なども出てきますので、ナースコールが隠れてしまう、ガス管が隠れてしまうというのを延長したりする手間、また遮蔽板も結構重たいですので、倒れないようにする。脚も長くて、脚が出ていることによる医療安全上のリスクとかを鑑みて、遮蔽板をもともと病室に埋め込んだという新しい物質を作ることになりました。これによって看護助手さんに毎回ずらさなくてよくなりました、大変よくなりましたと言っていただきますが、病室の内観もとてもよくなりましたので、非常によい投資だったと思うんですけれども、もちろんすごい大金が動いております。

もう一つ、当院で最近やってもらったものとして、治療キャパシティー拡充のための人的資源の確保ということをしていただきました。もともとこの核医学治療というのに対して、核医学治療に専属の診療科があるわけではなく、またもともと患者さんを診ている、神経内分泌腫瘍を診ている診療科、主診療科というのがあって、それに加えて放射線関連の放射線治療科や診断科などの核医学に関わる診療科というのが、どうにか協力してやっていったんです。けれども、更にその病床の調整や検査室、技師・看護師の調整、病院事務のいろんなところとの調整を全部やっていくと、大変調整が多くて、それだけでもう1日が暮れてしまうぐらいの診療業務になってきていたので、そこに対して真ん中に核医学診療科というものを新しく作っていただきました。まだまだ新しい診療科ではありますが、こういう部門ができたことによって病院の業務というのが行えるようになってきたんじゃないかなというふうに思っています。

最後に、この急激なニーズ増加に対して、法的というか、規制に関する問題を挙げてみたいというふうに思います。

特別措置病室で、核医学治療のために入院できる病床はどうかして今増やしながら、そのために泥くさいいろんな努力をしていますというお話をしました。けれどももう一つ、RIである放射性医薬品を病院の中で使うためには使用予定数量などの届出というのが必要になります。これは医療法15条第3項というところに規定されていて、あらかじめ放射性同

位元素を核種ごとに最大貯蔵予定数量や1日の最大使用数量、3か月最大使用数量を届けるとのことになっているというものです。

この予定数量は、ただ使いたい数量を届け出るだけではなくて、核種ごとの使用時間、距離、遮蔽体の有無や空気や排水への混入率を基に、理論的に計算される値が敷地の境界放射線量や空気中の放射能濃度、排気中の放射能濃度や排水の放射能濃度など、それぞれがある制限を確実に超えないということ、遮蔽計算書を添付して申請する必要があります。

具体的にはその核種ごとに設定された濃度限度に対する比を、核種ごとに合計した和が1を超えないということを示す必要があるんですけども、では各病院でどのぐらい濃度限度に対して今、設備の余力があるかというのを、以前アンケート調査を行っていただいたものを今回持ってこさせていただきました。その中では、ルタテラを導入している施設の中で、準備室や処置室、一番高くなりそうなところですけども、の空気中の濃度限度に対する比の和というのは1以下にしなければいけないところ、50%で0.5以上になっていて、26%では0.7以上ということでした。このままの設備能力で使用核種数量や貯蔵予定核種数量を増やすのはかなり、これからもっと多くなってくると予想される使用量に対して増やしていくのは、病院としては結構難しいというアンケート結果が出ています。

当院ではこれに対してもできる限りの工夫をしています。どうしているかというと、例えばこの排気管理の設備なんですけれども、換気設備を1日8時間運転させて評価に用いている施設が多いんですけれども、これを3倍の24時間、1日中稼働させています。それによって、換気設備能力というのは計算上、単純に言えば3倍になりますので、3倍の使用量を設定できるようにして計算上の評価を行っています。

一方で、この工夫を行っても既に高い部屋では0.44となっていますので、一応0.44ではありますけれども、逆に言うと24時間稼働させなければ現状の使用量すらも維持できないという状態であります。

また、最終排気口というところの排気濃度も届出の中で出しているんですけども、こちら先ほどのアンケート調査を見ると、ルタテラ導入施設の中では39%が0.5以上、多い施設ですともう0.9から1という施設もあります。多くの施設でもうこれ以上使用量を増やすことが難しいというふうに考えられます。

当院ではこれをどういうふうに行っているかですけども、ちょっとだけの工夫ですが、最終排気口というのは病院で複数あるときがあるんですけども、これに関して複数の最終排気口をまとめて一つの相排気口とみなす、総排気口式の計算方法を取っています。これだと

各排気口ごとの濃度限度が1個ずつ1を超えないとやるよりは、若干だけ楽になるんです。けれども、この計算を行っても0.81を超えている状態です。やっぱりこれ以上の使用数量の増加というのは、このままの設備能力ではなかなか難しいというふうに考えています。

ただ、0.8って随分高い放射能の空気を出しているんですねというふうに思われてしまいそうなんですけれども、実際にはこれ、計算上の数字であって、減衰とかを考慮せずに悲惨率等を安全側に見積もっていますので、実際の実測値はこれは格段に低いものになっています。

排水に関しても同じで、25施設のルタテラ導入施設の中で、多くの施設が1以上になっています。これはどういう意味かという、排水に関しては10倍まで希釈が認められていますので、計算上は多くの病院で何倍かに希釈して排水しますというふうに申請書上計算しているということになります。では、当院ではどうかという、やっぱり8倍希釈する想定でこの申請書の中を書いて、8倍希釈して放射能濃度限度の比1以下にしなければいけないところを0.990となっています。現在8倍のところを最大の10倍にしても20%しか増えませんので、当院の申請書上の余力というのはほとんどないというふうに考えられます。

では一方で、実際に希釈しないと捨てられないような排水なのかという、実測値に基づいて実際の排水は行っているんですけれども、これは希釈しなくても、8倍希釈しなければいけないという申請書上の数字ですが、実際には希釈しなくても放射能濃度限度を超えることがありませんで、安全に捨てることができます。ただし、このためには高精度のマルチチャンネルアナライザというのを活用して、放射能のエネルギーを分解解析して、核種がある程度推定することで、やみくもに全て安全側の代表核種で計算することをしないようにしています。

高精度のマルチチャンネルアナライザは高額なので、そういうものを持たない病院では、分解解析しきれない核種は全て一番濃度限度が厳しい核種で代表核種として計算を行って排水したりしています。当院はこういった高額機器の導入と実運用上の詳細な評価・管理によって、多くの核医学治療をどうにかやっているというのが、実情かもしれません。

ただ、アイソトープ協会の先ほどのアンケート調査でも、実際の排水時に希釈が必要となっている病院は、先ほどの多くの病院が申請書上希釈していますという結果に比べると随分少ないものです。ですので、やはりかなり日本全体として、かなり安全側に寄った計算によって申請を行っていて、現実とは少し離れているというものかなというふうに思います。

こうした相当安全側に見積もった申請に基づく運用、そして医療機関としてはこれまで短

半減期の診断用核種の使用が主だったということも手伝って、排水中の濃度の実測は、本当に形式的な確認で十分だったようです。ただ、昨今の核医学治療件数の増加や特別措置病室の普及に伴って、管理者にはより注意深い確認と、必要に応じたマルチチャンネルアナライザなどの高精度の測定や、必要によっては希釈など、詳細な管理が求められるようになっていきます。こうしたことについて今、学会などで啓発が進められています。

核医学医療の推進には、こういう安全管理をより精密に評価する必要がある、また医療でするので、適切かつ柔軟な管理というものが必要になってくると思います。こうした人材育成や制度設計というのが望まれます。特に、病院内でR I 管理を専門的にできるような部署の設立を促すということは重要なポイントなんではないかなというふうに思います。こういった人材や体制があることを前提として、中期的には先ほど届出と現実の乖離というのをお話ししましたけれども、こういったところに対する規制緩和も検討していただければ有り難いというふうに考えています。

短期的には、管理の工夫、当院は相当やっている方だと思うんですけども、それでももう急激なニーズに対して明らかに不足しているというのが分かります。ごく至近の未来にこういった患者さんたちにご苦勞をお掛けしたり、治療待ちによる深刻で辛い問題というのが出てくると思いますので、どうにかして短期的に早急な施設改修というのを後押しする政策というのでも検討していただきたいというふうに考えています。

こちらは、まとめです。御清聴ありがとうございました。

(上坂委員長) 御説明ありがとうございます。

それでは、委員会の方から御質問させていただきたいと思います。それでは、直井委員からお願いします。

(直井委員) 高野先生、御説明ありがとうございます。

次世代のがんの治療法として大変な期待が掛かるこの核医学治療、中でも高野先生が進められていますルテチウム-177、これを使った治療の現場から御苦勞されている点を中心にお話くださり、大変生々しく貴重な情報を頂きまして勉強になりました。ありがとうございました。新たながん治療法の適用拡大に向けて、治験の取得はもちろんなのですが、事業環境の整備も大変重要であるということがよく理解できました。

それで、まず一つ目なんですけど、私は核医学がもたらすベネフィットというのは非常に大きくて、放射線に対する国民の認識も核医学が変えてくれるんじゃないかというような期待を持っているんですけども、現場におられる高野先生の中から見て、これについてどのよ

うにお考えでしょうか。

（高野先生）先生、ありがとうございます。

おっしゃるとおりだと思います。やっぱり患者さん、核とか放射線とかと聞くと怖いと思われる患者さんでも、やっぱりいざ御自身が御病気になられたとき、それからその御家族になられたときに、治療を受けてみて、ああこんなにいい治療はないと、これしか受けたくないと言われる方が正直大変多くて、多くの方を救う治療になると思います。

ですので、なかなか病気にならないと、身近にならないと御自分の実感ってなかなか出てこないところではあるんですけども、皆さんにこの治療を身近に感じていただいて、その上で必要な、正しく恐れて正しく使うということの大事さというのをこういったところからしていただければ私も有り難いというふうに思います。

（直井委員）ありがとうございます。

それから、ルタテラの適用例が増加傾向にあるという中で、放射線治療室の数が足りない。既存の普通の病室を特別措置病室に変えて対応されているというお話がございました。特別措置病室に関わる省令の改正というのが大きかったと思うのですが、この特別措置病室というのは市大病院以外でも増加している傾向にあるという認識でよろしかったでしょうか。

（高野先生）ありがとうございます。

今、全国で70を超えたと聞いています。市大は当然ですけども、多くの施設でこちらを活用しています。放射線治療病室を新しく造るというのは病院にとっては大変大きな設備投資で、先ほど病床利用率の話を申しましたが、なかなか不採算になりがちな部分でもありますので、特別措置病室を活用しようという動きは、今後もかなり大きなムーブメントをもって広がっていると思います。

（直井委員）ありがとうございます。

それから、昨年ですけども、この医療用R I 利用推進アクションプランをフォローアップしたときに、Q S Tの東先生から病院の駐車場などに設置可能なトレーラーハウス型の病室を造って利用を始めるというようなお話がございました。このトレーラーハウスは、東先生の説明ではアクチニウム-225の治療に特化したような施設だというようなお話だったんですけども、今後ルタテラの治療においてもこういったトレーラーハウスの設置・活用の可能性についてはどのようにお考えでしょうか。

（高野先生）ありがとうございます。

そうですね、ちょっとなかなか一筋にはいかないかなと思うんですけども、どうしても

医療現場の感覚でいうと、トレーラーハウスに御入院した際に、病床何床に対して看護師を一人配置できるのか、トレーラーハウスに御入院できる患者さんの方って結構限られると思うんですけども、7対1看護とか、看護師の数と照らし合わせたときに、なかなか人員配置が難しいなというのが、ちょっとぱっと当院で思い浮かべたときの感想ではあります。

一方で、プレハブのような新しい病床を建てて、そこを特別措置病室として申請していますという病院さんのお話も伺ったことがありますので、それに近いような形で特別措置病室を増やしていくという動きは有用なのではないかなというふうに思います。

(直井委員) ありがとうございます。

それから、排気ですとか排水について、濃度限度に対する裕度がかなりないというようなお話がございました。それで、R I の利用を想定していない施設で後からR I の利用が始まって、そのような施設でR I の規制にも対応するとすると、なかなか難しい面もあると思います。まずは希釈して放出するというのが基本なんだと思うのですが、過度な規制になっているところですか、余り合理的じゃない規制はやっぱり改善していく必要があるのではないかと思います。

それで、国際的にも核医学治療が進んでいて、国際的に見ても日本の規制が厳しくて、それがゆえに核医学の進展が止められるみたいなことはできるだけ避けなきゃいけないくて、そういった意味では、今、厚生労働省の中には医療放射線の適正管理に関する検討会も立ち上がっていると伺っていますので、現場の声を集めて、こういった検討会を通じて効果的・効率的な運用ができるようにしていただけたらというふうに思います。

核医学はこれからますます拡大していく分野になりますので、こういった事業環境の整備も併せて進展させる重要性があるということを原子力委員会としても訴えていきたいというふうに思います。

私からは以上です。ありがとうございます。

(高野先生) ありがとうございます。是非、検討会に私も呼んでいただけたらうれしいと思います。

(上坂委員長) それでは、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、私の専門は放射化学なのですが、すごく興味を持ったのは、17ページのところのヨウ素は揮発するのですね。私も照射して測定をするときに、もうどんどん揮発していくという記憶があるので、ヨウ素というのは厄介だなと思ったものです。けれども、ル

テチウムはこういうことがなく、尿にほとんど出て行くというのはそういう意味では扱いやすく、これは特徴が出ているのだろうと思います。

それともう一つ興味を持ったのは27ページのところでコーティングって、私は放射化学をやっていて、このコーティングというのは全然意識がなかったんです。このコーティング剤を塗布することによって、便器に付着しないということを発見したことは、すばらしいと思いました。

(高野先生) はい、ありがとうございます。

これは何というか、実体験に基づく話で大変恐縮なんですけれども、当院、特別措置病室を始めた当時の便器はかなり年季の入った便器でして、そうするとまたおうちのトイレもそうなんですけれども、汚れが付きやすいトイレは、やはり放射能汚染も付きやすいんだというふうに実感いたしました。これ、コーティングしているのは実は私なんですけれども、DIYで病院のトイレ、一回水を抜いてコーティングするというのをしたら、格段に付かなくなったので、実験したとかではないなんですけれども、実体験に基づいて、やはりおうちのトイレと同じで、汚れが取れやすいトイレの方がより除染もしやすいんだということを体験したというお話でございます。

(岡田委員) ありがとうございます。

こういう実体験というのは、やっぱり皆さんに広げた方がいいと思いますので、こういうことも一緒に含めて、今後広報ではないなんですけれども、広めていくと必要があると思います。実体験ってすごく大事だと思います。

それで、私は先生には何か失礼かなと思うのですけれども、ルテチウム-177の話と少し離れますけれども、先生がなぜこの放射性核種を使った治療に興味を持ったかというところが知りたくて。放射線というと、やっぱり女性も嫌がる場所もあると思うのですけれども、この興味を持った部分をお聞聞かせください。お子さんもたくさんいらっしゃるって、そして頑張っているというところも含めてお話しいただけたらと思います。よろしくお願いします。

(高野先生) ありがとうございます。

私がこの治療に興味を持ったきっかけは、本当に放射線科医を目指したすぐの頃なんですけれども、たまたま受け持った患者さんがバーゼル大学で治療を受けたいというふうにおっしゃったんですね。受け持ったというか、直接お会いできたわけじゃない患者さんなんですけど、バーゼル大学で治療を受けたいと言って、もうすごい多発の骨転移で、とても海外なん

て行っておいでと言えるような状況じゃない方だったんですけれども、その方がバーゼルに行かれて、何をしに行かれたかという、国内で当時できていなかったこの治療を求めて、自費で渡航されて、自費で向こうで治療を受けられて帰ってきたんです。残念ながら、その方はもう本当に多発の骨転移の状態で、向こうでもこの状態では治療を勧められないよと言われながら治療を受けられて、帰国後すぐに亡くなられてしまったんですけれども、私としてはその方の経緯というか伺ったときに、どうして、調べれば調べるほど海外では認められていて、いい治療なんですね。

じゃ、日本に持ってきたいと思ったら、すぐとてもできない、放射線の規制もある。こんないい治療が、そしてすばらしい治療が、日本では誰も知らないし、患者さんが自分で調べに行かなきゃいけないという状況にすごく疑問を持って、なんかすごく微力ですけれども、私に何かできないかという強い思いを思っただけで始めたという経緯があります。

もう今となつては、こんなに子沢山になるとは思っていなかったもので、今となつてはちょっと大変なんですけれども、やっぱりもう私に与えられた使命だと思って今は頑張っております。

(岡田委員) ありがとうございます。

私も武蔵工大炉のところで脳腫瘍の、あの当時、武蔵工大炉しか照射はしていなかったんですけれども、海外の患者さんは自分で飛行機に乗って、炉まで自分の足で歩いて治療するという方を見て、何とも言えない感激をしました。当時は日本でしかできない治療だったのです。そういう方は今でもいらっしゃるんだなと思いました。できるだけ広い方々に治療が行き渡るように今後していきたいと思います。よろしくお願いします。ありがとうございました。

(高野先生) ありがとうございます。

(上坂委員長) それでは、青砥参与からも専門的な観点から御意見を頂ければと思います。よろしくお願いします。

(青砥参与) ありがとうございます。

急激な発展を遂げているという、その最中にある核医学の現場から非常に生々しいお話をいっぱい頂きまして、勉強させていただきました。ありがとうございます。そういったことから、先生の御経験について二つほど質問させていただくと、一つコメントさせてください。

最初の質問は、さらっとお話しになったんですが、核医学診療科というのが三つのサーク

ルの真ん中に、36ページですか、ぽっと出てきて、ここに作りましたという話がありましたが、ここが重大なポイントだと思っています。この新しい診療科を作るために、先行的に、先駆的にやられていると思いますので、今後こうしたことをフォローしていく病院なり医師のために、一番御苦労されたこと、そういう話を少し加えていただくことと、このときの紹介に三つ関係組織がありましたが、一つにしてまとまって円滑にいくようになりましたとだけ言われたのですが、どのようなメリットが今も期待されて、あるいは目指されたのかといったところをもう少しお話しいただきたい。

(高野先生) ありがとうございます。多くの先生にここ、いいポイントだよと言っていただけるんですけども、まだまだ当院としては正直なところは始まったばかりですので、大きく自慢しにくくて、ちょっとさらっと話したところはあるんですけども。

やっぱり最初の当院でこの診療科を立ち上げるに当たって、私が病院長に相談しに行った一番のポイントは、これだけの多くの部署が、診療科だけではなくて、ここに書けないような、技師さん、看護師さんだけではなくて、助手さんであったり、例えば患者さんが上がる時のエレベーターの調整には、エレベーターは専用運転にして上がるんですけども、守衛さんに連絡をするとか、医療安全部門との検討を、事務方との検討、医事課との検討、本当に多くの部署と検討しないと核医学治療というのは立ち上げられなくて、普通の抗がん剤1個始めましょうというのと結構訳が違ったんですね。そういったことを考えたときの調整業務というのをどこかが担わないとできない。

そして調整に必要な知識というのは以外と専門的で、既存の一つの専門部署からの意見だけではなかなかうまくいかないものでした。ですので、その真ん中に一つの新しい部署が必要であるということをお話しして、病院長には深く御理解いただいたというふうに思っています。なので、当院として今できている、明らかにあるメリットとしては、この調整業務の中心的な役割を、立場を持って任せるところかなというふうに思います。

一方で、もっとこれから私たちに期待される、核医学診療科に期待される場所としては、もっと人を育てていくこと、それからその育てた人を含めて、迫り来るたくさんの患者さんをより適切に治療していくところが必要になってくるというふうに思います。今後はこの主診療科というのを今のところは神経内分泌腫瘍の診療科である、当院ですと臨床腫瘍科だけにほとんどなるわけですけども、いろんながん種の治療が出てきますと、例えば泌尿器科さんだったり、乳がんが出てくれば乳腺外科さんだったり、いろんながん種の診療科とのやり取りであったり、患者さんの病院の入院の順番であったり、そういったところの調整まで

必要になってくるので、そういったところは診療科として必要な部分かなと思います。

もう一つは、少し話がずれるかもしれないんですけども、核医学のR I 管理のお話を後半の方でさせていただきましたが、やっぱりその管理に関して、今ですと病院の中で一種放射線主任者という方が責任を持ってやってくださっていますけれども、かなり業務が過多になってきているというのがあると思います。なので、そういったところを部署としてみんなでやっていけるような体制づくりに役割を持っていければいいなというのが個人的な期待があります。

ありがとうございます。

(青砥参与) ありがとうございます。

しっかり理解できたかという、なかなか難しいのですが、理解としては臨床の医療の現場でいかに環境をよくして効率化するかという点がかなり促進されたという理解でよろしいでしょうか。

私の次の質問は、実際今の質問のお答えの中に期待した部分もあるのですが、先生のお話の中で、ルテチウムとアクチニウムの話がありました。これは両方ともある意味、有効な薬だとして、どちらを選ぶか、患者に対してどれを選択してあげるかというところが、今後ますます様々なR I 治療が出てくると、ベータ、アルファだけの違いではなくて、様々な副作用を含めた選択といったものが先生方の一つの責任になっていくのではないかと思います。そこを今後どのように決められて、今のところは供給と副作用の効能というので比較されて、これも捨て難い、こちらもちょうとしているみたいな話だったのですが、適切に選んでいこうとするとどのようにされていこうとしているのか。そこに実を言うと核医学診療科がイニシアチブを取っていくのかと思ったので、最初の質問をさせていただいたのですが、そこについてもう少しお言葉を付けていただけると。

(高野先生) ありがとうございます。非常に重要なポイントで、かつ私がお話しそびれた部分について丁寧にお話ししていただいて、ありがとうございます。

大変おっしゃるとおりで、最初の岡田先生からの御質問に近くなってくるんですけども、核医学治療はオンコロジーでもあると思うんですね。やっぱり治療の選択をどのように行うかというのは、今までの抗がん剤だけではやっぱり太刀打ちできない部分ですし、かといって外照射の世界ともやっぱり若干違うんですね。当然、診断の先生方というのは診断に特化してらっしゃる先生方ですので、核医学治療、核医学のオンコロジーに関して、今の専門家というのは日本の中で非常に稀で、この部署が担うぞというのがほとんどないような、新

しい分野であるというふうに認識しています。

アメリカのたしか核医学学会だと思うんですけれども、ニュークリアオネオロジストという、核医学のオネオロジストという新しい分野であったり、そういう専門医であったりというのが必要であるということを提唱するような動きも出てきていますので、こういったところが今後日本でも重要そうだと思っています。

ただ、最初の育成の段階では、いろんな学会であったり、いろんな先生方が御尽力いただく必要があると思うので、いきなり新しいものがいきなりは出てきませんので、今ある腫瘍学であったり放射線治療学であったり核医学であったりの専門家の先生方の中からそういった人たちが出てくるものだとは思いますが、将来的には一つの新しい専門分野として育っていくというのが望ましいのかなというふうに、私自身も期待しているところです。
(青砥参与) ありがとうございます。

最後のコメントは、直井委員からも出ていましたが、R I 取扱い管理です。先生のまとめのところにも、ここの一つのポイントとされている、独立した部署であるR I 管理というか、全体を廃棄まで含んだ管理体制についてですが、特別措置病室をいろいろな方の尽力で成立させたという話がありました。こちらこそ是非、先ほど検討会の話にもありましたが、むしろ現場からの声で、こういった形が望ましいという提案がされて、それが病院の効率的な運営、あるいは安全の向上に資するようになっていただきたいと思います。是非現場から声を上げていただいて、仲間を募って提案をしていただくということをお願いしたいと思います。

私のコメントは以上です。

(高野先生) ありがとうございます。

(上坂委員長) ありがとうございます。

それでは、畑澤参与からも専門的な観点から御意見を頂ければと思います。よろしくお願いします。

(畑澤参与) 高野先生、大変臨床の立場から御報告いただきましてありがとうございました。今も議論になりましたけれども、医療の中でどこが担っていくかというのは大変重要な問題だと思います。

それで、既存のある分野、例えば放射線治療であったり、それから放射線画像診断であったり、I V R、ほかの臨床科もありますけれども、そういう既存の科がこの核医学治療を担うということには無理があるように思うんです。全く新しいタイプの医療ですので、やはり新しい専門性を持った医師であったり、それから医学物理士の皆さんであったり、診療放射

線技師の皆さん、それから恐らく放射性医薬品の専門家、薬剤師の方、こういう新しい分野の人たちが一緒になって、真ん中に先生が書いていただいた核医学診療科というような科が担うのではないかなと思うんですね。

そういう意味で、先生のお話を聞きながら考えておりましたがけれども、先生のような経歴、モチベーション、立場の医療人というのはほとんどいないと思うんですね。先生の本当の意味でこの分野のパイオニア、こういうふうな人材がいればいいんだという、そういう目標になる方だなというふうに私は思っていました。ですから、是非核医学診療科という科を標榜して、そこで全国的にアピールしていただければなというふうに思いました。

これはまず最初のコメントですけれども、質問は、この原子力委員会でも問題にしておりました、医療用R Iの供給がルテチウム-177製剤については安定的に供給されているのかどうか、何か不具合だとかが起こっていないのかどうか、それをまず教えていただければと思います。いかがでしょうか。

(高野先生) 先生、大事な御質問、ありがとうございます。最初に、先ほどの過大な御期待、ありがとうございます。頑張ります。

核医学、R Iの供給に関しましては、2年前のR Iの委員会のときにもお話をさせていただきましたが、海外から空輸されてくる関係で、どうしても飛行機が飛ばなかったとか、トランジットに失敗したとか、いろんな話で突如供給されないということが往々にしてありました。

その当時調べて、真面目にこの時間に届きますよと言われた時刻にぴたっと届いたのは、6割か7割だというようなレベルだった時代がありました。現在、今年1年間に関して言うと、ほぼ100%ちゃんと供給されてはおりますが、一方で、例えば木曜日に日本に入ってくるバイアルは50バイアルまでですとか、火曜日に入ってくるバイアルは原則25バイアルぐらいで見えていますとかというふうに企業さんからお話を頂いたりする時期もありました。

そうすると、例えばこれは本当にこのお正月に起きたことですがけれども、世界的に正月明け、お休み明けの投与がどうしても重なることによって、世界的なルテチウムの供給が不足しているので、日本のバイアル数はこれ以上入ってきません。ですので、横浜市大さんに今回は2バイアル注文いただいたけれども、1バイアルしか届けられませんというようなことを突然企業から電話で言われるということもありました。

なので、これに関してはちょっといろいろあって、何とかはなったんですがけれども、やはり常に供給に関して不安を抱えています。しかも私たちは患者さんに御説明するときに、注

文するのは3週間前、キャンセルすらも2週間前にはできなくなる。そこから先は薬は届いてしまい、1日で使えなくなつて、例えば木曜日に届いたら金曜日の明け方には使えなくなるお薬なので、キャンセルなさった場合に、自己都合であつた場合には申し訳ないですけども、自費で払っていただく可能性があるということをお伝えしています。それにもかかわらず、もう一つ目の説明として、供給が不安定なので急遽治療をリスケジュールさせていただく可能性があるかもしれませんというお話も併せてさせていただくので、医療機関としても不安を抱えておりますし、患者さんとしてはもっと強い不安を抱えられていると思います。もっと手軽に手に入る、安定して手に入る薬になってほしいと心から思っております。

(畑澤参与) アクションプランを作ったときは、この薬が上市された時期、若しくは間もなく上市されるということで議論していたように思うんですね。実際にこれが上市されて患者さんに使われてみると、ニーズが非常に高く、世界中で放射性同位元素の奪い合いみたいな状況になってしまったと。想定よりもはるかにニーズの方が膨らんでしまったという状況かなと思うんです。

そうしますと、やはりこのルテチウム-177もモリブデンとかアクチニウムとかアスタチンのような、日本国内での製造ということも将来的には視野に入れて、安定的に使えるようにできればというのが先生のあれでしょうか、御希望でしょうか。

(高野先生) ありがとうございます。もうまさにそのとおりです。是非、やっぱり海外で作っていては日本に入つてこない日が急に来ることという、常に不安を抱えますので、必ず日本で作っていただきたいというふうに思っております。

(畑澤参与) 最後の質問ですけども、かつてアクチニウム治療、PSMA治療、先生が初期に御経験になった、海外渡航をしてでも治療を受けたいという患者さんがたくさん国内におられるということをお聞きしました。現在の状況というのはどうなんでしょうか。そのいまだに、海外での治療を望んで渡航している患者さんというのは多くおられるものなんでしょうか。

(高野先生) はい、ありがとうございます。

本当にそのとおりで、ルテチウム-177、DOTATATE、神経内分泌腫瘍に関しては国内承認が得られましたので、やっと渡航を紹介するということになりましたが、一方で前立腺がんの患者さん方に関しては、現状、当院では治療を行っておりますが、治療に入らない方などを中心に、海外渡航の御希望というのは常にお伺いするところになります。

今、当院では渡航のあつせんはしておりませんが、近くに別のクリニックさんがありまし

て、そちらのクリニックさんがオーストラリアと協調して患者さんの治療に当たってください
ていますので、必要に応じて患者さんを紹介させていただくこともあります。そちらのク
リニックさんの御発表では、たしか100人ぐらいでしたか、たくさんの方がやはり渡航さ
れていて、ルテチウムやアクチニウムの治療をオーストラリアで受けられているというふう
におっしゃっていたと思います。

(畑澤参与) ありがとうございます。畑澤の方は以上です。

(上坂委員長) それでは、岡嶋参与からも専門的な観点から御意見を頂ければと思います。

(岡嶋参与) どうも核医学のこと、いろいろな取組について本当に丁寧に御説明いただいてあ
りがとうございました。

私も実はこのルテチウムというのに昨今ホームページ等を見てみたところ、薬剤の会社等
で結構細かく紹介されていて、それから患者さんに対して注意書き等も非常に細かく書かれ
ています。そのことから、これだけ普及が始まっているんだなということを実感している
状況です。

今日のお話の中で、そういう病室の設置等についての御苦労の話があって、今の質問で言
わば供給の方、言わばフロントエンド側といいますか、そちら側のお話で御希望の話があっ
たと思います。ますますこの症例といいますか、増えていくということになれば、治療がこ
ういう形で発展していくとなると、ますます必要になるんだろうと思います。

もう一つ気にすべきは、やっぱり使った後の廃棄が問題で、今日そのことについては余り
おっしゃられなかったように思ったんですが、目に見えた、もちろん除染とかそういうこと
でおっしゃられたんですが、最終的な廃棄の部分ですね。医薬品、医療用の廃棄物というの
も結構いろいろ制約がある中に、加えて放射性核種の扱いに対する廃棄という要件が入って
くるということになるかと思うんですが、その辺りのところの御苦労等がもしあればご紹介
いただきたいということが一つです。また、今後症例が増えていくとどんどん廃棄物が増えて
いくわけですから、それに対応する点もこれから先見通していく必要があるだろうと思ひ
ます。そこで、その辺の点で何かあれば御意見等賜りたいと思います。

(高野先生) ありがとうございます。

尿の付いた汚染物について、どのように今後管理していくべきかというスライドを1枚だ
け入れさせていただいております。ここでもお示ししますように、一度患者さんに投与した
後のRIが、尿などが付いたものというのは、RIとして検出はされますが、規制上はちょ
っとグレーなところに、医療法上に乗っているというふうに考えられます。それを病院とし

て管理していくのは大変難しくて、感染性廃棄物は今どきは余り病院で長く保管はしないで、専用の委託業者さんに廃棄してもらおうというふうな流れになっているようなのですけれども、このR I が付いた途端にそういうわけにもいかなくなってしまって、病院として多くの患者さんを治療しようとする、どこに保管すべきか、どのように管理していくべきか、その管理に対して人がたくさん必要であるという問題も出てきます。

また、外に出てしまえば私たちの直接の苦勞ではないんですけれども、引き取っていただいた先でそれがやっぱりたくさん数が多くなってきたときに、どうやって管理していくのかという問題が常に付きまとってくると思います。個人的な希望としては、やっぱり今の規制の中では、一度R I と認定されてしまうともう行き場所がない。本当は、例えばルテチウムであれば6.6日で半分ですので、もう数か月もすれば相当低い放射エネルギーになっていると思うんですけれども、もう何年たってもそれはR I であるという扱いであれば、それはもうちょっとあふれてしまいますので、クリアランスレベルの考え方とかはこの会でよく議論していただいていると思うんですけれども、いったところをもう少し詰めていただきたいですし、感染性のR I の廃棄物というものに対する、どうやって扱っていいかというところに関しても、無理がないというか、病院としてはやっぱりそれをずっと保管するのはなかなか難しいですので、そこに対してやっぱりもう少し行政の支援であったり、システムの構築であったりというところが必要になってくるというふうに感じています。

(岡嶋参与) ありがとうございます。

私もちょっと医療用廃棄物の扱いを見てみると、R I が含まれているだけで本当に別扱いなんですよ。それ以外は病理的な観点から焼却処分というのも業者に頼めるとかという形の対して、R I が入っちゃうとそれだけはまま子扱いのような感じで、保管という形になっているのと、今おっしゃったように、医療用廃棄物ってそんなに長い半減期があるわけではないのですが、たとえば今回のルテチウムの場合、1週間、ということは3半減期で10分の1、10半減期、大体3か月ぐらいたったら1,000分の1になってしまうということからいくと、扱う量もそんなに大量であるわけではないということと考えると、やっぱり合理的な考え方というのが必要だと思います。実質的にはほとんどゼロに近いものなのに、何か月どころか何年も保管しないといけないという不合理になりそうな感じがします。その辺のところは是非これからきちんと対応していく課題かと思います。でないと核医学が発展していかないような気がしてならないと思いますので、その辺のところはこれから何か委員会等のところで、先生の方、もう一度そういう声を出していただく形で進

めていただければいいかなと思います。これからもよろしくお願ひしたいと思います。
(高野先生) ありがとうございます。

(上坂委員長) それでは、上坂から意見を述べます。

まず、前半の方でβ線エミッタであるルテチウム-177とα線エミッタですね。アクチニウムとかアスタチンのコメントがございました。外用放射線治療でもエックス線と陽子線と炭素線の治療があって、当然ですけれども共存で、それぞれ特徴があるのですね。それから、保険適用のがんの種類もそれぞれ違って、それもだんだんと広がってきていると。特徴を生かして共存状態だと思います。今後、α線エミッタの方も医薬品法ですか、承認を得ていくのではないかなと思うのですけれども。

その後も何といいますか、特徴を生かした共存という形になると考えてよろしいでしょうか。

(高野先生) ありがとうございます。

アクチニウムに関して最初にお示ししましたように、当然治療効果が高いですので、ルテチウムに効かなかった患者さんでアクチニウムで効くのであれば、やっぱりルテチウムを使い終わって効かなくなったとき、アクチニウムを使いたいというのも当然のことだと思うんです。ですので、アクチニウムがなくていいということは絶対にないです。ただ、最初からアクチニウム使いますかと言われたときには、唾液障害のことを考えて、先にルテチウム使ってみましょうねというふうになるというのが一般的な可能性かなと思いますので。もちろん、今後エビデンスがいろいろ蓄積されてきて、ガイドライン等出てくる部分だとは思いますが、現状のエビデンスから考えれば、アクチニウムもルテチウムも必要である。

アスタチンなどの核種に関しては、まだまだエビデンスが出てきておりませんので、どの順番で使うというふうに今ここで私からお話しできるものではありませんが、一方でやっぱりそういったアスタチンなどのアルファ核種は、短半減期かつ生物学的効果比が高いですので、そういったところをメリットとして生かせる製剤というものの開発がすごく望まれているものだと思います。ですので、現状は全てが必要なものだというふうに思います。

(上坂委員長) ありがとうございます。

それから、23ページですが、放射線治療病室と特別措置病室の比較を御説明いただきました。例えば、貴院のレベルで、現状でこの二つの病室が幾つぐらいあって、今後核医学の需要が増えていくと思うのですけれども、どのぐらい数が理想というふうに考えておられますか。

(高野先生) ありがとうございます。

ちょっと未知数なところと、あとマンパワーの問題がありますので、当院は実際に現状で特別措置病室は4床持っております。放射線治療病室はございません。増床の話も出てはいるんですけども、一方で今、核医学診療科は私の上司、兼任の上司と私の2人だけです。で、外来等のことも考えると、なかなかはいと手を挙げて、いきなり増床できる余地があるかという、先ほどの排気・排水の問題もありますし、マンパワーの問題も全てを両輪で動かしていかなければいけない難しさがあって、患者さんのことだけ考えれば全然4床で足りないのはよく分かっているので、増床に向けていろんなことを両輪で動かしていく必要性を感じておりますが、現状何床がいいとちょっとぱっと言えない状態ではあります。

(上坂委員長) なるほどね。

それから、43ページから45ページ辺りですか、排気と排水の非常に御苦労されている。岡嶋参与からも御質問がありましたが、廃棄物の問題ですね。非常に御苦労されているところもあるのです。それに関して46ページのコメントの中に、1番上のパラグラフの最後に、学会などにより啓発が進められているということで。これも核医学技術学会にて、私も先生がこういう問題提起されているセクションにありましたので、承知しているのですけども。どうでしょう、核医学技術学会として、やはりなるべくワーキンググループのような形で、組織で動かれて、その声を監督官庁に上げていくのがよろしいかと思うのです。そういう動きになっておりますでしょうか。

(高野先生) ありがとうございます。

核医学技術学会が、おっしゃるとおり主導で進めてくださっていると認識しておりまして、私が核医学技術学会の中に入っていっているわけでもない、詳しい動きを存じているわけではないんですけども、恐らくそういった動きになっていると思います。

この上で書かせていただいているように、本当に今まではどこも病院の第一種放射線取扱主任者って、確認だけで、そんなに大変な仕事ではなかったのではないかと思います。それが今となつては急に本当の実管理が日々必要になるというところで、負荷が掛かっていますので、それに対して技師さんというか、病院で第一種放射線主任者を担ってくれている方も実務を受け入れていかなければいけないし、でもそれが単純に個人の業務量増加になってしまつてはいけませんので、組織として国として体制の整備というの進めていかなければいけないというところを、少なくとも関係者は多くの方が認識しているものだと思いますので、畑澤先生、是非上げてくださいという感じです。

(上坂委員長) そういう優秀なスタッフを少しでも増やしたい。つまり雇用したいわけであり
ます。そうしますと現場としてはやはり診療報酬といいますか、薬価掛けるD P Cという係
数、(D i a g n o s i s P r o c e d u r e C o m b i n a t i o n) という係数を
掛けて報酬を増やしていかないと、改善できないということになってくるのでしょうか。

(高野先生) はい、ありがとうございます。先日、上坂先生には、特定の原発臓器由来の神経
内分泌腫瘍では、D P Cによってルタテラの収益がぐっと高くなったというお話をさせてい
ただきました。当院のようなある程度大規模な急性期の病院では多くがD P Cというのに参
加しておりまして、D P C病名が付いた疾患群分類に対しては疾患群分類ごとに決められた
所定の点数というのがあって、それに病院ごとに持っているD P C係数というのを掛け算し
て、病院が頂く診療報酬の点数というのが決まってまいります。

しかし、全ての病院がD P Cに参加されているわけではないというところもありますし、
疾患の原発巣によって、病院が受け取る診療報酬はD P Cの中に入るものと、D P C外のも
のがあります。D P Cの点数は2年に1回改訂されますし制度も変更の可能性がありますの
で、そもそも採算が取れるからいきなり何億投資しようというのは、やっぱり結構病院とし
ては難しかったりします。いくら採算が取れるといっても、5年で回収できます、10年で
回収できますというものに対して、多分、普通の病院は少なくとも国公立なんかは投資って
難しいのではないかなというふうに思います。

回収できるからではなくて、やっぱりどうしても患者さんのために必要だからというところ
で議論することが多いかなと思うんですけれども、やっぱりそれは一つの病院の努力で
うにかなるときとならないときがありますので、やっぱり施設改修とか大きな設備投資に関
しては、診療報酬だけ、一つの症例当たりの診療報酬だけでペイさせるのかそうでないのか
というのは、ちょっとここでどこまで議論できるかは難しいんですけれども、難しい問題に
なるのかなというふうに思います。

(上坂委員長) 分かりました。原子力委員会では3年前の5月に医療用等ラジオアイソトープ
製造・利用の推進のアクションプランを策定しました。その前、約半年、専門部会を開いて、
先生にも委員として参加いただき、お世話になりました。

その後、毎年5月から7月にフォローアップを行って、今年の5月から7月には第3回目
を行う予定です。アクションプランはラジオアイソトープの製造と利用の推進です。今日先
生からお伺いした、先生のルテチウムの先駆的御経験というのがまさに利用推進に対応する
と思います。今後とも是非先生の御経験を生かすべく、御指導とアドバイスをお願いしたいと

思います。

（高野先生）ありがとうございます。今後ともどうぞよろしくお願いいたします。

（上坂委員長）それでは、議題（１）は以上でございます。御説明ありがとうございました。

（高野先生）ありがとうございました。

（上坂委員長）ありがとうございました。

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。

（山之内参事官）蓋梅の議題は、東芝の革新炉の取組についてでございます。

東芝エネルギーシステムズ株式会社パワーシステム事業部、原子力技師長、松永圭司様から御説明いただき、その後、質疑を行う予定でございます。

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

それでは、松永様から御説明をよろしくお願いいたします。

（松永原子力技師長）ただいま御紹介いただきました東芝エネルギーシステムズ、原子力技師長を務めております松永でございます。本日はこのような御説明の機会を与えていただき、ありがとうございます。

本日東芝の革新炉の取組ということで、我々の取組について御説明させていただきたいと思います。

次のページをお願いします。

本日の内容としては、まず簡単に我々の会社の概要を紹介させていただいて、その後、革新炉の取組、それから海外で非常に旺盛なニーズのあるところに対する我々の取組といったところを御説明させていただきたいと思います。

次、お願いします。

まず初めに、ここ、我々の組織体制を示しております。株式会社東芝の下に、数年前に分社化して四つの事業会社を作っております。社長は全て本体と四つの事業会社、全て島田太郎が務めておりまして、その下で我々は東芝エネルギーシステムズというところに属しております。

この中で事業部が三つございます。パワーシステム事業部と、そのほか二つの事業部ございますが、その中、我々の電力、発電プラントの事業をやっているのがパワーシステム事業部ということになっております。パワーシステム事業部の事業部長、取締役として竹内、それから原子力分野の技術面で統括しておりますのが私、松永でございます。

次のページへいっていただいて、我々の事業領域としてはここに示すように、エネルギーを作る、ためる、賢く使うといったところを事業領域としております。

左から順番に、火力、原子力、再生可能エネルギー、水素エネルギーといったところで、作る分野、それから電力流通で流通の分野、それから更にそれらの技術を活用した新技術の分野といったところを展開しております。

次のページに、原子力に関する事業領域ということで示してございます。我々、原子力については燃料製造のフロントエンドの分野から再処理といったバックエンドの分野まで、幅広い原子力の全般にわたる事業を展開しております。その中でも特に中心となりますのが、プラント建設、それから再稼働、O & M、それから福島の前処理、廃止措置といったところが中心となっております。

最後、それらの技術を使って、右上の方にあります新型炉開発、核融合も含めた新型の炉の開発、それからこれらの技術を他分野に応用するために、重粒子線の治療、あるいは超伝導モータといったような新技術に対する活動も実施しております。

次のページへいっていただきまして、次、ここから我々の革新炉の取組ということで御説明いたします。

我々、これから先の原子力を活用していくと、カーボンニュートラルに向けて原子力の活用が必須だというふうに考えておりますが、その活用に向けて革新炉を開発・展開してきております。ここに記載しておりますのが、我々が今、取り組んでいる四つのラインナップになっております。一番下が革新軽水炉、i B Rというもので、これは後ほど詳しく御説明いたします。そのほかに高温ガス炉、それから小型の、遠隔地で利用するために開発しています小型の高速炉4 S、それからマイクロ・リアクター、M o v e l u Xといったものを開発してございます。

次のページへいっていただいて、我々の取組方針としては、やはり何といたっても福島の事故を経験しておりますので、真ん中にありますように、この教訓・反省の下に飛躍的に安全性を向上させる必要があると。

さらに、左側にありますように、我々がこれまで培ってきた実績、これに裏付けられた高い実現性というものを求めていく必要があると。

あと、右側にありますのが、これからカーボンニュートラルの時代に適合して、再エネとの共存ということが必要になってきますので、これらの負荷追従性といったところも重要になってくる。これらを実現するプラントというものを開発しようと考えております。

次のページに我々のこれまでの実績を記載しております。

1966年に事業を開始しておりまして、これまでに建設プラント、BWR 2 2 基建設してきております。

右側の円グラフが現在の設備容量でいうところのシェアになっておりまして、我々は国内でほぼ3分の1を占めているということになってございます。

次のページで、我々が軽水炉としてこれまでずっと実績を積み重ねてきたのは、沸騰水型原子炉BWRでございます。このBWRの簡単な歴史を左側に示しております。もともとは発電用にする原子炉の部分と蒸気発生器の部分が分かれていたところが、どんどんシンプルな設計にしようということで、蒸気発生部分を原子炉圧力容器の中に取り込んだと。更にどんどん格納容器も小さくして、シンプルな構造を追求していったというのがBWRの歴史になっております。

今、最新型のBWRはABWRという形、左側の絵の一番右にあるカラーで示した模型が今の最新型ということでございます。

右に示してありますのが、BWRの特徴でもあります高い負荷追従性というものを有しているということです。先ほども申しましたように、再エネとの共存ということが必要になってきて、日中と夜間帯で負荷変動があったり、日中、同じ時間帯でも負荷変動があるというようなところと、追従できるようにする必要があると。

BWRの場合は、これを流量調整で簡単に短時間で達成することができるというのが特徴になっております。これは炉心の蒸気泡（ボイド）を変化させることで流量町営が可能と、そのBWRの特徴を利用したものとなります。

次のページがiBRの目指す安全性を示したものでございます。

下の絵の左側にありますように、やはり何といても福島の実例というものはしっかり入れていかなければいけないと。福島で起こったのが全交流電源喪失で、更にそれ、そこからシビアアクシデントが発生して長期避難が必要になったということでございます。

さらに、真ん中にありますのが近年の新設炉に対するグローバルな要求ということで、航空機衝突対策、それから確率論的なリスク評価の取り込み、シビアアクシデント対策、それから緊急避難不要といったような、このようか世界的なニーズ。このようなものを足し合わせまして、その解として我々が提供しようと考えているのがiBRの安全システムの特徴というふうに右側を書いてあるものでございます。ここは頑健な建屋、それから静的安全システムの採用、コアキャッチャの採用、ベント不要といったような特徴を目指して開発を進

めているものでございます。後ほどこれはもう少し詳しく御説明いたします。

次のページが我々の今言った特徴を実現するものとして開発した革新軽水炉、i B Rでございます。

i B Rの特徴、目指すところとしては、i B Rのiはi n n o v a t i v e、i n t e l l i g e n t、i n e x p e n s i v eというものを訳したものになっていますが、ここで目指すところとしては、緊急避難不要、それから長期S B O、全交流電源喪失への対応が可能だと。長期のグレースピリオドというのは、運転員操作不要で対応できる期間を確保するということでございます。

さらに、三つ目にありますのが、実現性・安全性・経済性を備えた大型軽水炉ということで、このようなものを目指して開発を進めているところでございます。

次のページが、これまでこれを実現するために我々が蓄積してきた技術の一端を紹介したものでございます。

この絵の左側がA B W Rの技術になっておりまして、A B W R開発当時に炉内の流動試験、あるいはインターナルポンプの総合性能試験といったことを実施してきております。

真ん中のオレンジの部分にありますのが、i B Rでも取り入れようとしている静的安全システムの開発を実施しているところでございます。我々の試験設備を使って、自然循環の試験、あるいはコアキャッチャの試験といったところを実施してきております。

このような要素開発を踏まえて、次のページに示したのがi B Rに採用した安全システムの特徴というところでございます。

まず、何度も申し上げますが、実績のあるA B W Rの技術をベースにしているということで、それを踏まえてここに示すような五つの特徴というものを付加してございます。

左上に記載してありますのが航空機衝突対策ということで、これは後ほどもう少し詳しく説明しますが、格納容器建屋の頑健な構造で守るというものです。

右上にありますのが静的な冷却システムで、P R C S、P C C Sというものです。これも後ほど御説明します。

右下にありますのがI F V Sというもので、格納容器内に内蔵型の放射能フィルターというもので、これにより放射性物質の外部への放出を防ごうというものです。

左側にいっていただいて、左の下にあります二重円筒格納容器ということで、これを格納容器を二重にすることによって、内側と外側の間の空間に万一の場合の放射性物質をため込もうということでございます。これも外部への放出を抑制するために設けさせるということ

でございます。

一番下にありますのがコアキャッチャということで、万一核事故が起きた際に、溶け落ちた燃料デブリをここで受け止めて、静的に冷却するということを実現するものでございます。

ここで静的と申しておりますのは、自然力、重力や圧力差、密度差といったもので循環するシステムである、動的なポンプとか電気が必要なものを必要としないことを目指したものであるということでございます。

次のページで、今申し上げた特徴のうちの一つであります航空機衝突対策を御説明いたします。

航空機衝突対策として、格納容器の壁に、ここに耐性を高めるためのS C構造というものを採用しております。Cというのは鋼板コンクリートの略語で、鉄板の板、普通の鉄筋コンクリートと構造を変えて、この鋼板、鉄板の間にコンクリートを流し込んで製造する方法ということでございます。これによって、右側の絵にありますように、実験あるいは解析でこの鋼板コンクリートには航空機のようなものがぶつかってもこの壁が壊れないというようなことを確認してございます。

これを採用することによって、左側にありますように格納容器の航空機対策の対策を採ると。それから、静的安全系の損傷防止、建屋の低重心確保といったようなところを実現しているものでございます。

次のページが静的安全システムをまとめたものです。

右上にありますのが静的安全系の炉心冷却。原子炉の中を静的に冷却するシステムになります。これは原子炉の中の熱い蒸気を取り込んで、右上のプールの中にあります熱交換器を通じて、冷却したものを原子力の中に戻すということで、炉心冷却、炉心を静的に冷やすという機能を持ったものでございます。

次に、下にありますのが土台、コアキャッチャで、ここで万一シビアアクシデントが起きたときに、燃料デブリが落ちたときにもこのコアキャッチャで受け止めて、更にこの下部、それから上部から水で冷却するということで、冷却を維持するということを目的としたものでございます。

左上にありますのが、格納容器の冷却システムです。ここも格納容器の中の熱い蒸気、シビアアクシデントが起きたときに発生する蒸気を引っ張ってきて、左上のプールの中にあります熱交換器で冷やして、その中の凝縮した水を格納容器の方に戻すというものでございます。

さらに、一部ここで放射性物質を含んでおりますので、放射性物質については緑の線でするように、格納容器内蔵のフィルターシステムを使って、放射性物質をこの中に閉じ込めるということを実現しようとしているものでございます。

以上が我々の開発しております革新軽水炉 i B R の御説明になります。

次のページが、先ほど四つのラインナップのうちの一つであります高温ガス炉の御説明です。

高温ガス炉は、冷却、耐熱性に優れたセラミックの被覆燃料を採用して、減速材として黒煙、それから冷却材としてヘリウムガスを使うということで、非常に高温のガスで取り出すことができるというシステムでございます。このガスを使って発電に利用する、あるいは水素製造といったようなところに利用していくということが利用方法として考えられております。国内でも H T T R のところにも我々参画しておりまして、そういう技術を使って更に発展させていこうというものでございます。

続いて、海外プロジェクトへの取組ということで説明いたします。

次のページが我々の蒸気タービンの供給実績になります。これは原子力だけではなくて、火力も含めた蒸気タービンの世界の供給実績ということで、2, 0 0 0 基を超えるプラントに蒸気タービンを提供しております。

次のページが原子力事業における海外の実績でございます。我々、蒸気タービンを中心に機器供給を世界のプラントに対して実施しているというところでございます。ここでは蒸気タービンだけではなくて、オレンジのところにありますように、炉内構造物、原子炉の中の内部構造物もこれまでに供給してきた実績がございます。さらに、左側にありますように発電機の機械といったところも実施しております。これらの実績を基に、大型軽水炉だけではなくて、海外で非常にニーズの高まっている S M R の市場においても我々の機器を提供するということをこれからもやっていきたいというふうに考えております。

次の3ページがこれまで供給した実績を簡単に示したものです。

最初このページにありますのが、アメリカの A P 1 0 0 0 に対して蒸気タービンと発電機を供給したものの実績でございます。これはつい最近、アメリカのボーグル3号機・4号機というものが運開したものに提供したものです。

次のページが、これもアメリカの A P 1 0 0 0 向けの機器で、原子炉系の機器の供給実績になります。この中の絵の左側にありますのがコアバレルというもので、原子炉の中にある炉心を支える構造物でございます。真ん中の右の上にありますオレンジ色のものが C A O 1

モジュールというもので、原子炉容器、あるいは蒸気発生器といったものを取り囲む隔壁を成すもので、これを工場で非常に高い精度を求められたものを製造して、提供しております。

次のページが中東のプロジェクトになります。

中東のバラカ発電所に対しては、四つのプラントに我々の蒸気タービン、発電機、主要弁といったものを供給しております。このプラントもつい最近、4基目が運開したというところでございます。

これらの実績を基に、我々はカーボンニュートラルの実現に向けてこれからも事業、我々の技術を提供して、「人と、地球の、明日のために。」という我々の経営理念に絡むように活動していこうと考えております。

以上で私からの説明は終わりにいたします。ありがとうございました。

(上坂委員長) どうもありがとうございます。

それでは、委員会の方から質問させていただきたいと思います。それでは、直井委員からお願いします。

(直井委員) どうも松永様、御説明ありがとうございます。

まず私の方から伺いたいのは、負荷追従運転なのですが、再エネとの共存を考えるとこれは大変大きな強みになるのではないかと思うのですが、国内では余り実績としてはなくて、これは海外では割と汎用的に使われていますでしょうか。

(松永原子力技師長) はい、ありがとうございます。

確かに国内では、これまでベースロード電源として活用するということが多くなっておりました。海外でも基本的にはベースロードなんですけど、その一部負荷追従というところも取り入れた、米国などでは取り入れているということは聞いております。

(直井委員) ありがとうございます。

それから、次はABWRの技術に新たにiBRに加えた安全に関わるシステムについて教えていただきたいのですが、まずこの二重円筒格納容器というのがございましたが、これ16ページですとちょうどドーム状の形状のものが外側にあつて、これが格納容器の二重目ということはわかるのですが、どれが一重目になるのか教えていただけますか。

(松永原子力技師長) ありがとうございます。

ちょっと分かりにくくて申し訳ないんですが、この断面、今示していただいた断面の絵の、二重と言っているのは下側の部分になっておりまして、そこが、今示しておりますのが一重目、その外側が二重と言って称しております。

(直井委員) 基本的にはコンクリートなんだけれども、S C、鋼板コンクリートで補強されていて、機密性を担保しているということでしょうか。

(松永原子力技師長) 外側の鋼板コンクリートと言っているのは、一番上のドームの部分で、ここの部分は航空機対策……

(直井委員) ドームのところだけで、あとは基本的にコンクリート。

(松永原子力技師長) あと建屋の一部も、とにかく外から守るところは鋼板コンクリート。

(直井委員) なるほど、分かりました。ありがとうございます。

そうすると水素の再結合器は、どこに置かれるのでしょうか。

(松永原子力技師長) 水素の再結合器は、格納容器の内部等に置いたりすることを考えておりますが、今おっしゃったのは、放射性物質を取り除くフィルターは……

(直井委員) それは格納容器の一重目と二重目の間に、置かれるということですね。

(松永原子力技師長) はい、そうです。

(直井委員) 分かりました。ありがとうございます。

私からは以上です。ありがとうございました。

(上坂委員長) それでは、岡田委員、お願いします。

(岡田委員) 松永様、御説明ありがとうございます。

私の方は基本的な話になると思うのですが、13ページの三つのiなんですが、これが私にはよく分からないというところがありまして、三つのiで、i n t e l l i g e n tというのはどこの部分なんだろうという。どこに使われているのかという、ちょっと教えていただきたいのですが。

(松永原子力技師長) ありがとうございます。

i n t e l l i g e n tと言っているのは、中央制御室などをデジタル化して、そういうところに革新性を持たせていこうという辺りだと思います。

(岡田委員) はい、分かりました。

それから、15ページのところで静的メカニズムの話があるのですが、自然の力によって機能する仕組みのことですと書いてありますよね。

(松永原子力技師長) はい。

(岡田委員) 動的というのは、結局は電気とかいろんなものを使って制御、制御というか、何か事故があったときとかにやるということではないんですか。

(松永原子力技師長) はい。ありがとうございます。

おっしゃるとおりで、動的というのは電気を使ってポンプを回したりとか、あるいは制御したりといったところが動的なシステムと。それに対して、そういうものを使わないものを静的と。

(岡田委員) できるということですね。

(松永原子力技師長) はい。

(岡田委員) それで、静的になると非常に遅い感じがするのですけれども、何か事故とかあったときに遅いということは何かデメリットにならないのですかということをお聞きしたいんですが。

(松永原子力技師長) はい、ありがとうございます。

確かに動的に急冷するよりも、事象の進展としては緩やかな方向になることは確かですが、それでもしっかりと安全を担保できるように解析で評価してできるということを確認したのになってございます。

(岡田委員) 原子力の場合は結局そういう実験ができないから、何かのときには解析によって静的なものも安全な方向に行きますよという証明をするということですね。

(松永原子力技師長) はい。基本的な要素、性能としては、その前のページ、14ページにありますようなこういう要素の試験で性能を確認しておいて、それを全体のシステムとしては解析で評価するというのになってございます。

(岡田委員) ありがとうございます。そういうところが、ああやっぱり原子力って非常に難しいなと思うところだなと思うのですけれども。分かりました。ありがとうございます。

(上坂委員長) それでは、青砥参与から専門的な観点から御意見を頂ければと思います。

(青砥参与) 東芝における革新炉の取組について説明いただきましてありがとうございます。

皆さんも集中的に質問している i B R についてですが、今、御存じのように、去年の暮れから第7次エネ基のパブリックコメントが開始されて、その中でまだ議論中ですが、今後原子力に対する期待というのは高まっていきます。そうなりますと、従来言っていた再稼働だけではなくて、やっぱりリプレースといったことももちろん視野に入れられてくると思いますので、この i B R が多分、次のリプレースの主題というか、主役になっていくとお考えじゃないかと思います。その点からして、8ページで2030年代から2本の矢印が出ているのですが、現状この i B R の様々な取組を書かれているのですが、完成度といったもの、あるいは実際に運用できる実用時期としてはいつ頃と考えておられるのかということと、その時期に対して導入への課題の大きなものは何だと今はお考えでしょうか。もちろん、課題は

ないよというのも答えかもしれませんが、その辺を少し説明していただけますか。

(松永原子力技師長) ありがとうございます。

正しくおっしゃるとおり、今後の新設プラントの受皿となれるようにこの開発を進めているというところでございます。

それに向けて、今、経済産業省の国家プロジェクトに補助を頂いて、この革新軽水炉 i B R の開発を進めてきております。そのターゲットとしては、2030年代に提供できるというところをターゲットに進めてきてございます。

その国家プロジェクト、経済産業省の補助事業の中でも幾つかの試験をこれから実施していく必要があるということで計画を立てておりますが、一つは二重円筒格納容器の成立性とか、あるいは新しいタイプのコアキャッチャの成立性といったところを確認していくというところを計画しております。

(青砥参与) そうしますと、すみません、現在、2025年に入って、2030年まで5年ですが、どういうレベルでステップを踏まれると考えたらいいでしょうか。

(松永原子力技師長) 30年代ですので、そのスパンのいずれかの点をターゲットにすることでございますが、まずは基本的な今、プラントシステム構成と、要素となる技術というものを国プロで開発してございますので、それができたところで電力会社さんとお話ししながら、次のどこにどう提供していくことができるかといったところを検討させていただきたいというふうに考えております。

(青砥参与) 本当の専門の方にこういう言い方は失礼ですが、そうすると今後10年ぐらいたった後に、例えば詳細設計レベルに入っていくようなイメージを考えられているという理解でよろしいのでしょうか。

(松永原子力技師長) はい。詳細設計はこの後の電力会社さんとの会合の中で議論させて進めていきたいと考えております。

(青砥参与) というのは、売りである基本的に安全系を高められた幾つかな特徴が書かれてありますが、その成立要件というか、それは電力会社ではなくて、東芝さんの方から売り込むようなレベルだと思います。そこへの技術要求とか、あるいは技術レベルの完成度とかは、それまでに確認されるのですね。

(松永原子力技師長) はい。もちろんでございます。

(青砥参与) そうしますと、それが大体10年ぐらいのスパンだということですか。

(松永原子力技師長) 今、国プロの予定としては3年くらい、3年から5年をめどに考えてご

ざいますので、その後は詳細設計ということでいけると考えております。

(青砥参与) ありがとうございます。そのように期待したいと思います。

もう一つだけ具体的な質問をしたいのですが、高い耐震性を成立させるということが、13ページに書いてあって、これに対する話として、16ページに建屋の低重心確保というのがあります。しかし、ここの図だけから見ますと、冷却安全系のためにトップレベルに水がありますとか、オペフロのドームにこれまでと違って頑健なSC構造を張り巡らせるということから、従来から相対的には重心が低くなっているように見えないのですが、この低重心の確保の工夫といったものは具体的にどこを指して言われているんでしょう。

(松永原子力技師長) ありがとうございます。

原子炉の容器の位置をこの真ん中、一番青くなっているのは燃料とか原子炉の部分でございますので、その位置をここに置くことによって低重心化を図るということを考えてございます。

(青砥参与) そうすると、今後子細な検討の中で今書かれている、先ほどから言われているドームですとか、二重の壁ですとか、そういったもののバランスを考えて、リアクターの位置、炉心の位置を考えていく、検討していくという対応なのでしょうか。

(松永原子力技師長) いえ。位置的には大体このようなところになって、これでもちゃんと耐震の成立性があるということを評価していくことを考えています。

(青砥参与) それは、従来の耐震性を確保したと、そういう意味ですか。

(松永原子力技師長) はい。今、非常に地震力大きくなっておりますので、その地震力に耐えられる構造というものを確保したと。

(青砥参与) 言葉尻を捉えて申し訳ないのですが、確保したと言っているのは、耐震性を高めたではなくて、こうしたオペフロですとか、水のトップにおける蓄積ですとか、そういったものを入れたとしても、従来のBWR原子力発電所に期待されている耐震性は確保したと、そういう意味で捉えればいいですか。

(松永原子力技師長) そういうような捉え方もございます。

(青砥参与) ありがとうございます。

(上坂委員長) それでは、畑澤参与から専門的な観点から御意見頂ければと思います。

(畑澤参与) 御説明いただきまして大変ありがとうございました。

i B Rということで、非常に魅力的だと思ったのは、緊急避難が不要であるとか、長期移住なし。そういう地元受入れ側にとって非常に重要なところが改善されたということでお聞

きいたしました。

それで、具体的にこの新しい装置を、炉を設置するのは一体どこが対象なんだろうというのは私、全くの素人としてありまして、この10ページ目に、今、東芝による原子力発電所、BWRの建設実績というのが1966年からですか、敦賀1号機から始まって、主に東日本側の方にどんどんできていって、40年たって廃炉にするもの、延長するもの、いろいろ建て替えとか、そういう時期が来るだろうと思うんですね。そうすると、ここに東芝の今まで設置したところのリプレースというのを想定しているというふうに理解したらよろしいんでしょうか。そうではなくて、もっと今、西日本の方にもいっぱい原子炉ありますので、そういうところも含めて何というか、リプレースしていく、そのための開発なんじゃないかな。その辺がちょっとはつきり分かればなと思います。

(松永原子力技師長) ありがとうございます。

(畑澤参与) すみません、久しぶりに質問した、大ざっぱで大変申し訳ないんですけども。

(松永原子力技師長) 立地につきましては、電力会社様がどこにどう建てるかといったところに大きく依存するところがございますので、私どもが直接答えることは。

(畑澤参与) 分かりました。これは電力会社のマターということですね。どこにどうリプレースするとか、新築するとか。もしそういう計画があったら、それを受注してというのが東芝としてのお立場という、そういう理解ですよね。

(松永原子力技師長) はい。そういう機会が、プラントを建設するという機会に対して、我々が提供できるように進めているというところでございます。

(畑澤参与) ありがとうございます。

それから、一番最初のところかもしれないけれども、どこだったかな、東芝の事業の中で重粒子線とか加速器とあったように思うんです。5ページ、6ページの辺りですか。そうそう。ここでハートのマークが5ページですけどもあって、重粒子線治療装置というのは、これはメディカルの部分だと思うんですけども、これがここに残っているというのはどういうことなんですか。何か今、技術的に研究開発として共通するものがあるので、ここに重粒子線治療装置というメディカルの部分のものが残っているということなんですか。

(松永原子力技師長) はい、ありがとうございます。

(畑澤参与) 教えていただければ。

(松永原子力技師長) 我々、この原子力の技術を応用して、いろんなこと、医療の分野、あるいはその他の産業の分野でも活用できる場所はないかというふうに考えておりまして、そ

のうちの 하나가重粒子線の治療装置だというふうに考えています。この技術、重粒子線を扱う技術を使って医療の分野で適用して、幾つかの病院で採用していただいているということでございます。

(畑澤参与) 重粒子線に関しては世界の最先端を進んで、日本が、東芝が主導して進んでいる分野ですので、大変この分野は原子力の事業に力を入れてやっていただければと思いました。

それで、そのついでと言っては何なんですけれども、最近は海外の情報を見ると、商業炉、エネルギーを作る原子炉で、医療用のR Iを、放射性同元素を作れるようになりましたというニュースというか情報が集まっています。原子炉はエネルギーということで来たわけなんですけれども、それ以外の利用も可能だというようなことが少しずつ出てきていますので、そういうことに関してはどうなのでしょう。

別のプロジェクトで、文科省の支援を受けて、三菱重工と東京都市大学の先生だったかな、が商業炉でも医療用R Iも作れますということを発表なさっていました。そういうことがこのBWRというタイプの炉で可能なかどうか、その辺に関してはいかがなものでしょうか。全く無理であれば、仕組み上無理であれば、それはそう簡単にはいかないと思いますけれども、その辺もし検討なさっていることがありましたら教えていただければなど。

(松永原子力技師長) ありがとうございます。

(坂下技監) 技監の坂下と申します。私から回答したいと思います。

御指摘のとおり、アメリカとか、そのほか海外では、昔から加速器以外にも原子力のフラックス中性子とかを使っていろいろな同位体を作ってきています。日本国内では私の知る限り、それほど積極的に商業ベースまでいっていないという認識なんですけれども、中性子層となれば同位体は作成可能ですので、原理的に可能です。

(畑澤参与) 研究用の原子炉では製造していますので、それはよろしいと思うんですけれども、問題は商業炉、エネルギー、電気を作るためだけだと思われた炉でこういうことが可能ですよというのが最近よく聞くものですから、それに対して対応できるものなのかどうか。国内の原子炉のメーカー、三菱ですか、三菱重工と研究者の間ではそれが可能だということを発表していますので、御社の場合はどうなのかなというのをお聞きしたということです。商業炉と医療用I Rという組合せはどうかということを教えていただきたい。

(坂下技監) 当社も設計エンジニアリング会社ですので、御要望スペックがあれば、当然設計開発検討することは可能であります。ただ、商業炉は先ほどと同じなんですけれども、電力

様にターンオーバーして、電力様が計画運用されていますので、我々の立場から何か申し上げることは難しいことだと思います。

(畑澤参与) よく分かりました。どうもありがとうございました。畑澤の方は以上です。

(上坂委員長) それでは、岡嶋参与から専門的な観点から御意見を頂ければと思います。

(岡嶋参与) どうも御説明ありがとうございました。特に東芝さんの革新炉への取組という点、それから i B R の概念というのを御説明いただき、有り難いと思います。

それで、ちょっと技術的なことにもなって恐縮なんですけれども、i B R のところの一つの目玉、静的安全システムについて少し、非常に概念的なお話になってしまいますけれども、簡単にその機能を概念として教えていただければと思います。

福島第一発電、12 ページのところで i B R の目指す安全性というところの一つが、福島第一原子力発電所で起きたことの一つのシビアアクシデントの発生、言ってみれば、冷却材がなくなって、冷却する水がなくなって原子炉が空だき状態になって、それでシビアアクシデントという状況が発生したという、簡単に言ってしまうとそういうことだと思うんですね。

それを言わばこの i B R の中の静的安全系、P R C S なんかはそこをなるべくシビアアクシデントが起こらないようにという形で設けられているシステムだと理解しているんですが、それで正しいですか。

(松永原子力技師長) ありがとうございます。おっしゃるとおりでございます。

(岡嶋参与) この設計の17ページの絵を見ると、言わば高いところに水、プールを置いて、炉心の熱い蒸気をそのプールのところまで引っ張って、そこで熱い蒸気の代わりにそこに置いてあった冷たい水を炉心に入れるという考え方になっているという理解でいいですか。

(松永原子力技師長) そこにあった水を入れるというわけではなくて、そこにある水で冷やして蒸気を凝縮した水を元に戻すということでございます。

(岡嶋参与) じゃ、言ってみたら E C C S のように上にプールがあって、温度が上がってきたので、言わば注水しましょうというのではなく、中身、炉心の中で循環している水を蒸気から冷やして水にして戻すというための、これは言わば熱交換器的な役目を果たしているという理解でいいですか。

(松永原子力技師長) はい、おっしゃるとおりです。熱交換器として活用するというところでございます。

(岡嶋参与) 極端に言うと、熱くなっているから直接水を入れるという発想のものは、この炉心の中にはないですか。

(松永原子力技師長) 直接水を入れるとすると、必要な水の量が大量に必要なになりますので、循環させることで7日間の冷却を確保しようということでございます。

(岡嶋参与) そういうことですか。いや、今おっしゃられた長期グレースピリオドというのが大体どれぐらいを想定されているのかも実はお伺いしたかったんですが、それをやると運転員が不要で、循環してくれて、7日間程度運転によってどれぐらいまで制定するか分かりませんけれども、そういう結果で安全を高めてというか、確保しようとしているという理解でいいですか。

(松永原子力技師長) はい。7日間冷却できるということを確保しようとしているということでございます。

(岡嶋参与) なるほど。7日間というのはどういう観点ですか。

(松永原子力技師長) 7日間というのは、世界的にも7日程度あれば復旧は可能だろうと、何らかの手は打てるということで7日間というものを設定しております。

(岡嶋参与) 分かりました。いや、ちょっとその辺のところ、一つの多分 i B R の概念の大きなポイントだと思いますので、ちょっとその辺のところだけ、非常に概念的なところで申し訳ないんですけども確認させていただきました。

それから、もう一つだけ質問は、8ページのところで革新炉の取組ということで、今回一番初めの方で、これが今、東芝さんが革新炉としてのラインナップになっていますというようなお話をされたと思うんですね。よくよく見ると、マイクロリアクター、高温ガス炉、革新軽水炉、i B R、全部熱中性子炉系で、高速炉系が4 S という形になっているんですが、エネルギーの中性子エネルギーも違い、そういう点で技術者として、あるいは技術系の技術の継承という点で、東芝さんが具体的にこういうラインナップですとおっしゃるに当たっての技術的な継承、あるいは人材的な育成とか派遣について、この革新炉までの取組に、これまでとこれから先のところもそういう部分を少し御紹介していただけたらと思うんですが。

(松永原子力技師長) はい、ありがとうございます。

やはりこの先、実現性が最も高いというふうに考えておりますのは革新軽水炉でございますので、その部分で人材をしっかりと育成して、実際のプラントの建設に携われるようにということで進めてきております。大半の技術者はそちらに関わるということになってございます。

一方で、もう少し遠い将来を見据えると、革新的なプラントシステムと炉系というものも必要になってくるというふうに考えますので、そちらの開発者というものも一方で確保する

という形で進めていこうと考えております。

(岡嶋参与) 私、こういう革新炉というの、設計とか、あるいは実現していくというのは、本当に基盤力というのが物すごく大事だと思っておりまして、基盤力ということの維持・継承というのがこれから先、どれだけ革新炉というものを造っていけるか、設計していけるかということだと思いますので、是非今おっしゃったこと、メーカーなので大変だとは思いますが、そういう点をこれからも積極的・前向きにやっていただけたらいいかなと思っていますので、是非その辺のところはお願いしたいと思います。

私からは以上です。

(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、14ページですが、iBRで、まさに強みはこのABWRの技術と実績に立脚している。プラスそこに静的安全システム。質疑にもありましたように、17ページにありますような静的冷却水を導入してということ。

それから、16ページの航空機衝突対策というのは、特定重大事故対象施設が適用になるということになるのでしょうか。

(松永原子力技師長) はい、ありがとうございます。機能としてはその機能を代替できるというふうに考えておりますが、そこは実際のプラントの規制との議論の中で今後機能していくと考えております。

(上坂委員長) そうですね。是非今後、先ほどタイムスケールのお話もありました。電力や規制当局とも協議していただいて、スムーズに開発していただければよろしいかと思います。是非よろしく願いいたします。非常に、まさに質疑にもありましたように、建て替えにね期待が高い。このタイプがそれに対応すると思いますので、是非開発を進めていただきたいと思います。

それから、次に20ページから24ページにかけて。御社は発電タービンとか発電機等の大型原子力機器のまさに世界のトップメーカーであります。

特に24ページのUAEのバラカ発電所の四つの発電タービン、発電機も、これ御社のものでございます。製品ですね。

(松永原子力技師長) はい。

(上坂委員長) 今後は西側の世界の中での、つまりアメリカ、フランス、日本、韓国等を中心とした原子力サプライチェーンの構築と強化がとても重要だと思います。是非その中核となっていて頑張っていってほしいと思いますが、いかがでございましょう。プラント自身メインコ

ントラクターとしての立場と、大型機等パーツのサプライヤー。両方あると思いますが、いかがでしょう。

(松永原子力技師長) ありがとうございます。

正しくおっしゃるとおり、なかなか今、国内で建設がないという中で、サプライチェーンの方がかなり際どいところまで来ているというのは事実でございますので、こういった機会をしっかりと我々としても造って、サプライチェーンをしっかりと維持していくということをこれからやっていきたいと考えております。

(上坂委員長) それから、畑澤参与から御質問がありましたが、5ページで事業領域があります。火力、原子力、再生可能エネルギー、水素エネルギー、電力流通と、それから新技術があります。まさに日本のエネルギーミックスがそろっています。バランス、協調が非常に重要で、また技術的にも基盤共通なところが多々あると思うのですよね。

右側にはきっと核融合技術もあると思います。この領域間の人の交流といいますか、人事交流というのはいかがでございましょう。

(松永原子力技師長) ありがとうございます。この中でも、今、エネルギーシステムズの中には三つの事業部がございまして、その中でパワーシステム事業部としては発電分野を担うということで、火力、原子力、あと水力といったところは、その事業部の中、一つの事業部の中でありますので、人の交流もございます。そのほかの再生可能エネルギーとかの分野とも、事業部は変わりますけれども、共通部分としては社内の会議体の中で情報共有したいということで、交流をしていくということで進めてきております。

(上坂委員長) 原子力技術とか機械技術、それから電気技術、共通な部分、多々あると思います。是非、人の交流も技術の交流も促進させていただいて、総合力をアップしていただければなと思います。

また、今の話に関連しますが、以前この定例会議で日立GEニュークリア・エナジーから社内での人材育成のお話を伺いました。特に技術士の取得に熱心に取り組んでおられました。

先ほど説明を受けました5ページを見ながら、御社の社内の人材育成の特徴というのはいかがでございましょう。

(松永原子力技師長) ありがとうございます。

社内の教育システムもしっかり充実させて、各年代に応じてしっかりと必要な知識が蓄積できるようにということで進めてきております。

技術者の育成としては、おっしゃるとおり、資格の取得というものも我々も推奨してきて

いるところでございます。

(上坂委員長) 分かりました。私からは以上でございます。

それでは、ほかに質問についてはございませんでしょうか。

じゃ、どうも御説明ありがとうございました。

(松永原子力技師長) ありがとうございました。

(上坂委員長) それでは、議題(2)は以上でございます。

議題(3)について事務局から説明をお願いいたします。

(山之内参事官) 今後の会議予定についての御案内になります。

次回の定例会議は、日時、令和7年1月28日14時から、場所は中央合同庁舎8号館6階623会議室、議題については調整中でありまして、原子力委員会ホームページなどでお知らせさせていただければと思います。

以上でございます。

(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。

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。ありがとうございました。

— 了 —