

## 第9回原子力委員会定例会議議事録

1. 日 時 令和8年3月3日（火） 14：00～16：43

2. 場 所 中央合同庁舎第8号館6階623会議室

3. 出席者 原子力委員会

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

井出参事官、中島参事官

国際基督教大学 教養学部

特任教授 久保謙哉

近畿大学 原子力研究所

副所長・教授 若林源一郎

4. 議 題

(1) ミュオンによる非破壊分析－物体内部の組成を非接触分析する－（国際基督教大学  
教養学部 特任教授 久保謙哉氏）

(2) 近畿大学原子炉を用いた教育と研究について（近畿大学 原子力研究所 副所長・教  
授 若林源一郎氏）

(3) 電気事業者等から公表されたプルトニウム利用計画について（見解）

(4) その他

5. 審議事項

（上坂委員長）時間になりましたので、令和8年第9回原子力委員会定例会議を開催いたしま  
す。

本日は、青砥参与、岡嶋参与、小笠原参与に御出席いただいております。

本日の議題ですが、一つ目がミュオンによる非破壊分析について、二つ目が近畿大学原子  
炉を用いた教育と研究について、三つ目が電気事業者等から公表されたプルトニウム利用計  
画について、四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。

(井出参事官) それでは、一つ目の議題でございます。

ミュオンによる非破壊分析について、国際基督教大学教養学部特任教授、久保謙哉様より御説明を頂きます。

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

それでは、久保特任教授から御説明をよろしくをお願いいたします。

(久保特任教授) 御紹介ありがとうございます。久保でございます。私は、放射化学というのを専門にしておりますが、40年間主にミュオンを使って研究をしております。昨年まではミュオンの研究者の団体であります日本中間子科学会の会長をしておりました。今日はミュオンのことを御紹介させていただきたいと思っております。

次お願いします。

私たちはミュオンをずっと使っているのですけれども、それがどういうことに応用できるかということや、ずっと考えておまして、今回は原子力関係のことにどういうことができるかということについて、現状とその提案をちょっと聞いていただきたいと思います。

次お願いします。

私たちが考える原子力分野における日本のニーズ、あるいはミュオンで何ができるかということなんですが、原子力施設には遮蔽の中に入っている高線量を持っているもの、あるいは近づけないものというのが沢山存在しています。特にそういう小さいものから大きいもの、施設そのものというのがある訳ですが、そういうものは内部は見えない、あるいは見ようと思っても近づけない。どういうふうに取り扱っていいか意思決定が非常に難しくなるということがあります。

破壊分析するということもできるのですが、それはコストが非常に掛かるということで、できれば破壊せずに中身がどうなっているかということや分析したいというニーズがあるのではないかと、私たちが考えているところです。

次お願いします。

例えば、中を見られないものとか、燃料デブリだとか、缶に詰められた放射性廃棄物であるとか、あるいは色々な建物の中の配管であるとか、あるいは配管の中が詰まってしまっているか、そういうものは外から見えない訳ですが、そういうものを可視化できないかということを考えている訳です。

次お願いします。

今までに非破壊の手法というのは沢山ありまして、エスタブリッシュされた、確立されたエックス線というのがありますが、これは物質の密度による違いを見ているということになります。これは広く使われて、空間分解能も高いんですけども、厳密な意味で原子力で要求される核種であるとか、元素であるとか、そういうことの分解能が非常によろしくないとか、決定するのは難しいとなっています。

中性子は非常に透過力が強くて、全体を見るのに適しているのですが、ある特定の部分を見ようとするときCT等の操作が必要になるということになる。あるいは、軽元素については非常に有用だということがあるんですが、これも特定の同位体に特異、感度が非常に高いということがあるんですが、そうでないものも多いということで、一様に測ることはできないということになります。もちろん中性子が必要だということと、余り強く当てると放射化してしまうということもあるということも挙げられると思います。

それに対してミュオンですが、実は宇宙線ミュオンという形で降ってきて、それを使うという方法があります。私たちは人工的にミュオンを作り出して、それで見えない部分の元素を同定する、あるいは核種を同定する、あるいは高線量下での測定、後でお話ししますが、そういうことをやろうとしております。特に荷電粒子ですので、特定の深さに止めることができるというのが非常に大きな特徴ですので、これも3次的に元素マッピングをするということを考えています。

ただし、もちろんミュオン源が必要で、これは中性子を作るよりもちょっとお金が掛かるのが現状です。その開発もしていこうと考えています。

次お願いします。

これは、左が少し青い色が掛かっていると思いますが、左側がミュオンを物質の中に止めて、それで元素を分析する、あるいは核種を分析するというのも私たちがこれまでやってきたことの例です。

右側の方は透過型ミュオンと言われますけれども、高いエネルギーのミュオンを使うと試料を透過させて、その透過する前と後でミュオンの方向がどう変わったか、あるいは速さがどう変わったかということによって、通過したところの物の状態が分かるという、そういう方法で、そういうことによっても色々な可視化ができるというふうに考えているところです。色々なものを測定できるというふうに考えているところです。

次お願いします。

では、ミュオンとはということなのか、あまりなじみのないものだと思うので、説明したいと思います。

ミュオン、あるいは $\mu$ 粒子というふうに呼ばれていますが、物質と力の働き方を媒介する素粒子と呼ばれる17種類の粒子がありますが、そのうちの一つで、それらは3種類に分類されています。その3種類の分類の一つが、この真ん中に書いてありますレプトンというグループなのですが、ミュオンはこのグループの中の一つです。その中によく知られている電子があります。電子と同じ仲間というふうにお考えください。

ですので、左側にありますが、電子と同じように電荷を持っている、マイナスの電荷を持っているものと、プラスの電荷を持ったものが存在しています。

それから、スピンと呼ばれる性質を持っていて、これはくるくる回っているような、そういう性質を持っているのですが、電荷を持っているものがくるくる回っていると、これは磁石の性質を持つことになります。ですから、このミュオンというのは非常に小さい方位磁針、コンパスの針みたいなものである、そういう性質を持っているということになります。

それから、電子の仲間なのですが、電子と大きく違うのは寿命があって2.2 $\mu$ 秒、45万分の1秒という寿命で壊変していきます。負の電荷を持った $\mu^-$ は電子、正の電荷を持った $\mu^+$ というのは陽電子に壊変していくということになります。

次に重要なのはその重さでして、左側の下2行ですが、電子の200倍重い粒子である、かつ陽子に比べると9分の1という、普通、私たちの世界は電子や陽子でできているのですが、そこには現れてこない粒子となります。ですから、その矢印の右側ですが、物質の中では $\mu^-$ という粒子は重い電子として振る舞う、 $\mu^+$ というのは軽い陽子として振る舞うというのがその挙動を理解するキーポイントになっています。

実は人工的に作るというお話をしましたが、宇宙線からも降ってきているというお話をちょっとしますが、どのくらいかという、これ実はすみません、図を間違えたのですが、手のひらに1秒に1個来ています。1秒に1個来ている。申し訳ございません。それぐらいの頻度で来ているのですが、それは我々の研究にはちょっと数が足りない、人工的に作って使うということをしているところです。

次お願いします。

そこで、それを使って色々な分析をするというものの一つに、ミュオン特性エックス線というのを使って元素を分析するという方法があります。

次お願いします。

元素を分析する方法というのは色々あるのですが、一番はっきりした方法は、元素を構成する原子を励起して光らせる、光を出させるという方法があります。これは炎色反応と呼ばれていますが、原子が光ると、色々な色で光る。それは原子あるいは元素が違っていると違いう色で光ることが知られています。逆に、物質を光らせてその色が何色であるかを見ると、どんな元素でできているかが分かると、そういう原理です。これが炎色反応で元素を調べる方法なのですが。

次お願いします。

ただし、炎色反応の光は非常に透過力が弱いので、物質の内部を調べることはできません。それでミュオンが候補として挙がってくる訳です。ここでお話をするのは負の電荷を持ったミュオン、負ミュオンです。私たちはそれを人工的に作り出して、加速器で作って調べたい物質に打ち込みます。そうすると、負ミュオンは電荷を持ってだんだん物質の中で減速して行って、やがて停止します。停止すると物質の中には原子があって、その中に原子核という正の電荷を持ったものがありますので、負の電荷を持ったミュオンは正の電荷を持った原子核に引き寄せられるということが起こります。

更に、原子核に引き寄せられて、ミュオンが電子の代わりに原子核の周りを回って、ミュオンが電子の代わりになっているような原子が出来上がります。それをミュオン原子というふうに私たちは呼んでいます。ミュオンと電子はお友達なので、同じようなものを作ることができます。ただし、ミュオンの方が電子よりも200倍重いので、ミュオンの方が原子核に200倍近いところに近づくことができます。

そのミュオン原子が形成される時には、もともとミュオンは原子核から遠いところにいる訳ですが、それがだんだん近いところに引き寄せられていきます。そのときに余ったエネルギー、そのエネルギーを光として放出することになります。その光はミュオン特性エックス線と呼ばれていますが、その光のエネルギー、光の色ですが、それがミュオンを引きつけている原子核の元素を作っている元素、原子番号と私たちは読んでいますが、原子番号によって異なる。あるいは原子核の中に入っている中性子の数、質量数に関係するものですが、それによって僅かに異なるということが知られています。

逆に、原子核が決まっていればミュオン特性エックス線のエネルギーは正確に決められています。なので、物質の中に負ミュオンを打ち込んで、そこから出てくるミュオン特性エックス線のエネルギーを調べれば、ミュオンが止まったところがどんな元素でできているかが分かる、そういう仕組みです。

次お願いします。

どのくらいのエネルギーのミュオンのエックス線が出てくるかというのがこの表です。keVという単位で書かれていますが、例えば酸素でいうと76keVとか、アルミニウムで347keVというふうに書かれていますが、これは普通にエックス線実験をしている人たちが使っているエックス線に比べて非常に高いエネルギーです。例えば、鉄でいうと1,256keVという値になっていますが、これはもうガンマ線のエネルギー領域になっています。

このように、高いエネルギーの光ですが、それは非常に透過力が強いです。この次に出ますが、物質の中を透過して外まで出てくるということで、右の上の図を見ていただきますと、ミュオンを物質の中に打ち込む、深いところに打ち込んで、そこでミュオンエックス線が発生する。その発生したミュオンエックス線は、物質を通り抜けて外まで出てくるので、その出てきたミュオン特性エックス線を測定する。何色であるか、つまりどんなエネルギーであるかを調べると、ミュオンが止まったところがどんな元素でできているかが分かる、そういう原理です。

その右の図のちょっと左にあるのは電子の例です。電子を当てて物質の表面を元素分析するというのは、蛍光エックス線分析というのは非常によく使われているのですが、それでは物質のごく表面だけしか見ることができません。それはこのエックス線のエネルギーが低いため、深いところから出てこれないのです。

次お願いします。

どのくらい深いところから到達できるかという話ですが、左側の図が普通のエックス線、この緑色で書いてある線が普通のエックス線がどのくらいで透過していくかという話なのですが、左の端から透過していくに従って減衰しています。その減衰の仕方を表しています。0.1ミリぐらいまでしか到達できないことが分かります。

それに対して、右の図を見ていただくと、これは厚みをセンチメートル単位で書いてありますが、ミュオン鉄エックス線というのは3センチメートルの鉄を通り抜けてもまだ外に出てこられる、測定が可能だ、ということが分かります。ですから、3センチの鉄で囲まれたものの中に何物かがあるときでもミュオンのエックス線を使えばそれが何であるかを調べることができる、ということを示しています。

次お願いします。

また、私たちはミュオンを作るときに色々なエネルギー、つまり色々な速さのミュオンを

作り出すことができます。そのミュオンの速さが遅いとき、つまりエネルギーが小さいときには、この下のところを見ていきますとミュオンは物質の表面付近でみんな止まります。この赤い山はヒストグラムです。どのくらい止まるかということを表しています。

もっと高いエネルギーのものになると、このグラフの右の横軸は物体内部に向かっているということを表していますけれども、深いところでミュオンは止まるということになります。深いところがどんな元素でできているか調べられることが分かります。中くらいのエネルギーだと中くらいのところで止まるということです。

一つ重要なのは、この深いところまで行って止まるときに、浅いところに止まるものはほとんどないということです。ですから、浅いところの情報は見ずに深いところの情報だけを見ることができるということが分かります。深いところまでいくと、止まる位置が広がって、ぼやけてしまう訳ですけれども、浅いところと深いところを別々に測定できるということがこのミュオンの特徴です。

次お願いします。

これをまとめますと、ミュオンエックス線というのはかなり高いエネルギーを持っているので透過力が高い。物体内部で発生したものを外から測ることができる。もちろん、化学処理は全く必要ありません。試料も損傷をしません。放射化物の測定もできます。これは後でお話をします。もちろん、ミュオンはビームで使うのですけれども、空気中でも測定が可能です。特に普通のエックス線、蛍光エックス線分析というので測定が困難な原子番号が10以下の炭素とか窒素とか酸素みたいな、そういう軽い元素と私たちは呼んでいますが、そういうものが電子エックス線で測定がほとんどできないのですが、ミュオンでは測定することができます。

また、もう一つ重要な点ですが、どの元素もほぼ同じ感度で測定することができます。ですから、これは色々なものが混ざっているときにミュオンエックス線が沢山出てくるのですが、それが入っているものの量に従ってミュオンエックス線が出てくるので、多いものは沢山出るし、少ないのは少ししか出ないのですが、見逃すことがないというのが一つの特徴です。

次お願いします。

そういうミュオンの実験ができる施設なのですが、世界中に5か所しかありません。5か所もあると言ってもいいのかも知れませんが、日本には茨城県の東海村の原子力科学研究所の中にあるJ-PARCと呼ばれる施設、これが世界最強のミュオンのビームを出す施設です。それからもう一つ、大阪大学の核物理研究センターというところにあるMUSICと呼

ばれる施設がありますが、ここにもあります。この日本の二つの施設はビームの時間構造が違って、色々異なった研究ができるという、日本は恵まれた立場にあります。

下の J-PARC なのですが、この大きさは大体 1 キロメートルぐらいあります。かなり大きな施設であるということになります。私たちはここの物質生命科学実験施設というところで主に実験をしておりますが、最後の方のお話、透過の話は右の上の方にちょっとありますが、ハドロン施設というところで最近始まった実験のお話をしたいと思います。

次お願いします。

私たちがやってきたことの御紹介をしたいと思います。

まず貴重試料ということで、これは銅鐸の試料です。銅鐸というのは、地中から掘り出されているものは表面が緑色にさびています。これは緑青が生えている訳ですが、こういうものが作られたときにどんな組成のもの、つまりどんな元素で作られていたかということを知りたいというのが文化財の研究者たちの望みです。

ただし、さびは表面に出ているので非常に詳しく分析できるのですが、これをいくら分析しても内部では組成が違うということが知られています。それは右の方にありますが、切って調べれば分かると、もちろんそういうことになる訳ですが、こういう貴重な文化財はさびごと文化財なので、さびを落とすことができません。さびを通して中を見ることができないかと、色々試されていたのですが、3年半ほど前の文化財の人たちのワークショップの結論はそんな方法はないという結論でした。私たちはその後で、ミュオンであればできるということを確認しておりましたので、実験をすることにしました。

次お願いします。

この左側の図は青銅の銅鐸を実験施設に置いて、その右の方からミュオンのビームが出てくる。そのミュオンビームを当てて、出てくる特性エックス線を、右側の写真は色々なものが並んでいますが、ゲルマニウム検出器というミュオン特性エックス線を測定するのに適した、つまりミュオン特性エックス線の色が分別できるような、そういう検出器を置いて調べているところです。

次お願いします。

この実験の結果なのですが、右側を見ていただいて、負ミュオン運動量と書いてあるところがあります。これはミュオンの速さだと思ってください。一番上は 17 という数字が書かれています。この数字でやると大体青銅の製品のさびの層のところに止まるだろうということが予想されます。

それで、左側がミュオンエックス線スペクトルと呼ばれるもので、どのような色のミュオンエックス線が出てきたかというのを調べたものです。横軸はミュオンエックス線のエネルギー、つまり色の違いを表しています。縦軸はその色の光がどれだけ出てきたかというのを表しています。この針のように立ち上がっているのは、私たちはピークと呼んでいますが、これはそれぞれの元素から出てくるシグナルを表しています。

この左側を見ていただきますと、銅と鉛とスズという、これは青銅の主成分です。これが現れていると同時に、酸素が非常に沢山入ってくるのが分かります。つまり、これはさびであるということになります。

真ん中の図ですが、先ほどの負ミュオン運動量22と書いてあるので、少し運動量が上がります。つまり勢いが速い訳ですが、そうするとさびを少し進んだところで止まっています。そうすると、左側のスペクトルを見ていただきますと、酸素のピークが小さくなっていることが分かります。つまり、さびがだんだん少なくなっていることが分かります。

更に一番下、負ミュオン運動量40というふうにいけますと、左側のスペクトルの中で酸素のピークが消えています。つまり、酸素の信号がなくなっているということで、これはさびていない金属の下地に到達したということで、これが製作されたときの組成を表しているということになります。

次お願いします。

これをまとめますと、図は左から銅、スズ、鉛、酸素で分かれています、その深さによって分析結果が異なる。一番下のところ、金属層と書かれているところがさびてないところの元素の組成で、こういう組成で、さびのところと全く違うということが明らかになったのと、さびを通り抜けて金属層を本当に測れるのだということを私たちは示すことができました。今、青銅を扱っている文化財の研究者がこの分野に参入しようとしているところであります。

次お願いします。

次は、貴重資料の非破壊分析というもので、はやぶさ2という探査衛星が持ち帰ってきたRyugu試料の分析です。このはやぶさ2の目的は、小惑星Ryuguのところまで行って炭素や窒素や酸素がどのくらいあるかというのを調べたいということでした。

実はこの小惑星は、地球ができたときと同じときに、同じ材料からできたと思われていて、ただし地球上では炭素や窒素、酸素、もともとどれだけあったかというのは調べることができません。色んな変化が起こってしまっているのです。それで、変化が起こっていないと思わ

れる R y u g u のサンプルを取ってきて調べるとというのがこのミッションです。ですから、こういうものをまず非破壊的に分析するというのが私たちの仕事でした。

次お願いします。

結果だけお見せしますが、ここにミュオンエックス線スペクトルを出していますが、色々な元素が見えていることがお分かりいただけると思います。炭素や窒素や酸素というものを測定することができます。この例から酸素が直接測定できるというのは、また一つのミュオンエックス線の特徴であります。この O r g u e i l と書いてあるものが、この R y u g u と同じようなところから地球に落ちてきたと思われる隕石です。それとほぼ組成も同じということで、これは一つ隕石と小惑星は似ているということを確認したという例でもあります。次お願いします。

次に、密封容器の内容物を開けずに測定すると、その例です。大阪大学が保管している蘭方医緒方洪庵が残した薬箱が左の上の写真です。その中にガラスに入った薬、ガラスの薬瓶が沢山並んでいます。長い年月がたっていますので、この薬瓶は既に蓋が開かない状態になっています。ラベルもない訳ですが、中身は何かということを知りたいということで、ミュオンを使えばできるであろうということを私たちは考えました。つまり、そのガラスの瓶を透過してミュオンを内部の試薬に停止させて、そこがどんな元素でできているかを調べるということになります。

下がその実験の結果でして、これから見ると、中に入っていたものは主に水銀と塩素であるということが分かりました。このピークの大きさを解析することによって、入っていたのは  $Hg_2Cl_2$  で、塩化水銀の化合物でした。塩化水銀には2種類の化合物があって、一つは猛毒なのですが、もう一つは消化器系の薬として江戸時代に使われていたもので、その薬の方であったということを経験的に調べることで確認することができたということになります。

次お願いします。

次に、放射性物質の分析を目指して試みの実験をやったところも御紹介をしたいと思います。

次お願いします。

これは、右の上にあるのはアルミニウムの容器の中にビスマスの塊を入れて測定しようとした、それを蓋を開けた状態なんですけど、これは蓋をしてアルミニウムの容器にビスマスを封印してミュオンを当てました。

下の図がその結果ですが、ミュオンビスマスX線が測定され、ビスマスが入っていること

がはっきり分かりました。

この青い線を見ていただくと、左の方に1, 461 keVというところなんですが、天然のカリウム40から出てくるガンマ線が測定されています。これは何かというと、普通に実験室は周りをコンクリートで囲まれているので、コンクリートに入っているカリウムからのガンマ線が測定されているということになります。

ただし赤い線は、御注目いただきたいんですけども、ミュオンはミュオンの物質の中に入ってきて、ミュオンエックス線が放出されるまでの時間というのは10億分の1秒ぐらいです。その時間だけにフォーカスして、ミュオンがサンプルに入った時間近辺だけガンマ線の測定をすることをする、実は全体の測定時間のうちの4,000分の1ぐらいだけ測定することになります。そうすると、それが赤のグラフなんですけれども、カリウム40のピークが消えています。

これはカリウム40も放射線を出しているのですが、そのうちの4,000分の1しかカウントされなくなったということを言っています。つまり、もしガンマ線を出すような放射性物質が共存していても、ビスマスをきれいに測定ができるということが明らかになっています。ですから、放射性物質がもし中に入っていたとしても、放射性物質が出す放射線に妨害されることなく、中身が何であるかを測定できると。そういう例で私たちは放射性物質を密閉した容器の中で測定できる、そのデモンストレーションをしたと考えているところです。

次お願いします。

同位体分析のお話に進みたいと思います。

次お願いします。

同位体によってわずかにミュオンエックス線のエネルギーが異なる、色が僅かに異なるという話をしましたけれども、左の下に書いてありますが、実は鉛でして、天然の鉛は鉛204、206、207、208というものがあって、質量が互いに大体200分の1ぐらい異なるものが混ざっています。それらは違うエネルギーのミュオンエックス線を放出します。鉛208だけを使ったミュオン特性エックス線の測定が左の上の図の赤いラインです。これは鉛208のミュオンエックス線がピークとして現れています。

その上にある青いものは天然の鉛のミュオンエックス線スペクトルです。これは鉛204、206、207、208が全部混ざったものです。そうすると、僅かにエネルギーの異なったミュオンエックス線がほぼ同じようなところに出てきて、それが並んで測定されて、上の線は幅が僅かに広がったように見えます。

それを拡大したのが右の下の図なのですが、この右の下の青い部分が鉛208から出てくるミュオンエックス線です。緑の部分が鉛207から出てくる、ピンクの部分が鉛206から出てくるもので、これらがほぼ2対1対1という比率で出てきているというのがお分かりいただけると思いますが、解析するとこのように分割できる。更にどれくらいの量のものが入っているかも分かるということなんで、同位体を分別して測定できるということをデモンストレーションしています。

次お願いします。

次はミュオン誘起ガンマ線による分析というお話をしたいと思います。

次お願いします。

これは江戸時代の小判、金貨なのですが、それをミュオンを当てて分析して、ミュオンエックス線ももちろん測定したのですが、そのときに同時に分かったのは、ミュオンエックス線ではなくてミュオン誘起ガンマ線が出ているということが分かりました。この右の方に書かれているものがそのガンマ線を帰属したものなのですが、ここに書かれているPtというのが白金です。これはミュオンが金に当たって白金ができる、そういう白金の原子核ができて、そこから出たガンマ線が測定されていることが分かります。

左側を見ていただきますと、実はこの小判は、下の棒グラフは小判は金と銀の合金なのですが、この棒グラフの部分は金の含有量です。残りの部分は銀です。ですから、幕府の状況によって金が多かったり少なかったりする訳ですけれども、表面はみんな金色をしています。そこがポイントなんですけれども、右の図は二つのグラフが重なって書いてあって、赤と青なんですけれども、赤い部分がミュオンを表面付近に止めたもので、青い部分は内部に止めたものです。これを御覧いただくと、表面の方が金の含有量が高いということが分かります。これはこの小判を造るときに金の含有量を表面だけ高める工夫をされていて、色付けと言われていますけれども、表面の数ミクロンだけ金の含有量が非常に高いですが、銀を取り去っている。そういうことをやったということがこれで分かります。これは、ミュオンが入ることによって原子核が変換されているということも表しています。そのガンマ線を使っても分析ができるということになります。

次お願いします。

そのガンマ線はどこから出るかということですが、先ほど説明したミュオン特性エックス線というのは真ん中の欄ですが、その一番下、ミュオンが原子核に非常に近づいていったときに、その原子核に吸収されて陽子が中性子に変わるということです。そういうことが起こ

って、原子番号が一つ小さくなります。そういう新たな原子核を作ることができます。その励起原子核からのガンマ線が先ほどの分析です。普通は原子核を変換するときには中性子あるいは陽子、アルファ粒子で正の電荷を持ったものが出るのですが、これ負の電荷を持ったものを使って原子核反応を起こすということで、今まで作られていた放射性同位体の中で、有用なものを実はこのミュオンを使って作ると純度の高いものができる可能性があるというふうに私たちは考えていて、今までは違う方法なので純度が違うということになりますが、それを研究を始めようとしているところです。

例えば、銅の65とか、銅の67とか、ルテチウム177とかいう、最近注目を集めているものを、今使われている方法とは違う方法で、より純度の高いものが作れるかもしれないということを考えているところです。

次お願いします。

ミュオンスピン分光法という話をしたいと思います。

次お願いします。

これは、ミュオンはもともとスピンを持っているというお話をしました。これはパイオン、あるいはパイ中間子と呼ばれるものからミュオンを生成するんですが、そのパイオンがミュオンを生成するときニュートリノも一緒に出てきますので、パイオンが、ミュオンが進んでいく方向、進行方向と反対側に実はスピンの偏極するということが起こります。つまり棒磁石の向きがある向きにそろっていると。そういう状態でミュオンは生成します。

右側の図なんですけど、ミュオンが2.2  $\mu$ 秒の寿命で壊変するとき、そのスピンの方向に電子を出すということが分かります。ということなので、もし物質にミュオンを打ち込んで、それで電子がどちらの方向に出るかというのを調べてみると、何も起こらなければミュオンが来た方向の後ろ側、背中側に電子が出ます。

次お願いします。

ところが、ミュオンがスピンという、性質を持っているので、もし物質の内部に磁場があると、棒磁石が磁場に反応して向きを変えます。その向きの変え方が回転運動になることが知られています。このグラフは横軸は時間でプロットしてあります。ですから、ミュオン壊変して出る電子がある方向で検出器で見ていると、その検出器の方向にミュオンのスピンの向いたり向かなかったりする、回転をして向いたり向かなかったりする。その結果、検出器に来る電子や陽電子が沢山来たり少なくなるということで、こういう振動のパターンを見ることができます。

この振動のパターンのギザギザの速さ、それは物質の内部の磁場の大きさに比例しています。これは今、金属鉄で取っておりますけれども、このくらいの速さで動いています。これ、酸化鉄だとまた違う速さになります。ですから、このスピン分光法というのをを使って鉄と酸化鉄を識別することができます。例えば、鉄の容器があったとして、その鉄の容器を表面から内部の方までミュオンを入れて調べていくと、表面は金属であるけれども、あるところから酸化鉄になってしまうということを非破壊的に調べることができます。

また、例えば鉄が塗装されていたとして、塗装の部分からミュオンを奥深くだんだん入れていったときに、塗装から金属の鉄になるのか、あるいは途中で酸化鉄があるのか。つまり塗装の下でさびているのかということ进行调查することも可能であり、これは頭で考えたことなので、実際にはやっていないのですが、こういうことができるというふうに考えております。次、お願いします。

最後に、人工高エネルギーミュオン散乱法という話をしたいと思います。

これは、宇宙線ミュオンで色々な構造物を今研究されていて、名古屋大学の森島先生たちが盛んにやられていますが、左側のところは福島第一原発の格納容器を見たところ、2番目はクフ王のピラミッドの中に新しい空洞を見つけたということで、これは宇宙から宇宙線が飛んでくる間に、途中で邪魔者があるかないのか、邪魔者がいないところは空洞があるのかということ进行调查するという方法になりました。

最近、森島先生たちはイタリアのナポリの市街地を調べておまして、これは何かというと、地下に埋葬施設か何かあるのじゃないか、地下に空洞があるかどうかということ进行调查しています。宇宙線ミュオンを使っています。

宇宙線ミュオンは上からも飛んでくるのですが、斜めからも飛んでくるので、調べたいところの下側に穴を掘って待ち受ける必要はなくて、横でも構いません。これは実は調べたいところの隣の家の地下室に検知機を置いて調べたものです。これを見ると、何か新しい埋葬施設が見付かったというのと、この論文の中に書かれているのは、この中に配水管のシステムを見ることができたということが書かれています。ですから、地下に埋設されているような配水管のシステムの、どういう配置になっているか、あるいはそれが実は詰まっているかどうかとも恐らく分かるというふうに考えています。

こういうことを、宇宙線を使ってできるというふうに考えていますが、ヨーロッパはこれを盛んにやっているのですが、日本ではそれほど盛んにやられていないというようです。日本発の技術なのでちょっと残念なところでもあります。

次お願いします。

実は宇宙線ミュオンに近いものを人工的に作ることができるということを、最近この1年以内ですが、実証することができました。これはJ-PARCのハドロン実験施設というところで、先ほどお話ししていた物質の中に止めるミュオンは3 GeVの陽子を使っていたのですが、これは30 GeVという、10倍のエネルギーのもっと速い陽子を使うと非常にエネルギーの高い、速いミュオンを作ることができるということが分かりました。

これはK Programと呼ばれている、経済産業省の安全保障重要技術育成プログラムの予算で研究されているものですが、これで高エネルギーのミュオンを発生することができました。今のところは宇宙線ミュオンの1,000倍くらいのビーム強度が出ている訳ですけれども、そういうものを使うと、この右の下の図ですが、これはシミュレーションですが、コンクリートの中に埋められている鉄骨、そういうものをこういうふうに可視化できるだろうということがシミュレーションでは分かっているところです。

次お願いします。

こういうことの実験が始まったばかりなのですけれども、J-PARC施設のビームダンプと呼ばれている、今まで捨てられていたと言ってもいいんですが、そういうところを使って実験することができるようになりました。その右の下にあるところがビームダンプのところなのですが、まだ小さいものしか置けないんですが、これはもっと大きいものを置くことが可能であると、拡張しようというふうに計画しているところです。

次お願いします。

これはさきほど宇宙線ミュオンの1,000倍ぐらいという話をしましたけれども、実はそれは特定のエネルギーのものを切り出してきた、そのときはそうなのですが、切り出さずに全体、白色ミュオンビームと呼ばれていますが、宇宙線のように色々なエネルギーが混ざっているような状態で取り出すこともできます。そうすると、宇宙線ミュオンに比べて右の上に26万倍と書いてありますが、今は52万倍まで増えております。それぐらいの宇宙線の強度に比べて高いフラックスのものを使うことができるようになりました。

どのぐらいのものが測れるかというのは右の下なのですが、コンクリートとか、鉄の塊とか、そういうものを透過してこういう、さっきのピラミッドまではいきませんけれども、これぐらいの厚さのものを透過して、中がどうなっているかということ进行调查することができるようになりました。この52万倍というのは、宇宙線であれば2か月掛かる測定が10秒できると、そういうような強度になっています。

次をお願いします。

更に、そういうミュオン源は、今 J-PARC でやると 1 キロメートルというような大きな施設が必要です。実はアメリカでは宇宙線ミュオンを使ってこのトレーラーの中を監視すると、透視するというようなことが行われていて、実は実績も上がっているところです。ただし、それは時間が掛かるので、人工的なミュオン、先ほど非常に強いミュオンが出ると申し上げましたが、そういう加速機を作ろうという計画があります。これまた K Program でやっているところですが、数十メートルぐらいの大きさの加速機を造ってやるとトレーラーの透視なんかは簡単にできるだろうということで、今、技術的に開発が始まっているのですが、10年とか15年とかそのくらいは掛かると思われますが、そういうことが進行しているところです。

更に、これはもっと小型化するというのが、今のところ設計はできそうな状態になってきて、これらを可搬型にすることも可能であろうというふうに考えているところです。

次をお願いします。

こういう色々な応用を私たちは考えていて、色んな人たちが実は今参入してきている訳ですが、これは昨年と一昨年に行った研究会のときの写真ですが、この人たちの半分ぐらいは学部生とか大学院生、あるいはポスドクのような若手の人たちです。こういう人たちが沢山集まってきているので、この人たちが更に発展していけるように、そういう条件を整えていきたいというふうに思っています。

色々な予算を獲得しているのですが、4月からは科研費の学術変革というのが始まって、もっと大々的に進行しているというふうになります。

次をお願いします。

ということで、これがまとめですが、こういう非接触・非破壊分析というのは可能性が沢山あって、原子力関係にも色々お使いいただけるのではないかとこのように考えているところです。

以上です。ありがとうございました。

(上坂委員長) 久保先生、どうもありがとうございました。

ここまで文化財、考古学分析といいますと、イオンを使った質量分析だったんですが、新しい可能性を今日前半で御説明いただき、後半は産業用の非破壊検査の可能性を御説明いただきました。

それでは、40分をめどに質疑を行いたいと思います。

それでは、直井委員からお願いいたします。

(直井委員) どうも久保先生、御説明ありがとうございました。

先生の資料の中でも御説明ありましたが、今まで宇宙線のミュオンを使って1Fの溶融した炉心の状況を透視する技術について定例会でお話を伺っていました。今回は、ミュオンの特性エックス線に係るお話等で、ミュオンの強度が桁違いに違う、加速器で作った人工ミュオンを使って非破壊・非接触で高線量で遮蔽がなされた測定対象物の性状、構成元素を識別するというような技術でございまして、大変ユニークで、近い未来には有望な分析技術になるというふうに感じました。

初めの質問ですが、15ページで元素の同位体、どんなやつでも感度が一緒というようなお話がございましたけれども、これはちょっと11ページで御説明していただいた、この絵でいきますと、いわゆる負のミュオンの脱励起のところ、脱励起が起こって特性エックス線が出るというようなことなので、これはいわゆる何というのでしょうか、中性子だと反応断面積みたいなことを言いますが、これはどんな元素であっても、どんなエネルギーのミュオンであっても、起こる確率はほぼ同じというふうに考えればよろしいのでしょうか。

(久保特任教授) はい。ここに書かれた図は、ミュオンが停止した後に起こることです。だから、普通、反応断面積というのは速さの関数としてそれを表わしているのですが、これは止まったときであります。止まったときに原子核にどれくらい引っ張られるかということがありますが、それは原子核が正の電荷を沢山持っていれば持っているほど強く引きつけられるので、実は正の電荷を大きい原子、つまり原子番号が大きい元素の方が強く引きつけるのですが、ただし強く引きつけるものほどともとも重いので、感度ということでいくと、その重さで割り算することになるので、実はどのような元素でも同じような感度になると。それがここの原理であります。

ですから、ヘリウムからウランとかプルトニウムとか、そういうものでほぼ同じ感度で測定することができる。ただし、ここに書いたのは水素は測れません。水素はこのミュオンエックス線が出てくる前に別のプロセスで起こって、水素からのミュオンエックス線は非常に測るのが困難です。

以上であります。

(直井委員) どうもありがとうございます。

それから、バハマの例で42ページのところで、宇宙線ミュオンを使った検査装置がもう既に置かれているというお話ですが、先ほどの御説明の中で宇宙線ミュオンを使っていたら

何か月も掛かる話でしたが、実用化しているということでしょうか。

(久保特任教授) 実用化はしています。それはどのくらいの細かいところまで見るかということが、またその測定時間に関わっているんで、これはそんなに長く時間が掛かる、詳細は私、承知していませんけれども、トレーラーを見てみると、金属の塊であるはずのところ塊じゃない何か空洞があるということを見つけたという、そういう例です。実は麻薬が入っていたという話なのですが、それはそんなに、大まかに見るのであればそんなに時間は掛からないということだと思います。ただ、詳細は安全保障に関わるので発表されていないのだと思うのですが、実際に新聞報道等もされております。

どのくらいの細かいものまで見たいかということで測定時間が決まるので、先ほどお示ししたミュオンでやるコンクリートの中に鉄筋が入っている、そういうのだとちょっと宇宙線ミュオンでやるにはかなり大変ということがあります。時間が掛かると思います。

(直井委員) ありがとうございます。恐らくアメリカが設置しているのではないかと思います。分かりました。ありがとうございます。

それから、この技術は高放射線量下でも核種分析、ビーム同期測定をするということによってできるということで、1Fのデブリ取り出し時の核物質測定のNDAだとか、再処理工場の溶解液だとか、それから高速炉用のMA含有燃料なんかの計量管理、こういったところの社会実装に大変期待ができる、持てる技術だというふうに思うんですけども、一方で実用化に向けてはミュオンビームを出す加速器の、大きい加速器だったらちょっと現場に持っていきませんし、小型化しなきゃいけないというようなこと。それが実用化の大きなネックになると思うのですが、現状のこういった加速器、ミュオンを発生させる加速器の開発状況について教えていただけますでしょうか。

(久保特任教授) それについては、ここから下村の方から答えさせていただきます。

(下村特別教授) お答えいたしますと、今は設計段階なのですが、直径が3メートルぐらいで、高さが2メートルぐらいで、超伝導線材を使ったサイクロトロンを理化学研究所の仁科センター、奥野先生がやっていたら、それが全重量60トンを超えております。ぎりぎり新幹線1車両分よりちょっと軽いぐらいになりまして、トラックで運ぶところがぎりぎりまで来ていまして、奥野先生はもう少し、もうちょっと頑張ってください、超伝導のところをもうちょっと分析することによって30トン程度にまでできるんじゃないのというようなお話は今伺っています。これ今、設計については研究を行っております。

(直井委員) どうもありがとうございます。1Fのデブリの工法が昨年公表されまして、大規

模な取り出しはまだ10年、十何年か先になっているので、是非とも頑張ってください、実装していただければなというふうに思いました。

それから、最後に世界でこういったミュオンを発生させる装置が5か所しかないというお話があったのですけれども、例えばその5か所の中で核物質とかを扱える、密封でもいいんですけれども、核物質が扱えるような施設というのはあるのでしょうか。

(下村特別教授) すみません。核物質を扱える施設は今のところ2か所ございまして……。

(直井委員) あるのですね。

(下村特別教授) ええ。カナダのバンクーバーにあるトライアンフという施設と、それからスイスのチューリッヒの近くですけれどもPSIという施設がございまして、そちらは核燃料も扱われております。残りは残念ながらちょっと規制の関係から扱えない状況です。

(直井委員) 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) 吉橋員、お願いします。

(吉橋委員) 久保先生、今日はミュオンとは何かという基礎のところから、使うと何ができるかということまで幅広く教えていただき、ありがとうございます。ちょうど私、昨年末に先ほどお話も出ました森島先生の講演を聴講いたしまして、ピラミッド内の空間の話だとか、あとは検出器としての原子核乾板のお話を聞いて、そのときも非常に面白いなと思ったんですけれども、本日も更に多くの可能性について、特に原子力分野への利用というところについて御紹介いただいて、非常に勉強になりました。ありがとうございます。

これまで、ミュオンといいますと、宇宙線ミュオンですか、のイメージが強くて、可視化対象も比較的大きなものですか、先ほどの原子力発電所だったりピラミッドだったり、火山という話もたしかあったかと思うんですけれども、そういったものをイメージしていたんですけれども、今回は人工ミュオンを使ってもうちょっと小さなものを測定できるということがあったかと思います。

先ほどの宇宙線ミュオンですと、原子核乾板が利用されていて、今だと、先ほどのお話だとゲルマニウム検出器など半導体検出器がこれから使われていくのだろうなということを思うのですが、ミュオンから出てくるエックス線だとかガンマ線を今後検出するに当たって、半導体検出器、今のもので最適なのか、もっとこういうものができるといいなということがあったらまず教えてください。

(久保特任教授) ありがとうございます。

ミュオンエックス線を測定するというのは非常に有用だと思っています。今はゲルマニウム検出器をずっと使っているのですが、ゲルマニウム検出器というのは常に液体窒素を冷却しておかなければいけないので、液体窒素をためるデュワー瓶というものを後ろに、背中にしょっております。それはかなり大きいので、実は沢山配置すれば配置するほどよい、それはミュオンエックス線というのは四方八方に飛んでいくので、それをできるだけ効率よく測定するためには、四方八方に検出器を置きたいんですが、なかなかそのゲルマニウム検出器ではそういうことはできないということがあります。

ですから、今新たな技術で臭化タリウムとか、そういうようなシンチレーション検出器に相当するのですが、そういうものを使ってもっと小型で密集した検出系システムを作り上げようという話があります。

もう一つは、ゲルマニウム検出器というのはエックス線、ガンマ線の検出に非常に有用なのは、エネルギー分解能がよいという話ですが、さっきピークというお話をしましたけれども、このピークが細ければ細いほど僅かな違い、ほとんど同じようなエネルギーを持った別の光子、を識別することができます。エネルギー分解能が悪いと、ほとんど同じようなエネルギーを持ったものは同じ場所に同じように測定されてしまう。ですので、それは分からないのですが、どのくらい細かく識別できるかという、エネルギー分解能というのがあります。

ゲルマニウム検出器は非常にそれが優れているのですが、更に今、超伝導端利用検出器、TESと呼ばれていますが、そういうものが今、開発が進んでいて、ゲルマニウム検出器よりも1,000倍分解能がよい、そういうものが今、現れようとしているところです。世界中に数台ぐらいしかないかもしれないですが、そういうものを使うと今までは識別できなかったような僅かな違いを識別できるようになります。

例えば、先ほど鉛の同位体というのは識別できるというお話が出ましたけれども、お互いに少し重なり合っているのですよね。それを全部分離して測定することが可能になります。ですから、そうすると同位体の分析も非常に精度が上がるということもありますので、今その方向に乗かって検出器の開発をしている人たちも一緒にやっているところです。(吉橋委員) ありがとうございます。私も検出器等、研究していたこともありますので、非常に興味がありました。

もう1点ですが、先ほど41ページ目のところで御説明頂いて、白色ミュオンということで、今回この特性エックス線とかが出てくるのはミュオンが止まった位置が分かるということで、そのミュオンをどこの位置で止めるのかというのはミュオンのエネルギーによ

って変わる訳ですよ。そうすると、そのミュオンのエネルギーをどこで変えるかということ、もともとの多分加速器のエネルギーというか、まずそれをどこで調整するのかということと、今回この41ページに見せていただいたような、例えばドラム缶の中にどういった元素がマクロ的に分布しているのかということであれば、白色ミュオンでよいのかもしれないんですけども、例えば空間的な分布みたいなことを知ろうと思うと、白色ミュオンですと全体が分かってしまうのではないのでしょうか。

例えば、中性子であれば減速させてあるエネルギーで測りたいであるとか、ガンマ線なんか、そういった遮蔽材であるとか減速材と言ったらいいんですか。そういったものでミュオンのこういう調整ができるのか。すなわち加速器での陽子ビームのエネルギーを変えようとすると、またそこは加速器のその性能にもよってくるので、これはそういった奥行き方向の空間分布を持たすための工夫というか、そういった技術があれば教えてください。

(久保特任教授) 分かりました。

一つは、どうやって深さ方向をコントロールできるかというお話ですが。

35ページのところにミュオンがパイオンからできるという図をお示しいたしましたけれども、このパイオン、パイ中間子というのは、高エネルギーの陽子をグラファイトに衝突させて、このパイオンを作り出しています。そのパイオンなんですけど、パイオン自体が色々なエネルギーを持った、色々な速さを持ったパイ中間子が生成します。そこから更にミュオンが生成するので、ミュオン自体も色々な速さを持ったエネルギーを持ったミュオンが生成します。これは同じエネルギーの陽子を使っても色々なエネルギーを持ったミュオンが同時に生成するということになります。私たちは、電磁石を使って、自分の使いたいエネルギーのミュオンだけが実験エリアまで到達するように、電磁石を整備をして、それで導いていくということを行います。

ですから、加速器の陽子のエネルギーを変化させることなく、違うエネルギーのミュオンを使うことができます。

もう一つ、白色ミュオンについては大阪大学の野海から説明させていただきます。

(野海教授) 白色ミュオンに関しては、確かに連続的に来ますので、一つの可能性としてはもうこれ実は2秒間でこの強度がだらだらと出てくるようなビームの時間特性になっているので、一つ一つ測る、ミュオンを測ることができます。例えば、タイムオブフライト法みたいなものを使って、入ってきたミュオンがどのぐらいの速度であるかということを知ることによって、ある程度のエネルギーが分かりますから、どこの辺りまで、飛程といいますけれど

も、入って行って止まるかというのは推測することは可能かと思います。

それから、1 GeV ぐらいまでのエネルギーであれば、多分その方法は有効だと思います。

もう少し高エネルギーになってくるとだんだん難しくなってくるのですけれども、チェレンコフ検出器とかと呼ばれるもので、基本的には速度を測ってもう少し高速度の測定方法というのは一応知られております。

(吉橋委員) 御説明ありがとうございます。

電荷は持っているので、そういった電磁石だったりを使って、エネルギーを分けることができるという話と、タイムオブフライトで大体の位置が分かるということで非常によく分かりました。ありがとうございます。

私からは以上になります。

(上坂委員長) それでは、参与からも御質問、御意見を伺います。

青砥参与から御意見をいただければと思います。

(青砥参与) 大変興味深いお話をありがとうございました。また、非常に高いポテンシャルを持った新しい技術だということも十分理解できました。

そうした中で、やはり一番気になったのは、お話のあったミュオン特性エックス線ですとか、誘起ガンマ線、それからスピンの分光法みたいな、様々な特性による評価といったことにトライされていることは分かったのですが、それを実用というか、実装していこうとすると、それぞれ分析した結果を信頼性を持って出さないといけない。

お聞きしたいのは、それぞれのミュオン特性エックス線、あるいはミュオン誘起ガンマ線、それからスピンの分光といった分析結果の対照となるデータといたしますか、例えば特性スペクトルですとか、何をしてどう分析するかという、対照する側のデータベースはどんな状態にあって、今後どういう評価をされていくというか展開をされていくのか、その辺を少しお話しいただければと思います。

と申しますのは、せっかく色々やってこられて、宇宙線ミュオンによる適用はもっと広がっていくのではないか。その場合、人工で精度のよい、そういったデータを取られた後の使い方にもまた幅が広がると思いますので、是非お聞かせ願いたいと思います。よろしく願いいたします。

(久保特任教授) ありがとうございます。

今、御質問のミュオンエックス線のエネルギー、どんな元素、あるいはどんな、核種と私たちは呼んでいますが、同位体がどんなミュオンエックス線を出すかということについては、

正確に分かっております。これは正確に計算することもできますし、実験データも一致しております。

もう一つちょっとお話をしますと、ミュオンが入った後にできる励起原子核からのガンマ線なのですが、これは今どんな励起核がどれくらいの量できるのかということのデータベースが整備されていません。ですので、ガンマ線を使って元素分析をしようとするときには、分かっているものではできるのですが、先ほどの金とか銀とかそういうものを分析することはできるのですが、それはまだデータベースが出来上がっておりませんので、今、私たちの関わっている研究グループがそれを整備しようというふうにしております。それは原子力研究所のPHITSというものを開発しているグループの人たちが、PHITSの中にこのデータベースを入れるべきだということもあって、その人たちと一緒に実験データも、理論もある訳ですが、その理論と必ずしも実験データは一致しないので、その実験データを今コンパイルしようというふうに行っているところです。

ですから、宇宙線ミュオンを使ってももちろんこのミュオンエックス線は測定できるので、それを使っても可能になると思いますが、やはり宇宙線ミュオンは数が少ないので非常に測定に時間が掛かるというのと、放射線の測定ですので時間を掛けるとバックグラウンドも上がってくる、集積するので、なかなか宇宙線ミュオンでミュオンエックス線分析をするのは困難だというふうに私たちは考えております。宇宙線ミュオンを使うのであれば、やはり透過法を使うのがよろしいのではないかとというのが私たちの考えです。

ただし、宇宙線ミュオンはエネルギーが非常に範囲が広いので、またそれも使い方をちゃんと考えなきゃいけないということで、人工ミュオンであればエネルギーの決まったものを取り出して使うことができるというのが大きなことかと思えます。

(青砥参与) ありがとうございます。

その辺りも含めて、要は宇宙線に偏ることもなく、人工にも偏ることもなく、その組合せとか分析の精度の在り方によって変わってくると思いますので、是非よろしくお願いします。

私からは以上です。

(上坂委員長) ありがとうございます。

それでは、岡嶋参与、お願いいたします。

(岡嶋参与) 御説明どうもありがとうございました。

ミュオン、実に面白いなと聞いていました、正直なところ。ミュオンの特徴のお話で、結局電子よりも重い、あるいはプラスの陽子というような考え方にもできるという点で、言っ

てみたら電子線とエックス線などとは異なるこれまでにない特徴を持った粒子線、放射線だということで、その利用価値がどのようなものがあるかという御紹介だと理解して聞いていました。

私、思い起こすと、ミュオンって実はJ-PARCができた頃ぐらいに、浅間山だったかの火山中の溶岩がどの辺りまであって、その噴出を予測するようなお話の紹介があったのが震災前でした。震災の直後に、実はミュオンを使って溶けた核燃料の存在場所が推測できないかというようなことを、その当時所属していた上司からちょっと言われて、同僚が行った計算結果からもやもやとしか見えませんよといった報告をしたように記憶しています。

そういうような形で、ミュオン面白いなと思って聞いていました。そこで一つだけお伺いしたいのは、結局はエックス線の測定というような形になるので、計測器としてはエックス線測定装置だとか、そういうもので利用できると思います。ミュオンを直接測定する場合には、他の放射線粒子の場合と同様に、やっぱりミュオン用の検出器みたいなものが必要になってくるのでしょうか。そのとき、そういう検出器の開発というのは今どの程度考えられていて、もっと感度の高いもの、要は同じミュオン測定でもその開発された検出器によってもう少し早く測定できるようになるとか、そういうことに至ると思うのですけれども、そういうような開発というのは現状はどうなんでしょうか。

検出器とともにこういう測定は発展していくだろうと思うので、その辺をお伺いしたいと思います。いかがでしょうか。

(久保特任教授) 透過、ミュオンに関して、割とエネルギーの高いミュオンを使う場合に関しましては、これは荷電粒子なので実は割と簡単に測れます。

今、我々が透過法として使おうと思っているのは、ミュオンがどちらの方向から入ってきて、どちらの方向に出て行ったかという軌跡を追い上げる検出器になりますので、よく知られているのは、ガスが入って、中にワイヤーが電極として入っているようなプロポーションアルチェンバーというものがありますが、もう少し時間応答の早い、ファイバーを使ったトラッカーというものを我々は開発しております。これはチャンネル数、割と何千チャンネルというふうになるんですけれども、最近データ収集する能力というのもかなり上がってきてまして、ほとんどロスなく、デッドタイムなく測ることができます。

このシミュレーションで御紹介したようなビームというのは、実験というのは、これ全部そのシステムで測ろうとしていて、ビームがどんどん来るのですけれども、それをほとんど取りこぼしなく、一瞬にして取れてしまうと、そういう状況になります。あとはどれだけ速

く解析できるかという、そういう状況になっています。

(岡嶋参与) どうもありがとうございます。

多分そういうものの開発がうまくできて、今使われているのでしょうかけれども、その構成のことでミュオンの利用価値がもっと上がっていくのではないかと思いますので、是非その辺も含めて御検討していただければ良いかと思います。よろしく申し上げます。

(上坂委員長) 小笠原参与、お願いします。

(小笠原参与) どうも大変興味深い御説明をありがとうございました。大変高いポテンシャルを持った技術だというふうに伺いました。

4 ページのところにミュオンのニーズというのが色々な不可侵領域での例というものを挙げていらっしゃるけれども、原子力の分野には核セキュリティとか、保障措置の分野に応用の可能性があるのではないかと気がいたしました。特に、小型モジュール炉が今後社会実装を広範にされていくのではないかと思いますけれども、それにどのような形で保障措置を、IAEAの保障措置を与えていくのか。私もどういう制度設計がなされているのか承知しておりませんが、小型モジュール炉自身はプレハブで、現地へ持って行って開けたり閉めたりということ余り考えていらっしゃるように、これまで御説明を伺っておりました。

そうすると、その中にあるべき核物質があるのか、ないのか、あるいはあるべきでない核種があったりしないのかということを非破壊で検査するという能力が非常に求められるのではないかと思います。ここでも福島のデブリの話等で一定の成果を上げたという、心強いお話がございましたけれども、そういった、特に保障措置の分野でこれの応用可能性をどのように考えていらっしゃるのか、あるいはIAEAでそういったお話をしているのか、そういったことについて御知見あれば伺いたいと思います。

(下村特別教授) 後ろの方で小型ミュオン源の説明を差し上げたページがございまして、42 ページでございしますが、ここではシミュレーションなのですけれども、トラックがございませぬ。これは人工ミュオンを使って、ここに核物質があるかを検査するお話でございまして、これを小型モジュールに替えるというのは多分まずやれるということと、それからウラン等は非常に高いミュオン特性X線を放出いたしますから、割に厚いものを、突き抜けることができれば、元素分析イメージングなりマッピングができるというふうに考えております。

(小笠原参与) 大変心強い御説明どうもありがとうございました。

(上坂委員長) それでは、上坂の方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、エネルギーを替えた場合のエネルギーの付与の分布です。これは材質は鉄の場合ですか、この分布からすると。

(久保特任教授) すみません、これちゃんと書いておりません。これはエネルギーのデポジットじゃなくて、止まる粒子の分布を表しております、この赤いのは。

(上坂委員長) 素材は。

(久保特任教授) 素材は鉄です。

(上坂委員長) 鉄ですね。それで、電子に比べると重さが200倍あるものですから、がん治療でいう量子線や炭素線のように、体内のエネルギー付与がブラックピークというのを作りますね。まさにそのようなことが出ているのですが。この場合ですと、一番下の深いケースがちよっとピークが広がっておりますね。ですから、これをエネルギーを高くすればどうなのですかね。エネルギーを高くすると奥に行くのですけれども。ですから、ピークがブロードになるから。空間分解能が落ちるようになる気がするのですけれども、それは致し方ない。

(久保特任教授) そのとおりです。長く走れば走るほど、真っすぐずっと行く訳ではないので、少しずつ向きを変えながら飛ぶので、走る距離が長くなればなるほど向きが少しずつ変わっていく、頻度も大きくなるので、横から見た距離が分布をしてしまうということになります。

(上坂委員長) 分かりました。

それで、原子力の分野からのニーズといいますか、6ページの右にある写真のような放射性廃棄物の缶の中身を知りたいのです。そうすると、大体直径が50センチぐらいで、高さが1メートルぐらい。それでこれは缶ですから、厚さが2ミリぐらいの壁の缶の中に入っていて。それで恐らく全てが重いものでなくて。恐らくRIがガーゼとか、紙に付着して入ってくしゃくしゃになっていっているのではないかと思うのですよね。ですから、さっきのように熱い鉄があまりないと思うのですよ。こういうのを深さ方向はエネルギーで変えて、そして横方向はコリメーターによる数ミリのビームで、横方向にスキャンして、出てくる信号を見れば3次元の分布になりますね。そういうのはもうやられたことはありますか。

(久保特任教授) まだ実際にはやったことはないですが、実現性についてドラム缶のお話ですか。

(上坂委員長) 大体、空間分解能がどのぐらいで、何時間ぐらい掛かるかなという。

(久保特任教授) どうですか。

(野海教授) まず、これ何ページですか、6ページの右側のシミュレーションの結果に関していうと、これは割と単純なサンプルなものなのですけれども、ちょうど39ページのところ

で示したように、宇宙線フラックスの1,000倍ぐらいしか取り出していなくて、それでもこれをやろうと思うと、多分実質2日ぐらいでできます。宇宙線のフラックスでやると、多分2年半掛かってもこのレベルには到達できない。

(上坂委員長) それで、これは透過を使っていると思うのです。出てくる特性エックス線ですね。物質に当たってそれを使う場合、もう物質識別ができると思うのです。その場合ですとかなり知らないR Iが入っていると思うのですね。その元素分析をしたい。ですから、そういう場合はどうなのですかね。ややホワイトスペクトルX線を入れて元素から出てくる特性エックス線を分析していくのでしょうか。

(久保特任教授) エックス線の分析だとすると、今は停止位置を変えて測定するというのをやっています。大体1点、短いもので30分ぐらい、長いものだと数時間ぐらい今は測定している状況です。

(上坂委員長) はい、分かりました。

直井委員がおっしゃられた燃料デブリになると、収納缶というのがあってあまり大きくないのですよ。30センチ直径で、高さも40センチぐらいで、缶の厚さが8ミリぐらいなのですね。そこに燃料デブリが入っている。ただ、入っているものはウランか鉄かジルコニウムかコンクリート系ですから、結構重いのですよね。ですから、それを測れるということね。現在、エックス線と中性子が候補になっています。是非ミュオンでも可能性を出していただきたいなど。まだ十数年、本格取り出しまでに時間があるみたいですから、是非とも基礎試験を積み重ねられてエントリーしていただきたいと思います。

(久保特任教授) 分かりました。

(上坂委員長) 私からは以上でございます。

それでは、どうも久保先生、また随行者の先生方、どうもありがとうございました。

(久保特任教授) ありがとうございました。

議題(1)は以上でございます。

それでは、説明者、随行者におかれましては、恐縮ですけれども御退席をお願いしたいと思います。

(久保特任教授及び随行者 退室)

(上坂委員長) それでは、次に議題(2)について事務局から説明をお願いします。

(井出参事官) それでは、二つ目の議題でございます。近畿大学原子炉を用いた教育と研究についてでございます。近畿大学原子力研究所、副所長・教授、若林源一郎様より御説明を頂

きます。

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

それでは、若林副所長・教授から御説明をよろしくお願いいたします。

(若林副所長・教授) よろしくお祈いします。近畿大学の若林でございます。今日はこのような機会を頂きまして誠にありがとうございます。

今日は、近畿大学原子炉を用いた教育と研究についてということで、本学の原子炉を使って展開している教育活動と研究活動について御紹介したいと思います。

それでは、次をお願いします。

近畿大学の原子炉でございますが、こちらは正式名称はUTR-KINKIと申しまして、こちらのスライドにありますように、このUTRというのはUniversity Teaching and Research Reactorの頭文字を取ったものでございます。最大の特徴は定格熱出力が僅か1ワットであるということで、歴史的にはこの原子炉が日本初の民間原子炉であり、なおかつ日本初の大学原子炉であります。1961年11月11日に初臨界に達しまして、それ以来運転を続けております。

それでは、次をお願いします。

まず、簡単に近畿大学原子炉の沿革について御紹介したいと思います。

この原子炉は、実は直接近畿大学に来た原子炉ではございませんで、もともと1959年、昭和34年に当時開催されました東京国際見本市という行事で、アメリカの原子力委員会が原子力の平和利用のデモンストレーションの一環として教育用原子炉を展示したものです。当時、東京の晴海埠頭で運転が、この見本市が開催されたんですけども、今ではちょっと考えられないことですけども、当時実際に18日間原子炉を運転して見せるということをした原子炉です。

この右下にある写真が、これが近畿大学初代総長の世耕弘一ですけども、こちらの初代総長が、当時日本の将来のエネルギー問題の解決のためには原子力の利用が不可欠であるという強い信念を持っておりまして、そのために近畿大学で原子力の技術者を育てたいという強い熱意を持っていたそうです。

そういったときに、このちょうど東京国際見本市が開催されて、原子炉を実際に見学する機会があり、それでこの原子炉を見て原子炉を購入しようと、近畿大学で原子力技術者を育てようということを決断したというふうに伝わっております。それで原子炉の購入が決まり

まして、1960年にその受皿となる原子力研究所が近畿大学に設置されました。

次お願いします。

その次の年、1961年にいよいよ大学構内にこの原子炉が移設されまして、先ほど申しましたように、11月11日に運転を開始したと。大学・民間原子炉第1号ということになります。

当時は、実は熱出力が0.1ワットで運転を開始しまして、その後1974年に熱出力を1ワットにパワーアップして現在に至っております。

下の写真は建設当初の原子力研究所の様子で、実は今、周りを住宅街に囲まれている訳なのですが、当時は周りは余り何もない状況でして、右側の方は、これは原子炉が初めて臨界に達したときの様子を記録したチャート紙の写真になっております。

では、次お願いします。

その後、この原子炉は50年以上、特に大きなトラブルもなく運転利用を続けてきたのですが、実は2011年の東京電力福島第一原子力発電所の事故の影響を大きく受けることになりました。と申しますのは、この事故を受けまして2013年に試験研究炉の新規制基準が作られまして、やはり他の原子炉と同様に、近畿大学の原子炉も新しい新規制基準に合格するまで運転を停止してはいけないということになりまして、それで歴史上初めて2014年から完全に運転を停止して、安全審査に臨むということになりました。

結局これは3年1か月の時間を要したのですが、2017年の4月までに全ての審査・検査を完了しまして、新規制基準の下で運転する最初の試験研究炉として2017年4月に運転を再開いたしました。それで今現在に至っております。

下の写真は運転を再開したときの様子で、メディアにも大きく注目される中で運転を再開しました。

では、次お願いします。

こちらの表は、これは我が国の大学原子炉ということでまとめたものですが、皆様よく御存じのように、実は現在運転中のまだ利用されている原子炉は、近畿大学の原子炉の他に京都大学の2基の原子炉を合わせて3基しか今はない状況です。かつては5大学に6基の原子炉が運転・運用されていて、研究・教育に利用されていた訳なのですが、現在はその3基になってしまい、更に今年の4月23日に京都大学のKURという出力の大きな方の原子炉が運転を停止することが決まっていますので、残念ながらもう近い将来に我が国の大学原子炉は近畿大学の原子炉と京都大学のKUCAという臨界実験装置と、この2つだ

けになってしまう予定でございます。

次お願いします。

ここからは近畿大学の原子炉の特徴について簡単に御紹介したいと思いますけれども、この原子炉は実は技術的にはアルゴノート型の原子炉というふうに言われまして、これはアメリカのアルゴンヌ国立研究所が大学での教育訓練を目的として開発した原子炉でございます。

このアルゴノート型原子炉を原型としまして、当時の American Standard という会社が大学の教育訓練用に開発・製造した原子炉が UTR ということになりました。そのうちの 1 基が今、近畿大学にある UTR-KINKI ということになります。

下にざっと特徴を並べていますけれども、最大の特徴は先ほども申し上げましたように、定格熱出力が僅か 1 ワットしかないということで、実は運転中も温度計で測って分かるような温度上昇もない原子炉ですので、運転中であっても原子炉は常温、常圧で運転する原子炉となっております。減速材が軽水で、反射材が黒鉛であるということで、冷却の必要がない原子炉ということで、冷却材のない原子炉となっております。

そのため、原子炉として一番基本的な要素、こちらに書いていますが、燃料とか、制御棒とか、減速材とか、反射材とか、遮蔽体とか、あとは計装とか、こういった最小限の要素から構成された、非常に分かりやすい構造の原子炉となっていて、原子炉の原理を学ぶ実験に最適であるというふうに考えています。

こちらの写真が近畿大学の原子炉の炉心ですけれども、右側と左側に二つ燃料タンクがございまして、これは 2 分割炉心といいますけれども、右側に 6 体、左側に 6 体の燃料体が装荷されているような構造となっております。

では、次お願いします。

そのような原子炉ですので、こちらは特徴を並べていますけれども、温度上昇がない、いわゆるゼロ出力炉として運転される原子炉であると。更に、燃料消費が 1 日運転しても僅か 1  $\mu$  グラムであるということなので、実は現在使っている燃料も 1961 年に装荷した燃料を今も使い続けていて、仮に 1 グラム燃料を消費しようと思うと 3,000 年ぐらい運転しなきゃいけない計算になりますので、燃料交換が不要の原子炉であるということも特徴です。

発生する中性子、それからガンマ線とか放射線も僅かですし、燃料体の中に蓄積される核分裂生成物も僅かであるといったことから、汚染や被曝の恐れが少なく、実際にこうやって炉心を、原子炉の上蓋を開けて炉心を直接見て学生が様々なことを理解したりとか、実験の準備をしたりといったことができるような原子炉です。

また、運転中であっても発生する放射線量が非常に低いことから、運転中でも原子炉の周辺で見学をしたりとか作業をしたりということが可能です。

そういったことから、誘導放射能も僅かで保守管理が容易な原子炉となっております。

更に、教育訓練用の原子炉ということで色々なところに工夫がされているのですけれども、例えば炉心のこの黒鉛の反射体の中に、様々な場所に試料とか検出器を挿入できるような設計となっていて、例えば先ほどの写真で、真ん中に実は穴が開いていたんですけれども、実際に実験なんかするときには、そちらの穴に様々なサンプルや検出器を入れて実験をするというようなことができるようになっています。

また、こちらのスライドの写真にラジオグラフィ画像を載せていますけれども、原子炉の上蓋を、目的に応じて上蓋を取り替えると色々な実験ができるような仕組みになっていて、例えばラジオグラフィ用の蓋を使いますと、ここにありますような中性子を使ったラジオグラフィ画像、透視画像が撮れるような設備もございます。

これはまた後でちょっと出てきますけれども、例えば理科の先生向けの研修会などはうちの原子炉を使って開催していますが、そういったときには、例えば先生方が様々な被写体を自分で用意されて、それをまずは普通のエックス線で普通のレントゲン写真を撮り、同じものを今度中性子を当ててレントゲン写真を撮るということで、2種類の写真ができる。これを見ると、X線とか中性子線というのがどういった特徴を持つのか、性質があるのかということが非常にビジュアル的によく分かるということで、それで撮った写真は先生方が放射線教育の教材として持ち帰って活用していただくというようなこともしております。

では、次お願いします。

ここからは近畿大学原子炉の利用についてのお話をしますけれども、年間を通じて運転日数は大体最近では130日ぐらいとなっております。大変有り難いことなんですけれども、保守、点検、検査、訓練、色々そういった原子炉が利用できない日を除くとほぼ毎日利用されているような状況で、時期によってはマシンタイムが足りずに、取り合いとまでは言わないんですけれども、逼迫するような状況になっております。

主な利用目的は、やはり教育利用が多くありまして、ここにありますように、まずは高等教育というか、学部生とか大学院生、原子力工学を学ぶ学生の学生実習、それから非常に安全性が高いことから、中等教育へのアウトリーチ活動にも活用されていますし、その他、企業研修や外国人の研修なんかにも最近使われています。

また、施設の見学者も非常に多くて、年間1,000人弱ぐらいの見学者がおります。

また、最近は残念ながら国内でも研究炉が減ってきてしまっているということがあって、この近畿大学の原子炉みたいな非常に出力の小さい原子炉でも、やはり中性子源として非常に貴重な存在になってきているということがありまして、研究のための利用も活発に行われております。

次をお願いします。

こちらは、まず大学・大学院の学生を対象にした教育利用についてまとめたものですが、やはり原子力工学を専門に学ぶ学生にとっては、シミュレーターもあるんですけども、やはり実物の原子炉を用いた実習というのは不可欠ではないかなというふうに考えています。

そういったことから、こちらに主な実習プログラムと書いていますけれども、基礎から専門まで、本物の原子炉を使った多様な実習プログラムを作って、学内外に提供しております。

特徴としては原子炉物理、本当に原子炉そのものに関する実習ももちろんあるんですけども、その原子炉から出てくる放射線を使って、中性子線やガンマ線を使った実習プログラムなんかも用意しているところが近畿大学の特長でございます。

学内におきましては、今、理工学部のエネルギー物質学科という学科がございまして、こちらのカリキュラムの一部に原子力や放射線に関わるものが含まれていますので、こちらの2年生の学生実験で原子炉を使った実習を行っております。

このような実習では、どのような実習でも学生自身が自ら原子炉の起動から出力を上昇させて、臨界の状態に原子炉を持って行って、更に実習の目的に応じてこの原子炉の出力を変更させて、最後、実験が終わったら原子炉を停止して点検をするところまで、一連の原子炉運転の操作を全て学生自身が行うということが特徴です。原子炉運転そのものの実習ももちろんあるんですけども、学生が原子炉を運転して、その運転する原子炉から出てくる中性子や、その他のガンマ線なんかを利用して、他のグループの学生が実習するというようなこともやっていますので、いずれにせよ、どのような実習をするにしても学生が自分で運転しながらやるというところを大事にしています。

こういう実習はやはり実物でないと得られない経験というのがございまして、例えば原子力施設が原子力安全だけではなくて、核セキュリティだとか、放射線防護であるとか、様々な規制法令の下で総合的に運用されているということを体験する場にもなりますし、一番やはり教育効果が高いのは、様々な個別の科目で勉強した知識を現場で総動員して実物の原子炉で実践するという、そういう体験ができると。これはやはり実際にこういった場に来てみ

ますと、日頃勉強していた知識の必要性というのを痛感しますので、原子力分野の勉強の意欲を更に高めるといことで、非常に教育効果が高いですし、更にこういったやはり実物の原子炉を使って実験をする体験、運転する体験というのは、純粋に非常に感動する体験でもありますので、そういった体験を経て興味が非常に強くなって、最終的にこの分野に進学したり就職するという学生も多いです。

あと、基本的には原子力工学の学生が中心ではあるんですけども、最近は診療放射線技師さんになるための勉強をしている医療系の学生の実習なんかも行われております。

次お願いします。

学外の学生に対しては、現在、文部科学省の国際原子力人材育成イニシアティブ事業の下で、ANECという原子力教育コンソーシアム、全国規模のコンソーシアムが動いております。その中で近畿大学原子炉は実習教育を提供する拠点の一つとなっております、こちらにありますような国内の14大学と、それから高専の学生、大学院生を受け入れて、実習教育を行っております。

以前は各大学向けに色々な実習をやっていたんですけども、このANECというコンソーシアムができることによって、ばらばらにやっていた実習を一旦整理して、ここにありますように広く理工系の初学者に向けた基礎コースであるとか、更には原子炉物理とか中性子計測を研究テーマとしてやっている専門的な大学院生に向けた上級コースであるとか、このような形で実習プログラムを整理することもできましたし、更に下に書いていますけれども、これまでに蓄積した色々なノウハウを教科書としてまとめて、和文と英文と1冊ずつ教科書にまとめることができたということも一つ大きな成果となっております。

次お願いします。

これは原子炉実習の参加者数の推移ですけども、先ほど申し上げた新規制基準対応で3年間ブランクが空いたのと、もう一つは、実は2018年に制御棒駆動装置が一つ故障しまして、その対応のためにまた1年間運転、実習ができないという時間がございました。

ですけども、基本的には最近は大体年間を通じて学内外合わせて250人程度の学生が原子炉を使った実習に参加していますし、実はこの原子炉が運転できなかった間は、韓国にある慶熙大学校というところにやはり教育用の原子炉がございまして、こちらの方に学生を引率して連れて行って実習を続けるということをやっていました。

ですので、色々原子炉の運転が止まった時期はあったんですけども、何とか原子炉実習の機会だけは保ち続けながら、ここまでやってきたということがございます。

では、次お願いします。

この原子炉、出力が僅か1ワットということで、非常に安全性が高いということもございまして、中等教育へのアウトリーチ活動にも使われています。そのうちの一つが1987年から始まった理科教員のための原子炉実験研修会ということで、関西原子力懇談会と、それから日本原子力産業協会、電気事業連合会と共催するような形で実施しております。

更に、この理科の先生向けの研修会なんですけれども、平成24年から中学校の理科のカリキュラムに30年ぶりに放射線が戻ってきたというか、取り入れられたということで、そういったこともあって、原子炉だけじゃなくて放射線教育に関する内容も含めたプログラムとなっております。非常に評判がよく、よい研修会なんですけれども、大体年間60人ぐらいの理科の教員の先生が参加してくださっています。

アンケートを見ますと、理科の先生ですから知識はやはりお持ちで、よく御存じなんですけれども、やはり御自身が放射線を実際に測った経験とか、原子炉を触った経験とか見た経験というのがなくて、なかなか生徒に自信を持って教えることができないというふうなことを書いていらっしゃる先生が多いんですけれども、やっぱりこの研修を受けた後には自信を持って説得力のある話ができるようになったというようなことを書いてくださっている先生が多くなって、そういったことで多くの理科の先生に教える自信を与えることができているのではないかなというふうに思っています。

次のページをお願いします。

次は、これは理科教員の研修会の参加者数の推移ですが、色々あったのですけれども、現在大体年間60人程度の参加者数を得て継続しております。

では、次お願いします。

更に、理科の先生だけではなくて、更に中学生とか高校生を対象にこの実習をやったらかどうかということがあって、それで現在では中高生向けの原子炉実験研修会というのもやっております。これは比較的最近開始したもので、関西原子力懇談会さんと令和3年度から始めたのですが、やはり福島第一原子力発電所の事故以降、どうしても原子力というと若者に人気がないんじゃないかという心配が先に立ってしまって、これの開催を提案されたときもちょっと余り気が進まないところではあったんですけれども、実は実際に令和3年度からやってみると非常に驚くことがございまして、これは毎回定員が16名というふうに設定しているのですが、毎回70名とか80名とか非常に定員をはるかに上回る応募がございました。更に、参加者の中の半分以上は女子生徒でございまして、非常に実際やってみて驚くことの

多かった研修会です。

実際この実習に参加する高校生なんかとお話をしてみますと、興味を持ったきっかけというのは、エネルギー問題であったり、素粒子物理だとか原子核物理に興味があるとか、放射線治療に興味があるとか、色々な入り口から集まってきてくれているのですけれども、多くの生徒さんは将来原子力の分野に進みたいというようなことをおっしゃっております。

ところが、話を色々聞いてみると、せっかくそうやって原子力の分野に進みたいと思っ  
ているのですが、今、大学の学科の名前から「原子力」とか「原子核」という言葉がほぼなくな  
ってしまって、残っておりませんので、どこの大学に行ったら原子力の勉強ができるのか  
というのが分からないと。中には、日本では原子力の勉強ができる大学はないんじゃないか  
というふうに思っているような生徒もいるということがよく分かりました。

そこで、その下にある原子力オープンキャンパスというのを開催することにしたんですけ  
れども、これは令和5年度に文部科学省と相談をしまして、原子力に興味がある高校生とか  
高専生を対象に、日本国内の原子力を学べる大学が一堂に会してブースを作って、更に大学  
の先にある様々な原子力関連企業もブースを出して、そういったところを高校生が自由に回  
って、進路の相談をしたり、最新の研究の話を聞いたりとかできるようなイベントをやっ  
てみましょうということで、実際に開催しました。これも多くの高校生が参加してくれて、非  
常に評判がよかったので、これは先ほど出てきたANECの公式な行事にその後なりまして、  
令和5年度は近畿大学で開催したんですけれども、その後は令和6年度は現在の東京科学大  
学で開催して、今年度、令和7年度は大阪大学で開催して、来年度も続く予定となっております。

次お願いします。

更に、このように教育利用が色々あるんですけれども、最近では国際的にも利用されるよ  
うになりまして、例えばIAEAの研究炉スクール、これはRegional Research Reactor Schoolという行事ですけれども、この研修会ですが、これは  
京都大学と若狭湾エネルギー研究センターと共催で行っているものでございますが、ちょう  
ど新規基準が終わって、運転再開した後にIAEAの方からこういった海外の若手の技術  
者・研究者を対象にした実習をやってみませんかということでお声掛けを頂きまして、20  
19年に日本で初開催をしました。その後、3年ごとにやっておりまして、2022年と2  
5年にも開催しております。

また、年に1回ですけれども、JAEAの原子力技術セミナーのうちの1日として、アジ

ア各国の技術者・研究者を対象とした原子炉実習も行っておりますし、あと最近、2024年に初めて開催したんですが、米国エネルギー省の若手職員の研修会であるとか、アジア炉物理実験とって、日中韓の大学院生を対象とした原子炉物理実験、こういったことも最近も行われております。

その他、企業・団体の研修なんかも行っておりますし、見学者は先ほど申しあげましたように、年間1,000人程度の見学者を受け入れております。

次お願いします。

次は研究利用ですけれども、研究利用もちろん我々近畿大学の教員とか学生が原子炉を利用して、卒業論文や修士論文になる研究を行っているということもあるんですが、この原子炉はやはり中性子発生装置としても貴重な存在となりましたので、現在は日本国内の大学や研究機関に所属する研究者の皆さんにも使っていただくような仕組みを作っています。

これは、もともとは1981年に当時の文部省の予算で始まりまして、大阪大学を運営主体として行っていたんですけれども、諸般の事情で2021年でこれが終了してしまいましたので、今現在は近畿大学が運営する形で続けております。

この研究利用は年間大体、今15課題ぐらいを採択して、年間40日ぐらいをこの研究利用に充てていると、共同利用に充てているということになっております。

その他、企業による占有利用なんかも年間10日程度ございます。

次お願いします。

原子炉を利用した研究なんですけれども、やはり最近は大体7割方ですけれども、放射線検出器の開発研究に関わるものとなっております。特にBNCTなどの医療用であるとか、福島第一原子力発電所のデブリ取り出しに向けた未臨界モニターの開発など、中性子検出器の開発に関する課題が多くなってございます。

他にも物理系のテーマとしては、原子炉物理実験として、未臨界度を測定する技術の開発であるとか、あとは生物照射実験も継続的に行われておりまして、中性子によるDNA損傷の解析といったような基礎生物学的なところから、先ほども出てきましたBNCTによる細胞の影響とか応答を評価したりするような実験も行われておりますし、あとは放射線遮蔽材の開発とか高分子材料の特性の評価といったことも行われております。

では、次お願いします。

ということで、ここまで利用について御紹介してきたんですけれども、実は現在もう一つ大きなプロジェクトが進んでおりまして、それが原子炉の低濃縮化と高濃縮ウラン燃料の返

還に係るプロジェクトでございます。

実は、近畿大学原子炉はアメリカから購入した高濃縮ウラン燃料をこれまで使用してきておりました。その燃料につきまして、アメリカの核不拡散政策、核セキュリティ政策によって、2008年に初めてアメリカのエネルギー省から高濃縮ウラン燃料の返還の要請がございました。ところが、この原子炉はやはり教育にフル活用されていることから、それを返してしまうと運転ができなくなるので、それが難しいといったこととか、やはり高濃縮ウラン燃料の輸送に係る巨額の経費を一私立大学が負担するということが事実上不可能でしたので、長年低濃縮化、燃料の返還は難しいというふうにご回答してきました。

ところが、核セキュリティ・サミットが2010年代にありまして、国内の他の施設からも高濃縮ウラン燃料の返還が進んで、近畿大学の燃料がいよいよ国内最後の高濃縮ウランということになりましたものですから、それで2021年に文部科学省の方から協力の要請がありまして、その後、米国との協議を経まして、2022年に合意がなされました。

そこで、合意の内容としては、原子炉を低濃縮化して運転を継続することを確保した上で高濃縮燃料を返還するというので、運転停止期間がなるべく発生しないようにするということを合意しております。現在、高濃縮ウランの返還と低濃縮化に向けての作業を行っているところです。

次お願いします。

最後に、将来展望と課題ということでまとめておりますけれども、やはり近畿大学原子炉というのは我が国の掛け替えのない原子力教育インフラであるというふうに考えています。このような施設が国内に幾つかあると本当はいいわけなんですけれども、やはり同じような施設を近い将来に造るということはなかなか難しいことだと思いますので、今あるこの近畿大学原子炉をできるだけ長く維持して、運転を継続するといったことが重要じゃないかというふうに思います。

そのため、将来の展望としては、現在進行中の低濃縮化プロジェクトを必ず成功させて、国際情勢に左右されない、安定した環境で原子炉の運転を継続したいということと、あと実は先ほど出てきたANECは令和8年度までとなっておりますので、それ以降の、ポストANECとここでは書いてはおりますけれども、枠組みにおいても実習の拠点として使命を継続したいと考えております。

また、この原子炉は専門教育だけじゃなくて、中等教育をはじめ、全方位の教育活動に活用できる施設ですので、原子力教育の中核施設として活躍していきたいというふうに考え

ていますし、また研究施設としても使いやすく安定した中性子源として活用して、また研究を通じた人材育成にも貢献したいと考えております。

一方で、現在直面する課題としましては、やはり原子炉施設の維持というのは私立大学の経営上非常に大きな負担となっております。それに加えて低濃縮化や高濃縮ウラン返還という新たな大きな負担が発生して、非常にこのような状況に苦しんでいる状況でございます。

したがいまして、国や産業界へのお願いとしましては、やはりこの原子力教育インフラの維持というのは近畿大学一大学の課題ではなくて、国家的な課題ではないかというふうに捉えていただきまして、この原子力の運転継続のために国や産業界の御支援を是非ともお願いしたいというふうに考えております。

以上でございます。

(上坂委員長) 若林先生、御説明ありがとうございました。

もう今年5月、京大炉が停止ということですので、それ以降はこの近大炉が日本で唯一の研究炉ということでございますので、最後に先生がおっしゃられたように、これはオールジャパンで支援していくものかなと考えまして今日御説明頂きました。

それでは、40分間をめどに質疑を行いたいと思います。

直井委員からお願いします。

(直井委員) どうも若林先生、UTR-KINKIにおける教育と研究について御説明いただきましてありがとうございます。

大学における研究炉の数が3基と減っていく中で、65年間にわたって教育・研究に活用されてきたUTR-KINKIの成果と実績に敬意を表したいというふうに思います。

アメリカからの高濃縮ウラン燃料の返還要請に応じて、今後炉心燃料を低濃縮ウランに換えていくという御計画ですけれども、国内においては原子力人材育成の重要性が叫ばれる中、今後もUTR-KINKIが人材育成や研究には掛け替えのない施設というところは不変ですので、今後も引き続き頑張りたいというふうに思います。

最初の質問なのですが、12ページに大学生の受入れについての表がございました。それで、ANECが始まったのは2021年だったと思うのですが、その以前から他大学の学生さんを近畿大学の方に受け入れて、教育・研究をしてきているというようなことだと思うんですが、ANEC前後でどういうふうに変ったのかという、その中身のところを教えてくださいませんか。

(若林副所長・教授) ありがとうございます。

A N E Cが始まる以前も、文部科学省の国際原子力イニシアティブ事業というのがございましたので、当時は事業期間が3年間ということで、3年ごとにそういう補助金に応募しまして、学生の旅費を確保しながら続けてきたということがございます。

ただ、当時はそのような補助金が必ず取れるかどうかというのはなかなか確実なことが言えないということもありましたし、取れるときもあれば取れないときもちろんあると。取れないときにはもう学生実習そのものをやめてしまう大学もあれば、手弁当で学生が自腹で近畿大学に来て実習するということがございました。

そういう状況が以前あったんですけども、一つA N E Cが発足して非常によかったことは、7年間という長期間にわたって確実にこの原子炉実習の機会が確保できると。他大学から来る学生も自腹で来ることなく、ちゃんと選ばれた学生は旅費が支給されて大学まで来ることができるということで、実習実施の確実性が非常に高まったということがございます。

その結果として何が良かったかということ、単位化が大きく各大学で進みました。というのが、以前は確実に実施できるかどうか分からないし、希望しても行けるかどうか分からないという状況がありましたので、そういったことでどうしても原子炉実習を夏休みの課外活動というか、そういったことに位置付けて、なかなか正規の科目の中に取り入れて単位化ということが難しかったんですけども、A N E Cができて、少なくともこの先7年間、確実にこの実習ができるということがありましたので、それによって様々な大学で単位化というか、カリキュラム化が進んだといったことが非常に大きかったかなと思っています。

以上です。

(直井委員) どうもありがとうございます。

A N E Cが令和8年で終わってしまうということですが、これは非常に重要なミッションだと思いますので、引き続きこういった実習が継続できるように頑張ってくださいいなというふうに思います。

それから、理科教員のための原子力実験研修会、これは非常に長い歴史があって、1987年から年間60名の教員にやられてきた研修ですけども、これは大阪というか、関西圏の中学校というふうに限定されているのでしょうか。

(若林副所長・教授) いえ、実は関西だけではなくて全国から先生を受け入れています。具体的に申し上げますと、関西原子力懇談会さんと一緒にやっている研修会の方で関西と福井県の先生に募集を掛けて受け入れまして、全国から来られる先生に関しては日本原子力産業協

会と電気事業連合会さんとやっている、共催している研修会の方で受け入れるということでやっていますが、基本的には全国から参加できるような体制にしています。

(直井委員) 分かりました。ありがとうございます。

非常にすばらしい活動だと思うのですが、この研修会に参加された理科の教員へのアンケートみたいな、事後そういうことはやられていますか、フォローアップといますか。

(若林副所長・教授) 実習終了後の直後のアンケートは取ってしまして、研修会とか実習プログラムの内容を改善するためのデータは取ってございますが、例えば何年もたった後にそれがどう生かされたとか、そういったところを見るようなアンケートというのはなかなかちょっと難しく、取れていないです。

(直井委員) 分かりました。是非そういったところも情報を集めていただくと非常に有効なんじゃないかなと思うので、頑張ってくださいなと思います。私からは以上です。ありがとうございます。

(若林副所長・教授) ありがとうございます。

(上坂委員長) 吉橋委員、お願いいたします。

(吉橋委員) 若林先生の今日は近畿大学原子炉の歴史から活動まで御説明いただき、ありがとうございます。

1ワットになった1974年から2011年までですか、大きなトラブルもなく、教育および研究を進めてこられたことはすばらしいことだと思っております。

私自身は名古屋大学のエネルギー理工学科の4年生が原子炉実習をさせていただいておまして、先ほどもあったように、こちらの実習を単位認定もして非常に活用させていただいています。それから、自身の研究でも原子炉を使わせていただいております。

ただ、その中で先生方が御自身の研究、それから色々な大学の業務にも加えて、こういった多くの実習であるとか研究活動、こういったものを対応していただいて、本当にお忙しくされていて、頭下がる思いでおります。

更に、この春から日本で原子炉実習ができる唯一の施設になるということで、ますますお忙しくなることを心配する一方で、こういった活動、学生の教育の場としては続けていただきたいなと本当に思っております。

先ほど先生もお話がありましたように、やはり中等教育のところで、体験というのが最近の若い方には非常に有効だと思っています。その中でも先ほどの原子力に興味を持つ中高生が定員をはるかに超える応募もあって、更に女子学生が半数以上もいるというのは大変喜ば

しいことで、やはりそういった活動も非常に重要だと思っています。

その一方で、先ほどおっしゃられたように、原子力を学べる専攻がどこにあるのかというような話もあったりして、実際、今こういった研修に参加している学生さんたちの進路であるとか、そういった行き先というのは何か調査されていますでしょうか。

(若林副所長・教授) ありがとうございます。

実は、研修に参加した高校生の進路というのは非常に興味があるところで、研修会の効果を測る上でも有用なデータになりますし、また興味深いところで特に半分以上がいつも女子生徒なので。ところが大学へ入学する段階ではその女子生徒が消えてしまっているという現実があって、一体どうなっているのかなというのが非常に知りたいところではあるんですけども、残念ながら追跡調査は今のところはまだできていないというのが現状です。

それはやはり全国から希望者を是非原子炉の実験をやってみたいという高校生手を挙げろということで、集めてきているということもあって、その後ずっと追跡していくということはやはりなかなか難しいです。

ちょっとアイデアとしては、その研修会に参加した経験者の高校生とか、さっきは理科教員の研修会も同じなんですけれども、そういう経験者の方々が所属する団体というか、クラブというか、そういったものを作って、それで交流が続くようにできるとそういった情報も取りやすくなるのかなというようなことも相談したことはあるのですが、何せちょっとそこまで手が回らないというか、マンパワー不足ということもあって、今のところはちょっと手が回っていないというのが現状です。ただ、是非できればやってみたいところではあります。

(吉橋委員) ありがとうございます。

最近、理学系のこういった体験型の夏の学校とか、そういったところに女子学生は本当に増えているのですが、なぜか工学部に女子がいないという現状は私も本当に不思議だなと思っていて、私も色々な現場であったりで、耳にするのは多くの女子学生はどうも医療系に行ってしまうことが多いように聞きます。どうしたら工学部に興味を持ってもらえるのかということは、やっぱりこういう現場の声の中に何かヒントはあるのかなと思いますので、是非一緒に考えていきたいなと思う次第です。

(若林副所長・教授) よろしくお願ひします。

(吉橋委員) 先ほどマンパワーだということをおっしゃっていましたが、今日御説明いただいたこの中高生の実験研修であるとか、理科の教員の方も定員があって、これは年に1

回こういうことをされているのでしょうか。先生方の時間ということもあるかと思うんですけども、もう少しやはり人の問題だったり、マシンタイムの関係で難しいのかもしれないんですけども、どれぐらい年間の頻度としては行われているのでしょうか。

(若林副所長・教授) ありがとうございます。

まず、中高生向けの研修会については、広く参加者を募ってやるタイプの、今日御紹介したようなタイプの研修会ですと年2回やっています。理科教員向けの研修会は4回やっています。ですので、各回定員16名としていますので、それで理科の先生は大体60、満員で来ると64で、高校生だったら32ということになります。

幾つか要素はあるんですけども、一つはやっぱり学校の先生とか生徒さんが普通に授業があるときというのは、来られないので、一方で土日、こちらは原子炉を運転するということはなかなか難しいということがありまして、どうしても時期的に夏休みの期間とか、以前春休みの期間を狙ってやったこともあるんですけども、そういったところに集中せざるを得ないというところがあって、それで日数が取れないという問題もありますし。

もう一つはさっきおっしゃられたとおりマンパワーです。実は、夏休み期間とか、年度の後半に入ってだんだん卒論・修論でお尻に火が付いてくる時期になりますと、かなり原子炉利用が増えてマシンタイムの取り合いになってくるんですけども、比較的時間に余裕のある時期もないことはないのですが、やっぱりマンパワーがネックになって、そういった利用が制限されているみたいなところがございますので、ちょっとぜいたくな話ですけども、例えばこういった教育活動というか、理科の先生向けの研修会とか、高校生向けの教育をやる専用のスタッフがいたら、例えばもうちょっとできるんじゃないかと思えますし。

だから、時期的な問題とやっぱりマンパワーによるネックという、こちらで決まっているようなところがあります。

(吉橋委員) ありがとうございます。

本当に大変な業務の中で、こういった実習・研修をされているということが非常によく分かりました。

更に追い打ちを掛けるようなことを言うてしまうかもしれませんが、国際貢献の御説明もありましたが、今アジアの多くの国で原子力発電を導入しようというような声なんかも聞かれます。そうすると国内だけじゃなくて、国際的にもこういった原子力教育の拠点としてURTKINKIが注目されてくるのではないかと思います。私も利用者の一人として何か協力ができればよいなと思っております。

私からは以上になります。

(若林副所長・教授) ありがとうございます。

(上坂委員長) それでは、参与からも御質問や御意見を伺います。

青砥参与から御意見を頂けたらと思います。

(青砥参与) どうも説明ありがとうございます。

実炉を真ん中に置いて、広範でかつ色々な年齢も違うし、知識レベルも違う、対象も目的も違うような対象者に対して、多くのカリキュラムを用意されて実施して、実績を上げられている。本当に敬意を表したいと思います。

一方で、今のお2人の委員の議論の中にもありましたが、一つのコースをとってもその準備ですとか、カリキュラム編成ですとか、参加者の募集にしても、その選別にしても、それからそうした人たちに対するカリキュラムの実施と、その後の評価ですとか、更にはそれを次期に反映させるような努力等々を見れば、その労力は凄いものだと思わざるを得ません。

そうしたところで、今、議論の中にもあったように、今後そうしたことについての期待とといったものが増えることはあっても減ることはなく、更に様々な場面でもっと充実とか展開を広げてほしいという要望というか希望は増えていくものだと思います。

この原子力委員会の中でも様々な観点で人材育成といったことが非常に重要な課題の一つとして議論されてきています。ですから、実炉を使ったこういうカリキュラムにとどまらないで、今までの皆さんの経験と知見を踏まえた上で、そうしたことに対する御提言ですとか、希望ですとか、お考えがありましたら是非この場で少しまとめていただければと思います。よろしくをお願いします。

(若林副所長・教授) ありがとうございます。

確かにマンパワー的にも非常にぎりぎりの状態になりつつありますし、一方で期待は大きいので、それには我々やはり応えたいなと思っています。

ただ、先ほどのスライドの中でも少し説明しましたがけれども、やはり私立大学が原子力事業者として原子炉施設を運用するというのは、通常の状態でもコストとかマンパワーの点でかなり苦しいというか負担が大きい状況です。更に、現状低濃縮化が加わったことで非常に苦しい状況でございます。

一方で、何としてもこの掛け替えのない施設を守りたいし、使っていきたいということも考えております。

A N E C がありますけれども、こういった国の補助事業で色々我々助けられているところ

がありまして、例えば先ほどの原子炉実習を運用していく上でも、事務職員、派遣職員の方の person 費を ANEC の中から計上させてもらったりとかいったことで、事務局機能の部分で助けてもらったりとかいうところもあるんですが、ただやっぱりメインはこの実習参加者の旅費の補助というのがメインで、一番我々欲しいところは原子炉の維持管理とかマンパワーに関するところなんですけれども、そこをダイレクトに支援するというのは、やっぱり私立大学ということもあってなかなか難しい現状がございます。

あともう一つは、先ほど吉橋先生のお話のときにも出てきたんですけども、原子炉利用の上限を決めている、ネックとなっているのは、やっぱりマンパワーの部分が多いので、マンパワーが確保できれば更に様々な活用をできるんじゃないかなというところもございます。

ですので、実は文部科学省をはじめ、様々な関係機関、関係者の方々と色々と意見交換をしたりとか、検討を進めさせていただいているのですけれども、やっぱり何らかの形で原子炉の維持管理とか、マンパワーの部分への御支援をお願いできれば、我々としては一番有り難いかなと思いますし、それによって原子炉の活用が更に広がるんじゃないかなと思っています。

もう1点は、原子炉実習、多くの学生を受け入れて我々はやっていますけれども、原子炉実習経験者の結構な割合が実は原子力産業界にその後就職しています。ですので、そうやって考えると、原子力産業界もある意味最大の受益者という言い方もできるんじゃないかなという気もしていますので、是非産業界の皆様にも御支援をお願いしたいと思いますし。

また、国には産業界がこういう原子炉施設を支援するための仕組みとか、そういったものを整備していただくと、支援したいと思ってくださっている方は多いと思いますので、うまく動き出すんじゃないかなと思っています。

ということで、余り具体的なアイデアというものが無いんですが、そういったところの御支援を頂けると有り難いなというふうに感じております。

以上です。

(青砥参与) ありがとうございます。

私の理解は、要はシステム作りがまず第1である。個々の努力では限界が見えているので、その全体を仕切るようなシステムが是非必要であるとお聞きしました。是非その辺りの議論が高まっていけばと思いますので、今後ともよろしくお願いします。

(若林副所長・教授) ありがとうございます。

(青砥参与) 私からは以上です。

(上坂委員長) それでは、岡嶋参与、お願いいたします。

(岡嶋参与) 若林先生、どうも御説明ありがとうございました。

私、こういう分野の方に長年身を置いていましたので、状況も十分理解していたつもりです。そういう点で、特に近畿大学の原子炉の大きな点の一つは、もちろん長年教育とか大学生の実習・実験もあるのですが、途中からここに紹介された、中等教育の先生方への教育、それから途中から更に学生を受け入れて、本当に原子力を見て触れて実感するというところに凄く寄与されてきました。これらのことを私は十分理解しています。

今日、私の方から特に何かそういう点で質問とかはないんですが、反面、応援になればいいかと思って、今日のお話を伺ってまとめ、これから先の近大炉の在り方を考えると、近大炉の個性って一体何なんだろうなというのを考えてもらうことがいいのではないかと思ったりします。もちろん、色んなニーズが増えてということもあり、教育もあるのですが、何よりも維持管理に人を割かないといけないと考えられます。それがあって初めてこういうことができるということだと思います。そのような状況はあるのですが。

たとえば、近畿大学、先ほどから話があったように、地勢的にもやっぱり今や環太平洋とかという大きな視野で見たときの位置付けとか、それから原子炉として特徴的なアルゴノート炉（2分割炉）という形式から、その特徴で何かできることがないのかとか、組成としてグラファイトなので、他の研究炉の大部分が軽水炉であることを考えると、その個性的な部分があるはずだと思います。そういう点に加えて、出力が1ワットなので、そういう観点から容易にアクセスできるというのも大きな特徴だと思います。

そういうようなことを考えた中で、今後の低濃縮化の折に、もう一回ちょっと考え直してみることで、少しでも長く延命されるのではないか、あるいは、国の中での我が国だけじゃなくて、先ほど言いましたように環太平洋全体の中での位置付けとしてやっぱり重要性が示せるのではないかと思いつつ、御説明を聞いていました。勝手なことを言って申し訳ないんですが、是非その辺のところを考えていただいて、その位置付けというのを見直していただくことも必要かと思います。

私からは以上です。

(若林副所長・教授) ありがとうございます。

(上坂委員長) それでは、小笠原参与、よろしくお願いいたします。

(小笠原参与) どうも先生、御説明ありがとうございました。

私も、私立大学であられる近大がこれだけ重要な教育の機会、それから研究の機会を大学

の枠を超えて内外の方々に提供してこられたというこの実績、大きな公益に対する御貢献に対して敬意を心から表したいと思います。

近大の取組は引き続き非常に重要な役割を持っておられますし、特に先ほどから議論に出ておりますけれども、原子力産業、原子力活動に携わる人々の人材をいかに確保していくかというような、これは文科省も長期的な体系的・意識的な取組をしていらっしゃると思うので、その中でこの近大の役割というのは引き続き重要なのではないかと思います。

したがって、今後経費等の御負担とか、今、御説明がございましたけれども、やはりこれはそういった公益に資する近大の取組の役割というものをしっかり認識して、それにふさわしい対応を政府側もしていくことが適当ではないかというふうにつくづく思いました。

私、外務省のOBですけれども、トリチウム燃料の低濃縮化の問題ですけれども、これは冷戦後大きな問題として西側諸国で取り組んできた問題です。1990年代に旧ソ連諸国に残っている色々な核燃料とか、そういったものを、西側は多大なお金を投じて適切に処理して、拡散等の問題が起きないようにしていくということで取り組んできた訳です。その流れをくんでオバマ政権で核セキュリティ・サミットが、また2000年代に出てきた訳です。これもやっぱり外交目的、大きな公益に資する取組ですので、そこにきちんと公的なお金が入っていないということに私は違和感を感じますので、これは是非声を上げられて、近大さんが御自分で負担されるというような問題でも私はないような気がいたしますので、きちんとしたお話をなさったらいいんじゃないかと思います。

2022年以降、アメリカの政権が替わっていますので、また色々違った風が吹いているかもしれません。いい方向に振れるか、悪い方向に振れるか、一概に言えませんけれども、是非そういった場を政府側も提供して、そういった適切な負担を分かち合うということが行われることを期待したいと思います。どうもありがとうございました。

(若林副所長・教授) ありがとうございます。

負担に関しては、近畿大学ももちろん負担をかなりしているのですが、国からも御支援を頂きながら進めております。

(上坂委員長) それでは、上坂から意見を述べさせていただきます。もう既に委員や参加からも質疑がありましたように、学生さんの教育のみならず、高・中の教員の先生方の研修をされているのがとてもすばらしい。毎年60名で、これ令和3年度からでしたか。スタートしたのは。

(若林副所長・教授) 学校の先生は1987年からやっています。

(上坂委員長) そうすると、もう数百人のレベル達していますね。それで、原子力委員会でも最近、高校生にこの定例会議を傍聴していただき、またその前に我々の部屋に来て意見交換をやるのですよ。去年の8月に東京都立戸山高校、それから1月に福井南高校に来ていただいて、非常にいい意見交換ができたのです。そのときに感じるのですけれども、若い学生がいい先生に付くし、いい先生の教育でますます磨きが掛かってくるなという印象なのですよね。その先生をこんなにも数百名、この原子炉で教育されているということは、物凄く大きな輪を作っているかなというふうに思います。

今までこういう活動は別々にやっていたのですけれども。最近は色んな組織がやるようになって、だんだんとこれが常になってきている実感があります。今日の「電気新聞」にも出ているのですけれども、先々週の土曜日に東京科学大学で行われた経産省・エネ庁主催の地層処分に関するシンポジウムがありました。これはミライブプロジェクトという大学生と、それからハッピーロードネットというNPOに属する高校生の集まりが数十名参加した。事前に議論して、学生のプレゼンと、大学生がファシリテートして高校生が議論すると。その結果を発表して、また大学生と高校生が一緒になってパネルディスカッションをやるのです。非常に見事に質疑するのですね。議論するのですね。ですから、そういうすばらしいグループも出てきた。

また、この定例会議でも1月ですが、京大の中村秀仁先生にNプロジェクトの御説明を受けました。もう既に大阪府の高校のカリキュラムに取り込まれて、その高校のみならず、1,000名を超える学生を教育していると。もう統計的にも十分なので、論文を書きますというふうにおっしゃられていました。ですから、それらをつなげていきますと、大きな中高生の教育の場になり、またその中心でおられる中村先生、若林先生は、もう十分な教育の分野を作っていると私は思いました。

中村先生のとくに、これはもう原子力教育学になろうとしているのではないですか、というようなことを申し上げていたのです。先生の場合は研究炉、日本で唯一の研究炉を使って教育をなされているという特徴がありますので、そういう原子力教育学という分野ができる。講座が他の大学にできてくると。そして原子力教育学をどんどん広げていくと。大学生の教育は大学がやりますね。中高先生の教育をもう全国ネットでやっていくようなことがもうできる時代になってきたのではないかと思うのです。

先生、いかがでしょう。中村先生等とか、そういう高校の先生方との議論はいかがでございましょう。

(若林副所長・教授) 高校の先生との議論というのは、直接はこの方面でやったことはないんですけども、実は最近、中村先生とお話する機会がございまして、先ほどおっしゃられましたように、この活動を研究成果にしていくと、そういったことをおっしゃっておられました。

我々も長年の宿題なんですけれども、これだけ色々な教育活動をやっているながら、本務である自分の研究とは別にこれを行っているようなところがございまして、考えてみれば確かに毎回毎回多くの方が来て、そこで実習を受けて、アンケートを書いて帰っていつている訳なので、そういったもの、我々内部では実習の改善なんかに役立ててはいますけれども、よく考えれば、それこそ原子力教育学の貴重な宝の山というか、データの宝庫なんじゃないかなということの中村先生との意見交換を通じて、ちょうどそういったことを考えたところでございます。

ですので、なかなか先ほども手が回らないというのは、いつも言い訳になっちゃいますが、すぐ大規模にできないかもしれないんですけども、やっぱりそういう、せつかく集まっている情報というか、データというか、それとか実績なんかにしても、これを教育活動として切り分けるのではなくて、これを教育学の研究成果にしていくということは是非今後やっていきたいなというふうに考えています。ありがとうございます。

(上坂委員長) 今、日本は昨年は再稼働への動きが進みましたね。また、関西電力は建替えに向けた準備を開始していると。海外を見れば、SMRの計画に日本企業が積極的に関わっている。非常に原子力事業が前に進んでいると。そういうことを海外の方が非常に興味をもって見えています。どうやって人材育成しているか。若い人の教育をどうやっているかということをよく聞かれるのです。

ですから、今まではANECの中の原子炉実習、高校生プロジェクトはANECに入っていく学生のプログラムだったのです。もうそれらがどんと大きく広がっているかなという実感があります。是非今後、文科省や経産省と、我々も支援いたしますので、みんなで議論して、この輪をどんどん大きくして、是非講座を作れるようになるといいかなと思います。

(若林副所長・教授) 是非やります。

(上坂委員長) 是非よろしく願いいたします。

(若林副所長・教授) ありがとうございます。

(上坂委員長) 議題(2)は以上でございます。

それでは、説明者及び随行者におかれましては、恐縮です御退席の方をよろしく願います。

たします。

(若林副所長・教授) ありがとうございます。失礼します。

(若林副所長・教授及び随行者 退室)

(上坂委員長) 次に、議題(3)について事務局から説明をお願いします。

(井出参事官) それでは、三つ目の議題でございます。電気事業者等から公表されたプルトニウム利用計画について(見解)です。

原子力委員会では我が国におけるプルトニウム利用の基本的な考え方を踏まえ、令和3年から毎年電気事業者は日本原子力研究開発機構が公表するプルトニウム利用計画を評価し、見解をまとめております。

令和8年2月24日、第8回原子力委員会定例会議における電気事業者等からの御説明を踏まえ、見解案を取りまとめました。

それでは、中島参事官より御説明をお願いいたします。

(中島参事官) それでは、事務局から説明させていただきます。

2月24日の定例会議におきまして、原燃から六ヶ所再処理施設等の暫定操業計画について、また電事連とJAEAからそれぞれプルトニウム利用計画について説明を受けました。それらの計画について、原子力委員会が平成30年に決定した我が国におけるプルトニウム利用の基本的考え方に基きまして、事務局にて見解の案を作成しましたので、説明をいたします。お手元の資料第3号を御覧ください。

見解の構成ですが、1ページ目の冒頭から真ん中辺りまではこれまでの経緯や見解の趣旨を記載しております。真ん中辺りにあります1ポツと、2ページ目から3ページ目の2ポツが見解となっております。1ポツでは2026年度の利用計画に対する見解、2ポツでは2027年と28年の利用計画に対する見解を記載しております。

それでは、まず1ポツ、2026年度の利用計画に対する見解について説明をいたします。

(1)におきまして2025年度末の我が国のプルトニウム保有量について、新たに回収されるプルトニウムや利用されるプルトニウムがなかったため、前年度と同じく約44.4トンになる見込みであることを記載しております。

次に、(2)におきまして、2026年度におけるプルトニウムの利用及び回収の見込みについて記載しております。

まず、電気事業者について、関西電力高浜発電所で約0.7トンの利用が見込まれていること、原燃の六ヶ所再処理施設は竣工する計画であるものの、2026年度内は使用済燃料

の処理を行わず、プルトニウムの回収をする計画はないことについて記載しております。

続いて、JAEAについてはプルトニウムを利用する可能性がある「常陽」がございますが、原子力規制委員会の認可の取得に向けて審査中であることから、利用については未定であること、また東海再処理施設が廃止措置中であることから、回収はゼロになることを記載しております。

最後の（３）におきまして、２０２６年度の利用計画に対する見解を記載しております。

まず、２０２６年度末には現在の約４４．４トンから０．７トン減少し、約４３．７トンとなる見込みであることを記載しております。そして、見解として当委員会としては電気事業者等の取組状況等を踏まえまして、２０２６年度に関する利用計画は現時点において妥当であるとする、との記載をしております。

次に、２ポツの２７年度及び２８年度の利用計画に対する見解を説明します。

２７年度及び２８年度の利用計画は状況が今後変わり得るものですので、現時点での情報を基に暫定的にコメントすることとしております。

まず（１）ですが、電気事業者に関するプルトニウムの利用と回収の見込みについて記載しております。関西電力高浜発電所３号機又は４号機において、２０２７年度は約０．７トンのプルトニウムを利用することを計画しております。翌年の２０２８年度の利用についてはゼロと計画をしております。

一方、回収ですが、原燃の六ヶ所再処置施設で回収可能なプルトニウム量の最大量が、２０２７年度が約０．６トン、２０２８年度が約１．４トンと計画をしております。

続きまして、（２）JAEAに関するプルトニウムの利用と回収の見込みについてですが、「常陽」の審査見通しが明確になっていないことから、同期間中のプルトニウムの消費量は未定、また回収量は先ほど申し上げましたとおり、引き続きゼロというふうに計画をしております。

次に、３ページを御覧ください。

これらを踏まえまして、（３）において２０２７年度及び２０２８年度の利用計画について暫定的なコメントを記載しております。（１）と（２）を踏まえますと、我が国全体としてのプルトニウム保有量の最大値は２０２７年度末が約４３．６トン、２０２８年度末が約４５．０トンとなる見込みです。この２８年度末の約４５．０トンは、今年度末の約４４．４トンと比べますと約０．６トンの増加の見込みとなっております。

また、２０２７年度末の４３．６トンと比べますと、２７年度に回収される約１．４トン

がそのまま保有量の増加量になります。このため、再処理によって回収されたプルトニウムは、定例会議で原燃から説明がありましたとおり、発電所にMOX燃料として引き渡されるまでに4年程度を要し、その後、プルサーマル炉で照射・利用されるまでプルトニウム保有量を一時的に増加させることとなりますので、そうした事実関係を記載するとともに、コメントとしてプルサーマルの着実な実施によって将来的に保有量が減少する見通しが示されることが重要であると記載しております。

続きまして、2027年度から再処理施設での回収が実際に始まる計画となっていることから、プルトニウム利用の基本的考え方を踏まえ、プルトニウムの需給バランスを確保し、再処理から照射・利用されるまでのプルトニウム保有量を必要最小限とし、六ヶ所再処理施設等の適切な運転に必要な水準まで減少させることを強く求めるとのコメントを記載しております。

この今挙げました部分は、基本的考え方の2ポツを引用し、記載をしたものでございます。

続けて、同時に利用目的のないプルトニウムは持たないとの原則を堅持し、プルトニウム保有量を減少させるとの観点から、国内での利用に向けた様々な取組だけでなく、海外保管分のプルトニウムの削減に向けた取組の着実な実現を強く求めるとのコメントを記載しております。

その後には、事業者に対して、来年度プルトニウム利用計画を公表する際に、原子力委員会として求める事項を記載しております。

次の段落、パラグラフを御覧ください。2027年度には、六ヶ所再処理施設でのプルトニウムの回収が計画されておりますので、原燃が操業の見通しを立てるに当たり、電気事業の利用計画においてプルトニウムの利用先となるプルサーマル炉を明らかにすることが必要になると考えます。また、利用するプルサーマル炉が特定されたとして、装荷するMOX燃料にどのプルトニウムを充てるかという選択が生じます。

フランス、イギリスにある海外保管分、またアクティブ試験で回収した国内保管分、新たに使用済燃料から回収する分などがある中で、どのような考え方、優先順位で燃料に加工して利用するのか、明らかにすることが必要になると考えます。このため、来年度の事業者の利用計画においては、本文に記載がございましたように、原燃が操業の見通しを立てられるよう、計画期間を設定するとともに、所有量及び利用料を海外保管分と国内保管分に区別して公表することを求めています。

併せて、どのプルトニウムを加工に充てるのか等のMOX燃料加工を実施するに当たって

の考え方を整理し、公表することを求めています。

先月24日の定例会議におきまして、直井委員から燃料加工時のプルトニウムの歩留まりについて御質問を頂きましたが、原燃の回答では、加工の工程の中で不純物が含まれるなどにより燃料として利用できないプルトニウムが一定量発生するとの説明がございました。この説明、来年度の説明におきましては、またその考え方を整理する際におきましては、そうした分を見越して燃料になる量よりもプルトニウムを多めに回収する必要があるということについて、そうしたことも含めまして、考え方を示す際には丁寧に説明がされる必要があると考えております。

続いて、JAEAについての記載ですが、定例会議におきまして「常陽」での利用が計画されている他、プルトニウムを単体分離しにくくする技術の研究に供されるという説明がございました。こうした現在検討中のオプションだけでなく、プルトニウム保有量の削減に資するオプションの更なる検討及び透明性の確保を期待するというコメントを記載しております。

そして、最後ですが、電気事業者及びJAEAにおいては、進捗に応じて利用計画を見直す必要が生じた場合には速やかに公表することを強く求めることとしております。

説明は以上となります。御承認よろしく願いいたします。

(上坂委員長) ありがとうございます。

それでは、ただいまの説明に関しまして15分をめぐりに質疑を行います。

直井委員からよろしくお願いします。

(直井委員) どうも中島参事官、御説明ありがとうございます。

まず、2026年度の利用計画については特にコメントはございません。

それから、2ポツのところ、27年及び28年度の利用計画ですけれども、26年度に再処理工場の竣工が計画されていて、27年度から回収をするというような形になるということで、今までとちょっとモードが変わってくるということになるかと思えます。

そういったことを踏まえて、2027年、28年度の利用計画について、新たに例えばプルスーマル計画の計画期間を利用計画がはっきり同じような期間で設定されて、それが操業計画に反映されるようにするというようなこととか、それから所有者の所有量、それから利用量を海外保管分と国内保管分に区別するというようなこと、更には新たに再処理によって回収される分について、燃料加工を実施するに当たっての考え方を整理して、併せて公表いただく、透明性を確保していただくというようなコメントをしておりますが、これについて

はモードが変わるということで、しっかり見ていくという観点から妥当だというふうに考えます。

私からは以上です。

(上坂委員長) 吉橋委員、お願いいたします。

(吉橋委員) 御説明ありがとうございます。

私も直井委員が今おっしゃられたようなことになりますけれども、文章そのものは妥当だと思っております。ただ、特にやはりどこのものを使っていくのかという話も含めまして、海外保管分、国内保管分をしっかり区別して、対外的にどこにどういったものがあるのかということ、しっかり示していく必要が、今後出てくるのではないのかなということをおもっております。

以上になります。

(上坂委員長) ありがとうございます。

じゃ、青砥参与、お願いします。

(青砥参与) どうも御説明ありがとうございました。私からもコメントです。

説明の中にありましたように、前回定例会の席上でも多くの出席者から言及がありました、六ヶ所の施設が今後本格始動を予定されている。そうした中で、プルトニウム利用についてはますますの透明性、あるいは国民の理解が強く求められる。そういう認識の下で、今回そうした見解を具体的に含められたことは適切だと考えており、文書として妥当だと思います。

私からは以上です。

(上坂委員長) 岡嶋参与、お願いいたします。

(岡嶋参与) 御説明ありがとうございます。

私も同じ意見なのですけれども、今後、再処理施設が操業されるような状況になると、やはりより高いプルトニウムについてのバランスと申しますか、そういう透明性が必要になってきて、それが国民によく理解できるような形に示されるべきだと私も思いますので、ここに記載されたような内容を求めていること、あるいは重要であると指摘されたこと、あるいは期待するとされたこと等は、僕は妥当だと思いますので、特にこれ以上の意見はございません。

以上です。

(上坂委員長) 小笠原参与、お願いいたします。

(小笠原参与) 私も六ヶ所再処理施設のプルトニウムの回収が現実のものになっていくという

状況の中で、プルトニウム利用に関してはより高い透明性が内外から求められると思います。

したがって、これ従来の見解に比べると若干事業者に対して色々な注文・要請が強くなっていると思いますけれども、それはそういった状況も踏まえて適切な内容になっているのではないかと思います。

また、海外保管分の処理については、必ずしも日本の事業者、あるいは日本政府だけでは決められない部分もございまして、その部分で他律的にプルトニウム保有量が増減するという面もありますので、その面も透明性の向上という観点からは明らかにしていってもらうという、全体像を見ていく必要があると思いますので、そういった注文が入っているということも適切ではないかと思います。

一つ確認なのですが、本日席上に配付してもらいました事業者から出ております3-3号ですか、それから3-4、5といった、この資料、これはあれですか、この見解の別添として発表されるのでしょうか。

(中島参事官) こちらはこの会議の資料として公表をいたします。

(小笠原参与) なるほど。一つだけ注文なのですが、例えばこれ、2026年度の利用計画で、2025年度末時点の保有量は前年度末と同じ約44.4トンという数字が出ていますけれども、これは事業者連合の方の資料の40.1に原燃の資料の3.6を足すと44.4という数字が出てくるということだと思うのですが、そうですね、二つを足しているのですよね。

(中島参事官) ええ。それ以外にもございますので。

(小笠原参与) ああ、そうですか。

(中島参事官) 原燃自身が事業者受託再処理をしている、まだ仕掛分というのがございまして、それはまた別途あるということでございます。

(小笠原参与) なるほど。ちょっとこの資料とこの数字との間がどういうふうに整合が取れるのかというのが分かりにくい。何らかの補足、44.4がどこから出てきたのかというようなことが分かるようにしていただくと、より透明性の観点からよろしいのではないかと思います。

(中島参事官) その部分については、別途毎年8月前後に出しておりますプルトニウム管理の状況というものがございまして、そちらの方で明確にはしてございます。

(小笠原参与) では、8月まで待てば明確になってくるということですね。

(中島参事官) そちらの資料を昨年のものを御覧いただきまして、それでそこの関係という

のはこの下の注釈の方に書かせていただいているということでございます。

(小笠原参与) なるほど、分かりました。では、必ずしも今日の席次配付資料との整合性ではないということですね。

(中島参事官) ではなくて、毎年出しているプルトニウムの管理状況に関する資料とはしっかりと整合しているということです。

(小笠原参与) なるほど、了解しました。ありがとうございます。

(上坂委員長) それでは、上坂の方からコメントとして、やや繰り返しになるかもしれませんが、意見を述べさせていただきます。

まず冒頭ですが、この見解の冒頭、原子力委員会は平成30年に決定した「我が国におけるプルトニウム利用の基本的な考え方」において、利用目的のないプルトニウムを持たないという原則の件は、我が国のプルトニウム保有量を減少させる方針等を明らかにしております。

また、3番目のパラグラフです。ここで本委員会がこの基本的考え方に基づいて関係事業者の取組状況や考え方を把握した上で、電気事業者等から公表された利用計画に対して、委員会としての見解をまとめているものであるということでございます。

次に、2001の1ポツの2026年度の利用計画についてであります。プルトニウムの保有量は約43.7トンとなりまして、今年度末の約44.4トンから約0.7トン減少する見込みであります。

また、先週の定例会議における質疑にありますように、電気事業者は地元の理解を得ながらプルサーマルを着実に進めております。原燃は六ヶ所再処理施設とMOX燃料加工施設の立ち上げに注力しており、2027年度には使用済燃料の再処理が可能との計画を公表しております。

JAEAは高速実験炉「常陽」は再稼働に向け、原子力規制委員会の審査対応を続けているということでございます。

これを踏まえまして、次のページです。見解の次のページ、案のページの(3)ですか、こちらで2026年度の利用計画は妥当と、最後のところ、二つ目のパラグラフですが、を言っております。

それから、次のページです。

(3)の2027年度と28年度の利用計画につきまして、27年度は最大で約43.6トンとなる見込みですが、2028年度は最大で約45.0トンになり、今年度末の約44.

4トンと比べて約0.6トンの増加となる計画でございます。こういうふうにはらつきがあるということです。

それから、次のパラグラフ、「事業者の説明によれば」のところですが、ここはプルトニウム回収からMOX燃料の受け渡しまで4年程度掛かることを考慮しますと、保有量に年次的な凹凸が生じるのは致し方がないと考えられますが、プルサーマルの着実な実施を通じ、将来的にプルトニウム保有量は減少傾向にあることが示されることが重要であると考えております。

それから、次の「当委員会」のパラグラフでは、このため、事業者をはじめとする関係者に対し、再処理によるプルトニウムの回収を実際に進める際には、基本的考え方を踏まえた対応を強く求めるところであります。

次のパラグラフ、「2027年度には」のパラグラフでは、その計画では再処理にプルトニウム回収を適切に計画する観点から、より長期の利用計画が必要となっておりまいます。事業者においては、利用計画の期間を適切に設定するとともに、国民の理解が得られるように、透明性を高め、丁寧な説明をすることが必要と考えますと書いております。

このため、次の利用計画は公表の際には適切な利用計画を設定して情報を公開することや、燃料加工をするに当たりましての考え方を整理し、公表することを求めているところであります。これは最後のパラグラフになります。

以上、本見解は2027年度に再処理が開始されることを見据え、次の利用計画において事業者等が公表すべき事項が明らかになっているものでありまして、このまま適切であると判断いたします。

他に追加の御意見等はございますか。

それでは、以上、本見解は2027年度に再処理が開始されることを見据え、次の利用計画において事業者等が公表すべき事項を明らかにしたものとなっております、この案は適切であると判断いたします。

他に追加の意見がないようでございますので、本案につきまして、この内容で原子力委員会の見解としたいと思っておりますが、よろしいでしょうか。

(一同) お願いします。

(上坂委員長) それでは、御異議ないようですので、これを委員会の見解とすることといたします。

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いたします。

（井出参事官） それでは、今後の会議予定について御案内いたします。

次回の定例会議につきましては、令和８年３月１０日火曜日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、原子力委員会ホームページなどによりお知らせをいたします。

以上です。

（上坂委員長） ありがとうございます。

その他、委員から何か御発言ございますでしょうか。

御発言ないようですので、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—