

## 高速炉開発会議戦略ワーキンググループ（第12回）

日時 平成30年8月10日（金）14：00～16：00

場所 経済産業省本館17階国際会議室

### ○武田室長

それでは、定刻になりましたので、第12回戦略ワーキンググループを開催させていただきます。

部長の村瀬が数分ほど遅参いたしますので、私が代理をさせていただきます。

それでは、早速議事次第に入りたいと思います。

本日の議題は、核燃料サイクル再処理燃料製造の現状についてということで、大阪大学の黒崎准教授と、長岡技術科学大学の鈴木教授をお招きしまして、黒崎先生からは燃料製造の観点から、鈴木先生からは再処理の観点から、それぞれご説明をいただきたいと考えてございます。

それでは、大阪大学、黒崎先生から資料を用いて、核燃料、特に高速燃料に関する基本情報、高速燃料の国内外における研究開発の状況についてご説明いただきたいと思います。黒崎先生、よろしくお願いたします。

### ○黒崎准教授

大阪大学の黒崎と申します。

資料1になります。私からは「核燃料の種類と性質ならびに研究開発」ということでご紹介いたします。

私の略歴、一応書いてきているんですけども、大阪大学を卒業しまして、その後、ずっと核燃料、原子炉材料の研究開発に従事しています。

次のページ、まず「はじめに」ということで、本ご紹介する内容ですけども、大きく3つに分かれております。1つ目に、核燃料と一口に言ってもいろいろな種類がございます。それをいろいろな観点から分類してまとめていくというのが1つ目の項目になります。2つ目が、そういった核燃料、高速炉燃料、研究開発をしていく上で重要なポイントというのをまとめてまいりました。これが2つ目。3つ目、「まとめにかえて」ということで、私のほうから今思うところを簡単に述べさせていただきます。

次、3ページ目をごらんください。

本論に入る前に、そもそもきょう私がお話しする核燃料というのは一体何か、何を指してい

るのかということを中心にまとめてみます。

この3ページに書いてあるスライドの絵は、これは高速炉の炉心燃料を示したものです。これはもんじゅの場合です。この一番左の青く示されたもの、これは燃料集合体といいます。もんじゅの場合、この燃料集合体が、ブランケット燃料というものは含まないんですけども、炉心全体で大体200体入っています。この燃料集合体というのが、実はこの右にある黄色の細い棒、これは燃料要素と呼ばれるものですが、これが燃料集合体1体当たり169本入っている。この燃料要素というのは、被覆管と、それと核燃料から構成されています。この被覆管というのは、いわゆる核燃料を包む金属のさやで、軽水炉の場合はジルコニウムという金属が使われておりますし、高速炉の場合は鉄をベースにした金属合金が使われています。きょうお話する核燃料は、この燃料要素の被覆管、金属のさやの中に詰まっているもののお話になります。

ここ、絵に描いてある、この一番右下にピンクの絵があるんですけども、これは「核燃料（もんじゅの場合、ペレット）」と書いています。これは1つの燃料要素当たり116個入っています。こういったものをきょうのお話の対象とさせていただきます。

次、4ページ目をあけてください。

この核燃料というものは、その中で核分裂が発生して、そこで発生した熱をうまく外に取り出しながら電気に変えていくわけなんですけれども、この核燃料に求められる性質ということで、一応2つに分けました。1つが、燃料そのものとしてどういった性能を持っているかというところが非常に重要だろうと。もう一つは、きょうこの後、鈴木先生がお話しされる、サイクルとうまく連動させる必要がある。この2つの観点から核燃料というものをきちんと選んでいかなければいけないということになります。

まず燃料としての性能。ここは重要なのでちょっと詳しく説明しますが、1つは、まず燃料として熱的性能というのがすぐれている必要があります。これは具体的にどういうことかといいますと、融点が高い。核燃料は、液体が使われる場合もないことはないんですけども、通常固体の物質を使いますので、その固体が溶ける温度というのが高ければ高いほどいい。これは当然燃料が溶けると余りよくないので、高ければ高いほどいい。固体として安定な状態を保つ必要があるので、融点は高いほうがいいという話になります。同じように熱伝導率が高いこととありますが、これは、核燃料の中で発生した熱を効果的に外に取り出すためには、核燃料自体の熱伝導率は高ければ高いほどいいですし、また、燃料の温度というのも高熱伝導率であればどんどん下げることができるということで、熱的性能としては高融点・高熱伝導率というところが重要になってきます。

また、核的性能。ここはウランやプルトニウム、こういったものが核分裂するわけなので、このウランやプルトニウムの量、いわゆる密度が高いほうがいい。それと、金属状態で使うこともあるんですが、通常は軽元素と化合させて用います。こういった適切な軽元素を用いる必要がある。これは後からちょっとお話しますが、その観点が必要になってきます。

それと、核燃料、当然これは原子炉の中で核分裂してどんどん組織が変わっていくんですが、そういったものを照射挙動というんですが、その照射挙動の挙動がいいこと。つまり、組織の安定性が高いことというところも重要なポイントとなります。

また、被覆管との共存性とか、あと被覆管の中に燃料を詰めたときにボンド材というものを入れるんですが、例えばナトリウムを入れたりとかヘリウムを入れたりするんですが、そういったものとの共存性が高いことというようなポイントが燃料としての性能として要求されます。

サイクルとの連動性なんですけれども、1つは燃料製造が容易であること。当然これは高い安全性を担保した状態で容易に燃料が製造できること、これは重要なポイントになります。それと再処理プロセスとの整合性が高いこと。あと、燃料製造が容易であるということとかなり近いんですけれども、経済性がすぐれていること。製造プロセスが単純であるとか、あと高燃焼度化というんですけれども、長いこと1つの燃料を使うというような高燃焼度化が可能であること。それと廃棄物発生量が小さいこと、あるいは余り生じないことというような観点が要求されます。

次、5ページをごらんください。

こういった性能、性質が要求される核燃料を今から分類していきます。この分類なんですけど、3つの観点から分類します。1つは化学形態による分類、2つ目が形状による分類、3つ目が製造プロセスによる分類となります。

では、6枚目、あけてください。

まず化学形態による分類ですけれども、右下の表は、これは周期律表、周期表ですね。これは私の研究とかでもしょっちゅうこれを使うんですけれども、ウランとプルトニウムは、この周期表のアクチノイド系列というところにあります。ウランは原子番号92番、プルトニウムは94番ということで非常に重たい元素になります。これは核分裂します。一方で、このウランやプルトニウムを燃料として使うんですけれども、それだけではなかなか使い勝手が悪いので、いろいろな元素と合体させて適切な化学形態で使う必要があります。その合体させる対象の元素をここでいう軽元素と、さっき言った話なんですけれども、周期表の右上にあるC、N、O、Fと、これがそれぞれの元素になって炭素、窒素、酸素、そしてフッ素となります。もちろん

こういった軽元素と合体させなくて金属状態のまま使うという考え方もあって、それは金属燃料というものがあるんですけども、要はここで挙げた5つの形態で今回は分類しました。

1つが酸化物、これはMOX燃料とよく言われるものなんですが、ウランとプルトニウムの混合酸化物燃料になります。金属燃料は、ウランとプルトニウムを混ぜて、そこにさらにジルコニウムという金属を混ぜることで安定化させたような燃料です。あと、窒化物、炭化物というのは、さっきの酸化物のOのところを窒素になったり炭素になったりしたものです。フッ化物と書いているのは、熔融燃料というような形で言われることもあるんですが、ウランやトリウムやプルトニウムのフッ化物を熔融塩と言われる低融点の塩の中に溶け込ませたような形というものもございます。

次、7ページをごらんください。

この中から酸化物、金属、窒化物、炭化物を選びまして、それぞれの性質というのをざっとまとめました。当然、これは核燃料の性質、化学形態が異なると性質も異なります。物性値と我々は呼んでいるんですが、それも異なってきます。

例えば融点。これは、融点は高ければ高いほうがいとさっき言ったんですけども、酸化物、窒化物は非常に高いです。2,750度、2,860度、いろいろデータはあるんですが、とにかくもう2,500度以上の非常に高温にも耐えられるような固体材料、これは酸化物、窒化物です。炭化物は酸化物や窒化物よりは少し融点は低いんですが、それでも高い。一方、金属は融点はやっぱり低いということで、こういったところで有利、不利が出てきます。

熱伝導率、これは熱をどれだけ伝えるかという、その性能なんですけれども、これは高ければ高いほどいいんですが、金属が最も高い。これは理屈はあるんですが、ここでは申しません。何で金属が熱伝導率が高くなるかという理屈は非常におもしろくていろいろあるんですけども、結果として金属は熱伝導率が高くて、酸化物は低くなっています。

また、密度ですね。燃料体の中に存在している重金属、つまりウランやプルトニウムの密度はどうなっているかという、当然金属は金属状態のまま使いますから密度が高くなっています。酸化物はちょっと低くなっているというような形で、いろいろな物性値でそれぞれ長所、短所が出てきます。

さらに、これは左下にグラフがあるんですが、これは熱伝導率の温度依存性で、これは物性値と一言で言って、数値が表でぱっと出てくるんですが、当然これは温度が変わると変わってきます。例えば、融点は温度がそのものなので、温度が変わると変わるという考え方は関係ないんですけども、熱伝導率とか熱膨張率とか、あと、かたさとか、そういった大事な大事な

物性値は温度が変わると変わってきます。だから、温度依存性というののもちゃんと理解しておく必要があるということで、このグラフを載せています。例えば、金属燃料というのは高い温度では非常に熱伝導率が高くなってくる。ところが一方で、酸化物燃料というのは、温度が高いところ、つまり実際に燃料がさらされるような温度では熱伝導率が結構低いよというのがこの絵からわかるわけです。

次、8ページをごらんください。

これは、さっきは燃料としてのそのものの性質だったんですけども、今度は特徴ということで、例えばナトリウムとの共存性。高速炉はナトリウムを使いますから、これとの共存性をやっぱりよく見ておく必要がある。それとか、あとは燃料の中心温度。これは熱伝導率と連携するんですが、中心温度はこれぐらいとか、被覆管との共存性、いろいろあるんですけども、ここで○、×とか、それぞれ数値を書いています。何が言いたいかということ、それぞれの化学形態でそれぞれ特徴があって、長所、短所があって、それをちゃんと見た上で、ちゃんとしたものを選ぶ必要があるということが言いたいわけです。

次、9ページをごらんください。

これはすごく字が小さいので一々言いませんけれども、今言ったような話をきちんとまとめたのがこの9ページで、酸化物、金属、窒化物、炭化物で、それぞれの長所、あと短所、評価と書いていますけれども、最終的にどういった形態の燃料を選ぶかというところを考える上で、この辺を考慮しておいたほうがいいよというようなところをまとめたのが、この一覧表になります。

次は10ページをごらんください。

今までは、これは化学形態ということで、それぞれの特徴を述べてきましたが、今度は実際に燃料として使うときの形状、形で、どういう形が今世の中にあってというところをまとめてきました。それぞれ幾つかあるんですが、酸化物と金属と、あと窒化物、この3つの化学形態に対して考えられている形状というのを4つ出してきています。

この表を今見ながらしゃべっているんですけども、1つはペレット。これは焼結体と書いていますが、この左のほうに緑の背景で5つ、円柱状のものが並んでいます。これはペレットというもので、高速炉の場合はちょっと小さいんですが、軽水炉燃料だと直径1センチ、高さ1センチぐらいのこういった円柱状の焼結体になります。これをペレットといいます。酸化物を焼き固めたものです。

その下にあるのが燃料スラグ。これは、この絵でいくと長細い金属の棒が見えていると思い

ますけれども、これは燃料スラグといいます。棒状と書いています。

それと、右側に顕微鏡の写真があるんですが、これは粒子燃料ということで、大体これは数百ミクロンとか数十ミクロンとか、それぐらいの大きさのきれいな球状の粒です。これは粒子燃料。さらに、この粒子燃料の表面をいろいろなものでコーティングするというような考えもあって、被覆粒子燃料というようなものもあるんですけども、こんな形でペレット、スラグ、あと粒子というところで、代表的な3つの形態があります。

これについて、どうやってつくるのかということも含めて、もうちょっと詳しく説明していきます。11ページをごらんください。

これは当然、これは当たり前なんですけれども、形状が変わるとつくり方も変わります。当たり前なんですけど、それぞれの形状に特化したつくり方があって、その辺りもよく考えておく必要があるよという話を今からします。

ここでは製造プロセスを3つ挙げてきています。①粉末冶金法、②射出鑄造法、③ゲル化法、この3つです。これをそれぞれ今から説明しますが、粉末冶金法というのは、原料粉末をぎゅっと圧縮して、それを高温にさらすことで焼結する方法です。これはペレットをつくるのに非常に適した方法です。射出鑄造法というのは、大体石英の管を今回使っているんですけど、溶けたものを石英の管の中に圧力差をうまく利用してぐっと入れ込んで、そのまま固めるというような方法で、これは金属燃料スラグをつくるのに適した方法です。あと、ゲル化法というのは、ウランやプルトニウムが溶けた溶液を、ある特殊な溶液の中に液滴をぽたぽた落とすんですね。ぽたぽた液滴を落とす。ぽたぽた液滴を落とすと、その液滴の状態です。この固まったやつを焙焼、乾燥焙焼して粒をつくるという方法、こういう方法があります。

それぞれ、もうちょっとだけ詳しく説明します。12ページをごらんください。

12ページは、これは粉末冶金法の製造プロセスの代表的なものを出してきています。これは字が細かいので一々言いませんけれども、粉末を混ぜて固めて焼くというだけの話なんですけど、これはなかなか大変で、非常にこれは難しいです。例えば、これは酸化物なんかだとよく言うのがO/M比というんですけども、金属と酸素の比。これは普通酸化物だと $UO_2$ とか $PUO_2$ とか2になるんですね。ところが、この2にぴたっとそろえる、あるいは設計上1.95ぐらいが必要なんですけれども、その1.95ぐらいにぴたっとそろえるということが非常に難しくなってくるというようなところで、ノウハウがこういうところに詰め込まれているわけです。そういうところで製造プロセスを最適化して、新しい製造プロセスを考えるみたいなものが研究開発の大きな重要なポイントになってきます。

ここに書いてある左が現行プロセスで、右が簡素化プロセスと書いているんですけども、将来的に、例えばこれもちょっとまだ専門的になるんですけども、マイナーアクチニドというようなものをまぜ込んだような燃料をつくらうとしたときに遠隔操作が必要になる。マイナーアクチニドって発熱量が高かったり放射能が高かったりするんで、近くで扱えないから遠隔操作が必要になるんですが、この遠隔操作に適したようにいろいろなプロセスを簡素化していくというようなプロセスというのが、これは研究開発の対象になっていて、もしこういうものがきちんとできれば非常にいいなというふうに思っています。粉末冶金法、そういった、要は粉末を焼き固める方法なんですけど、いろいろ大変だよというところがちょっとご理解いただけたらなというふうに思います。

次は13ページ。

13ページは、これは金属燃料をつくるプロセス、射出鑄造法という方法を絵でまとめたものです。これはさっきも言いましたけれども、石英の管の中にウランとプルトニウムとジルコニウムがどろどろに溶けた金属の融体があるんですけども、そこに石英管をすぼっと上から突き刺しまして、圧力差をかけることによって中の金属がズズズと上がっていき、筒の中に入っていきます。入ってきたやつをそのまま冷やして、あと周りの石英管を取ってやると細い金属の燃料体ができるという、そういう手法です。右下にあるこの写真は、これは石英管の東の外観で、この後石英管を取り除くことによって金属のスラグというものを取り出すことができると、そういう絵になっています。

次、ゲル化法ですね。これはさっきも言いましたけれども、ぼたぼた落として、これもいろいろ段取りがあって、いろいろ大変なんですけれども、最終的には数百ミクロンとか数十ミクロンの粒、これは特に酸化物の粒子とか窒化物の粒子をつくる時に、こういった手法が使われています。

次は15ページ、これはペレットとか、あとスラグだと被覆管の中にすぼっと入れるという、何となくすぐ直感的に理解できるんですね。ぱぱっとペレットだと入れていったらいいし、スラグだったらずぼっと入れたらいいし、じゃ、粒子をどうやって入れるのという話なんですけど、粒子は振動充填ということで、振動を与えながら充填していきます。これはうまく振動を与えなかったらすき間だらけになって、余りよくないんですね。やっぱり密度が高いと言っていたのは、まさにその話で、すき間だらけになるとよくないから、うまくすき間を埋めながら上手に充填していく方法があって、こういう手法というのが研究開発の対象になっています。これ、絵の中では左側はきれいな粒なんですけど、きれいな粒じゃない、丸じゃない、球じゃないよう

な粒々燃料もあって、それも同じような研究開発が進められています。

16ページをごらんください。

こういった背景のもと、国内外の高速炉では、じゃ、一体どういった燃料が使われているのかというのをまとめてきたのが、これから3つスライドが続きます。

まず、この16枚目は米国、英国、フランス、ロシアということで、過去から現在、未来にわたって、今こんな高速炉が考えられていて、そこではこんな燃料が使われていた、あるいはこれから使われようとしているというのをまとめてきています。酸化物、金属、窒化物、炭化物とあるんですけども、ここは特に注意書きがない限り、形状は酸化物、窒化物、炭化物は焼き固めたペレット、金属はスラグになっています。丸がついているのがその対象となっているということで、この絵を見ると、やっぱり酸化物というところがよく使われているのかなというのが事実としてご確認いただけるかと思います。

次、17ページ。

17ページはインドと中国の状況です。インドと中国に関しては、酸化物と、それと将来炉です。これから2025年とか2030年とか、ちょっと先の高速炉というのを考えたときには金属というようなものも対象となっているということが、この絵からわかります。あと、古くは炭化物みたいなものも使われていたというような絵になっています。

18枚目、じゃ、我が国はどうか。我が国は、皆さんご存じのとおり高速炉、常陽ともんじゅがございまして、2つとも酸化物、MOX燃料というものが使われています。MOX燃料ペレットというものが使われています。

こういった形で燃料をまとめましたが、高速炉燃料開発ということで、これから開発していく必要があるんですけども、まず高速炉開発ってものすごく大きな事業なんですけど、その中で燃料ってどこにあるのかというのをまとめたのが、この19枚目です。もちろんこれ、燃料以外にもいろいろなことをやるので、そういったものを全部取っ払って、燃料と最終的な原子炉建設というところだけしか残していないんですけども、要は、この絵を見ていただくと、左から右に、これは時間の流れなんですけれども、言いたいことは、燃料開発というのは結構研究開発の上流の側にあって、まずここをきちんと押さえなければ次に進めないよということが言いたい。それぞれの燃料開発、あと、①燃料開発、②燃料製造施設の建設から実際の製造、③が原子炉の建設というふうに書いていますけれども、それぞれのプロセスでそれぞれの段階があって、その段階を一つ一つ上って行って、それぞれのプロセスでうまく完成させて、かつ①と②は連動しているし、①の成果は③で使うみたいな形で複雑に絡み合っています。かつ、

燃料というのは結構上流にあるということが、この絵からご確認いただければなというふうに思っています。

じゃ、実際に私の専門としている燃料開発、この①のところですね。①のところをもうちょっとだけ詳しく述べたのが、次のスライドになります。20ページです。

これは高速炉燃料開発の流れということで、まず燃料製造技術開発というのが左側にあります。その次に基礎物性試験というのが真ん中にあります。右側に照射・照射後試験というものがござります。こういった左から右にどんどん流れていきます。

燃料製造技術開発というのは、燃料をつくっていくんですけども、例えばつくった燃料がどんな性質を持っているかというのはきちんと理解しなければならなくて、それは、その次のステップの基礎物性試験で理解するんですが、そのための試験試料をつくるというのも、この燃料製造技術開発の中には含まれます。また、最終的に照射・照射後試験というところまで持って行って、実際に試験片を照射するんですけども、実験炉で照射したりして、それで状況を確認したりするんですが、そういったところで使うための小規模の製造試験というのもある必要があります。さらに、さっきの簡素化ペレット法みたいな形で、将来を見通した上で、こういった新しい製造手法というのを考えていく必要があるというところの研究開発もあるということで、この燃料技術開発というところは、小さいところから大きいところまで広く考えておかなければならないというのがあります。

真ん中の緑のところは、これは実は私の研究のターゲットになるところなんですけれども、燃料というのがどんな性質を示すのかなというのがちゃんとわかっておくというところは当然ある。

そして、これは次のページをごらんいただきたいんですが、次は21ページ、これは20ページからの抜粋なんですけれども、照射・照射後試験というのがすごく重要になります。これ、やっぱり燃料ペレットを実際につくって、これは熱伝導率とかかたさとか融点とかをはかるんですけども、はかっただけでは、やっぱりこれは実際に原子炉の中でどんな挙動を示すのかというのは外からわからないんです。やっぱり小さい炉でもいいから、あるいは小規模でもいいから実験的に原子炉の中に放り込んでやって、そこでデータをとって、きちんとその状況を把握してということをする必要があります。これは照射・照射後試験というものです。これでうまくデータをとって、さらに反映させてとくるくる回して最適化して、やっとなんか大量生産して実際の原子炉の中に入れていこうと、そういう段取りが必要になってくるんですけども、そのためには、この照射・照射後試験というところが非常に重要になります。もちろん計算機

シミュレーションなんかをうまく活用して、できるところ、できないところというのをうまく見極めながら、うまく回していく必要があるんですが、この照射・照射後試験というところをこれからどうしていくかというところは非常に重要です。現在日本には実験炉常陽というのがあって、そこで照射試験、照射後試験というのをできる環境というのがあって、今、再稼働に向けていろいろ調整中なんですけど、やっぱりここをやるためには常陽の再稼働というのが非常に重要で、私自身はそこに本当に大きな期待を寄せています。

最後、22ページ。

時間がちょうど来たぐらいなんですけれども、「まとめにかえて」ということで、今回、核燃料の種類と性質と研究開発についてまとめてきました。じゃ、これから我が国の核燃料に関する研究開発に求められることって何かなということ、私、大学人なので、大学からの視点ということで3つ挙げています。

1つは、まず工学規模での着実な技術開発推進と、これは業界としてやる必要がある。燃料の点でいくと、燃料製造とか基礎物性とか照射・照射後試験というのをできる環境というのを整える必要があるというのがまず1つです。それともう一つ重要なのが、こういった大きなプロジェクトを進めようとするときは、ここに書いている目標と、それを達成するための計画というか段取り、やっぱり、ちゃんとこれがなければなかなか技術開発というのは推進できないので、そこは何か目標、計画があればいいなというふうに思っています。

2つ目、これは基礎研究を通じての研究力強化という、これは大学ならではかもしませんけれども、核燃料という、結構伝統的な研究というか、最先端というのがなかなか入り込みづらい研究かなというふうに思うんですけども、そうはいつでも、やっぱりいろいろな形で最先端の知見を取り入れて、その研究力を強化することが重要なというふうに思っています。どうすればいいのかというのはなかなか難しいんですけども、やっぱり研究力強化という、例えば日本から核燃料に関してこんないい論文がたくさん出ているというようなのが積み重なってくると、例えば国際的な場ですごく発言力が増すとか、外国のそういったところから一目置かれるとか、結構そういったところが重要なのではないかなと僕はずっと思っていて、やっぱり研究というところはきちんとやっていく必要がある。

あと、持続と発展で、これも当たり前なんですけれども、人材育成と、特にその中でも大学における原子力教育ということで、これは大学、私どものところは核燃料を実際に使った研究指導ができるんですけども、それができる大学というのは、もう日本に1つか2つぐらいしかなくて、だからそれをふやせばいいのか、あるいはそこをもっとどうするのかというところ

は、これからよく考えていく必要があるんですが、そういったところが大事になってきます。

ということで、まずこの3つをやることで、高速炉開発において我が国が世界をリードすることが十分可能だと考えるんですけども、ただし、そのためには時勢を見きわめて適切な対応をとることが重要だ。当たり前なんですけれども、そういうふうに思っています。

以上です。

○村瀬部長

黒崎先生、ありがとうございました。

高速炉燃料に関する基本的な情報から始まって、国内外における開発状況、それから、高速炉開発においては炉開発とあわせて燃料開発が一体であるというような点や、常陽等の設備を使った照射試験といったことが大変重要である。それから、技術開発推進、また、そのための施設をしっかりと整えていく必要がある。それから、そのための目標と達成計画、これが大変重要であること。それから、基礎分野においても新たな分野の積極的取り組みを通じた研究力の強化が必要であること、それから人材教育、原子力教育の重要性、この分野においても大変重要であるということ。こういったことに取り組みながら、我が国は十分高速炉開発において燃料分野でリードしていくポテンシャルを十分持っている。ただ、他方でこういった取り組みが不可欠であるといったようなことをご指摘いただきまして、大変わかりやすいご説明をいただきました。ありがとうございました。

質疑は、次のプレゼンテーションとまとめてやらせていただきたいと思いますので、引き続きまして長岡技術科学大学の鈴木教授から、資料2を用いて高速炉の使用済み燃料の特徴や再処理の課題、それから高速炉の燃料再処理に関する研究開発や技術、人材の現状などについてご説明いただきたいと思います。それでは鈴木先生、よろしくお願ひ申し上げます。

○鈴木教授

長岡技大の鈴木です。早速始めさせていただきます。

それでは、まず2ページ目、私の発表の概要なんですが、まず最初に核燃料サイクルにおける高速炉の意義を述べさせていただきます、特に再処理する場合、使用済み燃料というのがどういう特性があるかということをやはり知らないといけませんので、それにつきまして少々詳しく目に説明をしたいというふうに思っております。

それから、MOX燃料再処理の現状ということで、国内外、特に海外も含めてどういう状況なのかというのを簡単にまとめさせていただきました。

引き続きまして、我が国はどのような技術開発が行われているかということ、これも簡単

なんですが説明させていただきまして、その後、こういう核燃料再処理の人材育成と技術伝承について、いろいろ課題がありますので、それを述べさせていただきまして、最後にまとめということで進めさせていただきたいと思っております。

次の3ページ目、見ていただきまして、まず再処理の目的。これ、今さらではあるんですが、どういことが目的になっているかということの説明させていただきまして、もともと再処理といえますのは、ウランとプルトニウムの核燃料を再利用するための回収である。資源の有効利用ということですね。それがまず第一義でございます。

また、もう一つ、これも当初からなんですが、これらの核燃料からFPを除去する。核分裂生成物を除去する。要は1番というのは利用するもの、核燃料、2番は使えないものといえますか、それを取り除く。取り除いたものはそのままでは高レベル廃液になるんですが、これを長期貯蔵に適した安定な形態、実際にはガラス固化体ということになるんですが、こういう形に持っていくというのが重要なミッションということになっております。

ただ、近年、さらに考え方というのが、この後者のほうが大きくなってきておまして、廃棄物の処理・処分といった問題が非常に高まっております。それで、現在はMAリサイクルといえますか、マイナーアクチニド、こういったものを取り出して処分といえますか、核変換させようとか、あるいは群分離ですね。特に分離・変換はMAが中心ではあるんですが、そういったもの、さらに有用元素が利用できないかとか、そういったような新たなものも現在は加わってきているというのが現状であります。

では、その次のページに行きまして、ここで核燃料に使うウランとプルトニウムの流れというものを私なりにまとめましたので、ちょっと見ていただくと、まずウランは天然ウランからありまして、これは同位体比、同位体組成を示してございます。天然ウラン、0.7%ウラン235が含まれておりますが、これをウラン濃縮をして燃料として使えるものにする。これは右の流れになります。そうすると濃縮ウランということで、3から5%のウラン235とウラン238、残りですね。それでバランスするというものが濃縮ウランということになります。

他方、濃縮しますと全てが濃縮されるわけではありませぬので、そうすると劣化ウランといまして、天然比よりもウラン235の比率が下がったものというのができます。これが劣化ウランというものになります。

また濃縮ウラン側に戻っていただきまして、これを原子炉、軽水炉の中に入れて燃料として使用する。そうしますと使用済み燃料ということになります。使用済み燃料は、再処理しますとウランとプルトニウムを取るだけではなくて、比率の関係からウランだけを回収する回収ウ

ランというものも出てきます。回収ウランは、現在はまだ利用されていませんけれども、再濃縮する。これは回収ウランのウラン235のパーセンテージを見ていただきますと1から2%ということで、天然ウランよりも235の比率が少し高いというのが特徴でございます。あと、次のページで説明しますが、実はそれ以外のウラン236というのもできるのが若干問題ではございます。

またちょっとMOX燃料側に戻していただきますと、プルトニウムを取ったもの、これを、MOX燃料として原子炉に戻す。そうしますと、これがいわゆるプルサーマルということになるんですが、その状態で利用するというのです。こうしますと取り出したものを利用できるわけなんです、これも何度も繰り返すことができるわけではないので、限界はあります。その横に高速炉を加えますと、これは再処理をして繰り返すことができるのと、もう一つ大きなところは、先ほどウラン濃縮のときに出てきました劣化ウランをブラケットというふうに言われているんですが、それを高速炉の炉心の周りに置くことによりまして、これをプルトニウムをつくるための原料に使える。そのような形で劣化ウランも利用することができる。これを入れて再処理を繰り返すことによって、このウランを有効に利用することができるというのが非常に大きなところ。また、高速炉を加えるということで、この全体のサイクルができることによって、余分なプルトニウム、またウランというものを生じさせないというのが非常に重要になるというふうに思っております。

次のページ、5ページ目に移らせてもらいますが、使用済み燃料の基本的な組成を示したものです。特にこのアクチノイド、ここではウラン、ネプツニウム、プルトニウム、アメリシウム、キュリウムというふうに示させていただきました。実際、使用済み燃料に含まれているアクチノイドというのは、この5種類ということになるんですが、同位体組成も含めて示させていただきました。

見ていただくとわかると思うんですが、この大部分はウランになります。ですから、このウランを取るというのが非常に重要でして、ウランと、それからまたプルトニウム、これを取ることによって、使用済み燃料から大体95%ぐらいの部分が減って、大幅な廃棄物の低減が可能になるというのが重要なところでもあります。

先ほども少し述べましたが、使用済み燃料では天然になかったウラン236が生じる。これが若干問題でございまして、このウラン236というのは中性子を吸収する断面積が少々高くございまして、その結果、これが高くなってきますと、連続的に軽水炉を使うのは難しいというような問題もございます。

この使用済み燃料の組成につきましては、また後ほど説明させていただきますが、これを見ていただいて、まず頭の中に入れてもらいたいのは、ウランというのが大部分を占めているということを理解していただければと思います。

では次、6ページですね。

これは使用済み燃料の潜在的な有害度というものを示したものでして、余りきれいな図ではないんですが、下の図の横軸は、これは年になっています。これが長期にわたっていろいろな潜在的な毒性、有害度というのが減衰していく様子を示しているんですが、見ておわかりかと思いますが、実はこの潜在的な有害度の大部分を占めているのがプルトニウムということになります。このプルトニウムを取り除くと、毒性といいますか、有害度の観点からも非常に大きく有益なことになる。さらに、このマイナーアクチノイドですね。これは先ほどのアクチノイドの中のアメリカシウム、キュリウム、それからネプツニウムということになりますが、特にアメリカシウム、キュリウム、こういったものも取り除きます。これは赤で示しているんですが、大幅に有害度が低減する。プルトニウムでマイナーアクチノイドを取り除くということですね。そうしますと、先ほどのところで、まず再処理を行うと、そもそもウランとプルトニウムを取り除くと、大部分の量的な面でも減少して、かつ、この潜在的な有害度——これは放射性毒性に関するものなんですが——も大幅に低減するというので、再処理というのはこういう役割を持っているんですよということになります。

次のページを見ていただきますと、それでは、原子炉としてPWR、軽水炉を使った場合と、SFRと書いてありますが、このSはソディウムでして、いわゆるナトリウム型の高速炉を使った場合というふうになります。そういったときに核分裂を起こす比率というのはどれぐらいあるのかというのが、このグラフで示しているものです。青いのが軽水炉、PWRですので、この比率というのは、中性子で核分裂を起こすものと吸収をするものの比率を足し合わせたものに対して核分裂はどれだけかというものを示した図です。高速炉というのは赤なんですが、これを見ると明らかにわかると思うんですが、全てのアクチノイドにおきまして高速炉を使うと核分裂の割合がふえるというのが非常に大きな特徴になります。

このプルトニウムなんかを見ていただきますと、特に軽水炉、PWRではプルトニウム239と241というのは非常によく核分裂を起こすんですが、238、240、242といたしました偶数の核種というのは、この核分裂をほとんど起こさないんですね。ただ、高速炉にすると、特にプルトニウム238なんかを見てもらうと明確かなと思うんですが、核分裂を起こすようになるということで、高速炉においてプルトニウムが燃料になるんだと、逆に言いますと軽水炉では燃料に

ならないというようなどころが大きな違い。そのほか、マイナーアクチノイドのほうのネプツニウム、アメリシウム、キュリウムといったものも非常に核分裂を起こしやすくなるというのが、この高速炉を使った特徴ということになります。

それでは次のページに行って、まずこの意義のまとめなんですが、核燃料サイクルにつきましては、資源の有効利用のみならず廃棄物の減容の観点からも重要であるというふうに考えております。また、高速炉を加えることによりましてアクチノイドの有効利用が可能になるということ。特に核分裂を起こしやすくなるということですね。このことによってさらなる廃棄物の減容化、あるいは有害度の低減というのが可能になるということで、高速炉というのはサイクルにとって非常に重要な役割を持っているんだというふうに私は思っております。

次のページから、では、実際、使用済み燃料の比較ということをしてほしいというふうに思っています。ここではどんなものを比較したかというのを表で示していますが、LWR、これは軽水炉ですね。軽水炉の45G、60Gと書いてあるもの、これは燃焼度を40GWday/tというものだと60GWday/tというのが45G、60Gということで、あと、さらにLWR-MOXというのは、これは軽水炉でMOX燃料を使った場合ですね。その場合で燃焼度はちょっと低目に45GWday/tというものを使っています。それに高速炉のMOX燃料、FR-MOXですね。これは大体80GWday/tという燃焼度。さらにマイナーアクチノイドが入ったMOX燃料、FR-MAというもので、これは本当に燃焼度が高いですね。150程度の燃焼度のもの、こういったものを比較したもので示してほしいというふうに思っております。

では、次のページをお願いいたします。10ページ目ですね。

使用済み燃料中のアクチノイド核種の重量組成ということで出しているんですが、ぱっと見てなかなかわかりづらいのかもしれませんが、使用済み燃料のアクチノイドの量というものの組成は、装荷した燃料に非常に大きく依存します。UO<sub>2</sub>なのかMOXなのかということで、プルトニウムが入っているのかということで当然大きく違ってきまして、MOXであれば当然プルトニウムの割合が多いので、プルトニウムの割合が大きくなりますよということですね。

それから、高速燃料はプルトニウムの富化度が高いので、やはりプルトニウムが多くMA含有量が多くなります。この特徴を、高燃焼度にするとアクチノイドの量は減少する方向にあります。それは燃料として使われますので、使われた分だけ減少しますということになります。

では、次のページに行ってもらいまして、では、先ほどのところでプルトニウムの同位体の組成はどうなっているかというのを示したものです。まず、この軽水炉の燃料を見てもらうとわかると思うんですが、燃焼度45ギガワットのものだと60のものを比較しますと、核分裂性の

239や241の割合が減っている。それは使われるとといいますか、燃焼度が高くなると、そういったものは減少する方向にあります。

さらに、MOXを使用しますと、これはプルトニウムを燃料としますので、当然軽水炉では減っているという状況になります。これは何を意味しているかといいますと、MOX燃料の使用を繰り返すとプルトニウムの核分裂性のものが減っていきますので、それを再処理を繰り返し繰り返ししていくという場合は、この核分裂性のプルトニウムの割合が重要になりますので、トータルとしてのプルトニウム量をふやすとか、そういう方向に進まざるを得ないので、やはりこれは軽水炉だけではなくて、高速炉を加えていかないとなかなか難しいということにもつながっていくということになるのかなというふうに思っております。

では、次のページ、12ページ目をお願いいたします。

これは使用済み燃料中のマイナーアクチノイドの重量組成を示したものになります。これは高燃焼度化とかMOX燃料使用によりまして高次化が進む。高次化、要はより重いアクチノイドのほうに移行していくという傾向があります。したがって、よりアメリカウムとかキュリウムなどの割合がふえていく。つまりMAの量は増加していくという傾向にあります。

13ページ目、お願いいたします。

先ほどまではアクチノイドでしたが、今度は核分裂生成物、FPの観点から見てみますと、FPの総量というのは燃焼度に依存します。ですから、MOXであるとかUO<sub>2</sub>であるかというよりは、どれだけ燃焼させたか、核分裂が起きたかによりますので、この量というのは燃焼度に依存する。MOX燃料を用いると何が変わるかなんですが、MOX燃料を用いますと白金族元素がふえるという傾向にあります。ちょうど色を変えて示していますが、こういった傾向があります。これは、核分裂の傾向として重いものを核分裂した場合に、核分裂の収率というのは2つピークができるんですが、軽い側のピークの内側がふえるという傾向がありまして、それを如実にあらわしているものになります。これがふえますと、白金族元素は使用済み燃料を再処理するときに当たりまして溶解しづらい。不溶解残渣、溶け残りを起こすものになったり、あるいはガラス固化体の中で金属、あるいは酸化物として積集するなどの、そういった問題を起こすようなものになります。

次に14ページを見ていただきますと、では、先ほどは重量組成だったんですが、放射能の組成から見るとどうなっているのかなというものです。これを見ますと、ストロンチウム90、これは黒く示していますが、その上にイットリウム90というのがあります。このイットリウム90は、ストロンチウム90からできる非常に半減期の短いものでして、ストロンチウム90とイッ

トリウム90というのはまとめて、これはストロンチウム90の仲間だと思っていただければ結構でございます。

また、もう一つ、緑で示しましたセシウム137、それからバリウム137m、これも、バリウム137はセシウム137から派生する短半減期の娘核種ですので、これらを考えますと、やはりFPによる放射能というのはストロンチウム90とセシウム137が非常に大きい。アクチノイドに関しては、プルトニウム241というのが放射能にとっては非常に大きく、これはMOX燃料を使いますと、どうしてもこの241の影響が大きくなるというのが示されています。

では、次に15ページ目、次は発熱の観点から見てみます。これは全体を見て非常にわかりやすいのは、MOX燃料、アクチノイドの影響というのは、時間がたってもそれほど減衰することはないです。これは半減期が比較的長いものが多いでございますので、アクチノイドというのは時間がたっても、冷却期間をおいてもそれほど減らない。片や核分裂生成物というのは、最初のころは非常に大きな熱量を持っているんですが、ずっと減っていく傾向があります。

発熱の推移ですね。これも、まず核分裂生成物だけにしたもののなんですが、これは先ほどの放射能で示したものとほぼ同じような形でして、セシウム137、ストロンチウム90というのが熱源になっています。これは軽水炉でも高速炉でもほとんど変わらないですね。

さらに次のページに行ってもらいまして、ではアクチノイドではどうか。アクチノイドでは、プルトニウム238、これが熱源としては非常に大きい。それからアメリシウム、キュリウムからの影響というのが非常に大きい。プルトニウムは、238は重量組成で見ますとそれほど大きな割合ではないんですが、熱という観点から見ますと非常に大きな影響を持っているということがわかるかなというふうに思います。

では、次のページをお願いしたいと思います。

今までこの使用済み燃料を見てきたんですが、高速炉使用済みのMOX燃料ですね。これが最初にどういう課題があるかということをごここでまとめさせていただきますと、まず、この高速炉使用済み燃料というのはプルトニウム含有率の高いMOX燃料を使用することと、高速炉は基本的には高燃焼度であるということが重要な特徴ということになります。MOX燃料を使用することによりまして、プルトニウムの含有量がふえますのでMAの発生量がふえます。燃焼度ですね。燃焼度が高くなると、これは発生する核分裂生成物の割合がふえる。またこれもMAの量もふえるという傾向があります。そうしますと発生する放射線や熱量が増加します。さらに白金族元素がふえる。先ほど説明しましたように、モリブデンとかジルコニウムといった、そういったものもふえます。白金族元素、モリブデン、ジルコニウム、こういった

ものは不溶解残渣のもとになりまして、再処理において非常に大きな影響を持っているということになります。

このMOX燃料の使用と燃焼度が高くなることによって、放射線による溶媒劣化の対策が重要になります。また、不溶解残渣の除去ということで、清澄工程の高度化、効率化というものも重要になってきます。線量や熱量の増加によりまして、溶媒のほうだけではなくてプロセス全体の負荷もふえると、そういったものの対策が重要になる。プルトニウムの含有量が増加するというのも非常に重要でして、また、これ、同位体組成のプルトニウムの含有量だけではなくて、高速炉の場合は239の割合が高いという影響があります。これらの影響によりまして、臨界管理というのが非常に重要になります。また、プルトニウムがふえますと、ウランのみよりも実は酸への溶解が難しいという、そういった問題がありまして、溶解性能を維持すること。それから、先ほどのプルトニウムの同位体組成、プルトニウムの量がふえるということで、核拡散抵抗性を強化する必要があると、そういったような課題が再処理において出てきます。

次のページに行きますと、では、MOX燃料再処理、現状はどうなっているかということの説明させていただきます。これは高速炉のみならず軽水炉の燃料も含めた形になります。

まず使用済みMOX燃料の再処理はフランス、ドイツ、日本、ロシア、イギリス、それからインドでも行われています。これらはプラントを使ってプラント規模で試験的に実験が行われています。ただし、このMOX燃料単独で大量処理された実績はないということですね。

実際どういうことかといいますと、次のフランスの例で書いてありますが、フランスは処理量をふやしてきましたが、燃焼度も増加させたものを使っています。しかしながら、燃焼度はただか50ギガワット程度のもので、最初はもっとそれよりも半分以下のものを使って行っている。さらに、MOX燃料だけではなくて、ウランを加えて使用済み燃料を希釈しています。希釈して核処理量を制限、つまり処理量を少な目にして運転を行っている。これは使用したプラントが通常のUO<sub>2</sub>、ウラン酸化物燃料を再処理するための工場なので、そこで使えることができる仕様に合わせているということが重要です。つまり、そういう意味では、そういう条件に戻しているの、ある意味再処理できて当然のような状態になっているということです。

ロシアでは、比較的高燃焼度のものを使用した再処理をしています。ただし、これも13年から20年といった通常よりもかなり長目の冷却期間をおいておりまして、かつ、抽出剤の濃度を下げる。下げることによってプルトニウムの抽出量などを調整している。これは臨界管理という観点で、こういうようなことをして、やはりこれもフランスと似ているんですが、違う手法

でもって臨界管理や濃度調整をして試験をしていると、そういった状況です。これはほかの国もやはり変わらないというか、そういったような状況でございます。

次のページですね。

これまでの軽水炉燃料の再処理では、ウラン燃料との希釈や処理量を制限して実施している。したがって、その範囲の運転処置におきましてはプロセスや安全上の大きな問題は報告されていない。これは、そのように通常のウラン燃料を使うのと同じような条件にしているからということです。ただ、MOX燃料を商業プラントの規模で考えますと、やはりMOX軽水炉におきましても単独で大量処理を行うということが望ましい。その場合は、やはり放射線、熱、残渣、その発生量がふえる。さらに臨界管理という面での開発もする必要がある。それが課題であるというふうに考えています。

軽水炉高燃焼度MOX、あるいは高速炉MOX燃料の再処理を見据えますと、再処理後の高レベル放射性廃液に含まれるMAや白金族元素が増加します。これがガラス固化体の地層処分負担を軽減するためにMAを分離する技術というのも今後、開発をしていく必要があるだろう。さらに、ガラスの固化のプロセス、これも高度化をしていかないと、ガラス固化体がつくれないうということも生じかねない。こういったものがありまして、やはり日本以外でも多くの国で研究開発が行われているのが現状でございます。

一部の国では高速炉MOXの施設計画もあります。ただ、現状では高速炉だけではなくて、軽水炉の使用済みMOX燃料の継続的な再処理の計画というのは、まだどこもないというのが現状です。まだまだ課題があるというふうに考えております。

では、次のページで、それでは我が国においてはこういった再処理技術の開発が行われているかというのをまとめさせていただきました。

再処理の技術といいますと、実はこの再処理の技術というのは非常に幅広うございまして、全てをここで網羅することはできないので、その一部だけをちょっと説明させていただくというような形になります。

まず使用済み燃料、先ほどに黒崎先生のお話にもありましたが、この集合体ですね。ラップ管に入ったものがあります。これも軽水炉と大きく形状が異なりますので、ここから燃料棒を取り出して処理するというのも大きな課題になります。こういった部分ですね。ラップ管をどのように取り外すかというのがいろいろ検討されて、開発を実施されているという状況です。

これを分けると、次に燃料を溶解する必要があるんですが、これもやはり臨界管理というのが課題にありましたように、溶解のところでは初めて固体だったものを水の中に入れる。水の

中に入れますと、この臨界管理というのは空气中よりも非常に難しくなりますので、この形状的な問題だとか、形状的な問題を解決しつつどのように溶かすかというのが問題になりまして、図で示してありますのが回転ドラム型の連続溶解槽といった、そういった機械の開発なども行われている。

こういったものですね。これは現在、ウラン試験はこれで実施しているというふうに私は伺っております。ただ、このピーカースケールでプルトニウムが大量に入ったようなものを実際の常陽の照射済み燃料で溶かす条件なども検討しているというようなことがいろいろなところで発表されているようです。

清澄工程ですね。先ほど課題で言いました残渣ですね。溶解残渣が大量に発生する。それらを取り除くということが非常に重要でして、次の抽出工程に持って行く前に不溶解残渣、いわゆる固体状の物質を取り除かなければ抽出工程に進めませんので、そのための遠心清澄機ですとかフィルターなどの研究開発も行われております。

抽出工程というのが、実際に再処理のメインの工程になるんですが、これも溶媒の劣化というのをどのように防ぐかというのが非常に大きな課題になっておりまして、抽出機自身をかえて、遠心抽出機といったもので溶媒と核種の接触時間を少なくして防ごうと、そういったようなことも研究開発されていますし、また、再処理自身、アクチノイドをまとめて取るだとか、あるいは効率化を目指して新しい抽出剤を開発するだとか、そのほか、さまざまなことがこの抽出工程では研究開発がなされています。

先ほどMA分離についても述べさせていただきましたが、MA分離ですね。これは日本だけではなくて、実は世界的にも、このMAを分離するというのが非常に大きな課題になっていて、新しい抽出剤の開発、あるいは分離手法、例えばこれは抽出クロマトグラフィだとか、そういったようなものが研究されています。この右に書いたHONTAと呼ばれているのは、近年、これは原子力機構さんが新しく開発したもので、このような新しいものも次々に開発された。この抽出剤に関しましては、本当にさまざまところで新しいものが出ていて、本当に世界で争っているというところで、日本はその中でかなり先端を走っているというふうに私は思っております。これが我が国の現状ということになります。

これは、私も、特に大学人として人材育成と技術伝承の課題というのをちょっとここで示したいなというふうに思っています。

これは、先ほど黒崎先生もおっしゃられましたが、核燃料使用施設というのが大学において非常に使える場所が減っているというのが大きな問題になっています。特に核燃料とMAを含

むR I が同時に使用できる施設というのは本当に少なく、ほとんどないと言っても過言ではない、そういう状況にあります。とにかくこれは、大学ではプルトニウムをマクロ量で使えるというのがほとんどない。これ、皆無と言ってもいいですね。少量は使えたりする施設もありますが、本当にマクロ量というのはいないです。ただ、こういったものを現在大学で個別で運営するのは難しいなというふうに考えられます。

これは、実は原子力学会におきまして、こういったことが問題視されておりまして、原子力学会の前の会長でありました東大の上坂先生などが中心になりまして、この対策を何とかしなくてはいけないなという話が出ております。現在、私もそのメンバーに入っているんですが、実際個別でつくるのは無理なので、いろいろなところを集約化して、例えば何らかの大学共同利用施設を設置するだとか、そういったことが必要ではないかというような議論が今現在されているような状況でございます。これは大学における大きな問題になります。

次ですね。ここも私は非常に重要だと思っております、大学、研究機関、実際は原子力機構さんですね。さらにメーカーさん、そういったような三者の連携を非常に強化するべきである。当然三者、役割は違いますので役割分担をしつつ共同研究、あるいは相互利用、研究者の交流といったもので連携を強化しながら人材育成をしつつ、今までメーカーさんが培ったもの、大学などで行っている基礎的なもの、そういったものも含めて伝承していく必要があるのではないかなと思っております。

次は、もう少し別の次元といいますか、もう実際に近いものなんですが、東海再処理工場を廃止されることになりましたが、ここで培われた技術は、ぜひ伝承してもらいたいと思っております。今でも原子力機構さんと民間といいますか、例えば日本原燃さんなどが協力もされていますが、より協力を強化しまして、東海再処理で培われた技術、あるいはいろいろな課題等もぜひ伝えていって、六ヶ所の再処理工場にぜひ反映していってもらいたいなというふうに思っています。

最後に六ヶ所再処理工場ですね。これはやっぱり稼働をしていただきまして、商業規模での再処理にかかわるデータを蓄積してもらおうというのが非常に重要なこと。現在、六ヶ所の再処理工場はウラン酸化物燃料ですが、こういったもののやはり蓄積が、次の高速炉燃料、あるいはMOX燃料のほうにつながっていくというふうに思っております。そのためにも、まずはウラン酸化物燃料の商業規模での運転、それによるデータの蓄積というのは重要度は非常に高いというふうに私は思っております。

次のページですね。

最後に、これはまとめさせていただきたいんですが、まず、核燃料サイクルに高速炉を導入することによりまして、廃棄物のさらなる減容化が可能になるということ。次、高速炉MOX燃料再処理では、不溶解残渣、放射線量、熱量の増加による再処理工程プロセスへの負荷が問題になります。また、プルトニウム量の増加によりまして臨界管理の強化も重要な課題になります。

MOX燃料の再処理というのは、各国でプラントレベルの試験は行われています。ただ、商業レベルでの運営というものは行われていない。これはさらなる開発が必要であるというふうに思っております。

高速炉MOX燃料再処理に向けてなんですが、これはMA分離を含むアクチノイド抽出・核種分離、さらに再処理用の機器開発等というものが行われています。ただ、これらはまだまだ開発が必要であるということと、これらの技術開発では人材育成、それから技術伝承といったものが非常に重要になるというふうに思っておりまして、これはまだこれからの課題でもあるというふうに考えております。

あと、これらのことを踏まえまして、現在、私の考えを結論という形で示させていただきますと、商業レベルでの使用済みMOXの再処理の方策とか利用方法等につきましては、やはり六ヶ所再処理工場の稼働というのが重要になると思います。こういった稼働状況や、あるいは技術的な課題、この六ヶ所再処理工場の稼働によって、そういった課題がいろいろ出てくるのではないかと、高速炉に向けて見えてくるんじゃないかなというふうに思っています。そういった技術的課題等を踏まえて、引き続き検討及び研究開発を継続していくことが重要ではないかなというふうに思っております。

以上で私のお話を終わらせていただきます。

○村瀬部長

ありがとうございました。

まずは核燃料サイクルにおける高速炉の意義ということで、最後のまとめの中でもご説明いただきましたけれども、廃棄物のさらなる減容化などの意義があり、また新たな役割も出てきているというご説明をいただきました。また、技術開発の課題としては、不溶解残渣、それから放射線量、熱量等の増加による対応、それから臨界管理の強化も必要になるといったような課題もあるということでありまして、また、開発状況としてはプラントレベルの試験は行っているけれども、商業レベルに向けてはさらなる開発が必要となっているということと、それから、今後の開発においては人材育成、技術伝承等が重要な課題になっているといったようなこ

とをご説明いただきました。全体、意義、それから現状、課題、対応の方向性ということで包括的なご説明をいただきました。ありがとうございました。

それでは、2つのプレゼンテーションをいただきましたけれども、質疑に入りたいと思います。ご意見、またご質問があらわれる方は教えていただけますでしょうか。

では、小澤調整官、お願いします。

#### ○小澤調整官

資源エネルギー庁の小澤でございます。黒崎先生、鈴木先生、本日は貴重なプレゼンテーションをいただきましてありがとうございました。それぞれの分野について包括的に、なおかつコンパクトに貴重な情報をいただきましてありがとうございます。それぞれ、現状で気になったところの確認の意味でご質問させていただきます。

まず黒崎先生から、先ほどもご紹介がありましたが、核燃料に関する研究開発の中で、物性試験中心にやられていたり、照射・照射後試験が重要というご指摘がありました。今、常陽がとまっている状態ですので、もちろん周辺の研究開発というのものもあるかと思いますが、照射・照射後試験が、今非常にやりにくいという状況だとすると、これは例えば海外で協力してやられているのでしょうか。現状まだ審査中ということですので、そこはどのようなふうにご質問をさせていただいていくのか、研究をうまくつなげていこうとされているのかというのがご質問です。

また、鈴木先生にお伺いしたいのですが、再処理施設については、東海の再処理施設が今廃止措置の手続に入っています。ここで六ヶ所がまだ動いていないということだと、中核のところは今国内にない状態で、海外でやられているのか、あるいは大学レベルで基礎レベルのことをやられているのか、教えていただければと思います。

それから、鈴木先生にもう一点お伺いしたいのですが、MOX燃料の処理で、先ほどフランス、ドイツの現状についてご紹介がありました。日本でJAEAが1990年代の初頭ぐらいに国内でMOX燃料の再処理を行った経緯があると思うんですけども、これはむしろJAEAのに確認したほうがいいのかもかもしれませんが、その点について、日本のいわゆる研究開発としての実績をご存じであれば、ご紹介をいただければと思います。

以上でございます。

#### ○黒崎准教授

私のほうからよろしいですか。照射・照射後試験、今どうなっているかということで、私の知る限りというか、私の関係するところではいきますと、やっぱり海外に頼っています。例えば

私が関係しているプロジェクトだと、これは核燃料ではなくて新しい制御材をつくろうと、今は $B_4C$ というのが使われているんですが、それにかわる高速炉用の新しい制御材、ハフニウム水素化物というのがあるんですけども、それを研究開発していこうというような、そういうプロジェクトを文科省の原子力システム研究開発事業の中で行っているんですが、そういう新材料開発ということ原子力分野でやろうとすると、やっぱり照射挙動をちゃんと把握しなさいというのがもう必須になってくるんですね。ところが今、日本ではできないということで、海外に頼らざるを得なくて、そのハフニウム水素化物に関しては、ロシアと協力してやっています。ロシアのRIARという研究所があるんですけども、そこうまく連携をとって照射挙動を見えています。

ただ、もちろんそれなりにお金がかかりますし、あと、出てきたデータも、当然それはこっちに帰属するものなんですけど、向こうは向こうでそのデータもちゃんとアクセスして見えるわけなので、結構海外にいろいろな情報が流れていって、私としては何かもったいないなというふうには思っているんですけども、現状それしかないので、今は海外に頼っているということになります。

#### ○鈴木教授

それでは、私のほうから、再処理に関する研究で東海工場が閉鎖されて六ヶ所工場が動いていないということですが、大学等におきましてはやはり基礎研究を行ってまして、少量であれば個別でも使えるようなところもある。ある程度量がふえたり、あるいは核種をふやすような場合は、例えば東北大学の東大洗にあります施設だとか、あるいは京都大学の原子炉実験所だとか、そういったようなところで使うというようなことが行われています。また、原子力機構のプルトニウムが使える施設といったところが、特になかなか大学のほうでは使うことはできないんですが、そういったところでプルトニウムを使うような研究はされているわけなんです。ただ、そこからある程度規模を大きくするというのが、やはり課題になるかなというふうに思っていますね。そこらいかんして工学的なところまでつなげるかというのが、これは大きな課題であるかなと思います。

日本でもMOX燃料を処理した経験があるのではないかとということですが、特に日本ではふげんでMOX燃料を使ったものが再処理、それを使った再処理の試験というのが、やはりこれは原子力機構さんで行われています。これはかなり実績がございます。ただ、やはり燃焼度の問題だとか量的な問題だとかいうことでは、商業的なレベルというのには、まだそれも課題があるのではないかなというふうに思っています。ただ、経験はかなり積んでいるというふう

思います。

以上です。

○村瀬部長

JAEAから補足はありますか。

○青砥理事

今、先生がおっしゃったとおり、しかも先生の19ページ目に書いてありますように、プラント規模で我々もやった。当然そのときニュースになりましたし、一つのサイクルの輪が閉じました。そういうレベルのことまではできていますけれども、おっしゃられているとおりで、大量に処理されて、今継続的にやられているような状態かと言われると、やっぱりそこにはまだ今後の課題が残っているという認識ではあります。

○小澤調整官

ありがとうございました。そうなる、そういった施設の面も含めた研究のインフラというのは、非常に今脆弱になっているというのは、お二人の先生から見ると非常に大きな課題の一つということと理解していいでしょうか。

○黒崎准教授

そのように思います。

○村瀬部長

ありがとうございました。

それでは、武田室長。

○武田室長

黒崎先生、鈴木先生、包括的なご説明をいただきましてありがとうございます。大変勉強になりました。

まず黒崎先生のプレゼンテーションの中で、資料の16ページ、17ページ、高速炉燃料の世界の動向を非常にクリアにわかりやすくまとめていただいております。このページを見て改めて思うのは、フランス、ロシアはMOX燃料に長らくコミットしてきている。アメリカは金属燃料にコミットしてきていて、今計画されていますVTRも金属燃料でいくということクリアです。

他方、17ページを見ると非常に複雑なメッセージだと思うのは、インド、中国は、最初はMOX燃料でいくんだけれども、いずれ金属に移ると宣言をしている。特に中国においては、今MOXをやっている、これから金属になる。しかも、今商業レベルではMOXの再処理施設

をフランスから購入せんとしているような状況の中で、既に金属を視野に入れている。技術的な目線でいうとどういう背景からこういう戦略になってくるのかということがご示唆があればお願いしたいというのが1つ目の質問です。

2つ目が、資料の中で金属燃料とか長所、短所を、9ページの資料で、非常にわかりやすくクリアにまとめていただいて大変勉強になったんですが、金属の炉でスケラビリティ、スケールメリットが期待できないから酸化物に劣るといった評価を確保したというのがある一方で、中国を見ると、CFR1000というのは100から120万ということで、これは金属だとすると、スケラビリティも問題がないようにも見える。この点、純技術的にどういうイノベーションなり革新が行われているのかというのが、もしわかればご紹介いただければというのが2つ目の質問です。

鈴木先生においては、端的に非常にわかりやすくまとめていただいてありがとうございます。使用済みMOXのところ、19ページで、使用済みMOXの再処理の話のところでおまとめいただいているんですが、フランス人のカウンターパートと話をしていると、かなり明確に2周目、3周目もいけると明言しています。確かに大規模実証がないということは事実なんだろうと思いますが、この論点は聞く人によって意見が違ふなどという印象があつて、純技術的にいうと何が課題なのか、端的に教えていただけるとありがたいです。

以上です。

○黒崎准教授

まず私のほうからなんですけれども、酸化物と金属の比較ということになっているんですが、まず酸化物に関しては、これは軽水炉は $UO_2$ 燃料を使われていますし、多分そういう背景から、まずは酸化物でというところからスタートしてというところは、それは理にかなっているのかなと。

あともう一つは再処理の問題があります。酸化物は湿式再処理、そこの連動、金属は乾式再処理というところが出てくるというところで、そのバックエンド側とうまく連動しながら選んでいく必要があるんですけれども、私の理解は、この9ページに書いてあるとおりで、やっぱり金属燃料というのは小さいものと言ったらちょっと語弊があるかもしれませんが、小型のものでいうところではいいのかな、ただ、やっぱり大型のものとなってくるとなかなか難しいんじゃないかなというのは私はずっと思っていたんですが、将来、例えば中国のほうで何でそういうふうになっているのかというところは、すみません、正直私もよくわかりません。ただ、私の考えは、やっぱりいろいろなことを考えると、酸化物、湿式再処理の組み合わせ

せというところが現実的なところなんでしょうけれども、金属燃料については、何でそんなに大きいものが考えられているのかなというところは、ちょっとこれはよく考えるというか、よく見る必要があると思っています。

すみません、ちょっとうまくお答えできないんですけども。

○鈴木教授

すみません。今の黒崎先生のことに関して私のほうから少し、再処理の観点で、中国についてじゃなくてアメリカの研究者の人と少し再処理の話を、金属燃料というよりは高速炉の燃料の話ですね。

私のところで使用済み燃料の課題のところ、高速炉で高燃焼度化が進んでいくと、どうしても線量が高くなって溶媒劣化の問題があるというふうに示したと思います。その観点から、再処理で湿式ではなくて乾式を使うと溶媒劣化の問題というのが避けられる。そういう観点から、高燃焼度化が続いてきたときには乾式再処理というものも重要になってくるということをおっしゃられていました。そうしますと、乾式再処理は、やはり金属燃料と相性がいい。MOX燃料の開発もしていますが、やはり酸化燃料は湿式のほうが向いていて、金属燃料と乾式を組み合わせるという方法がいいので、そういう方向も考えているというようなことをアメリカの研究者が話して、私も個人的に会話したときにそういう話が出たことがあるというのが、一つ補足として示させていただきます。

では、次は私にありました質問ですが、この2周目、3周目という意味は、MOX燃料の再処理を、要は軽水炉MOXをプルサーマルで何度も回すという、そういう意味ですね。それは、何回かのマルチサイクルというのは検討されている。フランスでも多分、何回かできるだろうと、日本も今後検討していくというのは一つの方策であるというように思います。ただ、それは何回できるかというところで、問題点としましては、使用済み燃料のところで示させていただきましたプルトニウムの同位体組成の問題がありますね。そうしますと、どうしても核分裂性の239の比率が下がってきて、核分裂を起こさない238だとか、あるいは240だとか、そういったものがふえていく。再処理するとそういうものがふえていくので、そこがどこまで出ていくかですね。

それからもう一つ、ウランのほうですね。ウランもやはり236が増加していく。ウラン236というのは非常に吸収断面積が大きいというもの、そういったものが回ってくると入り込んでいく。そうしますと、そういった観点から考えますと、恐らく回数には制限ができるわけです。ただ、実際にどこまでマルチサイクルが可能かというのは、今後我が国も検討していく必要が

あるかなと思います。高速炉ができれば、そういった問題はなくなるんですが、その前の高速炉ができる間には、やはりプルサーマルを実施していく必要がある。では、プルサーマルに使うためのマルチサイクルがどこまでできるかというのは、実際のところ、かなりの検討が必要。今のところ、日本ではまだ1回だけです。それを何回できるかというのは、あるいは何回、年月も含まれますので、数回繰り返すと実は結構な年月がかかりますので、その間に高速炉ができていく可能性も高い。だから、そういったところも含めて議論が必要ではないかなというふうに思います。

○武田室長

ありがとうございました。

○村瀬部長

若月課長、お願いします。

○若月課長

本日は黒崎先生、鈴木先生、本当にありがとうございました。私も着任1週間で、非常に追いつくのが必死でございますけれども、ちょっととんちんかんな質問であればご容赦ください。

鈴木先生のプレゼンの一番最後のページにありました24ページのまとめでございますとおり、真ん中あたりに「MOX燃料再処理（軽水炉、高速炉共に）」と書いてございますが、やはりMOX燃料の再処理を考えるに当たって軽水炉と高速炉の違い、今日はちょっと私の理解ではマイナーアクチノイドの量であったり、もしくは白金族の量がふえてくるということですが、技術的には量がふえるということでは連続的な形で私とはとらえればいいのか、もしくは、解決する際に当たって、かなり飛躍的な工学的ステップが必要なのかということ、この相場観が酌み取れなかったのも、もしご示唆いただければありがたいと思っております。

○鈴木教授

高速炉のMOXと軽水炉のMOXはかなり違うというふうに思っています。ある意味、現状のところでも、今も希釈すれば可能だとか、量を減らせば可能だとか、それはそのとおりだと僕も思いますが、実際にはそれで本当にいいのかというのがありまして、本当に高速炉ですと150ギガワットとか、今のものの3倍とか4倍とか、そんな高い燃焼度のものが出てくる。プルトニウムのMOX燃料の割合も、この負荷度で数%の負荷度から、高速炉になってきますと20%、30%と大量にふえてくる。そういったところはかなり違うものだというふうに思います。そういう意味では、少しやはりその軽水炉から高速炉の間には大きなギャップが生じるんじゃないかなというふうに思います。

○若月課長

ありがとうございます。

○村瀬部長

ありがとうございます。それでは、清浦課長。

○清浦課長

先ほど、最初のほうの小澤調整官の質問と少し関連する話なのですが、大学で実際に物をさわられる施設が非常に厳しい状況になっているということで、では、どういうスタイルでJAEA、産業界、アカデミアも含めて体制を組むのがよいかという、その少し具体的なお考えがもしあったら、お聞かせいただければありがたいと思います。

○鈴木教授

私のほうから、やはり大学、JAEA等の研究機関、メーカー等——メーカーというのは、例えばプラントメーカーですね。この規模が大きくやっぱり違う。やはり大学は基礎ですね。それに対しまして研究機関であります原子力機構は、それよりも発展的な、もう少し基盤的なところから、それがさらに発展的な研究になりまして、それでさらに商業規模になりますと、これはもう全然規模が違うということで、規模的な問題がございますので、大学の施設というのはそんなに大がかりなものではなくて、それよりも規模が大きくなれば、やはり原子力機構ということになります。大学が行うといった小規模とはいいますが、実際大学の場合はグラム単位ぐらいかなというふうに思います。そういったグラム単位を使いますと、かなりの研究ができます。

ただ、実際問題で、先ほどプルトニウムなんていいますと、本当にトレーサーレベルというような形になります。確かに私なんかやっていますような分離の試験なんかで基礎的なことはできますが、ただ、それでも基礎とは言いつつも、その見方は非常に化学的なもの、あるいは少し量をふやして物性的なものを見ようとかすると、かなり困難になります。やはりグラム単位は必要ですね。大学の言っているマクロ量というのは、あくまでグラム単位です。

原子力機構等になりますと、多分キログラムとか数十キログラムという単位になるぐらいの量で使える研究で、ですから、まずそこと大学は、大学の関連、あるいは大学共同利用施設かもしれませんが、そういうところで基礎的なことを押さえて、さらにそれよりも大きな規模を原子力機構のような研究機関と大学が共同でさらに進める。さらにそれよりも大きな、商業レベルになりますとトンを超えるようなオーダーになるはずですので、そういったところとさらに連携していくというようなことで、まず量的な規模が大きく異なるというのがあり、それに

応じた施設ということになるのではないかなというふうに思います。

○黒崎准教授

ほとんど同じなんですけれども、特に大学だと、一つの研究室で核燃料のいわゆる使用施設の許可を取って、そこでやっていくというのは、もうかなり難しく、やっぱりそういう意味では共同利用というような、そういう枠組みの中でいろいろな大学が一つの場所で核燃料に関する研究教育をするというのがあればいいなと思います。

ただ、そうなったときに、じゃ、それをどこにするのという場所の問題とかがあって、やっぱり関西と関東では距離も違いますし、例えばさっきのJAEAと大学との連携というような話、よく出るんですけども、やっぱり大阪大学の学生が、じゃ、東海村とか大洗に行って実験するというふうに学生に聞いても、なかなかやっぱりちょっと遠いのでというようなところで、結構それがなくなるケースもあるんですよ。今、JAEAは関東といますか、茨城県に拠点があるので、そういう場所的な問題というのは結構大事かなと思っています。ただ、やっぱりみんなが協力してどこかで一つでできるような場所というのがあれば、それは物すごくいいです。

○村瀬部長

ありがとうございます。

今、産学官の連携の話も出ましたけれども、産業界サイドから加藤さん、お願いします。

○加藤事業部長

黒崎先生、鈴木先生、大変興味深いご説明ありがとうございました。

黒崎先生の説明資料の中で、特に21ページのところで基礎物性試験、それから照射・照射後試験、あわせて計算機のシミュレーションの活用ということで記載していただいているかと思います。これについては、多分照射後の試験のデータとかをメカニズムとかも考えてコードの中に入れてシミュレーションするという理解でよろしいでしょうか。そうすると、例えばもんじゅであるとか常陽とか、異なる燃料ペレットサイズであっても、そのシミュレーションが検証できていれば、ほかのサイズであっても予測できるというふうな感じで理解してよろしいですか。

○黒崎准教授

そういうものがあればいいなというか、その理解で大丈夫です。

○加藤事業部長

あと、両先生のお話の中でなるほどというか、ちょっとそうかなと思ったんですけども、

我々メーカーのほうも技術伝承とか、そのあたりについては独自のやり方で技術の伝承というのをいろいろ考えているのですが、いわゆる大学という立場で、大学の中での技術伝承というのは具体的にどんなことを今取り組まれているのかとかあれば、ぜひ参考にお聞かせ願いたいと思います。

#### ○黒崎准教授

まず、私どもの大阪大学は、平成17年までは、もうちょっと前なんですけれども、原子力を専門に扱う学科だったんですけれども、そこから組織がえがあって、今環境・エネルギー工学科、環境・エネルギー工学専攻ということで、環境とエネルギーを広く教えるような、そういう専攻になっています。1学年約80人で採るんですけれども、その中からエネルギー系に来るのがその半分で、さらにその中から原子力を勉強していくのが半分ぐらいの形で、学生がどんどん取捨選択してくるんですが、まずそういった状況になっております。その中で、技術伝承まではいかないんですけれども、まずは原子力の基礎というのをきちんと勉強してもらうということで、そこは学部教育の中でもやりますし、あと研究室の中の教育でもやるというところなんです。

研究室に関しては、それぞれ原子力も広いので、いろいろな分野でそれぞれの教育をされているんですが、私どもの研究室では、核燃料の研究室ですから、実際にもう本当にグラム単位の核燃料を取り扱って、その基礎物性を評価するというようなことをやる。そのときにJAEAさんと共同研究というところをうまく利用して、大阪大学だけではできないことはJAEAさんのほうでやって、うまくデータを突き合わせてやるというような形で、技術伝承というよりは、むしろ研究教育の話になるんですが、具体的にはそういう形で進めています。

#### ○鈴木教授

大学の技術伝承というか人材育成ということになるんですが、今、最近では、一つの大学だけではなくて複数の大学で連携しながら、いろいろな各大学で強みだとか得意なところがありますので、連携しながらいろいろな人材育成をしていくというような試みも多くやっております。さらに、各大学の原子力の専攻等もそんなに人数は多くございませんので、それだけではなくて、もう少し裾野を広げるようなことも進めております。

例えば、今では文科省さんの人材育成プログラムの中の一つで東工大さんなんかを中心にやっている、我々も大阪大学さんも入っているんですが、そういったものでテレビセミナーみたいなものを中心にして、ほかの原子力でないような方々にも原子力の分野を教えることをやっていたり、あるいは、また別に、私なんか東北大さんなんかと一緒に教育を、これは我々の

場合、再処理とか、あるいは処分というようなことを中心にしたプログラムを広げて、それは民間の人たちにもちょっと門戸を広げて教育するとか、そういうものもやっております。あと、長岡技大は高専とのつながりが非常に強い大学でして、高専機構と一緒に、高専の学生さんたちも巻き込んで原子力の分野に入ってきてもらうというようなことから始めると、そのような形で進めております。

○加藤事業部長

どうもありがとうございました。

○村瀬部長

それでは、市村さん、いかがですか。

○市村FBR委員会委員長

電事連の市村です。

黒崎先生、鈴木先生、わかりやすく詳しいご説明ありがとうございました。今のお話にも少し関連するんですが、人材育成関連で両先生にお伺いしたいんです。両先生、ご専門であられる燃料開発分野、そして再処理技術分野で優秀な人材を今後育成していくということで、そのためには研究対象としての魅力というものが求められるというふうに思うわけですが、今後どのような課題の設定やら目標を設定することで、学生や若い研究者が魅力を感じて取り組んでもらえるようになるのか、そこら辺のお考えがありましたらお聞かせいただければと思います。よろしく願いいたします。

○鈴木教授

私のほうから、特に再処理に関しましては、現在再処理の研究については高速炉をメインにした再処理ということが中心になっていきまして、その中では、プレゼンの中でもしましたが、新しい機器の開発というのもまず1つあります。それから、分離につきましては分離を高度化するための新しい化学物質を探るとか、そういうものもございまして、さらには分離対象も、先ほどのMA、マイナーアクチノイドサイクルという話、今の分離核変換というのが最近いろいろところで話題になっていると思いますが、そういったものも踏まえて、いかに今後将来的に廃棄物からどれだけ有害度を下げていって、かつできるだけ未来に向けて、将来の子孫にそういった負の遺産を残さないようにするかと、そういったことが研究の中心に、特に再処理分野ではなっておりますし、そういう方向というのが学生にとっても魅力を感じるような方向になっているように私は思っております。

○黒崎准教授

高校生とか大学生、どんな分野に興味があるのかという話なんですけれども、例えば工学部だと、やっぱり人気があるのは航空宇宙とか、あと医工連携とか、そういったところって、やっぱり結構響きがいいのか、とにかく学生さんにはすごく人気が高いんですね。その中で原子力というと、正直言うと余り最初はそんなによく思っていなかったという学生さんがやっぱり多いです。環境・エネルギー工学専攻に来る80人の学生にいろいろ話を聞くんですけれども、80人もいると10人ぐらいは原子力を絶対やりたいというのがいるんですが、あとの70人ぐらいは、私は環境を、あるいはエネルギーでも新エネルギーをやりたいとか、そんな感じの子になっているんですね。

その中でも原子力、原子力と言うている子には一定の傾向があって、1つは核融合なんですね。大阪大学はレーザー核融合研究センターが昔あって、今はちょっと名前が変わったんですが、今やっていますので、やっぱりそこで核融合をやりたいという子は一定数います。それはさておき、原子力をやってくれる優秀な人材が欲しいわけなので、我々もいろいろ話をするんですけれども、その中でやっぱり学生さんが「おっ」と食いついてくるのは、1つはやっぱり廃棄物の問題。特に有害度低減というところを言うと、「そんなことができるんだ。それはやってみたい。夢がある」というふうに思う学生はかなりいます。

それともう一つは、高速炉ではないんですけれども、福島のリトリートの取り出しとか、あそこの後片づけのところですね。後片づけなので、余り学生さんは魅力を感じないんじゃないですかとよく言われるんですけれども、実際は意外と「そんなに大変な問題があるんだったら、僕、頑張ってみます」というような意気に感じる学生というのはやっぱり結構いまして、その2つは結構人気が高いです。高速炉というのは若干、学生さんの中には今は余りないかもしれませんが、むしろ福島と、もちろん有害度低減は高速炉を使ってやるという話につながるんですけれども、有害度低減の、その2つになります。

○市村FRB委員会委員長

参考になるご回答、ありがとうございました。

○村瀬部長

私から、ちょっとシンプルな質問をさせていただきたいと思います。黒崎先生の最後の22ページのところで、少なくとも燃料分野で我が国が世界をリードすることは十分可能だとお書きになっていますけれども、高速炉の再処理という意味では、逆に鈴木先生、今、日本の現状と、将来我が国が同じように再処理という分野でもリードしていくことが可能だというふうにお考えになるか、そのためにはどういう条件が整うことが必要だというふうにご考えられるかという

ことを教えていただけますでしょうか。鈴木先生お願いします。

○鈴木教授

やはり高速炉の現状も、我が国は決して他国におくれをとっているわけではないというふうに思います。その辺のところは多くの基礎的な研究、これは原子力機構さんも含めて、大学も含めて幾つかやはりやっております、そういったものがかなり高度な新しいものをつくり出しているというふうには思っております。

ただ、やはり課題というのは、その次の段階ですね。基礎的なところではかなり進んでいますが、そこからある程度規模を大きくするということで、原子力機構さんでもそれほど規模が大きいのものができていないというのが、ちょっと課題になるのかなと。

今、例えば、ちょっと私がマイナーアクチノイドとか、そういったものの処理が中心になるので、どうしてもそういったお話になるんですが、それを今サイクルを研究をしていこうというところで、量的なものを扱えるというところが少ないですね。今、J-PARCさんなどでそういったものの処理をするというのが加速器を使った駆動型のシチョウシというのがありますね。そういったものをするために必要なマイナーアクチノイドの量というのが数十キログラムぐらいという話なんです、それぐらいの規模のものを扱える施設が現状では日本にはないですね。そういったところがあって、いわゆる研究レベルから、もう少し規模の大きなものに進むというところに大きなギャップがある。そこが少し弱いです。フランスは比較的そういったところを持ってしまして、Atalante(アタランテ)というんですか、そういった施設を持っていて、そこが実際、例えばフランスなんかのグループが使っている抽出剤は、日本で開発されたものを使っているなんていうのもよくあるんですね。あるんですが、その後の規模をちょっと大きくするところが、やっぱりフランスのほうが施設を持っているのでできる。そこはちょっと、せっかく日本が開発したのにフランスが成果を持っていってしまうといったような感じを感じる結構ございます。

○村瀬部長

よくわかりました。ありがとうございます。松野課長。

○松野課長

今のお話をお伺いしてのご質問ですが、その違いというのはどこから生まれるのでしょうか。よく言うと、日本の製造業の力というのはフランスに負けず劣らず強いということだと思えますけれども、規模を大きくするというところになると、むしろ研究レベルというよりは、一歩実際に造っていくというところの技術、力になると思うんですけれども、そこはなぜ日本は

弱いのでしょうか。

○鈴木教授

そうですね。なかなかそれはちょっと難しいところであるんですが、フランスの場合は、私が思うには、国と民間といますか、フランスの場合は、あれはほとんど民間ではないですね。なので、それを全て国がやったことはそのまま下まで行けるという、そういうところもあるのかなというふうに、何というか、少し言い方が変かもしれないですけども、中央集権的などころがあって進めやすいところがあるのかなと。日本は比較的幾つかの組み合わせで、ある意味、いい意味で民主主義的などころもあって、積み重ねていくのがいろいろなどころがあるんですが、そこから次のところに行けるステップというものの、そういった意思決定的なものだとかがちょっと弱いのかなというふうに思います。

○村瀬部長

ありがとうございました。

それでは、他に質問がないようでしたら、クロージングさせていただきたいと思います。改めて、お二人のプレゼンターの先生からすばらしいプレゼンテーションをいただきまして、その後も技術開発の実態・課題についての意見交換、国際的な核戦略の違い、技術開発体制上の課題、開発基盤の状況、開発のための施設の必要性、大学における技術伝承、それから人材育成の課題など、産学官の役割分担についても意見交換されたと思います。さまざまなプレゼンテーションを踏まえた有意義な意見交換をさせていただけたと思います。本当にありがとうございました。

今後、我々のワーキンググループの中でも、さらに検討を深めさせていただきたいと思えますけれども、本日の核燃料についての論点、それから再処理についての論点、今回の議論を踏まえて、さらに深掘りさせていただくことができると思います。本当にありがとうございました。

本日の議論はここまでということにさせていただきたいと思います。今後、きょうの議論を踏まえてロードマップの取りまとめに向けた議論を加速させていただきたいというふうに考えます。

次回以降の進め方につきましては、本日の議論も踏まえつつ事務的に調整をさせていただいた上で、関係者の方々にご連絡をさせていただきたいと思いますので、よろしく願いをいたします。

最後に、お二人のプレゼンターの先生方に改めて感謝を述べさせていただきたいと思

ます。

以上をもって終了させていただきます。ありがとうございました。