

第4回 分離変換技術検討会議事録

1. 日 時 平成20年12月12日(金) 13:00～15:30

2. 場 所 虎の門三井ビル2階原子力安全委員会第1、第2会議室

3. 議 題

(1) 核変換技術研究に関する研究開発の現状について

(2) その他

4. 出席者

(検討会構成員)

山名座長、河田委員、長崎委員、深澤委員、矢野委員、山中委員、山根委員、若林委員
(招へい者)

井上首席研究員、小川部門長、永田部門長、佐賀山副部門長
(原子力委員)

近藤委員長、田中委員長代理、松田委員
(事務局)

土橋参事官、牧参事官補佐、渡邊主査

5. 配布資料

資料第4-1-1号 分離変換C&R 進捗状況－核変換サイクルー (電力中央研究所)

資料第4-1-2号 日本原子力研究開発機構における核変換技術に関する研究開発の現状
について (日本原子力研究開発機構)

資料第4-2号 原子力委員会研究開発専門部会分離変換技術検討会 (第3回) 議事録
(案)

午後 1時00分 開会

○山名座長 定刻になりましたので、第4回研究開発専門部会分離変換技術検討会を開催いたします。

近藤委員長は少し遅れておいでのようですので、議事を始めたいと思います。

それでは、本日の議題ですが、核変換技術研究に関する研究開発の現状ということを用意しております。

まず、事務局のほうから資料の確認をお願いいたします。

○牧参事官補佐 事務局でございます。

資料ですが、まず議事次第の紙が1枚ございます。それから、もう1枚、出席予定者と座席表の書かれたペーパーがございます。出席予定者のところでございますが、河田先生のところ、ちょっと欠席になってございますが、本日ご出席いただいております。お詫びして訂正させていただきます。

それから、資料でございますが、資料4-1-1ということで、分離変換C&R進捗状況－核変換サイクル、電力中央研究所様からの資料でございます。それから、資料4-1-2ということで、日本原子力研究開発機構における核変換技術に関する研究開発の現状について、原子力機構からの資料でございます。それから、資料4-2ということで、前回の議事録の案をつけてございます。

不足等ございましたら、事務局までお願いいたします。

○山名座長 ありがとうございます。

前回の議事録につきましてはお手元に配ってあると思いますが、事前に委員の皆様方の確認をいただいていると思いますので、特にさらに追加、修正等ありましたら、事務局までご連絡いただきたいと思いますということでございます。よろしゅうございますでしょうか。

それでは、議題の1に入りますが、本日の議題、核変換技術研究に対する研究開発の現状について、進めたいと思います。

まず、資料4-1-1号を用いまして、電力中央研究所における核変換技術に関する研究開発の現状ということで、電中研、井上さんからご説明をいただくことになっております。40分程度お話を伺って、25分程度の質疑応答を行いたいと思いますので、どうぞよろしくお願いいたします。

○井上首席研究員 それでは、ご説明いたします。

実は今、山名先生から40分ということだったんですが、私、勝手に1時間ぐらいあるなと思って、それで1時間程度で説明できる資料をつくりましたので、ちょっとはしょって中身をご紹介させていただきたいと思います。

先日は、実際の高レベル廃液からのTRUの分離に焦点を当ててお話をさせていただきました。今日は、この2ページ目でございます、金属燃料FBRサイクルの燃料製造、金属燃料、乾式再処理と、この一連のサイクルについての説明をさせていただきたいと思います。

それで、その次の3ページ目、4ページ目、これは2000年時点のバックエンド専門部会に書かれたリコメンデーションですね。これは省略させていただきまして、この5ページのところからご説明させていただきます。

それで、2000年のC&Rから大きく進捗した課題といたしまして、ここにごございます燃料製造、それから核変換、それから燃料処理ということで、今日のお話は、急いで申しわけないんです

が、次の6ページの、今回の報告事項というところで、燃料製造に関しては、MA含有合金の特性、それからMA含有燃料の製造、それから核変換に関しては、MA含有燃料の照射試験、それからその照射後試験。それから、今度、それらを乾式法でリサイクルいたします燃料処理としまして、乾式再処理のプロセス開発、それから、ここにございますように、実際にプルトニウムとか実燃料を用いた試験、それからあと実用化のための工学化に関するような試験、それからあと使用済燃料の処理のような話、それから高温プロセスの耐食材料の開発、それから最終的にまとめたいと思っております。

次、7ページをごらんいただきたいんですが、金属燃料の特徴といたしましては、このように被覆管の中に、右のほうにございます燃料合金とありますが、ウラン、プルトニウム、ジルコニウムの三元系の燃料、酸化物の場合には、これはウラン、プルトニウムのオキサイド、酸素というものですが、そのかわりでもないんですが、ジルコニウムというのも入れた、こういう金属を燃料といたします。

そうすると、その特徴としては、ここにございますように、高い熱伝導性に起因する高い固有安全性、それから高い中性子エネルギー、中性子束のため、酸化物燃料に比べて、高いマイナーアクチニド燃焼率、変換率が得られる。それから、乾式再処理と射出成型に整合し、経済的な燃料サイクルの実現が期待できるという特徴がございます。

それでは、まず順番に、先ほどの目次に従って、燃料製造のところから次のページに行ってくださいまして、ご説明させていただきます。

燃料製造に関しましては、このように、まずMAのネプツニウム、アメリシウム、キュリウムですが、これらに関するメタルというのは、ほとんどと言っていいと思うんですが、ありませんので、まずそれらを酸化物からつくったお話。それから、燃料合金と、今のつくったマイナーアクチニド、並びに希土類の総合溶解試験、それからその次にMA含有合金の、それぞれの特性というお話を一部させていただきます。それから、あと燃料製造というお話で、ここは含んであります。

それで、次の9ページ目に行ってくださいまして、今のMA、マイナーアクチニド、先ほどのネプツニウム、アメリシウム、キュリウムに希土類元素を添加した根拠とその合金の物性研究でございますが、これは、第1回するときも質問がありましたけれども、回収MAには同程度あるいはそれ以下の重量の希土類元素が随伴すると判断しております。それで、このMAは、ウラン、プルトニウムとともに高速炉でリサイクルすると。

その次、燃料合金の物性研究ですが、これはEUの超ウラン研というところで共同で実施したんですが、まず、ウラン、プルトニウム、ジルコニウム、MAという、こういうものがきちっと得られるかどうかという試験。それから、何%ぐらいまでなら入るかどうかという試験。それから、そのようなことから、ウラン、プルトニウム、ジルコニウム、MA、それから希土類元素が入った合金が燃料として使用できるというふうに判断いたしまして、ずっと照射試験等に進んでいったわけでございます。

その下には例が書いてございますが、左のほうは、これは後から出てきますから省略しまして、右のほうは1つの例ですが、いろいろな物性を調べてあるんですが、熱伝導率ですね。特にこの黒丸が、いわゆる5%のMAと5%のREが入ったものですが、ほとんど三元系の標準燃料と変わらないということでございます。

それから、その次の10ページに行きまして、ここから非常に貴重な試験だと思んですが、

我々が勝手に言うのもあれなんです、アメリシウム、キュリウム金属の製造と。これは、実際にアメリシウム、キュリウムの酸化物をロシアから、ちょうど崩壊したすぐ後のロシアに行きまして、これらを買ってまいりまして、そしてこれを、ここにありますような適用した還元反応というようなこと、ランタンとかトリウム、そのようなもので還元いたしまして、そしてメタルにしたということをごさいます、実際のこの左の下にある絵が、これが高周波で瞬時に高温、2,000度近くまで上げられるようでごさいます、この上の還元反応を起こしまして、それで右にありますこのアメリシウム、キュリウム金属というのをつくったものをごさいます。

それで、アメリシウム金属、ここに矢印をしてありますが、このように銀白色をしたものが金属として得られ、キュリウムも銀白色なんです、この矢印の中に、絵では何も見えておりませんが、実態はここにキュリウム金属がほんのわずか、グラム以下ですね、数百ミリグラムだったと思う、ちょっと記憶していませんが、それがここにキュリウム金属として回収されて、これを使って燃料を実際につくったということをごさいます。

その次のページに行ってくださいまして、11ページですが、これがMA含有合金の金属組織ということで、それぞれ、まず当初からこのアメリシウムとか、それから希土類元素、レアアースですね。この辺がなかなか母材には混じりにくいということ、この事前の研究で調べておりましたので、それで実際にそれらの混合試験をしてどうかというふうに調べたんですが、特に右の例でご説明しますけれども、右のほうは5%のMAと希土類元素が、ウラン、プルトニウム、ジルコニウムに入ったものをごさいます、このように完全にきれいな酸化物のように、ソリッドソリューションを、固溶体を含むという状況はないんですが、このようにグレインの境界にプルトニウム、アメリシウム、希土類、このようなものが均質にディストリビュート、いわゆる分散しているということから、我々はこれは十分、しかも先ほどの物性研究からの結果としまして、十分使えるというようなことを判断したわけでごさいます。

それで、その次の12ページに行きまして、これはおもしろい結果なんです、これは何かと申しますと、実際に先ほどの三元系の合金の中に、MAとレアアースをそれぞれ5%入れた試料でごさいます、これは α オートラジオグラフィの結果です。だから、白いところは何をあらわしているかと申しますと、これはアメリシウムです。それで、上のほうは、特にこれはなぜこういうことをしたかということ、実際に燃料中では、こういう中心からその端部にわたって温度勾配がつきますが、その温度勾配下でどういう挙動をするかというのを模擬的に実験したものでございまして、上のほうをこのように、上にありますのは970K、それから下のほうは670Kに保存しまして、そしてそれぞれどう発展するかを成長したものです。

それから、下の絵は、これは実際に白いところが左のほうに固まっていますが、これは実験時に、一時的に1,150°C以上に、ちょっと予期せざる事象によって上がってしましまして、それで実際に左のほうからアメリシウムがほぼ蒸発して、揮発して、右のほうに、ここの白いところに堆積したという、そういうアメリシウムが非常に蒸気圧が高いということをごさいます。

それで、これらの試験を経まして、次の13ページでごさいます、実際にここにありますように、上の真ん中の写真でごさいます、フェニックスの高速炉照射試験用に作成した金属燃料というものを、このように左の装置でつくりました。溶解して、左の装置のこのモールドの中に流し込むという方法で、このような金属燃料、もちろんこれらはすべて、中性子も遮蔽したホットセルの中で行っております。

こうして、下にありますように、MA5%、それからMA5%とRE5%、それから右の上にありますよ

うに、それぞれ2%ずつ入れたものを、試料としてつくってございます。

それで、その次のページに行ってくださいますと、これは実際に、もう一つ、これは日本の中でJSTの公募研究で、これは非常に基礎の試験としてやっていたんですが、いわゆる核変換TRU燃焼のための合金燃料設計と製造の基盤技術開発ということで、実際にこの、先ほどアメリカシウムと希土類が非常に混ざりにくいというお話をしたんですが、どういう条件だったら非常に均一なものができるかというようなことを基礎的に調べて、希土類なんかがないと非常に混ざりやすいというような成果もここで得られています。これはちょっと補足的な資料でございます。

その次のページに行きまして、次に燃料はどんなふうに、今まではフェニックスで試験用に照射するMA燃料の、そういう物性並びに照射試験用のお話ですが、次はこれは、そうしたらこういう燃料が本当に工学規模でできるかどうかというお話に、ここから2枚ほどお話しさせていただきます。そうすると、工学規模での金属燃料製造技術ということですが、ここにございますように、射出鋳造法という方法を使います。この左のように、この赤いところに原料を装荷しまして、そしてそれを高温で熱しまして熔融させて、そしてこのモールドというガラスの一端を開封したものを中に浸しまして、それから外から圧力をかけることによって瞬時に燃料ができるというような方法で、実際に16ページでございますが、工学規模の金属燃料射出鋳造装置という、先ほどのポンチ絵のところがこの左の中のひょうたんのような装置の中にできるわけでございますが、これで瞬時に右のように、20キログラムのウラン、ジルコニウムを溶解して、瞬時に50本以上の燃料をつくったということで、実用的にもこういう燃料が十分できるということを示したものでございます。

それでは、今までがずっと燃料製造のお話でしたけれども、次に核変換というお話をさせていただきます。

核変換につきましては、このMA含有燃料の照射、まずフランスのフェニックスでの照射試験、それから今の燃料の照射後試験ということで、非破壊検査、これはフェニックスのホットセルと、カールスルーエの超ウラン研でやっておりますが、それからもう一つは、フェニックスからEUの超ウラン研にこの燃料を輸送すると。今まで2回して、あと1回、照射燃料のものがまだフェニックスサイトに出ています。それから、試験としましては、ここにございますように、破壊検査として燃焼度、FPガス分析、それから金属組織、それからMA元素の分布挙動、MA元素の濃度というものを調べております。

それから、次の18ページが、これはフェニックスの写真ですから、これは割愛させていただきます。

その次の19ページのMA添加燃料と照射キャプセルということでございますが、このように、ここの絵にございますように、A、B、Cというところがごらんになっていただけると思うんですが、このAとCはウラン、プルトニウム、ジルコニウム、それでBのところには先ほどの2%のMAとか5%のMA、5%のREというのを入れてあります。なぜこれBだけにしたかという、実はこのMAというのは非常に高価であって、とてもA、B、C全部それで賄えるようにお金の手が出なかったということから、残念ながらBを、5センチから10センチ程度のものだけを、そこにMAを入れてございます。

そして、右のBのところにありますような、ピンの外観図というような、このようなピンに組み立てまして、そして最終的にCの、これフェニックス用の照射キャプセルのこのグリーン

のところに、この燃料を我々、METAPHIX-1、2、3と言っているんですが、このMETAPHIXの燃料をこのように入れて、照射にしました。

それで、その次の20ページですが、MA添加金属燃料のフェニックス照射試験ということですが、実は94年までにこの燃料製造は終わっていたんですが、フェニックスがずっと長い間、いわゆる中間熱交換器等の改良、それから耐震等の改良で、2003年まで止まっておりまして、それで2003年の暮れに、このMETAPHIX-1、2、3というのを入れたわけです。1、2、3というのは、1が低照射、それから2が7%程度の中照射、それから3番が高照射ということで、11%ぐらいということで、すべて2003年12月に入れまして、定格出力は2004年1月に入ったんですが、そこからこのように、このオレンジの期間、照射しまして、そしてこのグリーンのところ、フェニックスサイトでの非破壊の照射後試験、それからこれを南フランスからドイツまで輸送しまして、そしてここにありますように、照射後試験に今ちょうど取り掛かっているというところでございます。今、特に一生懸命やっておりますのは、このMETAPHIX-1という低照射燃料の照射後試験をやっております。

それでは、これについての結果を、非常に最近の成果を交えてご紹介したいと思うんですが、次の21ページですが、フェニックスでの照射条件。これは、大体ここにありますように、低・中・高の照射期間として、一番上の欄のようなものがありまして、それから線出力密度は、大体250から300の間。それから、被覆管の最高温度がこのような温度でございます。それから、燃焼度が、先ほど申しましたような燃焼度。

それから、その次の22ページですが、照射後のリグ及びピンの外観観察ということで、実際にそれがどんなふうになったかということですが、左の上ですが、これが炉から取り出され、照射後試験施設に移送された燃料リグというところで、この外側の覆いを取ってあげたのが、この右側の照射リグ内に装荷された燃料ピンということで、この1本1本のワイヤーをごらんになっていただけると思うんですが、このようにピンが入っている。それから、さらに1本取り出して、照射済燃料ピンの外観というカラーのところをごらんになっていただけるように、このように、一部被覆管に黒い変色、これ多分、ちょっと酸化したと思うんですが、そのようなのが見られますが、特段大きな変化はなかったと。健全に照射されたということでございます。

それで、それは実際に本当にそうかいなというのでございますが、その次のページから、実際にこの照射後の被覆管の外径検査というのをやっております。まず、これは低照射もあるんですが、これは代表として中照射の燃料ピンを持ってきたんですが、実際に左の上が、これがウラン、プルトニウム、ジルコニウムの三元燃料、それから下側が、これはそれぞれMA、REが2%入ったもの。それから右側が5%入ったものですが、ほとんどこのように、このMAが入ったことによる大きな外観変化というものがございますので、燃料装荷位置に大体0.3から0.4%の外観変化が見られるというようなことで、あと1、2、3も最近やったと思うんですが、特に大きな変化はなかったということでございます。

それで、その次のページに行きまして、24ページですが、ここでは実際のスタック長の伸びとか、それからボンドNa、これナトリウムをボンド材として入れていますが、それがどんな挙動をしたかということを見たのがこれでございますが、実際にこれも同じように、左上とその下、それから右側、同じような先ほどの燃料でございますが、これは ^{106}Ru をこのように検知いたしました。そして、この ^{106}Ru というのはベータ崩壊して、 ^{106}Rh になると。そして、それが30秒

の半減期で γ 線を出しますが、この γ 線をディテクトしてこのようにはかった結果でございまして、実際にこのようにスタック長、これからスタック長を求めると、この右下にございませけれども、ここに1.9から約2.5%ぐらいのスタック長が伸びたと。

それから、もう一つセシウムは、これは非常に移動しやすい。ルテニウムは、これ移動しませんというふうに考えております。それから、セシウムは非常に移動しやすいもので、ボンドNa上にかなり、特にボンドNa、上部にございませますが、上部にナトリウムがずっと移動していつている様子がありまして、大体これから80%から、当初入れた80%から90%、ナトリウムがこのプレナム部に出てきたということがわかっております。

また、それぞれこれでピークが立っているんですが、これは燃料ペレット間のギャップに相当する多数のうちで、この γ 線分布が局所的に増大しているということでございませ。

次の25ページでございませますが、これは先ほどの中燃焼度でございませ。これも同じように見ていただければいいんですけども、これからいくと、大体燃料のスタック長が3.5から4.1%伸びたと。それから、やはり85%から90%のナトリウムがプレナム部に出たということで、今回は、先ほどのような鋭いピークが見られないのは、燃焼が進んでくるにつれて、それぞれペレット間の融着というか、それが進んだというところございませ。

その次の26ページが金属組織でございませますが、これは低燃焼度燃料の照射後の光学顕微鏡写真でございませ。すみません、これ燃料中心温度540°Cと書いてありますが、これは被覆管温度です。実際の燃料中心温度は700°Cから700°C以上までいってませ。それで、このように、当初は被覆管にぴたっとくっついていなかっただんですが、被覆管にぴたっとくっついていという、これはスエリングがすぐ起きるとい、これは当初予定どおりでございませ。

それから、右のほうに組織写真、中心部と周辺部を撮った組織写真ですが、特にこのグレインが見える、それからグレインの真っ黒は非常に見にくくて恐縮ですが、真っ黒のはこれボア、それから、ちょっとグレーのようなものがよく見ていただければあるんですが、それが今アメリカシウム、レアアースのものじゃないかというふうに考えてございませますが、これはこれからEPMAで分析して、その辺がはっきりするということになるといませ。

それから、右下は金属燃料自体が非常にポーラスな組織になっているというようにございませ。

その次のところございませますが、これはMETAPHIX-2、いわゆる中燃焼度燃料の照射後の光学顕微鏡、これは、先ほどは低燃焼度でしたが、今回は中燃焼度で、やはりもっとボアなんかが増えていという。これも燃料中心温度ではなくて、被覆管の温度でございませ。失礼しました。

それから、やはりこれも中心部の付近の金相写真、これもグレーポイントは、先ほどのレアアース、アメリカシウムの析出とい、それが固まったものと。それから外周部付近は、このように、普通の金属燃料に比べて、特に何ら大きな変化があるというように見えてございませ。今後は、これらの燃料につきまして、本当に入れたアメリカシウムが所定どおり燃えているかとい、燃料を溶かしてICP、それからそのままのEPMA等で観察して、我々の予測を確証していきたいというふうに考えてございませ、これは特に最近、この数か月に取った非常に新しいデータで、今後、ジャーナル等に発表していく予定でございませ。

それでは、次に燃料処理というところでお話しさせていただきたいんですが、燃料処理ということにつきましては、従来申していませ乾式再処理、その中で化学プロセスの開発、それか

らプルトニウムを用いた試験、実燃料によるホット試験、それから工学化技術開発、それから塩の処理、それから材料の開発ということですが、ここにございます、電解により使用済塩中のFPを処理、これは、新しい塩の処理法ですから、ちょっと今回は時間がありませんので割愛させていただきますけれども、その成果は補足資料として入れさせてもらっております。

その次の29ページでございますが、これが乾式リサイクル技術に関する主要技術というのを一連のもので示したものでございますが、基本的には、使用済燃料を解体、せん断し、それから、次に説明しますが、電解精製で、ウラン、プルトニウム、MAを回収し、さらに今度は、そこから陽極処理をして、不必要なものを飛ばして、そして、先ほどご説明した射出鑄造という、燃料製造をつくるという方法。

それから、下のほうにございますのは、電解精製を繰り返しますごとに、この中にはFPがどんどんたまってまいりますので、それらをすべて廃棄物にしますと、かなり廃棄物のボリュームが増えますので、それを順次、ここにありますように、精製をして元に戻すというような方法をやっております。

それで、これをご説明させていただきたいんですが、次の30ページに行きまして、乾式再処理技術の主要工程という、これがメインの工程で、先ほどの電解精製というところですが、これはちょっと簡単に触れておきますが、左側のこの薄いブルーのところ、使用済燃料をせん断したものを入れまして、それから真ん中の固体陰極に所定の電位をかけることによってウランを選択的に取ると。ウランを選択的に取った後、今度右側にあります、これは液体のカドミウム、これは温度500°Cで運転しますので、カドミウムは当然液体ですから、その液体中に、今度は残ったウラン、それからプルトニウム、それからMAを回収するという方法でございます。これが基本で、その後は、回収したものからカドミウムとか塩を飛ばす。それから、一番右が燃料製造という話でございます。

それでは、一番左の電解精製についてご説明したいんですが、次の31ページですが、これは乾式再処理の場合に、なぜプルトニウムが純粋に取れないかというのをよく言うんですが、それはこれを示したものがこの絵なんです、これはちょっと非常に細かくて恐縮なんです、これがそれぞれの元素を回収するときの電位です。特にこの液体カドミウムを見ていただきますと、U、Np、Pu、Amと、このように超ウラン元素が一体となって、ほとんど同じような電位で回収されるということで、これが実際に乾式の場合は、プルトニウム単独で純粋に回収するのは非常に難しいと言われるゆえんでございます。

それで、その次に、そうしたらどの辺まで進んでいっているかというのを示したものが次の図でございますが、これが電解精製、電解槽の開発ということで、今の絵に、それから1つは陽極固体陰極開発というので、これはどちらかというと、工学的な実用規模の試験の開発、それから右のほうには、液体カドミウム陰極の開発というのを例示的に示してございます。

それで、急いで非常に恐縮なんです、その次の33ページですが、これが電解精製技術の開発、一番最初、ある程度基礎試験をやってみまして、プルトニウムをこれ、旧原研さんと共同で始めたところの成果でございます。まず、左のようなポンチ絵にありますような電解槽をつくりまして、そして実際にこのブルーのところは液体カドミウム陰極ですが、この中に、この赤いところに超ウラン元素が、ウラン、プルトニウムが溶かしてありまして、その中から、このブルーの陰極に回収する。それで、回収されたものが、この上にあります回収された液体カドミウム陰極インゴットというものでございます。これがどういう成果と申しますと、右の

ほうにありますように、このプルトニウムはある程度年限を経たプルトニウムですから、当然その崩壊として、中にアメリシウムを含んでおります。このように、予定どおりというか、理論どおり、ウラン、プルトニウム、それからアメリシウムも同時に回収できてきたという例でございます。ただ、アメリシウムは当然、トータルの濃度が低いものですから、これも低いということです。

それで、これで何が言えるかということですが、上のほうにありますのが、我々が1つの基本にしておりますF/Sというのがあるんですが、その中で、大体この電解槽当たり、このように1年に1.2トンのアクチノイドをカドミウムに回収すると。それに換算すると、約125MA/cm²と、これが達成できればいいということで、これは十分、私どもは達成できたところでございます。

これなんかをもとに、次の試験へこれはずっと発展していくわけですが、次のページ、これが乾式再処理プルトニウム試験、今のところは、先ほど電解精製だけでしたが、これは旧JNCのCPFに、このような最初から最後まで、一応プルトニウムを使える乾式施設をJNESさんと共同でつくりまして、そしてこれに基づいて試験をしているわけでございます。その試験の目的といたしましては、我々プロセス連続試験と呼んでいますが、酸化物燃料を出発物質とする還元、電解、蒸留、製品化の連続プロセス試験に基づく成立性確認と物質収支の把握というところでございます。その右にあります、これがその遮蔽つきのグローブボックスの外観でございます、その中に、この絵は非常に見にくくて恐縮なんですが、それぞれの装置が入れられております。

それが、一番最初、一番左のほうから、このように、まず先ほどの酸化物を金属に還元して、それから、今ご説明した電解精製で、カドミウム陰極棒中に回収して、そしてその後に、回収したものから一緒にくっついてきている塩とかカドミウムを飛ばして、そして、一応サンプリングという名目で、燃料の射出成型をつくっているというところでございます。

それについてどこまで来ているかというのは、その次のページをごらんになっていただきますと、MOXペレットからのプロセス連続試験ということで、これは、今のような試験を、最初に左の下側にあります絵、これが常陽のMOXペレットです。常陽のMOXペレットを実際に、ちょっと詳しくは覚えていませんが、10個程度入れて、そしてそれを電解還元という方法で還元して、金属に転換されたのが上の絵です。これは、だからMOXペレットが還元されたウラン・プルトニウム金属ですね。それを順次、このグラフにありますように、電解精製のいわゆるバッチ1、バッチ2、バッチ3ということで、これは固体陰極にまずウランをそこから回収する。今の還元された金属を陽極にしまして、それから固体陰極にどんどんこれを回収する。それで、上にありますナンバー1、2、3と、これがいわゆるこの下、バッチ1、2、3に伴って回収されたウラン。

それと同時に、これを見ていただきますと、ウランがちゃんとこのように、塩中のウランがこのように減少していっていると。それから、最終的にこのaという、上の段の右のちょっと光った絵ですが、上はカドミウムの固まったところですが、この中にウラン、プルトニウムを、特にプルトニウムを回収するわけですが、これが回収されたところ。そうしますと、これがバッチナンバーaと書いてあるところですが、これは特にプルトニウムとか、それからアメリシウムをある程度回収しますので、それらがどちらかという減少してきていると。塩中から回収されてきているという状況で、実際に回収されたウラン金属、先ほどのナンバー1、2、3

で回収されたウラン金属が、右側の上の図。それから、下側が回収されたウラン・プルトニウム合金でございます。

それで、今度はこのような試験と同時に、実際に使用済燃料を使って試験をしようというので、このEUの超ウラン元素研究所に設置したホット試験というのが次のページでございますが、これ、実廃液の試験は、先日、前回のときにご報告しましたので、今回は、実際にここで、先ほどのフェニックス用につくった金属燃料を使いまして、そして実際にこのホットセルの中で、ウラン・プルトニウムを回収したという試験を、今やりました、そしてその絵が次の37ページでございますが、ここでございますように、電解精製-U-Pu-Zr燃料試験-というので、フェニックス照射用の燃料の一部を利用した小規模の電解精製試験ということでございまして、これが、左側にありますのが、実際にこれ真ん中にあります、これが陽極アセンブリ、それから電解精製のつぼと、この中で実際にこの化学反応を起こさせるわけです。

それで、実際にこの下に、その右の下のほうに、固体陰極に析出したウラン金属、それから右のほうには、実際にこれ下が金属光沢のあるのがカドミ、上のこの少し紫がかかったものが塩が固まったものでございますが、このカドミ中に実際にプルトニウムが回収された。それから、おもしろいのはこの上でございますが、実際に途中で試験を1回やめたんです。というのは、どんなふうに、本当きちっとこの金属の棒が電解していつているかというのを見るために、ちょうどこれやめたところで、上の図なんです、特にこの丸い中の真ん中は、まだこれ金属で、ここがまだ電解されていないと。その外側の黒くなったところが、これがジルコニウムと、それから塩が混ざったものでありまして、このようにきれいに周方向に沿って電解が行われているという状況でございます。

こういうふうずっとプロセス開発をしてまいりまして、そうすると、この辺までいくと、実際に今度は工学的に試験をしてみようということになりまして、次のページですが、電解精製工学技術の開発というところで、ウラン回収速度の向上というのは、これは実際にウランをキログラムスケール、10キログラムぐらいのスケールで使える施設、これは東芝さんの浮島のほうの研究所に、この下にありますようなグローブボックスをつくりまして、そして実際に電解精製槽をつくって回収しています。このときの電解精製槽は大体38センチぐらいのもので、使用する塩としては60キロ、それからウランは、一応最大10キロというので、かなり実用に近いものをやっております。

このときに、実際にこれで何が達成できたかということでございますが、実際に先ほどのF/Sの設計でいきますと、ウランとして大体1年に6.4トン、これ1機で回収するという設計になっているんですが、それはどういうことかと申しますと、約8.8g-U/hという、これを回収すればいいということなんです、実際にずっといろいろ我々工夫してやってきておると、右にありますように35.2と、約4倍当たりのほぼ処理速度が達成できたということで、これはどういうことかと申しますと、先ほど六、七トンが1機ですから、この速度が達成すると、もう電解槽1機で大体使用済燃料30トンぐらいの処理ができる。ウランに関してはですね。ウランの回収に関してはできるという見通しがついたということまでいってございます。

それで、実際にその様子を次の絵で、2枚ほどでござんになっていただけたらと思うんですが、このウラン回収速度の向上、実際にこれどういうことかと申しますと、左の下の絵ですが、真ん中の黒々したところ、これがバスケット状の陽極です。この中にウラン・ジルコニウム金属を入れまして、それから上にありますこの円筒状のもの、これがいわゆる陰極にしてあります。

だからこの陽極から陰極、この陰極の壁ですね。この陰極の壁を少し拡大したのがすぐ右側にございます。このように金属ポットが、ここにどんとどんと、先ほどの陽極から離れたウランがここに回収されると。回収された様子が、その右側です。一番右の絵。そして、回収されると、これをここでどンドン成長していきますね。それを今度はスクレープしてやるという必要があるというので、このちょうど真ん中の絵の白丸のところですね。白丸のこれにちょうど爪が見えると思うんですが、この爪でどンドン析出と同時にかき取ってやると。

かき取ったものが、次のページです。次のページにございます、このように、ちょうどこれかき取られて、この電解槽のボトムに蓄積されるということで、これが実際に回収されたウランでございまして、左のほうは大体3.5キロ程度、右のほうはまだ少ないんですが、このようなものであります。

このように、実際に先ほどのこともできてきたということでございます。

それでは、時間がありますので、次の話にいきますと、そうすると今度は、実際にこういうものを工学的にするには、こういう高温の融体を実際に移送してやる必要があるということで、41ページにその漫画的な絵が描いてあるんですが、これ、実際に真ん中に電解槽がありまして、そのプラスのところから、右のところのオレンジ色の、これが液体カドミウムですが、ここに行きます。自動的にこれをポンプアップ、上にするようにしてありまして、そしてポンプアップされたところで、実際にこのカドミウムを蒸発させて、そしてその蒸発させたカドミウムをまた戻すというようなこと。左のほうは、塩について同じようなことをやろうとしているわけですが、このような装置を開発しております。

そして、その様子が次のページをごらんになっていただきますと、この右側の絵が、実際にそのグローブボックス、これちょうど奥行きが7メートル、横が4メートル、高さ5メートルほどのグローブボックスですが、全部これアルゴン置換してありますグローブボックス。それから、左に人がいますが、これはオペレーション操作盤ですが、この中で今の操作をするようになっております。

それで、下のほうにありますのが、これ塩を実際に移送するリグ、それから金属の輸送、それから蒸留装置、こんなようなものをこの中に入れてあるわけです。

それで、その次のページですが、これが少し例示してあるんですが、左のほうは、そんなようなところから実際にあけてみようということで、当初からついております穴から熔融塩、熔融塩というのは実際はこういうものですが、これが実際に熔融塩を取り出してくるところ。それから、今まですべてうまくいっていないことも言っているんですが、やっぱり途中にはいろんな苦勞がございまして、それがその真ん中の絵ですが、ふわっと何か上から白いものが固まったやつが、実はこれは冷やして温度を上げるときに、それぞれ配管の温度と、それから実際の塩の温度が違いますので、ちょっと変にしましたら、その配管がぱっと割れて、それから上から熔融塩が漏れ出したと。そんなようなことも経験して、実際に今のようなところを開発してきているわけでございます。こういうところでは、実際に遠心ポンプを使って、どの程度そういうものを上げることができるかどうかと、そのようなところもやっております。

それから、その次が、今の状況ですけれども、これも少し割愛させていただきます。

それから、あとその次、塩処理の話ですが、実際にこれは、使用済の塩を精製して固めてやる必要があるということですが、ちょっと時間がないので割愛させていただきますけれども、実際にゼオライトというものに塩を、いわゆるFP元素がたまった塩を吸着させて、そし

てきれいになった塩をリサイクルしてやるということで、次の46ページのあたりは、そのような基礎試験の状況。

それから、47ページのところは、実際に適用する場合に、カラム試験ですね。実際にこういうカラムを通して、そしてゼオライトの中で吸着させるというような試験でございます。それから、最終的には、その吸着させたものを、今度はガラス固化じゃなしに、ソーダライトという人工鉱物で固化されるわけですが、それが48ページ。いわゆるソーダライトに昇圧で加圧してやりますと、固化体になりますと、ソーダライト固化体になりますので、実際にこれは非常に浸出率も、我々も調べましたが、非常に安定しておりますので、こういうものにする。その絵が下に出ております。

ちょっと非常に急いで申しわけありませんが、その次の2ページほどが、今度は射出鋳造用のつぼの開発ですね。いわゆる先ほど材料の開発に、基本的にはこの49ページ、50ページのところにありますが、射出鋳造用、それから塩の蒸留用で、こういう材料の開発がいるわけですが、基本的には、黒鉛、グラファイトの基盤に炭化ジルコニウムを塗布して、その上にまたタングステンをつぼを置いて、それからイットリアコーティングして使う。そうすると、これウランを何回ももう既に溶かしたんですけれども、この50ページにありますように、ほとんど特に大きな損傷なく、繰り返し利用が可能であるというようなところまで来ております。

ということで、非常にはしょってしまいましたが、次の52ページが、ここにもあります国内機関との連携というのを、前のときにも進めるようにというご指摘もありまして、このように、国内のみならず、海外とも協力して、このような技術を開発してきた、その様子でございます。

最後、まとめのところだけ、ちょっと2枚ほど読ませていただきます。

まとめとしまして、燃料製造としては、5%程度までのMA含有金属燃料の物性を測定することにより成立性を確認した。フェニックス炉での照射試験のため、MAなし、2%、5%含有する金属燃料を溶解により作成した。

核変換につきましては、2003年末から2008年にかけて、3種類の金属燃料を低、中、高燃焼度までフェニックスで照射した。非破壊検査により、いずれの燃料とも健全に燃焼したことを確認した。MA含有燃料の照射特性も、これまで実施した観察項目内では、通常のウラン、プルトニウム、ジルコニウム合金燃料と特段の差は認められなかった。MAの核変換挙動は、今後測定する予定であると。

燃料処理に関しましては、化学プロセスとしての成立性は確認した。現在使用済燃料、フェニックス燃料を使った小規模でのリサイクル試験を予定していると。主な工程について、実用規模で利用できる装置開発を行っており、一部のプロセスについては初期の目標を達成したと。遠隔運転が可能な融体移送装置を開発していると。1,000℃以上の高温プロセスに利用できる多層構造のつぼの開発を行ったということ。

最後のページ、今後の課題というところでございますが、今後の課題としてはどういう課題があるかということですが、本技術に関する今後の課題といたしましては、MA変換挙動の確認、いわゆるフェニックス照射燃料と、金属燃料照射実績の蓄積、これは常陽で照射を予定しているんですが、常陽が残念ながらしばらく動かないと。それから、工学規模の装置開発と実証試験。その次には、処理容量の増大化方策、10トン規模から数十トン規模へと。それから、システムの安全性確保の論理と、そのデータの蓄積。それから、核物質管理法の構築、経済性評価。

それから、少しちょっと話題を離れますが、今後の本技術の我が国での位置づけは、はっきりさせる必要がある。現在は、基礎基盤として、電中研独自の投資、一部提案型公募研究で実施してはいますが。それから、本研究開発に対する、国内における連携の強化が、これを発展させるためには必要ではないかと。だけれども、残念ながら、国内での乾式・金属燃料開発に対する施設は整っていないと、今後、本研究開発を実施するためには、国内での関連施設整備が望まれるということ。

あと、関連事項としましては、アメリカの状況、それからインド、中国なんかはかなり本技術に対して猛スピードでやっているというような状況を記述してあります。

以上です。

○山名座長 ありがとうございます。

それでは、ただいまのご説明に対しまして、質疑を行いたいとございます。若林委員、どうぞ。

○若林委員 まず、9ページのMA並びに希土類元素を添加したというところの3番目の合金の物性研究の中で、ここで使用したMAとREの組成はどういう組成なのでしょう。

○井上首席研究員 それは、軽水炉から取り出し組成を、この場合想定して、ちょっと今詳しくは覚えておりませんが、ORIGENで計算した軽水炉取り出し組成です。だから、MAではネプツニウムが50～60%、それからアメリシウムが、ちょっと詳しく言えば3.5から4ぐらいですか、それからキュリウムがそれ以外ということ。レアアースも同じように出ています。

○若林委員 そうしますと、次のページの合金の金属組織を見ますと、キュリウムの析出とか、その辺が見えないんですけれども、これはどういう理由ですか。

○井上首席研究員 キュリウムは、多分これ、我々は非常にごく量も少ないですから、今考えておりますのは、アメリシウムとほぼ同じ挙動をしているんじゃないかと思っております。だから、この黒いところがありますね。グレインバウンダリの。REという、この中にキュリウムは入っていると思います。

○若林委員 なるほど。そうすると、例えば析出の16の中には、アメリシウム16%の中にはキュリウムも入っているということですか。

○井上首席研究員 はい。

○若林委員 あともう1点、核変換の実験結果というのはまだできていないんですか。

○井上首席研究員 ごめんなさい、ここの図のときには、今、キュリウムは入れていなかったです。キュリウムはあまりにも高すぎた。それで、実際に照射燃料だけ入れました。だから、キュリウムの成果は、照射燃料をこれから分析すると、かなりおもしろい結果が出てくるんじゃないかと思っております。失礼しました。

○若林委員 そうすると、合金の研究のときの組成と、それから燃料照射のときの組成は違っているということですか。

○井上首席研究員 キュリウム以外はほぼ同じです。それで、この合金組成はいろんな組成をつくっていますから。これだけじゃなしにですね。最初はウランとレアアースからだけ始めまして、そこにプルを入れたり、どんどんいろんな試験をやって、非常にたくさんつくっています。

○若林委員 それからもう一つ、核変換の実験データはまだだということなんですけれども、予想では、大体計算されているでしょうけれども、年間当たりになるとどのぐらいを予想され

ているのでしょうか。

○井上首席研究員 一応、核変換率として考えているのは、添付資料の2枚目、3枚目ですね。このMA添加した大型炉心の炉心特性、大体ここにMA変換率が、一番いいのはこれですね。58ページにグラフがありますね、この絵に示されているようなふうに考えています。だから、一応これ計算値ですから、ほぼこのようにいくことを、これから実際に分析と合わせていくということになると思います。

○若林委員 このパーセンテージは、年間当たりじゃないんですね。そうすると、何年間か燃やした後ということですね。

○井上首席研究員 これはそうです。4分の1炉心の中、その4分の1炉心を取り出しますよね。その炉心部分です。

○若林委員 僕がお聞きしたかったのは、フェニックスでの照射のどのぐらいをこれだけの照射期間で想定されているかということです。

○井上首席研究員 ちょっと実際に今、やっています。

○若林委員 ありがとうございます。

○山名座長 山中委員、どうぞ。

○山中委員 ちょっと最初に関連する質問で、MAの含有率は酸化物燃料とほとんど同じ5%マックスというふうに考えられるんですか。

○井上首席研究員 いや、酸化物燃料は、我々は実際にどの程度入るか、自分たちで試したことはございませんから、それはどの辺が入るかというのは。

○山中委員 いわゆる想定、燃焼させていくのに……

○井上首席研究員 我々としては大体5%。何で5%というふうにしたかと申しますと、実際に軽水炉を今後、もしMAを取り出してやるとするならば、5%ぐらい必要だということを考えまして、それでしました。ただし、軽水炉からのものを考えなければ、2%あれば十分だと思います。

○山中委員 それと、先ほどの若林委員のご質問にも関連するんですけれども、変換率といわゆる増殖率のバランスというのは、酸化物燃料に比べると、変換率はかなりよくなるということですか。

○井上首席研究員 それは非常に難しい。難しいというのはどういうことかと申しますと、単位体積当たりの、いわゆる変換率は金属燃料が高いですから、大きいです。ただし、例えば同じ1ギガワットの発電量であれば、金属燃料のほうが燃料体がかなり少なくて済むんですね。だからそれを考えると、変換量としてはほぼコンパラになる可能性というのはある。もう少し詳しい解析は必要ですけれども、今、そういうふうに見積もっています。

○山中委員 それからもう一つ、照射データというのは、これは酸化物と同じく、非常に乏しいと思うんですが、なかなか難しいと思うんですけれども、今後どういうふうに工夫をされるのかというのを教えていただきたいのが1点。

それと、これは金属の中の燃料のほうはいろいろ調べられているんですけれども、被覆管ですね。これが一体どうするのかというのが心配で、酸化物でも心配なんですけれども、金属燃料はさらに心配だなと。

つい1週間ほど前に、マテリアル・リサーチ・ソサエティというアメリカの学会で、金属燃料の照射後試験の結果がいろいろ報告されたんですが、かなり変なことがいろいろ起こってい

て、中の燃料がちょっと溶けている部分があったりとか、HT9を被覆管に使っているんですけども、被覆管の中はかなり成分が入っていたりとか、被覆管成分が燃料の中に入っていたりとか、いろいろ奇妙なことが起きているようでして、今後、そういう照射データをいかに取っていくか、あるいは材料選定をどうするかというのを、今のわかる範囲でというか、教えていただきたいんですが。

○井上首席研究員 今、先生がおっしゃったことは、すべてがそれがこれからの、日本だけじゃなしに、日本は特にそうかもわかりませんが、課題だと思っています。だけれども、一応先ほどご質問になったことをちょっとお答えしますと、照射データをこれからどうとっていくかということですが、これはアメリカにはかなり経験があるということで、日本の中では、今初めて、これフェニックスで、しかもMAまで入れて照射したと。これは、世界的にも非常に、我々貴重じゃないかと思っていますが、残念ながら、これはまだ9本なんです。

この後、先ほどもちょっと触れましたけれども、常陽照射用に、これはMAは入れていません。日本でMAをつくる場所がないので。それで、三元合金だけを常陽で照射しようというので、ちょうど今、三元合金燃料を7本か8本、ちょうど作り終わったところで、これからピンに加工しようと思うんですが、その後がちょっとまた途切れるなということ。

それから、被覆管に関しては、おっしゃるとおりです。実はこれも、当初、12～13%まで照射したかったんですよ。というのは、フェニックスが運転を終わるのが、来年の4月かそこらなんですけれども、それまで照射したかったんですけども、どうしてもフェニックスのほうで、被覆管のほう心配だから、もう残念ながら、今年の8月ぐらいに取り出してくれというので、取り出したんです。それで、我々としては電中研で、被覆管の開発というのは我々のタスクじゃないので、やっていませんけれども、できたらそういう高級なものが開発されるとういなどと思っています。

○山名座長 矢野委員、どうぞ。

○矢野委員 このまとめのところに書いてある、要は国内というか、日本国内では実践的なこういう開発はできないと書いてありますけれども、今後これがどうなっていくのかということですね。インド、中国でもこの方向で何か研究されているということが書いてありますけれども、それは一体日本とは違う何かを独自に持っているということなんでしょうか。

それと、先ほどの山中委員の質問に関連するんですけども、要するに複合的な照射損傷のようなことが何か起こるんじゃないかという気がするんですけども、それはやっぱり実践的に何かやってみない限り、個別のものでやって全体を予測するというのは非常に難しいんじゃないかと思うんですけども、その辺、今後どういうふうなことがあり得るのか、教えていただければと思います。

○井上首席研究員 国内でこの辺の研究がどうかとなりますと、やはり国内においては、かなりインフラも含めて、技術も含めて、これは私の感想であれなんですけども、海外、特に我々が今、共同研究している超ウラン研なんかと比べれば、国内はかなりビハインドではないかと。施設的にもですね。先ほど、アメリカシウムから金属をつくることをご紹介しましたけれども、あれなんかは、恐らく日本には全く技術がないと思います。我々がああいうところと組んだから、逆にああいう技術が手に入れることができた。

それから、インド、中国がどうかというお話ですが、彼らはやはり独自に、私も両方見に行ったんですが、かなり積極的に自分たちの手でやっておりまして、それで今、これちょっと1

回申し上げたかも知れませんが、2011年に50万キロの、これは酸化物燃料の高速炉が、恐らく世界で一番早く動くと思うんですね。ロシアは別としてですね。それが済んだら、次には、やはり同じ50万のものを2012年から建設される。これは酸化物です。この後、2017年から、さらに50万キロの、これは金属燃料だと。金属燃料になぜ彼らが行くというのは、やっぱり高増殖性が得られるわけですね。プルトニウムがたくさんできると。インドは非常にウラン資源も乏しいですし、それからもう一つは、インドは電氣的なグリッドが発達していないんですね。だから、1か所できちっとした、たくさんつくっていく必要があるということで、やはりかなり高増殖性のものをねらっているということ。中国も同じような方針でいっているんですが、私が見ている限り、中国は、インドに比べれば遅れているという感じです。

それからもう一つ、ダメージの話ですね。これなんかはやはりきちっと、本当にこれを実用化していくためには、やはり今、我々ピン照射ですけども、次にはやはりバンドル照射、集合体照射ですね。そんなふうにしていく必要があるんですけども、どうもこれも今の状況だと、インドに先を越されるなというような現状です。

○山名座長 ほかにございますか。深澤委員。

○深澤委員 乾式処理プロセス、燃料処理プロセスのところちょっとお伺いしたいんですけども、34ページから37ページにかけて、非常に貴重な試験の結果が示されているんですけども、ウラン、プルトニウム、MAの回収率というのはどのくらいだったか、教えていただけますでしょうか。

○井上首席研究員 回収率というか、ここでは、今マテバラをきちっと我々取ることを考えていまして、いわゆる塩中にどれだけあって、それから回収されたものがどれだけあって、入れたものがどれだけ。そこのマスバランスはきちっと取れています。ほぼ100%。ただ、入れたもの、その平衡状態で入れたものに対して、入れたものを1取る必要がありますよね。そのところは、今、実際に一生懸命やっているところですね。今、とりあえず装置全体のマテバラを取るというところです。

○深澤委員 マテバラは取られた。

○井上首席研究員 取りました。

○深澤委員 製品側にはどのくらい行かれて。

○倉田 35ページの試験を担当した者ですけども、陽極のほうから、4個バッチで合計で80グラム程度溶かしています。陰極で固体3個、それからカドミ陰極1個で、合計でやはり80グラム取れていますので、マスバランスは、先ほど井上のほうから申しましたように、100%と。組成だけ若干ずれておりまして、組成は、陽極から溶かしたものにしましては、ウラン対プルトニウムが7対3、これはMOXペレットの組成そのままでございます。陽極のほうはそれに対して8対2程度ということで、少しプルトニウムが少ない状況で回収しております。なぜ少ないかと申しますと、まだ定常状態に達しておりませんので、このルーチンをもう一回繰り返すと、ほぼ、予想としましては7対3で溶かしたならば、バッチをここで回収物として、7対3が回収できるという状況です。

○深澤委員 すみません、お聞きしたかったのは、塩中にどのくらい残っていて、回収されたものが、トータル入れたものの何%かという。

○倉田 インベントリと回収物という意味ですか。そういう意味では、熔融塩中に核物質が、これはウラン、プルトニウム合計で80グラム入っております。4バッチで、先ほど申しました

ように、陽極から60グラムを、陰極に80グラムを溶かして、80グラム回収しているという感じ
です。ですから、インベントリと、移動しているものが1対1くらいの試験をやっております、
この試験で。

○深澤委員 100%回収と考えてよろしいですか。

○倉田 100%の定義はどれでいいかということですがけれども、陽極から溶かしたものが100%
電極という意味では100%です。

○山名座長 深澤委員、よろしいですか。

○深澤委員 はい。

○山名座長 よろしくないのかなと思ひながら聞いたんですが、とりあえず入れたものは出た
ということでございます。

ほかにございませんか。河田委員、どうぞ。

○河田委員 先ほど、なぜインドは金属燃料かというお話がありましたけれども、私が彼らと
話したことも何回かありますけれども、中国も同じなんです、やはり高速炉を考えたとき、
それを立ち上げるときのプルトニウムの必要量というのがあるんですね。そういうのを見ると、
中国もインドも、事前の軽水炉の使用済燃料の蓄積というのが、ほとんど十分期待できなくて、
そういう状況で早めに高速炉をつくらうとすると、もうどうしても、増殖性の高い炉が欲しい
んですね。したがって、中国もなるべく早めに金属に移行したいと言っています。技術のレベ
ルは追いついているかどうかは別ですね。

そういう意味で言うと、日本とフランスは、非常に適度に軽水炉の使用済燃料の蓄積があて、
ある時期に移行しようとする、そこそこ上手なバランスが取れそうな感じがしますね。

それから、アメリカの場合には、一方的にもう使用済燃料がたまりすぎていますから、まず
彼らはそれを燃やすことに専念したい。そうすると、プルトニウムの富化度の高い燃料がい
いんですね。そうすると、再処理も含めると、やはり金属燃料がいいということで、多分、ア
メリカ、インド、中国は非常に金属への志向が高いと思うんですね。

日本、フランスは、それはもう技術とか経済性の面でどっちが得かということを考えながら
やるということなんじゃないでしょうか。

○山名座長 ありがとうございます。

ほかに何かございますか。

○長崎委員 2つ質問があります。

1つは、私は全然専門でないので、ちょっととんちんかんな質問かもしれないですがけれども、
こういう金属燃料でマイナーアクチニドが含まれるような炉心の、軽水炉で言うところの
ORIGENコードみたいなものの精度のいいものというのがあるのか、あるいはないのであれば、
どうやって開発していこうとしているのかというのが、結局、こういう核変換効率とかの評価
になると思うんですが、それはどういう状況になるのかというのが1つ目の質問です。

2つ目は、いわゆる保障措置対応の技術開発というのがどこまで進んでいるのかというのを
教えていただきたいんです。

○井上首席研究員 今、精度の高いシミュレーションコードということで、これは今、私ども
で、名前はCITATIONとかそういう名前を使って、金属燃料用にアレンジしたコードはつくって
おります。その辺の精度については……

○永田部門長 ちょっと次の紹介の中で、私のほうからご紹介しようかと思っていたんですけ

れども、こうしたマイナーアクチニド等の核データの整備については、次回の検討会で報告するように、今、原子力機構のほうで準備を進めているところでございます。

○井上首席研究員 あと、保障措置については、やはり湿式法の場合は完全に1回溶解しますので、ご承知のように、それを測定すればいいわけですがけれども、金属燃料の場合、なかなか不均一なシステムですので、そこはどういうふうにするかというのは、これから、今、一応大體概念的にはどういうふうに、アイソレートしたエリアをつくって、そのインとアウトをどのようにアカウントしていこうかという、その辺のところをこれから詰めていこうと思っています。

○山名座長 よろしいですか。

ほかに何かございますか。少し時間がありますが、私のほうから1つ聞かせてください。

質問が2つあるんですが、1つは電力中央研究所として、いわゆる前回、軽水炉からのHAWからの回収というお話を伺って、いわゆるバーニングリアクターという概念ではなくて、今、これはメタルでの均質炉心で、FaCTの副概念のような概念ですね。均質の金属サイクル、発電サイクルで、いわゆる焼却専用炉という概念は、今はお持ちでないということかということが1つです。

それからもう一つは、大井川さんからMA変換の効果についていろいろお話が出ました。この金属で回していった場合に、廃棄物がどうなるとか、地層処分の面積はどうなるとか、そういったシナリオスタディが、金属のサイクルに関して、電中研さんのほうではどの程度進めているか、2点、お願いいたします。

○井上首席研究員 専焼炉については、専焼炉というか、MAを変換させる炉を専用にするかどうか、それとも均質に商業炉に入れるかというお話なんですが、それに関しては、実は今、当初私どもが進めているのは、これは将来のFBRシステムとして、これは発電用ですね。システム用として、この金属燃料炉というので進めております。それは必然的に、もう当然これは、先ほど申しましたように、電気化学ポテンシャルからMAというのは一緒に取れますので、必然的にMAがリサイクルされるものになるというような、これが基本的な位置づけです。

しかし、1回、私この場で申し上げたかもわかりませんが、将来的にその辺のバリエーションが変わった場合、例えば発電体系の高速炉は完全な高除染でいくと。だけれども、やはりこれからプルトニウムを使いますと、MAの負荷というのはかなり増えますので、それについてはそういう非均質で燃そうという場合に、この金属燃料は、それにも私どもは適用できるというふうに考えております。その場合には、MAの量が今の5%まででいいのか、もっと増やす必要があるかというのは、これから検討する必要があると思っています。

それから、もう一点の、このシナリオスタディということなんですが、それは基本的に、第1回目のときに、学会の仕事で、タスクフォースの仕事を紹介させていただいたんですが、あれはいわゆる旧原研さんのほうで分離する方法というのがあるんですが、基本的にはMAに関しては、効果は同じだと思っています。ただ、FPが、あの四群群分離でやるように、この乾式の場合できるかということ、そこはもう少し検討が必要です。

○山名座長 ありがとうございます。

それでは、予定の時間になりましたので、次のテーマに移りたいと思います。

次は、永田部門長のほうから、資料4-1-2を使ってご説明をお願いいたします。大體、おおよそご説明は40分程度でよろしく申し上げます。

○永田部門長 ありがとうございます。

それでは、私のほうから、概括的なご紹介をさせていただきたいと思います。資料が第4-1-2号でございます。

表紙の裏側に内容が書いてありまして、はじめに、平成12年当時の研究開発状況から始まりまして、C&R後の取り組みと指摘事項への対応、以下、実用化戦略調査研究と実用化研究開発の概要。今日ご紹介するのが、原子炉システムの開発と、燃料製造システムの開発、この2項目についてでございます。

最初というところはおさらいになります。今、資料を順番に送っていただきますと、右下の4ページ目のところを開いておりますが、左側に高速炉サイクル利用型、右側が階層型、これは既にこの検討会の中でご紹介いただいたこととございますが、旧サイクル機構のほうでは、高速炉サイクルを利用して、マイナーアクチニドもあわせてマネジメントするという方法の検討を進めてまいりましたし、一方、旧原研のほうでは、コンパクトな核変換専用システムを開発するという形での検討を進めてまいりました。

それで、5ページ目のところに、いわゆる実用化戦略調査研究の段階での高速炉サイクルを利用した核変換の対象元素をそこで整理させていただいております。いわゆるTRU、マイナーアクチニドを含めたTRU元素に加えて、実用化戦略調査研究の段階では、核分裂生成物のうち、特にテクネ、それからヨウ素を代表核種にしまして、これはハンドリングしたらどうなるかというような検討も、実用化戦略調査研究の段階では行っております。

ただ、この右下の注のところ、そういう趣旨で説明しておりますが、この核分裂生成物のハンドリングについては、今、実用化研究開発に切り替える段階で、むしろこれは将来検討すべきこととして、現状ではマイナーアクチニドのハンドリングというところに集中して、研究開発投資を行っているところでございます。

また、送っていただきますと、次に、平成12年当時の研究開発状況というところでございますが、7ページ、これもごく概念的な絵で記させていただいておりますが、高速炉サイクルを利用したマイナーアクチニドのマネジメントということと、ここでは開発目標に、安全性、経済性、資源有効利用性、環境負荷低減性、核拡散抵抗性というような開発目標を掲げて、高速炉の特長を生かした燃料サイクル技術の開発を進める中で、当初からマイナーアクチニドについては、これはこのサイクルの中で燃焼させるというような形で検討を進めてまいっているところでございます。

さて、それでは次に8ページ、9ページのところで、前回のC&Rを行った後でどう進めているかということの全体的な流れをご紹介させていただいております。旧JNC、それから旧原研でそれぞれどう進めてきているのか。特に、この核変換技術ということと、マイナーアクチニドの核変換に関する研究、それから先ほど申しましたように、テクネ、ヨウ素に代表して長寿命核分裂生成物の核変換に関する研究を、実用化戦略調査研究の段階ではフェーズⅠ、フェーズⅡと続けてまいりました。これで、前回のC&Rについては、既にこの検討会でご紹介されたとおり、そこに記したようなご指摘をいただいておりますが、この研究開発につきましては、ちょうど2法人統合の段階で、国のC&Rをやっていただきまして、それで研究開発については、いわゆるいくつか考えられる選択肢のうちで、最も有望な組み合わせを使った実用化ということに、研究開発を重点化して進めること。その中で、今、右下のところ書いてございますが、先ほど申しましたように、LLFPの分離変換につきましては、2050年ごろの実用化以降

の目標とすることが適当ということで、現状では、2006年から実用化研究開発、FaCTという格好で進めておりますが、主概念の革新的な技術課題に関する研究開発に、研究開発投資を集中して行っているところでございます。

その話は、10ページのところで改めて整理させていただきました。指摘事項対応というような表題をつけさせていただいておりますが、先ほど既に指摘されたこととして、システム設計と要素技術開発を相互に連携させながら、しっかり進めなさいということでご指摘いただいて、それで、それに従ってシステム設計、それから要素技術開発、それぞれ進めておりますが、ちょうど先ほどの質疑応答の中で申しましたように、この中の要素技術開発の核データ及び物性データの充実・精度向上ということにつきましては、今、実用化戦略調査研究の枠としてやるよりは、基礎基盤研究としてしっかり進めていくということで、こうした事柄も、原子力機構としては進めておりますが、その内容については、今の進捗状況については、次回の検討会のほうでご報告したいと考えているところでございます。

同様に、従来、電子線加速器を用いた核変換ということについても、論点研究の一部として行っておりましたが、これについても、LLFP核種の反応断面積の研究等、現在も継続して行っておりますが、これについても改めて次回の検討会でご報告申し上げたい。

今日、この私の紹介の中でご紹介申し上げますのが、いわゆるシステム設計として、マイナーアクチニドを均質装荷した場合の炉心燃料設計と、燃料製造施設、ちょっと「設」という字が抜けておりますが、燃料製造技術についての検討というもの。それからあとマイナーアクチニドの燃料の照射挙動とか、あるいはその燃料の製造技術開発に関する要素技術開発の進捗状況について、ご紹介申し上げたいと思っております。

12、13というところも、ちょっとイントロが長くなって、まことに恐縮でございますが、実用化戦略調査研究における候補技術比較の考え方というのを、12ページのところに全体的なことを記しておりますが、ここでは特に、これも繰り返しになりますが、留意しておりますのが、いわゆる炉、それから再処理、それから燃料製造、この3つが回って、初めて高速炉の力が発揮できるわけございまして、相互の技術の関連ということを考えながら、全体として最適化を図るというようなことで、考えられる選択肢の比較検討、その上での選択肢の絞り込みというのをやってきたわけでございます。

13ページ目のところも、これも既にいろんな場でご紹介している図を紹介させていただいておりますが、最終的に実用化戦略調査研究を行った結果として、例えば燃料の形態としては、簡素化ペレット法、振動充填法、射出鑄造法、それから被覆粒子。再処理としては、例えば先進湿式、酸化物電解、金属電解、今そこのところで、中で記号で書かせていただいておりますが、炉については冷却材として、ナトリウム、ヘリウムガス、鉛ビスマス、水と、こういったようなさまざまな組み合わせが考えられるわけございまして、それを比較検討していった結果、最終的に最も実用化に対して有望な組み合わせとしては、炉としてはナトリウム冷却、それで酸化物燃料で、再処理については先進湿式、燃料製造については簡素化ペレット、こうした組み合わせを主概念にいたしまして、それから、それに次ぐものとしては、先ほど井上さんからもご紹介ございましたが、ナトリウム冷却で金属燃料、その場合は、再処理が金属電解で射出鑄造というような形の組み合わせが考えられると。これが実用化戦略調査研究の最終的な結論でございまして、実用化研究開発、FaCTについては、こうした認識に従って進めているところでございます。

さて、それで、次に、原子炉システムの開発と、それから燃料製造技術の開発というような区分けでご紹介させていただこうと思います。14以降でございますが、15ページのところに、この技術選択に至ったときの考慮点、それがナトリウム冷却炉、ヘリウムガス冷却炉、鉛ビスマス冷却炉、水冷却炉、それぞれで設計要求への適合性、それから技術的実現性がどうかというような視点から、絞り込みを行って、最終的にナトリウム冷却炉ということにいたしましたというところをまとめたものを記させていただきます。

それで、具体的に、じゃあその中で炉心設計として、マイナーアクチニドマネジメント、アクチニドマネジメントに関してどんな検討が行われてきたかの概括的な話を、16ページ目以降で、代表的なものを記させていただきます。炉心設計の中で行ってきましたのは、移行期を含めまして、先ほども議論になっておりますが、将来、高速炉が単独で存在する中であると、いわゆる増殖比としては、たかだか、いわゆるサイクル中の損失を補う程度、1.05程度の高速炉の炉心体系で十分であります。軽水炉からの移行期に際しましては、特に初装荷分、初期の燃料に対するプルトニウムを供給するというところで、増殖比が1.1から1.2程度の高速炉が必要になってくるわけでございます。

今、実用化戦略調査研究の段階では、そのこのところにいろんな新しい技術を取り込んで、できるだけ各オプションの中で合理的な方法を見出してやろうと。結果的に、先ほど、設計要求への適合可能性ということでのことを文章で記してありますが、今、この16ページ目のところで見てやりますと、それを発電単価という面で見やりますと、ナトリウム冷却の大型炉が、一番、いわゆる発電単価としては小さくし得るポテンシャルを持っていると。これは、単に炉の建設費だけではなくて、再処理、それから燃料製造に至るところ、それからさらには放射性廃棄物の処分まで入れてどれぐらいになると。

そのときに、このこのところで書いておりますのが、いわゆる燃料費の内訳としてはここに書いた、この段階ではこんな割合になっていて、ブランケットという分、いわゆる増殖性を高くしてやろうとすると、やっぱり燃料費は一定程度高くならざるを得ない。したがって、必要性の点もございませうけれども、できるだけ低廉な発電を行うという視点からしますと、なるべくブランケットも最小限にしてというようなことが出てくるところでございます。

さて、それで実際の大型炉の設計、ここでは実用化戦略調査研究の中では、大型炉心として、1,500メガワット級の設計研究というのを行ってまいりまして、ここで右側に記してあるような、できるだけ経済性を向上させてということになりますと、コンパクトな炉心体系にする。今、このこのところで記していますように、炉心を2領域、内側炉心、外側炉心の2領域で構成し、増殖性を確保しよういたしますと、その外側に1層の径方向ブランケットを設ける。それから、さらに遮蔽体については、そのブランケットの外側に、いわゆる通常の遮蔽体を設置し、それからさらに最外層には、ジルコニウムハイドライドという、非常に遮蔽性能の高いものを置いて、炉心としてコンパクトに仕上げたいこうというようなことを検討していったものでございます。

結果的には、いわゆるトータルの燃料サイクルコストというのを考えますと、ここでは平均燃焼度というような概念を記させていただきますが、炉心部、それからブランケット部、トータルとしてどれぐらいの取り出し平均燃焼度を確保できるか。これが大きな値にできるほうが、トータルとしてのサイクルコストが安くできる。

今、「もんじゅ」の場合ですと、炉心部で5万5,000というような段階でございますが、こ

の今目指しております1,500メガワット級ということでございますと、燃料の燃焼度としては15万MWd/t、GWd/tで申しますと、150GWd/tの炉心部、それからブランケット部と合わせましても、平行サイクルという、増殖比1.05であれば100を上回るような値の炉心を設定することができたというところでございます。

さて、この中で、どの程度マイナーアクチニドを燃焼できるかということで、次の18ページ目のところには、先ほどのご質問の中でも議論がございました。この高速炉で単純にリサイクルする場合に、じゃあどの程度のところに収れんするかというのが、今、この18ページ目の一番左側のところに書いてあるところでございます。見ていただければわかりますように、プルトニウムに対して、プルトニウムが95.5に対して、マイナーアクチニドを全量回収するというと、その内訳がその上のところに出ておりますが、アメリカが主体でございまして、大体95.5に対して4.5と、こんなような割合になってまいります。

それが、いわゆる軽水炉との移行期ですと、いろんなことが考えられます。それは、いろんなことと申しますのは、どんな燃料を、使用済燃料を処理するのか。かつ、その使用済燃料の燃焼度がどれだけで、かつどれぐらい貯蔵したものか。それによって、またこのところでは、フィッサイル率というのが書いてございますが、プルのフィッサイル率も変わってまいりますし、炉心の体系によっても変わってまいります。

それで、プルに対してどの程度のマイナーアクチニドの割合になるかということ、ここでは代表的な組成として、4つのケースを考えておまして、確かにこれでいろいろ詰めていくと、最大どこまでになり得るのかということ、いろいろ議論のあるところだと思いますが、ここではこんなような数字を出しております。

これで、先ほどの15万の大型炉心で組んでやるとどうなるかということで、次の19ページ以降のところでは、それぞれの今、いわゆる多重リサイクルの場合の組成と、それからあと、上のあれと見比べて見ていただきますと、組成③というのが比較的マイナーアクチニド含有率を小さくできるケース。それから、組成①というのがその次。それから、組成②、④というのが、かなり大きな割合になりますが、この場合で大体組成④というものを使って、均質炉心体系で組み上げてやりますと、炉心が大型炉、中型炉で若干の違いがございまして、大体マイナーアクチニド含有率で5%強程度というところになります。大体この程度のマイナーアクチニド含有率を考えてやれば、LF移行期において考えなきゃいけないマイナーアクチニドの量をおおむねカバーできそうだと見通せたということ。

あとは、今度はこここのところで記しておりますのが、それを大型炉、中型炉、それぞれの炉心の中に入れてやると、例えば増殖比がどう変化するか。それから、燃焼反応度というものが一体どう変化するかというもの、あるいはボイド反応率、ドップラー係数がどうなるかというようなことを分析した結果でございます。増殖比は、マイナーアクチニドが入ってまいりますと、若干増加する。それから、燃焼反応度ということからしますと、むしろマイナーアクチニドが入っていたほうが比較的小さな値になる。それから、ボイド反応度は、若干マイナーアクチニドが加わりますと増えてまいりますけれども、大体マイナーアクチニド含有率が5%ぐらいまでであれば、おおむね6%以下という程度に収まりそう。ドップラー係数については、マイナス0.4%ぐらいのドップラー係数は確保できそうだと、こんなような見通しを立てているところでございます。

そんなような、この程度の範囲内のことであれば、大体マイナーアクチニド含有率が5%程度

以内であれば、核的には、炉心設計の成立性を見通すことができるだろうというのが、実用化戦略調査研究の段階での検討の結論でございます。

それから、さらに先ほど、20ページのところ質問で、変換率はどれぐらいになりますかというご質問がございました。ここでは、装荷した分に対して取り出したものが一体どんな割合になるのかということで、これ、26か月ぐらいの運転期間を考えておりますから、1年当たりということになりますと、これは2ないし3で割り算してやると、1年当たりの変換率という格好になりますけれども、取り出し平均の取り出しの変換率で見てもやりますと、大体マイナーアクチニドが5%程度入ったもので、おおよそ40%程度。大体LF移行期で考えられるものからしますと、大体30%から40%ぐらいの減少率が期待できるというのが結論でございます。

以上、21ページは、今申し上げましたことについて、炉心設計研究についてのあらましをそこで整理させていただきました。今、開発目標としては、安全性、経済性、環境負荷低減性、資源有効利用性、核拡散抵抗性というのを開発目標の指標としておりますが、これを指標とし、技術的実現性を含め、候補技術を比較検討した結果、原子炉システムとしては酸化燃料ナトリウム冷却炉が最も有効であることを明らかにいたしました。

酸化燃料の大型炉心の設計研究を行いまして、多様な設計要求を満足できる見通しのある参照炉心概念を定め、均質炉心体系でのマイナーアクチニドリサイクルでは、LF移行期における変動を考慮しても、マイナーアクチニドの含有率はおおむね5%程度までになるとの見通しを得まして、この体系下での均質炉心体系の炉心における増殖比、燃焼反応度、ドップラー係数、ボイド反応度などを評価した結果、所要の設計要求を満足しつつ、おおむね30~40%程度のマイナーアクチニド変換が達成できるとの見通しを得ました。

以上が、いわゆる炉心設計の面からの原子炉システムについての検討の結果でございます。

それから、次に照射関係の話をしりまとめて持ってまいりました。今のFaCTにおける研究開発の中では、マイナーアクチニドの燃焼に関するところは、今、その中で、22ページのところによく申し上げている13の課題という格好で整理している中の7番目の、高燃焼度化に対応した炉心燃料の開発というところに整理されております。

今、今日はOHPの中に、こうした炉心燃料の開発に関係し、炉心関係でどんな問題意識を持ちながら、FaCTについての研究開発を進めているかということ整理した絵を2枚ほど持ってまいりました。23という番号がついておりますのが、炉心燃料についての高度化と、我々が今、それについてどんな開発課題を考えているのか。今、被覆管については、先ほど15万MWd/tという高い燃焼度を達成しようとしておりますが、それについては、ODS被覆管というものを何とか開発して、高い燃焼度と、それから高い出口温度を確保していきたい。それから燃料の中身については、TRU酸化物の低除染燃料で、これは太径中空ペレット、そして燃料製造法としては簡素化ペレットというもので達成していきたい。集合体を組み上げたときには、ラップ管については、PNC-FMSというフェライト系鋼を使い、それからあと安全性として、再臨界回避概念が成立するように、short-FAIDUSという中に、ダクトを設けたような集合体構造を考えているところでございます。

それは、24のところでは、もうちょっと炉心体系ということで整理したものでございまして、炉心については、今申し上げた高燃焼度、再臨界回避、あるいは高い出口温度ということが課題になりますし、それから、さらに炉心の中では、制御棒についてできるだけ長寿命化を図りたい。それから、先ほどコンパクトな炉心でと申し上げましたように、ジルコニウムハイドラ

イド遮蔽体を設け、使えるようにし、コンパクトな炉心体系にしたいというところがございます。

25ページのところには、これはアクチニド燃焼と間接的に影響するというか、ODS被覆管の燃料開発の進め方について整理してみました。これは、議論があればということで用意いたしましたので、今の説明の中では省略させていただきます。

それから、26ページのところには、今度はアクチニド燃焼を含む、低除染のTRU酸化物燃料の燃料開発の進め方について、考え方を少し整理したものをそこに記させていただいております。関連するものとしては、酸化物燃料の、いわゆるマイナーアクチニドも含んだもので、どんな物性になるのかという物性評価とか、それからそれを燃料ピンにして照射試験を行い、さらにそれを集合体照射というような形のもので行っていく。いわゆるマイナーアクチニドを含むアクチニドマネジメントということでは、今、上と下と区分しておりますのは、これブルーで記したのが、日仏米の協力でやりたいというようなことでやっているところです。

その一方で、今、私どもとしては、簡素化ペレット法で燃料を製造したいということを並行して行っておりますので、そうした面については、我が国単独での試験というのを展開していく必要があるだろうと。これを今、常陽、「もんじゅ」を活用しながら、こうした照射試験の展開を図っていこうとしているところでございます。

今、これまでの前回のレビュー以来の代表的なものを、以下、27から29のところに、照射試験関係をご紹介させていただいておりますが、1つが、常陽でのアメリカ製のMOX燃料の照射試験でございます。今、その左側にありますような形でピンを製造いたしまして、必要な許認可を取得し、それで28ページ目のところがございますが、現状では2005年から2006年にかけて、こうした10分照射、24時間照射というのを行いました。

現在、この照射済みの試験片につきましては、照射後試験施設での分析がスタートしておりますので、今、29ページのところに示させていただいておりますのは、その中でいわゆるプル、アメリ、ウランがどんな中で状態になっているかということ进行分析した結果を、こうしたようなデータを採取しつつありますということの代表例として記しております。常陽、先ほども井上さんが触れられておりましたが、現在、残念ながら停止しておりますので、できるだけ早く再開した段階で、再びこうしたマイナーアクチニドを入れたMOX燃料の、今度は10分、24時間の照射試験は終わりましたので、その結果を踏まえながら、より長時間の照射試験を行っていきたいと考えているところでございます。

それから、30ページのところには、今、並行してGACID計画という形で、日仏米で米国で原料を供給し、フランスでそれを照射用の燃料集合体に製造し、それを常陽、「もんじゅ」で照射試験を行いたいということで、3国協力して照射試験を行う検討が進んでいるところです。それを絵で記させていただいております。

31ページは、以上のまとめでございまして、3～5%のマイナーアクチニド含有MOX燃料ペレットの試作をするに至りまして、今、その試作した燃料ペレットを用いて、短時間の照射試験を行い、これから順次、照射データの充実に努めていこうと。その際には、国際協力も活用しながら、充実に図っていきたいと考えているところでございます。

以上が、炉システム関係でございまして、32ページからは燃料製造システムの開発ということで、簡素化ペレット法製造技術開発についての概略をご紹介させていただいております。

33ページのところは、今ここで燃料サイクルシステムとして、先進湿式法、簡素化ペレット

法が設計要求への適合性が最も高く、かつ技術的実現性が最も優れているということで、選択に至った経緯を概略的に記したものでございます。

34ページは、そのときの使いました開発目標、それから設計要求としてはどういうものを設計要求で考えていたかということ整理したものを掲示しているものでございまして、例えば経済性につきましては、再処理と燃料製造と合わせて、処分費も含めると、大体キロワットアワー当たり1.1円といったものを設計要求とし、それへの実現性ということ指標に検討を進めてまいりました。

その結果、燃料製造のところでは、35ページに記しておりますが、いわゆる簡素化ペレット法というものをこの燃料製造の中のキーにしております。現行法が、今、左側のところで記しておりますが、現行法の概略を申し上げますと、いわゆる再処理の製品として出てきた1対1のプルトニウム・ウランから出てきたMOXの原料粉と、それからUO₂の原料粉、それからさらには乾式回収粉というのを使いまして、いわゆる粉体の調整ということで原料をつくり、それを造粒し、成型し、焼結して、製品に至ると。こうしたプロセスを踏んでおります。

それに対して、今、私どもが簡素化ペレット法ということで開発を進めておりますのは、こうした粉体の過程というのをできるだけ少なくし、再処理の最終段階の混合溶液から富化度を調整し、そこで脱硝、造粒、焙焼還元、プルトニウム富化度を調整して、以下の燃料製造に適した粉体をつくりたいと。それを昔はショートプロセスと呼んだりしておりますが、現在、簡素化ペレット法の燃料製造技術開発として進めていく。

逆に、こうした燃料製造を簡素化することによって、マイナーアクチニドを含有したものとか、あるいは、いわゆる低除染というFPが若干残ったような原料についても取り扱えるようにしたいというのが、今のこの簡素化ペレット法の製造技術開発でございます。

今、そのところで、36ページのところは、低除染TRU燃料に起因する技術開発課題という形で整理しました。マイナーアクチニドを含有する、あるいはFPを含有するというところでの開発課題、それから発熱が大きくなるということについての開発課題、それから放射線レベルが高くなるということについての開発課題、こうした開発課題に対応して研究開発を進めているところでございますが、やっぱり先ほども申しましたように、私自身、一番キーとなってくるというのが、この37ページのところでございますように、いわゆる再処理の最終段階で、一気に燃料製造に必要な粉体を製造してやりたいという、脱硝転換造粒一元処理技術の開発が、こうした簡素化ペレット法の一番キーになるところと考えてございまして、今そこに記してありますように、ウラン原料を使ったり、あるいは少量のMOX粉を使ったりして、このところでどうすればうまく脱硝でき、必要な粉末が、流動性にも優れ、焼結しやすい粒子が得られるのかというようなことの検討を、少しずつ進めているところでございます。

今、一方で、38ページのところでは、こうした製法を横に置きながら、マイナーアクチニド入りの燃料を実際に照射用のペレットとして製造し、それでいろんな焼結特性を調べ、ペレットとしての特性を調べたりする研究も同時に立ち上がっております。38ページのところでは、先ほど常陽で照射試験を行いましたということをご紹介いたしました。そのところで使用したものの、これは燃料を製造するという面から整理したところでございます。今、このところでは、左側の下のところにどんなペレットをつくりましたということ記してございますが、左側のほうは、ネプツが2%、アメリが2%のMOXペレット、それから右側に、5%アメリ含有MOXペレットというのを記してあります。左側のものは、東海のほうのグローブボックスの遮

蔽を強化して、グローブボックス中でつくれる最大限のものという格好で設定したものであり、一方、右側の5%アメリ含有MOXということにつきましては、大洗のほうの試験施設のほうで、ホットセル内で製造するというところでやったものでございます。

今、この絵の中では、いわゆる焼結を行うときの酸素ポテンシャルと組織との関係ということを書いておまして、焼結時には、多少酸素ポテンシャルを高くしてやったほうが、ちょうどこの写真で左と右と見比べてやりますと、右側のほうが均質な状況になっているのがごらんいただけると思うんですけども、こうした試作を通してわかったことは、焼結の際には少し酸素ポテンシャルを上げてやり、その後、加熱還元というプロセスを設けてやって、必要なO/Mに調整するというようなプロセス構成が必要だというようなことを、こうした試作を通して実験的に把握しているところでございます。

それから、39ページのところは、これは大洗のほうのAGFという施設の中で、実際にホットセルの中に、こうした燃料製造施設を組み込んで、照射用のアメリペレットをつくったときの施設がどんなものを使いましたというようなことの紹介をしたものでございます。

以上、こうした、いわゆる簡素化ペレット法の開発、それから照射試験用のこうしたペレットの試作と並行いたしまして、TRU燃料を取り扱うための必要な技術開発として、1つは、40ページのところがございますセル内設備の遠隔保守技術開発として、例えばここに書いてありますように、例えばモジュール化設備の開発をしたり、それに必要なマニピュレーター等のハンドリング設備の開発を進めたり、あるいはペレットの検査設備、燃料粉体の分析技術、そうしたことの開発を、セル内でこうしたペレットを大量生産していくのに必要な技術開発を並行して進めているところでございます。

また、さらには、先ほどご紹介したように、燃料集合体が高発熱になりますので、高発熱燃料の取り扱い技術開発ということもあわせて、公募研究という格好で行っております。

以上、燃料製造のところについてまとめたのが41ページのところでございまして、一応実用化戦略調査研究を通しまして、燃料製造システムについては、簡素化ペレット法が最も有効であるということをお明らかにいたしまして、その上で、必要な革新技術は6課題に整理した上で、今、これは他の再処理あるいは炉システムも共通でございしますが、2010年の革新技術の採否判断、15年の成立性見極めと、実用施設、実証施設の概念設計結果の提示を目指して、実用化研究開発を進めていくところでございます。その中では、今、ウラン試験、今日ご紹介いたしました小規模MOX試験や照射試験用マイナーアクチニド添加MOX燃料ペレットの試作などによりまして、脱硝・転換・造粒一元処理や、焼結・O/M調整技術開発などを含む簡素化ペレット法技術開発を進めており、並行して、高発熱TRU燃料取り扱いに必要なセル内遠隔保守技術や、高発熱燃料取り扱い技術の開発を進めているところでございます。

以上、今の実用化研究開発の状況についてご紹介いたしました中、ちょっとご紹介した中で、肝心なところが抜けていると思いましたが、今、ちょうど9ページのところに全体の今までの流れが記しております。実用化研究開発については、2006年にスタートいたしまして、ちょうど今年がその3年目を迎えております。3年目を迎えた中で、今、中間レビューということで、内部的にはこの3年間の研究開発成果を取りまとめて、森山先生以下の評価委員会のほうにお願いして、当初の目的に対してどうであるのか、それをプロジェクト的に、あるいはマネジメントの面からレビューしていただくような中間レビューを、今進めているところでございます。

FaCTの研究開発の状況とこれまでの経緯についてご紹介させていただきました。

以上でございます。

○山名座長 ありがとうございます。

それでは、質疑を始めたいと思います。何かございますか。

○深澤委員 2点ありまして、燃料製造の観点なんですけれども、先ほどの簡素化ペレット法なんですけれども、この簡素化ペレット法で実際にMA入り燃料をつくったことはあるんでしょうか。

○永田部門長 MA入り燃料ということではまだです。これからやっていくことになると思います。

○深澤委員 あともう一点、ちょっと最初のところに旧原研と旧サイクル機構の研究開発状況が示されているんですけれども、この旧原研の基礎基盤研究もまだ続けていらっしゃるということで、このご紹介は今回はないということで理解してよろしいのでしょうか。9ページの旧JNC、旧原研という矢印がありますけれども、旧原研の水色の矢印もまだ続いているというふうに考えられますけれども、この基礎基盤研究のほうのご紹介は、今回なかったということですか。

○永田部門長 はい、次回ご紹介させていただくということで、今、準備を進めているところでございます。

○深澤委員 わかりました。ありがとうございます。

○山名座長 10ページの表のブルーに塗ったところは、次回ご説明いただけると理解しております。

ほかにございますか。山根委員、どうぞ。

○山根委員 システムのところですが、資料でいくと19ページですね。MA含有率5%のスケールでやって、30~40%変換率が達成できると。これは、核特性としては静的な計算を多分されていると思いますが、安全に係る問題として、ボイド反応度とかドップラーとかあって、その値は出ていますが、それをベースに、いわゆる安全解析は実施されたんでしょうか。それともまだでしょうかということを確認したいんです。

○山名座長 それは水野さんですか、どなたがお答えされますか。

○水野 原子力機構の水野と申しますが、お答えいたします。

安全解析も実施しておりまして、通常の許認可で言う異常な過渡変化、それから事故事象、さらにそれを越えるようなところまでの安全解析をやって、安全に炉が止められること、あるいは過大な放出なしに事象を終息させられるということという確認の解析は行っております。

○山根委員 確認ですけれども、先ほどでいくと、MAが5%ぐらい入ったときに、ドップラーが絶対値としては低めに、それからボイド反応度値は逆に大きめになります。その範囲内で、十分、今言ったようなことが成立すると、そういう知見を得られたと理解してよろしいですか。

○水野 はい、おっしゃるとおりです。ボイド反応度につきましては、ご存じのことだと思いますけれども、冷却材温度係数に利いてまいりますので、そういったものを取り入れた上で解析を行って、安全に止められるということは確認してございます。

○山名座長 若林委員。

○若林委員 10ページの、C&R以降の取り組みと指摘事項への対応というところで、C&Rのとき、私の記憶では、均質のMAの装荷だけじゃなくて、非均質の装荷も検討するような、そういうこ

とがあったんじゃないかというふうに記憶してしまっていて、非均質の場合はターゲット集合体というものの、あるいはそのターゲット集合体に入れるイナートマトリックスとか、そういうものを研究するというか、そういうことがあったんじゃないかと記憶しているんですけども、それへの対応はどういうふうになされたわけでしょうか。

○永田部門長 今、この中でその他というところで、高濃度アメリ含有MOX燃料に係る研究開発を実施と書いて、次回、そうした視点も含めてご紹介するように、今準備をしているところでございます。

○若林委員 もう一つ。

○山名座長 もう一つどうぞ。

○若林委員 20ページのMA核変換特性というところで、核変換率というものを出しているんですけども、私、常々思っているのは、核変換といった場合に、核分裂でFPになってなくなるのと、それから吸収して、それで次の別の核種になって、プルトニウムとか、そういうのがあると思うんです。だから、この核変換率というものの定義は、ただMAがなくなって違うものになった、MAが減っていくというだけでなく、どういうプロセス、すなわちフィッションなのかキャプチャーなのかという、そういうところも1つ見ておいたほうが、高次のマイナーアクチノイドがどのぐらいできたとか、そういうものを少し考慮する場合に重要なんじゃないかというふうに思うんですけども、それについていかがでしょうか。

○永田部門長 ありがとうございます。そんなような視点も含めながら、ちょっと表記の仕方ですね。どう表現するかということについては、今後、考えていきたいと思います。

○山名座長 この点はまた1つの評価指標の問題ですよ。重さの話か、何の話かということ、また1つのテーマとして、今後残していきたいと思います。

ほかにございますか。山根委員、どうぞ。

○山根委員 簡素化ペレット法の製造の話ですが、最初のプル、ウランの混合溶液のところ、ここの富化度の調整は、具体的にどういうことを考えて、どういうふうにやられると考えておられるのかわからなかったもので、そのイメージを教えてください。

○永田部門長 従来は、再処理の製品は、ウランとプルトニウムの混合比は1対1という形で製品にして、その粉を持ってきて、ウラン粉末と合わせて、粉末で調整して、富化度を調整するというをやっております。

今、ここのところでねらっているのは、もうその溶液の段階で所定の富化度にしてしまおうと。それで一気に再処理の製品から、要は再処理と燃料製造というのを1つの流れにしてしまっ、それで再処理製品からそのままMOXの製品にしてしまうというような形にすれば、いわゆる粉体で長々と調整したりする工程が省けて、全体として非常にコンパクトなものに仕上がると。したがって、溶液の段階でもう富化度調整をしてしまおうと、こういうことでございます。

○山根委員 確かに、現在考えている方法の粉体の場合は、粉体を十分に混ぜて、均質にする技術が非常に難しいということは確かです。溶液でやるという技術は、既に確立していると考えていいですか。

○永田部門長 今、まさにその技術開発を進めているところ、私自身、ちょっと素人の私が大事ですと言ってもちょっとあれなんですけれども、今、この簡素化ペレット法の中で一番重要なところは多分このところで、以下の燃料製造に必要な粉体が得られるかどうかということ

ろが鍵だろうと思っています。どれだけ均質で、それでどれだけ流動性とか、そういうペレットの製造に適した粉体がそのところで得られるかというところが一番肝要な技術で、今、そのところについて段階的に、ウラン試験とかいろいろ組み合わせながら、技術開発を進めているところ。今回もちょっとその絵を少し用意させていただきました。

○山名座長 山中委員。

○山中委員 また燃料の開発の話になるんですけども、軽水炉の新しい燃料の開発なんかに携わらせていただいて、それとちょっと比較すると、当然予算の度合いが違うので、なかなか難しいかと思うんですけども、やはり機動的な照射試験とか、もう少しうまく燃料の開発みたいなものを工夫していただきたいなど。FaCTが始まって3年たつので、3年前とどう変わったかなというのがちょっと心配だなというところもありまして、そのあたり何か。あるいは、もう一つつけ加えると、「もんじゅ」をどうやって利用していくんだという、その2点。

○永田部門長 ありがとうございます。全く同じ問題意識を私自身も持ってまして、それで、今、「もんじゅ」の燃料というのは、先ほどご紹介の中でも申しましたように、低密度の燃料で、燃焼度が平均5万5,000。これは実用化という中では、高密度化して、性能をよくして、それで15万燃やせるようなものにしていきたい。そうすると、被覆管も変えなきゃいけないし、それからラップ管も変えていく必要があるだろう。それから、ピン径も当然触っていくような格好になる。

それを、「もんじゅ」の今の燃料から、どう段階を追ってその実用化に近いものに持っていくかというのは、実は今日、水野を連れてまいりましたけれども、彼を中心に、今その具体的な計画を立てようと、内部的には作業を進めつつあるところでございます。次の中期計画が、今の原子力機構の次の中期計画の検討が始まっておりますので、その中期計画の検討に何とか、どう段階を追って、燃料製造について実用化につなげていくかということ織り込みたいと思って、今、努力しているところでございます。ingで進めておりますので、またその過程については、適宜いろんな関係者の方々にも計画をご提示し、ご意見を伺いながら進めることができたらいいなと思っておりますので、ぜひよろしく願いいたします。

○山名座長 よろしゅうございますか。

矢野委員、どうぞ。

○矢野委員 16ページの左下に、導入シナリオの検討例というのが書いてありますが、これも、我が国の原子力依存度を、今の30数%から50%まで上げるというようなことを考えたときは、この増殖比というのはどんなふうになっていくものなんでしょうか。

○永田部門長 今、これは58GWeというもの一定という条件で取っているわけでございまして、これをさらにこの58GWeを大きくしたらどうなるかということの検討もいろいろやっています。定性的に言えば、当然のことながら、特に初装荷燃料をどう供給するかということが1つの鍵になりまして、それで移行期間における増殖比が、高い増殖比が望まれる。ただ、ここで、先ほども議論がございましたが、いわゆる軽水炉で蓄積した燃料をうまく活用してやることによって、私どもとしては増殖比、今ここでは1.2のケースを書いておりますけれども、今の58GWeぐらいであれば、1.1程度の増殖比でも何とか対応することが可能とも思われます。

ただ、今ご指摘のように、さらにその58GWeから増やしてやろうとしますと、増殖比1.2で使用する期間が長くなるという形で対応できるのではないかと思います。

○山名座長 ほかに何かございますか。深澤委員、どうぞ。

○深澤委員 すみません、非常に細かい話で恐縮なんですけれども、先ほどの金属燃料のときに、ボンドNa中に¹³⁷Csが移行するというデータがあったんですけれども、酸化物燃料の場合も同じなんでしょうか。

○水野 セシウムが燃料から放出されるという意味では同じです。酸化物燃料の場合には、ご存じのように、ギャップ中は製造時ヘリウムでして、中はガス状ですので、セシウム自体が気体となって軸方向に移動したり、あるいは酸化物ペレットの表面で化合物を形成して、それが徐々にポテンシャルの低いほうに動いていくというようなことで、再分布が生じたりします。

○山名座長 よろしいでしょうか。

ほかに何かございますか。

細かい質問等また出していただいてよろしいんですが、井上さんの話も合わせて、ここでまだ時間がありますので、ディスカッションすればよろしいと思うんですが、大体2つの手法についてお聞きしますと、かなり積極的に研究されているということはよくわかってきた。さりとて、マイナーアクチニドをリサイクルするというのは、非常にフェイタルな1つの大きなテーマですね。これを今、越えようとしているときに、我々は一体、本当にこれからどういう技術開発に力を入れるべきだとか、何が決定的に欠けているとか、そういう判断をしていくということが大事になるわけです。

例えば、今の永田部門長のお話を聞いても、えてして何か、もう結構できるじゃないと思っちゃうことが多いわけですが、果たしてどれぐらいの基礎データがどこまで本当にあって、製造上、どこまでの段階に何合目まで上っているかというのは、いまいち共通認識が多分、得られていないと思うんですね。せつかくですから、この場ではその辺、一体何が大事で、何が欠けていてということを理解していくようにしたいわけですが、例えば前に田中委員長代理から、核データの信頼性、例えば臨界にも絡む、安全性にも絡む、それから消滅効率にも絡むということで、どこまで信頼できるかもよくわかっていないというような話もありましたし、基礎物性として、まだまだ押さえられていないところがある。それから、照射による先ほどのFCCIも問題ですとか、そういうこともよくわかっていないところがある。

それで、お聞きしたいのは、永田部門長は、酸化物のこれからの開発の中で、MAを均質で戻していくというときに、これからの課題の中で、まさに基礎データと、それから製造上の重要なところですね。例えば、先ほどどなたかご質問になりましたが、簡素化ペレット法で、マイナーアクチニドが入った状態で簡素化ペレット法、ダイレスプレスに持ち込めるのかというようなところですね。もちろん、まだわかっていないと思いますが、大体どの程度のところまで確証を得てきて、これから押さえていくべきクリティカルなパスは一体何なのかということ、もう少しわかりやすくまとめていただけないかなというお願いがあるんですけれども。

○永田部門長 燃料製造の面から申し上げますと、実は、今この場で話すのは難しいなと思っているんですけれども、高速炉の実用化というのは2050年ごろということで考えています。2050年ごろで、先ほどの絵がございましてけれども、今、そここのところでは、高速炉の導入初期において使うプルトニウムというのは、ほとんど、元が軽水炉燃料を処理したものです。したがって、そここのところの燃料については、軽水炉燃料をどう処理するかということによって製品が決まってまいりますので、その製品に対応して、その燃料製造技術を整備していく必要があると。

したがって、今の実用化段階を目指して、いわゆる燃料サイクル技術として、何をどういう

順番で整備していくかということからしますと、先ほどの簡素化ペレット法が多分重要だろうということをお願いして、今その研究開発を鋭意進めています。多分、これから簡素化ペレット法で製造すれば、現状を見比べますと、かなりその燃料を安く大量にできるという技術として、まず整備できて、それが非常に工程が短縮できるので、今度はそれをセルの中に持ち込んで、それでマイナーアクチニドも扱えるような技術に育てていくことができるだろう。

段階を追ってということをお願いすると、まず今の、例えば六ヶ所から出てきた再処理製品を使って、それでそれを簡素化ペレット法にいつのタイミングでどうつなげて、燃料製造をできるだけ簡素に、かつ合理的につくる、それが多分、1つの段階だろうと思っています。それをまず仕上げるといふか、技術的に成熟させて、それを今度はセル内に持ち込んで、マイナーアクチニドも取り扱えるように持っていくというのが、燃料製造についての開発ということになるんじゃないだろうか。

従来ですと、一気に実証施設という格好で、マイナーアクチニド入りの燃料をセル内で作るという技術はかなり近い時点で開発するというのも視野に入れながら、研究開発を進めておりますけれども、それはそういう段階を追いながらやって進めていくというようなことも、同時にこれから先の研究開発の展開としては考える必要があるんじゃないかと思っています。そういう形で、研究開発をやりますという決め打ちでやるつもりもありませんけれども、何かそんなような段階を追って燃料製造技術を開発していくということも視野に入れながら、開発を進めていく必要があるんじゃないかなと。また、そのほうがうまくいくんじゃないかなという気がいたしております。

○山名座長　そういう均質型の開発をやるときに、やはり本来のウラン、プルトニウムとしてまず均質型のしっかりしたシステムをつくるということと、マイナーアクチニドが均質に入ってくるという別なファクターが2つ入っているんですね。同時にねらっていくというアプローチをとっているんですけれども、恐らくそこで何か合理的な道筋を考えると、順序を考えると、そういう判断が極めて重要になると思うんです。でないと、二兎を追う者一兎も得ずと、これ最悪のシナリオですが、そういうこともあり得る。ですから、恐らく何らかの技術的な戦略的なアプローチがあるんだろうなと思っております。

そういう点も含めながら、委員の皆様、いかがでしょうか。何かご意見等ございましたら、よろしく申し上げます。

山根委員、どうぞ。

○山根委員　今のお話を聞くと、簡素化ペレット法というのがかなりキーテクノロジーになっているような気がするんですけれども、もし逆にその開発が遅れるとかうまくいかない場合に、どういうシナリオをバックアップとして考えておられるかというのを確認したいんですけれども。

○永田部門長　研究開発ですから、今、先生ご指摘のように、いろんな障害が出たときに、じゃあそのリスクを回避できるようにどんな手を打っておくかということも同時に考えなきゃいけないだろうと思っています。

それは、今我々としては、ちょうど先ほど「もんじゅ」から、実証炉を2025年に運転開始しようとする、大体それに先行して、2020年ぐらいからは、その実証用の燃料製造を開始しなきゃいけない。そこら辺のことを考えながら、ここしばらくのステップアップを段階的に図っていきたいと思っています。

山根先生ご指摘の点は、そうしたステップを経る中で、やっぱり段階的に解決していくのが一番いいんじゃないだろうか。将来はこれとこれしかないというような形ではなくて、ただ今の、実はさっき私は、脱硝・転換、この一元処理というところが一番キーになる技術だと思っていますと言って、本当にそれ大丈夫なのか、ともかく早くその見極めをしてほしいと、こういうようなことを現場のほうにはリクエストするんですね。ただ、現場のほうは、何でそんなこと心配するんですか、これ絶対できますよと、結構自信を持って言ってくれたりしています。

今、ですから、そういう先生からのご指摘で、ちょっとこれがだめだったとき、次にどうするのというようなことについては、ちょっと答えにくいんですけども、まずはそのところで技術的な状況を見極めるということは今優先して、2010年まで行っていますので、その2010年までの研究成果を見ながら、今の先生のご指摘の点も踏まえて、オルタナティブを考えるとということをやっっていこうと思っています。

○山中委員 簡素化ペレット法については楽観視しているんですけども。というのは、簡素化ペレット法だけじゃなくて、こつこつ研究開発を進めていけるたぐいのものと、ものすごい長期間データが出なくて、ものすごい長い時間かかって初めてデータが出るものと、それと比べると、簡素化ペレット法はこつこつやっっていけば、ある程度その技術の進歩があるだろうと。遠隔操作というのは、結構キーになるかなとは思うんですけども。

という意味で、燃料照射というのは、やっぱり長い時間かかって初めて何か結果が出るものなので、それはうまくやってほしいという部分ですし、ある装置がないとできないという、そういうたぐいのものも多分あるので、それもよく精査して、例えば核データを取りたいとか、そうなってくると、何か別のとんでもない装置があるようになったりということも考えられるので、その辺は、いろんな種類の研究開発があると思いますので、よく考えてやっていただきたいと思います。

○山名座長 ありがとうございます。

ほかに何かご意見等ございませんか。矢野委員、どうぞ。

○矢野委員 国際的に見て我が国のこういう研究開発力というのがどの辺にいるのかというのが、ちょっとなかなか見えてこないんですけども、こういうものは世界的に同レベルであって、どこかがどこかを出し抜くとかいうことはないのかどうか、その辺、何かわかりやすいデータというのはあるものなんですか。

○永田部門長 今、世界的に見て、フランスが今、高速炉のMOX燃料をつくっていませんから、いわゆる工業規模で、高速炉用のMOX燃料をつくっているのは、ひょっとして唯一我が国で、したがって、いわゆる20～30%のプル富化度のMOX燃料をつくるということにおいては、それなりのポジションにあるんじゃないかと思っています。ロシアは、ああいう高速炉のプラントとしてはつくってはいまですけども、使っているのはUO₂燃料ですから、なかなかMOXを商業ベースできちっとつくっていくということについては、今そこそこの位置には少なくともあるはずと思っています。

ただ、じゃあこれからそれが、今簡素化ペレット法という、さらにアドバンスしたものを我々は開発しようとしていますし、それをものにできれば、結構いい線いくのではないかと思います。ただ、それに安住するつもりもなく、海外でもいろんな方法でのトライというのを進めていますから、やっぱりそれに量ができるように、常に先進の細心の注意を払いながらや

っていきたいと思いますけれども、高速炉用のMOX燃料製造ということについては、そんな状況にあるんじゃないかと思っています。

○山名座長 よろしゅうございますか。

河田委員、どうぞ。

○河田委員 その今のお話ですが、私、去年の夏、カールスルーエでFrederic Joliot/ Otto Hahn Summer Schoolというのがあって、その私は廃棄物のほうのレクチャーを頼まれて行ってきたんですが、たまたま高速炉とか、そういった燃料についてのレクチャーはオークリッジの方がやっているんですが、ほとんどのデータが日本のデータだったですね。改めてそれは、ああ、そういう状況になっているんだなというふうな、感激したというよりは、よその国がそこまで落ちているのかなという感じも含めて感じました。

そういう意味で、あるレベルでは日本が、ずっと続けてきたという意味で、そういう位置なんだろうなと思いました。ご参考のために。

○山名座長 ありがとうございます。

小川部門長、どうぞ。

○小川部門長 先ほどの山名先生の大変重要なご指摘があったんですけども、2回前か3回前に、私はテクノロジー・レーディネス・スケールのような、そういうお話をしたんですけども、このマイナーアクチニドの核変換とか分離といったことを考えたときに、非常に難しいのが、技術のスケラビリティ。我々は今、非常に少量の段階から実用を見通すようなことをやりたいわけなんですけれども、間にあまりいろんな試験ステップは恐らく挟めないですね。

比較的少量のところから大きな段階のところを見通すときに、その技術が根本的にスケラブルなものなのかどうなのかということを考えていけないんですが、現在の再処理プラントの全体を見渡したときにも、比較的スケラブルな要素と、あまりスケラビリティがない要素とがあって、小さな段階から大きなものを見通せる、比較的均質な、例えば溶媒抽出のそのものというのは、比較的スケラビリティがあるんでしょうけれども、そうじゃないような非均質的なところというのは、スケラビリティが乏しくて、それなりの技術開発には苦勞する部分があるということで、そういう技術のスケラビリティというものを考えながら、やはり開発戦略を立てていくのかなと思っています。

それからもう一つは、山中先生のご指摘の照射のところなんですけど、これもちょっと似たような問題があって、やはり我々は照射試験をやるといっても、こういう燃料ですと、せいぜい数十本とか100本とか、それぐらいの燃料照射、それでさえそう簡単な話じゃなくて、先ほどの井上さんのお話のように、燃料をつくっても20年ぐらい、結局結果が出るまで待つというような、そういう状況なんですけど、そういう状況の中で、たかだか数十体とか数十本とか照射して、それで実際の炉の破損率、 10^{-7} といったようなところをどうやって保証するのか。そういうところの問題というのを、ある程度戦略性を持って解決していかないといけないんだろうなと思っています。

そういうところで、基礎データの取得ということはとても大事だと思っているんですけど、そういうことは大変意識しつつやっていて、MA-MOXのデータなんていうのは、こういうデータを系統的に出しているのは、今、日本しかありませんで、そこは胸を張っていいと思っているんですけども、それで足りるという状況ではなくて、やはりもう一度、最初のウラン、プルトニウムのMOXの歴史をさかのぼっても、一体どれだけのデータを充足しないとならなかったの

か。それで考えると、MA-MOXについても、まだまだそういう意味での基礎データの充足ということが必要ではないかというふうに思っております。

○山名座長 ありがとうございます。

若林委員、何か。

○若林委員 この26ページの低除染TRU酸化物燃料の研究開発の進め方というのを見て考えたんですけども、照射試験というのは非常に重要で、それをやることは必要だと思うんですけども、もう一つ、私は原料をいかに持ってくるかというのがもう一つ重要じゃないかなと。こういうピン照射、集合体照射というふうに段階を進めるに従って、どこからそれぐらいの量のものが入手できるかどうかというのをちゃんと考えておかないと、本当に絵に描いた餅になるんじゃないかという気がして、その原料の調達という視点も少し検討していただければと思います。

○山名座長 ありがとうございます。

小川部門長、若林委員から重要な指摘ですが、少し私からもつけ加えさせてください。

施設ですね。今後、こういった取り組みをしていくときに我が国が本当に必要な施設は何か。例えば照射炉、ホットラボラトリー、そのホットラボラトリーが持つべき能力、これは井上委員のお話の中でも、海外のITUに依存しているということがございますね。ですから、我々は分離変換にこれから本気で取り組んでいくときに、気がついたら施設がないというのはしゃれにならないわけございまして、どういう施設を我々はこのために堅持していくべきか、あるいは新たに必要かということは、真剣に考える必要がある。

どうでしょう。永田部門長、井上さん、施設に関して何かご意見がありましたら、今お願いいたします。

○井上首席研究員 よろしいですか。今、先ほど、ちょっと皆さんと違うかもわかりませんが、例え今、ウランとプルトニウムを使ったMOX燃料、これはプルスーマルの燃料でも、それから高速炉の燃料でもいい。そういうところにおいては、やはりかなり日本というのは、技術が確立されていると思うんですけども、特にこのMAを回すような燃料については決してそうではないというふうに、私は理解しているんですけども。

というのは、小川さんも今おっしゃったけれども、本当に基礎的な燃料の物性すらはかられていない。1点、せいぜい数点ですよ。しかもそれを取り扱う施設すらきちっと整備されていないというのが現状だと思うんです。

今、山名先生がおっしゃいましたけれども、ITUを我々が使っているということですけども、やはりあそこは40年、TRUを使った歴史があって、それから施設もそれなりに整っているわけですね。技術もあると。しかも、あそこはやっぱりヨーロッパの拠点になっているんですね。逆に、CEAもTRUを使うときには、燃料を使うときにはあそこを使ってやるわけですね。だから、ヨーロッパ全体としてやる場合には、そういう施設はやはりEUとして所有しているわけですね。ただ、残念ながら、日本の場合は、それがかなり寂しいというのが現状です。

だから、先ほどの話にも絡むんですけども、ウランとプルトニウムだけで高速炉を立ち上げるのは、決して日本はそんなに遅れていないし、やろうと思えば、経済性の問題はありますけれども、できると思うんです。だけれども、それと、このMAを回すところには、もう全然違った世界があるということですね。

○山名座長 永田部門長、何か。

○永田部門長 今回の私どもとしては、このアクチニドマネジメントをする上でも、高速炉の開発を着実に前に進めることが必要だろうと思っておりまして、個人的な見解を交えながら申し上げますと、まずは、今2025年ということを目標にしている、次の高速炉プラントの建設を実現するということが、その中では最優先で考えなきゃいけないことじゃないかと思っております。

それを実現しつつ、今度はまたそれをてこにして、こうしたアクチニドマネジメントを可能にするインフラの整備を並行して進めていかなければいけないという状況になっておりますので、井上さんは、ちょっと言葉尻じゃいけないんですけども、高速炉の開発は何とかなるんじゃないと、こういうことなんですけれども、私からしますと、まずは高速炉の開発を2025年の次のプラントの運転開始実現を最優先で達成し、それからそれと並行して、できるだけこうしたアクチニドマネジメントに必要なものも着実に整備していきたいというのが、今の施設のあり方ということについての、私の考えでございます。

○山名座長 ありがとうございます。

最後にもう一つ、ではお答えいただきたいんですが、今の非常に大きな流れの中での重要な施設でございますが、じゃあ1つ限定して、核データと、それから臨界ですね。これについて、臨界データと言うのかどうか知りませんが、炉物理ですね。核データと炉物理、これに関して、このMAを実際に回していくことに関して、恐らく我が国は今、あまり施設がないように、私は理解したんですが、今後そういうものに対して施設的なニーズ、あるいは外国を使うのであればその間でもよろしいですが、何かお考えやある種の戦略のようなものをお持ちでしたら紹介願いたいと思っております。

小川部門長、何か。

○小川部門長 戦略と言うほど、まだしっかりしていないんですが、その問題があるということは大変強く認識しておりまして、2つ課題があると思っております。

1つが、やはり実用炉の大きな炉心、それに対して、ある限定したサイズの臨界試験装置で答えを出していかないといけない。それから、実際に実用炉に近い炉心でやはりデータをきちっと出していかなくちゃいけない。これが1つだと思っております。

それともう一つは、本当にマイナーアクチニドが入ったところでの積分実験というものをきちっとやって、その微分データを組み上げて、コードで計算したものの信頼性といったものを検証していかないといけない。

その検証の中には、実を言うとORIGENといったような、ある意味での簡易計算コード、そういったもののある意味検証といったこともしていかないといけないんですが、そういうことを含めて、今、我々はある意味、FCAの次の、次期のMAの炉物理の試験ができるような、そういう施設の構想というものを内部的には持っていて、それを、核変換の炉物理の実験施設とか、いろんな言い方をその都度しているんですけども、そういったものを何とか構想していきたいというふうに思っております。

それとあわせて、先ほど何人かの委員からもご意見をいただきましたけれども、やはり自分のところである程度のMAをきちっと回収して、いろいろな試験に使っていく。それをやらないと、このMAの核変換といったものについて、しっかりした研究開発はできないと思っております。

ただ、問題は、じゃあそういうときに日本で資金が限られているんですから、外国を使ったらいいんじゃないですかという話が出てはくるんですけども、そういったことも含めながら

ということですが、例えば1つ、アメリカですと、非常に大きな臨界実験装置、ZPPRというのがありましたけれども、事実上、解役になるというような話ですし、やはり日本のFCAといったようなものをうまくこれから活用し、改造していくということが1つの視点じゃないかなと思っております。

○山名座長 ありがとうございます。

今、原料の話と、臨界核データの話ですが、山根先生、山中先生、何かその辺ご意見、あるいは補足等ございましたら。

○山根委員 補足というよりは、今、小川さんが言われたとおりだと思います。少なくとも日本の国内にMAを扱える臨界集合体があって、微分実験と積分実験をきちっとやって、技術を自分たちのものにするということが非常に重要だと思います。

前回、原田さんが、断面積についての微分測定のお話をされましたが、そのときに積分測定という言葉が出てきました。田中先生からのご紹介だったと思いますが、積分実験というのが非常に重要な位置づけになっています。今、小川先生が話されたことの繰り返しですけれども、それをやっぱりきちんとやっておかないといけないと思います。MAを扱う臨界実験装置というのは、なかなか重厚なものになる恐れがあるので、どういうものにするかというのはかなり真剣に検討しないといけないと思いますけれども、そういうものがやっぱり国内にあるべきではないかと、私は思っています。

○山中委員 井上委員のほうからITUのご紹介がございましたけれども、私もたびたびITUには訪問して、いろいろ共同研究させていただいているんですけども、もちろん、日本にも整備されたホットラボというのが、まだ数が足りないと思います。それに加えて、ぜひとも皆さんにITUに行っていただきたいのは、非常にMAなんかについても機動的な実験ができるような設備になっていると。過度に、いわゆる強固なものではなくて、機動的な設備になっている、そういう特徴がございます。

その1つに、いわゆる過度な規制の問題なんていうのもあるのかもしれませんが。そういうところも少し考えないといけないかなという。日本のありようとして考えないといけないかなというふうに思っています。

○山名座長 ありがとうございます。

田中委員長代理、どうぞ。

○田中委員長代理 今いろいろ議論を聞かせていただいて、実は最近、昨日植松さんからもお話を伺ったんですが、DOEのほうでまとめたレポートの中で、モデリングとシミュレーションの重要性を非常に強く言っているんですね。

今も議論ありましたけれども、やっぱり炉心特性、安全解析とか過渡解析で、そういうところも含めて、これからスケールアップとかいろんなことをやっていく上では、その部分が特にこのMA炉心というのを、高速炉系について本当にどれだけきちっとできるかという、そのレベルを上げておかないと、今後いろんな安全審査をやるにしても、何をやるにしても、とてももたないという感じがするので、ぜひそのあたりも少し議論をしておいていただいたほうがいいのかなという気がします。

○山名座長 ありがとうございます。

井上さん、どうぞ。手短にお願いします。

○井上首席研究員 ちょっとつけ加えたいと思います。山中先生がおっしゃったことと関連す

るんですけれども、最初、例えば私どももITU使ったときは、すべて電中研でお金を負担してやったんですよね。だけれども、最近、この乾式の話も、それから燃料の話も、ほぼイーブンか、最近は向こうのほうがお金をたくさん出したぐらいなんです。逆に言えば、向こうもそれだけ興味を持ってきて、乗ってくるということがあるわけですね。

ということは、何を言いたいかというと、やはりどこまでを日本の中で整備して、それから外をどういかに共同してうまく使うかという、その辺の枠組みをきちっとこういう場でも、原子力委員会でもぜひつくっていただけると、非常に将来の方向性を決めるのにいいんじゃないかと思います。

以上です。

○山名座長 ありがとうございます。

それでは、既に時間になっておりますので、今日の議論はここで締めたいと思います。大変貴重な意見をありがとうございました。今日の議論の内容も踏まえた上で、次回の議論を進めていきたいと思います。どうぞご協力をよろしくお願いいたします。

次回の予定等に関して、事務局から何かございましたらお願いします。

○牧参事官補佐 事務局でございます。次回でございますが、12月19日、ちょうど1週間後、来週でございますが、19日10時から、会場は合同庁舎の4号館の4階、第4特別会議室で開催する予定でございます。よろしくお願いいたします。

○山名座長 それでは、ほかに委員の皆様方から何かございますでしょうか。

ございませんようでしたら、本日はこれで閉会したいと思います。ありがとうございました。

午後 3時30分 閉会