

第2回 分離変換技術検討会（案）

1. 日 時 平成20年10月1日（水）13：30～15：30
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）分離変換技術に関する国外状況
 - （2）分離変換技術の導入意義について
 - （3）分離変換技術の導入シナリオについて
 - （4）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、大井川研究主幹、原田研究主幹、小野研究主幹、小川部門長、
永田部門長、湊ユニット長
 - （原子力委員）
田中委員長代理、松田委員、伊藤委員
 - （事務局）
牧参事官補佐、渡邊主査
5. 配布資料
 - 資料第2－1号 平成12年度以降の分離変換に対する国外の状況変化（日本原子力研究開発機構）
 - 資料第2－2－1号 分離変換技術の評価に向けて（河田委員）
 - 資料第2－2－2号 処分場の廃棄体定置面積に関する補足（日本原子力研究開発機構）
 - 資料第2－2－3号 高レベル放射性廃棄物の生成及び核変換に関わる核データの精度について（日本原子力研究開発機構）
 - 資料第2－3号 分離変換技術の導入シナリオの研究（日本原子力研究開発機構）

午後 1時32分 開会

山名座長 皆様おそろいでございますので、定刻にまだ50秒ほどありますが、第2回の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。

まず冒頭に、前回ご欠席であられました若林委員がおいでになっております。一言ごあいさつをお願いします。

若林委員 東北大学の若林でございます。よろしくお願いいたします。

○山名座長 それでは、議事に入りますが、ちょっと冒頭にお断りいたします。きょうは、分離変換の意義シナリオについてかなり密な議論が予想されております。何を言いたいかという、時間が少し延びる可能性があります、議論によってですね。ご都合の悪い方は適宜退席していただいて結構ですが、最大1時間ぐらい延びる可能性もあるかと見ておりますので、その分ぜひ積極的な議論をお願いいたします。

それでは、本日の議題でございますが、3つの議題を用意しております。分離変換技術に関する国外の状況、それから分離変換技術の導入意義について、分離変換技術の導入シナリオについてという3つの議題でございますが、事務局、牧さんのほうから配布資料の確認をお願いいたします。

○牧参事官補佐 それでは、席上に配布しました資料の確認をさせていただきます。

まず、議事次第が1枚ございます。議事次第なんですけれども、この配布資料の番号がちょっと間違えておりましたので、修正していただければと思います。資料の2-2-1が2つになってしまっておりますが、2番目の2-2-1を2-2-2としていただきまして、その下の2-2-2を2-2-3としていただければと思います。

それから、出席予定者のペーパーが1枚つけてございます。このリストの中では、原子力機構の佐賀山さん、それから原子力委員会の近藤委員長と広瀬委員がきょうは欠席でございます。

それから、資料2-1といたしまして、平成12年以降の分離変換に関する国外の状況変化という資料、それから2-2-1といたしまして、分離変換技術の評価に向けてということで、河田先生にご用意いただいた資料、それから資料2-2-2といたしまして、処分場の廃棄体定置面積に関する補足、機構からの資料です。それから資料2-2-3、高レベル放射性廃棄物の生成及び核変換に関わる核データの精度について機構にご用意いただいた資料です。それから資料2-2-3といたしまして、分離変換技術の導入シナリオの検討、これも機構にご用意いただいた資料でございます。不足がございましたら、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。

それでは、お手元を確認していただいた上で、議題の1に入っていきたいと思います。

議題の1ですが、分離変換技術に関する国外状況ということで、国外の状況について、まずおさらいしようということでございますが、きょうは日本原子力研究開発機構の湊ユニット長においでいただいています。湊さんのほうからご説明をお願いいたします。

湊ユニット長 原子力機構の湊でございます。よろしくお願いいたします。

国外の状況ということで、フランスにおける状況、米国における状況、欧州における状況についてご説明いたします。

次のページをお願いいたします。2ページ目に入ります。2ページ目にフランスにおける状況をまとめております。最初のほうにフランスの概要でございますが、フランスでは59基の商用発電炉によりまして電力の80%近くを原子力発電によっている。使用済み燃料の再処理を行

い、MOX燃料を20基の商用発電炉で利用している。原子力発電に伴います放射性廃棄物の処分までを含めて、燃料サイクル全体について検討しているというのが特徴でございます。

そして、1991年に放射性廃棄物管理研究法というものが成立いたしました。そこでは、高レベル放射性廃棄物の管理を自然、環境、公衆の健康の保護、後世代の権利の尊重ということを念頭に、高レベル放射性廃棄物の管理に関して、15年間に行うべき研究開発の枠組を規定しております。

そこでは、3つの研究開発領域、分離変換、深地層処分、長期中間貯蔵を規定しております。これらの研究開発につきまして、毎年報告書を提出するということが規定されております。これを踏まえまして、議会では、その後の高レベル放射性廃棄物の管理方策を決定するという法律でございます。

3 ページ目に移ります。2006年が期限でございますけれども、2つ目の黒丸のところにありますように、原子力庁、また放射性廃棄物管理機関（ANDRA）は、2005年6月30日に15年間の総括報告書を政府へ提出しております。それに前後いたしまして、各所でいろいろな評価・検討が行われております。

最初の1行目にありますように、議会科学技術評価局におきましては、公聴会を実施し、また報告書を議会へ提出するということをしております。また、これはフランスの法律で決まっておりますけれども、このような大きなプロジェクトに関しましては公開の討論会を行わないといけないということですが、公開討論国家委員会というものが2006年1月に報告書を公表しております。また、国家評価委員会が2006年1月に総括評価報告書を政府へ提出する。続きまして、フランス政府の要請によりまして国際ピアレビュー、これは分離変換に関してでございますけれども、OECD/NEAが事務局となり、国際レビューチームを組織いたしまして、報告書をフランス政府へ提出しております。そして、これらの報告書を参考にしながら、2006年に新しい法律が成立したということでございます。

次のページに移ります。

ここでは、議会科学技術評価局によりまして放射性廃棄物管理研究の進捗状況及び今後の展望に関する報告書について簡単にその内容をまとめております。

1991年の法律に基づいて実施された研究により、分離変換、地層処分及び長期中間貯蔵のそれぞれの利点が明らかにされ、それらの補完性が証明された。分離変換は2040年に実現可能である。分離と研究は実験室レベルの実現可能性は実証済みであるが、実用化には時間がかかる。核変換の実現可能性は科学的に実証されており、技術実証装置の建設が待たれているというものでございます。

また、分離変換に関しまして、研究を協力して継続すべきであるというように言っております。分離の産業化には膨大な投資が必要であるが、それは処分の節約につながるものである。また、フェニックス高速実験炉でございますが、それは2009年に閉鎖される予定になっておりますが、それによりまして核変換の研究が難しくなるであろうということ。第IV世代炉による核変換のためには緊密な国際協力が必要である。加速器駆動システム（ADS）の欧州実証施設の実現は今後の検討すべき目標であるというようなことが述べられておきまして、最後に、法律によって放射性廃棄物管理の方法として、分離変換、地層処分及び長期中間貯蔵を利用するという原則の決定を下すべきであるというようにまとめております。

次のページに移ります。

ここでは、国家評価委員会によります**1991年12月30日**法律のもとに実施された諸研究に関する総括評価報告書の内容を簡単にまとめました。

放射性廃棄物管理の全体戦略を**15年**の研究成果から策定すること。地層処分を基本方策とし、徹底的に研究すること。分離変換に関する研究を第4世代の原子炉系の要求等の関連において方向付けをし直し調整すること。加速器駆動システム（ADS）による核変換に関する欧州EUROTRANSプロジェクトの終了時においてADSの役割と将来について結論を出すこと。この欧州のEUROTRANSプロジェクトに関しましては後ほど詳しくご説明いたします。

分離研究のほうで核変換の研究より進んでいるというようなこと、また、高速中性子炉においてマイナーアクチノイドの核変換は原理的に可能であるというようなことが述べられております。ただし、燃料またはターゲットを製造する能力はまだ実証されていない。燃料ターゲットに関する研究は依然としてマイナーアクチノイドをほとんど含有していない酸化物のみを対象にしている。これらのMAを含んだ燃料のリサイクルに関する実験に着手されていない。また、階層型シナリオ、これは加速駆動システム（ADS）を用いるものになりますけれども、階層型シナリオは電力生産を核変換からデカップリングするものであって、発電用原子炉の核燃料サイクルに影響を及ぼさず、個別的な利益があるというように述べております。

次のページに移ります。

ここでは国際レビューチームによります分離変換についてのフランス原子力庁（CEA）の成果報告書の国際ピュアレビューについてまとめました。

そこでは、種々の技術分野において、その開発レベルは異なっている。燃料の化学分離は大変よく進展した。その一方で、燃料・ターゲットの研究はまだ探索の段階である。また、高速中性子場がなくなることは、この分野の進捗を危うくする。これはフェニックスの炉がじきにとまってしまうということでございます。

また、燃料開発、核破碎ターゲット技術及び加速器の信頼性の現状のレベルを見てみますと、加速駆動システム（ADS）のためにはまだかなりの技術の進展が必要であるというように述べられております。

また、フランスでこの**15年間**行いました研究、その目標といたしましては、放射性毒性の低減の観点から述べられているということでございます。その下、3つ目のところにありますように、分離変換は、廃棄物の発熱量及び体積の低減を通して処分場の効率的利用に役立つ可能性があるということは、この時点でフランスのほうでは主張していなかったということでございます。

そして、最後のところで、燃料サイクル全体におけます分離変換の効果について、総合的な考察がなされていない。例えば、マイナーアクチノイド・リサイクルにおいて、分離のところが燃料製造とのかかわりがうまくできていない。分離変換を導入したときの最終処分場の性能などについて言及されていないというようなことでございます。

次のページに移ります。

ここでは、今までのいろいろな評価を通しまして、**2006年**に法律ができたわけでございますが、その放射性廃棄物等管理計画法についてまとめてございます。

この法律は、あらゆる種類の放射性物質及び放射性廃棄物等を永続的に管理することにより、健康及び環境の保護に関し保証するというもの。そして、将来世代を通し、支えることになる

負荷を未然に防ぐ、または制限するために、放射性廃棄物を絶対に安全な場所に保管するために必要な手段を研究し、実施するということが規定されております。

その上に規定されました原則に基づきまして、長半減期の中・高レベル放射性廃棄物の管理に関して、以下の3つの相補的な基本方針に基づき、これら廃棄物に関する調査研究を行うというものでございます。その3つは、**1991年**の法律と同様に長半減期放射性元素の分離変換、2番目が地下深部の地層におけます可逆的処分、3番目が貯蔵というように規定されております。

その中で、分離変換に関しましては、次世代原子炉及び加速器駆動システムの調査研究と連携して推進すること、また産業化の見通しを**2012年**までに評価し、**2020年**以前に原型炉の稼動を目指すというようなことが規定されております。

次のページに移ります。

ここでは、フランスにおけます分離変換に関する研究開発の現状についてまとめました。

燃料サイクルにおけます分離変換の方式といたしましては、2通りの考え方、均質リサイクル及び非均質リサイクルの考え方を持っております。均質リサイクルといいますのは、マイナーアクチノイドをウラン及びプルトニウムとともに高速炉のドライバ燃料としてリサイクルするものでございます。一方、非均質リサイクルといいますのは、マイナーアクチノイドはウラン、プルトニウムとは別の燃料／ターゲットとしてリサイクルする。その場合、それらのマイナーアクチノイドの入った燃料／ターゲットは高速炉の炉心の周辺に装荷するか、または加速器駆動システム（ADS）等へ装荷するという考えでございます。そして、この均質リサイクルと非均質リサイクルを比べてみますと、非均質リサイクルに比べて均質リサイクルはマイナーアクチノイド燃料の再処理の量が多い。また発熱量／放射能／中性子放出等の影響はほかのプルトニウム、ウランと混ざっておりますので、その影響は小さくなっておりますけれども、大量の燃料を遠隔操作で製造する必要がある。また、マイナーアクチノイドの燃焼度を高くすることができないというのが非均質リサイクルと比べての特徴でございます。逆に、非均質リサイクルは今ご説明したものの反対の性質、特徴を持っているということでございます。非均質リサイクルのところで1つだけ書き加えてございますのが、燃料／ターゲットの仕様に自由度があるということでございます。

核変換システムの研究開発といたしましては、フランスにおきましてはナトリウム冷却の高速炉、ガス冷却の高速炉、また加速器駆動システム（ADS）の研究開発を行っております。この最後のADSに関しましては、欧州におけます**EUROTRANS**のプロジェクトに参画しているということでございます。

次のページに移ります。

分離技術の研究開発の状況については、湿式再処理プロセスにおきまして**GANEX**と呼ばれますアクチノイドを一括抽出する研究開発が進められております。しかしながら、そのような抽出剤はいまだ見出されていないということでございます。一方、マイナーアクチノイドを非均質リサイクルするためにはウラン、プルトニウムを分離した後にアメリカウム、キュリウムを分離する必要があります。このアメリカウム、キュリウムの分離に関しましては**2005年**に軽水炉の使用済み燃料**13kg**を用いまして、ウラン、プルトニウムまたネプツニウムを改良**PUREX**法によって分離後、**DIAMEX-SANEX**法によりましてアメリカウム及びキュリウムをそれぞれ**99.9%**以上分離することに成功しております。しかしながら、アメリカウム、キュリウムの

分離法につきまして改善の余地が多くあることも明らかになったところでございます。

また、フランス独自の研究のほかに、欧州のACSEPTプロジェクト、これも後ほどご説明いたしますけれども、ここに参加して研究開発を進めております。

核変換用燃料の研究開発についてでございますけれども、そこでは1980年代にMOX燃料にネプツニウム及びアメリシウムを添加した酸化物燃料の照射試験SUPERFACTが実施されました。しかし、その後このような均質リサイクルのための燃料の試験は行われておりません。非均質リサイクルのための燃料につきましては、MgOなどをイナートマトリックスとして、そこにマイナーアクチノイドの燃料を分散させたCERCER燃料と呼びますけれども、こういった燃料の製造試験、照射試験などが行われております。また、ここでも同様に独自の研究以外に欧州のEUROTRANSのプロジェクトに参加いたしまして、核変換燃料の研究開発を進めているところでございます。

次のページに移ります。

ここからは米国における状況についてご説明いたします。

米国におきましては、104基の商用発電炉により電力の20%程度を原子力発電によっております。使用済み燃料の再処理はせずに直接処分する政策でございます。現在既に5万t以上の使用済み燃料があり、毎年約2,000tの使用済み燃料が発生しております。そして2010年ごろには計画しているユッカマウンテンの処分場、ここでは商用発電から出る使用済み燃料の処分は6万3,000tと規定されておりますけれども、それ以上の量の使用済み燃料が蓄積してしまうという状態でございます。使用済み燃料中のプルトニウムはマイナーアクチノイドとともに直接処分ですので処分対象でありまして、核燃料とは位置づけていないというものでございます。

米国におきましては、分離変換に関する研究開発は1993年に開催されましたGLOBALの会議、そのころから活発化してきております。

そして、2003年にはAFCIと呼ばれております、バックエンドに関してより広く検討・研究開発を行いますプログラムが開始されております。そこでは、使用済み燃料の直接処分をこのまま続けていると、ユッカマウンテンの処分場の容量を超えてしまうことから、再処理及び分離変換により廃棄物量を減らし、第2処分場の建設を回避しようというのが一つの目標にもなっております。

次のページに移ります。

2006年2月にGNEP（国際原子力エネルギーパートナーシップ）というものが発表されました。そこでは、核拡散の脅威を削減するとともに、環境にやさしいエネルギーを世界中に広めることを目的としております。その中で、基本的にはプルトニウムを単離しない方法により、商用発電炉の使用済み燃料を再処理すること。プルトニウム及び将来的にはマイナーアクチノイドも高速炉の燃料としてリサイクルすること。これにより、直接処分の場合に比べて高レベル廃棄物の体積を大幅に減少させ、米国において今世紀中の第2処分場の必要性を回避しようというものでございます。

2006年2月にこの構想が発表されたわけですが、2006年の8月には少し方向性が変わりました。それは、当初は国立研究所を中心として革新的な再処理技術を前提にした理想的かつ長期的な研究開発を行おうというものでございますけれども、8月になりまして、このGNEP計画の加速を目的として産業界の既存技術を活用するTrack 1、また従来の計画どおり国立研

研究所を中心として研究を進める**Track 2**の2トラック方式の採用を発表いたしました。そして産業界には**EOL**というものの提案を募り、また**FOA**というものを提示いたしまして、産業界のほうに資金を与えて研究開発を進めているところでございます。

次のページに移ります。

ここには、今ご説明しました**Track 1**と**Track 2**について示しました。**Track 1**といたしますのは、産業界の既存技術を活用して、1つは先進的燃焼炉（高速炉）でございすけれども、**ABR**と呼ばれるもの、これを建設すること。また、もう1つは**CFTC**と呼ばれます再処理及び燃焼製造を行う統合核燃料取扱センター、これらを**2020**年ごろをめどに建設しようというものでございす。

もう1つは、**Track 2**というところで、国立研究所を中心といたしまして、先進リサイクル技術、これはマイナーアクチノイドを回収して燃料に使用する技術でございすけれども、その研究の実施と高速炉の使用済み燃料再処理とマイナーアクチノイドを燃焼するための燃料を製造する先進的燃料サイクル施設（**AFCF**）を建設しようというものでございす。

次のページに移ります。

この冒頭に**2008**年**10**月と書きましたが、これは**2007**年でございす。訂正いたします。**2007**年**10**月に全米科学アカデミーは**AFCI**と**GNEP**を含みます**DOE**の原子力研究開発計画に関する評価報告書を取りまとめました。その中で、**GNEP**に関しまして、**GNEP**プログラムは進めずに、より穏やかな研究プログラムに変えるべきであるということ、また**AFCI**で行われていたような燃料リサイクル及び高速炉の研究が好ましいというような評価をしております。

具体的には、商業規模の再処理施設及び高速炉を早期に建設、設置することは米国内の廃棄物管理、安全保障及び核燃料供給の必要性から正当化されるものではないということ、また**GNEP**の目的を達成するのに必要な技術に係る現状の知見は、よくても工学規模で試験できるというまだ初期段階であるというようなことが提示されております。また、超ウラン元素燃料のリサイクルの信頼性は実証されていないということが述べられております。また燃料再処理にかかわりますことでは、**UREX+1a**ということが書いてありますけれども、**UREX+1a**及び高速炉リサイクル並びに代替技術について、詳細な技術的及び経済的分析を実施し公表すべきである。そしてそれらはピアレビューを行うべきであるというようなことが書かれております。そして、主要な技術的チャレンジでありますリサイクル燃料の確立にもっと力を入れるべきであるというようにも述べられております。

次のページに移ります。

ここでは**2008**年**4**月に米国会計検査院によります「**DOE**は、使用済み燃料サイクル施設の設計と建設に至るアプローチの方法を再評価すべきである」という報告書を公表しておりますが、その内容をまとめたものでございす。

DOEの産業界を巻き込んだ商業規模施設を建設するという加速案においては、先進技術から期待される放射性廃棄物の減量及び核拡散リスクの軽減に比べて、かなりわずかなものしか期待できない既存技術を用いることになるであろうというもの。したがって、**DOE**が当初提示しました工学規模施設を建設するという案が、先進技術を成功裏に発展させ商業化させるといふ**GNEP**の目的にかなうものであるということでございす。そして、国立研究所を中心といたしまして先進のリサイクル技術の研究には、産業界からの専門的知識を獲得するとともに、将来の商業化を見込んでできるだけ産業界から参加させるべきであるというように評価してお

ります。

次のページに移ります。

ここでは米国におけます分離変換に関する研究開発の現状についてまとめました。

米国におきましては、地層処分場を有効に活用することが一つの目的になっておりまして、使用済み燃料の大部分を占めますウランを分離し、再利用のための貯蔵または廃棄物として簡単に処分できるようにすること。そして発熱性核分裂生成物でありますストロンチウム、セシウム、またマイナーアクチノイドを分離すること。このようなことが目的になっております。そして、分離技術、再処理におきましては、プルトニウムを単離しないことが大前提でございます。再処理方法といたしましては、プルトニウムを単離するPUREX法に代わるものとして、種々のバリエーションがありますUREX+法の研究開発が進んでおります。2006年には軽水炉使用済み燃料 1 kgを用いましてUREX+1a法と呼ばれる方法によりまして、ウラン、ネプツニウム、プルトニウム、アメリシウム、キュリウムの回収に成功しております。

また、UREX+1a法では超ウラン元素が一括して回収されるために、燃料製造においてはホットセルにおける遠隔の製造が必要になってくるものであります。これを回避するために、アメリシウム及びキュリウムはネプツニウム及びプルトニウムと分けて回収するプロセス、これはUREX+3と呼ばれておりますけれども、その研究開発も実施しております。

また、燃料につきましては、軽水炉の使用済み燃料から回収されますプルトニウム及びマイナーアクチノイドは高速炉に装荷される計画でございます。高速炉サイクルにつきましては、金属燃料と乾式燃料を組み合わせた方法、また酸化物燃料と湿式再処理を組み合わせたものを研究しております。マイナーアクチノイド含有の高速炉燃料の開発につきましては、金属燃料につきまして均質リサイクル及び非均質リサイクル用の燃料照射試験がATRまたPhenixで実施中でございます。

次のページに移ります。

ここからは欧州の状況につきましてご説明いたします。

欧州では、2007年9月に欧州委員会EURATOMが「持続可能な原子力エネルギー技術開発プラットフォーム構想」というものを発表しております。そこにおきましては、持続的な原子力エネルギーの生産、経済性の向上並びに核拡散抵抗性及び安全性の継続的な改善を目標に、短期、中期及び長期の原子力エネルギー技術開発のビジョンを提示しております。

その中で、分離変換についても述べられております。その部分におきましては、マイナーアクチノイドのリサイクルは地層処分する廃棄物の放射能と発熱量を減少させ、それにより地層処分に必要な隔離期間と処分場容量を減少させる。また、最近の研究開発の結果によれば、マイナーアクチノイドは使用済み燃料から分離回収が可能であり、高速中性子体系において燃焼させることに道を開いたというように述べております。そして、そのマイナーアクチノイドを燃焼させます高速中性子体系といたしましては、技術的及び経済的観点から、加速器駆動システム(ADS)と臨界体系の高速炉とを比較することになっていくであろうというように述べております。

次のページに移ります。

ここでは、先ほどから何度か出てきましたEUROTRANSというプロジェクトについてご説明いたします。

このEUROTRANSというプロジェクトは、欧州委員会EURATOMによりADSの総合的な研究開

発プロジェクトでございます。これは2005年から始まり2010年までの予定で行われているものでございまして、欧州33機関が参加しております。原子力機構も昨年度から参加しております。

EUROTRANSプロジェクトの目標はADSによります核変換技術の成立性評価のための最新で信頼性のある基盤を確立すること。実験炉級ADSの詳細設計を行い、また建設段階へ進むかどうかの判断材料を提供するというものでございます。

ここでは、ADSの研究開発に必要な5つの領域で研究開発を実施しております。それらは設計研究と加速器開発、加速器－中性子源－未臨界炉のこの3つを結合する実験、核変換燃料に関するもの、液体重金属技術と関連材料について、また核変換に関する核データについての研究開発が行われております。

次のページに移ります。

ここでは欧州枠組みプログラムというものについてご説明いたします。

先ほどご説明いたしましたEUROTRANSもこの欧州委員会EURATOMによります研究プログラムの一つでございますけれども、ここではほかにも分離技術、核変換用燃料、核データ・炉物理、液体重金属や材料、分離変換技術導入のインパクト等の分離変換技術の研究開発プログラムが実施されてきております。

現在、分離技術の研究開発につきましては、ACSEPTというプロジェクトが2008年から2012年の計画で行われております。そこでは非均質リサイクルのためのマイナーアクチノイドの選択的分離の研究開発、また均質リサイクルのためのアクチノイドの一括分離の研究開発が実施されております。また、方法といたしましても、湿式法と乾式法、この両方の研究開発が実施されております。

また、この欧州の枠組みプログラムの中におきましては、欧州アクチノイド研究ネットワーク（ACTINET）というものが2004年から2008年までで行われております。これは将来の原子力エネルギー利用の基礎としてアクチノイド科学の研究が重要な役割を果たすと、そういった認識のもと、アクチノイド科学の研究の活性化と若手研究者の育成を目的としたものでございます。そこでは、施設の共用、共同研究、教育・訓練を3つの柱として活動しているものでございます。そして、共同研究はアクチノイドの分離化学、地質環境におけますアクチノイド及びアクチノイド物質科学、この3つの領域において研究開発が実施されてきております。

次のページに移ります。

ここでは欧州におけます枠組みプログラムの分離変換関係の研究を一覧表としてまとめたものでございます。

次のページ、最後でございますけれども、これは参考までにということでございますけれども、欧州における小さな国、オランダにおける状況でございます。オランダにおきましては、2006年にオランダ環境省が新規の発電用原子炉の前提条件として議会へ一つの提案を行いました。オランダの原子力発電の現状といたしましては、稼動中のものが1基、閉鎖されたものが1基あります。そして新たに1基の建設の可能性を探っているという段階でございますけれども、今まで出ました使用済み燃料は外国で再処理されて、高レベル廃棄物は返還されているというものです。そして、返還された廃棄物は、地上で保管されているという現状でございますが、オランダ政府は地層処分が唯一の解決策というように考えております。しかしながら、なかなかそれも難しいという現状で、オランダ環境省は、政府は2016年までに、あるいは新規の発電用原子炉の稼動前に、高レベル廃棄物の最終処分に関して公式決定する必要があるという

ように言っております。そうしますと、地層処分を楽にするというこの分離変換の技術に着目しておりまして、現在のところ実現していない技術ではありますが、オランダ環境省は分離変換技術を選択肢として政府に提案するかもしれないというようなことを述べているところでございます。

以上であります。

○山名座長　ありがとうございました。

それでは、ただいまのお話につきまして質疑に移りたいと思います。意見、ご質問等ございましたらお願いいたします。井上さん。

○井上首席研究員　このフランスの報告書に、4ページに分離変換の技術は2040年に実現可能であるとあります。日本の別のところでも議論されていますようにMAの分離変換というのはまだ実現までには結構時間がかかるというようなこともあるわけですが、（日本の研究開発の現状を見ると）。それで、フランスはどこまでの実験的なエビデンスに基づいて、またどのようなロードマップに基づいて2040年というのを言っているのか、いわゆるかなり希望的観測だけなのか、その辺は評価されたときにどのようにまとめられたのですか。

○山名座長　湊さん、お願いいたします。

○湊ユニット長　4ページに述べておりますものは、議会科学技術評価局というものが3ページを見ていただくとわかりますようにCEAが6月30日に報告書を出しておりますけれども、その前の毎年毎年の報告を見てこの評価をしたということがまず一つ前提としてあるかと思えます。

そして、2040年に実現可能である、これがこういう形で書いてありますけれども、本当にその下にも4ページ目の「2040年に実現可能である」というところの下に書いてありますが、実証装置、核変換の実現のための技術実証装置というのは、これはいわゆる高速炉でありますとかADS、そういったものの建設が待たれているということで、2040年にこういったものがまだどの程度でできているかというのは見通しがわかっていなかったはずなんですけれども、技術的に多分証明されているので、できるであろうということでこの報告書は書いてあるんだと思います。

実際のところ、法律のほうでも2006年の法律は7ページにございますが、ここでは分離変換に関しまして、産業化の見通しを2012年までに評価して2020年以前に原型炉の稼動を目指すということで、ここでまず原型炉を稼動して2040年ごろに商業的にというような話だと思えますけれども、この井上さんご質問の2040年实现可能であるというのが、この商業規模でどこまで云々というのがよく私にも理解できないところがありますけれども、事実としては報告書にはこのように書かれているというところでもあります。

○山名座長　ほかに。若林委員。

○若林委員　国外の状況というのをフランス、アメリカ、欧州ですが、過去にロシアが結構この分野で研究を進めてきたというふうに理解しているんですけども、最近の状況というのはどういうふうになっているんでしょうか。もしわかったら教えていただければと思います。

○湊ユニット長　ロシアではいろいろ分離の研究とかもやっておりますけれども、またマイナーアクチノイドを入れた燃料の研究というのもやっておりますけれども、体系的に分離変換を取り入れて燃料リサイクルをどう組み立てるか、そういったようなことは今はなされていないのではないかと、私のほうはそういうふうに思っております。

○若林委員 個別の技術はそれぞれやられているということなんですね。

○湊ユニット長 はい、そうです。

○山名座長 ほかに、ご質問等。松田先生。

○松田委員 やはり（3/8）のところなんですけれども、丸印のところのブルーの○の3つ目のところの3行目のところに「高度分離の産業化は莫大な投資が必要であるが、それは処分の節約につながる」というこの一文があるんですけれども、これのデータベースというのは根拠がないと書けないと思うんですが、フランスのこの科学技術評価局はこのところで、どのデータに基づいて言えばこういうことが言えるというようなことは技術の中にあったのでしょうか。それとも、なくてこのまま書かれたのか、背景を知りたいのですが。

○湊ユニット長 ここの中では詳しくこの論文に基づいてと、この報告書に基づいてこういうことが言えるというような引用は余りなかったように思います。こういった文章が報告書の中に出てきているというところでございます。

○松田委員 そうすると、私は普通税金を払っている市民の立場から考えていくと、このバックグラウンドのデータベースというのはこの前もちょっと説明があったようですけれども、もっと具体的に研究者はこのあたりを明確にしていくべきでは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。

ほかに。深澤委員。

○深澤委員 6ページなんですけれども、上から3つ目のブルーのポチなんですけれども、当初は放射性毒性の低減の観点から分離変換の重要性がうたわれていたと。これは日本でも同じだと思うんですけれども、その後分離変換の意義というのは処分場の効率的利用のほうに移り変わってきていて、全くそちらのほうにもう移ってきていると考えてよろしいんですか。

○湊ユニット長 これは両方含んでいると思います。例えば、これはフランスの考え方というのはヨーロッパのほうにもかなり影響が出ていると思いますけれども、16ページに欧州における状況という中で、2つ目の丸印の次のところでございますけれども「マイナーアクチノイドのリサイクルは、地層処分する廃棄物の放射能と発熱量を減少させ、それにより、地層処分に必要な隔離期間と処分場容量を減少させる」と、2通り書いております。ですから、フランスも変わってきておりますし、フランスに影響されてヨーロッパもこういう形になってきているというところだと思います。

○山名座長 ほかに。小川さん。

○小川部門長 今の議論に関連して、私の理解している範囲で申し上げたいと思うんですが、まさにこの隔離期間と処分場容量、この話なんですけれども、例えばGNEPのホームページを見ても、それから欧州のこういう持続可能性の話を見ても、やはりこの2本柱というのでしょうか、このどちらかが大事だという、そういう議論はないと思うんですね。やはりこの2つを掲げているということが現状ではないかなというふうに思います。

○山名座長 この議論はあとのシナリオのところでも出てまいります、外国では両者併記ということのようでございます。

時間が余りございませんが、ほかに何か。長崎委員。

○長崎委員 2つ、3つあるんですけれども、1つは2006年のフランスの新しい法律でもやっぱり3つがまだこれからも継続的に調査研究を行うというふうに残っているわけですね。こ

れを彼らは最終的にどうしたいのかと。やっぱり片方で2025年にはビュールのどこかにサイトを決めて進めると。一方で2020年に原型炉をつくってと。一体どういうふうないわゆるシナリオを考えてこういう法律になっていっているのかというのが1つ目の質問です。

それから、2つ目の質問はフランスの国際レビューチームによる報告書というのがいわゆる分離変換だけの専門家で成り立っていたのか、いろんなどういう人たち、いわゆる何か小さな、そんなことないと思うんですけども、日本流に言えば小さな村で評価しちゃったのか、それともかなり批判的な人も入れてやったのかと、その辺どこまでそういうところがあったのかというのが知りたいのが2つ目の質問です。

もう1つが、隔離期間の話はまた後で出ると思うので置いておきますけど、もう1つは我が国の関係の方々、GNEPは大統領選挙の後どうなっていくというふうに予想されているのか。それはこういう分野に対してどういう影響があるはずなのか。全く我が国はそんなものによって振れないんだという強い意思を持っておられるのかと、その辺を伺いたいんですが。

○山名座長 最初の2つについては湊さんのほうからお願いします。

○湊ユニット長 2006年の法律でその3つがまた進んでいくということでございますけれども、この3つが、法律でも述べられておりますけれども、補完的な相補的なものという位置づけで進めているというように理解しております。そして、最終的には地層処分は絶対必要でこれはやらなければいけないということでございますけれども、ガラス固化体にしたものが今もあると思いますけれども、そういったものは地上で保管した後に処分するというので、時間的遅れがあると思います。分離変換がいつの時点でうまく入っていくかわかりませんが、分離変換が入ったらそこから廃棄物の形態が変わっていくと、それがまた処分されていくというものではないかと考えております。

それから、国際ピアレビューのチームに関してでございますけれども、これは3ページでございますが、3ページの下から2つ目の黒丸のまたその下の2つの矢印のところでございますけれども、アメリカ、日本、EC、ロシア、ベルギー、スイスの10名の専門家という構成でございます。この中でどういう専門家かといいますと、燃料の専門家、分離の専門家、また炉の専門家、そういったような、この分野の専門家という形でございまして、学問的、技術的にレビューしようというものですので、何というんですか、批判勢力といいますか、そういった方は入っていないということでございます。

○山名座長 それでは、3つ目のGNEPに対する展望は原子力委員会のほうから何かありましたらお願いいたします。

田中委員長代理 GNEPは、今ハイレベル会合も今開かれていると思いますけれども、GNEP自体が私の理解では当初の意図したところからだんだん広がりを持ってきて、どちらかというと核不拡散のための技術開発とか、そういったところに来ているんだろうと思うんですね。だから、今日ここで議論されていることと必ずしもそれは一体かどうかということがあろうかと思えます。

それで、GNEPもさることながら、GNEPが壊れたら日本は何もしない、それで今やっていることが壊れてしまうかという、そういうことではなくて、廃棄物の問題の今一番の焦眉の急は処分場を見つけるということで、日本にとってみれば、実際に分離変換というのが仮にうまくいったとしても、そんなに急に入ってくるはずがないんですね、再処理とかいろんなことを考えたら。次の原子力政策大綱の中での議論の中で、使用済み燃料をどう扱うかということの議

論の中で、多分直接こういった分離変換をするのかしないのかとか、長期貯蔵するのかとか、そういった議論があわせ技で議論されていくべきだろうと思いますし、この4ページのフランスの報告も、分離と変換、地層処分、長期中間貯蔵を利用するという原則の決定を下すべきであるという、何かわかったようなわからないような結論が出ていますけれども、多分これが現実の姿で、これをうまくコンプロマイズしながら現実に対応していくことになるのかなと思います。だから、GNEPと大統領選挙の影響については、すぐにそう急いで結論を出すべきものでもないし、そんなに気にする必要はない。壊れるかもしれないし、壊れなくてもいいし、仮に壊れても日本は日本の考え方をちゃんとこの中で方針をつくっていただきたいというのが希望です。

○山名座長 ありがとうございます。

それでは、時間が不足しておりますので、次の議題に移らせていただきます。

議題の2ですが、分離変換技術の導入意義についてという議題であります。前回の議論で、分離変換の意義付けのところで、面積ですとか毒性とか幾つかの指標の議論がでしたが、原子力、燃料サイクル全体をもう少し俯瞰する視点が必要であるという判断から、河田委員にこの核燃料サイクル全体をどう見るかということについてまとめていただいたものをご紹介いただくということでございます。

それでは、河田委員、よろしくお願いいたします。

○河田委員 今のようなお話を山中先生からいただいて、そういうことに答えたかどうかわかりませんが、一応今後のほかに評価、何らかの形で評価するでしょうけれども、その評価に当たっての幾つかの視点ということで整理してみました。

次お願いします。

この分離変換技術というのは、今日的にとらえるとどういう意味があるのかというのを少しマクロ的に見ると、我々原子力というか核エネルギーの利用というのは原爆から始まってここ60年くらい付き合ってきているわけですが、その核エネルギーの利用形態というのは基本的にはウランベースの体系とトリウムベースの体系があると思いますが、これまでのところ人類はもっぱらウランベースの核エネルギー利用とすることにコミットしてきたということで、その路線上、相当の障害がない限り、このパスを極めていくんだらうなというのが私自身の基本的な理解であります。

そういった意味で、このウランをベースとした核分裂エネルギー体系を原子力を進める側としてはいかに本当の意味での持続可能な基幹エネルギー供給源に仕立て上げることができるのかというのが大きな課題であると思っています。そういった意味で、そういうことをいわゆる持続可能性とそういったことを求めようとする、そこで満たすべき基本的要件というのは2つ目の黒丸の①②③というようなことかなというふうに思います。当然、燃料供給面からの持続可能性、それから2つ目はやはり廃棄物処分が恒常的にできるんだというふうなその道筋の確保、後ろが詰まっては行き詰まりますのでそういうこと、それからもう1つ3つ目は、退役原子力施設の合理的な後始末方法を確立して、大事なはそのサイトが恒常的に再利用できるというふうなことが多分大事なんだらうなというふうに思います。そういったことをこれからお時間をかけてそこを目指すということになるんだらうと思いますけれども、分離変換技術はまさにそういったことを達成する、それを助ける将来オプションということになるんじゃないかというふうに思います。特に、①②③のうちの①②というふうな側面でこれを助けるという

ことになるかと思えます。

次お願いします。

我々がこのウランをベースとした核エネルギー体系をだんだんその利用の形について進化してきているというか、当初というか、現状は非常に今は軽水炉の時代と、そういうことになっており、特にそのウラン燃焼をもっぱらするというのが基本的な形であるわけですが、ウラン燃焼だけをやっている、その未解決課題というところに書きましたけれども、プルトニウムがどんどんたまり、それから濃縮の多量のDU、劣化ウラン、これがどんどんたまると、100万kWを1年運転すると大体150tぐらい劣化ウランがたまると、こういう状況になるということでもあります。

そういう状況の中で、もう1つコマを進めると、再処理・プルサーマル路線、これは今日本が目指しているパスですが、それを進めると改善点というところにありますけれども、プル利用ということでウラン資源の節約ができる。それから、たまりにたまる使用済み燃料、その貯蔵容量については非常に効果的に軽減できると。それから、余りよく議論されていなくて、皆さんの認識が薄いと思うんですけども、将来FBRに移行するとすると、立ち上げ時期にプルトニウムがたくさん要るわけですが、そのときに必要なプルトニウムを供給するソースとして、プルサーマル燃料の使用済み燃料というのは非常に効果的であります。比較的少ない、極めて少ない再処理量で多量のプルトニウムが回収できると、そういう意味で非常に効果的であると、そういうメリットがあるということですが、一方、赤字にありますようにMAが蓄積すると。マイナーアクチノイドが蓄積してくると。それから、多量の劣化ウラン蓄積の問題が依然解決されない。それから再処理で出てくる回収ウランもたまってくると。これも一部利用ということはある得ますけれども、基本的にはたまってくると、こういうことになります。そういった問題をさらにクリアしようとすると、次の高速炉ウラン／プルリサイクルと、こういうことになってくるわけで、このパスまで進めればプルトニウムの多重リサイクルによって、そのウラン資源の利用効率を飛躍的に向上できると。これは恐らくそれが可能になれば燃料供給面では実質的に半恒久的な供給が可能と言えるようなレベルまで行くということですが、その段階でもMAの蓄積という問題は取り残されるということです。これが蓄積しても別にサイクル全体を整合的に廃棄物まで含めてとじきることであればそれでもいいのかなというふうに思いますが、一応いろんな意味でこれは問題がありそうだということです。

したがって、そういったことをさらに解決しようとする、その黄色の枠で囲ったようないろんなオプションでもってそういうものをさらに改善していくという流れに行くと。まさにその部分が分離変換システムというふうな姿になっていくということだろうかと思います。当然、そのオプションの中には高速炉におけるウラン、プルトニウム、MAを含めたリサイクルと、こういう流れであったり、あるいは別立てにして専焼炉をつくったり、あるいは加速器駆動のシステムを導入すると、そういう流れ、それからそういうことを進める中で並行的に分離をさらに細かく分けていくと、こういうことも含めていろいろオプションがあり得るということでもあります。

次お願いします。

それで、分離変換技術の開発と評価について、分離変換技術というのを導入すれば当然核燃料サイクルの各エレメントというか、そこにいろんな意味で影響を及ぼすので、この全体を俯瞰した評価というのが大事ですねと、極めて当たり前のことを言っています。

それから、研究開発においても、基礎研究の段階までは必ずしも全部ということではないと思いますが、ある程度進めば単に分離技術であるとかあるいは変換技術と、そういったところだけに努力を傾注するものではなくて、その技術導入によって強く影響を受ける他のエレメント、そういった部門もそこに問題があるとすれば調和的に開発というか、その問題解決を進めるということが肝要であって、評価に当たってもそこがそういうふうに進むかということも考えていく必要があるということです。

こういった分離変換技術についてはいろんな評価指標というか、いわゆる売りの部分ですね、そういった部分があるわけですが、そのプライオリティづけというか、そういったものについては、もしそういうことをやる必要があるということであれば、やはりその第一義的には核燃料サイクル全体をどう日本としては、あるいは人類として持っていくべきかということを考える側で、そちらでどういう方向に将来を引っ張っていききたいかということをお勧めしながら、そことの相対関係でそういった軽重をつけていくということが望ましいのではないかと思います。もちろん、個々に研究する側からの主張というものもあってしかるべきであって、いわばボトムアップ的な主張とそれからトップダウン的な主張とそういったものの折り合いの中で、そういった指標の軽重というのを見ていくというかなというふうに思います。

次お願いします。

これまで、分離変換技術の開発の過程でいろいろ言われてきた効用とかねらいとか、そこが右の枠にいろいろ示しています。大きく分けると環境負荷低減的な話、それから資源の有効利用的な話、それから社会的な重要性あるいは社会的なフレームワークとの整合性、そういう問題ということになるかと思いますが、そこに書いたようなさまざまな中身がこれまで開発目的の中に示されてきたということです。

ちょっとここで触れていなかったのは、先ほどの湊さんのお話の中であったのは、例えばこれら以外の問題としては、若手研究者の育成とか研究活性化とか、そういうのも初期段階ではあるということでしょうか。こういうさまざまなねらいとか、こういうものはいわゆる今後議論するときの評価の指標となるのでしょうか、そこを考えていく上では、次のページでこういうものを導入するとどういう負担がというのを少し例示的に挙げていますが、そういうものも勘案しながら、例えばということで示しましたが、右の四角のような重要度整理というののもやってみるべきかなというふうに思います。

①としては、ある程度の経済的負担増を招くとしても、ぜひ実現を期待したいというふうな事項というのがまずあるかなと。それから、経済的負担を招かないという範囲であれば実現が望まれるかなというのもあるかもしれない。それから、そもそもこれをやることによって経済的なメリットが期待できるからやろうというのもあるかもしれない。それから、それ自体が第一義的に追求すべき課題ではないけれども、他の事項を実現しようとする、それに伴って副次的に効果が期待できるような問題というのもあるかもしれない。それから、いずれにも該当しない、こんな例えばこういう整理というのもあり得るかなというふうに思っています。もちろん別の形でもいいと思いますが、一つの整理の仕方ということです。

次のページがこの分離変換技術を導入する場合に考えられるさまざまな負担ということで、これは例示的にずらずらと書いています。当然、再処理工程については分離工程が複雑化するとか、二次廃棄物がさらに出るじゃないかという話、それから燃料工程については、燃料そのものがいわゆる均一混合した場合には全体のシステムがいわゆるいい姿というかターゲット燃

料を追求するということであればその部分についていわゆる遮蔽・遠隔化というふうな問題が出てきて、それから中に入ってくる成分が複雑化しますので、品質管理の複雑化、あるいは工程そのものも発熱対策とか要ようになってくると、こういうことが出てくる。

それから、その結果として新燃料の輸送であるとか、新燃料の受け入れの部分についても影響が出てくる。それから、原子炉側では燃焼管理についても影響が出てくる。それから、特にセシウムなんかをさらに分離するというと、追加的な貯蔵施設、貯蔵冷却施設が必要になってくるという話、それから、特にいわゆるメーンの発電体系とそれからいわゆるMAであるとかあるいは核種を核変換したいということをするとは別システムでやるということにすれば当然全体の体系が2回装荷するわけですが、そういったことによる原子力サイクルシステム全体の複雑化等々、いろんな問題が出てきて、それらはいずれも最終的には経済的負担というふうな問題につながってくるということになるわけで、こういったものの相対関係でどこにどの程度力を入れていくのがいいのかというふうな話が出てくる。もちろん、そういったことの評価は開発のフェーズがどこまで行っているのかということによってもその軽重がまた変わりますが、いずれにしてもこういうものを念頭に置きつつものを見ていく必要があるということかなと思います。

全体的にはそういうことかなと思いますが、個人的にこの世界を眺めてきて、気になる部分というのを思いつくまま挙げたのはその次ですね。今申し上げたように、燃料製造工程がいわゆるホット化すると、そういうことのインパクトをどう受け止めるのかということが1つ。

それから、特にMA問題を見たときに均一混合でいくのか、ターゲットとして分離するパスを取るのか、そのどちらが特なのか。これは先ほど湊さんのお話の中にもありましたけれども、そういった部分。

それから、そもそも分離を何を目的として行うのかということによって、恐らくそれに適合した分離効率の設定というのが必要なわけであり、それからそこで設定する分離効率というのが実際にその産業レベルで実現可能なかどうかということもきちんと見極めていく必要があると。

それから、特に前回もそうですが、処分場への発熱影響というのが一つ最近の議論になっていますが、その発熱影響については分離で熱源を減らすというやり方と、それから冷却期間を長くすることによって発熱の低減を待つということも別のオプションとしてあるわけで、その両者が相互に補完するような構造になっていますので、その間のどちらに偏ったらより得なのかというふうなところは今後非常に大事な部分かというふうに思います。

それから、潜在的毒性低減というのは当初からいろいろ言われてきた部分ですが、そういったことをどこまで、実際に日本的な環境の中でそこを主張するのが有効なのかということは、ちょっと現実的に処分を引き受ける私のような今の立場からすると、もう一つTRU廃棄物の問題があって、そちら側とのバランスということも見ながら、その辺は考えていく必要があるなというふうに思っています。

それから、従来、高レベル廃棄物におけるMA回収というのは被ばく線量に対しては余り影響ありませんねという議論があったんですけども、今の余裕深度処分で安全基準の議論が行われていて、今行われているような議論がああいう形で確定して、将来高レベルの廃棄物処分の安全基準もその延長線上で議論せないかんような状況にもしなるとすると、場合によったら非常に遠い先の話ですが、MAを回収するところが影響がありという状況になってくる

可能性も否定できないと。現状の高レベルの処分のその性能評価では、最終的な被ばく影響の一番悪役というか、これはセシウム135でしたっけ、そういうあれであります、そういったものがディケイしていった先にはトリウムであったりがその先の二番候補として出てきて、そういう時代まで相当綿密な安全性の評価をやり、しかもそこに有事シナリオとして考えると、そういうことを重ね合わせると、そういう問題も表面化してくる可能性があるということで、少しその安全基準の動向を見ないといけないなというふうに思っています。

それから、セシウム、ストロンチウムのようないわゆる発熱F P元素を分離するという案もありますが、その場合にはやはり貯蔵のセキュリティとか現実にはどんな貯蔵施設の規模になるのかとかいうことはちょっと見ていく必要があるかなと。

それから、発熱、現在のガラス固化体の中にどこまで入れるかということは、実質的にその発熱制限で一意的に決まっていて、その熱源を除去すると別のもの、モリブデンの問題があったりとか、そういうものになってくるんですが、その段階で原理的にはぎりぎり、ガラス自身の安定化を損なわない限りでF Pの濃度を上げるということは理屈としてはあるわけですが、実際に実現するためにはどういう条件整備が要するのかということも挙げないかと。

それから、その次はサイクル全体の複雑化、部分的な複雑化、全体構造の複雑化、その辺をどう見ていくか。

それから、特にT R U廃棄物の処分しなきゃならないという立場からすると、ヨウ素の129というのはもうちょっと何とかならないのかなという思いはあって、ですがこれまでいろいろやってきた核変換のいろんな研究の努力を見ても、なかなかそこにいい解が見えていないということで、この辺これからどう見通していくのかというのが大事なのかというふうに思います。

そういう意味で、評価に当たっての話ですが、その次は一応今回の評価というのはこういう各段階の評価の2番目のところに当たるような感じになるのかなというふうにとらえています。そうであるとする、次のチェック&レビューというのは工学スケールに行くかどうかという議論になるので、そうすると今回の評価の中ではその次の3の段階での評価をきちんとやるためには、そこまでにどういう情報を整えなければならないかということの宿題も明らかにしておく必要があるんじゃないかなというふうに思っています。ちょっと長くなっちゃったかな。

少し発熱問題について補足というのがあるので、ちょっと簡単に言いたいことを言わせてもらいます。

これが廃棄物の発熱のF Pとしてはセシウム、ストロンチウムが主役、それからアクチニド元素については最終で行うということを前提にすれば、実質的にほとんどがアメリカの発熱が問題になります。キュリウムも再処理直後では大きいんですけども、半減期が短いということで、処分屋さんの的にはそんなにしんどい話でもないかなというふうに思っています。

次の絵は、これは前に新計画策定会議とかその段階で直接処分がいいかガラス固化体、再処理がいいかというふうな議論をしたときの思い出どころなんです、この再処理した後のガラス固化体の発熱の減衰状況、それから隣が使用済み燃料そのものですが、使用済み燃料のほうがプルトニウムの発熱、緑の部分、それから薄い青がアメリカですが、そういったものが上乘せされていて、冷却50年で処分するというと6割ぐらい発熱が大きいんですけど。

次お願いします。

その結果が、次が処分場にどう影響を及ぼすかという、これが平成16年の原子力委員会の下でやった評価の結果ですが、左側の高レベルの処分場というのがガラス固化体ですが、左

の下大きな四角ですが、それが直接処分の場合には右のような面積に広がりますよということで、1.5倍から2.何倍ということになっています。その当時もそうなんですが、よく再処理に反対される方たちが、再処理を行うともとの使用済み燃料に比べて廃棄物の体積が6倍とか、あるいは場合によっては40倍にもなるよと。したがって、そんなことをやるのは全く無意味だというようなことを盛んに主張されるんですが、再処理をやることによって出てくるいわゆる低レベル廃棄物の処分に必要な面積というのは、その左の上にある小っちゃいちょぼちょぼちょぼという部分であって、これはこの前のエネ庁の廃棄物小委員会とか、そういうところで議論されてきた数値ベースですが、最終的に最終施設のデコミ分、あるいはMOX施設のデコミ分も含めてあんな程度で済むということです。したがって、これはいかに処分場の確保という観点から見たら明らかに再処理をしたほうが得だということを非常に端的に示している例だと思います。

これと同じふうに、ガラス固化体の発熱がもしふえたとすれば、これはガラス固化体の発熱を1.5倍にしました、2倍にしましたと。そのときに占有面積はどれだけふえますかというのは非常に簡単な計算で出てくるんですけども、1.5倍ふえれば面積が2倍要る。発熱が倍になれば5倍ぐらい要るのかなと、こういう感じが出てきます。

それで、ぜひこれから我々はプルサーマル、それから高速炉燃料も当然ある一定のMAが蓄積してくるわけで、その発熱問題というのはこういう視点を含めてぜひきちんと見ていってもらいたいなというふうに思っています。

ちょっと戻ってもらえますか。

ここに示した処分場の面積というのは実は非常に理想的な岩盤が見つかったときの面積をいっているのであって、恐らく日本の地質環境の中だと、少し透水性のある亀裂が何カ所かあって、そこを避けて処分場のパネルを設定していくということをする、実態的にはここで示したような面積の倍ぐらい確保しないと多分いけないんじゃないのかなというふうな感じを持っています。そういったことを含めて、やはり処分場というのはなるべく我々としては余分な面積が要るような状況というのは避けるほうが賢明だろうなというふうに思っています。そういったことでぜひ、というかやはり処分場の面積低減というのは大事な要素だということを改めて申し上げておきたいというふうに思います。

それから、これはちょっとご参考のためにお示ししたんですが、これは前回もお話したんですが、ハンフォードでかつて高レベル廃液からセシウム、ストロンチウムを発熱を減らしたいということで除去したんですが、その結果として、そこにありますように、セシウムのカプセルが1,200本ぐらい、それからストロンチウムのカプセルが600本ぐらいできちゃったんですが、それをためている状況というのはこんなになっちゃっているわけですね。こういうことを我々が目指すのが得なのかどうかというのはよく考えたほうがいいと。少し視覚的な例としてお示したものです。

私としては、今回この場でなくてもいいんですけども、高速炉のウラン、プルトニウムリサイクルのバスがMAの分離変換をしなくても、日本の環境の中で恒常的な処分がきちんとできるという道筋が見えるのかどうかということをぜひ一度、多分やるとしたら原子力機構さんしかないと思うんですが、そちら側で一度きっちり評価しておっていただきたいなと。それは今後いろいろな物事を考える上での大事な部分じゃないかなというふうに思いますので、そういうことも一度やっていただけると、ありがたいなというふうに思っています。

以上です。

○山名座長 ありがとうございます。

細かいことについては後でシナリオのところでディスカッションいたしますが、今の河田さんのご説明について何かご質問やご意見等ありましたら、今伺っておきます。

それじゃ、小川さんお願いします。

○小川部門長 7ページの個別的留意事項ということで大変いろいろと挙げていただいて、少し我々としても頭の整理ができたと思うんですが、ちょっとこれに、今まで議論に加わってきた者として、むしろここにいらっしゃる先生方というよりも、社会一般に対してちゃんと説明しないといけないかなと思っていますのが、ここの3つ目のポツにあります「目的に適合した分離効率」の意味、それから下から2つ目の「複雑化」ということの意味合いについて、少し注釈をつけたいと思います。まず、分離効率でいいますと、うっかりすると再処理、そしてMAを分離するところの効率というふうに考えられてしまいがちなんですが、実はこの燃料サイクルを考えたときにアクチノイドのロスとして注意しないといけないのが、燃料の加工工程でかなりのスクラップの発生ということでありまして、今プルトニウムだけ扱っているときにはそのスクラップからのプルトニウムの回収というのはやろうと思えばそんなに難しいことではないと思いますが、そこにマイナーアクチノイドを入れたときというのは、今度はまたそのスクラップの中からマイナーアクチノイドを回収していかないといけないというような、そういうところまで含めて分離効率の設定ということを考えていかないといけない。これは技術的にはやればできるという世界ではありますけれども、分離効率という言葉の中にはそこまで入っているということは一応ちゃんと説明したほうがよいかなというふうに思っております。

そういう意味で、複雑化といったときにそういう要素も複雑化として入ってきますよということがあるんですね。

それからもう1つ、よく99%核変換するとうなりますというようなカーブを我々としてお示しするんですけれども、あれもうっかりすると1回原子炉に入れて照射すると99%なくなってしまうというように受け止められがちですので、そこもきちっと説明したほうがよいかなというふうに思っております。

実は、あの図というのは燃料サイクルの中にアクチノイドを閉じ込めると1%以下ぐらいにしか地層処分のほうに回らないように技術的にはできますよということを言っているだけであって、実際には99%燃やそうと思えば、何回もリサイクルしないといけませんので、実はこの分離変換を有意味なものにするというのは、その原子力利用のサステナビリティ、やっぱり我々が非常に長期にわたって原子力を利用するんだという、そこを指向するということとセットなんだということです。分離変換の議論というのはある意味わかりすぎるものですから、ちょっと誤解を招く部分がありますので、少し説明しておきたいと思います。

○山名座長 ありがとうございます。

それでは、若林委員。

○若林委員 8ページの開発フェーズと今回の評価ということで、私の印象なんですけれども、これからそういう議論は進めると思うんですけれども、河田委員が言われたこの2という段階、ベンチスケール実証試験の段階をチェック&レビューを行うというよりも、まだそこまでいなくても実験室規模ではないのかなと。今の段階がですね。ですから、実験室規模の今までやったのを評価するような、私の印象なんですけれどもね、その次のステップに行く、すなわち小型

プロセスとかそういうところに行く流れをやるのかなと、そういう私は印象を持ちました。

以上です。

河田委員 現実には1と2で混在しているのかなという認識でいます。ただ、2が入っていると当然3は意識しながら今回考えたほうがいいかなと、そういうことであります。

○山名座長 その議論はあとでシナリオのところでやりたいと思います。

それでは、時間が余りございませんので、次の議題に移らせてください。

前回の議論で幾つか質問が出ておりました。それに対する回答をお願いするということですが、日本原子力研究開発機構の大井川さんと原田さんに来ていただいています。手短にまず大井川さんの方から、面積、回収率関係の話、その後で原田さんから核データの精度の話をお願いいたします。

○大井川研究主幹 大井川です。

それでは、手短に説明していきたいと思いますが、前回補足説明資料のほうに回していた廃棄体貯蔵期間と処分場の面積の関係の説明を少ししたいと思っています。

それで、問題提起、めくってもらって2枚目のところでですけども、先ほど河田さんのほうからもちっとあったかもしれないですが、処分場の面積を低減するというのであれば、ガラス固化体が十分に冷えてから廃棄すればいいというような議論が当然あるわけですけども、それに対して核変換というのが、あるいは分離変換全体がどういうふうなメリットがあるのかというようなことを検討しているわけです。

それで、検討条件のところをFBRでPTとありますのが分離変換ですけども、①が分離変換を導入しないでFBRでネプツニウムのみリサイクルする場合。それから②がマイナーアクチノイドを全部リサイクルする、あるいはADSを使って核変換するという場合、③は分離だけしましょうと。MA、マイナーアクチノイドはそのまま捨てましょうという場合、④がマイナーアクチノイドも核変換しますし、分離してストロンチウム、セシウムは焼成体にするという、そういうフルバージョンの分離変換という、そういうことについてどういうふうな処分があり得るかということを検討しているわけです。

3ページのところは、ガラス固化体と、それからちょっと出てきました分離プロセスを入れたときのストロンチウム－セシウム焼成体の製造条件についてまとめてございます。1つのポイントはガラス固化体については高含有ガラス固化体というのをマイナーアクチノイド、それから白金属、発熱性元素、そういうのを除去した後の廃棄物にはそういう高含有のガラス固化体が適用できるというふうに仮定しているところにあります。

それで、まためくってもらいまして4ページが処分の方法、これは前回もご説明していますが、こういう「従来」と書いてあるオレンジ色のところですね、これが今硬岩系のリファレンスとなる処分の方法になっていますが、それよりも密に捨てることが可能だという、こういう捨て方を仮定して、最終的には非常に冷えた廃棄体であれば集積配置という、TRU廃棄物のうちの地層処分すべきものを捨てる概念に基づくものですけども、こういう捨て方まで考える、いろんな捨て方をその熱、発熱の状況に応じて取るということを考えましょうということです。

5ページは、先ほど言いました①から④までのサイクルのオプションをとったときの廃棄体の本数ということで、一番左側がPWR、軽水炉から出てきている通常のガラス固化体と考えますと、FBRから出てきているネプツニウムのみのリサイクルの場合が①、それからMAを核変換

するという場合が少し減って②、それからFBRで分離して、そうするとオレンジ色のストロンチウム、セシウムが新たに出てきています。それから④のところはストロンチウム、セシウムと高含有のガラス固化体が出てくると、こういう廃棄体の本数になります。それぞれがどういう熱を出しながら熱が減衰していくかというのがその5ページの右側の図になりまして、ストロンチウム－セシウムが一番赤で書いてありますが、半減期30年ですうっと落ちていくと。ただ、最初のうちは非常に発熱が高いということがわかると思います。それから、通常のガラス固化体がPWRそれからFBR両方ともありますが、マイナーアクチノイドが入ったままなのでこういうだらだらと何百年たってもなかなか落ちないという、そういう状況になっているわけです。それから、マイナーアクチノイドも取り除いて、それからストロンチウム－セシウムを取り除いた後のガラス固化体というのは非常に早く減衰して、これは冷えるのが速いのでごくコンパクトに捨てることができるだろうというのは容易に考えられるわけです。こういう特性に応じた捨て方を考えていきたいと思いますということです。

6ページですけれども、ちょっとわかりづらい図なんですけれども、横軸が貯蔵期間、これだけの期間置いておけばこういう捨て方ができますということをまとめた図になっています。左側の縦軸が廃棄体の定置面積ということでTWh当たりで書いてあります。見づらくて申しわけないんですが、黒点がありまして、 V_{-1} というのが45年ぐらいのところにあります。そのときが大体200m²、それから V_0 というのが60年ぐらいのところで100m²というのがあると思います。これが分離変換しない場合のガラス固化体です。その次ずっと何百年、350年近く置いておかないと次のコンパクトな処分まではできないと。これはマイナーアクチノイドがまだたくさん残っているのでなかなか冷えてくれないのでコンパクトな処分というのはできませんよということを示しています。

一方、②で示しているガラス固化体というのは、左上のほうから V_{-1} 、 V_0 とこう下がっていったら、230年ぐらいのところで大体Cと書いてありますが、2m²ぐらい、非常にコンパクトに捨てることができるようになる。つまりMAを取り除けばFPを分離しなくても大体230年で集積的な定置が可能になるということがこれでわかります。それから、ストロンチウム－セシウムはこの赤で示した線になりますけれども、コンパクトに捨てようと思うと300年ぐらい置いておく必要がある。このときには0.5m²ぐらい、非常にコンパクトに捨てることができる。それから、ストロンチウム－セシウム、マイナーアクチノイドを取り除いた後のガラス固化体というのはあんまり置いておかなくても60年ぐらいで集積定置が可能であるということになります。

こういうことで、大体処分までにどれぐらいの期間が許してもらえるかということを考えれば、そのときに一番効率的な捨て方というのを選ぶことができるということになります。

7ページですけれども、ただ300年も置いておこうと思うと、どうしても貯蔵のための負担というのがかかるといえるということなんです、これは我々ここで示しているのは貯蔵容量指標といいまして、乾式貯蔵に必要なピットの面積とそれから貯蔵年数を掛けたものを指標として縦軸に置いてございます。横軸は先ほどと同じ貯蔵期間ということになります。それで、ここで言いたいことは、ストロンチウム－セシウムの焼成体というのは発生する本数が少ないということがありますので、この指標でいきますと、そんなに大きく負担にはならなくて、この指標でいきますと、その50年間ガラス固化体を貯蔵しておくというのと大体イクイバレントな負担で300年の貯蔵ができるというふうにも言えるということです。ちょっと駆け足ですけ

れども、大体処分場の面積と処分の期間の関係というのは今のように整理されます。

それから、ちょっと全部説明をしてからと思っていますが、硬岩系の話ばかりしないで軟岩系の話もしなさいということもあったと思うので、軟岩系についても検討しています。それで、従来というのがこのところにあるSV₀あるいはSH₀と書いてあるこういう捨て方になっていまして、先ほどと同じようにコンパクトな捨て方がそれぞれ可能だというふうに仮定します。ただ、軟岩系なので硬岩系ほど密度を上げることができなくて、ということになります。ただ、集積定置の場合はかなりコンパクトな捨て方ができる。これの一つのポイントは、軟岩系の解析では地下の深度が500mと仮定されているということで、ちょっと先ほどの硬岩系1,000mというのと条件が違います。これは2000年レポートのときの条件をそのまま持ってきているので、こういうところで、この違いというのは実は温度の違いというのに出てくるんですけども、そういう条件の違いがあるということです。

次のページがそれを加味した上での貯蔵期間を振ったときの定置面積を示したものになります。左側のグラフというのが大体50年ぐらいの貯蔵期間まで許しようとしたときに「分離変換なし」、それから「MAの核変換します」「分離だけです」、それから「分離変換をフルにやります」という、そういうときの廃棄体の定置面積になります。核変換をすることで大体数分の1ぐらいの面積にすることができるというのが、これが硬岩系、軟岩系、堅置、横置の4本について、程度は差があるんですけども、大体共通して言えることかなということです。

それから、貯蔵期間100年まで許しますよということになっても同じような効果ですが、特に分離変換をフルに入れる場合というのが効果があらわれてくる。一番右側が300年まで貯蔵期間許しますということであれば、100分の1ぐらいの定置面積で済むということが可能になる。

次お願いします。

それに対して、貯蔵のための負担というのがどうしても出てくるわけですけども、それを比べたのがこれで、それほど変わらないんですけども、300年となるとさすがに貯蔵の負担というのがふえてくる。ただ、ストロンチウム－セシウムにして本数を減らしてMAも核変換するということをすれば、それなりに50年貯蔵と似たような負担で300年の貯蔵までやることができるということをこのグラフでは示しています。

次、3枚はそれぞれのグラフについての場合、どういう設定でやったかというのを示していますので、もしお時間がある方がいらっしゃいましたら、見ておいていただければと思います。

14ページです。もう1つご質問いろいろあった中で、回収率をどういうふうに考えるのかです。これは、ですから毒性とか潜在的有害度だとかの話は除いて、単に発熱だけで処分場面積に対する影響というのを見たものです。小さいグラフで申しわけないんですけども、まずはガラス固化体にどれだけマイナーアクチノイドが移行しても大丈夫かというのを示したグラフになっていまして、上のグラフは、これはFBRでMAを核変換する場合ですけども、MAの回収率が上がるにつれてどんどん長期の発熱がふえるということを示しておりまして、それに伴って先ほど示しました廃棄体の定置面積のグラフがこのように変わって、大体この右の表でいきますと、普通の定置方法、集積配置でない方法でいきますと大体10%ぐらいまでに抑えることができれば、移行率ですね、だからガラス固化体に移行するMAの割合を10%以内に抑えることができれば大丈夫だろうと。それから集積定置する場合にはやっぱり1%ぐらいまでに抑えたいということです。それから、高含有ガラス固化体の場合はもう少し厳しく

なって、集積定置しようと思ったら0.3%ぐらいの移行率に抑えてほしい、抑えるべきであるということがこのグラフからわかります。

それから、もう1つ次のグラフは、ガラス固化体への今度はストロンチウム－セシウムの移行率です。この場合も大体30%ぐらいに抑えれば影響がないというのが、これは核変換しない場合のガラス固化体で、それから核変換するフルの分離変換する場合は、ストロンチウム－セシウムを1%以内に。それから、集積定置をねらうということでは0.3%以内ぐらいに抑える必要がある。ただ、ストロンチウム－セシウムの場合は30年の半減期で減衰していくので、少し漏れが入っていてもガラス固化体の中にストロンチウム－セシウムが漏れていても、時間を置いておくということでは何とかなるというケースもあると思います。

以上で、まとめます。まず、廃棄体貯蔵期間と処分場の面積の関係ということで、長期の発熱のアメリカウムを何とか核変換するというので、後は残っているストロンチウム－セシウムを半減期に応じてどういうふうな捨て方をするかというところで、いろんな考え方がありますが、これが分離変換を取り入れることでいろんなオプションを考える幅が広がるというのが一つのポイントかなと思っています。

それから、2番目の処分場の岩種それから定置方法の影響、それぞれ程度に差はあるんですけども、大体どの場合でも定置面積に対する効果というのは期待できるのではないかなというふうに考えています。

それから、分離工程における減衰効率の検討では、集積定置をねらうという場合は少し厳しくて、マイナーアクチノイドで0.3～1%、ストロンチウム－セシウムで0.3%、それ以外ならMAで10%、ストロンチウム－セシウムで1%というようなところがねらいどころかなというふうに考えています。

以上です。

○山名座長 ありがとうございます。

それでは、核データに入る前に、今の件についてご質問等ありましたら、今お願いいたします。

山根委員。

○山根委員 非常に基本的なことを教えてほしいのですが、このMAの移行率ですが0.1という数字が出ていますけど、これがどのぐらい技術的に厳しい、達成するのが厳しいものか？それとも、これは特に工夫はなくてもこのぐらいの移行率は確保できるんですよとか、そこを私は全然知識がないので教えてください。

○山名座長 大井川さん、あともし関連ありましたら小川部門長や湊さんからもお願いします。

○大井川研究主幹 我々が今いろんな設定している数値というのはもっと厳しい99.97とか、そういう非常に厳しい数値で検討しているんですが、それはそれなりに目標として持っている数値で、それよりはかなり楽な数値にはなっていますが、ほんとにやってみたときにどれぐらいになるかというのは少し小川さんとかに補足いただければと思うんですが。

○小川部門長 例えば1%を大幅に下回るというような数字ですと、現状においてプルトニウムでも将来的に使用済みMOXのリサイクルを大規模にやろうと思うと難しいレベルに入ってくると思うんですが、マイナーアクチノイドについては何しろまだそういうものを含んだ燃料を大量に加工するという段階にも至っておりませんので、やはりその1%を大きく下回る場所を目指して技術開発をする。そのときにさっき申し上げたような複雑化要因も頭の中に入れない

がらやっていくという以外にないのかなというふうに思っています。現段階でどのレベルだったら楽ですといえるところまでは残念ながら行っていないと思います。

○山名座長 ほかに何かございますか。

長崎委員。

○長崎委員 後ろの導入シナリオの資料見たら300年という数字なんか出てこなかったんで、ここで質問しますが、300年貯蔵しますとか230何年というのが出てきたんですが、これを主張することは処分をしましょうということを自己否定していませんかというのが、前回も近いことを聞いたんですが、地上に長期貯蔵しますというのがオプションの中にあって、いろんなものがあるときに我々が地層処分を選ぶ、宇宙に捨てて処分しますというときに、地上管理ではなくて我々は地層処分を今だからこそやらなきゃいけないという主張していることを完全に否定しているんじゃないかということをおもうんですけども、そんなことはないんでしょうか。

○山名座長 大井川さんどうぞ。

○大井川研究主幹 全然そういうことを考えているのではなくて、まず50年の冷却期間というか貯蔵期間を置いたときにはどういう効果があつてと、で、分離変換を入れたらということだと考えると、ガラス固化体のMA、長期発熱というのがかなり下がるので、ガラス固化体自体をもっと早く捨てられますよということを言っているんですね。50年、例えばすごくコンパクトに捨てられると。ただ、ストロンチウムセシウムを取り除いたら、それは置いておけば置いておくほどコンパクトに捨てられますよと。それを何年後に捨てるかというのが皆さんで考えていきましょうと。地層処分自体を否定しているわけではないと思っております。

○山名座長 ちょっと答えが……。長崎さん、どうぞ。

○長崎委員 私が聞いていると300年すればかなりいろんなものを含めてコンパクトになるんだったら1000年、2000年置いておいてもいいんじゃないかと。普通は、私が何にも知らない素人だったら、300年昔は吉宗か綱吉か知りませんがそんな時代だとしたら、もうそこまでいくともうほとんど感覚的にはという感じもしないではないときに、ほんとにこういうのというのは議論として成り立つのかという、ちょっと疑問で、いや別に悪い、いい悪いというのはあれとして。

○山名座長 この議論は今面積の話になっていて、実際は毒性とそれからリスクですよ。どこにどういうリスクとどこにどういう毒性を置くのが一番確実か、河田さんのお話にあったように、その議論をこれから詰めていくということでありまして、長崎委員のご指摘は今後しっかり議論していこうと思います。処分か貯蔵か今後どこまで許容できるか。長期貯蔵のリスクをどこまで抑えられるかという議論かと思いますが、これからの課題にしていきたいと思います。

ちょっと時間が押しておりますが、よろしいでしょうか。

それでは、原田さんのほうから核データの精度についてお話をお願いします。

○原田研究主幹 原子力機構の原田です。データの精度について説明させていただきます。

核データの精度を分離変換に関わることで説明ということですが、結論を先ず申しますと、核データの精度といいますのは、これは十人十色でありまして、核反応の種類、そして対象とする核種、中性子のエネルギー毎にその精度というのは異なります。核反応の種類といいますのは、関係するものには、例えば中性子捕獲断面積というものがありまして、これは原

子核が中性子を吸って変換し、一つ重い同位体になる確率を示す量です。これですとか、中性子を吸うと核種によっては核分裂をする、その確率を示す核分裂断面積などが、核変換を考える上での基本的な量であります。こういった重要なものが複数種類あるんですが、精度というのはこの核反応の種類によって異なります。

また、対象核種について、いろんなことが今までの資料にも出てまいりましたけれども、ウラン、プルトニウムがある。マイナーアクチノイドがある。そしてロングライブドフィッションプロダクト（LLFP）が7核種ある。そしてセシウム、ストロンチウムというミドルライブドフィッションプロダクト、こういったものがある。この主なものだけでも20種類以上あるわけであります。

また、中性子のエネルギーという観点で見ましても、熱領域、そして中性子の共鳴が起こる共鳴領域、そして高速炉の高速中性子領域、これは中性子のエネルギーにして8桁の幅があるんですけども、この領域ごとに測定の方法が異なります。よって、核データの誤差も領域ごとに異なるということになっておりまして、これは5（核反応の種類）×20（対象核種の数）×3（中性子エネルギー領域の数）としても、少なくとも300の核データの誤差について話さなければいけません。今回時間がないので、2例だけをご紹介させていただきたいと思っています。

次のページをお願いします。

ここで、具体例を示す前に、核データといったときに何を差すのかというのが、これが専門家の中でも混同が起こることもありまして、その基本的なところのご説明を少しさせていただきたいと思います。

核データというものには、よく我々工学屋が使う核データ評価値というものと直接実験で測定した測定値というものがございます。評価値と測定値、どういう関係になっているかということですけども、図の下流から見ますと、我々は廃棄物の生成や変換量の評価に核データを使いたいわけです。これにはデータが全部そろっているライブラリーですね、我が国のJENDLでありますとかアメリカのENDF/B、ヨーロッパのJEFFといった、こういうライブラリーを参照して計算していくわけです。それぞれのライブラリーに評価値というのがあります。評価値というものは実験値とどういう関係があるかということ、測定値が幾つかあって、それを幾つか評価して平均をとるとか正しいものだけを重みを置きましょうとか、あるいは実験がないものは計算値を組み合わせで評価値をつくりましょうと、こういうことになっているわけです。ここでの説明は、評価値と測定値の関係というものであります。

次をお願いします。

今回、核データの精度ということでご説明するわけですけども、この図は核データの測定値の誤差です。核データにはどれだけの誤差要因があるかということでもあります。実はどれだけ不確定性があるかということは、これは今専門家の間でも非常に議論しているところではありますが、報告書、文献に出ている誤差といいますのは、統計的な誤差というものと系統的な誤差というものから構成されます。一方、余り認識されておりませんけれども、系統的な誤差としては測定者が認識しない誤差というものもありまして、しばしば測定値間に誤差を超えた差異が生じるということがあります。

次をお願いします。

次に、評価値の誤差で、評価ライブラリーも幾つかあるわけではありますが、評価値というも

のは昔は誤差というものがついておりませんでした。核データというと数値があると。最近の進展によりまして、この核データライブラリーにおきまして、限られた主要な核種につきましては評価値に誤差がつくようになってまいりました。ただし、この誤差がまだこれ議論の対象でありまして、例えばアルゴンヌのサルバルトーレという人たちが行った評価ではキュリウムのフィッションの断面積の誤差は40%あるという誤差の評価です。一方、JENDL-3.3という核データライブラリーでは7.7%という誤差を与えております。このように、評価値の中でも誤差の評価が違うわけでありまして。もう一例、ネプツニウムの中性子を捕獲する (n, γ) 断面積、これはアルゴンヌは15%、JENDL-3.3では3.4%、実際にこのように異なっているというのが現状であります。

次お願いいたします。

次に、先ほど2例と申しましたが、測定値と評価値が実際にどのような数値になっているか、誤差はどのくらいあるんだというのをLLFP、核分裂生成物から一例、そしてMAから一例ご紹介させていただきます。

まずパラジウム107をここで例にとりまして、パラジウムの熱中性子捕獲断面積がどうなっているかということでありまして。評価値というのが2002年にJENDLでありまして、これは2.007バーンという数値があります。誤差はついておりません。4桁の数字があるわけですが。何も考えないと、これは十分精度があるように見えるわけです。一方、これはMughabghabという人がアメリカのブルックヘブン研究所で核データのこれは本になっているんですけども、これが1981年だと $1.8 \pm 0.2b$ と、つまり10%の誤差でこれだよという数値を出しているわけです。ただし、このパラジウム107というのは、評価した時に実験値が全くないデータなんですね。彼らはもっとエネルギー領域の違うところから理論を組み合わせで予測しまして、こういう数値を出したわけです。ところが、最近の核データ研究の進展によりまして、2007年に世界初のデータが出たわけですが、実験値は $9.26 \pm 0.3b$ 、これは誤差の範囲を10倍しても説明できない差があるんです。実際にはこのくらい差があると。この例を示しましたのは直接測定値がない核種というものは、河田先生の言われたようなウランのデータというのはかなりそろっているんですけども、新たなMAを含む核変換の対象核種については、このようにまだ直接測定のないものがございまして、この場合には評価値の導出が難しいということを示す例であります。

次お願いします。

もう一例ということで、マイナーアクチノイドからです。これについては高速中性子捕獲断面積がどうなっているかを示すものであります。横軸に100keVから500keVぐらい、その領域のエネルギーに対して先ほどの中性子捕獲断面積はどんな値をとるかというものでして、これは色で分けておりますのがいろんな測定者によるものです。このピンクはアメリカのオークリッジ、そしてこのオレンジが最近ロスアラモスで核データ研究が活発に行われるようになりました、とられたのがここのデータです。Eschという人の2008年のデータであります。評価ライブラリーはこの高速中性子につきましてはアメリカのENDF/Bと日本のJENDLでは大体15%ぐらいの差異が今あるところでありまして。また、最新の実験値の2つを比べましても15%ぐらい、データ間には差があるというのが現状であります。ネプツニウム237につきましては、熱領域につきましてはこの誤差15%が最近の研究の進展で5%まで絞り込まれてきたんですけども、エネルギー領域によっては15%ぐらいまだ存在するというのが実情でございまして。

次をお願いします。

最後のページですけれども、現在精度向上に向けて世界でどういうことをしているかと、今後の課題を1枚にまとめております。核データの測定というのは80年代には世界的に大変下火になったんですけれども、この分離変換を境に、非常に活発に行われるようになりました。これは90年代からです。ヨーロッパにおきましては、ノーベル賞をとりましたルビア教授がCERNの研究所で、この核変換には中性子断面積が重要だということで、n-TOFプロジェクトが開始されました。また、欧州の中性子断面積を図る標準研究所でも綿々とその研究が行われて、ここが窓口の一つとして欧州で動いているわけでありまして。米国におきましては、昔はオークリッジだったんですけれども、現在はロスアラモス研究所が90年代後半から非常に精力的に測定を開始しております。専用のビームラインを核破碎中性子源につくりまして、4つの大型検出器群をつくって20人体制で行っているというところでございます。

我が国におきましても、大学とJAEAのチームがJ-PARCのビームラインを現在作製しておりまして、非常に大強度の測定ラインができつつあると。また大型検出器も1つですけれども、これも作製したところでありまして、今後測定をする準備が育ってきているという状況でございます。

今のことをまとめますと、核データ、特に放射性核種の核データ測定、これは難しいんですけれども、そのための核データ測定装置や測定手法の開発が世界で進行しております。今申しましたように、J-PARCのように大強度の中性子源ができますと、統計精度の向上ということが必ず見込まれますので、これによる系統的データの整備が今後期待されるところであります。ただし、先ほど申しましたように、データというのは統計だけではなくて系統誤差で間違えることがありますので、これをなくすためには独立測定の比較がこの低減のためには重要だと考えられております。また同時に、積分データ、原子炉で照射した後の解析等を組み合わせた比較検証も重要だと考えられております。その他、測定結果を先ほど申しましたように評価データの誤差へ適切に反映させるということも最終的には重要となってまいります。

最後に、今回の話と関連します、分離変換シナリオの評価精度への核データ誤差の影響がありますが、現在この分離変換の分野ではADSとか原子炉の炉心、これらの設計に核データの誤差がどれだけ影響するんだということが定量的に研究されていまして、幾つか論文が出始めております。ただし、核変換のシナリオにつきましては、まだ核データの誤差がこれだけ影響するんだという研究はございませんので、この点は今後の研究課題になるかと思います。

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、ただいまのお話について質疑をお願いいたします。どなたかご質問等ございますか。

○井上首席研究員 1つだけ。スペシフィックな話で恐縮でございますが、この前は近藤先生から尋ねられまして私がしっかり答えられなかったところに関してです。例えばアメリカウム、今は核変換の評価に使う核データはわかっていないか、余り定かではないと言われたんですけれど、ウランから原子炉でアメリカウム241が出てくるまでのトータルの誤差というのはどの程度になっているんですか。

○原田研究主幹 答えになっているかどうかはわかりませんが、アメリカウムをつくるのはプルトニウムがどれだけ燃えたか、1つ前の元素がどれだけ燃えたかでアメリカウム生成

を決めます。また、ネプツニウムであればウランですね、ウランがどれだけ燃えたかでネプツニウムが決まってまいります。残念ながらウラン、プルトニウムにつきましては我が国では本格的に測る装置がなくて、一部京大炉等で可能などころはあるんですけれども、ウラン、プルトニウムについての測定研究というのが非常に正直申しまして進んでおりません。ですから、今のご質問に実際に何%だと今私の把握している範囲では申しわけないですが、お答えすることができません。

○山名座長 小川さん。

○小川部門長 OECD/NEA等でいろいろとベンチマークをやっています。照射後の分析結果と、それから実際に計算で予測したマイナーアクチノイドの生成量と比較をしたりしていますが、やはりマイナーアクチノイドについては現状までの核データベースを使うと計算値と実験値の一致というのは、核種によってですけれども、余りよくないものもあるということで、それはたしか軽水炉のウラン燃料ですけれども、多分MOX燃料ですとか、あるいはFBRの場合は多分ベンチマークというのも余り国際的なものはないと思います。(*軽水炉 MOXについては国際共同研究ARIANE(Actinide Research in a Nuclear Element)があることが分かった。)

○山名座長 若林委員。

○若林委員 前回出席しないでちょっと質問が的外れかもしれませんが、こういう設計とか計算するときにはまず目標の精度というのは幾らかというのを決めて、それに対して、そこに持っていくためにどういうふうな実験とかそういうふうなことでデータをとっていくかということではないかと思うんですね。そうすると、今この核変換をやろうとしているときに我々はどこを目標の精度にするかというのをやはり明確にして本当は測定とか何かをすべきじゃないかと思うんですけど、今目標精度というのは幾らというふうに考えているのか。今でなくてもいいんですけれども、やはりそこをはっきりさせて、なおかつそれに対してどういうふうにアプローチしていくかということが重要じゃないかと思うんですけれども。

○山名座長 原田さん、何か今の話で。

○原田研究主幹 1つの目標精度、幾つか例えばADSの炉心でありますと k 、実効増倍率の誤差を例えば1%に抑えようということを目標設定しますと、大雑把に、これも核種等の条件によるんですけれども、おおよそ5%の核データの精度が必要だという研究論文が出ております。現状は、先ほど申しましたように、核種によっては15%から40%、エネルギー領域によってはそれが5%ぐらいに絞られてきたと。目標に達成するものが一部やられつつあると。そういうところです。ただし、 k を例えば実効増倍率を最終的には0.3%にしたいという目標設定になりますと核データ要求精度も3分の1の1.7%になるわけです。我々は、現在のところはどこを目標としているかということはないんですけれども、現在達成できる範囲という観点から言いますと、5%ぐらいの誤差というものは達成できると、今考えております。

○山名座長 ありがとうございます。

では山根さん。

○山根委員 精度にかかわる話ですが、最後のところで今後の課題という話が出たので、核データの測定については日本でも非常に精力的にというか地道に努力されていると思いますけれども、サンプルの入手が非常に難しい、特にMAのサンプルというのはほとんど日本ではないというふうに聞いていまして、それがこの研究のネックになっていると私は聞いています。そういう認識でよろしいんでしょうか、というのをお聞きしたいんですが。

○原田研究主幹 まさに山根先生のおっしゃるとおりで、それが一つのネックになっておりまして、サンプルはまず日本でも分析をしていただいたり、放射化学の先生に入っていて進んではいるんですけど、結局はアメリカは買ってくるんですね。FPはどうするかというと、買ってきているんです。一方アメリカのロスアラモスはどうやっているかということ、例えばウランのアイソマー、26分の半減期ですが、この核分裂断面積を測ろうと思ったら、ロスアラモスの中の化学工場で生成して、すぐにそれを測定のところへ持ってきて測ろうとしているんです。そういう意味では分離と測定の組み合わせ、それがアメリカは今ぐっと進んでいて、日本は遅れているという現状は確かかと思います。

○山名座長 深澤委員。

○深澤委員 私だけが混乱しているのかもしれませんが、精度といったときに誤差というのと正確さというのと2つの指標があると思うんですよね。誤差というのはデータのばらつきをいいますけれども、正確さというのは真値にどれだけ近いかということだと思うんです。我々が知りたいのは真値にどれだけ近いかということなんですけれども、誤差が小さくなれば真値に近くなるというふうに考えてよろしいのでしょうか。

○原田研究主幹 先ほど申しましたが、統計誤差と系統誤差という基本的には2つのものがございます。統計誤差が大きいと系統誤差の悪いところが見えてこないんですね。それが例えば統計誤差が非常によくなってきますと、差というものがくっきりわかってくるはずなんです。差がくっきりわかるとどっちかが必ず間違っているはずだと。その間違った要因を物理的要因を明確にすると、2つのデータというのとは一致していくはずなんです。収束していきます。我々実際にネプツニウムの熱中性子の領域で、その物理的要因を明らかにすることによって、15%であったものから5%の範囲でおさまるということを確認しております。ですから、それは核種1つずつ差異の原因ですね、それを突きとめていく。研究を進めることによって真値になっていくと。さらに検証方法として、異なった全く独立の手法でも同じ結果を与えるという確認から、それは真値だというふうに言っていくのだらうと。そういうアプローチをしたいと考えております。

○山名座長 ありがとうございます。

はい、どうぞ。

田中委員長代理 ミクロの断面積から詰めていくというやり方は、もちろん、それはそれで大事なんですけど、私のほうからお願いしたいのは、要するにこの核変換というのはFBR体系か、いわゆるADS体系でやるわけですね。それで、一番大事なことは何が核データでの誤差が問題になるかということ、安全評価とそれから性能の評価ですね、積分的な量です。要するにADSで言えば実効増倍係数がどれだけ正しいか。そこに誤差が出てきていると未臨界というものの評価が全然違ってきます。加速器の強度も性能も全部違ってくるわけです。根本的にそういうところの影響が出てくるわけですね。それで、今までの原子力の歴史を見ていて、新しい燃料、非常に多くのマイナーアクチノイドなんかを入れたような体系がないわけですけども、FBRにしる、軽水炉にしる、ガス炉にしる、今までは臨界実験をさんざんやって、それでその誤差を十分に詰めて、初めて原子炉システムとして大体出来上がってきていると思うんですね。そのところをどう考えるかということなんです。今計算だけでいろいろ詰めても、じゃ安全評価としてこれでいいですよというところには私はいかないと思うんですね、個人的に思えば。そうした課題をどうするんですかとお聞きしたい。臨界実験、MA体系での臨界実

験、未臨界実験をやらなきゃいけないのか、やらなくてもいいのか、そういうことをやっぱりこの検討会で詰めていただきたい。それが次の政策の大きな柱になる。フランスは2020年に高速炉を建設するとか言っているけど、MA体型の高速炉はいい加減なことでは安全審査は通らないのではないかと思います。そういったことについての議論をお願いしたい。だから、原田さんがおっしゃったことは大事ですが、実際の高速炉心での実験もあわせ技でやっていかないといけないんだろうと思うんです。

○山名座長 今の点は貴重なコメントとして伺いますが、何か。

○原田研究主幹 そのとおりだと思います。最後のページにまとめのところに、④ですね、積分データとの比較検証も重要であるという認識も十分ありまして、最近ではモンテカルロシミュレーションが進んだのでかなりのところは核データの誤差が一番大きくなってきてまして、それを改善するとかなりが予測できるようにはなっていると思うんですけれども、最終的には実際の体系で検証するということが、④が重要だと考えておりまして、今いただきましたご意見を参考とさせていただき、考えてまいりたいと思います。

○山名座長 田中委員長代理がおっしゃったもう一つ大事なことは、臨界実験が重要だというご指摘が今ありましたので、そこも含めてね、ポストイラディエーションだけでなく臨界体系をどうするかという話もあったと思います。

それでは、河田さん、何か。

○河田委員 高速炉時代になったときにMA分離変換ができると処分側は楽ができるかなという期待を持つ一番の理由はやはり単位発電量当たりのF P側の発熱が減ると。その減るというのは核分裂、フィッションイールドの中のプルトニウムとウランのフィッションイールドの違い、その中で特にプルトニウム側の核分裂の場合には、セシウム、ストロンチウム、あるいは両方でしたっけ、これが相対的に少ないというところが一番きいているんですよ。現時点でフィッションイールドなるものは、あれをそのまま我々の今の時点で相当の確からしさで信じていいかどうかというのはぜひ押さえておいていただきたいなと思っています。

○山名座長 原田さん、フィッションイールド。

○原田研究主幹 フィッションイールドは今おっしゃられたようにストロンチウム90が6%から2%に3分の1に下がります。その誤差がどれだけかというのは今数値を押さえておりませんので、そういう抜けがないように持って帰りたいたいと思っております。ありがとうございます。

○山名座長 ありがとうございます。

それでは、今の議題はこれくらいにしたいと思いますが、もう時間を超過しておりまして、これからシナリオの議論をやりますと、恐らく4時半ぐらいまでかかってしまいます。次回送りにする手もあるんですが、せっかく議論が高まっておりますので、このままやらせていただいてよろしいでしょうか。

では、電車のお時間と厳しい方は適宜ご退席願うということで、大井川さん、シナリオの説明をよろしくをお願いします。

○大井川研究主幹 それでは、このシナリオの検討なんですけれども、移行期におけるF B R燃料のMA装荷率の変化ということと、それから加速器駆動システム（ADS）または非均質F B Rの導入規模というところがどういうふうになっていくかというのを、年次展開的に見ていくということをトライしたのになっています。

それで、シナリオ検討の基本的な考え方の2ページですけれども、第2再処理工場2047年運

転開始というふうに想定しました。これ以降でマイナーアクチノイドが高レベル廃棄物から回収され、核変換されるということでシナリオを考えております。

それから、核変換の方法としまして、3つの方法というのが考えられる。これは一般的にそうかと思っております。発電用高速炉を用いる方法で、片やMA均質サイクル、もう一つがMA非均質サイクルと、これはフランスなんかでの分類の方法もこういうふうになっていましたが、MA均質サイクルというのは発電用高速炉燃料にMAを添加するということ、それからMA非均質サイクル、それから核変換専用システム、主にADSを用いるというふうに今はなっています。あるいは階層型という呼び方もされていますが、これらの非均質のほうはMA割合の高い核変換専用燃料を用いるという方法に分類されます。

このシナリオ検討での検討事項としまして、こういうシナリオでまずは発電用高速炉（均質FBR）で核変換する場合、その燃料中のMAの装荷率がどういうふうに変わっていくのかというのを解析しております。これは原子力機構の高速炉FACT計画の中で検討されているものでございます。その中でいろんなオプションで検討しまして、MA装荷率の上限というのをどういうふうに設定するか。大体リファレンス的には5%なんですけれども、それを下げていくとどういうふうな影響があるのかということ。それから、マイナーアクチノイドをいったん貯蔵して、主な発熱源でありますキュリウム244、これの減衰を待ってから核変換するという方法もあるのではないかなと、これの検討もしております。それからネプツニウムのみFBRで核変換し、アメリカウム、キュリウムは廃棄するというふうにすれば、どれぐらいMAの装荷率が抑えることができるのかということも見てございます。

それから、ADSまたは非均質FBRで核変換する場合というのは、上のFBRのネプツニウムのみ核変換でアメリカ、キュリウムは捨てるといった場合のアメリカ、キュリウムをADSまたは非均質FBRで核変換しようということになります。その場合の必要なADSあるいは非均質FBRの導入規模というものを検討してございます。

3ページはこのシナリオ検討の土台となります原子力発電の構成、それからサイクルシステムの想定になっています。右側のグラフを見ていただきますと、58GWeという発電構成になると、2030年以降はそういうふうになるとしております。軽水炉が低燃焼から高燃焼度に移り変わっていった、それから2050年からFBRが入っていった、最初は高増殖型、それから低増殖型に移っていくという、これは一般的によくやられているシナリオになっています。それで、細かい条件というのはまた必要に応じて戻ってくるというふうにして、こういう条件で検討しているということでございます。

4ページが再処理の推移ということで、こういうシナリオを考えたときに再処理工場がどういうふうな形になるのかというのを示したものになっています。第2再処理工場が2047年に運転を開始するとして、この第2再処理工場からマイナーアクチノイドを回収すると。この第2再処理工場の規模が1,200t/年と。主に軽水炉燃料を再処理するものというふうになっています。

それから、右側のグラフがFBR用燃料の再処理の規模になります。こちらのほうは2060年から200t/年で操業すると。で、FBRの燃料を再処理するというふうにしております。MOX軽水炉の使用済み燃料は、第2再処理工場で2047年から再処理してFBRにプルトニウムを供給するというふうに仮定しています。

大体、そうしますとFBRの再処理というのが2080年ぐらいに少し増設をするのが必要になって、最大で600t/年ぐらいの規模になると、そういうふうなシナリオになります。

こういう炉とそれからサイクル、再処理を想定した場合に、F B Rの均質装荷の場合の燃料中のMAの装荷率というのを検討した結果が5ページの左側の図になっております。軽水炉からF B Rの移行の時期、大体2050年から2090年から2100年ぐらいの時期には大体5%の上限にびたっと張り付いて、少し下がる時期もありますけれども、こういう非常に高いMA装荷率の時期が続くと。その後20年ぐらいかけて3%ぐらいから1%に徐々に低下していくというのがマイナーアクチノイドの濃度の変化でございます。

右側の図は、マイナーアクチノイドを核変換する、しないということでどれぐらいのマイナーアクチノイドが核変換されているのかというのを示しているもので、2050年から2100年にかけては、これは処分した時期ということで、ガラス固化体を処分した時期ということでプロットしておりまして、2100年ぐらいまでは六ヶ所工場から出てくるガラス固化体を処分しているので、このぐらいマイナーアクチノイドがどうしてもこれだけ廃棄物に入っていくと。その後F B RによるMAのリサイクルを導入することでそれを抑えることができると。もし、核変換しないとなりますと、オレンジ色の破線で示したようにどんどんどんどんマイナーアクチノイドがガラス固化体の方に移行して、処分されていくということになります。

6ページからは、それではいろんな想定を変えたというかオプションを考えたときにどういうふうに変わっていくかです。6ページのほうはF B R燃料中のMAの装荷率上限を変えた場合の影響になっています。上限を5%から4%、それから3%というふうに下げていった場合の、左側がMA濃度の変化、真ん中の図がF B R新燃料集合体1体当たりの発熱量になっています。それから右のグラフが分離されて貯蔵しておかないといけなくなるわけですが、そのMAの貯蔵量というのも変化になっています。こうやって上限を5%から3%のほうに下げますと、真ん中にありますように当初2050年から2100年ぐらいの間は燃料の発熱というのを抑えることができますが、2100年以降上限3%の場合でもずっと上がっていきまして、かなり高い値を一時的に示すというようなこともあります。これはキュリウム244が増加をしていくというような影響でこういうふうな発熱量の変化ということになってございます。このときのMAの貯蔵量というのが右側のグラフですけれども、赤で示しますように、上限3%としますと、どうしてもMAをどこかで置いておくというようなところが70t程度必要になってくるといったことがわかります。

次に7ページですけれども、今度はアメリカシウムとキュリウムを分離して、冷却してから均質F B Rに装荷するというシナリオで考えたものです。2つのケースがありまして、赤で示しておりますのが軽水炉取り出し燃料のみ45年遅延して、アメリカシウム、キュリウムを置いておいてF B Rに入れると。それから、青で示したのは軽水炉と高速炉、両方ともアメリカシウム、キュリウムを取り出したものを30年置いて装荷するということを考えたものです。先ほどと同じように3枚のグラフになっていますけれども、真ん中のグラフを見てくださいと、集合体1体当たりの発熱量というのがこの遅延をするということで、2015年から2100年というのはかなり抑えることができるのはわかります。ただ2100年以降Lのみということになりますと、F B Rのほうは遅延しないということで、2100年以降赤で書いてある部分はその遅延なしの部分とほとんど変わらないような形になります。一方LとF両方30年遅延というのはかなり発熱を抑えることができます。ところが、一番右のグラフですけれども、分離して置いておかなければいけないMAの量というのは大体最大で150t程度までふえることになるでしょうということがこのシナリオスタディからわかっていることです。

では、8 ページですがそのマイナーアクチノイドのうちネプツニウムのみFBRでリサイクルして、アメリシウム、キュリウムについてはもう廃棄していきましようとした場合ですけれども、真ん中のグラフを見ていただきますと、青で示したものがそれに相当しますが、発熱量というものが非常に低く抑えることができます。一方、一番右に示しましたようにハイレベルウエストのほうに行くマイナーアクチノイドの量というのはどんどんどんどん上がっていく。当然ですけれども、そういうふうになってしまうということになります。

こういう、廃棄物のほうに回るマイナーアクチノイド、アメリシウム、キュリウムを核変換する方法として、1 つはADSでやってはどうかというのが9 ページのほうで、これは共存シナリオと。これは前回の2000年のチェック&レビューのときにも宿題としてのFBRとADSの共存シナリオを考えなさいというのが出ているわけですが、そういうのにこたえるものになっていると考えております。アメリシウムとキュリウムというのは大体軽水炉から高速炉への移行期には年間3 t くらい出てきて、FBR平衡期では1.5 t から2 t くらい出てくるということがわかっていますので、一方ADS、今我々考えているのは800MW熱出力ですが、その核変換能力は大体年間0.25 t、250kgのマイナーアクチノイドを核変換できます。そうしますとMAの蓄積に応じて大体8 基ぐらいのADS、熱出力規模でいきますと6.4GWということになっていまして、大体FBR、今FaCT計画で言われているFBRの熱出力で換算すると2 基ぐらい相当のものになりますけれども、これを投入してマイナーアクチノイドを核変換するということが可能になってくるんじゃないかと。そのときの導入のペースというのが下のグラフに書いてありまして、大体30年ぐらいで8 基を入れていくような、そういうペースかなというふうに考えています。この800MWのADS、1 基あたり年間2 t の使用済み燃料が出てきますので、再処理量だと8 基だと16 t、FBRの燃料の再処理量というのは300 t とかそれぐらいと考えますと、大体20分の1 ぐらいの規模のサイクルで回すことができます。ただし、ADS用の燃料というのはマイナーアクチノイドのたくさん入っている燃料ですので、それなりに熱だとかそういう点で取扱は注意が必要だということです。ただ、非常にこういうコンパクトにできるので、発熱と放射線の観点から取扱の厄介なMAというのを閉じ込めておくということがこういうことで、これは階層型の利点かなと思っておもいます。

10ページは、ADSでやった場合の柔軟性を示すための図になっているんですが、上の青で示しているところが軽水炉の再処理のイメージです。それから真ん中の赤で示している部分というのがFBRの再処理、一番下の黄色で示しているのがADSの核変換専用のサイクルと、こういう階層型がこの移行期には出現するというのがADSの考え方になります。そのときに軽水炉サイクルとFBRサイクルの比率が今ここで という数値であらわしているんですが、これが変わっていくとADSがどれぐらい必要になっていくのかというのを見積もったのがそこにある表でして、ほとんど軽水炉の場合で5.5ぐらい、それからほとんどFBRの場合で6.5基ぐらい。ということで、大体6 基から8 基ぐらいのADSと小規模な核変換専用サイクルがあればこういう移行期にも柔軟に対応することができるということが言えます。

それから、11ページはFBRにおけるアメリシウム、キュリウムの非均質装荷についてです。実はこれについてはまだ余りJAEAでも一部研究はされているんですが、大きく評価を受けるようなところまでは行っていないのが正直なところでして、ある論文から持ってきたデータのみで簡単に紹介するということにしたいと思います。ここでは1 つGLOBAL2007という国際会議で発表された論文から持ってきているんですが、FaCT計画で考えら

れている1.5GWの高速炉に非均質、20wt.%のMAが入っている、そういうターゲット集合体を装荷した場合の設計になっています。年間で大体110kgのMAを核変換できるというふうに書かれています。それに対して、ネプツニウムだけでリサイクルしている高速炉というのは年間40kgのアメリシウム、キュリウムを生成してしまうということで、これの比率から考えますと大体1対3の割合で導入すればつりあいが取れるということで、ネプツニウム部分リサイクルの均一高速炉は大体29基、それから非均質でアメリシウム、キュリウムを装荷するというものは10基、こういう構成でいけば58GWの発電ということができるといことになります。ただ、これは平衡期だけですので、移行期というのはマイナーアクチノイドの生成がふえるので、まずはMA蓄積を抑制するということが必要であれば、非均質高速炉から先行して投入するという必要が出てくるでしょうということです。こういう議論というのはまだ世界的にもそんなにやられていなくて、この非均質高速の設計に非常に大きく依存する部分がありますので、注意を要するところであります。

それから、12ページ、今ADSあるいは非均質高速炉の話をしましたけれども、こういうシステムというのはどうしても核変換専用燃料ということでMA含有率の高い燃料を使わざるを得ないということで、発熱だとか放射線だとかの管理は注意を要するということになります。例ですけれども、ADS用の燃料の発熱の概要をそこにまとめておきました。MAの窒化物燃料の発熱密度、大体最大で400W、サイクルのいろんな状況で変わってくるんですけれども、400W/kgHM、HMというのはヘビーメタル、重金属1kgあたりということです。それに対して集合体中の重金属量というのが今設計されているADSでは7～50kgぐらいだと考えています。これ、幅が非常に広いのは集合体の設計で何個のピンを一つの集合体にするかということで、まだ設計自体を固めているわけではない、あるいはこういう発熱のことを考えながらこういうのをフィックスしていかなければいけないというふうに考えているわけです。したがって、この400Wと7～50kgというのを掛ければ大体集合体あたり3kWから20kWという非常に大きな幅がありますけれども、こういう発熱になるだろうと。ADSではダクトレス燃料という外側の殻がないような燃料を想定してしまして、横から組み立て時などに空冷で冷やすというようなことを考えて、何とか対処したいというふうに考えています。ということで、集合体のこういう仕様というのはまだ固まっているわけではなくて、こういう除熱の問題だとか、ほかに炉心の設計だとか燃料交換の簡便性、いろんなことを考えて総合的に検討して決定していくということがもう一つの問題点として挙げられると思います。

以上、まとめますと、2047年から第2再処理工場でMAを回収して核変換するという、そういうシナリオを検討しています。今言いましたように検討項目としてFBRサイクルの中のMAの装荷率、それからADS、非均質高速炉の導入規模というのを検討しました。高速炉のほうは最大5%ぐらいの装荷率、それから平衡期には1%程度になりますと。あといろんなオプションの検討をしています。

それからADSでは8基程度の導入規模になりまして、サイクルとしては高速炉サイクルの20分の1程度になります。それから、非均質高速炉の場合は全体の4分の1程度がアメリ、キュリウムの非均質装荷ということになりました。こういう構成でいけば高速炉で均一にMAをリサイクルする場合、それからADSまたは非均質高速炉でMAを核変換する場合、どちらの導入シナリオでもMAのマネジメントが可能かというふうに考えています。

以上です。

○山名座長 ありがとうございます。

それでは、今のお話について質疑に入りたいと思います。ご質問、コメント等お願いいたします。

○深澤委員 基本的なシナリオとしては、これは全部と考えてよろしいんですか。専焼炉がないような気がするんですけども。

○大井川研究主幹 専焼炉自身はADSと非常に同じような考えで考えればよいと思いますが、現在のところ専焼炉に関して我々のところでアクティビティは今現在は持っていないということです。

○山名座長 ほかに。井上さん。

○井上首席研究員 2047年からこれをやるというのは、そこはちょっと置いておきまして、高速炉がマチュアな時代になった時、MAをある程度燃焼させようという場合に、商業炉を使う場合、日本全国にMAの燃料が行き来するのは、なかなか難しいような気もするんです。そういう意味からいくと、例えば非均質システムにして1カ所に集めてMAだけを燃焼させることもスマートのような気もするんですけど、そうする場合、発電用は高除染で取扱いやすい燃料です、最初に入れる燃料は。そうした場合にADSがいわゆる自立するのとそれからの発電で投資を回収する場合、それはできるのですか、そのあたりはどうなんですか。

○大井川研究主幹 今のご質問は非均質高速炉でMA核変換が商業ベースでやられた場合にADSが太刀打ちできるかという……

○井上首席研究員 だから、ADSでも当然発電するわけですよ、それでいわゆる今までに投資した分をある程度回収できてくると思うんですが、あるいは回収できない。

○大井川研究主幹 ADSで発電で他の電源と競争できるほどの競争力はないので、もちろん発電して売電することで収入というかそれは想定していますけれども、全体として核変換することによってのコストというのはコストアップになりますので、核変換することの意義をやっぱり考えないと。

○井上首席研究員 その意義をどの程度の値段に見積もるか。

○大井川研究主幹 そういうことですね。

○山名座長 今の点でADSに関するコスト評価というのはやられていたのですか。

○大井川研究主幹 非常に粗いものですが、軽水炉のサイクルにADSを入れるようなイメージですが、大体5%をプラス・マイナス2%ぐらいのコストアップ、というようなそんなイメージです。

○山名座長 発電側の発電コストが5%アップするぐらいのイメージですか。

○大井川研究主幹 そんなイメージです。そこから実は処分場の面積がこんなに小さくなったからこれだけゲインありますというのはそこには入れていない。それをうまく入れられればもう少しというのはあるんですけども。

○山名座長 また後ほどその辺のコストの話も入ってこようかと思います。ほかに何かございますか。

長崎委員。

○長崎委員 このいろんな幾つかのケースの評価にあたっては、3ページにあるいわゆる58GWの出力は維持できて、しかも高増殖型FBRと低増殖型FBRのいわゆる増殖比をここにある1.2と1.03を維持しているシステムとしてマスパラもあわせて全部やってこういうふうででき

ますと、そういうふうに評価していいんですか。

○山名座長 小野さん。

○小野研究主幹 お答えを申し上げますと、そのとおりです。一応3ページの右上に書いてあるシナリオを大前提にして、ADSも含めて諸量評価をしております。

○山名座長 若林委員。

○若林委員 条件のところで3ページのところで聞き漏らしたかもしれませんが、ロス率でFBRサイクルでネプツニウムが10%になっているんですけれども、これは何でしょう。

○小野研究主幹 FBRサイクルにおきましては、先進湿式法を使っているんですけれど、ネプツニウムはウラン、プルトニウムのほうに付随して9割方いくのをカウントしておりまして、それ以外の残りの10%は廃棄物側に行くという仮定にしております。

○若林委員 分離はしないと。

○小野研究主幹 10%の方の回収をするかということですか。

○若林委員 要するに10%の分は回収してまた戻すんじゃなくて、そのまま、要するにほかのアメリシウムと同じように分離の操作をして、それで回収するということはやらないということですか。

○小野研究主幹 今のここの評価ではそうですね。10%を廃棄物側に持っていっていると。

○山名座長 現在はそういう評価になっていますね。ただ、実際は例えばCMPO、TODGAで回収するなどすればネプツニウムも回収できると思いますから、その気になればもっと上がる、多分こういう解釈じゃないかと思いますが。

○若林委員 何かバランスがここだけ10%ロスで地層処分にやっちゃうというシナリオがいいのかどうかというのはちょっと。

○山名座長 小川部門長何か、今の点。

○小川部門長 おっしゃるとおりだと思っはいるんですが、もう一つ実は余り時間がなくて内部でもディスカッションができていなくて恐縮なんですけれども8ページの均質FBRでネプツニウムのみを部分リサイクルするということの意義付けについてはまだ余り議論ができていないんじゃないかなと思います。これはもちろんADSでアメリ、キュリウムを核変換することとのカップリングでこういうケースを想定するというのはあるとは思うんですけれども、FBRでネプツニウムだけリサイクルして、何かそこでどういうご利益を得ようというのかというのはちょっとわかりにくいと思っています。もう少し内部でも議論したいと思っています。

○山名座長 小野さんか大井川さん、何か、今の点。ネプツニウムオンリーに意味があるかというお話ですね。

○小野研究主幹 そうですね、ただ、先進湿式法では、何もしなくてもと言ったらあれですけども、普通にネプツがプルトニウム側に製品として行くので、それはそのままほうっておくことはないだろうということでリサイクルするケースを一応考えております。

○河田委員 多分、毒性低減の観点からちょっと別かもしれないけれど、とりあえず熱除去という観点からは、ネプツニウムがあろうがなかろうが、そんなもん、どうでもいいよということなんですが、多分次の再処理では、ウラン、プルトニウムを分離するのではなくて、共抽出みたいのが望ましいと。そのときにうまくやればネプツニウムにもかなり同時回収できちゃうので、そこはまあ回収して燃やしてしまう方が、これはもう素直な流れですから、とりあえず

はそういうことを想定しているのもであって、余りそのネプツニウムそのものを回収しようとするアテンションを今していないという、そういう単にそれだけだと思いますね。

それと、さっき言ったように、発熱という観点からそこは余り触らなくてよろしいという状況で今の10%という数字だけ泳いでいると。

○小川部門長 余りテクニカルな議論をやらない方がいいと思っているんですけども、当然ネプツニウムもリサイクルすれば燃料側にプルトニウム238はふえますので、そういうことも含めて、先ほどまさに複雑化だとかいろいろ考えるファクターの一つだと思いますけれども。

○山名座長 ありがとうございます。

○河田委員 1つは高速炉の一つの泣き所はブランケット側に非常にピュアなプルトニウムができるという問題があるので、場合によったらネプツニウムも一つ抱かせることで、そちらを少しグレードを落とすことで核拡散抵抗性を上げるといいうのは、議論としてはあり得ますけれども、そういうことをやったときに今度プルトニウムの品質の維持、多重リサイクルするときの品質の維持という観点でそれがアクセプタブルなのかどうかというのは、それはそれで検討していただく必要があると思います。

○山名座長 ほかに何かございますか。

山根委員。

○山根委員 ADSですが、800MWサーマルを想定して6基ぐらいとのことですが、この800MWサーマルの想定というのはどんな根拠でしょうか。多分過去の研究をベースにしたものだが、今後を考える、少しアップしても多分台数は減らないと思いますが、そのあたりはどういうふうに考えておられますか。

○大井川研究主幹 ADSの設計については多分もう少し技術的なことで3回目、4回目みたいなところで出るかと思うんですけども、出力を決めているのは加速器と炉を結ぶところのビーム窓の設計だとかそれから未臨界度を先ほど核データの話がありましたけども、どこまで上限設定できるか、今0.97という値で設定していますけども、そういう設定をどこまで持ってくるかで大きさが決まっていて、今のところ我々は何とかかんとか800MWをということで、ヨーロッパなんかもう少し低い値を言っているような状況でして、800MWというのはかなりチャレンジングな値だと今でも思っているところです。

○山名座長 長崎委員。

○長崎委員 きょうのこのシナリオはあくまである仮定のもとに計算してやっているわけで、もちろんあくまで計算だけですので、どういうのでもきっとできるのだと思うけど、それでさっき話がちょっと出たんですけども、恐らくコストの話であるとか12ページの最後に「集合体仕様は、製造時の除熱、遮蔽」云々というのがありますけど、ある程度、本当にこれを最後は電力会社が使うんだとしたときに、ほんとにハンドリングできるのかとか輸送のところとか、そういうところまでほんとのある程度見通しを立てられるところまでいかないんだとしたら、河田委員のやられたときに①か②の左のほう以上のことは恐らくこの報告会でも出ないような私は個人的なイメージがするんです。その一步先行くためには、やはりある程度定量性が出るなり、あるいは問題をもう少しクリアに、こういうところをやっていくべきだという、その課題整理はやっぱり次あるいはその次あたりにぜひしていただかれると最後のところではきっと頑張って基礎研究をやりましょうで終わりそうな気がするのが1つ目で、いや、これはあくまで私の個人的なきょうの段階でのイメージです。

それと、2つ目は、今いろいろと発熱の話を議論されていますけれども、これはあくまで、これは処分側の問題なんですけれども、人工バリアの最高温度をいついかなるときも100℃を超えない、これで決まっているんですよ。ところが、ほんとなのかと。例えば、ほんとに例えば50年間ぐらい100℃超えていてもいいのかとかね、300年ぐらいだったらいいのかとか、これは今いかなるときも超えてはいかんということが大前提だったような気がします、これはほんとなのか、ここが変わるとほんとにこの意義ってまた変わるかもしれないんですよ。だからちょっとそこら辺はある程度議論は、この場なのかほんとに処分側の問題なのか、多分に処分側の問題だと思いますけど、そこはやっぱりある程度処分側の現状と何となくもうある意味処分側で大前提にしているということを前提にして物事を言っていますけど、ほんとにそこが崩れるとかなり変わるところがあるんだとすれば、そこはやっぱりちゃんと詰めておいて、その辺は問題課題として投げかけるぐらいのものにしておかないといけないんじゃないかというのがコメントというか、そんな印象を受けました。

以上です。

○山名座長 今のベントナイトの温度制御について、何か大井川さん。

○大井川研究主幹 すいません、その温度制限そのものに対しての技術的なコメントはぼくはできないんですけれども、まさにそういう地層処分側の設計の人たちと我々とのインタラクションが今ようやく始まりつつあるところだということで、これは実は前回のチェック&レビューのときに余りなかったんじゃないかなと思っていて、そういう動きが始まっているところを今回評価もしていただきたいなというふうに思います。

○山名座長 この熱の話は、そうですね、ここ数年急激に大きなテーマになってきておりまして、今の制限値の話は少し今後専門家、ぼくは長崎先生が専門家だと思っていたんだけど、少し調べてここでも議論するようにさせていただきたいと思います。

そろそろ時間もあれですが、何かいかがでしょうか、ほかに。田中委員長代理。

田中委員長代理 1つちょっと前に戻りますけど、長崎委員が300年も冷やすのかという話がありましたけれども、中間貯蔵が日本は今50年ですね。それから、外国だと100年ぐらいというのもあるので、大体100年ぐらい。再処理する前に使用済み燃料で冷やすというのがせいぜいそんなところを前提に考えたほうが現実的じゃないでしょうかというのを一つ、勝手にいろんな仮定を立てても全然しょうがないシナリオをつくっちゃうことになると思うので、まずそこが1つじゃないかなと。

それから、こういったシナリオを考えるときに、技術的なフィージビリティ、先ほどちょっとおっしゃっていましたが、そういうことをきちっと最低限見ていないといけないんですよ。そうした観点で、見ていただきたいと思うんです。それで、13ページにホモジニアスでもヘテロでもADSでもMAのマネジメントは可能って書いてあるけれども、ほんまかいなという疑問があります。フランスとかなんかの動きを見ていると、フランスはバーナーはやらないと。ブリーダーにつながらないとかね、そういう報告があるわけですよ、ちらちらと。その本質は何なんだということなんです。それから、さっき湊さんから説明があったFP7の中でも、次のプロトタイプของ FBRは25万から60万kWぐらいにしている。要するにいろんなFBRの今までの経験を踏まえて、その規模のもので、リスクを抑えながら開発するという表現があるんですよ。そういったのは多分に技術的なベースからそういう表現が出てきてそういう判断があると思うんです。要するにFBRでやるのかFRでやるのかというのは全然

意味が違いまして、我が国の場合ブリーディングしないFBRだったらしようがないんだと思うんです。だから、FBRとMA燃焼などの要件がコンパチブルであるかどうかとか、そういったことを最低限押さえた上でこの議論を進めていただかないと、大前提のところがひっくり返っちゃうような話になる恐れがあります。さっき臨界とか安全とか、臨界安全の問題とかそういうことをちょっと申し上げたので、そういうことを含めて少し、質というのかな、余り政策論ばかりじゃなくて、ぜひそういうことを詰めていただきたいなど。これはそういう意味で技術検討会ということになっていますので、よろしくお願いします。

○山名座長 ありがとうございます。

技術的現実性に少し入っていきこうという委員長代理のご指示であります。これについてはJAEAのほうから何か、小川部門長、永田部門長、何か。

○小川部門長 なかなか切り出し方が難しいのですが、きょう湊さんが説明した国外の状況変化の中に、実はアメリカのGAOの評価の中に大事なアペンディクスがあります。それは付録ですから、湊さんの要約の中には入っていないんですけれども、そこで大事な話としてTechnology Readiness Levelというのをを用いて、DOEがこのPTの技術評価あるいは今後の進め方を考え始めたという記述があります。Technology Readiness LevelというのはNASAが宇宙開発するに当たって、その技術開発戦略を立てるときに今技術が1段階目から9段階目までのどの段階にあるかという評価をして、その中で研究開発戦略を考えるというもので、DOEがエネルギー開発に当たってもそういうものを取り入れようじゃないかと、この手始めに先進リサイクルを乗せようとしたんですけれども、そこでGAOが大事な指摘をされていて、これがそのいろんな専門家と話したところ、TRLは大事でこの先もちゃんと使っていくんだけれども、TRLでなかなか整理できない議論があります。それは一つは、燃料の研究をやろうとしたときにキュリウムというものが入ってくる燃料をこれから考えていかなければいけないんだが、じゃその研究インフラなんてどこか世の中にあるのかとか、それから遠隔製造のことをやらないといけないんだけれども、そういうものの遠隔製造の研究開発なんてどこかでやっているのかとか、そういうことでTRLで直に評価できないものがある。今のどういう形態のMAのリサイクルがいいのかという議論をするときに、そういうキュリウムが入った系というものについてほとんど実は机上の検討というのはいろいろとあるんですけれども、実際の体験がないというようなところで、やはりそのところが一つのネックかなと思っています。

というのは、先ほど大井川さんがADSの燃料でダクトレスにして横から冷やしてというような話をしましたが、実は我々から言えば、ジオメトリーが固まってから、いろいろ冷やす工夫というのはいくらもありますね。例えば粉末でも何でも。でも実際には燃料つくるときというのはジオメトリーが固まらない、一つのプロセスから別のプロセスへの移行段階、こういったものをどういうふうにハンドリングするのかという話があって、そういう話も含めて考えていかなければいけないのかなと思っています。そうすると、じゃそういう複雑な議論をできるだけ単純化するためにはどう全体をシンプルファイしたようなシステムというものをこれから考えていくのかとか、そういうところとあわせて議論する必要があるんだかなと思っています。委員長代理からは大切なご指摘をいただいたんですけれども、さてそれをちゃんとこの技術検討会の中でこなそうと思うと、いろんな話を整理しながら入らないといけない。それをやるのがJAEAの役割なのかなと思っているんですけれども、そういう入口の議論を少し整理したところから入るんじゃないかなというふうに思っております。

○山名座長 永田部門長。

○永田部門長 今回の私どものところでは実用化研究開発ということで、ある程度オプションを絞り込んだ、最も有望と考えられるものについては、**2010年**、**2015年**という節目を設けまして、**2015年**の段階では実用施設の概念がどういうものになって、それからそれを実証するための実証施設の概念はどうなっていく、それで設計も具体的に出していく、そしてそのところで判断をしていくには、長崎委員がご指摘になったように経済性がどれぐらいになるかということもワンセットで出していく必要があると考えています。今のそれに向かう研究開発を進めていく中で、限られたオプションではありますけれども、そのオプションについて田中委員長代理より技術的フィージビリティをきちっと見極めなさいというご指導、これは普段からいただいているところでございますけれど、そうしたものについては今**2010年**、**2015年**の節目に経済性もあわせて提示できるように進めておりますので、またその結果等につきましては、この委員会の適当な段階の中で、現在こういう状況のところまで来ておりますというような形でご紹介できるんじゃないかと思っております。

以上でございます。

○山名座長 ありがとうございます。

井上委員。

○井上首席研究員 ちょっとはずれていいですか。

一つ今後の検討で参考にしていただきたいというか、議論していただきたいのは、前回と今回はいわゆる特に処分場の面積にどう効果があるかという効用についての議論だけでしたけれども、本来これは分離変換の研究が開始された当初よく言われていたのは、長期的な毒性の低減です。本当に分離することによって、長期的な毒性をとることによって、どういう効果があるのかと。よく言われたのは、いわゆる超長期にわたる不確実性を低減するんだということがありました。そうすると、例えば今の地層処分の不確実性というのはどこにあるのかと、それをやることでそれがどの程度低減をできるのかと、一つそのような毒性低減の効用という観点からもぜひこの会で議論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。

ほかに何かございますか。

きょうのお話そろそろクローズしますが、フランスの例を見てもFBR均質リサイクルとFBR非均質リサイクルと、それから階層型システムの3つの対比というのが大事なような印象を受けたんですが、永田部門長、我が国ではFBRでの非均質の詳細な検討というのは今のお話ではやられていないように思うんですが、これについてはそのとおりでしょうか。

○永田部門長 オプションを絞り込んで実用性を見極めていくというような形でやっておりますので、その中では特に高速炉が実用化された平衡期への段階にあっては、非均質よりも均質体系のほうがより合理的なものだろう。それは比較的自明のこととっております、それに向けてという形で従来進めてきていますので、均質体系という格好になっています。ただ、今比較的長い移行期間を考えた場合に特に移行期で、究極的に均質体系になるにしても、移行期間の中ではどういう形態が考えられるかということになると、確かに非均質というような形態も十分考え得るんじゃないかと思っております。ただ、今ご指摘がありましたように、我が国の中で非均質でどういう条件でどういうものが達成できるかというところを詰めて議論しているような状況にはなっていません。今は均質体系のものにどう早く近づけられるかという形での

研究開発に、そののところに集中してやっているのが現状でございます。

○山名座長 ありがとうございます。

それでは、大幅にお時間を超過しておりますが、かなり議論が煮詰まったと思いますので、これで議論は打ち切りたいと思います。

次回以降、きょうはいろいろたくさんの重要なご指摘をいただいております。そういうことも反映しながら、少しテクニカルなことに入っていこうというふうに考えております。

事務局のほうから次回以降の予定について何かございますか。

○牧参事官補佐 次回につきましては、11月13日水曜日、朝の10時半から開催する予定でございます。会場につきましてはまだ未定でございますので、また決まりましたらご連絡を差し上げたいと思います。

以上でございます。

○山名座長 それでは、委員の先生方から何かございますでしょうか。進め方等について何かございますでしょうか。

ないようですので、それでは本日はこれで閉会いたします。大変ありがとうございました。

午後 4時28分 閉会