

平成16年9月11日 日本原子力学会 再処理・リサイクル部会 青森セミナー
第1部(講演)の内、ロバート・ベネディクト博士の講演議事録
(ベネディクト博士) 米国原子力学会 燃料サイクル廃棄物管理部会執行委員



米国におけるリサイクル政策

ロバート・ベネディクト
米国原子力学会
燃料サイクル・廃棄物管理部会運営委員

2004年9月11日

アルゴンヌ国立研究所



A U.S. Department of Energy
Office of Science Laboratory
Operated by The University of Chicago



今回、アメリカの再処理の状況をご報告できるということでご招待頂きまして、どうもありがとうございます。

私、今回は、米国原子力学会と、米国政府の燃料サイクル廃棄物管理部会運営委員として、今日、アメリカのサイクルの現状についてご説明させて頂きたいと思います。今回は、日本の原子力学会と共同で検討しておりますが、米国における先進燃料サイクルの研究についてご報告申し上げます。

先進燃料サイクル研究 (AFCI)

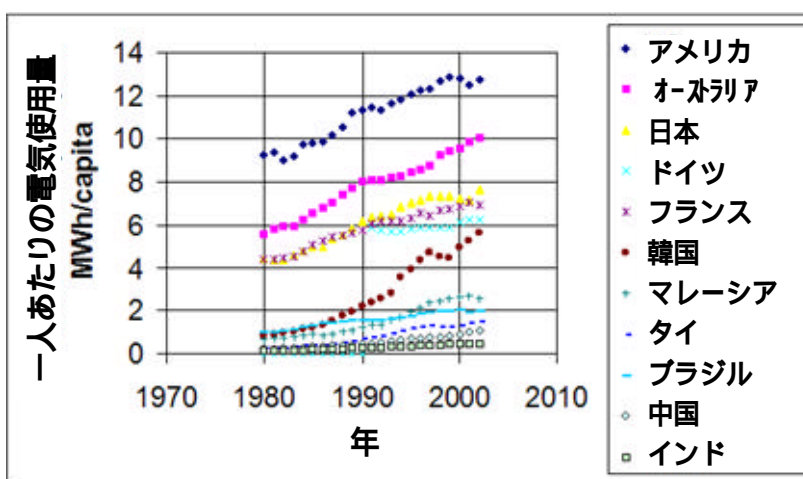
- アメリカ政府は使用済み燃料の処分に責任を持っています。
- エネルギー省の先進燃料サイクル研究と第4世代原子炉研究は一体となって運営されているプログラムです。
- これらのプログラムは将来にわたってエネルギーを安定に供給するための原子力システムを開発することが目的です。
 - 安全で、継続性があり、環境にやさしく、経済的で、核を拡散させない、信頼性の高い原子力システムを開発して実用化します。
 - 長期間に渡り安定で、環境にやさしく、経済的で、社会に受け入れられる先進的な燃料サイクル(AFCI)を確立します。
- 先進的な燃料サイクルは次の特徴があります。
 - 高レベル廃棄物の体積を減らすことができます。
 - 使用済み燃料の処分場の容量を増やすことができます。
 - 使用済み燃料中のエネルギー(燃料)を有効に利用できます。

アメリカでは、アメリカの政府が使用済燃料の処分に責任を持って対処することになっております。使用済燃料の処理に責任を持っているということで、アメリカ政府には2つのプログラムが今進行しております。1つは先進燃料サイクル研究、AFCIと呼ばれるもので、今回ご報告するものです。もう1つは Generation と呼ばれます第4世代の原子炉の研究でして、この2つが一体となって運営されるプログラムとなっています。

これらのプログラムは、将来に亘ってエネルギーを安定に供給するための原子力システムを開発するということが主たる目的でございます。このプログラムでは、安全で継続的なエネルギーの供給を目的としておりまして、これをやることで、安定で、環境に優しく、又経済的で、社会的に受け入れられるような燃料サイクルを確立することを目的としております。

この先進燃料サイクルの研究を行いますと、次のような特徴があります。1つには、高レベル廃棄物の全体量を減らすことができるということです。もう1つは使用済燃料の処分場の容量を増やすことができます。また、使用済燃料中のまだ使える有効なエネルギーを取り出すことができます。

電気使用量の増加



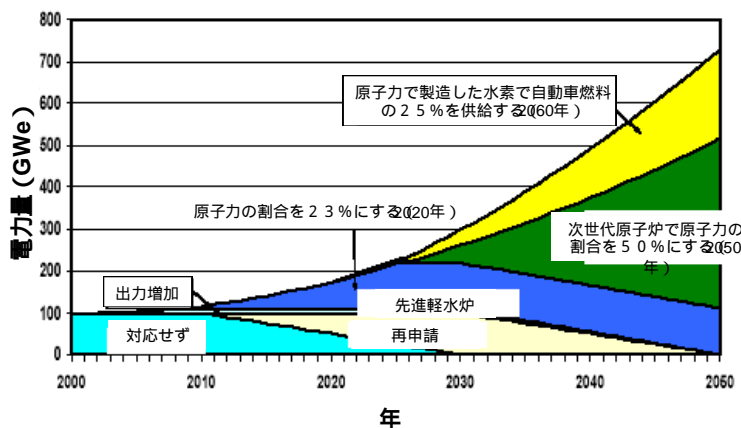
Source: Energy Information Administration/International Energy Outlook 2004

3

今、何故、アメリカがリサイクルの話をし始めたかということで、多くの方からご質問を頂きますが、このグラフにあるように、年を追いまして、アメリカだけでなく全世界的にエネルギーの必要量が伸びていることが分かります。特に発展途上国等のエネルギーの使用量の増加が顕著でありまして、そういうことも考慮して、アメリカとしましてはエネルギーを有効に活用することを研究することが、非常に重要であろうと考えているわけです。

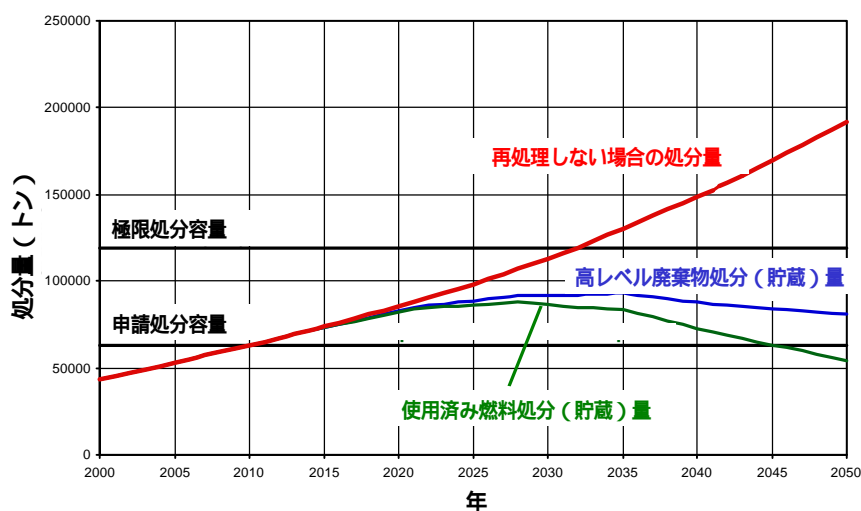
アメリカの原子力復活のねらい

原子力エネルギーの拡大計画



このグラフは、今、アメリカでの7つの国立研究所で研究している結果を1つのグラフに纏めたものでして、年を経るにしたがって、必要な電力量が増えていくところを、どうやってカバーしてくかということを示しております。この評価では、現在の軽水炉の更に進んだ物にするということや、次世代の原子炉で原子力のエネルギーを生み出すということ、更には水素でエネルギーを取り出すということのようなことも考慮されております。

使用済み燃料、高レベル廃棄物の処分量



このグラフは、何故我々が原子力燃料のリサイクルをしなければいけないかということを示した1つのグラフであります。再処理をしないで、今のままユッカマウウンテンを使用し続けていきますと、政府に認可を頂いております容量では2010年頃に、更に、技術的にそれを可能なだけ入れたとしても2033年頃には一杯になってしまうということが分かります。

将来的に、軽水炉の効率化やMOX燃料で燃やしていく、更には高速炉で燃料を燃やしていくことをいたしますと、このグリーンのラインの様に、発生します使用済燃料はどんどん減っていきまして、これに伴いまして地中に埋設するといった施設の容量が余裕を持ったものになってくるということが分かります。

アメリカの再処理政策の変化

- 最初は使用済み燃料の再処理が必要と考えられていました。
- 1970年代：情勢が変化しました
 - 専門家が規制当局に原子炉のプルトニウムが原爆に使用できると進言
 - 1974年: インドが核実験実施
 - 1977年: カーター大統領がバーンウェル再処理工場の運転許可を取り消し
 - スリーマイルアイランド原子力発電所の事故がアメリカの原子力の拡大を抑制
- 1981年: レーガン大統領が再処理禁止を撤回しました。
- 1993年: クリントン大統領が再び再処理を禁止しました。
- 2001年: ブッシュ大統領が再処理の研究を許可しました。

アメリカの国策が色々変わるということで、皆さん困惑されている方が一杯いると思いますので、今日、ここで少し整理したいと思います。まず最初に、原子力エネルギーがアメリカに導入されました時は、我々としては、閉じたサイクルで処理することを考えておりました。1970年代に状況が少し変化致しまして、特に専門家達の間で「原子炉のプルトニウムが原爆に使用できるということが考えられる」という発言がありました。これに続いて、1974年、皆さんご存じのように、インドが核実験を実施しました。これらの危機感から、1977年にカーター大統領が再処理をしないということを決めまして、例えば、バンウェルの再処理工場の運転許可を取り消すというようなことが起こりました。更に、皆さんご存じのようにスリーマイル・アイランドの原子力発電所の事故がございまして、アメリカでは原子力が広がっていくのを抑えようという方向に政策が変更されました。1981年には、レーガン大統領が再び再処理の禁止を撤回しました。これにより、新しい原子炉システムとしてクローズドサイクルの研究が始まりました。1993年にはクリントン大統領が再び再処理を禁止いたしました。但し、研究だけは続けて良いという状況でした。2001年には、再びブッシュ大統領が再処理の研究を許可いたしまして、これで、2010年までにどのような再処理のシステムを組んでいけば良いかということを決めましょうという方向で進めることになりまして、ユッカマウンテンの使用や再処理の研究が活発化しました。

先進燃料サイクル研究 (AFCI) の進め方 - シナリオ

- 軽水炉では燃料をより長く燃焼させます（高燃焼度化を図ります）。
 - 燃焼度を100 GWd/MTにすると使用済み燃料の量は約 1 / 2 になります。
 - プルトニウムの量は約 1 / 16 になります。
- 使用済み燃料中のウラン等の元素を分離します。
 - 使用済み燃料の量は減りませんが、高レベル廃棄物量が減ります。
 - 次の軽水炉のリサイクルにできるだけ早く移行します。（継続的なリサイクルへも早く移行）
- 混合酸化物燃料（MOX）の軽水炉での限定的なリサイクルにより、使用済み燃料の発生量の増加を抑制できます。
 - しかしながら、より効果的にするためには継続的なリサイクルが必要です。
- 使用済み燃料、プルトニウム、超ウラン元素の安定化には、次世代型原子炉とリサイクル（再処理）が必要となります。
 - 継続的なリサイクルでは高速炉が必要です。
- 最終的には継続的なリサイクルは平衡状態となります。
 - 運転中の原子炉と燃料サイクルの中で、物質量は平衡（一定）となります。

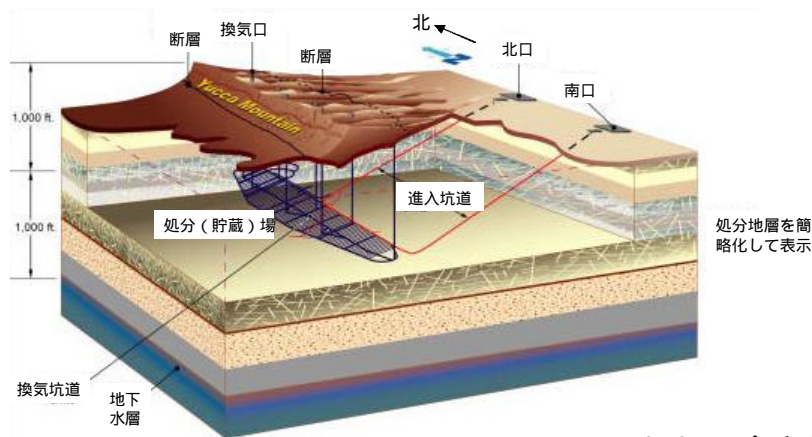


Status for Spent Fuel Treatment in the United States



この大統領の方針を受けて、新しい研究が進められるようになりましたが、それには多くの研究等が投入されることになります。ここでは、そのシナリオについてご説明します。最初のステップでは、まだワンスルーという方式で考えておりますが、できるだけ燃料を効率よく燃やすということを第一ステップとしてやる。次のステップとしては、使用済み燃料の中でウラン等の元素を分離して、使用済み燃料の量、それ自身は減りませんが廃棄物の量を減らすというようなステップを取ることを考えています。そのために元素を分離しますが、それを軽水炉のリサイクルで早く処理していくということを考えております。さらに次のステップとしては混合酸化物燃料、MOXといわれている燃料で軽水炉を使って限定的なリサイクルをすることを考えております。これによって使用済み燃料そのものの発生量を減らしていきたいと考えております。次のステップとしては使用済み燃料、プルトニウム、超ウラン元素の安定化によりまして、次世代原子炉としてサイクルを組みたいと思っている。そのためには高速炉や先進的なリサイクルの施設が必要となってまいります。更に長期的には、最終的な状態として継続的なリサイクルの平衡状態というのを取りたいと考えている。それには軽水炉若しくは高速炉でのリサイクルを継続的に続けていくことが必要となってまいります。

ユッカマウンテン地層処分場の概要



(ユッカマウンテンプロジェクト
のレポートより引用)

これが、今、アメリカで考えられておりますユッカマウンテンのサイトの断面図になります。ここに示しております赤い道の部分、これが使用済の廃棄物をここに入れる、もしくは取り出すルートでありまして、少なくともこのユッカマウンテンが稼働してから100年、若しくは200年の間は一旦入れたものをもう一度取り出すことができるようになっています。この縦についておりますのが換気坑でありまして、発生する熱を除去するように最低100年機能するようになっております。またこれによりまして、将来的にこの施設の容量を新しい方法で増やしていくということが考えられております。

地層処分容量の大幅増加に必要な事項

- 軽水炉での限定的なリサイクルは、リサイクル回数が少なくリサイクル終了後の使用済み燃料が地層処分されるため、処分容量増加に対してはあまり効果的ではありません。
 - 古い使用済み燃料ほどリサイクル回数が少ない
- システム研究により、以下の事項が処分容量の大幅増加に必要なことが分かりました。
 - 使用済み燃料からのプルトニウムとアメリシウムの効率的分離
 - リサイクル終了後の使用済み燃料を地層処分しないこと
 - リサイクルの繰り返しあるいは継続的なリサイクルが必要
- 継続的なリサイクルだけが処分容量を大幅に増加できる。
 - 多分軽水炉でも高速炉でも継続的にリサイクル可能
 - 再処理での物質損失量をできるだけ少なくすることが基本

軽水炉を使ったリサイクルを続けていくことでは、リサイクルの回数が少なくなり、サイクル終了後に使用済み燃料が最終的に地層処分されるということで、処理容量増加に対してはあまり

効果的ではないことが分かってきました。更に、システムの研究によりまして、以下のことが分かってまいりました。処理容量の大幅な増加のためには、次のようなことをしなければいけないということです。例えば、使用済燃料からプルトニウムやアメリシウムを効率的に分離すること。またはリサイクル終了後の使用済燃料を地層処分しないということ。つまりリサイクルの繰り返し、あるいは継続的にサイクルを進めるということが、処分場の容量の増加に繋がるということです。継続的なリサイクルだけが処分容量を大幅に増加できるということで、たぶん軽水炉若しくは高速炉で継続的にリサイクルをしていくということが可能だと思います。話の要点をまとめさせていただきたいと思います。

要点

- 1．アメリカでは、先進燃料サイクル研究(ACI)の中で、使用済み燃料の再処理の技術開発を進めています。
- 2．先進燃料サイクル研究の目的は、使用済み燃料の体積を減らし、今のままでは約30年で満杯となるユッカマウンテン処分場の容量を増やすことです。
- 3．ユッカマウンテンに処分された使用済み燃料は、将来再び取り出すことができます。
- 4．先進燃料サイクル研究と第4世代原子炉研究が実用化されれば、ユッカマウンテン以外の処分場は不要となります。
- 5．米国原子力学会は、日本原子力学会と協力して、原子力の継続的发展に努力していきます。

(日本原子力学会 再処理・リサイクル部会)

アメリカでは先進燃料のサイクル研究をAFCIと呼ばれていますが、この中で使用済燃料の再処理の技術開発を進めております。この先進燃料サイクルの研究の目的は、使用済燃料の体積を減らし、またユッカマウンテン処分場の処理容量を増していくということです。そして重要なことは、ユッカマウンテンで処分された使用済燃料も、将来新しい技術がでてくれば少なくとも100年から200年の間は、また取り出すことができるようになっていくという点が重要だと思います。いま研究しているような先進燃料サイクルとGenerationと呼ばれる次世代の原子炉が結びつきますと、これが実用化されれば、第二の地層処分場はアメリカでは不要となってまいります。

最後に米国の原子力学会は日本原子力学会と協力して、今後の原子力発展に貢献していきたいというふうに考えております。どうもありがとうございました。