

原子力委員会

長計についてご意見を聴く会（第15回）議事録

1. 日時 平成16年6月1日（火）14:00～16:25

2. 場所 共用643会議室

千代田区霞ヶ関3-1-1 中央合同庁舎第4号館6階

3. 出席者

ご意見を伺った方

スティーブ・フェッター メリーランド大学教授

（鈴木達治郎 財団法人電力中央研究所上席研究員に、ディスカッションにご参加いただいた）

原子力委員会

近藤委員長、齋藤委員長代理、町委員、木元委員、前田委員

内閣府

永松審議官、藤嶋参事官、後藤企画官、犬塚補佐

4. 議題

（1）The Economics of Reprocessing and Recycle v. Direct Disposal

（2）その他

5. 配布資料

長聴第15-1号 The Economics of Reprocessing and Recycle v. Direct Disposal

6. 議事概要

冒頭、近藤委員長より、お招きしたスティーブ・フェッター氏の紹介があった。

事務局より、配布資料の確認があった。

【近藤委員長より開会の挨拶】

(近藤委員長) それでは、長計についてご意見を聴く会の第15回を始めさせていただきます。

本日は、メリーランド大学のスティーブ・フェッター教授にお越しいただいております。教授のプロフィールですが、MITで物理学を学ばれSBをとられ、それからUCバークレーでマスターとドクターをとられています。分野は、Energy and Resourcesということです。その後、主としてメリーランド大学 School of Public Affairsでお仕事をされ、2000年から教授をされているということでございます。その他さまざまなアドバイザーロール、あるいはさまざまな仕事をされておまして、国防総省、国務省でのお仕事もあるようでございます。

今日は、The Economics of Reprocessing and Recycle v. Direct Disposalというタイトルでお話をいただけるということですが、どういうわけか大衆の関心が高いテーマのようで、ちょっと室温が上がりそうです。ご承知のように室温だけではなくて、今は石油の値段も上がっております。石油のコストというのは多分10ドルぐらいなんでしょうけれども、プライスは40ドルを超えるということですから、コストというか、エコノミクスだけで物事は決まらないということは多分皆さんよくご承知のことだと思いますが、にもかかわらず、コストについて議論するというので、重要な論点に対してインフォメーションを与えるという意味で、立派なスタディの結果のようですから、ぜひお話を聞かせていただければと思います。お越しいただいたことを心から歓迎し、感謝し、お話を楽しみにしております。

【スティーブ・フェッター教授のご意見】

(フェッター教授) ご紹介どうもありがとうございました。今日は委員の皆様、このような機会をいただきましたことを感謝申し上げます。

今日ご紹介いたしますのは、ハーバード大学の同僚とともに私が行いました研究で、直接処分、そして再処理、リサイクルをした場合の経済学的な観点を比較するという内容です。

[Direct-disposal v. Reprocessing-Recycle]

そもそも何が疑問になっているかは、皆様既におなじみだと思います。米国が計画してい

るように、使用済み燃料に関しては、直接処分の方がいいのか、それともできるだけプルトニウム、ウランを回収して再利用を図り、再処理をした方がいいのかの比較です。

この疑問自体は、今始まったことではなく、これまで30年以上も研究がなされてきたことですが、最近、米国それから世界のほかの国々におきましては、さまざまな理由から改めて注目されている問題となっています。

まず、なぜ米国で最近さらに注目されているかといえば、使用済み燃料が累積しているということがありまして、原子力発電所でたまっていつているという現実、あるいはユッカマウンテンに関しましても、容量に限界があるのではないか、十分処理ができるのかどうかという問題があります。

世界のほかの場所での懸念ということになりますと、世界各地でもたまっている量は増えつつあります。また、民間の燃料サイクルの現場が核拡散につながりがあるのかないのかという懸念も問題となっております。

もう一つ重要な懸念といたしましては、今後長期的に原子力発電という事業がどうなっていくのかということです。CO₂の排出を削減したいということで拡大をしていくのか、いかないのか、あるいは拡大していくとしても、ウランの資源はそれでは十分あるのか、ないのか、その場合にワンスルーの方では処理能力、容量はどうであるのか、十分にサポート可能な規模があるのかどうかといった疑問が残っています。

[Our Study Focused on Costs]

我々の今回のスタディは主にコストに焦点を当てております。とはいいいながら、コストだけが大事なファクターであるとは思っておりませんし、一番大事というものでもないということも承知しております。エネルギーセキュリティを確保するというのもわかっておりますし、拡散を防止するという問題もあります。廃棄物管理といった問題も残っています。しかし、電力業界におきましては、競争が一段と激化しているという中で、コストはやはり重要だと思っております。

ここ10年ほどの間に直接処分に比べ、再処理をした方がコストが高いというコンセンサスが生まれつつあります。昨年、フランス政府のためのレポートがまとめられておりまして、それによりますと原子力で発電をした場合にはコストとしては5%上積みになるという結果が述べられておりました。また、電力料金を支払う側にいたしましても、後継的にコストとしては数十億ドル規模の負担になるであろうと書いておりました。

今ここでディベートとなっておりますのは、このコストの差というのは本当は大きいのか、どれくらい大きいのか、小さいのか、そして、今この差が大きいとすればどれだけ長くこのまま継続するのかどうかということになっております。再処理を推進している人たちの意見

によりますと、コストが多少高くつくとしてもせいぜいその差は5～10%程度であり、しかもコストの差は徐々に消えていく方向にあるということで、これは将来原子力発電に対する需要が高まり、かつウランについても資源量が減っていき、コストが高くなればコストの差は消えると言っています。

しかし、それに対する我々の見方ですけれども、このコストの差というのは非常に優位に大きいと考えております。業界にとっても大変負担が大きくなる、かつこのコストの差というのは極めて長く、75年から100年間はこれだけの差が続くと思っております。

[Outline]

これ以降、今スライドに出ておりますアウトラインに沿って発表いたします。

まず、軽水炉を使った場合の直接処分 対 再処理をした場合の経済的なコスト比較です。

その次にウランの価格のブレイクイーブンという言葉を使いますが、均衡する価格を探っていきます。つまりサイクル政策をとった場合に電力料金はどうなるのかと考えまして、ウランの料金が安いままであれば直接処分の方が効果が高いと、一方でウランの値段が上がっていくのであれば、再処理、リサイクルの方の効果が大きくなっていくということを見ていきます。そのバランスが同じになったところをブレイクイーブンという言葉で使っております。

ほかのサイクルに関しましても、例えば再処理のコストが幾らであるか、こういったパラメータもインプットした上で計算をしています。ある特定のパラメータのセットであった場合に、最終的に電力料金は幾らになるかという計算をしております。

しかし、この再処理とリサイクルを軽水炉で行うということについては、長期的に考えられた技術ではありません。あくまでも一時的ということで、増殖炉での技術が完成するまでということと考えられておりましたので、FBRを使ってフルにリサイクルをした場合対軽水炉での直接処分についても比較していきます。

その次ですけれども、ウランの価格がどこまで高くなった場合に再処理リサイクルのコスト効果が高くなるのかを考えていきます。ということになれば、次に論理的な疑問点として、その時点においてはウランの資源量はどのぐらいあるのかということです。

もし時間が残れば、例えば再処理、リサイクルを行った場合に地層処分の容量をこれからつくる必要があるのか、減るのかといった話もしたいと思っております。

[Direct Disposal v. Reprocessing in LWRs]

この図に関しましては、詳しくは申し上げませんが、皆さんが詳しいということは承知しておりますけれども、これは一般向けのスライドをそのまま持ってきています。

ただ、2点だけ申し上げておきたいことがあります。

今回の我々のコスト比較の前提条件ですけれども、使用済MOX燃料に関してはリサイクルはしないという計算にしております。使用済MOXについては、地層処分をします。フランスでは現在こういう計画になっているわけですが、プルトニウムに関してはサイクルを重ねていくごとに質は下がっていきます。もう一つの前提条件として使用済MOXであれ、低レベルの廃棄物であれ、処分コストは同じという計算をしております。したがって、仮に使用済MOXをリサイクルしたとしても、この結果には違いは出ないこととなります。

時々、セントラルバリューということで、中央の値という言葉を使って、さまざまなサービスの料金比較をしております。ただし、これは米国のコンテキストでつくったものだというところをご承知おきください。ワンスルーのプライスに関しましては、今まで、そこそこ安定してきております。また、市場の競争原理のもとで決まっておりますので、比較的皆さんにもなじみとなっております。

もう一つの前提ですけれども、ワンスルーから発生するすべての使用済燃料は中間貯蔵を行っているという前提にしております。原子力発電所内に十分に貯蔵場があるという場合もありますけれども、すべて中間貯蔵が必要であったというコスト計算をしております。

このスライドの中には使用済燃料を地層処分した場合、キロ当たり400ドルと書いてあります。これは不確実ではありますが、とりあえずはユッカマウンテンの数字をベースにして考えております。今現在のフィーを考えてみますと、大体キロ当たり350ドルということになりますけれども、これで十分であると我々は思っております。

一方で、再処理、リサイクルの方のコストについてはより不確実性が高いという問題があります。なぜかといいますと、再処理や、MOX加工業界に関しましては、限定的な企業の独占状態であり、価格がオープンになっていません。ただ、ここに書いてある数字に関しては、過去10年から20年、フランス、イギリスが実際に請求していた額は大幅に下回っています。

また、前提条件の一つとして、この再処理、リサイクルに有利になるように計算をして控えめに見積もっております。また、地層処分のコストに関しても、なるべく再処理をした方が有利になるような数字をとっております。さらに使用済燃料を処分するよりも、高レベル廃棄物を処分した方が50%ほど安いというコスト計算にしております。なぜかといいますと、必要な熱量も縮小しますし、体積や重量についても減容されるためです。

スライドの下の方にオレンジ色で囲ってある数字があります。これは六ヶ所村でかかると推定されている数字ですけれども、再処理、リサイクルに関して有利になるような計算をしたということがわかりいただけるかと思えます。

40年の操業だとして、これだけの使用済み燃料が処理されるのではないかというその数

字を使って割り算をした結果を出しております。ということで、キロ当たり3000ドル。また、MOXの処理工場に関しても資本、運営、運転のコスト、それからデコミッションングの費用、こういったものをすべて計算に入れまして、加工されるMOX燃料はどれだけかを使って割り算をしております。

[For central values of the price of fuel-cycle services and other parameters, we calculate]

ここで中心値と言っておりますけれども、さまざまなサイクルのサービスがあり、そのほかのパラメータを勘定に入れております。その中で何を見ているかというと、電力料金が最終的には等しくなるというウランのブレイクイーブンの価格、またほかのサイクルサービス、例えば再処理などを含めたときに電力料金が等しくなるその数字を求めております。また、ウランの価格が一定であった場合に、再処理をすることによって、電力料金がどう変わっていくのか、どれだけ上がってしまうかを見ております。

[Breakeven Prices]

上から順番に見ていくと、まずウランの料金の数字が書いてあります。次にこの再処理、例えばキロ当たり真ん中の数字をとって1000ドルかかったとしまして、MOXの加工に1500ドルかかります。ワンスルーの結果、すべて中間貯蔵が必要となった場合にそれがキロ当たり200ドル、また再処理をしたので、埋める量が減らすことができたということで、地層処分についてキロ当たり200ドル節約はできたという勘定もします。しかし、それでもウランの料金がキロ当たり370ドルまでにならないと、直接処分と同じ料金に再処理を軽水炉で行う場合には持っていくことはできません。

ただし、現行のウラン価格はこの10分の1ほどですから、ウランの価格が今度は50ドルであった場合を想定して、先ほどのパラメータに関して、この真ん中に書いてあるセントラルという数字、これを固定させた場合、ウランがキロ当たり420ドルにならないと、直接処分をした場合の電力料金と同じレベルに持っていくことはできません。この料金に関しては、六ヶ所で推定されている数字の7分の1から8分の1ということになります。

[Breakeven U Price v. Reprocessing Price]

再処理を行うことによって結果がどれだけ変わるか、その影響度も調べております。グラフの右の方にいきますと、再処理の料金が上がっていくわけですがけれども、1000ドルを超えますと、このブレイクイーブンの料金も非常に高く、急勾配で上がることがわかります。再処理をした方が一応一番有利になる数字を使って計算をしたとしても、その再処理のコス

トがグラフの右の方にいった場合、ウランの料金としては極めて高くないと釣り合わないこととなります。

[COE Premium for Reprocessing-Recycle]

再処理を行った場合に、電力料金がどのように上がるかということで、ウランに関してはキロ当たり40ドルと、あと再処理の料金に関しては一番上に書いてある2000ドルをとったとします。その場合に電力料金がどうなるか、直接処分をした場合にはキロワットアワー当たり350万ドルの上乗せとなります。

仮に六ヶ所の数字を使って、再処理のコストが3000ドルであったとしますと、キロワットアワー当たりの上乗せ分が550万ということになりますので、これは原子力発電に関して電力料金が10%は高くつくという勘定になります。

[COE Premium for Cu = \$130/kg]

再処理を推奨する方たちは、いずれはウランの料金も上がっていくので、再処理、リサイクルをした場合のコスト効果は上がっていくとおっしゃっているんですけども、再処理のコストが1000ドルに以下にならない場合、ウランの料金としてかなり高くないとそうはなりません。

[These estimates are favorable to reprocessing]

ここで強調したいのは、我々が行ったこの分析に関しては、再処理とリサイクルをした場合にかなり有利になる方の数字を使っているということです。中央の値を使ってはいますけれども、再処理にかかるコストにしる、MOXの確保にしる、今現在の価格を下回る数字を使っています。

例えば、プルトニウムの貯蔵に関してかかる追加コスト、アメリカウムの処理にかかるコスト、原子炉に関する認可をとる、あるいはMOXを使うといったことにかかるコストについても勘定に入れておりませんし、MOX燃料やプルトニウムの輸送、それに伴うセキュリティーにかかるコストも入れておりません。また、オンサイトでMOXを貯蔵したりする、あるいは使用するそのコストも勘定に入れていません。

下の3項目ですけれども、直接処理に関してすべて中間貯蔵が必要であると想定して、かつそのコストがかなりかさむという前提にしています。また、高レベル廃棄物に関して、直接処分をするよりも節約の効果が大きいと、しかもその効果について大きめに見積もっております。使用済みMOX、それから低レベル廃棄物に関しても同じ前提条件を使っているということも強調したいと思います。現実には使用済みMOX燃料の方が温度は高く、処理の

コストに関しては、低レベルのものに比べるとキロ当たり 2 倍から 4 倍はするといわれているにもかかわらず、同じコストだとして計算をしております。

[LWR (direct disposal) v. FBR]

同様の分析を、軽水炉直接処分 対 増殖炉で行います。

[Breakeven Prices assuming regulated utility ownership]

先ほどの比較に関しては、原子炉の型に違いはなかったんですけども、今度は軽水炉と F B R ということで違っておりますので、原子炉そのものに関して資本コストに差が出てくるということをここでご注意申し上げておきます。計算をしたところ、このブレイクイーブンのウランの価格に関しましては余り変わらない数字が出てきたので、これは当初我々にも意外でした。

もう一つ前提条件ですけども、軽水炉に比べて増殖炉の方がキロワット当たり 2 0 0 ドル高くつくという計算をしております。ということは、これは大体プラス 1 0 % 上乘せになります。

とはいいいましても、今現行の F B R でのコストよりは低い数字を使っております。この右から 2 つ目の数字を使ったとして、資本コストの違いがキロワット当たり 2 0 0 ドルだとして、あとそれ以外の下 4 項目のパラメータについて、この中央の値をとって計算した場合、F B R を使った場合の電力料金、また軽水炉で直接処分をした場合の電力料金、これが同じになるウランの価格はおよそ 3 4 0 ドルになります。

仮に今現在のウランの価格に近い数字、5 0 ドルとします。これは今の価格を少し上回っている状況なんですけれども、その上で両パターンの電力料金を同じに持つていくためには、F B R を設置するためのコストが、軽水炉に比べて安くならなければ無理です。

ウランの料金が今のように安い状態で続いたとして、かつ増殖炉の方が軽水炉よりも資本コストが高いままであると推定した場合には、仮に再処理が全くタダでできるとしても、発電については F B R のコストが高くつくことになってしまいます。

[Breakeven U Price v. Capital Cost Difference]

これは横軸に設備のオーナーによって資本コストがどれだけ変わってくるかを書きました。縦軸にそのときにブレイクイーブンになるウランの価格を見ております。この真ん中のキロワット当たり 2 0 0 ドル、この数字をとってこの 3 つのパターンを使って見てみますと、そのときのブレイクイーブンのウランの料金は 3 4 0 ということになります。当然、ここで我々にとって一番関係があるのは、真ん中の線、Utilityと書いてあるところで、規制がか

かっている公益事業体が保有している場合になります。

仮にFBRと軽水炉のコストが同じであったとしても、キロ当たり130ドルと今よりかなり上がらないと追いつきません。

税金とか減価償却とか、そういったコストの違いもありますけれども、それによってこの3つの場合、民間保有であるか、公益事業であるか、官であるかが変わってきます。

[COE Premium for FBR]

ウランの価格、それから資本コスト、それが変動するに伴って、増殖炉対軽水炉で直接処分をした場合の違いがどう出るかを見てみます。

左端の方で、例えばウランが比較的安いままであった場合、そしてFBRの方が軽水炉よりも高くつくという状態が続いた場合には、料金の差は軽水炉にかなり優位なままであり、大体10%は高くつく。キロワットアワー当たり700万ドルということになります。

以上、ご説明したように、軽水炉でもFBRでもウランの料金については300ドルを超えないと再処理の方がコスト効果が大きくなると申し上げました。

[COE Premium for Cu = \$130/kg]

我々としてリーズナブルであると言える範囲で、しかし一番楽観的な再処理が有利になるのではないかという方の数字を使って頑張ったとしても、ウランの料金については130ドルまでいかないとコスト効果が大きくはならないということでした。

[Uranium Resources]

そこで、次のロジカルな質問としては130ドル以下でウランはどれだけ資源があるのか、そしていつになればこの130ドルぐらいにまで上がるのかということなのです。

OECDの調査は皆様ご存じだと思います。それがレッドブックの中で認められておりますけれども、キロ当たり130ドルまでの料金であるとする1600万トンはあるという数字が出ております。

ただ、この1600万トンというのは非常に少ないと我々は考えております。その理由は幾つかありまして、例えば豪州やカナダのようなところでは、かなりウランの資源はあるにもかかわらず、ほかのところで安いウランが十分に手に入るの、こういう高コストのところは勘定に入れる必要がないということで計算されていないものも随分あります。

もう一つ、これよりもっと多くあると思う理由なんですけれども、OECDの勘定に入っていますのは、ウランを単独で採掘するときに経済性が成り立つ場合の勘定しかしておりません。ほかのものを採掘する際に副産物としてウランも出てくると、こういう勘定はしてお

りません。

最近の数字が出ているんですけども、例えば銅鉱石と一緒にウランを抽出した場合ですけれども、キロ当たり50ドルといった低コストで可能だという数字も出ています。

一番下に書いてある項目、これは非常に私どもは重視しております。ウランの料金が低迷しておりますので、過去20年間大規模な探査、あるいは投資は行われておりません。仮に今ここで申し上げているような130ドルに近くなったり、130ドルを超える数字になれば、新たにお金を投入して探査をすることになるかと思っておりますので、そうなれば必ずやほかにも埋蔵が見つかると思っております。

[A Very Rough Estimate of Ultimately Recoverable Uranium Resources]

究極的には、どれだけ可採埋蔵量があるのかという数字を見ておまして、このOECDのレッドブックによりますと、今現在の価格は大体キロ当たり40ドル、これでは大体200万トンという数字になっておまして、我々はこれは十分に信頼性が高いと思っております。これをベースとして、供給価格の長期の弾力性を使った数式で計算をしています。

ウランの業界に大変詳しい人物のコメントがここに引用されておりますけれども「料金が2倍になった場合には既知の資源量、あるいは可採可能な埋蔵量も10倍にふえるはずである」ということです。ということで、キロ当たり40ドルで200万トンあるということなのであれば、キロ当たり80ドルになった場合には2000万トン、そして160ドルになった場合には2億トンあるという勘定になります。

[Deffeyes and MacGregor (1980)]

ごらんいただいているのはプリンストン大学の2人の調査結果です。これは地質学者たちが出した推定値ですけれども、もしも鉱石のグレードについて10分の1にまで下げてもいいという数字まで勘定した場合には、アベラブルな量は300倍になるということです。

[Recoverable Resources]

この鉱石のグレードと料金の間には反比例の関係があったとします。反比例するとした場合に、あと2倍の量を採掘するとした場合には、採掘のコスト自体も2倍になるであろうと、こういった背景を考えてみますと、先ほどの理論は成り立つと思われれます。つまり料金が高くついても構わないのであれば、使用可能な、そして可採可能なウランの量はさらに増えるということです。

Generation の研究でも、同じ方法で分析をしております。それで、価格を違う数字にしてみた場合、そして現在の米国での採掘技術を想定した場合、40ドルまでの料金である

と200万トンあるという数字になっておりまして、そのレッドブックに書いてあるように右下のところ、130ドルまでというものであれば1600万トンあるということになっております。こういった数字を全て考えた場合の右の真ん中2つの数字を見ていきますと、大体3500～4000万トンはあるということになります。

[IIASA/WEC Global Energy Perspectives Nuclear Electricity Production Scenarios]

この安いウランの状態がどこまで続くのかということを考えておりまして、IIASAとWEC (World Energy Council) の数字を使いまして、全世界のエネルギーにおける生産量はどういうことになるか、複数のシナリオで考えてみました。一部のシナリオには、CO₂の削減をしなければならないという政策も折り込んでいますので、その場合には原子力発電の魅力が増えています。

[Cumulative Uranium Consumption LWRs with Direct Disposal (19 tU/TWh)]

原子力発電については、すべてがワンススルーであった場合に累積的にウランはどれだけ使うことになるのかを考えてみました。

最も消費をした場合を推定した線で見えていきますと、レッドブックの1600万トンに達することになります。既に採掘をされてしまったものを含めると1700万トンになりますが、レッドブックの数字になるまでには75年という結果になりました。

我々としては、もっとリーズナブルな可採埋蔵量を推定して、130ドルまでの料金であったとしても3500～4000万トンはあると思っていますので、そうすると原子力エネルギーに関しまして最も規模を大きくしたシナリオを想定したとしても、100年ぐらいは全くウランが枯渇するという心配はないことになります。OECDが使っている可採埋蔵量が少ないという場合を想定したとしても、その産業と原子力発電自体の伸びが余り大きくなかった場合には、いよいよ心配する必要がないということです。

[Other Considerations]

経済以外のファクターも幾つかあると申しましたので、簡単に申し上げます。

最近、米国におきまして、再処理に関してなぜ再検討が始まっているかという点ですが、地層処分に関するスペース、容量について使用を最大化したいという考えがあります。

ほかの懸念事項としては、エネルギーに関する安全保障の問題、また複数のサイクル政策の中から何かを選んだ場合に、核拡散に対して影響があるのではないかと、また一般の人、環境に対する負荷の懸念があります。

[Repository Space]

再処理をして高レベル廃棄物だけを埋設するという事になれば、ユッカマウンテンの寿命も延ばすことができるのではないかとこの考えがありまして、米国で、このAFCI(アドバンスド・フューエルサイクル・イニシアチブ)の研究が始まりました。

米国ではこの点に関して混乱があります。大事だと思う点をここで強調申し上げておきますと、軽水炉を使ってリサイクル、再処理をしたとしても、それで処分場の寿命を延ばすことができるかという点、プラスの影響は全くありません。なぜかといいますと、特にアメリカシウム241が問題なんですけれども、マイナーアクチニドがふえますので、そうなりますと崩壊熱が上昇してしまうので、結局プラスの効果がありません。再処理することによって、地質処分場のキャパシティーを拡大するというプラスの効果を得られるのは、FBRでマイナーアクチニドを消滅、消費することができる場合だけです。

先ほどFBRを使った場合のベースケースの数字を申し上げて、それでも十分高かったですけれども、もし再処理をした場合で今のシナリオを考えますと、このコア部分の燃料確保についてもコストがさらに高くなるので、最終コストはもっと上がることとなります。マイナーアクチニドをフルリサイクルした場合には、Generation 4の推定によれば再処理のコストも2倍、コアの燃料確保についても2倍になると言っています。

下の3行ですけれども、仮にウランが130ドルなどと高くなり、そしてFBRと軽水炉で余りコストが違わなかったとしても、マイナーアクチニドをフルリサイクルしなければならぬということであれば、最終的な電力コストはかなり高くなってしまいます。

[Energy Security]

日本に関しては、エネルギーの安全保障を非常に心配なさっているということは理解しております。だからこそ、限られたウランの資源を効率的に活用したいというお考えもわかっております。かつオープンマーケットで調達するにしても、価格が高くなってしまわないかと皆さんが心配していらっしゃるということで、このスライドを用意したんですけれども、ウランの市場は、数十年間、変わってきております。

まず、価格自体が下がってきていること、それから供給国が増えてきています。ここにあるカナダ、豪州、ロシア、カザフスタン、ウズベキスタン、南アフリカ、これに加えてブラジルもあります。これは米国に輸出をしている国だけを書いているんですが、このようになりありますので、当面の間は十分にリーズナブルな価格での調達に心配はありません。

それでもセキュリティに関して皆さんがご心配があるということであれば、アメリカの石油の備蓄のように、このウランに関しても戦略備蓄をお考えになればいいと思います。備蓄を考えても再処理よりは安くつきます。この原子力発電によって、キロワットアワー当た

り100万ドルかかるとしても、これに関してウランについては20年分相当になりますので問題はあります。ウランに関して、現在の使用水準であれば20年間は問題ないということです。

[Nonproliferation]

サイクルについてどう考えるかということで、米国にとって最も重要なのは核拡散の問題です。ご承知のように1975年、このような心配な事故があったために、全世界的に再処理をしない方がいいのではないかとという方向にプッシュしたいということで、ワンススルーが米国では採択されました。

いろいろな懸念事項があるんですけども、例えば再処理から発生するプルトニウムの量が積み上がっているということ、もう一つ懸念事項としては、プラントにおいてIAEAの保障措置の基準を満たすことができないのではないかとということです。もし大規模な再処理工場であればタイムリーな形で優位な量のプルトニウムの検出を可能とするというIAEAの基準に関しては、私個人の意見ですけども、満たすことができないと思っております。

六ヶ所再処理工場のような最新設備で、セーフカードに関しましても最先端の技術を備えてあるとしても、最終的にはどうしても計量不能、あるいは在庫の量にずれが出るということは避けられないと思います。

最後に、国によって差別的な政策をかけておくということは、長くは維持できないのではないかと思っております。つまり日本のようにしっかりした国であるから、再処理をしてもよろしいということになって、韓国はだめだということをしておくことになると、これは世界の中でも国で違いがあるということで、不快感、不和、あるいは緊張感が続いてしまうと思います。

以上しておきますので、何か質問がありましたらどうぞおっしゃってください。

【スティーブ・フェッター教授との質疑応答】

(近藤委員長) どうもありがとうございました。それでは、ご質問、ご意見をどうぞ。

(前田委員) 幾つか質問があります。第1の質問はこのスタディを行った目的を教えてください。DOEがAFCI(アドバンスド フューエル サイクル イニシアティブ)を始めようとしており、それに対してコストが高いからやめておけという警告なのか、あるいは日本の再処理工場の操業が近くなってきたのに対して、それを止めようとしてこのスタディをされたのか。聞くところによると、今回の来日で、様々な場所でご講演をなさっているとのことですが、このスタディを行った目的をまずお聞きしたいのが1つです。

2つ目ですが、最後にエネルギーセキュリティーの話をされましたが、米国は例えば1人

当たりのエネルギー使用量というのは日本の倍あります。人口も倍なので、米国は日本の4倍のエネルギーを使っているんです。しかし、米国はその4倍のエネルギーのおよそ75%を自国のエネルギーで賄っている。さらに、これにカナダとメキシコを加えたNAFTA地域で考えれば、ほぼ100%自給できるんです。

ところが、日本は4%しか自前のエネルギーがないわけです。そこで、再処理、リサイクルによって、この4%を少しでも高くしようとして努力しているわけです。100%の自給率のある国の方が、我々のような4%しか自給率のない国が一生懸命努力していることに対して、単にコストだけでそういう批判をされるのはどういうことなのかお聞きしたい。

(フェッター教授) まず、今回のスタディに関しては、エネルギー省からの資金を得て行っております。現政権ではなく前の政権からです。長くかかってしまって政権が変わってしまいました。

ただ、我々のねらいといたしましても、それから資金を出そうと決めた前の政権の人たちの考えにしましても、六ヶ所村での運転開始などは全く関係がなかったと思いますし、日本でのさまざまな議論に対して影響を及ぼそうという考えはなかったと思っております。あくまでもアメリカでの状況に鑑みてでした。

資金を出した政府の側としても、いずれはこの再処理についてさまざまな動きがあるので、再検討を求められるであろうと予想していたようです。Generation 3におきましても、このAFCIにおきましても、高速炉に関する研究がどんどん進んでいたもので、いずれは再検討しなければならないであろうということです。しかし、我々の側のスタディとしましては、これはやめた方がいいのではないかという考えがあったという点はおっしゃったとおりです。

実際に出版されているレポートをご覧くださいますと、六ヶ所再処理工場に対する言及はほとんどありませんし、今日、私は六ヶ所の話をしました。再処理のコスト、MOXの加工は、六ヶ所であればこうなるという価格、料金についてはもちろん含まれておりません。このレポートは、英国の再処理工場THORPの数字が基になっています。今回は日本の皆様の前でお話をするので、もう少し日本の話をした方がわかっていたかと思ひ、あえて六ヶ所の事例をかなり使わせていただきました。

第2の質問に関して、全体で見れば確かにエネルギーは自給できているかもしれませんが、原油に関しては40~45%は輸入しています。日本にとってのウランの重要性に比較いたしますと、米国にとっての石油の方がはるかに重要です。国外からの供給に依存しているということで、石油ショック的なものに対する脆弱性があるということがあって戦略備蓄が始まった次第です。ですから、ウランに関しましても、石油と同じような考え方ができるのではないかと申し上げた次第です。もしウランの価格高騰であるとか供給途絶といったことに対する不安があるのであれば、石油のように備蓄を考えることもおかしくはない

と思います。

[フェッター教授：英文]

First of all our study was funded by DOE, the Department of Energy, not during the current administration but during the last administration. We just take so long to complete the work that ...

But our objective and the objective of the people who provided the funding had, I think, nothing to do with Rokkasho or influencing the debate in Japan. It was entirely oriented to and focused on the debate in the United States.

The funders anticipated that there would be a call for reexamination of reprocessing and of fast reactors, which we have in fact seen in both the Gen IV effort and in the Advanced Fuel-cycle Initiative and so the objective of our study was, as you anticipated, to, to head off or to discourage those routes.

And indeed in the printed version of the report there is hardly any mention of Rokkasho and there is no use of the prices of reprocessing or MOX fabrication at Rokkasho. The estimates are based largely on the United Kingdom, the Thorp plant. Of course, since I was invited to Japan, I tried to make the presentation more interesting for local audiences by making more generous use of the example of Rokkasho.

Regarding the second question, North America may be largely energy sufficient when viewed as a whole, but actually about now 40%, 45% of US oil is imported.

Oil is tremendously more important to the US economy than uranium is to the Japanese economy. And the United States has because of this vulnerability to oil supply shocks that was the main reason for establishing a strategic petroleum reserve.

So actually I think the reasoning is quite parallel in the cases that if there is concern about uranium price shocks or disruption in uranium supply establishing a uranium stockpile seems to me to be a reasonable way of dealing with that possibility.

(齋藤代理) 1つはエネルギーセキュリティーの問題でウラン資源がどれだけあるかと、これはレッドブックで確認埋蔵量で言えば390万トン、それでその3倍から4倍ぐらいあるだろうという話は前からあるわけでありましてけれども、我々としては、例えば、今は中国の経済成長が非常に大きい、その中で当然大量のエネルギーを必要とするということで、2020年までに28基の原子力発電所を新設する計画がある。そうすると、確認埋蔵量の40%を中国が使うというような数字も出ているわけです。そうすると、隣国である我々としても、今20年分ウランを買っておけばいいじゃないかという話もあるかもしれませんが、

これは政策的にどうかという問題があるわけで、その中で先ほどの自給率とも関係して、自国の自給率をなるべく高めておきたい、そういうためには燃料サイクルということも一つの重要なオプションとして考えておかなければいけないということになるわけです。

次に、処分場のコストの問題です。これはたしか相当前ですが、OECD/NEAで各国の評価の比較をやったとき、日本だけ突出して高かったんですね。これは土地代も高い、人件費も高い、検査に要する費用も高いということでしたが、処分場の費用というのは、そういう各国の事情によって相当違って来る。本評価がすべての国にそのまま当てはまる訳ではなく、そういうことも考えて評価をしなければいけないのではないかと。

それから、もう一つ、ウラン資源は50年先、100年先まで大丈夫だとおっしゃっているんですが、それまでの技術進歩というの、考えなければいけないと思います。例えば軽水炉の歴史を見ても、現在までの技術レベルになるまでに50年かかって各国が相当の投資をして、現在、安定に運転できるところまで来ているわけであって、50年、100年後に再処理施設が必要になるといったときに、再処理施設の技術レベルを上げておかなければいけない。そういった意味合いからしても、今、六ヶ所再処理工場をとめて50年何もしないということで本当にいいのかどうか。我々のエネルギーセキュリティの考えからすると、そういう意味で違和感があるので、このことについてお考えをお聞きしたいということです。(フェッター教授) 最初のコメントですけれども、埋蔵量に関しましては、可採埋蔵量に対して確認されたという部分への重点が大きいのではないかと。

現在、私と同僚で新しい論文を執筆しているんですけれども、90を超える複数の鉱物資源に関して、過去100年にわたり価格、そして以前にこれだけ確認されていると言われた埋蔵量に対して現行生産量がどうなっているか、それを比較しております。

年間の生産量は上がっているんですけれども、すべての場合に対して、この確認済みと言われる量の方も増えていっております。かつ、ほぼすべての場合において、キロ当たりの値段に関して、ほぼ一定して下がり続けています。

その理由は幾つかあるんですけれども、まず資源に関しまして、使用するはるか前にたくさんあることを証明したとしても、経済的にプラスにはならないためです。特に業界にとっては、必要となる20年も30年も前にもっとあるよということにインセンティブは全くありません。1950年に言われた石油の確認埋蔵量、それだけに依存していたとすれば、今はもうないはずで。

一方で、採掘技術が向上し、生産効率性が高まっているために価格が下がっています。たった30年前と比べましても、労働者1人当たり、あるいは投資した1ドル当たりの採掘量は非常に大きくなっています。

今申し上げた傾向は当面は続くと思われまますので、将来のウランに関しましてもこれが当

ではまると思います。例えば、50年先といったタイムフレームで考えましても、海水からウランを抽出するという技術も可能になる可能性が高いと思います。

確かに、再処理や原子力技術全般に関して、技術の進歩が期待できると思います。とはいえ、一部だけが進歩するわけではないので、軽水炉技術に関するコストも下がっていくと思いますが、それだけではなく、FBRも下がるわけで、すべてに関して技術が進展をして、一緒にコストが下がるという可能性が高いと思います。

ピューレックスの技術に関してはそこそこ成熟していますので、これからコストが下がる期待はないわけですが、ただ興味深いのは英国、仏国でのピューレックスを使った分離を見ますと、特に資本コストも勘定に入れますと六ヶ所と余り変わりません。補助金がなければ、おそらく、キロ当たり2000ドルといったところが妥当ではないかと思われる。

我々の計算に使った中央の値というのはキロ当たり1000ドル、そこまで小さい数字を使っています。これは、将来は下がっていくであろうということを考えたためです。

先ほどご説明するのを忘れてしまいました。中国も含めて、原発に対する需要が高まるのではないかということですが、ご紹介したIIASAとWECのシナリオの中でも最も高成長を遂げられると思われるシナリオに関しては、IAEAが各国から聴取をして、その計画に基づいて一番大胆にこの業界が成長するとした場合を上回る数字を想定したシナリオが入っていました。

[フェッター教授：英文]

Well, let me just give some reactions. First, I think too much emphasis is given on proven resources as compared with or sometimes called reserves as compared with ultimately recoverable resources.

Colleagues and I are writing a new paper that looks at over 90 minerals and mineral resources and the trends over the last 100 years in price and in the ratio of current production to proven resources.

In virtually every case, we see a constant increase in the ratio of proven resource to production even as production, annual production increases.

Similarly, we see in almost every case a constant and steady decrease in the price per kilogram of mineral resources.

The reasons for this are first, it is simply not economic to prove resources far in advance of their use. There is no economic incentive for extraction industries to demonstrate the existence of a resource more than 20 or 30 years in advance of its use. If we relied on estimates of proven resources of oil, say in 1950, all of the oil would have been gone long ago.

Similarly, we have seen very large decreases in the price with time due to dramatic increases in the technology and efficiency of extraction.

The amount of coal or copper that can be extracted per miner per dollar invested is vastly greater today than it was just 30 years ago.

These trends will, have applied and will continue and will apply in the future to uranium as well. And although I did not mention it in my talk in this time frame in the say 50-year or greater time frame it may even become possible to extract the vast quantities of uranium in seawater at a reasonable price.

Of course, there may be technological advance also in reprocessing and nuclear technology, but those advances will be across a broad front. For example, the cost of light-water technology, we hope, is decreasing as may also the cost of fast reactors in the future. So fast reactors may become cheaper but so may light-water reactors become cheaper in the future.

PUREX is a relatively mature technology and we see no reason to expect dramatic decreases in the cost of PUREX, but it is interesting to note that the cost of PUREX separation in France and the United Kingdom if one includes the entire capital cost of the plant is not so very different from that at Rokkasho. A fair price probably would be about \$2000 per kilogram if the construction had not been subsidized by pay-ahead contracts.

The central value used in our analysis was only \$1000 a kilogram, which we intended to give credit for the possibility of further reductions in price.

Oh, I forgot... yes, about the increase in demand for nuclear electricity and the fact, particularly China's plans for greatly increased production of nuclear electricity. These were fully included in the scenarios that I showed by the IIASA and WEC. The high-growth nuclear scenarios, in fact, exceed the most ambitious projections by the International Atomic Energy Agency, which in turn were based on the plans of individual countries.

(齋藤代理) 今お答えいただいたところでちょっと一、二申し上げたいことがあるんですが、鉱物資源について、埋蔵量が年々増えているということ、また価格が安定しているということとありますが、例えば、鉄やアルミを考えた場合、リサイクルして使っているわけですが、今の鉄の値段は、リサイクルされた鉄で市場価格が決まっていることもあり、鉄鉱石から精錬した鉄やアルミだけで値段が安定しているというわけではない。これを今の原子力に当て

はめれば、再処理をしてプルトニウムをつくる。プルトニウムがあるがためにウランの価格もそう上がらずに済むということも考えられるということが一つ。

それから、もう一つは、英仏のピューレックス法で技術が成熟し、これ以上価格が下らないという話ですが、これはもっとシンプルなピューレックス法で除染係数をもっと下げたものでやれば相当安くなるという研究開発もやっているわけで、今この場で断定的なことは言えないと思っております。

(町委員) どうもありがとうございました。フェッターさんが仕事しておられるメリーランド大学は私は30年前に2年間工学部で研究をしていた大学で、すばらしくきれいなキャンパスを思い出しているところでございます。

先程おっしゃっていたNPT絡み、つまり核不拡散の問題で、六ヶ所の再処理プラントはいろいろと心配があるというようなことでしたが、六ヶ所の再処理プラントはご承知のとおり、IAEAのフルスコープのセーフガードをちゃんと受けるわけで、そのためのラボラトリーも相当なお金をかけて現場につくっております、非常に厳格にプルトニウムの管理をやっている。

それから、プルトニウムが単独で取り出せるプロセスはなく、製品としては、プルトニウムとウランが混合した形で出てくるようになっていきますので、単独のプルトニウムを取り出せるラインはないということをご承知おき願いたい。

それから、2つ目はコストについてですが、先生はさっき、リサイクルした場合としない場合のコストの差が約10%とおっしゃっていました。日本の電気事業者とか経済産業省の計算も大体そのぐらいになっているので、よく合っているかと思うんですが、この10%というのは、今の日本円に直しますと1キロワットアワーあたり50銭、そうしますと1ヶ月あたりの一家庭の負担は150円ぐらいになるわけです。例えば、今ガソリンが値上がりしていますけれども、そういう石油の価格変動と比較して考えれば、この1ヶ月150円というのはかなり小さな値ではないかと思えます。

それで、これによって、例えば日本におけるエネルギーの安定供給、あるいは廃棄物の環境影響等が低減されるということであれば十分ペイバックできると考えて、日本の場合これを進めているわけです。米国の場合はその点がコストベネフィットから考えて、大きな損失になるというふうにお考えなのか、その辺をお聞きしたいんですが。

(フェッター教授) 誤解があったらいけないかと思うんですが、私は政府とは関係がありませんので、核拡散に対する懸念のコメントをした場合でも、これは一市民ということで米国政府の考えではありませんので、よろしく願いいたします。

個人の考えとはいいいましても、日本に関して再処理を行ったとしても核拡散に対する不安は全くありません。中国、韓国、台湾など、各地を回りまして、私もいろいろなところで講

演をしているんですけれども、それでも行く先々でなぜ日本だけプルトニウムを分離しているんだろう、一体どういう理由があるんだろうかと問われます。韓国に関しましては、日本が許されるのであれば、なぜ我々はできないのであろうと必ず聞かれるわけですし、米国はなぜ日本にだけ許しているのかという質問をいただくと大変答えるのが難しいものです。

今、町さんがおっしゃったように、IAEAの保障措置に関しても、NPTに関しても、日本が本当にきちりとルールを守っていらっしゃるということは、よく承知しておりますが、先ほど申しましたけれども、どんなにまじめに頑張ったとしても、再処理施設で特に規模が大きくなるほどIAEAのルールであるタイムリーに優位な差の違いを検出するというルールを守ることはどうしても難しい。再処理施設の場合にはタイムリーなディテクションというのは1カ月以内ということになりますけれども、これでも個人的にはとても難しいと私は思っています。過去にもありましたように、どうしてもインベントリーの差というのは出てくるものであって、それは本当にどこかにいつてしまったのではなくて、記録上の違いであるとはいっても、ほかの国からしてみればあれはどうなったんだと聞かれることになります。

それから、コストの10%に関してですが、この業界について非常に自由化が進んでいきすし、競争も激化していますので、10%は大きいと思いますし、あるいはこれから大きくなると私は申し上げたいと思います。この10%の差で原発がほかの発電の方法に勝つか負けるか決まる可能性が大だと思います。実際、米国は非常に自由化されていますので、発電事業者としても10%を追加しなければ発電ができない方法を選びたいという事業者はありません。どこでもコストを何とか少しでも下げるという圧力がとても強くかかっています。

念のためですけれども、私の立場は反原発ではありませんので、ご理解いただければと思います。

私の研究の中心で私が一番気にかけているのは気候変動の問題です。気候変動のことを心配し、カーボンフリーな形で将来のエネルギー源を考えていくと、原発の役割はとても大事だと私自身は思っております。

私が何を心配しているかといいますと、原発は大事であるにもかかわらず、今、米国におきまして、再処理と高速炉に対するプッシュがかなりかかっているのも、逆に使わなければならないはずの原発の路線を誤るのではないかという心配を持っておりまして、MITの研究者たちも同じようなことを述べています。MITの人たちも言っていることなんですけれども、その先の将来に関しましては、原発をきちんと利用して活用していくためには、一番安いからこそ、ワンスルーを維持していくのがベストなのだと、こういう考えです。

[フェッター教授：英文]

First, I am sorry for any misimpression I might have given about the discussion of

proliferation concerns. Of course, I am not an official of the US government and so nothing I said should reflect on the views of the US government. I am a personal citizen, but even personally I have no concern about, no proliferation related concerns about reprocessing in Japan. Nevertheless, I have given many talks in China, in Korea, in Taiwan and ...about these matters. And every time they say to me "Why is Japan separating plutonium?" "Is there some other reason?" in Korea "If Japan can separate plutonium then why can't we?" "Why does the US say it is OK for Japan and not for us?" And that is a difficult question to answer. Also I agree that Japan is... complies meticulously with its obligations under NPT and IAEA safeguards but nevertheless reprocessing plants are very difficult to safeguard to the IAEA standard, which is timely detection of an inventory difference of 8 kilograms where for reprocessing timely detection is 1 month. That is a very, very high standard to meet. And so it is inevitable that there will be inventory differences as there have been in the past. And it is inevitable that people in other countries will say "What happened to that plutonium?" Of course it is not gone, it is not missing it is simply a difference in the accounting records. But there will be people who raise this as a concern and that is a factor that has to be considered.

About the cost difference of 10% and the significance of that, I think that as electricity markets become deregulated and more competitive, a difference of 10% becomes very important, or potentially important. A difference of 10% can make the difference between nuclear energy being competitive with another source of electricity and not being competitive. I know that in deregulated markets in the United States no electricity generator would want to pay 10\$ extra for his electricity production cost. There is great pressure to keep cost down. That is all I have to say.

I would like to just add that I am not against nuclear power.

I am very concerned about climate change. In fact, much of my work is about climate change. I believe that nuclear energy is a very important, carbon free energy source for the future.

My concern is that at least in the United States the future of nuclear energy might be undermined by a push to reprocess and deploy fast reactors rather than facilitate it. And our conclusions are similar to those of the recent MIT study group on nuclear power that at least for the foreseeable future, the future of nuclear energy is best promoted by relying on a once-through fuel cycle, precisely because it is the cheapest.

(木元委員) 今日はどうもありがとうございました。大変貴重なご意見を伺わせていただきました。

原子力に対してどういうお考えをお持ちなのかをまず聞きたかったのですが、今のお話でお立場が大変よくわかり、安心いたしました。

そこで、クリントン政権のときに援助をもらわれて、直接処分と再処理とのコストのパフォーマンスを比較するというスタディをなさったレポートだということですが、現政権はこのレポートをどう評価しているのか。つまり前政権では再処理のことを少しは前向きに考えて、こういう研究を認めたのかどうか、その点を現政権との比較の中で伺いたいのが1つです。

それから、もう一つは今もちょっとおっしゃいましたけれども、処分地としてのユッカマウンテンの話です。それはワンスルーでいくほうが、効率の良い有効利用になるというお話だったと思うんですけども、再処理をすればマイナーアクチニドなどいろいろ出てきますが、そういうものの廃棄物の量がふえるから、処分場はワンスルーでいった方がいいというお考えなのかどうか、その点が、ちょっとお話の中で見えない部分なんですけれども、そこを教えていただきたいということが1つです。

今のところユッカマウンテンは、7万トンぐらいは処分場として可能であり、12万トンぐらいまでは何とかできるということですが、第2処分場ができないからそういうことをお考えになっていらっしゃるのか、その点もちょっと明確になればありがたいと思いますので、お願いいたします。

(フェッター教授) この廃棄物の処理に関しては、日米とも政治的にも非常に複雑な状況があります。もともと米国におきまして、議会の法律ですが、東に1カ所、西に1カ所ということになっていたんですけども、どうしても東部で見つからなかったので、やむを得ず議会の方で、それではユッカマウンテン、西部1つだけということにして、そのかわり妥協案として7万トンというキャップが設けられたわけです。

ただ、この7万トンでは今現在運転している米国内の原子炉に関して、使用済燃料すべてをカバーするには不十分でして、理論的には12万トンまでは拡大可能な状況になっているんです。しかしそうするには、現在政治的妥協として7万トンということが定められているものを解除しなければなりません。もしこれを12万トンに引き上げることができれば、現在、米国で運転しているものがさらに60年間全て操業を続けたとしても、全ての使用済燃料は埋設が可能な容量ができることとなります。

ただ、一方で、原発を末永く活用していきましょうという考えの人たちが心配しているのは、これ以上に原発を増やした場合には、ユッカマウンテンだけでは不十分になってしまうということで、そうすると第2のユッカマウンテンのような場所を見つけるのか、それとも

さらに新しい技術を開発して、同じユッカマウンテンにもっと詰め込むことができるようになるのかということになり、それが基になってこのアドバンスド・フューエルサイクルイニシアティブが始まったということですから、もともとはクリントン政権の当時から派生した研究ということになります。

といいますか、90年代の初めごろからこういう視点はアメリカの政権にはありました。この90年代の初め頃ですけれども、全米科学アカデミーからもこの方面のレポートが出ておりまして、このままでいくと核種変換したとしてもメリットはないという結論をもたらしています。それ以降ディベートは継続中で、いつまでたっても決着はついていないということですが、我々の今回のスタディもこのレポートから刺激を受けているのは事実です。

現在、米国でこの高速炉を使って再処理をするということを支持している人たちが何を気にしているかというのは、ウランがなくなるのではないかということではなくて、第2の処分場を探すということは大変すぎるという方を気にしているんだと思います。ただ、これに関しては2つの誤解がもたれているというのが私の考えです。

まず、高速炉、それからそれを使って分離をして核種変換をするということについての追加コスト、これはアクセプトされるのではないかという誤解です。一体だれがそこに投資をする気があるのか、再処理工場をだれがつくるのか、おそらく米国の市場でもその考えは支持されないはずですので、だれかがやるとしてもかなり政府の支援がないとできないはずで、補助金が必要だということです。

2つ目の誤解ですけれども、ユッカマウンテンに続く第2の処分場を立地するということに対して、複数の再処理工場をつくって、多くの高速炉を置く方が政治的には簡単なのではないかという誤解です。このユッカマウンテンに関しましては、このユッカマウンテンそのものではなくても、ネバダ州の人の前では言えないにしても、ネバダに関しましては廃棄物処理に最適な土地がたっぴり近くに余っていますので、政治的にはその方がやりやすいかという考えはあるようです。ですので、高速炉のサイクルを使って最終的に電力料金を使用者に対して負担させるということよりは、この方が政治的には簡単かということではないかと思います。

[フェッター教授：英文]

It is probably easier to answer those in reverse order. As you know, the original waste disposal... Waste disposal is politically complicated in United States as it is in Japan. And the original legislation for waste disposal required two repositories: one in the east, one in the west. It proved impossible to find one in the east and so Congress decided just to go with the one in the west the Yucca Mountain and as a political compromise imposed the limit of 70, 000 tons, which would not be enough to hold all the spent fuel

from the current reactors.

And it is correct that the capacity could theoretically be increased to 120,000 tons although, of course, this would require a lifting the congressional restriction. That would be enough to hold all the fuel from current US reactors even if all of them operate for 60 years.

There is concern however among those who would like nuclear energy to have a longer term future in the United States that if additional reactors are built, there would not be room at Yucca Mountain for additional waste and so that leads to a basic choice: to explore a new, a second repository or to adopt some new technology that would allow additional waste to be placed in Yucca Mountain. And this is really the origin of the Advanced Fuel-cycle Initiative and the origins of that could already be seen in the Clinton administration. This was raised at the time. The history goes back to at least oh, I think the early 1990's transmutation and separation there was a major national academy of sciences report. But of course, even that major national academy report, which concluded that there was no advantage to separation and transmutation did not end the debate. The debate is never ended. And so I think, our report was partly stimulated by this idea.

Today the main argument in favor of reprocessing and fast reactors in the United States is not to desire the extend uranium resource, it is the desire to avoid the construction of a second repository. But I believe this is based on two mistakes, two mistaken impressions.

The first is that the additional cost associated with separation and transmutation in fast reactors will be acceptable. Who would build these reactors? Who would build these reprocessing plants? The marketplace in the United States will not support this. There would have to be very substantial government subsidies.

Second, I believe it is based on the mistaken impression that it will be politically easier to build several reprocessing plants and many fast reactors than it would be to select a second repository or even to expand the repository. Perhaps not in Yucca Mountain but adjacent to Yucca Mountain. As you may know, there are vast amounts of land adjacent to Yucca Mountain. I would not say this in Nevada, but there are vast amounts of suitable land in Nevada for nuclear waste disposal and that I believe would be ultimately more politically possible than adopting a fast reactor fuel cycle and passing the substantial additional costs along to rate payers.

(前田委員) 先ほどウラン資源の話がありました。たくさんの国がウラン供給国になったという話ですが、実際には数少ない会社に権利を握られていて寡占化の状況になっており、必ずしもウランの入手がたやすくなったということではないということをお願いしたい。

それから、レッドブックでは1600万トンの資源があるといわれていますが、このうちの1000万トンはスペキュラティブというカテゴリーに入っていて、調査も何もなされてない単なる予測の数値です。オーストラリアのあるコンサルタントが、値段が2倍になれば10倍の資源があると言ったということを先ほどおっしゃっていましたが、これは全く予測とも言えない予言であって、そういう根拠のないことに日本のエネルギーセキュリティの将来をかけるわけにはいかないと私は思うんです。

(フェッター教授) ほかの鉱物資源に関しましても、消費されている量と確認されている埋蔵量の比率は、ウランよりも非常に低くなっております。ウランに関しましては、スペキュラティブではない部分は600万トンということになりますけれども、それだけだとしても、現在のウランの消費量の100倍あります。それ以外に石油、ガス、銅、どのようなものに関しましても、現在の生産量に比べて、以前に確認された資源の量は、はるかに大きく、現在の生産量は依然それを下回ったままになっております。

理由に関しては、実は存在しているけれども、まだ発見されていない埋蔵量があるということではなく、その資源が必要となる、はるか前の段階で、将来十分に埋蔵量があるということに経済的なインセンティブがどのステークホルダーにもないためだと思います。こういう経緯があったわけですけれども、どの鉱物資源に関しても、ついに無くなって枯渇してしまったというものは発生しておりません。

我々が調べた90の資源のうちの87、ですからほとんどですけれども、それに関しましては生産量も増えているし、消費も増えている。しかし、それを上回って確認埋蔵量の方が増えております。あと経済学的な原則と地質学的な原則で、他の鉱物資源に当てはまるものがウランにも同じく適用されると推定すれば、ウラン価格が今後上がっていけば、一部の人たちにとってはもっと埋蔵量がありましたというインセンティブが出てくるかと思えますし、それと同時に抽出、採掘の技術も向上するというので、ウランに関しましても同グレードのものをもっと安く採掘することができるようになります。

[フェッター教授：英文]

Yes, I would just say that if you look at the ratio of proved resources only to consumption for other minerals it is considerably less than that for uranium. For uranium the 6 million tons, that is not speculative it is 100 times current consumption. The figures for oil or gas or copper are much lower. Proved resources are typically 30 or 40 or 50 times current production.

The reason is not because there is not more resources to be discovered, it is because there is no economic incentive for anyone to prove that the resource exist that much farther in advance of its actual use. In all of these other cases though we have not run out of the resource as it has been consumed, in fact, in all of these other cases, I should virtually all, I think about 87 of the 90 minerals we have looked at. The proved resource has increased at a greater rate than production of that... and consumption of that mineral resource has increased. And so I think it is reasonable to believe that the same principles of economics and geology that apply to other minerals will also apply to uranium and that if the price of uranium increases there will be incentive to prove that additional resource exists and that as the technology for extraction of metals increases in general it will also increase for uranium and make it possible to extract lower grade resources at lower prices.

(齋藤代理) 先ほどフェッター先生は環境派であると、そういう意味合いで原子力を使うことは賛成であるけれども、ワンスルーであるべきというお立場でありましたけれども、初めにおっしゃったところでは、ワンスルーとリサイクルで比較するとコストに差があるが、50年から100年ぐらいはワンスルーの方が安いであろうというお話がありました。

それから、今のウランの埋蔵量が、確認埋蔵量の何倍あるか、4倍あるか、10倍あるかという問題もあるわけですが、この「ご意見を聴く会」で東京大学の山地先生は、今ある原子力発電所をそのまま動かして新設はせず、それで化石燃料を幾ら使ってもいいということをする、2100年には環境中のCO₂が800ppmを越すようなことになるというシミュレーション結果を示され、それでIIASAの方では550ppmぐらいに安定化させようというシナリオで考えてみると、山地先生の計算では確認埋蔵量の3倍のウランがあるとして計算して、2075年ぐらいにはFBRを導入しないとイケないというようなお話をいただいたんです。そういうお話についてどう評価されますか。

それから、幾ら高くても高いウランをどんどん使うということになると、先ほどの電力自由化のもとで本当にやっていけるのでしょうか。そういうことを環境派の先生として、50年先のことを考えて一体どうあるべきとお考えですか。

(フェッター教授) 先ほどのIIASAとWECに関するグラフでは、複数のシナリオがありました。その中の2つに関しては、CO₂が550ppmに安定化した場合という想定が入っていました。化石燃料の使用が減って、そのためにCO₂が減るといいにしても、すべてが原子力を使ったからという想定にはなっておりません。原子力を含めてそれ以外にも化石燃料以外のオプション、風力ですとか太陽エネルギー、バイオマス、二酸化炭素を隔

離、固定する技術を使ってということもすべて勘定に入っております。その上で原発も使い、ほかの化石燃料以外のオプションも使った上で、リーズナブルなレベルにCO₂を安定化させることは可能だというシナリオが出ております。

また、ウラン資源に関しましては、先ほどの量で十分これがシナリオどおりにいくことができるわけなんですけれども、それでも確認済みの量の3倍をはるかに超える量があると思いますし、技術の発展などで実際に抽出可能となる量はもっともっと大きくなると思います。

現実のウランの価格を振り返ってみますと、この20年間非常に低い水準にありますし、アメリカにおきましては、炭鉱への投資は全く1セントも行われておりません。仮にウランの価格が上昇したとして、例えばキロ当たり80ドルになった場合には、かなり活発な投資活動が始まるはずで、そうなれば自然なことながら、さらに埋蔵量が増えて確認と言える量も増えてくるはずで、原油価格に関しましては、70年代に原油価格が高騰した中で、新たに油田の発見もありましたし、油田の発見に関しましては石油価格が下落基調にあったとしても新しい発見もあるというのが現状です。あと二酸化炭素の排出を抑えるための将来のエネルギー供給のシナリオも考えておまして、450～550ppmに抑えるというシナリオも想定して、その中でも原発は重要な役割を果たすことになっております。

これに関しては、短い論文をサイエンスに発表しておまして、二酸化炭素の削減分のおよそ3分の1が原発に帰属されると書いております。そういうことを書いたら、脅しのような嫌な手紙がたくさん来てしまったんですけれども、私たちは、そういう内容が望ましいし、現実性は高いと本当に思っております。ウランは130ドルまでのものを使うとして、向こう100年間ワンスルーで消費をするウランの量を考えたとしても、今確認されている量で十分です。

[フェッター教授：英文]

Some of the scenarios that I showed in the chart of the scenarios by IIASA and the World Energy Council...Two of those scenarios assume stabilization CO₂ at 550 parts per million and they did not assume that all of the decrease in fossil fuel carbon emissions was due to nuclear energy, they assumed it was a portfolio of non-fossil carbon supply, non-fossil energy supply options including wind, solar, biomass and fossil fuels with sequestration of carbon and so I think it is quite possible to achieve stabilization of carbon dioxide levels at reasonable levels with growth both in nuclear power and other energy, non-carbon energy supply options while still remaining within the uranium resource that I indicated earlier, which is quite a bit higher than three times than the proven amount. Again I think the proven uranium resource is only a very

small fraction of the total resource that will be ultimately extractable. I would just say again that uranium prices have been very low for 20 years. There has been in the United States almost zero investment in exploration for uranium. If the uranium price increases significantly, say simply to \$80 per kilogram, there would be substantial investment in exploration and inevitably there would be the discovery of substantial ...additional proven uranium resources. We have seen this in every other case when price rises, for example, when the price of oil rose in the 1970's there was the discovery of very substantial additional resources of oil. In fact there has been discovery of additional substantial resources of oil even when the oil price was falling. I did develop... this is a little different, but I did develop scenarios of future energy supply to limit carbon emissions and to cap the carbon dioxide concentration in the range of 450 to 550 parts per million and nuclear energy did play a significant part in those scenarios.

We published a short article in Science Magazine making this point about one third of the carbon mitigation was achieved with nuclear power. We, of course, received many nasty letters complaining about that but we thought that was quite realistic and desirable and the total consumption of uranium in a once-through fuel cycle over the next 100 years in those scenarios was well within what I would say a reasonable projections of a uranium resource available at less than \$130 a kilogram.

(近藤委員長) 時間がなくなって参りましたが、鈴木さん、どうぞ。

(鈴木上席研究員) 今日は呼んでいただいてありがとうございました。

私の親しい友人でもあり、尊敬する研究者のフェッター氏のおかげで私もここに呼んでいただいて感謝しています。今日は私の個人の意見というよりはコメントということで4つほど簡単に述べたいと思います。

まず第1に、再処理、リサイクルの方がワンスルーよりも高いというのは、大体皆さんわかっていただいたと思うんですけども、こういう非常に定量的な評価は重要であり、改めて数字を見ると、議論をちゃんとすべき、研究をちゃんとすべきだというのが実感でありまして、原子力委員会が1月に出された所信表明に書かれていた選択肢の定量的評価ということをごひやっていたいただきたいというのが第1点。

それから、2点目は今回のレポートはハーバード大学が米国の経済性を比較して行ったわけですが、実はかなり国際的な数字を使っておりますし、世界の原子力にとって大きなメッセージになっていると、これが大事ではないかと思えます。

それから、3番目は日本においてどうなのかという議論をするときも、日本の状況に応じ

た分析というのが大事で、今日いろいろご意見がありましたように、特に六ヶ所再処理工場の建設が既に終わっているということ。それから、逆に廃棄物処分場の方は米国はユッカマウンテンがあるわけですけれども、日本はまだこれからだということであるいろいろな条件が違う。それから、エネルギー安全保障の問題も日本独自のいろいろな観点があると思うんですが、これもできるだけ、その中身について、今日も幾つかウランの枯渇の話と供給不足、寡占化の話とか価格の話とかたくさん出ましたけれども、一体何が日本にとって一番の不安材料なのかということを引きちと議論していかなければいけない。

それから、最後に、すこしこのレポートの背景について私個人が知っていることをお話ししたいんですが、実は97、8年に、この研究を米国がハーバード大学で始めるときに、私もいろいろ相談を受けました。その時は「ワンスルーとリサイクルの比較なんかやってみようがないじゃないですか」と正直に申し上げたんですが、それでも一応結果が出て、私は先ほど申しましたように、定量的に検証するということが大事だなということがわかったことと、それに関連して私が述べたコメントについて、実はマシュー・バーン氏とフェッター氏も含めて、ハーバード大学の先生たちと東京大学のグループと一緒にやらせていただいたのが、米国と日本でいつまでもワンスルーが再処理かという議論をしているのではなくて、実際、今一体大事なものは何なのかということ議論しようということで、中間貯蔵の重要性ということを研究としてやらせていただいております。実はこのレポートより後から始まって、先に終わったわけですが、今日フェッターさんは、余りおっしゃらなかったですけども、そのことは多分同意ではないかなと思いますので、もし後でフェッター氏に時間があれば、中間貯蔵の重要性についても一言いただきたいと思います。以上です。

(近藤委員長) ありがとうございます。

もしよければ、私も1つ、2つ申し上げたいんですが、1つは、今日はウランの供給曲線のコストと資源のリソースの関係の話があったんですけども、最初に私が申し上げたように、今、我々が置かれている石油をめぐる状況はコストではないわけです。つまりコストモデルの議論というものと、プライスのリアリティというものの区別、これはまさに政治的であり、軍事的であり、技術的でありとさまざまな要因が入るわけで、それが我々のリアルライフの中での主要な決定要因であり、コストはパートオブゼムであるという認識はいつも持っていないてはならないということで、その点に関して、ややこのレポートはプライスとコストを余り明確に区別しないように書いているように思ったんですけども、そこについてまずコメントをいただきたい。

(フェッター教授) 価格に関しては、理論的には限界費用と企業がとったリスクに応じたプロフィットをつけあわせて出すものですが、短期的には確かにモデルから乖離が起こるかもしれませんが、ただ、長期的には、これは70年代の石油市場でも見られたとおり、あ

のころは価格が急騰しておりまして、価格もいつまでも上がり続けるであろうと多くの方たちが予想していたわけなんですけれども、あれは本当に短期的な政治的な要因によるゆがみで、その後、継続はいたしませんでした。事実、その後石油価格は下落した時期もありましたし、またサプライヤーの数もふえていきました。

場合によっては、経済的に価格が高かついたとしても、そして石油の価格が上昇していたとしても、もっと需要が高くなっているのです、その昔使っていた油井についてもさらにもっと出てこないかと思直すほど、そして地球の最も遠隔な場所にも探しに行くというインセンティブが発生して、多くのサプライヤーが参入したという歴史がありました。ですから、短期的には価格がスパイクするかもしれませんが、痛みを伴うということはあるかもしれませんが、数十年という長期で考えれば、抽出のコストを上回るような価格にはなっていないと思いますし、逆になった場合にはもっと多くの事業者が参入するはずですよ。

[フェッター教授：英文]

Well, in theory the price should be the marginal cost plus a reasonable profit that is that corresponds to the risk being taken in the economic enterprise. Of course in the short term there can be disruptions and departures from this model, but in the long term as were shown in the 1970's, in the oil supply market, the 1970's the price of oil was rising very steeply and there were many projections at the time that showed the price of oil would be going up and up and up forever. That was a short-term distortion that was caused by political factors. It was not sustainable over the long run and, in fact, over time the price of oil fell partly due to the fact that more suppliers entered the market.

The price of oil rose to the point where it was economically attractive to go back to even old oil wells and extract the oil that was left over, to search for in remote parts of the world. And so while there might be short term disruptions in supply and high-price spikes and those will undoubtedly be painful, over the long run, measured on time scales of several decades I do not think there is reason to expect that the price will be very far above the cost of extraction. If it was, then there would be powerful incentives for everyone to try to enter the market and produce uranium or oil or whatever it is.

(近藤委員長) それは、まさにその通りであり、アカデミックソサエティーに住んでいる人はそう言って幸せに過ごせるわけですが、リアルライフは瞬間、瞬間の価格でまさに痛みを感じざるを得ないところなんです。ただ石油に関して若干申し上げれば、例えばアジアプレミアムというのがあるわけですよ。アジアプレミアムというのは、皆さん恥ずかしいから余り

言わないけれども、一物一価の原則に従うはずにもかかわらず、同じ中東の地からでありながら、欧州向けと日本向け・アジア向けではプライスが1ドル半ぐらい違うわけです。つまり日本は大体年間2000億か3000億余計に払っていると思うんだけど、これがリアリティなんです。

それから、もう一つ言えば、今中東の石油が40ドルというのは、結局ある種の軍事的なスタビライゼーションに対する投資が行われている結果としてこの値になっているので、外部性をインターナイズすると、これは80ドルになると言う人もいるんだけど、価格はどうか、日本に対して、日本はチープライダーで、日本は軍事的安定性に貢献しないで安いオイルを買っている。それが40ドルだということを言う人も、米国DOEあたりのアドバイザーにはいるわけです。ですから、これはセキュリティー問題なんです。

例えば、ご存じかどうかわかりませんが、オルセン氏は、中東は多国籍軍だと、まさに今イラクをそうしようとしているわけですが、当然、日本もそこから石油を買っているんだから、そのセキュリティーを守るのは多国籍軍であり米国はむしろ手を引けと、米国は石油を中東に余り依存してないんだから、軍隊を引いたっていいではないかという議論をしている。そうなれば、コストがかかるわけで、そういうポリティカルなバーゲニングの中で国というのはオペレートされているわけです。だから、そういうものに対してどれだけインセンティブな国をつくるかというのがエネルギー政策なんです。そういうコンテキストで何がベストかということをや日々悩んでいるというのが実情だということをやぜひご理解いただければと思います。

私はこのレポートのキーは処分場のところだと思うんですけども、あなたが言ったように、ネバダ州では言えないけどということが核心なので、つまり環境問題を考えると原子力をやった方がいいと、しかし今の状況ではなかなか処分場を増やすという話はしにくい。

つまり、このレポートは米国にとって、あなたが今個人的な感想としておっしゃったような意味で原子力のメリットを認識しながら、しかし実は政治的に答えがないということをや言っているか、それとも違う観点で何か言おうとしているのか、先ほどの木元委員の質問も実はそこにあったんだけど、まさに But not US といわれると、これはもともと米国向けのレポートであるはずだが、この点はどのようにお考えになっているのですか。

(フェッター教授) 本当の痛みがないとき、どうしても、ということがないときに政治的に厳しい決定を下すのは難しいものでして、今そこまで差し迫った状況にありません。ただ、今何かを始めるとすれば、議会で抑えられている7万トンというユッカマウンテンの量について解除を試みる動きが、ユッカマウンテンに続く第2の処分場の探しをしなければならぬわけなんですけれども、どうしてもという理由がなければ、痛みを今は負いたくないということで、そういう状況に今の米国はあります。

ただ、私の個人的な考えとしては、いずれはどうしても必要になって、第2の処分場をつくるか、あるいはスペースを拡大するか、しなければいけないと皆さん気がつくことになると思います。その必要が差し迫ったときに一番シンプルでベストで一番安い方法は、その7万トンという量についての制約を解除するか、もしくは今の場所に隣接したところにさらにスペースをつくって拡大をするかという2つに1つしかないと思います。

では、議会での採決がどうなるかですけれども、上院議員の数についてはネバダ州の2人对残り48州ということで、票はとれるのではないかと思います。

また、ネバダテストサイトがすぐ近くに大規模に存在しているわけなんですけど、私より詳しい人にお聞きしたところでは、むしろユッカマウンテン以上に放射性廃棄物の処分にこの場所は適しているということですので、私個人としてもこういうとてもロジカルな結論に行き着くことを期待しているところです。

[フェッター教授：英文]

It is difficult to make painful political decisions when there is no imperative. And so beginning an attempt to lift the 70,000 ton limit on Yucca Mountain, or beginning an attempt today to look for a second repository. These are very painful. People do not want to incur that pain unless there is a powerful reason to do it and today there is not a powerful motive to do it. It is my judgment that in time when it becomes apparent to everyone that more repository space is needed, we will decide that the simplest, the cheapest thing, the best thing is to first lift the 70,000 ton limit on Yucca Mountain and second to expand repository space in adjacent areas. There are only two senators from Nevada, 48 senators from the other states also there is the vast Nevada test site directly adjacent to the Yucca Mountain site. And I am told by people much more expert than I am that much of that area is as suitable or even more suitable than Yucca Mountain for the disposal of radioactive waste. So I am hopeful that we will come to this logical conclusion.

【閉会の挨拶】

(近藤委員長) それでは、お約束の時間が大分過ぎてしまいましたが、本当に熱心にディスカッションしていただきました。我々の今後の検討に大変に役に立つ情報だと思います。どうもありがとうございました。これで終わります。

事務局より、本日の議事録を作成し、ご確認の上、公開する旨説明があった。

以上

フェッター教授のご意見（英文）

Thank you very much. I would like to thank the commissioners for this opportunity to present the results of some research that I have done with my colleagues at Harvard University in comparing the economics of direct-disposal of and reprocessing and recycle.

[Direct-disposal v. Reprocessing-Recycle]

I am sure the basic question is familiar with to all of you is it better to dispose of spent fuel directly in geologic repositories as the United States plans to do or is it better to reprocess the fuel to recover and recycle the plutonium and uranium.

Of course, this is not a new question this has been studied for over thirty years, but it is receiving renewed attention both in the United States and in other countries for several reasons. In the United States, in particular, there is concern about the accumulations of spent fuel at nuclear reactors and the capacity of geologic repositories such as Yucca Mountain to absorb all of that fuel.

There is also concern about growing stockpiles of plutonium at civilian reprocessing plants around the world and about the links between the civilian nuclear fuel cycle and the proliferation of nuclear weapons.

Finally, there are concerns about the long-term future of nuclear power particularly what if efforts to mitigate the emissions of green house gases lead to growth in the generation of nuclear electricity there are concerns about the ability... the size of uranium resources and the ability of the once-through fuel cycle to support an increasing supply of nuclear electricity.

[Our Study Focused on Costs]

Our study focuses mostly on cost issues, although we recognize that cost is not the only factor in this debate and it may not even be the most important factor, that there are also concerns about energy security, non-proliferation, waste management and so on. But cost is important particularly in an increasingly competitive electricity market.

In the last ten years there has emerged general and widespread agreement that reprocessing and recycle is more expensive than direct-disposal today. For example, a report done for the French government last year showed that in France reprocessing added about 5% to the cost of nuclear generated electricity and would cost French rate

payers tens of billions of dollars in added expense.

The debate is over how significant this cost difference is and how long it is likely to persist. Advocates of reprocessing generally argue that the cost difference is relatively small. They stress the 5 to 10% figure and argue that the cost difference will disappear soon as demand for nuclear electricity grows and uranium becomes scarce and expensive.

We argue, however, that this cost difference is significant and is a significant burden on nuclear energy and it is likely to persist for a long time for at least 75 to 100 years.

[Outline]

So the list of my remarks will follow this outline where first I will compare the economics of direct-disposal to those of reprocessing and recycle in light water reactors and I will calculate the breakeven uranium price, which is the price of uranium that would give the same cost of electricity for both fuel cycles. When uranium is cheap, direct-disposal will be more cost effective. When uranium is expensive, then reprocessing and recycle is more cost effective. The breakeven uranium price is the point where they are equal in cost.

We calculate breakeven prices for other fuel cycle parameters, such as reprocessing price and for a given set of parameters we calculate the difference in the cost electricity between the fuel cycles.

Of course, reprocessing and recycle in light-water reactors was never intended to be the long-term future of nuclear energy. This is intended to be a temporary measure until a transition to fast-breeder reactors can be made and so next we compare the cost of the direct-disposal in light-water reactors to full recycle and fast-breeder reactors.

From this analysis we hope to find how expensive uranium must be before reprocessing and recycle is cost effective and then it is logical to ask how much uranium will be available at that price.

Then if time permits, I can address non-economic factors such as the impact of reprocessing and recycle on the capacity of geologic repositories and other factors.

[Direct Disposal v. Reprocessing in LWRs]

Now I apologize. These slides were made for a public audience and I know everyone here is very well familiar with the nuclear fuel cycle so I don't need to go over these steps, but I will just note that two things. First, we have assumed that spent MOX fuel

would not be recycled, that spent MOX fuel would be disposed of directly in geologic repositories that is I understand the current plan in France that the plutonium becomes less desirable with each additional recycle. However, because of our assumption that the cause of disposal are equal for both spent LEU and spent MOX fuel, this has no effect on our analysis, our economic analysis. If spent MOX fuel was recycled, we would get the same answers that I will present today.

I have also shown on the slide our central values for the prices of the various fuel cycle services. I would like to emphasize that these were developed in the US context. The prices for the once-through fuel cycle have been fairly stable and are well known because they are based on prices in an open competitive market.

I would also note that we assume spent interim spent fuel storage for all spent fuel from the once through cycle, even though in some cases that would not be needed because some reactor sites have sufficient storage for spent fuel.

The cost of spent fuel disposal, geologic disposal, shown here \$400 per kilogram is of course highly uncertain. This figure is based on the cost of the Yucca Mountain repository where it is believed that the current fees will provide about \$350 per kilogram for the disposal of spent fuel, which is still believed to be sufficient for the disposal of that fuel.

The cause indicated here for the reprocessing and recycle fuel cycle, however, are much more uncertain because the reprocessing and MOX fuel fabrication industries have been dominated by just a few companies and all of their prices have been kept confidential. The prices that we show here are very low compared with prices that have been charged by France and the United Kingdom over the last 10 or 20 years.

We did this to make the case as favorable as possible for the reprocessing and recycle fuel cycle. We also assumed a significant benefit in the cost of geologic disposal for reprocessing and recycle. Here we assume that the cost of high level waste disposal is 50% less than the cost of the disposal of spent fuel due to the reduction in heat and volume and mass of the waste.

To indicate how favorable we believe our estimates are for the reprocessing and recycle case, I have shown in orange the estimated cost for the Rokkasho Plant.

I have simply taken the latest cost estimate for Rokkasho and divided it by the total amount of spent fuel that will be reprocessed over its 40-year lifetime, which is roughly \$3000 dollars a kilogram. Similarly, I have taken the capital and operating cost,

decommissioning cost and so on for the Rokkasho MOX plant and divided it by the total amount of MOX to be fabricated there.

[For central values of the price of fuel-cycle services and other parameters, we calculate]

So for the central values of these fuel cycle services and other parameters we calculate the breakeven uranium price, the breakeven prices for other fuel cycle services such as reprocessing and the difference in the cost of electricity for a given uranium price or the extra cost that is due to reprocessing.

[Breakeven Prices]

This chart gives the breakeven prices. I draw your attention to the first line for uranium. What this shows is that even if reprocessing costs a \$1000 a kilogram, MOX fabrication costs \$1500 a kilogram. If all spent fuel in the once through cycle is stored in interim facilities at \$200 a kilogram if there is a \$200 per kilogram cost savings in the price of geologic disposal due to reprocessing that uranium would have to cost \$370 per kilogram in order for reprocessing and recycle in light-water reactors to be equal to the price of electricity from direct-disposal.

Similarly, if uranium costs \$50 I should say first that this is about ten times the current price of uranium.

Similarly, if uranium costs \$50 a kilogram and all of these other parameters are set at their central values, reprocessing would have to cost only \$420 a kilogram in order for electricity produced in the reprocessing and recycle fuel cycle to be equal to that from the direct-disposal cycle. And that is seven to eight times less than the cost of reprocessing at Rokkasho.

[Breakeven U Price v. Reprocessing Price]

Just to emphasize how sensitive the breakeven uranium price is to the reprocessing price...for reprocessing prices greater than \$1000 a kilogram, the breakeven uranium price rises very, very quickly. Even if we set all of the parameters equal to their most favorable values for the reprocessing and recycle case, we can see that at reprocessing prices of \$2000 or even \$3000 a kilogram, the breakeven uranium price would be extremely high.

[COE Premium for Reprocessing-Recycle]

This graph shows the increase in the cost of electricity due to reprocessing. At current uranium prices of about \$40 a kilogram, if reprocessing costs \$2000 a kilogram and all the other prices are set to their central values that would increase the price of electricity by about 3.5 mils per kilowatt hour above the cost of direct-disposal.

For a price of \$3000 a kilogram, which corresponds to Rokkasho, the added cost is about 5.5 million per kilowatt hour, which is an increase of roughly 10% in the price of nuclear generated electricity.

[COE Premium for Cu = \$130/kg]

It is often noted that eventually reprocessing and recycle will become more cost effective as the price of uranium rises, but as you can see unless reprocessing costs less than \$1000 per kilogram, the price of uranium must rise very high in order for reprocessing to be cost effective.

[These estimates are favorable to reprocessing]

I would like to emphasize that we believe that our analysis has been very favorable to reprocessing that the central values for reprocessing and MOX fuel fabrication that we use are well below recent prices.

We have included no charge for the storage of plutonium, no charges for the removal of americium, no additional charges for licensing reactors for the use of MOX and no additional charges for extra security for the transportation of MOX or plutonium or for the storage or use of MOX at nuclear reactors.

We have also included interim storage costs for all spent fuel for direct-disposal. We have included a significant cost saving for high-level waste compared with the disposal of spent fuel. And also importantly, we have assumed the same cost of disposal for spent MOX fuel as for spent LEU fuel, even though spent MOX fuel is considerably hotter and the disposal cost have been estimated by some to be two to four times greater per kilogram than the disposal cost for spent LEU.

[LWR (direct disposal) v. FBR]

We then perform the same analysis to compare light-water reactors with direct-disposal to fast-breeder reactors.

[Breakeven Prices assuming regulated utility ownership]

And quite surprisingly to us at first the results for the breakeven uranium price are quite similar. But first I should mention that another key parameter in this analysis is the capital cost difference between the reactors. In the last analysis, the reactor was the same. In this analysis, we have two different kinds of reactor and so we have to take into account the possible difference in the capital cost of the reactors.

For our reference case, we assume that fast-breeder reactors are only \$200 per kilogram... per kilowatt more expensive than light-water reactors, which is a cost premium of roughly 10%.

This is of course much less than the historical experience with fast-breeder reactors indicates. But if we assume a cost difference of just \$200 per kilowatt and we set the other prices and parameters at their central values the breakeven uranium price, in other words, the price at which electricity from fast-breeder reactors would be equal to the price of electricity from light-water reactors with direct-disposal the breakeven uranium price in that case would be about \$340 per kilogram.

With uranium at \$50 a kilogram, somewhat above current prices, and with reprocessing again at a low cost of \$1000 per kilogram breeder reactors would have to be cheaper than light-water reactors to generate electricity of the same cost.

Also note that if uranium is relatively inexpensive and breeder reactors cost more than light-water reactors. Breeder reactors will produce electricity of higher cost even if reprocessing is free.

[Breakeven U Price v. Capital Cost Difference]

This shows the breakeven uranium price as a function of the capital cost difference. You see curves for three different forms of ownership because the cost of capital depends on ownership. Our reference case is a regulated utility with low cost of capital and you see the per cost difference of \$200 per kilowatt and all the other values set to their reference values. The breakeven uranium price is \$340.

But even if the cost difference is zero, even if breeder reactors cost the same as light-water reactors, the breakeven price is still \$130 a kilogram, which is a substantial increase over current prices.

The biggest difference is the cost of money. There are also the tax rate and the depreciation.

[COE Premium for FBR]

And this graph shows the difference in the cost of electricity between a fast-breeder reactor and a light-water reactor with direct-disposal as a function of the price of uranium in the difference in the capital cost.

As you can see, if uranium is relatively inexpensive, and if breeder reactors cost more than light-water reactors, the cost difference is significant, maybe about 7 mil per kilowatt hour or roughly 10% higher.

And again in the interest of time, I will skip the next and move on to uranium resources. So from the previous slides we have estimated breakeven uranium prices for central values of our parameters in excess of \$300 per kilogram for both fast-breeder reactors and light-water reactors.

[COE Premium for Cu = \$130/kg]

Even making the most optimistic assumptions that we felt were reasonable for reprocessing, the breakeven uranium price in all cases was greater than \$130 per kilogram.

[Uranium Resources]

And so this leads logically to the question: how much uranium is available at a price of less than \$130 per kilogram and when are uranium prices likely to rise to that level?

The OECD conducts a survey of countries where there are uranium resources that is called the red book, and as you probably know the red book lists about 16 million tons of uranium available at a price of \$130 per kilogram or less.

We believe however that this is a substantial underestimate for several reasons. First, high-cost resources are not estimated in many countries including countries with substantial uranium resources such as Australia and Canada. Because the price of uranium has been low, they feel no need to estimate the amount of uranium available in high cost categories.

Also the OECD includes only those ores, which are economical to mine for uranium only. They don't include unconventional resources where the uranium could be recovered as a by-product of other mining operations.

For example, the extraction of uranium from copper ore has been demonstrated at costs of as low as \$50 per kilogram recently.

Finally and I think most importantly, there has been very little investment in exploration for the last 20 years because the price of uranium has been very low. If the price of uranium rose to the prices that I have been discussing here, \$230 a kilogram or more, there would be substantial new investment and exploration and I am confident that additional substantial resources would be discovered.

[A Very Rough Estimate of Ultimately Recoverable Uranium Resources]

To give a very rough estimate of how much uranium might be ultimately recoverable at a given price, we use the fact that the red book gives 2 million tons of uranium available at about the current price which we think is a very reliable number and then extrapolate from that level based on a given long-term price elasticity of supply.

To illustrate this idea, one person who is very knowledgeable in the uranium industry has stated that a doubling of the price from the present level could be expected to create a tenfold increase in measured resources. So if there are 2 million tons available at \$40 a kilogram, according to this reasoning, there should be 20 million tons available at \$80 a kilogram and 200 million tons available at \$160 a kilogram.

[Deffeyes and MacGregor (1980)]

One of the few serious attempts by geologists to estimate the ultimately recoverable amount of uranium was by Deffeyes and MacGregor at Princeton University and they concluded that on average a tenfold decrease in ore grade is associated with a three-hundredfold increase in the available resource.

[Recoverable Resources]

If we merely assume that price is inversely proportional to ore grade because if you mine twice as much ore, then the cost of mining would double; we can use this relationship also to estimate the amount of uranium that might be ultimately extractable at a higher price.

The Gen-IV working group used a similar method to estimate uranium resources at various prices based on various US mining techniques. And you see the results here. If in each case we assume that there is two million tons available at less than \$40 a kilogram. The red book lists 16 million tons available at less than \$130 a kilogram. But using these extrapolations, we see resources of 35 to 40 million tons or higher.

[IIASA/WEC Global Energy Perspectives Nuclear Electricity Production Scenarios]

How long will these relatively low cost uranium resources last? To gain insight into this question, we used several scenarios of future global energy production developed by the International Institute of Applied Systems Analysis (IIASA) and the World Energy Council (WEC). Some of these scenarios included policies to mitigate carbon dioxide emissions that made these policies made nuclear electricity significantly more attractive.

[Cumulative Uranium Consumption LWRs with Direct Disposal (19 tU/TWh)]

So we took these scenarios of nuclear electricity production and asked what would cumulative uranium consumption be if all of this nuclear electricity were supplied with a once-through fuel cycle?

And you can see that in the highest consumption scenarios we reached the red book level of 16 million tons of uranium, it is actually 17 million tons if you include the already mined uranium. We reach the red book level in about 75 years

If, however, as we believe it is more reasonable to assume, that there is at least 35 to 40 million tons available at a cost less than a \$130 a kilogram, then even in the highest nuclear energy scenarios, there would be no danger of running out of uranium in the next 100 years.

And of course in the lower growth scenarios there is no danger of running out of uranium even at the lower OECD estimates of total resources.

[Other Considerations]

As I mentioned earlier, there are other considerations, other non-economic considerations. I will just mention these briefly. In the United States a key factor that has led to the recent re-examination of reprocessing is the desire to maximize the use of space in geologic repositories.

There are also concerns about energy security, concerns about the impact of fuel cycle choice on non-proliferation and concerns about the public and environmental health impacts of fuel cycle choices.

[Repository Space]

The Advanced Fuel-cycle Initiative in the United States was started primarily as a way of investigating whether the capacity of the Yucca Mountain geologic repository could be

expanded through the use of reprocessing and the disposal just of high-level waste.

There is much confusion about this in the United States. Probably, the most important thing to note is that recycle... reprocessing and recycle in light-water reactors will have no effect, no beneficial effect on the capacity of repositories because of the buildup of minor actinides particularly, americium 241, which actually increase the decay heat of the waste per kilowatt hour of electricity produced.

The capacity of a geologic repository can be increased substantially only if the minor actinides are recycled and that is possible only if fast reactors are used which can consume the minor actinides.

And the important thing to note about this option is that in this case reprocessing and the fabrication of core fuel would be even more expensive than in the base cases described earlier for a fast reactor.

For example the Gen-IV group estimated that both reprocessing and core fuel fabrication would about double with full recycle of minor actinides.

In this case, even if uranium is very expensive and even if fast reactors cost no more than light-water reactors, there would still be a substantial cost premium for fast reactors with full recycle of minor actinides.

[Energy Security]

An argument that I understand has been important in Japan historically is the desire to make efficient use of uranium resources and the worry that uranium might not be available at low prices to Japan on the open market. But in the intervening decades the uranium market has changed quite dramatically not only have prices fallen, but there are now a much larger number of suppliers, major suppliers. These are just the major suppliers for the United States include Canada, Australia, Russia, Kazakhstan, Uzbekistan, South Africa and now Brazil are all major suppliers of uranium and so I expect that for a long time to come uranium will be available at reasonable prices on the world market.

But if there is concern about the security of uranium supply, Japan could establish a strategic uranium reserve much as the United States has established a strategic petroleum reserve. And the cost of establishing such a reserve would be substantially cheaper than reprocessing as a way of securing uranium supply. For example, a charge of one mil per kilowatt hour of nuclear electricity would be sufficient to fund a 20-year

supply of uranium. I should have said 20 years at current rates of use.

[Nonproliferation]

As my final point, I would mention the non-proliferation considerations, which for many Americans have been perhaps the most important consideration in the choice of fuel cycle.

As you know, the United States adopted a policy of once-through fuel cycle in 1975 primarily for this reason to discourage reprocessing worldwide.

There are several concerns here. Concerns related to the growing stockpiles of plutonium from reprocessing in.

Concerns about the ability to safeguard plants, to meet IAEA safeguard standards. It is my own view, that it is impossible to meet the IAEA standards of timely detection of a significant quantity of plutonium at large reprocessing facilities.

And it is inevitable that even in a modern facility such as Rokkasho equipped with the very best safeguards technology that there will be significant inventory differences.

And finally and maybe most importantly, there is the difficulty of maintaining a discriminatory policy that certain countries, responsible countries like Japan are allowed to reprocess while other countries, more questionable countries, like South Korea are not allowed to reprocess. This will be a constant source of discomfort and tension for other countries.

That concludes my remarks very... thank you for your attention and I look forward to your questions.