

Plutonium

1994 Spring No. 5



オピニオン

核武装で不要になったプルトニウムの利用に
みんなの知恵を出そう

インタビュー

わが国において本当にプルトニウム利用は
必要なのか

シリーズ・プルトニウム

軽水炉におけるプルトニウム利用と課題

冥王星

カード遊びをする人たち

CONTENTS

Plutonium

1994 Spring No.5

オピニオン	1
核武装で不要になったプルトニウムの利用に みんなの知恵を出そう	
今井 隆吉	
シリーズ・プルトニウム 6	2
軽水炉におけるプルトニウム利用と課題	
金子 孝二	
インタビュー	9
わが国において本当にプルトニウム利用は 必要なのか — 鈴木篤之教授に聞く歴史と課題	
シリーズ・プルトニウム 7	13
MOX燃料加工技術の現状	
木村 雅彦	
冥王星 ⑤	17
カード遊びをする人たち	
後藤 茂	
サイクルシリーズ	18
わが国のウラン燃料成型加工	
Letter	20
米国クリントン政権のプルトニウム政策 のゆくえ	
平尾 和則	



表紙の写真 静岡県浜岡町の茶畑

茶畑の支柱に取り付けられた防霜ファン

このファンを回して、明け方の地表付近の冷気を吹き飛ばし、新葉を霜から守る。

静岡県の新茶、2万トン、600億円がこのファンで守られている。

核武装で不要になったプルトニウムの利用に みんなの知恵を出そう

日本が核武装に手を付けるのではないかと一部に噂が立つようになって、否定してもなかなか解ってもらえない感じがある。アジアの中で中国が核保有、インドが最初の核実験をしてから20年になるし、パキスタンの核は規定の路線、イランから北朝鮮まで核疑惑というご時世に、国力が桁違いに大きい日本が核を持つとうとして当然といった気風の中だから、釈明といっても容易でない。自動車からエレクトロニクス、コンピュータから情報産業、ハイテク大国である上に高速増殖炉「もんじゅ」の完成に加えて、「あかつき丸」でプルトニウム輸送の大騒ぎがあり、最近では種子島で大型ロケットの打ち上げに成功、大気圏再突入できる「日の丸シャトル」まで手を延ばしている。貿易摩擦でアメリカの核の傘は当てにならない上、北朝鮮がプルトニウムを抽出して、IAEA査察と揉め事を起こし、日本海に向けて労働1号ミサイルを発射するなど、日本を取り巻く情勢は騒然としている。

その一方で、アメリカとロシアの核兵器解体はあまりすんなり進んでいない。紀元2003年までに其々核弾頭を3,000発までに減らすというのだが、何しろうっかりすると広島、長崎の何十倍かの核爆発、そこまで行かずとも、1発の取り扱いを間違っただけでチェルノブイリ級のプルトニウム汚染を引き起こす。核兵器を組み立てた工場に戻して、慎重に解体すると年間2,000発が限度だというから、いくらうまく行っても全部が片付くのは15年ぐらい先の話である。冷戦が終わって米ソのあからさまな核の対決は解消したとはいうものの、過去に積み上げた兵器の始末が全部安全になされるまでの間、ロシアも中国も国内政治の安定が保たれるかどうか、かなり頼りない状態である。日本核武装論というのも、日本がどうかというよりも、世界的に冷戦後の核に対する不安感の強いあらわれであろうし、それだけにいくら理屈で説明してみても「何だか納得が行かない」「心配が残る」という事なのであろう。

日本としても「誤解をするのは相手の方が悪い」で済ませてられない時代になってきた。冷戦が終わり、核の対決が終わり、超大国が次第に普通の大国になってきたという事は、日本も昔風な言い方をすれば「列強の一つ」であって、冷戦時代のようにアメリカが何かと庇ってくれるのではなくなくなった。自分の事は自分で始末するのは元より、他人のしでかした不始末の面倒も先に立ってみてやる責任が出てくる。プルトニウムはいわばその種の話の一つで、米ソが核軍備競争で夢中になって何百トンと作り出した兵器級の(239同位元素が95%もあるような)プルトニウムを、どうしたら良いかわからずに八つ当たりを始めたのに、何かと日本が先に立って世界に方向付けをする責任が生じているのだと考えた方が処置しやすい。早くそう気がついた方が勝ちなのである。

事の性質上、核兵器の技術に立ち入らざるを得ない。そこを「作らず、持たず、持ち込まず」の非核三原則の精神の中で処理しなければならない。239同位元素が70%程度の原子炉級のプルトニウムで仮に核爆発装置を作っても、1) 爆発力の予測がつかない、2) 時間とともに劣化する、3) 大型で重くミサイルの弾頭には使えない。つまり、世間を騒がす事にはなっても、近代国家の兵器ではないのである。最近ではアメリカでもローレンス・リバモア研究所が限定配布の資料で説明をしているが、もっとこの点をはっきりさせるべきなのである。つまり、北朝鮮やイランが1、2発作って世の中を騒がすのには向いているかも知れないが、日本のような国が武装する手段ではないのである。

239が95%のプルトニウムを量産する手段は日本にはない。もしそんな事を始めれば、それこそIAEA査察がすぐに見つけてしまうだろう。プルトニウム爆弾から更に進んで核熱兵器を開発するのに協力する科学者、技術者は日本にはいない。H2ロケットが1発あっても核ミサイル戦力にはならない。米ロは其々

1,000発以上、中国ですら10発以上の大陸間弾道ミサイルを備えている。原子力潜水艦が海中発射するミサイルが無くては抑止力にはならない。だいいち攻撃すべき相手の目標を捉える人工衛星、他国の核ミサイルを探知する早期警戒衛星なども取り揃えなければならない。それが簡単に出来るくらいなら、アメリカがいま一所懸命売り込みにかかっているTMD(戦域ミサイル防衛体系)などに予算を付ける必要はないはずである。日本が核戦力を持てる筈がない事を一番良く知っているのはアメリカ国防省である。

核保有を秘密裏に進めるのが難しいもう一つの理由が、かなり大がかりな保守点検が必要な事である。起爆用の電池はきつと時々取り替える必要があるだろう。部品が腐食したり、半減期の短い材料が使ってあったりして、核兵器はミサイルの先端につけて野ばなしにしておくのではなく、常時アメリカではテキサス州アマリロの、ロシアではペンザかどこかの工場に持ち込んで手入れをしている。つまり、かなりの規模の核兵器産業が付随していないと、突然として核が独立に存在はしない。米ロ間のSTART条約で核弾頭を其々3,000発までに減らすと言ってもそれから先に話が進まないのは、技術的に辻褄のあう話にならないからである。

ペルシャ湾岸依存度がこれだけ高い日本が、将来に備えてプルトニウムの産業利用の技術を確認しておくというのは、当初の計画から大分遅れたとはいえ、それはそれで立派である。だからといって「他人のエネルギー政策に口を出す」の一本槍では、あらぬ疑いの目を向けられるだけかも知れない。世界はもっとと重大な非核の世代に直面しているのである。アメリカやソ連が作った問題にも先だって回答を出してやるべく、日本の人材と資源を振り向けるのがこれからの原子力政策なのであろう。

今井 隆吉

(社)原子燃料政策研究会理事

元ジュネーブ軍縮会議特命全権大使

軽水炉におけるプルトニウム利用と課題

金子 孝 二

電気事業連合会
原子力部長

わが国のプルトニウム利用は平和利用に徹していますが、最近、これに関連して海外から日本が核兵器開発をするのではないかと懸念が頻繁に表明されています。わが国はこれから準国産エネルギーであるプルトニウムの平和利用に本格的に取り組むことになっておりますので、わが国の考え方が国内外に正確に伝わるのが重要であると考えています。今回はそのプルトニウム利用を行う電力会社の担当者の一人である電気事業連合会原子力部長の金子氏にその計画について本音のお話を伺いました。（編集部）

プルトニウムの利用は原子力 平和利用開発当初からの方針

プルトニウムを使うことについては、既に昭和50年代初めからの日本の政策そのものにおきまして、軽水炉の次にFBRを導入してプルトニウムを使っていくという路線を確立しているわけです。さらに遡れば昭和30年代の原子力開発が始まったときから、ある意味ではプルトニウム路線というのは規定されていたと私ども電力会社としては考えております。

ご承知のように、アメリカは、今では原子燃料の使い方がワンス・スルーということで、路線そのものが日本の路線と違うと言われておりますが、そのアメリカの路線が最終的な解決策ではないということもまたはっきりしております。

また、アメリカの路線において、プルトニウムそのものを含んだ使用済燃料をどう処分するのか、本来まだ使えるウランとプルトニウムをそのまま地中に埋めしてしまうということでもいいのかどうか、といったような基本的な問題があります。

今の日本の路線が難しいからといって、

ではアメリカの路線に乗りかえるなどという安易な方法をとりますと、何の解決策にもなりません。日本の路線は難しいけど、アメリカの路線だって先が明確ではない。やはり日本は、自分が選んだ路線に最終的にはアメリカも戻ってくるのではないかと確信を持って対応していくべきなのかなと考えております。

わが国は余剰プルトニウムを 持たない！

具体的なプルトニウムのバランス論というのが、今政策の面でも大いに議論になっているので、ちょっとこの点について申します（図1）。

今後、海外で30tのプルトニウムが回収されることになっています。2010年までに、国内外の累積で約85t～90tのプルトニウムが出てきます。この85t～90tのプルトニウムを余らないように使えるのかという議論があるわけです。当然わが国の方針として、余剰なプルトニウムを持たないということが、再三、国のベースで言明されているわけです。

そこで、今現実には電力会社はどのぐらいのプルトニウム（分裂性）を持ってい

るかということですが、フランスに約2t強、イギリスに約900kg弱です。

これは1993年末の量ですが、これが今後どうなっていくのかというと、まずフランスの再処理が既に本格的に始まっておりますので、1年間で大体プルトニウムの量が1t～1.5tぐらいずつ増えていくと予想しています。

イギリスではまだ再処理は始まっておりません。ご承知のように、まだBNFL社（イギリス原子燃料会社）の再処理工場の「THORP」が動いておりませんので（1994年1月17日に試運転を開始）、この900kgのままです。しかし、イギリスも

(1) 2010年までの生成量	～85t
・東海再処理工場	～5t
・六ヶ所再処理工場	～50t
・海外再処理委託	～30t
(2) 2010年までの消費量	80～90t
・「常陽」および「もんじゅ」	12～13t
・ATR原型炉「ふげん」	～10t
・FBR実証炉	10～20t
・軽水炉MOX	～50t

*原子炉では、Puを生産しながら、Puが自動的に燃えており、今まで既に80～90tのPuを燃やしてきたと推定される。

図1 わが国のプルトニウム・バランス

1994年初めから再処理が動き出しますと、初めは年間500kgぐらいかもしれませんが、いずれにしろ年間1tぐらいずつは出てきます。最大の年で、恐らくフランスとイギリスを足しますと、毎年3tぐらいのプルトニウムがわが国のものとして回収されると思います。

ただ、これはフランスとイギリスの会社がどのように工場を操業するかということにかかっているわけで、計画ではフランスが800t、イギリスが800tの使用済燃料を毎年処理することとなっています。日本の使用済燃料の再処理は、両方合わせましてもせいぜいそのうちの400t～500tぐらいかと思います。いずれにしても、フランスとイギリスで、合計1,600tの処理能力があるわけです。これは日本だけではなくて、ドイツ、スイス、ベルギー、それからスウェーデンの一部の使用済燃料の再処理も含んでいるかと思いますが、そのようにヨーロッパの各国のものも入っているわけです。

いずれにしても、日本国内ではプルトニウムはまだ溜っていないということです。海外にお願いしている再処理が契約に従って処理されると、海外にプルトニウムが溜まりだしますが、少なくとも2000年過ぎまで、青森の再処理工場が動き出すまで、国内ではプルトニウムの余剰は生じません。この点が重要なことだと考えております。

国内では、動燃事業団（動力炉・核燃料開発事業団）が東海村の再処理工場、1年間に使用済燃料を70t～90t処理すると思います。それにより400～450kgぐらいのプルトニウムが動燃事業団・東海再処理工場から出てくるわけです。

しかし、これは今、動燃事業団が計画しております「もんじゅ」（高速増殖原型炉）、あるいは「ふげん」（新型転換炉）、

「常陽」（高速増殖実験炉）の既にある炉で計画的に使われてしまい、それでも足りないので、先般「あかつき丸」で運んできたわけです。

従いまして、2000年過ぎまで国内にプルトニウムは溜まりません。では、なぜ今電力会社がプルトニウムを軽水炉で使う（プルサーマル利用）と言っているのだということになるわけです。それは、2000年ごろから青森の工場が動き出しますが、その時になってプルトニウムを国内で利用しようと言っても間に合わないのです。こういう問題は、リードタイムが結構必要ですから、今からプルトニウムを利用することとして計画し、しかも使っていないと、2000年になって再処理工場が動き出し、プルトニウムが出てきます、すぐ使いますなどというわけにはいきません。

他方、プルトニウムが海外で回収され始めているので、国内の研究開発で利用するプルトニウムを補充するために、その一部は先般「あかつき丸」で持ち帰りましたが、残りのものについては、フランス、イギリス、ドイツ、ベルギーのどこかの工場にお願いして燃料に加工し、日本に持ち帰る計画です。そのようにして、フランス、イギリスの再処理工場からできてくるプルトニウムを計画的に使用するステップを1990年代の後半から始めます。青森の再処理工場が本格的に立ち上がる2005年ごろには、処理量が本格的操業ベースの800tになります。そのときには、すでに先行してヨーロッパから持ち帰ったプルトニウムの量の規模が、年間約3tぐらいになっていると思います。この段階では海外からのプルトニウムはほぼ使い切ってしまうので、青森の再処理工場からのプルトニウムに切り替えていきます。

それがよく言われております軽水炉で約10基～12基規模という数字です。

わが国のプルトニウムはFBR、ATRそしてLWRで全て利用

日本のプルトニウムの量が過剰だとよく言われますが、これは二つの角度から議論をされています。一つは核不拡散の観点、日本がプルトニウムを過剰に持っているのではないかということです。今はそうではなくても日本にそういうものを持たせることは、将来、政治的、軍事的に問題となり、それにより、周りの国も持ちたがり核拡散につながる。これが大きな反発の理由です。

もう一つは、使えもしないプルトニウムをいっぱい溜めて、それを日本人が使うにしても経済的に高くつくだろう。ただ溜めておくだけでどうするのだというものです。

この二つの議論で、政治的な第一の論点に関しましては、これは少なくとも2000年過ぎまではプルトニウムは日本の電力会社あるいは日本政府のコントロール外にあるわけです。現在アメリカの反対派などは、特にその一番目の核不拡散に重点を置いて反対を展開しているわけで、先ほど話しましたように、少なくともこれから2000年の初めまで、日本国は、電力会社にしろ、政府にしろ、余剰のプルトニウムを国内では持てない、持っていないということです。

では、イギリスやフランスに置きおくことも余剰ということになるのではないかということに対しては、やはりきちんと使っていく段取りを講じなくてははいけないわけで、確かに保管するだけでも金をとられるわけですから、計画的に使っていかなくてはなりません。では、プル

トニウムを使っていくというときに、電力会社がしなければならない問題についてお話ししたいと思います。

繰り返しますが、核不拡散という観点からの議論では、率直に言って、今手元にプルトニウムが無いということをはっきり海外の方にも知ってもらわなければならないということです。少なくとも日本がフランスからプルトニウムを持ち帰って保管しておけば、これを何かに使うだろうと言われるかも知れませんが、そもそも軽水炉で回収されるプルトニウムを使って核をつくるかどうかです。世界でもそのような例はどのようなもので、外国の例にみられるとおり、国がその気になれば、技術的にはもっと簡単な方法で兵器用のプルトニウムが回収できるわけですから、軽水炉のプルトニウムを使って核をつくらうという無駄なことはありません。ただ、どんなプルトニウムでも、あれば疑われるということだと思えます。

いずれにしても、核不拡散議論は極めて政治的ですが、実態的にはわが国はこれから、少なくとも国内で余剰なプルトニウムは2000年過ぎまで無いということです。2005年過ぎには、確かに青森で800tのフル操業に入ると約4t～5tのプルトニウムが出てきますから、これを使わなかったら国内に溜まってしまいます。そのことを考慮して、先行的に海外で今生産してもらっているプルトニウムを、1990年代後半から本格的に使い始める計画です。現在ではそのプルトニウムを一番大量に使えるのは軽水炉ではないかと考えているわけです。

すなわち、動燃事業団のFBRの「もんじゅ」とか「常陽」、あるいはATRの「ふげん」の研究開発での使用と併せて当然その利用を進めていきます。一方で、海

外で累積してきているプルトニウムを、まず今から国内で使う段取りをつけておき、2000年過ぎに青森の工場が本格化したときは、その生産される規模で使っていけば青森の工場からプルトニウムはきれいに使っていける、こういうシナリオを書いています。

そこで、軽水炉によるプルトニウム利用、これが1991年の8月に原子力委員会の「核燃料リサイクル専門部会」で、今後の利用計画をどうするかという議論がなされました。軽水炉でのプルトニウムの利用について、私どもが電力会社の中でメーカーと検討しております結論からいいますと、既存の軽水炉—PWR、BWR—において燃料全体の内の核分裂性ウラン（ウラン235）の4分の1とか3分の1をプルトニウムで代替するということです。ウラン235が4分の3あるいは3分の2で、核分裂性プルトニウムが3分の1あるいは4分の1という燃料構成になります。

今の既存の原子炉でのプルトニウム燃焼のコンピューター解析や試験により、ウラン燃料を燃焼し、コントロールしているのと同じ状態で現在の炉が使えます。特段、制御棒とか、あるいは制御関係の措置を追加しなくていいというのが、既に10年以上前に技術的にはっきりしております。一方で、ドイツが1970年代から既にプルトニウムを使って発電所を運転しておりますが、その実績、経験もありますし、1989年からフランスでも相当本格的に使っているなど、実際に各国の発電所で使われた実績も多くあります（表1）。

また、ウラン燃料だけでも、原子炉を運転すれば必ずプルトニウムが生成されて、それがまた分裂しエネルギーを出しています。ですから、プルトニウムを初め

表1 MOX(混合酸化物)燃料の使用実績(1991年まで)

国	炉型	プラント数(基)	累積量(体)
ドイツ	PWR	7	226
	BWR	3	178
フランス	PWR	6	214
スイス	PWR	2	92
ベルギー	PWR	1	153
オランダ*	BWR	1	7
スウェーデン*	BWR	1	3
イタリア*	PWR	1	8
	BWR	1	62
	ATR	1	432
日本	PWR	1	4
	BWR	1	2
アメリカ*	PWR	3	24
	BWR	3	73

* 現在休止中

から入れなくても、今使っている原子炉、全部で45基が動いているわけですが、その原子炉の中で生成されたプルトニウムが燃え、そのプルトニウムにより3分の1に当たる電力を発電しているということです。

地元の了解が先決

そうすることで、一定量のプルトニウムを軽水炉で使っていくことに技術的な問題は無いということにははっきりしておりますが、しかし、これが各地の原子力発電所で使うということになりますと、幾つか大きな問題がありまして、苦勞をしているところです。一つ目の大きな問題は、まず発電所のある地元での説明です。昭和62年に前回の原子力の長期計画が出ましたが、昭和61年にその原子力長期計画のための本格的な議論があったわけですが、それにより前回の長期計画には、PWR、BWR80万kW級以上の原子炉各1基で、プルサーマル（軽水炉でのプルトニウム燃料の利用）の実証的な燃焼、実証



金子 孝二 氏

試験を行うとの表現が入りました。したがって、62年の長計に盛り込まれたということは、60年、61年にそういう議論があり、その段階で一部の電力会社により非公式な地元への対応がなされています。

今回またプルサーマル計画が出てきているわけです。それは、さっき申しました1991年8月の「核燃料リサイクル専門部会」の報告が出ましたので、当然今検討している長期計画に合わせて、プルトニウムを軽水炉で使うことを進めようと幾つかの電力会社が計画しています。

計画を進めるためには地元の了解を先に得なくてはなりません。燃料加工とかを先にヨーロッパで進めたらどうかという意見がありますが、ご承知のように、プルトニウム燃料を使うためには、原子炉等規制法に伴う設置変更許可申請の手続きをしなくてはなりません。その許可を得る前からプルトニウム燃料を作ってしまうことはできませんので、したがって、まずこの炉でヨーロッパで加工した燃料を使いますということについて、地元のご了解を得て変更許可申請を行い、許可を得なくてはなりません。

いずれにしても地元の同意がきわめて大切であります。別に新しい炉を建設す

るわけではありませんし、現に今の炉でプルトニウムは燃えているのですから、十分ご説明すればご理解いただけるものと考えております。

プルトニウムの加工はヨーロッパの4工場のどこかで

次が、海外でのプルトニウム燃料の加工問題です。今国内にプルトニウム加工工場は、動燃事業団の加工施設以外にはありません。しかし、今からプルトニウム燃料を使う経験を積んでおかないと、2000年過ぎに青森の再処理工場が動いたときの燃料の利用を軌道に乗せられません。そのために海外で再処理をお願いしているものを少しずつ海外で加工し、持ってこようと思っております。そしてそれを計画的に原子炉に入れていく、できれば2基から始めて、1991年の計画段階では「1990年代末に4基」と言っていたのですが、今ちょっと遅れぎみですから、むしろ数基をさらに増やさなければならぬと思います。

海外で加工をお願いする工場は、現在4カ所考えられます。一つは、経験が豊富で相当量プルトニウム燃料を生産している、年間の製造能力40tのベルギーにあるベルゴニュークリア社です。デッセル工場と言っています。この工場は今もフル生産をしています。ここはまだ増設の余地もあり、日本が本当に注文するなら増設してもいいと言っています。

次の工場が、ドイツのハナウにあるシーメンス社のハナウ工場です。この古い工場は、現在ちょっとトラブルを起こし止めています。生産能力が年間約35tでした。それで新工場を横に作りました。120tの製造能力のある新しい工場ですが、州政府との間でこじれていまして、できたまの状態で棚上げになっております。

州政府の政権はSPD（社会民主党）です。連邦政府は運転してもいいといっています。したがって、ドイツにはプルトニウム加工工場が1カ所あるけれども今は使えないということです。1994年の10月の総選挙後に、少なくとも以前からある古い工場は動かすだろうと言われていいます。しかし、新工場は10月の総選挙後の結果を見ないとわかりません。

イギリスは8tの小さな工場を、日本の加工を考慮して、建設いたしました。これはイギリスのセラフィールドに、今問題になっているTHORP再処理工場の横につくったわけですが、これを1996～97年ごろに50t工場に格上げしたいと計画しているようです。ですからイギリスの工場がもうまもなく製造に入れるぐらいになっているのではないかと思います。

それからフランスですが、フランスはFBRの燃料をつくる小さい工場をもっており、その一部を軽水炉燃料用に転換しましたが、今は製造していないと思います。現在、メロックスというところに最終規模が120tになる工場をつくっておりまして、相当進んでいます。写真で見ますともうでき上がったぐらいの状況です。

したがって、ベルギーの工場は今フル生産、ドイツはできているけれども動かない、イギリスは動かせるけど小さい、フランスは今建設中であるという状態です。日本はその4カ所のどこかに頼むしかないので。

しかし、また別の問題があります。当然のことですけれども日本国政府の立場は、日本の電力会社がフランスに持っているプルトニウムをベルギーに移すときは、ベルギーがこれを軍事転用しないという担保を政府としてとらなくてはなり

ません。したがって、ベルギーと日本政府の間に原子力の利用にかかわる協定がなくてはなりません。同じくドイツとわが国の間でも同様に、ドイツとの原子力協力協定も締結する必要があります。

いずれにしてもわが国は、イギリス、フランスとは協定がありますから大丈夫です。この2つの国ならプルトニウムの加工はいつでも可能ですが、ほかの国で、特に今一番あてになるベルギーということになりますと、政府間協定の締結が必要です。現状ではイギリス、フランスで加工をお願いするののかということになるわけですが、いずれにしても、条件整備がちょっと手間取りそうです。

それから、もう一つは、海外での加工ということになりますと、日本の燃料加工技術、特に軽水炉の燃料加工技術はアメリカの技術が中心で、フランスとかイギリスに加工を任せると、わが国の仕様に従って作ったとしてもそれぞれの国の加工技術に違いがあるわけです。日本の電力会社としては、日本のウラン燃料の加工の品質が極めていいだけに、その技術的なレベルを維持してほしいわけです。また日本の使っている炉そのものがアメリカからの技術導入の炉ですので、その炉に合った燃料でなくてはなりません。

いずれにしても、満足のいくプルトニウム燃料を作るためには、加工上の技術的なことでヨーロッパのメーカーとわが国のメーカーが何らかの契約、あるいは相当慎重な話し合いが必要なわけで、これは実際にメーカー間で直接進めております。一番重要な点は、でき上がったプルトニウム燃料の品質のレベルが、今の日本のウラン燃料と同レベルでないと、持ち帰って安心して使えないということです。これについては相当長い時間を要して、もう3年以上にわたって、実質的

に各日本のメーカーが海外のメーカーと話し合いを進めている経緯があります。

わが国の発注がヨーロッパの価格に影響？

三番目の問題は、経済性の問題です。電力会社が海外にプルトニウム燃料の加工をお願いしますと、その製品（燃料集合体）は4メートルぐらいの構造物になります。軽水炉の燃料集合体は、その長さがBWRもPWRも大体4メートルですが、太さはPWRの方がBWRより太い構造です。BWRのケースでは、ウラン燃料の集合体で、原料費も含めて1体が約5,000万円です。あの1体で立派な家が1軒できてしまうのです。100万kW級の原子力発電所の1基で、一番最初に発電所を動かすときは760体ほどの燃料集合体を入れるのですが、1体を約5,000万円としますと、合計で約三百数十億円分の燃料となります。そうしますと、全体的には毎年一部を取り替えていきますが、約4年にわたって動くわけです。いずれにしても、海外のメーカーにとっては、プルスーマル燃料の加工は大変いい商売になるわけです。

ところが、日本が加工をお願いすることと、ヨーロッパのプルトニウム燃料加工のマーケットの値段が上がってしまう可能性があります。プルトニウム利用については、よく経済性の議論がされるのですが、スイスに言わせると、「プルトニウム加工費が最近の日本からの受注が入るといって上がってしまった。スイスでは1990年時には十分MOX燃料でウランと太刀打ちできたのに、これから心配だ。」と、日本がヨーロッパのメーカーに発注することによって価格が上がってしまいそうだとされておりまして、こちら辺もちょっと気をつけなければいけな

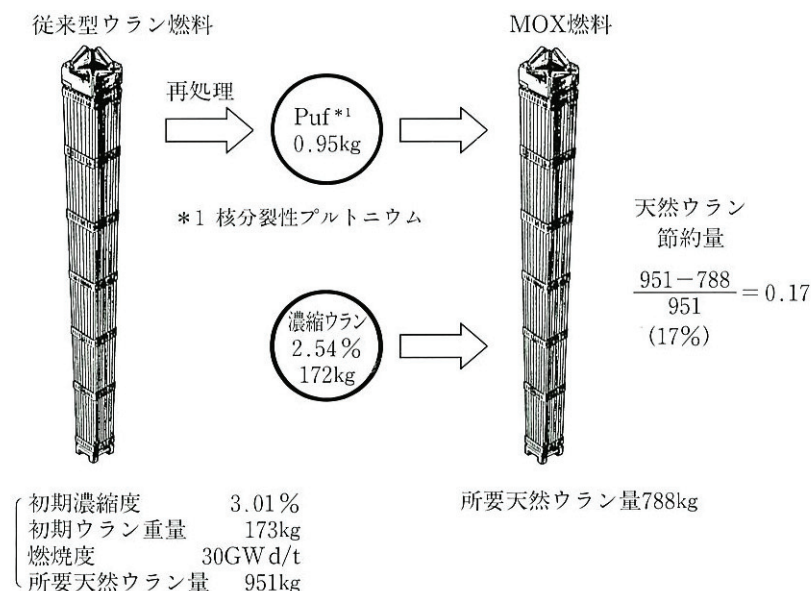
いと思います。

燃料輸送には品質維持とテロ対策

いずれにしても、4メートルもある大きな燃料集合体を何十体も船で積んで持ってくるのですが、こればかりは船にそのまま縛って乗せるわけにはいきませんで、それを入れる容器をつくるのです。私どもが考えておりますその容器は、4メートルの燃料集合体を相当数入れられる物で、キャスクの重量が約80t～100tぐらいになると思います。直径が2メートルぐらい、長さは5メートルの入れ物です。

プルトニウム燃料の場合はウランに比べてちょっと発熱量が高いのです。その容器の中が熱くなるわけです。承知のようにヨーロッパから持ってくるためには、船で40日ぐらいかかりますので、そのままでは中に熱がこもってしまいます。プルトニウム燃料集合体の輸送には、二つ問題がありまして、一つは、発熱に対して燃料集合体の健全性が保てるか、集合体の品質に変化がないか、それからもう一つは、長いものですから輸送中に歪まないか、ということです。自重で少し歪んでいたりしますと、使いにくくなってしまいますからです。

したがって、輸送というのも容易ではありません。ヨーロッパから持ち帰るというだけでも、大変技術的な開発が必要なのです。容器には、中の燃料の健全性を維持し、燃料集合体に変型しないように押さえ込むための各種の機器、バスケット等を開発するなど、大変な手間がかかります。したがって、海上輸送につきましては、輸送容器、船の構造等、それを開発するための大変なリードタイムが必要です。これらの開発は既に内々に先



100万kW級原子力発電所でMOX燃料を1/3炉心装荷すると年75tのウランの節約になります。

100万kW級原子力発電所12基に装荷すると900tの節約となります。これは、2000年時点での年間所要量13,500tの6.7%です。

図2 プルサーマルによるウラン(U_3O_8)節約量

行して5年ぐらい検討してきました。ちょっとヨーロッパに製品を注文して、できた製品を簡単に輸送するというわけにはいかないのです。大変なリードタイムで準備をずっとしてきて、やっと今いろんな条件が整っているということです。

日米原子力協力協定のもとで、「あかつき丸」のときは動燃事業団が大変苦労しましたが、プルトニウムの燃料集合体は電力会社が輸送して持てようとしています。プルトニウム燃料集合体の中の燃料ペレットの中のプルトニウムは、重量で最大で6%程度、したがって残りの約94%はウランです。ただ、燃えないプルトニウムも入っていますから、実際のプルトニウムの比重は8%程度になるかもしれませんが、分裂するプルトニウムでは6%程度が最大です。

電力会社にしてみますと、プルトニウムの割合が低いことから、輸送はプルトニウムの粉末の時ほどでなくてもいいの

ではないかと言いたいところなのですが、これがなかなか難しいようです。

いずれにしても、アメリカは、どういう形態にしてもプルトニウムがちょっとでも入っていたら、輸送はプルトニウムの輸送であるというスタンスだと思います。ここら辺がどういうふうにかこれから話し合いがつけられるかということが、一つ大きな問題です。

2000年過ぎには15基ほどが プルトニウム燃料を利用

ではプルトニウムをどの程度まで軽水炉で使うのかということですが、やはり100万kW級の原子力発電所で使うとしますと、100万kW級で1年間に350kgのプルトニウムが使われることになります。3t使用するというと10基、あるいは多くて12基になります。ただ、実態的には、画一的に3分の1とか4分の1という入れ方をしませんので、例えば6分

の1、8分の1というように、発電所によって使う割合が違うと思いますので、利用する発電所の基数は多くなると思います。2000年過ぎの時点で、おそらく12基ではなくて、私は15~16基ぐらいで使われるようになると思います。

いずれにしても、その時点で、日本全国の原子炉は50基以上動いているはずですので、10基だとすれば5基に1基、仮にこれを極端に20基で使うとしたら、5基に2基というようなことになるわけです。どう計算しても、20基で利用するようなことになるとプルトニウムは足りなくなってしまいます。

もう一つ、燃料の技術的な面ですが、ヨーロッパはPWRでプルトニウム燃料を使っておりまして、BWRの経験が非常に少ないわけです。BWRとしてはドイツで一部プルトニウムを利用した実績があります。日本は、PWRとBWRの基数がちょうど拮抗しておりますので両方で利用する計画ですが、BWR用のプルトニウム燃料の方が経済性という点でPWRに比べて燃料加工上難しい面があるようです。

プルトニウム加工はウラン加工 価格の2倍強に抑えたい

いずれにしても、ヨーロッパに日本のプルトニウムがあるのは、現在から2000年過ぎまでで、それまでには全部使い切ってしまうつもりです。その後は、青森の再処理工場から分離されるプルトニウムのために、国内に相当大きな加工工場をつくることになります。今考えているこの工場の規模は、すでにドイツとフランスで120tの工場ができていて、あるいはできつつあると言いましたが、仮に軽水炉で毎年3tのプルトニウムを使うとしますと、単純計算では、核分裂性物質

で3tですから、仮に3%の濃度の燃料をつくるとしますと3tの33倍の約100tの規模となります。海外では40tの工場規模で経済的に競争力があると言っていますので、100tの工場でしたら、50tの2系列ぐらいの工場をつくれれば、十分競争力が保てる工場ができるのではないかと思います。

ご承知のように、日本の原子力施設は、発電所であっても今建設中の再処理工場にしても、海外と比べましたら相対的に高い建設費となっています。これはメーカーにもご努力いただかなくてはいいのですが、メーカーの問題ばかりでなく、わが国が地震国であり、かつ海に隣接しているためでもあります。海に面しているということはいろいろ有利なことでもあるのですが、逆に津波の対応も含め、堤防などの護岸対策、その他いろいろな関連施設も必要です。それからさらには、今ご承知のように、施設への飛来物対策ということで、飛行機が墜落したときにそれに耐え得るような対策をもとるといったような、非常に厳しい安全条件での設計がなされますから、天井が重たくなれば壁も厚くなるというように、全体で相当な設備投資が必要となります。

したがって、国内で加工工場をつくったときの海外との価格競争力は本当にあるのかとの問題もあります。しかし、国内で分離したプルトニウムを加工のために海外に持っていくなどということはできませんので、日本国内で必ず加工しなくてはならないわけです。そのため何と

か経済的な面を維持できないかということになります。

先ほど申しました1980年代後半から90年代の初めにかけて、ヨーロッパではMOX燃料の価格について次のような説明をしております。原子燃料の価格構成は、今のウラン燃料で言えば、ウラン原料が価格の3分の1、濃縮コストが3分の1、加工賃が3分の1です。したがって、ウラン原料、濃縮、加工が1:1:1となり、それを足すと3となります。プルトニウム燃料の場合は、プルトニウムと混ぜるウラン原料は天然ウランを使うことにして価格は同じ1で変わりません。濃縮は、これはウラン原料とまぜて薄めるだけですから、したがってゼロになります。しかしその加工費用が少なくとも2倍にはなるため、全体では1:0:2になります。足してウラン燃料と同じ3になります。こんなにうまくいくかなと思うのですが、この1:0:2の2が、2では収まらない、これが3とか4になるのではないかという懸念がなされているわけです。ウラン燃料と同じとは言いませんが、何とかこの加工費用が2倍ちょっとぐらいに収まらないか、というところが私ども電力会社の希望です。

しかし、国内で工場を建設しますから、安全面については設備的に種々の配慮をいたしますから、初めの段階から安くはなることはそんなに期待しておりません。操業を軌道に乗せてからだんだんウラン燃料価格に近づけていきたいと考えてい

ます。プルトニウム燃料は2010年、2020年、2030年の資源ですから、長い目で見ていかなくてはなりません。したがって当面軽水炉で使って、その流れを2020年、2030年ごろに高速増殖炉へつないでいく、少なくとも軽水炉がプルトニウム利用のブリッジになると思っています。そのようなことによりプルトニウム燃料が、核分裂エネルギーとして、将来にわたって日本の電力供給の少なくとも3分の1から2分の1ぐらい担い得るものであり、2080年、2100年に至っては、原子力平和利用のほとんどがプルトニウム燃料のFBRだけになるかわかりませんが、いずれにしても今から推進していかなくてはならないと考え、取り組んでいる次第です。

編集長 日本に資源がないということは、日本にとっては大変恵まれた条件だと思っているのです。なぜかという、とにかく日本がこうやって今日まできているのは、貿易によるわけです。資源があって自分のところだけでやっていけるというのではなく、わが国は買うものと売るものがあって初めて経済が成り立ち、成長するわけですから、その意味では、豊富に資源があると、それに頼っていきたいというのは、これはもう資源大国の原則なわけです。そういう意味で日本というのは、一見恵まれてないようだけれど、資源がないということが、将来の展望の上では、役に立っているのではないかと思います。

わが国において本当にプルトニウム利用は必要なのか 鈴木篤之教授に聞く歴史と課題

なぜわが国はプルトニウムの平和利用を進めてきたのか、さらに進めようとしているのか。現在わが国のプルトニウム平和利用が国際的に注目されている中で、原点を振り返り、原子力開発の歴史的背景からプルトニウム平和利用の問題をとらえ、今後のわが国の課題はなにかを探るため、東京大学工学部教授であり、当研究会の理事である鈴木篤之氏より、率直なご意見を伺いました。（編集部）

プルトニウム利用は技術的観点から考えると自然の流れ

編集部 日本は原子力開発の歴史からみて、いつからプルトニウムの平和利用を考えてきたのかということを、まず最初に伺いたいと思います。

鈴木 原子力開発は、日本に限らず、そもそも原子エネルギーを平和利用してこうと、特に発電用として使っていこうとした当初のころから、プルトニウムを燃料としようとしていたと思います。アメリカが初めに原子力の平和利用の研究開発を始めたわけですが、そのときに一番最初につくった実験用の原子炉というのは、「クレメンタイン」という高速炉でした。それから「フェルミ」という有名な原子炉もちろん高速炉です。

もともと、原子力発電をするならば高速炉でというのが、原子力技術としての考え方になっていたのです。それはなぜかということ、ご承知のように、天然にあるウランは核分裂しにくく、そのままでなかなか燃料になりにくいので、むしろウランからプルトニウムをつくらせて、そのプルトニウムを燃料にしたほうが資源の有効利用という観点からは好ましいというような、純技術論的考え方からだったのです。

ですから、プルトニウムを無理しても使うということでは全くなくて、原子力、特にウラン資源をエネルギーにかえて、しかも電気として使っていこうと考えた

ときに、技術的な観点に立つと、原子炉というものでウランをプルトニウムに換えて、そのプルトニウムを核分裂させてエネルギーを取り出そうとしたのです。これがむしろ原子力開発のそもそもの考え方だったのです。

そういう技術的な考え方がある一方で、原子力船の技術がアメリカで開発されました。原子力船は別に発電を起こすわけではなく、動力源に原子炉からの熱を使うということですが、核分裂しやすい濃縮ウランを使った、いわゆる軽水型の原子炉が開発されたわけです。そうなってくると、アメリカとしては、その原子炉を原子力発電にも使えるのではないかと考え出し、またそのほうが手っ取り早いということになったわけです。それが、軽水炉の発電所になっていったのです。

それでもなおかつ、本来は資源経済的に見ても高速炉のほうが良いと、要するにプルトニウムを主として燃料として使っていくほうが良いという考え方は残っていたわけです。

ところが、1970年代に入ってから、オイルショックも起き、世界のエネルギー情勢が大きく変わりました。アメリカでは1960年代のことを「ゴールデン・シックスティズ」、つまり黄金時代と言っているわけですが、70年代に入ってからそれが陰りが見えてきて、アメリカの経済がそんなに順調な成長を遂げなくなってきました。併せて、電力需要もそんなに伸びない。そういう状況になってきたため、ア

メリカでは高速炉を開発するインセンティブが小さくなってしまったのです。そのようなことが、アメリカにおいてプルトニウムを利用する計画が挫折してしまった背景にあるのです。

日本においても、70年代はオイルショックで大きなダメージを受けましたけれども、それでも粘り腰で産業も回復し、80年代に入ってからむしろかなりの成長を遂げました。GNPでいうと、一人当たりでアメリカを追い越すまで至ってしまったわけです。依然として電力需要は基本的に増加し続けたということです。日本の国内にはウラン資源はありません。ですからエネルギー安全保障上も、プルトニウムのように技術で資源をつくれるものに期待が大きくなっていったわけです。

同時に、日本の電力会社のほうがアメリカの電力会社に比べるといろいろな意味で体力があり、長期的な視点に立って需給計画を立てていける、あるいはいかなければいけないという事情があって、そういうことからやはり高速炉は大事であるということになったのです。

日本では使用済燃料の処理を事前に決めなければならない

それともう一つ、日本では原子力発電所から必ず出てくる使用済燃料については、ルール上、原子力発電所に新しい燃料を入れるときに、毎回、その燃料を燃やした後どうするのかということをしち

んと決めておかねばならないということになっているのです。そのため、電力会社はいずれは必ず使用済燃料を再処理するということを明確に約束しているわけです。このことにより日本においては再処理をし、プルトニウムをリサイクルするというのが、いわば国の計画として、原子力発電の前提とされてきたということです。

再処理、プルトニウム利用には適切な規模とタイミングがある

そこで私などは、使用済燃料は何か何でも再処理し、できるだけ早くリサイクルするという考え方は、ちょっと固定化し過ぎていないか、硬直化し過ぎていないかということ、大分前から申し上げています。再処理してリサイクルしたほうがいいのですが、どのくらいの量を再処理し、どのくらいのテンポでそれを実施するかについては、ウランの長期的市場動向、原子力発電の動向、国際情勢等を見きわめながら、最も適切なタイミングで行うことが大事だということです。そのかわり、再処理されないものが出てきますから、それは安全に計画備蓄していくということが一番いいのではないかと思うのです。

いずれにしても、日本においては使用済燃料のまま全て廃棄物として処分するということは賢明な方法とは思われません。国土が狭い上に地震国で、川も多く、海に囲まれているなど日本の特殊事情を考えると、使用済燃料のまま廃棄物として処分することはそれほど容易ではありません。アメリカのように国土が広く、住んでいる人が全くいないというような砂漠地帯があるところでは、使用済燃料のまま処分してしまうことも一つの選択ではないかと思うのです。ただ、日本で



はどうかということになると、相当大的な疑問符がつくのではないのでしょうか。

日本では何といてもウランを海外から買っているわけで、ウランを掘っているところでは、多かれ少なかれある種の環境問題が発生しているわけです。これはウランに限らず全ての資源開発に共通していると言っていいのかも知れません。自分の国の環境問題ではないから関係ないというのでは困ったことで、よその国の環境問題にもできるだけ思いを致すことが必要です。これは私は友好と共生を尊ぶというアジア的な考え方ではないかとむしろ思うのですが、あるいは日本的といっていいかも知れません。資源のリサイクルによる資源保護と環境保護が地球規模でますます重要になりつつあることを考えると、そういう東洋的な、一種の思いやりの精神というのか、長い目で見るとそういう考え方がますます大切になると思います。

日本の経済合理性をいかに説明するか

編集部 日本のプルトニウム平和利用について反対している人の中には、プルトニウム利用に経済性がないからという理由もありますが、本当に経済性はない

のでしょうか。また日本が考えるプルトニウムの経済性とはどのようなことなのでしょう。

鈴木 これは非常に大事な問題だと思います。日本に対する外国から見た批判というのか、懸念というものには、一つはもちろん核拡散の問題があるでしょうけれども、むしろ経済性の観点が大きいかもしれません。外国から見ても日本のプルトニウム平和利用計画に対して経済合理性があるということであれば、そんなに大きな異議を差しはさむということはないのかもしれませんが、つまり、外国から見ると、あまりにも経済合理性がない。その中で日本はなぜプルトニウム利用を進めるのかということになるのです。

私が数年前からよく経済合理性の説明のための参考として示しているのが、火力発電所の脱硫・脱硝のコストのことです。明らかに脱硫装置、脱硝装置をつけないければ火力発電のコストは安いのです。しかし、それはつけたほうがいい。そのための費用は環境保全コストでしょう。環境保全コストが妥当かどうかは、それが電気料金に比べてどの程度で、消費者が負担しうる範囲がどうかにかかわってきます。例えば炭酸ガスの回収が今議論されていますが、これにはいろんな試算があるようですが、キロワット時当たり少なくとも10円ぐらいいはかかると言われています。それでは発電原価が2倍になってしまいますから、これは明らかに高すぎるのではないかと思うのです。それに対して、脱硫・脱硝装置だけならば、キロワット時当たり1円か2円です。その程度であれば、空気がきれいなほうがいいということになるでしょう。

日本で再処理し、リサイクルすることは、つまり使用済燃料を廃棄物にせず、それを有効に利用してリサイクル

することで、これは一種の環境保全です。その費用は私の試算ではキロワット時当たり1円以下、0.5円ぐらいです。そのぐらいでしたら負担できる範囲ではないでしょうか。

そのように経済性とは、単に安いとか高いとかという比較優位性だけの問題ではなく、環境保全コストとして見たときに、それを消費者に負担してもらえ範囲かどうかという観点から考えたほうがいいのではないのでしょうか。

もう一つ大事な点は、それでは将来とも高いコストのままでいいのかというと、それはそうではなくて、将来はより経済的なリサイクルにしていく必要があります。長期的に考えていくことが大事です。

核兵器を持っても意味のない社会にすることが重要

編集部 核拡散し難い、いわゆる核拡散抵抗性の高いプルトニウムの平和利用と言われるのですが、具体的にはどのようなことなのでしょう。

鈴木 核拡散抵抗性の高いプルトニウム利用を今後は考えていくべきであるとか、あるいはそのような方法が技術的にあるのではないかなというようなことが言われ出していますが、これはよく考えて冷静に対応していく必要があります。純技術的な観点からいえば、核拡散抵抗性がこの技術は高く、この技術は低いというような議論は程度問題であってあまり本質的ではありません。要するに核拡散の問題は、科学技術の持つ社会的な意味から見てどう考えるべきかということだと思います。大切なことは、核兵器をつくってみても誰も褒めてくれない、相手にしてくれない、つくる意味がないという社会にすることだと思うのです。

ただ、次のような考え方は大事です。

すなわち、今のピューレックス法（再処理の湿式分離法の一つ）というのは、あくまでもプルトニウムを抽出するための、プルトニウムを純粋に取り出すための技術です。これはアメリカが開発しました。それは何のためかという、やはり最初にはプルトニウム爆弾をつくるためだったのでしょう。ですから発想の原点がそこにあります。そのような技術にいつまでもとらわれていると、いわば軍事技術を使っているのであって、それはおかしいのではないかと。つまり、平和利用では何もプルトニウムを単独で分離する必要はないのだから、平和利用技術として別の、もっと進んだ技術があるはずなので、それを考えたらどうかということです。

平和利用技術になったからといって、核拡散の危険性がなくなるわけではないのですが、ただ発想が今までと違います。我々はプルトニウムを単独でとる必要もなく興味もない。我々の興味のある技術は、あくまでもプルトニウムを原子力発電所の燃料にする技術なのであって、そういう意味では、わが国の非軍事性という意味がより明らかになることから、そのような平和利用技術を開発することは大切なかもしれません。「平和目的にプルトニウムを利用したい国は平和利用特有の技術でいいのではないですか、もともと軍事技術で生まれたような技術を使わなくても。」ということを国際的に主張できるようになることによる意義は大きいかもかもしれません。

つまり、日本としては、軍事技術として生まれたピューレックス法よりも、もっと平和利用に向いていて、かつ経済的にも環境安全上ももっと好ましい、もっと進んだ再処理技術を開発しようという姿勢は重要かもしれません。

日本の平和利用技術によって技術面で核軍縮に協力

編集部 日本の原子力平和利用技術により、核軍縮に協力できることはあるのでしょうか。

鈴木 これは難しい問題ですが、二つの面があるような気がします。これも私の個人的な意見ですが、一つは、日本のプルトニウム平和利用技術はかなり高いレベルにありますので、この技術で、解体核兵器から生じるプルトニウムを有効に利用するために積極的に提供してはどうかと思います。これは立派な国際貢献ではないかと思うのです。例えば解体核兵器のプルトニウムをMOX燃料として変えていき、原子炉の中で燃焼させるのか。これについては、日本政府もぜひ前向きに考えてほしいのです。

解体核兵器からのプルトニウムについては、それが若干でも付加価値を生めば核軍縮がもっと進む可能性があります。例えば解体核兵器から出る高濃縮ウランのほうが比較的簡単に解決したというのは、その方法がそれなりに収益を生むからです。つまり付加価値を生むからです。プルトニウムについても、日本の技術のように安心できて信頼できる技術や方法によって、国際的な合意が得られる範囲で、あるいは国際的にむしろ求められれば、日本として積極的にそういうことに貢献していくことができるはずだと思います。

もう一つは、核軍縮や核廃絶に向けて国際的にできるだけ努力していこうというときに、日本がみずから積極的に貢献しなくてもいいのかという点です。私は依然としてそこは大事だと思っておりま。現実には、例えば査察に行ったときに、ある溶液の中にプルトニウムが含まれているのではないかと、ある廃棄物

の中にプルトニウムが入っているのではないかなというように探知する技術が必要です。そういう非常に精密な検出機器を開発したり、あるいはコンピュータでいろいろ推論したりするような技術が、核拡散を未然に防止するためにはいずれにしても必要だと思っています。

ですから、もしプルトニウムを経済的にも安全上も安心して使いこなせる技術が日本にあれば、その技術を実は他の国で核拡散問題が起きそうになったときや、そのようなことを起こさせないようにするときに、事前に使えるのではないのでしょうか。そういう技術は必ずあると思うのです。

日本は厳しい選択を せまられている

編集部 理想的な核燃料サイクルとはどのようなものと考えますか。またその方向に進むために日本がしなければならない重要なことはどのようなものなのでしょうか。

鈴木 今、日本の原子力関係者が一番悩んでいらっしゃることは、現実に国内経済やそれを取り巻く国際環境がますます厳しくなっている中で、どのようにして長期的視点から原子力の開発を進めていったらいいかということではないでしょうか。「高速炉の実用化はそんなに近い将来ではなさそうだ。しかし再処理は使用済燃料の適正な管理の観点から計画通り進める必要がある」となってくると、結局、日本ではプルトニウムの軽水炉での利用を着実に進められる範囲で進めるということになります。これが恐らく今最も現実的な路線ではないのでしょうか。

最近では、なるようにしかならないのではないかと考えている人が増えているような気がします。それが気になるところ

です。厳しい条件下での困難な選択はそのような考え方ではおぼつかないのではないのでしょうか。恐らく少なくとも何人かの方は私と同じ悩みを共有してくださっているのではないかと思います。長期的な構想に立って進めてきたら、10年、20年後には、日本の原子力発電は外国に比べるとこんなに進歩して、環境安全上も好ましいものになっていた、というようにできないものかと願っております。今最も大切なことは、西欧的な短期的合理性とともに東洋的な長期的合理性をいかに追求していくかということではないのでしょうか。このような調和は、日本が一番得意としているところではないかと期待しているのです。

歴史学者の会田雄次先生は、「未来社会は、西欧的な単純精密論では駄目で、東洋的な寛容の精神が必要だ」といわれています。関係者の「寛容の精神」をぜひお願いしたいものです。

アジア地域にもユーラトムのよう な組織が必要

編集部 日本がアジア地域の一員として、アジア地域における原子力協力をどのようにしていく必要があると考えますか。またそのための日本の責務とはどのようなものなのでしょうか。

鈴木 東アジアにおいて、例えば、今、北朝鮮の核疑惑が取りざたされていますね。私は、北朝鮮が本当に核兵器を持っているかどうかわかりませんが、もし持っていたとすると、日本がどういう対応をすべきかは難しい問題だと思います。そのことはちょっと別にして、少なくともアジアにおける原子力の平和利用を、どのようにお互いにチェックし合いながらというか、お互いに安心してしながら進めていったらいいのかということ、もう



そろそろ議論しないといけない時期に来たのではないかと考えております。

一昔前までは、南北朝鮮のバックに米ソが控えていて対立しながらも政治的バランスが微妙に保たれていました。しかし、冷戦構造が終結するとともに、韓国が中国と国交を樹立してから、北朝鮮は一気に孤立感を深めたと思います。そのように、東アジアにおける力の関係は新しい時代に入ってしまったわけです。

また、現実に中国でも原子力発電が始まり、韓国でも随分進み、台湾はもっと進んでいます。日本はもちろんアジアの原子力発電国です。一方、インドネシアやフィリピン、あるいはタイでも場合によっては原子力発電をしたいという状況になってきたわけです。ですから、ユーラトム (EURATOM: ヨーロッパ原子力共同体) と同じような仕組みは難しいのですが、しかしユーラトムの原子力の平和利用の協力の枠組みをつくって、相互に研究者が乗り入れたり、しっかりとルールを作ってその範囲でお互いに安心して開発を進めていくようにすることが重要だと思います。

特定の国を孤立させてしまう状況をつくるのが最も好ましいことではないので、ぜひ、東アジアにおける国際協力を

もっと、ユーラトム並みに、有機的に、密接に進めていけるようなことを考えるべきではないかと思います。この枠組みにはオーストラリアも入れるべきかもしれません。「環太平洋協力機構」というものでもいいのです。アメリカやカナダにも入ってもらい、場合によってはロシアにも入ってもらうことも考えられます。

最後に、プルトニウム問題は、プルト

ニウムという存在の如何によってではなくて、プルトニウムを使いこなす技術が磨かれるかどうかにかかっていると思います。プルトニウムを巡るいろんな議論を聞いていますと、結局プルトニウムという存在だけの問題として扱われているような印象を受けます。プルトニウムという存在さえなくなればいいと思われている節もあるようですけれども、私どもから見ますと、そういう議論はあまり意

味がないのではないかという気が致します。科学技術は頭の中に刻み込まれているのであって、それを消すことはできないのです。人類の文明史を見れば明らかのように、これまでに大きな困難や危機に遭遇してきました。しかしそれを乗り越えてこられたのは、新しい科学技術なのであって、物質の存在の有無ではないことを銘記すべきだと思います。

シリーズ プルトニウム7

MOX燃料加工技術の現状

木村雅彦

動力炉・核燃料開発事業団
東海事業所
プルトニウム燃料工場製造加工部長

わが国の高速増殖原型炉「もんじゅ」がこの4月に臨界に達することになりました。この「もんじゅ」の燃料は、プルトニウムとウランの混合酸化物燃料（MOX燃料）を使用しており、このMOX燃料は、動力炉・核燃料開発事業団の東海事業所で開発及び製造加工されております。この度「もんじゅ」用の全ての初装荷MOX燃料の製造が終了しましたので、この機会にMOX燃料製造について、その工程や製造でのご苦労、研究開発した点などについて、責任者として活躍された同事業所プルトニウム燃料工場製造加工部長の木村雅彦氏のお話を紹介します。

（編集部）

1月25日に「もんじゅ」の初装荷MOX燃料製造が完了

私は、動力炉・核燃料開発事業団（動燃事業団）に入社したとき、東海事業所のMOX燃料（混合酸化物燃料）開発部門に配属されましたが、それ以来プルトニウムとは切っても切れない縁が続いています。

いろいろご心配もおかけしました「もんじゅ」の初装荷MOX燃料は、無事に製造が終了今年1月25日に、最終的な官庁の検査も済みまして、全部揃いましたことをまず報告させていただきます。

MOX燃料加工技術の現状としては、四つのテーマに整理してお話したいと思います。まず初めはMOX燃料取扱いの特徴について、プルトニウムを取り扱う

ときにどのような問題があるのかについてです。2番目は動燃事業団においてMOX燃料の加工技術がどのように進展してきたのか。3番目は「もんじゅ」の初装荷燃料についてです。なぜ「もんじゅ」の初装荷燃料のことを説明させていただくかといいますと、「もんじゅ」のMOX燃料が製造技術上一番難しかったと考えているからです。これができれば、

他のMOX燃料製造の大部分はうまくいくのではないかと考えています。最後にどのような課題が残っているかということをお話したいと思います。

MOX燃料の放射能、熱、臨界

MOX燃料の加工のはじめは、ウラン燃料の加工と同じように燃料ペレットをつくることです。このペレットといいますのは、原料がウランとプルトニウム、いずれも酸化物の粉末で、茶褐色です。プルトニウム粉末はウラン粉末と比べると多少黒っぽくなります。いずれも、大事な原料物質の粉末です。

MOX燃料加工の工程を簡単に説明しますと、まずウランとプルトニウムの粉末を所定の割合で正確に秤量し、混合します。混合した後プレスで押し固めます。それを非常に高い温度、1,600度～1,700度ぐらいで焼き固めます。その後、その焼き固めたペレットを金属製の細いパイプに詰め、栓をして溶接密封する作業をして燃料ピンとします。最後に燃料ピンを束ねて、燃料集合体として組み立てるわけです。

「もんじゅ」の場合ですと、燃料ピンを169本束ねて、燃料集合体1体となります。新型転換炉原型炉「ふげん」になりますと、燃料ピン自体はもっと太いわけで、28本を束ねて燃料集合体となります。

MOX燃料加工の特徴を3点にまとめますと、1点目は、MOX燃料を取扱う上で、プルトニウムの放射能がウランと比べて非常に強いということです。プルトニウムの同位体組成によっても若干異なりますが、大ざっぱに申し上げますと3万倍ほどになります。2点目が、プルトニウムは自ら崩壊して別な元素に変わるということです。従って、プルトニウム

はその崩壊過程で熱を出します。実は「もんじゅ」燃料製造、MOX燃料の初めての大量製造加工ということで、初期段階でこの発熱にかなり苦労しました。

3点目が、当然MOX燃料は原子炉の燃料になるものですから、ある量以上集めれば臨界になります。その臨界になり得る量が、ウラン燃焼に比べてずっと少ないという特徴があります。そういうことから、MOX燃料加工の工程におけるもう一つのポイントは決して臨界にならないようにすることです。

以上の3点を順に説明いたします。

プルトニウムの場合、アルファ線を出すというのが大きな特徴です。そのほかに、ガンマ線とか中性子線が出てきます。このためMOXを取り扱う上でかなり放射線防護の観点からの配慮が重要になります。ちなみにガンマ線ですと、鉛等で十分遮蔽できます。ところが、中性子線に対しては、水素等の軽い元素を含んだ材料を利用して遮蔽する必要があります。具体的には中性子線を遮蔽しようというときには、ポリエチレンとかアクリルとかの材料を使用しています。

MOX燃料の加工では、アルファ線に対しての遮蔽が重要ですので、グローブボックスを用いることでアルファ線は問題なくなりますが、ガンマ線、中性子線はグローブボックスから出てきます。これに対しては、人間が近づかなくても燃料が作れるような施設を設計し、自動化を計りました。一般の産業界において自動化するという意味合いはいろいろあると思いますが、恐らくその主な目的は、大量生産でコストを下げるという点かだと思います。ところが、MOXを大量に取り扱うことに関しては、自動化は放射線防護のために必要不可欠な技術であると位置づけています。

また、グローブボックスからの万一の

際のプルトニウムの漏出防止のために、グローブボックスの中をマイナスの圧力（負圧）にして、プルトニウムが外に出ない対策を取っています。建物についても、各部屋ごとに圧力差を設けており、外部（外気）よりも入口の更衣室の気圧を低くする、更衣室よりも廊下をもう少し低くする、廊下よりも工程室を更に低くする、そのような対策を施しています。そうしますと、空気の流れは外から建物中心部への一方通行入ってくるだけということで、プルトニウムが外に出ることがないようになっています。

東海事業所ではプルトニウムを取扱っているわけですから、施設の周辺ではプルトニウムのモニタリング（環境放射線測定）を行っていますが、勿論今だから施設からプルトニウムが外に漏れたことはありません。

MOXの一つの特徴は、プルトニウムが熱を出すことです。発熱しますと、グローブボックス内の空気中の酸素とMOXが反応して酸化する現象が起きます。MOX燃料加工の工程で使用する薬剤（添加剤）がいろいろあり、その添加剤が発熱の影響で変質してしまうということがありますので、対応として冷却してみたり、熱がたまらないようにすることが大事でした。また、添加剤の選択においても、温度で敏感に変化するものは避けるなど、温度に強い添加剤を使う等の配慮を行いました。

MOX燃料加工についてもう1点、それは臨界のことです。MOX燃料加工施設では決して臨界事象が起らないように十分な配慮が払われています。

加工の歴史 — 加工累積量130トン

動燃事業団には、プルトニウムを取り扱う施設として三つの施設があります。

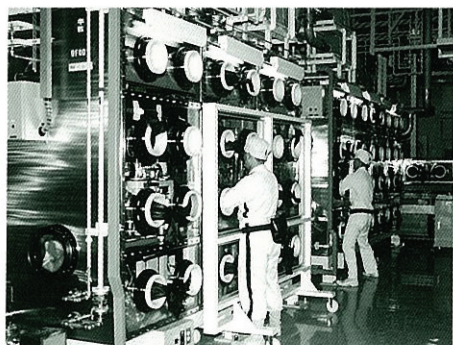


写真1 プルトニウム燃料第3開発室

昭和41年からプルトニウムを使い始めたのがプルトニウム燃料第1開発室で、プルトニウムの取り扱い技術を勉強する施設で、四半世紀以上にわたり基礎的な研究を続けております。この第1開発室の経験を踏まえて、プルトニウム燃料第3開発室をつくりました。これは「ふげん」の燃料、高速実験炉「常陽」の燃料をつくるための施設です。ここでMOX燃料の製造の勉強を行いました。その成果を生かして、プルトニウム燃料第3開発室をつくりました(写真1)。

プルトニウム燃料第1開発室及びプル

トニウム燃料第2開発室では、電力会社とプルサーマル(軽水炉によるプルトニウム利用)の共同研究を行い、関西電力の美浜1号炉、日本原子力発電の敦賀1号炉に装荷したMOX燃料をここで製造しました。プルトニウム燃料第3開発室は、1988年(昭和63年)からプルトニウムを使い出して、「常陽MK-II」、「もんじゅ」のMOX燃料を製造したわけです。

動燃事業団でのMOX燃料の製造実績は、累積で約130トンになります(図1)。少し自慢させていただきますと、私どもの施設でつくりました燃料は、いまだかつて1本も破損したものがありません。これは十分誇るに至る実績ではないかと思っております。

「もんじゅ」用ペレットは直径5mm
長さ8mm重さ1.7g

以上がMOX燃料製造の一般的なことですが、次に「もんじゅ」燃料の製造についてお話しします。PuO₂(二酸化プルトニウム)の粉末もしくは「もんじゅ」

初装荷燃料がそうですが、50%プルトニウム、50%ウランの粉末を用い、100%のPuO₂の粉末は、アメリカとの約束で核不拡散の観点から製造しておりません。それをさらにウランで薄めて混合して、成型していく工程を取っています。

ペレットの成形加工をした後、ペレットが仕様に合格したか否かの検査の工程があります。その検査で不合格になったペレット(陶器のようなセラミックス)は機械的に砕き、さらに熱をかけて酸化させ、次いで還元させ、再度粉末にして、また新しい原料に再生します。この再度粉末にしたものを「回収MOX粉末」と言っています。不合格のものでも無駄なくリサイクルして燃料に作り変えます。

MOX燃料製造においては、ペレットの成形加工が重要な位置を占めています。「もんじゅ」のペレット成形加工を例にとって、少し説明します。

高速増殖炉のペレットには、現時点での作り方が二つあります。一つは、ペレットの真ん中あたりに細い穴を開けるというつくり方です。真ん中に穴があいているということで、中空ペレットと呼んでいます。もう一つは、密度が85%程度の低密度ペレット(気泡のあるペレット)があります。「もんじゅ」ではこの低密度ペレットを使用することにしました。したがって、低密度ペレット成形加工としての課題が、高速増殖炉のペレットの課題、特徴といえます。

高速増殖炉のペレットは非常に小さなペレットで、直径が5mm、長さが8mm程しかありません。重さは1.7gほどです。これらを自動化した施設でつくるとなると、小さいためその取扱いに注意が必要です。それから、プルトニウム富化度、プルトニウムの含有率ですが、MOX燃料に占めるプルトニウム酸化物の割合が、30%程度のものと20%程度のもの2

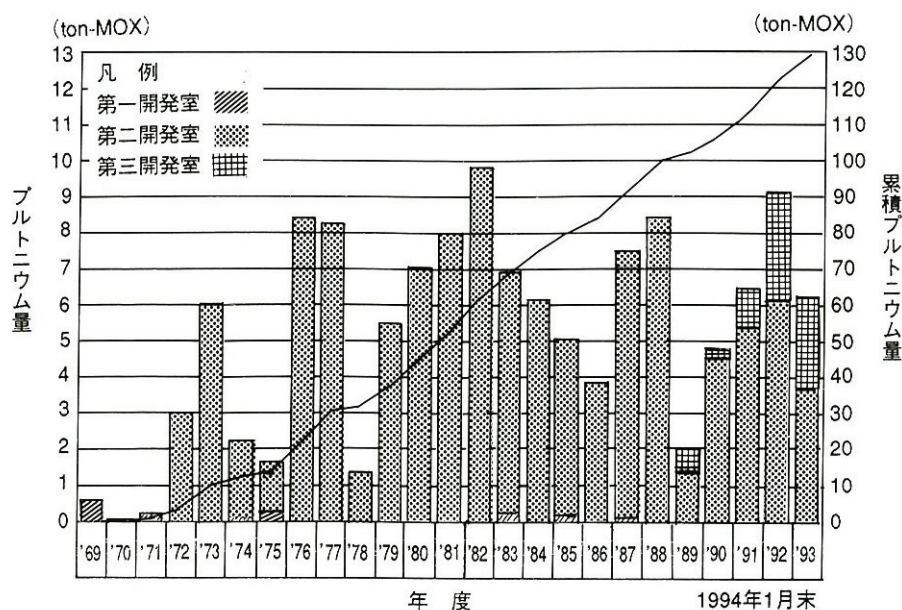


図1 動燃事業団におけるMOX燃料製造実績



木村 雅彦 氏

種類のペレットを作りました。30%程度のものであれ、20%程度のものであれ、臨界安全上の観点から取り扱い量は非常に小さく制約されます。

また、工程で水などを使うとなると、臨界安全上、その取り扱い量はさらに小さくなります。従って、工程すべてに水などを使わないことが必要です。この方式を乾式と呼んでおり、第3開発室においては、事前の十分な試験等を通して、乾式の工程を問題なく稼働させることができました。

それから、密度の低いペレットをつくることについては、空気の粒のようなものをペレットの中にたくさん均一につくるわけです。そのための薬剤（ポアフォーマ：空気の粒をつくるという意味）を入れました。当初この薬剤が必ずしも適切なものでなかったために、プルトニウムの発熱により変質し、ペレットの密度がばらついたという現象が起ったこともありました。これらを解決し「もんじゅ」ペレットを製造しました。我々は貴重な経験をしたと思っています。

保障措置技術も開発

「もんじゅ」用ペレットの技術開発については、次の4点に大きくまとめられます。

一つが、ポアフォーマ、密度を制御する薬剤を耐熱性のあるものに開発し、実

用化しました。二つ目として、ペレットの焼き固め方もいろいろあり、新しい焼き方を開発して（現在特許を申請中）密度のばらつきを抑えました。三つ目は、第3開発室では、放射線防護の観点から設計の段階から工程を自動化にしたわけですが、これら自動化の設備の信頼性を向上させ、処理量を上げ、放射線被ばくを抑えました。四つ目は、避けることができない種々の装置の故障について、それらのメンテナンス技術を体得できたと言えます。例えば昨年（1993年）の連続焼結炉の作動不良について、その補修技術なども、開発したといいますか、体得することができたということがいえると思います。

以上はペレットに限定したのですが、施設全体の保障措置システムの技術開発が挙げられます。これは従来どおりのやり方をしますと、保障措置、いわゆる査察にかなりの時間をとられるだろうと思います、新しい保障措置のシステムをアメリカのエネルギー省と共同研究で開発しました。

具体的には、第3開発室は大きく三つの区域に分けられます。一つはプルトニウムの原料、ウラン原料などが入っていて、貯蔵しておく区域。二つ目はペレットをつくる工程とか、ピンに詰める工程とか、そのような工程区域。それから集合体を組立、貯蔵する区域です。この三つの区域にそれぞれ、中のプルトニウムの量、トータルの重量を、非破壊で測定できるシステムを開発し、プルトニウムの流れをきちんと追うこととしました。これにより非常にスムーズに査察を実施することが可能になり、従来の作業量、これは私どもの作業量というよりも国や国際原子力機関（IAEA）が費すべきマンパワーといってもよろしいかと思いますが、その多分10分の1ぐらいにまで節

約することができました。このような保障措置システムも、プルトニウムの平和利用について世の中に知ってもらう、すなわち透明性を高めるために、たいへん重要な開発の要因です。

今後の課題 — 量産技術

今後の課題は何があるのか、いろいろな見解があらうかと思います。今感じているところを申し上げますと、量産技術開発が課題であらうと感じています。そういう意味では、まだまだ技術開発の途上にあらうかなと思っております。特に、大量にMOX燃料を製造するということでは、もう少し進歩しないといけないなと考えております。

一つが製造機器ですが、さらに機器の信頼性を向上させたいと考えています。これは、今、機器の信頼性が低いという意味ではなく、この点を改良すればもっと信頼性が上がるのではということが幾つかわかってということで、さらに改良を実現したいと思います。また、機器をもっと小さくする必要があると考えております。信頼性と似た概念になると思いますが、簡単に保守できるようにする必要があります。

また工程をもっと簡単にしたいと考えております。

先ほど申し上げた査察、保障措置に関する技術については、さらに精度を上げると査察する側もされる側も楽になるということになりますので、そういう方向の努力もおろそかにできないと考えております。

ほうっておいても、ほかの人がやってくれるという性質ではありませんので、私ども技術者のレベルをより向上させ、このような開発を進めていきたいと思っています。

カード遊びをする人たち

後 藤 茂



3月12日の土曜日は曇空。奈良・東大寺二月堂のお水取りの日というのに、春は名のみで、東京・上野の森は、冬の眠りからまだ醒めていなかった。

久々にとれた東京での休みである。私は朝目覚めたときから、国立西洋美術館で公開されている『バーンズ・コレクション展』に、心を馳せていた。

「待ち時間は、約2時間です。」

係りの案内の声に一瞬足を止めたが、国立科学博物館から東京国立博物館前の広場へと伸びるおびただしい人びとの列を追って、息をはずませながら最後尾に着いていた。列は遅々として進まない。けれどどうしても観たいセザンヌの作品のことを想うと、牛の歩みのような列の動きも、気にはならなかった。

入場券に使われたピカソの『曲芸師と幼いアルルカン』を、どこかで見た絵だと思いはじめた。ふと、モスクワのプーシキン美術館にあったセザンヌの『マルディ・グラ（謝肉祭）』の絵が浮かんできた。ピカソの『アルルカン』に影響を及ぼした絵である。真紅の衣装を着た曲芸師を見ているだけでも胸が高鳴り、時間のたつのを忘れるほどであった。

公開された作品は80点で、決して多くはないが、印象派や後期印象派の作品は、これまでにどこの美術館でも見たことがなかっただけに、ため息がでる思いで立ちつくしていた。

ルノワールの『イポールの浜辺の少年』やゴッホの『郵便配達夫ルーラン』、スーラの『ポーズする女たち』、モディリアーニの『うつぶせに横たわる裸婦』、マティスの『マティス夫人—赤いマドラス頭巾』

など、今でも強烈な印象を残しているが、私が深かったのは、セザンヌの『カード遊びをする人たち』だったのである。

白い机と、赤と緑のゲーム板を囲んで、3人の男がゲームに熱中している。パイプをくわえた男が見おろし、卵型の少女が男たちの間からのぞきこんでいる構図だ。

セザンヌは、『カード遊びをする人たち』の絵を5枚残しているといわれる。バーンズ・コレクションの作品は其中でも最大のもので、しかも人物は5名であった。

私がはじめて『カード遊びをする人たち』の絵を見たのは、実は切手の図柄からである。1961年11月10日、フランスで発行された4枚の美術切手は、凹版芸術の粋をこらした見事な大型の切手であった。



切手「カード遊びをする人たち」〈原寸〉

ブラックの『使者』、マティスの『青い裸婦』、ド・ラ・フレネの『7月14日（パリ祭）』に、セザンヌの『カード遊びをする人たち』が入っていたのである。ワインの瓶を中央に配して、パイプをくわえ、高い帽子をかぶった男と、丸い帽子の男の二人だけで勝負をしている図だ。

私は、そのころから切手の収集を趣味にしていたが、正直いって、フランスの

この美術切手シリーズは私をしばれさせた。その後も毎年、3枚から5枚発行される美術切手は、フランスゆかりの芸術家の作品や洞窟画、寺院のステンドグラス、イコンなどで、現在百数十枚をかぞえているが、私の自慢の切手アルバムで、小さな美術館をつくっている。

ところで、フランス政府が、『カード遊びをする人たち』を発行したのは、実はこんなエピソードがあった。

1961年8月のある暑い夏の夜であった。セザンヌが生まれた田舎町エクス美術館に泥棒が入り、セザンヌ巡回展に出品されていた8枚の絵が盗まれたのである。フランス政府はこの事件をひた隠しにして捜査していたが、結局その紛失を認めざるを得なくなった。そこでもっとも価値のある『カード遊びをする人たち』を盗難後わずか3カ月で、4色刷の切手にデザインして発見を呼びかけるといふ、粋なはからいをしたのである。絵は、数カ月後には受け戻し金が支払われて、無事に返ってきた。

パリのオルセ美術館を訪ねると、最上階の印象派作品群のなかに、この『カード遊びをする人たち』が、自然採光のあわい明りのなかで、ひときわ人目を惹いている。

セザンヌは、1839年に南フランスのエクス・アン・プロヴァンスに生まれている。そのふる郷の美術館には、17世紀の風俗画によく出てくる『トランプをする人びと』という古い絵があった。少年時代のセザンヌの心には、この絵が焼きついていてたのではないだろうか。

セザンヌが深い愛情をいだいていたプ

ロヴァンス地方の純朴で、頑丈な農民たちの姿は、古い風俗画と二重写しになって、『カード遊びをする人たち』の連作となり、もっとも有名で、もっとも人気のある作品となったのである。

私には、もう一点、ニューヨークのメトロポリタン美術館で観た『カード遊びをする人たち』も忘れられない思い出がある。数百万点を収蔵するメトロポリタン美術館の質の高いコレクションに圧倒されながら、たしかヨーロッパ絵画のコーナーで、セザンヌのお目当ての作品を観たのである。

構図も背景もバーンズ・コレクションの作品と変わらないが、描かれた人物は4名で、中央の男はバーンズ・コレクションでは無帽だが、メトロポリタン美術館の作品は帽子をかぶっていた。

『カード遊びをする人たち』の連作は、最初の作品がバーンズ・コレクションの5名の人物を配した大きな絵であり、メトロポリタン美術館の絵は4名、その後で描かれてる。オルセ美術館にある絵に出てくる二人の男は、バーンズ、メトロポリタンのいずれの構図にも姿を見せて

いない。しかし、プロヴァンス地方の野良着を着た農民たちの質素で堅実な人びとの姿は、セザンヌ芸術に魅力的な存在感を見せたのであろう。

セザンヌの『カード遊びをする人たち』を最初はオルセ美術館で観た。その後メトロポリタン美術館でも観ている。そして今回、バーンズ・コレクション展で観ることができたことをたいへん幸運に思っている。

私は快い満足感にひたりながら、帰途上野駅で買った夕刊（読売新聞）を見て仰天した。「セザンヌ 花札描いた？」と一面トップを飾り、『カード遊びをする人たち』の手元を大写しにした絵が載せられていたのである。「カードの形や図柄が酷似している上、南仏のセザンヌの家には日本人留学生が出入りしていたという“傍証”も新たに判明、花札説が強まっている」と長文の解説がつけられていた。

この記事を読んだとき、ふとオルセ美術館で、セザンヌの絵と並んでいたマネの『エミール・ゾラの肖像』を思い出していた。この絵の背景に二代目歌川国明の『阿波国出身力士大鳴戸灘右衛門』の

浮世絵が飾られていたのである。だからカードは、私も花札ではないかと思うのである。

マネの描いたゾラは、セザンヌと同じエクスに生まれた一つ年下の作家である。中学生の頃はともに詩人になることを夢みた間柄であった。

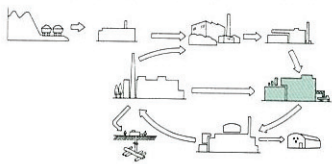
私は、切手収集の趣味が高じてフランスの美術から世界の美術切手を集めはじめ、美術や絵画に興味をもつようになった。いまは美術館を歩くことが私のささやかな楽しみになったのも切手収集の趣味からである。

帰宅すると、郵政省の切手文通課から『高速増殖原型炉「もんじゅ」臨界記念—FBR』の切手原図を拡大したカラーコピーが届いていた。左に大きく送電線の鉄塔を配し、右下に「もんじゅ」の建屋が描かれていた。

原子力切手会の収集仲間も、その発行を待ちわびていた切手である。美術切手とともにエネルギー関連の切手を集める楽しみがまた一つ増えてきた。

(衆議院議員)

サイクルシリーズ



わが国のウラン燃料成型加工

粉末の原子燃料を陶器のようにセラミックに焼き固め、細い金属管に詰め、さらにそれを束に組み立てることを「成型加工」と言います。この成型加工の技術レベル、製品の品質の善し悪しが原子力発電所のメンテナンスや従業員の被ばく量に深く関連しており、重要な工程の一つとなっています。今回はわが国のウラン燃料の成型加工事業の現状を紹介します。

直径10ミリ、長さ10ミリのペレットで家庭の電力10カ月分

軽水炉で利用する燃料は現在ウランを原料としていますが、これには燃えるウラン235が0.7%しか含まれていないため、これを2～4%程度に濃縮したものを燃料として使います。濃縮されたウランの粉末を円筒型に押し固め、ペレット状にし、1,700℃以上の高温で焼結しセラミックにします。このとき、ペレット

の長さは約80%、体積にして約半分に縮小します。この焼き固まったペレットの外周をきれいに削り、規定の寸法にし、長さ4メートルのジルカロイ（ジルコニウム合金）被覆管の中に詰め込みます。

ペレットは極めて固く、核分裂でできた物質を閉じ込める性質があります。直径が約10ミリ、高さが約10ミリの円筒型ですが、これ一つで家庭の電力の9～10ヶ月分が賄えます。そして、このペレットを詰めた管を燃料棒と言います。この

燃料棒を束ね、燃料集合体として組み立てます。

わが国の原子力発電所は主に、加圧水型軽水炉（PWR）と沸騰水型軽水炉（BWR）に分かれます。PWR用燃料集合体は燃料棒が14行14列、15行15列、17行17列、BWR用燃料集合体は燃料棒が8行8列に組まれています。燃料集合体の長さは約4メートルです。



BWR燃料集合体 原子燃料工業(株)
東海製造所にて <左> 真鍋副所長

日本の成型加工は世界一の高品質

この成型加工のプロセスでは、何段階かの厳密な検査が行われます。まず、ペレットは1個ずつ検査され、寸法、密度などについて規格外のもの、傷があるものなどは排除されます。この除かれたペレットは、再度粉末にされリサイクルされています。ペレットが入った被覆管の両端は栓がされ、入念に溶接されます。溶接部はX線透過や超音波により検査をしています。また燃料棒の曲がりや外観の傷や汚れ、規格外のペレットが入っていないかも検査をします。さらには燃料集合体になる段階においても集合体の曲がり、ねじれなどについての検査が入念に行われます。4メートルの燃料集合体の曲がりの範囲は1.8ミリ以内と規定されています。各段階における検査では、各メーカーは規定検査目標値よりもさらに厳しい目で検査を行っているのが現状です。例えば、検査を通ったペレットには目視できる傷は全くと言っていいほど見られません。

わが国の原子力発電所で使われている燃料棒において、放射性物質が漏れでるというようなピンホールなどが発生するのは、約100万本に数本とされ、高い品質を保っています。

わが国のウラン燃料加工施設

事業所名	技術提携先	炉型	加工能力	累積加工量	事業開始
三菱原子燃料	WH社	PWR	440tU/年	10,000体	'72年1月
日本ニュークリア・フュエル	GE社	BWR	750tU/年	45,000体	'70年8月
原子燃料工業	B&W社	PWR	324tU/年	3,000体	'76年2月
	シーメンス社	BWR	200tU/年	4,700体	'80年1月

わが国の燃料は全て国内で加工されている

わが国で使用される濃縮したウランは、現在そのほとんどがアメリカとフランスで濃縮されたものです。この濃縮ウランをわが国の加工メーカーにおいて全て成型加工を行っており、三菱原子燃料(株)、日本ニュークリア・フュエル(株)、原子燃料工業(株)の3メーカーが担当しています。PWRについては、三菱原子燃料(株)と原子燃料工業(株)、BWRについては、日本ニュークリア・フュエル(株)、原子燃料工業(株)が行っています。

日本ニュークリア・フュエル(株)は、現在までBWRの燃料集合体45,000体を製造しています。三菱原子燃料(株)は、PWR用の燃料10,000体製造しています。原子燃料工業(株)はPWR用の燃料3,000体、BWR用の燃料を4,700体を製造しています。なお原子燃料工業は新型転換炉、高速増殖炉、高温ガス炉などの研究炉用燃料も製造しています。

燃料輸送は万全の体制で

燃料集合体は各発電所に輸送されます。各加工メーカーは国の安全基準にあった輸送容器に2体ずつおさめ、陸上、海上輸送を行っています。この承認をうけた

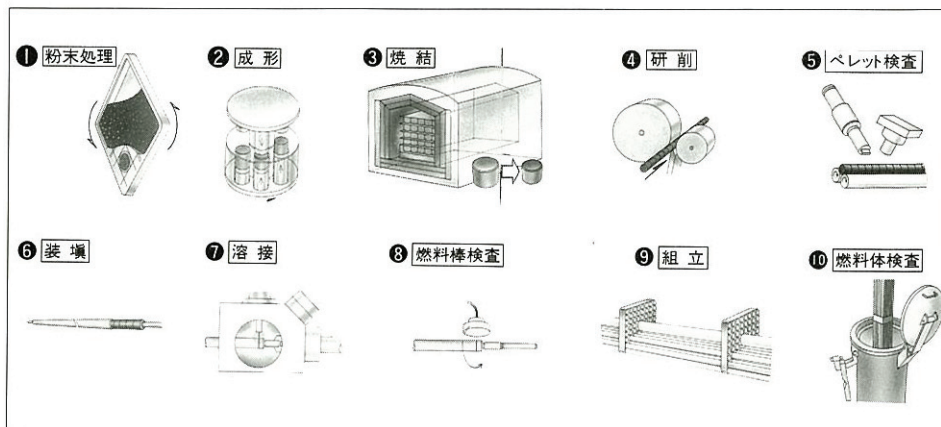
輸送容器は登録番号制になっており、管理されています。衝突事故に対して輸送容器は、9メートルの高さからの落下試験による耐衝撃性が実証されており、火災に対しては800℃、30分の条件下での健全性が実証されています。また輸送時には、放射線管理の安全対策や核物質防護の点からの厳重な管理が実施されています。現実には積載車両のその前後に先導車、警備車など搬送車がついて実施されています。

加工技術は将来のMOX燃料加工に生かす

加工メーカーは燃料サイクルの前段階の事業の一つとして、広報活動にも力を注いでいます。各メーカーとも、見学者の受け入れを積極的に行っており、ウラン加工の作業の状況を近距離からみることができることから、原子力発電を身近に感じることができ、様々な世代の見学者が訪れているとのこと。

各メーカーは今までに増して加工プロセスにおいて厳しい検査をし、燃料集合体の高品質を保つとともに合理化の検討を行っています。今後は、安全性および高品質を保っているこのウラン燃料加工技術を、将来のMOX(混合酸化物)燃料にいかんにか生かしていくかが課題となっています。

・製造工程



米国クリントン政権のプルトニウム政策のゆくえ

平尾 和則

昨年12月に米国マサチューセッツ工科大学 (MIT) のあるボストンの地方紙「ボストングローブ」に、昭和20年代に近郊の学校の生徒に放射性物質を飲ませていたというショッキングな記事が出て、筆者の住んでいる町の学校でもあり、大変驚かされました。オレアリー・エネルギー省 (DOE) 長官は、情報公開に並々ならぬ努力を注いでおり、こうした秘密実験の公表がこのところ幾つか続いています。

このほか、解体核兵器からの核物質の処分、廃棄物処分場問題や核兵器製造工場のクリーンアップなど、DOEはこのところ具体的課題の対応に忙しいようです。

クリントン政権のプルトニウム政策

米国クリントン政権のプルトニウムに関する基本政策 (核不拡散、民生用) については、就任後暫くの間未知数でしたが、昨年9月の国連演説およびファクトシートによりその概要が初めて公表されました。この内容をみると、国内の核不拡散強硬派を意識してか、長期的にはプ

ルトニウムの平和利用促進を否定しているものの、当面は日欧のプルトニウム利用を容認するという極めて現実的な政策になっています。また、その後今年1月に出された米ロ共同声明の中では、より強くNPT (核不拡散条約) 体制堅持を主張しています。

一方、プルトニウムの平和利用に関しては、2月上旬にDOE予算におけるアクチナイド・リサイクルのためのIFR (燃料サイクル一体型高速炉) の予算の削減が発表されました。議会とホワイトハウス、DOEの3者により、毎年行われる「綱引き」の途中経過とも考えられますが、大勢はALMR (新型液体金属炉)、アクチナイド・リサイクル、高速炉開発は縮小方向であり、新規の軽水炉発電所が建たない米国での新型炉研究開発が困難であることがうかがわれ、技術開発の維持が危ぶまれる状況です。

今後の展開

こうしたクリントン政権の政策が今後どのような展開をし、日本および世界の

原子力開発に対し、どういった影響を与えるかについては、予測しにくいところがあるものの、これまでの歴代米国政権のプルトニウム政策 (表参照) を振り返ってみると、その時々的情勢変化に対応してきていることがうかがわれます。

米国のプルトニウム政策は、その利用がエネルギー供給を目的とする日本と異なり、これまで主に核兵器製造、対ソ核軍縮、非核兵器国への核不拡散といった軍事的要因により、決められてきました。今後は、核兵器製造、対ソ核軍縮といった要因に代わり、環境保全、核兵器解体・処分が加わると共に、北朝鮮やイラクといった国への核不拡散に関する比重が増してくるでしょう。

中でも、核兵器解体から出てくるプルトニウムの処分方策は、当面最大の課題となっています。最近いくつかの検討結果が報告されていますが、2月にNAS (アメリカ科学アカデミー) が発表した報告書においては、「軍事用プルトニウムは廃棄物として処分するか、または軽水炉で燃焼することとし、新型炉による燃焼は行わない」としています。現在それらを受け、ホワイトハウス科学技術政策局安全保障担当のフランク・フォン・ヒッペル氏がNSC (国家安全保障会議) と共にタスク・フォースを主宰し、DOD (国防省)、DOEなどの参加の下、10月までに報告書を取りまとめることが予定されています。

また、米国は現行NPT体制の維持・強化のため、包括的核実験禁止条約および核物質生産停止条約の締結を目指しています。このため、日本としては、そうした動きが民生用プルトニウム利用に与える影響について今後とも留意していく必要があると思います。

米国マサチューセッツ工科大学 (MIT) 客員研究員、動力炉・核燃料開発事業団所属

政 権	民生用プルトニウム政策	核不拡散	世界情勢
ルーズベルト トルーマン	(’33-’45) (’45-’53)	— — '46年原子力法 バルーク提案 ¹⁾	第2次世界大戦 ソ連核実験開始
アイゼンハワー	(’53-’61)	「Atoms for Peace」 '54年原子力法改正	
ケネディ	(’61-’63)	部分核実験禁止 条約	キューバ危機
ジョンソン ニクソン フォード カーター	(’63-’69) (’69-’74) (’74-’77) (’77-’81)	核不拡散条約 ロンドン協議 '78年核不拡散法	ベトナム戦争開始 インド核実験
レーガン	(’81-’89)	特殊核物質民有化へ GESMO ²⁾ カーター声明 日米再処理交渉 INFCE ³⁾ CRBR中止 ⁴⁾ IFR レーガン声明 日米協定改定	
ブッシュ	(’89-’93)		冷戦終結 湾岸危機
クリントン	(’93-)	軍事Pu生産中止	北朝鮮核疑惑

1) バルーク提案；原子力国際管理案
2) GESMO；軽水炉におけるプルトニウム混合、酸化燃料使用に関する一般環境影響声明書
3) INFCE；国際核燃料サイクル評価
4) CRBR；クリンチリバー高速増殖炉

Plutonium

1994 Spring No. 5

COUNCIL for
NUCLEAR
FUEL
CYCLE

発行日／1994年4月8日
発行編集人／堀 昌雄

社団法人 原子燃料政策研究会
〒100 東京都千代田区永田町2丁目9番6号
(十全ビル 801号)

TEL 03 (3591) 2081
FAX 03 (3591) 2088

印刷／日本プリメックス株式会社

編集後記

・プルトニウムの取扱いを巡る国際動向は、1995年のNPT条約の見直しへ近づくにつれて厳しく動きは始めているように見えます。北朝鮮のIAEAによる検査問題の動きの一方で、平和利用の計画も進展を見せています。

・本号が皆様のお手元へ届く頃には、福井県の敦賀で高速増殖原型炉「もんじゅ」の臨界のニュースが流れているかも知れません。わが国の新型動力炉の自主開発の基本方針が1966年5月に原子力委員会から発表されて以来、28年を経て原型炉が完成致しました。

・当時、この自主開発の方向に対しては、与野党を問わず大きな関心とコンセンサスが得られており、全会一致をもって関係の法案が可決されたと記憶しています。1975年の「常陽」の臨界に続き、1985年の「もんじゅ」本格着工から今日に至っており、多くの関係者のご苦勞があったものと思います。

・「もんじゅ」は世界でも最も新しい原型炉としてデビューします。今後世界的にも重要な原子炉となることと思います。世界の財産として有効に活用されることを期待したいものです。

・最近では原子力についても情報公開が叫ばれています。一方、「プルトニウムの利用」に対して、一部マスコミなどの偏見と見られる報道があることも事実です。情報公開には公開する側の責任はもとより、同時に受ける側の準備も求められることと思います。原子力広報担当者にとっては、一方的な偏見への対応には心身とも擦り減らす思いと感じます。

・我々編集部一同、改めて情報提供に当たってこのことを認識し、より正確でわかりやすい記事を皆様にお送りできますよう頑張っ

て参りたいと思っております。
(編集部一同)

