

再処理リサイクル・プルサーマルの意義

京都大学原子炉実験所 山名 元

1. エネルギーポートフォリオと原子力

要点

- 96%のエネルギー資源を海外に依存する我が国にとって、“安定供給の確保”と“環境の保全”が不可欠である。
- このために、“省エネルギー”“新エネルギー”“原子力”の3つを柱として、化石資源依存度の低減を進める事が必要。
- 原子力は、他のエネルギー源(石油、石炭、ガス、自然エネルギー)との併用によってリスク分散を図るための一定の役割を担う。長期的に安全・安定な原子力利用の維持が重要。

➤ わが国のエネルギー需給構成では、化石燃料資源(石油、石炭、ガス)への依存度が非常に高い(約 80%)。この事は、地球温暖化ガス(二酸化炭素)の発生に直結して大変好ましくないだけでなく、化石燃料資源を国内にほとんど持たないわが国のエネルギー海外依存度を、本質的に高めている(図 1)。

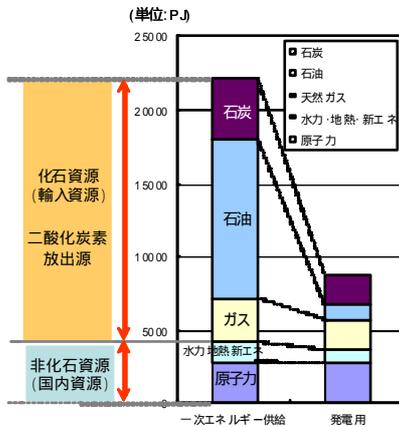


図 1 我が国のエネルギー需給構造(2003年)

➤ 化石資源への依存度が高くエネルギー資源自給率が低い状況は、先進国の中でもっとも悪い。一次エネルギーの96%を海外からの輸入に頼っている状況を改善するために、本質的にエネルギー自給率を強化することが求められる。

➤ 現実的に利用可能な電源として、火力、水力、原子力、新エネルギー(風力や太陽光)があるが、それぞれが一長一短を持っており、それぞれの特長を生かす最適な組み合わせで、リスクを分散させてゆくことが必要である(ベストミックス=エネルギーポートフォリオ)。

➤ 原子力発電は、ウラン燃料の輸入先が政治的に安定な国であること、複数の国に分散していること、国内での燃料備蓄効果が非常に高いこと、燃料価格の変動に影響されにくいこと等、エネルギー安全保障(セキュリティ)上の効果が非常に高く、海外の状況に大きく左右されない安定電源として信頼性が高い。

➤ 温暖化ガスの削減、高いエネルギー安全保障効果(安定性)、化石燃料依存度の低減、等の観点から、新エネルギー導入を積極的に進めながらも、環境保全型の大規模安定電源として原子力を発電量の3割~4割を担う程度に利用して行くことが必要である。

➤ 今後の原子力利用促進は、先進国での共通認識となっており(G8 サミット)、多くの国で、原子力利用の強化あるいは維持が図られている。

2. 使用済核燃料の総合的な管理方策

要点

- プルサーマルは、原子力発電所から発生し続ける使用済濃縮ウラン燃料を、総合的に管理するための方策としての“再処理リサイクル路線”の一部である。
- この路線では、使用済濃縮ウラン燃料を発電所から再処理工場に払出す事が出来る。
- 代替策である“直接処分路線”には、地層処分での負担が大きい、社会的・技術的な基盤が整備されていない等の問題が多い。
- 当面我が国は、長い時間をかけて整備してきた再処理路線を安定に進めることが、最も現実的で安定なバックエンド方策である。
- プルトニウムは、利用しながら管理すべき貴重な備蓄資源である。

➤ 原子力利用を長期安定的に維持するためには、「安定なフロントエンド(ウラン燃料の調達)」と「安定なバックエンド(使用済燃料の管理)」を構築する必要がある。我が国においては、現在の原子力発電規模では、使用済濃縮ウラン燃料が一年に約 800~1000t 発生している。

➤ 使い終わった濃縮ウラン燃料である使用済核燃料には、大半を占めるウラン、放射性が強く早く社会環境から隔離すべき核分裂生成物、核燃料としての価値を持つプルトニウムが含まれる(核燃料 1t あたり約 10kg)。

- この取扱い方法としては、本質に 直接処分路線、と 再処理リサイクル路線、の2つしかない。直接処分では、使用済核燃料を金属容器に封入した上で地層処分する(地中深く埋設する)のに対して、再処理リサイクル路線では、使用済燃料を化学処理(再処理)して、プルトニウムを分離回収した上で、高放射性物質だけを、安定で小型な固化体として地層処分する(図 2)。
- 再処理リサイクル路線と直接処分路線の比較において大きく異なるのは、使用済燃料の貯蔵状況の違いである。
- 伊方発電所では、一年に約 0.4t のプルトニウムを含む約 40t の使用済濃縮ウラン燃料が発生しているが(筆者による概算推定)、直接処分路線では、使用済燃料を貯蔵し続けることになり、いずれ発電所での貯蔵が満杯になれば、中間貯蔵施設を設置してそちらに貯蔵する事になる。

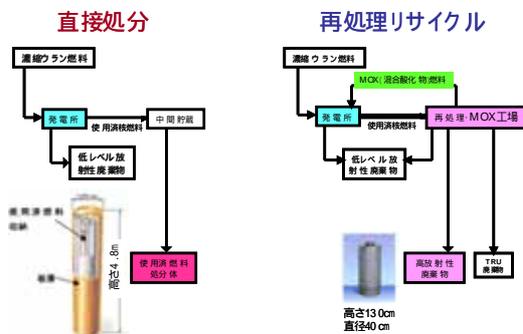


図 2 使用済燃料管理の2つのオプション

- これに対して、再処理リサイクル路線では、使用済濃縮ウラン燃料を、随時、原子力発電所から再処理工場に払い出して処理する。実際、国は、発電所から使用済燃料を払い出して再処理することを条件として、原子力発電所の設置許可を出してきた。
- 概算では、約 8.5 体の濃縮ウラン使用済燃料から 1 体のプルサーマル燃料(MOX 燃料)が製造される。伊方発電所から使用済濃縮ウラン燃料 8.5 体を払い出して処理すると、1 体の使用済プルサーマル燃料が出来、これを伊方発電所で再利用する事になる。

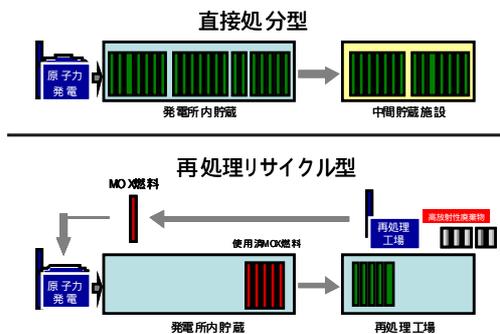


図 3 使用済燃料保管の違い(イメージ)

- 即ち、使用済濃縮ウラン燃料 8.5 体が撤去されて、

1 体の使用済プルサーマル燃料が発生するというバランスとなる。これは、発電所に保管している使用済燃料を 1/8.5 に減らしている事になる。再処理は使用済燃料を合理的に減らす手法であることが分かる(図 3)。なお、使用済プルサーマル燃料は当面発電所に保管されるが、いずれ再処理されることになる。

- “プルサーマル”は、分離回収されたプルトニウムを燃料としてもう一度、原子力発電所に供給して使うことであるが、これは、回収されたプルトニウムには燃料としての価値があるからである。
- 原子力発電所に供給される新しい核燃料の「燃料価値(燃えやすさ)」は、核燃料中のウラン-235 に

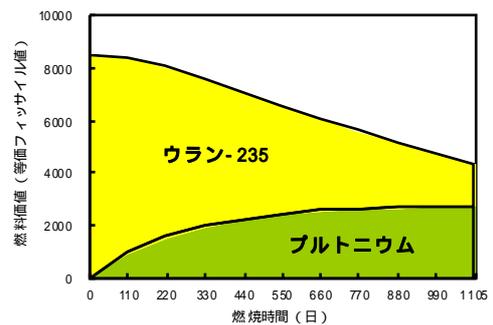


図 4 核燃料中での燃料価値の変遷

よるものである。この核燃料が炉から取り出された後の使用済燃料中には、初期の燃料としての燃料価値の約51%が残留している(3年程度燃焼させた場合)。この残留価値の約70%がプルトニウムによるものである(図 4)。

- 再処理リサイクル路線はこのように、“使わなければ負の遺産、使えば燃料としての正の遺産”であるプルトニウムを回収して利用(消費)して行く手段である。“使用済燃料の総合的な管理方策”として、使用済濃縮ウラン燃料を処理しながら燃料として価値を持つプルトニウムを再利用する考え方である。プルトニウムは備蓄資源である。

3. 使用済燃料の特性

要点

- 使用済燃料中の毒性はプルトニウムだけで決まるものではなく、核分裂生成物元素を含めて総合的に考えるべきものである。
- 使用済濃縮ウラン燃料約 8.5 体が持ち出されて MOX 燃料1体が作られる(概算)。使用済 MOX 燃料1体の放射線毒性は、使用済濃縮ウラン燃料 8.5 体のそれよりかなり低い。
- 使用済濃縮ウラン燃料も使用済 MOX 燃料も共にしっかりした安全管理が必要なのであり、使用済 MOX 燃料だけが特に危険な物であるという説明は不適切である。

- 運転中の原子炉(核燃料)中に存在する放射線毒性の大半は核分裂生成物によるものであり、原子

炉の事故時の安全性を決めるのも核分裂生成物である。

- MOX 燃料の平均燃焼度(核燃料の燃え具合)は 38000MWd/t であり、使用済濃縮ウラン燃料の 44000MWd/t よりも低く、核分裂生成物の量は使用済ウラン燃料の方がむしろ多い。
- TRU 元素(プルトニウム等)の放射能については、使用済 MOX 燃料の方が濃縮ウラン燃料の場合よりも高くなるが、核分裂生成物も含めて総放射能や放射線毒性を比較すると、せいぜい2倍程度である。使用済ウラン燃料 8.5 体を撤去して MOX 燃料 1 体に変えていることを考慮するとむしろ改善である。
- 使用済濃縮ウラン燃料 8.5 体分の放射能(毒性)と、1 体の使用済 MOX 燃料の放射能(毒性)を比較すれば、MOX 燃料 1 体の方が十分低い。

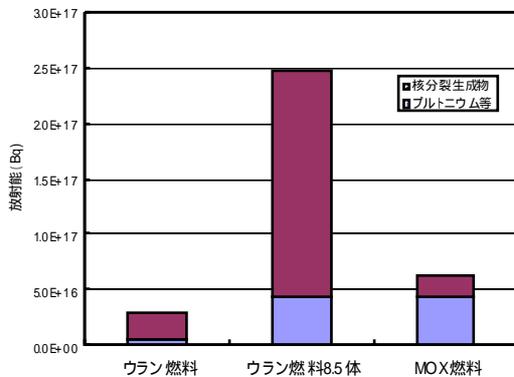


図 5 使用済燃料の放射能 (山名試算：)

4. 燃料の健全性や安全性について

要点

- ウラン燃料と全く同じ形状の MOX 燃料をウラン燃料と同様に装荷するものであり、運転方法などは従来と変わらない。
 - プルトニウムを含む燃料によって燃料の特性が多少変わることを前提として、MOX 燃料の設計を適切に行う事により、濃縮ウラン燃料炉心と変わらない炉心特性を担保している。
 - 仮想的な事故を想定しても、プルトニウムが外部に出る事はない。事故時の影響を決めるのはむしろ核分裂生成物である。
- プルサーマル燃料を装荷すると発電所からの放射能が増えるという心配を持つ方が居るが、これは明らかな誤解である。炉心の 1/4 まで装荷されるプルサーマル燃料は、炉心の 3/4 を占める濃縮ウラン燃料と同じように金属製被覆管に密封された燃料であり、運転中に放射能が放出されることはない。
 - プルサーマル燃料を装荷した炉心が事故を起こすと非常に大きな被害が周辺に出るという心配を持

つ方が居るが、これも極端な誤解である。原子炉は安全設計によって炉心の損傷が起こらないようになっているが、仮想的に炉心が損傷しても、放射性物質は炉容器や格納容器によって包蔵されるようになっている。酸化プルトニウムは極めて揮発しにくい物質であり、最も飛散しにくい物質の一つであり、仮想事故において危険なのはむしろ核分裂生成物の方である。

- プルトニウムを含む燃料を装荷するため、炉心や燃料の特性が多少変わる。このために着目すべき課題については国の安全審査指針で明確に規定されており、MOX 燃料の設計を適切に行う事によって、濃縮ウラン燃料炉心と変わらない炉心特性を担保している。
- 例えば、MOX 燃料の配置や量を制限することで反応の制御性をウラン燃料炉心と同程度確保している、ウラン燃料では通常燃料ピンの内圧が 10 数 MPa まで上昇するが、MOX 燃料では同等の圧力になる時点で燃料を取り出す(燃焼度を制限)、燃料の融点の降下が 70 度程度の範囲でプルトニウムを使う、等。
- MOX 燃料はプルトニウムを含むために放射線量がやや強いので、新燃料を取り扱う上で適切な遮蔽や遠隔操作が必要である。この技術は特に新しいものではなく国内外の経験も非常に多い。この件は、従業員の安全のための措置であって、周辺住民の問題ではない。

5. 再処理・プルサーマルによる効果

要点

- 使用済ウラン燃料を発電所から払い出して再処理することで、発電所での使用済ウラン燃料の蓄積、発電所の停止、中間貯蔵施設の増設を回避できる。
 - 安定で処分し易い高レベル放射性廃棄物の地層処分を実現できる。従来構築してきたインフラをそのまま利用する。
 - 濃縮ウラン燃料を節約しつつプルトニウムを消費すると共に、将来的な資源物質として備蓄し管理下に置くことが出来る。
- 発電所から使用済濃縮ウラン燃料を払い出すことが出来る。今後、伊方発電所での使用済濃縮ウラン燃料の貯蔵量は、再処理工場に燃料を払い出す事で、増えなくなる。更に、将来的に再処理量が増えれば、減少に向かう。余計な使用済燃料の保管量を低減するだけでなく、使用済燃料が満杯になることで発電所が停止するリスクを軽減できる。
 - 中間貯蔵施設の建設を減らすことが出来る。直接処分路線では、今後 60 年間に全国で約 12 箇所あるいはそれ以上の中間貯蔵施設が必要になるが、六ヶ所再処理工場を運営すれば、中間貯蔵施設は 3 箇所程度で済む。

- 直接処分路線ではプルトニウムを使用済燃料として貯め続けるが、再処理プルサーマル路線では、プルトニウムを積極的に燃焼させて消費する。
- プルトニウムを燃焼させることでプルトニウムの同位体組成を変化させ、二度と核兵器として利用できないものに変える。プルサーマルは、米国やロシアが解体核兵器プルトニウムの消費に利用されている。
- 濃縮ウラン燃料に代えてプルトニウム燃料を利用するので、約15%程度の濃縮ウラン燃料を節約できる。同様に、ウラン濃縮役務の海外依存度を15%程度下げることが出来る。
- 従来日本の原子力利用は、使用済燃料を再処理する事をすべての前提として進められてきた。再処理施設の確保、様々な法整備、原子炉の設置許可などのインフラ構築に20年近く費やした。これらのインフラをそのまま利用できる。再処理・プルサーマル路線を変えると、従来構築してきたインフラを全て変えるリスクを負う。
- 再処理リサイクル路線の高レベル放射性廃棄物の地層処分では、使用済燃料を直接処分する場合よりも、処分場の面積を少なくできる(2/3あるいはそれ以下)。また、再処理リサイクル路線の高レベル放射性廃棄物の地層処分については、既に処分地の選定のための法整備や手続きが進められている。
- 再処理リサイクル路線の方が、高レベル放射性廃棄物の処分を工学的に見通し易い。使用済燃料の直接処分についての技術的な知見は不足しており、工学的な不確実性が多いからである。

6. 再処理・プルサーマル路線の選択

要点

- 再処理リサイクル路線の選択は、国情に応じて大きく違って来る。我が国なりの判断が重要。
 - 核燃料サイクルの経済性評価の結果、再処理リサイクル路線が直接処分路線より0.5 円/kWh程度高いことが示されたが、総合的な効果や現実性から見て許容範囲にある。
 - アメリカや国際原子力機関は、核不拡散の観点から、原子力国の使用済燃料を国際的に引き取って再処理する構想を提唱している。
 - 米国・フランス・ロシア・中国・インドは高速増殖炉の開発を加速している。核燃料サイクルに対する世界の視点は、20年以上前の時代より大きく変わってきている。
 - 我が国の新しい原子力政策は、世界的な状況変化を見ながら柔軟性を持つよう変った。
- 世界には、再処理リサイクル路線を選択している国と直接処分路線を選択している国がある。直接

処分を選択している国は、スウェーデン、スペイン、スイス、ドイツなどの原子力利用を限定的に見ている国である。

- アメリカ合衆国は、保管処分とでも言うべき方針(Yucca Mountain)をとっているが、最近になって、国際的な核不拡散体制強化のために再処理リサイクル路線を進めることを宣言した。韓国は再処理リサイクル路線を望んでいるが米国との協約によって実施していない。カナダは天然ウラン資源が

表 1 核燃料サイクル国

	国名	原子力発電所数	再処理施設
核燃料サイクル国	日本	54	
	米国	104	()
	フランス	59	
	ロシア	31	
	英国	23	
	中国	9	
その他の原子力発電国	インド	15	
	韓国	20	x
	ドイツ	17	x
	カナダ	17	x
	スウェーデン	10	x
	スペイン	9	x
	その他	75	
総計		443	
原子力導入計画国	ベトナム		x
	インドネシア		x

豊富であり、再処理リサイクルを行う必然性が低い。インドネシアやベトナムは今後原子力を導入する計画であるが、海外での再処理を希望している。

- プルサーマルは、ドイツ、ベルギー、スイスなどが海外委託再処理により行ってきた。フランスは自国の再処理によるプルサーマルを進めている。ロシアの解体核兵器からのプルトニウムを米国でP

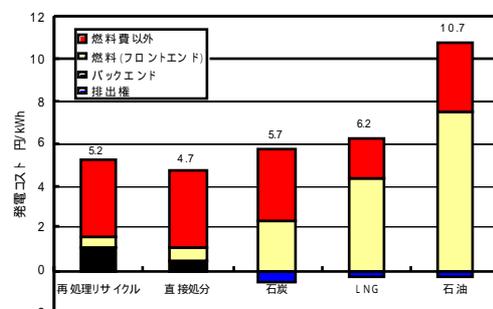


図 6 再処理プルサーマル路線の経済性評価結果

ルサーマル利用する計画が進んでいる。

- 世界の核燃料サイクルへの取り組みの視点は、20年以上前の資源増殖一辺倒だった状況から大きく変化し進展している。
- 再処理リサイクル(プルサーマル)路線の選定を決める最も大きな要素は、プルサーマルの安全性よりもむしろ経済性である。再処理路線と直接処分路線の経済性評価は、原子力政策大綱の策定において綿密に行われた。再処理路線は直接処分路線よりも0.5 円/kWh程度高くなることが分かったが、多くの効用を考慮すると許容範囲であると認識された。