

使用済み燃料の再処理

Reprocessing of Nuclear Spent Fuel

陶 山 尚 宏*

Naohiro Suyama

1. まえがき

今、青森県六ヶ所村では、我が国初めての大規模商用再処理工場の建設の最盛期を迎え、大型クレーンが所狭しと動き廻っている。

再処理工場はご存知の如く、原子炉で核分裂を起こさせ、熱エネルギーを放出させた燃料集合体（使用済み燃料）から再度、原子燃料として利用できるウラン、プルトニウム、を廃棄物である核分裂生成物（FP）から分離する一種の金属精錬工場である。

近頃、世の中ではリサイクルブームが盛んで最終廃棄物の減量、リサイクル可能な物質の回収が盛んに推奨されている。この点、原子燃料の再処理は正に、リサイクルの最先端を行く技術と言う事が出来る。現在、世界で、この様な大規模な再処理工場で稼動中のものはフランスのラ・アーグのUP3工場、UP2-800工場と、イギリスのシェラフィールドのTHORP工場とがある。これらの工場で用いられている技術はピュレクス法と呼ばれている湿式再処理法であり、まず燃料集合体を小片に機械的にせん断し、沸騰硝酸にてこのせん断片からウラン、プルトニウム、FPを浸出溶解する。

これら成分を含む硝酸溶液を有機溶媒とパルスカラム等の溶媒抽出器で向流接触させる事によりウラン、プルトニウム、及びFPにそれぞれ分離する。この方法は40年近い経験があり、技術的には確立したものと言う事が出来る。しかしながら、近年の環境問題の先鋭化による再処理工場から環境に放出する放射性物質の低減化、或いは放射性廃棄物の減容などが問題としてクローズアップされつつある。

また、核不拡散の観点から核兵器の原料として利用できるプルトニウムを例え、平和利用目的と言えども

分離して所有する事は間違いであり、使用済み燃料は廃棄物として埋設処置し、再処理は廃止すべきであると言う考え方が以前からアメリカ、スウェーデン等であり、この政策が取られて来た。

最近、ドイツでも革新政権に交代してから、アメリカ、スウェーデンと同じ政策が取られようとしており、フランス、イギリスとの再処理契約が破棄されるとの動きがあるが結論はでていない。

再処理は本当に核不拡散に対して問題となるのか？また、昨年の秋、フランスのニースで開かれたREC OD会議で発表された再処理技術の開発状況等についてヨーロッパの状況を主として要約してみたいと思う。

2. 再処理と環境問題

一昨年の7月、ポルトガルの古都シントラで北東大西洋の海洋環境保護に関する条約（OSPAR条約）について、OSPAR委員会が将来の作業指針となる戦略の策定を行った。放射性物質に関する項目では「放射性物質の放出を削減して当該区域の放射能による汚染をできるだけ少なく、究極的には海洋中の放射能濃度をバックグラウンド・レベル近くまで下げる事、また人工放射性物質についてはゼロ近くまで低減する事」を目標としていると云われている。

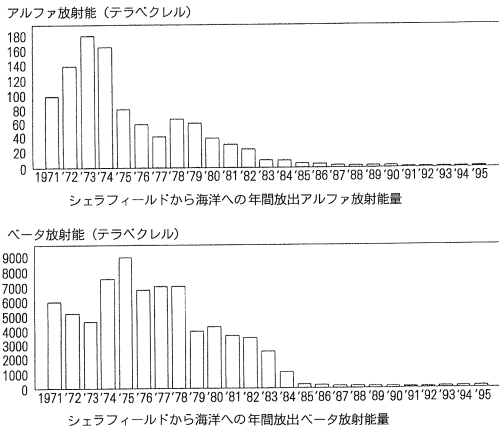
まず2000年までに当該区域を対象に放射性物質の放出の大幅削減を行ない、2020年までに海洋中の放射性物質の蓄積量が現状より増加する事が無いようにする。また、この達成に当たっては「従来からの海の利用」、「技術的実現可能性」、「人体と生物相に対する放射線学的影響」を特に考慮する事が決められたと伝えられている¹⁾。現在ヨーロッパには前述の通りフランスのラ・アーグ、イギリスのシェラフィールドと二つの再処理サイトがある。ここ十年来、二つのサイトでは環境に放出する放射性物質量の低減化に多大の努力を払っている。

シェラフィールドにおいては、低レベル廃液処理プ

* 日本原燃(株)理事（再処理運転準備担当）
〒030-0802 青森市本町1-3-9 ニッセイ青森本町ビル

ラントを建設し、1994年から操業を開始している。以前から稼動しているSIXEP（イオン交換廃液処理プラント）や含塩廃液蒸発処理装置は海洋に放出する廃液に含まれる放射性物質の量を大幅に減少させることに十分に寄与している。

現在、シェラフィールドからアイルランド海に放出する廃液中に含まれる放射性物質の量は1970年中期に比べて、その1%以下に減少されている。（図-1）



(BNFL発行 Briefing notes on aspects of BNFL "Sellafield and the Irish Sea" による。)

図-1 シェラフィールドから海洋への年間放出放射能

シントラ会議の後、イギリス政府は合意実現には非常に困難を伴うが、今後の技術の進歩により、20年後には、これは達成できると表明した。

BNFLはこの合意の達成について、「放射性物質の放出管理」の強化が必要だがシェラフィールドの運転は継続は出来ると述べ、今回の合意に技術的な実行可能性や人間・生物相への放射能の影響を考慮することの条件が加えられたことや、放出量をゼロ近くにすべき放射性物質が「今後放出される人工放射性物質」に限定されたことを歓迎していると伝えられている¹⁾。

一方、ラ・アークでも放出放射性物質の低減化の努力が為されてきた。

再処理量の増加に伴い、必然的に放射性物質の海洋への放出量も増加する。ラ・アークの管理主体であるCOGEMAは1967年にSTE2、1987年にSTE3と呼ばれる廃液処理施設を設計し、建設した。以降20年、STE2は化学沈殿法プロセスにより再処理プラントからの放射性廃液を処理してきた。

今日、STE2では、極低レベル廃液中の放射能を、

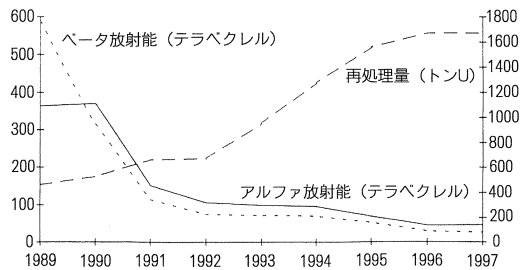
海洋に放出前にろ過のみの処理を行っている。

STE3はSTE2に比べより高い放射性廃液を処理する施設であり、STE2と同じく化学沈殿法を用いてきた。沈殿物はアスファルトと混合しドラム缶に封入する。1995年から、新しい放射性廃液の管理システムが採用され、UP3工場ではアスファルト固化処理は中止されている。

現在、放射性廃液の管理は、蒸発缶による濃縮後プロセスにリサイクルする方法を採用している。

この方法の採用により放射性廃液の量の減少が可能となり、かつ海洋に放出する放射性物質の量を大幅に減少させる事が出来た。蒸発処理した後の放射性物質を含む濃縮液はガラス固化している。

1969年から1991年まではラ・アークでは海洋に放出する放射性廃液中の放射性物質の量は若干高かった。しかし1991年以降この様な思い切った処置により、その量は無視できる程度となった。（図-2）



(p. 27, COGEMA Reprocessing complex : already 9 years of operation, mature and flexible, 1998, RECOD 98.による。)

図-2 ラ・アークから海洋への年間放出放射能

周辺環境への年間被曝線量は0.02mSv程度であり、サイトでの年間許容被曝線量0.15mSvに比較しても小さい、これも殆ど放射性物質の海洋への放出に起因するもので無く、大気への放出によるものと考えられている。

今、ラ・アークでは2000年以降に向けて、固体放射性廃棄物の容量の減容技術の開発をすすめている。

それらの主なものは；

- －溶解済被覆残渣 (HULL) および燃料端末 (エンド・ピース) の圧縮
- －UP3工場に保管中のアスファルト固化体ドラム缶の処置
- －再処理操作によって発生する各種廃棄物の減容化等である。

将来には、例えばガラス固化プラントの排気系によ

り効率の良いフィルターを追加するなどして大気に放出する放射性物質量を減少させる事を考慮するとしている。一方、我が国においては日本原燃の再処理工場が六ヶ所村にて建設が進められているがまだ建設途中で、実績はないが放射性物質の放出の低減化については、設計においており込み済みであり、再処理事業指定の申請書によれば、年間800トンUの使用済み燃料を処理したとして、海洋に放出した放射性物質による実効線量当量（被曝量の評価計算値）は海上での作業の外部被曝の推定値及びその人の海産物摂取による内部被曝の推定値を合わせ年間約0.0033mSvで、大気放出の放射性物質の実効線量当量と合わせると約0.02 mSv/年と評価されている。

3. 再処理と核不拡散問題

再処理技術はそもそも核兵器の原料となるプルトニウムを生成する為の技術であり、原子炉の燃料としてプルトニウムを平和利用するとしても、常にその軍事目的への転用の危険性が論じられてきた。20年余り前、当時のアメリカ合衆国カーター大統領は自国のプルトニウムの原子炉の燃料としての使用を止め、民間再処理工場の廃棄を決定した。

その為、原子力発電所から生ずる使用済み燃料は政府が引き取り埋設貯蔵管理する事に成っているがまだ最終的には実施されていない。

当時、カーター大統領は自国の再処理を止める事を理由に、試運転中であつた日本の動燃事業団の東海再処理工場の中止を提案して来た。厳しい日米交渉の末、かろうじて条件付きで東海再処理工場の運転は認められた。その条件として、核不拡散に対する努力が求められ、プルトニウムを単独で製品とするのではなく、混合脱硝（プルトニウム溶液とウラン溶液を混合して酸化物粉末とする）方式の採用、IAEAによる保障措置の強化、保障措置技術の開発等の実施を同意し、以後これらを実施している。

今、プルトニウムをMOX燃料としてリサイクルしているのはフランス、ロシア、ベルギー、日本で、ドイツは、今まではリサイクルを行っていたが、最近の政権の交替により新政府が再処理の委託およびMOX燃料のリサイクルの中止しようとしている。

確かに、短期的に見れば、プルトニウムを生産する再処理工場を含むMOX燃料利用政策（リサイクル方式）は核兵器を作ろうとする国家或いはテロリストグループへの核拡散の危険性が存在する事は確かである。

これに対して、使用済み燃料の直接処分（ワンスルー方式）はリサイクル方式に比較してより安価で環境に対してインパクトが小さく、核不拡散性があると言われる。果たしてそうであろうか？

リサイクル方式は使用済み燃料中の燃料成分の97%が回収される。もしワンスルー方式でこの分の燃料原料を確保するとしたら、ウラン鉱山から採掘しなければならず、ウラン回収後の残土処理地下水の汚染、鉱山作業員の被曝など多くの問題があることを考慮に入れなければならない。

リサイクル方式では高放射性の核分裂生成物を分離するが、これをガラス固化する事により容量を減少させる事が出来る。将来これは地中埋設する事になっているが、その容積はワンスルー方式に比較しておよそ数分の一と言われている。

現在、世界には30を余る国で原子力発電を行っている。この内、MOX燃料のリサイクルを決めている国は、フランス、ベルギー、ロシア、中国、日本等数カ国に過ぎない。この他の国はワンスルー方式を取ると考えられる。これらの国ではそれぞれ、使用済み燃料を自国内に貯蔵するが、将来のエネルギー・セキュリティを考えて、取り出し可能な貯蔵を考える国も有れば、アメリカの様に地中深く埋設する事を考えている国もある。どちらにしても、使用済み燃料中の放射能は崩壊減衰し200年もたてば、1 Sv/時以下となり、核不拡散上、放射線による“自己防護”の限界とされている値を下廻ることになる。

これは、世界の20以上の国にプルトニウム鉱山が存在する事になり、核不拡散上由々しき問題となることは明白である。

長期的に見れば、現在のワンスルー方式も決して核不拡散性が有るという事は出来ないと言う事である。

近年、アメリカ、ロシアの軍縮によって生じた余剰の兵器級プルトニウムの措置が問題となっている。

この措置として、MOX燃料に加工して原子力発電所で燃焼させる方式、或いはガラス固化体として地中埋設する方式が検討されている。

しかし、最近アメリカにフランスのCOGEMAから兵器級プルトニウムをMOX燃料に加工する技術移転の契約が為されたようである。

同様に、ロシアに於いても、日本を含む西欧各国の協力によるプロジェクトが進められていると聞いている。この様に、エネルギー源として有用なプルトニウムを無駄に捨てること無く、ウラン鉱山採掘による環

境影響を最小限に止め、核不拡散性がある国際的な燃料サイクルを構築する事がアイデアの一つとして上げられている²⁾。現在、世界で再処理-MOX燃料加工の技術を持っている国は核兵器保有国(アメリカ、イギリス、フランス、ロシア、中国)と日本ぐらいであろう。この六カ国が中心となり、国際保障措置の管理の下に再処理とMOX加工を連続させた工場を稼働し、各区域内の国の原子力発電所からの使用済み燃料を受け取り再処理し、必要ならばMOX燃料を供給する。この方法は、エネルギー資源も無駄にせず、核不拡散性も充分にあると考えられる。

しかしながら、今、MOX燃料の価格はウラン燃料に比べて高いと言われ、今すぐに、この施策の実施は困難かもしれない。

二、三十年後、化石燃料使用による炭酸ガスによる地球温暖化問題、ウラン鉱山問題など考えるとき、プルトニウム利用の核燃料サイクルは必ず必要になると確信する。核燃料サイクル施設の計画、建設、操業には二十年、三十年と多大な時間が必要である。それを考えるとき、今から真剣に検討を始めても早すぎる事は無いと思われる。

4. 新しい再処理技術

昨年10月南フランスのニースにて“98年ヨーロッパ原子力学会及び核燃料リサイクル、処理、処分国際会議(ENC-98-ERCOD)”が開催された。それまではENCとERCODとは別々に開催されていたが、昨年の第5回ERCODはENCと同時に平行して開かれた。ERCODは核燃料のリサイクル、廃棄物の処理、処分の技術開発について2-4年毎に開かれる国際会議であり、バック・エンド、廃棄物管理に関する政策、技

術などが議論される場となっている。今回の会議では、再処理、プルトニウム及びウランのリサイクル、廃棄物処理処分、デコミショニング等の技術開発状況について発表が行われた。

再処理に関しては、既に確立されているピュレックス技術は、今後20年間に根本的に新しい技術に置き換わる様な事は無いし、大幅な変更も無いと考えられる。しかしながら、現在稼働中の再処理工場、先進ピュレックス・プロセスの設計の為に技術開発、プロセス改良についての論文が発表された。

長期的視野から開発が必要な代替再処理技術として溶融塩法、弗化物揮発法を基本とした乾式再処理プロセスの開発状況が示された。これらの技術は湿式ピュレックス法に比べ、水溶液、有機溶媒を使わないため放射性廃液の発生を軽減できるという利点がある。

最近、乾式再処理の開発について電力中央研究所と核燃料サイクル開発機構との間で共同研究の実施の調印が為されたとの事であり、今後この分野での研究が進むものと考えられる。

ラ・アージュでは、順調に再処理操作を進めている。

しかしながら、より効率の向上、安全性の向上の為に設備の更新、或いは新設を行っている。

その状況がERCOD98で報告されている³⁾。UP2・800工場はフランス国内原子力発電所(軽水炉)からの使用済み燃料を処理する為の再処理工場であり、以前のガス炉からの使用済み燃料を処理していたUP2工場に、軽水炉燃料を処理する為のプロセスを追加した施設である。

今回、古いUP2工場の設備を閉鎖し、新しくR4-プルトニウム精製・脱硝施設を増設しようとするものである。この施設の設計に際し、施設面積は出来るだけ

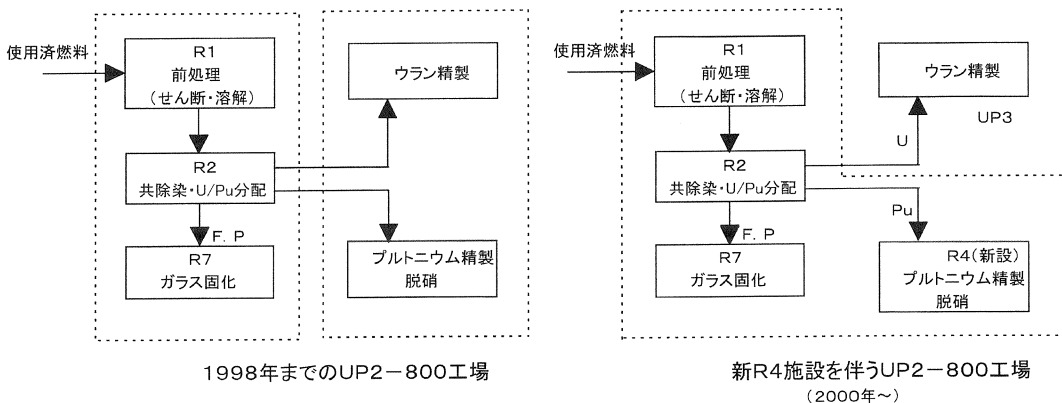


図-3 UP2-800の改造計画の概要

少なくしかつ、発生する放射性廃液も出来るだけ少なくする事を心がけている。その為、プルトニウムを精製する溶媒抽出器には、前の施設で用いられていて経験はあるが比較的場所を取るミキサセトラに変わり、コンパクトで場所を取らない遠心抽出器を採用している。従来はプルトニウムを含む溶液のタンクは臨界安全を考慮して環状槽（アニュラー槽）を用いていたが、二倍以上コンパクトになるチューブ・バンドル槽を開発し採用している。

また、オンライン分析を全面的に採用する事により、分析操作によって生ずる放射性廃液を減少させる事が可能となった。1998年以前のUP2-800工場とR4施設を増設したUP2-800工場の比較したブロック・ダイアグラムを図-3に示す。

この他、ラ・アークでは、放射性固体廃棄物の減容化の開発に努めている。その一例を挙げると、溶解済被覆残査（HULL）は今まではコンクリートに混ぜて固化していた。この方法では、コンクリート分、廃棄物の容積が増加する事になる。そこでラ・アークでは新しく、HULLをプレスで圧縮し、圧縮体を容器に封入する施設を建設している。

この施設はACC（l'Atelier de Compactage des Coques）と呼ばれ来年完成を目標に建設が進み、現在、試運転を実施している。

R4施設、及びACC施設の建設、試運転に関して、COGEMAは、UP3、UP2-800の経験から新しい手法の導入を図り、試運転の期間の大幅の短縮を図っている。

シェラフィールドのTHORP工場は約3年のアクティヴ運転の経験している。

目下の技術の開発の目標は、前述の通り環境への放出放射性物質の低減化にある。

しかしながら、先進ピュレックスプロセスの概念がERCOG会議で報告されている⁴⁾。

この未来の再処理工場は、プロセスに融通性があり、環境に対して影響が少なく、費用効果を改善したプロセスであり、プルトニウム、ウラン分離のための溶媒抽出器に従来のパルスカラムに対して、場所を取らない遠心抽出器を採用し、大幅に自動分析装置を取りられている。まだ基礎研究の段階であるが、乾式再処理は実規模実現に時間がかかることから、次期の再処理工場への適用に非常に有望である。

5. 最後に

今まで述べてきた様に、再処理事業は環境、或いは核不拡散等に対して色々解決すべき問題が多く残されていて、進む道は必ずしも平坦なものではない。

しかしながら、エネルギー資源の乏しい日本、フランスなどに取っては、プルトニウム利用のリサイクルは必須であり、かつ化石燃料燃焼による炭酸ガス蓄積を減少させる意味でも必要と考える。

その為にも、原子燃料サイクルの要である再処理の技術の開発は安全性、信頼性、経済性を目指して、今後益々発展させるべきと考える。

参考文献

- 1) : 欧州原子力情報サービス98-12, (IEA OF JAPAN)
- 2) : Dr. A. L. Jaumotte, The non-proliferation benefits of reprocessing P104, Nuclear Europe Worldscan 7-8, 1997.
- 3) : Dr. B. Gillet et, al, (COGEMA) R-4 Innovative concept for Plutonium finishing facility. P11, Volumel, RECOG98.
- 4) : Dr. R. J. Taylor, (BNFL) The development of chemical separation technology for an advanced Purex process. P417, Volumel, RECOG98.

協賛行事ごあんない

「超高温材料国際シンポジウム」について

主 催 : 超高温材料国際シンポジウム実行委員会
(構成団体 : 岐阜県, 多治見市, 社団法人
中部経済連合会)

日 時 :

第1部 平成11年9月9日(木)13:00~17:30
第2部 平成11年9月10日(金)9:00~12:00

場 所 : 多治見市文化会館(岐阜県多治見市十九田町)

参加費 : 5,000円

お問い合わせ先 :

岐阜県多治見市東町3-1-8

(株)超高温材料研究所 岐阜研究所 総務部

電話 0572-25-5380 FAX 0572-21-1045