

「将来原子力システムのための再処理技術」研究専門委員会

将来原子力システムの再処理における核種分離と分離変換技術意義

Separation technology for reprocessing process in future nuclear system and role of partitioning and transmutation technology

(1) 分離変換技術の意義と役割

(1) Goal and reasoning of partitioning (separation) and transmutation technology

*山口 彰¹

¹ 東京大学

(2) 将来再処理技術としての分離技術の研究開発状況

(2) Current status of R&D on separation technology to realize future reprocessing

*松村 達郎²

² 原子力機構

(3) 放射性廃棄物処分から見た分離変換技術

(3) Separation and transmutation technology from the viewpoint of radioactive waste disposal

*池田 孝夫³

³ 日揮

1. 概要

「将来原子力システムのための再処理技術」研究専門委員会は、再処理の観点から、近未来のみならず、100年先の将来の原子力システムへの対応をも見据え、関連する技術、再処理の発展や深化に係わる科学について調査・研究を目的として設立された。原子力利用において、使用済燃料再処理の役割は燃料再生に留まらず、核燃料サイクルの要となるプラットホームとして、廃棄物処分の負荷低減に寄与し、核種分離をも伴うものへと深化しつつある。

平成26年4月に閣議決定された「エネルギー基本計画」においても、対策を将来へ先送りせず着実に進める取組として、「使用済燃料対策を抜本的に強化し、総合的に推進する。」とし、「将来の幅広い選択肢を確保するため、放射性廃棄物の減容化・有害度低減などの技術開発を進める。」としている。わが国では、長寿命核種の分離変換技術の研究開発が進められてきたが、その導入時期は必ずしも明確になっていない。分離変換技術の実現には、幅広い分野に渡る研究開発をバランスよく進めていくことが重要であるが、そのためには、分離変換技術の意義をあらためて考察することが極めて重要である。

2. 分離変換技術とは

わが国では、使用済燃料に含まれる U および Pu を再処理により分離・回収して有効に利用し、高レベル廃液(HLW)に含まれるマイナーアクチノイド(MA)の Np、Am および Cm、ならびに核分裂生成物(FP)を固化体として地層処分することを基本的な方針としている。分離変換技術は、HLW に含まれている種々の核種をその処理方法や利用目的に応じて、いくつかのグループまたは元素(核種)に分離するとともに、長寿命核種を短寿命核種または安定核種に核変換し、放射性廃棄物処分の負担軽減等を目指すものである。

HLW から長寿命核種およびその親核種を分離・回収し、核変換により短寿命核種または安定核種にできれば、残りの廃棄物は数百年程度で放射能レベルが減衰し、放射性廃棄物処分の有害度の低減など負担軽減に繋がると考えられる。長寿命核種およびその親核種としては、²³⁷Np(半減期: 214.4 万年)、²⁴¹Am(半減

期：432.6年）、 ^{243}Am （半減期：7370年）、 ^{244}Cm （半減期：18.11年）といったMA核種、ならびに ^{99}Tc （半減期：21.11万年）、 ^{129}I （半減期：1570万年）、 ^{135}Cs （半減期：230万年）などのFP核種が挙げられる。MAは核分裂させれば短寿命核種または安定核種になるので、効率的に核分裂を起こす高速中性子を用いて、MA核種を核分裂させることが考えられる。FP核種は核分裂を起こさないので、中性子捕獲を利用することが考えられる。どの核種を対象にするかは、核変換の効果と経済性のバランスを考慮する必要がある。

3. 再処理とマイナーアクチノイド分離

現行の再処理工場では、溶媒抽出技術を用いたPUREX法が採用されており、わが国においても六ヶ所再処理工場でこの方法が採用されている。分離変換技術では、さらに、マイナーアクチノイド(MA)のNp、AmおよびCm、ならびに核分裂生成物(FP)を処理方法や利用目的に応じていくつかのグループまたは元素に分離し、高速炉や加速器駆動システム(ADS)による核変換システムに燃料として供給する。この分離技術は、再処理技術と大きく係わっており、開発が進められている次世代再処理技術には、MA分離技術と一体となった構成として検討されていることが多い。検討されている分離手法は、水溶液系において分離操作を行う「湿式分離技術」と、水溶液を用いない「乾式分離技術」に大別される。

「湿式分離技術」では、再処理プロセスで発生したHLWに含まれるMAを分離対象とする。MAのうちNpについては、PUREX法の分離条件の調整によりU、Puとともに回収することが可能であるので分離対象はAmとCmである。溶液中で3価であるAmとCmは、FPとして多量に含まれる希土類元素(RE)と化学的に類似した性質を持つため、REとの分離が重要な課題となる。湿式分離技術の一つである溶媒抽出法は、互いに混じり合わない有機相と水相の間における親和性の違いを利用して物質を分配させ、分離を達成する手法である。この手法によるMA分離技術の研究開発の歴史は長く、2000年頃までには、核燃料サイクル開発機構(当時)によるSETFICS法、および日本原子力研究所(当時)による4群群分離法の性能実証試験が高レベル放射性廃液を用いて行われ、良好な分離性能を示した。しかし、これらの方法では、リン酸系の抽出剤を採用しており、分離プロセスの条件により沈殿が発生するなど、プロセス廃棄物の発生量に課題があることから、リンを含まず炭素(C)、水素(H)、酸素(O)、窒素(N)のみから構成される分子構造(CHON原則)を有する新抽出剤の開発や新しい手法である抽出クロマトグラフィの開発に移行している。

「乾式分離技術」では、水溶液を使用せず、熔融塩や液体金属などを溶媒として用いる。溶媒としては、塩化物やフッ化物などの無機塩を高温で熔融させた熔融塩、およびCdやBi、Alなどの比較的融点の金属を熔融させたものが主に使用される。これらは化学的に非常に安定であり、水溶液中では水の分解に阻まれて金属に還元させることが困難なMAやREの多くを、ハロゲン化物や金属(合金)の状態で保持することが可能である。また、これらの元素の酸化物や窒化物に対しても溶媒が化学的に安定であるため、幅広い燃料形態に適用することが可能である。

4. 放射性廃棄物処分の一般原則と分離変換技術

放射性廃棄物処分の一般原則として、「放射性廃棄物の最小化」と「防護(被ばく低減)の最適化」が挙げられる。分離変換技術の導入により、地層処分場面積の大幅な低減と、高レベル放射性廃棄物の潜在的有害度の大幅な低減、すなわち放射性廃棄物処分の物理的・時間的負担を軽減して、放射性廃棄物の処分を合理化できる可能性が高く、世代間負担や地域間負担の公平性の観点から、重要な技術であると考えられる。

5. まとめ

本企画セッションでは、将来原子力システムの再処理技術としての核種分離について研究開発の現状を報告するとともに、原子力のエネルギー利用全体の中での分離変換技術の位置付けや地層処分からみた分離変換の意義を報告し、総合討論においては分離変換技術におけるチャレンジすべき技術課題等について専門家である学会員と議論を行う。

*Akira Yamaguchi¹, Tatsuro Matsumura², Takao Ikeda³

¹The University of Tokyo, ²Japan Atomic Energy Agency, ³JGC Corporation