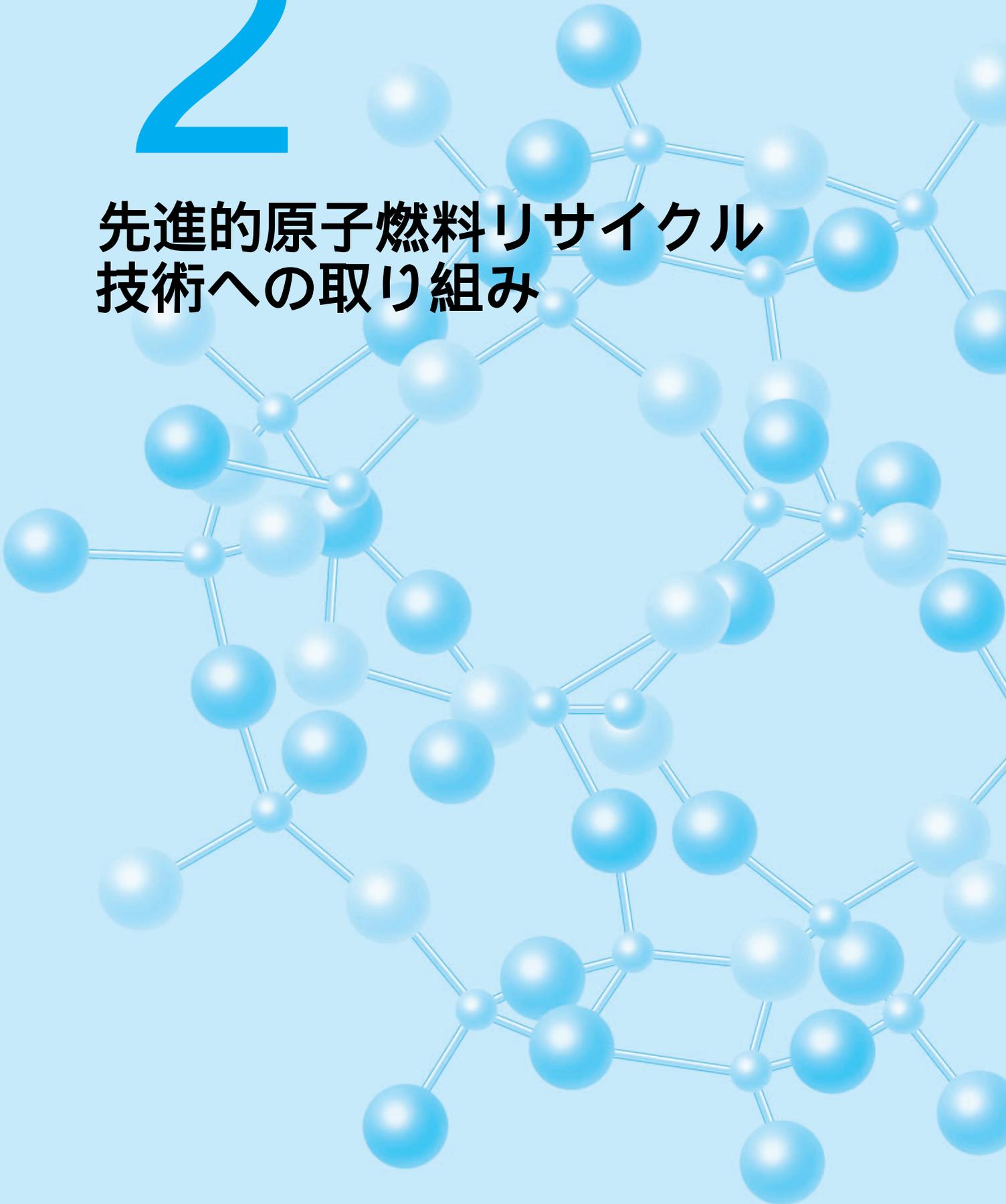


第

# 2

章

## 先進的原子燃料リサイクル 技術への取り組み



第2章 先進的原子燃料リサイクル技術への取り組み 目次

原燃サイクル部長 井上 正

2 - 1 先進的原子燃料リサイクルの開発の概念 .....	15
2 - 2 分離変換技術開発への取り組みと内外の動向 .....	16

---

井上 正 10ページに掲載

## 2 - 1 先進的原子燃料リサイクルの開発の概要と国内外の現状

先進的原子燃料リサイクル技術とは、経済性と安全性の向上、環境負荷の低減を図りながら軽水炉(LWR)サイクルと高速増殖炉(FBR)サイクルを結び付ける次世代のリサイクル技術であり、FBR技術とその再処理技術及び燃料製造(再加工)技術などからなる。

わが国ではおよそ10年前から経済性、安全性の向上、環境負荷の低減を考慮した先進的再処理技術に関する研究が日本原子力研究所(原研)、核燃料サイクル開発機構(サイクル機構:旧動力炉・核燃料開発事業団)、電力中央研究所(電中研)などで行われている。一方、原子力委員会でも平成6年6月の原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画の策定を受けて、FBR開発とその再処理技術開発を総合的に検討する「核燃料リサイクル計画専門部会」および「高速炉開発専門部会」を設けて具体的な研究開発計画の検討を開始した。

国外でもフランス、ロシアなどで再処理プロセスの簡素化やマイナーアクチニド(MA)の回収を含めた新しい技術が開発されている。アメリカでは1984年から高温下での冶金技術に関するそれまでの知見をもとにIFR(Integral Fast Reactor)計画と名づけて金属燃料FBRとその燃料サイクルを一体化した統合型FBRサイクルの開発を進めてきたが、プルトニウムを利用しないという政府の方針転換を受けて1994年9月にその開発が中断された。またFBR炉心についても、緊急停止に失敗しても結果的に自然に原子炉が停止するなどの受動的な安全性や経済性の大幅な向上を図るため、各種の革新的技術を取り入れたシステムの研究が我が国を中心に欧米においても進められている。

先進的原子燃料リサイクルとして、以下に示すような技術の開発が進められている。

### 湿式再処理 - 酸化物燃料

ピューレックス法を基本とした湿式法を大幅に簡素化した方法で再処理し、その製品を振動充填法で燃料製造するプロセスである。これは現在、主としてサイクル機構で研究開発が進められおり、ウランやプルトニウムを分離、精製していた工程を簡素化あるいは省略すること

で、両者の混合物を硝酸溶液中に抽出する方法である。この方法を適用するために、ウランやプルトニウムの抽出に先立ち、使用済み燃料中に多量に存在するウランを溶解液の液温を下げることにより硝酸ウラニルの形で析出(晶析)させてウランを粗分離することや、マイナーアクチニド元素を分離するために特別なプロセスを付け加えることも考えられている。燃料製造については経済的に高価である従来のペレット製造に代えて、硝酸溶液中に溶解しているウランやプルトニウムを酸化物の顆粒状に転換して振動充填法により燃料を製造することが考えられている。この燃料製造法は、後に述べる酸化物燃料乾式サイクルを開発しているロシア原子炉科学研究所(RIAR)で開発された方法で、サイクル機構でも現在その方法を調査検討している。

### 乾式再処理 - 金属燃料

溶融塩や液体金属を用いてウラン、プルトニウム、マイナーアクチニド元素を電解精製法や還元・抽出法により分離し、射出成型法により燃料を製造するプロセスである。これは1984年から1995年までアメリカ アルゴン国立研究所(ANL)で開発してきた金属燃料サイクル技術を基本としたもので、当研究所における乾式リサイクルもこの技術を基本としている。本技術については、詳細を第3章以降で述べる。

### 乾式再処理 - 酸化物燃料

酸化物燃料を溶融塩中で直接電解して二酸化ウラン( $UO_2$ )をまず回収した後、沈澱により二酸化プルトニウム( $PuO_2$ )を回収し、これらの回収物を振動充填法で燃料に加工するというプロセスである。この方法は1960年代からロシア原子炉科学研究所(RIAR)で開発が進められており、酸化物燃料を基本としていることから、酸化物燃料を使う軽水炉を運転しているわが国の電力会社が、その技術的な成立性に興味を持ってRIARから成果を手入している。RIARではこの方法について、使用済み燃料を約3~4kg用いた実証試験までを実施した。そこではBOR-60<sup>\*1</sup>で約20数%まで照射された燃料が使われ

た。現在はこの再処理から回収した製品を使って燃料製造の実証試験が行われており、その後、BOR-60またはBN-600\*<sup>1</sup>での照射試験が予定されている。但し、この方法ではウランの解除が不十分な上、ウラン、プルトニウム以外のマイナーアクチニド元素が複数の工程に分散されるため、マイナーアクチニドの回収には別の技術開発が必要である。

### 乾式再処理 - 窒化物燃料

さらに乾式法を用いた方法に、原研で進めている超ウラン元素の消滅を狙った窒化物燃料サイクルがある。窒化物燃料は、融点が3050 と高く熱伝導度も金属と同じ

\*<sup>1</sup>BOR-60、BN-600：ロシア原子炉科学研究所にある高速実験炉

くらいに優れているというセラミックスと金属の両者の特徴を併せ持った高性能燃料であること、さらに窒化物燃料の再処理には、金属燃料の再処理で開発してきた乾式再処理がそのまま適用できることを利用して基礎研究に着手した段階である。

以上、ここでは先進的原子燃料リサイクルとして湿式法、乾式法を用いた燃料サイクルの現状を述べたが、その開発にあたってはそれぞれが持つ課題のほか、経済性や環境負荷低減性を考慮して、将来どのような燃料サイクルを作るのか、また原子炉の安全性、増殖性などの観点から将来のFBRとして、どのような燃料形態が望ましいかなど、その選定にあたっては様々な角度からの検討が必要であることを付け加えておく。

## 2 - 2 分離変換技術開発への取り組みと内外の動向

分離変換技術は、高レベル放射性廃棄物に含まれる長半減期核種を分離し、原子炉や加速器を用いて単半減期の核種に変換する技術である。これにより高レベル放射性廃棄物が長期間有する放射能を軽減することを目的としている。この技術に関しては、1970年代に欧米で活発に基礎研究や評価が行われた。その結果、分離変換処理は技術的には可能であるが、必要な投資に対して得られる効果が小さい、と評価され、この研究は一時下火になった。

しかし、1980年代になると高レベル放射性廃棄物の地下研究施設の立地難などもあり、フランスでは超ウラン元素の管理を取り入れた改良型の再処理法の研究推進をうたったカスタン委員会(1983年10月～1984年10月)報告やバタイユ報告が契機となり、またリサイクル時代に向けた環境への負荷軽減の指向とあいまって再び研究開発が盛んになってきている。ここでは分離変換技術が高レベル放射性廃棄物のガラス固化技術に代わるものとしてではなく、あくまでもその補完技術として、処分にあたり長期的な潜在毒性を低減させ、社会的に受け入れやすいものにするとともに、今後の原子燃料サイクルではウラン、プルトニウムばかりでなくマイナーアクチニド

元素も有効に利用していこうとする姿勢が見られる。

わが国では1988年10月に原子力委員会放射性廃棄物対策専門部会が「群分離・消滅処理技術研究開発長期計画」(オメガ計画)を策定し、原研、サイクル機構、電中研が中核となって研究を進めている。この計画のなかで3機関が実施している研究開発について平成11年から原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会でチェック・アンド・レビューが開始された。

一方、フランスでは先の背景を受けて、高レベル放射性廃棄物の処理・処分計画を一時凍結、廃棄物対策を見直し、

高度化再処理(分離変換技術を導入した燃料サイクル)の研究(SPIN計画)

地下実験所の建設と深地層処分に際しての処分廃棄物取り出し可能性の検討

高レベル放射性廃棄物の長期貯蔵に関する研究

以上3つの研究開発の推進をうたった「放射性廃棄物物理の研究に関する法律」が国民議会で1991年12月に成立した。この法律ではこれら3つの研究を今後15年間並行して進め、その結果に基づいて最適な廃棄物処分オプションを選択するとしている。

またアメリカでも、エネルギー省( DOE )がNational Research Council( 全米科学協議会 )に依頼した評価では、分離変換技術は将来の選択肢の一つであり、経済性と二次廃棄物発注量の低減をねらって研究開発は続けることが必要であると述べている。

最近、欧米ではFBRの開発が遅く一方、プルトニウムやマイナーアクチニド元素の燃焼用の未臨界の原子炉を陽子加速器と一体化した加速器駆動システム( ADS )が開発対象として浮上してきている。今後の燃料の運用を考えた場合、そこでは今以上の超ウラン元素の生成が予想される。このような欧米社会における原子力に対す

る見方の変化や燃料運用の多様化なども含め、さまざまな観点から将来の望ましい原子力システムに用いる技術オプションとして、分離変換技術を評価することが必要である。

以上、分離変換技術の現状を述べた。この技術は高レベル放射性廃棄物などが持つ超長期にわたる潜在的な毒性を低減しようとする技術であり、高レベル放射性廃棄物の処分が必要なくなるということではなく、その処分の負担や環境への負荷をすこしでも軽減しようとするところにねらいがある。