

核燃料サイクル開発機構における核種分離・消滅処理技術の研究開発

1. 研究の基本的考え方

核燃料サイクル開発機構（JNC）における核種分離・消滅処理技術研究の基本的考え方は以下の通りです。

- 現在の国際的な技術レベルによれば、高レベル放射性廃棄物は深地層中に埋設（地層処分）することが共通の考え方であり、我が国の基本方針でもある。
- 高レベル放射性廃棄物の地層処分は、いかなる期間においても生活環境での被曝リスクが顕在化しないようなシステムを構築することを目指している。
- しかし、地層処分における長期的な隔離性能（安全）を科学的に評価できても、隔離を要する潜在的な危険性がそれだけ長く継続することに関して一般人の不安を完全に払拭する（安心）までには至っていないのも現状である。
- 分離・消滅研究により核燃料サイクルの廃棄物をより一層低減するか、あるいは利用できれば、地層処分との組み合わせによりさらなる環境影響の低減を実現でき、かつ社会が受け入れやすい核燃料サイクル技術の確立につながるものとする。

上記認識のもと、核種分離・消滅処理技術研究を創造的・革新的研究に位置づけ、核燃料サイクルの高度化のための要素技術として、

- マイナーアクチニド（MA）、核分裂生成物（FP）、有用金属（白金族等）の分離技術
- 高速増殖炉（FBR）を用いた MA 及び FP の消滅処理技術
- 電子線加速器を用いた FP の消滅処理技術

等の研究開発を実施してきた。

また、JNCでは将来のFBR燃料リサイクル技術の確立をめざして経済性、核不拡散性、環境負荷低減を考慮した先進的核燃料リサイクル技術開発に取り組んでいる。上記核種分離・消滅処理技術の研究項目の一部は先進的核燃料リサイクル技術開発の研究項目としても位置づけられている。これらの関係を、図1に示す。

2. 研究項目及び主な成果

JNCにおける核種分離・消滅処理研究の概要を図2に示す。また、主な研究開発成果を以下に示す。

(1) 核種分離技術

1) 湿式分離

① PUREX 法^(注1) 及び TRUEX 法^(注2) による分離

○PUREX 工程における Np 抽出のため、実照射済燃料を用いた抽出試験を行い、高レベル放射性廃液中への Np の漏洩を防止し、Pu、U、Np を一緒に回収できることを明らかにした。

○高レベル放射性廃液から Am と Cm の回収を目指す技術として、新しい抽出剤を用いた TRUEX 法による試験を進めた。現在までに実高レベル放射性廃液中の Am、Cm を高い収率（99.9%以上）で回収できることが分かった。

○試薬 DTPA を用いることで 80%の希土類元素^(注3) が MA から分離できることが分かった。

○液中の長半減期 FP(Pd,Tc,Se 等) 及び有用金属 (Pd,Ru,Rh,Te,Se 等) を電解採取法により回収できる見通しを得た。

(注1) 使用済み燃料から U、Pu を抽出する方法の一つ(PUREX:Plutonium and Uranium Recovery by EXtraction)

(注2) アクチニド核種を抽出する方法の一つ(TRUEX: Trans Uranium EXtraction)

(注3) MA と核分裂生成物の希土類元素は化学的に同じ挙動をするために分離が難しい

② 光溶液化学

再処理工程の硝酸溶液中に存在する U、Pu、Np 等のアクチニド元素の分離・共抽出について、光化学的手法（ランプ光やレーザー光をあてて特定元素を選択的に励起する方法）を用いて研究を進めてきた。現在までに Pu と Np の混合硝酸溶液に微量の還元剤及び亜硝酸分解剤を加え、紫外線を照射することにより、分離及び共抽出が可能なことを示した。

2) 乾式分離（超高温処理）

冶金学的手法を用いて高レベル放射性廃液中に含まれる核種（Cs 及び白金族元素）を分離回収するとともに、高減容化することを目的に技術開発を進めてきた。現在までに模擬廃液を用いた試験により Cs 及び白金族元素を 90% 以上分離できることが分かった。

3) 有用金属の回収

使用済核燃料を再処理する際、硝酸に未溶解の物質には、白金族元素（Ru、Rh、Pd 等）や天然には存在しない Tc 等の有用金属が含まれている。これらを有効利用するため、これらの物質から鉛抽出法^(注4)等を用いて白金族元素を粗分離から単離精製する一連のプロセス開発を進めてきた。現在までに鉛抽出法を用いた試験により国内で初めて白金族元素の合金粒の回収に成功した。

（注4）鉛、ガラスと共に加熱溶解させ、白金族元素が鉛に溶解込む性質を利用して分離する方法

4）パラジウム(Pd)のレーザー同位体分離

使用済燃料中の核分裂生成物そのうち白金族元素は約 10% を占める。これらの白金族元素を天然の資源と同様に利用することができれば資源の有効利用となる。しかし、Pd には長半減期の放射性同位体 ^{107}Pd （半減期約 6 百万年）があり、この放射性同位体を除去する必要がある。現在までに、放射性物質を用いない試験で、天然の Pd 中の ^{105}Pd を対象に偏光したレーザー光をに基づく同位体選択性を利用する方法で分離係数約 10（ ^{105}Pd を 22% から 73% に濃縮）を確認した。

（2）FBRによる消滅

FBRによる消滅処理研究は、酸化物（MOX）燃料を用いた発電用大型 FBR 実用化炉（電気出力 100 万 Kwe）において、炉心特性、原子炉プラント等に大きな影響を与えないで MA 及び長半減期 FP（ ^{99}Tc 及び ^{129}I ）を消滅する炉心概念の構築及び関連する燃料サイクル技術の確立を目指して行ってきた。研究項目としては、設計研究（炉心概念、プラントへの影響等）、核データの測定・評価、燃料開発、シナリオ研究である。

1）設計研究

○MA 燃料を原子炉内にどのように装荷するかを検討した結果、炉心の燃料集合体全てに MA を一様に添加する場合、MA 添加率が 5% 程度では、炉心特性に大きな影響を与えないで、約 11%/年の消滅率が達成できることが明らかになった。これは、約 6 基の 100 万 Kwe 級軽水炉で生成される MA を、1 基の 100 万 Kwe 級 FBR で消滅することが可能となる。

○MA の多重リサイクルについては、FBR は炉心特性の観点からは十分に可能であることを示した。

○FP（ ^{99}Tc 、 ^{129}I ）消滅に関しては、炉心の外側のブランケット領域に、減速材付ペレット（ ^{99}Tc を中心に配置しその周りを減速材で囲んだもの）入りの集合体を装荷することにより、約 10%/年の ^{99}Tc 消滅率が達成できる見通しが得られた。

2) 核データの測定・評価

原子炉、加速器等を用いて高速中性子エネルギー領域における MA 核種及び希土類核種の核データ（核断面積：どのくらい中性子と物質が反応するか割合）の測定・評価を行い、主要な核種の精度を明らかにするとともに、核データデータベースを充実させた。

3) 燃料開発

○Np 添加した混合酸化物 (MOX) 燃料製造に関連して、Np 回収設備を整備し 12g の Np を回収した。また、スイスのポール・シェラー研究所との共同研究により、振動充填法^(注5)による Np を添加した MOX 燃料の製造技術開発を実施している。

○Am 添加 MOX 燃料製造に関連して、大洗工学センターの照射燃料試験施設のホットセル（放射線を遮蔽した部屋）内へ、ペレット製造設備、ピン加工検査設備等の遠隔燃料製造設備を設置し、現在、試運転中である。

○燃料の照射挙動及び MA 核種の消滅特性の評価を行うため、「常陽」で照射した Am 含有 MOX 燃料の照射後試験及び MA サンプルの照射試験を実施した。また、MA 分析技術の開発を行った。

（注5）顆粒状の燃料を、振動しながら燃料被覆管に充填する製造法

4) シナリオ

MA 燃料を装荷した FBR の投入が、我が国の MA 蓄積量低減に効果的であることを明らかにした（投入しない場合に比べて 80% 低減）。

(3) 電子線加速器による消滅

核断面積が小さく原子炉では容易に消滅しにくい核分裂生成物 (^{137}Cs 、 ^{90}Sr 等) については、光核反応 (γ 線を照射して安定な核種に変換する反応) を用いて消滅することを目標に、電子線加速器の大電流化技術の開発、光核反応断面積の測定及び測定技術開発等を行っている。

1) 電子加速器の開発

大電流電子線形加速器の当面の開発目標として、エネルギー：10MeV、最大/平均電流：100mA/20mA を設定し、設計、製作を実施し、入射部試験によりその性能を確かめた。これにより加速器の大電流化にある程度の技術的な見通しを得ることができた。

2) 断面積の測定

^{137}Cs の光核反応断面積の測定を行った。さらに、光核反応断面積を精度よく測定するため、高分解能の測定器を新たに開発した。これを用いて、 ^{16}O の

光核反応断面積を測定した結果、9本のピークの存在を世界で初めて観測することに成功した。

3) 消滅処理システム概念の検討

現状の電子線加速器による Sr や Cs の消滅は現状ではエネルギーバランス的に難しい。これを解決するためのアイディアとして、電子を蓄積するための電子蓄積リングとレーザー光を閉じこめるための光キャビティを組み合わせた消滅処理システム概念の検討を行った。このシステムでは、電子対生成で失われるエネルギーなどもできるだけ回収することを前提としている。これにより、制動X線を利用する場合に比べて、消滅処理効率を大幅に改善できる可能性があることが分かった。

3. 今後の課題

(1) 核種分離技術

② MA 分離技術

- Pu/Np/U 混合抽出効率の向上

- TRUEX 法による 3 価 MA(Am, Cm)分離、MA/Ln (ランタニド) 分離の効率の向上、遠心抽出器による確認

- MA/Ln 分離のための新しい分離剤の開発

③長半減期 FP 分離技術

- 電解採取法による長半減期 FP 並びに有用元素の分離に関する高レベル廃液での実証

- 同位体分離技術に関する研究

④二次廃棄物処理処分技術

- 触媒的電解酸化法による二次有機廃棄物の分解技術の工学的、経済的評価

(2) FBR による消滅

①設計研究

- 発電用大型 FBR での最適炉心 (燃料サイクルも含めて)

- 高速炉の多様な炉心概念

- (U 無し燃料を使用した炉心、MA 入り窒化物燃料炉心等)

② MA 核種の核データの収集・評価 (断面積、崩壊熱)

③ MA 燃料の基礎物性データの収集・評価

④ MA 燃料製造技術開発

⑤ MA 及び FP 非均質燃料集合体の開発

⑥ MA 燃料の照射挙動評価 (「常陽」、「もんじゅ」での照射試験)

⑦経済性評価

(3) 電子線加速器による消滅

大電流電子線形加速器のビーム加速試験を実施し、大電流ビームの安定加速技術を確立する。

核種分離・消滅処理研究

先進的核燃料リサイクル技術開発

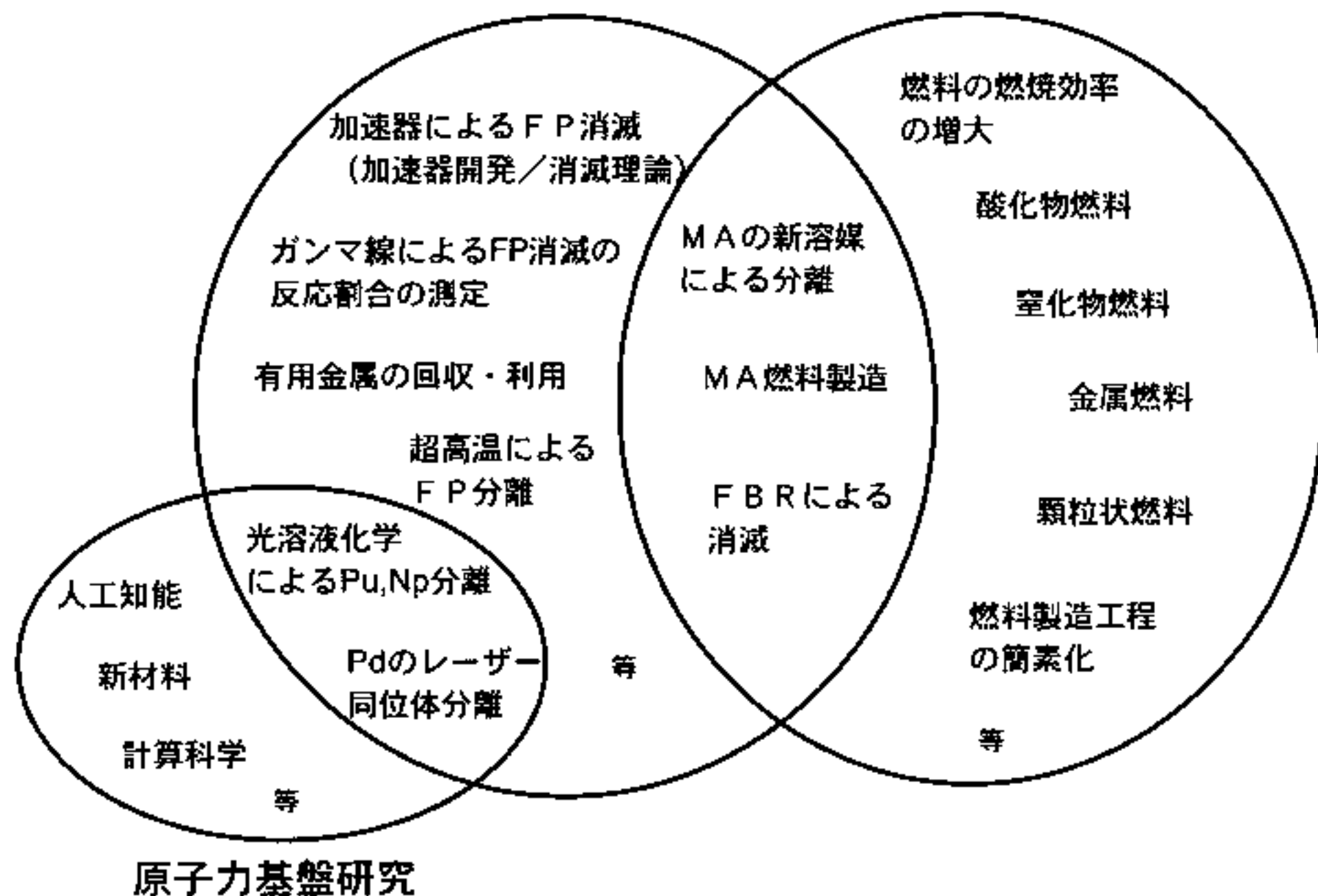


図1 核種分離・消滅処理研究と先進的核燃料リサイクル技術開発の関連

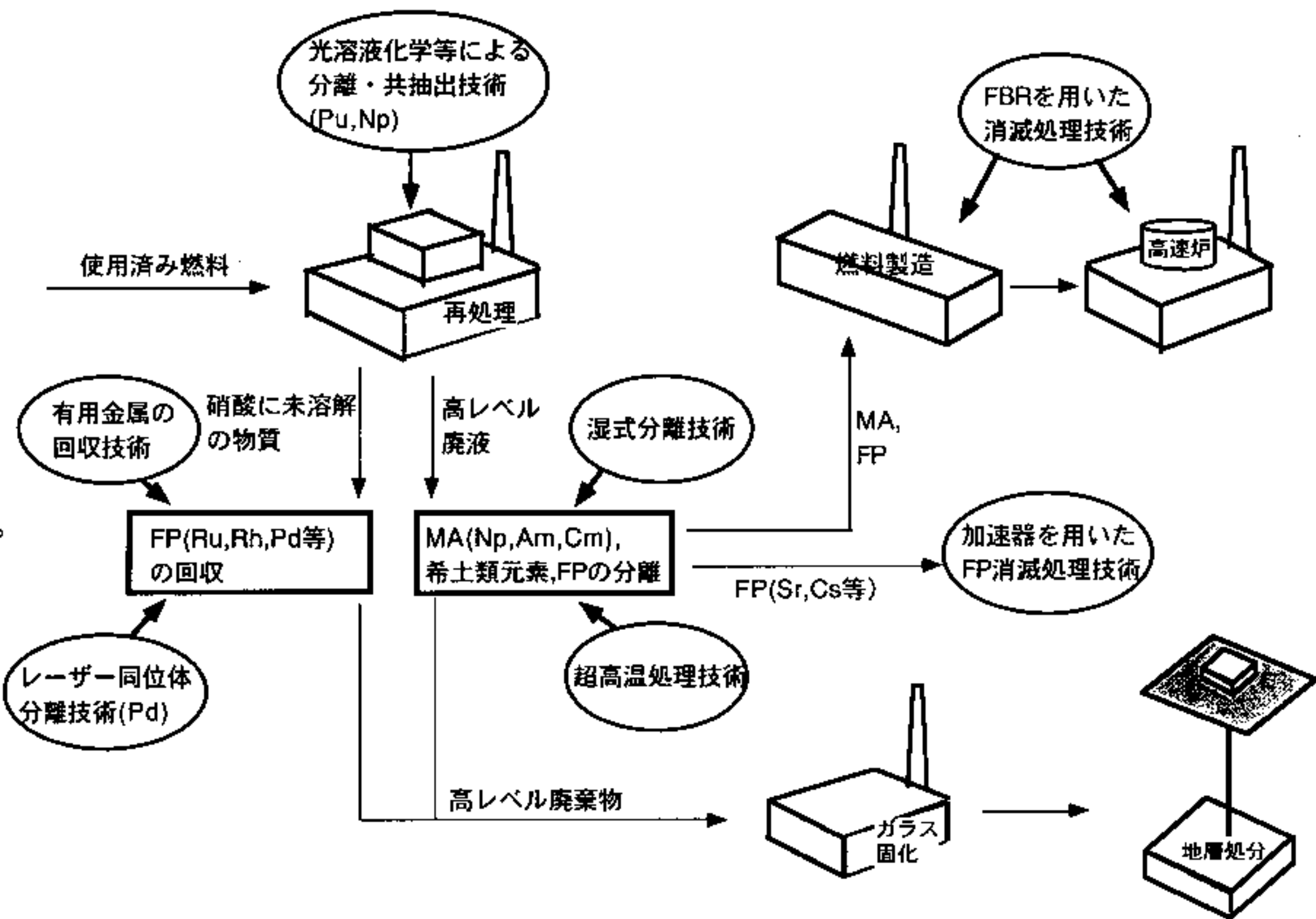


図2 JNCにおける核種分離・消滅処理研究の概要