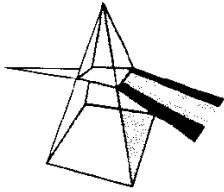


## 【技術報告】



# 溶融塩技術を適用した先進的核燃料 リサイクルシステムの設計研究

河西 善充 掛樋 勲 毛呂 達  
戸部 賢治<sup>注1)</sup> 河村 文雄<sup>注2)</sup> 東 達弘  
米澤 重晃 吉氏 崇浩\*

大洗工学センター システム技術開発部

\* 原子力システム株式会社

資料番号：1-3

Design Study on Advanced Nuclear Fuel Recycling System by  
Pyrometallurgical Reprocessing Technology

Yoshiimitsu KASAI Isao KAKEHI Satoshi MORO

Kenji TOBE<sup>注1)</sup> Fumio KAWAMURA<sup>注2)</sup> Tatsuhiko HIGASHI

Shigeaki YONEZAWA Takahiro YOSHIUJI\*

System Engineering Technology Division, O-arai Engineering Center

\* Nuclear Energy System Inc.

核燃料サイクル開発機構は、将来の高速炉実用化時代を展望し、高速炉の特性を最大限に活かす、炉と整合性があり、かつ経済性・安全性・環境負荷低減等に優れた先進的核燃料リサイクルシステムの研究開発を進めている。大洗工学センターシステム技術開発部では、このリサイクルシステムの一つとして、溶融塩電解技術（乾式技術）を燃料再処理プロセスに適用し、コンパクトなモジュール型システムとし、酸化燃料サイクル及び将来の新型燃料（金属、窒化物）サイクルへの移行にも柔軟に対応可能な先進核燃料リサイクルシステムの設計研究を実施している。本稿では、このリサイクルシステムの基本概念と設計研究の概要について報告する。

*The Japan Nuclear Fuel Cycle Development Agency is conducting research and development on the nuclear fuel recycling system, which will improve the economy, safety, and environmental impact of the nuclear fuel recycling system in the age of the FBR. The System Engineering Division in the O-arai Engineering Center has conducted a design study on an advanced nuclear fuel recycling system for FBRs by using pyrometallurgical reprocessing technology. The system is an economical and compact module-type system, and can be used for reprocessing oxide fuel and also new types of fuel (metal fuel and nitride fuel). This report describes the concept of this system and results of the design study.*

## キーワード

高速炉、先進的核燃料リサイクルシステム、乾式再処理、溶融塩、電解精製、塩廃棄物、MAリサイクル、モジュール型プラント、金属燃料、窒化物燃料、酸化燃料

*FBR, Advanced Nuclear Fuel Recycling System, Dry Reprocessing, Pyrometallurgical Reprocess, Molten Salt, Electrorefining, Salt Waste Form, MA Recycling, Module Plant, Metal Fuel, Nitride Fuel*

## 1. はじめに

今日、我が国においては、軽水炉による原子力発電は、全発電電力量の30%以上を占め、重要なエネルギー源になっている。今後、原子力により長期にわたり安定にエネルギーを供給するには、限りあるウラン資源を有効に利用し得る高速炉を中心とした核燃料サイクルを確立することが不可欠である。

先進的核燃料リサイクルシステムは、国の原子

力開発利用長期計画において、安全性、信頼性、経済性の向上のみならず、環境への負荷の低減、核不拡散性への配慮等、将来の社会の多様なニーズに対応する核燃料リサイクルシステムとして位置づけられ、長期的視点に立った研究開発が国内外の研究機関で進められている。

核燃料サイクル開発機構は、先進的核燃料リサイクルシステムに関する研究として、現行の湿式法（Purex）をベースとしたリサイクルシステムの研究開発を行うとともに、将来の選択肢の一つとして、よりコンパクトなシステムとなり経済性

注1) 現 富士電機株式会社 (Fuji electric Co., Ltd. at present)

注2) 現 株式会社日立製作所 (Hitachi, Ltd. at present)





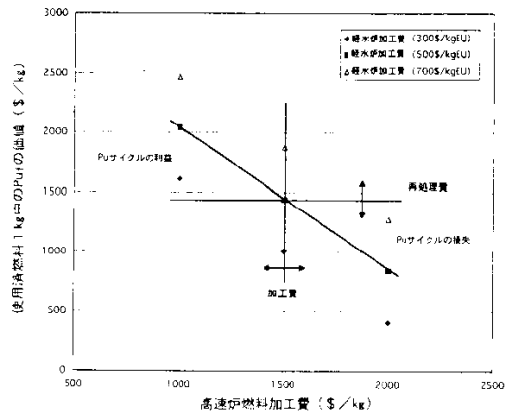


図4 高速炉再処理費・加工費とPuリサイクル経済性

のひな形とするリサイクル実証モジュールシステムを考えている。このシステムは、実用規模の高速炉リサイクルの実証ができること、商用モジュールの技術ベースが確立できること、軽水炉、「もんじゅ」、「常陽」等の使用済燃料を受け入れて、燃料形態（酸化物燃料、金属燃料等）にとらわれないで種々の実証試験及び実処理ができることを目的としている。実証モジュールシステムのフローシートを図3に示す。

(3) 経済性の目標

高速炉燃料サイクル（Puリサイクル）の経済性は、Puクレジット<sup>(1)(2)</sup>から決まる使用済燃料（SF）1 kg中の核分裂性Pu（Pu<sub>f</sub>）の価値（\$ / kgSF = \$ / gPu<sub>f</sub> x SF 1 kg中のgPu<sub>f</sub>量）と同価格で再処理すれば、Pu燃料は市場性を持ち合理的である。つまり、Pu燃料費が濃縮ウラン燃料と競合できることになる。図4は、以下のことを示している。

図中の点データは、軽水炉燃料加工費をパラメータとして、高速炉燃料加工費とPuクレジットから決まる使用済燃料1 kg中のPu<sub>f</sub>の価値との相関を示している。（図では増殖比=1.2としたPuの増殖分が含まれている。また高速炉/軽水炉の燃焼度比=3としている）高速炉燃料加工費との組合せで目標とする再処理費が決まる。

軽水炉燃料加工費500 \$ / kg及び濃縮ウラン費1,000 \$ / kg（コストの比較基準）を前提として、高速炉燃料加工費を1,500 \$ / kg（高速炉での燃焼度の優位性から、軽水炉燃料加工費の3倍とした）とすると、目標とする再処理費は1,500 \$ /

注2) Puクレジット（Pu<sub>f</sub>の価値 \$ / g）は、軽水炉と高速炉の燃料サイクルコスト（ミル/kWh）の比較から決まる。  
軽水炉燃料フロントエンドコスト（濃縮ウランコスト+燃料加工コスト）=高速炉燃料フロントエンドコスト（Puクレジット+燃料加工コスト）

kgとなる。実際には、上述した軽水炉濃縮ウラン燃料と経済性で競合できるPuリサイクルから考えた合理的なリサイクルコストの他に、リサイクル技術と直接係わらないが、種々の制約に起因するコスト負担がある。今後、経済性評価のために、これらの必要なコスト負担がわかる設計を行っていく必要がある。

4. 構成システムの概念検討

4.1 熔融塩電解精製プロセス

高速炉における核燃料サイクルでは、現行のMOX燃料サイクルとともに、将来的には高速炉の特性をより活かせる金属燃料、窒化物燃料のサイクルも考えられている。熔融塩による再処理技術は、いずれの燃料形態に対しても熔融塩電解精製プロセスという共通基盤技術で柔軟に対応できる。高速炉の核燃料サイクルとして、どの燃料形態が最適かは今後の研究により選定されて行くと考えられるが、本設計研究では、各燃料形態に関するプロセスを検討している。また、熔融塩中に残留しているTRU回収に関する検討、熔融塩電解プロセスにおける臨界特性の解析等を実施している。

以下に、これらの概要を示す。

(1) 酸化物燃料プロセス

本プロセスは、ロシアの原子炉科学研究所（RIAR）で開発された方法<sup>5)</sup>である。本プロセスでは、脱被覆した使用済酸化物燃料をNaCl-KCl-CsCl-LiClの熔融塩電解槽（運転温度約650℃）中に投入し、塩素ガスを吹き込みながら塩素化溶解した後、電解精製によりUはUO<sub>2</sub>の形で固体陰極に回収する。Puは電解槽中に酸素ガスを吹き込み、PuO<sub>2</sub>として沈殿させて回収する。これらの回収物を顆粒化した後、振動充填法で燃料被覆管に充填する。

設計研究では、この電解槽内の反応挙動等を熱力学化学平衡計算コード（ChamSage）を用いて解析を実施している。図5に酸素ガスを吹き込ん

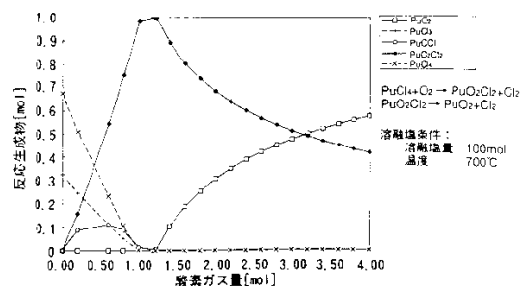


図5 酸化物熔融塩電解法によるPuO<sub>2</sub>の回収（PuCl<sub>3</sub>の酸化と酸素ガス量の依存性）

だ際のPuO<sub>2</sub>の回収に関する計算結果の例を示す。本プロセスについては、ロシアにおいて使用済燃料を用いた試験<sup>5)</sup>、国内においてUを用いた試験が行われている。今後、これらの試験の情報等によりシステム検討を進める予定である。なお、次に述べる金属燃料プロセスの前段にLiによる還元プロセスを設けることにより、酸化物燃料を金属に転換してから処理するシステムも検討している。

(2) 金属燃料プロセス

本プロセスは、アメリカのアルゴンズ国立研究所 (ANL) で開発された方法<sup>3)</sup>である。本プロセスでは、使用済金属燃料 (酸化物燃料の場合はLi還元プロセスで金属に還元後) をLiCl-KClの熔融塩電解槽 (運転温度約500℃) の陽極バスケットに装荷し、燃料を電気分解により溶解し、金属Uを固体陰極で回収、金属Puは残存UとともにCd陰極で回収する。この際、Am、Cm等のMA核種も回収する。回収物から塩、Cdを蒸留した後、射出成型法にて燃料を製造する。

本設計研究では、ANLのプロセスをベースにした金属燃料プロセスのシステム構成、処理容量等の検討、特性評価等を行っている。本プロセスにおけるFPの除染係数の評価として、熔融塩の再生 (塩中のFP除去) なしに使用済燃料を40バッチ (2 t HM: 重金属重量ton) まで処理した場合の塩中希土類元素 (RE) の蓄積と除染係数に関する計算結果を図6に示す。塩中のRE核種濃度が低い初期の平均除染係数は、約100であるが、繰り返し処理により塩中RE濃度が上昇すると、陰極Cd中にU、PuとともにREも混入し、処理量2 tonでの除染係数は約5に低下する。

本プロセスについては、ANLにおいてEBR-IIの使用済燃料の処理試験が行われ、国内では電力中央研究所等でウラン試験等が行われている。また、サイクル機構のホット試験施設でU-Pu試験を行うことが検討されており、今後、これらの試験結果等を基にシステム研究をさらに進める予定である。

(3) 窒化物顆粒燃料プロセス

窒化物顆粒燃料を再処理するプロセスについては、まだ実験室規模での研究が行われている段階である。窒化物燃料を熔融塩電解槽で電解し、U、Puを回収する試験が日本原子力研究所のホット試験施設で実施されており、上記のANL法と同様の熔融塩プロセスで回収できることが確認<sup>7)</sup>されている。この電解プロセスでは、U、Puは金属の形でCd陰極に回収される。

本設計研究では、図7に示すように、陽極で発

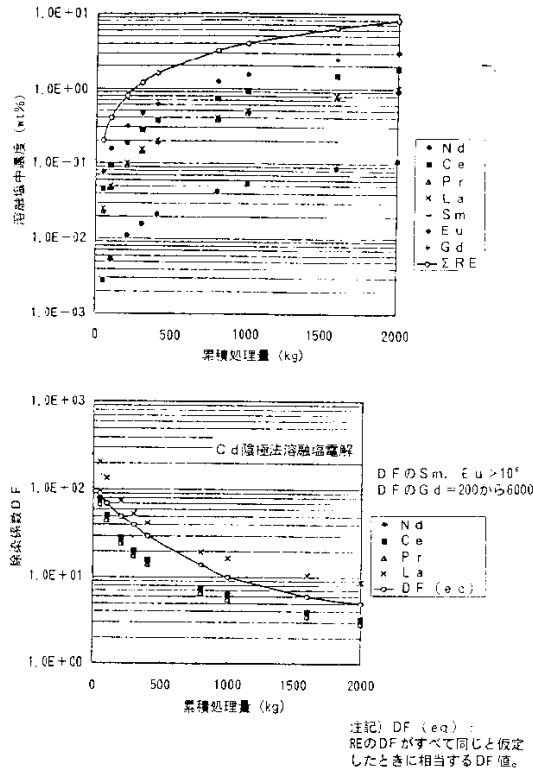


図6 リサイクル燃料のFP混入度 (希土類FPのDF)

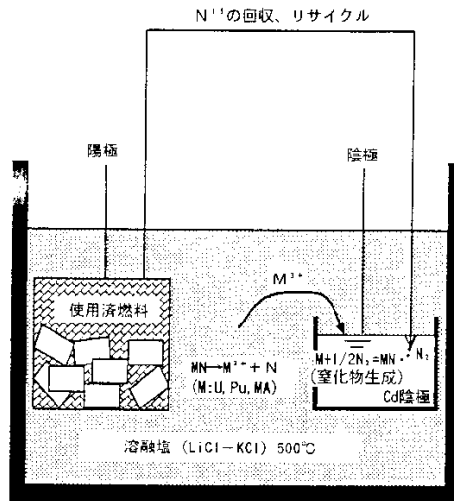


図7 窒化物燃料熔融塩再処理の原理

生した窒素ガス (N-15) を回収・リサイクルしてCd陰極に吹き込み、窒化物燃料の形で回収するプロセスを検討した。この概念の可能性を確か

めるため、以下の実験を実施<sup>9)</sup>した。

試験では、Cd陰極を模擬したCdプール中にUを溶解し、窒素ガスを流し込むことにより窒化ウラン (UN) の生成の有無を確認した。試験条件は、試験温度を500℃～550℃とし、Cd中のU濃度は、2～2.4wt% (飽和溶解度以下) とした。また、窒素ガス吹き込み量は、反応時間を5時間として化学当量を十分上回る量とした。試験の結果、Cd中に最大1mm程度の顆粒状の生成物を得た。X線回析の結果、Uと窒素の化学量論比が1:1のUNであることを確認した。図8に実験装置、図9に生成したUN及びその光学顕微鏡による観察写真を示す。なお、生成した顆粒体の密度、粒度分布等のデータを得るにはさらに試験が必要である。

(4) TRU高回収システム

本システム設計研究では、MAをリサイクルするシステムを検討している。目標とする99.9%のTRU回収を実現するためには、電解精製プロセスの溶融塩からのTRUの回収が重要である。設計研究では、その回収方法として還元剤をLiまたはUとした多段向流抽出法 (抽出溶媒: Cd) に着目し、本プロセスの計算モデルにより、抽出段数をパラメータとしてPu、Np、Am、Cmの回収率を解析評価した。Uを還元剤として使用した場合の回収率と抽出段数の関係の計算結果を図10に示す。抽出段数が最低4段あればTRUは、99.9%以上をCd中に回収可能である。

(5) 溶融塩電解プロセスの臨界特性

溶融塩電解プロセスでは、水溶液系がないためプロセスにおける臨界管理は比較的容易である。本設計研究では、金属燃料プロセスにおける臨界

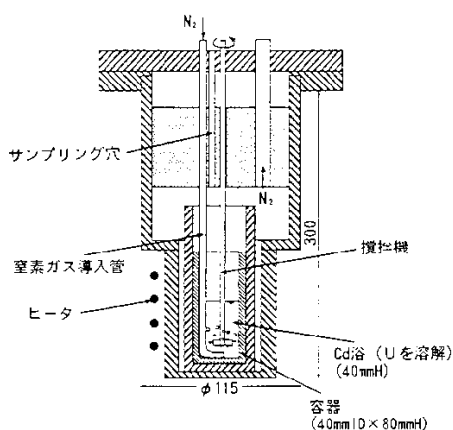
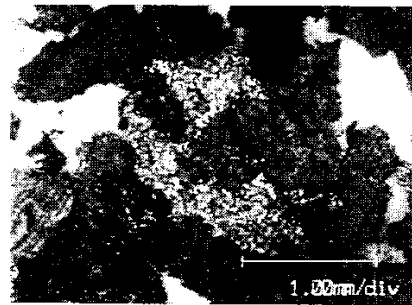


図8 Cd中窒化物生成実験装置図



Cd蒸留後の生成窒化物 (UN)



マイクروسコープによる観察 (UN)

図9 窒化物燃料の溶融塩再処理法 (Cd陰極中の窒化試験550℃)

特性について解析評価を行った。

このプロセスでは、Puは溶融塩電解槽のCd陰極に回収され、この回収物をカソードプロセッサ (陰極処理装置) に入れてCdと塩を蒸留し、金属U-Puのインゴットを得る。Pu濃度が最も高くなるのは、これらの工程である。解析では、臨界

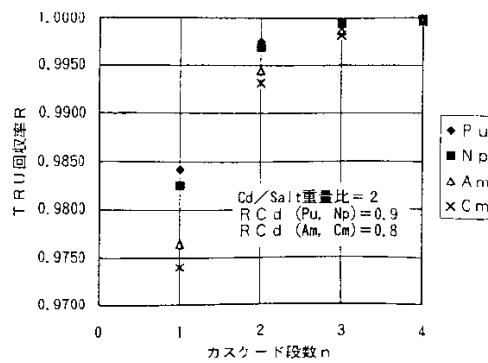


図10 使用済み溶融塩中のTRU回収 (Cd-Uによるカスケード抽出)

計算コードMVPを使用し、熔融塩電解槽、カソードプロセッサ等を対象に、Puの取り扱い量等をパラメータとして、その体系で実効増倍率を計

算した。その例として電解槽内の4基のCd陰極にPuが10kg/基ずつ回収され、塩中にPuが10~20%溶解している体系で計算した結果を図11に示す。この体系では、実効増倍率は約0.5であり、十分未臨界にすることができる。

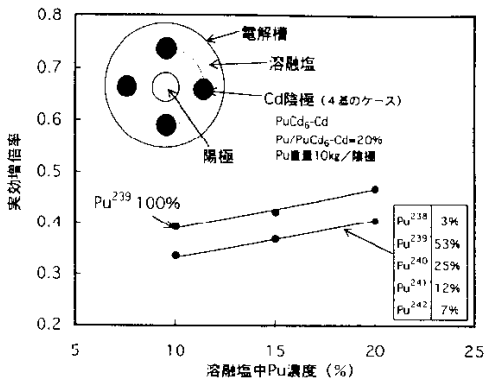


図11 電解増Cd陰極の臨界特性

#### 4.2 脱被覆システムとオフガス処理システム

##### (1) 脱被覆システム

現在ほとんどの大規模再処理施設の前処理法として採用されている機械式燃料集合体せん断法では、処理容量にかかわらず大型のせん断装置や大きな保守スペースが必要になる。本設計研究で検討しているリサイクル実証モジュールシステムでは、処理容量として10t/年(実用システムでも40~100t/年)の比較的小きな容量を想定しているため、従来の方法に代わる「乾式熱処理による脱被覆」<sup>9)~11)</sup>が適用できる。

この脱被覆法は、現在検討している実証システムで処理する燃料のうち、酸化物燃料及び窒化物燃料を対象とした脱被覆法である。本方法は、燃料被覆管にスリットを入れて燃料物質を加熱すると、結晶構造が変化して燃料が粉体化するとともに、体積膨張が生じて被覆管を押し広げることを利用して燃料物質と被覆管とを分離させる方法である。本方法の概念を図12に示す。本方法を採用することにより、以下の利点を得られる。

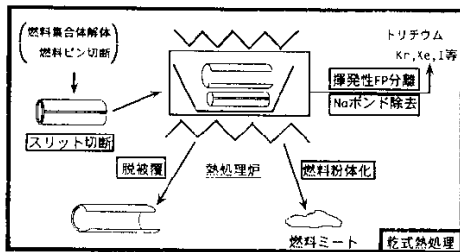


図12 乾式熱処理による脱被覆処理の概念

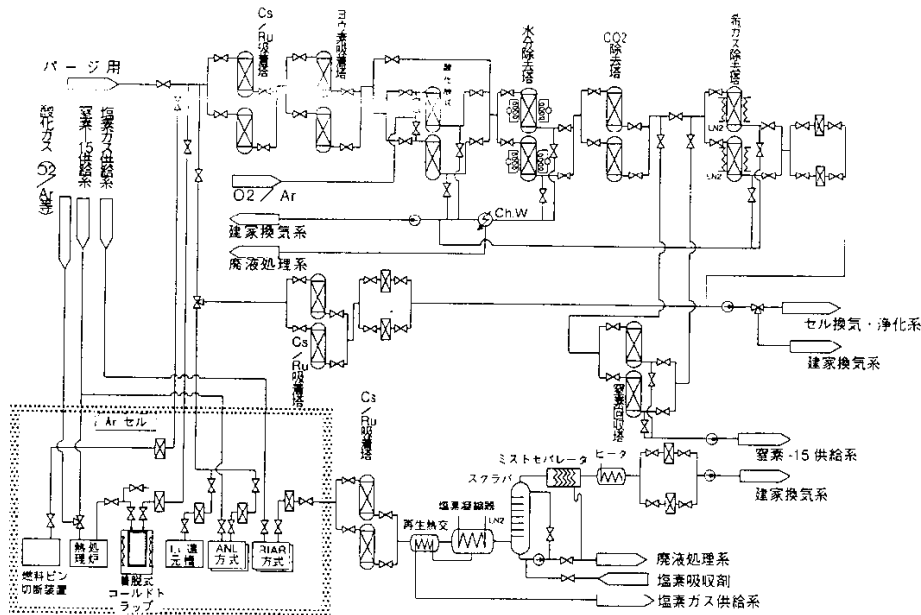


図13 オフガス処理共通化プロセス

- ① 燃料解体装置がコンパクトになる。
- ② 燃料粉体化により、熔融塩電解工程における溶解反応が促進され易い。
- ③ 揮発性FP及びボンドナトリウムの除去が同時にでき、熔融塩の長寿命化が図れる。
- ④ 酸化物燃料、窒化物燃料の脱被覆装置の共用化が図れる。なお、金属燃料の脱被覆は機械式切断装置で行う。

(2) オフガス処理システム

先進的核燃料リサイクルシステムで酸化物燃料、金属燃料、窒化物燃料の再処理を行う際、各装置から発生するオフガスの処理システムは共通化し、またオフガスに混入するArガスの再使用を図るとともに、脱被覆処理工程で大部分の揮発性FPを除去して後工程での気体廃棄物の発生を抑えることとして、システムを検討した。検討結果を図13に示す。本システムでは以下の系統構成とした。

- ① 先行湿式プラントでは、気体廃棄物のうち、ヨウ素、ルテニウム等を除去しているが、本システムではこの他に、トリチウム、C、Kr、Xe、Csも除去して放出放射能を低減する。
- ② 酸化物燃料の電解精製槽のオフガス系は、Arセル系統とは別系統とし、塩素ガスを回収・リサイクルする。
- ③ 窒化物燃料処理で発生するN-15はゼオライトに吸着することにより回収・再使用が可能な系統構成とする。

4.3 廃棄物処理・安定化システム

熔融塩を用いた乾式サイクルでは種々の廃棄物が発生するが、大多数の廃棄物はこれまで経験のある湿式再処理サイクルのものと同様である。大きく異なる廃棄物としては、熔融塩電解精製工程から発生する使用済塩廃棄物があり、塩廃棄物はFPを多量に含んでいるため、高レベル廃棄物に相当する。ここでは、塩廃棄物の固化法について検討した結果について述べる。

(1) 塩廃棄物固化法の現状

高レベル廃棄物の固化処理法としては、ホウケイ酸ガラスを用いるガラス固化法が標準法として認められているが、塩廃棄物（主成分LiCl+KCl共晶塩）はホウケイ酸ガラスで固化しようとすると、ガラスと塩の反応により塩素の揮発やガラスの結晶化が起り、塩のまま直接ガラス固化することは不可能であった。このため図14に示すように様々な方法が開発中<sup>12)</sup>である。

固化方法は2つの方法に大別でき、一つは塩を

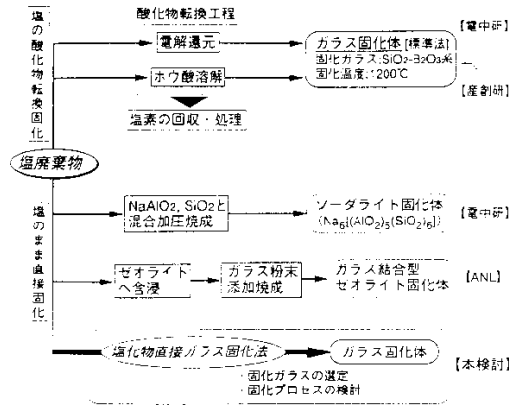


図14 塩廃棄物固化処理法の現状

酸化物に転換し、その後は高レベル廃棄物固化の標準法であるホウケイ酸ガラスでガラス固化するものである。アルカリ金属の塩化物は極めて安定で単なる加熱処理等では酸化物に転換するのは困難で、酸化物に転換するには電解還元等の比較的強力な還元法が必要であり、酸化物転換時に塩素ガスが発生するためその処理、回収が必要になるという難点がある。

一方、塩のまま固化する方法としては、塩をゼオライト粒子に吸蔵させ、これにガラス原料を加えて焼成しガラス結合型ゼオライト固化体にする方法や、塩とアルミン酸ソーダ等を混合し焼成し、ソーダライト固化体にする方法等の開発が進められている。しかしながら、ゼオライトのような無機固化体は化学的には安定性が高いと考えられるが、多孔質物質であり、高レベル廃棄物固化体の標準法ともいべきガラス固化体のように非多孔性物質とは異なるため、処分シナリオへの適合性で難点がある。

(2) 塩廃棄物直接ガラス固化法の開発

本設計研究では、上記の塩廃棄物固化法の課題である塩素処理とガラス固化体という2つの課題を同時に解決するものとして、塩廃棄物を直接にガラス固化できる方法を検討した。塩化物のまま含有できるガラス、すなわちイオン半径の大きな塩素イオンを含有できる可能性のあるガラスとして重金属多含有酸化物ガラスを選定し、模擬塩廃棄物を用いてガラス固化試験<sup>13)</sup>を行った。

図15に鉛・ホウ酸系ガラスと鉛・リン酸系ガラスを用いた試験結果の一例を示す。鉛・ホウ酸系ガラスにより塩素を十分閉じ込めることができた。ESCA(X線電子分光装置)による構造解析の結果、塩素、アルカリ金属はガラスの網目構造中に結



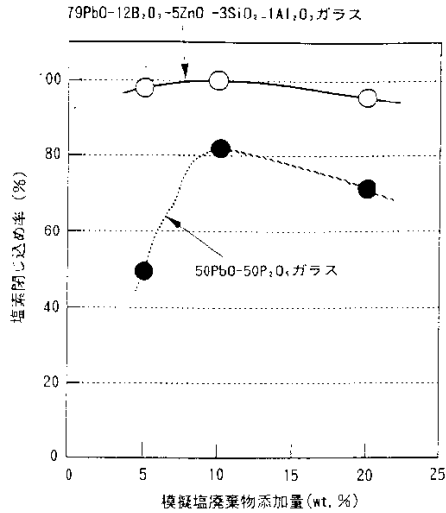


図15 ガラス溶融法にて試作した固化体の塩素閉じ込め率

合状態で保持されていることが確認された。今後、耐熱性、耐水性、放射能浸出率、塩閉じ込め性等の評価を進めていく必要があるが、塩廃棄物を直接ガラス固化できる見通しが得られたと考える。

5. リサイクルモジュール概念の検討

以上に示したシステム概念及び各プロセスの検討結果に基づいて、先進的核燃料リサイクルシステムの実用システムの最小単位のモジュールとなる実証システム（10tHM/年の規模）のホットセル施設等の概念を検討した。この施設概念を図16に示す。建屋は幅57m、長さ70m、地上2階・地下1階建てで、容積約10万立方メートルである。

(1) ホットセルの構成

使用済燃料の搬入から再処理、燃料加工、新燃料搬出に至るまでの一連のプロセス装置を設置す

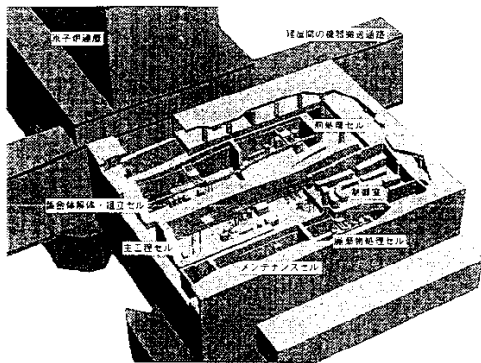


図16 リサイクル実証モジュール概念図

るホットセルは、セル数の最小化によるセル間移送システムの簡素化等を狙って3つのセルに統合した。各セルの機能は、①集合体解体・組立セル：燃料集合体の解体及び組立、②前処理セル：燃料ピン剪断・脱被覆、③主工程セル：各種燃料形態（酸化物・金属・窒化物）の電解精製及び2種類（振動充填・射出成型）の燃料ピン加工、とした。前処理セル及び主工程セルは金属燃料の酸化防止等のためアルゴンガス雰囲気とした。

(2) プロセスロボットの構造概念

主工程セル内に設置するマテリアルハンドリングシステム（機器等の取扱・移動装置）には、乾燥アルゴンガス雰囲気・高放射線環境下での動作信頼性及び遠隔保守性が要求される。このため、非接触で駆動機構が少なく、ケーブルレス化により信頼性・保守性に優れたリニアモータ式のプロセスロボットを検討した。ロボット本体は、テレスコピックチューブ（伸縮筒）、多関節型アーム及びエンドエフェクタ（アーム端の掴み機構等）で構成し、テレスコピックチューブの伸縮と回転、アーム関節の回転及びエンドエフェクタの動作により所定のハンドリング機能を可能にする。ロボット本体を搭載する天井走行式の台車はリニア誘導モータにより駆動し、本体用電源は台車に搭載したバッテリーから供給する。リニアモータは、一次固定子をセラミナ外側の台車走行方向に沿って直線上に等間隔に設置し、二次導体（銅板とアルミニウム板の複合プレート）を台車上面に取付ける構造とした。また、リニアセンサ（磁歪遅延線方式、磁気式リニアエンコーダ）による変位計測及び光学方式による信号伝送により、ケーブルレスシステムとした。

(3) 商用モジュールの適用例

上記の実証システムの検討結果を基に、商用モ

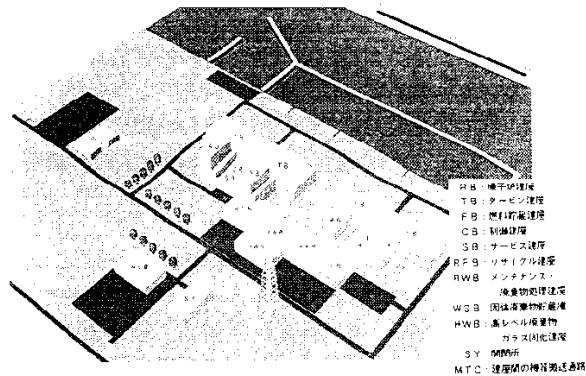


図17 商用リサイクルモジュール

ジュールシステムの適用例を検討した。高速炉プラントと核燃料リサイクルモジュールシステムを設置する方式として、別々のサイトに立地する方式と両者を一体、または隣接サイトに立地（コロケーション）する方式がある。どちらにするかは立地サイトの状況、建設・輸送等を含めたコスト評価等を行い選定する必要がある。高速炉でMAリサイクルを行う場合は、燃料の輸送性等の点から後者の方式が考えられる。この場合のプラントレイアウトの例を図17に示す。本図では、2基の高速炉に対して1基のリサイクルモジュールシステムを組み合わせ、炉の増設計画に合わせてモジュールを増設するようにしたもので、サイト内で核燃料サイクルが完結する。

## 6. おわりに

溶融塩再処理技術を用いた核燃料リサイクルシステムに関する研究開発の状況は、酸化燃料については、ロシア原子炉科学研究所 (RIAR) で高速炉 (BN350, BOR60) の使用済燃料集合体を用いた試験が行われている。また、金属燃料については、アメリカのアルゴンヌ国立研究所 (ANL) でEBR-IIの使用済燃料集合体の処理試験が進められている。溶融塩再処理技術については、いずれも基本的な技術が確立し、実規模試験の段階にある。

一方、国内においては、(財)電力中央研究所、(財)原子力機構等の研究機関で試験室規模での試験研究が進められている。今後、本リサイクルシステムを実用化するためには、海外等での技術成果も入手しつつ、溶融塩を用いたシステム・プロセス技術について、実用化のキーとなる要素技術開発 (電解処理の高速化、高温プロセスハンドリング技術、溶融塩の再生・安定固化処理技術等) と溶融塩プロセス挙動データの取得・整備を行うとともに、U-Puを使用した工学規模のホット試験とMA回収に関する研究開発、使用済燃料を用いたリサイクル実証試験等を段階的に進めて行く必要がある。

この研究開発は、高速炉実用化時代に向けての長期的な開発になることから、適宜、技術評価

(チェック&レビュー)を行いつつ、国内外の研究機関等との協力・役割分担のもとに推進して行く必要がある。

本稿では、大洗工学センターシステム技術開発部において、これまで進めている先進的核燃料リサイクルシステムの設計研究の概要を紹介した。本システム設計研究は、上記の研究開発の成果等を取り入れつつ、経済性、安全性、環境負荷低減等に優れ、かつ原子炉側と整合性が取れた高速炉時代に最適な先進的核燃料リサイクルシステムの構築を目指して、とらに進めて行く予定である。

この設計研究等は、社内の研究部門及び社外研究機関等との緊密な協力のもとに効率的、かつ着実に進めて行く考えである。社内外の関係者の皆様に対し、これまでのご協力に感謝するとともに、今後とも一層のご支援・ご協力をお願いしたい。

## 参考文献

- 1) 掛鐘勲, 白井信行 他: "先進的核燃料リサイクルシステムの設計研究", 動燃技術報告書, PNC/TN9410-97-015 (1996)。
- 2) 菅野昌義: "使用済み燃料の乾式再処理" 原子力工学シリーズ2「原子炉燃料」, 東京大学出版会, p.164, (1976)。
- 3) 清瀬量平 編: "金属燃料サイクル技術" 日本原子力学会 金属燃料技術研究専門委員会, (1996)。
- 4) H.F.McFarlane, M.J.Lineberry: "The IFR Fuel Cycle Demonstration" *Progress in Nuclear Energy*, Vol.31, No.1/2, p.155, (1997)。
- 5) A.V.Bychkov, K.Vaculov, et al.: "Pyroelectrochemical Reprocessing of Irradiated FBR MOX Fuel" *Proceedings of Global '97*, p.912, (1997)。
- 6) J.J.Laicher, J.E.Battles, et al.: "Development of Pyroprocessing Technology" *Progress in Nuclear Energy*, Vol.31, No.1/2, p.131, (1997)。
- 7) 岩井孝, 白井理 他: "塩化物溶融塩中におけるプルトニウム窒化物の電解" 日本原子力学会1998春の年会要旨集, K21, (1998)。
- 8) 藤田玲子, 中村等 他: "Cd陰極中の窒素化試験" 日本原子力学会1998春の年会要旨集, K11, (1998)。
- 9) 藤岡綱昭, 水野峰雄 他: "酸化熱処理法による燃料取出技術基礎試験" 日本原子力学会1997秋の大会予稿集, K56, (1997)。
- 10) 水野峰雄, 藤岡綱昭 他: "還元・酸化熱処理法による燃料取出技術の開発" 日本原子力学会1997秋の大会予稿集, K57, (1997)。
- 11) 高坂裕二, 飯塚達 他: "FBR核燃料リサイクルシステム概念の検討(その4) - 窒化物燃料への乾式熱処理技術の適用性 -" 日本原子力学会1997秋の大会予稿集, K58, (1997)。
- 12) G.Pereira, et al.: "Proceedings of the Embedded Topical Meeting on DOE Spent Nuclear Fuel & Fissile Material Management, Reno, Nevada", Vol.02, No.129, (1996)。
- 13) 内藤孝, 鈴木康隆 他: "乾式再処理廃棄物の直接ガラス固化技術の検討" 日本原子力学会1998春の年会要旨集, K51, (1998)。