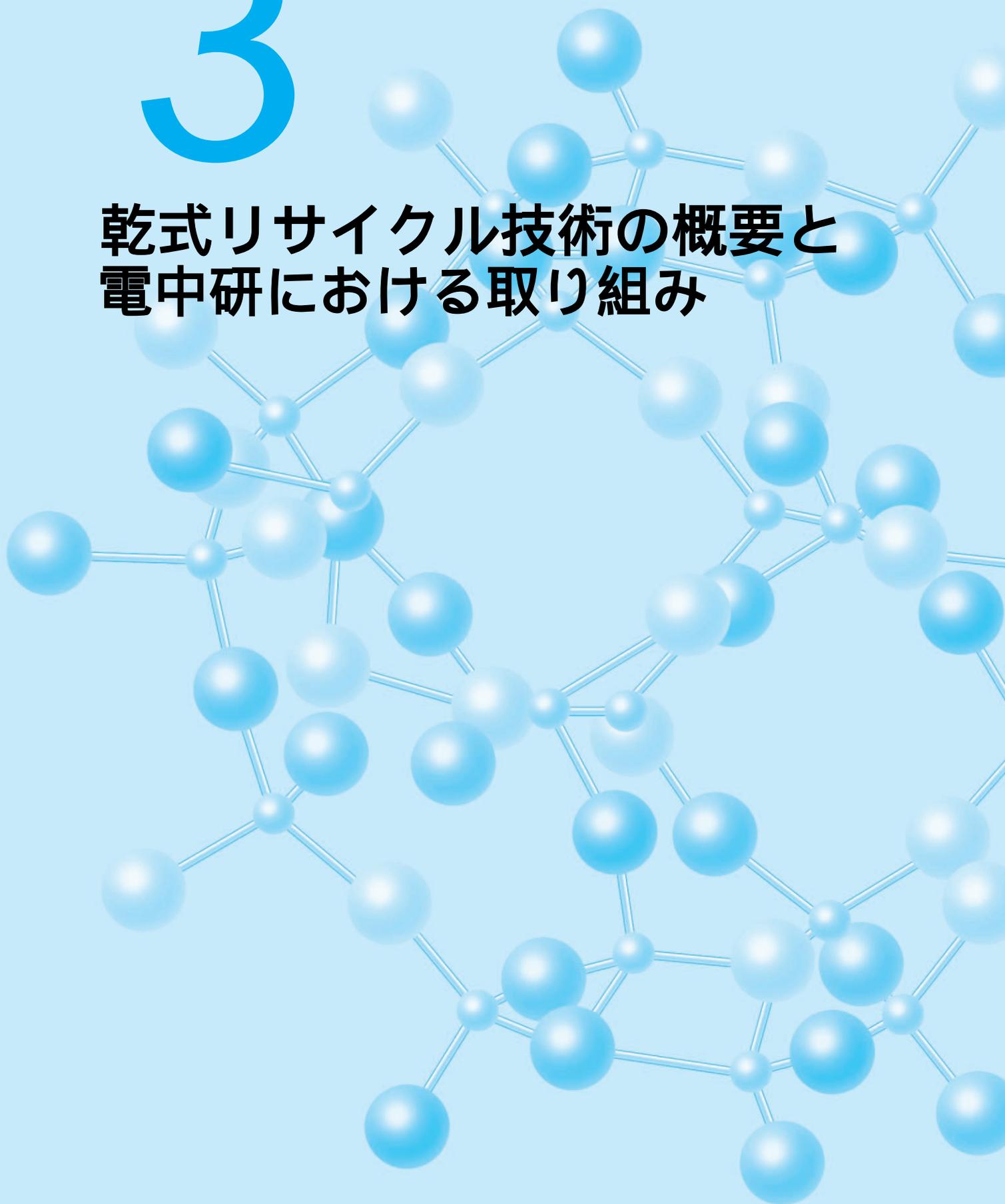


第 3 章

3

乾式リサイクル技術の概要と
電中研における取り組み



第3章 乾式リサイクル技術の概要と電中研における取り組み 目次

原燃サイクル部長 井上 正

3 - 1 乾式リサイクル技術の概要	21
3 - 2 乾式リサイクル技術の特徴	22
3 - 3 電中研における取り組み	22

井上 正 10ページに掲載

3 - 1 乾式リサイクル技術の概要

将来の合理的な原子力システムには、経済性ばかりでなく安全性や核拡散抵抗性^{*1}の向上、環境負荷の低減などがその要件として求められている。このためには原子炉システムだけでなく、それを支える原子燃料サイクルに新しい考えや技術を取り入れて行く必要がある。当研究所ではこれを満たす将来の理想的なシステムを

金属燃料FBRと乾式再処理を取り入れた燃料サイクル

と考え、昭和60年頃から開発を進めてきた。またそれとほぼ同じ時期より、高レベル放射性廃棄物から超ウラン元素を除去し、その処分期間が超長期にわたることによる安全確保の不確実性を低減させ、高レベル放射性廃棄物処分の社会的受容性の向上を目的とした

乾式技術を取り入れた長半減期核種の分離、金属燃

料FBRによる変換技術の開発を進めてきた。

一方、昨今の原子力情勢からFBRの導入は当初計画よりも遅れ、21世紀においても、当面は軽水炉が主流になると考えられることから、乾式再処理技術を軽水炉の酸化物燃料(UO₂燃料や今後装荷されていくMOX燃料^{*2})にも適用するために、

酸化物燃料の金属への還元技術

の開発も平成7年から進めている。これら3つの課題を一つのシナリオに統合したトータルシステムを当所では「乾式リサイクル技術」と称している(図3-1-1)。ここでの基礎技術は、電解精製によるウランとプルトニウムの回収、電解や還元・抽出による超ウラン元素の回収、それら回収物を金属燃料FBRにリサイクルするための射

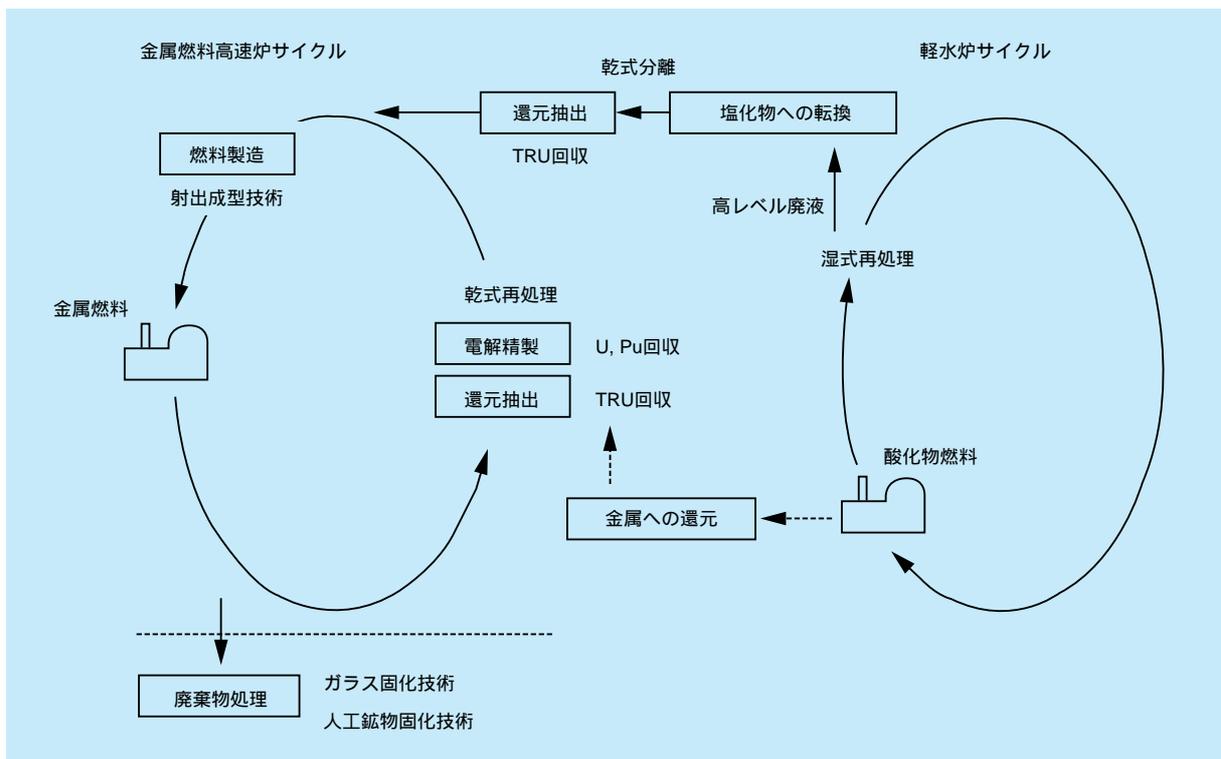


図3-1-1 乾式リサイクルプロセス

^{*1}核拡散抵抗性：商用の再処理施設から回収されるプルトニウムは原子爆弾へ転用されないようにする必要がある。このために再処理プロセスではプルトニウムを単体で存在させないように工夫がなされている。乾式プロセスでは、プルトニウムとマイナーアクチノイドが同時に回収されるために、単体のプルトニウムを得ることが難しく、核拡散抵抗性が高いといわれている。

^{*2}MOX燃料：ウランとプルトニウムの混合酸化物燃料。通常の軽水炉では、ウランのみの酸化物の燃料が用いられている。これに対して軽水炉でMOX燃料を用いるのがいわゆるプルサーマル計画である。

出成型法による燃料製造、並びにウラン、超ウラン元素回収後の廃棄物を処理するための塩処理・固化から成り立っている。酸化物燃料にこのプロセスを適用するためには電解精製に先立って酸化物燃料の中のウランや超ウラン元素をリチウム(Li)などの還元剤によって金属に還元することが必要である。また、高レベル廃液から超ウラン元素を回収するにあたり、乾式法を適用するための前処理として脱硝及び塩素化が必要となる。

電解精製では固体陰極と液体カドミウム陰極の2種類の陰極を使って、前者ではウランを、後者では主にプルトニウムとマイナーアクチニド元素を回収する。さらに

超ウラン元素の還元・抽出工程では電解精製で取り切れなかったウラン、プルトニウム、マイナーアクチニド元素を液体金属(カドミウム(Cd)やビスマス(Bi))の中に回収する。電解精製や還元・抽出工程で回収されたウランや超ウラン元素は付着した塩や金属を蒸留することで除去した後、所定の成分に調整し、射出成型により燃料に再加工される。できる限りウランや超ウラン元素の環境中への排出を防ぐために、このプロセスの回収目標値を、電解精製ではウランやプルトニウムを99.5%以上、超ウラン元素回収工程ではそれぞれのマイナーアクチニド元素を99%以上と設定している。

3 - 2 乾式リサイクル技術の特徴

乾式技術(乾式再処理や超ウラン元素の乾式分離)は、回収されたウランや超ウラン元素の製品の核拡散抵抗性が高いだけでなく、強力な線を放出するため盗難などの物的防護の面でも有利な方法である。さらに原子燃料サイクルをトータルシステムとして考えた場合、乾式リサイクルでは全てのマイナーアクチニド元素を燃料サイクル内に閉じ込めることが可能であり、廃棄物として処分されるマイナーアクチニド元素の量が大幅に低減できる。また乾式法では放射線により劣化する有機溶媒などを用いないために、放射線が極めて強い燃料(炉から取り出した後の冷却期間が短い燃料、プルトニウムをリサイクルした燃料など)でも再処理できるという大きな特徴がある。

このような能力を持つ乾式リサイクル技術が実用化できれば、一つの再処理方法で、現在の原子力発電から発

生する使用済み燃料だけでなく、将来発生しうる種々の燃料の処理も可能となり、燃料サイクルを柔軟に運用できるものと考えられる。また乾式リサイクル技術と一体化した金属燃料FBRもプルトニウムの増殖比が高いなど将来の高速炉にふさわしい特徴を持っている

一方、乾式リサイクル技術はこのようなポテンシャルを持つ技術であるが、実用化には解決しなければならない課題も多い。まず、乾式技術は高温下のプロセスであるため、高温の溶融塩や金属が機器材料や配管などと接触する。このため機器設計にあたっては材料の選定や開発が課題となる。さらに簡便な遠隔操作による保守、補修技術の開発や、ウラン、プルトニウムなど核物質の流れを監視する適切な核物質管理方法の開発なども解決しなければならない課題としてあげられる。

3 - 3 電中研における取り組み^(3-1、3-2)

乾式技術は1950年代から60年代の初頭にかけて、動力炉の燃料として金属燃料が検討されていた時代にアメリカやヨーロッパなど各国で研究が盛んに行われた。しかし照射試験の結果、金属燃料の融点が低く炉心の高温化が困難である、スウェリングが大きく燃料と被覆管の機

械的相互作用により燃料被覆管が破損するという現象が認められたため、金属燃料に関する研究とそのための乾式再処理技術開発の勢いは、急速に衰えていった。

しかし、そのような中でもアメリカではアルゴンヌ国立研究所(ANL)において実験炉EBR- を使って金属燃

料の研究が継続されていた。多くの燃料棒照射試験などの結果、スミア密度^{*3}を75～80%と低くすることにより被覆管破損を防止できること、金属燃料にジルコニウム(Zr)を添加することで燃料溶融温度が上げられることなどが分かってきた。これと並行して金属燃料に乾式再処理を適用するための研究も進められた。これらの経験をもとに、ANLでは電解精製を使った高温冶金法で簡便に金属燃料が再処理できること、炉 - 再処理 - 燃料製造が一体化できること、再処理で得られる製品、特にプルトニウムが純粋な形で回収できないため、核拡散抵抗性が高いことなどの利点を生かして、昭和59年からIFR(Integral Fast Reactor)計画^{*4}を開始した。当研究所ではこの計画に着目し、平成元年からこれに参加して金属燃料サイクルの研究を始めると共に、先に述べた超

ウラン元素の分離にも乾式法を適用するなど、独自の構想も加え研究を行ってきた。これについては所内での研究ばかりでなく、実際に超ウラン元素を用いた試験や装置開発などを行うため、国外機関との共同研究を実施してきた。昭和63年からロックウェル・インターナショナル社(現在は関連部門がボーイング社に移籍：アメリカ)/ミズーリ大学(アメリカ)との共同研究により超ウラン元素の分離試験を行い、超ウラン元素研究所(欧州連合)と共同で超ウラン元素の金属燃料による消滅(燃焼)試験のための研究を行ってきた。さらに平成10年からは乾式再処理を酸化物燃料に適用するための還元技術について超ウラン元素を用いた試験を行うためAEAテクノロジー社(イギリス)との共同研究も開始した。

^{*3} スミア密度：原子燃料の被覆管の内側を燃料体が占める割合をスミア密度という。

^{*4} IFR計画：IFRはIntegral Fast Reactorの略で、米国アルゴンヌ国立研究所が1984年に提案した高速炉燃料サイクルの概念である。金属燃料を用いる高速炉と核拡散抵抗性の高い乾式のリサイクル技術で構成される。