

金属燃料サイクルの実用性評価

背景・目的

国・電力が進めている高速増殖炉サイクル実用化研究開発(FaCT)では、酸化物燃料と湿式再処理からなる酸化物燃料サイクルを主概念とし、それを超える性能を有するが実績が乏しいとして金属燃料サイクルを副概念としている。金属燃料サイクルは、ウラン(U)、プルトニウム(Pu)、ジルコニウム(Zr)の合金を燃料とし、冶金的に再処理(乾式再処理)と燃料製造(射出鑄造)を行う革新的な技術である。高熱伝導の燃料物性に由来する高い安全性や燃料利用効率の向上、原理的にPu単独分離が困難な乾式再処理の持つ高い核拡散抵抗性ととも、システムとしての経済性や、半減期が長いマイナーアクチニド(MA)^{*1}を回収・燃焼して廃棄物負担を低減することなどが期待されている。当研究所では、米国をはじめ欧州、国内の諸機関との共同研究を活用してこの技術の開発を進めてきている。また、近年、成長が著しいインド、韓国、中国などのアジア諸国でも金属燃料サイクルの研究開発に取り組み始めており、世界的に注目を集めている。

本課題では、高速炉での金属燃料照射試験、使用済燃料を用いた乾式再処理試験および工学装置開発などを行い、実証的なデータの蓄積を図る。

主な成果

1. 国内初の照射試験に向けた金属燃料の製作【日本原子力研究開発機構との共同研究】

実用炉相当の高温条件での健全性確認を目的とした実験炉「常陽」での照射試験に向けて、当研究所開発の射出鑄造装置で製造したU-20wt.%Pu-10wt.%Zr合金棒をフェライト/マルテンサイト鋼被覆管内に封入して6本の金属燃料を完成させ、国の検査に合格した(図1)。照射試験は常陽が再起動する2011年度以降に開始する予定である。

2. 工学規模サイクル試験による乾式再処理の実用性の確認^{*2}

Uを用いた5kg/日規模のサイクル試験を連続で行う一連の装置を開発し(図2)、約6kgのUO₂ペレットを電解還元装置(図3)で金属Uに還元し、電解精製装置(図4)で約200g/hでUを精製・回収した。これを原料にしてU-10wt%Zr合金棒の射出鑄造を行い、射出鑄造装置への装荷量の約70%を鑄込むことに成功した(残量は再利用可能)。また、向流抽出装置(図5)では熔融塩・熔融金属の供給系を完成し抽出試験を行った。これらより各装置の機能を確認するとともに、工程ロスを含めた試験データから実用的な回収率と精度良い物質収支管理が可能であることを確認した。

以上の技術開発成果をとりまとめ、FaCT中間評価に示し、2015年度の評価に向けた研究開発の着実な推進への期待が示された。

*1：ネプツニウム、アメリシウム、キュリウムなど、ウランより重く、非常に長期間、放射線や熱を発生する元素。

*2：本研究は、特別会計に関する法律(エネルギー対策特別会計)に基づく文部科学省からの受託事業として実施した平成22年度「実用化に向けた金属燃料サイクルの工学技術実証に関する研究開発」の成果である。



図1 製造した高速実験炉「常陽」照射用の金属燃料（直径8mm、全長60cm）

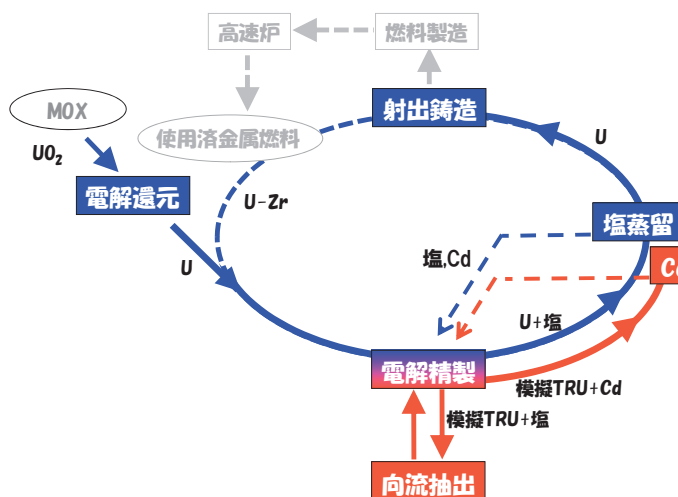


図2 金属燃料サイクルの連続試験

ウランを用いた5kg/日規模の連続試験を(1)電解還元、(2)電解精製、(3)塩蒸留、(4)射出鑄造について実施する（青色部分）。また、アクチニドの模擬物質として希土類を用いる試験として向流抽出およびCd蒸留を行う（赤色部分）。



図3 電解還元装置(左)と得られた還元生成物(右)
電解還元装置では、最大で5.7kgのUO₂を中心付近の4つのバスケットに装荷し、UO₂のペレットを金属Uに還元する。

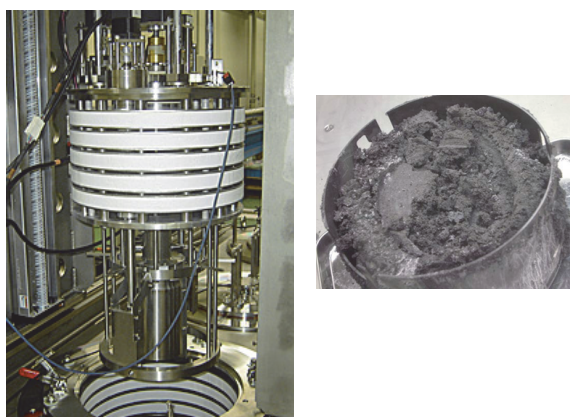


図4 電解精製装置(左)と得られた陰極析出物(右)
電解精製装置では、最大で5kgの金属ウランを装荷し、中心部の固体陰極に析出させ、かき取り刃で受け皿に回収する。右図は、受け皿に回収した塩を含んだ精製U。

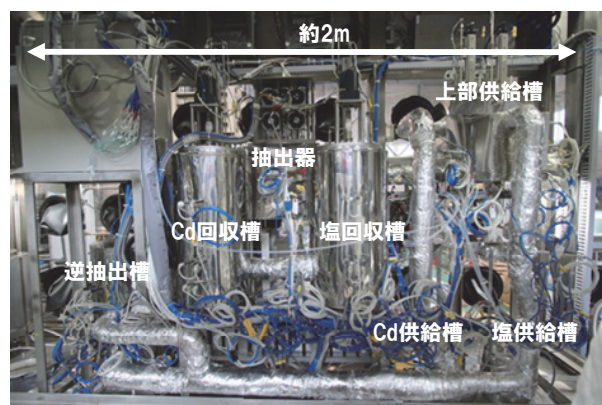


図5 向流抽出装置の全体図

向流抽出装置は、(1)グローブボックス床面より下に設置される塩およびCdの供給槽、(2)それぞれの供給槽に装着されるポンプ、(3)ポンプでくみ上げた塩とCdを一時的に溜める上部供給槽、(4)6段の向流抽出器、(5)塩およびCdの回収槽、(6)試験後の塩とCdを処理する逆抽出槽、ならびにそれらを繋ぐ配管と制御系からなる。配管や槽はヒータで500℃程度に加熱され、溶融塩と溶融Cdを連続的に取り扱うことができる。