

軽水炉MOX燃料再処理の現況と今後の見通し

平成 9 年 1 月 2 4 日

動力炉・核燃料開発事業団

軽水炉 MOX 使用済み燃料は、同程度の燃焼度で照射されたウラン燃料と比較して、1) プルトニウムの含有量が大きく、その同位体組成が高次側に推移している、2) アクチニド含有量が大きく、それによる α 放射エネルギーや中性子発生率が高い、3) 核分裂生成物のうち不溶解残渣の成分となる白金族元素の含有量が大きい、等の特徴を有し（表 1 参照）、再処理施設で MOX 燃料を処理する場合には、それらの特徴を勘案した設備対応や運転操作上の配慮が必要となる。

我が国においては原電敦賀及び関電美浜でそれぞれ 2 体及び 4 体の MOX 燃料がすでに照射されており、並行して動燃等において MOX 燃料の再処理に係わる研究が進められている。

具体的には、例えば、MOX 燃料はプルトニウムがウランと均一化していないと溶解時にプルトニウムの未溶解量が増加するとされ、再処理した際の廃棄物中へのプルトニウムの同伴量の増加等につながる。この確認のため、動燃大洗の照射後試験施設（AGF）及びニュークリア・ディベロップメント（MDC）の燃料ホットラボにおいて、上記のそれぞれ原電敦賀及び関電美浜で照射された MOX 燃料の溶解試験が実施されているところである。なお、最近の MOX 燃料製造法で製造され、ある程度以上燃焼した燃料は、ウラン燃料と同様の溶解性を示すといわれ、適切な溶解条件の把握等が図られれば、溶解性に起因する顕著な影響はないと考えられている。

取り扱いプルトニウム量の増加が抽出工程に与える影響については、動燃東海再処理工場の小型試験設備（OTL）を用いて模擬状態を作った試験が実施されており、試験範囲での問題はなかったことが報告されている（表 2 参照）。また、電中研も EC 超ウラン研究所と共同で MOX 燃料の溶解試験や抽出試験を実施しており、その結果、MOX 燃料はウラン燃料とほぼ同じ溶解速度で溶解すること、プルトニウムの増加に伴い懸念される第三相が発生したとしても適切に処理すれば通常の運転状態に戻すことが可能であることと等が確認されている。

一方、海外においても MOX 燃料の再処理に係わる試験研究が行われており、例えばフランスでは CBA フォンテネオローズ研究所のホットセルでの溶解試験、Marcoule の APM での溶解試験及び抽出試験がそれぞれ実施され、さらには、LaHague の UP2400 プラントで 4.7 トンの工業規模の再処理が問題なく行われた。また、ドイツにおいてもカールスルーエ再処理工場やカールスルーエ原子力研究センターの MILLI 施設で MOX 燃料の再処理試験が実施され、イギリスでも同様の研究が進められている（表 3 参照）。

なお、動燃東海再処理工場では炉の分類は異なるもののふげんで照射されたタイプ A の

MOX 燃料がすでに処理されており、ウラン燃料と同様に処理できることが確認されている（表 4 参照）。今後はさらにプルトニウム含有量の高いタイプ B の MOX 燃料の再処理を通じて有用なデータが蓄積されるものと考えられる。

ウラン燃料を対象とした再処理施設で MOX 燃料を処理する場合の検討課題に関しては、その多くは既存の技術で対応可能とされているが、具体的にどのような対応が必要となるかは当該再処理施設で MOX 燃料を処理する際の運転モードに依存する。年間処理量を大幅に低下させることなく処理できる運転モードとしてウラン燃料と MOX 燃料とを 9 対 1 の割合で処理すること等が考えられ、これにより設備の大幅な変更なしに MOX 燃料の処理が可能であるが、実際の処理を行うにあたって事前に確認あるいは実証すべき項目も一部は存在することが指摘されている。その代表的なものとしては、MOX 燃料の溶解特性の把握、燃焼度モニタ開発に係わる基礎データの取得、抽出フローシートの改良試験、プルトニウム重合体の生成評価及び溶媒劣化の評価試験等であり（表 5 参照）、上述の AGF や M 叩 C での溶解試験及び OTL での抽出試験はその一部として位置付けられる。

また、東海再処理工場で MOX 燃料を処理するとした場合の設計解析評価として、臨界や遮へいに係わる安全評価作業も進められている。

表1 軽水炉使用済み MOX 燃料の主な特徴

項 目		主な特徴（ウラン燃料との比較）
燃料組成	Pu含有率	増加する
	Pu組成	高次化する
放射能	α	増加する
	β	一部核種は増加する
放射線源	γ	一部核種は増加する
	n	増加する
発熱		増加する
その他	白金族元素重量	増加する

表2 OLT で着手している試験項目

項 目	概 要
(1) 第三相生成解明、解消実証試験	・ 第三相の生成状況の観察、物性値測定、分離方法、検知方法の検討等
(2) 不溶解残渣の生成条件、同定及び溶解試験	・ 不溶解残渣及び清澄後沈殿物の化学組成の同定、溶解方法の検討
(3) 抽出フローシート基礎試験	・ 抽出器で高Pu/U比の溶解液を処理時のプルトニウムの蓄積及びリークの有無の測定、FPの除染係数の測定等

表3 海外における MOX 燃料再処理に係わる研究例

	研 究 例
フランス	・ Fontenay aux Rosesにおける溶解試験 ・ Marcoule APM施設における2.1トンの溶解及び抽出試験 ・ UP2プラントにおける4.7トンの再処理
ドイツ	・ WAKにおける159ピン (239kgPu) の処理試験 ・ KfK MILLI施設における2ピン (293gPu) の処理試験
イギリス	・ 未照射燃料の溶解試験

表4 86-2 キャンペーンにおける「ふげん」MOX 燃料の再処理実績

【燃料仕様】	
燃料集合体重量 (kg/体)	150
燃焼度 (MWd/t)	9,100～13,500
初期核分裂物質質量 (w/o)	1.4
冷却日数 (日)	1,180～2,190
【得られた知見】	・ セン断特性は軽水炉燃料と大差ないこと ・ 溶解率、溶解速度、溶解時間等の溶解特性は軽水炉燃料と比較して有意な差がないこと ・ ハルスフィルタのろ過速度及びその低下状況等のろ過性能は軽水炉燃料と比較して有意な差がないこと ・ ウラン、プルトニウム及びFPの抽出特性は軽水炉燃料と同等であること。またウラン及びプルトニウムの回収率は十分に良いこと。 ・ 回収されたウラン及びプルトニウム製品は要求される品質を十分満足すること ・ 総合的に、軽水炉燃料と同様に安定して安全に再処理できること。

表5 ホット試験で実証すべき事項

項 目	内 容
(1) MOX燃料溶解特性の把握	・ 製造条件による溶解性評価、照射による影響、溶解条件による影響、不溶解残渣へのプルトニウム及びアクチニド等の移行率等
(2) 燃焼度モニタの開発に係わる基礎データの取得	・ ORIGENコードのMOX高燃焼度燃料に対するライブラリ整備のための実データの取得
(3) 抽出フローシート改良試験	・ プルトニウムの蓄積やリークに対応するための改良フローシートの確証
(4) プルトニウム重合体生成評価	・ 温度、酸濃度及びプルトニウム濃度のパラメータによる重合体生成の有無の測定
(5) 溶媒劣化の評価試験	・ 溶媒劣化の除染係数等に対する影響評価及び溶媒洗浄試薬流量等をパラメータとした溶媒洗浄試験
(6) ハル、スラッジからのプルトニウム、アクチニドの回収試験	・ ハル、スラッジ等の廃棄物中へのプルトニウム及びアクチニドの移行量増加に対応するための回収試験
(7) 界面クラッド除去方法の改良	・ 抽出器に発生する難溶性クラッドの検知装置及び除去技術の開発、難溶性クラッドの生成条件及び性状把握試験
(8) アクチニド核種及び ^{129}I 、 ^{106}Ru / ^{106}Rh 、 ^3H のプロセス内移行率、DFの安全裕度の再評価	・ 当該核種のプロセス内閉じ込め裕度の確認試験