

再処理プロセスでの MA-Pu 共存による臨界安全性、放射線安全性及び核不拡散性への包括的影響評価

Quantitative analysis of the comprehensive impacts of MAs coexisting with Pu in reprocessing on criticality safety, radiation safety and non-proliferation features

*渡辺 将矢, 相楽 洋

東京工業大学

本研究では、Pu の単離を行わない MA-Pu 共回収型の湿式再処理を想定し、MA が再処理プロセス上で与える影響について臨界安全、放射線安全及び核不拡散性の観点から核種ごとに定量評価を行った。

キーワード : Pu-MA 共存溶液、臨界安全、放射線防護、核不拡散、MA

1. 緒言 原子力発電に求められる社会的課題として、高レベル放射性廃棄物の減容化及び有害度の低減が挙げられる。また、核拡散抵抗性向上のために、Pu の単離を行わない Pu の共回収再処理技術の研究開発が進められている。本研究では Pu の単離を行わず MA との共回収を行う MA-Pu 共回収型の湿式再処理において、MA が再処理プロセスに与える影響の基本特性を、臨界安全、放射線安全及び核不拡散性の観点から定量的に明らかにすることを目的とする。

2. 研究手法 まず、MA の臨界安全性への寄与を評価するため、高濃度(244gPu/l)・低濃度(58.5gPu/l)^[1]の Pu 硝酸溶液に対する MA の反応度寄与を、核種ごとおよび元素ごとに評価した。中性子無限増倍係数の計算に MCNP6.1 及び FSXLIBJ4.0 を使用した。評価指標として添加 MA の単位濃度当たりの反応度値を用いた。次に放射線防護特性解析として、ORIGEN-ARP コードを用いて MA-Pu 溶液の放射線源情報を作成し、溶液から距離 1m における作業員の被ばく線量を、MCNP6.1 を用いた漏えい放射線束計算と ICRP PUBLICATION 116^[2]の換算係数を用いた実効線量計算を行い、MA および残留 FP による実効線量への寄与度を定量評価した。また、核不拡散性解析として、テロリストや国家による核物質の転用困難性の主要因子である Material Attractiveness(不正利用価値)の評価を参考文献^[3-5]に基づいて行った。最後に、具体的な Pu 溶液保管体系を仮定し、MA-Pu 共存時の未臨界容積、実効線量、核不拡散性への寄与を評価した。

3. 結果・考察 図 1 に Pu 硝酸溶液に対する添加 MA 核種の反応度値の評価結果を示す。特に大きな負の反応度値を持つ核種として ²⁴¹Am, ²⁴³Am, ²³⁷Np が抽出され、Pu に対し 1 割程度 ²⁴¹Am を添加した場合に 8.5% $\Delta k_{inf}/k_{inf}$ の臨界安全への寄与が得られた。これに伴い、仮定した Pu 溶液保管体系での未臨界($k_{eff} \leq 0.9$)計算結果から、単離 Pu の場合と比べ Am_{0.3}-Pu₁ の共存時に 2 倍程度の容積においても同程度の未臨界度が維持できる結果を得た。また、被ばく線量評価では、Ln 中に含まれる ¹⁵⁴Eu の崩壊 γ 線が支配的であり、次いで ²⁴⁴Cm の自発核分裂中性子線の寄与が大きいことを明らかにした。不正利用価値の評価においては、Ln 添加時には放射線量の増加による不正取得への抵抗性の向上、また Cm 及び Am 添加時には臨界球当りの崩壊熱量の増加に伴い利用価値の低下への寄与が見られた(表 1)。

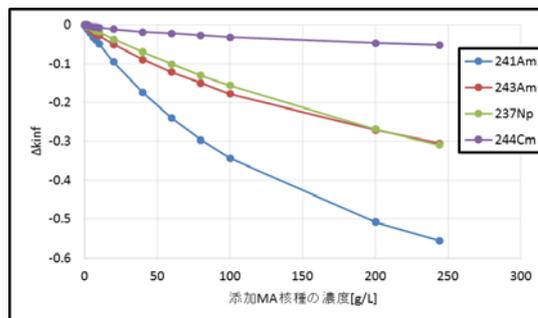


図 1 添加 MA 濃度当たりの反応度値

表 1 不正利用価値評価結果例

評価対象	転用形態	放射線量 @1m[Sv/h]	崩壊熱量 [W/BCM]
Pu硝酸溶液	金属Pu球	0.04	455
Pu ₁ -Am _{0.1} 共存溶液	Pu ₁ -Am _{0.1} 金属球	0.14	650
Pu ₁ -Cm _{0.1} 共存溶液	Pu ₁ -Cm _{0.1} 金属球	1.0	5960
Pu ₁ -Ln _{0.1} 共存溶液	Pu ₁ -Ln _{0.1} 金属球	3.4	661

*Pu-Z_{0,i}: Pu に対し 0.1(10wt%)の元素 Z が共存する状態

参考文献 [1] M. Benedict et al., (1981) *Nuclear*

Chemical Engineering, Second Edition, [2] ICRP Publication 116, Ann. ICRP, APPENDIX A

[3] C. G. Bathke et al., Global 2013, [4] Y. Kimura et al., JNST (2010), [5] T. Aoki et al., JNST submitted.

*Masaya Watanabe and Hiroshi Sagara,
Tokyo Institute of Technology