

## 小型塩化物溶融塩高速炉の超ウラン元素燃焼性能の評価

Evaluation of burnup performance of transuranic elements by a small chloride molten salt fast reactor

\* 田原 義壽<sup>1</sup>, 千葉 敏<sup>1</sup>, 望月 弘保<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東工大 ゼロカーボンエネルギー研究所

蓄積する軽水炉の使用済燃料の有効活用を図り、廃棄物処理・処分の負荷を低減させるため、塩化物溶融塩高速炉を用いて軽水炉の使用済燃料組成を持つ燃料塩を燃焼させるための条件と TRU の消滅割合を評価した。

**キーワード**：溶融塩炉、高速炉、塩化物、超ウラン元素、核変換

**1. 緒言**：軽水炉で使用された燃料中の核分裂性核種を再利用すると共に処理・処分に与える影響が大きい MA 核種の減少を図るために、燃料の成型加工が不要で単純な炉心構造を持つ溶融塩炉を用いることとし、概念設計として軽水炉使用済燃料組成(MA 分離なし)を用いた場合の TRU 消滅割合を評価した。

**2. 解析条件**：炉心は図 1 に示す 700MWt の小型溶融塩高速炉である。初装荷燃料は PWR 使用済燃料組成(UO<sub>2</sub> 燃料、濃縮度 3.9 wt%、取出し燃焼度 45GWd/t、冷却 10 年)[1]を持つ溶融塩[47.6NaCl-22.4MgCl<sub>2</sub>-14.7UCl<sub>3</sub>-6.3UCl<sub>3</sub>-9TRUCl<sub>3</sub>(数値は%mol)][2]とした。反射体はステンレス鋼とし、半径 15cm の円筒中実制御棒を設置した。制御棒内には、中性子吸収材である GdZr 合金の水素化物 GdZr<sub>6</sub>H<sub>14</sub>[3]と反射材であるステンレス鋼[4]が等体積に装荷されている。

**3. 解析手法**：核種の燃焼では FP は運転中に全て回収されるものとし、燃料の充填・抽出を考慮した下式を基に重核(Pu, Np, Am, Cm)を燃焼させた。

$$\frac{d}{dt} N_i(t) = \left\{ \sum_{j=1}^M \ell_{ij} \lambda_j N_j + \sum_{k=1}^M f_{ik} (N_k \sigma_k) \phi - \left( \lambda_i + \sigma_i \phi + \frac{\delta V}{V_p} \right) N_i \right\} + \frac{\delta V}{V_p} N_i^{in}$$

右辺第 1 項は崩壊による生成、第 2 項は捕獲反応による生成、第 3 項は消滅(燃料抽出を含む)、第 4 項は燃料充填を表す。N<sub>i</sub> と N<sub>i</sub><sup>in</sup> は核種 i の 1 次系および充填燃料中の原子核密度を表す。V<sub>p</sub> は 1 次系体積、δV は 1 日当たりの充填・抽出量(ℓ/d)である。マイクロ断面積は、SERPENT2[5]の炉心計算結果を縮約して求め、中性子束は燃料の炉内および炉外循環時間を考慮して定格時の 0.4775 倍の値を用いた。なお、燃料の充填と燃焼に伴い重核濃度が変化するため塩素および溶融塩の濃度を質量保存により調整した。

**4. 解析結果**：PWR 使用済燃料組成を持つ TRU からなる燃料塩(12.6UCl<sub>3</sub>-5.4UCl<sub>4</sub>-12TRUCl<sub>3</sub>)を 120 年間連続補給で運転した場合の運転終了時の各核種の消滅割合[運転終了時までの消滅重量/(初期装荷重量+運転終了時までの正味の補給重量)]を図 2 に示す。実効増倍率が 1.0 の要求から図 2 を基に、燃料流量は 4.0ℓ/d であり、Pu, MA, TRU に対する消滅割合は各々 68.3%、59.0%、67.3%であることが分かる。また、制御棒 1 本固着時の全制御棒値は 2.29%であり、出力欠損 0.36%に停止余裕 1%を考慮すると 0.93%の運転操作範囲を確保できることが分かった。

**5. 結言**：PWR 使用済燃料組成(取出し燃焼度 45GWd/t、10 年冷却)を持つ TRUCl<sub>3</sub> が 12%mol 含まれる溶融燃料塩を 1 日 4.0ℓ 連続補給し 120 年間運転した場合、TRU を 67.3%消滅させる性能があることを確認した。

**参考文献**：[1] Y. Ando, H. Takano, "Estimation of LWR Spent Fuel Composition, JAERI-Research 99-004, (1999). [2] Benes, O. and Konings, R.J.M., "Thermodynamic evaluation of the NaCl-MgCl<sub>2</sub>-UCl<sub>3</sub>-PuCl<sub>3</sub> system," J. of Nuclear Materials, 375, 202-208. [3] Y. Kitano, et al., "Fabrication and mechanical characterization of zirconium and gadolinium hydrides," J. of Nuclear Materials, 389(2009) 170-172. [4] Y. Tahara et al., "Reactivity Effect of Iron Reflector in LWR Cores," J. Nucl. Sci. and Technol., Vol. 38, No. 2, 102-111 (2001). [5] Leppänen, J., et al. (2015) "The Serpent Monte Carlo code: Status, development and applications in 2013." Ann. Nucl. Energy, 82 (2015) 142-150.

\*Yoshihisa Tahara<sup>1</sup>, Satoshi Chiba<sup>1</sup> and Hiroyasu Mochizuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratory for Zero-Carbon Energy, Tokyo Institute of Technology.

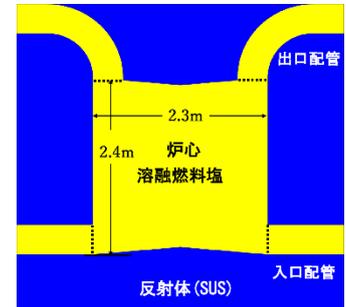


図 1(a) 炉心の縦断面

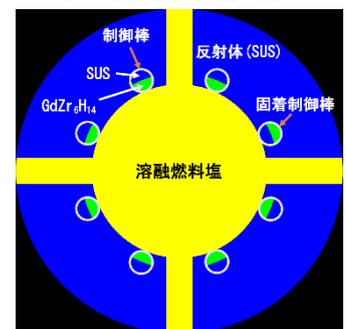


図 1(b) 炉心の横断面  
【制御棒 1 体固着時】

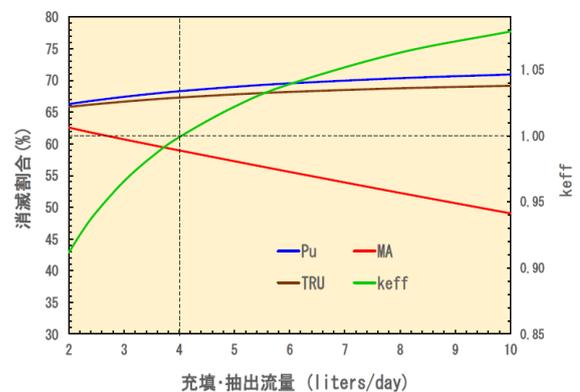


図 2 Pu, MA, TRU 消滅割合の燃料流量依存性  
(120 年間燃料連続注入運転による燃焼)