

小型塩化物溶融塩高速炉の研究開発
(3) 燃焼解析と燃料補給方法の検討

Research and development of a small chloride molten salt fast reactor
(3) Burnup analysis and investigation of a continuous refueling method

*平野はるか¹, 田原義壽¹, 望月弘保¹, 千葉敏¹
¹東工大

小型塩化物溶融塩高速炉の燃焼特性の評価と炉心の燃料補給方法を検討した。本検討では 10 年後の TRU 核種の核変換割合は 56%を達成し、本炉心が TRU の核変換に有効であることがわかった。
キーワード：溶融塩炉, 高速炉, 塩化物, 燃焼解析, 核変換

1. 緒言：東工大では、使用済み燃料の有効活用や廃棄物の処理処分の負担軽減の観点から、TRU を変換する溶融塩小型高速炉の設計検討を行っている[1]。先行研究では、本炉心の運転初期の炉心特性と反応度添加事象に対する安全性が明らかとなった[2]。本発表では、燃料補給方法について検討し、燃焼による反応度の変化と核分裂生成物(FP)の毒物効果を評価し、核変換割合を求めた。

2. 解析条件：炉心は 700MWt の小型溶融塩炉である(図 1)。初装荷燃料は PWR 使用済燃料組成(UO₂ 燃料、濃縮度 3.9wt%、燃焼度 45GWd/t、冷却期間 10 年)[3] を持ち、溶融塩は[40NaCl+30MgCl₂+(30-x)UCl₃+xTRU(係数は mol%, Cl は天然塩素)]の組成とした。燃料は連続補給され、FP は溶解性と非溶解性に分類し[4]、それぞれ燃料再処理率での取出しとヘリウムバブリング機構による即時除去を想定した。

3. 解析手法：燃焼解析には、連続エネルギーモンテカルロコード SERPENT-2、最新の核データライブラリ ENDF/B-VIII.0 を使用した。SERPENT-2 の連続再処理モジュールにより燃料連続補給と FP の除去を想定した。補給燃料の TRU モル濃度、補給率の他に、FP の除去率をパラメーターとして燃焼解析を実施した。FP の毒物効果は、FP 除去率を変化させた場合の実効増倍率 k_{eff} の変化により評価を行った。

4. 解析結果

①燃焼による反応度変化：8UCl₃-22TRUCl₃ (U・TRU は初装荷燃料の組成)の燃料を 8L/day で 10 年間連続補給した場合の実効増倍率と核変換率 ([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+炉内残留量)] の変化を図 1 に示す。実効増倍率は燃料の TRU 濃度、補給率、FP 核種の除去率を調整することで高い精度で 1.0 近傍を保つことが可能であり、溶融塩高速炉の炉心特性の安定性が示された。また、10 年間の物質収支を表 1 に示す。TRU 核種の変換量は 23ton であり核変換率は 56%となった。②FP による毒物効果：溶解性 FP 除去システムで想定される除去能力の範囲では非溶解性 FP の方が炉心反応度への影響が大きいことがわかった。FP のマクロ吸収断面積の比較から炉心反応度への影響が最も大きい FP は、⁹⁹Tc、¹⁰³Rh、¹⁰⁷Pd であり、いずれも非溶解性であった。

3. 結論：燃料の連続補給および FP の除去による燃焼解析から、10 年燃焼時の TRU 核変換割合は 56%を達成し、長期にわたる溶融塩高速炉の実効増倍率の安定性と共に、本炉心が TRU 核種の減量に有効であることが示された。

参考文献：[1]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、田原、千葉、望月、2022 原子力学会春の年会、1D07.
[2] 小型塩化物溶融塩高速炉の研究開発 (2) 制御棒価値の最適化に関する予備検討、平野、田原、千葉、望月、2022 原子力学会秋の大会、1D07 [3] Y. Ando, H. Takano, “Estimation of LWR Spent Fuel Composition, JAERI-Research 99-004, (1999).
[4] Manuele Aufiero. Development of advanced simulation tools for circulating-fuel nuclear reactors. 03 2014

*Haruka Hirano¹, Yoshihisa Tahara¹, Hiroyasu Mochizuki¹ and Satoshi Chiba¹
¹Laboratory for Zero-Carbon Energy, Tokyo Institute of Technology.

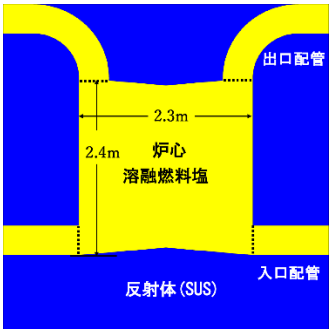


図 1 炉心の縦断面

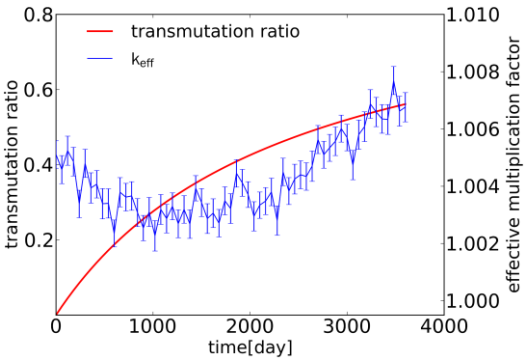


図 2 実効増倍率と核変換率

表 1 物質収支(10 年間)

	初装荷 [ton]	補給量 [ton]	残留 [ton]	核変換 量[ton]
U	21.49	10.82	21.27	11.04
Pu	6.99	19.65	7.56	19.08
MA	1.01	3.08	1.28	3.53
TRU	8.00	23.45	8.84	22.61