

自給型の熔融塩高速炉の研究

A Study of Molten Salt Fast Reactor with Sustainable Properties

*三田地 紘史¹

¹次世代エネルギー研究・開発機構

超ウラン元素 (TRU) を燃料とする自給型の塩化物熔融塩高速炉を取り上げ、炉心特性を推定する。

キーワード: 熔融塩炉、高速炉、塩化物塩、NaCl-CaCl₂、U-Pu 燃料サイクル、超ウラン元素、劣化ウラン

1. 緒言 我が国では、Na 冷却高速炉開発の頓挫および核廃棄物処分場建設の遅れにより、軽水炉から排出された超ウラン元素 (TRU=Pu+MA、MA は長寿命核廃棄物の大部分) が多量に蓄積され問題になっている。この TRU を安全に炉心内に隔離保管すると共に、エネルギー資源として持続的に有効利用する一つの方法として、自給型の熔融塩高速炉を取り上げ、その炉心燃焼特性を推定する。

2. 炉の構成・解析方法 熱出力 2.2GWth (電気 1.0GWe) の減速材のない熔融塩炉を考える。炉心は炉中央部の直径 3.82m、高さ 3.84m の円柱領域であり、外側に厚さ 0.6m のステンレス鋼製の反射体を置き、これら全体を炉容器に収納する。燃料塩は 0.5NaCl-0.5CaCl₂ (数値はモル比) の溶媒塩に UCl₃ と TRUCl₃ を混合した塩化物塩である。熱交換器、ポンプを含む 1 次系全体の体積を 66m³ とし、炉の入口温度は 580°C、出口温度は 710°C とする。解析には汎用核計算コード SRAC の PIJ-BURN および CITATION を用い、核データは SRACLIB-JDL40 を使用した。燃料塩の再処理過程は、25 日ごとに燃料塩の一部を取出して核分裂生成物を除いたあと、²³⁸U と TRU を必要な量だけ追加または引抜く計算操作で模擬する。これを繰り返して 40 年間の運転 (稼働率 0.89) の燃焼特性を求めた。初装荷および追加補給の TRU は沸騰水型軽水炉で 45GWD/t 燃焼し 5 年間冷却した後の使用済燃料から得られる TRU とした。

3. 結果・考察 運転 40 年間の燃焼特性を求めた。初装荷の燃料塩組成は 0.35NaCl-0.35CaCl₂-0.247UCl₃-0.053TRUCl₃ (数値はモル比) である。この燃料塩は凝固温度が約 530°C で、重金属元素 (TRU+U) の溶解度は約 30mol% と期待される。1 日あたり 26.4 liter の割合で燃料塩を再処理する場合の解析結果を表 1 に示す。ウラン (U=²³⁸U) は初期炉に 75.75t 装荷し、40 年間に 28.29t 追加補給する。初装荷と追加補給を合計した U の全投入量は 104.04t となり、40 年後に炉内に残留する U は 75.64t となった。Pu、MA も同様であるが、追加補給するのは燃料転換比 (CR) が 1.0 を超すまでの約 19.5 年間であり、20 年以降は増え過ぎた Pu、MA を炉から引抜いて炉の反応度を調節する。20 年以降の引抜量は Pu で 0.123t、MA で 0.01t となった。

本熔融塩炉は 17.7t の TRU と 90t の U で起動でき、運転 20 年以降は CR≒1 となり ²³⁸U の補給のみで運転継続できる。我が国に蓄積する約 220t の TRU を使うと、本研究の熔融塩炉を 12 基 起動でき、日本が保有する約 14,000t の劣化ウランを使うと 12GWe 体制で 1000 年以上にわたり発電を継続できることになる。

本研究は経済産業省の「社会的要請に応える革新的な原子力技術開発支援事業」で実施したものである。

参考文献

- [1] P. A. Nelson, et.al., Nuclear Applications 3, p.540-547 (1967).
 [2] 有田、原子力学会 秋の大会 3I10 (2020).
 [3] 小山 他、原子力学会 秋の大会 3I14 (2020).

	表1 運転40年間の物量収支				
	初装荷 [ton]	補給 [ton]	投入 [ton]	残留 [ton]	引抜 [ton]
U	75.75	28.29	104.04	75.64	0.000
Pu	14.53	1.27	15.79	15.78	0.123
MA	1.76	0.15	1.91	1.20	0.010
TRU	16.28	1.42	17.70	16.98	0.134

*MITACHI Koshi

¹Beyond Energy Research & Development Association