

塩化物溶融塩高速炉のフィージビリティ研究 (II)

(4) 小型溶融塩高速炉の炉心特性

Feasibility Study of Integral Molten Chloride Salt Fast Reactor (II)

(4) Characteristics of small molten-salt fast reactor

*三田地 紘史、島津 洋一郎

次世代エネルギー研究・開発機構

キーワード： 溶融塩高速炉、塩化物燃料、NaCl-CaCl₂、超ウラン元素、劣化ウラン、核変換解析

1. 緒言： 塩化物溶融塩炉は超ウラン元素 (TRU) を効率よく減容できると共に¹⁾、ウラン資源の持続的利用に関しても優れた特性を有している²⁾。本研究では同様の特性が期待される小型炉を用いて³⁾、軽水炉使用済燃料に含まれる超ウラン元素 (TRU) およびウラン資源を利用する事を検討する。

2. 炉構成と解析方法： 熱出力 700MWth の小型炉を考える。炉心は直径 2.3m、高さ 2.4m の円柱領域で、外側に厚さ 0.6m の反射体を置き、これらを炉容器に収納する。燃料塩は NaCl-CaCl₂ 溶媒塩に ²³⁸U と超ウラン元素 (TRU) を溶解した塩であり、熱交換器・ポンプを含む 1 次系全体の燃料塩体積を 20m³ とする。炉心入口温度 580°C、出口温度 710°C とし、TRU は軽水炉で 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 とする。炉心特性の解析には SRAC の PIJ-BRN と CITATION を用いる⁴⁾。

3. 結果と考察： 本小型炉の燃料塩に於ける重金属元素 (U+TRU) のモル分率を 0.3 とし⁵⁾、炉心の中性子実効増倍係数 (Keff) が 1.010 を条件にサーベイ計算した結果、初装荷の燃料塩組成として 0.35NaCl-0.35CaCl₂-0.2331UCl₃-0.0669TRUCl₃ (数値はモル分率) が得られた。燃料自給型溶融塩高速炉²⁾あるいは TRU 焼却型溶融塩高速炉¹⁾に較べて炉心容積が小さいので、中性子が炉心外へ漏洩する割合が増加する。このため、TRUCl₃濃度を高くして炉心の臨界を保っている。表 1 に初期炉に於ける各元素の装荷量を示す。TRU は 6.251t に、また U は 21.628t になった。これらの重金属量は、熱出力あたりで比較すると、自給型炉の初装荷重金属量より多い。表 2 は初期炉心に於ける Keff および炉反応度温度係数の計算結果である。炉運転開始時に Keff=1.0113 であるが、運転 25 日後には Keff=1.010 となり、炉運転の初期段階に於ける炉心の成立性が確認できた。炉反応度の密度係数は、炉心の小型化により中性子の漏れが増えるため、ドップラー係数の 20 倍近くあり、炉反応度の温度係数は -1.1x10⁻⁴ となった。なお本研究の小型炉では、炉心の燃料転換比は 0.82 となっており、燃料自給型炉にはできない。動特性パラメータ (遅発中性子割合と崩壊定数) は、燃料塩に含まれるウランが ²³⁸U のみと仮定して、核分裂性プルトニウム (Pu) の組成比率から概略評価しているが、詳細評価は今年度に予定している。なお、核分裂性 Pu の組成は Pu239 が 82.5%、Pu241 が 17.5% であるため、ほぼ Pu239 の特性に近いものとなる。

本研究は、経済産業省の令和 3 年度「社会的要請に応える革新的原子力技術開発支援事業」の一環として、原子力研究開発機構から委託を受けて実施したものである。

参考文献： 1) K. Mitach & Y. Shimazu, JNST, DOI:10.1080/00223131.2022.2045232. 2) 三田地, 日本原子力学会和文論文誌, Vol. 21, No1, p. 27 (2022). 3) H. Mochizuki, Nuclear Engineering & Design 368, 110793 (2020). 4) K. Okumura, et. al, JAERI-Data/Code2007-004 (2007). 5) Y. Arita, AESJ 2020 Fall Meeting, Sep. 16-18, On line meeting.

表1 初期炉のインベントリ

U	Pu	MA	TRU
[ton]	[ton]	[ton]	[ton]
21.628	5.577	0.674	6.251

表2 中性子実効増倍係数および炉反応度温度係数

Operation time [day]	Keff	Doppler coefficient [1/K]	Density coefficient [1/K]	Temp.coef. reactivity [1/K]
0	1.0113	-5.0E-06	-1.0E-04	-1.1E-04
25	1.0100	-5.0E-06	-1.0E-04	-1.1E-04

* MITACHI Koshi and SHIMAZU Yoichiro

Beyond Energy Research & Development Association (BERD)