

弗化物溶融塩高速増殖炉の成立性と効用
(vii) LiF-NaF-KF 担体塩の燃料塩の利用

Feasibility and Use of Fluoride Molten Salt Fast Breeder Reactor
(vii) Utilization of Fuel Salt of LiF-NaF-KF Carrier Salt

* 三田地 紘史¹

¹なし

弗化物 U 塩に弗化物 TRU 塩を混合して作る凝固開始温度の低い溶融塩を燃料とする溶融塩高速増殖炉を取上げ ORNL の溶融塩炉技術を踏襲する可能性を検討する。

キーワード：溶融塩炉，弗化物塩，超ウラン元素，プルトニウム増殖，高速中性子炉

1. 緒言 本研究シリーズでは軽水炉使用済燃料を有効利用するために溶融塩高速増殖炉を提案している。これまでは「UF₄ 含有塩 (NaF-KF-UF₄、凝固温度 490℃) に TRUF₃ が溶解する」と仮定して炉の特性を検討してきた⁽¹⁾。しかし最近、廣瀬は「TRU 塩は UF₄ 含有塩に溶解せず、両者は混合している状態」と指摘しており⁽²⁾、この場合 前報告⁽¹⁾の条件では燃料塩の凝固開始温度が 670℃となり、炉の成立性が危うくなる。「溶解」と「混合」の何れで評価すべきか実験結果を待たねばならぬが、本報告では「TRU 塩は UF₄ 含有塩に混合している状態」の立場より、増殖炉とするために必要なウラン装荷量を保持しつつ燃料塩の凝固開始温度を低く抑制するための方法を検討する。

2. 炉の構成と解析方法 前報告⁽¹⁾と同じ出力 1.5GWe (3.2GWth) の減速材の無い溶融塩炉を考える。炉心の直径が 3.08m、高さが 2.85m で、外側に厚さ 0.4m の反射材を置く。熱交換器・ポンプを含む炉体系全体の燃料塩体積は約 32m³となる。燃料塩は TRU 塩と U 塩を混合した弗化物溶融塩とする。ここで U は ²³⁸U、TRU は燃焼度 45GWD/t の ABWR 使用済燃料を 5 年間冷却した後に得られる超ウラン元素とする⁽³⁾。炉特性の解析には SRAC の PIJ-BURN を用い、核データは JENDLE-3.3 を使用する⁽⁴⁾。

3. 結果と考察 まず凝固温度が低い LiF-NaF-KF 担体塩の燃料塩を使用する溶融塩増殖炉について検討した。共融組成の TRU 塩 (0.344LiF-0.466KF-0.19TRUF₃、凝固温度 513℃) と UF₄ 含有塩 (LiF-KF-UF₄) を混合した 0.399LiF-0.146NaF-0.174KF-0.217UF₄-0.064TRUF₃ を初装荷燃料塩とし、再処理周期 300efpd (1 日あたりに全燃料塩の 1/300 を再処理) を仮定する。表 1 に運転 40 年間の物量収支を示す。初期炉に U を 61.01 トン装荷し、運転 40 年間に 41.86 トン追加補給する。40 年間に 41.48 トン燃焼して炉内に 60.92 トン残留する。TRU の初装荷量は 18.17 トン、増殖炉となるまでの 18 年間に 2.41 トン追加補給する。18 年以降の余剰 TRU 量は 0.028 トンとなり、40 年後の炉内には 20.45 トンの TRU が残留する。40 年後に燃料塩組成は 0.396LiF-0.145NaF-0.173KF-0.215UF₄-0.071TRUF₃ となった。この燃料塩を「TRU 塩は UF₄ 含有塩に混合した状態」と考えると凝固開始温度は 513℃となる。燃料塩の凝固開始温度がこの程度であれば、炉容器材料の耐熱温度の観点で融点を 500℃と想定する ORNL の熱中性子溶融塩炉技術を踏襲できると考えられる。U 装荷量と再処理周期を変えて同様の計算を行い、燃料塩の凝固開始温度に及ぼす影響を調べてみた。図 1 に示すように再処理周期が長いほど凝固開始温度が上昇し、1300efpd では約 640℃となった。

つぎに凝固温度が比較的に低い peritectic 組成の TRU 塩 (0.361LiF-0.391KF-0.248TRUF₃、凝固温度 552℃) と UF₄ 含有塩を混合した燃料塩を使う溶融塩炉を検討した。図 1 に示すように、この場合には再処理周期が 1000efpd 以下の範囲で凝固開始温度は 552℃となる。炉入口で 602℃、出口で 702℃とすれば、この場合でも ORNL の溶融塩炉技術を適用できると考えられる。

さらに前報告⁽¹⁾の NaF-KF-UF₄ 担体塩の燃料塩に於いて、共融組成の TRU 塩 (0.053NaF-0.607KF-0.34TRUF₃、凝固温度 605℃) と UF₄ 含有塩 (NaF-KF-UF₄) を混合した燃料塩を用いる溶融塩炉を検討した。図 1 に示すように再処理周期が 1000efpd 以下であれば凝固開始温度は 605℃となる。即ち前報告⁽¹⁾の弗化物溶融塩高速増殖炉は、炉容器材料の耐熱温度として 755℃を許容できないと、実現できないことになる。

参考文献

[1] 三田地ほか, 原子力学会 2016 春の年会 3O03 (2016).
[2] Y. Hirose, et al., ICAPP2016#16124 (San Francisco 2016).
[3] 安藤, 高野, JAERI-Research 99-0004 (1999).
[4] K. Okumura, et al., JAERI-Data/Code 2007-0004 (2007).

*Koshi Mitachi¹
¹non

表 1 運転 40 年間の物量収支 (300efpd, U=61ton)

	初装荷 [ton]	補給 [ton]	投入 [ton]	残留 [ton]	引抜 [ton]
U	61.01	41.86	102.88	60.92	0.0
Pu	16.21	2.15	18.35	19.00	0.026
MA	1.96	0.26	2.22	1.45	0.002
TRU	18.17	2.41	20.57	20.45	0.028

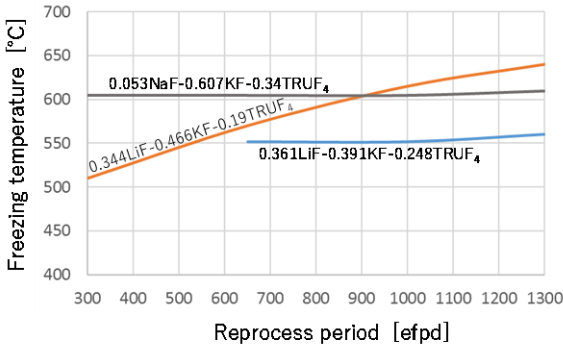


図1 凝固温度に及ぼす再処理周期の影響