

塩化物溶融塩高速炉のフィジビリティ研究 (II)

(3) 即発臨界を超える反応度投入時安全性

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

(3) Safety in case of reactivity insertion exceeding prompt criticality

*望月 弘保¹

¹東工大

溶融塩高速炉は、1\$を超える反応度が投入されても、固有の安全性によって初期出力近傍に戻る特性を有していることを、核動特性モデルを UDF で結合した FLUENT と RELAP5-3D を用いた核熱連成解析で示す

キーワード：溶融塩高速炉、核熱結合、反応度投入、固有の安全性、FLUENT, RELAP5-3D

1. 緒言：溶融塩炉は、核特性と熱特性が常にカップリングしており、核熱結合解析しないと正しい結果が得られない。このため、一点動特性方程式の離散化式をユーザー定義関数 UDF を用いて FLUENT コードにリンクして解析できるようにし^[1]、RELAP5-3D コードで FLUENT コードの境界条件を解析して、原子炉に大きな反応度がランプ状に投入され維持された場合の過渡変化を解析し、原子炉固有の安全特性を調べる。

2. 熱輸送系：想定している溶融塩高速炉解析体系を図1に示す。炉心は円筒状で内部は空洞である。制御棒は設けていない。炉心寸法は、直径 2.3m 高さ 2.4m で、約 9.7 m³ の燃料体積を有する。炉心の周囲の反射体の厚さは、1 m としている。炉心外の燃料体積は、約 11.4 m³ である。出力密度を約 72 kW/l とすると約 700MWt 出力の原子炉になる。原子炉には制御棒を設けていない。ポンプはホットレグに設け、炉心から熱交換器に流れ込む溶融塩燃料の温度を均一にするとともに、発生する Xe ガスの除去を補助する役割を有する。2次系冷却塩には板状熱交換器 4 基設けて熱を伝える。基本出力は、炉心寸法は変更せず、熱交換器数を変えて調整できる SMR である。蓄熱タンクで秒単位の負荷追従も可能にしている。

3. 解析シナリオと結果：本研究で扱っている原子炉は、定期的に液体燃料を供給することで臨界を維持する。燃料濃度は即発臨界になるような濃いものではないが、炉心に 1\$ を超える反応度が、炉心内燃料通過時間を考慮して 1 秒間にランプ状に投入され、その反応度が維持された事を想定する。反応度が印加されると燃料平均温度が上昇し、燃料体積が膨張することによって負の反応度が投入される。反応度は初期の値の 3 倍近くまで上昇するが、固有の特性によって、すぐ元の出力近くまで減少する。燃料出口温度の上昇は 100K 未満にとどまり、炉心の健全性が問題になるような変化ではない。本研究では、反応度印加後に原子炉の操作を行わない場合を示しているが、実際には、出力が上昇したことを検出して燃料ポンプが停止され、それによる燃料温度の追加的な上昇によってさらに大きな負の反応度が加わり、原子炉出力は崩壊熱レベルまで下降することになるはずである。今後は、ポンプをトリップして崩壊熱除去系が自動起動した場合の空気自然循環による冷却過程を評価する。

3. 結言：RELAP5-3D で炉心以外を解析し、溶融塩が流出入すること等を考慮した 1 点動特性方程式を UDF を介して FLUENT に適用して炉心部を解析した結果は、1\$を超える反応度が投入された場合でも溶融塩高速炉固有の特性で安全に推移する結果を示した。本研究は、経済産業省令和 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] Mochizuki, H., 2020. Neutronics and thermal-hydraulics coupling analysis using the FLUENT code and RELAP5-3D code for a molten salt fast reactor, NED, 368, 110793.

* MOCHIZUKI Hiroyasu¹

¹Tokyo Institute of Technology

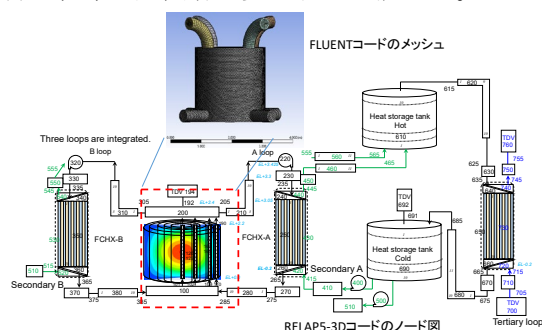


図1 溶融塩炉解析モデル

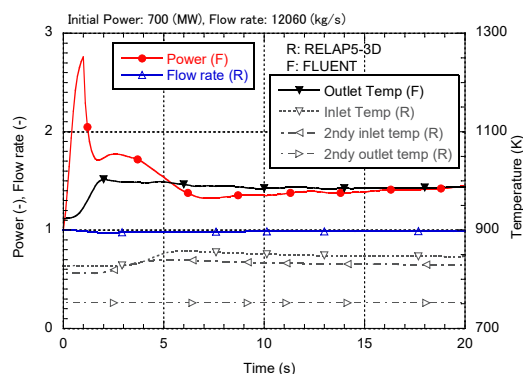


図2 1.5\$投入時の炉心挙動例