

FLUENT コード用核熱結合 UDF の MSRE 実験結果での検証 —ポンプ起動・停止実験解析—

Verification of Neutronics-Thermalhydraulics Coupling UDF for FLUENT Code using MSRE Experiment
- Analyses of Pump Startup and Trip Experiments -

*望月 弘保¹

¹東京工業大学

溶融塩実験炉 MSRE の燃料循環ポンプ起動・停止時反応度計測結果を用いて、FLUENT コードでの核熱結合解析実施のため作成したユーザー定義関数 UDF に PID 制御棒制御機能を追加して計算機能を検証した

キーワード：溶融塩炉，MSRE，ポンプ起動・停止，核熱カップリング，FLUENT, PID 制御

1. 緒言：オークリッジ国立研究所(ORNL)において FLiBe 溶融塩を用いた Molten Salt Reactor Experiment (MSRE) 熱中性子実験炉が 1965 年から 4 年間運転され、ゼロ出力下で燃料循環ポンプを起動・停止する試験が行われた。溶融塩炉は、循環によって遅発中性子の先行核が炉心外部ループに排出されているため、流量が変化すると反応度が変化する。MSRE には制御棒(CR)が設けられており、CR の動きから反応度の変化に換算し、ポンプ起動時、停止時にはそれぞれ負、正の反応度投入を計測している。溶融塩炉に関する動特性の試験は、この時実施されたものだけであるため、多くの研究者がこの挙動を評価している。計測された CR の挙動は、CR の制御回路を経て得られたものであるが、従来の研究では CR の制御モデルの設定が明確でなく、解析の適切さを判断することは難しい。これまでに塩化物溶融塩炉を核熱結合解析するため、一点動特性方程式を陽的に解く手法を提案し、UDF を介して FLUENT コードに組み込んでいる^[1]。本研究ではこの UDF に CR を制御する PID 制御論理を追加して、MSRE で計測された過渡反応度が核的にかつ制御的に正しく計算できることを検証する。

2. 解析モデル：MSRE は、炉心内に多くの流路を有している。多数の流路が黒鉛で形成されているため、通常この形式の炉を FLUENT で解析する事は難しい。しかし、実験がゼロ出力(100W と仮定)で行われたため、炉心内の流動と温度挙動は、同じ流路面積を有する円筒で近似しても問題は生じない。この炉心出口配管に位置する燃料循環ポンプの流動過渡時反応度変化を FLUENT コードで計算し、UDF で組み込んだ離散式が適切であったことを直接検証する。UDF では、1 点動特性方程式離散式を用いて炉心内の流量の変化による反応度の投入量を計算し、炉心内メッシュに出力分布を考慮して配分するようになっている。反応度に関しては、図 1 に示すように中性子の数密度を初期設定点に保つように CR を PID 制御する単純なモデルとした。

3. 解析結果：燃料循環ポンプを起動・停止させた時の CR 動作からの反応度変化を図 2 に示す。PID 制御の定数によって、CR の挙動は変化するが、比例ゲイン 1.0、積分時間 4 秒、微分時間 0.2 秒とした解析結果が計測値とほぼ一致する。ポンプ起動により、炉心に負の反応度が約 225pcm 加えられる。ピークは、炉物理的特性ではなく、制御のオーバーシュートである。停止の場合は加えられた負の反応度が元に戻る。

4. 結論：FLUENT に組み込んだ UDF は正しく機能し、CFD コードで核動特性が解析できる事が証明できた。

参考文献：[1] Mochizuki, H., NED, 368 (2020), 110793. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2020.110793>

*MOCHIZUKI Hiroyasu¹

¹Tokyo Institute of Technology

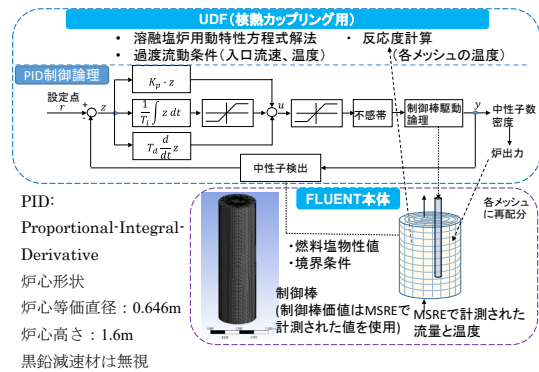


図 1 MSRE 実験の解析モデル

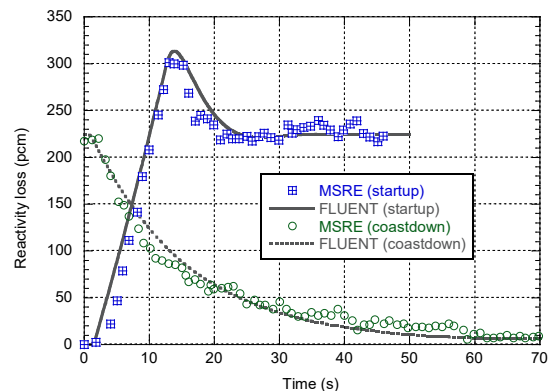


図 2 MSRE 燃料循環ポンプ起動・停止時の FLUENT で計算された反応度変化