

小型塩化物溶融塩高速炉の研究開発

(1) 核熱結合計算による炉内出力分布の評価

Research and development of a small chloride molten salt fast reactor

(1) Evaluation of power distribution by a coupling calculation of neutronics and thermal-hydraulics

* 田原 義壽¹, 千葉 敏¹, 望月 弘保¹

¹ 東工大 ゼロカーボンエネルギー研究所

溶融塩炉では燃料物質が炉内および1次系ループ内を移動するため、核計算と熱流動計算による結合解析が必要である。このため、核熱結合解析により炉内出力分布を求めその効果を評価した結果、核熱結合計算により出力分布はわずかながら炉心下部に移動することが分かった。

キーワード：溶融塩炉、高速炉、塩化物、熱水力、結合計算

1. 緒言：蓄積する使用済み燃料を有効利用し、持続的にエネルギーを供給するとともに廃棄物の処理処分の負荷を低減するために MA を消滅する溶融塩小型高速炉を開発している[1]。ここでは、炉内を流れる燃料塩による発熱が炉形状を考慮した熱流動特性にどのように影響されるかを把握するために核計算と結合してその効果を調べた。その結果、出力分布は炉心下部へ僅かに移動することが分った。

2. 解析条件：炉心は図1に示す700MWtの小型溶融塩高速炉である。初装荷燃料はPWR使用済燃料組成(UO₂燃料、濃縮度3.9wt%、取出し燃焼度45GWd/t、冷却10年)[2]を持つ溶融塩[47.6NaCl-22.4MgCl₂-14.7UCl₃-6.3UCl₃-9TRUCl₃(数値はmol%)] [3]とした。反射体はステンレス鋼である。RELAPではモデリング上、炉心上下の円錐を無視しているため、核計算では炉心を直径2.3m高さ2.2mの円柱とし、厚さ1.0mの反射体を巻いた。

3. 解析手法：RELAP5-3Dでは初期出力分布として径方向は零次のBessel関数、軸方向は余弦関数を用いて流動計算を行い炉内の温度分布を求めている[4]。得られた各領域(軸方向等間隔20領域、径方向等体積10領域)の温度分布を基に溶融塩の密度分布を求めた。連続エネルギーモンテカルロコードSERPENT2[5]で炉心部燃料領域を200に分割し各領域の原子核数密度を与えると共にドップラー温度補正を行い、炉内出力分布を求めた。核断面積ライブラリは付属のENDF/B-VIIである。

4. 解析結果：得られた出力分布の縦断面を図2に、炉心中心z軸方向の出力分布を図3に示す。RELAPによる炉心の平均温度は837.7Kであり、炉内全領域がこの温度で均一である場合を“核熱結合なし”として炉心中心のz軸方向出力分布を図3に示す。核熱結合ありの出力ピークは無しの場合に比べ11cm炉心下部側に現れ124.5(W/cc)である。この様に、核熱結合計算により得られた出力分布は核熱結合が無い場合に比べ全体的に若干炉心下部に移動することが確認された。これは主に核分裂の巨視的断面積が炉内密度分布の変化により炉心上部で低下、炉心下部で増加したことによる。

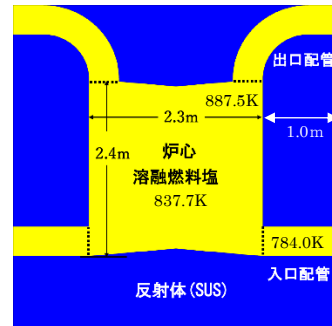


図1 炉心の縦断面

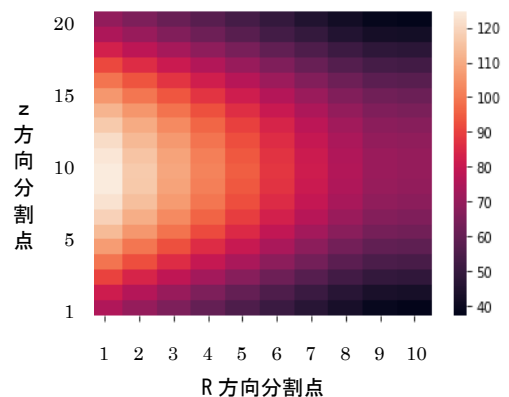


図2 炉心の縦断面の出力分布(核熱結合あり)

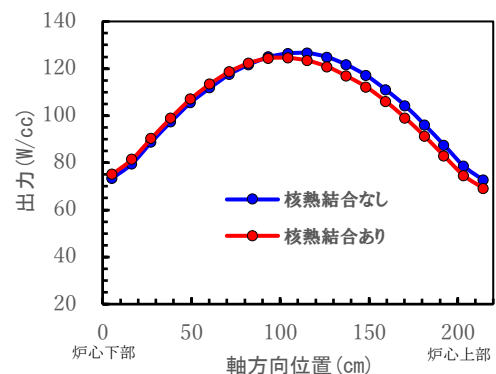


図3 炉心中心z軸方向出力分布

参考文献：[1]小型塩化物溶融塩高速炉の超ウラン元素燃焼性能の評価、田原、千葉、望月、2022 原子力学会春の年会、1D07. [2] Y. Ando, H. Takano, “Estimation of LWR Spent Fuel Composition, JAERI-Research 99-004, (1999). [3] Benes, O. and Konings, R.J.M., “Thermodynamic evaluation of the NaCl-MgCl₂-UCl₃-PuCl₃ system,” J. of Nuclear Materials, 375, 202-208. [4] H. Mochizuki, “Neutronics and thermal-hydraulics coupling analysis using the FLUNT code and the RELAP5-3D code for a molten salt fast reactor,” Nucl. Eng. Des. 368 (2020) 110793. [5] Leppänen, J., et al. (2015) "The Serpent Monte Carlo code: Status, development and applications in 2013." Ann. Nucl. Energy, 82 (2015) 142-150.

*Yoshihisa Tahara¹, Satoshi Chiba¹ and Hiroyasu Mochizuki¹

¹Laboratory for Zero-Carbon Energy, Tokyo Institute of Technology.