

溶融塩高速炉の燃料塩-冷却材塩熱交換器の検討

Study of a Fuel-Salt to Coolant-Salt Heat Exchanger for Molten Salt Fast Reactor

*望月 弘保¹

¹東工大

溶融塩高速炉で使用する熱交換器は、燃焼効率を向上させるために溶融塩燃料容積を小さくし、溶融塩の熱伝導率が低く熱伝達率が液体金属冷却炉に比べて低くなることを考慮して機器の構造と規模を検討した

キーワード：溶融塩高速炉、プレート式熱交換器、サイン状流路、ジグザグ流路、CFD モデル検証

1. 緒言：溶融塩炉で使用する溶融燃料塩と溶融冷却材塩は、一般的に熱伝導率が低く、その結果として熱伝達が悪くなる。このため、液体金属炉で使用しているような IHX を適用すると、燃料部の体積が大きくなり、システムとして成立しない恐れがある。効率の良い熱交換器としては、PCHE (Printed Circuit Heat Exchanger) 等があるが、流路が狭いため、場合によってはコールドトラップになり、炉心で発生した核種が流路に沈着する恐れがある。これによって、熱交換性能が劣化するだけでなく、流路閉塞を生じてしまうことも考えられる。そこで、流路の寸法が 7 mm × 10 mm のサインカーブ型プレート式の熱交換器に関して検討する。

2. 評価体系：想定している 700MWt 塩化物溶融塩高速炉の熱交換器流路モデルを図 1 に示す。熱交換器は、ステンレス板にサインカーブ流路をプレス加工で製作し、間に平板を挟んで拡散溶接して製作する。熱交換器流路の長さは、炉心の高さも考慮して 3m と仮定した。FLUENT でこの長さを検討するのは PC 性能上無理であったため、最大 1.2m までの流路をモデル化して熱伝達率を求め、RELAP5-3D に評価された熱伝達率を反映した解析を行い、175MWt を除去するのに必要な流路数を評価した。

3. 解析モデルと結果：CFD の乱流モデルは、RNG k-ε モデルを選択して、Scalable wall function を用いて計算した。解析メッシュは、第 1 メッシュ y+ が 30 以上になるようにメッシュの最小寸法を指定し、すべて 6 面体要素とした。この乱流モデルは、ジグザグ流路の PCHE で超臨界 CO₂ を用い

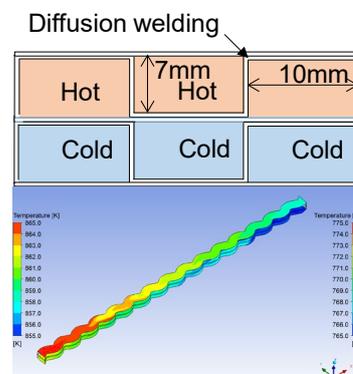


図 1 溶融塩炉熱交換器概要

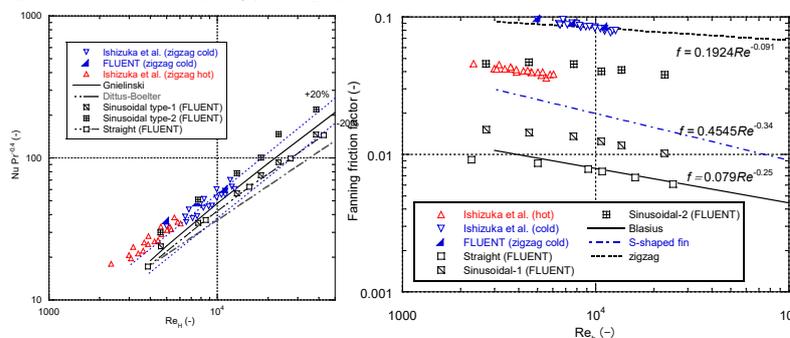


図 2 実験結果との比較及び提案熱交換器の流動伝熱特性

て実験した Ishizuka ら[1]の結果を著者の同意を得た上で用いた。熱伝達率と圧力損失係数の解析結果は、図 2 に示すように実験結果と一致し、乱流モデルが検証された。この乱流モデル、メッシュの切り方をサイン状流路に適用して解析した結果、塩化物溶融燃料塩の熱伝達率は、Dittus-Boelter の式に比べて約 2 倍大きくなることが分かった。また、ほぼ同じ振幅を有するジグザグ流路の熱伝達率とほぼ一致し、圧力損失はジグザグ流路に比べて低くなることが分かった。CFD 解析は、流路長が 300、600、1200 mm の 3 種類行い、その解析結果を外挿する方法と、熱伝達率を RELAP5-3D に反映して解析した結果から、175MWt を除去するためには、約 6000 対の燃料流路と冷却材流路を設ける必要があることが判明した。この流路から推定される溶融燃料塩の体積は、従来の U 字管型のシェルアンドチューブ熱交換器に比べて約 50% 減少し、溶融塩炉の燃焼特性が発揮できる熱交換器になると予想される。

4. 結言：ジグザグ流路を有する熱交換体系の実験結果を用いて乱流計算モデルを検証し、良好な一致が得られた。検証されたモデルをサイン状の流路に適用し、FLUENT を用いた解析から得られた熱伝達率の結果を外挿する方法と RELAP5-3D に得られた熱伝達率を与えて解析することで実機の熱交換器規模が評価できた。

参考文献：[1] Ishizuka, T., Kato, Y., Muto, Y., Nikitin, K., Tri, N.L., Hashimoto, H., 2005. Thermal-hydraulic characteristics of a printed circuit heat exchanger in a supercritical CO₂ loop, NURETH-11, Avignon, France, Paper 218.

* MOCHIZUKI Hiroyasu¹

¹Tokyo Institute of Technology