ナトリウム冷却高速炉の自然循環崩壊熱除去時における炉容器内熱流動解析評価手法整備
（1）ポーラスボディモデルを用いたサブチャンネル CFD 解析の適用性確認

Development of reactor vessel thermal hydraulic evaluation method under natural circulation decay heat removal conditions in sodium-cooled fast reactor

(1) Applicability of subchannel based CFD analysis method using porous body model

*浜瀬 枝里菜[1]，今井　康友[2]，菊地 紀宏[1]，堂田 哲広[1]，田中　正暁[1]
[1]原子力機構，[2]（株）エヌデーデー

自然循環崩壊熱除去時の炉容器内熱流動挙動を多次元解析により詳細に評価するため、はじめに燃料集合体について、商用 CFD コードのポーラスボディモデルを用いてサブチャンネル解析の考え方を適用し、模擬燃料集合体ナトリウム試験解析を実施した。まずは高流量条件での解析手法の適用性を確認した。

キーワード：高速炉、自然循環崩壊熱除去、ポーラスボディモデル、サブチャンネル CFD 解析手法

1. 緒言　崩壊熱除去系として有用な直接炉内補助冷却系（DRACS）の性能評価では、直接炉内熱交換器（DHX）から流出する低温流体が燃料集合体内及び燃料集合体間ギャップ部に潜り込む現象（炉心－プレナム相互作用）を精度良く評価する必要がある[1]。また、高速炉の安全性強化のため、多様な崩壊熱除去系の採用が求められている。本研究では、商用 CFD コードにより、自然循環状態で複数の崩壊熱除去系が作動した場合の炉心－プレナム相互作用を含めた複雑な炉内熱流動挙動を予測可能な多次元解析評価手法の整備を目的としている。本報では、その第一段階として、燃料集合体内について、商用 CFD コードにサブチャンネル解析[2]の考え方を適用してポーラスボディモデルを用いた多次元解析手法（サブチャンネル CFD 解析手法）を開発し、模擬燃料集合体ナトリウム試験解析により、まずは高流量条件に対する適用性を確認した結果を報告する。

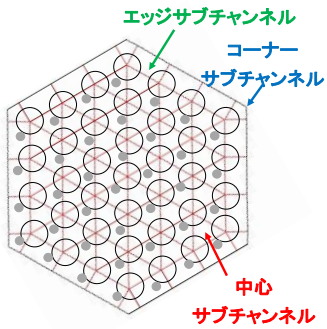

図 1 集合体内サブチャンネルメッシュ分割

2. 手法概要　燃料ピンとラッパ管壁、それぞれで囲まれた流路（中心／エッジ／コーナーサブチャンネル）を解析メッシュとする（図 1）。商用 CFD コード（Fluent 18.2.0）のポーラスボディモデルでは、通常、解析メッシュ内で流体が占める体積割合（空隙率）のみが考慮され、サブチャンネル間の伝熱量評価に必要な径方向の流路面積割合（透過率）には実際とは異なる空隙率の値が使われる。そこで、UDF（ユーザ定義関数）を用いて、空隙率ではなく、実際の径方向透過率に応じた伝熱量が適切に評価されるよう、支配方程式の熱拡散項に補正を加えた。

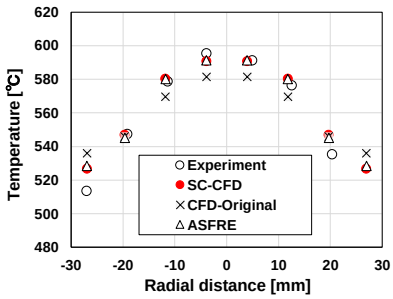

図 2 集合体内径方向冷却材温度分布

3. 解析条件及び結果　37 本ピンで構成される模擬燃料集合体ナトリウム試験解析（発熱量 742 kW、流入温度 399.4 ℃、流入流量 3.87 kg/s（Re = 52,000））を実施した。図 2 に試験結果、本解析手法（SC-CFD）、熱拡散項に補正を加えない CFD 解析（CFD-Original）及びサブチャンネル解析コード（ASFRE）の結果について、発熱部上端での径方向温度分布を比較して示す。本解析手法（SC-CFD）は、集合体内で ASFRE による結果とほぼ一致しており、中心サブチャンネルでは実験結果と 0.9%以内で一致することを確認した。

4. 結論　熱拡散項に補正を加えた本サブチャンネル CFD 解析手法の高流量条件に対する適用性を確認した。今後、低流量条件への適用性を確認し、集合体間ギャップ部を含めた全炉心体系へ拡張していく。

参考文献 [1] Kamide et. al., IAEA-IWGFR-88 (1993). [2] Ninokata et. al., Nucl. Eng. Design, 104, p.93 (1987).

*Erina Hamase[1], Yasutomo Imai[2], Norihiro Kikuchi[1], Norihiro Doda[1] and Masaaki Tanaka[1].
[1]Japan Atomic Energy Agency, [2]NDD.