

高速炉用炉心熱流動過渡解析コード multi-COBRA の開発

背景

ナトリウムなどの液体金属を冷却材とする高速炉では、ポンプトリップなどによって冷却材流量が低下する事象が起これると、燃料集合体の内部および集合体間の横方向伝熱が相対的に大きくなり、また浮力の大きな高温部に向けて流量が再配分されるため、炉心内の流況や温度分布が定格時と大きく異なるものとなる。したがって、炉心安全性確保の観点から過渡時の燃料健全性や炉心変形による反応度の投入量を評価する場合には、これらの現象を適切に考慮しなければならない。このような事象を解析するには、複数の集合体からなる炉心内の冷却材流路を詳細にモデル化した熱流動解析 (=サブチャンネル解析) を行う必要があるが、このような詳細解析が可能な公開コードは存在しない。

目的

定格時から冷却材流量が低下し、自然循環に至る一連の過渡状況下での炉心熱流動挙動を詳細に解析できる集合体群サブチャンネル解析コードを開発する。

主な成果

1. 集合体群サブチャンネル解析コードの開発

- (1) 公開のサブチャンネル解析コードとしては、単一集合体用の COBRA-IV-I がある。これをもとに、各ノードの冷却材圧力を解く新たな陽解法スキームを開発して各部で逆流が生じる現象の安定的な解析を可能とした。
- (2) さらに、集合体間の伝熱を模擬する壁ノードモデル (図1) および炉心全体の圧力損失を算出するネットワークモデル (図2) を開発し、複数の集合体からなる炉心の解析を可能とするサブチャンネルコード multi-COBRA を作成した。本コードを用いれば、炉心の入口流量または圧力損失を境界条件として、定格時から自然循環冷却時までを含む、高速炉の炉心熱流動過渡挙動を詳細に解析できる。

2. multi-COBRA コードの検証

米国の高速実験炉 EBR-II で実施された test7A 試験の解析を行い、本コードを検証した。試験は定格の 28.5% 出力、32.1% 流量の定常状態からポンプトリップし、緊急炉停止した後、自然循環冷却へ移行したもの (図4) であり、解析では図3に示す7集合体からなる炉心の一部を対象とした。

- (1) XX08 集合体の炉心上端位置における冷却材温度履歴は、炉停止後の温度低下、および2次ピークの発生、さらにそれ以降のなだらかな温度低下のいずれも実測値と良く一致した (図5)。
- (2) XX08 集合体内の温度ピーキング係数が過渡によって低減する様子が再現された (表1)。すなわち、流量低下によって集合体内部の横方向伝熱が顕在化し、温度分布が平坦化する現象が模擬できた。
- (3) XX08 集合体は、定常時の出力/流量比が他の集合体より小さく、温度が低い。図6には、この XX08 集合体の流量 (7集合体の合計流量に対する割合) を示したが、この値は、過渡開始後約40秒の、ポンプの回転が完全に停止し、強制循環力がなくなる時点で約1割減少した。この結果は、自然循環冷却への移行にともなう、より高温の他の集合体への流量再配分が模擬できていることを示している。

以上より、multi-COBRA が過渡時の横方向伝熱や流量再配分を適切に模擬し、定常状態から自然循環に至る詳細な熱流動挙動解析が可能なコードであることが確認された。

今後の展開

本コードによる詳細な解析を活用し、高速炉で最も厳しい事象とされるスクラム失敗をともなう冷却材流量喪失型の過渡時にも、受動的安全性が確保される金属燃料高速炉の実現に向けた方策を検討する。

主担当者 原子力技術研究所 次世代サイクル領域 主任研究員 太田 宏一
原子力技術研究所 次世代サイクル領域 上席研究員 横尾 健

関連報告書 「過渡時のFBR炉心熱流動解析コード multi-COBRA の開発」 電力中央研究所報告：T93028 (1994年4月)
「高速炉用炉心熱流動過渡解析コード multi-COBRA の改良—圧力方程式モデルによる集合体群の自然循環過渡解析—」 電力中央研究所報告：L04007 (2005年9月)

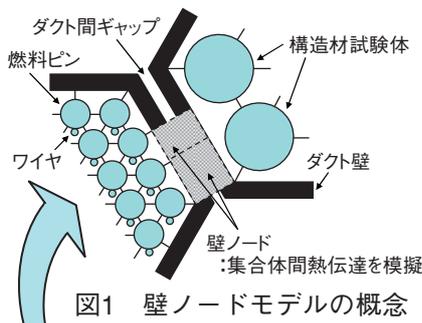


図1 壁ノードモデルの概念

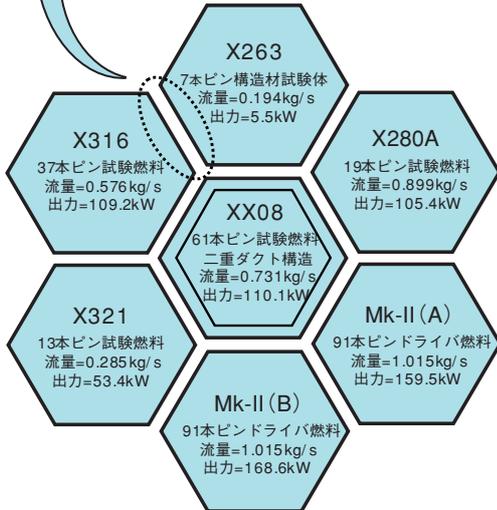


図3 EBR-II test7Aの試験解析体系

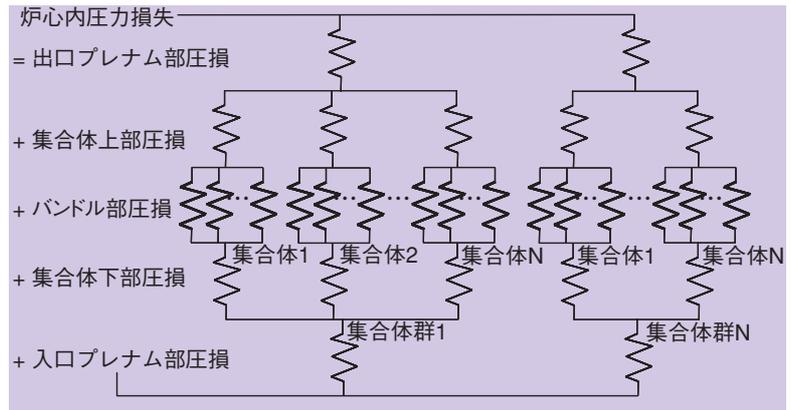


図2 炉心内圧力損失を表すネットワークモデルの概念

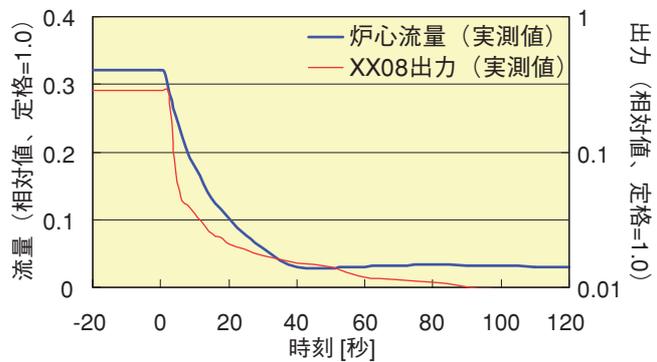


図4 EBR-II test7A試験の炉心入口流量およびXX08集合体の出力履歴

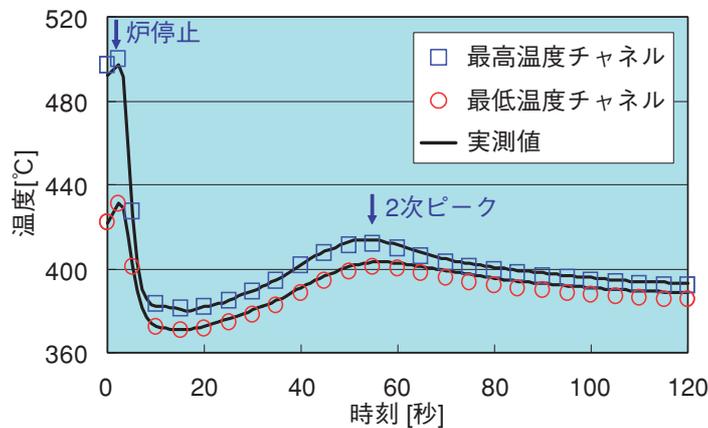


図5 multi-COBRAによるXX08集合体の炉心上端部冷却材温度の評価結果

表1 EBR-II test7A試験におけるXX08集合体の炉心上端部冷却材温度ピーキング係数

	定常時	2次ピーク時
実測値	1.419	1.114
解析値	1.426	1.156

ピーキング係数 = $(\Delta T + 2\sigma) / \Delta T$

ΔT = 炉心出入口温度差、 σ = 平均温度に対する偏差

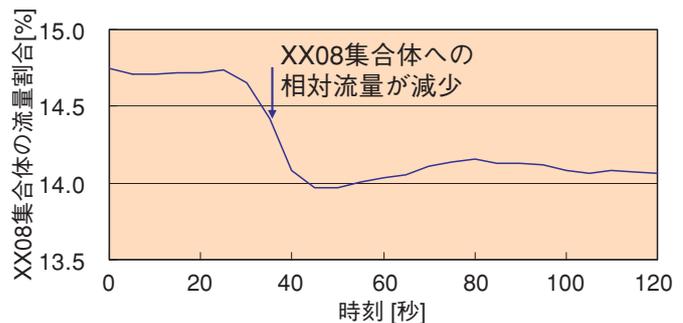


図6 multi-COBRAによるEBR-II test7A試験解析集合体群の全流量に対するXX08集合体の流量割合評価結果