

## 5. 新型炉

### ナトリウム冷却小型高速炉 4S の炉心湾曲に伴う反応度評価

#### 背景

当所では、炉心の長寿命化と高い安全性の実現を目指したナトリウム冷却小型高速炉 4S (Super-Safe, Small and Simple) の設計研究を実施している<sup>\*1)</sup>。4S 炉は従来の高速炉とは異なり、長尺の燃料集合体で構成された縦長の炉心周囲に可動式反射体を設置し、これを炉心下部から徐々に上昇させて燃焼制御を行う(図 1、2)。したがって、高速炉におけるシビアアクシデントの支配的な事象である一次冷却材流量喪失時スクラム失敗事象(ULOF)において、受動的な負の反応度として期待される炉心湾曲反応度が従来炉とは異なることが予想される。4S 炉の炉心設計および過渡時安全評価を行うにあたっては、過渡時の炉心湾曲形状と反応度特性を事前に把握しておく必要がある。

#### 目的

4S 炉を対象に、炉心平均出力/流量比(P/F)を変えて詳細炉心湾曲解析を行い、各 P/F における熱的・機械的平衡状態での炉心湾曲形状とそれに起因する反応度の関係を定量的に把握する。この結果をもとに、4S 炉での ULOF 時に投入される炉心湾曲反応度を評価し、ULOF 事象推移に及ぼす影響を明らかにする。

#### 主な成果

- (1) 炉心湾曲反応度の評価に必要な炉心核計算、伝熱流動計算、構造計算について、詳細なモデルを連結させた解析システムを構築した(図 3)。
- (2) 電気出力 1 万 kW の 4S 炉を対象に、P/F を 1.0~3.0 の範囲で変化させたときの炉心湾曲反応度を上記解析システムで求めた。その結果、炉心湾曲反応度は P/F が 1.0 の基準状態に対し、燃焼初期では P/F が 2.0 まで、燃焼末期では 1.5 までは従来炉と同様に P/F の増加に伴い負の反応度が増加するが、これらを超える P/F 条件では正の増加に転じ、最終的には正の反応度となる(図 4)。
- (3) 4S 炉において、高 P/F 条件で炉心湾曲反応度が正となるのは、
  - ① 内側炉心集合体の径方向外側への変位に伴う固定吸収体での中性子の吸収減少(燃焼初期)
  - ② 炉心の径方向への膨張によって炉心と反射体とのギャップが狭くなることによる中性子ストリーミング(漏洩)の減少(燃焼末期)という 4S 炉の構造上の特徴に起因する。
- (4) 安全上最も厳しい状態である燃焼末期の 4S 炉の ULOF 解析では、受動的な機能である炉心湾曲反応度を考慮しないで安全に収束すると予測されている<sup>\*2)</sup>。この時の P/F 変化に図 4 の結果を適用して炉心湾曲反応度を評価した(図 5)。その結果、P/F によっては正の反応度が投入されるものの絶対値は小さく、他の温度反応度を含めた正味の合計反応度は負を維持する。以上より、炉心湾曲反応度は 4S 炉の ULOF 事象推移に大きな影響を及ぼさないことがわかった。

主 担 当 者 原子力技術研究所 新型炉領域 主任研究員 西村 聡

関連報告書 「高速炉用詳細炉心湾曲解析コード ARKAS-cellule の開発」 電力中央研究所報告:T01011 (2002 年 3 月)  
「ナトリウム冷却小型高速炉 4S の炉心湾曲に伴う反応度評価」 電力中央研究所報告:L07007 (2008 年 3 月)

\*1 : 例えば、N. Ueda, et al., Proc. the 1st COE-INES Int. Symposium, INES-1, Oct. 31-Nov. 4, Tokyo, Japan (2003).

\*2 : Y. Nishi, et al., CRIEPI Report, L06011 (2007).

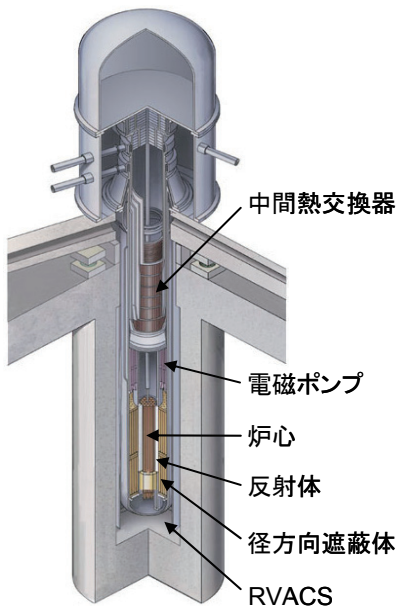


図1 4S炉の全体図

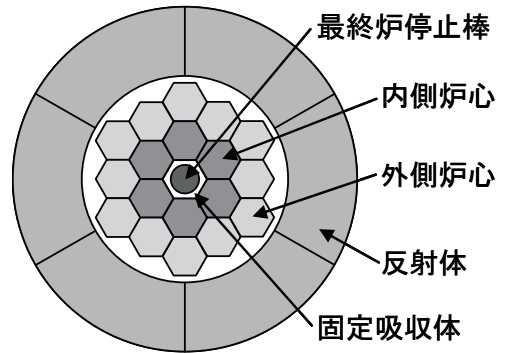


図2 4S炉の炉心構成(水平断面)

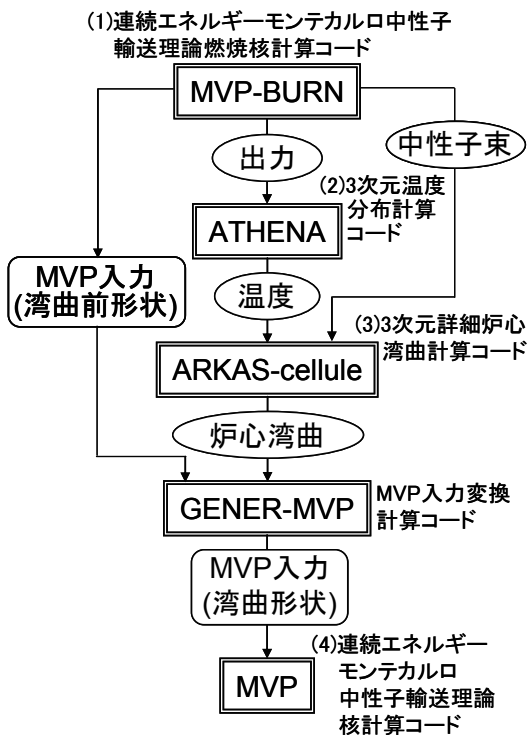


図3 炉心湾曲反応度解析システム

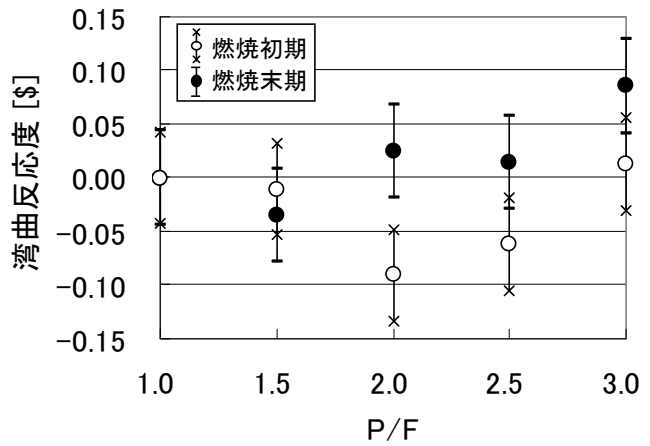


図4 P/F 変化時の炉心湾曲反応度の変化

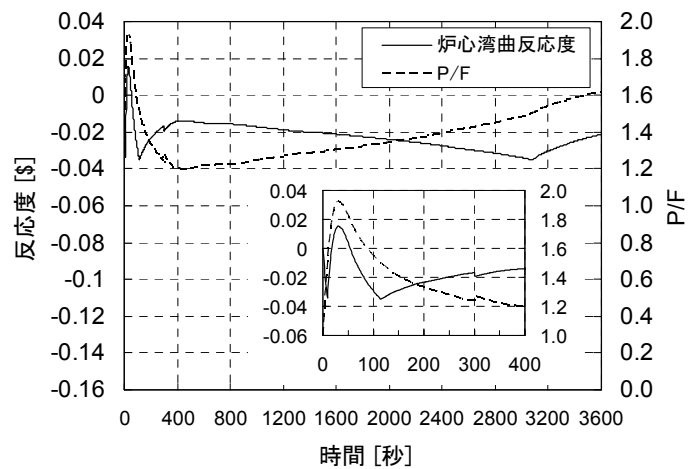


図5 ULOF 時の P/F と炉心湾曲反応度の関係 (燃焼末期)