

炉内流動と核反応度との結合を模擬した BWR領域安定性試験設備SIRIUS-Fの開発とABWRの安定性評価

背景

BWR炉心では、気泡(ボイド)量が増加すると反応度が低下し、出力が減少するというボイド反応度フィードバックがある。出力が低減するとボイド量が低下するため、自己制御性として働くが、フィードバックの位相によっては、炉心全体が同位相で振動する炉心不安定現象、または炉心領域間で異なる位相で振動する領域不安定現象が発生する可能性がある。

米国ラサール2号機での炉心不安定現象やイタリア国カオルソ炉での領域不安定現象の知見を元に安定性評価手法が見直され、現在はこの手法に基づく安定性評価結果を元に原子炉の設計および運転がなされている。これらコードの検証は実用炉での不安定現象もしくは核動特性を考慮しない炉外試験にて行われているため、核動特性を考慮できる炉外試験装置を開発し、それを利用した広い範囲の系統的な実験に基づく検証を行うことが望まれている。

目的

チャンネル安定性、炉心安定性および領域安定性を高精度に再現する手法を開発し、ABWRを対象に許認可条件を含む広い範囲で試験を行い、許認可解析コードODYSYの精度を検証する。

主な成果

(1) 安定性評価手法の開発

ABWRの炉内流動を模擬した熱流動ループ(図-1)とボイド反応度フィードバックのリアルタイムシミュレーションを融合させることにより、チャンネル安定性、炉心安定性および領域安定性を精度良く再現できる試験設備SIRIUS-Fを設計・製作した。炉内の構造物(タイプレートおよびスペーサ等)を精緻に模擬することで、商用炉で採用されている9×9A燃料の流れ方向の圧力分布と一致させている(図-2)。また炉心入口流量の時系列データから自己回帰(AR)法を用いて伝達関数を推定し、その支配極から安定度を求めるノイズ解析手法を開発した。これにより過度の保守性を考慮することなく、任意の運転条件における安定度の指標(減幅比:DR)と共振周波数をオンラインで評価することが可能になった。

(2) 許認可条件における熱水力安定性評価

最低ポンプ速度最大出力点および自然循環最大出力点を含み広い範囲に対してチャンネル安定性試験を実施した。試験で得られたDRと共振周波数は許認可安定性解析コードODYSYの結果と精度良く一致した(図-3)。これまでの炉外試験では安定限界が指標であったが、時系列解析技術の導入により設置許可に要求されるDRを指標として解析コードの検証が初めて可能になった。

(3) 許認可条件における核熱結合安定性評価

最低ポンプ速度最大出力点および自然循環最大出力点を含み広い範囲に対してボイド反応度フィードバックを考慮した安定性試験を実施した(図-4)。試験では安定度が低いモードである領域安定性が卓越して現れた。二つのチャンネル入口流量の相互相関が時間遅れ0sで大きな負のピークを示すことから、試験では領域安定性が卓越したと判断できる。

領域安定性のDRと共振周波数についても、許認可解析コードの計算結果は、試験結果と精度良く一致した(図-4)。

以上により、これまでは実炉の不安定現象のデータが数点存在するのみであったが、SIRIUS-F設備を用いて幅広い条件で、DRを対象に許認可解析コードを検証することができ、実機の安定裕度を系統的かつ正確に把握することが初めて可能になった。

主担当者 原子力技術研究所 発電基盤技術領域 主任研究員 古谷 正裕

関連報告書 「炉内流動と核反応度との結合を模擬したBWR領域安定性試験設備SIRIUS-Fの開発と安定性評価」電力中央研究所報告：L04001(2004年3月)

5. 原子力発電／軽水炉発電の経済性・信頼性向上

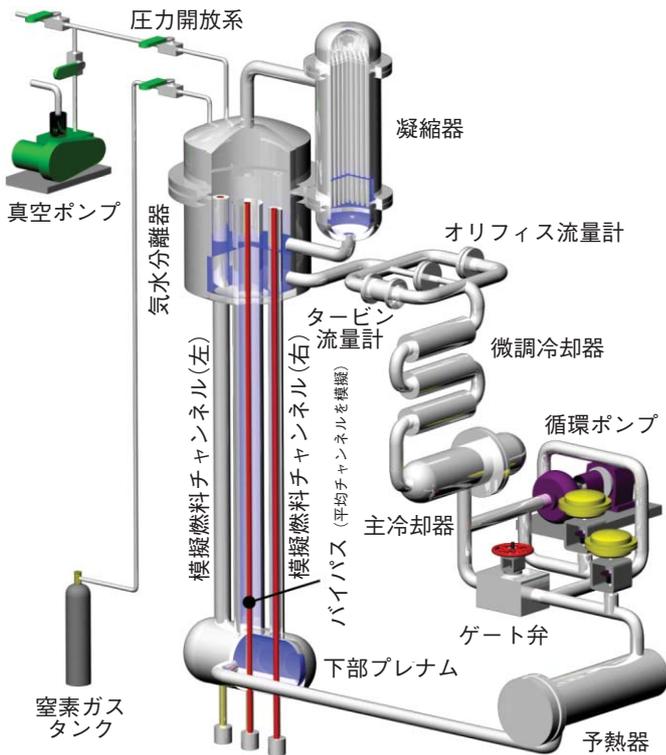


図-1 SIRIUS-F設備の熱流動ループ

全高13mのSIRIUS-F設備はABWRの炉内流動を精緻に模擬できるように設計されている。

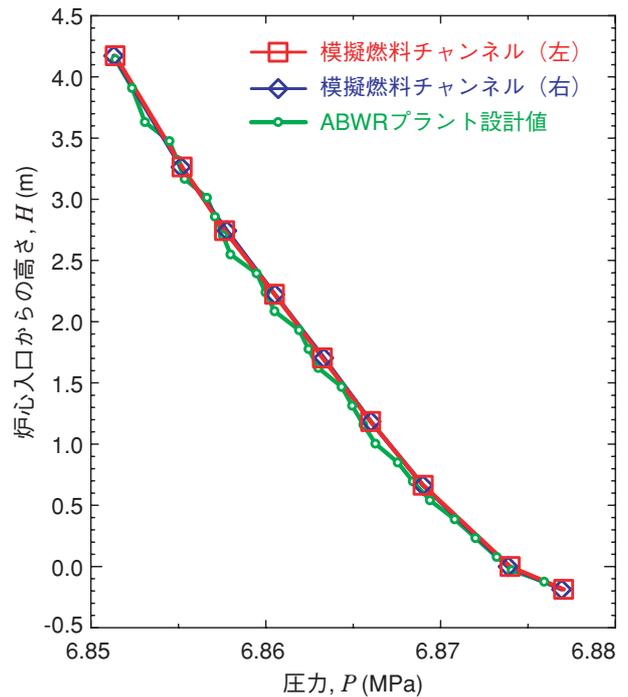


図-2 流れ方向圧力分布の比較

安定性評価上重要な圧力分布はABWRとSIRIUS-F設備とで良い一致を示した。

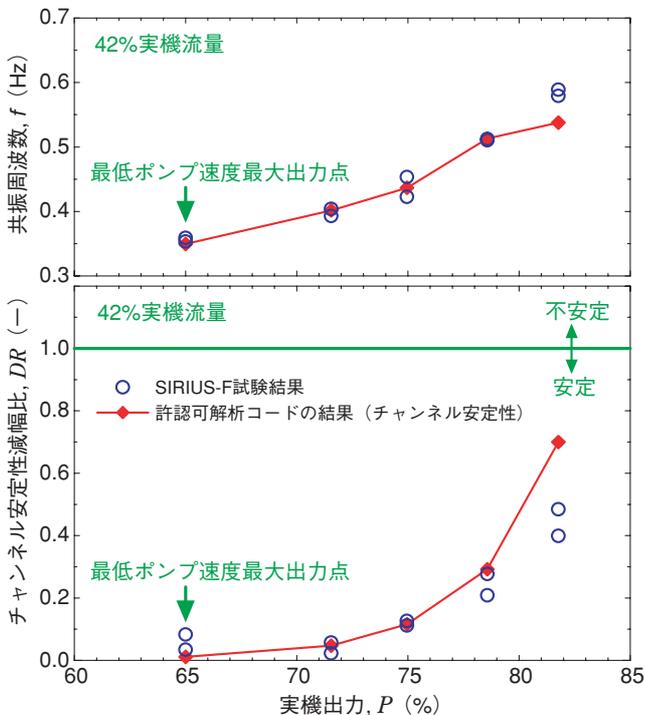


図-3 チャンネル安定性試験結果

出力一定条件下で熱流動の安定性を評価した。その結果、解析結果はSIRIUS-Fでの試験と精度良く一致した。

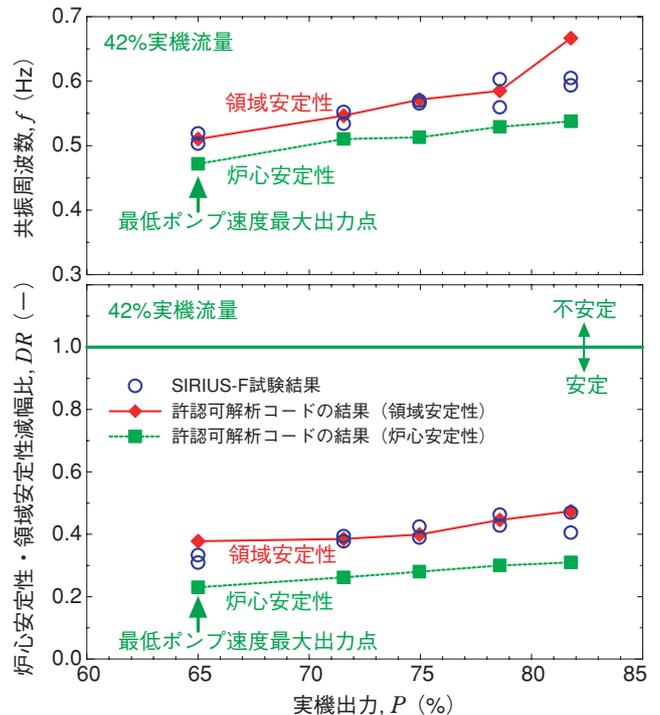


図-4 炉心安定性・領域安定性試験結果

核反応を考慮した核熱結合安定性評価を行った。その結果、安定度の低いモードである領域安定性の解析結果はSIRIUS-Fでの試験結果と精度良く一致した。