

流量急減事象における BWR 炉内流動応答

背景

沸騰水型原子炉(BWR)の運転時の異常な過渡変化では、炉心入口での流量の変化が気泡の体積割合(ボイド率)の変化として、下流側に時間遅れを伴い伝播する。過渡変化における燃料健全性を評価する上で、この時間遅れの影響も含め、炉心並列流路の熱流動評価手法の妥当性を説明することは、極めて重要である。

一般的に炉心入口流量が定常であれば、出力の異なる並列流路であっても、出入口間の差圧は同じになる。しかし、炉心入口流量が急速に減少する場合において、出力の異なる流路の出入口間の差圧変動特性を定量的に検討した例はない。

目的

出力を各々設定可能な2並行加熱流路(加熱チャンネル)を有し、流量急減事象を模擬可能な SIRIUS-F 設備を用いて、過渡時の流量配分やチャンネル間の差圧変動特性を実験的に把握する。さらに実験で得られた沸騰二相流挙動データを対象として、数値計算による現象の予測精度を検証する。

主な成果

BWR の炉内流動を模擬した SIRIUS-F 設備(図1)により実験を行うとともに、BWR 過渡解析コード TRAC-BF1を用いた数値計算を実施し、以下の結論を得た。

1. BWR 過渡事象の実験での模擬精度の検証

流量が約1秒で半減する極めて急速な流量減少を模擬するために、今回新たに循環ポンプ・インバーターおよび弁開度の自動制御系を SIRIUS-F 設備に組み込んだ。本設備による流量急減事象の模擬性能を確認するため、相対出力を広範囲に設定して(0%~80%)実験をおこない、熱流束や質量流束などの対象事象の熱水力パラメーターを精度良く模擬できることを確認した(図2)。

2. 過渡時の流量配分

チャンネル1と2の出力変化、および、チャンネル1の質量流束を想定する事象と一致するように制御しておき、チャンネル2の質量流束の応答を実験で求めた。また得られた実験結果を解析値と比較した。

図3に示す様に、相対出力47%(チャンネル1)と26%(チャンネル2)との組み合わせでは、出力が低いチャンネル2の方が初期では質量流束が高い。しかし、約1.7 s 後にはボイド率が上昇するため、質量流束が逆転する。BWR 過渡解析コード TRAC-BF1はこの質量流束逆転現象を高精度で再現しており、急激な過渡条件においてもコードにより BWR 内の沸騰二相流挙動を精度良く予測できることを確認した。

3. チャンネル間差圧の変動

相対出力の組み合わせを広範囲に設定して実施した実験の結果を表1に示す。流量急減事象の発生により各々のチャンネルの上下プレナム間差圧は数10 kPa 変化する。しかしながら、差圧変化の両チャンネル間の相対変動は0.3%以下と極めて小さい。よって、このような流量急減事象においても、両チャンネルの差圧変動は常に一致すると見なせる。

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 「流量急減事象における BWR 炉内流動応答」 電力中央研究所報告: L07006 (2008 年 3 月)

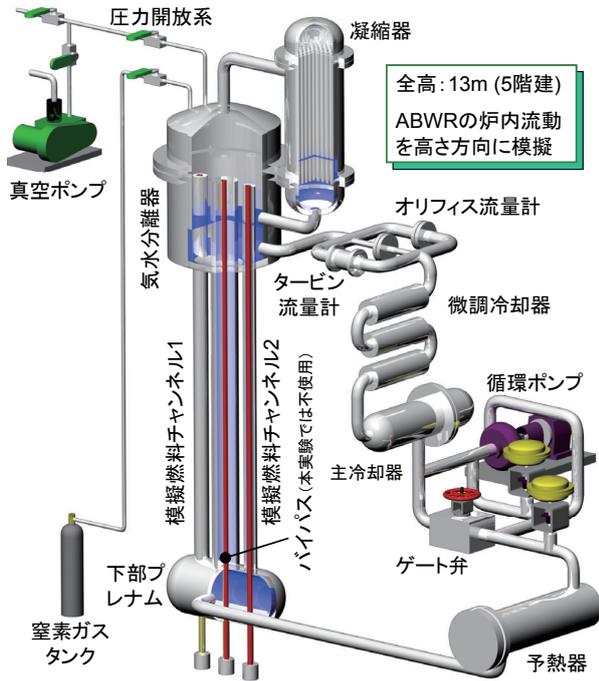


図1 SIRIUS-F設備の熱流動ループ
(全高13mのSIRIUS-F設備はABWRの炉内流動を精緻に模擬できるように設計されている)

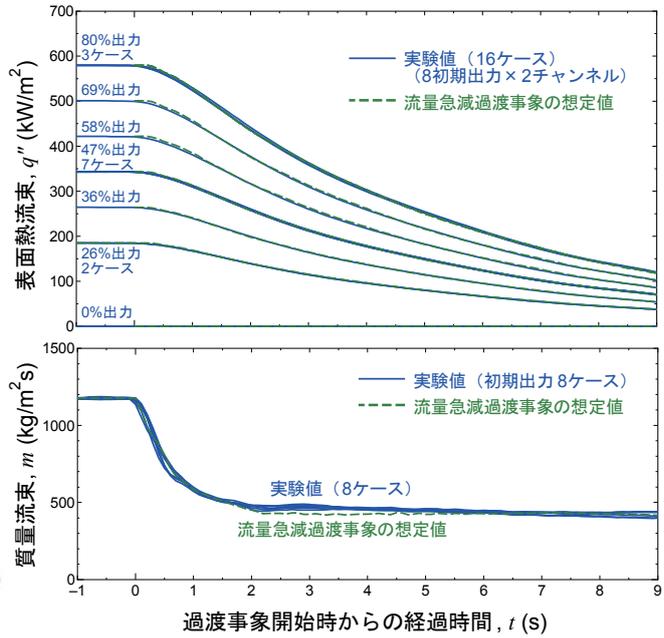


図2 流量急減事象の模擬性
(実験で得られた熱流束と質量流束は流量急減流過渡事象の想定値とほぼ一致している)

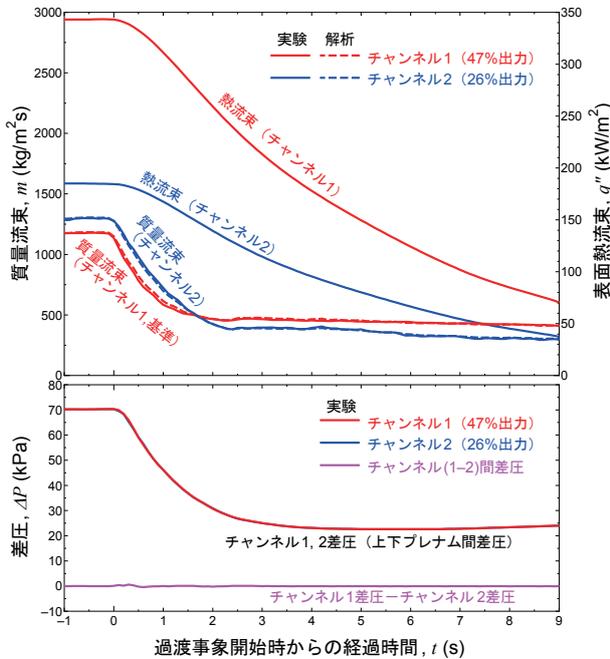


図3 質量流束、熱流束、差圧の過渡応答
(質量流束が約1.7sで逆転する現象など解析は実験を精度良く再現できている)

表1 試験条件とチャンネル間の差圧変動の統計値

No.	ABWRの相対出力出力差 ¹⁾		標準偏差 ²⁾	相対変動 ³⁾	
	Ch.1(%)	Ch.2(%)		%	kPa
1	47	26	-22	0.111	0.23
2	47	36	-11	0.112	0.24
3	47	47	0	0.093	0.20
4	47	58	11	0.079	0.17
5	47	69	22	0.079	0.17
6	47	80	33	0.097	0.21
7	26	80	54	0.059	0.15
8	0	80	80	0.073	0.24

チャンネル上下プレナム間の差圧変動は0.3%以下と極めて小さことから、流量急減事象においても、出力の異なる両チャンネルの両端差圧は一致するとみなすことができる。

注1) チャンネル1出力からチャンネル2出力を引いた値
注2) チャンネル1上下プレナム間差圧からチャンネル2上下プレナム間差圧を引いた値の標準偏差
注3) 標準偏差を10秒間の変位で除した値