

原子力発電プラントの出力向上時における設備への影響評価 —主蒸気管音響共鳴現象の評価手法の検討—

背景

欧米では、既存の原子炉の安全性を損なうことなく出力を数%～20%程度増加させる出力向上が実施されている。日本においても、H19には日本原子力学会において、「原子炉出力向上に関する技術検討評価」特別専門委員会の報告書として、その導入に係る技術評価結果がとりまとめられた。また、H21に原子炉安全小委員会において原子炉熱出力向上ワーキンググループが設置され、BWR/5の出力向上に関する議論が行われているなど、具体化に向けた検討が活発化している。

出力向上は流速・温度などの流動条件に影響を与える。そのため、配管減肉事象や流動励起振動（FIV）などの流動が影響する現象については、流動の変化が系統設備に与える影響を事前に把握しておく必要がある。これらの事象の内、米国で出力向上時に生じた主蒸気系の逃がし安全弁（SRV）分岐管での音響共鳴現象（図1）は、SRV自体の損傷だけではなく、主蒸気管の圧力変動を誘起する事で蒸気ドーム内のドライヤの損傷も生じたFIV事象であるため、国内プラントにおいても事象の発生リスクの検討、現象の明確化・対策が必要である。

目的

主蒸気管-蒸気ドーム全体系の音響共鳴・ドライヤ部応力予測手法の開発（図1）に向け、音源となる分岐管での共鳴現象の発生領域・大きさを数値計算により定量的に評価可能とする。

主な成果

(1) 数値計算の検証

現象の基礎的な把握を行うために、分岐管周りの流れ場を空気を用いて数値計算を実施したところ、特定の流速域において、分岐管部に周期的な圧力変動が発生し（図2）、その変動の振幅や発生領域を実験と比較したところ、良い一致を見た（図3）。

(2) 配管形状の影響の検討

形状の変化が流れ場に与える影響が大きいと考えられる分岐管接続部に、実機と同様の曲率半径を持たせた数値計算を実施した。その結果、曲率の有無により圧力変動が大きくなり始めるストロハル数^{*1}条件が低くなった（図4）。これはより高い流速条件にならないと圧力変動が大きくなる事を意味しており、実機における評価を行う上で形状の模倣が重要となる事が分かった。

(3) 湿り蒸気の影響の検討

実際の発電所で用いられる高温・高圧の湿り蒸気は、相変化があるために理想気体として扱えず、空気などと異なった圧力変動を起こす可能性がある。そこで、高温・高圧の湿り蒸気を用いた数値計算を実施し、空気による結果と比較を行った。その結果、湿り蒸気流れにおける圧力変動の大きくなる領域や変動振幅は、適切な無次元化により空気での結果と概ね一致する事が分かった（図3）。この事から、分岐管における音響共鳴現象は、流体の影響を大きくは受けず、空気による評価結果を実機での評価に活用出来る見込みが得られた。

以上より、主蒸気管-蒸気ドーム全体系の圧力脈動解析の入力条件として、数値計算における分岐管周りの流れ場の評価結果を適用出来る見込みが得られた。

今後の展開

主蒸気管-蒸気ドーム内全体系の圧力脈動解析法を開発し、ドライヤに生じる応力の評価を行う。

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 森田 良、上席研究員 稲田 文夫

関連外部発表 R. Morita et al. "Numerical Simulations of Pressure Fluctuations at Blanch Piping in BWR Main Steam Line", ICAPP '09, No.9372

備考：本研究は、日立GEニュークリアエナジー（株）との共同研究として実施した。

*1：ストロハル数：（周波数）×（代表長さ）／（代表流速）で表される無次元量。振動が生じる体系での周波数や流速の無次元化に用いられる。

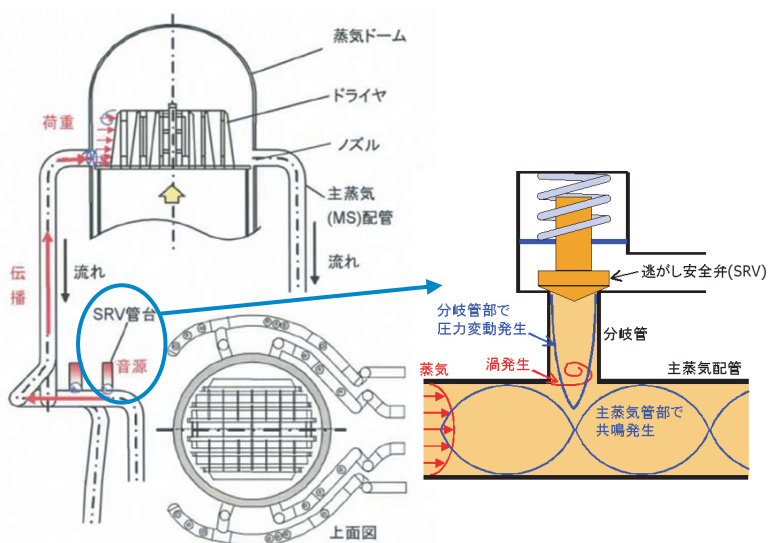


図1 BWR主蒸気管(左)・逃がし安全弁(SRV)分岐管部(中)における圧力変動の模式図、主蒸気系統の圧力脈動・応力評価のフロー(右)

分岐管部では、特定の流速条件で流れの渦による圧力変動が発生し共鳴現象を起こす事がある

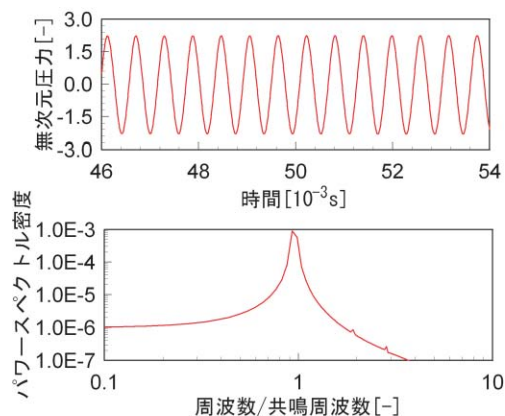
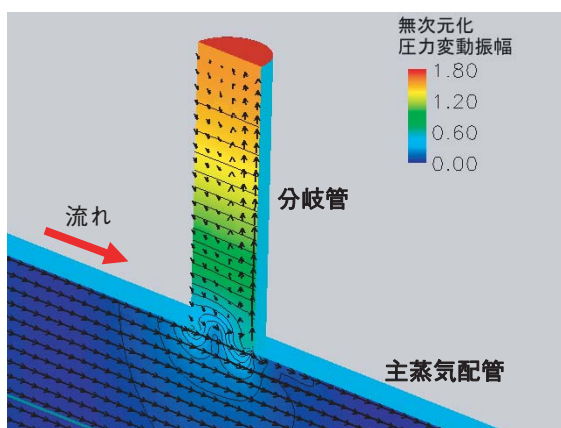


図2 分岐管部における圧力変動振幅(左)と分岐管上端における圧力の時間履歴と周波数分析(右)
分岐管において周期的な圧力変動(共鳴)が発生し、振幅は上端が大きく下端が小さい波形となった

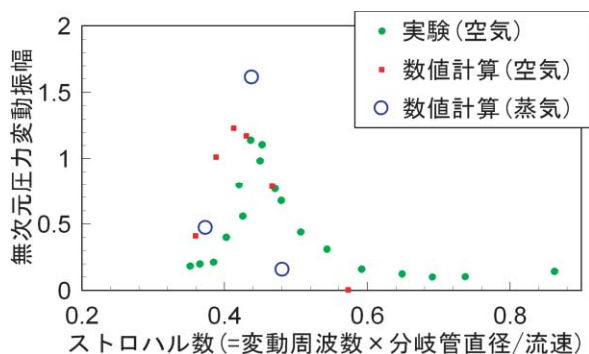


図3 圧力変動の振幅・発生領域の実験との比較、及び空気・蒸気での計算結果の比較
(空気での実験・計算：常温・常圧条件、蒸気での計算：プラント条件(高温・高圧))

実験と同体系で蒸気と空気の計算を実施した結果、実験と計算は良く一致した。また、蒸気と空気の計算結果は圧力変動の大きい領域などが良く一致しており、流体の違いによる影響は大きくはない事が分かった

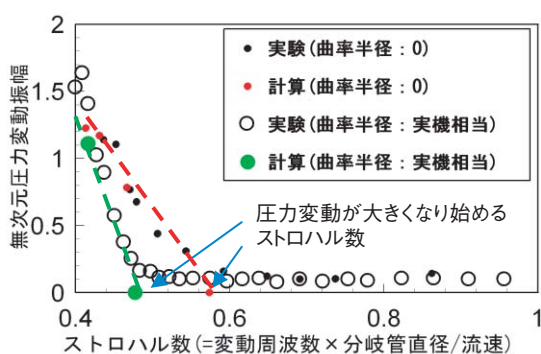


図4 圧力変動の振幅・発生領域の分岐管接続部の曲率の影響
(流体：常温・常圧の空気)

分岐管接続部に実機を模擬した曲率を設けた計算の結果、曲率の有無によって圧力変動が大きくなるストロハル数が変化する事が分かった