

THERMAL HYDRAULICS

熱流動部会ニューズレター (第 67 号)

AESJ-THD

NEWSLETTER (No.67)

Jan. 26, 2010

研究開発の現状紹介

(株)日立製作所 エネルギー・環境システム研究所 原子力システムプロジェクト
木藤 和明、永吉 拓至

1. はじめに

日立グループは沸騰水型原子炉 (BWR)、改良型沸騰水型原子炉 (ABWR) の建設、設計に携わってきた。図 1 に BWR の炉内機器の構成を示す。

原子力プラントは多数の機器で構成される大規模なシステムである。エネルギー・環境システム研究所原子力システムプロジェクトでは、炉心、炉内機器、安全系を含めたプラントシステムの開発を担当している。

ここでは、原子力プラントの信頼性や効率の向上を図る高度予防保全技術の一例として、蒸気乾燥器音響振動評価技術と、高効率ジェットポンプを取り上げ、技術の特徴と開発状況を紹介します。

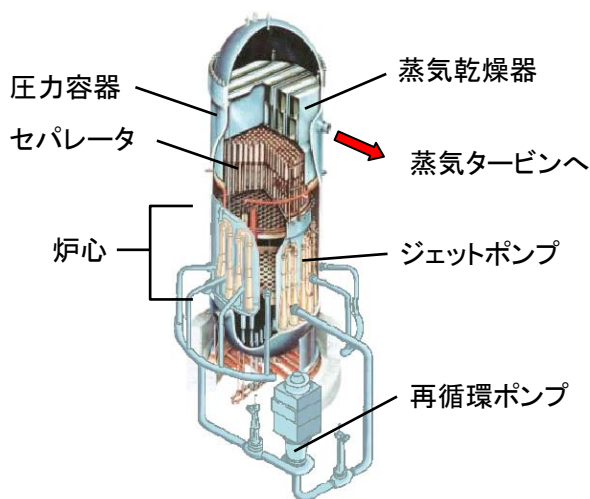


図 1 BWR の炉内機器

2. 蒸気乾燥器音響振動評価技術 [1]

米国において BWR の出力向上実施時に、主蒸気系での圧力変動が増大し、压力容器上部に取り付けられた蒸気乾燥器 (図 1 参照) が高サイクル疲労により損傷した事例が報告されている。蒸気乾燥器損傷の原因の一つは、主蒸気配管に設置されている主蒸気逃し安全弁 (SRV) 管台などの分岐管でキャビティトーン現象で圧力変動が発生し、蒸気乾燥器に音響振動を引き起こしたことでありとされている [2]。

キャビティトーンの発生メカニズムを図 2 に示す。SRV 管台の付け根部上流側で発生した渦が、下流側の管内面に衝突することで音波が発生する。発生した音波は管台内へ伝播し、弁体で反射されて管台付け根部へ戻ってくる。付け根部へ到達した音波は流れの剥離を促進し、より強い渦を発生させる。特に、渦が発生し壁面に衝突するまでの周期 (渦発生周期) と、音波が発生し管台付け根部に戻ってくるまでの周期 (共鳴周期) が等しくなると、管台内で音響共鳴が発生し、非常に強い圧力変動が発生し、主蒸気配管内へ伝播することが知られている。

米国の事例では、出力向上に伴い主蒸気流量 (流速) が増加して渦発生周期が短くなった結果、SRV 管台内で音響共鳴を伴ったキャビティトーンが発生したと考えられている [2]。圧力変動出力向上を実施していない BWR では、国内、国外ともに本現象の発生例は無い。

当プロジェクトでは、今後国内でも実施が計画されている BWR の出力向上に備え、蒸気乾燥器の音響振動解析手法を開発中である。以下で本手法について説明する。

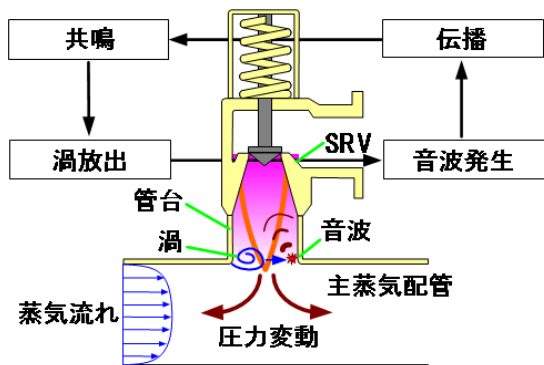


図2 SRV管台内のキャビティトーン発生メカニズム

蒸気乾燥器の音響振動を正しく見積もるためには、圧力変動の発生要因であるSRV管台でのキャビティトーンを精度良く解析することが重要となる。ところがキャビティトーンは、上述のように流れと音波が連成した問題であるため、速度スケールの異なる流れ場と音場を同時に、高精度に解析する手法が必要となる。本プロジェクトでは、蒸気の要求を満たす解析手法として格子ボルツマン法(LBM)を採用した。LBMは、流体を構成する微視的な分子の非定常挙動から巨視的な流れ場を解く手法で、高精度な手法であることが知られている。

図3はLBMにより、SRV管台付け根部近傍のキャビティトーンを解析した結果である。左図が渦度、右図が圧力変動の分布を示している。付け根部上流側で発生した渦が下流側で衝突し、音波が発生する様子が再現出来ている。発生した音波はSRV管台内で音響共鳴し、主蒸気配管へ強い圧力変動が伝播した。

このようにして求めた主蒸気配管内の圧力変動を入力として、三次元波動方程式により蒸気乾燥器へ伝播する圧力変動の挙動を解析する。図4が蒸気乾燥器の設置されている蒸気ドーム内の圧力変動の伝播挙動解析結果である。最終的に、伝播挙動解析により求めた蒸気乾燥器表面での圧力荷重を入力として構造解析を実施し、蒸気乾燥器に作用する応力分布を求め蒸気乾燥器の健全性を評価する。

これらの解析手法は縮小空気試験との比較により、精度向上を図ってきた。今後、更なる精度向上を目指している。

3. 高効率ジェットポンプの開発 [3]

BWRでは炉心に冷却材を送るためにジェットポンプを用いている。ジェットポンプの効率向上は、炉心流量増大や同じ炉心流量を得るために必要な所内電力の削減を可能とし、発電所の経済性向上に寄与できる。

ジェットポンプの概要を図5に示す。ジェットポンプは駆動流体を噴出するノズル、駆動流体と周囲流体が混合するスロート(管路)、混合した流体の圧力を

回復するディフューザから構成される。スロートは、入口部に流路抵抗を低減するためのベルマウスがあ

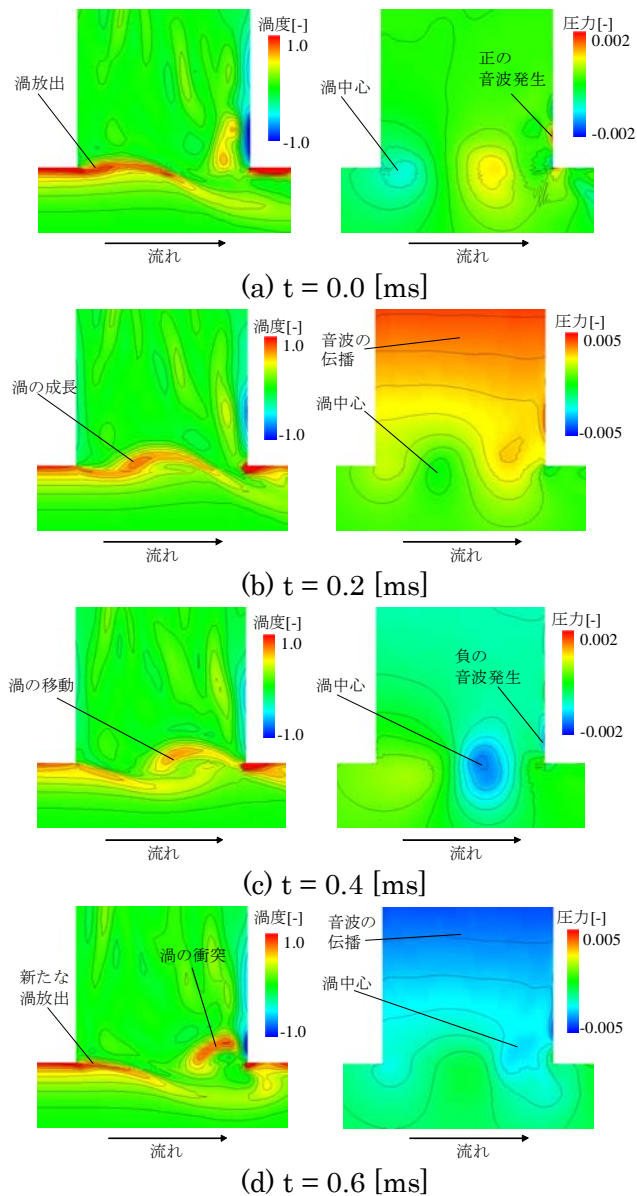


図3 SRV管台の流動解析結果 (左: 渦度、右: 圧力変動)

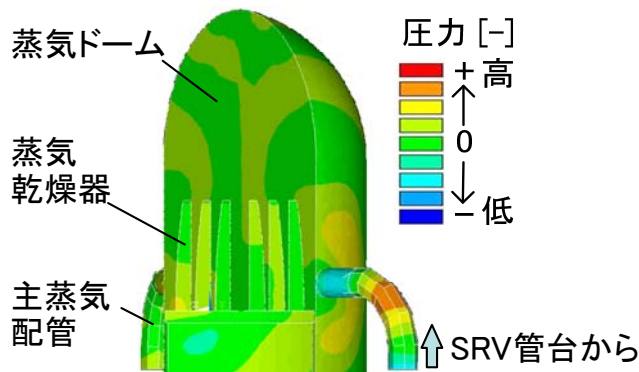


図4 蒸気乾燥器への圧力変動の伝播挙動解析

り、出口部はスリップジョイントでディフューザと接続されている。ジェットポンプノズルからポンプで加圧した駆動流体をスロート内に高速で噴出し、スロート内の静圧を低下させて周囲流体をスロート内に吸い込むことで、駆動流体よりも多くの冷却材を炉心へ送ることができる。

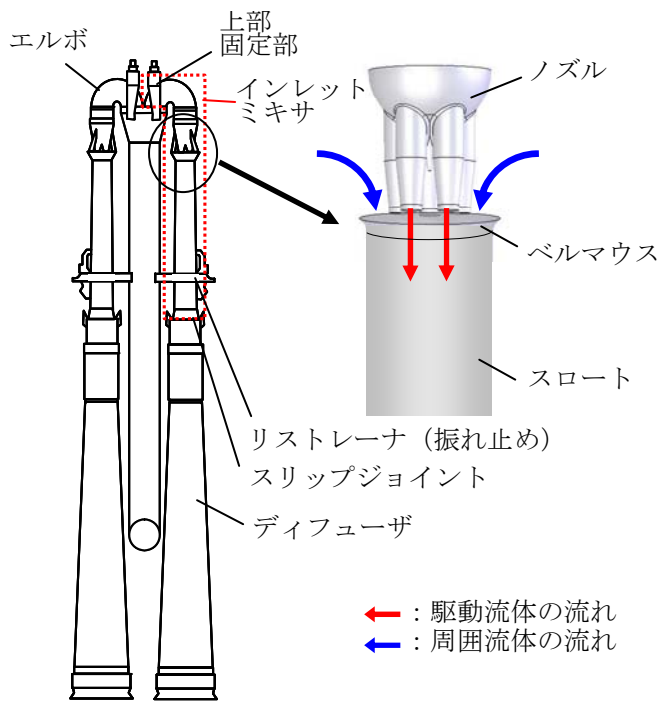


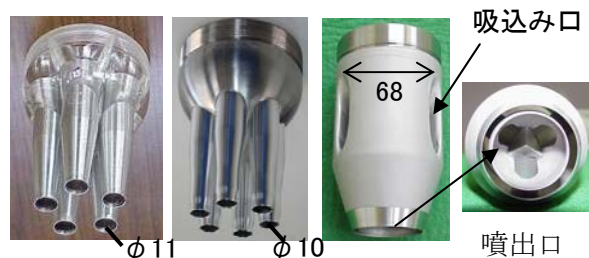
図5 ジェットポンプ概要図

当プロジェクトでは、ジェットポンプ効率に影響の大きいインレットミキサ（ノズルとスロートが一体となった部品）の形状を改良し、実機 1/3 スケールの常温常圧水試験で効果を確認した。

ジェットポンプでは、速度の異なる駆動流体と周囲流体の混合にともなうエネルギー損失が大きい。したがって、駆動流体と吸込み流体の混合を促進するため、ノズル先端の濡れぶち長さを大きくできるノズル形状に改良した。従来の5孔からノズル本数を増やした6孔ノズル、および駆動流体を環状に噴出するリングノズルを開発した（図6）。6孔ノズルでは、ノズル先端の絞り角度を大きくし、ノズル間の吸込み流体の流路面積を確保できる形状とした。リングノズルでは、ノズル側面に貫通孔を設け、吸込み流体のリング内側への流路を確保した。また、摩擦損失低減を目的として、スロートテーパ角度を見直した。改良したインレットミキサを用いたジェットポンプの性能は、実機 1/3 スケールの常温常圧水試験で確認した。

図7に、試験で得られた性能比較を示す。横軸はM比（駆動流体と吸込み流体の流量比）で、縦軸はジェットポンプ効率（混合で駆動流体の失ったエネルギーに対する吸込み流体が得たエネルギーの割合）である。6孔ノズルと改良スロートを用いたケースでは、従来

から 1.1%、リングノズルと改良スロートを用いたケースでは 1.6%ピーク効率が向上した。これらの効率向上分のうち、改良スロートの効果は 0.6%である。濡れぶち長さを大きくしたことにより、駆動流体と吸込み流体の混合がスムーズになって混合損失が低減した。また、テーパ角度を上げたことにより、スロート内の混合流体の平均速度が低下し摩擦損失が低減した。



(a) 5孔 (b) 6孔 (c) リング 単位：mm
図6 ジェットポンプノズル形状（実機 1/3 モデル）

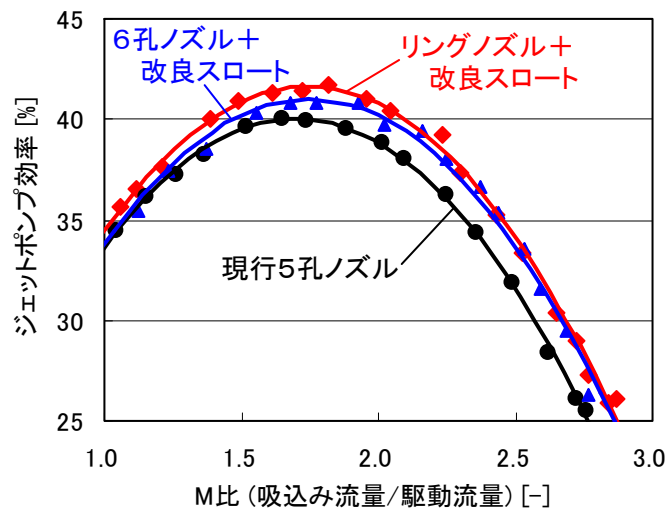


図7 ジェットポンプ性能の試験結果

4. おわりに

日立グループで開発した高度予防保全技術の一例として蒸気乾燥器音響振動評価技術と、高効率ジェットポンプを紹介した。

米国では既設原子力プラントの出力向上がすでに実施されており、国内の原子力プラントでも実施が計画されている。紹介した予防保全技術は、出力向上時のプラント健全性の確認や、さらなるプラント熱効率向上に活用する。

参考文献

1. A. Tamura, et al., Proc. NURETH 13, N13P1366 (2009)
2. G. Deboo, et al., Proc. ICONE 14, ICONE14-89903 (2006)
3. 石田直行 他、原子力学会 2009 年秋の大会、D35

会員総会報告

熱流動部会第34回会員総会 議事録

- (1) 日時：平成21年9月17日（木）12:00-13:00
- (2) 場所：秋の大会 C会場
（東北大学マテリアル・開発系講義棟大講義室）
- (3) 配布資料：
 - ① 議事次第
 - ② 総務委員会活動報告
 - ③ 平成21年度収支予算および実績表
 - ④ 企画委員会活動報告
 - ⑤ 研究委員会活動報告
 - ⑥ 国際委員会活動報告
 - ⑦ 広報委員会活動報告
 - ⑧ 出版編集委員会の活動概要
 - ⑨ NURETH-13 準備状況
 - ⑩ NUTHOS-8 Call for Papers

議事

1. 部会長挨拶（秋本部会長）

総会の開催にあたり、部会ホームページでの情報発信を活発化したいこと、公益法人改革が進められる中部会としてできる役割について議論したいこと、学会活動は基本的にボランティアであるため、皆様のご協力をお願いしたい旨の挨拶があった。

2. 総務委員会報告（大川総務委員長）

配布資料②、③をもとに、総会、運営委員会の開催状況、予算執行状況が説明された。NTHAS6 から熱流動部会への寄付金に関連し、チェアを務められた岡本先生（東大）より、会議を成功裏に終えた旨の報告、および部会員の協力に対する感謝が述べられた。

3. 企画委員会報告（高田企画委員長）

配布資料④をもとに、Dr.フォーラムの準備状況が報告された。特に、若手支援として計上された30万円を活用して学生参加者に対して旅費の補助を行うこと、近年の講師数減少の対応およびフォーラムの活性化を目的として原子力プラントベンダーによる最先端技術の紹介を取り入れることが説明された。

4. 研究委員会報告（大川総務委員長（山本研究委員長代理））

配布資料⑤をもとに、部会関連の委員会およびWGの活動概要が報告された。特に、熱水力安全評価基盤技術高度化検討WGについては、熱流動部会内での設

置が7月に認められたことから、現在準備が進められていることが説明された。また、「シビアアクシデント時の格納容器内の現実的ソースターム評価」特別専門委員会について、担当者の長坂氏(JNES)より熱流動部会での所掌に至る経緯が説明され、了承された。

5. 国際委員会報告（大野国際副委員長）

配布資料⑥をもとに、NURETH13、FR2009、NTHAS7 学生セミナーに関する準備状況報告がなされた。また、NURETH13 現地委員会委員長の村瀬氏(INSS)より、配布資料⑨を用いて、NURETH13 の予算関連に関する説明があり、熱流動部会へ貸付金返済も含めて良好な見通しであることが述べられた。

6. 広報委員会報告（玉井広報副委員長）

配布資料⑦をもとに、部会ホームページ更新作業、ニュースレター発行状況、メーリングリストを用いた部会員への情報提供状況に関する報告がなされた。

7. 出版編集委員会報告（大川総務委員長（川原出版編集委員長代理））

配布資料⑧をもとに、論文誌編集委員の配置計画、論文投稿状況、NTHAS6 小特集号の発行準備状況に関する説明があった。

8. 熱流動部会表彰（三島表彰委員長）

優秀講演賞の選考過程及び選考結果が説明された。この後、表彰式を執り行ない、部会長より表彰状の授与が行われた。受賞者は以下の通り。

- ・超音速蒸気流中における水噴流界面挙動に関する研究（高速水噴流の伝熱流動特性）
筑波大学 福市輝 氏
- ・S字型フィンを有する新型マイクロチャンネル熱交換器の流路形状最適化
東京工業大学 都築宣嘉 氏

9. 閉会挨拶（大塚副部会長）

総会閉会にあたり、Dr.フォーラムの開催形態について今後議論を深めたいこと、また当面の課題はNURETH-13 の運営であり、皆さまの今後のご協力を期待したい旨が述べられた。

委員会等の活動報告（Web のみに掲載）

更新情報：

1. 日本原子力学会「熱水力安全評価基盤技術高度化検討」特別専門委員会
熱水力ロードマップ（最終案）
2. 日本原子力学会「熱水力安全評価基盤技術高度化検討」特別専門委員会
熱水力ロードマップ 技術マップ（最終案）
3. 「シビアアクシデント時の格納容器内の現実的ソースターム評価」特別専門委員会
平成21年度第2回会合議事録（案）

熱流動部会のホームページ <http://wwwsoc.nii.ac.jp/aesj/division/thd/> より最新の情報を入手して下さい。

国際会議カレンダー（Web のみに掲載）

熱流動部会のホームページ <http://wwwsoc.nii.ac.jp/aesj/division/thd/> より最新の情報を入手して下さい。

<編集後記>

ニュースレターへの原稿は随時受付を行っております。研究室紹介、会議案内、エッセイ等寄稿お願い致します。またニュースレターに関するご質問、ご意見、ご要望等ありましたら、ぜひ下記宛にe-mailをいただければ幸いです。熱流動部会に入会したい方、入会しているがメールが届かない方が身近におられましたらご相談ください。

e-mail宛先：kazuaki.kito.vp@hitachi.com
tamai.hidesada@jaea.go.jp

熱流動部会のホームページ： http://wwwsoc.nii.ac.jp/aesj/division/thd/ からニュースレターのPDFファイルは入手可能です。
