特　集　論　文

APWR プラント主給水制御弁に作用する流体力を考慮した制御性評価

Evaluation of the Fluid Force in Main Feed Water Control Valve for APWRs

立花浩次[*1] Koji Tachibana
前田敏和[*1] Toshikazu Maeda
森田英之[*2] Hideyuki Morita
坂田英之[*3] Hideyuki Sakata
広江隆治[*4] Takaharu Hiroe
桶谷浩一郎[*5] Koichiro Oketani

1. はじめに

加圧水型原子力発電プラント（PWR）において，主給水制御弁は蒸気発生器への給水流量を調整することにより，蒸気発生器の水位を制御する重要な役割を果たす（図１参照）．現在，当社では PWR から約 40 % 出力をアップした改良型 PWR（APWR）を設計しているが，出力の増加に伴い，給水流量も従来の PWR に比べ約 40 % 増加することから，主給水制御弁の弁体に作用する流体力が大幅に増加することとなる．弁体に作用する上下方向の流体力は弁の作動に影響を及ぼすため，このような流体力の増加に対しても主給水制御弁が指令信号に対して追従し，蒸気発生器の水位を安定に制御できることを確認しておく必要がある．

しかし，一般に弁に作用する流体力が制御性に与える影響を定量的に評価した知見がないことから，今回当社では流動試験により主給水制御弁の弁体に作用する流体力を計測し，流体力を考慮したシミュレーションにより主給水制御弁の制御性評価を行った．

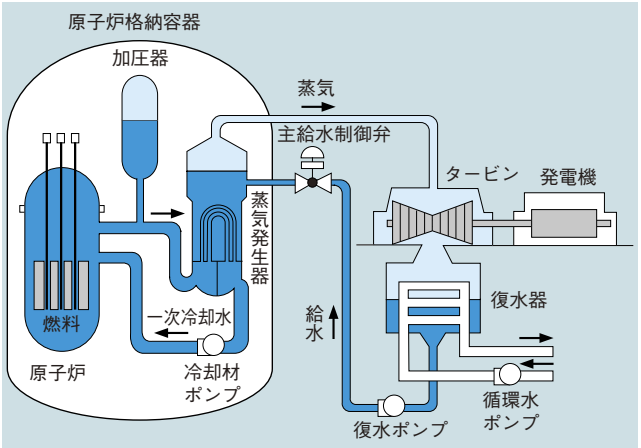


図１　加圧水型原子力発電プラントの概略系統図

2. 主給水制御弁構造

図２に主給水制御弁の概念図を示す．本弁は空気作動弁で，駆動装置と弁棒を介して連結された弁体が上下することにより流量を制御している．弁体の廻りには流れにより圧力分布が生じるため，弁体に荷重（流体力）が作用する．弁体に作用する上下方向の流体力が駆動部の力量に比べて大きい場合は，制御性に影響を及ぼす可能性がある．

3. 流動試験

3. 1 試験装置

弁体に作用する上下方向の流体力を把握するため，流動試験を実施した．供試体には弁内部の流路形状が実機と完全に相似な 1/3 スケールモデルを使用し，流体力の計測は弁棒に設置したひずみゲージにより行った．試験装置の外観を図３に示す．

3. 2 試験条件

流動試験は常温で実施し，流体力により弁棒に発生する応力及びひずみ量が密度の影響を除けば実機と等しくなるように，流速を実機と等しくした．また，弁入口圧力については弁内部の流動状況に影響しないこ

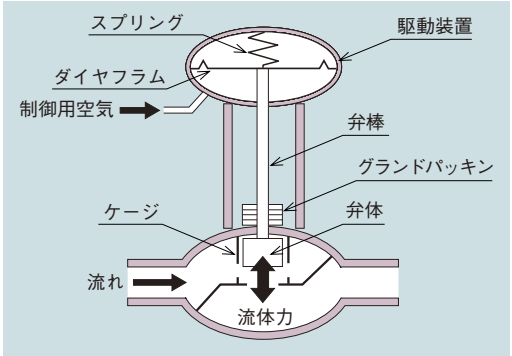


図２　主給水制御弁概念図

[*1] 神戸造船所原子力プラント設計部配管設計課
[*2] 技術本部高砂研究所振動・騒音研究室
[*3] 技術本部高砂研究所熱システム研究室
[*4] 技術本部高砂研究所制御システム研究室主席
[*5] 原子力事業本部原子力技術統括室主席

図３　試験装置外観図

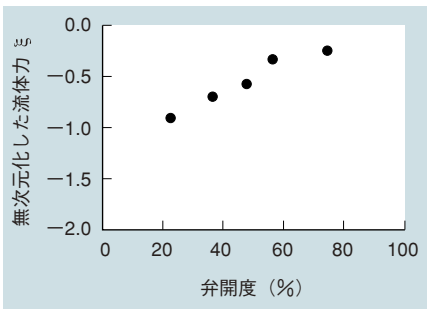


図４　流体力係数　流動試験により求めた流体力を動圧と代表面積で無次元化した値.

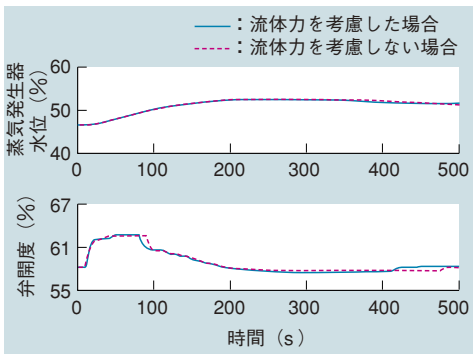


図５　任意の変動を与えた場合の蒸気発生器水位と主給水制御弁の弁開度の挙動例

とから，特に実機とは合わせていない．なお，流動試験のレイノルズ数は実機と比べ小さくなるが，十分に乱流域にあるため弁内部の流動状況は実機とほぼ等しくなる．

3. 3　試 験 結 果

流動試験により計測された弁棒ひずみ量から，式(1)により流体力を求めることができる．

$$F_{fluid} = S_{stem} \times \sigma = S_{stem} \times E\varepsilon \qquad (1)$$

ここで，

F_{fluid}：流体力
S_{stem}：弁棒断面積
σ：弁棒に発生する応力
E：ヤング率
ε：ひずみ量

を表す．流体力は動圧と作用面積に比例するため，式(2)のとおり動圧と作用面積により無次元化できる．

$$\xi = \frac{F_{fluid}}{\frac{1}{2}\rho v^2 A} \qquad (2)$$

ここで，

ξ：無次元化した流体力
（以下流体力係数と称す）
ρ：流体密度
v：代表速度
A：代表面積

を表す．レイノルズ数が十分大きい領域では弁内部の流動状況はレイノルズ数によらずほぼ等しくなるため，流体力係数は流速やスケール等の条件によらずほぼ一定となる．図４に試験により計測した流体力係数と弁開度の関係を示す．負の流体力係数は下向きに流体力が作用することを表している．なお，代表速度は絞り部における平均流速，代表面積は絞り部の開口面積とした．

4. 制 御 性 評 価

4. 1　シミュレーションモデル

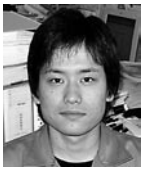
主給水制御弁の制御性を確認するため，プラント全体を模擬したモデルに主給水制御弁単独のモデルを組み込み，シミュレーションを行った．なお，主給水制御弁モデルには弁体を質点とした運動方程式が含まれており，流動試験で求めた流体力係数から算出した実機における流体力を外力として考慮している．

4. 2　シミュレーション結果

シミュレーションの結果，主給水制御弁は運転中に想定される種々の過渡事象に対して蒸気発生器の水位を安定に制御できることが分かった．一例として，図５に任意の変動を与えた場合の蒸気発生器水位と主給水制御弁の弁開度の挙動を示す．参考までに流体力を考慮しない場合の挙動も合わせて示している．主給水制御弁の挙動については流体力の有無により若干の違いは見られるが，蒸気発生器水位にはほとんど影響がないことが確認された．

5. お　わ　り　に

PWR 及び APWR においては，主給水制御弁は蒸気発生器水位を制御する重要な役割を果すことから，プラント信頼性向上を図るため流体力を考慮した評価を実施し，蒸気発生器水位が安定に制御されることを確認した．


立花浩次

前田敏和

森田英之

坂田英之

広江隆治

桶谷浩一郎