

空気・蒸気混合流の円管内壁面凝縮シミュレーションと 計算メッシュ粗視化の検討

Numerical Simulation of Wall Condensation of Steam-Air Mixture in a Circular Tube
and the Effect of Coarse Computational Grid

*歌野原 陽一¹, 村瀬 道雄¹

¹ (株) 原子力安全システム研究所

非凝縮性ガスである空気と蒸気の混合流の壁面凝縮熱伝達実験を対象に数値計算を行った。壁面凝縮伝熱モデルとして Dehbi らの提案するモデルを用い、実験データに近い壁面熱流束を再現することができた。また、壁面近傍で粗い計算メッシュを用いても妥当な計算解が得られるような補正方法の検討も行った。

キーワード：壁面凝縮熱伝達，数値シミュレーション，冷却材喪失事故

1. 緒言 PWR の LOCA 時における CV 健全性評価の一環として、CFD による LOCA 時の温度・圧力の予測に取り組んでいる[1]。CV 内の圧力・温度変化に影響する主要因子の 1 つとして、壁面凝縮伝熱が想定されるため、空気・蒸気混合気体の壁面凝縮伝熱量を測定し[2]、CFD で実験の再現に取り組んでいる[3][4]。

2. 実験・計算条件 配管内径 $D = 49.5$ mm, 肉厚 5.5 mm の伝熱管内に蒸気・空気混合流（蒸気流量 5.9 g/s, 空気流量 9.0 g/s、約 87°C）、伝熱管外面に冷却水（約 20°C）をそれぞれ流し、混合気体、伝熱管壁内、冷却水の温度分布を計測した[2]。CFD では管内面での蒸気質量流束 m_s [kg/(m² s)]の式として次式を用いた。

Case1: 質量保存から導かれる式（Dehbi ら[5]） $m_s = \frac{-\rho D}{(1-\omega)} \frac{\partial \omega}{\partial n}$, ρ 密度[kg/m³], D 蒸気拡散係数[m²/s]

壁面熱流束 q は潜熱 h_{fg} をかけて $q = m_s h_{fg}$ から求める。ただし、Dehbi らの式は濃度勾配 $\partial \omega / \partial n$ のために壁面上で詳細なメッシュが必要となり、実機プラント計算では現実的でない[6]。粗いメッシュを用いた場合の壁面熱流束を見積ると（図 1）、壁面 y^+ の増加とともに過小評価となった。よって、図 1 のフィット式から

Case2: $m'_s = \frac{m_s}{\eta}$, $\eta = \min\left(\frac{10.5}{y^{+0.92}}, 1\right)$ のような補正式を求め、壁面 $y^+ = 50$ の計算メッシュに適用した。

3. 結果 図 2 のように、Case1 では壁面熱流束の実験値を妥当に再現できたが、Case2 では過小評価となった。今後、定量的な再現性向上に取り組む予定である。

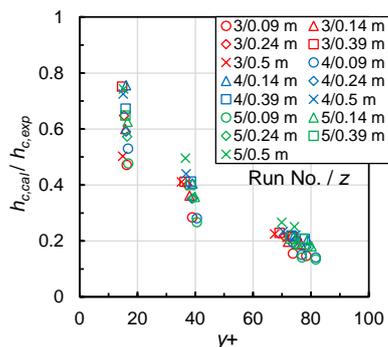


図 1 壁面熱伝達率のメッシュ解像度依存性見積もり

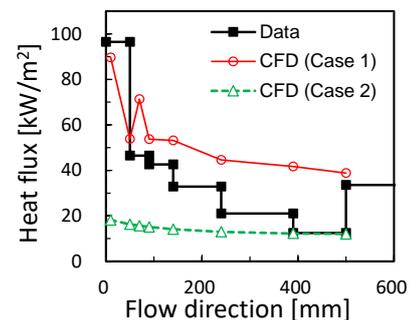


図 2 壁面熱流束

参考文献

[1]歌野原ら, 原学会 2017 春, 3K15, [2] Murase et al., 混相流, Vol. 33, 2019, [3] Utanohara et al., ICAPP2017, No. 17394, [4] 歌野原ら, 原学会 2020 春, 2G07 [5] Dehbi et al., NED, Vol. 258, 2013, [6] Murase et al., 混相流, Vol. 34, 2020

*Yoichi Utanohara¹ and Michio Murase¹

¹Institute of Nuclear Safety System, Inc.