

蒸気と空気の混合流体から鉛直平板への自然対流凝縮の実験解析

Analysis for experiments of natural convection condensation from steam-air mixture on a vertical flat plate

*高木 俊弥¹, 村瀬 道雄¹

¹原子力安全システム研究所

蒸気と空気の混合流体から鉛直平板への凝縮伝熱に関する従来実験を対象として CFD コード FLUENT を使用して実験解析を行い、CFD 解析で自然対流凝縮での熱流束を比較的良好に再現できることを確認した。

キーワード：壁面凝縮，非凝縮性ガス，鉛直平板，CFD，自然対流，熱流束

1. 緒言 原子力発電所の事故時における格納容器 (CV) 内では、空気（もしくは窒素ガス）雰囲気蒸気が流出し、構造物表面で非凝縮性ガス存在下での壁面凝縮伝熱になる。本報告では、CFD コード FLUENT を使用し、既報[1]で作成した蒸気と空気の混合流体から鉛直平板への凝縮伝熱解析モデルに水素もしくはヘリウムを追加し、従来実験 COPAIN [2]での自然対流凝縮の解析を行い、熱流束 q の測定値[3]と比較した。

2. 評価方法 計算対象は、二次元の鉛直並行平板とし、平板間距離を 440 mm、流入部を両面断熱で長さ 1 m、凝縮面を高さ 6 m で厚さ 10 mm の SUS304 にして対面を断熱にした。定常計算とし、SST $k-\omega$ 乱流モデルを使用した。壁面での凝縮熱流束は $q_c = -\{D\rho(1-Y_s)\}(\partial Y_s/\partial y)h_{fg}$ [4]で与えた (D は拡散係数、 h_{fg} は潜熱、 Y_s は蒸気質量分率、 y は凝縮面からの距離、 ρ は密度)。流れ方向セル幅 $\Delta x = 5$ mm、凝縮面に接する y 方向セル幅 $\Delta y = 0.05$ mm とした。以上は既報[1]と同じである。流体は蒸気と空気に水素もしくはヘリウムを追加して 3 成分系にした。前報[5]で蒸気と空気の混合気体での COPAIN 実験[2, 3]を対象とした強制対流凝縮の検証解析を実施したのに対し、本報告では自然対流凝縮の実験解析を行った。平板間距離 440 mm では自然対流による加速により出口で逆流が生じて影響が上流に伝播したため、平板間距離を 2 倍の 880 mm に拡大した (凝縮面に接する y 方向セル幅は $\Delta y = 0.10$ mm に拡大)。

P0444 実験では入口での速度 $u_{in} = 0.5$ m/s、蒸気質量分率 $Y_{s,in} = 0.227$ 、P0344 実験では $u_{in} = 0.33$ m/s、 $Y_{s,in} = 0.136$ である。熱流束 q の測定値と計算値の比較を図 1 に示す。 q の測定値は、CFD 計算値と Corradini の相関式[6]による計算値の間にあり、これらの不確かさの範囲内で評価できる。

3. 結論 COPAIN 実験での自然対流凝縮熱流束を評価し、CFD 計算値は過小評価し、Corradini 相関式は過大評価したが、これらの不確かさの範囲内で計算できることを確認した。

参考文献

- [1] 歌野原陽一ほか, 原子力学会 2023 秋の大会, 2G02, 2023.
- [2] X. Cheng, et al., Nucl. Eng. Des., **204**, 267-284, 2001.
- [3] H. Bian, et al., Int. J. Thermal Sci., **145**, 105948, 2019.
- [4] A. Dehbi, et al., Nucl. Eng. Des., **258**, 199-210, 2013.
- [5] 歌野原陽一, 他, 原子力学会 2024 春の年会, 3K11, 2024.
- [6] M. L. Corradini, Nucl. Technol., **64**, 186-195, 1984.

* Toshiya Takaki¹, Michio Murase¹

¹Institute of Nuclear Safety System, Inc.

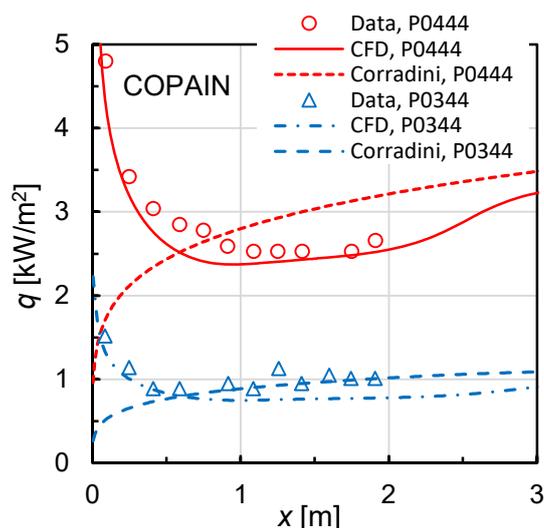


図 1 COPAIN 実験 P0444 と P0344 での熱流束 q (x は流れ方向位置)