

可視化実験に基づく凝縮挙動の定量化に関する研究

Study on quantification of condensation behavior based on a visualization experiment

*原 立樹¹, 鈴木 徹¹, 今泉 悠也², 松場 賢一², 神山 健司²,
¹東京都市大学, ²原子力機構

鉛直平板上の凝縮実験を行い、凝縮挙動を可視化して画像処理を施し、滴状凝縮と膜状凝縮の占有率を定量化した。この結果と実験時の計測データから滴状凝縮の実用的なヌッセルト数の算出方法を検討した。

キーワード：滴状凝縮、膜状凝縮、鉛直平板、画像処理、過酷事故

1. 背景 ナトリウム冷却高速炉の炉心崩壊事故を原子炉容器内に格納する上で、非凝縮成分が混在する冷却材蒸気の膨張/凝縮挙動を適切に評価することは重要である。同様の現象は軽水炉等の格納容器内壁における凝縮挙動にも当てはまる。非凝縮成分の影響を検討するためには、蒸気単成分の凝縮速度を詳細に把握する必要があるが、滴状/膜状等の凝縮様相までを考慮した系統的な凝縮速度の評価手法は整備されていない。

2. 目的 表面に滴状凝縮と膜状凝縮が混在し得るような鉛直平板上において、凝縮挙動を適切に評価するためのデータ整備を目指し、滴状凝縮における実用的なヌッセルト数の算出方法の提案を目的とする。

3. 実験方法 実験体系を図1に示す。アクリル容器で凝縮板を覆い、容器内にはスチーマーで蒸気を充滿させた。凝縮板の内部に冷却水を循環させて凝縮板表面に蒸気を凝縮させ、その凝縮挙動を撮影した。凝縮板表面上の微細な液滴や液膜の輪郭を明瞭に可視化するため、照明にはシート状のレーザー照射光とLEDライトを併用した。図2に示した凝縮板表面での熱収支($q_1 = q_2 + q_3$)に基づく、膜状凝縮と滴状凝縮とが混在する場合のヌッセルト数 Nu は式①のようになる。

$$Nu = D/k_1(T_s - T_w) \{ \Delta H M + \rho C_p Q (T_{out} - T_{in}) / A \} \quad (1)$$

ここで、右辺第1項は凝縮水をサンプリングして求め、右辺第2項は凝縮板内を循環する冷却水の入口-出口の温度差と流量から算出した。本研究の着眼点として、 Nu は式②で表されると仮定した。

$$Nu = aNu_f + bNu_d \quad (2)$$

ここで、 Nu_f と Nu_d はそれぞれ膜状凝縮と滴状凝縮のヌッセルト数である。前者は既存の相関式[1]で算出できるが、後者には実用的な相関式が提案されていない。そこで、図3の画像をもとに凝縮板表面上の液膜と液滴の比率 $a:b$ を本研究で開発した画像処理技術で定量化し、①と②を連立することによって Nu_d を算出する方法を提案した。

4. 結果・考察 算出の結果、この実験における滴状凝縮のヌッセルト数 Nu_d の値は3978になり、この実験での膜状凝縮のヌッセルト Nu_f の値である187より約20倍大きい値となった。滴状凝縮の熱伝達係数は膜状凝縮の熱伝達係数より1桁程度大きくなるといわれている[2]。このことから、今回の滴状凝縮のヌッセルト数の算出方法は妥当であると考えられる。以上より、滴状凝縮における実用的なヌッセルト数の評価方法を提案できたと考える。今後の研究計画としては、凝縮挙動の経時変化を考慮した実験を実施し、現時点での成果を拡張していく。

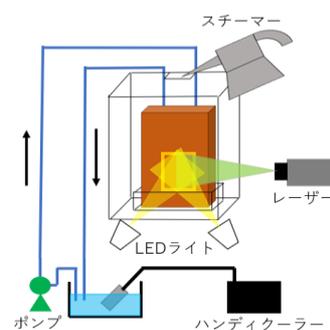


図1. 実験体系

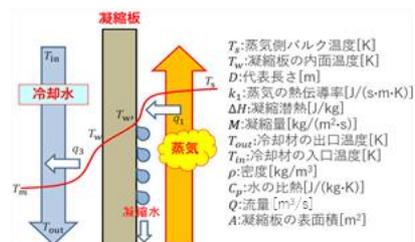


図2. 凝縮板表面の熱収支の概念

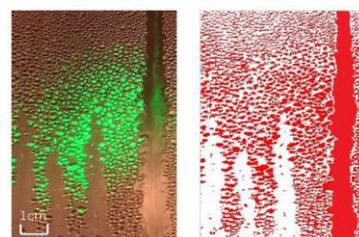


図3. 凝縮画像と二値化画像

本報は、原子力機構との共同研究「溶融炉心物質の相変化挙動に関する基礎研究」の成果の一部を含む。

参考文献

[1] 片山 功蔵 他 日本機械学会「伝熱工学資料」

[2] 棚沢 一郎 他 日本マリンエンジニアリング学会「日本船用機関学会誌」

*Tatsuki Hara¹, Tohru Suzuki¹, Yuya Imaizumi², Ken-ichi Matsuba² and Kenji Kamiyama²

¹Tokyo City Univ., ²JAEA