

上昇蒸気流中における鉛直板上の層流膜状凝縮の理論の構築

金谷健太郎

筑波技術大学 産業技術学部 産業情報学科

キーワード：層流膜状凝縮, 上向き蒸気流, 二相境界層モデル, 熱伝達, 遷移

上向き（重力と逆向き）蒸気流中における鉛直板上の層流膜状凝縮を研究した。本研究では、重力と気液界面上の剪断力の両方を考慮した下向き（重力の向き）蒸気流の場合の Fujii & Uehara [1] による、凝縮液膜と蒸気の境界層の近似積分二相境界層モデルの、重力の向きを逆にしたものを数値的に解いた。本系では、下向きの重力の効果と蒸気流による上向きの剪断力の効果のどちらが支配的かにより液膜の形が変化する。凝縮板の下端での境界条件により、モデルの凝縮液膜の解が3つの型に分類される：(i) 下端で液膜厚さが0, (ii) 下端で流量が0かつ液膜厚さが有限, (iii) 下端で流量が負。ここで、(iii) は凝縮液が下に流れ落ちる場合に対応する。3つの解の型に対して液膜厚さと平均ヌセルト数を、下端からの板に沿った距離と板の長さとの関数としてそれぞれ示した。また、型(i)と(ii)の解の長さが最大になる条件は、異なる解の型の間の遷移条件を表し、その遷移条件の過冷度に対する依存性を明らかにした。さらに、モデルの数値解から得られた結果を、気液界面上での剪断応力が、凝縮する蒸気により伝達される運動量のみから構成されるという近似手法 (Shekrildze & Gomelaury [2] (SG) の方法) を用いて導出されたものと比較した。

型(i)に対しては、蒸気流に反対する重力の効果により、ある位置で解が終わる。このときの解の長さと平均ヌセルト数は小さな過冷度で増大し、SG 近似から求められた値から大きく離れる。型(ii)の範囲では、数値解とSG 近似による解で液膜の形や解が終わる位置が違うにもかかわらず、平均ヌセルト数はSG 値とよく一致する。型(ii)の数値解の最大長さからさらに凝縮板の長さを増やすと、型(ii)のSG 解の最大長さに至るまでは、型(iii)の最も薄い液膜の数値解に対する平均ヌセルト数は初めにSG 値から離れる。そ

の後、平均ヌセルト数はSG 値に近づき、長い板に対しては、両者は次第に蒸気流がない場合の Nusselt [3] の値に接近する。

本研究の内容は、第14回伝熱と流体力学、熱力学に関する国際会議および日本流体力学会年会2019で発表され[4, 5]、さらに国際学術誌に論文として発表された[6]。

参考文献

- [1] Fujii T, Uehara H. Laminar filmwise condensation on a vertical surface. *Int. J. Heat Mass Transf.* 1972;15(2): p.217-233.
- [2] Shekriladze I G, Gomelaury V I. Theoretical study of laminar film condensation of flowing vapour. *Int. J. Heat Mass Transf.* 1966;9(6): p.581-591.
- [3] Nusselt W. Die Oberflächenkondensation des Wasserdampfes. *Z. Ver. Deut. Ing.* 1916;60(27): p.541-546.
- [4] Kanatani K. Laminar film condensation on a vertical surface with an upward vapor flow. 14th International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics (HEFAT 2019);2019-7-22 (Wicklow, Ireland). 2019; p.920-925.
- [5] 金谷健太郎. 上昇蒸気流中における鉛直板上の層流膜状凝縮 (会). 日本流体力学会年会 2019 予稿集: 2019-9-15 (調布). 2019; p.014-1-014-4.
- [6] Kanatani K. Flow Regimes for Laminar Film Condensation on a Vertical Plate With an Upward Vapor Flow. *J. Heat Transf.* 2020;142(4): p.041603-1-041603-9.