



HOKKAIDO UNIVERSITY

| | |
|---------------------|---|
| Title | 非凝縮性気体分子の存在下における蒸気分子の蒸発と凝縮に関する平均場運動理論解析 [論文内容及び審査の要旨] |
| Author(s) | 大橋, 広太郎 |
| Degree Grantor | 北海道大学 |
| Degree Name | 博士(工学) |
| Dissertation Number | 甲第15354号 |
| Issue Date | 2023-03-23 |
| Doc URL | https://hdl.handle.net/2115/89556 |
| Rights(URL) | https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/ |
| Type | doctoral thesis |
| File Information | Kotaro_Ohashi_review.pdf, 審査の要旨 |



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士(工学) 氏名 大橋 広太郎

審査担当者 主査 准教授 小林 一道
副査 教授 大島 伸行
副査 教授 渡部 正夫
副査 教授 村井 祐一

学位論文題名

非凝縮性気体分子の存在下における蒸気分子の蒸発と凝縮に関する平均場運動理論解析
(Mean-field kinetic theory analysis on the evaporation and condensation of vapor molecules in the presence of non-condensable gas molecules)

本学位論文において対象としている液体の蒸発および蒸気の凝縮は工業の様々な場面で見られる現象である。蒸発・凝縮といった相変化現象は、気液界面近傍における分子群の非平衡性から引き起こされる現象である。このような相変化に伴う質量・運動量・エネルギー輸送量は、連続体を前提としている流体力学では求めることができず、分子気体力学を用いて取り扱うことができる。分子気体力学は、分子の速度分布関数を用いて記述されており、その速度分布関数の支配方程式である Boltzmann 方程式を解析することで、気体の密度場や温度場といった巨視量の時空間発展を知ることができる。

分子気体力学解析を用いて気液界面における各輸送量を正しく知るためには、その界面において速度分布関数として境界条件を課す必要がある。この境界条件には蒸発係数と凝縮係数と呼ばれる 0 以上 1 以下の値を持つパラメータが含まれている。これまでも数多くの研究が行われてきた蒸発係数と凝縮係数については現在も未解明な問題が存在する。例えば、近年では、気体中に存在する非凝縮性気体が、蒸気分子の蒸発係数や凝縮係数に影響を与えることが明らかとなっているが、その詳細について未だ統一的な見解が得られていない状況である。このことから、本学位論文では、平均場運動解析を用いて蒸発係数や凝縮係数に対する非凝縮性気体の影響に関する解析を行った。

当該研究では、第一に、気液平衡状態における蒸気分子の蒸発係数と凝縮係数の値に対する非凝縮性気体の影響について検討した。液体表面における個々の分子の運動を解析することで蒸発係数および凝縮係数の値を取得した。この結果、蒸発係数および凝縮係数の値は、気液界面近傍の非凝縮性気体分子の数が多くなるほど、つまり気体の圧力が大きくなるほど、その値が減少することが明らかとなった。この結果より、非常に高圧条件下において、蒸気分子は非凝縮性気体分子のようにふるまうことが明らかとなった。

第二に、気液非平衡状態における蒸発係数と凝縮係数の値に対する非凝縮性気体の影響について検討した。対象としている非平衡系として、温度差の異なる二液膜問題について解析を行った。このような非平衡系を解析した結果、蒸発係数および凝縮係数の値は、気液平衡状態で求めた値と同じ値を取ることが明らかとなった。また、蒸発係数および凝縮係数の液体温度の依存性についても詳細に調べた。その結果、蒸発係数および凝縮係数の値は、液体温度および非凝縮性気体の密度の関数として記述できることが明らかとなった。

第三に, 高速に動く液体表面における蒸発係数と凝縮係数の値に対する非凝縮性気体の影響について検討した. 液体を超音速で移動させることで液体表面には蒸気分子の凝縮が起こる. この研究の結果, 液膜が超音速で動く非定常な非平衡系においても, 蒸発係数および凝縮係数の値は, 気液平衡状態で求めた値と同じ値となることが明らかとなった. この結果より, 気液平衡状態の蒸発係数および凝縮係数の値を求めておけば, その値を Boltzmann 方程式の境界条件に使用できることが明らかとなった.

これを要するに, 筆者は多様な気液平衡・非平衡状態下における蒸気分子の蒸発係数および凝縮係数に対する非凝縮性気体分子の影響を明らかにした. ここで得られた蒸発係数および凝縮係数の値を用いた分子気体力学解析により, これまでは無視されていた気液界面近傍の微視的現象を適切に反映した流体力学方程式系に対する境界条件を導出することが可能となる. これら結果は, 物理化学, 気象学といった様々な分野の基礎的知見のみならず, 熱流体物理工学に貢献するところ大なるものがある. よって, 筆者は北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める.