

氏 名	と い とし ゆき 土 井 俊 行
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3229 号
学位授与の日付	平 成 9 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 題 目	平面凝縮相からの蒸発流およびそれへの凝縮流の気体論的研究：蒸気流におよぼす非凝縮性気体の影響

論文調査委員	(主 査) 教 授 青 木 一 生	教 授 曾 根 良 夫	教 授 荻 野 文 丸
--------	----------------------	-------------	-------------

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、近年の分子気体力学における重要な研究テーマである蒸発・凝縮を伴う気体の流れを取り扱ったものである。その基本的問題として関心が持たれていた平面凝縮相からの蒸発流およびそれへの凝縮流を、蒸気と非凝縮性気体の混合系について、分子気体力学方程式の理論解析、数値解析によって調べ、流れの基本的性質を解明したもので、三つの章より成っている。

第1章は序言で、まず問題の背景として非凝縮性気体を含まない蒸気のための1成分系に対するこれまでの研究成果および平面凝縮相の問題の基本的な重要性について述べ、次いで蒸気・非凝縮性気体混合系についての研究の必要性および第2章、第3章で取り扱う内容を手短かに述べている。

第2章では、無限に広い平面凝縮相が半無限空間を占める静止平衡状態の非凝縮性気体に突然接したときに起こる蒸気の間断蒸発の問題を調べている。まず問題と仮定を述べた後、衝突項に Garzó らのモデルを仮定した混合気体ボルツマン方程式を用いて問題を定式化している。次に、無次元変数を導入して問題を特徴付ける無次元パラメータを明らかにするとともに、予備的解析を行って方程式、境界条件、初期条件に含まれる独立変数の数を減らし、実際の数値解析を可能にしている。さらに差分法による数値解法を詳述した後、実際の数値解析を行っている。これにより、凝縮相からの蒸気の蒸発流とそれによって起こる非凝縮性気体の流れの時間的変化を精密に求め、物理的考察とあわせて蒸気・非凝縮性気体の挙動の詳細を明らかにしている。半無限空間における気体の定常状態として次の2つのもの、すなわち(i)非凝縮性気体がすべて無限遠に吹き流された状態での蒸気のための定常蒸発流、および(ii)蒸気の蒸発が止まった状態での蒸気・非凝縮性気体混合系の静止平衡状態、が存在することは容易に分かるが、特にここでは、それらがどのような初期状態に対してどのような過程を経て最終的に実現するかが明らかにされている。この数値解析では、非常に長時間、遠方場に及ぶ計算が行われているが、それを可能にするための種々の計算上の工夫が導入されている。また、長時間経過後の振る舞いから時間無限大の極限における状態を数値的に正しく予想する方法が考案されている。さらに、数値計算の精度についても十分な吟味が行われている。

第3章では、遠方から平面凝縮相に吹き付けてそこで凝縮を起こしている定常蒸気流の問題を、系内にあらかじめ一定量の非凝縮性気体が含まれている2成分系に対して調べている。まず1成分系に対するこれまでの結果をまとめた後に2成分系についての問題と仮定を述べ、問題の定式化を行っている。次に蒸気分子と非凝縮性気体分子が力学的に等しい場合を考え、この場合にはもともとの連立非線形ボルツマン方程式の境界値問題が、混合気体全体に対する単一の非線形境界値問題と非凝縮性気体に対する線形同次境界値問題に分離できること、さらに前者は蒸気のための凝縮流の問題と等価であることを、標準型ボルツマン方程式に基づく解析によって示している。この解析的工夫により、定常状態が実現している場合に成り立つ凝縮相パラメータ（凝縮相の温度、その温度における蒸気の飽和蒸気圧）、遠方での蒸気のパラメータ（蒸気の温度、圧力、流速）、および非凝縮性気体含有量の間の関係の基本的性質を明らかにするとともに、この関係を具体的に求めるための数値計算量を大幅に減らし、実際の数値計算を可能にしている。次に、混合気体ボルツマン方程式に Garzó らの衝突項モデルを用いて第2章と同様差分法による精密な数値解析を行っている。これにより、上述の関係、すなわち定常解が存在するパラメータの領域を具体的に求めるとともに、非凝縮性気体含有量が臨界値を超えると、無限遠の蒸気流が或る速さ以下の亜音速流か或る速さ以上の超音速流である場合にだけ定常解が存在する、などの重要な性質を明らかにしている。さらに、蒸気および非凝縮性気体の分子数密度、温度、流速などの巨視的物理量やそれらの分子の速度分布関数の挙動、特にそれらに対する非凝縮性気体含有量の影響を解明している。最後に、凝縮相界面におけるより一般的な境界条件に対する結果が上で求めた結果の簡単な読み替えで与えられることを示し、その読み替え公式を具体的に与えている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、平面凝縮相からの蒸気の蒸発流およびそれへの蒸気の凝縮流を、蒸気・非凝縮性気体混合系に対して、分子気体力学をもとに解析的な工夫と精密な数値解析によって解明したもので、得られた主な成果は次の通りである。

1. 平面凝縮相が半無限領域を占める静止平衡状態の非凝縮性気体に突然接したときに起こる蒸気の間定常蒸発流とこれによる非凝縮性気体の運動を、精密な数値解析によって詳細にわたり明らかにした。特に、物理的に考えられる二つの定常状態、すなわち非凝縮性気体がすべて無限遠に吹き流された状態での蒸気のための定常蒸発流および蒸気の蒸発が止まった状態での混合気体の静止平衡状態、がどのような初期状態からどのような過程を経て最終的に実現するかを初めて明らかにした。
2. 遠方から平面凝縮相に吹き付けてそこで凝縮を起こしている高速蒸気流の問題を、系内にあらかじめ一定量の非凝縮性気体が含まれている場合について調べ、定常状態が実現するための条件を初めて明らかにするとともに、流れの場を具体的に求め、それらに対する非凝縮性気体含有量の影響を解明した。ここでは、蒸気と非凝縮性気体の分子が力学的に等しい場合に、もともとの連立非線形ボルツマン方程式の境界値問題が、混合気体全体に対する単一の非線形境界値問題と非凝縮性気体に対する線形同次境界値問題に分離できることを巧みに利用し、これに精密な数値解析を組み合わせ、問題の解析に成功している。
3. 種々の数値解析上の工夫により、分子気体力学方程式の非常に長時間、遠方場におよぶ精密な数値解

析を可能にしている。また、長時間経過後の解の振る舞いから時間無限大の極限における状態を数値的に正しく予測する種々の方法を提案している。

以上要するに、本論文は、分子気体力学の基礎的問題であり工学上も広い分野で関心が持たれている蒸気・非凝縮性気体混合系の平面凝縮相における蒸発・凝縮の問題を、分子気体力学をもとに精密に解析し、その詳細を明らかにしたもので、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。

また、平成9年1月21日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。