

氏 名 高 野 泰 齊  
たか の やす なり  
 学位の種類 工 学 博 士  
 学位記番号 論 工 博 第 1198 号  
 学位授与の日付 昭 和 54 年 7 月 23 日  
 学位授与の要件 学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当  
 学位論文題目 Studies on Ionization Relaxation Phenomena in  
 Shock-Induced Boundary Layers and Free Streams  
 (衝撃波により生成される境界層および主流内の電離緩和現象  
 に関する研究)

論文調査委員 (主 査)  
 教 授 赤 松 映 明 教 授 福 田 國 彌 教 授 桜 井 健 郎

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、電離気体の流体物理学的特性を全体的に解明する事を目的として、電離気体の境界層流、主流および流れ場の電離緩和現象について研究を行った結果をまとめたもので、緒論、3章と結論からなっている。

緒論においては、電離気体の特徴とそれが関係する工学的諸問題について述べ、衝撃波管を用いて行う研究の有用性について論じている。さらに衝撃波管で得られる電離気体の流れの説明が行われた上で、各章との関連とその概要が述べられている。また、いずれの章においてもアルゴン気体を試料気体とするとしている。

第1章では、衝撃波管内を進行する入射衝撃波の足もとから管壁上に発達する境界層の特性を数値解析によって解明している。まず、境界層の外側の主流の電離緩和について論じている。つぎに電離反応性と熱的非平衡性とを考慮した境界層方程式を提示し、座標変換と変数変換とにより無次元方程式を導き、適合条件と境界条件について論じている。陰的差分法であるクランク・ニコルソン法を適用して、衝撃波管管壁境界層の数値計算を行い、境界層の特性が衝撃波の背後の主流の電離緩和に対応して変化する事を見出している。

第2章は、衝撃波管の管端における電離衝撃波の反射過程を理論的ならびに実験的に明らかにしたものである。この章の前半は理論的研究について述べており、まず、基礎方程式を提示し、電子温度を局所定常状態近似で求める方法を提案し、陽的差分法である2段階ラックス・ベンドロフ法を適用し数値計算を行っている。その計算結果より、反射衝撃波背後の流れ場は電離緩和過程と干渉し複雑な流れ場となる事、そして反射衝撃波は初期反射衝撃波、透過反射衝撃波および合体反射衝撃波の3つの部分からなる事を示し、とくに入射衝撃波が強い場合には、反射衝撃波が管端の方に戻る事を指摘している。また、同様の数値解析を行い、輻射エネルギー損失の流れ場に対する影響を調べている。

この章の後半では、ピストン駆動型衝撃波管を用いて行った実験について述べており、実験装置と実験

法を説明し、実験結果を示している。シュリーレン法流しカメラ撮影による衝撃波の反射過程の可視化により、反射衝撃波は理論的に予想される様に3つの特徴的部分からなる事が実験的に検証され、とくに初期圧1 torrの条件では初期反射衝撃波の戻りを観察している。さらに上述の実験では、反射衝撃波は入射衝撃波背後の電離波面と干渉する際に分枝を生じる事が認められるため、パルス色素レーザーを光源とし反射衝撃波流れ場の可視化を行い、反射衝撃波の分枝が電離緩和過程と波との干渉の結果として複雑化する事を明らかにしている。

第3章では、衝撃波加熱アルゴン気体の電離緩和過程について詳細な議論を行っている。アルゴン原子のエネルギー準位としては、実際の6つの水素型準位からなる15段階にとり、各準位間の原子・原子および原子・電子衝突性遷移は理論的根拠のある励起および電離断面積から求め、輻射性遷移に対しては線輻射の自己吸収を評価する近似式を提案し、さらに電子エネルギー保存式に対しては従来よりも厳密な表現を与えている。この多段階励起電離モデルを入射衝撃波背後の電離緩和領域に適用し、従来多く行われている2段階モデルの結果とは異なる結果を得ている。すなわち衝撃波直後の初期電離領域では励起準位の密度が著しく過剰となり、そのために電子温度が低下する。その背後のゆるやかに電離が進行する領域では、励起原子の占有密度は原子・原子衝突性励起と励起原子・電子非弾性衝突による遷移との釣り合いにより決定される。また計算結果から、輻射エネルギー損失における自己吸収の評価が重要であると指摘している。

最後に、上述のことをまとめて結論としている。

### 論文審査の結果の要旨

高温気体の流れにおける電離あるいは解離現象等の緩和過程は種々の工学的問題に関連して重要であり、また、流体物理学としても興味ある問題である。高温気流を作り出す実験装置の一つとして衝撃波管装置があり、この装置は衝撃波あるいは非常常流等についての流体力学の実験装置として有用であるばかりでなく、電離・解離をはじめ高温での気体の反応過程の解明にも広く用いられている。

本論文は衝撃波管装置において生成される電離衝撃波とその背後の高温気流に関して、境界層とその主流における電離緩和過程、衝撃波の伝播と反射に及ぼす電離緩和の影響ならびに衝撃波によって加熱されたアルゴン気体の電離非平衡過程の詳細な構造を数値解析ならびに実験によって明らかにしたものである。なお、ここで実験の対象としたアルゴン気体の電離衝撃波は、初期圧力が1~5 torr、衝撃マッハ数が12~16の範囲のもので、得られた主な成果はつぎの通りである。

1. 衝撃波直後の電離緩和領域において境界層方程式を差分法によって解き、主流での緩和過程の進展に対応して、管壁面に発達する境界層内での電離緩和過程を明らかにした。従来、この種の解析は、主流の状態が単純な電離平衡流れあるいは電離凍結流れに限られていたのを、主流が非平衡の場合について解析をすすめたものであり、境界層内の温度が、一部、主流よりも高くなって電離反応がかえって促進されるなど特異な構造を有していることを見出した。

2. 進行衝撃波が管端で反射した直後、急速にすすむ電離反応によって温度が低下し、このため膨張波が発生して、これが反射衝撃波を弱め、その速度をおそくする。さらに、この反射衝撃波が入射衝撃波後

方の電離波面に達すると一段と弱められて、反射衝撃波が一時後戻りするなどの特異な現象を生じるが、これを数値解析によって予測し、また、流し写真撮影によって実験的にも確めた。さらに、反射衝撃波が管壁面に接する所で $\lambda$ 型の複雑な分岐が生じることを流れ場の瞬間写真によって明らかにし、これは、従来、単原子気体では起らないとされていた現象であるが、反射衝撃波の減速ないし後戻りが、壁面境界層のはくりを促す結果生ずるものであることを明らかにした。

3. 衝撃波によって加熱されたアルゴン気体について電離緩和過程を明らかにするため、アルゴン原子のエネルギー準位が基底状態近傍の6つの準位とそれより上位の9つの水素型準位から成る15の準位で表わされるとし、各準位間の原子・原子ならびに原子・電子衝突性遷移は十分根拠のある励起・電離断面積から求め、また、輻射性遷移については線輻射の自己吸収を考慮して従来のモデルよりも精確な多段階励起電離モデルを提示した。このモデルを用いて入射衝撃波背後の電離緩和領域について数値解析を行い、その結果、電離の初期では低準位の占有密度が過剰となって電子温度が低下し、ついで、原子・原子衝突性励起と励起原子・電子非弾性衝突による遷移とが釣り合った後、平衡状態に達することを明らかにした。

以上要するに本論文は、流れと電離緩和現象との相互作用を明らかにするとともに衝撃波管装置における電離衝撃波の伝播と反射特性ならびに境界層とその主流における電離非平衡過程を解明したもので、学術上、實際上寄与する所が少くない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。