

氏 名	松 岡 一 起 まつ おか かず おき
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 900 号
学位授与の日付	昭 和 51 年 5 月 24 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 Boundary Layer Structure in a Partially Ionized Gas Flow (弱電離気体流れにおける境界層の研究)

論文調査委員 (主 査)
教 授 神 元 五 郎 教 授 玉 田 珧 教 授 桜 井 健 郎

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、弱電離アルゴン・プラズマ非平衡流れにおかれた平板および鈍頭物体に沿う境界層の構造を理論的に数値解析し、実験的には、低密度プラズマ風洞を用いてそれらの構造を測定し、両者の結果を比較検討したもので、6章、結論よりなっている。各章には、それぞれの章毎に研究の経緯を述べて緒言としている。

第1章では、超音速流中の平板境界層の研究には、板の先端より生じる斜めの衝撃波と境界層との相互干渉を考慮に入れる必要がある点に注目して、低密度プラズマ風洞内の平板境界層に対する干渉の影響を数値解析している。この干渉を表わす干渉パラメータ $\bar{\lambda}$ ($\equiv M_\infty^3 / Re_\infty^{1/2}$, M_∞ は一様流のマッハ数, Re_∞ はレイノルズ数)はこの風洞実験では2~5の範囲にあるが、強い干渉領域 ($\bar{\lambda} \geq 1$) や弱い干渉領域 ($\bar{\lambda} < 1$) に対しては既に解析が行われているので、著者はこの中間領域における物理量を吟味するために、超音速流におかれた平面上に沿う境界層の排除厚さだけ変形したくさびの周りの流れにおきかえ、極超音速流における Tangent-Wedge 近似を用い、境界層端 (くさび面) におけるマッハ数 M_0 、圧力 P_0 の勾配を、弱い干渉領域からは M_0/M_∞ を、強い干渉領域からは P_0/P_∞ を媒介変数として計算して、ほぼ連続した結果を得ている。ここに P_∞ は一様流の圧力である。

第2章においては、熱的平衡の仮定の下に、弱電離気体流れの平板境界層内の速度分布、ガス温度分布、荷電粒子分布などに及ぼす壁面の触媒性と干渉パラメータ $\bar{\lambda}$ の影響について理論的に解析している。平板先端では強い干渉理論を、下流では弱い干渉理論を、それぞれ境界層方程式に用いて解析を行うのであるが、凡ての物理量を干渉パラメータ $\bar{\lambda}$ で級数展開する方法は、極めて収束性が悪い。よって $\bar{\lambda}$ をも含む新しいパラメータ ξ を導入して収束性を高めて数値計算を行なっている。計算の結果、速度分布については平板全域に亘って Blasius 解が適用でき、ガス温度分布については平板先端近くと下流とでは分布状態が異なり、下流に向うにしたがって超音速流特有の分布状態となり、触媒反応効果が僅かに現れることを示し、イオン濃度分布については干渉パラメータ、触媒反応速度がともに分布状態に大きく影響すること

を明らかにした。

第3章では、電氣的に浮動状態にある平板境界層内における電子温度分布と電子-イオン対質量濃度分布を、化学的凍結流の仮定の下に、斜めの衝撃波の影響を無視して計算している。一般に弱電離気体の場合、壁面の電位はプラズマ電位より低いいため境界層厚さに比べて極めて薄いイオン・シースが形成される。このシース端における電子エネルギー、イオン質量の連続の条件、正味イオン電流密度零という境界条件より、壁面における電子-イオン対質量濃度勾配、電子温度勾配の関係を求め、また境界層内ではシースが薄いため電子とイオンは両極性拡散を行うとして計算した。その結果、自由流ではイオン-原子温度と電子温度とを等しいとおいたにも拘らず、境界層内では両者は完全に非平衡であり、電子温度境界層厚さはイオン-原子温度境界層厚さに比べて極めて厚く、電子温度の変化は極めて小さい。壁温が極端に低い場合、電子温度は冷却効果により下降するが、電子-イオン対質量濃度分布は余り影響を受けないなどが見出された。

第4章においては、低密度プラズマ風洞を用いて、マッハ数3.5の弱電離アルゴン流内の平板境界層内の電子温度分布、イオン数密度分布を、円筒型ラングミュア・プローブによって計測した結果について述べている。境界層端における物理量は衝撃波と境界層との干渉を考慮して、流れを化学的凍結流とした場合と化学的再結合のおこる場合とにおいて計算しているが、凍結流れとした計算結果が上記の実験結果に対して電子温度分布とよく一致し、イオン数密度分布とは近い結果を示している。又平板壁温は実験値に対して大きい影響を与えないことを示した。

第5章では、平板に埋め込んだフラッシュ・プローブの特性と、このプローブによる境界層内の荷電粒子数密度と壁面電子温度などを測定した結果について述べている。計測結果は上記のシース境界条件で数値計算された結果とよく一致し、プローブの大きさ、位置による実験結果への影響およびシースの発達の状況を捕集イオン電流密度の計測によって明らかにし、境界層端におけるイオン数密度を数値計算により推測できることを見出している。

第6章においては、弱電離高速流中の鈍頭物体前方の離脱衝撃波を横切って岐点境界層を考え、衝撃波上流に生じる電子熱層と電子温度境界層の干渉を考慮して、一樣流より壁面までの電子温度分布を計算している。この場合、物体が浮動電位の状態にあり、流れが化学的凍結流の場合と物体が電位を与えられ、流れが化学的再結合流れの場合について数値計算を行ない、壁面より衝撃波直後までの境界層、非粘性層を横切る電子温度の変化は小さく、再結合流の場合の電子温度は凍結流の場合に比べて高いことを示した。

結論は、以上の結果を要約している。

論文審査の結果の要旨

弱電離気体流れにおける境界層の研究は、電離層における飛翔体、再突入物体などの周りの流れに関連して流体力学的に興味のある問題であり、これらの流れをシミュレートする低密度プラズマ・ジェット風洞における境界層の測定法にも多くの問題点がある。本論文は、この風洞を用いて弱電離アルゴンの高速流中におかれた平板に沿う境界層内の電子温度、荷電粒子数密度分布を円筒型静電プローブによって測定

し、またこの平板に埋め込んだフラッシュ・プローブによって壁面上のこれらの電子温度、イオン数密度を測定するとともに、このプローブ特性についても実験を行ない、以下に述べる数値解析の結果と比較検討したものである。

先づ超音速流中に流れの方向におかれた平板においては、その先端から発達する境界層と斜めの衝撃波との干渉を考慮したパラメータと平板壁面の触媒性とは、平板境界層内の速度分布、ガス温度分布、荷電粒子分布等に及ぼす影響について熱的平衡の仮定の下に解析し、またプラズマ風洞内の非平衡電離アルゴン高速流中の平板境界層内におけるガス温度、電子温度ならびに荷電粒子数密度分布を、化学的凍結流の仮定、浮動電位の条件の下に、斜めの衝撃波の影響を無視して数値解析して、以上の実験結果との比較から多くの成果を得ているが、得られた成果のうち注目すべき点は次のようである。

(1) 熱的平衡なプラズマ流中の平板境界層内における速度分布、ガス温度、イオン質量濃度分布を、板の先端から後方に亘って、干渉パラメータを含む新しいパラメータの導入によって収束性のよい数値計算法を見出し、壁面の触媒反応を考慮して、計算を行なっている。

(2) 浮動電位にある平板壁面のイオン・シース端において、電子エネルギー、イオン質量の保存ならびに正味イオン電流密度が零という条件から、壁面における境界条件を求め、平板境界層内の電子温度は、平板自由流の仮定に拘らず、完全に非平衡であることを示した。

(3) 非平衡アルゴン・プラズマ流中の平板境界層内の電子温度分布、イオン数密度分布の円筒型プローブ測定の結果は、流れを化学的再結合を考慮した数値計算の結果よりも、凍結流れとした結果に近いことを示した。

(4) フラッシュ・プローブの特性は、上記のシース端における条件から数値解析される結果とよく一致し、これによって境界層端におけるイオン数密度を数値的に推測できることを明らかにした。

(5) 弱電離高速流中の鈍頭物体前方の離脱衝撃波を横切る岐点境界層についても電子熱層と電子温度境界層との干渉を考慮して、電子温度分布を一様流より壁面に亘って数値解析を行なっている。

以上要するに、この論文は弱電離アルゴン・プラズマ流中におかれた平板境界層について測定した結果を、弱電離気体の境界層方程式の種々の条件、仮定の下に解析した数値結果と比較検討したものであって、学術上は勿論実際上にも寄与するところが少なくない。

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。