

論文審査の結果の要旨

氏名 松井 信

本論文は、"Application of Laser Absorption Spectroscopy to High Enthalpy Flow Diagnostics" (レーザー吸収分光法の高エンタルピー気流診断への応用)と題し、低圧プラズマ診断のためのレーザー吸収分光法の開発と、それを利用した各種プラズマ風洞の特性評価を目的として、レーザー吸収分光法の適用範囲・精度を検証し、並進温度測定における吸収飽和の影響及び補正係数を提案した上で、コンストリクタ型アーク風洞及び誘導加熱風洞気流診断へ適用し、気流の諸特性を研究したものであり、6章より構成されている。

第1章は序論であり、研究の背景と目的を述べている。再突入環境を模擬する装置としてのプラズマ風洞、及びその診断手法一般について概論し、本研究で計測対象としてコンストリクタ型アーク風洞と誘導加熱風洞を、診断法としてレーザー吸収分光法を選択した背景を紹介している。また過去にレーザー吸収分光法を高エンタルピー気流診断へ応用した例がほとんどないこと、本手法により従来のプローブ法では困難であった並進温度、数密度測定を非接触に測定することが可能となることを明示し、本研究の意義を説明している。

第2章は「レーザー吸収分光法」と題し、その理論的背景及び本研究で開発した計測システムについて述べている。本システムでは半導体レーザーを用いることにより非常にコンパクトな計測システムの開発に成功しており、実際に国内やドイツの諸施設にあるプラズマ風洞に持ち込んで計測することによりその携帯性を証明している。

第3章は「レーザー吸収分光法の適用範囲」と題し、吸収率と並進温度測定の誤差の関係を理論的に検証し、プローブレザーの強度検出誤差が0.01%の計測システムにおいて、温度測定誤差を5%以下の精度で行うには吸収率が1%以上必要であることを示している。また、レーザー強度が並進温度測定に与える影響を検証し、その結果、レーザー強度が飽和レーザー強度以上になると並進温度が高く見積もられることを実験的に示した。さらにこの現象を説明するために低圧プラズマ吸収飽和の新しいモデルを提案し、実験結果と良い一致を得た。この結果、レーザー強度と温度測定精度の関係を解明し、プローブレザー強度の上限を明らかにすると共に、それを超える強度の場合でも真の温度を見積もることができる補正係数を提案している。

第4章は「アーク風洞気流への応用」と題し、コンストリクタ型アーク風洞における酸素混合過程に焦点を置き、準安定準位の酸素原子数密度及びアルゴン数密度の空間分布を計測し、またCFD計算結果と比較検証している。その結果、このタイプの風洞ではコンストリクタ部で混入された酸素の大半が、主流であるアルゴン流中に形成される高温カソードジェット部を通過せずにノズルから排気されるため、プルーム中での酸素解離度が非常に低いことを明らかにした。また、解離度を向上させるため、流速が比較的遅く、密度が大きいコンストリクタ部上流で混合が促進するように供給口を改良することを提案している。

第5章は「誘導加熱風洞気流への応用」と題し、誘導加熱風洞気流の並進温度の空間分布、及びその時間履歴を計測している。また、この結果と平衡計算を組み合わせることで、気流の全エンタルピー及び酸素解離度を推定し、時間平均の酸素解離度は92%、化学ポテンシャルは全エンタルピー

の 42%を占めることを明らかにしている。さらにプローブ法により推定される時間平均全エンタルピー分布とも非常に良い一致を得ており、本計測結果が定量的にも妥当な値を与えていることが示されている。

第 6 章は結論であり、本論文の研究成果をまとめている。

以上要するに、本論文は高エンタルピー気流を診断するためのレーザー吸収分光計測システムを開発し、その適用範囲・精度を検証した上で 2 種類のプラズマ風洞へ応用し、コンストリクタ型アーク風洞に関してはその酸素混合過程を解明し、また誘導加熱風洞に関してはエンタルピーの空間分布及びその時間履歴を明らかにしており、これらの結果は、プラズマ風洞の気流特性の評価、およびその設計・改良に応用ができ、先端エネルギー工学、特に高温空気力学に貢献するところが大きい。

なお、本論文第 3 章は、JAXA 水野雅仁博士との共同研究、第 4 章はシュツットガルト大学 Monika Auweter-Kurtz 教授、Georg Herdrich 博士、との共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験および検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（科学）の学位を授与できると認める。