

論文審査の結果の要旨

氏名 野村 哲史

修士（科学）野村哲史提出の論文は，“Highly Sensitive and Point-Measurement Laser Spectroscopy of High Enthalpy Flow”（邦題：高エンタルピー気流の高感度および点計測レーザー分光計測）と題し、6章から成っている。

高エンタルピー風洞のプラズマ気流は熱化学的に非平衡であり、並進温度はその非平衡性を議論する上で最も重要な物理量である。プラズマ気流の並進温度の分光計測には、ピコメートル以下のオーダーの高い波長分解能が必要であり、非常に線幅の狭い半導体レーザーを光源に用いたレーザー吸収分光法およびレーザー誘起蛍光法が有力な計測手段となる。しかし、従来の半導体レーザー分光法によってすべての風洞気流条件を測定できるわけではなく、特に光学的に薄いプラズマ、厚いプラズマ、あるいは半径方向に流速成分を持つ衝撃層内の並進温度には適用できないという課題があった。

そこで、本論文では独創的な手法で半導体レーザー分光法の適用範囲を拡張している。具体的には、高感度なレーザー吸収分光法のプラズマ風洞計測への適用、レーザー誘起蛍光法の光学的に厚いプラズマへの適用範囲拡張、そして、衝撃層内計測のための点計測レーザー吸収分光法の開発が述べられている。

第1章は序論であり、研究の背景と目的を述べている。

第2章では、原子線スペクトルのドップラー拡がり、およびレーザー吸収飽和によるプロファイルの歪みについて、その原理を述べている。

第3章では、光学的に薄いプラズマへのレーザー吸収分光法の拡張として、微小な酸素原子の吸収を計測するため、光学的共振器により光路長を増倍するキャビティエンハンスド吸収分光法を適用し、JAXA 750 kW アーク加熱風洞空気プラズマ流の温度計測を試みている。風洞運転に起因する機械的振動環境下で、真空チャンバーを挟んだ長距離の光学的共振状態を維持しつつ微小な吸収信号を得るため、半導体レーザーの周波数掃引速度と共振モードに留意しながら共振器を構築し、データ解析において共振モードの選別と多重掃引によるプロファイルの平均を行うことで、機械的振動による感度低下の問題を解決している。その結果、有効光路長を従来の150倍に増倍し、世界で初めて空気プラズマの吸収信号の取得、並進温度の計測に成功している。

第4章では、半導体レーザー誘起蛍光法の適用範囲を光学的に厚いプラズマへと拡張している。光学的に厚いプラズマにおいては、プローブレーザーの吸収、吸収飽和、および蛍光の再吸収が原因となり、最終的に得られる並進温度が過大に評価される傾向にあるが、その影響は、励起と蛍光が同じ二準位間の遷移であり、かつ軸対称気流の中心軸上のみを計測するという条件に限れば補正可能であることを理論的に示している。また本手法を、アブソーバンス0.4の光学的厚さを有する1 kW アーク加熱風洞アルゴンプラズマ流の分光計測に適用している。プローブレーザーの吸収は高強度レーザーでの吸収分光結果、蛍光の再吸収は低強度レーザーでの吸収分光結果、吸収飽和はレーザー強度を変化させながらの吸収分光結果を利用して補正し、合計で10%の下方補正が行われて正しい温度を得たと述べている。従来手法のようなトモグラフィによるデータ再構築を必要とせず中

心軸上分布を得られる本手法は、風洞計測において意義深い。

第5章では、点計測が可能なレーザー吸収分光法として、クロスビーム飽和吸収分光法を並進温度計測法へと発展させている。クロスビーム法において、挟線幅の半導体レーザーを光源に用い吸収線拡がりを評価した計測は例がなく、新規性が認められる。まず、本計測法における拡がり関数を導出し、その妥当性を1 kW アーク加熱風洞アルゴンプラズマ流計測において従来の計測法と比較することで評価している。次に、風洞内に置かれた試験体前方に形成される衝撃層の内部の計測に適用し、淀み流線上の温度分布を得ている。この気流は連続流と自由分子流の間の中間流で、衝撃波と温度境界層が融合した構造となり、流線上の最高温度は、自由流中の温度とマッハ数から見積もられる淀み点温度と妥当な一致を示している。

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風洞気流診断において今まで計測できなかった条件下での物理量を計測するために、半導体レーザー吸収分光法および誘起蛍光法の適用範囲を拡張したものである。これらの結果は数値流体力学のモデル検証にも利用でき、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、小紫公也、高柳大樹、藤田和央、第4,5章は小紫公也、金子剛、荒川義博との共同研究であるが、いずれも論文提出者が主体となって実験ならびに解析を行ったもので、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。