

# 論文審査の結果の要旨

氏名 高柳 大樹

修士（工学）高柳大樹提出の論文は、“Application of High-Sensitive Laser Absorption Spectroscopy to High Enthalpy Flow Diagnostics”（邦題：高感度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、7章および付録から成っている。

レーザー吸収分光法は燃焼工学におけるすすの生成過程の解明、環境分野におけるエアロゾルの観測、医療分野における呼気センシング、半導体製造時の不純物の検出など様々な分野で用いられており、宇宙工学分野においても大気圏突入環境を模擬する高エンタルピー風洞気流や電気推進機プラズマの診断に用いられている。同分光法は同じ非接触診断法である発光分光法やレーザー誘起蛍光法と比較して、気流中の並進温度や数密度が直接測定できること、光学的に厚い気流にも適用可能であること、実験装置の携帯性に優れることなどの長所がある一方、測定感度が低い為に低濃度の吸収粒子には適用できないという短所があった。

しかし近年、様々な高感度レーザー吸収分光法が提案されてきている。本論文では、高エンタルピー風洞気流診断に最適な高感度レーザー吸収分光法について比較検討を行った結果、キャビティエンハンスト法を選定し、気流診断に適用するための光学系を構築するとともに、高いS/N比を実現するために様々な工夫を行って、最終的にアーク加熱風洞気流診断に適用し、その感度、精度について議論している。

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、高感度レーザー吸収分光法の原理と適用性について述べている。高エンタルピー風洞気流の診断に必要なレーザー信号強度、空間分解能、測定データ量、レーザー発振安定性の観点から4つの高感度レーザー吸収分光法の優劣を比較検討し、その中からキャビティエンハンスト法を最も適した方法であると結論付けている。

第3章では、高感度レーザー吸収分光法光学系にモードマッチングレンズと空間フィルターを付加することによって多次モードの共振を抑え、S/N比の高いレーザー共振信号を得ることに成功している。また大気圧プラズマ気流診断に適用し、シングルパスレーザー吸収分光法よりも2桁高い測定感度を達成できることを実証している。

第4章では、圧力容器の外側からガラス窓を挟んで共振器を形成することを試みている。一般に高エンタルピー風洞気流は減圧された圧力容器内に形成されるが、圧力容器のガラス窓でのレーザー光の反射、吸収がレーザー共振を困難にする。そこで、ブリュースター窓と偏光制御器を用いて窓での反射、吸収を抑えることにより、圧力容器中で生成されたマイクロ波低圧プラズマの診断において、大気中での測定と同じく2桁高い測定感度を達成している。また、圧力容器窓を含めた共振器全体のレ

レーザー透過率と、個々の高反射ミラーの透過率を測定することにより、測定感度の実効増倍率を求める方法を提案している。

第5章では、吸収率および並進温度の測定誤差を理論的に検証している。10回の波長掃引データの平均を取ることで、吸収率測定誤差を1%程度に抑えることができること、また吸収率が40%以上となるよう感度を保つことができれば、並進温度の推定誤差を5%以下に抑えられることを示している。さらに、レーザー強度と吸収飽和現象について検証を行い、レーザー強度が高くなるにつれて計測される吸収率が低下することを確認している。しかし、その飽和曲線から見積もられる共振器内の実効レーザー強度は、無吸収の共振器理論から予想される強度より弱く、一般に吸収飽和は起き難いと述べている。

第6章では、キャビティエンハンスト法をコンストリクタ型アーク風洞気流診断に適用し、気流断面の並進温度分布を計測している。アルゴンアーク気流に0.2%ドーピングした酸素を対象にレーザー吸収率を測定した結果、2桁以上高い測定感度を達成すると共に、得られた並進温度分布が、アルゴンを対象に行われたシングルパスレーザー吸収分光計測の結果とよく一致し、本手法が高エンタルピー風洞気流診断に有効な手法であることを示している。

第7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を診断するための高感度レーザー吸収分光計測システムを開発したものであり、その性能、精度を検証した上でアーク風洞気流診断に適用し、得られた温度分布の妥当性を示しており、これらの結果は高エンタルピー風洞や電気推進機の特長評価、およびその設計、改良に応用でき、航空宇宙工学、特に高温空気力学に貢献するところが大きい。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。