

論文の内容の要旨

論文題目 Application of High-Sensitive Laser Absorption Spectroscopy
 to High Enthalpy Flow Diagnostics
(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)

氏 名 高柳 大樹

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に関して研究を行った。本論文は7章から構成されており、第1章では背景としてレーザー吸収分光法の適用例をまとめた。レーザー吸収分光法は燃焼におけるすすの生成過程の解明や環境工学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、反応過程の精密制御など様々な分野において用いられている。宇宙工学においても大気への突入環境を模擬するための高エンタルピー風洞や電気推進器の開発においてそれらの作り出す気流の特性を診断すること重要であり、また非平衡流流体力学計算コードの妥当性の検証にも役立つ。レーザー吸収分光法は同じ非接触の発光分光法やレーザー誘起蛍光法と比較して並進温度や数密度が容易に測定できること、光学的に厚いプラズマにも適用可能であること、実験装置が比較的携帯性に優れることなどの長所がある。しかしながらこれらの分光法と比較して測定感度が低いために適用範囲が限られるという短所がある。高感度レーザー吸収分光法に関しては先に示した分野において近年盛んに研究されているが、これらの測定対象に対して高エンタルピー気流は空間分布があるため1mm以下の空間分解能が必要であること、作動時間に制限があること、また発光強度が大きいという特徴がある。そのため本研究においてはこれらの条件を満たす高感度レーザー吸収分光法の開発を目的とした。

第2章ではレーザー吸収分光法と高感度レーザー吸収分光法の原理を述べ、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に関して比較検討した。その結果、キャビティエンハンスト法におけるレーザー信号強度はシングルパスレーザー吸収分光法に比べて弱いが高感度レーザー吸収分光法に比べて空間分解能が高くレーザー発振に影響を与えずに安定した測定を行うことができる。また測定データ量はキャビティリングダウン法に比べて少なく大容量のデータを素早く保存できるデータローガーを用いることで1断面を20分程度で診断可能であり、高エンタルピー気流診断に適した手法であると結論付けた。

第3章ではキャビティエンハンスト法の測定系を構築し、大気圧プラズマ気流に適用した。空間フィルターを加え、モードマッチングを行うことによって多次モードを抑えS/N比の高い吸収プロファイルを得ることができた。またプラズマトーチ気流が放射冷却や周辺空気の取り込みによって出口からの距離に対して吸収準位アルゴン原子数密度が急激に減少することを利用してキャビティエンハンスト法の検出限界について検討した。その結果、シングルパスレーザー吸収分光法よりも2桁以上高い測定感度を達成した。

第4章ではマイクロ波放電管による低圧プラズマにキャビティエンハンスト法を適用した。ブリュースター窓と偏光制御器を用いることによって高反射ミラーを真空容器の外に置いたままで低圧プラズマに対してキャビティエンハンスト法を適用することができた。その結果を用いてキャビティエンハンスト法における実効増倍率について議論した。シングルパスレーザー吸収分光法を併せて適用できる場合には両者から求めた吸収プロファイルと比較することによって実効増倍率を求めた。一方、シングルパスレーザー吸収分光法が適用できない場合には共振器前後でのレーザー強度比から実効増倍率を求める方法を提案し、30%程度の誤差で実効増倍率が求められた。

第5章ではキャビティエンハンスト法における測定誤差と温度の誤差、吸収飽和の影響について検討した。測定誤差は平均回数を増やすことによって小さくでき、10掃引で数%程度となることを実験的に検証した。次に測定誤差と温度誤差の関係を理論的に考察した結果、測定誤差が1%以下のときキャビティエンハンスト法における吸収率が40%以上あれば5%以下の誤差で温度が求められることがわかった。最後にキャビティエンハンスト法におけるレーザー強度と吸収プロファイルの関係について検討し、キャビティエンハンスト法においても従来のレーザー吸収分光法と同様に吸収飽和が見られることを実験的に確認した。また飽和内部レーザー強度は共振器理論から予想されるレーザー強度よりも小さくなることを示した。

第6章ではアーク風洞に対してキャビティエンハンスト法を適用した。まず初めにシングルパスレーザー吸収分光法が適用可能なアルゴン原子に対してキャビティエンハンスト法を適用し実効増倍率を求めた。次にアルゴン気流に0.2%ドーブした酸素原子に対してキャビティエンハンスト法を適用し、アルゴン原子よりも2桁程度低い積分吸収係数の酸素原子における吸収プロファイルを得た。その結果、アルゴン原子に対して行ったシングルパスレーザー吸収分光法から得られた温度分布とよく一致し、本手法が高エンタルピー気流診断に有効な手法であることを示した。

第7章では以上の結果をまとめている。