

論文の内容の要旨

論文題目 レーザー誘起蛍光法のガス燃焼機器開発への応用に関する研究

氏名 田村雅之

レーザー誘起蛍光法 (Laser-induced Fluorescence : LIF) は、原子や分子、ラジカルの濃度および温度の情報を、高感度、高い時間/空間分解能をもって計測できる手法である。目的とする化学種の電子遷移に励起光波長を共鳴させる手法であるため、化学種の選択性が良く、燃焼場を始めとする複雑な反応系における中間生成物等の検知に特に適している。LIF はこれまでに計測法としての基礎的な部分はよく研究されてきたのであるが、未だに汎用計測法と言うにはあまりにも手のかかる手法であり、その信号の圧力や温度、組成に依存した振舞いなど、その場その場に応じて各論的に対処しなくてはならない。そのため、近年 LIF 計測をエンジンやタービン等の実用燃焼機器開発に応用する試みが始まっているものの、これを盛んに活用することは未だにハードルが高いと認識されている。本論文において記述する研究は、LIF 法を実用ガス燃焼機器の開発に応用することを目的として基礎と応用の橋渡しをするものである。

まず、LIF をガス燃焼機器開発に応用するにあたっていくつかの基礎的な要素検討を行った。本研究の中心的手法として OH とアセトン（後者は燃料レーザーとして用いる）の LIF を選択し、それぞれについて信号の圧力・温度依存性を検討した。LIF の定量性に大きな影響を与える要素はクエンチング（励起化学種の衝突による非輻射失活）である。OH については過去の研究からクエンチングレートの衝突分子種および温度依存性のデータがある程度得られており、低圧一次元予混合火炎についてこれを利用して算出したクエンチングレ

ートの予測値と実測値とを比較し、良好な一致を得た。OH のクエンチングレートはメタン／空気予混合火炎（化学両論比付近の条件）において、いわゆる post flame zone においてはほぼ一定であるという知見を得た。アセトンの LIF についてはその光化学的過程が複雑であり、現在のところ現象を適切に記述するモデルは得られていない。本研究ではアセトンの LIF 信号の温度・圧力依存性について実験的に調べ、284nm の励起光を用いた場合は常温常圧付近に若干の変化が見られる他はほぼ一定であるという結果を得た。また、高密度場において定量性を失わせる要因である、励起光の減衰効果についても適切な画像演算を用いた「対向入射法」を新たに考案し、解決した。この方法は、微小な時間差をもって対向入射する2つの入射光による LIF 信号を別々のカメラによって捉え、それぞれの信号のピクセル値を掛け合わせた後平方根を取るというものである。Lambert-Beer 則に基いた考察を行うことで、この方法によって励起光の減衰効果がキャンセルされることがわかる。

このような基礎検討を行った上で、LIF の実用ガス燃焼器への応用実験を行った。一つ目は蓄熱式燃焼システム（リジェネレイティブコンバッションシステム）を採用した工業炉火炎の研究である。モデル工業炉を作成し、排ガス再循環を模擬した低酸素濃度中での火炎について OH の分布を撮影した。結果として、高温予熱空気を燃焼に使用すると大量の排ガス再循環が可能となり、低温の火炎が広い体積をもって安定して存在できることがわかった。これは高温予熱空気を使用した燃焼の特徴であると考えられる。

二つ目はガスエンジンへの応用である。最初にコージェネレーション原動機としてよく使用される副室式希薄燃焼エンジンの副室内における点火用混合気形成過程について、アセトントレーサーとした LIF を適用し、2流体混合の様子を撮影、混合の副室形状依存性を調べた。副室形状に依存した混合が明らかになり、乱流混合現象の把握に LIF が有効であることが示された。次に点火後現れる副室火炎ジェットについて、エンジンを模擬した定容燃焼器と可視化エンジンによる実験によって調べた。火炎ジェットの構造について LIF 計測を行い、最終的成果として副室ノズル部の改良法の提案がなされた。また、排ガスクリーン化の研究として、アセトンと OH の同時可視化法を応用して、エンジンの燃焼行程後期から排気行程にかけてのクレビス流（燃焼室周囲の隙間に入り込んだ未燃炭化水素の排出）の可視化を行い、その酸化機構を明らかにした。結果としてクレビス流の酸化割合はエンジンの背圧条件に依存することが新たな知見として得られた。最後に、ガスエンジンにおける吸気管燃料噴射法について、形成される筒内燃料分布の観点から検討を行った。ここでは本研究

前半で検討した対向入射法が有効に使用され、サイクル変動を考慮すると吸気管噴射法は不利であるとの結論を得た。本研究により、ガスエンジンのように燃料の混合／分布の状態がその性能を大きく左右する場合、アセトンの LIF やアセトンと OH の同時 LIF が開発上有効であることが明らかとなった。

以上、本研究は燃焼場の LIF 計測法をガス燃焼機器開発の現場に適用するために、信号の定量性等に関する基礎的な検討を行い、実用機器開発に際して留意すべき事項を明らかにして、実際にガスエンジン開発を主とした活用を行ったものである。