

審査の結果の要旨

論文提出者：田村 雅之

近年の地球環境問題の観点から、クリーンなエネルギー源の開発は急務となっている。エネルギー供給を支える炭化水素燃料種の中でもとりわけ天然ガスは、省エネルギー効果が大きく、環境に対する負荷が低いなど優れた特長を有し、現代社会の要請に適合した基幹燃料として期待されている。このような要請に応えるため、ガスを利用した工業炉やエンジンなど燃焼機器の高性能化が重要な課題となっている。ガス燃料機器の研究開発において燃焼の計測は不可欠であるが、とくに燃焼場の可視化技術は燃焼過程の時間的空間的發展を直接観察することを可能にし、現象の理解に大いに威力発揮する。本論文は、レーザーを用い分光学的な方法で特定の分子の濃度変化を観測するレーザー誘起蛍光法(Laser Induced Fluorescence, LIF)について著者の研究成果をまとめたものである。LIF法は開発以来すでに多くの研究者によって使われてきたが、特に燃焼機器内部など高圧燃焼場においては、レーザー光で励起された分子が衝突によってエネルギーを失うクエンチングの効果が大きく、計測結果の定量性に疑問が持たれてきた。本論文ではLIF法に関する基礎的な検討を行い、計測結果に対する信頼性を上げ、実用的な計測法とすることを目的としている。その結果に基づき実用工業炉およびガスエンジンに応用し、有用な知見を得ている。

本論文は5章と3つの付録からなる。

第1章「序論」では、研究の歴史、背景と目的、本論文の構成が述べられている。

第2章「レーザー誘起蛍光法に関する基礎検討」では、LIF法をガス燃焼計測に応用する場合の基本的な課題について、理論と実験の両面から検討している。

LIF法の定量化にはクエンチングの割合を評価することが不可欠である。著者は燃焼のトレーサーに用いるOHおよびNOについて、温度、圧力、成分組成をパラメーターとしてクエンチングレートを実験的に求め、それらが経験式とよく一致することを確認した。一般にクエンチングレートは温度や圧力の関数となるから、トレーサーの密度を求めるためにはこれらの環境パラメーターを同時に計測しなくてはならない。しかし、これは難しく、LIF法の定量化の一つの障害となっている。著者は、パラメーターのある範囲でクエンチングレートがほぼ一定値を取ることを見つけ、この条件の範囲内で濃度分布の相対測定が可能であると指摘している。

未燃燃料のトレーサーとしては、アセトンを混入する方法を採用している。一つのレーザー光でOHとアセトンを同時に励起し、それぞれの分子からの蛍光を計測することにより、燃焼領域と未燃燃料域を同時に観測することを可能にした。

励起レーザー光が吸収により減衰することも、定量性を損なう大きな要因となる。筆者は、対向入射法という新しい方法を考案し、減衰の効果をキャンセルするデータ処理法を考案し、有効

性を確認している。この章の最後では、LIF 法を用い温度を計測する方法について検討し、クエンチングについての情報を基にデータを補正すれば温度計測が可能であることを実証した。

第3章「工業炉燃焼の研究」では、蓄熱式燃焼システムを採用した工業炉に LIF 法を適用した例が述べられている。蓄熱燃焼システムは、排ガス中の熱を耐熱性の蓄熱体に蓄え、熱回収を行うことで効率を高める工業炉である。このため排ガス再循環をシミュレートする燃焼系を作成し、予熱空気温度および酸素濃度を変えたときの火炎内の燃焼場の様子を OH をトレーサーとして観測した。その結果、空気を高温に予熱したときは、低酸素濃度（5%程度）において、広い領域で低濃度の OH が存在することを見つけ、従来の燃焼と大きく異なることを確かめた。

第4章「希薄燃焼ガスエンジンの研究」では、天然ガスを用いたコジェネレーションシステムなど省エネルギーの点で注目されているガスエンジンの開発へ、LIF 法を応用した事例が述べられている。

はじめに、副室式希薄燃焼ガスエンジンについて、副室内部における燃料ガスと空気の混合過程を、アセトンを用いたトレーサーとし可視化を行った。とくに、円筒形と円錐形の2種類の副室を製作し、副室形状による混合の差異を明らかにした。その結果、円筒形の方が混合気の一様性、安定性に優れていることを見つけた。次に、副室からの火炎ジェットを OH とアセトンを用いたトレーサーとして同時可視化し、ジェット噴出後の燃焼の形状を測定した。その結果、副室からのノズルにテーパをつけることにより、燃焼過程が改善されることを発見した。

次に、ガスエンジン排ガスのクリーン化の観点から、エンジン内のクレピスに残る未燃燃料の後段における燃焼過程を OH とアセトンを用いたトレーサーとして可視化を行った。その結果、排気バルブを開く瞬間に火炎が消滅し、それまで酸化されていたクレピス流が未燃噴流へと変化する過程を実証した。

最後に、燃料吸気管噴射について、アセトンを用い、対向入射法により可視化した。

第5章は「まとめ」であり、本論文の主要な成果をまとめると同時に、LIF 法の応用に当たっての留意点を特に定量性の観点から指摘している。

以上を要するに、本論文の意義は、燃焼過程を可視化する強力な方法として注目されながら、動作条件に無頓着に使われてきたため定量性に欠けるという負の評価を得ていたレーザー誘起蛍光法を、改めて基礎から再検討し、準定量的な計測法として再生させたことにある。この成果はガス工業炉やガスエンジンの開発に応用され、これらの機器の燃焼過程の理解に対し重要な知見をもたらし、エネルギー産業の進歩に多大な貢献をした。よって本論文は物理工学に対し寄与するところ大であり、博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。