

氏 名	かわ 河 さき 崎 きよし 澄
学位(専攻分野)	博 士 (エネルギー科学)
学位記番号	エ ネ 博 第 24 号
学位授与の日付	平 成 12 年 11 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	エ ネ ル ギ ー 科 学 研 究 科 エ ネ ル ギ ー 変 換 科 学 専 攻
学位論文題目	気体噴流におけるレーザ計測と乱れ生成・混合促進の評価に関する研究

論文調査委員	(主 査) 教 授 塩 路 昌 宏	教 授 三 島 嘉 一 郎	教 授 小 森 悟
--------	----------------------	---------------	-----------

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、粒子画像流速測定法およびレーリ散乱法などレーザを利用した熱流体計測法の発展を図るとともに、種々の気体噴流に適用して乱流特性を詳細に調査し、乱れ生成機構の解明と混合促進作用の評価を行った研究の結果をまとめたもので、6章からなっている。

第1章の緒論では、ここで対象とする気体噴流および噴流火炎の構造に関する従来の知見、解明すべき事項など、本研究の背景を記述し、さらに熱流体・燃焼システムの実験研究に利用されている各種レーザ計測法についての考察に基づいて、乱流特性と濃度計測の必要性ならびに論文の概要を示している。

第2章では、流体中に混入したトレーサ粒子の移動を2画像で捉え、それらの相互相関関数の極大位置から瞬時速度を求める手法を応用して速度の時間・空間分布を計測するシステムを確立し、従来の速度計測法との比較によりその妥当性を確認している。さらに、この方法を用いて噴流および噴流火炎内の瞬時速度分布の時間変化計測を試み、火炎からの発熱がガス流動に及ぼす影響を調査した結果から、噴流火炎の火炎帯付近では浮力のために平均流が増速し、それに伴って乱れ強度が大きくなること、燃焼によって噴流内部の渦構造が粗大化することなどを明らかにしている。

第3章では、自由噴流について粒子画像流速測定法を繰り返し適用することにより、瞬時速度分布および速度変動に関するアンサンブル統計量を計測して乱れエネルギー収支の直接評価を試みている。その結果、乱れ生成率は速度せん断層で大きく、消散率は噴流軸上で最大となることなどを示すとともに、せん断層に発生する代表的な乱れ渦を抽出して周辺の数ベクトル分布を調べることにより、乱れ生成の主要因とされるレイノルズ応力の発生には乱れ渦の形状および配列が深く関わっている可能性を示唆している。さらに、高解像度化粒子画像を用いて計測結果の空間分解能について詳細に検討し、レイノルズ応力や消散率など高次の乱流特性量の定量評価に本手法が適用できることを明らかにしている。

第4章では、工業的に幅広く活用されている壁面衝突噴流を対象として同様のガス流動計測を行い、とくに壁面周辺に生起する乱れ渦に伴う流動との関連について考察している。その結果、軸方向流速が急減する衝突領域では軸方向垂直応力が乱れエネルギーを生成する主要因であり、逆に半径方向垂直応力は乱れエネルギー生成を抑制する作用をもつこと、衝突領域内には乱れエネルギー生成率を高める効果を持つ特定の様式の乱れ渦が存在すること、などを実験的に示し、熱伝達や乱流混合促進の指針を見出している。

第5章では、燃料—空気の乱流混合を促進するための三角平板を取り付けた混合流路において、レーザシート可視化観察およびガス流動計測によって平板後流の流動様式を調査し、そこで発生する大規模な縦渦によって燃料と空気の攪拌が強められると同時に、小さいスケールの乱れ渦によって微視混合が促進することを明らかにしている。さらに、レーリ散乱法によって混合気濃度および濃度変動強度の空間分布を定量計測する方法を示し、三角平板によって燃料濃度が迅速に均一化することを明らかにするとともに、確率過程論モデルを応用して濃度の確率密度関数の推移ならびに乱流混合による均一化過程を定量的に評価する方法を提案し、実際の流体・燃焼機器設計への適用性について検討している。

第6章の結論では、本研究で得られた成果を要約し、今後の研究の方向性および課題についてまとめている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、レーザを利用した熱流体計測法の発展と乱流解析への応用を目的とし、熱流体・燃焼システムの基本過程である気体噴流を対象に、乱流特性の詳細な調査による乱れ生成機構の解明と燃料—空気混合促進の評価を行った研究の結果をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1) 粒子画像流速測定法を基礎として速度の時間・空間分布を計測するシステムを確立し、噴流および噴流火炎内のガス流動計測を試みた結果、火炎帯付近では浮力のために平均流が増速しそれに伴って乱れ強度が大きくなること、燃焼によって噴流内部の渦構造が粗大化していることなど、火炎からの発熱がガス流動に及ぼす影響を明らかにした。

2) 自由噴流内の乱れエネルギー収支を直接評価し、乱れ生成率および消散率の変化を示すとともに、せん断層に発生する乱れ渦の形状と配列がレイノルズ応力に大きく影響することを示唆した。さらに、高解像度化粒子画像を用いることによって、レイノルズ応力や消散率など高次の乱流特性量の定量評価が可能となることを示した。

3) 壁面衝突噴流を対象としてガス流動計測を行い、軸方向流速が急減する衝突領域では軸方向垂直応力が乱れエネルギーを生成する主要因であり、逆に半径方向垂直応力は乱れエネルギー生成を抑制すること、衝突領域内には乱れエネルギー生成率を高める効果を持つ特定の様式の乱れ渦が存在することなどを実験的に明らかにした。

4) 三角平板を取り付けた混合流路においてレーザ可視化観察およびガス流動計測を行い、平板後流で発生する大規模な縦渦による攪拌と乱れ渦による微視混合の作用を明らかにした。さらに、レーリ散乱法によって変動濃度分布を定量計測する方法を示し、三角平板による混合促進、濃度の確率密度関数ならびに乱流混合過程を定量的に評価する方法を提案し、実際の燃焼器設計への適用性について検討した。

これらの研究は、熱流体分野におけるレーザ計測の応用および発展を明確にするものであり、熱エネルギー変換システムの最適設計・制御の基礎となる乱れ生成機構の解明、工業的に有用な混合評価法の提案など、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（エネルギー科学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成12年10月10日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。