



学位論文審査結果の要旨

博士（工学）申請者 森 隼人

審査委員

主査	教授	豊田	国昭
副査	教授	藤原	康博
副査	教授	登坂	茂
副査	教授	白濱	芳朗

噴流中の大規模渦と縦渦の干渉

流れを利用する機械は生活および工業分野で広く利用されているが、その性能を向上させるためには、流れ現象の解明と制御法の開発が重要な課題である。本研究で取り扱っている噴流は、燃料噴射装置、化学反応装置、排気装置、空調機器、エアカーテンなどで利用され、応用範囲が広い流れである。燃料噴射においては、自動車や航空機の低燃費・低公害化を推し進めるために、高度な燃料混合制御が要求されている。化学反応装置においては、噴流の混合作用を利用するので、その性能は噴流特性に支配される。工場からの排気においては、周囲環境への配慮から排気の拡散特性が重要な課題となっている。空調機器においては、室内温度分布などが問題となるが、これらの性能は冷暖気噴出口からの噴流特性に影響される。エアカーテンは、熱および塵埃を遮断するために、建物、クリーンルーム、冷蔵室などの出入口に設けられているが、その性能は噴流特性に強く依存している。以上の例では、噴流の混合・拡散特性が問題となるので、その特性を十分に理解して噴流を利用することにより、各種機器の性能を向上させることが期待できる。

また、噴流では騒音が問題となる場合がある。具体例としては、航空機用ジェットエンジン、各種ノズル、各種弁などがある。これらの装置から発生する噴流騒音は、騒音公害や作業環境悪化につながることから、その低減化が強く望まれているが、噴流の混合促進が騒音低減に有効であることが従来の研究により指摘されている。

実際に利用されている噴流の噴出口形状は円形とスリット（細長い長方形）の場合が多いので、本研究では円形噴流（軸対称噴流）と二次元噴流を取り扱っている。円形噴流に関する従来の研究により、噴流中には周期的な大規模渦輪列が発生することが知られている。この渦輪の形状は発生時には噴出口形状に対応しているが、下流では縦渦と干渉し三次元的に変形する。この干渉・変形過程は混合促進や騒音低減に効果的であることが近年の研究により示唆され注目されているが、その詳細については不明な点が多い。二次元噴流についても、円形噴流の場合と類似した渦構造が存在することが実験および数値解析により示されているが、縦渦と大規模渦の干渉・変形機構については全く不明である。

以上の背景のもとに、本論文では、縦渦を含む噴流中の三次元渦構造の詳細を明らかにするために、水噴流の可視化と空気噴流の速度測定により渦構造を詳細に検討し、軸対称渦輪および大規模渦と縦渦の干渉・変形機構を初めて明らかにしている。また、可視化画像および速度場により噴流の渦挙動と混合機構の関連性も明らかにし、さらに混合特性も定量的に評価している。

本論文の内容は以下のように要約される。

第1章では、本研究の背景である乱流現象と渦構造について概観し、本研究の工学的意義および研究目的について述べている。とくに、従来の実験手法および数値解析法により上述の三次元渦構造を捕らえることは不可能であり、本研究の実験解析手法の有効性を指摘している。

第2章では、軸対称噴流の実験方法、可視化画像の処理方法、実験結果と考察を述べている。

実験方法については、実験に用いた水槽の構造と性能、縦渦を強調し安定化するために渦発生突起を取り付けたノズルの構造、大規模軸対称渦輪の発生を促進するための噴流励起法を説明し、蛍光染料とレーザライトシートを用いた噴流可視化法、噴流断面可視化画像の撮影方法と処理方法を詳述している。また、噴流の混合を定量的に評価するために行った熱膜流速計による速度測定方法についても述べている。

本章で得られた研究成果は以下のように要約されている。

(1) 可視化画像をコンピュータにより処理することにより、噴流境界面積を求め、噴流の混合特性を検討し、軸対称渦輪と縦渦の生成が混合を著しく増大すること明らかにした。また、噴流境界形状の複雑さを評価するために、フラクタル次元による検討も行った。

(2) 可視化画像に Taylor の凍結仮説を適用することにより噴流境界面の三次元画像を構築し、三次元渦構造の詳細を明らかにした。また、従来不明であった軸対称渦輪と縦渦の干渉・変形機構が渦力学モデルにより解析できることを示した。特に、縦渦が軸対称渦に巻き付く際に生ずる渦の自己誘起速度により、縦渦同士が接触し切断・再結合することを実験により確認したことは、本研究の重要な成果である。

(3) 速度測定により、速度変動のスペクトル分布から噴流中の渦挙動の特性を明らかにし、噴流混合度合いを示すエントレンメント率を検討した。その結果、縦渦の生成は周囲流体の巻き込み量を著しく増大することを定量的に示した。

第3章では、二次元噴流の実験方法、実験結果と考察を述べている。

実験方法については、噴流中に規則的な縦渦を発生させるために用いた渦発生突起付二次元ノズルの構造、周期的大規模渦構造を生成するための噴流励起法、3方向速度成分をX型熱線プローブで測定する方法、およびデータ処理方法を説明している。

実験結果と考察では、測定データの位相平均処理により得られた3方向渦度成分の時空間分布と、エンストロフィの時空間画像から渦の干渉・変形挙動を詳細に検討し、第2章で提案した渦力学モデルが二次元噴流でも適用できることを立証している。

第4章は結論であり、本研究で明らかにされた噴流中の軸対称渦輪および大規模渦と縦渦の干渉・変形機構、渦挙動と混合機構の関連性を要約している。

本研究は、噴流中の三次元渦挙動、特に従来不明であった軸対称渦輪と縦渦の干渉・変形機構、の詳細を渦力学モデルにより解明し、さらに渦挙動と噴流の混合・拡散特性の関連性も定量的に明らかにし、渦操作により噴流の混合・拡散が著しく増大することを示した。以上のように、本研究は噴流現象の解明および制御に関して学術的に高い成果を得ている。よって、著者は博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。