

報告番号	甲 第 11895 号
------	-------------

## 主 論 文 の 要 旨

論文題目 半デルタ翼形状タブによる軸対称噴流の混合拡散制御  
(Control of mixing and diffusion in an axisymmetric jet by means of half delta-wing shaped tabs)

氏 名 三浦 健介

## 論 文 内 容 の 要 旨

噴流はエアコンや換気システム、エンジンやボイラの内燃機関内部における燃料と空気の混合拡散など、様々な工業機器内で見られる流動現象である。これらの機器における熱や物質などのスカラの混合拡散は流動場に大きく依存するため噴流制御はスカラの制御に直結する。そのため、噴流制御の手法を開発・発展させることは工学的に重要な技術課題である。

噴流の制御手法は大別して、アクチュエータの運動など外部エネルギーの注入により噴流出口近傍の領域の初期不安定性を励起する能動的手法と、噴流出口直後で突起や切り欠きなどの幾何形状の変形により流れを変更する受動的手法の 2 種類に分けられる。本論文では工学的応用を鑑み、受動的手法の中でも、噴流の混合拡散の促進および抑制に対して柔軟に対応できる、噴流出口の周囲へのタブ（突起物）の設置による噴流制御手法に着目した。タブには様々な形状があるが、本論文では半デルタ翼形状タブを適用した。また、混合拡散の程度は噴流出口直後に設置するタブの数により一意には決定されないことが既往研究により報告されている。そのため、設置されたタブの数が異なる場合における流動構造や熱輸送構造を明らかにすることは、周囲流体の取り込みや混合、拡散の最適制御手法の確立に必要不可欠である。

そこで本論文では、半デルタ翼形状タブの影響を受けた加熱軸対称噴流の流動構造および熱輸送機構を明らかにすることを目的とした実験的研究を行った。タブが噴流の乱流構造および周囲流体の取り込みや混合、拡散に及ぼす影響を、速度場と温度場の計測および

それらの同時計測を通して明らかにした。さらに、タブによる噴流の取り込み制御や混合・拡散制御（促進または抑制）のための最適化指針を示すことを試みた。なお本論文では熱をパッシブスカラとみなした。

本論文の構成は以下のとおりである。第 1 章に研究背景、既往研究および研究目的をまとめている。第 2 章では、加熱軸対称噴流の生成手法、熱線流速計と冷線温度計による速度場と温度場の計測手法を述べている。第 3 章では、形成された軸対称噴流の速度場および温度場に関する基本的特性を示している。第 4 章では、噴流出口直後に設置された 1 つのタブが速度場および温度場に及ぼす影響を述べている。第 5 章では、設置するタブの数を 1 つから 6 つまで変化させた場合の速度場および温度場に及ぼす影響を示し、タブによる周囲流体の取り込みや混合拡散制御の最適化について述べている。第 6 章では、噴流出口周方向に一様に設置された 6 つのタブが速度場および温度場に及ぼす影響を詳細に述べている。第 7 章では、タブの能動制御の有効性を検証するために、噴流中心へ向かって噴流の半径方向にタブを周期的に稼働させた場合の速度場について述べている。最後に第 8 章では、本論文の結論と今後の展望をまとめている。以下に第 3 章から第 8 章の概要を記す。

第 3 章では、タブを設置しない場合の加熱軸対称噴流の速度場と温度場を示した。形成された加熱軸対称噴流の噴流出口直後における平均速度および平均温度分布は Top-Hat 形状であることを確認した。また、噴流出口から下流に進んだときの速度場および温度場の統計量の変化を示し、噴流出口から遠方の領域では自己相似性が現れること、統計量が既往研究と同様の分布傾向となることから典型的な変化を示すことを確認した。

第 4 章では、1 つのタブを噴流出口に設置した場合における速度場および温度場を示した。タブの形状は後退角が 60 度である直角三角形であり、噴流出口直径 30 mm に対するタブの突出高さは 3.75 mm である。タブの最も角度が小さい頂点を上流方向に向け、流れに対する迎角が 30 度になるように、タブを噴流の初期せん断層内に挿入した。タブの近傍では、タブの背後位置で縦渦が発生していることがわかった。一方、タブの上流側の面に衝突した流れが偏向することで、高い平均速度や平均温度を有する流体が噴流の半径方向外側に向かって拡散することがわかった。また、タブの背後位置の近傍や偏流が確認された位置では速度変動や温度変動が小さくなった。噴流出口近傍の領域で、タブは噴流のポテンシャルコア領域の平均速度分布や平均温度分布形状を変形させ、噴流中心をタブの挿入方向とは反対に変位させた。しかし、噴流出口から離れるにつれて、平均速度分布や平均温度分布形状は軸対称に近づいた。

第 5 章では、2~6 つのタブを噴流出口に等間隔に設置した場合における速度場および温度場を示した。噴流出口近傍の領域では、1 つのタブを設置した場合と同様に、平均速度および平均温度分布形状が大きく変化した。噴流出口から離れるにつれて平均速度および平均温度分布形状は軸対称に近づくが、2 つのタブおよび 3 つのタブを設置した場合には、これらの分布形状が軸対称になる位置が噴流出口からより離れていた。また、周囲流体の取

り込み量の変化に関しては、噴流出口近傍の領域では設置するタブの数の増加に従い、周囲流体の取り込み量が増大することがわかった。噴流出口遠方の領域では、1~3つのタブを設置した場合にはタブの数の増加に従い、取り込み量が増大することがわかった。一方、4~6つのタブを設置した場合にはタブの数の増加に従い取り込み量は減少することがわかった。取り込み量がこのような挙動を示す原因は、主流方向平均速度こう配と噴流断面形状を用いて以下のように説明された。周囲流体の取り込み速度を決定する主因と考えられる主流方向平均速度こう配は、平均速度の半値幅の位置においてタブを設置した場合にはその数に関わらず設置しない場合と同程度か小さくなった。一方、各主流方向位置において平均速度の半値幅をつないだ線の長さは、タブを設置した場合の方が設置しない場合に対して長くなった。これらのことから、タブを設置した場合には巻き込み速度は低下するものの、周囲流体を巻き込む領域がそれに比べて大きい場合には取り込み量が増大し、そうでない場合には取り込み量が減少することがわかった。また、平均温度の分布から算出された、平均流速分布の変化に起因する拡散特性を表す統計エントロピーおよび噴流と周囲流体との間での乱流混合に起因する拡散特性を表す変動エントロピーにより、噴流の拡散および混合をそれぞれ定量評価した。その結果、噴流出口近傍の領域では、取り込み効果と同様に設置するタブ数に従って混合および拡散が促進されることがわかった。しかし、下流に進むに従って混合および拡散はいずれも抑制され、タブ無しの場合と同程度または小さくなることがわかった。噴流出口から離れた領域では、3つのタブを設置した場合に拡散はタブ無しの場合と同程度となり、混合はタブ無しの場合と比較して促進されることがわかった。反対に、4~6つのタブを設置した場合には、混合および拡散はいずれも抑制されることがわかった。

第6章では、前章で噴流の出口近傍と出口遠方の領域で大きく異なる噴流特性が現れた6つのタブを設置した場合の速度場および温度場の変化を示した。噴流出口近傍では、1つのタブを設置した場合と同様に、縦渦の発生と強い偏向流れが確認された。また、平均速度が大きい流体は1つのタブを設置した場合よりも噴流外縁部へと強く拡散することがわかった。噴流中心軸上の速度変動のパワースペクトルが $-5/3$ 乗則が現れる位置がタブ無しの場合と比較して噴流出口に近づいたことから、中心軸上の速度場が噴流出口に近い位置で乱流化していることがわかった。平均速度半値幅の位置における乱流プラントル数は噴流出口近傍の隣接するタブとタブの中間位置を除いてほぼ同一となった。しかし、噴流出口近傍の隣接するタブとタブの中間位置では、平均速度こう配が特に小さいために乱流プラントル数が他の条件と比較して大きくなることがわかった。また、噴流出口近傍のタブの背後位置では噴流中心へと向かう流れが存在するため、渦拡散係数および乱流熱拡散係数は隣接するタブとタブの中間位置と比較して小さくなった。

第7章では、稼働するタブによる速度場の変化を示した。タブの稼働パターンに関しては、全てのタブが同位相で噴流主流部分へ出入りを繰り返す軸対称モード、および鉛直方向に対称な位置にあるタブ群が逆位相で噴流主流部分へ出入りを繰り返す交互モードの2

パターンとした。軸対称モードと交互モードの間では周囲流体の取り込み量は同程度の変化を示した。6つのタブが設置された場合と同様に噴流出口近傍の領域で周囲流体の取り込みが促進され、反対に噴流出口から離れた領域では取り込みが抑制されることがわかった。しかし、タブの時間平均突出面積が小さいため、速度場に与える影響は小さくなることがわかった。噴流が有している固有周波数よりかなり低い周波数でタブを稼働させているため稼働させる効果はほとんどなく、その影響はタブが突出している時間で決定されることがわかった。

第8章では結論を示し、本論文で得られた知見をまとめるとともに、今後の展望を提示した。