

博士学位論文審査要旨

主査 佐藤 光太郎

論文提出者	専攻	機械工学	学籍 番号	AD18001	氏名	小林 亮太
論文題目	二次元シンセティックジェットの方法制御に関する研究					

〔審査要旨〕

噴流はスリットやノズルなどの小孔から空間に対して、流体が噴出する現象であり、産業界に留まらず、日常生活においても目にする機会が多い身近な現象でもある。噴流に関する研究は航空機における失速抑制やクルマの抵抗軽減、流体機械内部での不安定流れの抑制、空調・エアカーテンの高効率化などを目的として盛んに行われ、得られた知見は流れ場の制御に積極的に応用されている。最近ではウイルス飛沫感染防止を目的とする換気・空調の最適化に向けた気流制御に噴流を利用する研究が始まっており、噴流技術は益々注目を集めている。このような状況において、噴流の進行方向を簡単かつ自由に調整することが可能になれば、より一層広い分野で噴流技術が役立つことは間違いない。

本論文では幾何形状の変化を伴わない噴流の方向制御を目指し、その実現のためにシンセティックジェットを適用されている。具体的にはシンセティックジェットの無次元周波数による流れ場の制御と噴流偏向メカニズムについて実験及び数値解析の両面から調査がなされた。

第1章は序論であり、噴流技術の概要、シンセティックジェットおよびジェットベクタリングに関する従来の研究成果並びに本論文の社会的位置付け・研究目的などについて述べられている。

第2章では、単独二次元シンセティックジェットに対して、非対称形状スロットを利用した噴流の方向制御を試みられている。これまで噴流干渉により噴流進行方向を変える試みはなされてきたが、本章では、他の噴流と干渉させることなくかつ可動部を伴わずに噴流進行方向制御を行うことを目的とし、突起形状非対称スロットが提案された。ここでは流れ場に局所的非対称性を与えることで、同一スロット幾何形状下においてもシンセティックジェットの進行方向は無次元周波数 f^* に依存することが明らかとなった。この状況で流れ場は無次元突起長さ C と無次元周波数の両方の影響を受け、本研究の条件範囲内では一部条件を除き、噴流偏向度は C および f^* の増加とともに増加すること、偏向メカニズムとして非対称スロットにより渦の生成位置にずれが生じ、その相対的ずれの量に基づく誘起速度の対称性崩壊が偏向の原因として考えられることなどが示された。また、噴流が一定以上の曲率を持った場合、スロット近傍に再循環領域が形成され、壁面上にはよどみ点が形成され、その位置は f^* に依存して移動することが明らかとなった。

第3章では階段形状の非対称スロットにより生成されたシンセティックジェットの流れ特性について議論された。本章では突起物に代わりスロットに凹部を設けた階段形状非対称スロットを提案し、調査を行った。なお、この形状は将来的にスロット両側を階段形状にすることによって、噴流偏向角度の調整範囲を拡大できる可能性も有している。本論文では、シンセティックジェットの挙動と階段型非対称スロットのステップ高さ H_2 および無次元周波数 f^* (無次元ストローク L_0 に対応) との関係が明らかにされた。突起型非対称スロットと同様、階段型非対称スロットにおいても、 f^* を調整することで、噴流の偏向角を制御できることが実証された。基本的な噴流方向制御の原理は前章の突起型非対称スロットと類似であり、噴出過程における渦対の生成位置が非対称となることに起因する。ただし、階段型非対称スロットの場合には、噴流の曲率がステップ高さ H_2 にも依存することがわかり、これはステップ高さが突起型非対称スロットには無い新しいパラメータであることを意味している。さらに噴流の曲率はキャビティ近傍の再循環領域の大きさに影響されることが示され、このことから同一の無次元ストローク長さに対して噴流の偏向角が極大値を示す H_2 の存在が示唆される。

第4章では、一次連続噴流の方向制御のため、二次流れにコアンダ面を伴うシンセティックジェットを利用する方法が提案された。シンセティックジェットには高流量化、高運動量化が困難という課題がある。そこで本章では従来のフルイディック・スラスト・ベクタリングの二次流れとしてシンセティックジェットを適用し、これにより従来の幾何条件、運動量比の他に無次元振動数 f^* という新しい制御パラメータを付加することに成功した。主な結果として、一般的なコアンダジェットにおいては、噴流方向は運動量比 ξ に依存することが知られているが、二次流れとしてシンセティックジェットを用いた場合、運動量比 ξ だけでなく、無次元周波数 f^* にも依存すること、今回の運動量比に関する条件範囲においては、運動量比と無次元周波数の組み合わせることで、従来の方法と比較して制御可能領域を拡大できることなどが明らかとなった。

第5章は結論であり、シンセティックジェットの無次元周波数を用いることで、突起形状非対称スロット、階段形状非対称スロット、コアンダジェットにおいて吹き出しスロット部の幾何形状変化なしに噴流進行方向を制御できると結論付けられている。

本論文で得られた知見は、新たな原理に基づく空調・温度管理や次世代航空機の姿勢制御などに有用であることから、機械工学、航空宇宙工学の発展に寄与をするものと思われる。

よって小林亮太君への博士学位授与を可と判定する。