

氏名	小林 将志 <small>こばやし まさし</small>
所属	システムデザイン研究科航空宇宙システム工学域
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	シス博 第64号
学位授与の日付	平成27年3月25日
課程・論文の別	学位規則第4条第1項該当
学位論文題名	層流境界層中の突起から発生する空力音に関する実験的研究
論文審査委員	主査 教授 浅井 雅人 委員 准教授 田川 俊夫 委員 准教授 金崎 雅博 委員 教授 前川 博(電気通信大学)

【論文の内容の要旨】

新型の航空機の開発では、運用コスト低減および各種の環境基準への適合に主眼が置かれており、特に燃料消費効率の向上のみならず飛行中の騒音の低減に関する努力がなされている。最近の航空機では、ターボファンエンジンの高バイパス化等により、ジェット騒音の低減が図られてきているが、これに呼応する形で国際民間航空機関(ICAO)等が定める低騒音化に対する要求がより厳しさを増している。このため、将来の航空機には、機体から発生する空力騒音にも踏み込んだ騒音低減が求められており、主要な音源である降着装置や高揚力装置の展開時に発生する空力音の発生機構やその抑制に関する研究が盛んに行われている。また、これらの騒音低減の効果は、航空機の機内騒音の低減にも寄与するものであり、旅客機の客室部における騒音環境も逐次改善されてきている。

ジェット騒音等の低減化の進んだ航空機において、機内騒音の主要な要因は機体表面の境界層から発生する空力音である。操縦室周囲の機体表面には、従来機でも風防窓枠と外板部の不連続部分に生じる境界層の層流剥離と再付着、または開口部のキャビティ流れから生じる狭帯域音の発生を防ぐ種々の工夫がなされているが、将来登場する航空機においては、前胴部の層流領域の拡大によって、騒音対策を講ずるべき範囲が拡大することは避けられない。機体表面の不連続性により生じる騒音は、製造技術の向上によってある程度抑制できる見込みがあるものの、前胴部には各種センサーやアンテナ等、航空機の運航または機能上の要求で排除できない孤立粗度（突起）が存在しており、これらが発生させる騒音は今後も無視することができない。

これまで境界層中の突起から生じる空力音に関する研究は、乱流境界層を対象としたものが主であり、層流境界層については一部の理論的なアプローチによるものを除いてほと

んど存在しない。層流境界層中の突起から生じる空力音が卓越するためには、音響フィードバックと呼ばれる境界層遷移の過程に由来する空力音の発生機構が、流れ場の中で自励維持されることが条件となる。このような流れ場が成立するのは、トルミン・シュリヒティング(T-S)波動と呼ばれる微小攪乱が、圧力勾配のない壁面の層流境界層で、比較的高いレイノルズ数まで線形的に成長する環境であり、実験室で確認するためには、航空機の巡航状態と同様、低乱かつ低騒音の状態を両立させられる風洞設備が必要となる。

本研究では、低乱低騒音風洞を用いて、圧力勾配のない平板境界層の発達した壁面上の突起から発生する空力音の発生機構を明らかにするとともに、その空力音の抑制制御の方法を提案することを目的としている。本論文は、全6章から構成される。

第1章では、本研究の学術的背景と、本研究と密接に関連する境界層遷移機構ならびに空力音の特性や発生機構について国内外の関連研究をまとめている。

第2章では、実験に用いた低乱低騒音風洞の特性、熱線流速計による速度変動計測、スモークワイヤ法による流れ場観察、精密騒音計による音圧計測について詳細に説明している。

第3章では、層流境界層中の二次元突起から発生する空力音の発生機構とその発生条件を実験的に調べている。境界層平板前縁で音響攪乱を受容して励起された T-S 波動が、線形不安定領域で増幅した後、突起直前の剥離泡で急成長し、巻き上がった渦が突起前縁と干渉して狭帯域音が発生する音響フィードバック機構によって、狭帯域音が自励的に維持されることを明らかにした。狭帯域音の周波数は、剥離泡に到達するまでの T-S 波動の線形増幅過程における周波数選択性によって決定される。また、突起直前に発達する剥離泡のスケールは突起と干渉する攪乱（渦）の発達において極めて重要であり、突起高さが境界層厚さ程度になると剥離泡が十分に成長し狭帯域音の強さが卓越することが示された。

第4章では、フィードバック機構の構成要素である境界層の受容性（T-S 波動の励起）を微小高さの孤立粗度により人為的に制御することにより、発生する狭帯域音が大きく変化することを実験的に明らかにしている。すなわち、二次元突起の上流の T-S 波動の不安定領域に境界層排除厚さに比べ桁小さな厚みの二次元孤立粗度を設けると、粗度と突起の間で音響フィードバックループを形成し、それが、元々の前縁と突起間でのフィードバックループに代わって狭帯域音の発生を支配するようになることが示された。

第5章では、突起が主流方向に対してスパン方向に傾いている場合に、発生する狭帯域音がどのように変化するかを調べている。突起がわずかに傾斜するだけで音圧レベルは急速に低下し、 10° 以上の傾斜角では、狭帯域音がほとんど全く放射されなくなることが見出された。それは、剥離泡で急成長した渦は、二次元的な構造を維持したまま突起と干渉し、突起前縁と干渉して突起前縁まわりに誘起する圧力変動の位相が、突起前縁に沿ってスパン方向に揃わなくなるためである。この結果は、騒音抑制を考える上で重要な知見を与えると同時に、境界層からの騒音の発生源を特定する際の視点にもなる。

第6章では、上述の主要な結果をまとめ、本論文の成果を総括している。