

後流渦の特性に基づく多翼ファンの空力騒音および比騒音の予測

生産科学研究科 佐々木壮一

多翼ファンは身近な生活環境の換気あるいは空調用の装置において幅広く利用されている。このような装置は長時間連続して運転されることも多く、エネルギー資源の観点から高効率であることが要求される。例えば、政府は 2003 年に建築基準法を改正し、新たに建設される住宅に対して常時換気することができる設備を設置することを義務付けた。このような常時運転される空調用の多翼ファンを開発するときには、その効率を向上させるだけでなく、人に快適な生活環境を提供するためにファン騒音を低減することも重要な課題となる。しかし、多翼ファンは平均風速が速いため、そのファン騒音も大きくなる。このため、設計者が高性能な多翼ファンを開発するときには、全圧と空力騒音を同時に評価することが可能なファン性能の指針が必要となる。比騒音とはファンの単位風量および単位全圧当たりに発生する機種固有の騒音レベルであると定義されている。この比騒音は総合的性能に優れた送風機を開発する上での定量的な評価の指針となる。多翼ファンの比騒音を高精度に解析するためには、ある作動点での全圧と空力騒音を高精度に予測することが必要になる。

軸流送風機のファン騒音に関する基礎研究において、Sharlandは一様な流れ場に設置された翼から発生する空力騒音を最大三つの流れのパラメータによって予測した。Mugridgeは、更に簡便な二つのパラメータによる騒音の予測式を提案している。従来のファン騒音に関する研究では、流れとの関係がこれらの予測式に基づいて明らかにされてきた。しかし、翼のスパン方向に形成される三次元的な空力音源の構造や、非定常の後流渦の放出に伴う二次元的な空力音源の性質には、研究者毎の経験的な特性量が与えられており、これが予測精度の劣化を引き起こす原因となっていた。このため、ファンから発生する空力騒音を高精度に予測するためには、その空力騒音に関係する後流渦の特性を理論的に解明する必要がある。一方、実際が多翼ファンから発生する騒音では、広い周波数の帯域に分布する空力騒音がその支配的因子となることがある。多翼ファンの場合、翼間が狭いために隣接する翼への後流渦の干渉が空力騒音を予測する上での問題となる。しかし、このような後流渦の特性に基づく広帯域騒音の予測理論に関する先行研究は少ない。さらに、多翼ファンの全圧を予測するためには、このファンに生じる固有の流動現象と圧力損失の関係を定量的に評価する必要がある。このファンで生じる渦流れや羽根車前面側のはく離領域などについては、Kind, 山崎などによって研究されている。しかし、これらの流動現象によって生じる圧力損失の定式化に関する研究事例はほとんど見当たらない。これらの要因が多翼ファ

ンの空力騒音および比騒音を予測する上での障害となっていた。

本研究では、送風機の総合的性能の指標となる比騒音の予測を最終的な到達目標として、(1)後流渦の三次元的な秩序構造と渦放出に伴う周期的変動現象に関する基礎研究、(2)後流渦の特性に基づく単独翼の離散周波数騒音の予測、(3)同予測の多翼ファンの広帯域周波数騒音への応用、(4)多翼ファン固有の圧力損失と理論全圧に基づく全圧特性の予測がなされた。この研究は、実機が多翼ファンと同程度に設定されたレイノルズでの後流渦の特性が空力騒音に及ぼす影響を議論すること、多翼ファンの内部流動と比騒音を関係づけることなどに特徴がある。

この論文の構成と各章で得られた主な研究成果は以下の通りである。

第1章では、研究の背景、これまでの研究動向と問題点および本論文の構成が記述されている。

第2章では、単独翼の風洞試験装置における後流と騒音の測定方法、および多翼ファンの実験装置における全圧、内部流動および騒音の測定方法がまとめられている。

第3章では、翼のスパン方向に存在する後流の秩序構造を形成するメカニズムの解明を目的として、平板翼まわりの流れが数値計算されている。この秩序構造は翼のスパン方向の空力音源の規模に関係し、空力騒音を予測する上で重要な後流特性となる。後流の秩序構造が渦度輸送方程式によって解析され、そのスパン方向の後流渦の規模が後流の幅の約 3.5 倍になることが示されている。

第4章では、離散渦法を利用して平板翼の後流渦の非定常特性とその渦によって形成される空力音源の特性を解析した。また、実機の羽根車の翼形状に近い円弧翼を用いて、後流渦の特性に基づく離散周波数騒音の基本予測理論を提案した。この理論で導出された五つの後流渦の特性量が空力騒音の予測式に与えられ、その翼から発生する離散周波数騒音の騒音レベルを 0.5dB の精度で見積もることができた。

第5章では、多翼ファンから発生する広帯域周波数騒音の予測式が提案されている。この予測式では、前章の離散周波数騒音を重ね合わせることによって、ファン騒音のスペクトル分布が表されている。この広帯域周波数騒音の予測式は、後流中に存在するカルマン渦列が拡散する過程で隣接する翼との干渉によって発生するとの仮定によって導出されている。前章で得られた後流渦の特性に基づいて、この予測式が多翼ファンから発生する空力騒音のスペクトル分布を再現できることが示されている。

第6章では、多翼ファンの比騒音が予測されている。ファンの比騒音を予測するためには、前章の騒音予測に加えて全圧の予測が必要になる。多翼ファン固有の流動現象である渦流れによる圧力損失を定式化し、その理論全圧に基づいてファンの全圧を予測することが可能になった。内部流動を解析した結果、渦流れによる圧力損失が最も大きいことが明らかになった。以上より、多翼ファンの総合的性能の指標となる比騒音の定量的な予測が可能になった。

第7章では、研究から得られた知見の総括と今後の課題がまとめられている。