

審査の結果の要旨

氏 名 高山 糧

本論文は、「低マッハ数のファンから発生する流体音の数値計算」と題し、全5章から構成されている。

従来研究における低マッハ数のファンから発生する流体音（以下、ファン騒音）の予測は、物体の大きさが音の波長に対し非コンパクトであることを考慮しない予測手法に基づいていたため、その予測精度は低く、実際の設計に適用することはできなかった。本論文では、主要な音源の分布範囲が波長に対しコンパクトであることに着目し、コンパクト近似した音源から放射される音が音源の周囲の物体で散乱される効果を音響解析により考慮する音の新しい予測手法を提案し、基礎的な問題において検証したのち、実証問題としてファン騒音に適用し、騒音の定量的な予測を実現したという内容である。

以下に、各章の内容をまとめる。

第1章では、研究の背景として、ファンの小型・高速化に伴い増大するファン騒音の低減が問題となっていることを述べたのち、従来研究において明らかとなっているファン騒音の音源およびその低減手法について整理している。次いで、流体音の計算手法が直接計算と分離計算に二分され、低マッハ数においては計算コストの点から後者の分離計算が多用されることを述べたのち、それらの手法をファン騒音の予測に適用した従来研究について詳述し、従来研究の多くが物体の大きさが音の波長に対し非コンパクトであることを考慮しない予測手法に基づいていたこと、そのため十分な予測精度が得られていなかったことを指摘している。このような背景の下、本研究の目的として、物体の大きさが非コンパクトとなる場合における、物体の音響効果を考慮した音の予測手法を提案し、ファン騒音の定量的な予測手法を実現することを述べている。

第2章では、流体音の基礎式および種々の境界条件における基礎式の積分分解について整理し、それらの適用範囲について述べている。次いで、従来の低マッハ数の流れから発生する流体音の予測において多用されてきた、非圧縮性流れ解析で求めた物体表面の圧力を積分分解に入力する分離計算では、流れ解析で得られた音源情報に音の位相が考慮されていないために、物体の大きさが非コンパクトとなる場合に音の予測精度が著しく低下することを述べている。このような問題への対策として、流れ解析で求めた渦音源を用いた音響

解析により、音の位相を含んだ物体表面の圧力を求める手法が提案されているが、この手法はポテンシャル干渉も主要な音源となるファン騒音には適用できない点を指摘している。そこで、物体の大きさが非コンパクトであり、かつポテンシャル干渉が音源となるようなファン騒音に適用可能な新しい音の予測手法として、ファン近傍の主要な圧力変動を一点に集中した二重極音源としてコンパクト近似し、その音源からの放射音が周囲の物体で散乱される効果を音響解析により考慮する手法を提案している。本手法は、Green 関数として自由空間の Green 関数の代わりに、物体表面の法線方向の微分がゼロとなる Tailored Green 関数を用いることで、音源と音響効果を分離して議論でき、また音圧レベルの平均化が容易に行えるという利点があることを述べている。

第3章では、前縁を丸めた平板の後縁音を対象に、提案する音の予測手法の基礎的検証を行った。まず、平板上の主要な音源は後縁近傍にコンパクトに存在すると仮定して、非圧縮性流れ解析により求めた表面圧力変動から提案した音響解析の基礎式における点の二重極音源を与え、平板の残りの表面は音源からの散乱効果を及ぼすだけの役割であると考え、これを音響解析における散乱面として音場の方程式を解き、遠方場音を計算した。このとき、マッハ数を変えることで音源のコンパクト性を表すパラメータである c/λ を変化させ、真の音源である渦音源のみを音源として用いた音響解析により得た音場と比較し、提案する音の予測手法の有効性とその適用限界を調べた。その結果、非圧縮性流れ解析で求めた表面圧力変動を二重極音源として含める範囲は、表面全体の最大圧力変動の 10%程度の強さとなる範囲までとすれば十分であることが分かった。また、提案する音の予測手法の適用限界は、上記のように決めた二重極音源の範囲が波長の 1/4 程度となるような周波数までであることが分かった。

第4章では、実証問題として小型のプロペラファンを対象に、提案する音の予測手法によりファン騒音を計算し、実測結果と比較・検証することにより、以下の知見を得た。

(1) 提案する音の予測手法により計算された騒音スペクトルは実験と高精度に一致し、本手法によりファン騒音が定量的に予測できることを示した。

(2) ファン周囲に存在するチャンバ装置等の音響効果により、騒音の低周波成分が大きく増大することが分かった。一方、高周波側では音響効果はほとんど生じないが、これは高周波の音は回折効果が小さく、したがってファン周囲の物体と干渉せずに観測点に直接到達するためであると考えられる。

(3) ファンの周囲に物体があるなしに関わらず、ファンの音源は、ファン直径と波長が同程度の大きさになる周波数まではコンパクトと見なせる。

(4) 提案する音の予測手法の適用限界は、本解析対象ファンに対しては波長がファンの直径に近くなる 1200Hz 程度であるが、騒音として寄与する主要な周波数範囲はこれよりも低く、予測精度に影響はない。

第5章では、本研究で得られた新たな学術的・工学的知見をまとめて記述している。

以上、本研究により、物体の大きさは音の波長に対し非コンパクトであるが、物体表面の主要な圧力変動の分布範囲はコンパクトである点に着目した新しい音の予測手法により、低マッハ数のファン騒音の定量的な予測を初めて実現することができた。本手法は計算コストが低く、軸流・斜流・遠心とファンの形式を問わず全ての形式の低マッハ数のファン騒音に適用可能であり、応用性が極めて高い手法といえる。また、ファンの周囲に存在するチャンバ装置のような広い面積を持つ物体の音響効果により、低周波域において騒音レベルが増大することが明らかとなった。

よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。