

空気調和機の空力騒音源に関する研究

山田, 彰二

<https://doi.org/10.15017/1785408>

出版情報：九州大学, 2016, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：全文ファイル公表済

氏 名 : 山田 彰二

論 文 名 : 空気調和機の空力騒音源に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

快適な生活空間の創造に向け、空気調和機は人々の生活に欠くことのできないものとなっている。また、世界的には猛暑の影響で多くの人命が奪われた記憶も新しく、空気調和機能と地球環境保全を両立する技術として、省エネ性の高いヒートポンプ空調が世界的に広がりを見せている。ヒートポンプ空調では熱交換器を介して冷媒と空気の間で積極的な熱交換を行うため、ファンによる気流生成が行われる。この気流によって発生する空気調和機の空力騒音を低減することが、静粛な居住空間の実現や省エネ性能の向上に欠かせない技術課題となっている。

本論文は全7章からなり、空気調和機の主要な空力騒音源について検討し、低騒音化設計の指針構築や的確な音源把握による騒音低減を目的とする。

第1章の緒論に引き続き、第2章では空力騒音の実験計測の困難さの要因となる流れ場と音場の同時計測について、音響透過性を有する多孔質材料を活用することの有効性を風洞実験で検証している。空力特性を検討する風洞実験において、ポテンシャルコアの比較的小さな風洞では、しばしばジェットエッジの影響が問題となる。これを抑制する手段として、測定部に端板を用いることがあるが、空力騒音に及ぼす影響は定量的に示されていない。音響透過性多孔質材料で構成された端板を用いる実験手法を提案し、スピーカーによる距離減衰試験で自由音場に近い音響特性が得られることを定量的に明らかにした。さらに円柱、角柱を使ったモデル試験で後流測定を実施し、ジェットエッジの乱れとモデルの干渉の影響を剛壁端板と同程度に抑えられることも確認し、空力騒音の実験計測に音響透過性多孔質材料を活用することの有効性を空力的、音響的側面から示した。

第3章では第2章で構築した風洞実験手法を適用して、空気調和機のモーターステイヤグリルなどの基本構成要素である二次元柱状モデル(円柱、角柱)から発生するエオルス音の低減指針について検討している。検討対象とした 0° から 45° の円柱傾斜角に対し、円柱軸に直角な流速成分を用いて騒音の発生周波数の予測が可能であること、また、傾斜角度が 15° まではピークレベルは急激に低下し、 10dB 程度の騒音低減に効果があることがわかった。角柱に迎え角を与えた場合には、主流に対する幾何的な代表寸法を用いることで、迎え角 13° 以上においてエオルス音の発生周波数が予測できることがわかった。また、騒音のピークレベルおよびバンドレベルの低減効果は迎え角が 13° 付近で最も顕著であり、迎え角 0° に比べると $5\sim 15\text{dB}$ の低減効果が確認できた。以上の検討から、発生周波数の予測と騒音発生量の抑制手段について定量的に明らかにし、低騒音化設計に対する指針を得た。

第4章では熱交換器から発生する耳障りな空力騒音の発生現象を解明している。製品に使用されている熱交換器を切り出し、フィンへの気流流入角が大きい条件と熱交換器の入口側と出口側の圧力差に変化を与えることが可能な風洞実験を実施し、製品で発生する空力騒音を再現した。この騒音はある周波数で卓越し、熱交換器の入口側と出口側の圧力差が特定の範囲で発生することがわかった。騒音のピークレベルは主流速度の6乗に比例し、発生周波数は主流速度に比例することがわかった。この騒音発生時には気流

は熱交換器のフィン間を通過することは無く、熱交換器入口直後のフィン間で浅いキャビティで発生するような停留渦が現れる。さらに、熱交換器の拡大モデルによる実験で、フィン近傍の気流の乱れ挙動を時刻歴に再現し、上流側のフィンエッジで生じた交番渦は下流側のフィンエッジと周期的に干渉し、その周波数で騒音が発生することも確認できた。このような、騒音発生条件を回避するように、熱交換器の流入側に小さな板を挿入する対策を施し、空気調和機の騒音をおよそ10 dB低減することができた。

第5章では空気調和機に搭載されているクロスフローファンを対象とし、実験と数値解析によって空力騒音の音源を探索した。クロスフローファンは幅広の気流生成に効果的な軸方向寸法の大きい構造をしているが、比較的二次元性の強い流れをもつことに着目し、軸方向寸法の小さな薄型のクロスフローファン実験装置を用いて、離散的に特定の周波数で卓越して発生し、聴感上問題となる騒音(回転音)の音源を探索した。側壁に音響透過性多孔質材料を使用し、2本のマイクロホンで音場を測定することにより回転音の時刻歴伝播挙動を再現し、音源位置を特定した。これによりクロスフローファンの回転音の支配的音源がファンの動作点により異なることを明らかにした。さらに非定常数値解析から等価音源項モデルを用いた音源強度を比較し、音源探索実験と整合する結果を得ることができた。本検討対象のファンでは流量係数が0.12, 0.14, 0.16の場合で比較して、流量係数が0.12のとき、ケーシング壁面と羽根車の近接した領域に支配的な回転音の音源をもち、流量係数が0.14のときには羽根車がケーシング壁面、スタビライザーと近接する領域に各々同程度の音源の寄与度をもつことを示した。さらに大流量動作点である流量係数が0.16のときは、スタビライザーと羽根車の近接した領域に支配的な回転音の音源をもつことを明らかにした。この音源探索手法を詳細な製品形状に適用することにより、主音源を的確に捉えることが可能となり、スタビライザー形状の工夫で圧力変動を減じ、回転音をおよそ7dB低減できた。

第6章では多翼ファンの主要な音源位置を捉える手法について検討した。スクロールケーシングに音響透過性多孔質材料を適用し、音響ホログラフィを適用して音源を探索し、検討対象のファン、動作条件では主音源が羽根車の舌部近傍で羽根車の主板側から羽根車高さの約70%の位置に存在することがわかった。また、羽根車出口とスクロールケーシング吹出し口の流れ場を測定し、これによって検証された数値流体解析を用いて、ケーシング内部の流れ場を考察した。スクロールケーシングの吹出口で確認できる乱れた流れの発生源を騒音源と仮定し、数値流体解析の結果に基づいてその発生源を上流側に追跡した結果、音源探索実験で得られた支配的な音源と同じ位置を示し、翼面の圧力変動も大きいことがわかった。これらの知見に基づき、気流の乱れが発生する部位に反り角や厚みを変えた翼形状を用いることにより、およそ2dBの低騒音化を実現した。

最後に第7章では以上の結果をとりまとめている。