

外92-1

早稲田大学大学院理工学研究科

## 博士論文概要

### 論文題目

遠心送風機の内部流れおよび騒音の  
発生機構と特性に関する研究

申請者  
太田 有  
Yutaka OHTA

平成 4 年 4 月

理 1563 (1836)

遠心送風機・圧縮機などのターボ型空気機械は、各種工業プラントにおいて、多種多様に使用されている基幹的な流体機械である。その使用流量・圧力の範囲は非常に広範で、種々の非定常現象を含む運転上の諸問題が、円滑かつ信頼性の高いシステム機能の維持を妨げる場合も頻発する。本研究は、このようなターボ機械内部の流動を把握し、特に発生騒音についてその予測法・低減化法を系統的に明らかにしようとするものである。特に、従来より経験的に対処されている騒音問題に関して、発生機構とその伝播過程について工学的に明解な説明を与え、物理的・数学的モデルを提案しようとするものである。

遠心送風機の発生騒音は、羽根車が回転することによって渦形室内で周期的に発生する音響波を主成分に持ち、吸込口での偏流や渦形室内での乱流・剥離に起因する騒音を広帯域成分に持つと考えられている。これらは、その発生機構の違いから本来別々に評価されるべきであるが、遠心機の形状や内部流れ構造の複雑さに起因して、発生機構や伝播特性を別々に評価・検討した例は数少ない。現在では、最高効率点における総音圧レベルや音響パワを対象として定義された、比騒音レベルや比音響パワレベルが評価法として用いられている。これらの評価法はJIS規格にも採用されているが、そのレベル値に15~20 [dB]にも及ぶ機差の影響が認められ、発生騒音を十分正確に評価しているとは言えない。しかも、送風機系の周波数特性によって、渦形室内での発生騒音は増大または減衰されて系外へ伝播するため、伝播系の特性を分離した形で考慮した評価法が必要となる。

一方、騒音の低減化法に関しては、舌部形状や口金部隙間など送風機幾何形状との関係が調査され、外部騒音に影響を与える各種因子が検討されている。しかし、それらの結果は発生騒音に関する固有の特徴を示すにとどまっている。騒音低減化対策として、現在最も広く行われているのは、防音ラギングや管路内消音器、遮音屏の設置といった方法が中心で、騒音源そのものへの処置がとられている例は極めて少ない。さらに、発生機構に直接関与すると考えられる渦形室内的流れ構造や圧力変動との関連を追求した研究は、殆ど見当らないのが現状である。

そこで本研究では、遠心送風機の発生騒音を最も強く支配する翼通過周波数成分を対象に、伝播系の周波数特性と音源特性とを分離して考慮した騒音相似則を導入し、各項を実験的に確定することにより、発生騒音の評価法および低減化法を確立することを目的とする。また、渦形室内的流れ構造と騒音源との関連について、詳細な計測結果と数値解析に基づいた検討をあわせて行う。

本論文は7章から構成されている。以下、各章ごとにその概要を記述する。

第1章では、序論として、本研究の目的、従来の研究および研究の概要を述べている。遠心送風機の騒音評価法・低減化法に関する現在の研究概況を述べ、その中で本研究の位置付けと目的とを明確にしている。また、比騒音レベル、比音響パワレベルおよび相似則といった騒音評価法に関する従来からの研究概要を述べると共に、今までに確立されている主な騒音低減化法について概説している。

第2章では、本研究に用いた実験装置と騒音、圧力および流速などの測定・解析方法について述べている。実験装置は送風機単体に加え、吸込・吐出管路系、駆動系および騒音測定用無響室から構成されている。供試送風機は、低圧・大風量の遠心送風機であり、比較的低周波数域での発生騒音が問題となる低比速度のものである。実験では、送風機吸込口での騒音レベルおよび渦形室壁面上での圧力変動レベルの測定を中心に、発生騒音の主要成分である翼通過周波数騒音の評価法・低減化法に関する検討を行っている。また、渦形室内流れ場と発生騒音との関連を調査するために行った羽根車吐出流の2次元計測法について述べている。測定にはX型熱線流速計を用いるが、この際上流側センサ支針の後流に起因する測定誤差を、最小に抑えるような校正・計測方法を考案し、実験に適用している。

第3章では、羽根車吐出流れおよび渦形室舌部近傍での圧力変動の測定を通して、渦形室内的流れ構造に関する基礎的情報を得ると共に、発生騒音との関連性について検討を行っている。羽根車吐出流の測定では、X型熱線流速計を羽根車軸方向、周方向および半径方向に移動させることで、従来から資料の少ない空間的変動状況を調査している。この際、吐出流速波形に及ぼす舌部形状の影響に研究の焦点を当て、発生騒音および送風機効率との定性的な関連性についての検討を加えている。この結果、発生騒音と関連の深い羽根車吐出翼後流に対し、翼後流振幅および後流幅といったパラメータを定義することで、半径方向への距離特性が2次元円筒形噴流と同様の拡散状況を示すことを導いている。また、舌部形状の変化に伴う送風機効率の低下が、舌部近傍流れ構造の違いに起因し、発生騒音の問題とは区別して評価すべきであることを提案している。この他、羽根車周方向に規則的に分布する低流量吐出域の存在や、舌部近傍での翼の剥離面の変化など、遠心羽根車の吐出特性や渦形室内流れに関する詳細な情報を提供している。

一方、渦形室壁面上での圧力変動の測定を通して、外部騒音の音源部位が、舌部近傍の羽根車子午面内にほぼ限定でき、しかも運転回転数の4乗に比例して増大する双極子音源の近距離場特性を示すことを明らかにしている。また、舌部頂点付近における動圧変動特性から、渦形壁下面に沿って運転回転数の6乗に比例する騒音圧の特性に移行する過程を実験的に示している。

第4章では、渦形室全体を検査領域とした、Fluid-in-Cell法による3次元数値解析について述べている。第3章において調査した羽根車吐出絶対流速の熱線流速計による実測値を、流入側境界条件として用いることで、渦形室全体に形成される大規模な非定常流れ場の調査を行っている。計算により得られた渦形室内的速度分布や非定常流跡線より、羽根車吐出流が渦形室前面で循環流を形成する様子や、舌部近傍で発生する分岐流面の移動、逆流域の存在など、送風機効率の低下や乱流広帯域騒音の発生と関連すると思われる多くの基礎的資料を提供することができた。これらの結果は、送風機の設計指針を与えるものとなる。

第5章では、外部翼通過周波数騒音に関する騒音相似則および伝播系の周波数

特性について述べている。遠心送風機の発生騒音を最も強く支配する翼通過周波数騒音に対して、音源特性項と伝播系の周波数応答項を区別して考慮した騒音相似則を導入し、各項を実験的に確定した。音源特性項は舌部形状に対して比較的単純な傾向を示し、むしろ定常的に決定されていることを示す結果を得た。一方、伝播系の周波数特性項は、羽根車翼間通路と吸込管路とを伝播経路とする1次元音響波の線形モデルによって実用上有意な精度で推定可能である。このモデルでは、音源波長によって選択される個数の翼間通路を透過する音響波と、全翼間に渡って反射する音響波の、羽根車および吸込管路内での重ね合わせを考慮し、従来の集中定数モデルに対して、より高周波数域での適用を可能とした。これにより、従来の騒音評価法に現れる機差によるばらつきに対し、物理的な解釈を加えると共に、騒音伝播系および音源周波数の影響を考慮した騒音評価法の必要性を提案している。また、伝播系の周波数応答を考慮することで、送風機流体性能に影響を及ぼさずに、低騒音側での設計が行えることを示している。

第6章では、騒音相似則中の音源特性項の定量的評価法、しいては送風機発生騒音の絶対レベルの予測法について、3段階から成る検討を行っている。第1段階では、渦形室壁面上での圧力変動と外部騒音圧との相関解析を通して、壁面上に分布する音源面密度を実測し、有効音源領域を確定している。この結果、外部騒音に対する有効な音源領域は、舌部頂点近傍下面の羽根車子午面内に存在することを定量的に評価している。また、舌部隙間および先端半径が発生騒音に及ぼす影響を明らかに示している。第2段階では、確定した有効音源領域内の圧力変動に相関解析を適用し、自由音場における騒音特性を算出している。これにより、第5章で定めた音源特性および前段階で確定した有効音源領域の妥当性について検討を行うと共に、伝播系の周波数応答関数を考慮することで、外部騒音レベルの評価が可能となることを示している。第3段階では、渦形室壁面上に誘起される圧力変動の準定常モデルを提示し、翼通過周波数騒音の絶対レベルを精度良く予測できることを示している。このモデルでは、第3章で調査した翼後流振幅および後流幅の羽根車半径方向への拡散特性を考慮し、圧力変動振幅は壁面上での瞬時後流波形とともに、流れの動圧で規定する。モデルにより得られた圧力波形に対して、第2段階と同様の相関解析を実行し、翼通過周波数騒音の自由音場特性しいては吸込口での騒音レベルの推定を行っている。以上の結果として、送風機吸込口での翼通過周波数基本成分は、本モデルによる音源特性項の定量的評価、および第5章で示した伝播系の周波数応答関数より、高精度で予測可能であると結論している。また、本研究で用いた騒音相似則および物理モデルを用いた騒音予測法の低流量域における適用可能性について予備的に検討を加え、旋回失速などの非定常現象が発生しない流量範囲において有効であることを示している。

第7章では、結論として、以上の研究で得られた成果を総括して述べると共に、今後追求すべき問題点を示している。