

氏 名	たかの やすし 高 野 靖
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3974 号
学位授与の日付	平 成 19 年 11 月 26 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 題 目	Noise Source Localization and Acoustical Propagation Analysis of Fluid Induced Noise at Low Mach Numbers (低マッハ数での流体騒音の音源探査と音響伝播解析)

論文調査委員 (主 査) 教 授 高 橋 大 弐 教 授 松 久 寛 准教授 伊 勢 史 郎

論 文 内 容 の 要 旨

騒音が問題となるターボ機械や高速鉄道車両などの騒音制御においては、騒音で支配的となる流体騒音の発生メカニズム解明のためのシミュレーション技術の開発が重要である。流体騒音は振動騒音の場合と比べ、発生する部位やメカニズムを事前に推定することが困難な場合が多い。また流体騒音は回転数や速度の 6 乗に比例して増加するため、大型の産業機械や鉄道車両などでは、現場での実負荷での高回転時あるいは高速走行時に問題が発生する。また、流体の支配方程式は非線形であるため、実機スケールでのシミュレーションの検証のためには実機の実稼動状態で詳細な音源分布や周波数特性などの音源特性計測を行うことも必要である。また、実機の全体解析が困難な場合には、シミュレーションに最低限必要な解析領域を特定するため、実稼動状態での音源範囲などの計測も重要となる。本論文では、流体音が問題となるターボ機械や高速鉄道車両などを対象とした流体騒音解析手法ならびに流体音源探査技術に関して検討した内容をまとめたものであり、5 章からなっている。

本論文の第 1 章では研究の背景を述べるとともに、以下の章の内容を概観している。さらに、第 2 章においては音響伝播の解析、第 3 章では音響伝播解析を適用したターボ機械の騒音を対象とした検討結果を述べ、第 4 章では新幹線などの高速鉄道車両を対象とした流体騒音の音源探査技術について述べられている。第 5 章は全体のまとめとなっている。なお、既往の研究に関してはそれぞれの章の最初にまとめて記述されている。以下、第 2 章以降の要旨について示す。

第 2 章では、機器からの音響放射音の解析手法について検討されている。流速の音速に与える影響が無視できる低マッハ数領域で適用可能なヘルムホルツの境界積分方程式の微分型公式を用いた境界要素法において問題となる解の一意性の検討が行われている。この問題は、閉曲面の外部音場を計算する際に、内部問題の固有周波数で解が発散して一意でなくなる現象である。本章では、この発散状態を、外部問題の解析時に内部音場も同時に計算することにより確認し、各種の対策手法について考察されている。その結果、解の発散時には内部音場で内部の固有モードが発生することが確認され、解が発散した場合には、微分型と非微分型の公式の組合せにより、解の発散を回避できることを確認している。さらにこの手法でも対応できない場合についての新たな手法を提案している。

第 3 章では、ポンプや圧縮機などの流体機械の内部流れに起因する流体騒音予測技術に関して検討されている。これらの機器は内部の流体の乱れにより機器のケーシングが振動し騒音を放射する。

第 3. 1 節では、この伝播過程をポンプ本体のフルスケールモデルを用いた流体解析 CFD と構造解析、さらに前章で示した境界要素法による音場解析を組合せることにより放射騒音が精度よく解析可能であることを確認している。

第 3. 2 節では、圧縮機などで見られる特定の回転数において騒音が増加する現象の発生メカニズムの検討を行い、流体機械の羽根車とディフューザの羽根枚数により決定する周方向モードでの共鳴現象であることを明らかにしている。

第 4 章では、高速鉄道車両の高速走行時に発生する流体騒音源を特定するための計測技術に関して検討している。

第 4. 1 節では、高速で移動する音源を捕らえるため、2 次元の X 字型マイクロホンアレイの構造と信号処理方法を示

している。

第4.2節では、X字型のマイクロホンアレイを用い、高速(270km/h)で走行中の新幹線車両の2次元的な騒音源分布を求めることに世界で初めて成功した結果を示している。さらに300km/hまでの高速走行試験により、速度による騒音増加率を求め、車両音源のうち流体騒音源を分離することが可能であることを確認している。

第4.3節では、これまでに開発した音源探査システムの改良について示されている。新幹線のさらなる高速化を目指すためにはさらなる音源分解能の向上が必要となり、ラインセンサカメラと組合せた高精度なアレイシステムが示されている。これにより、実測した車両の状態と音源分布を重ね合わせた表示が可能となり、計測の現場で音源を特定することが可能となった。

第5章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、流体音が問題となるターボ機械や高速鉄道車両などを対象とした流体騒音解析手法ならびに流体音源探査手法に関して検討したものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

(1) ヘルムホルツの境界積分方程式を用いた音響放射解析において、閉曲面の外部での音響放射を計算する際に、内部問題の固有周波数で解が発散する問題が知られている。本論文は、この発散状態を微分型の方程式を用いた外部問題の解析時に内部音場の同時計算を行い、解が発散時には内部音場で内部の固有モードが発生することを明らかにした。各種の対策手法について検討し、解が発散した場合には、微分型と非微分型の公式の組合せるBurton & Millerの手法により解の発散を回避できることを検証し、さらにこの手法でも対応できない場合についての新たな手法を提案した。

(2) ポンプや圧縮機などの流体機械の内部流れに起因する流体騒音の伝播について、ポンプ本体のフルスケールモデルを用いた流体解析CFDと構造解析、及び前記の境界要素法による音場解析を組合せることにより、精度よく解析可能であることを確認した。さらに、圧縮機などで見られる特定の回転数において騒音が増加する現象の発生メカニズムの検討を行い、流体機械の羽根車とディフューザの羽根枚数により決定する周方向モードでの内部共鳴現象であることを明らかにした。

(3) 高速鉄道車両の高速走行時に発生する流体騒音源を求める2次元のX字型マイクロホンアレイの構造と信号処理方法を示し、X字型により270km/hで走行中の新幹線車両の2次元的な騒音源分布を世界で初めて明らかにした。さらにこの技術を用いることによる流体騒音分離技術を開発した。アレイを改良することにより、ラインセンサカメラとの組合せから得られた、実測した車両の画像と音源分布を重ね合わせた表示を可能とし、音源探査精度を向上できることを実測で明らかにした。

このように、本論文は従来、解析・実測が困難であった流体機械からの流体騒音の解析と高速車両からの流体騒音の音源探査を定量的に明らかにする手法の確立に貢献したものであり、学術上においても、実際上においても寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成19年10月19日、論文内容とそれに関連した事項について口頭試問を行った結果、合格と認めた。