

2022年2月15日

豊橋技術科学大学長 殿

機械工学 専攻
学位審査委員会
委員長 佐藤 海二

論文審査及び最終試験の結果報告

このことについて、博士学位論文審査を実施し、下記の結果を得ましたので報告いたします。

| | | | | |
|---|--|-----|---------------------------|-----------|
| 学位申請者 | 小野木 君枝 | | 学籍番号 | 第179103号 |
| 申請学位 | 博士 (工学) | 専攻名 | 大学院工学研究科博士後期課程 機械工学 専攻 | |
| 博士学位論文名 | Analysis for Jet Fluctuation and Acoustic Radiation of Flute-Like Instruments (エアリード楽器のジェット変動と音響放射に関する解析) | | | |
| 論文審査の期間 | 2022年1月13日 ~ | | 2022年2月15日 | |
| 公開審査会の日 | 2022年2月9日 | | 最終試験の実施日 | 2022年2月9日 |
| 論文審査の結果* | 合格 | | 最終試験の結果* | 合格 |
| 審査委員会(学位規程第6条) | | | | |
| 学位申請者にかかる博士学位論文について、論文審査、公開審査会及び最終試験を行い、別紙論文内容の要旨及び審査結果の要旨のとおり確認したので、学位審査委員会に報告します。 | | | | |
| 委員長 | 中村 祐二 | | | |
| 委員 | 加藤 千幸 | | 横山 博史 | |
| | 飯田 明由 | | | 印 |
| | | | | 印 |

※論文審査の結果及び最終試験の結果は「合格」又は「不合格」の評語で記入すること。

論文内容の要旨

本論文は、空力音響解析（数値解析）と人工吹鳴機を用いたモデル実験により、リード楽器の音色や音の性質と楽器の形状、演奏状態との関連性を明らかにしたものである。論文は6章からなり、第1章では、研究背景としてリード楽器についての性質について述べ、第2章では、これまでの研究手法についてまとめ、楽器研究の技術的な課題について整理している。第3章からが本研究の主たる研究内容である。第3章では、リコーダーの発音機構について数値解析結果をもとに明らかにしている。特に噴流の揺動をモデル化することにより、従来の理論より汎用性の高いモデル式を提案し、音が発生する条件、基音と倍音の関係を明らかにした。また、歌口の形状によりオクターブジャンプの発生条件が異なる要因を明らかにした。第4章では、フルートの発音機構について実験による分析を行い、フルートの倍音発生条件が歌口への噴流吹き込み角により変化する理由を検討し、従来用いられてきた幾何学的定義された偏心値ではなく、噴流の中心位置を基準とした実効偏心値でモデル化すべきであることを明らかにした。第5章では、フルートに関する空力音響解析を行い、フルートの音を数値解析により定量的に再現できることを示すとともに、第4章で得られた実効偏心値が吹き込み角度により変化する理由を明らかにし、楽器の発音をモデル化する際に、流体力学的な特性を考慮する重要性について示した。第6章では、3章から5章で得られた知見をまとめ、リード楽器の流体力学的特性と音響特性の関連性について述べている。

審査結果の要旨

リコーダーやフルートは身近な楽器であるが、その発音機構を力学的に明らかにするには、流体解析、音響解析を組み合わせたマルチフィジックス問題を取り扱う必要があり、非常に複雑である。また、楽器のような経験的な知見をもとに製作され、演奏者ごとに使用条件も異なるものの特性を明らかにすることは通常の工業製品とは別の難しさがある。本研究では、スーパーコンピュータを用いた高精度の数値解析、人が演奏している場合の口腔形状をもとに作成した人工吹鳴機による実験と論文執筆者自らが演奏することにより実際の現象を詳細に検討し、力学的なモデルを構築した点に特徴がある。これまで楽器音響の理論モデルは音響学的な理論をもとにしたものが多く、流体力学的な特性、流体の不安定性や外乱応答などについては十分に解明されていなかった。リコーダーの発音機構として古くから知られているFletcherのモデルでは、吹き出し口では、音響的な圧力変動と流体力学的な圧力変動が釣り合うという条件を課しているが、このような条件が常に成り立つ必然性はなく不自然な点があった。

本論文では、吹き出し口での音響的な圧力変動、流体力学的な圧力変動を独立で与えるとともに、吹き出し口からの噴流の揺動をモデル化することにより、流体力学的な外乱の成長による変動と音響学的な変動の成長率の違いを明らかにした。また、歌口の形状により、発生音の周波数が一オクターブ高くなるオクターブジャンプが発生する条件が異なる現象が噴流の速度分布の違いによる安定性の差に起因していることを示唆した。フルートのように人の口の形や吹き込み角度のような演奏者の個人差が大きく影響する要素も含めて定量的に評価するための実験方法（人工吹鳴機）を提案し、流れ場や音場を詳細に計測し、数値解析結果を検証した点も評価できる。フルートについては、主に演奏条件による倍音構成の違いについて検討している。従来の理論では、音響学的な知見をもとに口の中心位置と歌口エッジの相対的な位置の差である偏心値をもとに理論が構築されていたが、このモデルでは、エッジへの吹き込み角度が変わると理論と一致しなくなる問題があった。このことについて実験的に検討し、吹き込み角度が変わると口からの噴流がエッジに衝突する場合の条件が変わり、実効的な偏心値が変化することが要因であることを明らかにした。

これらの知見は楽器の発音機構を力学的に明らかにするとともに、これまで経験やノウハウをもとに行われていた楽器開発や演奏方法を科学的に分析することが可能であることを示唆しており、工学的に有益な成果を得ている。以上により、本論文は博士（工学）の学位論文に相当するものと判定した。

(各要旨は1ページ以上可)