

音響振動連成場の高精度数値解析と膜鳴楽器への応用

荒木, 陽三

<https://doi.org/10.15017/1807039>

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

氏 名	荒木 陽三			
論 文 名	音響振動連成場の高精度数値解析と膜鳴楽器への応用			
論文調査委員	主 査	九州大学	准教授	鮫島 俊哉
	副 査	九州大学	教授	尾本 章
	副 査	九州大学	教授	鏑木 時彦

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文では、ティンパニやドラムなどの膜鳴楽器の音響-振動連成場の解析手法について、その高精度化と高効率化を目指し、いくつかの数値解析手法を開発・提案している。申請者が本研究を遂行するにあたっては、適切な研究指導が行われた。

まず、膜鳴楽器の構成要素を、ヘッド、ケトル（ドラムシェル）、ヘッドとケトルに囲われた閉空間、膜鳴楽器の外側の開空間に分割して、それぞれの構成要素ごとに、その振動場/音場の数値解析手法を構築している。これらの構成要素の物理解析モデルとしては、ヘッドについては膜・薄板振動場、ケトルについてはシェル振動場、ヘッドとケトルに囲われた閉空間については内部音場、膜鳴楽器の外側の開空間については外部音場、をそれぞれ採用している。それぞれの物理解析モデルの数値解析手法を構築する際には、ヘッドの曲げ剛性を考慮したり、外部音場における開領域問題としての放射条件（無限遠方において、座標原点から離れる方向にのみ音波が伝搬する条件）を厳密に考慮するなどして、現実的な物理動作条件を精密に反映した定式化を実行している。加えて、膜鳴楽器の形状の軸対称性を利用してフーリエ級数展開を導入することや、高精度な数値解析手法として近年発展しているスペクトル法を導入することで、計算の高精度化/高効率化を試みている。

特に、スペクトル法の導入に関しては、スペクトル法の汎用性を向上させる工夫をいくつか施している。従来のスペクトル法では、シェル振動場の支配方程式を解析する場合、ある限られた境界条件のみしか取り扱うことができないため、新たに **Hermite** 補間型微分マトリクスを用いたスペクトル法を開発し、解析可能な境界条件の制限を取り除いている。また、スペクトル法は大域的な内挿関数を用いるという性質上、そのままでは整形な領域しか解析することができないため、新たに一般曲線座標系を導入したスペクトル法を開発し、膜鳴楽器の内部/外部音場の形状が不整形であることに対応できるようにしている。さらに、スペクトル法は本質的には領域型解法であるがゆえ、そのままでは開領域問題に適用することができないため、新たに **Dirichlet-to-Neumann** 写像を組み込んだスペクトル法を開発し、開領域問題を厳密に考慮できるようにしている。これらの成果は、一般的な数値解析手法としてのスペクトル法自体の研究という観点からみても、高く評価できるものである。

ヘッド、ケトル、ヘッドとケトルに囲われた閉空間、膜鳴楽器の外側の開空間ごとに、新規に構築した数値解析手法は、実測、理論解析解、有限/境界要素法などの既往の数値解析手法と比較することで、その妥当性および既往の数値解析手法に対する計算コスト上の利点を示している。

次に、これら構成要素ごとに新しく構築した高精度な数値解析手法を、お互いの相互作用を精密に考慮することで音響-振動連成場として適切に連成し、膜鳴楽器のトータルシステムとしての音響-振動連成数値解析手法としてまとめている。構築した音響-振動連成数値解析手法についても、既

往の数値解析手法と比較することで、その妥当性および既往の数値解析手法に対する計算コスト上の利点を示している。

本論文の最後においては、本論文で提案した音響-振動連成数値解析手法の応用例として、計算知能と組み合わせた楽器設計・創生のフレームワークをイメージ・提案しており、このことも高く評価できる。

本研究によって得られた成果により、解析条件によっては、既往の数値解析手法よりも、本論文で構築した数値解析手法を使用することが、解析精度や計算コストの観点から有効であることが示されている。このことは、今後の研究の展開により、音響-振動連成解析に基づく膜鳴楽器の設計や、あるいは物理モデルに基づく楽器音響合成に寄与するものと考えられる。

以上より、学位審査を厳正に実施した結果、本論文は博士（芸術工学）の学位授与に値するものと認める。