

位相振動子モデルを用いたオルガンパイプの周波数 引き込み現象に関する研究

岡田, 昌大

<https://hdl.handle.net/2324/2236238>

出版情報 : Kyushu University, 2018, 博士 (芸術工学) , 課程博士
バージョン :
権利関係 :



氏名	岡田 昌大			
論文名	位相振動子モデルを用いたオルガンパイプの周波数引き込み現象に関する研究			
論文調査委員	主査	九州大学	教授	鏑木 時彦
	副査	九州大学	准教授	鮫島 俊哉
	副査	九州大学	准教授	伊藤 浩史

論文審査の結果の要旨

本論文は、複数のオルガンパイプの間で生じ得る音響学的な相互作用について、これを周波数引き込み現象という観点から検討したものである。音響学の分野において、周波数引き込み現象を扱った研究事例はこれまであまり存在しない。本論文では、パイプ音の実測と音響分析を通して周波数引き込み現象の存在を確かめるだけでなく、位相振動子モデルという数学的モデルに基づいて、外力に対する引き込みの生じやすさを定量的に求めており、この分野のパイオニア的な研究成果が得られている。

オルガンパイプ（フルーパイプ）は、空気ジェットの揺動によって音が発生する自励振動システムの一つと考えられる。パイプオルガンでは、このようなパイプが多数隣接して設置されており、相互に音響的に結合し得る。このパイプ間の相互作用によって、わずかに異なるピッチのパイプが同一のピッチで発音する現象が知られており、オルガンパイプの製作や調律において問題となっている。本論文では、このような音響学的な相互作用に対して、位相振動子モデルを用いて理論的説明を与えるとともに、実際のフルーパイプに対して外部駆動信号による周波数引き込み現象を測定し、実験的検証をおこなっている。さらに、実測データをもとに、周波数引き込みの生じやすさを表す位相感受関数を推定することで、音響振動系に対する位相振動子モデルの有効性が議論されている。加えて、位相振動子モデルの応用の一例として、「パイプオルガンを調律する際に、どのようなパイプ対（組み合わせ）を選べばよいか」についても検討しており、位相振動子モデルと音響学の関わりについて、より深い考察が与えられている。本論文はこの点においても新規性がある。

本研究により得られた主要な成果は、以下の通りである。(1) 外力(正弦波や複合音)の周波数成分がパイプ音の周波数成分に近接し、周波数引き込みが生じることを、理論と実測の両面から確認した。(2) 正弦波外力による周波数引き込みの測定結果より推定される位相感受関数を示した。(3) 外力としてパルスやホワイトノイズを用いて位相感受関数を推定する方法を示し、実験的に有効性を確かめた。(4) 2本のパイプ対に生じる周波数引き込みについて理論的枠組みを与え、パイプ対の評価方法を体系的に示した。

自励振動現象は、楽器や音声の音源として広く知られている。本研究は、音響学の分野における同現象を巨視的な観点から数学的に扱う方法と、その有効性を示した点において、オリジナルで独創性の高い研究である。これまで音響学は主として線形理論に基づいて発展してきたが、音の発生という非線形現象はいまだに取り扱いが困難となっており、本論文ではその困難さを自励振動という観点から巨視的にとらえることで、周波数引き込み現象の理論的枠組みの構築に成功

している。さらに、パルスやホワイトノイズに対する応答を基とした線形システム理論の考え方を、自励振動システムに対して適用・拡張した点も高く評価でき、またそれらの理論構築を基として、実際の音響学的システムの位相感受関数が示された点も評価に値する。パイプ対に生じる周波数引き込みの考察から、実際のパイプオルガンの調律に関する示唆が導出された点も極めて興味深い。

本論文は、周波数引き込み現象の理論解析の立場からも非常に高く評価できる。周波数引き込み現象は様々な分野において観測されている。これらの分野における振動は比較的周波数が低く、解析に用いられる理論もこのような遅い振動に対して発展してきた。しかし、音振動は高い周波数を有し、従来の理論では解析が難しい。その中で、音現象に対応し得る理論を構築し、妥当性のある結果を導けたことには高い価値があると判断できる。

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）の学位に値するものとして認めた。