

Title	Study on Resonant Excitation of High-amplitude and Shock-free Oscillations of an Air Column in a Tube.
Author(s)	増田, 光博
Citation	大阪大学, 2006, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/46758
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について <a>〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	増田光博
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 20428 号
学位授与年月日	平成 18 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 基礎工学研究科システム人間系専攻
学位論文名	Study on Resonant Excitation of High-amplitude and Shock-free Oscillations of an Air Column in a Tube (大振幅かつ衝撃波を伴わない管の中の気柱の共振に関する研究)
論文審査委員	(主査) 教授 杉本 信正 (副査) 教授 辻本 良信 教授 河原 源太

論文内容の要旨

管の中に閉じこめた気柱の一端にピストンを設け、気柱の固有周波数近くで振動させると、気柱は激しく振動する。この共鳴現象を用いると、微小変位で駆動しても大振幅の圧力変動が容易に実現できる。このため、音響コンプレッサをはじめ熱音響エンジンや冷凍機のような、シール摺動部が全く不要な長寿命かつ高リサイクル性をもつ装置の創出が可能となる。

しかし圧力変動が大きくなると、非線形性により波形が歪み、ついには衝撃波が発生する。衝撃波が起きると、駆動振幅を増加しても圧力振幅はあまり大きくならない、いわゆる「音響飽和現象」が生じる。

本論文は、管にヘルムホルツ共鳴器列を管軸方向に配置することにより発生できる分散性（音速が周波数に依存する性質）に着目して、大振幅の圧力変動の発生を可能とする新しい方法について研究したものである。このとき分散性は、気柱の共鳴周波数を基本共鳴周波数の整数倍からずらすことにより、基本周波数で入力したエネルギーが高調波へ運ばれるのを抑制し、衝撃波の発生を抑える。

まずこの分散性及び非線形性の効果を理論的に解明するために、準一次元流かつ共鳴器列の効果の連続体近似を基礎にモデル化を行い、非線形周波数応答を導出した。その際、共鳴からのずれに相当した緩やかな時間スケールを導入し、多重尺度の方法を用いて漸近解を求めた。

次に、高調波共鳴及びエヴァネッセンスを避けるように共鳴器列を設計することにより、実験を理論の条件に合わせ、その検証を行った。管内の軸方向の各点、及び各共鳴器内の変動圧力について測定し、周波数成分ごとの振幅及び位相について分布を調べた。その結果、圧力変動が平衡圧の 10% (約 174 dB) の振幅に対して、基本周波数成分の解析結果は実験結果とかなり良い一致を示し、共鳴器列の効果を理論的に十分予測することが可能になった。ただ、共鳴器スロート部を通過する空気により形成されるジェット为非線形散逸効果が次第に大きくなることも明らかになった。

論文審査の結果の要旨

管の中に閉じこめた気柱の一端にピストンを設け、気柱の固有周波数近くで振動させると、気柱は激しく振動する。この共鳴現象を用いると、微小変位で駆動しても大振幅の圧力変動が容易に実現できる。このため、音響コンプレッサをはじめ熱音響エンジンや冷凍機のような、シール摺動部が全く不要な長寿命かつ高リサイクル性をもつ装置の創出が可能となる。しかし圧力変動が大きくなると、非線形性により波形が歪み、ついには衝撃波が発生する。衝撃波が起きると、駆動振幅を増加しても圧力振幅はあまり大きくならない、いわゆる「音響飽和現象」が生じる。本論文は、管にヘルムホルツ共鳴器列を管軸方向に配置することにより発生できる分散性（音速が周波数に依存する性質）に着目して、大振幅の圧力変動の発生を可能とする新しい方法について研究したものである。

分散性は、気柱の共鳴周波数を基本共鳴周波数の整数倍からずらすことにより、基本周波数で入力したエネルギーが高調波へ運ばれるのを抑制し、衝撃波の発生を抑える。まず第2章では、分散性のない一様な断面の管の中の気柱を共振させることによって衝撃波が発生することを実験で確認し、第3章では衝撃波発生メカニズムについて考察した。第4章では分散の効果について議論し、実際に予備実験で衝撃波抑制の効果を示した。さらに分散性及び非線形性の効果を解明し定量的に把握するために、第5章では準一次元流かつ共鳴器列の効果の連続体近似を基礎にモデル化を行い、非線形周波数応答を導出した。その際、共鳴周波数からのずれに相当した緩やかな時間スケールを導入し、多重尺度の方法を用いて漸近解を求めた。大振幅の変動を発生させるには、理論結果から高調波共鳴及びエヴァネッセンスを避けることが示唆され、また非線形係数 Q とジェットロスの係数 D の低減が必須であることが明らかになった。第6章では、この結果を反映させた管路ならびに共鳴器列を用いた実験結果を述べている。管内の軸方向の各点、及び各共鳴器内の変動圧力について測定し、周波数成分ごとの振幅及び位相について分布を調べた。その結果、圧力変動が平衡圧の 10% (174 dB) の振幅に対して、基本周波数成分の解析結果は実験結果とかなり良い一致を示し、共鳴器列の効果を理論的に十分予測できることが明らかにされた。さらに第7章では、衝撃波の形成を抑制する最適かつ最小の共鳴器列の設計を目指し、衝撃波形成限界を実験的に明らかにし、今後より一層大振幅の圧力変動が発生できる方向を示した。

このように、気柱の共振において発生する衝撃波を、分散性を利用すればうまく抑制できることを理論ならびにそれに基づいた実験により世界で初めて明らかにしたことは、博士(工学)の学位論文として価値のあるものと認める。