

Title	Thermoacoustic-wave equation and its application to marginal conditions for the onset of gas oscillations in a looped tube
Author(s)	兵頭, 弘晃
Citation	大阪大学, 2014, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/34529
rights	© 2014 Cambridge University Press
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

論 文 内 容 の 要 旨

氏 名 (兵 頭 弘 晃)

論文題名

Thermoacoustic-wave equation and its application to marginal conditions for the onset of gas oscillations in a looped tube
(熱音響波動方程式とそれに基づくループ管内気体の発振条件導出への応用)

論文内容の要旨

壁に囲まれた流路内の気体は、流路方向に沿って壁に適当な温度勾配を与えると不安定化し発振することがある。このような現象は熱音響現象とよばれており、熱と音の相互変換が行われている。最近ではこの現象を利用した熱機関の研究が行われており大きな注目を集めている。しかし熱音響現象の理論的な取り扱いにはRottを除いて多くなく、その確立が必要とされている。

本論文では熱音響波動方程式の導出と、それに基づいたループ管型熱音響式熱機関の気体の発振条件を導出する。熱音響波動方程式は線形理論の範囲で、壁面の温度分布や変動の管軸方向の変化の代表長さが管径に対して十分長いという細管近似の下で導出される。Rottの理論は時間調和振動を仮定しているのに対し、この方程式は、温度変化のある気体の中を伝播する超過圧に対する1次元波動方程式に、拡散効果による履歴効果を考慮した微積分方程式で時間・空間領域で一般に与えられる。さらに熱音響波動方程式は、拡散層の厚さに対する流路径の大きさに応じて近似することができる。

本研究では壁の熱伝導性の効果が熱音響波動方程式とその近似波動方程式に及ぼす影響を明らかにした。壁の熱伝導の効果は通常無視できるとされていたが、その影響が大きくなる場合があることが明らかにされた。しかし近似理論において新しい形の項は現れず、壁の熱伝導の効果は係数を調整することで取り入れることができることが分かった。次に近似理論を、スタックを挿入したループ管路において気体が不安定化する臨界条件の導出に適用した。スタック内の流路径が狭い領域では、厚い拡散層近似を用いた拡散・波動方程式を、それ以外の領域に対しては、薄い拡散層近似を用いた波動方程式をそれぞれ適用する。ループ管の各領域における波動方程式の解析解を求め、ループ管内の気体が不安定化するための臨界条件を導出した。この条件が得られたことで、臨界状態におけるループ管内の場の量の時間変化や空間分布も明らかにすることができ、ループ管路の特徴である進行波の出現が確認できた。最後に臨界条件をRottの方程式を数値的に解いて求めた臨界条件と比較した。近似理論の結果とは十分な一致が見られ、その有効性が確かめられた。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (兵 頭 弘 晃)	
	(職) 氏 名
論文審査担当者	主 査 教 授 杉 本 信 正
	副 査 教 授 河 原 源 太
	副 査 教 授 川 野 聡 恭

論文審査の結果の要旨

本論文は、温度勾配のある固体壁に接した気体の粘性や熱伝導性の拡散効果により生じる不安定化の臨界条件および出現する臨界状態を、ループ管路内での気体を対象に理論的に研究したものである。

論文の前半は、固体壁の熱容量が気体のそれに比して大きいことから、普通無視されることが多い固体内の熱伝導性の効果を定量的に調べ、これが流路内の気体の振る舞いを記述する熱音響波動方程式にどのような影響を及ぼすかを議論している。拡散層の厚さと流路径との大小によって熱音響波動方程式を近似し、その影響を明らかにした。この結果、拡散層が薄い場合には固体壁の影響は無視できる一方、厚い場合には流路径との関係においてその影響が大きくなることが明らかにされた。その効果は、固体壁の影響を無視した方程式の係数を調整することによって取りこむことが出来ることが示された。特に、固体壁と流路径の比が特定の値をとるときには、固体壁の影響が飛躍的に大きくなる場合が存在することを明らかにし、固体内の熱伝導性の効果が選択的に現れることを示した。

論文の後半は、ループ管路の中に多くの細孔が空いたいわゆるスタックを挿入しこれに温度勾配を課した場合に、気体が不安定化する臨界条件の導出を、上で述べた近似熱音響波動方程式を用いて議論している。細孔内の気体に対しては拡散層が厚いとした拡散・波動方程式を、一方スタックの外部の気体には拡散層が薄いとした境界層方程式を適用し、それぞれの区間間で質量流束とエネルギー流束が連続になることを要求し周波数方程式が導出された。この方程式に含まれる未知の角周波数の虚部がゼロになる条件から、不安定化の臨界条件が求められた。これにより臨界状態におけるループ管路内の物理量の場が明らかにされ、ループ管路内の熱音響振動の特徴である進行波の発生が示された。また、ループ管に沿って流れるエネルギーフラックスの分布も求められ、スタック内でのエネルギーフラックスの生成が解明された。最後に、得られた臨界条件を検証するために、従来用いられてきたロットの理論を基に数値計算によって臨界条件を求め、この結果と比較することによって近似理論の有効性も示した。

このように、本論文は、熱音響波動方程式とその近似理論の有効性を臨界条件の立場から初めて明らかにしたものであり、今後の近似理論の非線形領域への拡張への基礎を築くことになり、博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める。