

25 熱音響システムの安定性解析における周波数応答計測系の改善

Remediation of frequency response measurement system in stability analysis of thermoacoustic system

機械創造工学課程 4年 17303291 小池廉太郎 担当教員 小林泰秀 准教授

Abstract

Thermoacoustic phenomenon is mutual energy transducing of heat and acoustic. Thermoacoustic engine utilizing thermoacoustic phenomenon composed of thermoacoustic core and resonator and can be used for power generation and cooling. In preceding study, characteristics of the thermoacoustic core and resonator were individually measured by frequency response, and pressure amplitude was expected by using stability analysis. The experiment system used in this laboratory is difficult to assemble and low repeatability of experiment result. In this study, we focused on components of experiment system and method of assembly. This study showed usability of improving experiment system and repeatability of experiment result.

1. 背景

熱音響自励発振を利用したシステムの実用化

工場や機械の廃熱を利用した熱音響発電や冷凍機などのシステムの提案

[需要]設計の段階で熱音響エンジンの性能を知りたい

計算によって性能を予測

→実際のシステムの性能と差

実用化上の課題のひとつ

実際の熱音響エンジンは組み立てた後に発振実験によって性能を調べる

→所望の性能を得るまで装置を繰り返し調節

2. 先行研究・問題点

先行研究

「熱音響エンジン」を「コア部」と「管部」に分けてそれぞれ周波数応答を取得
 →安定性解析を用いて定常発振時圧力振幅を推定†

コア部・管部の周波数応答計測系では共通の圧力センサとスピーカーを使用
 それぞれ周波数応答計測系を構成する際に実験装置の組み直しを行う

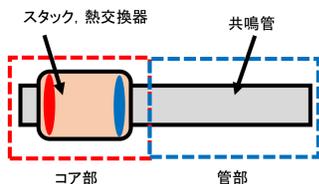


Fig.1 熱音響エンジン(概略図)

[問題点]実験結果の再現性が低い

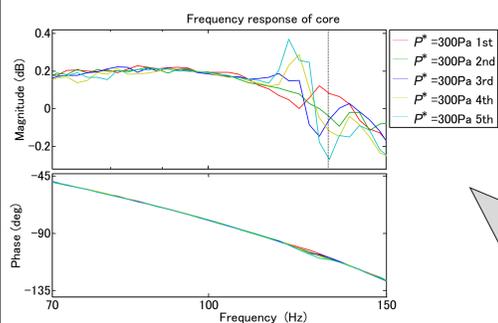


Fig.2 コア部の周波数応答(塩ビ管装置)

先行研究で使用した実験装置の実験結果

毎回の測定後に実験装置を組み直して周波数応答を取得

測定周波数範囲における最大のばらつき 0.35(dB)程度

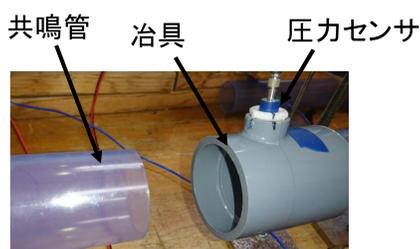


Fig.3 塩ビ管の接続

実験装置に塩ビ管を使用し管同士を**はめあい**によって接続

実験装置の組み直しで接続点で寸法の誤差ができる可能性

組み直しの際に大きな力が必要になり圧力センサが破損の恐れ

3. 目的

- 実験結果の**再現性**の向上
 実験装置組み直して実験結果のばらつきが小さくなるようにする
- 実験装置の**組み立てやすさ**の改善
 圧力センサを治具に取り付けたまま装置の組み替えを容易にする

4. 装置の製作

共振管を塩ビ管からサニタリー管に変更

- クランプによる接続で装置の組み直しが容易
- 組み直しをした際に接続点での寸法の誤差ができる可能性が低く
- 圧力センサ取り付け治具を製作、接続でセンサ破損の恐れがなくなる

→実験装置の組み立てやすさが向上

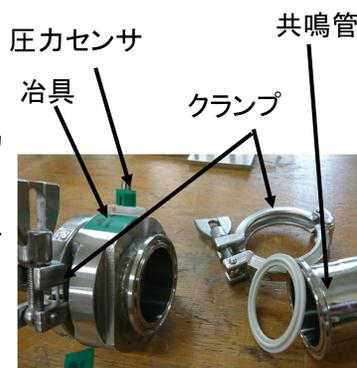


Fig.4 サニタリー管の接続

5. 実験装置

コア部の周波数応答計測系

スピーカーで加振しコア部の周波数特性を計測

2センサ法を用いて P_{C2} における進行波圧力成分 A_2 (出力), B_2 (入力) を測定

コア部の周波数応答 ゲイン $G = A_2/B_2$ 位相差 $\Phi = \angle G$

Table 1 装置仕様

	塩ビ管の実験装置	サニタリー管の実験装置
共振管	塩ビ管	サニタリー管
コア両端フランジ	塩ビ管フランジ	サニタリーフランジ
装置全長(mm)	1333	1378
センサ間距離(mm)	518	519

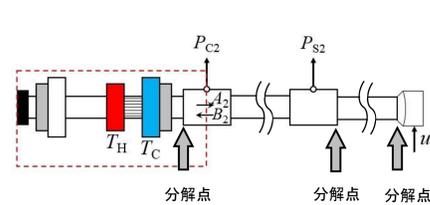


Fig.5 コア部の周波数応答計測系(模式図)

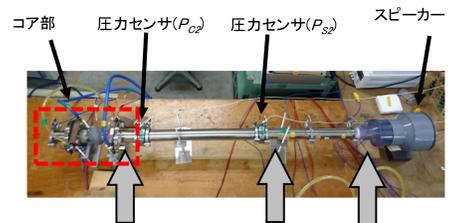


Fig.6 コア部の周波数応答計測系(実験装置写真)

6. 実験結果

周波数応答実験

- $T_H = 200(^{\circ}\text{C})$, $T_C = 13(^{\circ}\text{C})$ (T_H はヒーター, T_C はチラーで一定に保持)
- 目標圧力振幅 $P^* = 300(\text{Pa})$ で定常発振制御
- 周波数応答取得範囲 70~150(Hz)
- 組み直しの際に外す必要のある全ての点(分解点)で分解
- 管の接続はクランプの締め付けで固定

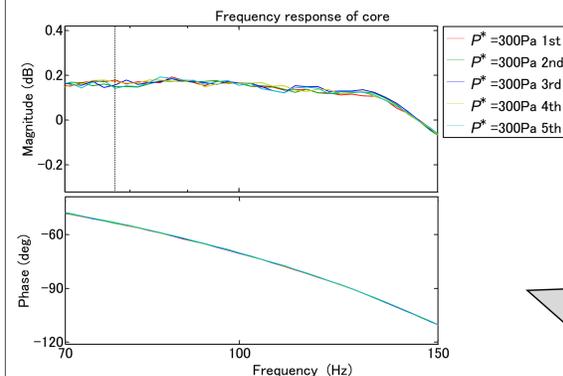


Fig.7 コア部の周波数応答(サニタリー管装置)

毎回の測定後に実験装置を組み直して周波数応答を取得

測定周波数範囲における最大のばらつき 0.038(dB)程度

クランプ接続で組み直しによる実験装置の寸法の誤差が小さくなった可能性

塩ビ管の実験装置

組み直しの前後で最大**0.35(dB)**の差

サニタリー管の実験装置

組み直しの前後で最大**0.038(dB)**の差

最大のばらつきが1/9程度に

実験結果の再現性が向上

7. まとめ

- 実験装置の組み直しで実験結果のばらつきが小さくなり**再現性が向上**した
- 圧力センサを治具に取り付けた状態での実験装置の**組み直しが容易**になった

8. 今後の課題

- 製作した装置でコア部と管部それぞれの周波数応答を取得、安定性解析
- 熱音響エンジンの製作

†参考文献「定常発振制御に基づく振幅依存性を考慮した周波数応答計測と熱音響自励発振時圧力振幅の推定」中田匠, 小林泰秀著, 長岡技術科学大学 大学院 工学研究科 修士論文(2018.3)