ループ型熱音響エンジンの諸特性の把握と高効率化に向けた検討* (車両搭載を視野に入れたシステム構築の検討)

勝田 正文^{*1}, 納 富 信^{*2}, 鈴木 啓 史^{*3}
谷 洋 平^{*3}, 平澤 顕^{*3}, 柳 寿 宜^{*3}

Study on the Looped-Type Thermoacoustic Prime Mover for the High Efficient and Practical System

Masafumi KATSUTA, Makoto NOHTOMI^{*4}, Keishi SUZUKI,
Yohei TANI, Ken HIRASAWA and Hisanori YANAGI

^{*4} Graduate School of Environment and Energy Engineering, Waseda University,
1011 Nishi-tomita, Honjo-shi, Saitama, 367-0035 Japan

In this research, our interests focused on the thermoacoustic prime mover to recover the waste heat and effective utilization of it. The advantages of this prime mover are the flexibility for various heat sources as an external engine and a possibility as the cost effective system due to simple structure. To improve the total thermal efficiency, various efforts have been made experimentally to grasp the optimization of stack structure which plays an important role to energy conversion. Finally, discussions on the future application of prime mover aiming to utilize the waste energy of exhaust gas are made and, by installing a membrane of natural rubber inside the tube, the acoustic intensity has increased by 20%.

Key Words: Thermoacoustic Prime Mover, Stack Structure, Recovery of Waste Heat

1. 結 言

近年, 地球環境問題が顕在化する中, 排エネルギーの有効活用が各分野で求められている. そこで, 排熱を回収して有効利用するシステムとして, ①外燃機関であるため熱源の自由度が高い⁽¹⁾⁽²⁾, ②単純な構造のため安価で製造できる, という長所を持つ熱音響エンジンに注目した. 熱音響現象は音響エネルギーと熱エネルギーとの相互変換により発生する現象で, 音波が自由空間を伝播する時, 流体は断熱的に変化するので周囲との熱のやり取りは生じないが, 狭い空間内を伝播する時は, 音波は近傍固体との間で熱交換が行われる.

本研究では進行波型熱音響エンジンの高効率化のために, 心臓部であるスタック部構造の最適化の指針を得ること, また高効率化の阻害となっている質量流を遮断する方法, その影響を把握する. そこから実機搭載に向けて⁽³⁾, 発電システムへの展開や, 排熱の回収方法・車両搭載スペース等を考慮した装置形状の決定に資する指針を得ることを目的とする.

2. 実験装置および実験方法

2-1 装置全体図 実験装置の全体図, スタック詳細図を図1に示す.

○ : Mounting Point of Pressure Sensor

● : Mounting Point of Thermocouple

Fig.1 Schematic of Experimental Apparatus

装置は, ループ周長4.2m, 外径60.5mm, 内径52.7mmのステンレスパイプで構成され, 長辺部が1233mm, 短辺部が700mmの長さ, 作動ガスをArとし, 75Hzの波が励起される. また, 音響波を解析するためにループに沿ってひずみゲージ式圧力センサを12個設置し, 2-Sensor-Methodにより音響強度を把握する. スタックは金属製の平織りメッシュを積層して構成し, 加熱

* 原稿受付 2009年9月18日:

^{*1} 正員, フェロー, 早稲田大学大学院環境・エネルギー研究科
(〒367-0035 本庄市西富田1011).

^{*2} 正員, 早稲田大学大学院環境・エネルギー研究科.

^{*3} 早稲田大学理工学術院.

E-mail: nohtomi@waseda.jp

部（高温端）はシーシヒータを巻きつけた。

銅ブロックを管内に挿入してスタック端面を加熱、低温部（低温端）は管外から循環水により冷却する。

電気ヒータによる加熱と、循環水による冷却からスタック両端に急激な温度勾配が生じることで管内の作動ガスが自励振動を始める。そこで各部圧力ならびに温度を測定し、音響波の挙動を観察する。

3. 実験結果及び考察

3・1 質量流の遮断 高温端からスタックと逆方向（WTT:Work Transfer Tube）へ流れ出す質量流を遮断するために、厚さ 0.082mm のゴム膜を設置した。位置は図 1 内部の左端であり、実験条件は 500W 入力、Ar600kPa 封入とした。図 2 に高温端・WTT での膜の有無による温度履歴の比較を、表 1 に入熱開始から 4000 秒後の圧力振幅、音響強度を示す。

ゴム膜未設置時に見られる発振後の高温端温度の急激な降下と WTT 部の温度上昇が、ゴム膜の挿入により抑制されたことから、ゴム膜は熱の流出を遮断し、振幅で 9%、音響強度で 22% 向上する効果を確認した。

Fig.2 Temperature History(With & Without Membrane)

Table1 Experimental Results (With & Without Membrane)

Membrane	Pressure Amplitude kPa	Sound Intensity kW/m ²
Without	22.8	16.2
With	24.9	19.8

3・2 加熱量の影響 ゴム膜を挿入した状態（膜位置は高温端から 337mm）で 300W から 700W まで加熱量を変化させた実験を行った。各加熱量での高温端の温度履歴を図 3 に加熱量に対する音響強度を図 4 に示す。加熱量の増加とともに高温端温度は上昇し、300W 入力で約 400℃、700W 入力で約 800℃で発振した。アイドリング時から高負荷運転時の排ガス温度レベルまで安定した発振が可能であり、音響強度、圧力振幅は加熱量と比例関係にある。

Fig. 3 Temperature History at Hot Side

Fig. 4 Sound Intensity & Pressure Amplitude vs. Heat Input

4. 展 望

4・1 搭載車両・設置方法に関して 実車に搭載した状態を模擬した高温・低温端温度制御による実験が必要である。加えて車載方法としては、触媒後の排管と直交する形で隔壁式熱交換器を設置し(図 5)、センターマフラーを囲う形で車体下に搭載することを想定している。(図 6) 触媒からリアマフラーまでの長さ、サイドメンバー間の幅を考慮すると、全長で 3~4m 程度のループ管の構成となる。

Fig.5 Example of Hot Heat Exchanger

Fig.6 Image View of Thermoacoustic System on Vehicle

5. 結 言

- (1) ゴム膜を挿入することにより質量流は遮断され、音響強度が 1.2 倍に増幅した。
- (2) 広い温度範囲で安定的に運転・発振が可能であることが分かった。

参 考 文 献

- (1) Matsubara, Thermoacoustic cooling system that aimed at small-scale self sufficiency, *IEICE technical report. Ultrasonics* 106(482) (2007) pp.19-24
- (2) Komiya, Trial on the thermoacoustic cooling by using the solar heat energy as input energy~ Study on loop tube cooling system for practical application ~, *The Acoustical Society of Japan* (2008) pp.1289
- (3) Hatazawa, Performance of a Thermoacoustic Sound Wave Generator driven with Waste Heat of Automobile Gasoline Engine, *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers. B* 70(689) (2007) pp.292-299