

戦略的創造研究推進事業 (ALCA)  
実用技術化プロジェクト「新規材料および新機構に  
よる熱利用技術」  
課題名「カルノー効率の 60%に達する廃熱回生熱  
音響システム」

## 終了報告書

研究開発期間 平成25年10月～令和3年 9月

研究開発代表者:長谷川真也  
(東海大学工学部動力機械工学科,  
准教授)

## ○報告書要約 (和文)

研究開発代表研究者 : 東海大学 准教授 長谷川 真也

研究開発課題名 : カルノー効率の 60% に達する廃熱回生熱音響システム

### 1. 研究開発の目的

燃料などを燃焼させた際に発生する未利用廃熱を高い効率で回生し再利用する技術を開発することは、低炭素化社会を実現する上で重要な課題の一つである。本研究では未利用廃熱を回生するシステムとして、熱音響機関の開発に取り組む。熱音響機関は理論的にカルノーサイクルを実行する熱機関に分類されるため、本質的に高効率であるという利点を有する。しかしながら、廃熱などの低い温度領域で高い熱効率を有する熱音響機関の研究と開発は十分には進んでいない。本研究では廃熱温度域で動作する熱音響システム実用時の礎となるための総合的設計手法の確立を目指す。この目的を達成するためには、システムの中核となる熱音響機関自体の純粋な熱効率を正確に測定し、その結果を基として汎用的システムの設計を行う必要がある。本研究では装置によって大きく変化する、単純熱伝導や外部放熱、対流など、純粋な熱音響現象のエネルギー変換に寄与しない熱量を、真空断熱した装置にて低減した上で、分離、定量化する。これらを除いた純粋な熱音響現象に伴う熱音響コアの熱効率がカルノー効率の 60% を超えるシステムを構築し、この結果を基に実用化時に汎用的に活用可能な設計手法を確立することを目指す。

### 2. 研究開発の概要

#### (1) 内容:

目標として定めた研究開発を効率的に展開するため、研究内容を以下のように分割し、各研究チームで同時並行的に情報を共有しながら研究開発を進めた。

- ① 低温領域で高効率な熱音響機関を実現するためのシステムの設計、真空断熱装置の設計、実装手法技術を確立するとともに、構成要素個々の機能を向上させる。
- ② ①において性能向上の妨げとなる非線形効果を抑制するために、熱音響現象の物理的なメカニズム、未解決部分を数値計算にて解明する。
- ③ 将来的な発展を見据えて、実用化につながる次世代システム(相変化型熱音響機関)のエネルギー変換を定量化し、基礎技術の蓄積を行う。

#### (2) 成果:

項目①の成果として、複数の低密度廃熱の回生を想定し、多段コアの構成を発展させたシステムを構築し、音響パワーの 100 倍以上の増幅を実現した。また真空断熱を行い局所的に拡大したコアを試作し熱伝導などによるロスを定量化することで、高い熱効率を実現するための設計手法を確立した。項目②の成果として、コア近傍のみを高速計算可能な数値計算手法を確立した。さらに熱交換器部伝熱特性のデータベースを構築する手法を開発し、それらは項目①のための技術情報として、高効率システムの実現に貢献した。さらに、項目③の成果として、相変化型熱音響機関では気体のみを作動流体として用いる熱音響機関の数倍のエネルギー変換が可能であることを理論、実験両面から示した。

#### (3) 今後の展開:

本研究で得られた高効率熱音響機関の設計手法を用いて、今後は成果を広く社会に還元し、実用化デバイスの構築を行っていく。

## ○Report summary (English)

Principal investigator: Tokai University, Associate Professor, Shinya Hasegawa

R & D title: Waste heat regenerative thermoacoustic system reaching 60% of Carnot efficiency

### 1. Purpose of R & D

Developing a technology to regenerate and reuse unused waste heat generated by fuel combustion with high efficiency is one of the important tasks in realizing a low-carbon society. In this research, we develop a thermoacoustic engine as a system to regenerate unused waste heat. Thermoacoustic engines are theoretically classified as heat engines that can perform the Carnot cycle, and thus have inherently the advantage of performing at high thermal efficiency. However, research and development of thermoacoustic engines having high thermal efficiency in a low temperature region, such as waste heat have in fact not progressed so much. In this research, we aim to establish a comprehensive design method to be the foundation for practical use of thermoacoustic systems that operate at temperature range of the waste heat. In order to achieve this objective, it is necessary to accurately measure the pure thermal efficiency of the thermoacoustic engine, which is the core of the system, and to proceed to the design for a general-purpose system based on the measurement results. Especially, for the measurement of thermal efficiency, since heat conduction, external heat dissipation and convection do not contribute directly to the energy conversion of pure thermoacoustic phenomena, they should be separated and quantified after the prior reduction by the vacuum-insulated device. Under this concept, we aim to develop a system in which the thermal efficiency of the thermoacoustic core, associated with pure thermoacoustic phenomena excluding heat losses mentioned above, exceeds 60% of the Carnot efficiency, and finally to establish a generic design method applicable to the practical use.

### 2. Outline of R & D

#### (1) Contents:

In order to efficiently proceed the research and development of targeted goals, the research contents were divided as follows, and each research team concurrently engaged in the research and development through information sharing and close cooperation.

(i) To establish the design of the system to realize a highly efficient thermoacoustic engine in the low temperature region, the design of the vacuum insulation device, and the implementation technology of them, and to improve the functions of each component.

(ii) In order to suppress the non-linear effect that hinders the performance improvement in (i), to elucidate the physical mechanism of the thermoacoustic phenomena and the other unsolved tasks by numerical calculation.

(iii) In anticipation of future development, to quantify the energy conversion of next-generation systems (thermoacoustic engines using phase-change) that lead to practical use, and to accumulate basic technologies of them.

#### (2) Achievements:

As a result of (i), assuming the regeneration of multiple low-density waste heats, we constructed a system with an advanced multi-stage core configuration and realized more than 100 times amplification with the acoustic power. In addition, a development method to achieve high thermal efficiency was established by prototyping a locally expanded core with vacuum heat insulation and quantifying the heat loss due to factors such as heat conduction. As a result of (ii), we have established a numerical calculation method that enables high-speed calculation only in the vicinity of the core. Furthermore, a method for constructing a database of heat transfer characteristics in the heat exchanger section was developed. They contributed to the realization of a high-efficiency system as technical information for (i). In addition, as a result of item (iii), it was shown from both theoretical and experimental perspectives that thermoacoustic engines using phase-change can produce several times energy conversion compared with the case using only gas as a working fluid.

#### (3) Future developments:

Using the design method of the high-efficiency thermoacoustic engine proposed in this research, our achievements will make a major contribution to the development of practical devices, and be returned widely to society.