

令和 3 年 6 月 9 日現在

機関番号：24201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17K06234

研究課題名（和文）未利用熱の有効利用へ - 熱音響システム高効率化に向けた断面積スケールリング -

研究課題名（英文）Effective utilization of unused heat energy -a study on cross-sectional area scaling for higher efficiency of thermoacoustic system-

研究代表者

坂本 眞一（Sakamoto, Shin-ichi）

滋賀県立大学・工学部・准教授

研究者番号：40449509

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：熱音響システムは未利用熱を有効に利用可能なシステムとなるポテンシャルを持っている。熱音響システムの出力アップを目指している。本研究ではシステム出力と断面積の関係について検討した。直管型熱音響システム、ループ管型熱音響システムについて検討した。また、強制駆動式自励発振式について検討した。その結果より、いずれのシステム形状、方式においても、断面積と出力は概ね比例関係であることが確認された。また、スタック断面やシステムを構成する管に発生する温度勾配が大きく影響することが確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

熱音響現象における断面部分での現象は、時間的、空間的な非一様性のもとの、これまで繋がることのなかった『音』と『熱』が複雑に絡み合う物理現象である。この現象の物理的理解を推進することは、学術的に独創的であり、意義あるものとなる。今回の研究結果をもとに断面積スケールリングを取り込んだ計算方法が確立されれば、精度の高い熱音響システムの設計が可能となり、実用化に大きな貢献ができると考えられ、未利用熱を有効に利用可能なシステムとなるポテンシャルを大きく推進し、社会的な意義についての期待も前進すると考える。

研究成果の概要（英文）：The thermoacoustic system has the potential to become a system that can effectively utilize unused heat energy. The purpose of this study is to increase the output power of the thermoacoustic system. In this study, the relationships between the system output power and the cross-sectional area was investigated. A straight tube type thermoacoustic system and a loop tube type thermoacoustic system were investigated. In this study, the relationships between the output power and the cross-sectional area were investigated. The results showed that the cross-sectional area and the power output were almost proportional to each other in all the system shapes and methods. In addition, it was confirmed that the temperature gradient generated in the stack cross section and the tubes constituting the system had a significant effect.

研究分野：熱音響

キーワード：熱音響 断面積 未利用熱 エネルギー変換 熱漏れ

1. 研究開始当初の背景

熱音響現象とは、これまで繋がることの無かった『音』と『熱』の関係に着目することによって、見出された現象である[1,2]。音波伝搬については断熱変化で記述されるのが一般的である。しかし、非常に狭い流路内、強い音圧、低い周波数などの限られた条件の基では、等温変化において、エネルギー変換が行われ、熱音響現象が生じる。音響学と熱学の境界にあるため、比較的歴史が浅いが、現在のところ、日本国内の研究グループに優位性がある。国内では、琵琶教授らのグループ等[3]によって、現象の物理的解釈を中心に進められている。海外では、スイフト教授らのグループ[4]が熱音響システムの効率化、デブロックらが熱音響発電の研究[5]などを進めている。本申請の高出力化については、システム内に充てんする作業流体の圧力や種類について研究されるに留まっている。これまで、物理的には正確ではないが、断面積増加に伴い線形的に出力(W)は増加すると安易に考えられており、高出力化に向けて、システムの断面積スケールリングの詳細な検討はされていない。

2. 研究の目的

エネルギーの枯渇や環境異変が目に見えて加速化しており、少しでも緩和するためには、未利用エネルギーの効率的利用が必要不可欠である。熱エネルギーと音エネルギーの相互変換現象である熱音響現象を応用すると、未利用熱エネルギーをエネルギー源とした冷却システム、エンジンや発電システムを構築することが可能となる。本研究では未利用熱エネルギーを有効に利用することを目指し、熱音響システムの高出力化することを目的とする。熱音響システムの出力は音響インテンシティ (W/m^2) に断面積を乗じて表される。高出力化に向けて、断面積の大型化を検討する。そこで、これまでに明らかになっていない断面積と出力の関係、つまり断面積スケールリングを詳細に把握することによって、高出力化設計が可能となるように検討を進める。

3. 研究の方法

研究成果の一例として、図 1 に示された強制駆動直管型熱音響冷却システムを用いた実験について示す。システムの全長は約 1.5 m である。システムの片端にはスピーカーを設置し、もう一端は閉端となっている。音波は、ファンクションジェネレーターにより正弦波信号を生成し、増幅器で増幅した後にスピーカーによって管内に投入される。熱交換器はスタックが高温側となるスピーカー側に設置し、ヒートポンプを構成した。熱交換器と逆側のスタック端には、スタック冷却端温度を測定するための熱電対と、熱負荷を与えるためのヒーターを設置した。スライダックからヒーターへ電力を供給し、電力計を介したデータロガーによって供給された電力を記録した。温度調節器によってスタック冷却端が室温を保つようにヒーターへの入力電力が調節される。管内には大気圧空気を封入した。スタックは、900 cpsi、長さ 50 mm のものを用いた。また、ステンレス鋼管の管内径は 24.2 mm (Small Inner Diameter: SID), 42.6 mm (Medium Inner Diameter: MID), 100 mm (Big Inner Diameter: BID) の 3 種類を用いた。センサーで測定した音場は FFT アナライザーと PC を用いて記録し、2 センサーパワー法によって断面平均粒子速度を算出し、伝達マトリックス法より管内音場を求めた。

4. 研究成果

スピーカーへの入力電力を変化させた際のスタック両端温度差 T を測定し、スピーカー側の管端の音圧を 2 センサーパワー法及び伝達マトリックスを用いて求めた。測定結果を図 2 に示す。いずれのシステム内径においても、音圧と温度差の関係はおおむね線形関係であることが確認された。また、温度差は内径が大きいものほど大きくなることが分かった。音圧に対する温度差の大きさ順は BID, MID, SID の順となった。上記方法では強制駆動直管型ではあるが、ほかの方法においても、断面積と出力は概ね比例関係であることが確認された。

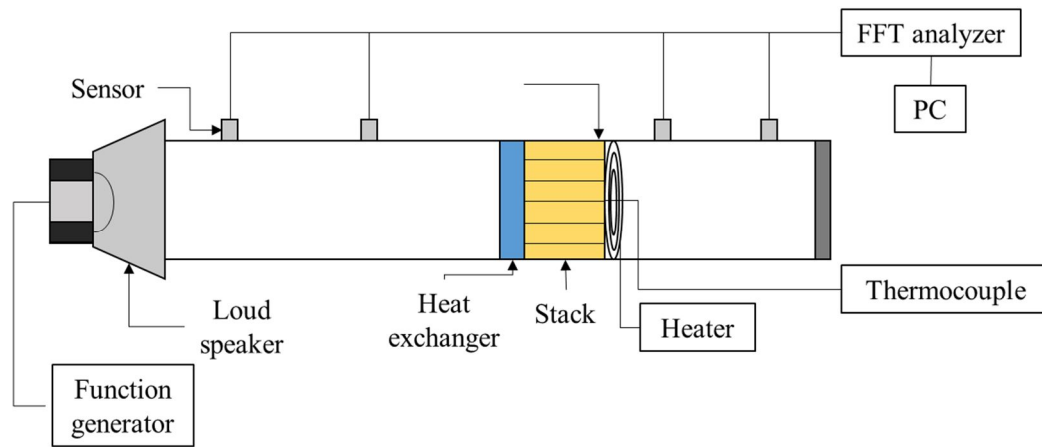


図1 強制駆動直管型熱音響冷却システムの実験概要図

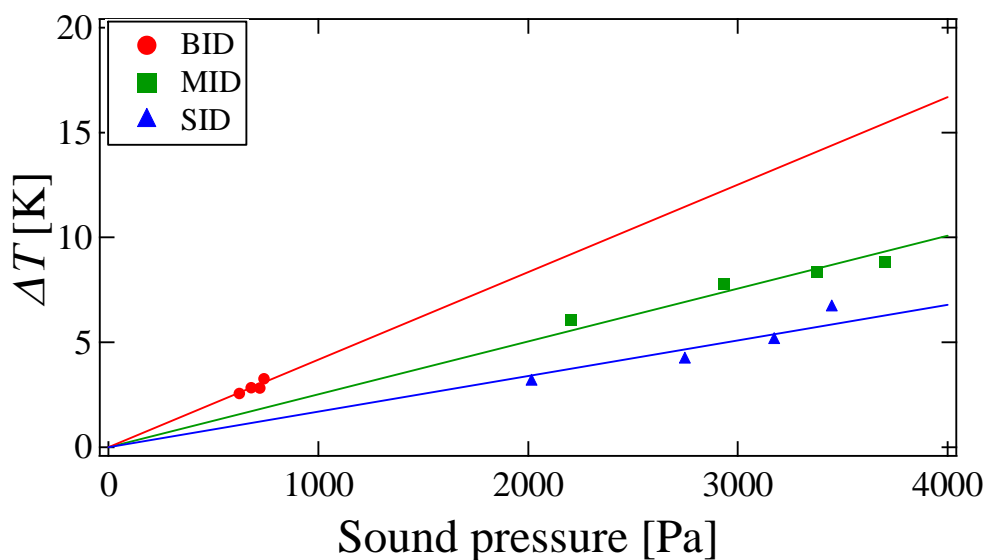


図2 強制駆動直管型熱音響ヒートポンプにおける入力音圧と温度差の関係について測定結果

<参考文献>

- [1] 坂本眞一, 渡辺好章, “音と熱のコラボレーション - 熱音響冷凍機実現に向けて -,” 電子情報通信学会誌, Vol. 90, No. 11, pp. 993-997, 2007.
- [2] S. Sakamoto, K. Shibata, Y. Kitadani, Y. Inui, and Y. Watanabe, "One factor of resonant wavelength shift from onewavelength to two-wavelength resonance in loop-tube-type thermoacoustic cooling system", International Congress on Ultrasonics 2011 Proceedings, pp. 628-631, 2012.
- [3] T. Yazaki, Y. Ueda, T. Biwa, Cooling by sound: Understanding of thermoacoustic refrigerator, Journal of the acoustical society of Japan, 62, 128-133 (2006) (in Japanese)
- [4] S. Backhaus, G. W. Swift, A thermoacoustic Stirling heat engine, " Nature, Vol. 399, pp. 335-338, May, 1999.
- [5] K. De Blok, Low operating temperature integral thermo acoustic devices for solar cooling and waste heat recovery, " Acoustic08, 2008.
- [6] 山鹿祐弥, “強制駆動による直管型熱音響冷却システムの基礎検討 - 断面積変化が音から熱の変換に与える影響について -,” 滋賀県立大学卒業論文.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Shin-ichi Sakamoto, Yuji Ise, and Yuichiro Orino	4. 巻 9
2. 論文標題 Measurement of heat flow caused by a standing-wave component generated by a thermoacoustic phenomenon	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 115006
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/1.5123252	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Kenshiro Inui, Shin-ichi Sakamoto, Yuichiro Orino, Kohei Egawa, Takahiro Wada, and Shintaro Kataoka	4. 巻 57
2. 論文標題 Influence of local inner diameter changes on the onset temperature and the energy conversion efficiency of a loop-tube-type thermoacoustic system	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 07LE01
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7567/JJAP.57.07LE01	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Wada Takahiro, Sakamoto Shin-ichi, Orino Yuichiro, Ueno So, Kajiura Yuma	4. 巻 56
2. 論文標題 Effect of temperature distribution of thermal buffer tube on onset temperature in a straight-tube-type thermoacoustic prime mover	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 07JE09 ~ 07JE09
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7567/JJAP.56.07JE09	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 1件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 勝木 秀和, 坂本 真一
2. 発表標題 ループ管熱音響システムにおける熱緩衝管に関する検討-熱緩衝管の局所的冷却による影響-
3. 学会等名 日本音響学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 片岡 慎太郎, 坂本 眞一
2. 発表標題 スタック材質組み合わせによる熱音響システムの高効率化に向けた基礎検討-金属メッシュ材質変化によるスタック温度分布の測定-
3. 学会等名 日本音響学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hidekazu Katsuki , Shin-ichi Sakamoto
2. 発表標題 Experimental study of the thermal buffer tube temperature gradient and onset temperature in a loop-tube-type thermoacoustic system
3. 学会等名 Symposium on Ultrasonic Electronics
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shintaro Kataoka , Shin-ichi Sakamoto
2. 発表標題 Measurement of temperature distribution with 3D-printer and etching meshes stack in thermoacoustic heat pump
3. 学会等名 Symposium on Ultrasonic Electronics
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 坂本 眞一, 山鹿 祐弥
2. 発表標題 直管型熱音響ヒートポンプにおける冷却特性について - システム断面積と冷却温度についての基礎検討 -
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shin-ichi Sakamoto, Kenshiro Inui, Hidekazu Katsuki
2. 発表標題 Fundamental study on enlarge of a loop-tube-type thermoacoustic system: Measurement of onset temperature and sound field in cross-sectional area change
3. 学会等名 the Acoustical Society of America (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 犬井 賢志郎, 坂本 眞一, 折野 裕一郎, 片岡 慎太郎
2. 発表標題 局所的内径拡大をもつループ管型熱音響システムのエネルギー変換に関する検討
3. 学会等名 日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 勝木 秀和, 坂本 眞一, 折野 裕一郎, 和田貴裕
2. 発表標題 直管型熱音響プライムムーバーにおける熱入力に関する基礎検討
3. 学会等名 日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 和田 貴裕, 坂本 眞一, 折野 裕一郎, 濟藤 稔也
2. 発表標題 直管型熱音響プライムムーバーにおける熱緩衝管に関する検討 - 熱緩衝管における局所的な加熱による温度変化の影響 -
3. 学会等名 日本音響学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shin-ichi Sakamoto, Takahiro Wada, Toshiya Saito
2. 発表標題 Fundamental study on the effect of the change in the cross-sectional area on the straight-tube-type thermoacoustic prime mover
3. 学会等名 ICU2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 和田貴裕, 坂本 眞一, 折野 裕一郎, 濟藤稔也
2. 発表標題 直管型熱音響プライムムーバーにおける熱緩衝管に関する検討 熱緩衝管の部分的な管厚変化による温度分布への影響
3. 学会等名 日本音響学会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------