

## 研究成果報告書

所属機関  
富山高等専門学校

職名  
准教授

氏名  
経田 僚昭

### 研究テーマ

周囲拡散する騒音から冷熱を得るエネルギー変換システムの開発

### 研究報告

#### 1. 研究の背景と目的

本研究は、未利用エネルギーを有効に活用するシステムの構築を目的に、熱と音響パワーの相互変換現象として知られる熱音響現象による騒音から冷熱を得るエネルギー変換システムの開発を目的とする。スタックと呼ばれる微細流路の集合体（長さ 50 mm 程度、スタックと呼ばれる）に数百度の温度差を形成すると、管内全体に封入された作動流体が自励振動をはじめ、エネルギー変換の観点では温度勾配の形成に伴う熱エネルギーが振動による音響エネルギーへ変換されたとみることができる。また、熱音響現象は可逆性の高い現象であり、スタックに音波が通過することでスタック片端から他端へ熱が輸送され、両端に温度勾配を形成できる。音波の変位変動と圧縮・膨張に伴う作動流体とスタック壁面との熱の出入りを伴ったヒートポンプ効果として知られている。熱による音波の発生部と音波によるヒートポンプ部をループ状パイプで接続したループ間型熱音響冷凍機（Fig. 1）は熱源を選ばないことや有害な冷媒を使用しない冷凍機となり、冷媒の相変化を利用した冷凍機よりも多様なエネルギーを入力熱源に適用できる利点がある。

熱音響冷凍機の新たな用途の開拓として、騒音エネルギーを入力とする冷凍機の開発が本研究の最終目標である。騒音利用の難点として、エネルギー密度が低く、複雑な周波数特性であることが挙げられ、利用の妨げとなっている。騒音がスタックを通過することで、ヒートポンプ効果が得られるなら周囲拡散する騒音で動く冷却システムが実現できることになる。また、排熱等で温度勾配を形成したスタックに騒音を通過させれば、熱エネルギーによる騒音エネルギーの増幅効果が得られる。これらを複合することで増幅した騒音を仕事源とするヒートポンプシステム、すなわち音で冷却することも可能となり、騒音を入力とする冷却システムが創成できる。

多種多様な騒音であっても、共鳴現象と熱音響現象で任意の周波数音のみを増幅させることで熱音響現象を利用したエネルギー増幅が可能となる。そして、単周波数・高振幅に変換した騒音から熱音響ヒートポンプで冷熱を得るシステムを提案する取り組みが本申請課題として実施された。

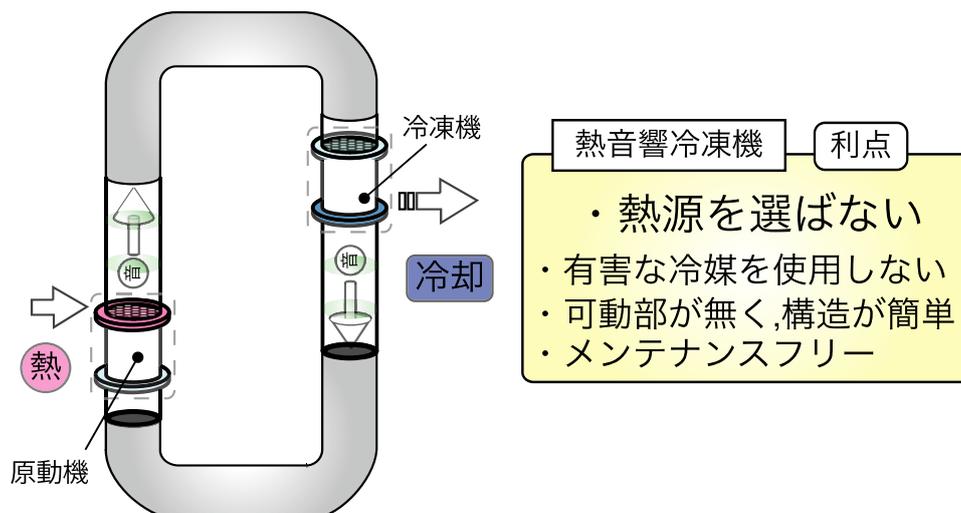


Fig. 1 熱音響冷凍機

本申請課題の最終目的は上述したように未利用エネルギーである騒音と排熱を利用して冷熱を得る、騒音エネルギーの援用による冷却システムを創成することである。このシステムの構築とそのため得られる知見にて未利用エネルギーの活用技術を構築し、近年のエネルギー問題の一助とする。

本課題は船舶運航時の騒音と試作機による実験によって新たなエネルギー変換システムの構築を目指す。身近な家電から大規模工場プラントまで、スケールに関わらず稼働する機器は騒音と排熱を発生する。この排熱を利用して騒音を増幅し、利用するための熱音響システム構築を目指す。

## 2. 研究成果および考察

騒音エネルギーの振動エネルギーそのものは微小ながらも、一定負荷で長時間稼働するシステムからであれば周波数・振幅の変動が少なく、風力発電や太陽光発電よりも自然由来のエネルギーよりも環境に依存した変動は少ないと考えた。すなわち活用しやすいエネルギー源となることが騒音利用システムで期待できる。一方で、多様なシステムから発生する騒音はその特性も多種・多様である。将来的な騒音利用技術が確立される場合には、騒音特性に合わせた装置設計指針の確立が望まれる。そこで、本研究では、まずは騒音の取得から行ない、得られた騒音の特性を把握することからはじめた。計測対象は富山高等専門学校 練習船 若潮丸<sup>(1)</sup> (Fig. 2) とし、エンジンルームで計測される騒音の解析とその解析で得られた結果に基づく装置の設計を行なった。



Fig. 2 富山高等専門学校 練習船 若潮丸

まず、若潮丸エンジンルームの騒音を取得した。振幅の変動が比較的小さな波形を得ることができ、騒音利用技術の狙いの一つである「環境に依存した変動の小ささ」を示す結果を得た。また、騒音レベルは 100 dB であった。周波数解析をした結果から、取得した騒音は 1 kHz より小さい領域に比較的大きな振幅が観られ、1 kHz を超えた周波数領域にて周波数が高くなるほど振幅も小さくなることが確認された。騒音発生源によって、これら周波数特性は様々であるが、今回は低周波側の周波数を対象とした装置の設計を行なった。対象とする周波数は低周波かつ比較的大きな 150 Hz とした。

エンジンの排熱利用を想定し、300°Cの排気をスタックの加熱に利用することで、Fig. 1 の音波発生部に騒音を通過させた音響エネルギーの増幅効果を観察した。管内の音場の詳細を観測するための圧力センサーとアンプ（ともに J-TECKT 社製）を 2 点整備して、2 センサー法による圧力計測と流速値の推定を行った。圧力・流速の両時間変動が得られれば、管路を伝播する音響強度 (Acoustic intensity) の把握が行える。すなわち、加熱したスタックによって微小な騒音エネルギーがスタック前後で増幅する結果を得た。スタックは#60 ステンレスメッシュを 50 mm に積層したものとした。片端を加熱、他端を冷却したスタック（両端温度差  $\Delta T = 300^{\circ}\text{C}$ ）で、音響エネルギーの増幅効果を確認した。

加熱スタックの増幅効果を得るには増値寸法の設計指針が必要となる。本申請課題によって、音響インピーダンス（圧力と流速の比）によってより大きな増幅効果を得る音響インピーダンスの合致条件を示し、学会発表を行った【研究発表 1】。

(1) 山崎祐介, 遠藤真, 中谷俊彦, 「富山高等専門学校新練習船若潮丸IV世について-洋上高専への再出発-」, 日本航海学会誌 NAVIGATION, 126, (1995), pp.70-75.

### 3. 将来展望

本研究の遂行により、熱音響冷凍機が騒音エネルギーを利用する有害冷媒不要の冷却システムとして更に注目を集めると予測する。著者らは任意の特性を有する音波が入力された場合の管内の音場と温度場を連成した解析プログラムを構築している<sup>(2)</sup>。本プログラムによって入力音波に対して得られる熱輸送効果（すなわち冷却性能）を予測することが可能である。また、冷却システムとしての高性能化をねらった装置形状を提案している<sup>(3)</sup>。これら解析プログラムと実機による検討を進めることで、微小なエネルギーからの冷熱取得の可能性と性能の追究を推進する予定である。

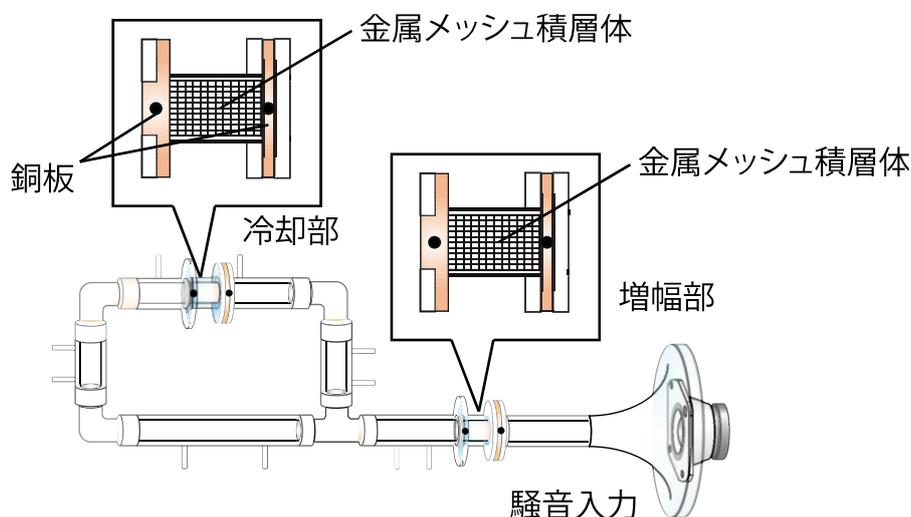


Fig. 3 船舶エンジンの騒音で駆動する冷却実験装置の概要

- (2) 経田僚昭, 多田幸生, 瀧本昭, 大西元, 「枝管付きループ管型熱音響冷凍機における冷却性能の数値シミュレーション」, 日本冷凍空調学会論文集, **30(4)**, (2013), pp. 341-352.
- (3) 経田僚昭, 多田幸生, 飯田祐也, 「枝管付きダブルループ管型熱音響冷凍機における音場特性と冷却性能」, 日本冷凍空調学会論文集, **32(4)**, (2015), pp. 441-451.

### 4. 研究発表

#### 学会発表

経田僚昭, 多田幸生, 飯田祐也, 枝管付きループ管における音響インピーダンス計測と熱音響増幅効果の検討, 熱工学コンファレンス2021, D212, 2021年10月10日 (佐賀大学, オンライン) .

#### 論文

これまでの取り組みと, 本研究成果をまとめて2022年度に学会発表1件と1編の論文投稿を予定している.