調査・報告

熱音響機関技術研究会報告

大野　宏*　平石　誠**　須貝　裕之**　本多　章作***　石井　啓貴****

Report of Market and Technology Trend of Theromo Acoustics Technology

OHNO Hiroshi*, HIRAISHI Makoto**, SUGAI Hiroyuki**, HONDA Syousaku*** and ISHII Hirotaka****

1. 緒　　言

パイプを加熱すると音が鳴るという熱音響現象は，日本では岡山県吉備津神社の釜鳴りの神事，欧州ではパイプオルガンの修理で古くから知られていた。その後，熱力学や流体力学の発展とともに，音が鳴る原理が解明され，熱から音波を発生させる熱音響機関を利用し，エネルギーを取り出す研究開発が始まった[1)]。

本研究会は，熱音響機関の実用化を目的として，技術動向や課題，県内企業における技術開発の可能性と県が取り組むべき課題について検討した。また，熱から音波を発生させて発電する装置の製作に取り組んだ。

2. 活動概要

2.1 研究会の開催

熱音響機関の概要，技術動向および実用化の課題を知るため，セミナー形式の研究会を開催した。研究会の様子を図 1 に示す。また，熱源から熱音響機関まで熱を輸送する技術として有効なサーモサイフォンと，熱音響機関の作り方について講演した。

・第 1 回（平成 26 年 8 月 8 日）

「排熱を有効活用する熱音響エンジン」

東海大学工学部　講師　長谷川真也氏

細いパイプの束（蓄熱器）の両端に温度差を与えると音波が発生する。細いパイプの中の気体は，①加熱されて膨張し，②圧力の低い反対側に移動し，③ここで冷却されて収縮し，④さらに圧力が下がって最初の位置に戻る。この気体の移動が振動源となって音波が発生する。逆に蓄熱器に音波をあてると温度差が発生する。この現象を利用し，未利用熱を電気に変換したり，冷熱として利用したりするものが熱音響機関である。

図 1　研究会の様子

ピストンのような可動部品がないので保守が容易，構造が簡単なので低コストという特徴がある。可動部品がないので現象をとらえにくかったが，管内音波の圧力や流速の計測技術の進展と熱音響現象の解明が進み，高効率な熱音響機関の研究開発が行われている。

東海大学の研究室は数値計算で熱音響機関の性能を予測する方法を確立し，高効率な熱音響機関を開発した。音波を発生し増幅する蓄熱器を 3 個直列に接続しており，高温側温度が

*　下越技術支援センター
**　中越技術支援センター
***　素材応用技術支援センター
****　企画管理室

150℃で冷凍温度-40℃を，高温側温度が 300℃で冷凍温度-106℃を達成した。

熱音響機関の製作は簡単で，直径 40mm のパイプに，加熱器，冷却器，蓄熱器が必要である。音波を発生させるためには，角振動数と熱緩和時間の積 $\omega\tau$ を 0.01 から 10 にする必要がある。熱音響機関には管の端を閉じた構造の定在波型とループにした進行波型とがあり，定在波型の方が作りやすいが，進行波型の方が出力は大きくなる。最初にループ状にして，長さを少しずつ変えて音波が大きくなる場所を探す方法が簡単である。

・第 2 回（平成 26 年 11 月 26 日）

≪講演 1≫

「熱を効率よく輸送するループ式サーモサイフォン」

（株）日立製作所　主任研究員　近藤義広氏

サーバの CPU を低電力で冷却する装置として，サーモサイフォン型冷却装置を製品化した。CPU にフィンを付け筐体ファンで空冷すると大風量が必要となり低電力化が困難なため，サーモサイフォンにより熱輸送し大面積のラジエータで効率よく放熱する方法を選んだ。

熱輸送媒体は水で，これを CPU の熱で蒸発させ，放熱部で水に戻し，これをループ管で循環させ熱を輸送する。40～50℃程度で内部の水が沸騰するよう，内部の気圧を下げている。水は不純物のない純水を使っている。また，サーモサイフォンは銅製で，ロウ付けで密閉しているが，ロウにも不純物がないものを使用した。放熱部分に水が付着すると，その部分が放熱に寄与しなくなるので，水が付着しないよう形状の工夫がされている。これを熱音響機関の熱輸送装置として使う場合，水を高い温度で沸騰させるため内圧が高くなり，製造は難しくなる。

≪講演 2≫

「熱音響エンジンの作り方」

工業技術総合研究所　専門研究員　大野宏

大気圧で動作する熱音響エンジンの作り方について解説した。蓄熱器には安価で入手しやすいセラミックスフィルタを使い，フィン式の熱交換器で蓄熱器の片側を加熱し，反対側を水冷する。空気漏れがないよう接着剤で封止し，温度差を与えて音波を発生させる。また，スチールウール製の蓄熱器に音波を当て，その両端に温度差を発生させる装置を製作した。

2.2　開発事例

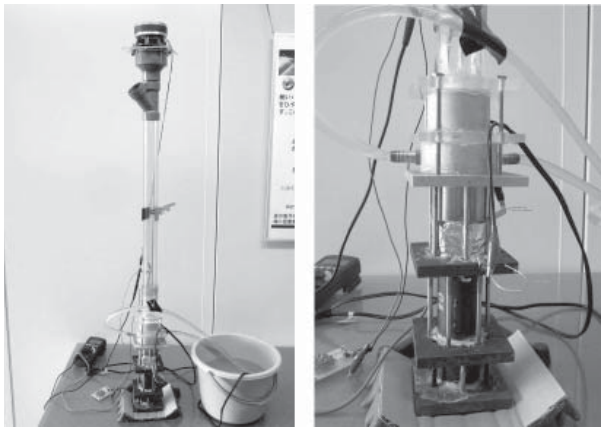
熱音響機関の熱源は工場排熱以外に，エンジン排熱にも有効である。第三舶用工業（株）は，東海大学，（独）海上安全技術研究所と共同で，エンジンの排熱でいけすを冷凍する熱音響冷凍機を開発した。音波の発生側の蓄熱器では，エンジンの高温排熱と海水で温度差を保って音波を発生させ，音波から温度差を発生させる側の蓄熱器では，一方を海水で水冷し，もう一方から冷熱を取り出す。実際の船では，排ガス 500℃，高温側熱交換器 350℃，低温側熱交換器 150℃，冷凍庫-38℃，出力 350W が得られ，成績係数 COP＝1 であった。従来は船に冷蔵庫を積んで冷凍するため大きなバッテリーが必要であったが，この熱音響冷凍機で冷凍が可能となった。また，海上で使用するため水冷用の海水が豊富にあることも，この装置の利点である。

東邦ガス（株）は，液化天然ガスを気化するときに発生する冷熱を活用して音波を発生させる熱音響機関の開発に成功した。熱源に冷熱エネルギーを使用して駆動したのは世界で初めてである。Q ドライブ社のリニア発電機を使って発電しているが電力は 10W と小さい。こちらも東海大学との共同研究である。

2.3　県内企業の動き

ペレットストーブを製造している企業が，熱電発電素子を組み込んだストーブの開発に取り組んでいる。ペレットストーブの熱を電気に変換し，送風ファンや安全センサの電源に使うという試みであるが，熱電変換素子は変換効率が低く値段も高いという課題がある。

また，熱音響機関と同じく気体を外からの熱



(a) 全体　　(b) 蓄熱器と熱交換器

図 2　製作した熱音響機関

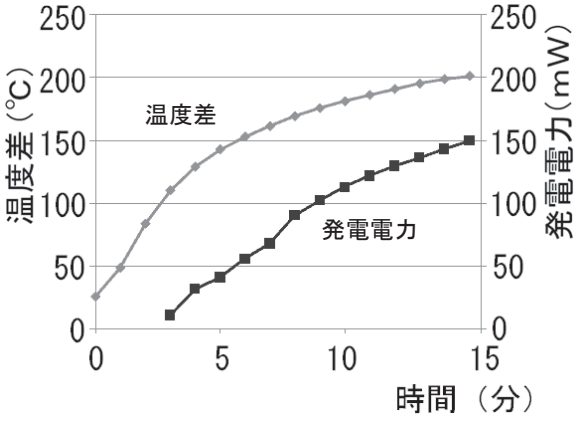


図 3　蓄熱器両端の温度と発電量の変化

で膨張・収縮させピストンを動かして発電させるスターリングエンジンの開発に取り組んでいる企業がある。

県内には，化学プラント，鋳物，鍛造，食品など，工場の未利用熱からのエネルギー回収について興味を持っている企業が多い。

2.4　工業技術総合研究所の取組み

未利用熱回収の有効手段として熱音響機関の活用を検討するため，温度差から音波を発生させる熱音響機関を製作した。

図 2 に製作した熱音響機関を示す。管の内径 40mm，長さ 1.2m で，蓄熱器には内径 1.0mm，長さ 40mm のハニカムセラミックスを使用し，下端から 1/4 の位置に設置した。蓄熱器の両端に熱交換器を設置し，一方を 300W の電熱線で加熱し，もう一方を水冷して蓄熱器の両端に温度差を与える。反対側には50Wのスピーカを設置し，音波を電気に変換してLEDを点灯させる。

図 3 に，動作を開始してからの発電電力と蓄熱器の両端の温度差を示す。温度差が100℃を超えると発電が確認でき，15分後には150mWを発電し，20 個の LED が明るく点灯した。スピーカを発電機として使用する場合，実際の発電量の1/5程度しか電力として取り出せないため，実際には 750mW 程度の発電をしていると予想される。

熱音響機関は未利用熱を有効に活用できる技術であり，実用化に必要な技術を有する県内企業を訪問し，コンソーシアムの形成を目指した。また，熱音響機関は構造が簡単なため低コスト化が期待できるが，普及の初期段階では高コストにならざるをえない。熱音響冷凍機として利用する場合，低コスト化が進んだエアコンや冷蔵庫と競合するため，漁船エンジンの排熱を使ったいけすの冷凍のように，高温熱源の近くで冷熱が必要な，熱音響冷凍機に適した用途から普及を進める必要がある。

3.　結　　言

(1) 熱音響機関は構造が簡単で可動部がないため，保守管理が容易で低コストという特徴がある。工場の未利用熱を冷熱や電気に変換する装置の研究開発が大学や企業で取り組まれている。

(2) 県内では，熱電発電やスターリングエンジンの開発に取り組んでいる企業があるが，発電量やコストなどの課題があるので，今後も支援する。

(3) 高熱源の近くで冷熱が必要な，熱音響冷凍機に適した用途について検討し，必要な技術を有する県内企業とコンソーシアム形成を目指した。

参考文献

1) 富永昭，“熱音響工学の基礎”， 内田老鶴圃，1998，pp.9-11.