

研究概要報告書

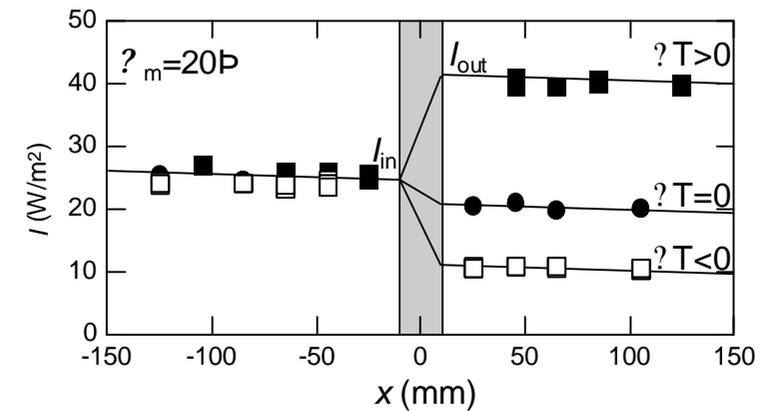
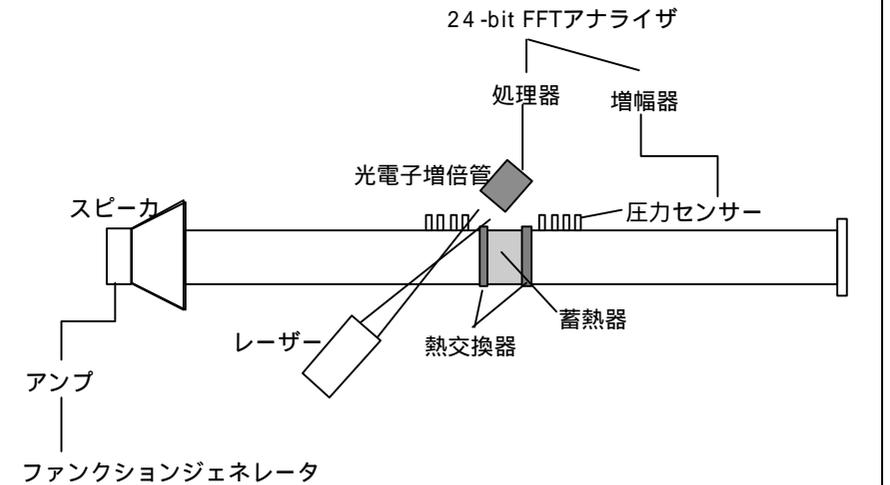
(/)

研究題目	熱音響現象を利用した音波の増幅と減衰に関する研究	報告書作成者	琵琶哲志
研究従事者	琵琶哲志, 田代雄亮 (学生), 上田祐樹 (学生)		
研究目的	<p>自由空間中を伝播する音波は断熱圧縮, 断熱膨張のみを経験するばかりで, エネルギー変換を行うことが出来ない. しかし音波が温度勾配の付いた熱境界層程度の流路 (蓄熱器やスタックと呼ばれる) を通過するとき, 媒質である流体要素は流路壁との熱交換によって, 等温圧縮, 等温膨張を経験するだけでなく, 温度勾配の中を変位することで加熱, 冷却といった熱力学的過程を経験する. これらの熱力学的過程が同時に起こるのではなく, すこし位相がずれて, 圧縮 加熱 膨張 冷却という順序で起きる時, 音波はエネルギー変換を行うことが出来る.</p> <p>圧力と流速の間の位相差が 0° の進行波では熱交換過程が可逆的な時, エネルギー変換が起こる. この等温過程で構成される熱力学的サイクルは特にスターリングサイクルと呼ばれている. 一方, 位相差が 90° の定在波では熱交換過程が不可逆的であって時間遅れを伴う場合にエネルギー変換を行うことが指摘されている.</p> <p>我々はこのような音波が実行するエネルギー変換「熱音響エネルギー変換」を利用して, 音波の熱による増幅と減衰を試みた. 音波自身が実行する熱音響エネルギー変換によって得られた出力仕事の分だけ, 蓄熱器 (スタック) の前後でその音響強度に差が生じるはずである. 米国の Ceperley が世界で初めてこの音波増幅に挑戦したが, 彼は増幅を実験的に示すことができなかった. 蓄熱器内部の流路が狭いために生じる大きな粘性散逸が, 温度勾配による増幅分を打ち消したためと解釈している. 今回は共鳴管内の音波のちょうど節に蓄熱器 (スタック) を置くことでできるだけ粘性散逸を減らした状態で音波の増幅, 減衰を試みることにした. なお, 蓄熱器流体が熱交換できる流路としては流路半径が熱境界層より狭い蓄熱器と同程度のスタックを使用した.</p>		

研究内容

Fig. 1 に今回の実験装置を示す .全長はおよそ3m である .作動流体は大気圧の空気を使用した .一端のスピーカーが取り付けられていて ,もう一端は閉じてある .この共鳴管のおよそ 1 波長共鳴に等しい周波数 103Hz でスピーカーを動作させたとき ,中心付近の圧力と流速の位相差は流速が最小となる位置で ,同位相 ,すなわち進行波位相となった .従ってここに蓄熱器を入れることで ,粘性による散逸をなるべく小さく保ちながらスターリングサイクルが実行されるはずである .

蓄熱器として等温的な熱交換を行うために #60 の金属メッシュを積層したものを使用した . .またスタックとして日本ガイシ製の八ニカム担体 (200 セル) を用いた .それぞれの流路半径と熱境界層の比の 2 乗を表す値は 0.13 と 3.5 である .全長 2 センチの蓄熱器およびスタックの両端には 2 つの熱交換器を置いた .一方はヒーターで 280 に加熱し ,もう一方は常に水冷し室温を保った .また ,共鳴管内における蓄熱器 (スタック) の相対的な位置と温度勾配の正負を変化させて ,蓄熱器中心の位相差と増幅率 ,減衰率について調べた .右に示したのは実験結果の一例で ,音響強度の分布を示している .温度勾配が正のとき ,音響強度が灰色で示した蓄熱器の部分で増価していることがわかる .熱による音波増幅である .



研究概要報告書

(/)

<p>研究のポイント</p>	<p>熱と音の間で生じる熱音響エネルギー変換は、全く可動部を必要とせず、しかも高い効率が期待出来る点で注目を集めている。これまでは、管内に収めた蓄熱器やスタックの両端に温度勾配をつけることで、音波がひとりでに発振する自励振動がもたら研究されてきた(熱音響原動機)。また、音波を逆に温度勾配のない蓄熱器に通すことで生じるヒートポンプ効果が生じる(熱音響冷凍機)現象もある。これら熱音響原動機と冷凍機を組み合わせ、一端を加熱することで、別の箇所が冷却される全く可動部のない冷凍機も開発されている。このような冷凍機の冷凍出力、到達温度を向上させるには、入力する熱量を増して熱音響原動機をより高温で動作させる不可欠である。今回のテーマのように音波を増幅することができるならば質の良い高温熱源ではなく、低温熱源を利用して何段階にも増幅することで大きな音響強度の音波を作り出すことができるようになる。莫大ではあるが使い道が限られている低音廃熱の有効利用に役立つ可能性がある。</p>
<p>研究結果</p>	<p>蓄熱器を使った場合、音波が蓄熱器の低温側から入って高温側へ抜けるように温度勾配をつけた場合に(正の温度勾配と呼ぶ)、音響強度は入口側より先出口側の方が大きくなった。熱による音波の増幅の実証である。最大では温度比の8割程度の増幅率を得ることができた。温度勾配を逆にして、高温部から低温部へ音波が通過する時には、音響強度は著しく小さくなった。これは熱を使った消音器である。スタックを用いた場合には温度勾配が正でしかも蓄熱器内での圧力と流速の間の位相差が正の時、温度比を超すような増幅率を観測した。逆に位相差が負の場合には音響強度は減衰した。温度勾配が負の時には逆に位相差が負のとき増幅し、正のときには減衰するなど多様な現象を観測した。</p>
<p>今後の課題</p>	<p>今回は実験の容易さを優先して作動流体として大気圧の空気を用いた。このため関与する音のパワー(管の断面積と音響強度の積)はミリワット程度のごく微小な量であった。今後、この熱音響増幅器を用いて、冷凍や発電が可能な程度の音響パワーを実現するには、高圧に加圧したガスを使用するなどの工夫が必要となる。管内に生じる大出力音波の音響強度を精度良く測定する手法を今後、開発する必要がある。</p>