

211 多段式共鳴管冷凍機における蓄冷器の最適位置

The optimum position of stack in a multi-stage type resonance pipe refrigerator

○学 犬伏 政人 (室蘭工大院) 正 戸倉 郁夫 (室蘭工大) 小川 徳哉 (室蘭工大)

Masato Inubushi, Ikuo Tokura, Noriya Ogawa, Muroran Institute of Technology, Mizumoto27-1

A thermoacoustic refrigerator is a equipment that pumps up heat by acoustic sound. A resonance pipe refrigerator, which is one of thermoacoustic refrigerators, has many advantages, such as compact, simple structure, no moving parts, and so on. We made a resonance pipe refrigerator and verified its operation. A stack, which serves as a heat storage element, was inserted in the resonance pipe. Temperature difference of the stack ends, was measured by changing location of the stack in the pipe. It is indicated that the suitable position of the stack is in between pressure node and antinode of sound wave. Possibility of multi-stack operation is also discussed.

Key words : Resonance pipe, A thermoacoustic refrigerator, Stack position

実験目的

音響振動を動力源とした冷凍機として熱音響冷凍機がある。その一種である共鳴管冷凍機の特徴として、小型軽量、構造が簡単、小さな稼働部（あるいは稼働部なし）で冷却装置が実現できる長所がある⁽¹⁾。本研究では共鳴管冷凍機を試作し、その作動の確認を行なった。さらに、冷却能力を向上させる方法として蓄冷器の多段化の検討を行なった。また、管内に設置される蓄冷器の配置場所による冷却能力への影響を調べた。

作動原理

共鳴管冷凍機は、音響振動源、共鳴管、共鳴管中に挿入されるスタックと呼ばれる蓄冷器から構成される。Fig.1は、スタック温度、音響振動によって駆動される作動気体の温度およびP-V線図を示したものである。

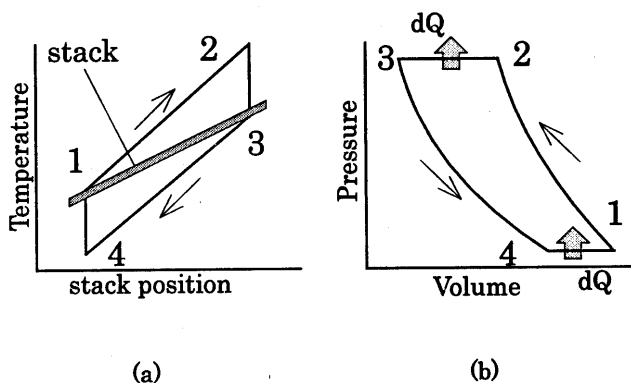


Fig.1 Temperature change(a) and P-V chart(b) in a stack

- (1)断熱圧縮：作動気体の振動によって高圧側へ変位し、断熱(1→2) 圧縮されて気体温度が上昇する。
- (2)定圧放熱：作動気体よりもスタックの方が温度が低いため、(2→3) 熱交換が行なわれる。
- (3)断熱膨張：作動気体の振動によって低圧側へ変位し、断熱(3→4) 膨張して気体温度が低下する。
- (4)定圧受熱：スタックよりも作動気体の方が温度が低いため、(4→1) 熱交換が行なわれる。

これらの行程を繰り返すことにより熱が汲み上げられる。

実験装置の詳細

実験装置はFig.2のように、一端を閉じたアクリル管（内径 32mm, 外径 40mm）である。銅板は閉止端と熱交換器を兼ねている。スタックは適度な隙間を持たせた要素であり、通常は金属やプラスチックの板を一定間隔で並べたものやハニカム構造のセラミックなどが用いられる⁽²⁾。本実験装置では製作上の理由から、プラスチック製の円管（内径 4mm, 外径 5mm, 長さ 60mm）を束ねたものを使用した。共鳴周波数 f は室温から求まる音速と共鳴管の長さから決まる。動力源となる音響振動にはスピーカーを用いた。

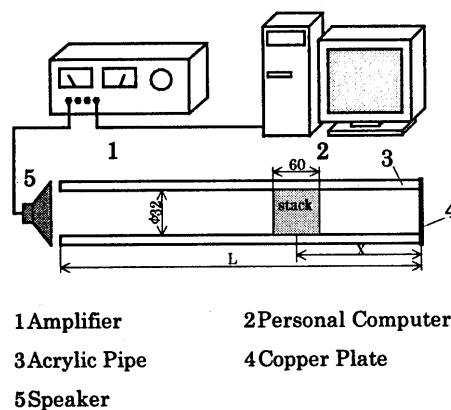


Fig.2 Experimental apparatus

冷凍機特性

Fig.3 にスタック位置を変えた場合の冷却室温度変化を示す。実験条件は、 $L=300\text{mm}$ で共鳴の基本モードとなるよう周波数 f を 283Hz とした。縦軸は実験開始時の低温側温度からの温度降下を表わしている。

このように最も単純な基本モード（波長の $1/4$ ）の定常波が発生している条件では、スタックは閉止端に接する場合は最も冷却能力が優れていた。閉止端が放熱器としての熱交換器を兼ねているためと考えられる。また、測定開始後約 3 分経過したあたりからほぼ横ばいとなった。今後実験を行なう際、少なくとも 3 分あれば主な特性を把握できるものと考えられる。

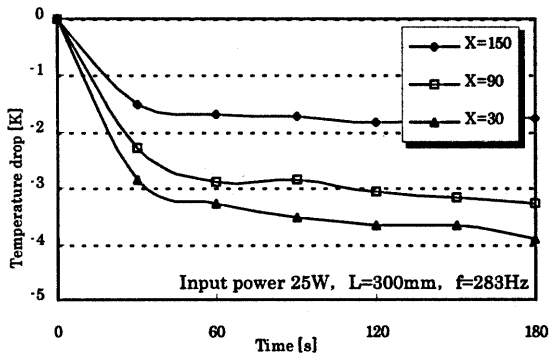


Fig.3 Temperature drop of cold side of stack

単段式におけるスタックの最適位置

スタック多段化を目指す場合、2次モード（波長の3/4）以上の定常波が存在しなければならない。そこで2次モードにおけるスタックの最適位置を調べた。スタック両端空気温度がほぼ横ばいとなる5分間計測し、実験開始温度と5分後の温度の差を Fig.5 に示す。Fig.4 の点線は音圧の波形を表わしている。ただし、L=560mm、f=445Hzである。

Table.1 Stack position

X[mm]	475	380	285	190	95	30
Position	A	B	C	D	E	F

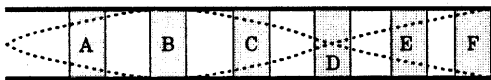


Fig.4 Stack position in pipe

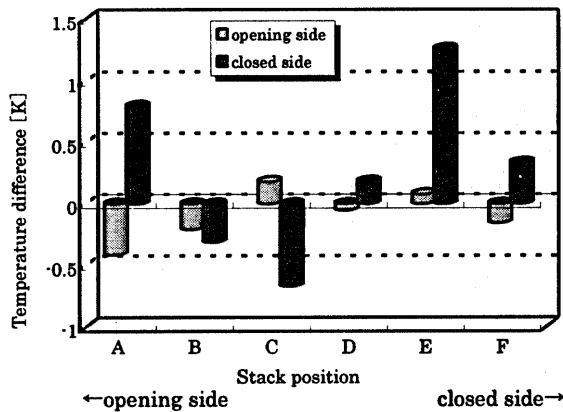


Fig.5 Temperature changes of Stack ends

実験から以下の事項がわかった。

- ①位置 A, F で開端側が冷えたことから、モードが増えても基本的な特性は変わらない。
- ②圧力振幅の節（位置 D）や腹（位置 B）付近ではスタック両端に大きな温度差を生じない。
- ③圧力振幅の節に近い側が冷える。

共鳴管冷凍機はその作動原理から、作動気体の膨張による吸熱を利用している。つまり、圧力の低い領域が冷却室となり、③の結果から確認できる。同様に B, D 付近で温度差が

生じなかったことから、スタック両端に圧力差が不可欠であることも確認できた。この時点で、スタック最適位置は節と腹を避け、両端に圧力差が存在する場所であると言える。言いかえると、節と腹の中間位置が望ましい。

二段式におけるスタックの最適位置

以上の結果を元に、実際に二段式共鳴管冷凍機を試作した。結果を Fig.6 に示す。二つのスタックは、Fig.4 の C, E の位置に設置した。

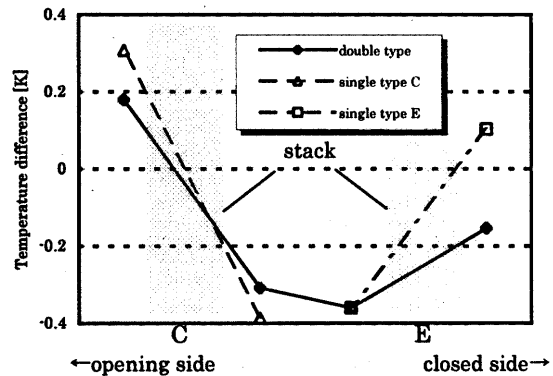


Fig.6 Temperature changes in single/double stack operation (Input power 5W, L=560mm, f=445Hz)

予想通り二つのスタックで挟まれる領域（位置 D：圧力振幅の節）が冷却室として働き、作動原理を裏付ける結果となった。しかし、単段式に比べ冷却能力はそれほど向上していない。むしろ、単段式の方が優れている場合もあった。スタック E の放熱側では初期温度よりも下がり、単段式では見られない結果となった。放熱性に関しては二段式の方が優れていた。また、スタック数を増やすことにより、作動気体の振動が乱されたり、妨げとなる可能性もあり、今後の課題であるといえる。

結論

本研究から以下の結果が得られた。

- ①始動直後に急激に働き、その後横ばいとなる。
- ②圧力振幅の節の側が被冷却空間となる。
- ③スタック最適位置は節と腹のちょうど中間位置である。
- ④多段式は可能であるが、単に蓄冷器を増やすだけでは冷却能力は向上しない。

現在は共鳴管内が被冷却空間であり、同時に放熱空間でもある。実用化にあたり外部空気との熱交換を可能とする必要がある。

参考文献

- (1)G.W.Swift, 『Thermoacoustic engines』, Acoustical Society of America(1988).
- (2) [No.01-29] 『講習会熱音響現象とそのエネルギー変換機構』日本機械学会(2001), p28.