

# 大型熱音響冷凍機の開発

名古屋大学工学部・工学研究科技術部 立花一志、熊澤克芳、鷲見高雄、涌井義一、小塚基樹  
工学研究科結晶材料工学専攻 田代雄亮、上田祐樹、琵琶哲志、水谷宇一郎  
名古屋大工学部 佐々木勤

## 1. はじめに

熱音響現象の一つに、管の中に薄板や細管を束ねたスタックを設置し、その両端の熱交換器により温度差を与えると音波が発生する現象がある。逆に、管の一端に音波を加えると熱交換器にはさまれた蓄熱器の両端に温度差が生じる。熱音響冷凍機は、この熱音響現象を利用することでピストンやバルブ等の可動部の代わりに音波自身が担うことで、可動部が全くなしに音と熱の間のエネルギー変換が実現される。このため、熱音響原動機や熱音響冷凍機のような熱音響現象に基づくエンジンは「新しいエンジン」と呼ばれる。熱音響冷凍機は、可動部が無いので安価でメンテナンスが容易であるという特徴を持つ。さらにフロンガスを必要としない。熱音響原動機は、外燃機関であるので廃熱を利用することが出来る点から環境に対しても優しい。

Yazaki<sup>1</sup>らはループ状の管を使って始めて熱音響スターリングエンジンの開発に成功し、さらにはこのエンジンを利用した全く可動部のない冷凍機<sup>2</sup>を開発した。一方、Backhaus と Swift<sup>3</sup>はループ管エンジンに枝管となる共鳴管を取り付けることで、熱音響スターリングエンジン 30% という高いエネルギー変換効率を持ち得ると報告した。スターリングサイクルは、本質的に可逆的な過程から構成されているのでこの原動機では、高効率のエネルギー変換が期待される。

工学研究科結晶材料工学専攻電子物性工学講座上田らは、このタイプの熱音響エンジンを使った内径 40 mm の熱音響スターリングエンジンを製作し、室温より 47 K 低い -25 °C を実現した<sup>4</sup>。今回我々は、装置を大型化高圧化し、冷凍出力を向上させるために内径約 100 mm の管を使った熱音響スターリング冷凍機を製作した。

## 2. 装置の概要

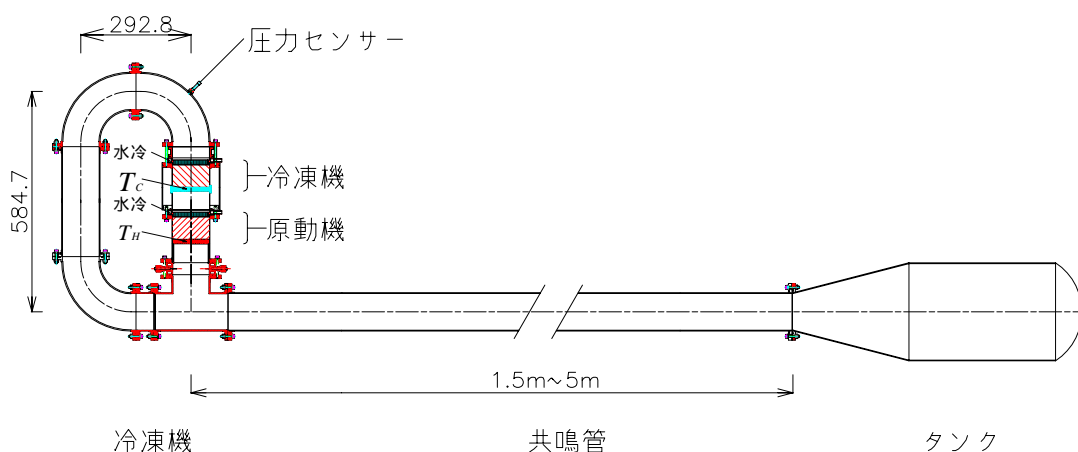


図 1 . 熱音響冷凍機

図 1 に実験装置の概略図を示す。装置はループ管と共鳴管および共鳴タンクで構成されている。ループ部は内径 97.6 mm、外径 101.6 mm のステンレス管（一部薄肉管）をステンレスエルボで接続した周

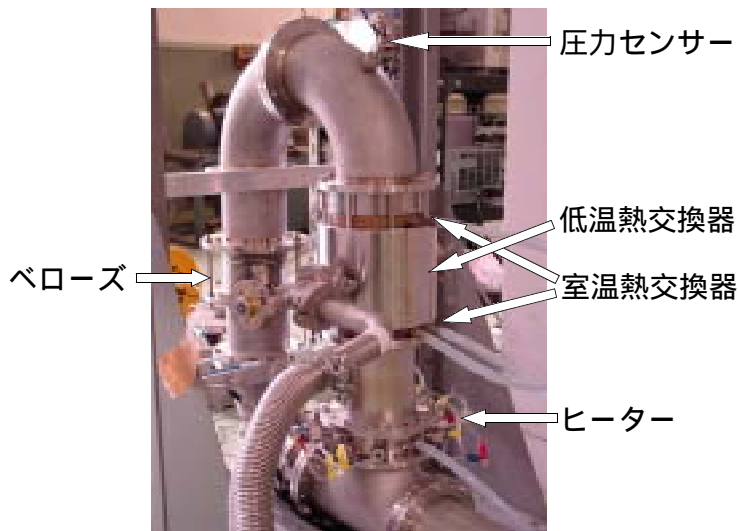


図2．ループ部

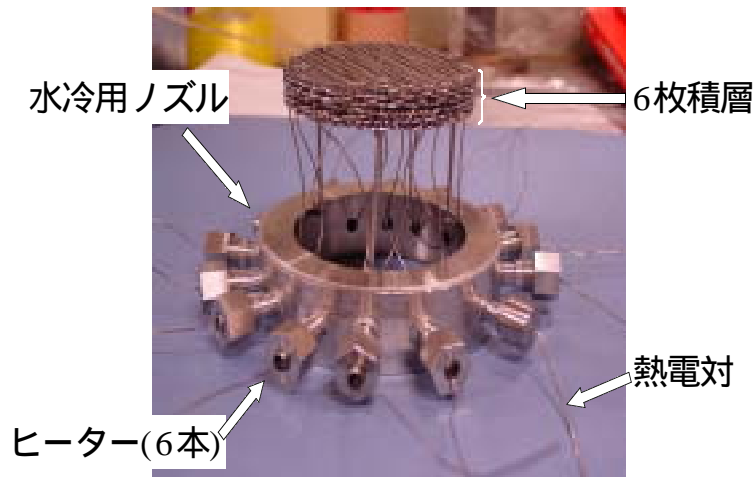


図3．ヒーター部

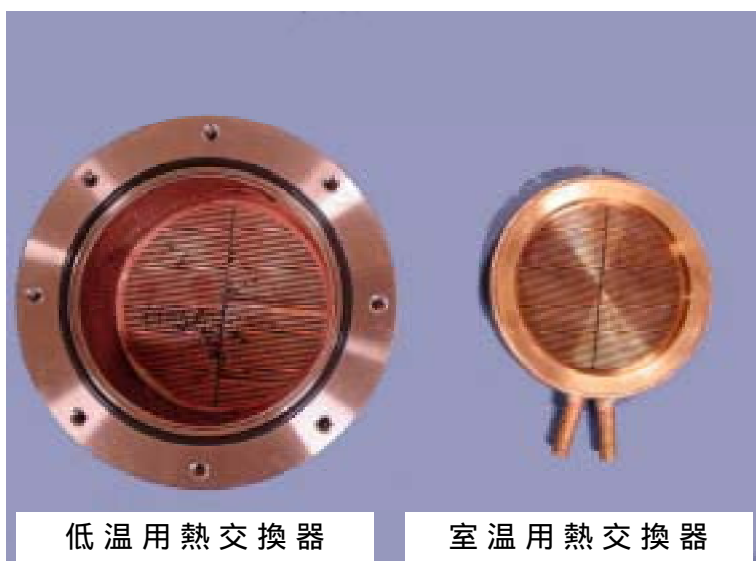


図4．熱交換器

長 1.5m で共鳴管の長さは、1.5m ~ 5m の間で可変である。

ループ部の外観を図2に示す。ループ部内には原動機用高温・室温の熱交換器で挟んだ蓄熱器が収められている。蓄熱器はステンレスメッシュを積層し、高温熱交換器(温度  $T_H$ )としてヒーターで加熱、また室温熱交換器は水冷される。冷凍機用蓄冷器も室温・低温の熱交換器で挟み込まれ、室温の熱交換器は原動機用と同様に水冷されている。さらに低温熱交換器(温度  $T_C$ )としてハニカムやメッシュを使用し、外壁は真空断熱されている。

ヒーター部には、図3のように外径 1mm長さ 1.5m の被覆シースヒーター線 6本(最大千数百ワット)と高温部測定用熱電対さらに接続部冷却用水冷管が設けてある。

図4に各熱交換器を示す。ワイヤー放電加工で厚さ 12mm、直径 93mmの円内に幅・間隔ともに 1mmのスリット加工を行った。加工速度毎分 4.5mm加工周長 6,921mmで、加工時間 26時間であった。

共鳴管の長さにより装置内に生じる圧力振幅が変化する。

原動機用高温熱交換器に電気ヒーターで入力熱量  $Q_{in}$  を与え、ある温度に達すると発振が始まる。ループ部に取り付けた圧力センサーで圧力振幅  $p$  を、JIS-K型熱電対で温度  $T_H$  と  $T_C$  を測定した。またアルゴン、ヘリウムおよびその混合気体を作動流体として用い、平均圧力を変化させて行った。実験から共鳴管の長さ、ヘリウム、アルゴンの混合比、装置内の平均圧力  $p_m$  などを変え、これらの最適値を決める。

### 3. 結果

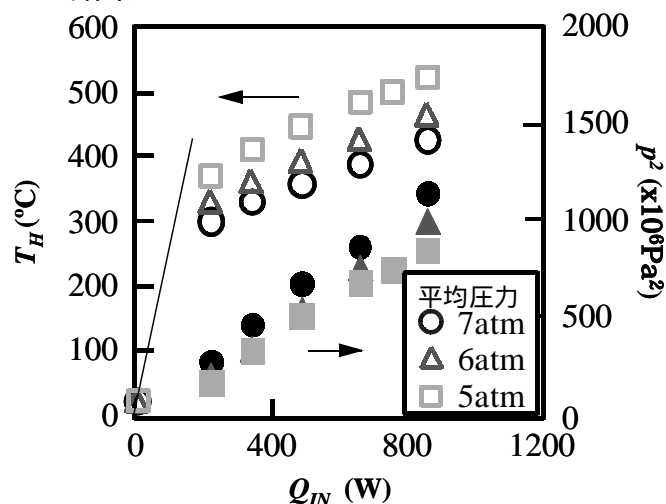


図3 . 入力熱量  $Q_{IN}$  と原動機温度  $T_H$

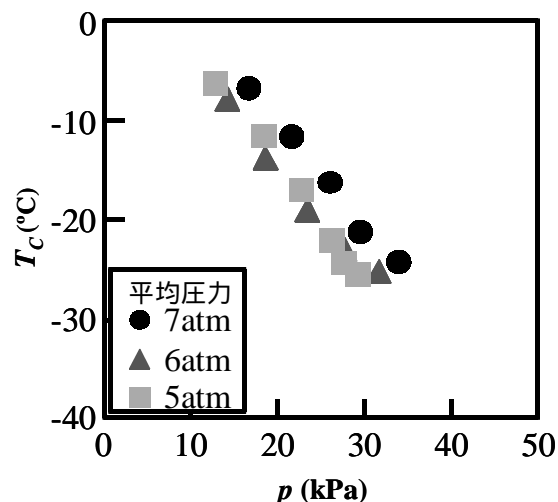


図4 . 圧力振幅  $p$  と冷凍機温度  $T_c$

原動機蓄熱器としてメッシュ#100、冷凍機蓄冷器としてメッシュ#60と#40を組み合わせ使用し、共鳴管の長さが2.8m、作動流体ヘリウム80%アルゴン20%の混合ガスを充填し、入力熱量  $Q_{IN}$  が100W、高温熱交換器温度  $T_H$  が220 の時、周波数40Hz自励振動が始まり、 $Q_{IN}$ が増加するにつれ  $p$ も増加した。図3に入力熱量  $Q_{IN}$  と原動機温度  $T_H$ を、図4に圧力振幅  $p$  と冷凍機温度  $T_c$ を示す。平均圧力5 atmで  $Q_{IN}=850W$  のとき最大で  $p=29kPa$ 、 $T_c = -25$  を記録した。

大型化は、管径40mmから100mmにした断面積の増加による出力の増大、ループ周長や共鳴管長さによる周波数の低下からスターリングサイクルに必要な等温可逆的熱交換の促進を、高圧化による圧力振幅の増加が量れた。

### 4. まとめ

内径約100mmの管を用いての熱音響冷凍機の製作に成功した。これまでの実験で平均圧力5 atmのとき低温熱交換器温度  $T_c = -25$  である。

今後もパラメーターの最適化、見直しを行うことによってさらに大出力熱音響冷凍機の開発を目指したい。

### 参考文献

- [ 1 ] T.Yazaki et.al., Phys.Rev.Lett. 81,3128(1998).
- [ 2 ] T.Yazaki et.al., Appl.Rev.Lett. 80,157(2002).
- [ 3 ] S.Backhaus and G.W.Swift, Nature 399,355(1999).
- [ 4 ] 上田祐樹他、'01年度秋季低温工学概要集 p199.