

## 40. 液体金属を用いた循環冷却装置の開発

Liquid metal based cooling device driven by electromagnetic pump

B06024 大塚 慶一 B06099 橋本 和希 (研究指導者 田中 耕太郎)

### 1. 緒言及び目的

電子機器の小型・高性能化に伴って機器内の発熱密度が増加し、装置の熱対策が大きな課題になってきている。そのため、これまでは自然放熱が可能だった機器においても、強制冷却デバイスが必要となりつつある。その中でもコンピュータの CPU やグラフィックカードでは冷却用に液体金属を利用する流れが提案され始めてきた。

従来からの CPU 冷却は電動ファンによる空冷式が一般的であるが、より高い冷却効果を狙って少数ではあるが水冷式が存在している。その中で私たちが注目しているのが液体金属である。液体金属は水に比べて熱伝導率が非常に大きく、高性能になるほど発熱が増大する CPU などのパーツに対する冷却方式としても注目されている。また、装置内を循環させる液体を液体金属にすることにより、循環システムに電磁力を用いることができ、電磁ポンプを使用できるため、駆動パーツが不要になる。よってこれにより静音性・省電力も実現され、形状もコンパクトにできる。

今回の研究では小型化を目的とした冷却装置の開発を行い、熱交換部の温度効率の性能評価を行うことを目的とする。

### 2. 使用冷媒

今回の実験では水、8°C合金を用いる。8°C合金とは Ga(61%), In(25%), Sn(13%), Zn(1%)の合金である。特徴として融点が低く、他の液体金属に比べ常温で液体状態を保てる。また、ガリンスタンは Ga(68.5%), In(21.5%), Sn(10%), Zn(1%)の合金で、8°C合金の割合と近いので、8°C合金の熱伝導率はガリンスタンの熱伝導率に近い値だと考えられる。

### 3. 冷却装置の概要

Fig.1 は本研究で設計した冷却装置の概要図である。この装置は主に、熱交換部、電磁ポンプ、放熱フィンの3つから構成されている。そして冷媒として水、液体金属を流路に流す。加熱部(ヒ-

ター)を冷却することを目的とし、電磁ポンプにより液体金属を循環させ熱の吸収・放出を繰り返す。

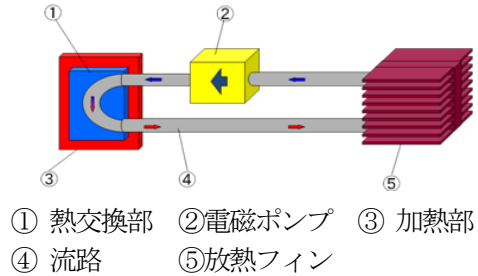


Fig.1 冷却装置の概要

### 4. 熱交換部

加熱部に使用する熱源には 10×10mm のマイクロセラミックヒーターを使用し、cpu などの小さな熱源から多くの熱を奪うことを想定した。

また、熱交換部の形状別による温度効率の違いを求めるために、本研究では2種類の熱交換部を製作した。寸法は小型化と簡易的な加工を追求した結果、15×15×15mm の大きさを選定した。材料には熱伝導率が非常に良い銅を使用する。

以下に各熱交換部の形状の詳細と加工法を示す。

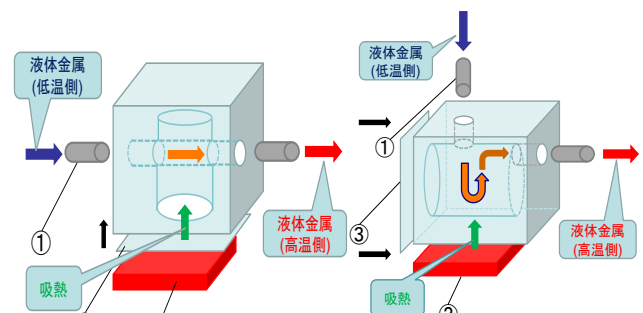


Fig.2 熱交換部 A

Fig.3 熱交換部 B

①流路 ②加熱部 ③銅板

Fig.2 は熱交換部 A の形状を示した図である。縦φ9mm、横φ3mmの穴をあけ、φ9mmの穴漏れを防ぐために下から銅板を被せ銀ロウ付けした。φ3mmの穴も流路を圧入し銀ロウ付けにより漏れを防ぐ加工を行った。

Fig.3 は熱交換部 B の形状を示した図である。穴の大きさは熱交換部 A と同様にし、銀ロウ付けを施している。異なる点として、内部構造を上図の様にすることによって、より多くの液体金属を熱交換部内部に溜められる形状とし、温度効率の向上を図っている。

	融点(°C)	比熱(kJ/kg·K)	熱伝導率(W/m·K)
水	0	4.18	0.6
ガリウム	29.77	0.33	40.6
ガリンスタン	-19	0.32	16.5
8°C合金	8	0.9	?

## 5. 実験方法

現段階で電磁ポンプの出力が小さく、液体金属を循環させることができないため、今回はチューブポンプを使用した。Fig.1の冷却装置の加熱部、熱交換部、熱交換部入口、熱交換部出口、放熱フィン入口、放熱フィン出口に温度計を設置する。

実験方法はまず流路を冷媒で満たし、加熱部のスイッチを入れる。加熱部の温度が安定したらポンプを駆動させ、装置の温度変化を調べる。今回の実験では冷媒、熱交換部の形状、加熱部の熱量、ポンプの出力を変えた時の温度変化を調べる。

## 6. 実験結果

本実験では冷媒に水、8°C合金、熱交換部 A, B, 加熱部熱量 1.8W, 2.8W, ポンプ出力 0.038ml/s, 0.067ml/s, 0.094ml/s, 0.133ml/s の条件の下実験を行った。

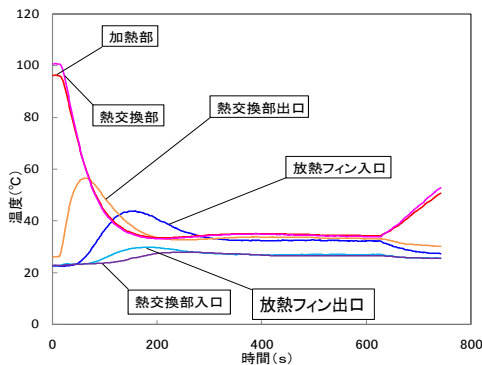


Fig.4 8°C合金・熱交換部 B・加熱部熱量 2.8W・ポンプ出力 0.133ml/s の条件下での温度変化

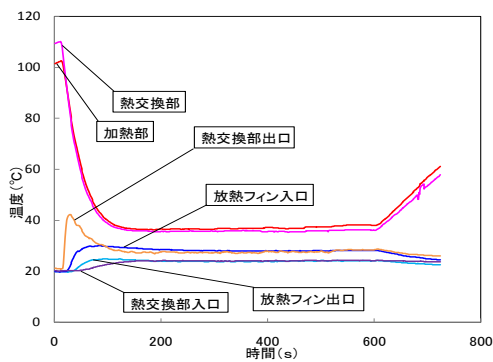


Fig.5 水・熱交換部 B・加熱部熱量 2.8W・ポンプ出力 0.133ml/s の条件下での温度変化

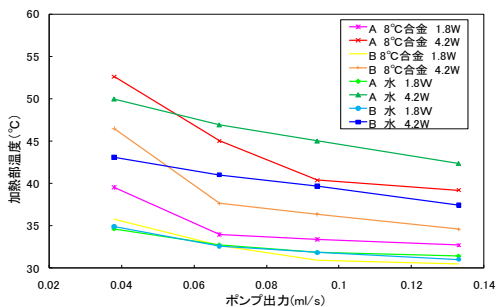


Fig.6 平均加熱部温度

## 7. 熱交換部性能評価および考察

本実験における性能評価方法として、熱交換器効率  $K$  [W/(m<sup>2</sup>·K)] を算出した。熱交換器効率  $K$  を次式に示す。

$$K = \frac{mc(t_2 - t_1)}{t_3 A} \quad (1)$$

ここで、 $m$  は液体金属流量 [kg/s]、 $c$  は比熱 [J/kg·K]、 $t_1$  は熱交換部入口温度 [K]、 $t_2$  は熱交換部出口温度 [K]、 $t_3$  は加熱部温度 [K]、 $A$  は熱交換面積 [m<sup>2</sup>] である。

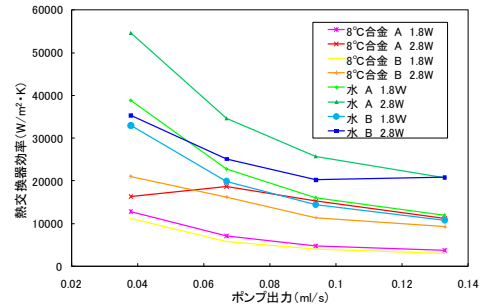


Fig.7 熱交換器効率

熱交換器効率は熱交換部が加熱部から熱量を多く奪うほど大きな値になる。つまりより加熱部を冷却できていれば、奪える熱量が少なくなるため熱交換器効率が小さくなる。しかし熱交換器効率が小さいから加熱部の温度が低いというわけではない。Fig.6, Fig.7で加熱部熱量 2.8W, ポンプ出力 0.038ml/s の時、平均加熱部温度は水の方が低くなっているが、熱交換器効率は 8°C合金の方が低くなっている。これは(1)式の比熱の大きさによるものである。Fig.4, Fig.5を見ると、熱交換部出入口の温度差は水の方が小さいが、水の比熱は 8°C合金の比熱より非常に大きいいため熱交換器効率は大きな値になる。よって冷媒が異なる場合は熱交換器効率を単純に比較することができないと考えられる。冷媒が同じ場合は、加熱部の熱量を小さく、ポンプ出力を大きくすることで温度差をなくし、また熱交換器 A より B の方が熱交換器効率が低く、冷却効率も優れていることがわかる。

## 8. 結論

今回の実験で、液体金属と水の冷却効率について調べた。Fig.6 より加熱部の熱量を大きくするほど水と液体金属の冷却効率の差が開き、液体金属の冷却効率が上がっていくことがわかった。

### 参考文献

1)Jing Liu, Yi-xin Zhou, Yong-gang Lv, and Teng Li : Liquid metal based miniaturized chip-cooling device driven by electromagnetic pump(2005)