

39. 二成分水溶液によるヒートパイプの研究

Heat pipe with two element solution

B06084 田代 祥大 B06087 寺田 直也 (指導教員 田中耕太郎)

1.研究背景と目的

宇宙機は、高機能な機器が数多く搭載されることが想定され、各機器からの発熱により、宇宙機の温度は上昇してしまうことが知られている。そのため、放熱技術はますます重要になるといえる。しかし、宇宙には空気がないためにファン送風による温度制御の方法は使えない。そこで、宇宙機器の熱制御素子としてヒートパイプを組み込んだヒートパイプ放熱パネルの研究が行われてきた。

ヒートパイプとは、小さな温度差で大きな熱量を輸送できる高性能な伝熱素子である。微小重力下において、特定アルコール水溶液を作動媒体として使用すると、マランゴニ効果が生じ、ヒートパイプ内で液体の循環(液帰還現象)が行われることが報告されている。^①この効果を利用すると毛細管構造をなくすことができ、超軽量ラジエターの開発が期待される。しかし、現状ではマランゴニ効果による液帰還現象は十分に評価されていない。

本研究では、重力下でヒートパイプ内の濃度分布を測定し、ヒートパイプ内の濃度変化におけるマランゴニ効果の評価を行い、ヒートパイプの更なる効率化を図ることを研究目的としている。

2.マランゴニ効果を利用するヒートパイプの原理

ヒートパイプは密閉容器に作動流体を封入したものである。ヒートパイプ一端を加熱し、もう一端を冷却すると、加熱部から作動流体が蒸発潜熱としてエネルギーを受け取り、気体となり冷却部に向かって流れる。逆に冷却部では凝縮潜熱としてエネルギーを放出し液体となり、液帰還現象により加熱部に戻る。この蒸発—凝縮の相変化のサイクルの中で熱輸送を行なう。ヒートパイプは液帰還現象の方法によって分類されている。一般的には、重力を利用した熱サイフォン型や、毛細管力を利用したウィック型などがある^②。Fig.1にウィック式ヒートパイプの構造を示す。

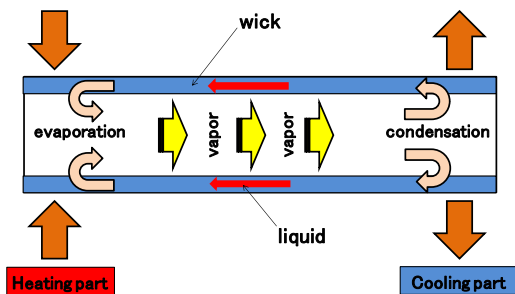


Fig.1 wick heat pipe

マランゴニ効果には温度差によるものと、濃度差によるものの二種類がある。どちらも表面張力差によって気液界面に表面張力勾配による界面せん断応力が発生する。このとき液体が気液界面に沿って引っ張られる現象をマランゴニ効果という。Fig.2にヒートパイプ内のマランゴニ効果を示す。

実験で用いるブタノール水溶液では、水の沸点が100°C、ブタノールの沸点が117°Cである。混合液においては濃度が約22wt%までブタノールが先に蒸発する。これを利用すると加熱部では水分濃度が高くなり、冷却部側から加熱部側に濃度差マランゴニ対流が発生するといえる。

通常の液体は、温度が上昇すると表面張力は減少する。一方、特定アルコール水溶液では温度上昇すると表面張力が上昇する現象が確認されており、これにより冷却部側から加熱部側に温度差マランゴニ対流が生じる。温度差マランゴニ効果と濃度差マランゴニ効果が同方向に働くことで、対流効果が高まることが期待できる。

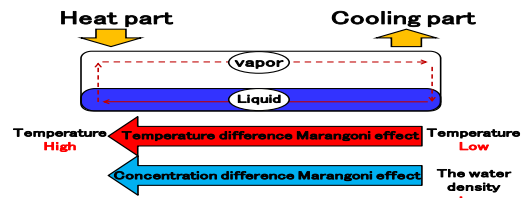


Fig.2 marangoni effect

3 実験装置および測定方法

3.1 実験装置

本実験装置では両端のシリコンセプタムより注射針を挿入することで、内部の低圧状態よりパイプ内の液体を直接抽出することが可能である。また、パイプの全長と針全長が200mmであるため、パイプ内のすべての点で濃度測定することが可能である。さらに、両端のシリコンセプタムに針状の熱電対を挿入することで温度分布も同時に測定することができる。

加熱部から冷却部にかけてコードヒーターを適度な間隔で巻いて加熱を行う。分割ヒーターを3つの温度コントローラーで温度制御を行い、温度勾配を調整する。液充填方法に関しては、20分間沸騰状態を保って脱気を行い、15秒間空気を抜く作業を3回繰り返して行うことにより行った。

実験装置よりシリンジで所定の場所より抽出した液体を用いて濃度測定を行う。その濃度測定方法について以下で述べる。実験装置を Fig.3 に示す。

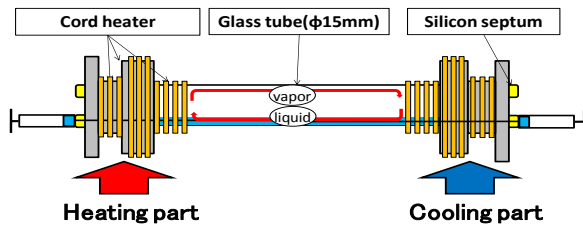


Fig.3 experiment machine

3.2 アップ屈折計による濃度測定

アップ屈折計は臨界角の位置をとらえて屈折率を求める装置である。下の図のように屈折率が既知の半球状プリズムとプレート間に屈折率を測定したい液体をはさむ。この状態で図の左下側から光を入れ、右側から反射光を顕微鏡で観察すると、ちょうど臨界角に対応するところで図のような明暗の境目が観察される。この方法の測定精度は高く、適当な較正および温度制御を行えば屈折率を小数第4位まで決定することもできる。実験に用いるアップ屈折計は恒温槽を用いてプリズム表面の温度を制御することが可能であるため高い精度が期待できる。

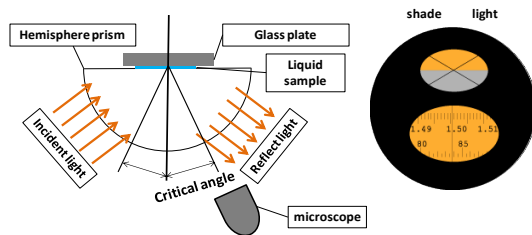


Fig.4 refractometer

4.実験結果および考察

4-1 濃度の濃度差に対する影響

Fig.5 に実験結果を示す。実験は濃度を 1.0~6.0wt% で 1.0wt% 刻みで変えて測定を行った。1.0wt% と 2.0wt% では 0.8wt% と同程度の濃度差が測定された。3.0wt% 以降より少しずつ減少していき、6.0wt% のときには濃度差が 0.3wt% まで減少しているのがわかる。これより、高濃度になると徐々に濃度差は小さくなる傾向にあるということが考えられる。

4-2 内部圧力の性能に対する影響

濃度を 2.0wt% で統一して実験を行った。この実験では内部の真空状態に変化をつけた。■のプロットは脱気の直後で最も内部の真空状態が保たれた状態である。▲は脱気後一度室温まで冷却し、再度設定温度まで加熱した結果である。●は脱気後設定温度のまま 20 時間経過した後の結果である。Fig.6 より内部の真空状態が保たれている方が、濃度差が大きく測定されることがわかる。内部の気相部にブタノール水溶液の蒸気が充満した時点で試料の蒸発が止まり、定常状態になる。そのため、内部が真空状態でなく、空気

が混入していると試料の蒸発が早く止まり、濃度差を得ることができなくなるのではないかと考察した。

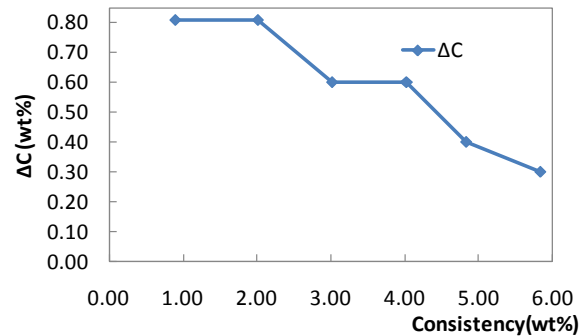


Fig.5 Consistency difference

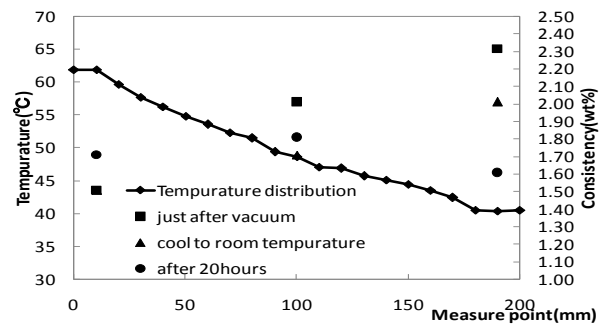


Fig.6 result of a measurement

5.結言

ヒートパイプ内の濃度測定の結果をもとに、効率のよいヒートパイプについて考察した。まず、温度差マランゴニ効果が高い効果を発揮するため、50~60°C 付近で温度差を設ける方がよいと考えられる。また、濃度差は温度差の大小に依存しない。ヒートパイプは小さな温度差で熱輸送を行う装置のため、なるべく低い温度差をもちたい。そこで、濃度差マランゴニ効果を向上させることが、性能のよいヒートパイプの条件になると考えた。

濃度差は濃度が低いときに高い値が測定され、ブタノール水溶液は濃度が小さいほうが高い表面張力を示す。濃度差は 0.8wt% 程度まで発生するため、1.0wt% 程度の低濃度水溶液がヒートパイプに適していると考えられる。また、濃度差は内部の気圧に依存していることが明らかとなった。そのため、高い気密状態を保つことと、内部の気相部の体積を大きくすることが必要であると考えられる。

以上の条件を満たすヒートパイプは高い濃度差マランゴニ効果を得ることができ、性能向上に期待できることが予想できる。

参考文献

- 1) 板橋 英亮, 修士論文 2 波長マッハツェンダー干渉計を用いた 2 成分ヒートパイプ内の温度・濃度分布測定 (2008), 芝浦工業大学
- 2) 日本ヒートパイプ協会, 実用ヒートパイプ第 2 版, (1985), 日刊工業新聞社, pp.1~14