

# 自励振動ヒートパイプの研究

## －熱コンダクタンスの制御－

宮 崎 芳 郎 \*

### Study on Oscillating Heat Pipes －Thermal Conductance Control－

Yoshiro Miyazaki

It is thought that the thermal conductance of two-phase heat transport systems such as loop heat pipes or two-phase fluid loops varies with liquid blockage in the condensation area in the loop and the liquid blockage area can be controlled with the reservoir pressure. As results of experiments of this study, where an oscillating heat pipe provided with a reservoir was fabricated and tested, it is shown that the control of thermal conductance of oscillating heat pipes is feasible by adjusting the reservoir pressure.

#### 1. はじめに

日本の宇宙開発は実用と並んで「フロンティアの拡大」の理念の下で太陽系科学探査のプログラムの推進が急速に重要性を増している。これらのプログラムを担う次世代の宇宙機はそのミッションが多様で複雑であるとともに地球周回軌道とは異なる厳しく多様な宇宙環境に対応しなければならない。このため、熱制御技術に対しても新たな厳しい要求があり、従来の地球周回軌道の衛星で確立された技術だけでは対応が難しくなっている。とくに、水星、金星、木星、月面等の極限熱環境の下で複雑で長期間のミッションを限られた電力、重量のリソースで実現することは困難であり、このようなミッションでは受動的に熱コンダクタンスが制御できる高度な熱制御システムが必要である。

熱コンダクタンスを制御する方法は放熱面の光学特性を変える方法やサーマルスイッチを用いる方法などいくつかの方法があるが、LHP(Loop Heat Pipe)あるいはTPFP(Two-Phase Fluid Loop)等の二相熱輸送システムの熱コンダクタンスを制御することも可能である：

LHP あるいは TPFP は放熱部が細管で構成されており、蒸気が凝縮しながら液プラグと蒸気泡とが管軸方向に分布した二相流の状態で流れている。

---

\* 宇宙通信工学科

このような伝熱様式では液プラグと蒸気泡の割合によって有効な凝縮伝熱面積が定まるのでループ内の作動流体の量を変えることにより、凝縮部の熱コンダクタンスを変えることが出来る。LHPやTPFPはリザーバにより、ループ内の作動流体の量を変えることが可能であり、凝縮部の熱コンダクタンスを能動的に変える、いわゆる可変コンダクタンスの機能を持っている。

図1にリザーバによりループ内の作動流体の量をかえ、熱コンダクタンスを制御する、いわゆる液ブロック法の原理を概念的に示している。

リザーバの圧力が一定に保たれていれば、熱量が小さい場合はループの温度が低くなり、圧力が下がるためリザーバから液が流入し、放熱部が液でブロックされる。このため放熱部の凝縮熱コンダクタンスが小さくなり、ループの温度低下を抑止する。熱量が大きい場合は逆にループから液がリザーバに排出され、放熱部の凝縮熱コンダクタンスが大きくなり、この結果ループの温度上昇を抑止する。このようにリザーバの圧力を一定に保てば液ブロックは熱量が変化しても、ループの温度変化が受動的に小さくなるように熱コンダクタンスを変える効果を持っている。

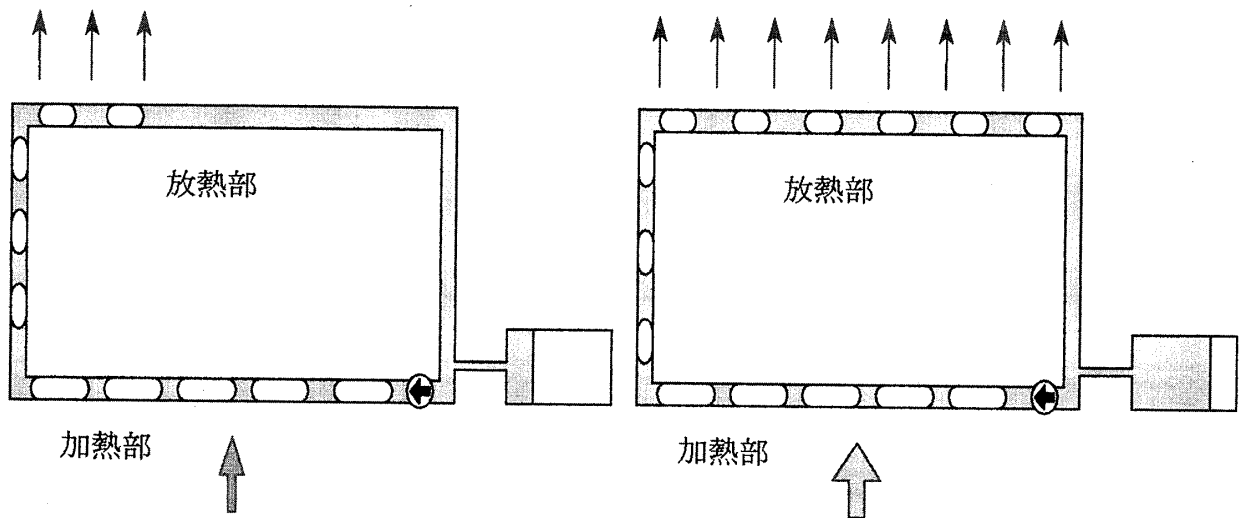


図1 二相熱輸送システムの液ブロックによる熱コンダクタンス制御

OHP(Oscillating Heat Pipe: 自励振動ヒートパイプ)は細管だけで構成されており、凝縮部の機能、構造は基本的にはLHPやTPFPと同じである。したがってOHPにリザーバを付加すれば可変コンダクタンスの機能を期待できる(1)。

本研究では実験的にこの可能性を検討している。

## 2. 実験装置

試作ヒートパイプは逆止弁付 OHP にリザーバを付けた構成となっている。

ヒートパイプ配管の構成と外形寸法を図 2 に示す。ヒートパイプの加熱部と冷却部は外径 1mm、内径 0.8mm の SUS チューブで構成されており、0.5t のアルミ板が伝熱板として熱伝導接着剤で取り付けてある。断熱部は外径 2mm、内径 1mm のテフロンチューブで構成されており、加熱部と冷却部を接続している。ターン数は 12 である。

作動流体は R-134a である。

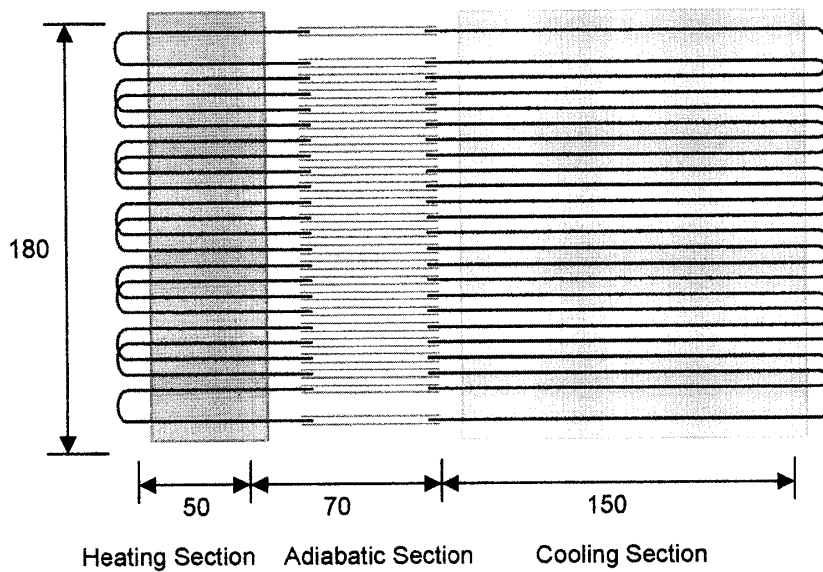


図 2 OHP

テフロンチューブには各ターン毎に 1 個、合計 12 個の逆止弁が挿入されている。

逆止弁は OHP チューブと同じ外径 1mm、内径 0.8mm の SUS パイプで作られており、ボールが円錐状の弁座と扁平な流路のボールストップとの間を自由に動ける浮遊型である。図 3 に逆止弁の断面形状と写真を示す。

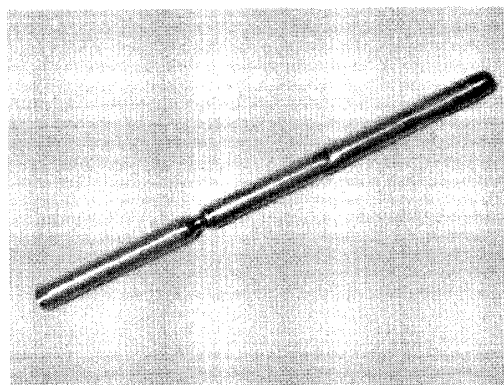


図 3 浮遊型逆止弁

図 4 にヒートパイプのセットアップの様子を示す。リザーバは温度が制御できるようにリボンヒータが巻かれている。

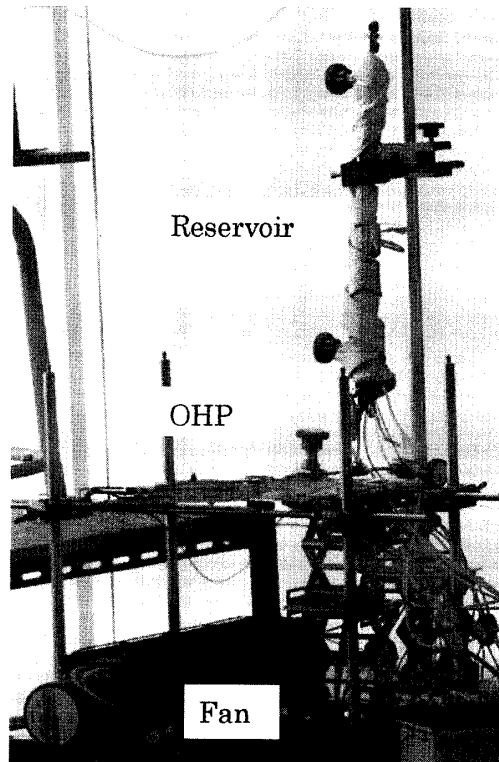


図 4 実験装置

### 3. 実験結果

実験結果の例を図 5 に示す。

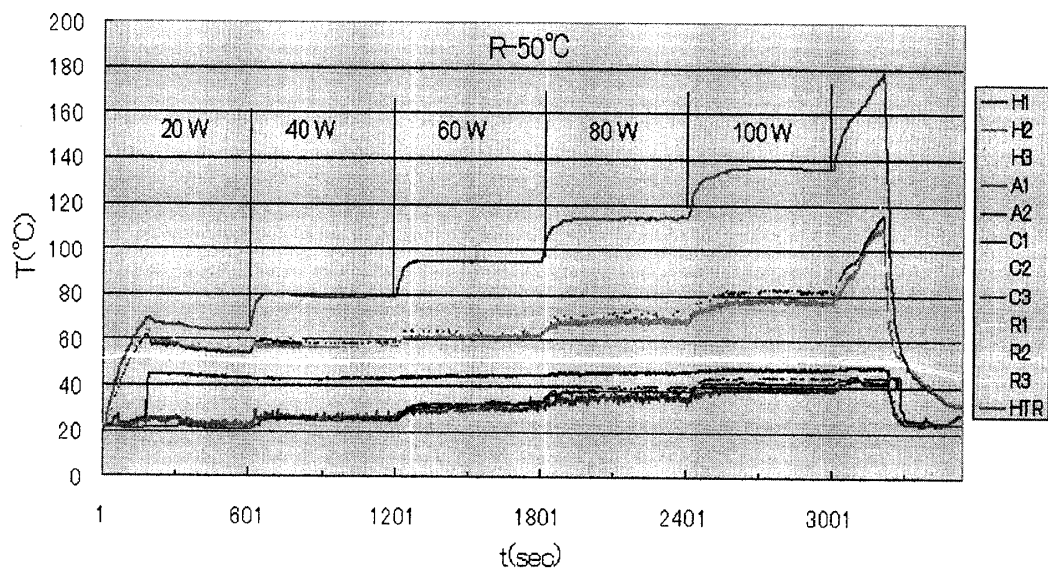


図 5 実験結果

実験ではリザーバの温度を  $50^{\circ}\text{C}$  に保ち、熱負荷を 10 分ごとに  $20\text{ W}$  上げている。図 5 の R1,R2,R3 はリザーバの管軸方向 3 点に取り付けられた熱電対の温度であり、実験の間ほぼ  $50^{\circ}\text{C}$  に保たれていることが示されている。加熱部の温度は図 5 では H1,H2,H3 で示されており、熱量  $20\text{ W}$  から  $100\text{ W}$  まで変化するのに対し、約  $55^{\circ}\text{C}$  から  $80^{\circ}\text{C}$  の狭い温度範囲にあり、熱量の変化に対する温度変化が小さい。

この場合の加熱部：H、冷却部：C、リザーバ：R の平均温度と熱量の関係を図 6 に示す。リザーバとヒートパイプの圧力は平衡しているのでリザーバの温度はヒートパイプ内の作動流体の飽和温度を示していると考えてよい。したがって蒸発側では作動流体と伝熱面の温度差は熱量とともに増加しているが、凝縮側では逆に熱量が増加すると温度差は小さくなっている。このことは凝縮側では低熱量では液ブロックにより、熱コンダクタンスが小さいが、高熱量では液ブロックが解消され、熱コンダクタンスが大きくなっていることを示唆している。

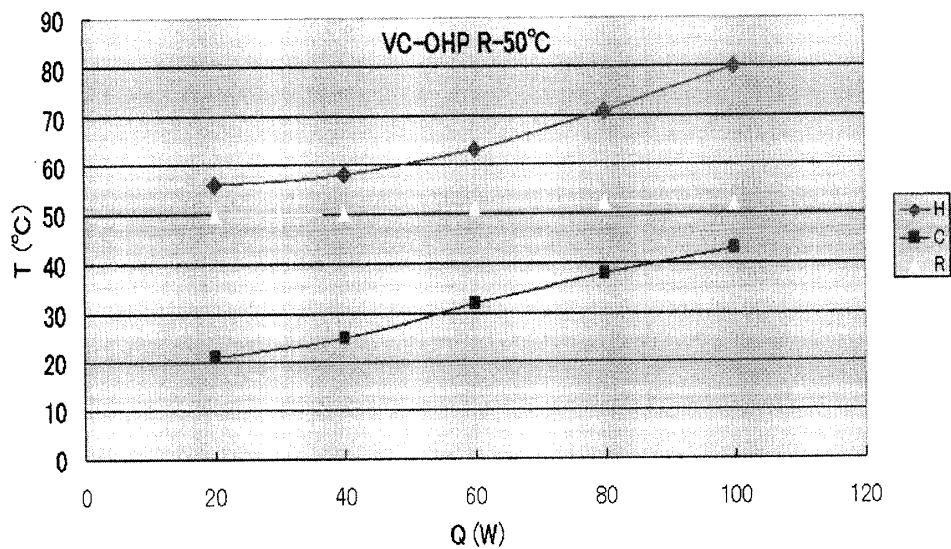


図 6 熱伝達特性

図 7 にリザーバの設定温度を変えた場合の熱コンダクタンスの変化の様子を、リザーバを付加しない場合と比較して示す。図中 R40,R50,R60 はそれぞれリザーバの設定温度が  $40^{\circ}\text{C}$ 、 $50^{\circ}\text{C}$ 、 $60^{\circ}\text{C}$  の場合を示しており、FC はリザーバを付加しない場合を示している。

リザーバをつけない場合、熱コンダクタンスはほぼ一定であるのに対し、リザーバをつけた場合は熱量とともに熱コンダクタンスが大きくなっていく様子が示されている。

リザーバをつけた場合の熱コンダクタンスはリザーバをつけない場合の熱コンダクタンスより小さく、熱コンダクタンスの変化は液ブロックによる凝縮熱伝達の障害によるとの前述の説を支持している。また、リザーバの温度と冷却空気の温度：約  $20^{\circ}\text{C}$  との差が小さいほど熱量による熱コンダクタンスの変化は大きい。このことはリザーバの圧力が低いほどヒートパイプ内の作動流体のリザーバへの流入が容易であることによるものと考えられ、液ブロック効果の特性を示しているものと考えられる。

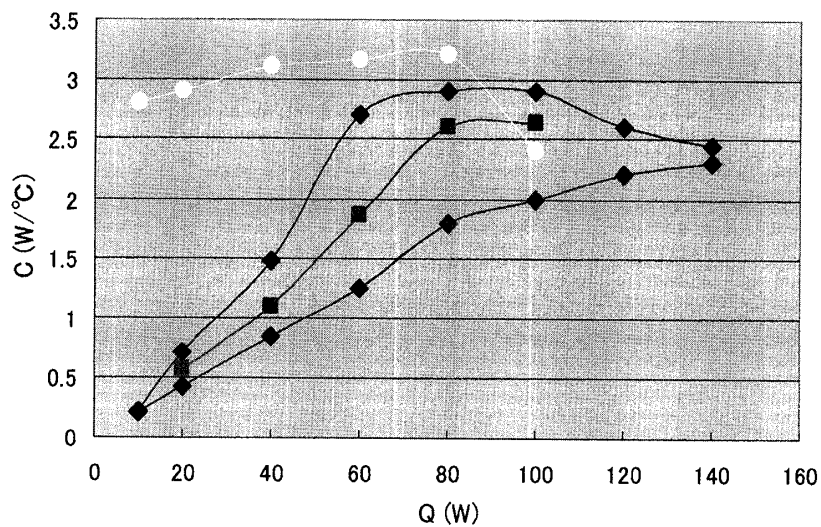


図7 熱コンダクタンス

#### 4. おわりに

OHPは薄型、軽量で高い熱輸送性能を持っており、今後の宇宙用熱制御デバイスとしての大きな可能性を持っていると思われる。しかし、まだその特性が十分に明らかにされておらず、今後の発展の可能性についても未知の部分が多い。

本研究ではOHPのひとつの発展の方向として可変コンダクタンス化の可能性について実験的に検討している。その結果、液ブロックの方法を有効に利用することができ、大きな熱コンダクタンスの変化が得られることが示されている。薄型、軽量という特長とあわせ、宇宙用として魅力的な機能をもったヒートパイプであると思われる。

#### 参考文献

- (1) 宮崎芳郎、“放熱システムの熱コンダクタンス制御”、宇宙航行の力学シンポジウム（平成18年度）、2006, pp. 79-82 第36号

（平成20年3月31日受理）