

# 自励振動ヒートパイプの研究

－ノートパソコン冷却への応用－

宮 崎 芳 郎\*

## Study on Oscillating Heat Pipes

－Application for Cooling Notebook PCs－

Yoshiro Miyazaki

This paper describes a developmental study on flexible oscillating heat pipes for cooling notebook personal computers. The heat pipe functions to transport heat from the CPU to the rear surface of the folding display, which serves as a radiating surface. The heat pipe tubes at the hinge are flexible so that the heat pipe may fold.

In order to evaluate the thermal performance of the cooling system, flexible oscillating heat pipes were fabricated and tested. The heat pipes consist of copper capillary tubes and Teflon flexible tubes.

Excellent thermal performance was obtained in the test: the thermal resistance was 0.3 K/W and the maximum heat transport capability was 100 W.

### 1. はじめに

CPU の発熱量は増加し続けており、その冷却技術はますます重要となっている。特にノートブックパソコンでは冷却のために必要な容積、表面積を確保することが難しいので、スリムで効率のよい画期的な冷却技術が必要とされている (1)。

このような要求に対し、ノートブックパソコンのディスプレイの裏面を放熱面として利用する二つの方法が提案されている。一つは Fig.1 に示すポンプ駆動の液ループシステムであり (2)、もう一つは Fig.2 に示す、2本のヒートパイプをヒンジ機構で接続する方法である (3)。どちらも CPU の発熱をヒンジ部分を介してディスプレイの裏面へ輸送する。

フレキシブル自励振動ヒートパイプは同様の機能を持つ、より単純でスリムな熱輸送システムを実現することができると考えられる。Fig. 3 に自励振動ヒートパイプを用いたノートパソコンの冷却システムの概念を示す。自励振動ヒートパイプは細管で構成されており、ノートパソコンの本体とディスプレイの間を何回も往復するように配設されており、本体での発熱はヒートパイプによりディスプレイ裏面に輸送され、放熱される。本報告ではその可能性を検討するため、試作したヒートパイプの熱輸送性能を評価している。

---

\* 宇宙通信工学科

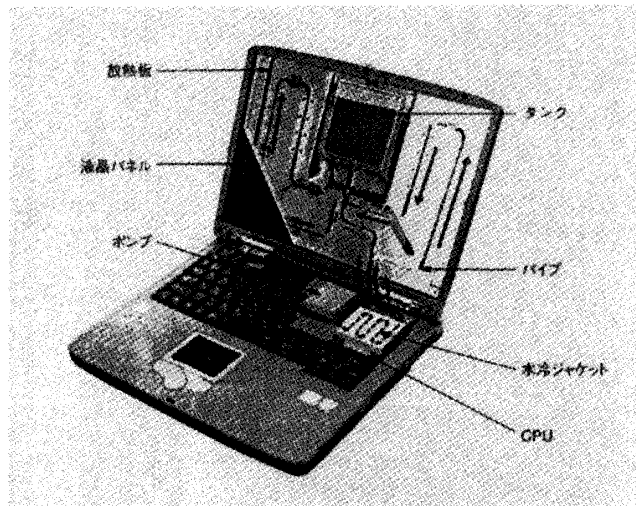


Fig.1 Pumped water loop system for notebook PC cooling

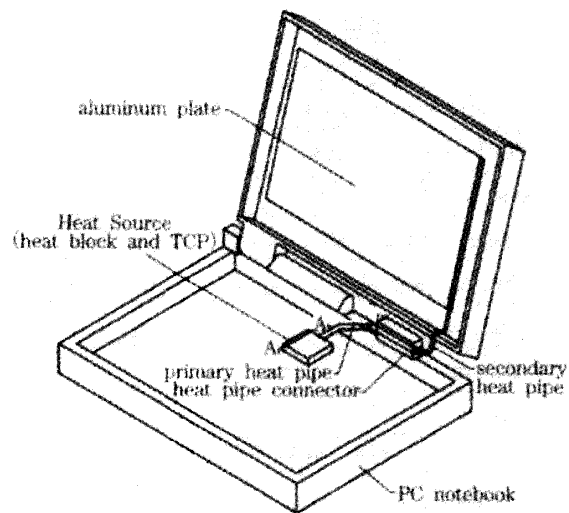


Fig.2 Hinged heat pipe system for notebook PC cooling

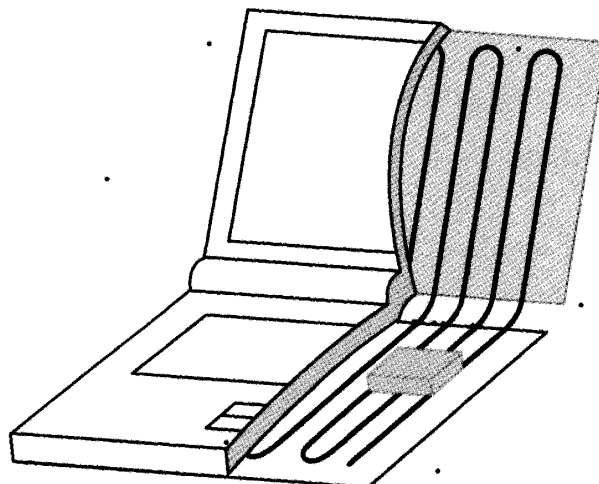


Fig. 3 Flexible oscillating heat pipe system for notebook PC cooling

## 2. 実験装置

フレキシブル自励振動ヒートパイプは銅管とテフロンチューブを用いて試作した。伝熱部には銅管、フレキシビリティが必要なヒンジ部にはテフロンチューブを用いており、銅管とテフロンチューブは接着剤で接続している。

ヒートパイプの冷却部にはアルミ板が熱伝導性接着剤で取り付けられており、自然空冷あるいはファン空冷による放熱が行われる。加熱部にはシリコンラバーヒータをアルミ板を介して接着している。

管の配設は Fig. 4 に示すストレートタイプとウイングタイプの2種類がある。

作動流体は R-134a であり、封入量割合は 0.7 である。

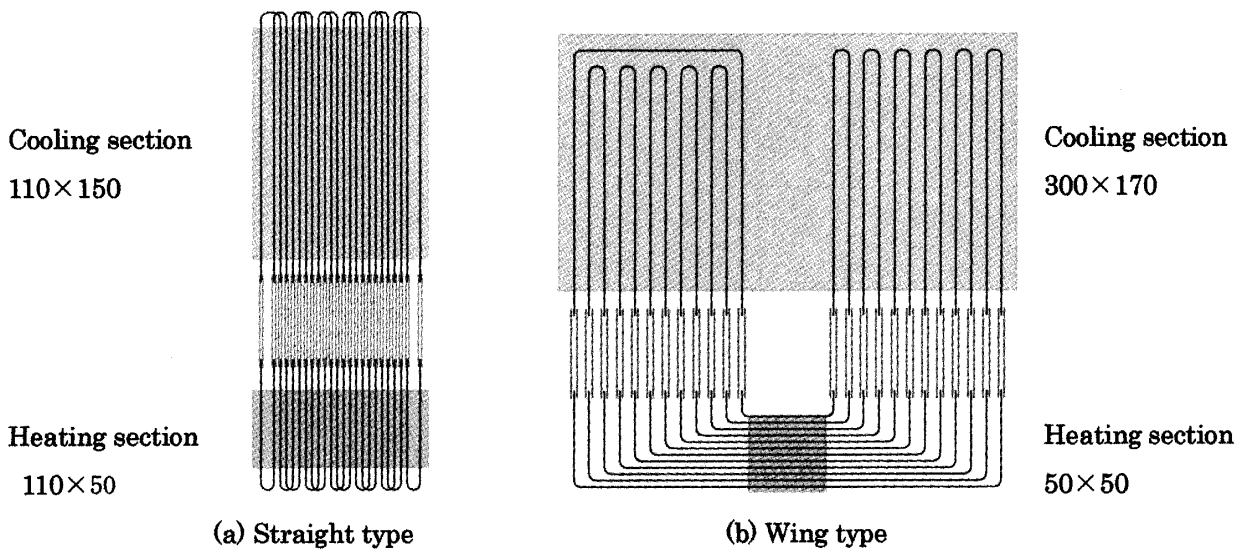


Fig. 4 Pipe arrangement

ヒートパイプはストレートタイプを1台、ウイングタイプを3台、合計4台試作した。試作ヒートパイプの主要な仕様を Table 1 に示す。

Table 1 Specification of experimental heat pipe

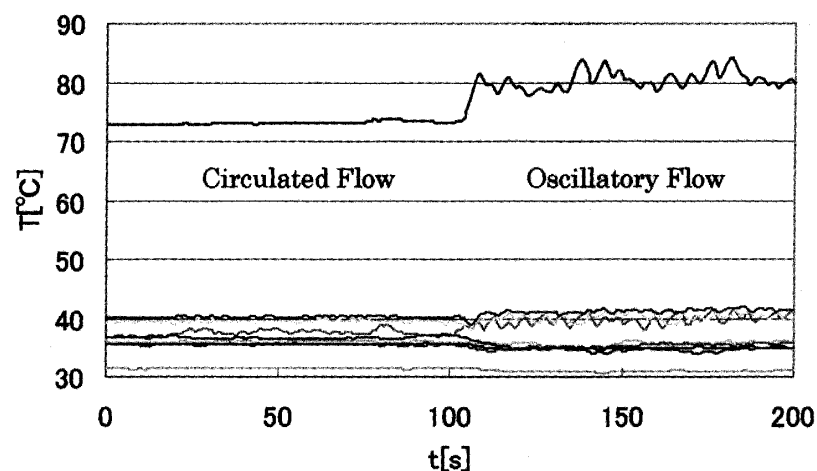
	Pipe arrangement	Turn number	Channel diameter
Model A	Wing type	8	1.7 mm
Model B	Wing type	12	1.2 mm
Model C	Wing type	12	1.0 mm
Model D	Straight type	12	1.0 mm

### 3. 実験結果と考察

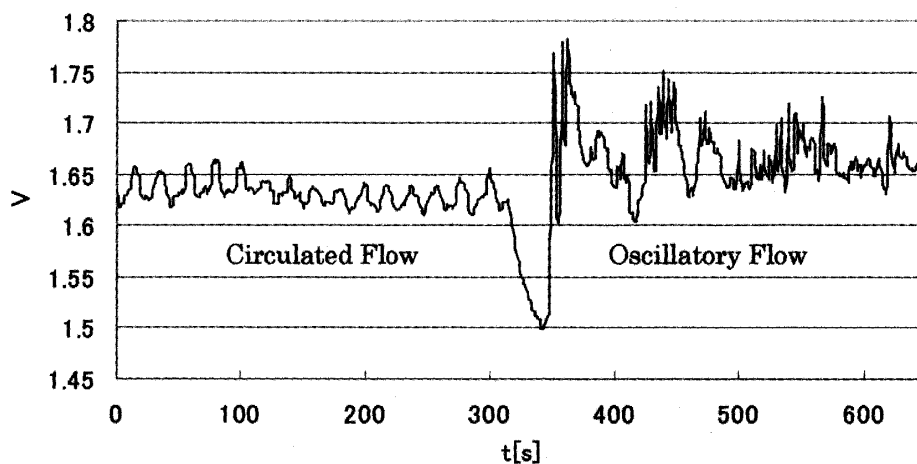
#### 3. 実験結果と考察

##### 熱輸送性能

試作したヒートパイプはすべてのタイプが動作可能であった。安定に動作している状態では周期の短い小さな圧力振動が連続し、一方向の循環流が観察された。作動限界近くでは循環流を伴わない単純な振動流が観察される場合があった。このときの圧力振動は振幅が大きく間欠的であり、熱輸送性能は低い。この様子を Fig.5 に示す。



(b) Temperature



(a) Pressure

Fig. 5 Two types of flow pattern

実験はノートブックパソコンの状態を模擬し、加熱部を水平に保ち、放熱部を傾けて行った。放熱面の傾斜角が 60 度の場合の性能試験の結果を Fig. 6 に示す。

モデル A と C は 50 W まで、モデル B と D は実験範囲である 100 W まで循環流が観察され、安定して動作した。

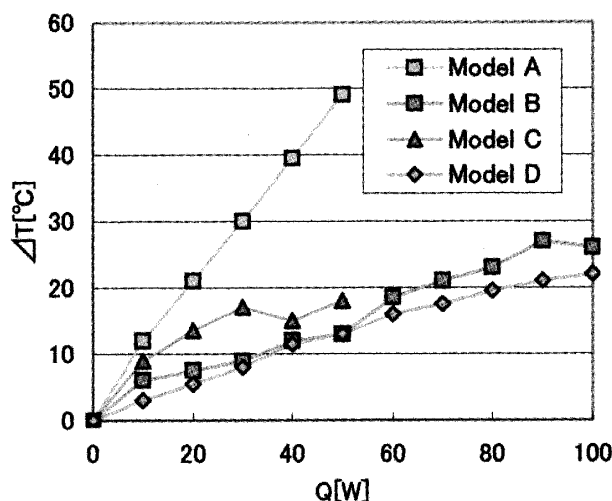


Fig. 6 Thermal performance

モデルAは管内径が1.7 mmと大きいので管断面積あるいは内表面積はほかのモデルと同等以上であるが熱輸送性能は劣っており、ターン数が不十分であることがうかがわれる。経験的に、安定な動作には10ターン前後は必要であるとされているがこの結果はそれを裏付けている(4)。

管内径1.2 mm、12ターンのモデルBは熱抵抗が0.3 K/W以下、最大熱輸送能力が100 W以上であり、ノートブックパソコンの冷却に必要な熱輸送性能を具備している。管内径をさらに小さくするとヒートパイプをさらにスリムにできるが、熱輸送性能は低下する。管内径が1 mmのモデルCはとくに最大熱輸送能力の低下が著しい。しかしこの点はターン数を増やすなどの対策が可能なので内径1 mmでも実用が可能であると考えられる。

モデルD(ストレートタイプ)はウイングタイプのモデルより熱輸送性能が優れている。しかし、ウイングタイプではCPUを直接、ヒートパイプの全てのターンを覆うように搭載できるのに対し、ストレートタイプではCPUの発熱をサーマルスプレッダー等により、加熱部の全てのターンを覆う面積にまで拡散させる必要がある。このため、システムの複雑化と熱抵抗の増加を招く恐れがある。どちらが系統的に優れているかは今後の検討課題である。

#### 放熱面の傾斜角

Fig. 7に放熱面の傾斜角による熱コンダクタンスの変化を示す。放熱面が水平の場合、ヒートパイプは動作しないが傾斜角がわずかでもありと循環流が発生しヒートパイプは動作する。また傾斜角による性能の変化は小さい。

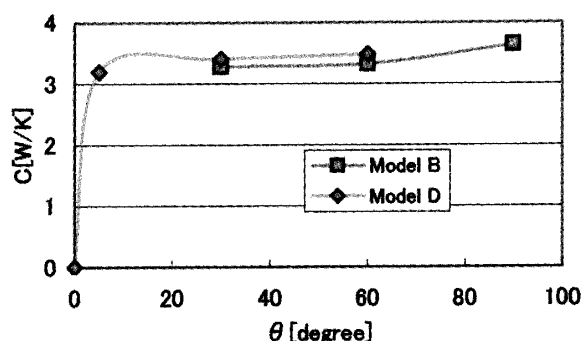


Fig. 7 Effect of inclination angle

放熱面が水平の場合、ヒートパイプは動作しないが傾斜角がわずかでもあると循環流が発生しヒートパイプは動作する。また傾斜角による性能の変化は小さい。

傾斜角がある場合に循環流が発生し、熱輸送性能が安定化する現象は単なるサーモサイフォン現象ではなく二相流体の密度差による逆止弁効果によることが報告されている（5）。またこのような循環流は逆止弁によっても実現でき水平状態でも安定な動作が得られることが示されている（6）。実用においては逆止弁の利用も検討すべきであろう。

#### 4. おわりに

ノートブックパソコンのCPUの発熱をディスプレイの裏面に輸送する熱輸送システムを想定し、フレキシブル自励振動ヒートパイプの試作を行い、熱輸送性能を評価した。その結果、十分な熱輸送性能がえられ、有望な技術であることが示された。

実用化のためには、水平状態を含めた広い動作条件での動作の安定化の検討とともに、信頼性の高いフレキシブル部の開発が重要であると考えられる。

#### 参考文献

1. 実用ヒートパイプ、(2001), pp. 131, 日刊工業新聞社
2. Nakagawa, T., 2002, "Water Cooling Modules for Notebook PCs", Hitachi Review Vol. 84 No. 11, pp. 715-718
3. Mochizuki, M., Mashiko, K., Nguyen, T., Saito, Y., and Goto, K., 1996, "Cooling CPU Using Hinge Heat Pipe", Proc. of the 5th International Heat Pipe Symposium, J. Andrews et al., eds, Pergamon, pp. 218-222
4. Akachi, H., Polasek, F., and Stulc, P., "Pulsating Heat Pipes", Proc. of the 5th International Heat Pipe Symposium, J. Andrews et al., eds, Pergamon, pp. 208-217
5. 永田、西尾、白樫、馬場、"SEMOS Heat Pipeの熱輸送特性"、第38回日本伝熱シンポジウム講演論文集、May 2001, pp.731-732
6. Y. Miyazaki, F. Polasek, H. Akachi, "Oscillating Heat Pipe with Check Valves", 6<sup>th</sup> International Heat Pipe Symposium, Nov. 2000, pp.389-393

(平成17年12月1日受理)