

電子機器冷却用サーマルテクノロジー

サーマルテック事業部 益子 耕一¹

Thermal Technology for Cooling Electronics

K. Mashiko

PC等、電子機器のCPUの冷却に薄型ヒートパイプモジュールが広く搭載されていますが、更なる熱性能の向上と小型化、薄型化に応えるために1 mm厚さの超薄型ヒートパイプを開発しました。また、合わせて冷却モジュール用ファンの薄型化のために1 mm厚さの超薄型ピエゾファンを開発しました。

一方、風力発電や太陽光発電用の電力変換機パワー半導体では、大容量化に伴い水冷方式が必要となり、特殊なチャンネル構造の水冷モジュールを開発しました。また、データセンターやスーパーコンピュータの消費電力の増大に伴い、冷却設備の効率化、消費電力の削減が求められるようになり、効率的な冷却方式として水冷方式が見直されています。スーパーコンピュータに使用されるCPUの冷却用に、マイクロチャンネル構造を採用したコールドプレートを開発しました。これにより、高性能化（世界1の計算速度）とCPUの消費電力の低減化にも貢献することができました。

Thin heat pipe modules are widely used for cooling the CPU of a PC or electronic devices. To meet customer demands for improvement in thermal performance and reduction in size and height, we have developed an ultra-thin (1 mm) heat pipe. In addition, we have worked on the development of an ultra-thin (1 mm) piezo fan included in the cooling module. On the other hand, we developed a water-cooled module having a special channel structure because a power semiconductor device of a power converter used for wind or solar power generation requires a water-cooled system with increases in the capacity of the converter. As the power consumption of datacenters or super computers has been increasing, increases in efficiency of cooling facilities and reductions in power consumption are being called for. So far, the air cooling system has been predominantly adopted in this field, but currently water cooling system is being reconsidered as an efficient cooling system. We also completed the development of a cold plate unit, which has a micro channel structure, for cooling super computers. After making the prototypes, the performance of the system met customer demands, and our products have contributed not only to the highest calculation speed but also to reductions in the power consumption of CPUs.

1. ま え が き

PCに使用されるプロセッサ（CPU）は高性能化とともにクロック周波数が増大し、それに伴い、消費電力も増加し、ヒートパイプとファンを組み合わせた冷却モジュールが幅広く搭載されています¹⁾。図1に、パソコンと多機能情報端末・スマートフォンでの出荷台数（全世界）の推移を示します。パソコン台数ではノートPCが特に増加しており、その中でも超薄型ノートPCが増加しています。これらのCPUの発熱量の動向は、超薄型に搭載されるCPUでは15 W前後、多機能端末では5 W前後ですが、冷却モジュールも薄型化、軽量化が要求されています。これらの要求に応えるべく、ヒートパイプの性能向上だけでなく、薄型化（厚さ1 mm以下）に取り組んできました²⁾。また電子機器の小型化に伴い、従来にはない細径ヒートパイプの開発や新たな分野への適用を図っています。

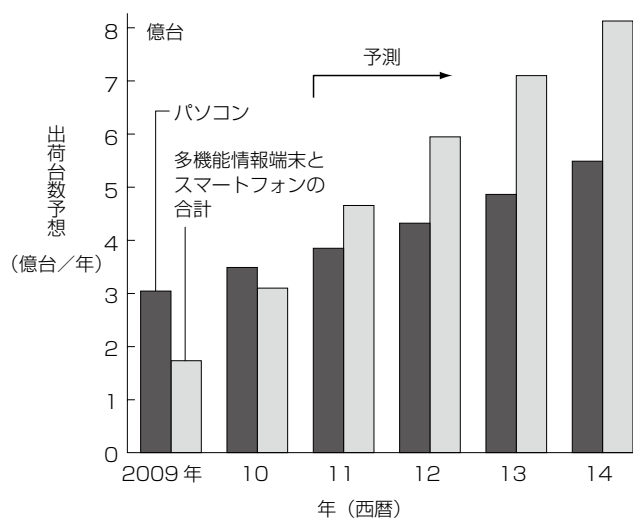


図1 PC、タブレット・スマートフォンの出荷台数予想（世界）

Fig. 1. Shipment number expectation (the world) of PC, Tablet and Smartphone.

¹ 開発部長

略語・専門用語リスト		
略語・専門用語	正式表記	説明
CPU	Central Processing Unit	コンピュータなどにおいて中心的な処理装置として働く電子回路。
PUE	Power Usage Effectiveness	データセンターの電力使用効率化の指標 PUE = データセンター全体の消費電力 / IT機器の消費電力
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor	絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ。出力部がバイポーラ構造のパワー用トランジスタのこと。高耐圧、大電流に適した半導体。

一方、パワー半導体やデータセンター等のサーバにおいては、高出力、高性能化にともない、従来の空冷方式から水冷方式が必要となってきました。特に、データセンターにおいては、データ処理の増加とともにデータセンターの需要が増加し、データセンター内で使用する電力量増加が予想されています。グリーンIT推進協議会がまとめた試算を図2に示します。その試算によれば、現在のペースでITの利用が進んだ場合、国内でのIT機器の消費電力量は2025年時点で2006年の約5倍強（約2,400億kWh）にもなると予想され、その低減対策が重

要な課題になっています。特に消費電力は、CPUとIT機器冷却設備の両方で全体の80%にもなります。図3に示すような従来の空冷方式ではホットスポットが発生する問題があります。そこで冷却設備の電力量消費低減には、効率的な冷却が必要で、従来の空冷方式から水冷方式が見直されてきました。

2. 電子機器冷却におけるサーマルテクノロジー

図4に当社のサーマル製品の適用分野を示します。サーマル製品群は、ヒートパイプ、及びそのモジュール、ヒートシンク、ベーパーチャンバー、スプレッダ、コールドプレートがあり、PC・電子機器冷却を中心に幅広い分野に適用されています。電子機器の薄型化・高密度実装化にともない、ヒートパイプモジュールの薄型化が必須となる一方、データセンター等のサーバでは効率化、高性能化から水冷モジュールが必須となってきます。ここでは、以下の代表的事例について述べます。

2.1 PC冷却用マイクロヒートパイプ²⁾

PC冷却においては機器の小型化に伴い、マイクロヒートパイプ（MHP）を潰した厚さの薄型化が要求され

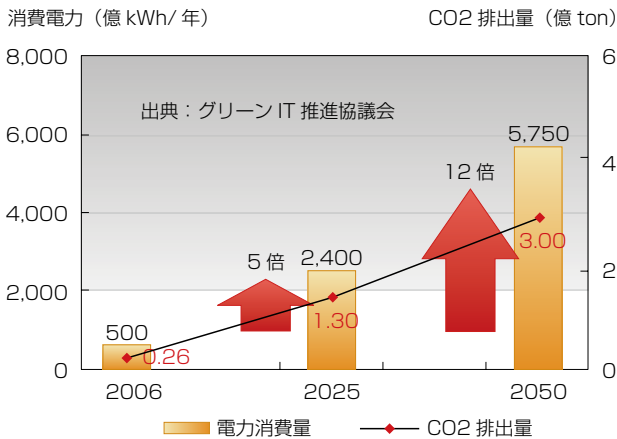


図2 データセンターにおける電力使用量の予想
Fig. 2. Estimation of the electricity consumption in the data center.

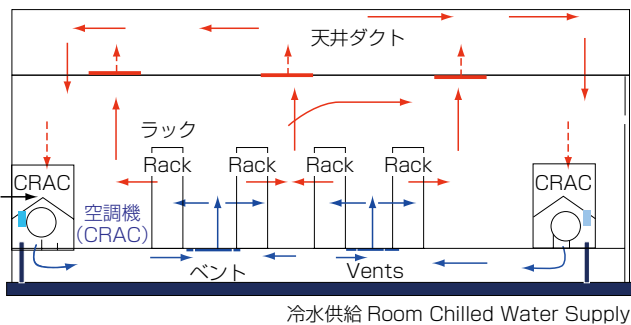


図3 データセンターにおける冷却方式 (空冷方式)
Fig. 3. Cooling Method of data center (air cooling).

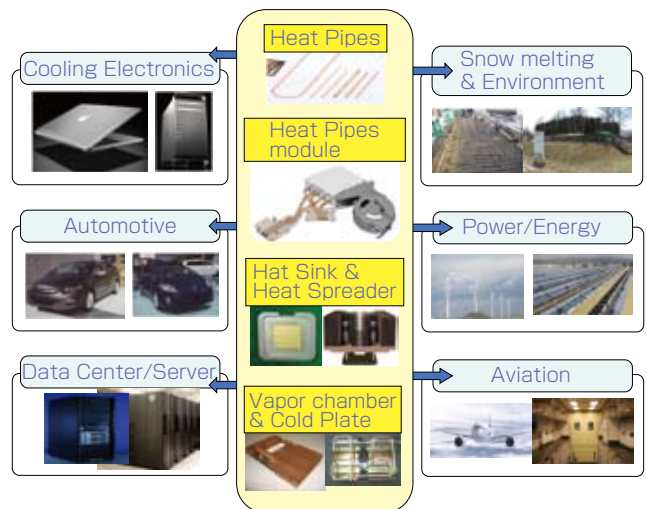


図4 サーマル製品の適用分野
Fig. 4. The field of application of the thermal product.

ています。図 5 には、最近の PC や携帯機器で要求される MHP での冷却熱量とその厚さを示します。高性能ノート PC では、1.5 mm 以下でも 30 W ~ 50 W の冷却仕様が求められています。

ノート PC で使用される場合、使用配置は水平位置で、その場合の最大熱輸送量 Q_{max} [W] はウィックの毛細管限界による最大熱輸送因子 $(QL)_{c,max}$ [W · m] と、全長 L 、加熱部長さ L_e 、放熱部長さ L_c による実効長さ L_{eff} [m] に関係します。

$$Q_{max} = (QL)_{c,max} / L_{eff} \dots\dots\dots (1)$$

$$L_{eff} = L - (L_e + L_c) / 2 \dots\dots\dots (2)$$

また、従来の MHP 構造では、潰し厚さが 1.5 mm 以下になった場合、蒸気流が狭められて熱性能が低下する問題がありました。そこで、薄型構造に適したウィック構造と内部の表面処理により性能を改善しました。図 6 には、外径 4, 5, 6 mm、全長が 200 mm の MHP を 2 mm から 1 mm まで潰した場合の熱性能を示します。4, 5, 6 mm の各 MHP を 1.2 mm 厚さに潰しても、各々、10, 13, 20 W の最大熱輸送量が確保できる事がわかりました。

2.2 超薄型ピエゾファン

一方、プロセッサの冷却には、ヒートパイプと合わせて小型ファンが必要ですが、これまでの DC ブラシレスファンでは厚さ 3 mm 程度が限界です。そこで当社は、

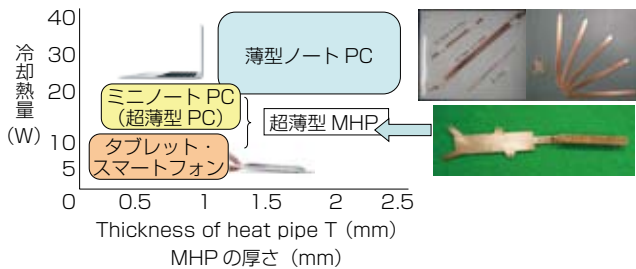


図5 超薄型ノート PC ・多機能端末機器の要求特性 (MHP の厚さと熱性能)

Fig. 5. Required performance (heat dissipation and thickness) for cooling Thinner Note PC and tablet.

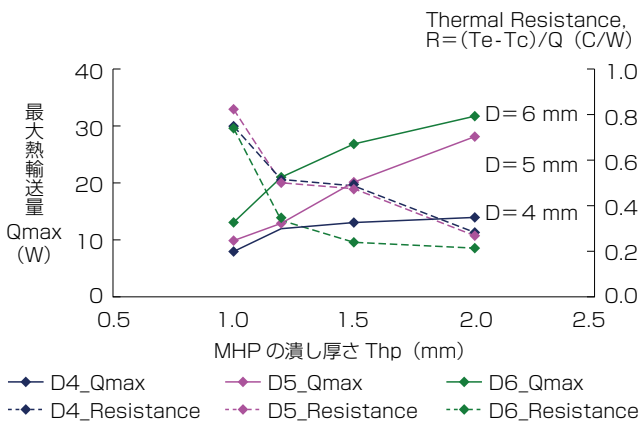


図6 各種サイズでの MHP の潰し厚さ Th_p と最大熱輸送量 Q_{max} の関係

Fig. 6. Relation between Thickness Th_p and maximum heat transfer rate Q_{max} in each size of MHP.

冷却モジュール用ファンの薄型化のために 1 mm 厚さの超薄型ピエゾファンを開発しました。図 7 に、超薄型対応のピエゾファンの構造と原理を示します。円形のピエゾ素子と矩形のブレード板を接着し、それを 2 枚組み合わせ合わせた構造で、1 ~ 1.5 mm 厚さの超薄型ファンが可能です。図 8 には、薄型ヒートパイプと組み合わせ

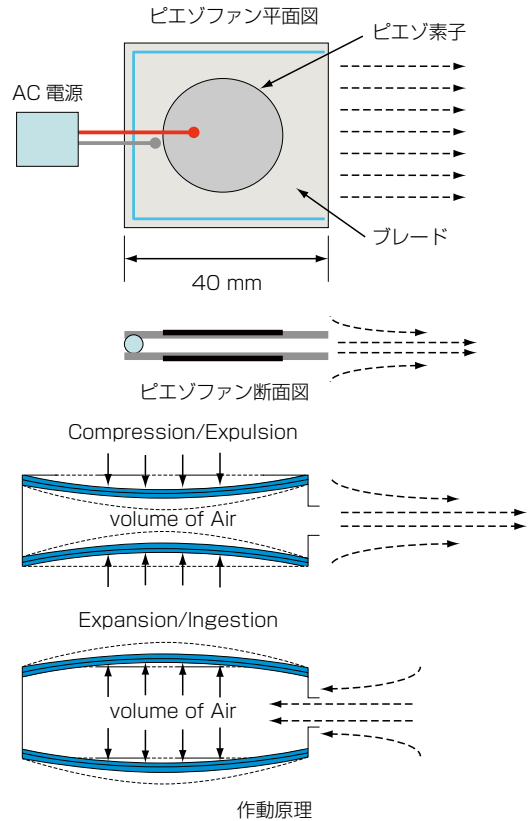


図7 ピエゾファンの構造と作動原理 Fig. 7. Structure and principle of Piezo fan.

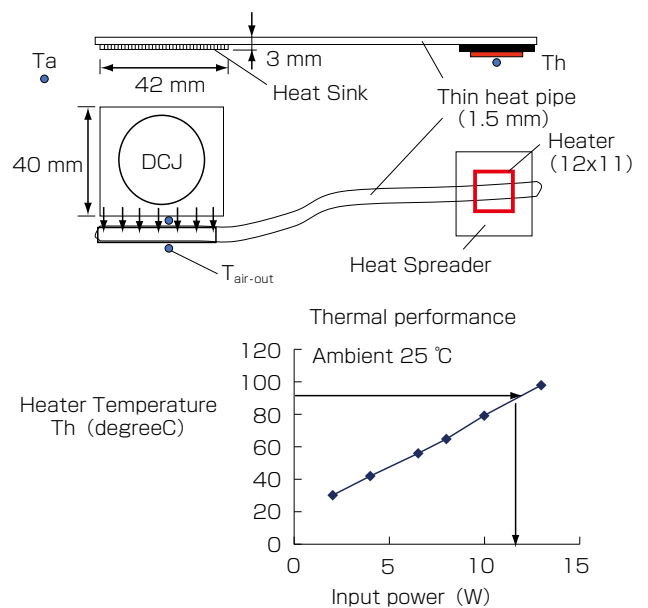


図8 薄型ヒートパイプと組み合わせた冷却の事例 Fig. 8. Example of cooling performance of Piezo fan combined with thin heat pipe.

た冷却の事例を示します。超薄型化のノートPCや多機能情報端末（タブレット等）の冷却への適用を狙って開発しています。

2. 3 電力変換機パワー半導体冷却用水冷モジュール

近年、風力発電や太陽光発電システムの普及により、これらの発電（直流）から交流電力への変換する電力変換機におけるパワー半導体の大容量化が必要です。図9に示すように、従来は間接冷却方式（空冷・水冷）でしたが、表面冷却（水冷）や直接冷却方式が採用されてきています。

図10に、パワー半導体（IGBT）冷却用に採用された水冷モジュールの事例を示します。片面側で約2.5 kW（熱流束で約20 W/cm²）の冷却が必要とされている大容量モジュールです。

3. データセンターの冷却でのサーマルテクノロジー^{3), 4), 5)}

3. 1 データセンターの冷却技術動向

CPUの発熱量増大に伴い、空冷方式では、空気の温度分布にホットスポットが発生し、その冷却のために設備の消費電力が増える傾向にありました。現在、負荷にあわせて効率的な設備配列、設備制御などが実施されて

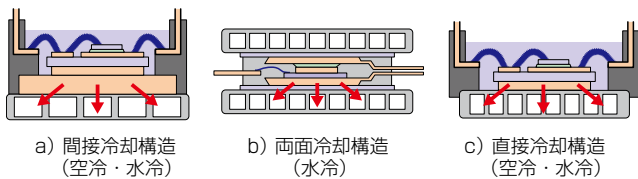


図9 IGBT モジュールの冷却構造比較

Fig. 9. Comparison of cooling method of IGBT module.

きています。データセンターの電力使用効率化の指標や方法は、「The Green Grid」などが推奨する指標PUE（Power Usage Effectiveness）で示されるようになってきました。

$$PUE = \text{データセンター全体の消費電力} / \text{IT機器の消費電力} \dots\dots\dots (3)$$

表1に、空冷方式と水冷方式での特徴とPUEの比較を示します。高密度実装、高性能化の要求には、空冷方式より水冷方式が効率的であることが判ります。

3. 2 スーパーコンピューター CPU冷却用コールドプレート

スーパーコンピューターにおいては、採用に当たりCPU計算速度が重要で、そのCPUの冷却には水冷方式が必須となっています。また冷却システムの効率（PUE）も求められています。



図10 電力変換機器パワー半導体冷却用コールドプレート

Fig. 10. Application of cold plate for cooling power module of power semiconductor.

表1 データセンターにおける冷却方式（空冷と水冷）の特徴
Table 1. Feature of cooling method (air and water cooling) of data center.

	空冷方式	水冷方式
長所	アッセンブルが容易 (設備配置、増設が容易) 冷却水配管が不要.	冷却性能が大きい. 高密度実装が可能. 省エネ性
欠点・課題	冷却モジュールのスペースが必要. ホットスポットが発生し、冷却性能に限界.	冷却水配管が必要. 漏水対策が必要.
冷却方法とそのP. U. E.	PUE = 1.8 - 2.0 	PUE = 1.4 - 1.8

そこで、高密度実装に伴う高性能冷却モジュールの要求（熱抵抗 $0.05 \text{ }^\circ\text{C}/\text{W}$ 以下、 1 MPa の耐圧強度）に対応するため、マイクロチャンネル伝熱面を用いたコールドプレート（CP）を開発しました。従来の汎用CPでは伝熱面に鍛造ピンフィンを用い、かつベース部品との接合はネジ止め（パッキンシール等）でした。本CPでは、伝熱フィン製造に特殊な切削方式を採用しました。そして、図 11 に示すように、ボードに搭載するユニットとして、8 個のCPとパイプ及びカプラヘッダーをロウ付けしたユニットを顧客とともに開発しました。また、従来品に比較して、このCPにおいては熱性能だけでなく、内部の水圧に対する強度・信頼性も必要とされまし

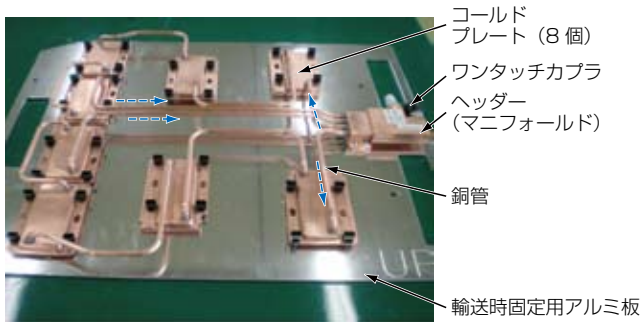


図 11 コールドプレート搭載冷却ユニット
Fig. 11. Cooling Unit with cold plates.

た。そのために、カバーとベースだけでなく、内部マイクロチャンネル上部とカバー内面をロウ付けにより接合させたCPを開発しました。

図 12 に、客先にてコールドプレートユニットを実装したラックの写真を示します。世界最速のスーパーコンピューターに搭載されたものです。1 ラックに 30 枚のボードが搭載され、各々のボードの端部に冷却水の配管が接続されています。客先の評価結果で、CPU 温度を従来の空冷方式に比べて格段に低く抑えることができ、CPU の消費電力も低減できたことが報告されています。

3.3 データセンターにおける省エネ技術の提案^{5),6)}

これまで、サーバ内のCPU冷却方式の省エネについて述べてきましたが、冷却熱源の省エネがもう一つの重要な課題です。その対策は方式により異なります。表 2 に、現状における日本と米国でのデータセンターの設置条件と冷却方式についての概要を示します。米国では大手メーカーでは郊外に大型の設備を設置し、水冷方式が採用されてきています。一方、日本では設置条件から汎用データセンターでは空冷方式が主流です。

当社は、水冷方式における冷却熱源の省エネ対策として、図 13 に示すようなヒートパイプを用いた自然冷熱利用冷却システムを開発・提案しています。本提案のシステムは、冬季の冷熱により、ヒートパイプで水を作



図 12 コールドプレート搭載スーパーコンピューター
Fig. 12. Rack of super computer equipped cold plate units.

表 2 日本と米国でのデータセンターの設置条件比較
Table 2. Installing condition comparison of data center between Japan and US.

	日本	米国
設置場所	都市近郊	郊外
冷却設備スペース	スペース小 (屋上)	スペース大
冷却方式	主に空冷、一部水冷	空冷、水冷 (大規模)
停電頻度	稀	多い
地震	多い	稀

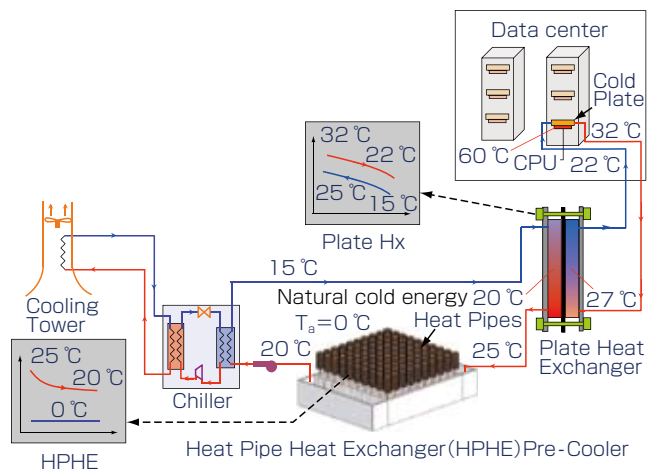


図 13 ヒートパイプを用いた自然冷熱利用データセンター冷却システム
Fig. 13. Cooling system of Data center utilizing natural cold energy with heat pipes.

り、その氷により冷熱蓄熱する方式で、これにより、冷水蓄熱槽の小型化が可能となります。もう一つは、冷凍機の前段で冷却水を予冷するシステムです。冷凍機の前段に、ヒートパイプ式ブリクレーラを設置し、自然冷熱による冷却することで、冷凍機の負荷を減らし、消費電力を低減させることができます。北米で大規模データセンターが設置される地域は、積算寒度も本システムの適用可能な条件を満たしています。本システムの特徴を生かした提案により、データセンターの消費電力増大を抑制することで、CO₂削減に貢献することができます。

また、現状ではIT機器を維持するためにサーバ室内の温度を25～35℃程度に管理する要求がありますが、今後、この温度が高温側に緩和されれば、自然冷熱を利用した冷却方式の効果・経済性がより発揮でき、ヒートパイプ式密閉式熱交換器が採用、普及され则认为します。

4. む す び

PC等、電子機器の薄型化・軽量化ニーズの変化に対応するため、超薄型のヒートパイプ・ファンモジュールの性能向上と薄型化の向上を進めています。また、高密度実装、高性能、及び冷却システムの省エネ化に対応して、パワー半導体や小型電子機器、スーパーコンピュータやデータセンターの冷却用に、マイクロチャンネル構造

を採用したコールドプレートを開発、量産納入することができました。今後も用途に応じた製品開発を行い、当社サーマルテクノロジーの適用拡大をはかりたいと考えております。

参 考 文 献

- 1) 望月正孝, 他“コンピュータ高性能プロセッサ冷却の現状と今後”フジクラ技報, 2007年4月p33-p43
- 2) Y. Kawahara, et al: “One Millimeter Heat Pipe and Application to Cooling Module for Electronic Devices,” フジクラテクニカルレビュー 40号 (2011)
- 3) M. Mochizuki, et al: “Advanced Micro-channel Vapor Chamber For Cooling High Power Processors,” InterPACK 07, 2007
- 4) Y. Horiuchi, et al: “Micro Channel Vapor Chamber for High Heat Spreading,” 10th Electronics Packaging Technology Conference, 2008
- 5) K. Mashiko, et al: “Application of Micro-channel Fin of Liquid Cooling System and Vapor Chamber,” InterPACK 09, 2009
- 6) M. Mochizuki, et al: “Endless Possibilities Use of Heat Pipe for Global Warming Reduction,” 10th International Heat Pipe Symposium, 2011 Nov.