

ノートパソコンの小型・薄型化を実現する放熱設計

Thermal Design Technology for Small and Slim Notebook PCs

小梁川 尚
KOYANAGAWA Takashi

井上 道信
INOUE Michinobu

柴崎 和也
SHIBASAKI Kazuya

ノートパソコン(PC)の優れた性能と携帯性の追求には、小さく薄い筐体(きょうたい)内に高速CPUをはじめとする部品を収め、これらの機能を最大限に引き出すことが必要である。発熱量の大きい部品を高密度に搭載することで生ずる熱的な問題の解決は、製品を実現するための重要課題であり、有効な放熱設計が開発期間短縮に欠かすことができない。

当社では、熱流体シミュレーションを用いて、開発初期から定量的な温度特性評価ができる放熱設計技術を確立し、スリムPC、Libretto、Pentium[®](注1)搭載機などの製品に適用した。

In order to realize PCs with high performance and mobility, it is necessary to package a high-speed CPU and other components in a small and slim case while providing the maximum functions possible. An important issue in achieving these objectives is solving the thermal problem, since components that generate high heat flux are packaged at high density and the temperature of the PC rises. Thermal design technology therefore plays a significant role in reducing the development cycle time.

We have investigated thermal and fluid flow by numerical simulation and developed a thermal design technology that can be used to estimate thermal properties at an early design stage. This technology has contributed to the development of slim notebook PCs including the Libretto series, as well as other high-performance PCs equipped with the Pentium[#] processor.

1 まえがき

近年、ノートPCは、高速・高性能化の急激な進捗(しんちよく)と同時に、製品サイズの小型・薄型化が進んでいる。加えて、先端技術を取り入れた製品を短い開発リードタイムで実現することが要求されている。

製品の性能向上は、LSIやデバイスの発熱量の増加をもたらすが、一方で小型・薄型化により、これらの発熱部品を高密度に実装することが必要となる。

搭載部品と筐体の温度上昇は、製品の安全性や信頼性の観点から一定の範囲内に抑えることが必須である。このため、部品から発生する熱を、適正な熱流路の構築により効率良く外部に逃がし、システム全体を適正な温度分布とする放熱設計技術が重要となっている。

ここでは、熱流体シミュレーションを用いたノートPCの放熱設計技術の概要と製品への適用事例について述べる。

2 放熱設計から見たノートPCの技術動向

2.1 CPUの消費電力推移

ノートPCに搭載されているIntel社のCPUのクロック周波数は、図1に示すように、ここ数年で急激に高速化している。

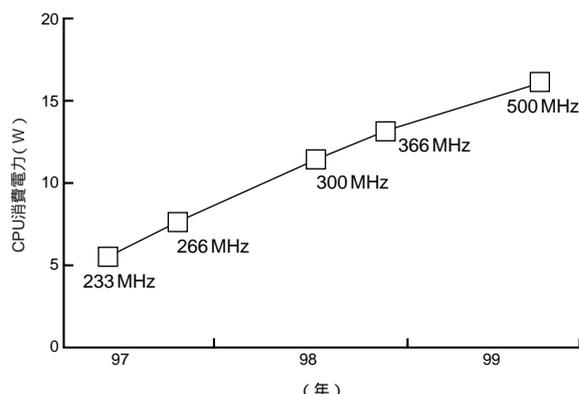


図1. CPU高速化の推移 最高速CPUの消費電力は、増加の一途をたどっている。

Trend in CPU power consumption

最新のモバイルPentium[®]3では、500 MHzに到達している。コア電圧の低減により省電力化がなされているが、1998年4月のモバイルPentium[®]2以降は10 Wを超えており、ファンによる強制対流での冷却が一般化している。

2.2 システム全体の発熱密度の増大

CPUの高速化に伴い、システムLSIなどの搭載部品の高性能化も進んでいる。更に、DVD ROMドライブやデジタルカメラなどの新たなユニット搭載による発熱も増えてきた。低消費電力LSI技術⁽¹⁾や省電力ソフトウェア技術⁽²⁾の開発により

(注1) Pentiumは、米国Intel Corporationの商標。

大幅な上昇は回避されているが、ノートPCのシステム全体で見た消費電力は、増加の一途をたどっている。

一方、PCの体積は、98年以降、薄型化による減少が進んでいる。最新機種 of 厚みは、A4のTECRA系機種が、37.4mm、スリム機が25.5mm、B5サブノートPCが、19.8mmとなっている。これは、97年時点に比較して40～60%の減少となり、同様の体積減少を意味する。

総消費電力の増加と体積減少により、これらの比から導き出される発熱密度は、著しく増大することになった。この結果、搭載部品や筐体の温度上昇を抑えるため、発生した熱を効率良く、適切な経路で外部に逃がす放熱設計の必要性が高まっている。

2.3 開発リードタイム短縮の要求

放熱設計は、高性能製品の実現に不可欠な技術であると同時に、試作回数を減らし、開発リードタイム短縮とコスト削減に大きく寄与できる技術である。最近の製品開発では、設計初期からシステムレベルで温度と流体の特性を定量予測できる熱流体シミュレーション技術を適用し、熱的な問題の解決を図っている。

3 熱流体シミュレーション技術

ノートPCは、筐体内に半導体部品を実装した基板やハードディスクドライブ(HDD)、PCカード、電池、キーボード、液晶ディスプレイなどが配置されるため、放熱構造の最適化には限定された空間を最大限に利用することが求められる。更に、最近の高消費電力CPU搭載に伴いファンを用いた強制対流に対応した複雑な流れの検討も必要となる。これらに対処するため熱流体シミュレーションとしては、CAD機能を備え、三次元空間での熱伝導と熱伝達を取り扱えるツールを使用することが必須となる。

3.1 解析モデルの概要

解析モデルの作成は、まず、三次元CADで入力した形状モデルをベースにメッシュを作成する。続いて、CPUをはじめとする固体部分では、計算結果から特性が判別できるように、最小0.5mm間隔でメッシュを分割し、空気すなわち流体メッシュは、固体部分とメッシュの接点が合致する分割とする。

設計の途中では、基板上の部品レイアウト変更や放熱構造の修正が多々発生する。変更ごとにモデルを作り直すことは、時間のロスを招くとともに、メッシュ分割の違いが計算結果の変動をもたらす。このため、変更が想定される部分の流体メッシュは、部分的なモデル修正に柔軟な対処ができるように、あらかじめ規則性を持たせて細分化することがポイントである。

また、システムレベル解析において、全体を一様な細かさとしたメッシュモデルを用いることは、計算時間が増大し、実用性に欠ける。HDDや電池などの大型部品と明らかに影響が小さいと判断できる部品については、熱的に等価な特性とな

る物性を用いて粗いメッシュ分割とする。これにより、総メッシュ数を解析精度の点で設計上の判断が問題なく行える範囲に調整している。一例として、Satellite 2650のメッシュモデルを図2に示す。

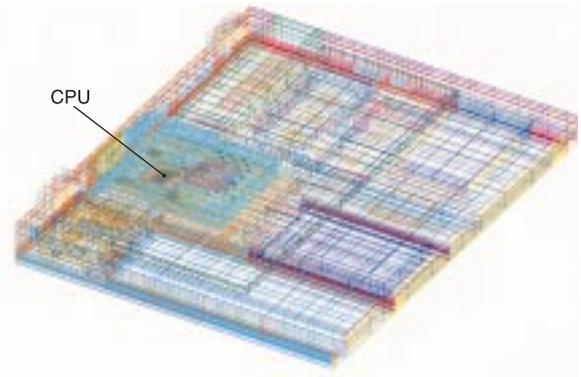


図2.メッシュモデルの例 実用的な計算時間とするため、CPU周辺だけに細かい分割のメッシュを適用している。

Mesh model used in thermal flow analysis

3.2 境界条件

発熱条件は、ハードウェアの最大動作モードを想定したうえで、消費電力を個々の部品に与えている。電源回路での損失による発熱も無視できないため、総消費電力から算出し定義している。流れのモデルは、ファンを用いた強制対流の場合は固定乱流粘性モデル、ファンレスの自然対流の場合は層流モデルを、それぞれ使用している。

3.3 解析精度

強制対流で計算したモデルの解析結果と実測結果の比較を図3に示す。

CPU、システムLSI、HDDなどの発熱部品と筐体の温度上昇値は、数度以内の誤差で良く一致しており、設計段階で十分な温度特性の予測ができる。

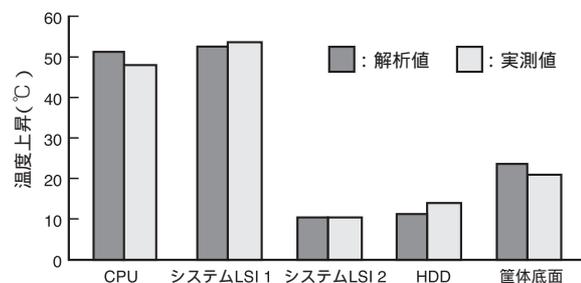


図3.解析値と実測値の比較 解析値と実測値は、数度以内の誤差で一致しており、設計上の判断に十分な精度が得られている。

Comparison of simulated and measured results

4 適用事例

以下に、熱流体シミュレーションを用いたノートPCの放熱設計の事例を示す。

4.1 B5 スリム PC への適用(自然対流)

98年6月に製品化したB5スリムPCの1号機DynaBook SS3010では、CPUに低消費電力のPentium®プロセッサを搭載したシステムに対し、自然対流での放熱設計を実施した。

ヒートパイプを用いた放熱構造の概要を図4に示す。CPUの発熱は、ヒートパイプからマグネシウム(Mg)筐体へ拡散する経路と、実装基板内で拡散する経路に適正な熱輸送比率で分配されるように調整した。また、筐体温度の局部上昇を抑えるため、ヒートパイプとMg筐体の接合位置と接続の熱抵抗値を、シミュレーションによる比較評価から最適化した。図5

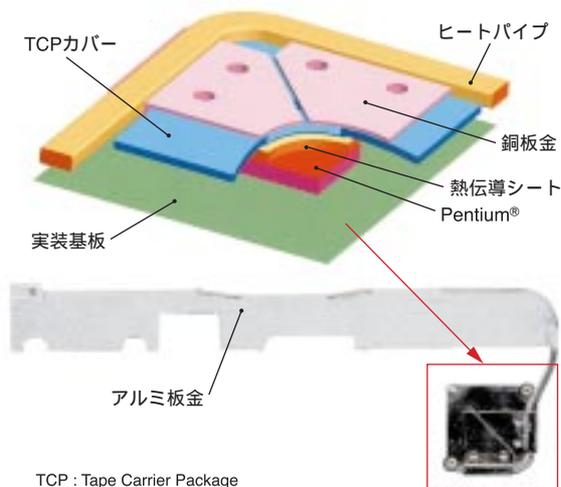


図4 DynaBook SS3010の放熱構造 熱伝導シートと銅板金により、CPUとヒートパイプを低熱抵抗接続している。
Heat pipe cooling structure of DynaBook SS3010

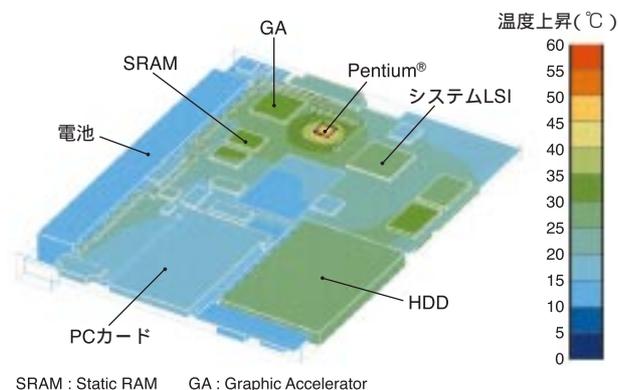


図5 温度分布 実装基板とユニット部品の温度分布を示す。CPUの発熱は、ヒートパイプにより拡散されている。
Simulated temperature distribution

に示す温度分布図から、右側に搭載されているCPUの熱が左側に拡散している状態が見てとれる。

4.2 ミニノート PC への適用(強制対流)

99年7月に製品化したLibretto ff1100では、高速CPU搭載やAV機能の付加により総消費電力が大幅に増加した。このため、Librettoシリーズでは初めて放熱にファンを採用している。放熱構造を厚み3mmの空間に収める必要から、このスペースでの熱拡散用の板金形状とファン送風経路を適正化した。

CPUの発熱はアルミ板金で拡散し、これにファン送風を直接吹き付ける方式で外部に逃がしている。図6に示すように、扁平(へんぺい)ファンの取付けを水平面から傾斜させることで、発熱部品が集中する実装基板の下面側に風を流れやすくした。また、筐体底面の温度上昇を抑えるため、板金表面での熱伝達量と筐体底面の受熱量のバランスが最適となる板金の組付け位置をシミュレーションから求めた。CPUが搭載された実装基板の下面側の通風特性を図7に示す。

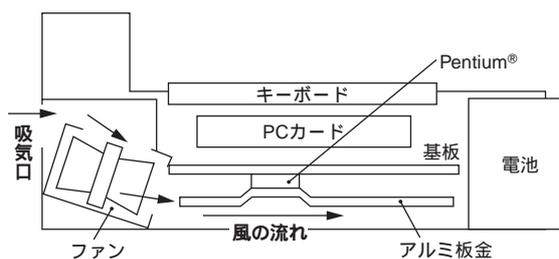


図6 Libretto ff1100の放熱構造 扁平ファンを傾斜させることで、CPU搭載部に外気を選択的に送風している。
Schematic view of cooling structure and airflow of Libretto ff1100

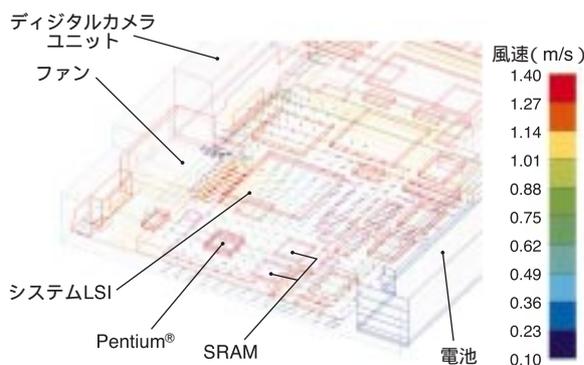


図7 実装基板下面側の通風特性 CPUとシステムLSI搭載部に外気を導入し、板金表面で熱交換させている。
Simulated velocity vectors and directions of packaged board

4.3 Pentium®3 機への適用(強制対流)

99年10月製品化のSatellite 4240では、消費電力が15W以上となる500MHz版Pentium®3をノートPCに初めて搭載し

た。東芝ホームテク(株)製の大型扁平ファンとヒートシンクを一体化したファンモジュールを採用し、高発熱CPUを選択的に冷却している。

このファンモジュールは、内壁に、くし形フィンを設けたアルミダイキャスト製のダクト構造で、直径60mmの扁平ファンを組み込んでいる。CPUとは、モジュール下面中央の突起部で接続し、高熱伝導率の樹脂シートを用いることで低熱抵抗化した。CPUからの受熱は、くし形フィン表面でファン送風により熱交換し、本体左側面の通気口から外部に導いている。

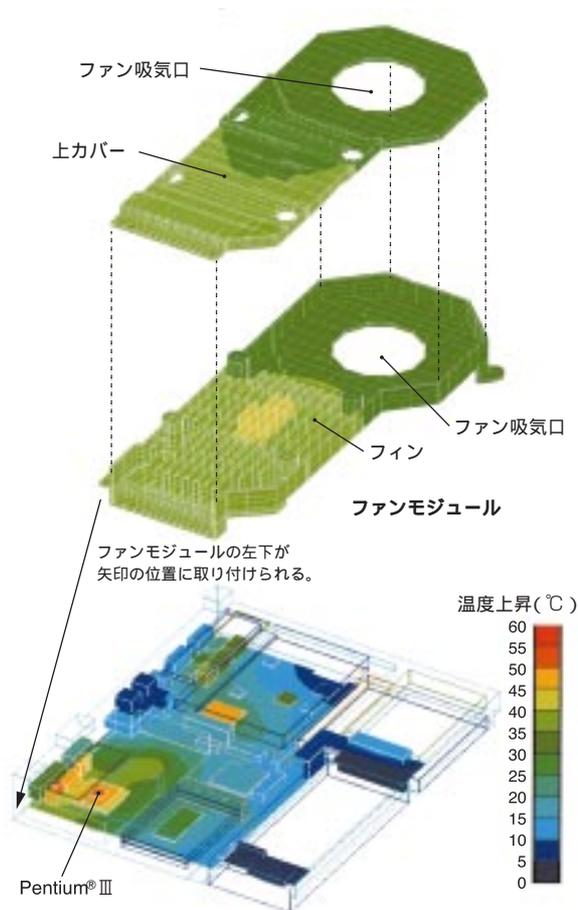


図8. ファンモジュールと実装基板の温度分布 ファンモジュールにより、高発熱CPUを効率良く冷却できる。
Simulated temperature distribution of distribution fan and packaged board

モジュールの冷却特性最適化には、高効率に熱交換できるフィン形状の実現が必要である。この観点から、ヒートシンクモデル化ツールを開発し、フィン形状が熱交換挙動に及ぼす効果をシミュレーションした。このツールでは、外形、フィン形状、ピッチを入力することで、自動的に詳細なメッシュ分割することが可能である。

作成した詳細モデルをシステムレベルの解析に適用し、フィン形状と熱輸送経路の比較検討を行い、ファンモジュールの冷却特性を適正化した。ファンモジュールと実装基板の温度分布を図8に示す。CPUの温度上昇は、約50℃に抑えられており、このファンモジュールが十分な冷却特性を持つことがわかる。

5 あとがき

ノートPCの製品開発に適用した、熱流体シミュレーションによる放熱設計技術の概要と製品適用事例を述べた。製品開発における熱的な問題の解決は、重要度を増す一方であり、今後も放熱設計技術の高度化を進めていく。

文 献

- (1) 岡本光正, 他 . 小型・省消費電力LSI技術 . 東芝レビュー . 53, 12, 1998, p.9 - 12 .
- (2) 粟津浩一, 他 . Windows®98/ACPI搭載スリムPCシリーズ . 東芝レビュー . 53, 12, 1998, p. 13 - 16 .



小梁川 尚 KOYANAGAWA Takashi

生産技術センター 実装技術研究センター研究主務。電子機器の放熱技術の研究・開発に従事。エレクトロニクス実装学会会員。

Microelectronics Packaging Research Center



井上 道信 INOUE Michinobu

生産技術センター 実装技術研究センター。電子機器の放熱技術の研究・開発に従事。

Microelectronics Packaging Research Center



柴崎 和也 SHIBASAKI Kazuya

デジタルメディア機器社 青梅工場 パソコンメカ技術部主務。ノートパソコンハードウェアの開発に従事。

Ome Operations