

解説 情報処理機器における実装技術

2. モバイルコンピュータにおける実装技術

Mounting Technologys for Mobile Computer by Kiyoshi MURASE (PERSONAL COMPUTER DESIGN DEPT., TOSHIBA COMPUTER ENGINEERING CORPORATION).

村 瀬 潔¹

¹ 東芝コンピュータエンジニアリング(株)パーソナルコンピュータ設計部

1. はじめに

昨今、パーソナルコンピュータ(PC)全体の売上げの伸びに対し、モバイルコンピュータの伸びが大きくなってきている。これには「日本の事務所・住宅の事情を考えた場合、デスクトップPCを置くだけのスペースを確保しづらい」という理由もあるが、それに加え「外出時にもち歩くことができる」、「中価格帯のデスクトップPCに匹敵する処理能力がある」、「デスクトップPCに比べ消費電力が少ない」といった利点も大きな要素と考えられる。

一方、モバイルコンピュータを作る側からすると、単に「デスクトップPCと同等な回路を限られた寸法の中に詰め込む」という見た目にかかる要素だけでなく、熱、高周波対策など一見ただけではわからないさまざまな要素・制約を考慮する必要がある。

1985年頃のモバイルコンピュータは「ラップトップコンピュータ」と呼ばれていた。この時代の技術を結集して作られた初期の製品は、A3サイズの用紙とほぼ同じ面積を専有し、10kg近くの質量を有していた。干支が一回りした現在、ラップトップコンピュータはその性能を格段に向上させた上で「ノートブックPC」と名を変え、通勤鞆やハンドバックの中に入れてもち運ぶことができる大きさ、質量にまで小型軽量化されている。

本稿ではこの「ノートブックPC」と呼ばれる機器にまとをしぼり、これらで使われている特徴的な実装、設計段階で配慮している事項を解説す

Windowsは米国Microsoft Corporationの、PentiumはIntel Corporationの、スーパーソルダージはスーパーソルダージテクノロジー(株)の、スーパージャフィットは昭和電工(株)の、Librettoは(株)東芝の商標または登録商標です。

る。(メーカーにより呼び方が変わることがあるが、本稿ではキーボードサイズを小さくした手のひらサイズのPCも含め「ノートブックPC」と表現する。)

2. 目で見てわかる実装技術

2.1 構成ユニットでの実装技術

ノートブックPCで使用されている各種ユニットは、当然のこととして本体の機能を維持しつつ、小型化することが要求される。ここでは代表的な構成ユニットの例をあげ、そこに盛り込まれた工夫を紹介する。

2.1.1 キーボード

キーボードは機器の操作性・使用感に対し最も大きな影響を与えるユニットである。ユーザが違和感なく使うためには19mmのキーピッチと3mm程度のストローク、適度な押し圧とクリック感が要求される。このうち薄型化を追求する上で最も大きな障害はストローク量である。最近のキーボードではフィルムの内部に接点を形成したメンブレンスイッチの採用、“X”形の支えを使ったパンタグラフ機構の採用により、薄型化を実現している。なお、とくに小型化が要求される機器では操作性よりもサイズを優先させ、キーピッチを13mm程度まで小さくしたものもある。図-1、図-2、図-3に新旧キーボードの比較を示す。

メンブレン方式のキーボードでは、たわみに対する強度を上げるため裏面に0.5mm厚程度のアルミ板が貼られている。このアルミ板はキーボードの補強以外に、機器自体のEMI対策(不要電波の輻射低減)用シールド板や熱対策用熱伝導部品としても機能させることがある。

2.1.2 LCDパネル

2年ほど前まではモノクロLCD(Liquid Cristal

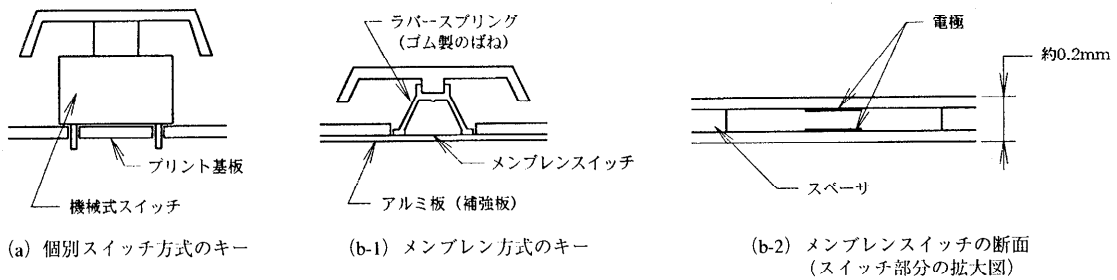


図-1 スイッチの方式

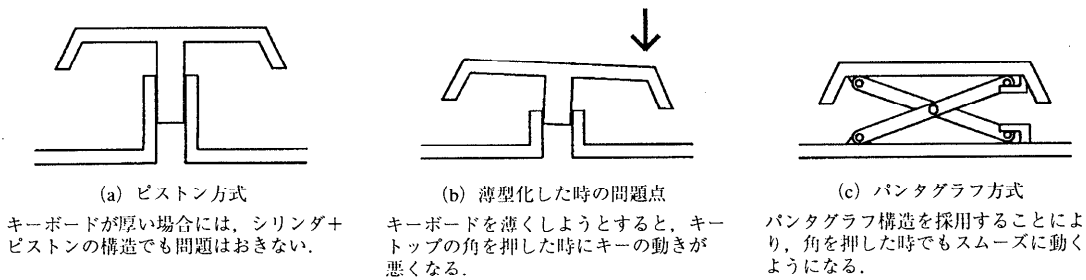
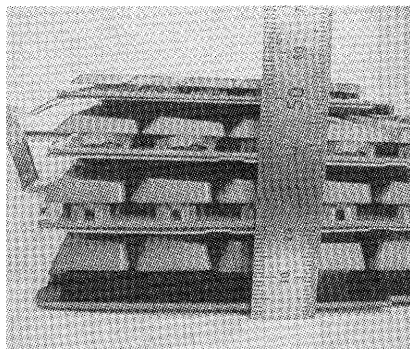


図-2 キートップの保持方法

キーボードが厚い場合には、シリンダ+ピストンの構造でも問題は起きない。

キーボードを薄くしようとすると、キートップの角を押した時にキーの動きが悪くなる。

パンタグラフ構造を採用することにより、角を押した時でもスムーズに動くようになる。



上から
 パンタグラフ+抵抗メンブレン (13mm ピッチ) (厚さ約 5mm)
 パンタグラフ+抵抗メンブレン (厚さ約 9mm)
 抵抗メンブレン (厚さ約 12mm)
 個別スイッチ+ダイオードマトリックス (厚さ約 17mm)

図-3 キーボードの変遷

Display) のモデルも市場に出ていたが、マイクロソフト社製 OS の Windows 環境などで動作させる使い方が一般的になった現在、モバイルコンピュータといえどもカラー表示ができなければ使い物にならなくなっている。カラー LCD の場合、縦方向に走る電極の本数はモノクロ LCD に対し 3 倍となりドライバ IC の実装方法が LCD パネルの外形に大きく影響する。

初期のパネルでは電極を狭ピッチで接続することができなかった。このため上下 2 方向からリー

ドを引き出し、かつガラスの外側に向かってドライバ IC が配置されていた(図-4, 図-5 参照)。パネルユニットの外形に対する表示エリアの面積は 6 割程度であった。これに対し現在のパネルでは狭いピッチでの接続で 1 方向から接続し、かつドライバ IC を TAB (Tape Automated Bonding) 実装しガラスの裏側に折り曲げて配置する構造を採用している。この結果現在のパネルユニットの表示エリアは、外側寸法とほとんど変わらない大きさ(面積で 9 割程度)になっている。

また、機器自体の性能アップにともなう画面解像度の増加、有効表示エリアの増加要求は、ガラスサイズ、質量を増加させる要因となっている。これに対してはガラス厚を薄くし(1.1mm → 0.7mm)、フレキシブルケーブル(フィルム状の配線ケーブル)接続部分の面積を狭くすることによりガラスの体積を減らし質量軽減をはかっている。

LCD バックライトに関しても複数の FL 管を裏面に配置する方式から始まり、現在は側面から 1 灯で照らす方式が多くなっている(図-6 参照)。

なお、画面解像度の増加、有効表示エリアの増加は次のデメリットも生み出している。(このデメリットを克服する工夫に関しては 3.1 節、3.5 節で説明する。)

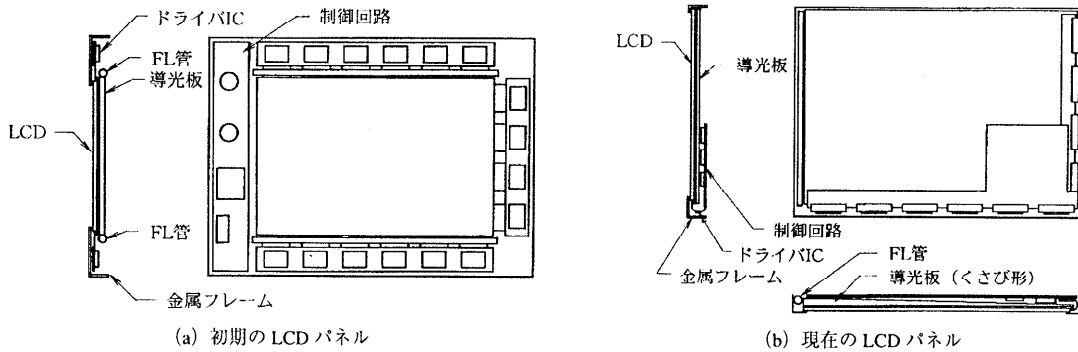
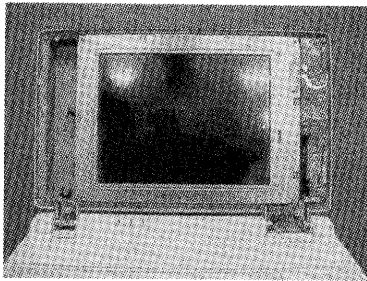
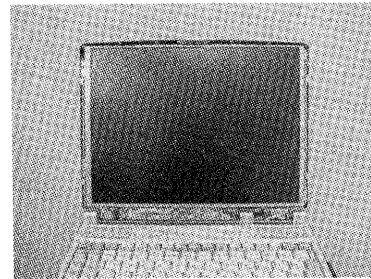


図-4 ドライバIC実装方法の新旧



(a) 1992年発売ラップトップPC T6400(東芝製)



(b) 1997年発売ノートブックPC Tecra740(東芝製)

パネルの外形寸法はどちらも 290 × 215mm 程度でほぼ同じ寸法であるが、表示部分のサイズは 10.4 インチから 13.3 インチになっている。

図-5 カラーLCD 額縁寸法の違い新旧

- 取り付け部分にかかるストレスによる表示の乱れ。
- LCD パネル周辺から放射される EMI ノイズの増加。

2.1.3 HDD

マシンの小型化、薄型化にともない、HDD にも小型、薄型のものが要求されている。デスクトップ PC では 3.5 インチタイプが一般的であるが、小型化を追求するノートブック PC では 2.5 インチタイプのものが使われている。さらに小さなものでは PCMCIA スロットの中に収まる 1.8 インチタイプのもも実用化されており、PC 間で大容量のデータを移動する際の媒体として使われることもある(図-7 参照)。

2.5 インチ HDD の厚さは 12.7mm 厚、または

表-1 2.5 インチ HDD の厚さと、記憶容量(1997年9月現在実用化されているものの最大記憶容量)

厚さ	ディスクの枚数	記憶容量
17mm 厚	4 ~ 5 枚	約 5GB
12.7mm 厚	2 ~ 3 枚	約 3GB
8.45mm 厚	1 枚	約 1GB

17mm 厚が主流である。手のひらサイズの PC などとくに薄型にする必要があるものでは 8.45mm 厚のものが組み込まれている(表-1 参照)。

HDD に要求される記憶容量は CPU 処理能力の向上、OS、アプリケーションの肥大化に対応するため増大の一途をたどっている。初期のノートブック PC に乗っていた OS やアプリケーションのサイズは 1 枚のフロッピーディスクに収まる程度であり、HDD の容量は 10MB もあれば十分であった。しかし現在、ソフトのサイズは増加し続け、200MB 程度の HDD 容量では OS を入れただけでパンクしてしまう状況となっている。

この要求に対し、HDD はその外形寸法を増やすことなく対応してきた。初期の 2.5 インチ 19mm 厚 HDD の容量は 10MB 程度であったが、現在の HDD では 17mm 厚で 5GB クラスのものが実用化されている。この進歩は磁気ヘッド、記録媒体、記録方式の改善によるものが大きい。しかし、記憶容量の大きな HDD をノートブック PC で使えるようにするためには高密度記録を支

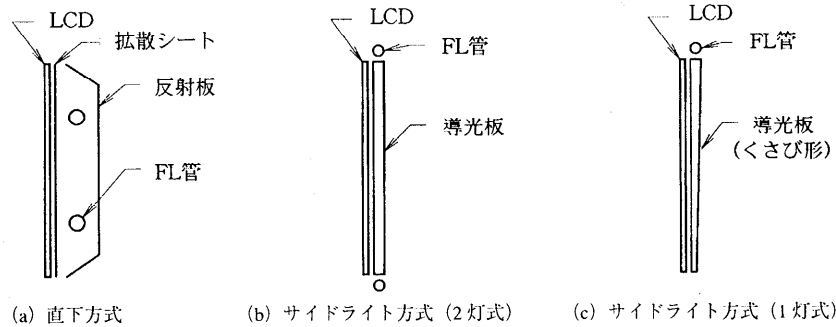
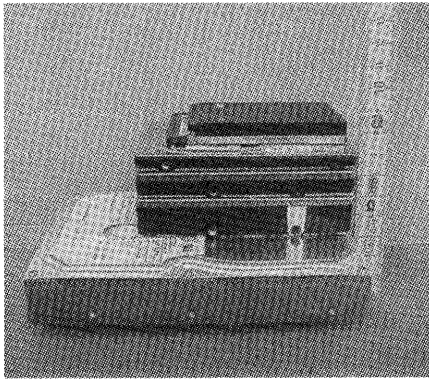


図-6 LCDのバックライト方式



上から
1.8 インチ (PCMCIA カードスロットタイプ)
2.5 インチ 3 種 (8.45mm, 12.7mm, 19mm 厚)
3.5 インチ

図-7 各種 HDD の外観

える別の技術の開発も不可欠であった。

HDD は一般に知られているとおり振動や衝撃に弱い装置である。とくに書き込みを行っている際に衝撃が加わると、本来書き込むべきトラック以外の場所にデータを上書きしてしまいデータの回復が不可能になってしまう。記録密度が上がり、トラックピッチが狭くなるにつれ、より問題は大きくなっていく(最新の HDD ではトラック間ピッチが $2 \mu\text{m}$ 程度になっている)。デスクトップ PC と異なり、ノートブック PC では HDD に衝撃が加わることは避けて通れない問題である。データを保護するための何らかの手段が必要となる。

初期の HDD ユニットではメカの部分を防振ゴムで浮かし、振動を吸収する構造を採用していた。これに対し、現在の HDD ユニットは、それ自体には防振ゴム使っておらず、ユニットに加えられ

た衝撃はそのまま内部の機構部分に伝わってしまう構造となっている。そのかわり HDD には新たなセンサが取り付けられ、これが衝撃を検知し、データの書き込み中であった場合には即座に書き込み動作を中断、振動が収まった後に再書き込みをすることにより隣接トラックへの誤書き込みを回避している。

2.2 基板構成部品

2.2.1 CPU

ノートブック PC に使用する CPU にはパッケージ寸法が小さく、かつ消費電力が少ないものが要求される。Intel 社の Pentium を採用したノートブック PC ではリードピッチ 0.25mm の TCP (Tape Carrier Package) が多く使われている。CPU チップ自体はリードパターンを形成したポリイミドテープの上に実装されている。TCP の厚さは、約 0.6mm 程度である。Pentium からの発熱量は 6W 以上に達するため、このむき出しに近い状態のチップから出た熱をいかに効率よく外部に逃がすかが構造設計の鍵となる(図-8、図-9、表-2 参照)。

表-2 部品の小型化にともない変化した技術

部品/要素	技術の変遷
半導体部品のリード形状	DIP → SMT
リードピッチ(貫通部品)	2.54mm → 1.27mm
リードピッチ(表面実装)	1.27mm → 0.8mm → 0.5mm
パッケージの薄型化	4 ~ 5mm → 2mm 以下
他ピン化への対応	QFP, PLCC → TAB, TCP, BGA
チップ抵抗・コンデンサ	3216, 2125, 1608, 1005

注：DIP (Dual Inline Package: 貫通部品)
SMT (Surface Mount Technology: 表面実装部品)
QFP (Quad Flat Package)
PLCC (Plastic Leaded Chip Carrier)
チップ部分は、2 桁 + 2 桁でサイズを表す。
例：1608 は $1.6 \times 0.8\text{mm}$.)

2.2.2 BGA

コアロジック(CPUとメインメモリ, および各種バスとの間を制御する回路)にはBGA(Ball Grid Array)が採用されている(図-10, 図-11参照). 従来から使われているQFP(Quad Flat Package)では実装に周囲4辺にしか接続端子を配置できなかったが, BGAを採用することにより格子状に端子を配置することができ, 多ピン化が可能となった. BGAはその物理的構造上, チップで発生した熱が基板に伝わりやすくなっており, 放熱設計の面でもQFPより有利である. ただしはんだづけの状態を直接みることができないため, 接続不良を最小限にとどめるようはんだづけの条件設定を細かく管理する必要がある. またチップ交換などの作業も難しくなっている.

2.2.3 コネクタ

機器内部のバス幅の増加, 入出力信号数の増加により, オプション機器との接続用コネクタ, または内部接続用コネクタのピン数が従来の機器に比べ増加している. 機器を小型化するためにはコネクタ占有面積を小さくすることも重要な要素となる. 初期のノートブックPCでは1.27~2mmピッチ, 1~2列のものが使われていたが現在のコネクタのピッチは0.5~1.27mm程度, 1~4

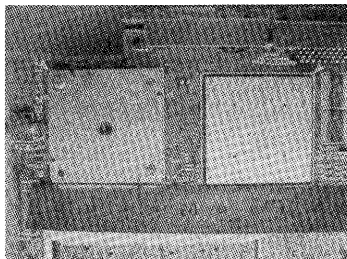
列のものが使われている. 対向する基板同士を接続する際に使用されるスタッキングコネクタの結合時の高さは, 従来は10mm以上必要であったが, 現在では4mm以下の高さにまで小型化されてきている.

RS-232Cなど, 接続する相手の寸法が定まっているコネクタでは「外見は同じでも基板側の実装面積が小さなもの」や, 「筐体についているコネクタは高密度の特殊なものだが, アダプタを介すことにより標準のコネクタに変換する」といった工夫をするものもある.

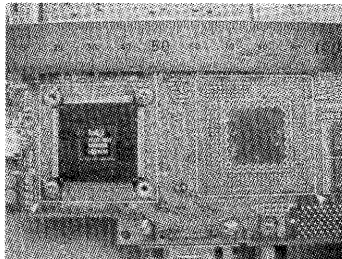
2.2.4 プリント基板

ノートブックPCでは, 装置を薄型にするため基板も薄いものを使用している. ただしあまり薄くなると「反り」に起因するトラブルが増加する. 東芝製ノートブックPCを例にとると, ビデオカセットサイズのLibrettoシリーズでは0.8mm厚6層の基板が採用されているが, それよりも大きい機種では1.2mm厚の基板が使われている.

パターンに関しては0.25mmピッチTCPの部分で最も微細な部分である. この部分に使用するはんだは接続信頼性を確保するため, スーパーソルダージェテクノロジー(株)の「スーパーソルダージェ」, 昭和電工(株)の「スーパージャフィット」



(a) 実装した状態(TCPには放熱用アルミ板が取り付けられている)



(b) 放熱用アルミ板とBGAを外した状態

図-8 TCP(Intel社)とBGAの実装(左: 320ピンTCP, 右: 480ピンBGA)

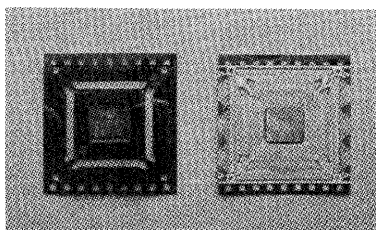


図-9 TCPパッケージ(基板に実装する前の状態)

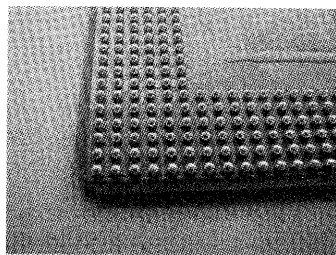
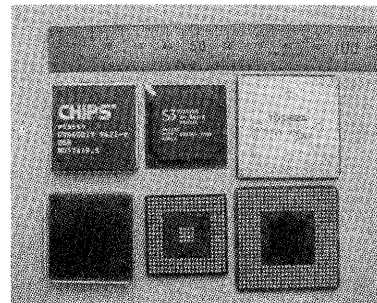


図-10 BGAパッケージの裏側(半球のはんだボールが1.27mmピッチで並んでいる)



左: 208ピンQFP(C&T社製, リードピッチ0.5mm)

中央: 256ピンBGA(S3社製, 中央部4×4の端子は放熱用)

右: 480ピンBGA(東芝製)

図-11 QFPとBGAパッケージの比較

といった微細加工専用のものが使用される。TCP 端子部分のはんだは基板上に部品が実装される前にプリコートされ、TCP 自体はほかの部品が取り付けられた後に別途専用の装置を使ってはんだづけされる。

2.3 筐体

2.3.1 材質

板金を四角く折り曲げたデスクトップ PC とは異なり、ノートブック PC の筐体には曲面部分が多い複雑な形状が要求される。またその使われ方を考えた場合、もち運び時や使用時に、デスクトップ PC とは比較にならないほど大きな振動や衝撃が加えられることが予想される。一方、EMI 対策を考慮した場合には機械的強度だけではなく、電波の輻射を抑えるシールドケースとしての働きも要求される。

これらの要求を一度に満たすため、多くのノートブック PC ではプラスチック成型品の内側に導電処理を施したものを採用している。サイズや形状により違いはあるが、プラスチック成型品の厚さは機器の薄型化とともに薄くなり 1.2mm 厚程度のもも実用化されている。また、単に薄くしただけでは強度が低下してしまうため、強度が要求される部分には曲面形状が積極的に取り入れられる(卵の殻が割れにくいと同じ原理)。ガスアシスト成形(プラスチック注入直後に高圧ガスを吹き込み、厚みのある部分を中空構造にする成形方法)も軽量化に一役かっている。このほか、ガラスやカーボンファイバー入りの強化プラスチックを使用して強度を上げたり、アルミやマグネシウム系の軽合金を筐体の一部に使用し、導電性、放熱性能、強度の向上をはかっているものもある。

2.3.2 ユニット類の固定方法

HDD や FDD などに極端な衝撃が加わることを防止する場合には、単なるゴムではなく衝撃吸収材シートが使われる。

バッテリーバックなど、工具を使わずに着脱できるユニットの固定には原則として 1 アクションだけでは外れないロック機構が採用される。これは、搬送時や予期せぬ衝撃が加わった時にユニットが外れないようにするための工夫でありモバイル機器特有のものである。

3. 一見しただけではわからない工夫

完成した現物を分解してみても、一見しただけではわからない工夫もある。

3.1 剛性

機器本体に振動などが加えられた場合、パネル開閉ヒンジ部分に発生したストレスが LCD パネル固定用のネジに伝えられる。最新の LCD パネルでは額縁部分が非常に狭くなっている(図-5 参照)ため、固定用ネジに加わったストレスが LCD のガラスに伝わり「表示むら」や「波打ち現象」が発生することがある。この現象はヒンジ部分が機械的に振動しやすい時ほど顕著となる。機器の構造によっては、この事象を目立たなくするため、「筐体にかかったストレスが LCD パネルに伝わらないよう“遊び”をもたせた支持構造にする」、「振動を減衰させるため、ヒンジ部分の剛性を合わせ込む」といった工夫が必要となる。

3.2 重量バランス

機器が軽くなると、「LCD パネルを後方に倒すとマシンがひっくり返ってしまう」、「手でもち上げた状態で使用すると安定が悪い。必要以上に重く感じる」といった問題が発生することがある。この問題を解決するため設計初期の段階で次のような配慮が必要となる。

- 電池を LCD ヒンジから遠い位置に配置する。
- 電源部、HDD などの重量物の均等配置。
- 手でもつ部分に重心位置を近づける。

3.3 熱対策

小さな筐体の中にデスクトップ PC に匹敵する回路を入れ込もうとした場合、内部の温度上昇をいかに小さくし、電子部品へのストレスを低減させるかが信頼性向上の鍵となる。また、内部で発生した熱をむやみに筐体に伝えたり強力なファンをつけたりすると、「手が触れる部分が熱くなる」、「音がうるさい」といった副作用が現れ、ユーザに不快感を与えてしまう。熱に関しては不確定要素が多く、机上の計算では大まかな予測をすることしかできない。実際には基本設計の段階で次のような配慮を行い、試作機を使って確認・改善を行う必要がある。

- BGA など、放熱特性の優れたパッケージの採用。
- キーボード補強用アルミ板、基板の GND 層(銅箔)など、熱伝導のよい部品の積極的な利用。

- 発熱部品の分散配置.
- ファンを利用した強制空冷, 小型ヒートパイプを利用した熱移動.
- 機器を扱う人が手を触れても不快感をもたないような温度・素材・形状.
- 機器内部の温度, 消費電力などに連動したファンの回転制御.

3.4 省電力設計

3.4.1 低消費電力モード

機器が動作状態(電源 ON の状態)であっても, 内部の素子・ユニットのすべてが同時に機能することはまずない. たいていの場合は機能していない素子, ユニットが存在し, ここで消費される電力が発熱量の増加, 電池動作時間低下の要因となっている. ノートブック PC では, 素子・ユニットの使用状態を監視し, 機能する必要のないものを(場合によってはミリ秒単位で)省電力モードに移行させる制御を行っている. もしこの制御アルゴリズムに不備があった場合には, 電池動作時間が短くなるだけでなく, 機器全体の性能が低下したり動作が不安定になったりという悪影響が発生する.

消費電力を抑えるためには一般的に次のような制御が行われる.

- 処理の量に応じたクロック周波数の動的制御, 一時的な停止.
- 半導体がもっているパワーオフ/パワーダウンモードの積極利用.
- 一定時間アクセスが行われなかった際の HDD モータ, および画面表示の停止.
- 使用されていないデバイスの電源オフ.

3.4.2 CPU の低電圧駆動

消費電力が多い素子の筆頭には CPU がある. Pentium が採用されているものでは, その最大消費電力は 6W を超える値となっている. ノートブック PC での放熱特性を考えた場合, TCP からの発熱量は限界に達している. (もしこれ以上電力を消費する場合には, 新しい別のパッケージを開発する必要がある.)

CPU の消費電力はクロック周波数の増加にとともに上昇するため, 単純に周波数を上げるとチップ温度が動作限界を超えてしまい正常な動作が期待できなくなる. 一方, CPU に期待される処理速度は年々増加しておりクロック周波数を高く

することは新機種を開発する上での必須条件となっている. このジレンマを打破するための工夫の 1 つに, 動作電圧を下げて消費電力を下げる方法が採用されている(例: クロック周波数 166MHz の Pentium では外部インタフェースを 3.3V としたまま, チップ内部を 2.5V 程度で動作させている.). 今後, コアの電圧がさらに低下していくことは必至であり, 低電圧, 大電流を作り出す電源回路の効率向上も低消費電力化の大きなポイントとなっている.

3.4.3 非動作時の消費電力

機器が非動作(見かけ上電源 OFF)の状態であっても, 計時用の回路や電池の充電量監視回路など, 一部の回路は動作している. 電灯線のない場所(空になった電池を充電する手段がない場所)で使われる可能性の高いモバイル機器では, 電池の自己放電も含め非動作状態での消費電力を最小限に止めることも重要な要素となる.

3.5 EMC (Electro Magnetic Compatibility : 不要電波の輻射, および外部からの電波による誤操作) 対策

電灯線・電話線の完備された室内で使用されるデスクトップ PC に対し, ノートブック PC は屋内外の任意の場所で, 携帯電話など電波を利用した通信機と接続して使用される使用形態がある. このような用途を考慮した場合, 機器自身から出る電波, 外部から照射される電波に対し単に公的規格で定められた基準を満足するだけでなく, より厳しい実力をもつことが必要となる.

体積, 質量がともに大きいデスクトップ PC であれば, 試作品が完成した後で電波測定を行い, 適宜シールド板などを追加することが可能である. しかし, 限られた空間を最大限に利用し, グラム単位で質量の低減をしているノートブック PC ではこの手法は使えない. 機器内部のユニットの配置を考える構造設計の段階から電波対策のポイントを考慮し, 「転ばぬ先の杖」的なシールド構造, 回路, 部品配置, パターンレイアウトを設計に盛り込んでおく必要がある. (今までの経験では, この「転ばぬ先の杖」を使わなくて済んだケースはごくまれである.)

筐体だけでなくユニットから発生する電波も大きな課題の 1 つである. とくに, LCD パネルは, 表示部を露出させる関係で表示画面をシールド板

で囲む対策は不可能に近く、ユニット自身での電波低減が必要不可欠となる。一方パネル製造技術の進歩にともない、表示解像度や動作周波数は増加し、電波は強くなる傾向にある。金属でできた額縁部分の面積が少なくなり(図-5 参照)、額縁部分の裏側に配置されていた制御基板が表示エリアの裏側に移動したことも電波レベルの上昇に輪をかけている。LCD に関してはノートブック PC メーカーからも LCD 内部の基板レイアウトに対する具体的な注文を出し、設計の段階から電波対策を盛り込み、パネル単体での電波レベルを下げておくことも重要である。

4. 今後の展望

今後のノートブック PC は、

(1) 互換性を確保しつつデスクトップ環境をそのまま小さくした機器。

(2) ある特定の範囲の用途・機能に特化して小型化を追求した機器。

の 2 つの道を進むものと考えられる。しかし、これらのコンピュータで使われる技術には、当然共通のものがあり、そう遠くない将来、以下のような技術が実用可能になると思われる。

<小型化、軽量化>

- LCD ガラスの薄型化、プラスチック化。

<低消費電力>

- CPU 素子の低電圧動作。(1.5V 程度)
- 反射型カラー LCD。
- 省電力制御特性の向上。

<共通化、互換性の向上>

- 各社共通統一インタフェース/データフォーマットの採用。

<新しい機能>

- TV 放送、ラジオ放送の隙間を利用した情報受信機能。
- 無線通信、無線 LAN による高速な双方向通信。
- ベーザー機能(ポケットベル機能)の内蔵。
- TV カメラなど、動画情報の取り込み、圧縮/伸長機能。

- 音声認識/音声出力(実使用に絶えるレベルのもの)。

5. おわりに

現在のノートブック PC がなぜ A4 サイズで収まっているか。当然、本稿に書いてある各種の技術が貢献しているのだが、実際にはもっとたくさんノウハウが随所にちりばめられている。

たとえば初期の 3.5" FDD ユニットの厚さは 25.4mm であったが、最近のものでは 11.3mm の薄さのものも実用化されている。中を見ると、「この部分がモータにあたります」といえる場所はあるのだが、そのモータを構成している部品は「基板」や「フレーム」の一部分となっている。つまり、「この部品がモータです」といえるような独立した部品は存在していないのである。

今後、PC 装置側の設計にも「2 つの部品を合わせて 3 つ以上の機能を生み出す」といった発想を積極的に取り入れていくことの必要性を改めて感じている。

謝辞 本稿を書くに際し、(株)東芝、パソコン設計部門の皆様にもいろいろご協力をいただきました。紙面を借りてお礼を申し上げます。

参 考 文 献

- 1) Libretto20 研究会: Libretto20FUNBOOK, 239p, アスキー出版局(1996)。
- 2) 笠原一輝, 平澤寿康, 石井英男, 渡辺健一: Libretto スーパーブック, 307p, ソフトバンク(株)(1996)。

(平成 9 年 9 月 29 日受付)



村瀬 潔

1951 年生。1975 年東京電機大学卒業、同年石川島播磨重工業に入社、ジェットエンジン電子制御装置の開発に従事、1987 年東芝コンピュータエンジニアリング(株)入社、ノートブック PC の開発に従事。
e-mail: kmurase@pc.ome.toshiba.co.jp