

# パソコンボード上に生ずる熱トラブルに関する研究

石川職業能力開発短期大学校 山崎 裕之・西田 均

Development of Heat Trouble on Personal Computer Board

Hiroyuki YAMAZAKI, Hitoshi NISHIDA

## 要約

パソコンボード上の温度を測定することによって、このデータをもとにパソコンケース内の空気の流れやボードの変形等の数値解析を行い、これより熱によって生ずるボード上のトラブルを知り、その回避法などを分析した。

## I 目的

現在、電子機器の軽量化や小型化をはかるため、限られた大きさのプリント配線基板(Print Circuit Board、以下PCB)上における電子部品の実装密度が増している。このため高集積化された多ピンICやLSIが多用されている。しかもパソコンにおいてはCPUのクロック周波数が目まぐるしく高速化されている。最近ではこの高速化に伴って、メモリ関係のICチップはCPUの最近傍に配する必要がある、シビアな設計が必要とされている。こういった集積度の高い小さな部品にわずかの電流が流れるだけで、電流値の2乗に比例して発生する熱が部品寿命を短くしたりするような悪影響も生じてくる。また、CPUにおいてはクロックが高くなるとそれだけ多くの電力が要求され、この電力の熱発生によりCPU動作は不安定になり、そのCPUおよびCPUまわりの配線にノイズが発生しやすくなる。極端な場合としては外観からは認められない部品の変形や破損をおよぼす結果となる<sup>(1)~(4)</sup>。そこで本研究では、私たちの身近にあるパソコン内部のPCBを取り上げた。このPCB上に実装する部品の温度測定を行い、この結果をもとにして境界条件として代入した有限要素法による数値計算を行い、パソコン内部全体の温度分布やこの熱によって発生する空気の流れ解析および熱によるPCBの変形や応力集中部等を解析する。また、以上の結果を考察することでパソコン内における熱トラブル等の対策を考

え、故障率の低下を図ることを本研究の目的とする。

## II 実験装置および方法

測定対象機種は、本校で日頃学生たちの教育指導に使用されているPC 9801UX2(日本電気<sup>(株)</sup>製)を用いる。このパソコンは従来からのソフトの上位互換を実現させるために2つのCPUを搭載しており、このことは発熱の面からみて一度に2つのCPUの温度観察ができることから大変都合がよい機種である。実験手順の概要を図1に示す。まず最初にパソコン内部の

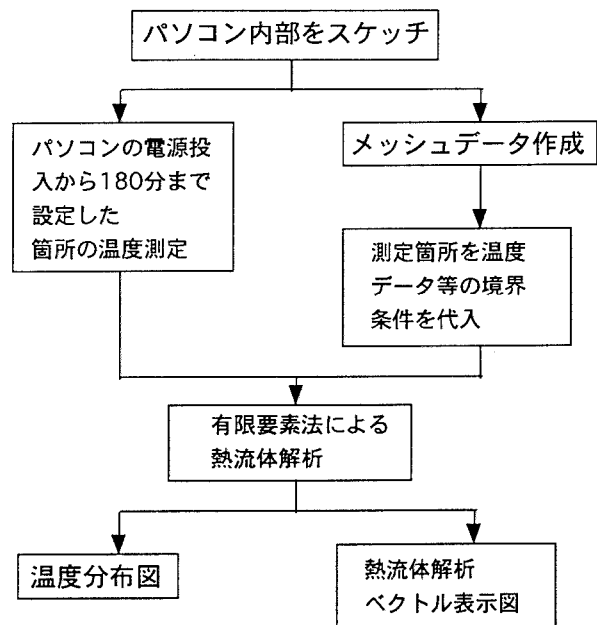


図1 本研究のフローチャート

PCB を中心としたスケッチを行う。このとき、CPU 周りや温度が高くなりそうな PCB 上の部品を想定しながら約30カ所の測定点を定める。温度測定を行うパソコンの内部およびおよその測定箇所を図2に示す。

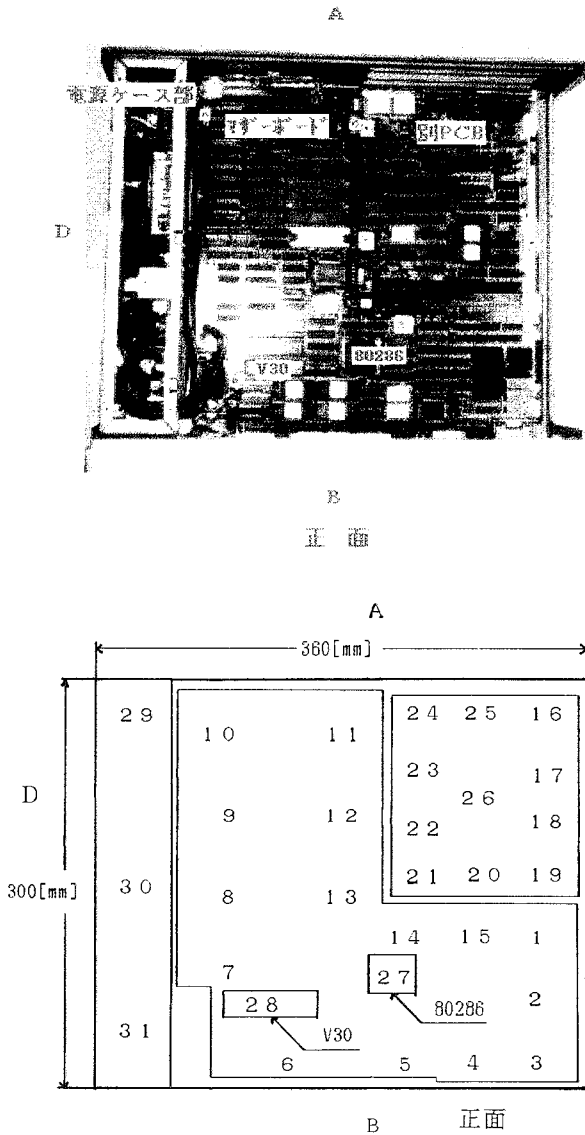


図2 温度測定を行うパソコンの内部と測定点

図はパソコンのケースを取り省いて上側からみたものであり、図の下側がパソコンの正面側である。これより、左縦長にパソコン内を大小二つに分けるかのような電源ケース部分がある。そして、右にはCPUを二つおせたL字型のマザーボードとその下にもう一つボードがある。中央よりやや下側の左にV30のCPU、右に80286のCPUが配されている。この80286の右側に覆いかぶさるようにしてフロッピーディスクドライブが設置されている。このスケッチと測定点をもとに数値解析を行うための図3の流体解析用メッシュデータと

図4の基板の変形解析用のメッシュデータを作成する。温度測定に用いる機器は取り扱いが簡単で非接触であり、しかもすばやく温度が測れる計測器として放

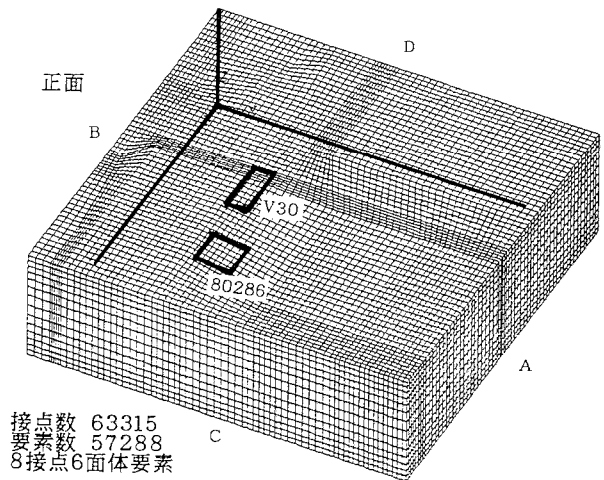


図3 PC-9801UX2のパソコン内部メッシュデータ (Dより左の電源ケース部は除く)

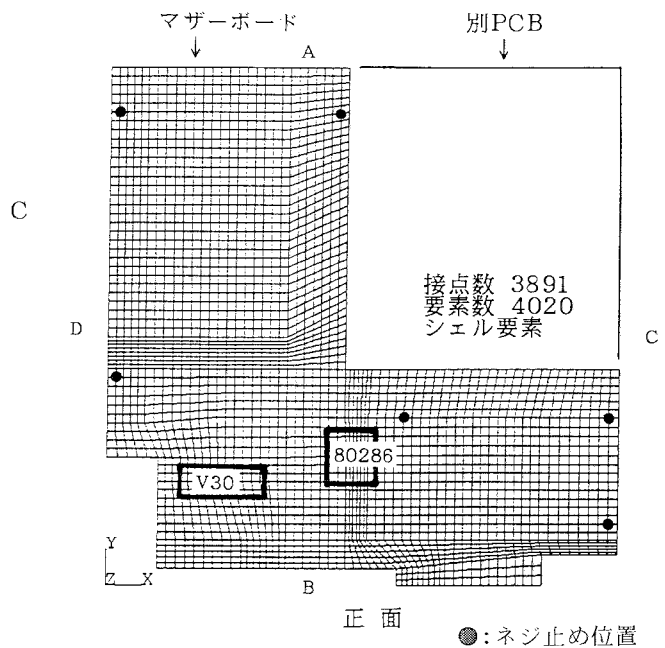


図4 PC-9801UX2のPCBメッシュデータ

射式温度センサを用いる。最初に室温やパソコン外壁ケースの温度を測定し、その後パソコンの電源を入れるまえに通りの上述した測定点において温度測定を行う。これから温度上昇の激しいと思われる最初から30分までは時間間隔を小さくして最終的に定常状態となる180分まで測定を行う。この測定データのうち動作

速度を10 MHzとしたCPUの80286とV30については、実際に計算を行っている場合とそうでない場合との温度データをグラフ化し、以下の式(1)により整理する。

$$\text{CPU温度} = \text{室内温度} + Q \cdot R (1 - \exp(-\tau / (R \cdot C))) \quad (1)$$

QとCはCPUの発熱量と熱容量である。(R・C)は熱時定数であり、時間 $\tau$ に対する温度上昇変化を示す一つの目安として用いられる。QとCが不明でもグラフの立ち上がり特性より求めることができる。次に、熱的に平衡状態に達したときの温度データを用いて、パソコンケース内部の熱によって発生する流体の解析およびPCBの変形や応力解析を有限要素法により行う。こういった熱による自然対流の解析では、最初CPU等の発熱によって熱せられた気体は下方向の基板側から上方向のケース側へと流れ、その後ケース内を流れるにしたがって十分に冷やされるとCPU表面付近の空いたところへ流れ込むような流れ解析結果を想像できる。よって、ここで扱う流体はそういった流体粒子の重力分や浮力分を加味した3次元Bousinesq流体として取り扱う必要がある。また応力変形解析では、PCB上に作用する力を平面応力状態としてMises応力を想定して解析する。このときに必要となるPCBの物性値を表1に示す。以上これらの解析の

表1 PCBの物性値

材 料	ガラス布基エポキシ樹脂銅張積層板材
引張強さ	100 MPa
圧縮強さ	25 MPa
ヤング率	21.28 GPa
密度	1850 kg/m <sup>3</sup>
ポアソン比	0.3
比熱	1.1 kJ/kg・K
熱伝導率	0.30 W/m・K
熱拡散率	0.14 mm <sup>2</sup> /s
線膨張率	10×10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>

出力において、流れ解析では流れのベクトル表示図を得て、変形応力解析では応力分布図やその変形後の状態図等を得る。

### III 実験および解析結果

#### 1 パソコン内部のPCB上の温度測定結果

PCB全体について測定した結果を後に提示するものとし、ここでは特に注目すべきCPUにおける電源投入時からの温度上昇結果を図5に示す。図よりパソ

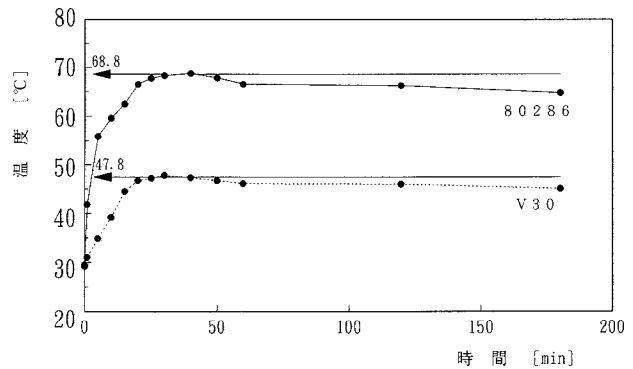


図5 パソコンの電源投入時からのCPUの温度変化 (計算処理は実行していない)

コン電源投入時から10分間はどちらのCPUも急激に温度が上昇している様子を読み取ることができる。同図は計算を行っていないときの結果であるが、図より熱時定数(R・C)が80286で7.5分、V30で12.7分であり、約30分でピークを示してこれ以降は80286で67°C、V30で46°Cに落ち着いていることが読み取れる。ただこのパソコンは、スイッチにより使用するCPUを切り替えて使用できるように設計されているわけであるが、どちらのCPUを選択しても各CPUの温度上昇変化が図5に同じであったことから、使用されていないCPUにも常に無駄な電源供給がなされていることが伺われる。このことは、消費電力の無駄を省くためにもぜひ改善しなければならない点である。最近のパソコンにおいては、使用していないときは周辺機器も含めて最低限の電源供給しかなされないように設計されたパソコンや、バッテリー駆動を前提としたノート型パソコンではバッテリーの消費自体もパソコンで管理できるように改善されたものが登場してきてはいる状況である。またパソコンで簡単な繰り返し計算を行った場合とそうでない場合との80286CPUの温度上昇変化を図6に示す。図より、予想どおり計算を行った場合

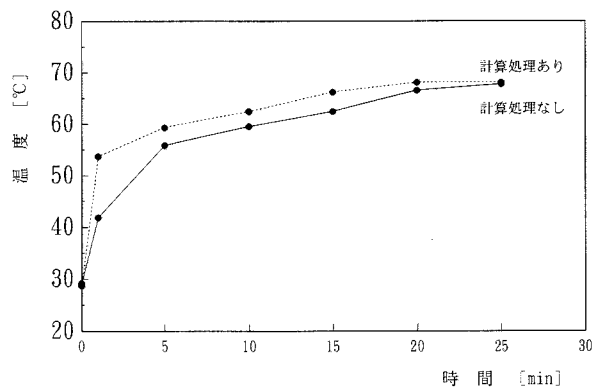


図6 パソコンの計算実行有無による80286CPUの温度変化

の方が初期の温度上昇は激しくなるわけであるが、最終的には計算実行の有無にかかわらず同じ温度に落ち着くことがわかる。これは計算実行前やキー入力受付前であったとしても、どのような状況下においても常にCPU内部に微小電流が流れているためであると考えられる。

また最近では、CPU 自信を交換してパソコン処理の高速化を図ったCPU アクセラレータなるものが登場しており<sup>(5)</sup>、本研究でもこれを使用したの以下に報告する。CPUの交換自体は、きょう体のカバーを外したりすることを含めて10分位で終了する。また交換したCPUはキャッシュメモリを内蔵している80486の互換CPUを搭載した小さなボードであり、さらなる高速化のためにこのボード内部に33 MHzの独自のクロック信号発生機能をもつものである。これよりこのCPU アクセラレータの検証を行うと、なんとパソコンの処理速度はCPU 自体内部にキャッシュメモリを持っていることもあり、従来の2.5倍位に高速化されたことが体感できる。しかしながら、電源投入後5分から10分後にはキー入力を受け付けなくなるフリーズが必ず起こってしまう。これは性能以上の能力を引き出そうとパソコン側に求めても、CPU 周辺の交換していないICチップやメモリ等がこの動作速度に追従できなくなるためにこういった現象となると思われる。現にフリーズを起こしたときのCPUの表面温度は実に72℃を示していた。フリーズが起こった場合は、もうリセットスイッチを押すしかこの場を抜け出す手ではない。このように、従来のパソコン機を手取り早く、しかも安く高速化を図る試みは興味が注がれる点ではあるが、使用中にキー入力を受け付けなくなる事態は、それまでパソコンでなされていた作業を一方的に拒否されることになるばかりか、パソコンを無理して使用していることがボード上の電子部品等を熱くし、それゆえそれらの寿命を縮めている試みともいえるであろう。しかしこの解決策として、クリスタルを交換してクロック周波数を25 MHzにして使用した場合やクロック周波数を従来の2倍にして使用するようなCPU アクセラレータではこういった不都合は生じなかったことから、フリーズが起こる限界での使用よりも余裕をみた低い動作周波数で使用することが、結局のところパソコン上での快適な作業環境を構築できるものと考えられる。また安上がりな方法として、CPU表面にヒートシンクを取り付けることでCPUの不安定動作を解決することができる。このときヒートシンクの取り付けにおいて熱伝達率をよくする接着

剤を使用すべきであるが、ここではまず手軽に市販の両面テープで接着したところ、あえて接着性能は問題とならなかった。このことは、熱伝達率による接着を論ずるよりもまずヒートシンクがあるかないかがかなり大きな要因となることを意味する。なぜならば、熱はCPU表面より上方向に逃げようとするわけで、CPUの上面に取り付けられているヒートシンクには自ずと熱が伝わってくるからである。また熱を逃がすには、まず熱を発散する表面積が最大の要因となるからである。

以上ではCPUに注目して考察してきたが、ここで熱的に平衡状態に達したと思われる電源投入時から180分後のPCB全体の温度分布図を図7に示す。図よ

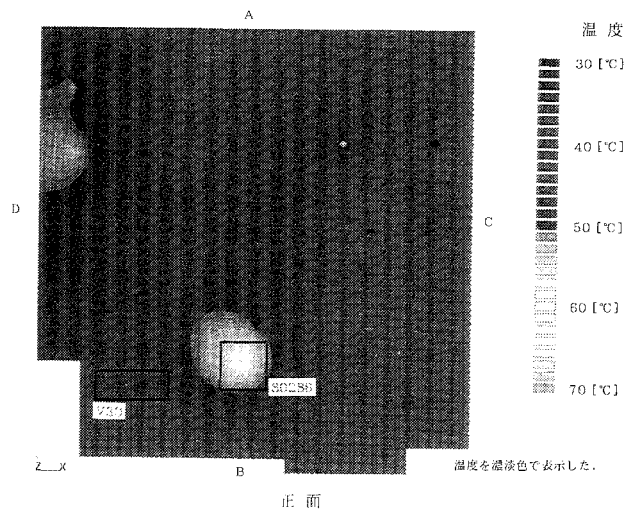


図7 PC-9801UX2のPCB上の温度分布測定結果 (電源投入から180分後)

りPCB全体的にはほぼ40℃付近であるが、80286 CPU付近では60℃以上の高い温度になっていることを観察することができる。これより、PCB上の熱的に弱い電子部品が多い中で、特にコンデンサやトランジスタを実装する必要があるとすれば、温度分布図からみてそれらはCPUの位置から最低30 mmは離して設置すべきであるといえる。

## 2 PCB上の熱によって発生する自然対流の解析

PCB表面の温度分布が定常状態に達したと思われる電源投入時から180分後のPCB上の熱によって発生するパソコン内部の自然対流の流れ解析結果を図8に示す。ここでの流れの解析結果は3次的に流線を

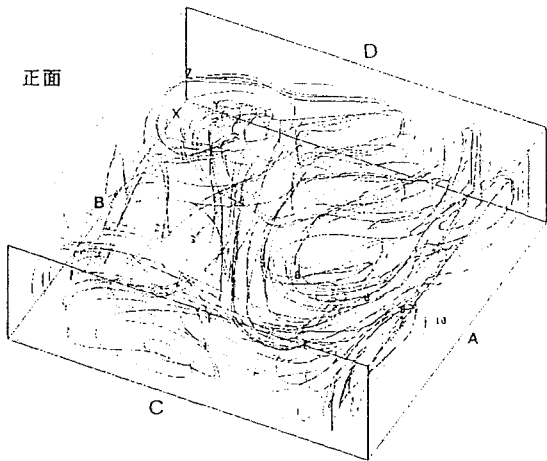


図8 PCB上の熱によって発生するパソコン内部の流れ解析  
(電源投入から180分後)

表示したものであり、非常に観察しづらいことから、特に注目したいPCBの表面近くを取り出して図9に

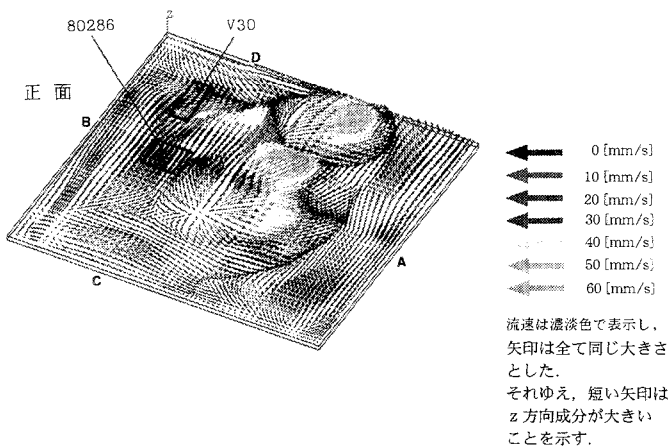


図9 PC-9801UX2内部の熱により発生するPCB上部付近の流れ解析結果  
(電源投入から180分後)

示す。図では流速を濃淡色によって表現して流れ方向を示す矢印を全て同じ大きさで表した。これより短い矢印はPCBの上方向となるz方向の成分が大きいことを示す。図より60 mm/s程度の二つの大きな流れ域を観察することができるが、決してCPU付近ではないことに注目したい。ではこれよりCPUに着目して考察すると、80286とV30のCPU上部の矢印の大きさが小さいことから、CPUに熱せられた流体は浮力により上方向へと移動し、その空いた部分を埋めるかのようにケース縁方向からCPUに向かって速度を増して流体が移動してきている様子が確認される。これより80286上を通過する流体の速度は30~40 mm/s程度で

あり、自然対流による冷却効果を対流熱伝達率から吟味すると、対流がCPU上を通過することで常に80286のCPU表面温度は68℃以下を維持することが確認できる。よってこれ以上の高速な動作をさせる場合には強制的な冷却の必要性があると考えられる。上述してきたことも含めれば、一応の目安としてCPUは70℃を越えると危険信号であり、このまま使用するのであれば何らかの冷却法を施す必要があると思っていよい。

### 3 PCBの熱応力による変形解析

解析においては測定した各電子部品の測定温度をそのままPCBのその箇所の温度と仮定して計算を行った。パソコンに電源投入から180分後の、L字型マザーボードPCBの応力分布解析結果を図10に示す。PCB

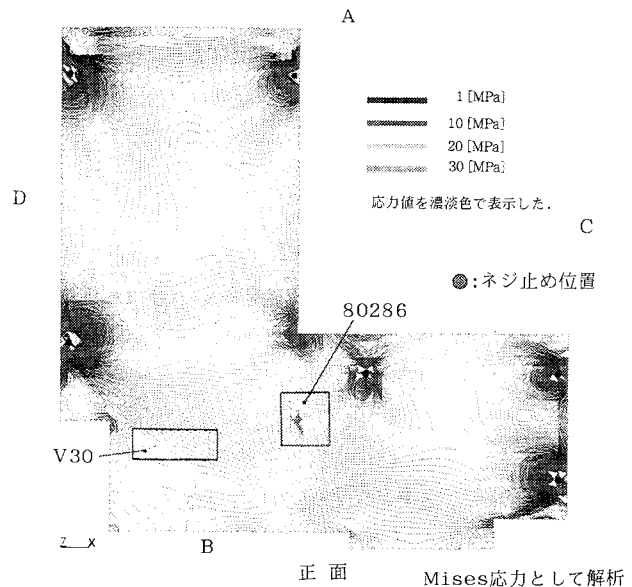


図10 PCBの応力解析結果  
(電源投入から180分後)

全体的には10 MPa以下の応力が作用しており、図より応力集中が起こっている箇所は、拘束されている6ヶ所のネジ止め位置およびL字の内角部の位置になる。このような箇所では、パソコンに電源を入れる作業が、PCBに熱を加えてさらに局部的に同じ箇所に圧縮力を与えていることになる。しかも、この付近の配線による信号はMHz単位の高速度処理信号として動作しており、信号配線も細いことから、ノイズが誘導しやすくなるものと考えられる。また、この拘束位置は長年にわたっての残留応力が蓄積される箇所でもある。これと同時に、電源投入から180分後の、熱応力によるPCBの変形解析結果を過大視して図11に示す。

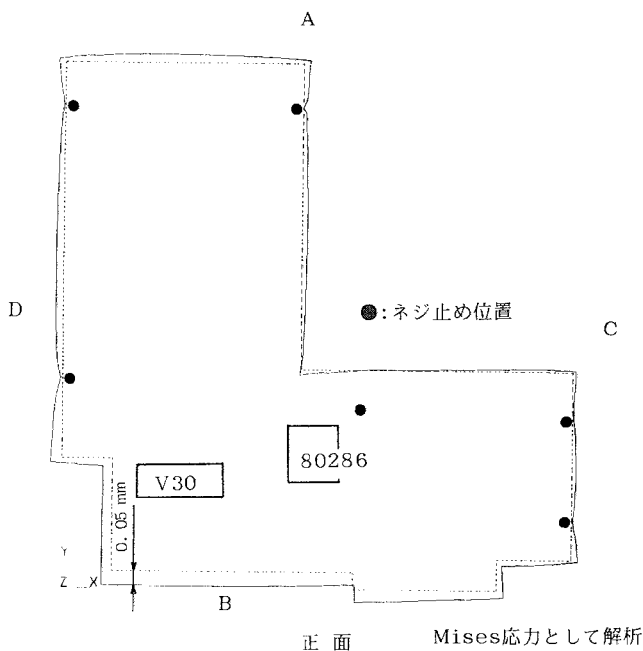


図11 PCBの変形解析結果  
(破線：変形前、実線：変形後)  
(電源投入から180分後)

図より最大変位が生じている箇所はL字の外角部の位置で、0.05 mmである。この変位量はノギスの精度程度かもしれないが、学生の実習を含めて我々が毎日のようにパソコンの電源の入切を繰り返していることは、パソコンを使用する度にPCBのある局部の同じ箇所を毎日0.05 mm引っ張ったり、もとにもどしたりを繰り返している作業に他ならない。よって以上のことから、応力集中箇所を減らすためには、ネジ止め拘束箇所を最小限にする工夫、L字構造は極力使用しない工夫および最大ひずみが発生するような箇所にはPCB上の配線をできるだけ太くするような工夫が、今後高速化の一途をたどるパソコンにとって今こそ必要ではないかと思われる。

#### IV まとめ

本研究ではパソコン内のPCBに注目して、CPU等の熱発生によるPCBの変形やパソコンケース内の流れの解析を行って、以下の結論を得た。

- ・熱的に弱い電子部品は熱発生の大きなCPU等の発熱部品から最低30 mmは避けることが望ましい。また、フィンを取り付けるだけで、予想以上にCPUの安定動作を維持することが可能となる。

- ・パソコン内の流れ解析を行うことで強制冷却の必要性の検討ができ、もし必要ならば自然対流の流れを活かした効率の良いファン位置を見つけることができ

る。

- ・PCBの応力集中箇所はネジ止め位置の他には、L字構造の場合内角部で発生することがわかり、この付近では高い周波数信号をのせる配線を極力さけることが望まれる。

- ・PCBの最大変位発生箇所はL字構造の場合外角部で発生することがわかり、ここでも高い周波数信号をのせる配線を極力さけること、また周波数に関係なく、この付近の配線は太くするように心がけることが望まれる。

なお本研究報告は、実践教育の機械系ジャーナルで報告したもの<sup>(6)</sup>に変形応力解析結果を加筆したものである。最後に、流れ解析およびPCBの応力解析において多大なるご協力を頂いたサイバネットシステム株式会社に感謝の意を表す。またこの研究は、平成5年度の職業能力開発短期大学校指定研究を受けて行ったものであり、関係各位に感謝申し上げます。

#### 参考文献

- (1) 藤井雅雄著：「電気・電子機器冷却のポイント」、日刊工業新聞社、1990。
- (2) 山村 昌監修：「電気・電子部品の寿命診断」、日本規格協会、1989。
- (3) DAVE S. STEINBERG 著：「最新電子装置の冷却技術実用マニュアル」、ジャテック出版、1989。
- (4) 二川 清、山 悟、吉田 徹共著：「デバイス・部品の故障解析」、日科技連、1992。
- (5) 村井紀之著：「CPU倍速化ハンドブック」、アスキー出版局、1993。
- (6) 山崎裕之、西田 均：パソコンボード上に生ずる熱流体の解析、実践教育機械系ジャーナルリサーチノート、Vol. 9、No. 1、1994。