

パラメータ設計を用いた CPU 放熱の研究

日大生産工(院) ○ 林 施宇
日大生産工 矢野耕也

1.はじめに

近年科学技術の進歩により、パーソナル用の高性能コンピュータが開発されてきた。現在の CPU は高密度に集積された半導体であり、電流を流せば CPU の周波数は増加して発熱するが、十分な冷却を行わない場合、高温になるといくつかの問題が起こる。例えば使い込んでいると負荷をかけすぎて CPU の処理が追いつかなくなり、熱暴走するという状況である。

熱暴走によってコンピュータがとまってしまったりは、動作の途中、停止処理を行っていない状態で突然動きが固まってしまうため、ハードディスクのデータに異常が出ると CPU のチップが破壊されるなどの危険性がある。したがって、CPU の過熱問題を解決するための措置が、非常に重要となってくる。

本研究では、CPU の過熱問題に焦点を当て、CPU の冷却効率を上げるための条件改善の視点から、品質工学の方法による過熱の改善についての検討を行った。

2.研究目的

PC のパーツの組み合わせに対して、パラメーター設計を使用して、CPU の冷却効率をよくするための改善条件を検討することを目的とする。

3. CPU の発熱の原因

CPU 発熱の主な原因は3つあると考えられている。一点目はリーク電流である。リーク電流とは電子回路上で、本来流れるはずがない場所で電流が流れ出してしまう現象である。リーク電流が増えると、無駄なところで電力を使ってしまい、結果的に発熱量が大きくなってしまふ。発熱量が増えるということは、回路を傷めてしまうということである。

二点目のダイナミックパワーは何らかの作業を実行するために消費されるエネルギーのことをいう。これは、クロックとともに消費される。つまり、動作周波数の上昇に比例してダイナミックパワーも上昇する。この値が大きいと発熱量が増える。

また、三点目は一般的な CPU にはおよそ何千万個という単位の数のトランジスタが存在する。そして、それらの間は導線によって成り立っている。これら導線はすごく小さい単位の細さで抵抗をもつので、ここから発熱が生じる。

4.機能と因子の検討

CPU 放熱に関する機能を考えると、時間 T に対する発熱 y という関係が考えられ、品質工学においては図 1 に示すように $y = \beta T$ の関係で表すことができる。すなわち信号因子は時間 T、すなわち使用時間で、 $M1 = 15$ 、 $M2 = 30$ 、 $M3 = 45$ 、 $M4 = 60$ (単位は min)とした。また計測特性値 y は温度とした¹⁾。一方、誤差因子では、コンピュータは長時間使用すると、ケースの中にある CPU やマザーボードに付いている冷却ファンの羽根とその周囲にも、多量の埃が付着する。その結果、熱の排気が悪くなり、CPU などの部品が熱を持ちやすくなる事で、熱暴走による部品の傷みや劣化、ショートによる破損などが起こる。よって、埃の有無誤差因子にする。また、CPU 種類の違いが、発熱量や温度にも影響を与えるため2種類の CPU、Pentium と Celeron を誤差因子にする。

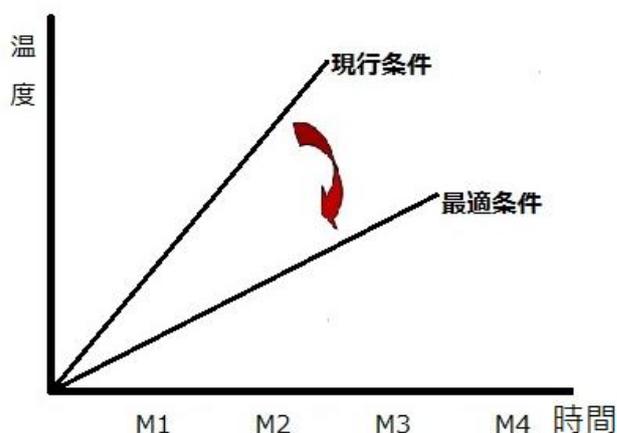


図 1 CPU 温度の機能と理想状態

Research of the CPU heat dissipation using a Parameter Design

ShihYu LIN, Koya YANO

表 1 制御因子の水準

条件	1	2	3
B CPUクーラー	水冷式	銅製ヒートパイプあり	銅製ヒートパイプなし
C ケースファン	リブベアリング	ボールベアリング	ツイスターベアリング
D クーラー回転数	1000 rpm	1500 rpm	2000 rpm
E ファン回転数	1000 rpm	1500 rpm	2000 rpm

構成条件について、表 1.に示すような制御因子を設定した。ここでは B~E の四つの制御因子を設定して、それぞれ CPU クーラー、ケースファン、ファンの回転速度となっている。また誤差因子は埃の有無と CPU の種類なので、表 2 に示すような二元配置の割り付けを行った。

表 2 誤差因子の水準

	埃あり	埃無し
Pentium4	P4N1	P4N2
Celeron	CeleN1	CeleN2

5. 実験方法

まず CPU の過熱の原因を探求して、パラメータ設計の応用を検討する。次は、パラメータ設計に基づいて、実験の計画を立てる。

また、信号因子と計測特性値を設定して、次に、誤差因子と制御因子を決めて、直交表への割付を行い、その条件に従って、時間経過に対する CPU の温度を測定する。最後は実験のデータを分析して、構成の最適条件を見つける²⁾。

実験に使用したものは温度測定器として LCT Date Logger R2614 温度センサー、因子 B として CORSAIR H50 High-Performance 水冷式 CPU クーラー、Cooler Master Vort x Plus CPU cooler 銅製ヒートパイプ有り CPU クーラー、Cooler Master 銅製ヒートパイプ無し CPU クーラー、PKW Speed Controller withlcd display スピードコントロール、誤差因子として Pentium4 2.8GHz CPU、Celeron D 2.8GHz CPU である。

6. 実験結果と解析

L18 直交表を用いた制御因子を割り付け、外側に信号因子 M1,M2,M3,M4,M5 と誤差因子 P4N1N2 および CELEN1N2 を割り付けて、実験を行った。P4N1N2 は Pentium4 と埃の有無に示し、CELEN1N2 は Celeron と埃の有無を示す。表 3、4 に測定結果を示す。

表 3 L18 の P4N1N2 測定結果 単位：℃

No	P4N1					P4N2				
	M1	M2	M3	M4	M5	M1	M2	M3	M4	M5
1	0	14.3	15.6	15.4	15.3	0	15.1	15.9	16.5	14.9
2	0	11.3	12.3	12.9	13	0	12.7	13.3	13.9	15.4
3	0	11	10.9	11.8	11.6	0	9.5	9.6	9.9	8.4
4	0	20.2	21.6	21.2	21.8	0	20.2	20.7	20.6	20.4
5	0	17.7	19	18.6	18.4	0	17	17.3	17.1	15.2
6	0	16.7	17.5	17.9	17.6	0	16.2	17	17.1	16.1
7	0	25	25.5	25.7	26.5	0	25.1	26	26.2	25.4
8	0	22.4	23.4	23.4	23	0	21.8	22.1	21.8	19.1
9	0	28	28.5	28.4	28.6	0	26.9	28.1	26.9	22.7
10	0	11.1	12.2	12.4	12.4	0	10.4	11.1	11.7	10.9
11	0	12.3	13.1	13.4	13.4	0	8.9	9.6	9.8	9.4
12	0	13.4	14.3	14.7	14.4	0	10.9	11.6	11.6	11.3
13	0	18.5	18.5	18.9	18.5	0	16.8	16.9	16.7	14.9
14	0	17.4	17.3	17.2	17.9	0	15.7	17	16.4	16.1
15	0	20.9	21.7	22.8	22.4	0	20.9	21.4	21.6	20.7
16	0	21.8	22.7	22.6	21.1	0	21.5	22.6	22.3	21.5
17	0	26.9	27.7	28.1	27.8	0	27.1	28.1	27.7	28.3
18	0	26	26.3	26.6	26.6	0	24.1	26.5	26.2	22.3

表 4 L18 の CELEN1N2 測定結果 単位：℃

No	CELEN1					CELEN2				
	M1	M2	M3	M4	M5	M1	M2	M3	M4	M5
1	0	14.3	16.3	16.1	16.7	0	15.1	16.3	16.4	16.7
2	0	11.8	12.9	13.2	13.6	0	10.5	11.8	11.8	11.5
3	0	13.7	14.7	14.8	14.7	0	11.4	12.1	12.6	12.8
4	0	21.8	22	22.6	22.9	0	20.6	20.8	21.2	22.3
5	0	19.2	19.8	20.2	21.4	0	18	18.1	18.6	19.1
6	0	18.3	18.6	18.8	19.3	0	17.8	17.9	18.1	18.4
7	0	26.1	27.3	27.5	27.7	0	25.9	27.2	27.6	27.7
8	0	23.4	24.2	24.4	24.5	0	23.3	23.8	24	24
9	0	31.5	31.9	32	30.8	0	29.8	30.6	30.3	30.1
10	0	12.9	14	13.9	13.7	0	13.2	14.1	14.5	14.5
11	0	14.9	16.5	16.1	16.1	0	14.2	14.3	13.1	12.5
12	0	12.6	13.7	13.8	13.6	0	12.9	14.1	14.6	14.8
13	0	17.9	18.4	18.9	19.2	0	16.8	16.9	17.6	18.3
14	0	20.1	21.1	22.2	18.1	0	15.9	15.8	16.6	17.1
15	0	20.4	20.7	21.8	22.5	0	19	19.3	20.5	21.9
16	0	22.8	23.2	24.2	23.6	0	22.3	22.8	23.2	23.2
17	0	30.2	30.2	30.1	30	0	27.5	28.3	28.1	27.9
18	0	27.7	28.6	28.4	29.3	0	26.5	28.9	27.9	28.6

表 5 SN比ηと感度Sの結果 単位：db

No	A	B	C	D	E	SN比	感度
1	1	1	1	1	1	-24.007	-9.1002
2	1	1	2	2	2	-23.508	-10.887
3	1	1	3	3	3	-24.833	-11.574
4	1	2	1	1	2	-24.172	-6.468
5	1	2	2	2	3	-24.492	-7.7672
6	1	2	3	3	1	-24.346	-8.1002
7	1	3	1	2	1	-24.193	-4.6109
8	1	3	2	3	2	-24.696	-5.8712
9	1	3	3	1	3	-25.037	-3.9018
10	2	1	1	3	3	-24.195	-10.933
11	2	1	2	1	1	-25.293	-10.836
12	2	1	3	2	2	-24.118	-10.54
13	2	2	1	2	3	-24.537	-8.1143
14	2	2	2	3	1	-24.817	-8.1881
15	2	2	3	1	2	-23.913	-6.4846
16	2	3	1	3	2	-24.503	-6.0178
17	2	3	2	1	3	-24.471	-4.0302
18	2	3	3	2	1	-24.532	-4.4674

表 3、4 の結果からの実験 No1 の S N 比 η と感度 S の計算過程を示す。

$$St = 0^2 + 14.3^2 + 15.6^2 + \dots + 16.7^2 = 3944.01$$

$$L1 (P4N1) = 14.3 * 15 + 15.6 * 30 + 15.4 * 45 + 15.3 * 60 = 2293.5$$

$$L2 (P4N2) = 15.1 * 15 + 15.9 * 30 + 16.5 * 45 + 14.9 * 60 = 2340$$

$$L3 (CEN1) = 14.3 * 15 + 16.3 * 30 + 16.1 * 45 + 16.7 * 60 = 2430$$

$$L4 (CEN2) = 15.1 * 15 + 16.3 * 30 + 16.4 * 45 + 16.7 * 60 = 2455.5$$

$$r = 15^2 + 30^2 + 45^2 + 60^2 = 6750$$

$$S \beta = (L1 + L2 + L3 + L4) / (4 * r) = 3355.976$$

$$Sn \beta = (L1 + L2)^2 + (L3 + L4)^2 / (2 * r) - S \beta = 2.352$$

$$Sw \beta = (L1 + L3)^2 + (L2 + L4)^2 / (2 * r) - S \beta = 0.192$$

$$Se = St - S \beta - Sn \beta - Sw \beta = 585.4897$$

$$Ve = Se / 17 = 34.44057$$

$$Vn = (Sn \beta - Sw \beta + Se) / 19 = 30.94914$$

$$S = (1 / (4 * r)) * (S \beta - Ve) = 0.12302$$

$$\eta = S / Vn = 0.003975$$

$$\text{感度 } S = 10 * \text{Log}(S) = -9.10025$$

$$\text{SN 比 } \eta = 10 * \text{Log}(\eta) = -24.0067$$

表 3、4 の結果より、それぞれの実験において、SN 比 η と感度 S を求めた³⁾。結果は表 5 に示す。

7. 要因効果図の作成

表 5 の結果より、水準別平均を求め要因効果図を作成した。水準別平均を表 6、7 要因効果図を図 2、3 に示す。

表 6 感度の水準別平均 単位：db

感度	1	2	3
B	-10.64	-7.43	-4.82
C	-7.54	-7.84	-7.51
D	-6.8	-7.64	-8.45
E	-7.55	-7.71	-7.63

表 7 SN 比の水準別平均 単位：db

SN 比	1	2	3
B	-24.33	-24.38	-24.57
C	-24.27	-24.55	-24.46
D	-24.48	-24.23	-24.57
E	-24.53	-24.15	-24.59

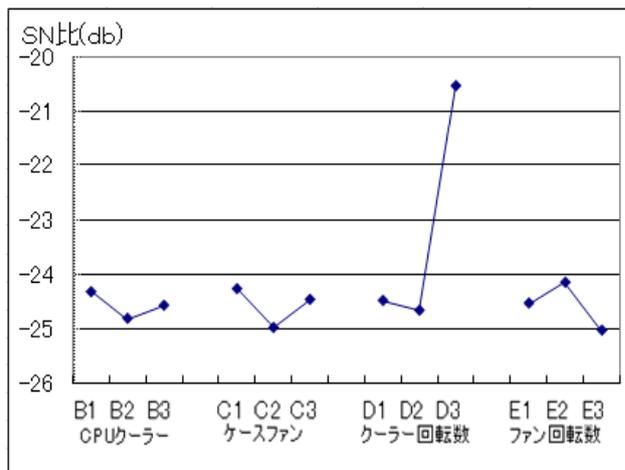


図 2 SN 比要因効果図

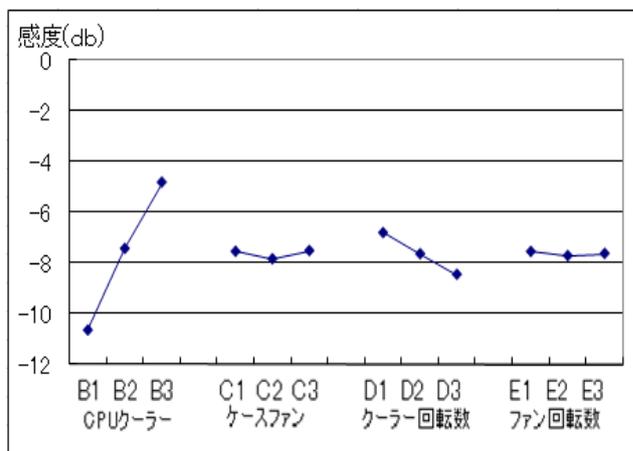


図 3 感度要因効果図

8. 確認実験と解析結果

SN 比 η は高い方がばらつきが少ないので、大きい水準を選択するのが望ましい。また感度 S は時間に対する温度変化を示す尺度である。ここから、本研究の目的から考え、低い方が望ましい。よって、SN 比 η と感度 S の要因効果図から、B1、C1、D3、E2 を選択し、確認実験を行った。実験結果を表 8 に示す。また温度ばらつきに大きい影響する因子は、因子 D のクーラー回転数で、温度低下に大きく関係する因子は、因子 B の CPU クーラーの種類である。

表 8 確認実験の結果

感度			
	最適条件	現行条件	Δ /db
推定	-11.46	-7.72	-3.74
確認実験	-10.9	-7.68	-3.22
SN 比			
	最適条件	現行条件	Δ /db
推定	-24.03	-24.03	-0.003
確認実験	-24.05	-24.33	0.28

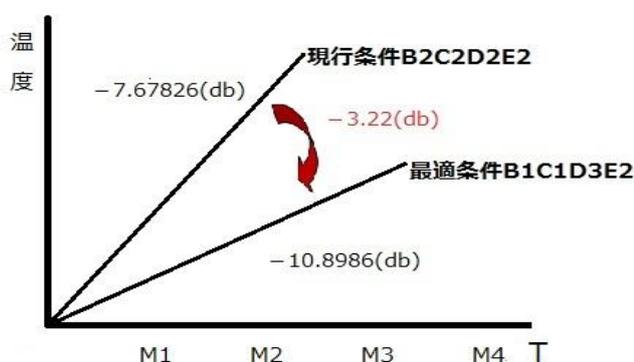


図 4 確認実験感度差

表 8 の結果より、確認実験の感度差は推定とほぼ一致している。確認実験による最適条件は、現行条件と比較して、感度で -3.22db の改善を達成した。感度 S の差を図示すると、図 4 のようになる。次にこの感度差を一分当たりの温度変化で示すと、図 5 のようになる。最適条件では、CPU の表面温度が上がりにくい状態になった。

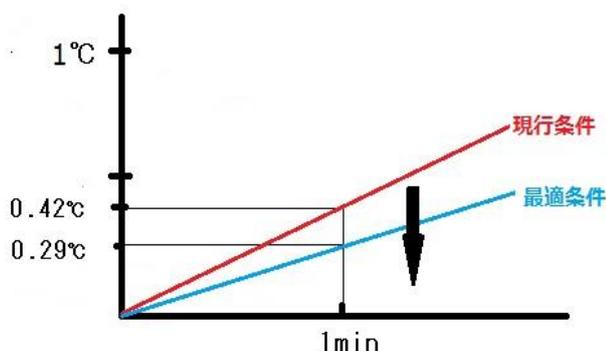


図 5 CPU 温度 1 分間温度変化

図 5 は感度 S ではなく感度 β 求めたもので、1 分当たりの平均的な温度変化を求めることが可能で、以下のようにして求めることができる。

$$^{\circ}\text{C}/\text{T} = \beta = \text{L}/\text{r}$$

$$\text{現行条件 } \beta = (\text{L1}+\text{L2}+\text{L3}+\text{L4}) / 4\text{r} = 0.41528$$

$$\rightarrow 0.42^{\circ}\text{C}/\text{min}$$

$$\text{最適条件 } \beta = (\text{L1}+\text{L2}+\text{L3}+\text{L4}) / 4\text{r} = 0.286556$$

$$\rightarrow 0.29^{\circ}\text{C}/\text{min}$$

図 5 の結果より、平均 1 分間の上昇温度によると現行条件の CPU 温度は 1 分間に 0.42 度を上昇し、最適条件の CPU 温度は 1 分間に 0.29 度上昇したと分かった。以上から、最適条件である B1C1D3E2 は CPU 過熱問題を改善することができると思われる。

9. 考察とまとめ

本研究では、パラメータ設計を用いて、少しの組み合わせの変更で、効率良く、CPU の冷却効率をよくするための最適改善条件を見つけることができた。最適条件は効果的に CPU の表面温度を下がることを実証でき、CPU の過熱問題を改善することができると分かった。

しかし、本研究で扱ったパソコンは卓上型コンピュータであり、卓上型コンピュータは元々空間が広いし、放熱の効果もいいものである。よって、今回は空間が広いパソコンの過熱問題を改善したが、空間が狭いノート型パソコンなどの CPU 装置でも改善できるかどうか検証が今後の課題である。

参考文献

- 1) 立林和夫, 入門田口方法, 中衛發展中心, (2008), pp.14-38.
- 2) 矢野 宏, 品質工学計算法入門, 日本規格協会, (2004), pp.114-125.
- 3) 田口玄一, 品質工学の数理, 日本規格協会, (1999), pp.48-56.