

熱設計の実務と応用

沖電気工業株式会社
情報企画部
国峰尚樹

はじめに

電子機器の熱設計に取り組むには、伝熱工学の基礎的な知識が必要である。しかし伝熱の知識があれば巧みな熱設計ができるかというと、これはまた別の問題である。同様にシミュレーションを駆使して精度よい温度予測ができれば適切な熱対策ができるというものでもない。設計段階で確実に熱対策を施し、手戻りをなくすには、熱設計で考慮すべき基本原則を理解した上で、一定の手順に従って対策を検討する必要がある。その上で適切なツールを用いて妥当性を検証しておかなければならない。

本稿では、これら熱設計の基本原則と標準プロセスおよびツールについて解説する。

1. 熱設計の基本ルール ~これだけは知っておこう 熱設計10の原則~

最初に熱設計を行う上で基本となる10の原則について説明する。熱設計に関わる設計者は最低限の予備知識として理解しておいて頂きたい。

【原則1】熱対策には3つのアプローチがある

空冷電子機器では必ず固体面（発熱体）から空気への熱伝達が起こる。

その放熱量は熱伝達の式で推定できる。

$$\text{放熱量} = \text{表面積} \times \text{熱伝達率} \times \text{温度差} \quad \dots\dots(式1)$$

定常状態では、放熱量 = 発熱量となるので、この式を変形すると発熱体の表面温度を求める下式が導かれる。

$$\text{温度} = \text{発熱量} / (\text{放熱面積} \times \text{熱伝達率}) + \text{部品周囲空気温度} \quad \dots\dots(式2)$$

この式から、発熱体の温度を下げるには放熱面積の拡大、熱伝達率の向上、周囲空気温度の低減の3つしか方法がないことがわかる。もちろんここからさまざまな具体策が導かれるが、どんな熱対策も大別すればこの3つのいずれかに属することになる。

【原則2】部品の厳しさは「発熱密度」で決まる

(式2)は次のようにも変形できる。

$$\text{温度} = \text{発熱密度} / \text{熱伝達率} + \text{部品周囲空気温度} \quad \dots\dots(式3)$$

熱伝達率や部品周囲温度は冷却条件によって変わるが、発熱密度は部品の表面積と発熱量で決まる。つまり、冷却条件を決める(熱設計する)前に、まず「温度が高くなりそうな部品」を見極めるには「発熱密度」を算出すればよいことになる。

熱設計に際しては、つい「消費電力の大きい部品が危ない」と思い込みがちだが、部品の熱的危険度は消費電力だけでは決まらず、発熱密度に支配されることになる。

発熱密度とは部品が出す熱と自身が処理できる熱との比率であり、分不相応の発熱量を持つ部品は要注意ということになる。これは対策を行うべき部品を選別する際に重要な原則である。

【原則 3】機器内部の空気温度は「発熱量」と「風量」で決まる

部品の厳しさが発熱密度で決まるのに対し、通風筐体の熱的厳しさは総発熱量と換気風量との比率によって決まる。機器内部空気の最高温度上昇は、筐体表面からの放熱を無視すれば、下記のような関係式で表される。

$$\text{空気温度上昇} = \text{機器内部発熱量} / (\text{空気の比重量} \times \text{空気の比熱} \times \text{風量}) \cdot \cdot (\text{式 4})$$

この式は (式 3) の部品周囲温度を計算する際にも使用できる。

【原則 4】自然空冷可否は容積と消費電力から推定できる

自然空冷機器で発生した熱は、通風口からの換気と機器表面からの対流・放射によって周囲空気に放散される。これらの放熱は温度上昇によって誘起される自然対流や放射伝熱に基づくものであり、自ずと限界がある。一般的な機器では通風口の大きさや内部温度上昇に制限があるため、電子機器の放熱能力は「機器の容積」と「消費電力」から概略推定することができる。

図 1 (a) は市販される各種電子機器の容積と消費電力との関係を示したものである。自然空冷機器 (●) では一定の限界ラインが存在することがわかる。

図 1 (b) はこれを消費電力密度 (= 消費電力/容積) で書き直したものである。容積の小さい筐体ほど容積に対する表面積の比率が大きくなるため、放熱能力が高く、許容消費電力が大きくなることがわかる。

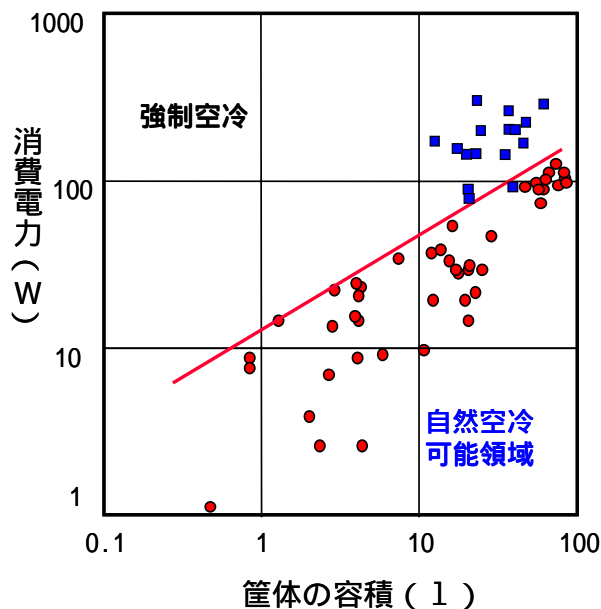


図 1 (a) 筐体の容積と消費電力

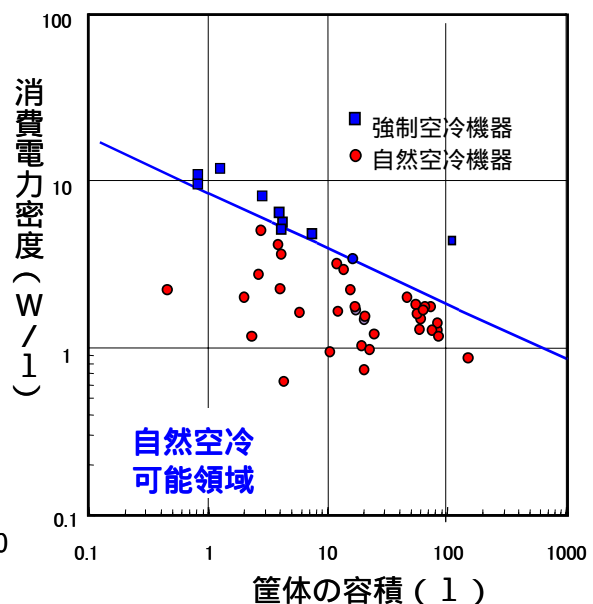


図 1 (b) 筐体の容積と電力密度

【原則 5】熱伝導体を利用すれば放熱面積を拡大できる

【原則 1】で述べた 3 つの策の中でも、「放熱面積の拡大」は最も一般的な熱対策である。ヒートシンクやアルミプレートによる直接的な放熱面積拡大方法が分かり易いが、周囲の熱伝導体に接続して熱拡散させる間接的な方法がコストやスペース面で有利なことが多い。部品の周囲には銅箔配線パターンや筐体板金など、熱伝導率の大きい金属材料が存在しており、これらを発熱部品と熱伝導材料などで結合することで、部品の等価的な放熱面積を拡大することができる。

【原則 6】物理的放熱面積を拡大すると等価放熱面積が減少する

【原則 5】の方法で放熱面積を拡大すると、どうしても熱源から遠い部分の温度が低下するため、放熱効率（フィン効率）が低下する。例えば図 2 のように熱源にプレートをつけて表面積を増やしても、ある程度以上の面積になるとほとんど温度は下がらなくなる。

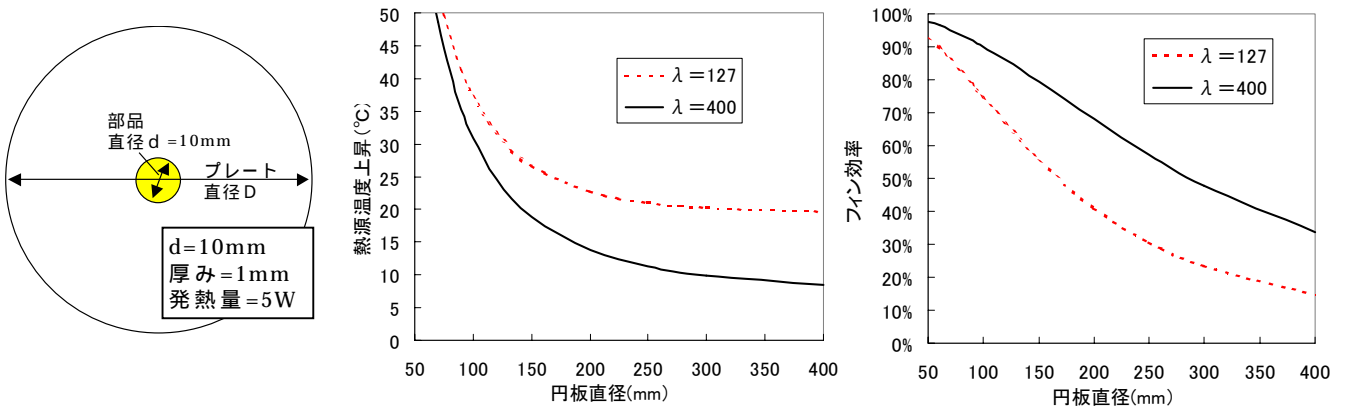


図 2 アルミ放熱プレートの直径と熱抵抗（自然空冷水平置、放射率 0.8）

「フィン効率」は、放熱面全体が熱源と同じ温度であった場合の放熱量と、実際の放熱量との比率を表すもので、次の式で計算できる。

$$\text{フィン効率} = \tanh (m d) / (m d) \quad \dots \dots (\text{式 5})$$

$$\text{ただし、} m = \sqrt{\text{フィンの平均熱伝達率} / [\text{フィンの熱伝導率} \times (\text{フィン厚み} / 2)]}$$

フィン効率がわかれば、等価表面積は、

$$\text{等価表面積} = \text{物理的 surface 積} \times \text{フィン効率} \quad \dots \dots (\text{式 6})$$

で推定することができる。

【原則 7】熱伝導を高めれば等価放熱面積が増大する

(式 5) からわかるように、フィン効率の低下を抑えるためにはプレートの板厚を増すか、熱伝導率を大きくする必要がある。板厚を増すと重量増加や実装スペースの増大を招くため、プレートはできるだけ熱伝導率の大きい材料を使用する。それでもフィン効率低下が懸念される大型の放熱プレートでは、ヒートパイプを利用して等価熱伝導率を高めるなどの手段を採る。

【原則 8】 部品の温度上昇は「消費電力密度」と「風速」のバランスで決まる

熱伝達率は対流熱伝達率と放射熱伝達率に分けられる。対流熱伝達率を増大させる最も効果的な方法は風速を高めることである。

(式3)からわかるように、部品の温度上昇は、消費電力密度と熱伝達率の比で決まる。対流熱伝達率は強制空冷(層流)の場合には、下式で概算できる。

$$\text{平均対流熱伝達率} = 3.86 \times \sqrt{\text{風速} / \text{流れ方向の長さ}} \quad \dots (式7)$$

従って、放射を無視すれば、

$$\text{部品の温度上昇} \propto \text{部品の消費電力密度} / \sqrt{\text{風速}} \quad \dots (式8)$$

ということになる。

機器内部空気温度上昇は、消費電力と風量の比に比例するのに対し、部品の温度上昇は消費電力密度と風速の平方根の比によって決まるという点は、重要なポイントである。風量を落としてでも風速を上げた方が部品の温度は下がること場合が多い。

表1 機器内部空気温度と部品表面温度の特性の違い

対象温度	発熱量	冷却を支配する量	温度に比例する量
機器内部空気	装置の総消費電力	風量	消費電力 / 風量
部品表面	部品の消費電力密度	風速	消費電力密度 / $\sqrt{\text{風速}}$

風速を上げるためには下記の方法が考えられる。(コストのかからない順)

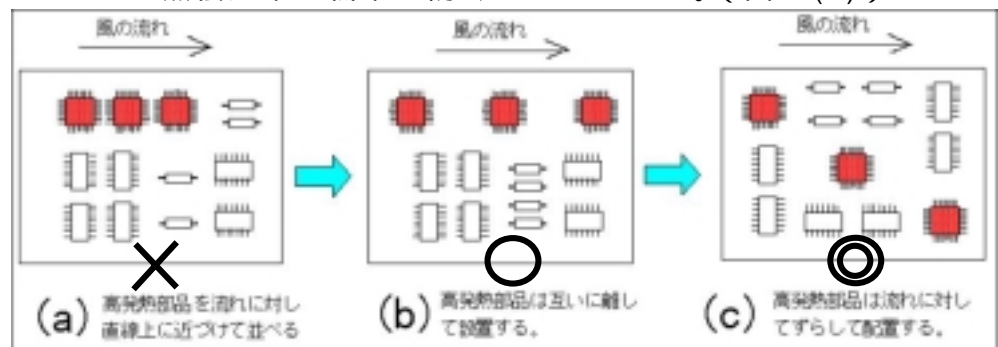
- 1) 通風口からの突入風速を利用する
通風口を適度に狭め、風速を高めた上で発熱体をその近傍に配置する。通風口を狭めすぎると風量が低下して逆効果になるケースがあるので注意が必要。
- 2) ダクトを設ける
換気用ファンから発熱体までダクトを設け、局部的に風速を高める。
自然空冷では煙突型のダクトを設け、浮力を増すことで風速を高める。
- 3) 局所ファンを設ける

【原則 9】 部品のロケーションで熱伝達率は異なる

対流熱伝達率は部品を配置する場所によって異なる。基本的には風上側の熱伝達率が高く、風下に行くに従って熱伝達率は低下する。

熱的に厳しい部品を風上側に配置することは言うまでもないが、複数の要注意部品をレイアウトする際には、これらをできるだけ流れに対して直交方向にレイアウトする(図3(c))、流れ方向にレイアウトする場合、部品間の配列間隔をあける(40mm以上)ことにより熱伝達率の低下を防ぐことができる。(図3(c))

図3 部品レイアウトのポイント



【原則 10】 部品の温度上昇は放射率と周囲の吸収率で変わる

機器や部品の放熱において「放射伝熱」は意外に大きな役割を果たす。機器や部品の表面の放射率を高めることで、温度上昇を抑えられることは周知のとおりであるが、機器内部に実装された部品の温度は筐体内側表面の吸収率（放射率）を高めることでも低減できる。図4は筐体内側・外側の表面放射率を変えた場合の内部部品の温度変化を実験で求めたものである。筐体内側の放射率（＝吸収率）が部品温度に大きく影響していることがわかる。

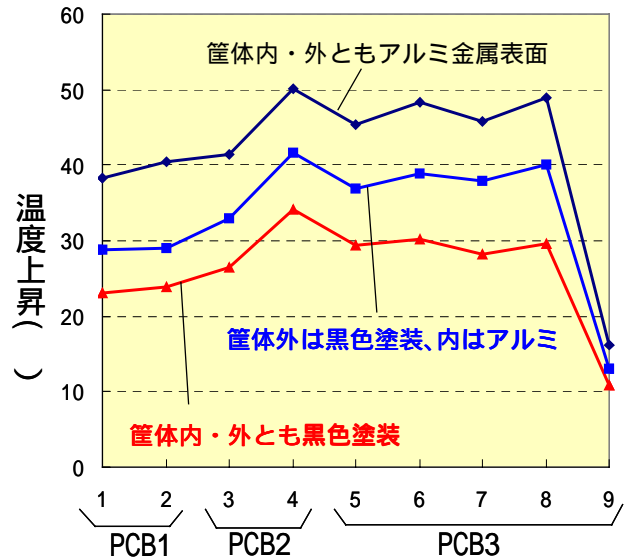
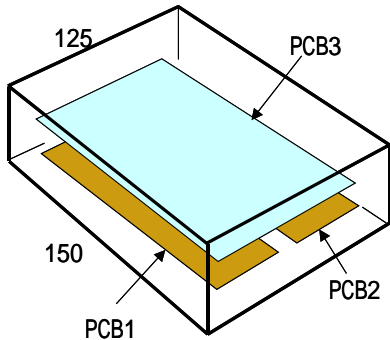


図4 筐体放射率による温度上昇の変化

2. 標準熱設計プロセス ~ 熱対策を確実にを行うためのステップとは ~

以上解説した「基本原則」を理解した上で熱設計に取り組むわけであるが、実行にあたっては、一定のプロセスに従って検討を進める必要がある。知識やスキルは人によって異なるが、プロセスを標準化しておくことにより、設計品質のばらつきを最小限に抑えることができる。

具体的な熱設計では、図5に示す6つのステップで検討を進める。

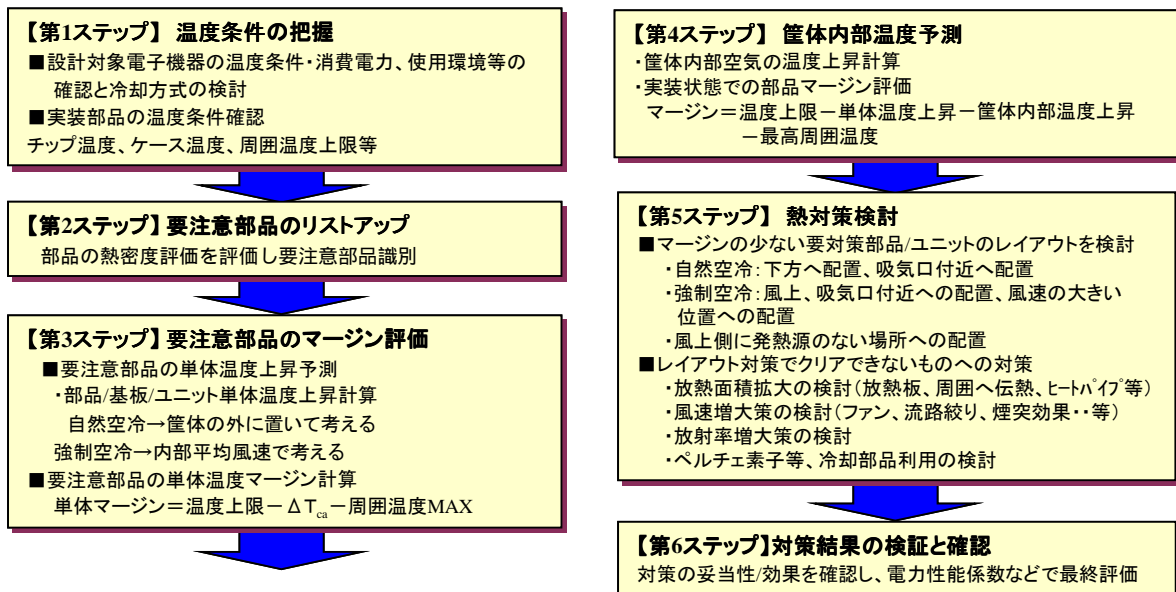


図5 標準熱設計プロセス

2-1 <第1ステップ> 装置および使用部品の温度条件を把握する

最初のステップは、設計対象機器の温度条件および使用部品の温度条件を把握することから始まる。設計を始める前に下記の情報を収集しておく。

電子機器の使用環境条件

機器の使用温度範囲（例えば5～35 など）、機器の設置環境、稼動時間、想定寿命等を把握する。これにより冷却方式、防塵対策の必要性、排熱の自由度、許容騒音レベルなどの熱設計を行う上での諸条件が決まる。

実装部品の温度条件

主要部品の使用条件（例えばチップ温度 90 以下、ケース温度 75 以下、周囲温度 55 以下など）を把握しておく。こうした情報は部品ライブラリに登録しておき、情報収集の容易化を図る。

2-2 <第2ステップ> 要注意部品を見分ける

機器内に実装される部品は数が多く、すべての部品温度を詳細に計算するのは実務上困難である。しかし部品のレイアウト設計前に要注意部品をみつめておかなければ熱を考慮した配置設計はできない。そこで要注意部品を迅速にリストアップする必要があるわけだが、ここで【原則2】「部品の厳しさは発熱密度で決まる」が役立つ。下記の手順で「部品の熱流密度(W/m^2)」を概算し、熱的に厳しい部品を抽出しておく。

部品の外形寸法から表面積(m^2)を計算し、消費電力(TYPICAL 値)を表面積で割る。この値(W/m^2)が部品の熱的な厳しさを表す指標となり、この値でソーティングすれば危険度の高い順に並べ替えることができる。

表2 部品危険度チェックシート例

部品カタログより引用										周囲温度 35		
部品名称 (パッケージ)	温度上限 ()	外形寸法(mm)			消費電力(W)			Rjc /W	表面積 (m^2)	表面熱流密度 W/m^2	Tca(自然)	単体温度マージン
		縦	横	高さ	MAX	TYP	実測					
PGA-133ピン (セミック)	チップ 90 ケース 85	36	36	3.3	1.5	1.2		2	0.002998	400.2108845	26.6807256	23.31927437
PGA-209ピン (セミック)	チップ 80 ケース 70.4	45	45	3.5	1.8	1.4		2	0.004622	302.9004885	20.1933659	15.2066341
PGA-257ピン (セミック)	チップ 85 ケース 65	51	51	4.1	3	2.4		2	0.005994	400.3736821	26.6915788	3.308421193
SOP-44ピン (プラスチック)	チップ 90 ケース 80.4	13	28	2.7	0.8	0.5		7	0.00095	526.3185596	35.087904	10.31209603
QFP-44ピン (プラスチック)	チップ 90 ケース 74.5	9.5	11	1.5	0.1	0.1		25	0.00026	385.3564547	25.6904303	13.80956969
QFP-80ピン (プラスチック)	チップ 85 ケース 70	14	14	2.1	1	0.6		12	0.00051	1177.394035	78.4929356	-43.49293564
QFP-160ピン (プラスチック)	チップ 90 ケース 70	28	28	3.8	1.2	0.9		15	0.001988	452.7162978	30.1810865	4.818913481
QFP-304ピン (プラスチック)	チップ 85 ケース 60	40	40	3.8	2.2	1.7		10	0.0038	447.3684211	29.8245614	-4.824561404
QFP-208ピン (セミック)	チップ 90 ケース 79.5	39	39	2	2.5	2.1		3	0.003354	626.118068	41.7412045	2.758795468

←個別対策必要

←個別対策必要

2-3 <第3ステップ> 余裕度(マージン)を定量化する

自然空冷機器の場合：部品・ユニットを筐体の外に出して考える

【原則1】(式2)の右辺「部品周囲空気温度」を除けば部品単体(機器に実装しない状態)の温度上昇を計算できる

$$\text{単体部品温度上昇} = \text{発熱量} / (\text{放熱面積} \times \text{熱伝達率}) \quad \dots \dots (式9)$$

自然空冷機器の場合、筐体の外（周囲空気温度上昇 = 0）に置いても温度条件を満足できない部品を筐体内に入れたら間違いなく NG である。従って「単体部品の温度マージン」が部品の熱的余裕度を表す。

単体部品のケース温度上昇 T_{ca} は下記の簡易計算式を用いて求めることができる。

$$T_{ca} = \text{消費電力 } W / (\text{部品表面積 } S \times \text{熱伝達率 } h) \quad \dots (式 10)$$

$$h = 2.51 \times 0.96 \times (T_{ca} / L)^{0.25} + (T_c^2 + T_a^2)(T_c + T_a) \quad \dots (式 11)$$

T_{ca} : 部品ケース温度上昇 () = $T_c - T_a$ 、 W : 部品消費電力 (W)

T_c : 部品ケースの絶対温度 (K)、 T_a : 周囲空気の絶対温度 (K)

S : 部品表面積 (m²)、 L : 部品の代表長 (m) = 縦 × 横 × 2 / (縦 + 横)

: ステファンボルツマン定数 (= 5.67×10^{-8})、 : 部品表面の放射率

部品の温度マージンは、以下の式で求められる。

$$\text{温度マージン} = \text{部品ケース上限温度} - T_{ca} - \text{装置周囲最高温度} \quad \dots (式 12)$$

この温度マージンは、部品周囲空気温度上昇の許容値とみなすことができる。

温度マージン 0 であれば、単体でも何らかの熱対策が必要である。

強制空冷機器の場合 : 筐体内平均風速で単体温度を考える

強制空冷機器の部品温度は筐体内の風速に依存するため、筐体の実装された状態での部品周囲の平均風速を求め、これをもとに単体温度上昇を推定する。

筐体内部の平均風速は換気用ファンの実効風量 Q (最大風量の 70% 程度) を流路断面積 A で割ることで推定できる。

$$u = Q / A \quad (\text{m/s}) \quad \dots (式 13)$$

次に平均風速 u を用いて、以下の式で熱伝達率 h を求め、(式 10) より部品ケース温度上昇を算出する。強制空冷の場合、熱伝達率 h は下式を使用する。

$$h = 3.86 \sqrt{u / L} + (T_c^2 + T_a^2)(T_c + T_a) \quad \dots (式 14)$$

ただし、 L : 部品の代表長 (m) = 流れ方向の寸法 (m)、その他は (式 11) と同じ温度マージンは自然空冷の場合と同様に求められる。

2 - 4 <第 4 ステップ> 機器内部の空気温度上昇を予測する

次に筐体内部の空気温度上昇 (部品周囲空気温度) を計算する。手計算を行う場合は下記の簡易計算式を用いる。

$$W = (2.8 S_{TOP} + 2.2 S_{SIDE} + 1.5 S_{BOT}) \cdot (T_a / 2)^{1.25} + 4 S_{TOT} T_m^3 \cdot (T_a / 2) + 1150 \cdot Q_v \cdot T_a \quad \dots (式 15)$$

W : 機器の総消費電力、 S : 筐体各面の表面積 (m²) ただし、添字は TOP : 上面、SIDE : 垂直面、BOT : 底面、TOT : 全面、 T_a : 内部空気温度上昇

: ステファンボルツマン定数 (= 5.67×10^{-8})、 : 部品表面の放射率

T_m : 平均絶対温度 (= 周囲温度 + 273 + $T / 4$)

Q_v : 実効換気風量 (自然空冷では、 = 通風孔面積 × 0.2m/s と仮定して計算する)

ここで予測される温度上昇は自然空冷機器では上部、強制空冷機器では排気口近傍に近い場所の最高温度上昇を示す。この T_a を用いれば、個々の部品を筐体を実装した場合の温度マージン（実装温度マージン）は下記のように表される。

$$\begin{aligned} \text{実装温度マージン} &= \text{部品ケース上限温度} - T_{ca} - T_a - \text{装置周囲最高温度} \\ &= \text{単体温度マージン} - T_a \quad \dots (\text{式16}) \end{aligned}$$

実装温度マージンが小さい部品への対策は2つ考えられる。1つは T_a を小さくすること、もう一つは T_{ca} を小さくすることである。前者は換気量を増やすなどの機器レベルの熱対策と、マージンの小さい部品を T_a の小さい場所に配置する「レイアウト対策」がある。後者は個別の部品対策で対応することになる。

2 - 5 <第5ステップ> 対策を検討する

レイアウトによる熱対策を検討する

自然空冷機器ではマージンの少ない部品はできるだけ下部にレイアウトする。上部ほど空気温度が上昇するため、下部に配置すれば部品周囲の空気温度上昇 T_a が小さくなり、実装温度マージンを大きくとることができる。強制空冷機器ではできるだけ吸気口近くに配置する。

部品レイアウトは熱問題だけで決められないが、設計初期段階から盛り込んでおけばコストもかからない。できるだけレイアウト設計で温度マージンが確保できるよう、初期段階で最大限の努力をすべきである。特殊な機器を除き、 T_a が20（強制空冷）～30（自然空冷）を超えるような場合は、換気風量に問題がある。通風孔の拡大やファン容量の増大によって、換気量を増やす検討を行う。

レイアウトでクリアできない部品の対策を検討する

T_a を小さくしても、マージンが確保できない部品や、そもそも単体温度マージンが0以下の部品に対しては、個別の熱対策が必要になる。

【原則1】で述べたように、部品の温度低減策は、放熱面積拡大、熱伝達率向上、周囲温度の低減（周囲からの熱的影響の排除）しかない。対策を実装レベルでまとめたものを表3に示す。具体的な対策は前述の「原則」に則り検討を進める。

低熱抵抗化策		部品レベル	プリント基板レベル	装置レベル
放熱面積の拡大	放熱面積の拡大	・ヒートシンクの取り付け	・ヒートスプレッドパターンの設置	・筐体表面積拡大
	伝導による拡散	・部品材料や構造の改良、ヒートパイプの利用、TIM利用	・配線パターンやサーマルビアへの伝導	・筐体と部品の接触熱伝導 ・TIMの利用
熱伝達率の向上	風速の増大	・部品局所冷却用ファンの設置 ・煙突効果の利用	風速の大きい場所への部品配置	・流路を狭め風速を増大 通風口突入風速の利用
	放射率の増大	・部品面黒色塗装 ・高放射率材料のコーティング	・基板の放射率向上 ・高放射率材料のコーティング	・筐体面の塗装 ・高放射率材料のコーティング
	熱伝達率の増大	熱伝達率の大きい場所への配置（風上側） ・乱流促進体の利用 ・衝突冷却・・・		・部品の千鳥配置
周囲温度の低減	換気風量の増大			・通風口の拡大 ・換気ファン容量増大
	⑦周囲からの断熱	風上に熱源の少ない場所 ・遮蔽板の設置 ・ダクトによる排熱の分離		
その他（特殊冷却）		・冷凍機 ・蓄熱器 ・ペルチェ素子 ・液冷 ・蒸発冷却・・・		

表3 低熱抵抗化対策の分類

2 - 6 <第6ステップ> 対策の検証と評価を行う

最終的には織り込んだ対策によりすべての条件が満足できるかどうかを検証・評価しなければならない。このステージではC A Eによるシミュレーションが有効である。これまでの5ステップにより検証すべき要注意部品が明確になっているため、目的を絞ったコンパクトなモデルが作成できる。実験で評価する場合も、測定個所が明確になっているため、評価時間が短縮できる。

3 . EXCEL[®]を使った実務熱計算 ~ 熱計算時間を 1/10 にする ~

上記標準熱設計プロセスに沿って検討を進めるには種々の熱計算が必要になる。これらの熱計算式や計算手法・ツールを表4にまとめた。最終的な設計検証にはC A Eが有効であるが、構造が未確定の設計初期段階で手早く予測し、熱対策の指針を立てるにはこれらの計算手法が役立つ。また EXCEL などの表計算ソフトを使いプログラム化しておけば、非線形計算や複雑なアルゴリズムを伴う計算もボタン1つで可能である。

表4 代表的熱計算式・計算手法*

*計算手法：伝熱基礎式を組み合わせる構成した電子機器専用の計算アルゴリズムを指す

対象	自然空冷用	強制空冷用	その他ツール	記事
システム ・機器筐体	・自然空冷筐体の内部温度上昇計算	・強制空冷筐体の内部温度上昇計算	・自然空冷限界 チェックシート	
	・日射受熱筐体の温度上昇計算			
プリント基板	・自然空冷プリント基板の温度上昇計算	・強制空冷プリント基板の温度上昇計算		熱回路網法
	・配線パターンの放熱を考慮した部品の温度上昇計算			
シエルフ	・自然空冷シエルフの温度上昇計算	・強制空冷シエルフの温度上昇計算	・計算ノモグラフ	
単体部品	・自然空冷部品単体の温度上昇計算	・強制空冷部品単体の温度上昇計算	・部品の温度上昇 チェックシート	
	・部品の過渡応答熱計算			
ヒートシンク	・自然空冷ヒートシンクの温度上昇計算	・強制空冷ヒートシンクの温度上昇計算 ・強制空冷熱交換器の温度上昇計算	・ヒートシンク包絡 体積見積シート	熱回路網法
	・放熱プレートの温度上昇計算(フィン効率を考慮した計算)			
	・複数の部品が実装されたヒートシンクの温度分布計算			
複合計算	・自然空冷機器内に実装された部品の 温度上昇計算 ・自然空冷シエルフに実装された部品の 温度上昇計算	・強制空冷機器内に実装された部品の 温度上昇計算 ・強制空冷シエルフに実装された部品の 温度上昇計算		
基本的な 熱計算	・各種ブロックの温度上昇計算、 ・各種熱コンダクタンス計算(伝導・対流・放射) ・放射形態係数計算、 ・接触熱コンダクタンス計算、 ・通風抵抗計算、 ・日射量計算 ・プリント基板の等価熱伝導率計算、 ・部品-プリント基板間の熱抵抗計算			
その他	ファン特性ライブラリの登録・編集			

(1) 熱設計計算プログラム事例

図6にEXCEL[®]熱計算プログラムの例を示す(参考文献(2):強制空冷筐体計算例)。このプログラムは表4の計算手法と材料物性値やファン特性ライブラリなど39種類の計算シートを組み込んでおり、熱設計プロセスに準拠した検証が可能である。

データ入力

外気温度(筐体周囲空気温度)	35	()
縦(m)	0.325	(m)
横(m)	0.284	(m)
高さ(m)	0.1585	(m)
使用ファン最大風量	2.7499809	(m ³ /分)
総消費電力	575	
筐体表面放射率	0.8	
通風孔(吸気口)面積	0.01	(m ²)
ファン個数(個)	1	
ファンの動作効率(計算値)	0.80943146	
ファン実効風量(計算値)	0.03709892	(m ³ /s)
ファン取付面(筐体面指定)	2	

計算結果

出口空気温度上昇値	12.96396946
筐体の通風抵抗(kgs ² /m ⁸)	1345.58447

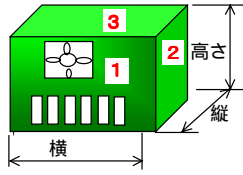
筐体表面対流放熱量(W)	8.497651652
筐体表面放射放熱量(W)	13.41072066
換気放熱量(W)	553.0916277
(合計)	575

部品データ入力

部品長さ(縦)mm 流れ方向	35.6
部品長さ(横)mm	35.6
部品の高さ mm	3.3
ジャンクション-ケース間熱抵抗	2
部品の消費電力	5.2
部品ケース放射率	0.9
部品の位置 0 ~ 1 (吸気孔近傍0,排気孔近傍1)	1

計算結果

平均風速の場合	吸気孔近傍の場合
部品ケース温度上昇() 対外気	80.77960086 37.20602
部品ケース温度()	115.7796009 72.20602
部品ジャンクション温度上昇() 対外気	91.17960086 47.60602
部品ジャンクション温度()	126.1796009 82.60602

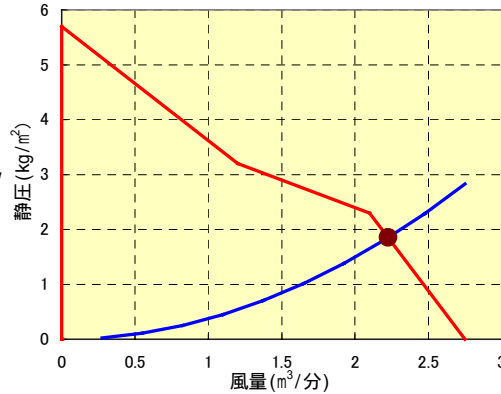


ファン動作点	静圧	風量(m ³ /分)
	1.8543824	2.225935
通風孔風速	3.70989164 m/s	

ファン設定 筐体計算 部品温度計算

内部風速

風向横	0.72019254	平均 m/s
通風孔	3.70989164	最大 m/s



メーカー	NMB	
型名	4715KL-04W-B20	
外形	119	mm
最大風量	2.74998093	m ³ /分
ファン個数	1	

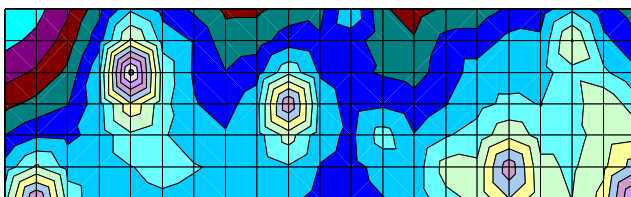
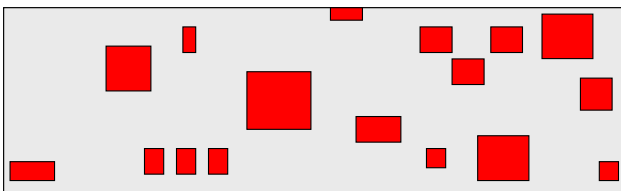
図6 EXCEL 熱設計計算プログラムの例

ライブラリからファンを選び、計算を実行すると機器内部空気温度や実装部品の温度を推定できる

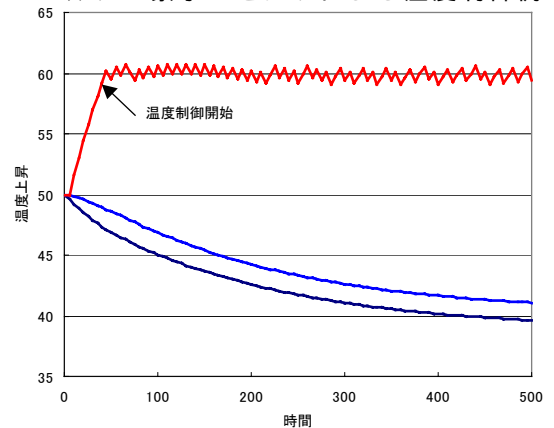
(2) 熱回路網法プログラム事例

上記熱計算式は、基本的には1つの熱源についての計算を行うものであるが、熱回路網法を適用することで、複数の熱源の相互影響を含めて解くことができる。また、時間的な温度変化やセンサによる温度制御などもシミュレート可能であり、適用範囲は広い。図7にEXCELを活用したプログラムの解析例を示す。

図7 EXCEL 熱回路網法プログラムによるプリント基板温度分布計算例



ペルチェ素子とセンサによる温度制御例



以上、熱設計に取り組む上で必要な知識（基本原則）とプロセス（標準熱設計プロセス）およびツール（EXCEL 熱計算プログラム）を紹介した。

ますます小型高密度化・複雑化が進む電子機器の熱設計においては、設計者が一定の知識を身に付け、手軽に使用できるツールを活用しながら、標準化されたプロセスに従って確実に実行することが重要である。本稿で紹介したアプローチが熱問題解決のための一助となれば幸いである。

< 参考文献 >

- 1) 伊藤謹司、" 熱設計何でも相談室 (<http://thermo-clinic.com>) " オフィス・ジェーアイ
- 2) 伊藤謹司、" 熱設計プロセスナビゲータ V11.05 "、" 統合熱回路網法プログラム V3.1 "、
オフィス・ジェーアイ
- 3) 国峰尚樹、" エレクトロニクスのための熱設計完全入門 "、日刊工業新聞社、1997 年
- 4) 伊藤謹司、国峰尚樹、" トラブルをさけるための電子機器の熱対策設計 "、日刊工業
新聞社、1992 年
- 5) 国峰尚樹、" 設計者は熱を見積もった設計を心がけよ！ "、電子技術 1999 年 8 月号 Vol.41
No.9
- 6) 国峰尚樹、" 熱設計入門 （EXCEL を使った熱設計プロセス） "、熱設計・対策技術
シンポジウム 2003 論文予稿集

（注）EXCEL は Microsoft Corporation の登録商標です。