

ハイパワー大型熱電モジュールの開発

Development of Large Size Peltier Module with High Power

坂本 俊貴*
Toshiki Sakamoto

鈴木 康弘*
Yasuhiro Suzuki

平澤 壮史*2
Takeshi Hirasawa

概要 近年、エレクトロニクス機器、通信機器等の高密度化・高実装化、高速化に伴い、機器内部の熱対策が、ますます重要な課題となってきた。電子クーラであるペルチェモジュールは、積極的な局所冷却が可能という大きな特長を生かして、市場での適用拡大がなされてきた。しかしながら、ペルチェモジュールは、熱ストレスに対する耐久性能の観点から大型化が困難であった。我々は、現状のペルチェモジュールが比較的小型であるための制限を解消することでモジュールのハイパワー化、大面積化が要求される用途への対応をコンセプトとして、熱ストレスに対する耐久性能に優れた70×70mmペルチェモジュールを開発した。今後、応用製品の開発を含めて、市場への適用拡大を行っていく所存である。

1. はじめに

近年の社会のIT化は、ADSLや、FTTH (fiber to the home) を用いたインターネット技術の発達、高速化・大容量化は、サーバ・ルータ等のネットワーク装置や、オフィスビル等に設置される通信機器用きょう体、パソコン等に用いられるCPU等の発熱をもたらしている。また、社会の成熟化や環境への配慮の流れに伴い、これまでの圧縮機を用いた冷却技術のみでなく多分野の技術が必要とされ応用分野も拡がりつつあるが、この需要に応えるには、従来、精密ではあるが小型・数十Wの小容量のペルチェモジュールしか提供されていなかった。本稿では100W以上の冷却能力を持つ大面積ペルチェモジュールについて報告を行う。

2. 大型熱電モジュールについて

2.1 ペルチェモジュールについて

我々の開発した大型熱電モジュールを説明する前に、ペルチェ素子の概略的説明を行う。ペルチェ素子は一般には熱電素子あるいは、電子冷却素子と呼ばれる。その構成は図1に示すように、p形、n形の一对の半導体を金属電極で接合した素子において、図の向きに直流電圧をかけるとn形からp形に電流が流れる。この際にn形半導体では電流とは逆方向に、p形では電流と順方向に熱の移動が生じるため(n形からp形に電流が流れる電極において吸熱が生じる)、金属電極が吸熱源となる。

この作用は一種のヒートポンプであり、放熱側(高温側)で十分に熱放散ができる場合には、極めて有効な冷却システムを

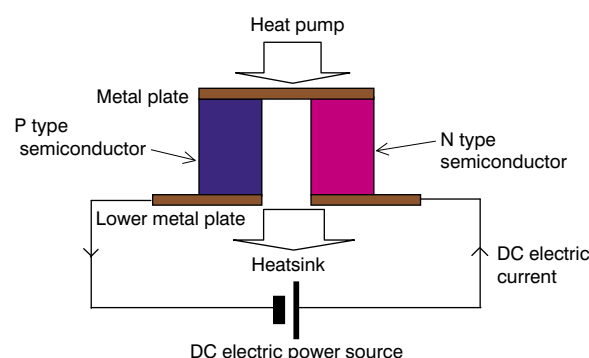


図1 ペルチェモジュールの構成
Theoretical model of Peltier module.

構成できる。ただし、高温側での放熱量は一般に吸熱量と通電電流により半導体に生じるジュール熱との和になる。

ここで吸熱量 Q は、電流 I 、放熱面温度 T_h 、冷却面温度 T_c 、半導体素子の対数 N の場合、以下のように表される。この式の第一項、第二項、第三項は、それぞれペルチェ効果によるもの、熱伝導によるもの、ジュール熱によるものである。

$$Q = N[(\alpha_p - \alpha_n)IT_c - K(T_h - T_c) - \frac{1}{2}IR^2]$$

$$R = \rho_p(L/A) + \rho_n(L/A)$$

$$K = \lambda_p(A/L) + \lambda_n(A/L)$$

また、入力電圧 V は、 $V = N[(\alpha_p - \alpha_n)I(T_h - T_c) + IR]$ であるため、消費電力 W は

$$W = VI = NI[(\alpha_p - \alpha_n)I(T_h - T_c) + IR]$$
と表される。

A : 半導体素子の断面積

L : 半導体素子の長さ

α_p, α_n : p, n半導体素子のゼーベック係数

ρ_p, ρ_n : p, n半導体素子の電気抵抗率

λ_p, λ_n : p, n半導体素子の熱伝導率

* 岡野電線(株) ペルチェプロジェクト

*2 電装・エレクトロニクスカンパニー

エレクトロニクス・コンポーネント事業部 サーマル・電子部品部

2.2 モジュール構造

ペルチェモジュールは通常、**図2**に示すように片面に電極を設けた2枚のアルミナや窒化アルミ等の絶縁性セラミック基板に、BiTe（ビスマステル）等にセレン等のドーパントを添加してなるp形，n形の対の半導体を交互に並べて構成される。ここでセラミック等を基板として用いるのは，アルミや銅からなる導電性のヒートシンクとの良好な熱的接合を維持しながら，電気的絶縁を確保するためである。電極は通常数十 μm の銅からなり，熱電半導体とは，Sn-PbはんだやAu-Snはんだ等のはんだによって接合されている。

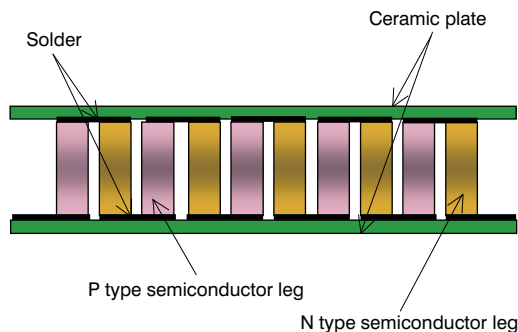


図2 一般的なペルチェモジュールの構造
Structure of conventional Peltier module.

ただし，これらセラミック基板を用いたペルチェモジュールは，上下セラミック基板と多数の半導体のはんだにより固着されているため，**図3**に示すように，動作時に放熱側面が高温になり膨張し，一方吸熱面が冷却され収縮することにより半導体固着部にはせん断応力が生じ，長期間，大温度差で繰り返し使用した場合にはモジュールの破損やはんだ接合部に疲労亀裂が発生することがある。素子の破損やはんだ接合部の疲労による亀裂の発生は，モジュール端部で顕著であり，特にペルチェモジュールのサイズが大きい場合に問題となる。このため，ペルチェモジュールの大型化は困難であり，市販モジュールでは40～50 mm角が最大であった。したがって，これまでのペルチェモジュールは高精度な温度管理が必要で，かつ小～中容量の冷却が必要な用途，例えば，高画質が要求されるCCDカメラやセンサ等の用途を主体として市場に提供されている。100 W以上の吸熱による冷却が必要な場合には複数のモジュールを直列あるいは並列に接続していたが，この場合，ヒートシンクとモジュールの熱伝導性を高めるために，各モジュールの厚さの管理を行い，また各モジュールの吸熱量（または温度差）をそろえることが必要であり，モジュールを選別して使用する必要があった。

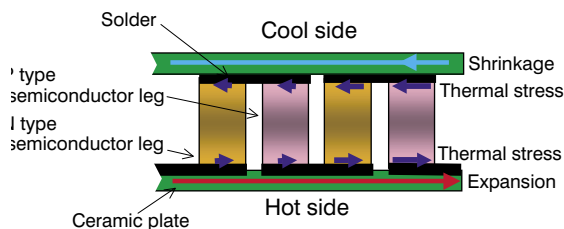


図3 モジュールが受ける熱ひずみ
Thermal stress on the P/N legs.

2.3 商品コンセプト

我々は前述のように，現状のペルチェモジュールが比較的小型であるための制限を解消することでモジュールのハイパワー化，（p，n形半導体の対数に比例して増加する），大面積化が要求される用途への対応をコンセプトとして開発を行った。

2.3.1 熱電モジュールの基本構造と材料

今回，開発した熱電モジュールの基本構造を**図4**に，その外観を**写真1**に示す。

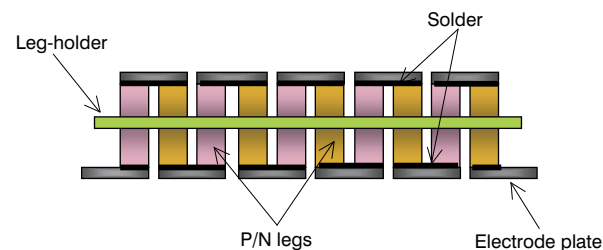


図4 開発した大型ペルチェモジュール
Structure of the developed large size Peltier module.

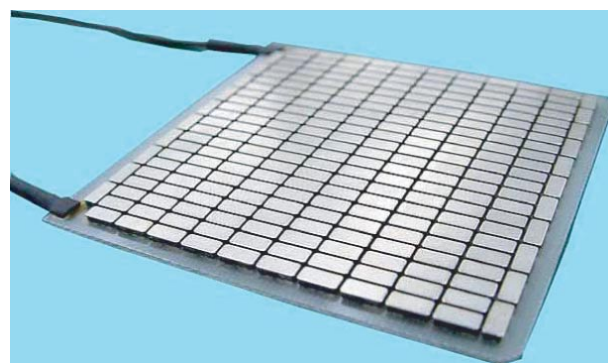


写真1 大型ペルチェモジュール（70×70 mm）
Large size Peltier module.

開発した熱電モジュールの構造の特徴は以下の3点にまとめられる

- (1) 各素子は上下で固定せず，素子中央部を絶縁体で固定（機械的接続）
- (2) 半導体素子はその上面・下面で小片の銅電極（ニッケル被覆）で接続され熱電モジュールを形成（電気的接続）
- (3) 素子と電極間は，はんだで固定

表1に構成と材料を示す。

表1 大型ペルチェモジュールの構成と材料
Components and materials of large size peltier module.

項目	構成	材料
電極	サイズ： 2.3×5.0×0.4 mm	ニッケルめっき無酸素銅
半導体素子	サイズ： 2×2×2.3 mm 対数：248	ビスマステル
はんだ	—	すず・鉛はんだ
セパレータ	サイズ： 71×72×0.5 mm	耐熱性強化樹脂
モジュール	サイズ： 71×72×3.2 mm	—

2.3.2 本構成の特長

本モジュールではp形、n形の半導体素子が、上下面にはんだ接続される半導体の中央部に耐熱エポキシ性樹脂により固定され、また、上下面の電極は対毎に接続されているため、セラミック基板で一体に構成されたモジュールと比較して熱膨張によるせん断応力が作用しにくい、つまり熱ストレスに対して信頼性が高く、大面積化が容易にできる特長を有している。特にペルチェモジュールの特長である急加熱・急冷される用途に対しても大サイズペルチェの適用が可能であり、熱ひずみに対する信頼性が高い。

2.3.3. 製品ラインアップ

今回、開発した70×70 mm大型ペルチェモジュールの製品ラインアップとして、図5に示す標準シェル、図6に示すハードシェルを開発した。写真1から写真3にそれらの外観を示す。

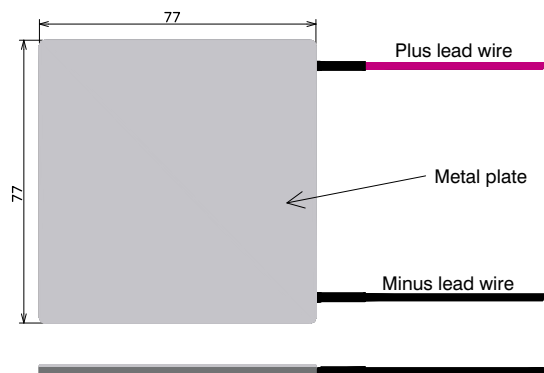


図5 標準シェルの構造
Structure of shell-type 70 mm × 70 mm Peltier module.

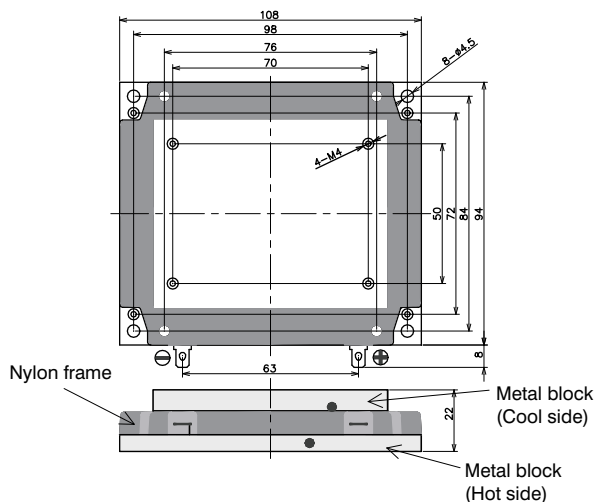


図6 ハードシェルの構造
Structure of solid shell-type 70 mm × 70 mm Peltier module.

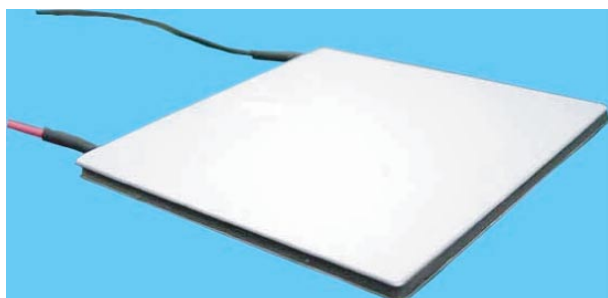


写真2 標準シェルの外観 (77×77×4.1 mm)
External view of shell-type module.

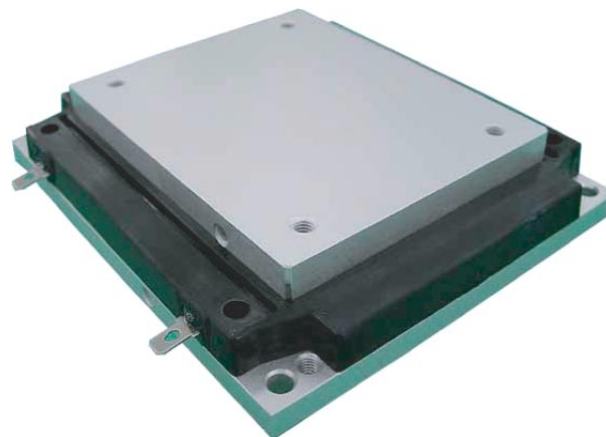


写真3 ハードシェルの外観 (94×108×22 mm)
External view of solid shell-type module.

使用目的に応じて使えるように、標準シェル及びハードシェルの2種類を開発した。これらは、70×70 mm大型ペルチェモジュールを結露環境下でも使用できるようにシールを施したもので標準シェルは、厚さ4.1 mmと薄型で、組み込みスペースに制限がある場合に適している。ハードシェルは、堅牢な構造で、耐衝撃性にも優れており、幅広い用途に使用が可能である。

標準シェルの構造は、吸熱側及び放熱側に、温度の安定化と均熱化を目的として、内側に絶縁層を有する厚さ0.5 mmのアルミ板で70×70 mm大型ペルチェモジュールを挟み込み、側面を弾性接着剤でシール及び固定したものである。

ハードシェルは、標準シェルの構造を更に堅牢にしたもので、吸熱側と放熱側のアルミ板とそれらの固定に使用されるナイロン枠から構成される。モジュールとアルミ板の絶縁は、標準シェルと同様にアルミ板の内側に絶縁層を設けている。モジュール導体とアルミ板間は、標準シェル及びハードシェルともにDC500 Vに耐える構造となっている。

表2に標準シェルとハードシェルの仕様を示す。

表2 標準シェルとハードシェルの仕様
Specifications of shell-type and solid shell-type modules.

項目	仕様	
	ハードシェル	標準シェル
型名	OKT-7070-H	OKT-7070-S
最大電流 (A)	6.0	
最大電圧 (V)	27.0	
最大温度差 (℃)	65.0	67.0
最大吸熱量 (W) ($\Delta T = 0^\circ\text{C}$)	120	120
内部抵抗 (Ω) ($T_h = 50^\circ\text{C}$ で測定)	$3.2 \pm 10\%$	
素子数	P / Nペア241素子	
電源取り出し	端子タイプ	リード線 (赤: +, 黒: -)
外形寸法 (mm) (L × W × H)	94 × 108 × 22	77 × 77 × 4.1
重量 (g)	520	90
リード線引張強度 (kg)	2	

3. 主要な特性

3.1 熱電特性

図7に70×70 mm大型ペルチェモジュールを用いた標準シェル（型名OKT-7070-S）の特性を示す。図7は、モジュールに流れる電流をパラメータとして、吸熱量 Q －温度差 ΔT_g 特性及び供給電力 W －温度差 ΔT_g 特性をプロットしたものである。

ペルチェモジュールの吸熱量 Q －温度差 ΔT_g 特性は、入力電流が一定の条件では、低温側（ T_c ）と高温側（ T_h ）の温度差（ ΔT_g ）が大きいほど吸熱量が減少する。つまりペルチェモジュールを用いて最大の吸熱量（ Q_{max} ）を得ようとする場合は $\Delta T_g = 0$ （放熱面と冷却面の温度が等しい）となる。即ち、最大吸熱量は、 $\Delta T_g = 0$ の条件で定義している。図から読み取られるように標準シェルの最大吸熱量は130 Wに達していることが分かる。

また、最大温度差 ΔT_g は、吸熱量が0の時に定義される。グラフから仕様の最大電流6 Aにおける最大温度差 ΔT_g は、約68℃である。

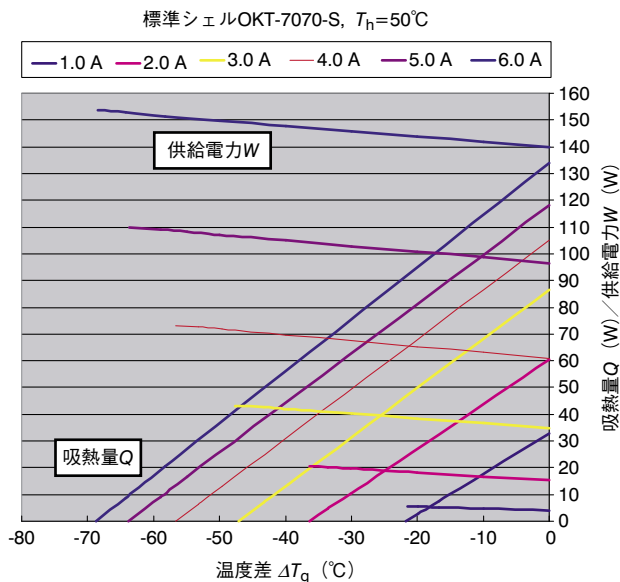


図7 標準シェルの熱電特性
Thermo-electric performance of shell-type module.

3.2 熱サイクルに対する耐久性能

従来のペルチェモジュールは、急冷・急加熱による熱的なひずみに対して、著しく弱いという欠点があった。また、通常の温度制御で行われているオン・オフ制御（電源の入り切りだけで温度制御を行う方法）に対しても長期耐久性能に問題があった。

今回、開発した大型ペルチェモジュールは、モジュール素子の中央部にてエポキシ樹脂により固定されるスケルトン方式を採用しているため、セラミック基板で一体に構成されたモジュールと比較して熱膨張によるせん断応力が作用しにくく、熱ひずみに対する信頼性が高いという特長を有している。

熱ひずみに対する信頼性を評価するため、図8に示す方法で70×70 mm大型ペルチェモジュールOKT-7070-Mの耐久性を試験した。試験結果を図9に示す。図9は、横軸に熱サイクル回数、縦軸にモジュールの抵抗値の経時変化をグラフにしたものである。50,000サイクルまで抵抗値は安定しており、熱ひず

みに対する耐久性が十分にあることが分かる。

図10は、ハードシェルについて、熱ひずみに対する耐久性を試験した結果である。熱サイクルは、ハードシェルの吸熱面の温度を−15℃～+110℃の繰り返しになるように、モジュールの電流の極性を反転させて行った。10,000回以上、安定した耐久性が得られた。

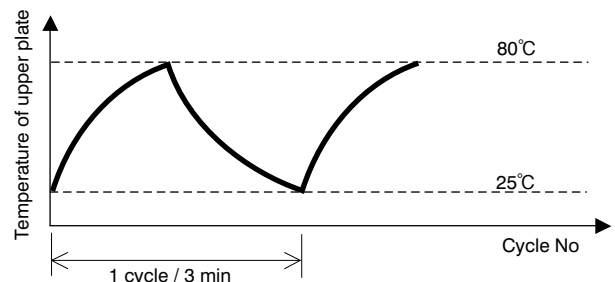
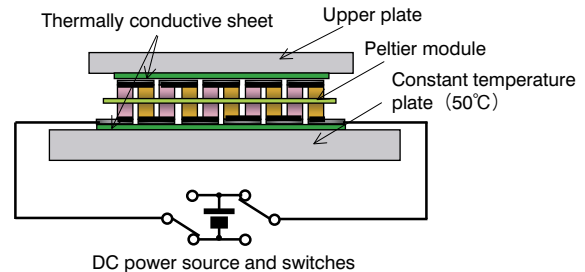


図8 熱サイクルによる耐久試験
Durability test for thermal stress.

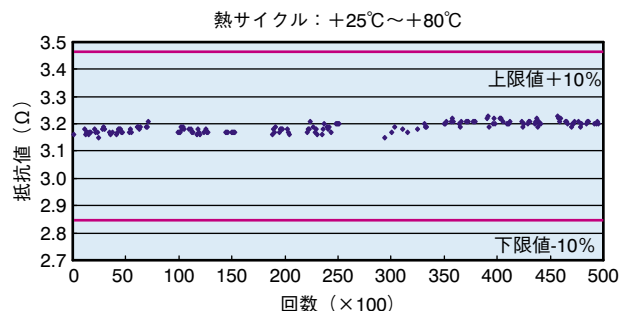


図9 70×70 mm大型ペルチェモジュール（OKT-7070-S）の熱サイクル試験結果
Thermal cycle test results of 70 mm × 70 mm large size Peltier module.

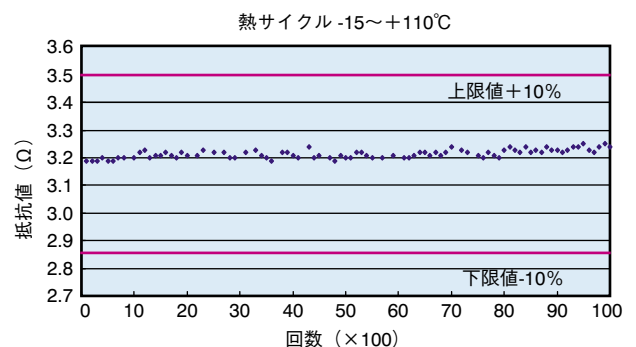


図10 ハードシェル（OKT-7070-H）の熱サイクル試験結果
Thermal cycle test results of solid shell-type module.

4. 応用分野

大型ペルチェモジュールは、大サイズかつハイパワーで、急冷・急加熱やオン・オフ制御にも十分な耐久性を持っているので、広範な用途に適用が可能である。これらの特長を背景にして、今後の適用の拡大が期待される。現状の適用分野を表3に示す。70×70 mm大型ペルチェモジュールは、大サイズにかかわらず、急速冷却・加熱して使用できるため、様々な用途に適用できると期待している。

表3 適用分野
Applications of Peltier modules.

市場・分野	適用装置	目的
半導体分野	半導体用液体循環冷却装置 半導体ウエハ試験装置 (ブローバ) ウエハ・ベーキング後の 急冷装置	高精度化 高速冷却
医療・バイオ	医療用アイシング装置 DNA増幅器	検査合理化 検査自動化 低騒音(水冷)
エレクトロニクス	レーザダイオード試験装置 部品検査装置(小型恒温槽)	小型化高精度化
産業用分野	クーラ, 検査装置, 製造装置 制御ラック温度制御 レーザ加工機冷却	小型化
車載	クーラボックス等	小型化

5. おわりに

今回、開発した70×70 mmサイズの大型ペルチェモジュールならびにその応用製品について、その概要を報告した。モジュールは、素子を素子中央にて保持するスケルトン方式で開発を行った。このモジュールの特長は、従来の構造では困難であった、大サイズでありながら熱ひずみに対する耐久性があり、高い吸熱量を持つ点にある。熱ひずみに対する耐久試験でも大変安定したモジュールを開発できた。

今後、これらの特長を生かして広範な用途への適用が期待されており、応用製品の開発を含めて市場への適用拡大を行っていく所存である。