

特集 両面放熱パワーモジュール「パワーカード」の実装技術*

Assembly Technologies of Double-sided Cooling Power Modules

坂本善次

Yoshitsugu SAKAMOTO

A Double-side Cooling Power Module was newly developed and released in the automotive market in 2007. It has a unique structure and soldering process on the top-side of the power device in order to decrease the temperature of the power device through efficient heat transfer. However, the top-side of a power device is different from the back-side due to the presence of transistor circuit cells which are susceptible to damage due to mechanical stress. Therefore the solder on the top-side of power devices must be less stress to them. Furthermore, the solder must be lead-free in order to produce an environmentally friendly product. As a first development step, we have developed highly reliable lead free solder material by analyzing the stress and thermal fatigue of various materials. Subsequently, we have developed a new soldering method to control the solder thickness in the optimum conditions on both sides of power devices and to eliminate voids or to minimize size of voids in the solder. Consequently, we have developed new solder material and assembly method for Double-sided Cooling Power Modules in order to achieve downsizing and the dissipation of the massive heat caused by the high power output.

Key words : Lead free solder , Power module , Mechanical property , Power device , Joint reliability

1. はじめに

1997年、トヨタ自動車株式会社からプリウスが発売されて以降、様々なジャンルのハイブリッド車¹⁾がリリースされてきた。ハイブリッド車にはガソリン車と比較し、モータ/発電機、バッテリー、およびPCU(パワーコントロールユニット)が必要となるが、プリウスのようなハイブリッド専用車は別として、多くの場合ガソリン車との両立性が求められる。

近年、エンジンルームにはさまざまな部品が搭載されており、新規部品が搭載される空間はほとんどなく、唯一ハイブリッド化で不要となる補機バッテリーのみがPCUに与えられた空間である。

本特集号の論文ハイブリッド自動車用インバータ両面放熱モジュール「パワーカード」で述べたように、

株式会社デンソー^{2),3)}では大型ハイブリッド車向けの小型・高出力PCUを開発し、2007年5月にレクサスLS600h、2009年5月にレクサスRX450hに搭載された。このPCUでは、パワー半導体素子を両面から冷却する新しい冷却構造を採用し、高出力を維持したまま、補機バッテリーサイズという小型化を実現した。両面冷却を実現するためには、パワー半導体素子の表裏面にヒートシンクを接続し、高い信頼性を満たす実装技術が求められた。Fig. 1に両面放熱パワーモジュール(パワーカード)の概略製造工程を示す。本論文では、Fig. 1の工程のうち、パワーカードの機能を成立させ品質保証する上で重要なパワーデバイス実装の工程・材料開発に絞って述べる。

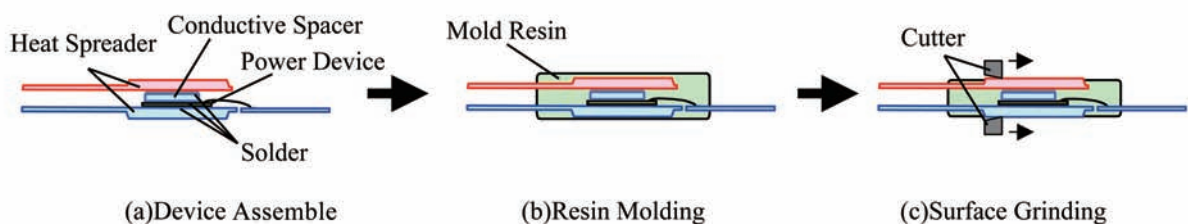


Fig. 1 Manufacturing process of Double-sided Cooling Power Module

*2011年8月9日 原稿受理

2. パワーカードの実装上の課題

前述したように、既存の車両でガソリン車とハイブリッド車を両立させるためにPCUに与えられた唯一の空間は補機バッテリーの跡地で、その容積は約10Lである。

Fig. 2にPCUの概要を示す。パワーカードは、PCUを構成する主要部品であり、積層冷却器に挟み込まれた状態で搭載される。パワーカードは、パワー半導体素子の両面に放熱板をはんだ付した構造を採用しており、パワー半導体素子が動作する際に発生する熱を効率的に冷却器に放熱し、大電力化と小型化を両立させている。Fig. 3にパワーカードの内部構造を示す。

このような両面放熱構造特有の実装上の課題に加え、エコ製品の代表であるハイブリッド車の主要部品であるが故に、Pbフリーはんだで実装することが必達であり、実現に向けては、材料・構造・工法各々に課題がある。大別すると三点である。

(1) はんだ材料

従来構造（片面冷却）では、素子表面はAlワイヤにより結線するが、両面放熱構造では表面のほぼ全面にCuの放熱ブロックをはんだ付する。ここで懸念されるのは、素子表面に形成されている回路へのダメージで

あり、回路への影響の少ない鉛フリーはんだを採用する必要がある。

(2) 構造

パワーモジュールは複数整列された状態で積層冷却器に挟まれており、上下放熱板間の寸法精度と平行度が重要となる。また、はんだ付部は素子の発熱・冷却により膨張・収縮が繰り返され、はんだ厚が薄い場合には熱疲労によりクラックが発生し放熱性が低下する。厚すぎてもはんだ材料の熱伝導率は銅より小さく、放熱性が低下するため、所定の厚さにする必要がある。これらの構造を実現するはんだ付を姿勢制御はんだ付と呼ぶことにする。

(3) 工法

ここでの主な問題は、はんだボイド（気泡）である。ボイドの主原因は、フラックスの分解ガスであるため、パワー半導体では、水素や水素・窒素の混合ガスを使用したフラックスレスはんだ付が一般的に使用されている。さらに鉛フリーはんだの場合は、従来の錫-鉛はんだに比べ表面張力が大きく、かつ、酸化し易いため濡れ性に劣ると言われている。^{4),5)}

以下、これら三課題の取り組みについて順に述べる。

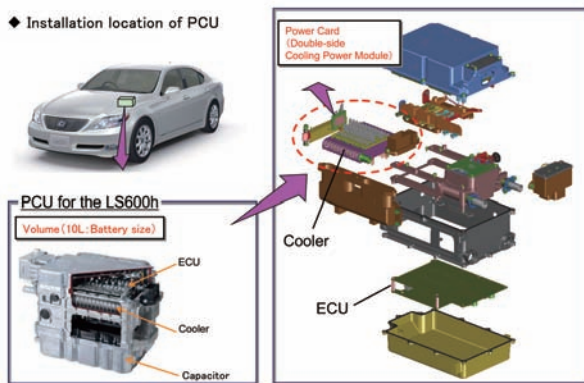


Fig. 2 Outline of PCU

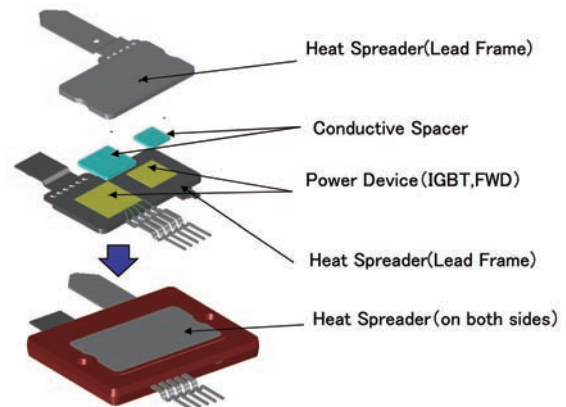


Fig. 3 Internal Structure of a Double-side Cooling Power Module

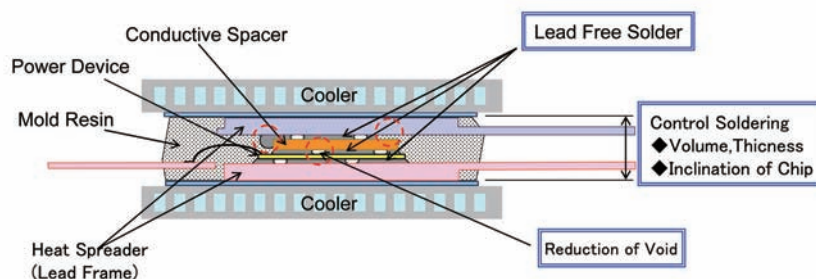


Fig. 4 Key issues of Double-sided Cooling Power Modules

3. Pbフリーはんだ材料

Fig. 5に素子上面はんだ付部の詳細を示す。素子上面には硬いSiの上に柔らかいAl合金で回路（Al電極）が形成されており、厚さは約 $5\mu\text{m}$ である。このような部分に例えば、一般的なPbフリーはんだである、SnAgCu系のような硬い材料ではんだ付すると、柔らかいAl電極にクラックが入り特性不良となることが懸念される。このような電極クラックを抑制するには、電極材料であるAl合金の機械的特性を考慮したはんだ材料の最適設計が必要である。

そこではんだ材料設計の考え方としては、Al電極のクラックは素子特性へ直接影響を及ぼすことを考慮し、はんだを優先的に変形させることではんだを第一寿命に設定し、Al電極のクラックを抑制することとした。

Fig. 6は素子のAl電極とはんだの線膨張係数、ヤング率、0.2%耐力（降伏点の代用特性）を比較したものである。各々左側が電極材料であるAl-Si系合金⁶⁾、右側がPbフリーはんだ全般の物性^{7), 8)}を示す。このうち、はんだの線膨張係数はAl電極と同程度であり、ヤング率はAl電極よりかなり小さく、双方ともAl電極への影響は小さいと考えられる。材料の降伏点に相当す

る0.2%耐力は材料によって異なり、Pbフリーはんだ材料全般の0.2%耐力は、室温付近で10~25MPaの範囲にある。Al電極は、99mass%以上のAl-Si系合金であり、Pbフリーはんだも一般的には90mass%以上のSn系合金であるため、線膨張係数やヤング率の調整は困難である。我々は、はんだの塑性変形特性の代表値でもある0.2%耐力に着目した。

Fig. 7に、Al電極とはんだの0.2%耐力を詳細に比較した結果を示す。一般的なPbフリーはんだであるSnAgCu系（実線）はんだでは、低温側で電極であるAl-Si系（破線）の0.2%耐力を上回る領域が存在し電極クラックが懸念される。電極クラックを抑制するには、全温度領域において、電極の0.2%耐力を超えないような特性を有する材料が必要であり、はんだの塑性変形特性の最適化が必要であると考えた。しかしながら、単に電極の0.2%耐力を超えない材料であるばかりでなく、熱疲労特性も重要な特性であるため、両者を満たす材料を選択する必要がある。以後、材料選択の詳細について述べる。

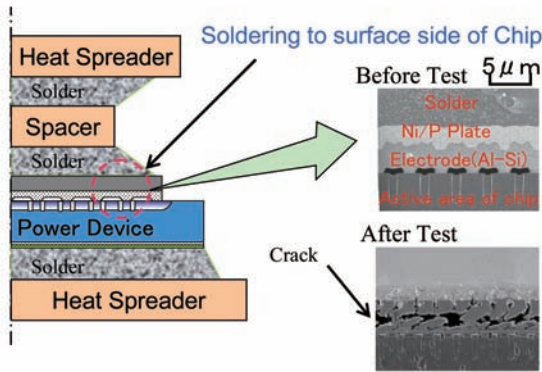


Fig. 5 Detail view of the solder joint layer

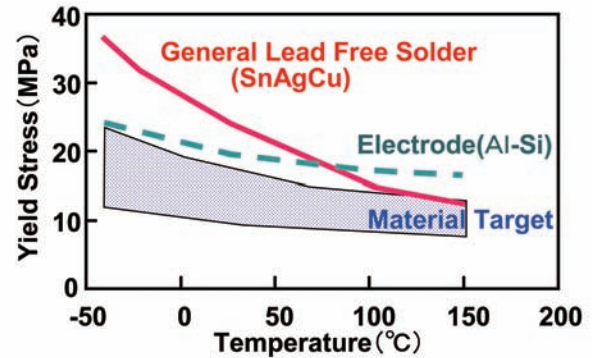


Fig. 7 Comparison of the yield stress between the electrode material and solder

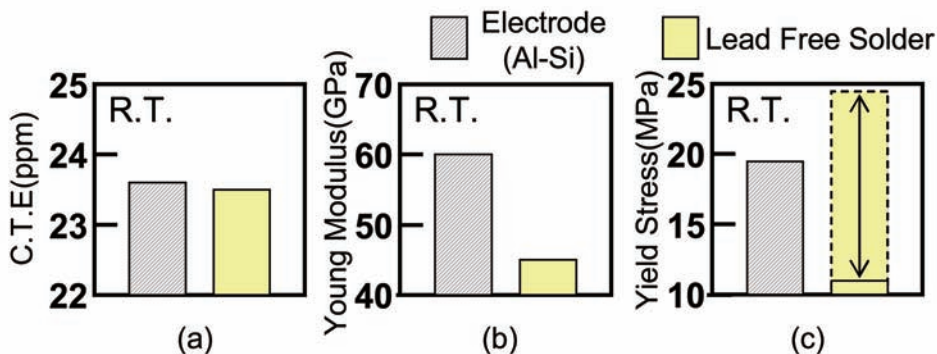
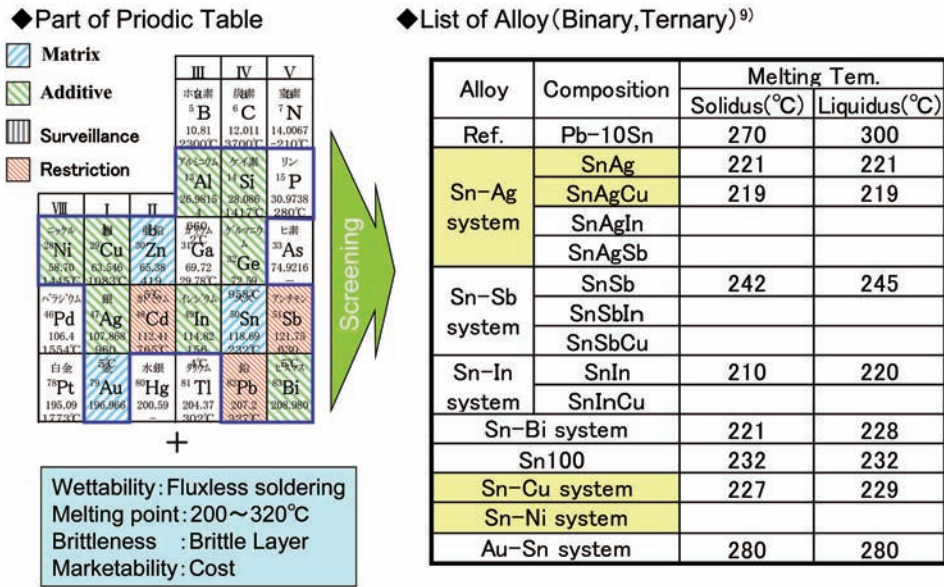


Fig. 6 Mechanical properties of the Al-Si electrode and solder

Table 1 Solder alloy list⁹⁾



3.1 合金系の絞り込み

Table. 1に合金系の絞り込みの概略を示す。Table. 1の左側は周期律表の一部で、はんだ材料として適用の可能性のある元素、主成分候補元素、添加成分候補元素、規制対象元素および監視対象元素を示している。詳細は省略するが、主成分、添加成分の組合せにより二元、三元系合金をリストアップし、接合性、融点などによりスクリーニングした結果、右側の表に示す合金系を第一次候補合金系とした。さらに入手性（市場性）、環境面を考慮し最終的にSnAg系、SnAgCu系、SnCu系、SnNi系の四種類の合金系を候補材として決定しAl電極への影響を評価した。

3.2 Al電極への影響評価

3.2.1 はんだの0.2%耐力

Al電極クラック抑制のための材料の狙いは、実使用温度域において、はんだの0.2%耐力をAl電極の0.2%耐力より小さくすることである。Fig. 8は候補材四種類の0.2%耐力とAl電極の0.2%耐力の温度依存性を示したものである。SnAg系およびSnAgCu系が低温側にてAl電極の0.2%耐力を上回る領域が存在するが、SnCu系、SnNi系では、ほぼ全温度域において電極の0.2%耐力を下回る値を示している。従って、はんだ材料の0.2%耐力の観点から言えば、Al電極クラックを抑制するには、SnCu系やSnNi系のような0.2%耐力を有した材料が適性である。

3.2.2 Al電極の歪解析

Fig. 8の変形特性を基に、FEMによりAl電極歪とはんだ歪の解析を実施した。解析モデルは二次元平面歪モデルとし、-40⇔150°Cの温度サイクルを与え、弾塑性+クリープ解析によりSnAgCu系、SnCu系、SnNi系の三種類について行った。結果をFig. 9に示す。右上の変形図より電極端部とはんだ端部に歪集中していることがわかる。右下の図はAl電極とはんだ歪集中部の値をプロットしたものである。Al電極の歪は、塑性変形しやすいはんだ(=0.2%耐力の小さいはんだ)程小さくなるが、Al電極の0.2%耐力より小さいSnCu系とSnNi系の差は軽微である。一方、はんだの歪は、塑性変形しやすい材料(=0.2%耐力の小さいはんだ)程、大きくなるものの、その差は軽微である。これは、本解析条件においては、どのはんだ材料も降伏点を超えており、塑性歪に大差がないためと考えている。

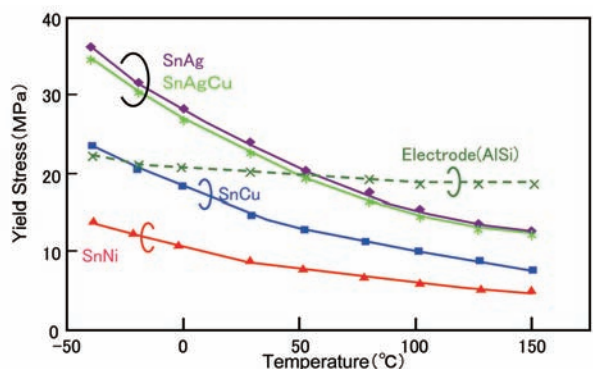


Fig. 8 Temperature dependence of yield stress

3.3 はんだの熱疲労特性の評価

熱疲労特性は、Coffin-Manson則を参考に、冷熱サイクル環境下での疲労線図 (S/N線図) により評価した。以下、S/N線図の作成方法について述べる。(Fig. 10 参照)

3.3.1 冷熱サイクル環境下でのS/N線図の作成方法

疲労寿命 N_f は歪振幅 $\Delta \epsilon$ により、(1) 式のように表される。(1) 式において、歪振幅 $\Delta \epsilon$ は構成材料の線膨張係数差 $\Delta \alpha$ により (2) 式のように表される。

$$N_f \propto C \Delta \epsilon^{-n} \quad (1)$$

(C, n : 材料定数 N_f : 寿命 $\Delta \epsilon$: 歪振幅)

$$\Delta \epsilon \propto \Delta \alpha \cdot f(T) \cdot g(t) \quad (2)$$

($\Delta \alpha$: 線膨張係数差 $f(T)$: 温度依存項 $g(t)$: 時間依存項)

モデルTPであるが、パワーカードが積層構造であることに着目し、Fig. 10左下のように単純化したはん

だ評価用TPを設定した。その際のポイントは、はんだそのものの疲労特性を把握するために、必ずはんだで破壊するようにTPを構成することである。本論文では、異なる線膨張係数 (α) の金属で構成することとした。このTPにて金属AおよびBの組合せを変えることで、 $\Delta \alpha = 2.2 \sim 11.5 \text{ppm}$ の六種類の接合体を設定した。

次に、この接合体に環境条件である $f(T)$ と $g(t)$ を負荷する。今回は、冷熱サイクル試験により熱歪 $\Delta \epsilon$ を負荷することとした。この冷熱サイクル試験からは、六種類の $\Delta \alpha$ の組み合わせ毎に各々、Fig. 10中央のように、負荷サイクルに対するクラック進展線図が得られる。各々の $\Delta \alpha$ に対する寿命 N_f は、20%クラック進展時のサイクル数とした。

最後に、Fig. 10右側のように、縦軸にFEMから算出した歪振幅 $\Delta \epsilon$ 、横軸にクラック進展線図から決定した寿命 N_f を取り、S/N線図が完成する。

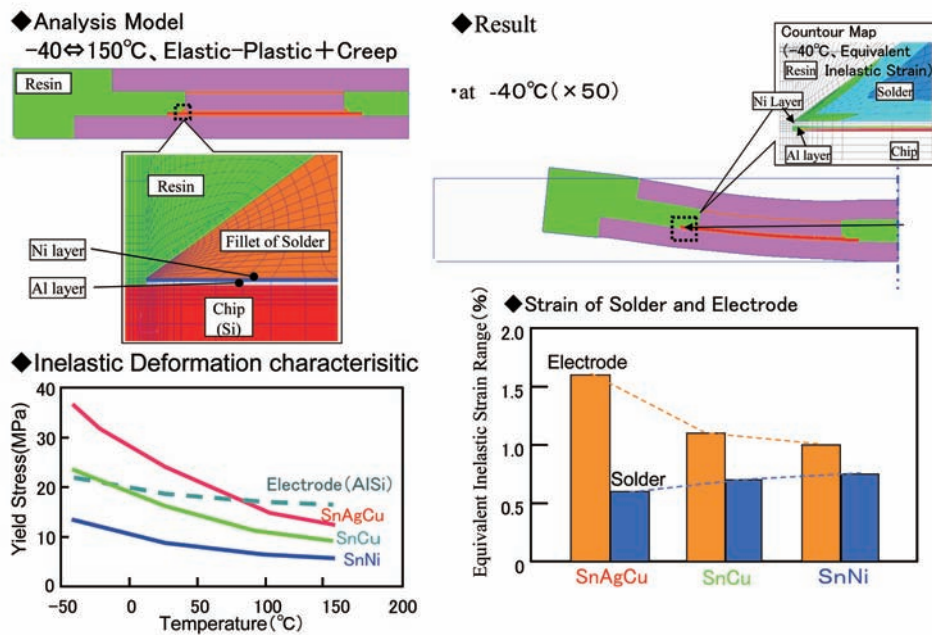


Fig. 9 FEM analysis of the solder joint layer

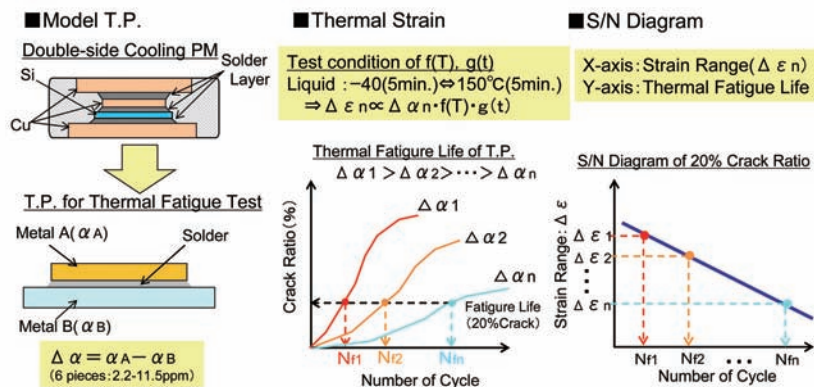


Fig. 10 Estimation method of the thermal fatigue life diagram

3.3.2 歪振幅の算出

歪振幅 $\Delta \varepsilon$ は、各はんだ評価TPとはんだ材料毎に、三次元平面歪モデルにて弾塑性+クリープ解析することで算出した。

3.3.3 寿命の計測

はんだ評価TP毎に所定のサイクルで抜き取り、浸透液に浸漬した後、金属Aを強制的に剥離させた剥離面の画像処理を行うことでクラック進展率を測定した。クラック進展率を抜き取りサイクル毎にプロットすることで、Fig. 11のようなクラック進展線図が得られる。クラック進展線図において20%クラック進展時を寿命とした。

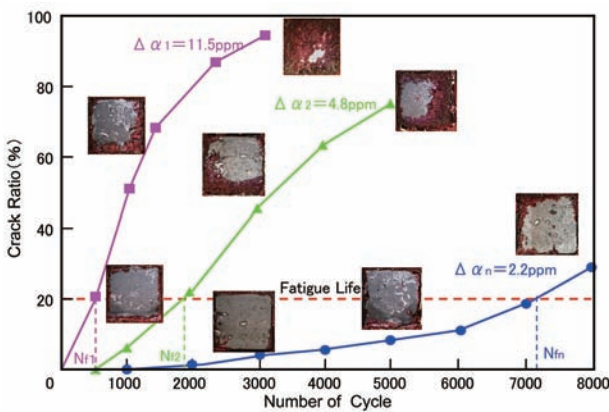


Fig. 11 Crack ratio of TP

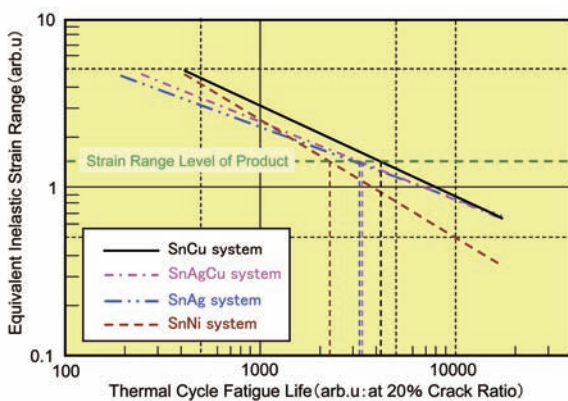


Fig. 12 Fatigue curve of solder

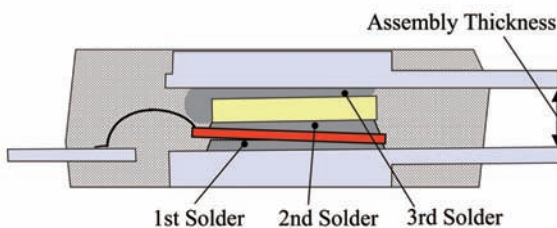


Fig. 13 Key issues of Position Control Soldering

3.3.4 はんだのS/N線図

縦軸にFEMにより算出した相当塑性歪振幅、横軸にTP各々の寿命をプロットすることで、Fig. 12に示すSN線図が完成する。製品の歪振幅レベルでの熱疲労特性を小さい順に並べると

(劣) ←SnNi系<SnAg系≒SnAgCu系<SnCu系→ (優) となり、SnCu系が最も熱疲労特性に優れていることがわかる。

一方、Al電極へのダメージを小さい順に並べると (Fig. 9参照)

(優) ←SnNi系≒SnCu系<SnAgCu系≒SnAg系→ (劣) となり、SnNi系、SnCu系が電極へのダメージ (歪) が小さい。

以上の結果を総合的に判断し、SnCu系をパワーカードのフリーはんだ材として採用した。

4. 姿勢制御はんだ付

パワーカードにおいて、設計的に決められた上下放熱板間に、パワー半導体素子の上下のはんだ厚さを制御しかつ、はんだの過不足なく実装することを姿勢制御はんだ付と呼んでいる。Fig. 13に姿勢制御はんだ付の課題を示した。

姿勢制御はんだ付の主要課題は二つある。一つは、トータルのはんだ量 (平均はんだ厚) をコントロールしつつ、パワー半導体素子の傾きを抑制し、はんだの薄い部分をなくすことである。はんだの薄い部分は熱応力が集中し、クラックが発生しやすくなるためである。このうち、トータルのはんだ量は、プリフォーム材 (成形はんだ) を採用することでコントロール可能であるので、素子の傾きを抑制しはんだの薄い部分をなくし、設計的に必要な最低はんだ厚を確保することが第一の課題である。

他の一つは、三層あるはんだ層すべてに対し、過不足なくはんだを満たすことである。一層目 (素子下) と二層目 (素子上) のはんだ層は、製品性能上重要な部分であるため、第一の課題を解決することにより平均はんだ厚と最低はんだ厚が制御される。一方、素子や放熱ブロックの厚さばらつき、プリフォーム材の体積ばらつきも少なからず存在する。そこで設計思想として、三層目のはんだ層にばらつき吸収機能を持たせることとした。具体的には、三層目のはんだ層に、不足が生じない程度の過剰なはんだを供給し、余剰となったはんだを溢れさせることである。第二の課題は、

三層目のはんだを害なく溢れさせることである。

第二の課題については、本特集号の論文ハイブリッド自動車用インバータ両面放熱モジュール「パワーカード」で述べられているので、ここでは、第一の課題について述べる。

4.1 はんだ厚さの制御方法

Table 2に、本研究で比較検討したはんだ厚さの制御方法を示す。三手法ともに一長一短があり、採用に当たっては各々課題が残る。(a)の突起を形成する方法はコスト面では有利であるものの、プレス等で突起を形成した場合には、突起と反対面の平行度が悪化する。(b)のワイヤボンディングを用いた方法では、ワイヤボンダが必要であり、例えばAlワイヤの場合には、はんだに濡れずボイド等の欠陥が懸念される。(c)の粒子入りはんだの場合は、コスト、粒子の材質の適正化、分散性、粒子を含有したはんだの信頼性など、多くの課題が考えられるが、最もポテンシャルが高いと判断し採用することにした。

Table 2 Thickness control method of the solder layer

	(a) Heat Spreader with Jut	(b) Wire	(c) Particles in Solder
Cost	○(1)	△(1.6)	△(2)
Wetting Balance	○	×	○
Thickness Control	△	△	○

Remark [○ : good / △ : average / × : bad]

4.1.1 粒子入りはんだの開発

(1) 粒子材料の選定

Table 3に、はんだ付性および厚さ制御性の観点から種々の粒子材料を比較した結果を示す。はんだ付性については、特殊な工法を用いずPbフリーはんだに濡れること、制御性については、Pbフリーはんだに対して食われが少なく、形状安定性が高いことが必要である。加えて、耐食性およびコストを考慮し、Niが最適であると判断した。

さらに、制御性に関しては真球度も重要なファクターである。Fig. 14に、市販のNi粒子と開発粒子の形状を示す。市販の粒子は歪な形状をしているのに対し、開発粒子は真球度が高いことがわかる。

(2) Ni粒子入りプリフォーム

Table 4にNi粒子入りプリフォームの製造方法を示す。公知の工法として、サンドイッチ圧延がある。サンドイッチ圧延は、テープ状はんだの間にNi粒子を散布、圧延しながら粒子をはんだ中に埋め込む工法である。機械的に埋め込むため、粒子とはんだの密着性が不十分であり、はんだの表面酸化物が増加するためはんだ付性が問題となった。一方、開発工法では、溶解時点ではんだとNi粒子をはんだ付するため、はんだと粒子が金属的に接合されており、密着性は良好である。圧延以降の工程は、通常のプリフォームはんだと同様であるためはんだ付性も同等である。

Table 3 Comparison of ball material

Candidate Element	Wetting Balance	Control	Corrosion	Cost
Ag	◎	×	○	×
Cu	○	△	○	○
Au	◎	×	○	×
Ni	○	○	○	○
Pt	◎	○	○	×
Zn	×	×	×	○
Fe	△	○	×	○

Remark [◎ : excellent / ○ : good / △ : average / × : bad]

Table 4 Manufacturing of preformed solder

	Developed Method	Conventional Method
Adding Method of Ni-ball		
Quality Result	Cross-Section 	Cross-Section
	Scanning Acoustic Tomograph 	Scanning Acoustic Tomograph
	X-ray Photograph 	X-ray Photograph

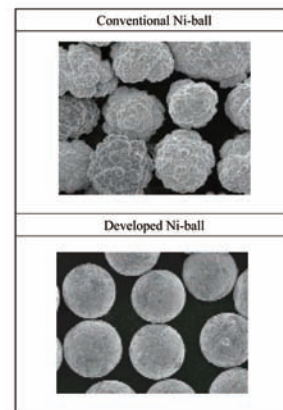


Fig. 14 Shape of Ni-ball

(3) Ni粒子入りはんだの信頼性

Fig. 15にNi粒子を含有するはんだの信頼性評価結果を示す。Ni粒子入りはんだの機械的特性、疲労特性は、Ni粒子なしのはんだと同等であり問題ないことを確認した。このことは、Ni粒子はマトリクスであるPbフリーはんだに溶解し難く、はんだとの界面に数 μm のNiSn合金を介して存在しており、PbフリーはんだとNiの複合材料と類似した形態であると考えれば理解できる。複合材料の機械的特性 M は、(3)式で与えられる。(3)式により本研究のNi粒子入りはんだの場合を適用すると、例えば、Ni粒子添加量を0.5%とし、室温での引張強度を計算すると、 $m_1=0.50\%$ 、 $m_2=99.50\%$ であり $M_1=400\text{MPa}$ 、(Niの引張強度)、 $M_2=29.0\text{MPa}$ (SnCu系はんだの引張強度)とすれば、Ni粒子0.5%添加したSnCu系はんだの室温での引張強度は、 $M=30.86\text{MPa}$ となりNi粒子なしの引張強度の29.0MPaとほとんど変わらない。すなわち、Ni粒子の存在が影響するとしても、Niの機械的特性の0.5%程度であり、ほとんど無視できる。以上の理由より、機械的特性、疲労特性に対してNi粒子添加の影響が認められなかったと考える。

$$M = \frac{m_1 M_1 + m_2 M_2 + m_3 M_3 + \dots + m_n M_n}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n} \quad (3)$$

M : 複合材料の機械的物性
 $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$: 各構成材料の比率 (合計100%)
 $M_1, M_2, M_3, \dots, M_n$: 各構成材料の機械的物性

4.2 はんだ溢れの制御

はんだ溢れ制御の考え方としては、一層目(素子下)と二層目(素子上)のはんだ体積ばらつき(プリフォ

ーム材の公差)、素子と放熱ブロックの厚さばらつきを三層目のはんだ層に過剰のはんだを供給し、余剰のはんだを溢れさせ、かつ適切に吸収することである。溢れた余剰のはんだは、放熱板に設けた溝に吸収させ無害化する構想であるが、本特集号の論文ハイブリッド自動車用インバータ両面放熱モジュール「パワーカード」に述べられているので割愛する。

5. 低ボイドはんだ付

鉛フリーはんだは、前述の通り濡れ性に劣り表面張力も大きいためボイドが生じやすい。放熱性を低下させないためにも、安定した接合品質を確保するためにも、はんだ付におけるボイド低減は必須である。

ボイドの主原因は、はんだが濡れ広がる際の雰囲気ガスのトラップやはんだ表面の酸化膜による濡れ不足である。Fig. 16は、水素雰囲気中で素子をはんだ付される際にボイドが形成される課程をX線透過画像の動画で観察可能な装置である。Fig. 17に概要を4コマに省略して示す。Fig. 17のように、従来はんだ(PbSnはんだ)がほとんど雰囲気ガスをトラップすることなく低ボイドではんだ付されるのに対し、Pbフリーはんだでは、雰囲気ガスのトラップが多く、結果としてボイドが多く発生していることが確認できた。

このような鉛フリーはんだの短所を解消するはんだ付工法として、真空はんだ付法や溶融はんだ滴下法が実用化されている。このうち真空はんだ付法は、トラップされたボイドを低減する方法であり、はんだを溶融後に減圧することにより、トラップされたボイドを脱泡する方法と、減圧下ではんだを溶融した後、圧力を戻す(相対的に加圧する)ことによりボイドを潰す方法である。

	SnCu	SnCu+Ni-ball
Elastic Modulus	30.6~33.6GPa	31.2~34.1GPa
Ultimate Strength	28.8~29.5MPa	29.5~30.2MPa
Yield Stress	12.4~14.3MPa	13.5~15.2MPa

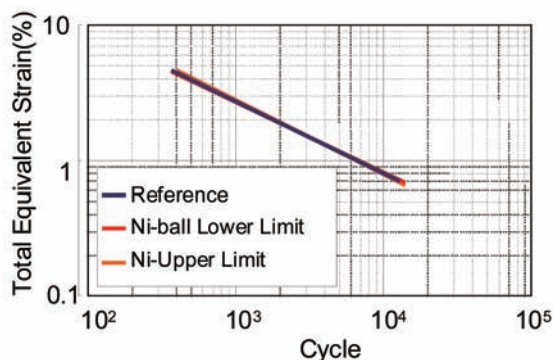


Fig. 15 Reliability for the mechanical stress of solder

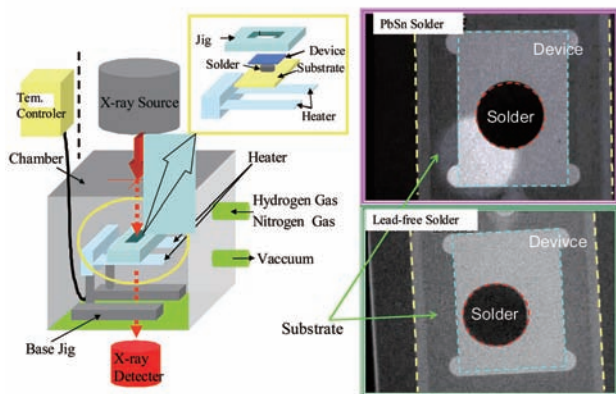


Fig. 16 Apparatus overview for observing the soldering process

5.1 ボイド低減の進め方

ボイドの主原因である雰囲気ガスのトラップを低減する方法には、次の二つがあると考えられる。一つはトラップするガス量を低減することで、他の1つはトラップしたガスを排出することである。このうち、トラップするガス量を低減することは、はんだの濡れ性を向上させたり、はんだの表面張力を低減することに相当し、表面処理やはんだ材料の変更を伴うため対応が

困難である。そこで、本報告では後者の手法であるトラップしたガスを排出する手法を採用した。具体的には、一般的な真空はんだ付装置を使用する方法である。

5.2 真空を用いたはんだ付工法

真空を用いたはんだ付工法は、大別して二通りが考えられる。一つは、はんだが溶融後に減圧にし、ガスを排出する方法で、これを「脱泡法」と呼ぶこととする。他の一つは、はんだが溶融する前に減圧にし、減圧下ではんだを溶融後、圧力を戻し（復圧）、圧力差でボイドを圧縮する方法である。この方法を「圧縮法」と呼び、当社では「圧縮法」を採用している。

5.3 圧縮法によるボイドの低減

Fig. 18に圧縮法でのボイド低減方法を示す。はんだの溶融前に炉内圧力を大気圧 P_0 から圧力 P_1 に減圧する。はんだ溶融後に生じるボイドは、減圧状態=内圧 P_1 である。温度上昇による体積膨張を無視すれば、その後復圧することにより、内圧 P_1 のボイド体積は、圧力比で決まるボイド体積 (P_1/P_0) まで収縮し、最終的なボイド体積が決まる。

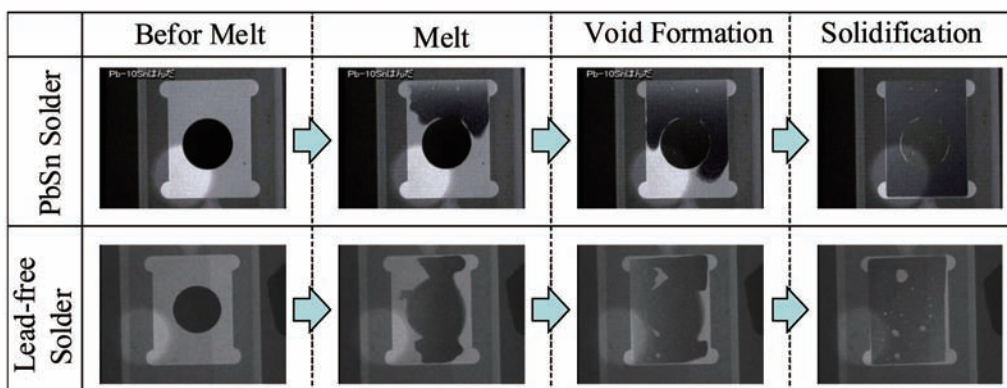


Fig. 17 Transition of void formation

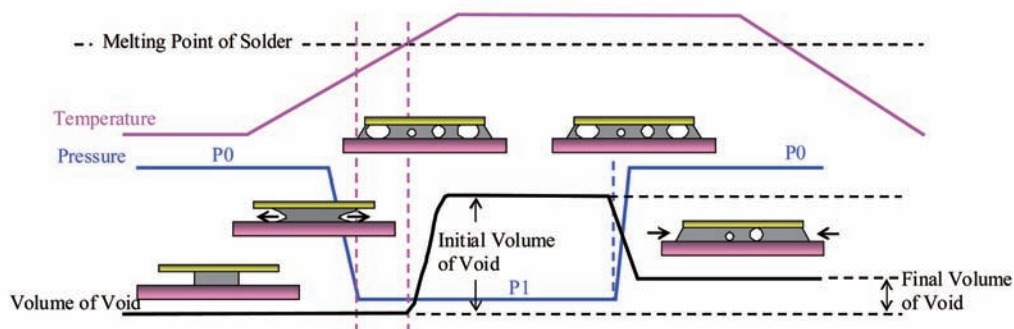


Fig. 18 Transition of vacuum soldering process

次に、圧縮法での計算結果と実際にはんだ付を実施した結果をFig. 19に示す。計算結果は、はんだ溶融時の圧力に係わらず、減圧時に生じるボイド率を10%と仮定し、1気圧に復圧され収縮した後のボイド率を示している。ボイドの実験値が計算値を上回る理由は、低圧力領域は部品に吸着していた水分やその他の汚染物質がガス化し、減圧時のボイド率が10%を超えたためと推定する。

6. おわりに

ハイブリッド車用PCUの小型・高出力化に有効な、パワーカードの実装技術を開発した。具体的には、

- (1) パワー半導体素子の両面はんだ付に最適なはんだとして、SnCu系Pbフリーはんだを選定した。
- (2) Ni粒子入りはんだおよびはんだの溢れ吸収溝により、必要最低はんだ厚さを確保しつつ、余剰はんだを無害化した、姿勢制御はんだ付技術を採用した。
- (3) 低ボイドはんだ付工法として、減圧下ではんだを溶融する、真空はんだ付技術を採用した。

これらの技術を採用することにより、小型・高出力で信頼性の高い実装技術が実現できた。

<参考文献>

- 1) 玉野亨, 馬場陽一郎, “ハイブリッド車 (HV) 向け電子部品の技術革新”, Mate2004
- 2) 水野哲哉, “世界初への挑戦-ハイブリッド車用パワーコントロールユニットを例に”, Mate2008
- 3) 瀬高, 菊池, “HV パワーコントロールユニットの開発”, 自動車技術界シンポジウム (2008)
- 4) 田中和吉 “はんだ付け作業の勘どころ,” 日刊工業新聞社, (1981)
- 5) 大澤直, “電子材料のはんだ付け技術,” 工業調査会, (1983)
- 6) 住友軽金属, “アルミハンドブック”
- 7) 竹本正, 佐藤良平, “高信頼性マイクロソルダリング技術”, 工業調査会 (1991)
- 8) 菅沼克昭, “はじめての鉛フリーはんだ付け技術”, 工業調査会 (2005)
- 9) Thaddeus B, Massalski, “Binary Alloy phase diagrams <second edition>,” ASM International, (1990)

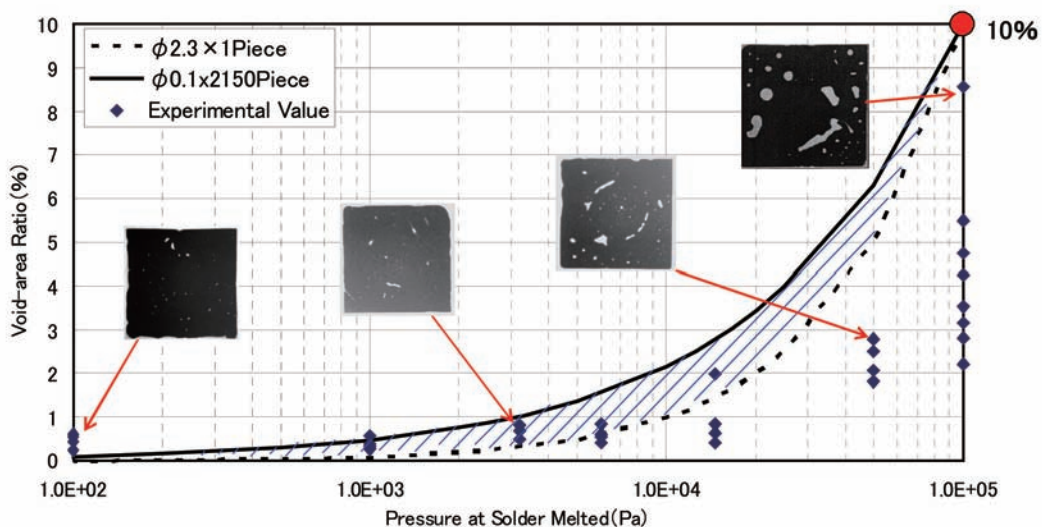


Fig. 19 Relationship between void size and pressure in molten solder

<著 者>



坂本 善次
(さかもと よしつぐ)
生産技術開発部
電子・デバイス実装技術開発
に従事