

大電流・大電力製品に対応可能な バスバー内蔵基板の技術開発

Technological Development of Circuit Board with Built-in Bus Bar for Product with Large Amounts of Electric Current/Power

赤熊 貴
Takashi AKAGUMA

本岡 直人
Naohito MOTOOKA

尾崎 徳一
Norikazu OZAKI

安原 孝文
Takafumi YASUHARA

要旨

世界的な CO₂ 排出規制の強化により、自動車メーカーは更なる燃費向上を余儀なくされているなか、さまざまな燃費改善システムを導入することで対応している。

当社はこの燃費改善システムのなかで、DCDC コンバータとリチウムイオンバッテリーおよび充電経路を切替える半導体リレーで構成される二系統の電源管理システム開発を進めてきた。しかし、DCDC コンバータに用いる素子の発熱温度上昇を抑えようとさまざまな熱対策を検討した結果、製品構造は大型かつ複雑になった。

そこで製品構造を簡素化でき、大電流に対応するためバスバー（絶縁被覆を施していない銅またはアルミニウムの板状の導体）を内部に取込み、車載としての信頼性を確保できる基板（バスバー内蔵基板）の仕様と製造プロセスの検討を行い実現した。

本稿では大電流・大電力製品に活用できる基板技術開発の取組みについて紹介する。

Abstract

As global CO₂ emission control become more stricter, automobile manufacturers are being required to further improve fuel efficiency. The automobile manufacturers have been introducing various systems for improving fuel efficiency in conformity with the control.

To this end, our company has been developing the dual power supply management system, which comprises a DC/DC converter, lithium ion battery, and semiconductor relay that switches the charging/discharging routes. However, as a result of the measures taken in our study for suppressing the heat generated by the elements of the DC/DC converter, the structure of the product became large and complex.

To simplify the product structure and enable the system to carry a large amount of electric current, we decided to integrate the bus bar (sheet-shaped conductor with no insulation sheathing, and made of copper or aluminum) into a circuit board. Then We investigated the specifications and manufacturing process of the circuit board (circuit board with built-in bus bar) that can secure sufficient reliability as an on-vehicle device, and materialized it.

This paper introduces the efforts related to the technological development of circuit board that can be used for products with large amounts of electric current and/or power.

1. はじめに

二酸化炭素（CO₂）排出量規制で世界をリードしてきた欧州は電気自動車（EV）などの普及を見据え、2030年までに乗用車の排出量に対するハードルを大幅に引き上げた。これに対しHV（Hybrid Vehicle）で規制対応に有利だった日系自動車メーカーは、2系統の電源で動作するシステムなどの導入による対応を開始している。加えて自動運転自動車や電気自動車への急速な変革により、電動系の電子制御機器（以下、ECU（Electronic Control Unit））は大電流・大電力化に向かうと考えられる（図1）。

地域別台数変化予測(2010年→2020年→2030年)

富士経済「2012年度版HEV・EV関連市場徹底分析調査」

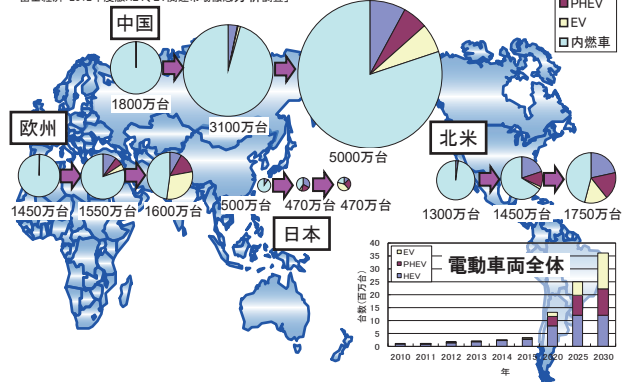


図1 電動車両の市場動向

これにより、電流や電力を使う部品の発熱温度が上昇するだけでなく、周辺部品にも影響を与えるため製品全体での熱対策が必須になってくる。なかでも部品を搭載しているプリント配線板（以下、基板）については、部品の熱を直接受けるため信頼性への影響が大きい。

一般的な熱対策としては、熱源の分散や熱伝導率の高い放熱材料などを用いた放熱があるが、製品の大型化や構造が複雑化するため最適な熱対策の決定は難しく、構造の簡素化を目指した熱対策が必要である。

2. 開発コンセプト

図2は製品に使用される電圧・電流と製品構造の関係を示したものであるが、電流が最大10A未満の製品においては基板も製品構造もシンプルである。

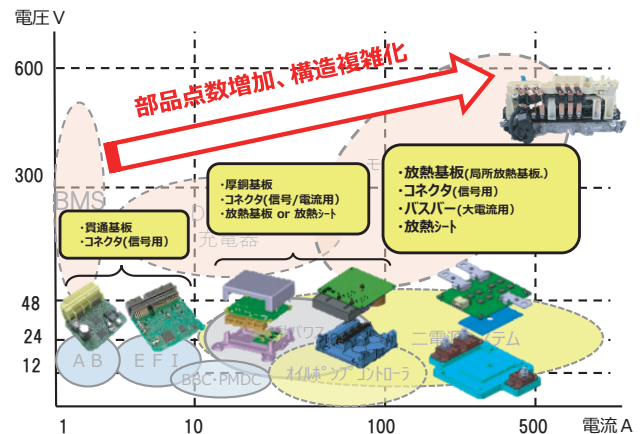


図2 電流・電圧と製品構造

しかし、電流の最大が10A～100Aの領域になると、厚銅箔を用いた基板（以下、厚銅基板）や放熱性の高い金属をベースにした基板と放熱材料（ゲルやシート）などを組み合わせた製品構造に、100Aを超える領域では、放熱基板（局所放熱など）や高放熱特性を有した放熱材料に加え、電流を流すための銅板（バスバー）なども必要となり製品構造はさらに複雑化する（図3）。

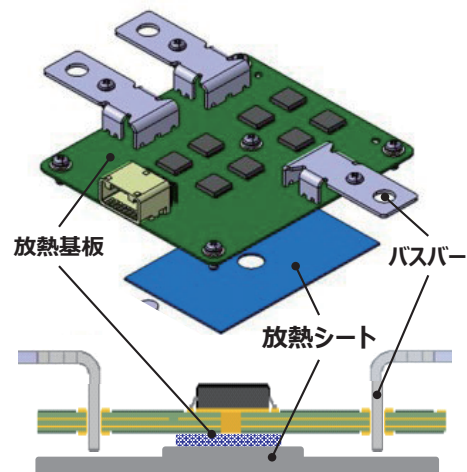


図3 製品の構造例（100A超）

そこで「製品構造を簡素化でき、高い放熱特性を持った大電流・大電力対応基板」をコンセプトとして、図4のような基板（バスバー内蔵基板）の開発に取り組んだ。

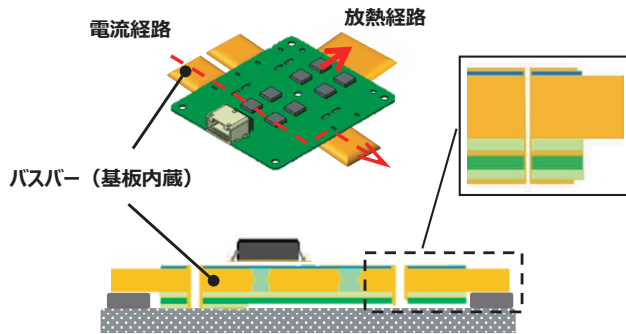


図4 バスバー内蔵基板の構成

特徴は次の4つである。

- ・大電流を流すための1mm厚銅板を内蔵
- ・基板外形外に外部端子と接続する部分を保有
- ・熱伝導性向上のため50 μ m厚の絶縁材料を使用
- ・同一層で電流経路および放熱経路を確保

以降の章で、実現に向けた課題と取り組み内容・結果の一部について述べる。

3. 実現に向けた課題

バスバー内蔵基板開発における課題を図5に示す。

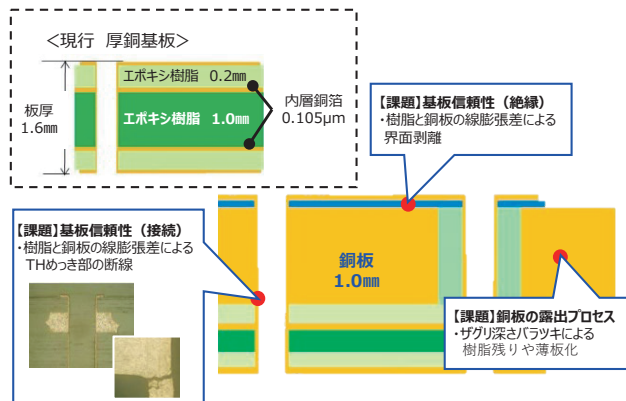


図5 バスバー基板開発の課題

(1) 車載基板信頼性を確保できる基板仕様

現行厚銅基板で使用している厚みより約十倍厚い銅を基板内部に取込むため、温度変化による伸縮量が増加し絶縁材料との界面に発生する応力が大きくなり、スルーホールと接続している部分の導通性や銅板との絶縁性に影響を与える。

また、基板構成において銅が部分的に厚くなることで、基板製造（積層）過程や当社実装工程の熱による基板反りも懸念されるため、基板信頼性を満足できるような層構成と絶縁材料の選定が必要である。

(2) 銅板を露出させる基板製造プロセス

電流を流す銅板を製品外部と直接組付けるためには、基板外形から飛び出す銅板の厚みバラツキができる限り小さくなるように、不要な絶縁材料や銅板以外の銅を正確に除去する必要がある。しかし、ルータービットの精度、板厚バラツキや基板反りによってサグリ深さがバラつくため、高精度で除去できる加工条件やプロセスの構築が重要になる。

4. 課題解決に向けた取り組み

(1) 車載基板信頼性を確保できる基板仕様の検討

基板信頼性には、接続信頼性および絶縁信頼性の二つの電気特性があり、これらの信頼性を確保できなければ製品の品質を保証することはできない。接続信頼性の中でも特にスルーホールの接続信頼性は、全ての層を繋ぎ、数多く使っていることから製品品質への影響が大きいため重要である。スルーホールの接続信頼性は、基板の厚み方向に生じる応力によって決まり、一定の応力を越えると接続部に亀裂が入り最悪の場合、断線（接続不良）に至ってしまう。

この応力を発生させる要因の中で支配的なのは材料の線膨張率であり、基板構成材料である銅（16ppm/ $^{\circ}$ C）と絶縁材料（40～70ppm/ $^{\circ}$ C）の差（24～54ppm/ $^{\circ}$ C）が大きくなれば応力は増加する。

そこで、スルーホールの接続信頼性および絶縁信頼性を確保できる絶縁材料の厚み（以下、樹脂厚）と線膨張率（以下、樹脂 CTE）を選定するため、図 6 に示すようなモデルを用いた応力解析を実施し、応力値と集中点を確認することにした。

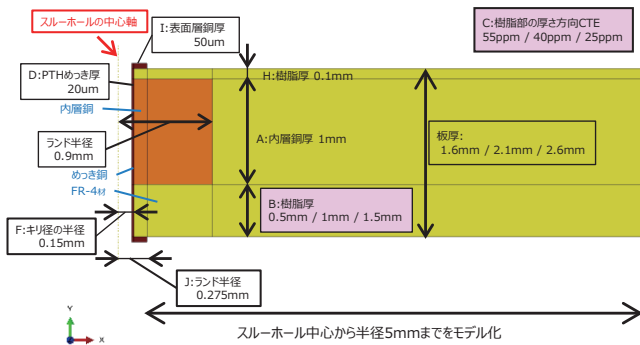


図 6 解析モデルおよびパラメータ

パラメータとしては、樹脂 CTE が 25ppm/℃、40ppm/℃、55ppm/℃、樹脂厚を 0.5mm、1.0mm、1.5mm とした（銅板厚みは 1mm 固定）。図 7 に結果（コンター図）の一部を示す。

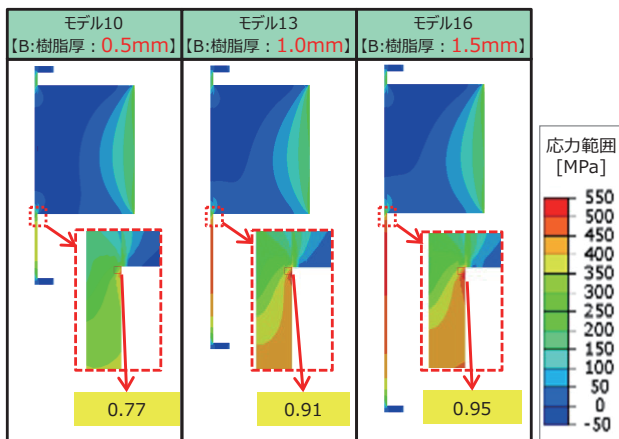


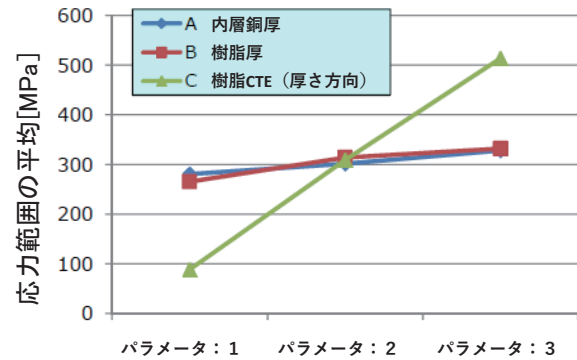
図 7 応力解析結果例（樹脂 CTE : 55ppm/℃）

図内の数値は、過去の経験を基に接続不良が発生する応力を“1”として解析の応力値を指数で表示したものである。

今回の解析結果から、銅板下と絶縁材料の界面に集中している応力が指数 1 を下回る樹脂厚と樹脂 CTE であれば、断線や界面剥離に至る可能性は

低い。

また、図 8 から“銅板厚”よりも“樹脂 CTE”の影響度が高いことという結果も得られた。



	パラメータ：1	パラメータ：2	パラメータ：3
A：内層銅厚	0.5 mm	1.0 mm	2.0 mm
B：樹脂厚	0.5 mm	1.0 mm	0.5 mm
C：樹脂CTE（厚さ方向）	25 ppm	40 ppm	55 ppm

図 8 パラメータと応力影響度

この結果を基に選択した基板構成での信頼性評価結果例を、図 9 および図 10 に示す。

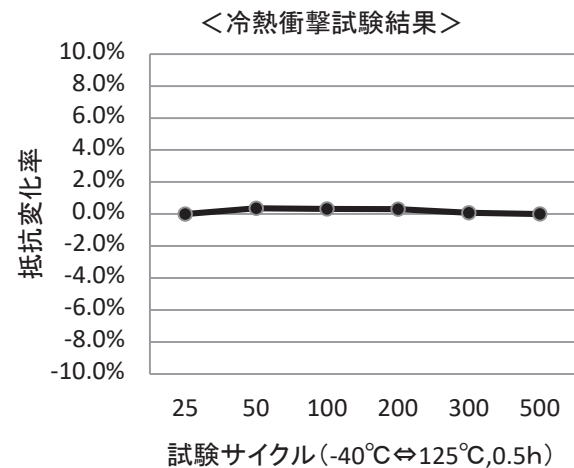


図 9 接続信頼性確認結果

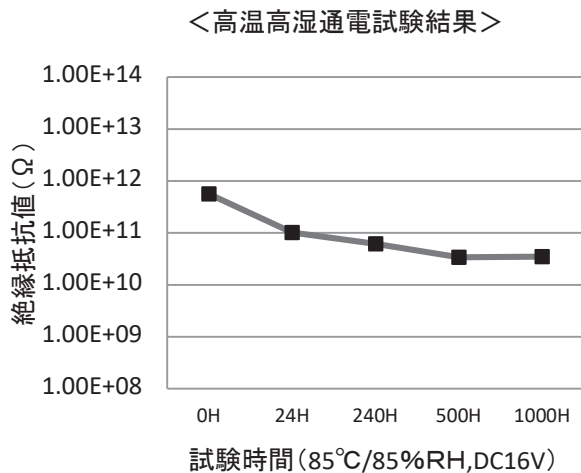


図 10 絶縁信頼性確認結果

接続信頼性および絶縁信頼性とも合格基準を満足しており、目標としていた車載での基板信頼性を確保できる基板仕様（構成）を決定することができた。

(2) 銅板を露出させる基板製造プロセスの構築

大電流を流すための銅板を製品外部と直接組付けるためには、成形された基板から内蔵された銅板を 1mm の厚さで精度よく露出させる必要がある。そのためには、周りにある絶縁材料や銅箔など不要なものを除去し、銅だけを露出させなければならない。

一般的には、基板外形加工に用いるルータービットを使った加工（図 11）が主流だが、ザグリ深さがバラつくため、樹脂残りや薄板化などの不具合が発生してしまう。

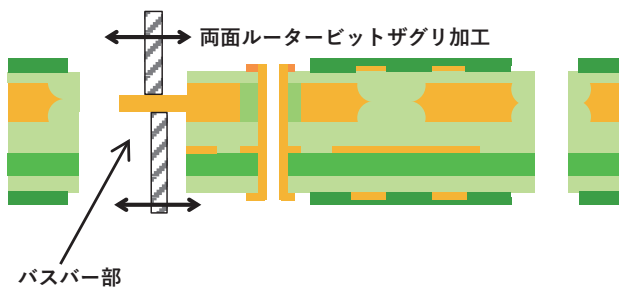


図 11 銅板の露出方法

この課題に対しわれわれは、プロセスや方法および加工条件などのさまざまなアイデアを企画し、検討と改善を繰り返した。

その結果、次のような方策を折り込んだ製造プロセスを構築し、ザグリ深さの安定を実現した。

＜ザグリ深さ安定のための方策（抜粋）＞

- ・ルータービットの精度向上
- ・板厚バラツキ低減に向けた製造条件設定（パターンデザイン、プレス条件など）
- ・ルーターテーブルからの基板浮き抑制

以上のような取組みを行った結果、車載信頼性および実装性を満足できる基板仕様と製造プロセスの構築を実現することができた。

5. おわりに

本稿では、大電流・大電力への対応と高放熱特性の両立を基板単体で実現することで、製品構造の簡素化が図れる基板開発の課題および取組みの一部について述べた。

今後も、大電流・大電力を用いる ECU へ投入できる小型化や構造の簡素化が必要な製品への提案を行っていく。

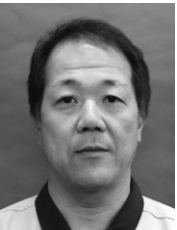
自動運転・電気自動車において、環境・安心・安全・快適性を確保するための自動車用電子機器は変化を続ける。われわれは、この変化に対応できる基板技術開発を継続し、自動車の技術開発に貢献したい。

筆者紹介



赤熊 貴
あかぐま たかし

生産本部
生産技術部



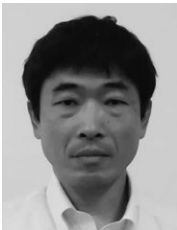
本岡 直人
もとおか なおひと

富士通インターコネクト
テクノロジーズ株式会社



尾崎 徳一
おざき のりかず

富士通インターコネクト
テクノロジーズ株式会社



安原 孝文
やすはら たかふみ

生産本部
生産技術部