

第三世代HEV用パワーユニット

道中拓也*
蔵本祐司*

Third Generation Power Unit for HEVs

Takuya Michinaka, Yuji Kuramoto

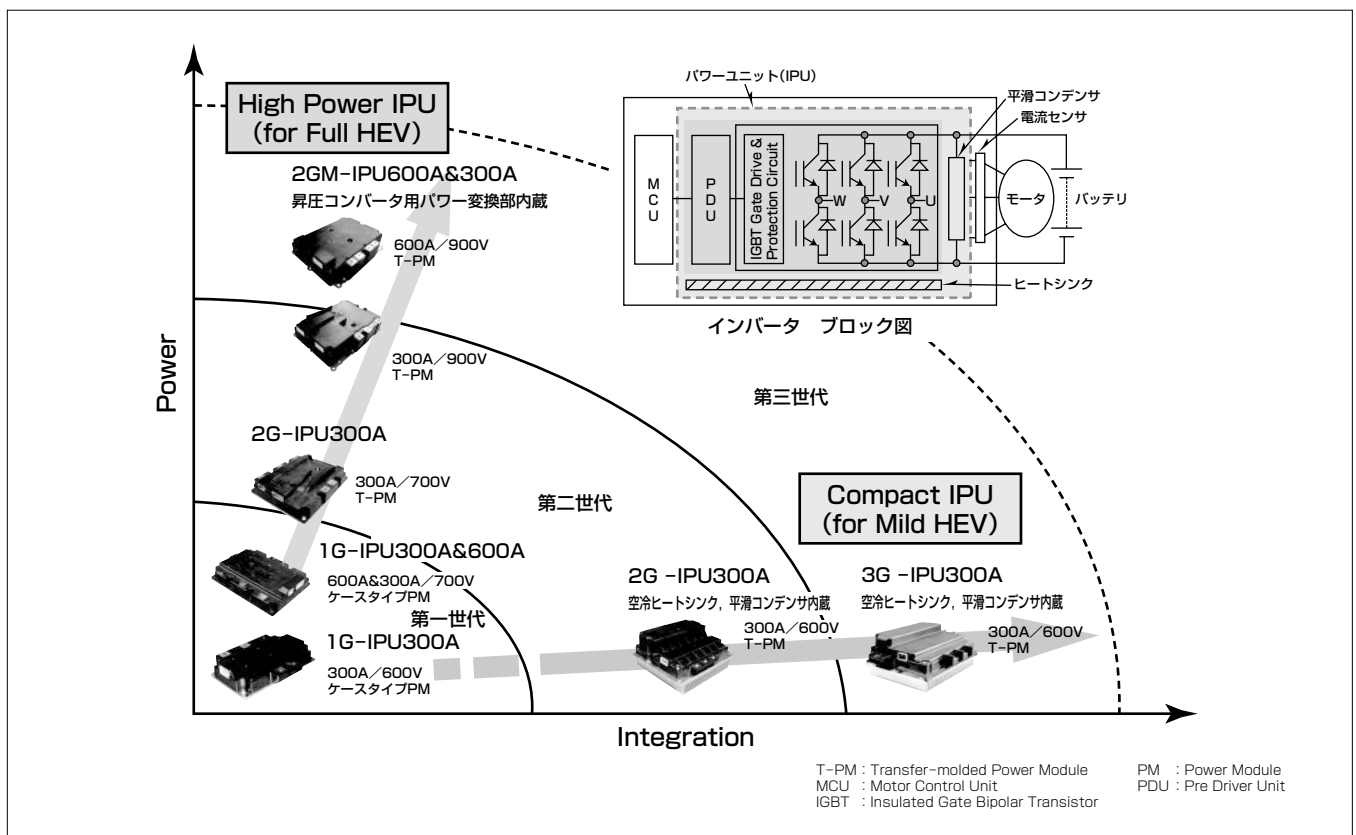
要 旨

三菱電機は、2001年に世界に先駆け、ハイブリッド電気自動車(Hybrid Electric Vehicle：HEV)用パワーユニットとして、半導体パワーモジュールに駆動回路、保護回路及び通信回路を一体化し、小型・軽量・低コスト・高機能をコンセプトとした第一世代IPU(Integrated intelligent Power drive Unit)を量産化した。

2004年には、トランスミッションに直付け可能な高耐振性を特長とするFull HEV用第一世代IPU(1G-IPU)並びにインバータ装置として重要部品である平滑コンデンサ及びヒートシンク内蔵を特徴とするMild HEV用第二世代IPU(2G-IPU)を量産化した。

一方、HEVの更なる普及のためには、インバータ装置の更なる小型・軽量・低コスト・高性能・高出力化を追及する必要がある。この背景の下、次に示す技術を開発し、第三世代IPUとして、Full HEV用(2GM-IPU)並びにMild HEV用(3G-IPU)を2008年から開発量産化した。

- (1) パワーモジュール端子の溶接技術(Full HEV用)
- (2) パワーモジュール並列駆動技術(Full HEV用)
- (3) 高耐振性構造の採用(Full HEV用)
- (4) 過電圧保護動作の高速化(Mild HEV用)
- (5) DLB(Direct Lead Bonding)方式パワーモジュールT-PM(Transfer-molded Power Module)の適用



第三世代IPU

HEVシステムの多様化にあわせて、IPUへの要求仕様もMildからFullと多岐にわたる。これらのニーズにこたえるため、第三世代のMild HEV用高機能型IPUとFull HEV用高出力型IPUを開発した。Mild HEV用IPUは平滑コンデンサ、空冷ヒートシンクを内蔵し、機能統合・小型化を進めた。一方、Full HEV用IPUは電源電圧の昇圧や高出力モータへの適用を可能とする高電圧・大電流定格に対応する。

1. ま え が き

当社は2001年にHEV用パワーユニット1G-IPUを世界に先駆け量産開始した。2004年には、高耐振性を特長とするFull HEV用1G-IPU、平滑コンデンサ及びヒートシンクを内蔵し高機能・小型・軽量化を実現したMild HEV用2G-IPUを量産化した。

さらに、3G-IPUでは次のことを目標として開発を行った。

- (1) Full HEV用：高出力対応と出力密度の向上
- (2) Mild HEV用：小型・軽量・低コスト化

本稿では、今回開発した3G-IPUにおける取り組みについて述べる。

2. Full HEV用IPUへの適用技術

Full HEV用IPU(2GM-IPU)は昇圧コンバータ用パワーモジュールを内蔵し、Full HEVシステムへの適用を目指した製品であり、サイズの小型化は当然ながら、高電圧・大電流(900V・600A)対応があげられる。このIPUの構成を図1に示す。300A定格のT-PMを並列使用することで600A定格を実現している。また、トランスミッションにIPUを内蔵するため、従来機種と同一の高い耐振性が必要である⁽²⁾。

これらの要求に対し、課題を次に示す。

- (1) T-PMの並列駆動と端子接続
- (2) 外形小型化と高耐振構造

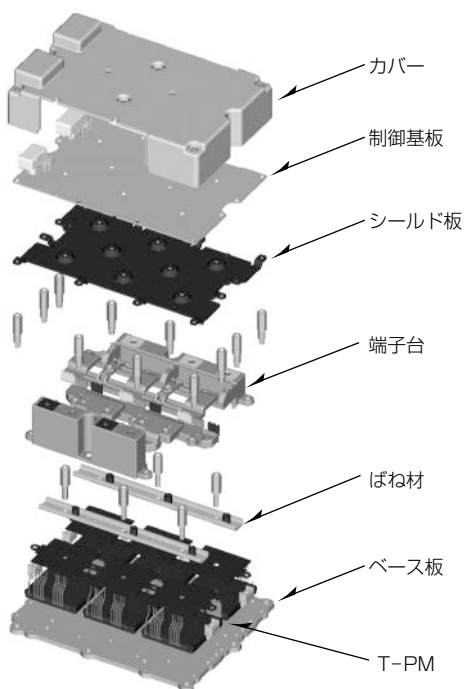


図1. Full HEV用IPUの構成(2GM-IPU600A)

2.1 端子の溶接接合

外形小型化のため、T-PM端子固定方法としては、従来の平面的なねじ固定ではなく、溶接を採用する。

図2に示すように、IPU主端子は客先取り付け部位であり、腐食防止のためNiめっきが不可欠となる。一方、T-PM主端子は制御端子と同一フレームで同時めっきとなるが、制御端子は基板はんだ付けのためSnめっきが必要となり、主端子もSnめっき不可欠となる。一般的に溶接は同種の金属を接合するが、T-PM端子はSnめっき、IPU端子はNiめっきとなるため、これら端子の溶接では母材のCuにSn、Niの異種金属が溶け混ざった状態となる。この異種金属が接合部に与える影響を検証した。

図3に評価結果を示す。Snめっき厚が大きい場合は外観不良が発生し、Niめっき厚が大きい場合は溶接強度が低下する。前述のとおり端子のめっき仕様は変更できないため、接合強度と溶接外観を考慮しためっき厚を設定し、異種金属の混合をコントロールすることで十分な強度を確保することができた。

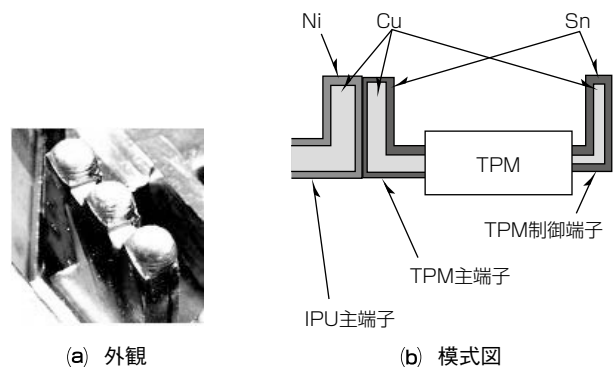
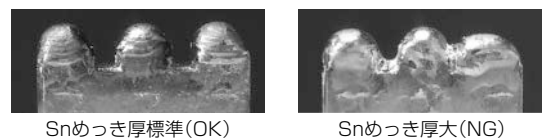
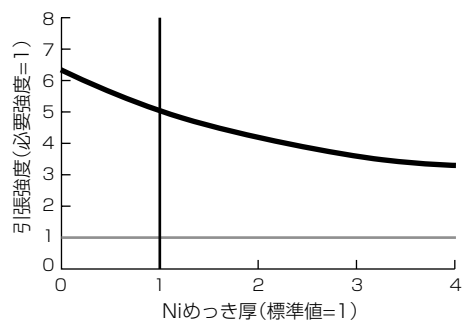


図2. 溶接端子



(a) Snめっき厚と溶接外観



(b) Niめっき厚と溶接強度

図3. 溶接結果

2.2 T-PMの並列駆動

各T-PMのパワーチップを並列駆動する場合、電流アンバランスが課題となるため、並列駆動チップの特性のマッチング、低インダクタンスと配線の対称性を考慮した主回路・制御基板の最適設計が必要である。

このIPUでは、図4(a)に示すとおり、並列駆動回路の駆動ICを制御基板の中央に配置し、配線パターンを並列駆動する各T-PM制御端子へ対称に配置した。また、主回路バスバーをT-PM上に広い並行平板部を確保するように配索することで低インダクタンス化を実現した。

これらによって、図4(b)に示すとおり、並列駆動する各T-PMの通電電流を均等に配分することができた。

2.3 高耐振構造

このIPUはトランスミッションに内蔵されるため、高周

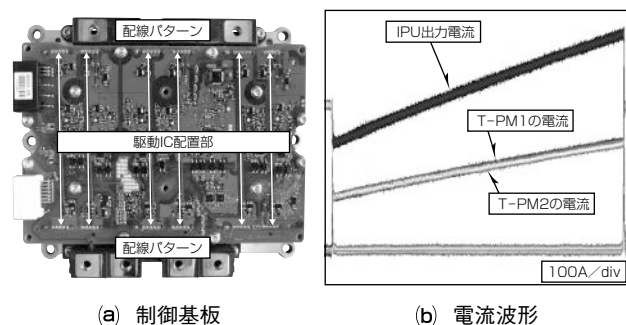


図4. 並列駆動回路(2GM-IPU600A)

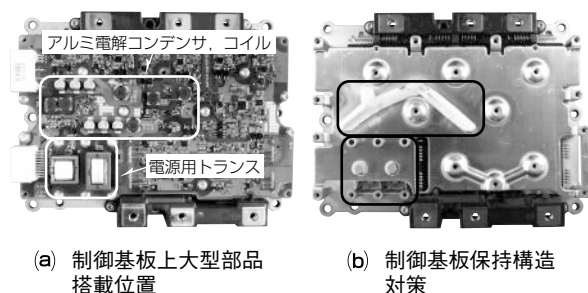


図5. 耐振対策実施内容(2GM-IPU300A)

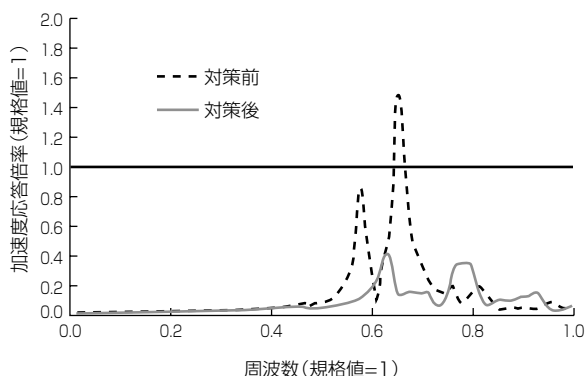


図6. 耐振対策による効果(2GM-IPU300A)

波域までの耐振性能が要求される。しかし、制御基板保持にホルダによる多点締結構造を採用したにもかかわらず、共振によって高い加速度が印加される結果となった。対策として、スペックに対し必要な信頼性を確保できる許容加速度を部品ごとに求め、耐振性の低い部品(主に大型部品)は、搭載位置の保持構造を強化する対策を実施した。その内容を図5に示す。

電源用トランスが搭載される位置には、制御基板をベース板から直接補強する専用ホルダを設け、アルミ電解コンデンサ、コイルの搭載位置は、制御基板をシールドプレートに接着することによって振動減衰比を高めた。

対策箇所について、対策前後の共振波形を図6に示す。対策によって加速度応答倍率を約1/4に低減でき、搭載部品の許容値以下とすることができた。

3. Mild HEV用IPUへの適用技術

Mild HEV用IPU(3G-IPU)は、Mild HEVシステムへの適用を目指した製品であり、システムの性質上、小型・軽量・低コストを追求した。

図7にこのIPUの構成を示す。2G-IPUと同様に、インバータ装置として必要な平滑コンデンサ及びヒートシンクを内蔵し、組み立て作業を容易にするためにビルドアップ構造とした。

表1にその達成手段、関係部材及び効果の関係を示す。

3.1 過電圧保護動作高速化

三相モータからの異常回生電力による平滑コンデンサ両

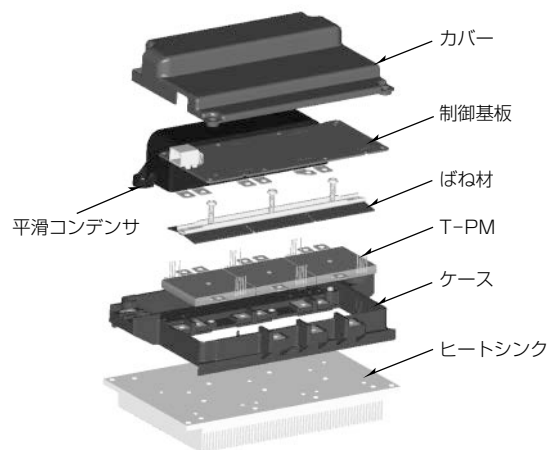


図7. Mild HEV用IPUの構成

表1. Mild HEV用3G-IPU開発効果

達成手段	関係部材	効果	小型	軽量	低コスト
過電圧保護	平滑コンデンサ	静電容量低減	○	○	○
動作高速化	ヒートシンク	質量低減	○	○	○
DLB構造採用	T-PM	チップ縮小			○
		生産性向上			○

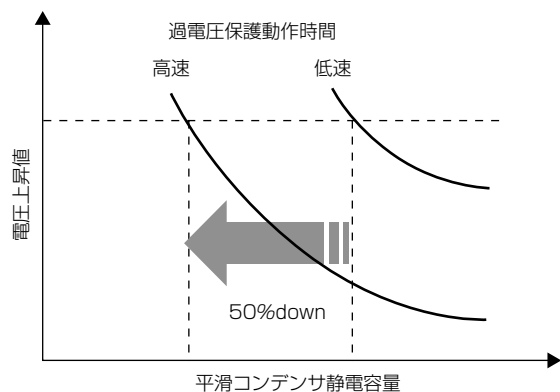


図 8. 過電圧保護協調範囲

端に発生する過電圧からIPUを保護するための過電圧保護機能を持つ。図 8 に過電圧保護動作時間に対する平滑コンデンサ静電容量の低減率を示す。過電圧保護動作時間はIPU内部のマイクロプロセッサの電圧検出時間に依存し、電圧上昇値は平滑コンデンサ容量に依存する。

クロックアップによるマイクロプロセッサの高速化とサンプリング方式を工夫することで、過圧保護動作時間が50%に低減でき、平滑コンデンサ容量を50%に低減した。平滑コンデンサは容量低減に伴いその体積も低減し、平滑コンデンサを搭載するヒートシンクの質量も60%に低減できた。

これらの効果によって、2G-IPUと比較して、-30%の小型化、-40%の軽量化、-40%以上の低コスト化を実現した。

3.2 DLB方式T-PM

3G-IPU全製品に搭載するT-PMは、図 9 に示すように、パワーチップへの配線接続方法として、2G-IPUのワイヤボンディング(WB)に代わりDLB構造を採用した。

その結果、配線の電流密度が向上しパワーチップの小型化及び生産性の向上によって低コスト化を実現した。あわせて、内部インピーダンスの低減及び信頼耐久性の向上と高性能化を実現するとともに、Full HEV用は高出力化を、Mild HEV用は小型化を志向し開発量産化を実施した。

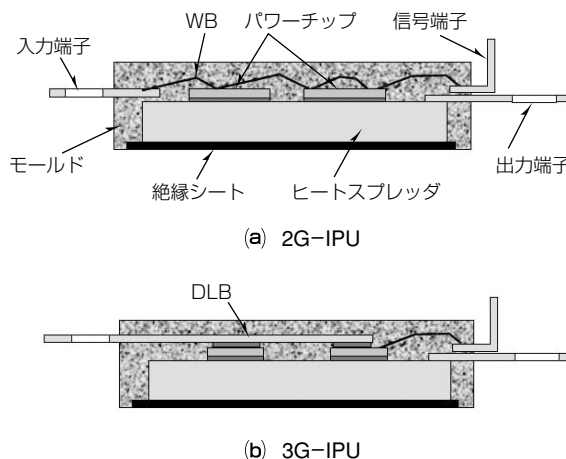


図 9. T-PM内部構成比較

4. む す び

3G-IPUは、次の効果によって、多様化するHEVシステムの普及に貢献する製品である。

Full HEV用として、2G-IPUとほぼ同一サイズで高電圧・大電流対応のIPUを開発した。従来機種同様、トランスミッション内蔵を実現する高耐振タイプであり、車両搭載時のレイアウト設計に高い自由度を与える。

Mild HEV用として、2G-IPUと比較して、-30%の小型化、-40%の軽量化、-40%以上の低コスト化を実現した。

参 考 文 献

- (1) 藏本祐司，ほか：HEV用第二世代IPU,三菱電機技報，**81**，No.9，581～584（2007）
- (2) 赤澤彰則，ほか：トランスミッション内蔵型IPUの開発・量産化，三菱電機技報，**78**，No.9，569～572（2004）
- (3) 多田和弘，ほか：パワーモジュール封止技術，三菱電機技報，**78**，No.11，743～746（2004）