

飯塚 新*
Arata Iizuka
猪ノ口誠一郎*
Seiichiro Inokuchi
波多江慎治*
Shinji Hatae

自動車用パワーモジュール“J1シリーズ”

Automotive Power Module "J1 Series"

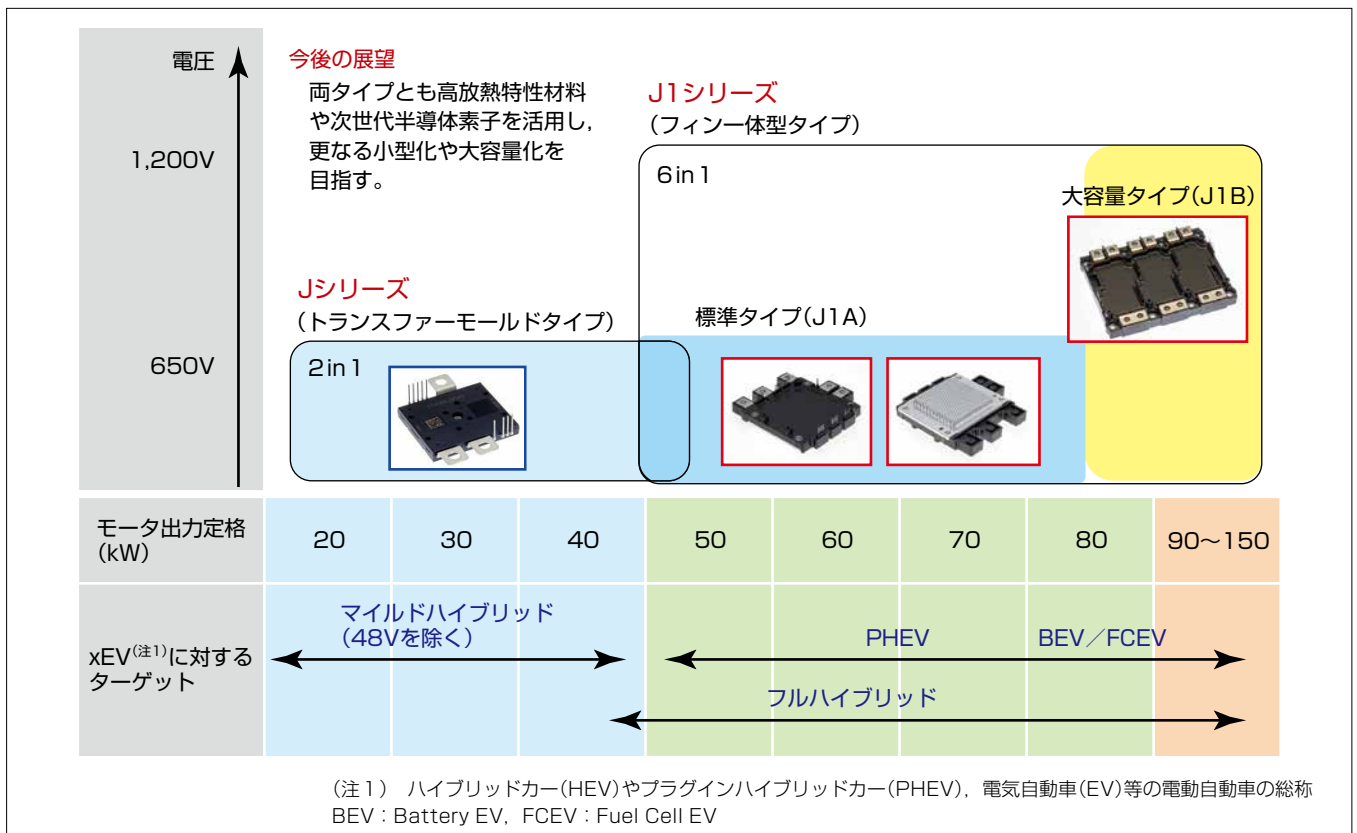
要 旨

近年、自動車排ガス規制強化や環境保全に対する意識の高まりなどによってxEVが市場へ浸透してきた。環境保全を担うxEVは今やスマートグリッドや自国産業活性化策など各国それぞれの視点で広がりを見せている。このように、xEVの将来的な市場拡大に伴い自動車のモータ駆動用や発電用のインバータに用いられるパワーモジュールの広がりもこの先加速していくことが期待される。

三菱電機は1997年からパワーモジュールの内部に制御回路を搭載した自動車用IPM(Intelligent Power Module)の製品化を皮切りに、2001年には小型・高信頼性を特長とするトランスファーモールドタイプの“Jシリーズ”を市

場投入し、xEV発展に貢献してきた。また、2015年には最新世代の自動車用パワーモジュールとしてフィンー体型タイプの“J1シリーズ”の量産を開始しており、生産規模を順次拡大する計画である。この製品は“小型・軽量・高性能”パッケージとして自動車用途に最適なことから、J1シリーズの構造をベースに対応するモータ出力定格を向上させた“大容量J1シリーズ”も製品化し、2017年から量産を開始している。

更なるxEVの本格化に備え、小型・高性能パワーモジュールの実現のため、自動車向けに特化した高信頼性・低熱抵抗パッケージ開発を推進している。



自動車用パワーモジュールのラインアップと今後の展望

小型・低背で信頼性も高いトランスファーモールドタイプと、小型・大容量のフィンー体型タイプを展開することで幅広いモータ出力定格をカバーしてきた。両タイプとも更なる小型化や大容量化を目指し、ラインアップを拡充するために新製品の開発を進めていく。

1. ま え が き

近年、自動車排ガス規制強化や環境保全に対する意識の高まりなどによってxEVが市場へ浸透してきた。環境保全を担うxEVは今やスマートグリッドや自国産業活性化策など各国それぞれの視点で広がりを見せており、CO₂削減だけでなく災害時の給電設備といった新たな価値としての需要も生まれている。

このようなxEVの将来的な市場拡大に伴い、自動車のモータ駆動用や発電用のインバータに用いられるパワーモジュールの広がりもこの先加速していくことが期待される。

当社は1997年に自動車用パワーモジュールを量産化して以来、様々な製品を世に送り出してきた。

2. 自動車用パワーモジュールのラインアップ

2.1 トランスファーモールドタイプのJシリーズ

小型、低背、高信頼性のニーズに応えるための製品がトランスファーモールドタイプのJシリーズである(図1)。トランスファーモールド構造を採用してチップと樹脂の線膨張係数のマッチングを図ることで温度サイクル性を格段に向上させている。また、モールド樹脂で封止する構造によって機械的構造と強度、絶縁性、環境耐久性を一度に確保している。さらにパワー素子との電気的接続をワイヤボンディングからDLB(Direct Lead Bonding)にすることでパワーサイクルの長寿命化のほか、配線抵抗と自己インダクタンスの低減を達成した。また、Jシリーズはパワー素子の下にヒートスプレッドを配置しており、その下面にはモールド封止樹脂よりも熱伝導率の高い絶縁シートを配置している。パワー素子で発生した熱を厚いヒートスプレッドで広げた後に絶縁シートを通過させる構造にすることで、低熱抵抗に加えて自動車アプリケーションで重要な過渡熱

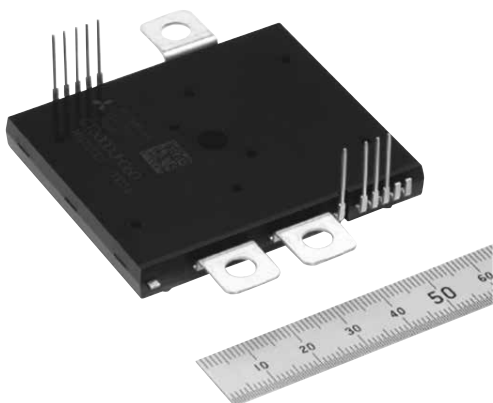


図1. Jシリーズの外観

抵抗を低減できる構造にしている(図2)。また、Jシリーズは2in1構成にしているため、ディスクリットデバイスのようにアプリケーションに応じて出力を増やすことなどフレキシブルに回路を構成できる特長を持つ。

2.2 フィン一体型タイプのJ1シリーズ⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾

xEV市場の拡大に伴い、車載用パワーモジュールに対して小型化に加えて実装性向上のための6in1化や、モータ出力定格アップのための大容量化のニーズが高くなってきた。

そのようなニーズに応えるために開発した製品がフィン一体型タイプのJ1シリーズである(図3)。Al(アルミニウム)製冷却フィンとケースタイプモジュールを一体化することによって放熱層の削減に加えて絶縁基板下はんだ層を削減することで、低熱抵抗化と小型化、温度サイクル性向上を果たしている。

さらに独自の第7世代IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)とダイオードを適用し、Jシリーズで培ったDLBを採用することで更なる小型・高信頼性を実現しながらも、大容量化を達成した。

また、DLB等の内部配線の最適化を進めることで“J1シリーズ”から出力容量をおよそ2倍にしながらサイズを約1.5倍に抑えた大容量J1シリーズも開発しており、これらのパッケージをベースにしたラインアップ拡充を進めている(表1、図4、図5)。

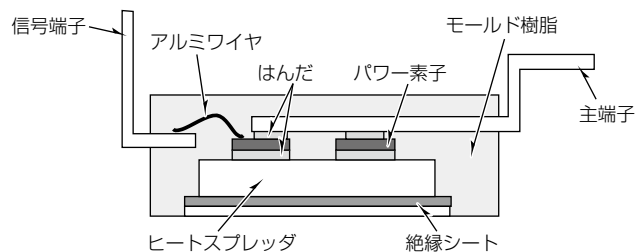


図2. Jシリーズの構造

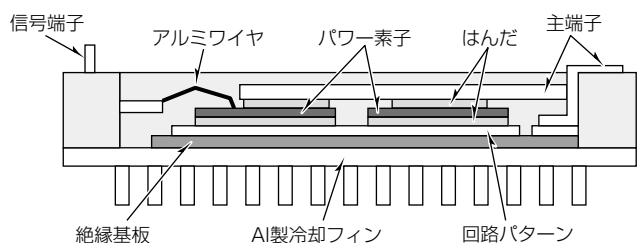


図3. J1シリーズの構造

表1. J1シリーズのラインアップ

| | モデル | 定格 | パッケージ仕様 |
|-----------|---------------|-------------|---|
| J1シリーズ | CT600CJ1A060 | 600A/650V | 120.0×115.2×32.5(mm) (ピンフィン・制御端子含む、6in1構造) |
| | CT700CJ1A060 | 700A/650V | |
| 大容量J1シリーズ | CT1000CJ1B060 | 1,000A/650V | 163.0×124.5×33.6(mm) (ピンフィン・制御端子含む、6in1構造) |
| | CT600CJ1B120 | 600A/1,200V | |

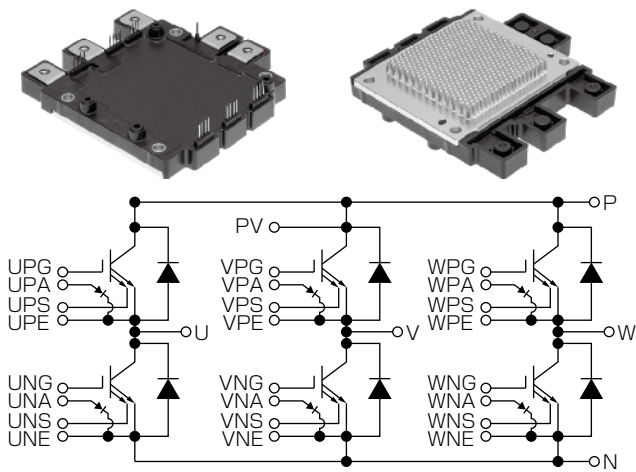


図4. J1シリーズ

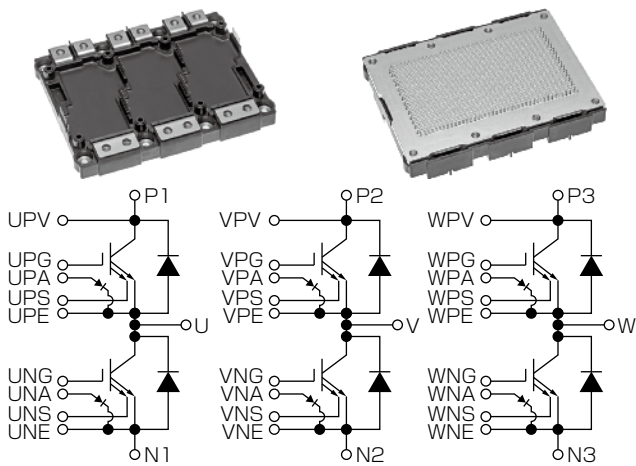


図5. 大容量J1シリーズ

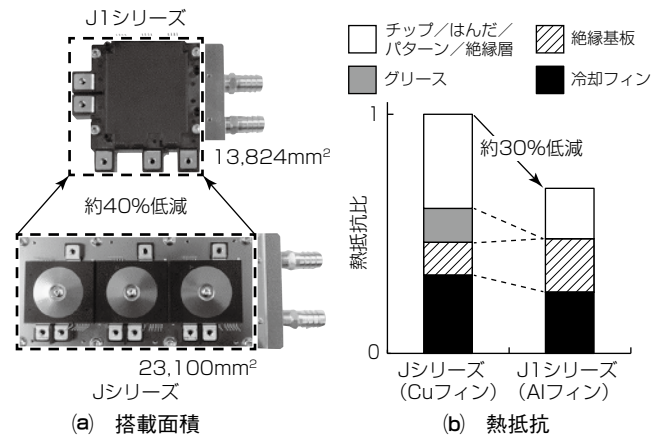


図6. JシリーズとJ1シリーズの比較

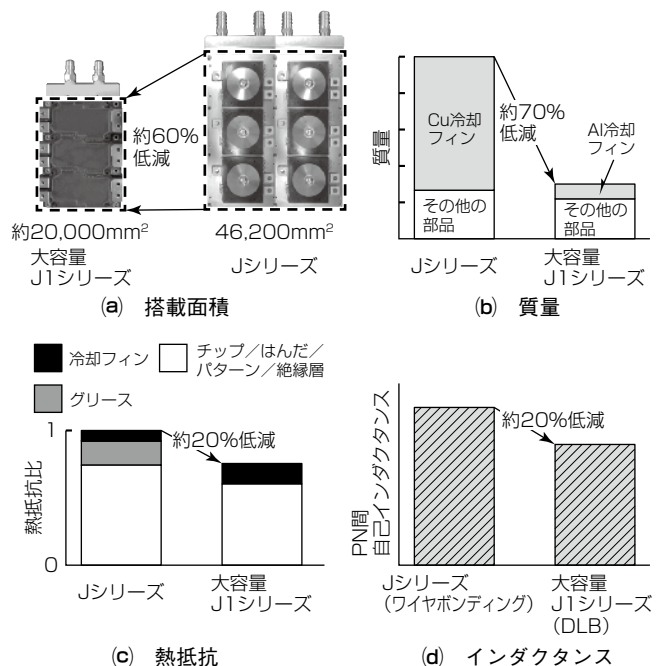


図7. Jシリーズと大容量J1シリーズの比較

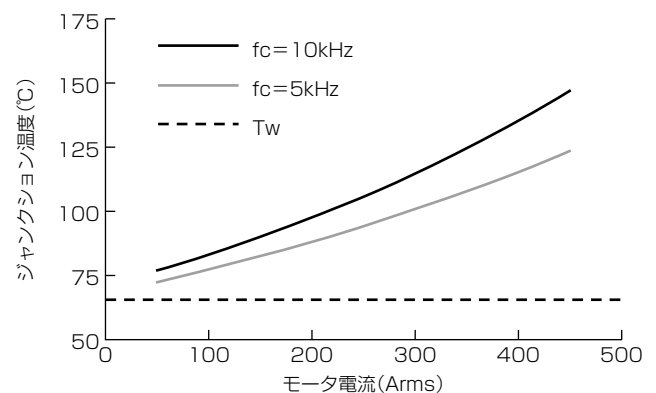
3. J1シリーズ⁽¹⁾⁽³⁾

3.1 構造

J1シリーズは先に述べたDLBやフィン一体型の採用等によって小型化と高出力化の両立を果たしており、従来の同等出力のJシリーズと比較した場合で搭載面積は約40%、熱抵抗は約30%低減を達成している(図6)。大容量J1シリーズでは内部配線構造の最適化も取り入れることで搭載面積を従来製品の約60%低減し、質量は約70%、熱抵抗及びインダクタンスも約20%低減している(図7)。

3.2 出力特性

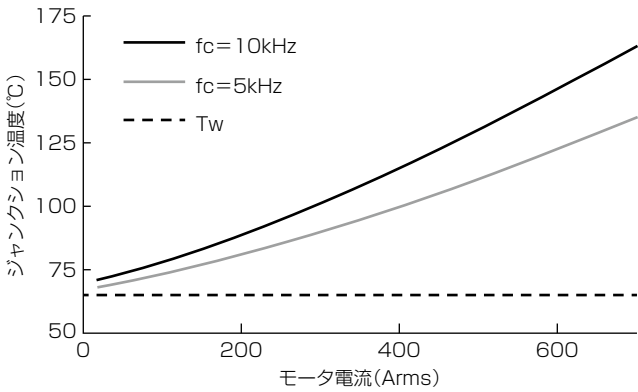
J1シリーズは当社第7世代の“CSTBT”とRFC(Relaxed Field of Cathode)ダイオードを採用することで損失特性の改善を図り、DLBの採用や配線経路の最適化を行うことでインダクタンスも抑制している。これらの効果によって、インバータ動作を想定した通電シミュレーションで



製品：CT600CJ1A060、バッテリー電圧：350V、冷却水温度：65℃、冷却水流量：10L/min.

図8. J1シリーズの通電シミュレーション

J1シリーズはジャンクション温度150℃以下で450Armsの通電能力(モータ出力定格80kW相当)を(図8)、大容量



製品：CT1000CJ1B060, バッテリー電圧：450V, 冷却水温度：65℃, 冷却水流量：10L/min.

図9. 大容量J1シリーズの通電シミュレーション

J1シリーズでは600Arms(モータ出力定格120kW相当)の通電能力を実現している(図9)。

4. 自動車用パワーモジュールの将来技術

4.1 今後の展望

xEVの市場拡大に伴い、様々なニーズに応じるために多様な開発が進められている。コントロールユニットの小型化や走行モータのインホイール化、トランスミッションとインバータの一体化等によるキャビンスペースの拡大などはパワーモジュールの更なる高出力化・小型化の要求につながる。

ユニットの小型化についてはフィン一体型タイプで、インホイール化やトランスミッション一体化といった水冷が困難で搭載エリアの制限や振動等の信頼性要求が厳しいニーズに対しては小型・低背なトランスファーモールドタイプも選択肢の一つとして開発を進めている。また、パワー素子でも、損失特性の大幅な改善が期待されるSiC(シリコンカーバイド)や、インバータの小型化が期待できるRC-IGBT(Reverse Conductive IGBT)の自動車分野への展開も進めていく(図10)。

4.2 フィン一体型タイプでの低熱抵抗化⁽²⁾⁽⁴⁾

フィン一体型タイプでの開発のアプローチの一つとして、モジュールの熱抵抗低減による更なる小型化や大容量化を検討している。

J1シリーズのパッケージをベースに、モジュール内部の回路パターンや冷却フィンの材料をより放熱性能の高いものにする事で、現行製品から20~30%の熱抵抗の改善を確認している(図11)。

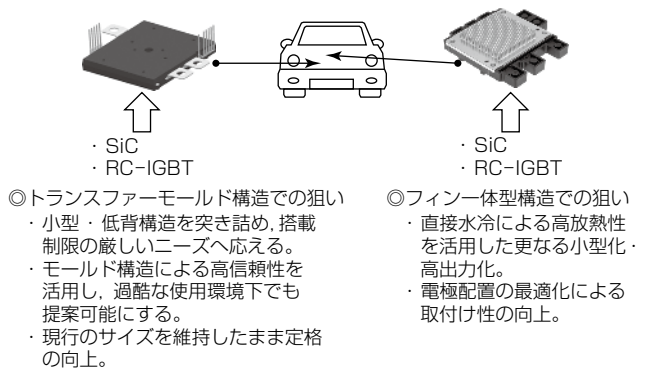
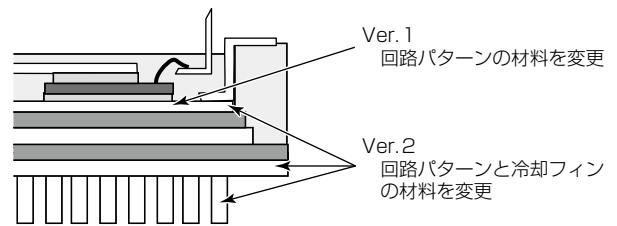


図10. 今後のパワーモジュールのターゲット



■ 半導体素子～絶縁基板 □ 絶縁基板～ベースフィン ■ ベースフィン～冷却水

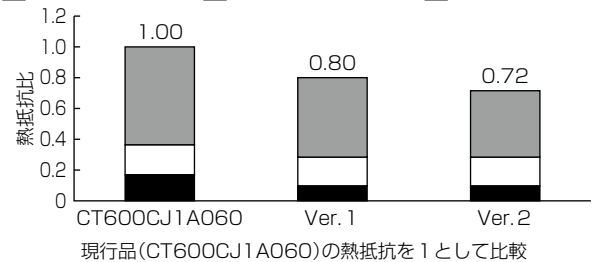


図11. 現行品と開発品の熱抵抗比較

5. むすび

当社は、20年来のxEVの発展とともに様々な自動車用パワーモジュールを開発・製品化してきた。これから先の市場の発展・要求に応えるためにも、当社は更なる損失低減、小型軽量化、信頼性向上等パワーデバイスの進化のための要素技術開発と自動車用SiCや第8世代の素子開発も行い、これらを組み合わせた高性能パワーモジュールをタイムリーにxEV市場へ提供していくことで、環境保全や持続可能社会の実現に貢献していく。

参考文献

- (1) Iizuka, A., et al.: A new Versatile Compact Power Module Family for EV and HEV Applications, PCIM ASIA 2016 (2016)
- (2) Kawase, T., et al.: J1-Series modules with integrated cooler for electric and hybrid vehicles, PCIM Europe 2017, 1767~1770 (2017)
- (3) 猪ノ口誠一郎: 自動車用パワーモジュールの開発動向, 三菱電機技報, 92, No.3, 199~202 (2018)
- (4) Miyamoto, N., et al.: Prototype of high heat dissipation J1-Series modules for electric and hybrid vehicles, ISSAP 2019 (2019)