

次世代自動車用パワーモジュール “大容量J1シリーズ”

猪ノ口誠一郎* 秦 佑貴*
 斉藤省二* 波多江慎治*
 飯塚 新*

Next Generation Power Module "High Power J1 Series" for EV and HEVs

Seiichiro Inokuchi, Shoji Saito, Arata Izuka, Yuki Hata, Shinji Hatae

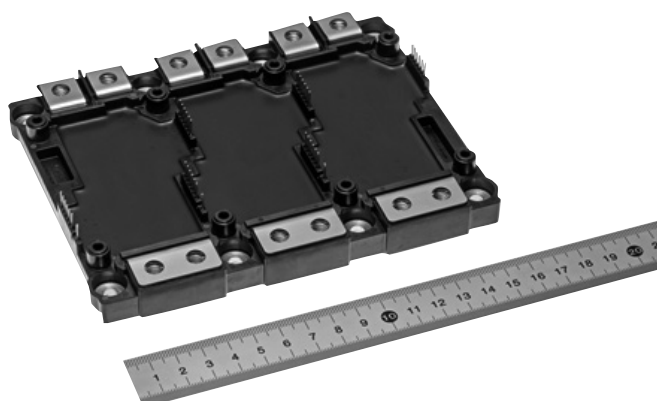
要 旨

地球温暖化や大気汚染などに対する環境保護機運が世界的に高まる中、各地域で排ガス規制強化やエコカー優遇措置導入など積極的な環境施策の広がりがみられる。このような市場の追い風を背景に、小型EV(Electric Vehicle)や中型PHEV(Plug-in Hybrid Electric Vehicle)など様々な環境対策車が開発・市場投入されている。今般、更なる市場ニーズとして大型自動車やトラック、バスなど大型環境対策車の需要が高まっており、それらのモータ駆動のためのパワーモジュールとして自動車用大容量製品の開発が求められている。

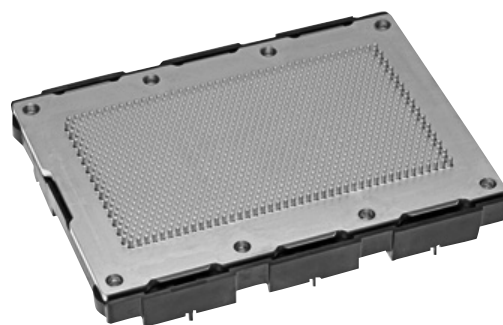
三菱電機は、高性能、小型・軽量化を追求した次世代自動車用パワーモジュール“J1シリーズ”を開発してきたが、

それらのコンセプトを踏まえて、自動車用大容量モータ駆動に適合した“大容量J1シリーズ”を新たに開発した。

“高性能”“小型・軽量化”と“大容量化”を同時に実現するソリューションとして冷却フィン一体型の直接水冷構造を新規開発して、6in1化、DLB(Direct Lead Bonding)構造、最新第7世代IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)とダイオードを採用することで、従来製品(“JシリーズT-PM(Transfer-molded PowerModule) CT300DJH120⁽¹⁾”6台をCu冷却フィンに放熱グリスを介して取り付けたもの)に比べて熱抵抗を約20%低減、実装面積を約60%縮小、製品質量を約70%低減して、次世代自動車用として最適な大容量パワーモジュールを実現した。



大容量J1シリーズ(表側)



大容量J1シリーズ(裏側)

大容量J1シリーズの製品ラインアップ

形名	定格電圧	定格電流	結線方式
CT600CJ1B120	1,200V	600A	6in1
CT1000CJ1B060	650V	1,000A	6in1

“大容量J1シリーズ”の外観とラインアップ

“高性能”“小型・軽量化”“大容量化”をコンセプトとしたEV・HEV(Hybrid Electric Vehicle)向けのパワーモジュール大容量J1シリーズを開発した。製品ラインアップは1,200V/600A及び650V/1,000Aの2品種である。

1. ま え が き

地球温暖化や大気汚染などに対する環境保護機運が世界的に高まる中、各地域で排ガス規制強化やエコカー優遇措置導入など積極的な環境施策の広がりがみられる。このような市場の追い風を背景に、小型EVや中型PHEVなど様々な環境対策車が開発・市場投入されている。今般、更なる市場ニーズとして大型自動車やトラック、バスなど大型環境対策車の需要が高まっており、それらのモータ駆動のためのパワーモジュールとして自動車用大容量製品の開発が求められている。

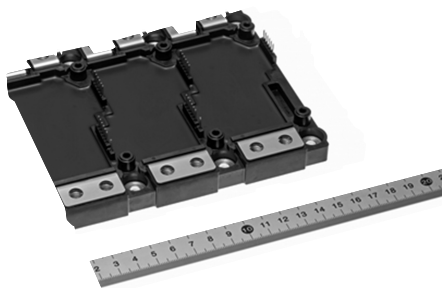
当社は“高性能”“小型・軽量化”を追求した次世代自動車用パワーモジュールJ1シリーズを開発してきたが⁽²⁾、そのコンセプトを踏まえて、自動車用大容量モータ駆動に適合した大容量J1シリーズを新たに開発した。

本稿では、大容量J1シリーズの特長と性能について述べる。

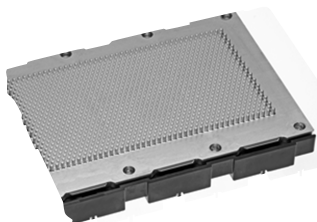
2. 大容量J1シリーズ

2.1 概 要

“大容量J1シリーズ”は“高性能”“小型・軽量化”と“大容量化”を同時に実現する自動車用パワーモジュールである(図1)。高電圧、大電流の用途に適合させるため、1,200V/600A及び650V/1,000Aのラインアップを準備した(表1)。



(a) 表側



(b) 裏側

サイズ：163×124.5×33.6(mm)(制御端子、フィンを含む)

図1. 大容量J1シリーズ

表1. 大容量J1シリーズのラインアップ

形名	定格電圧	定格電流	結線方式
CT600CJ1B120	1,200V	600A	6in1
CT1000CJ1B060	650V	1,000A	6in1

2.2 回路構成

図2に大容量J1シリーズの等価回路を示す。水冷ジャケットへの取付けと製品サイズの小型化を考慮して6in1結線方式とした。また、各相を同一構成として個別に絶縁することで、自己インダクタンスのばらつきによるスイッチング特性のばらつきを低減する構造とした。各アーム全てに短絡時の高速遮断を実現するオンチップ電流センサと精度の高い過熱保護やインバータ負荷調整に使用可能なオンチップ温度センサを搭載した。

2.3 構造

大容量J1シリーズの断面構造を図3に示す。T-PMで培ったDLB構造と第7世代IGBTとダイオードを採用することで、小型・高信頼性を実現している。図4にJ1シリーズ

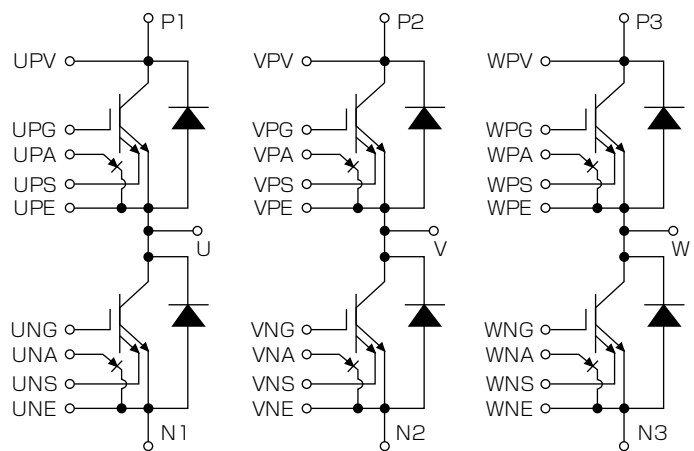


図2. 大容量J1シリーズの等価回路

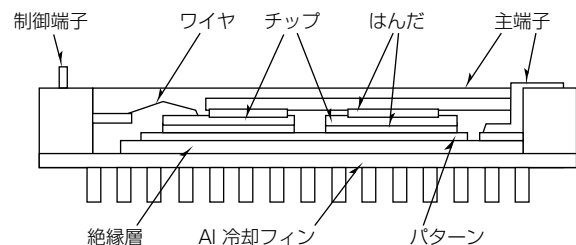


図3. 大容量J1シリーズ断面構造

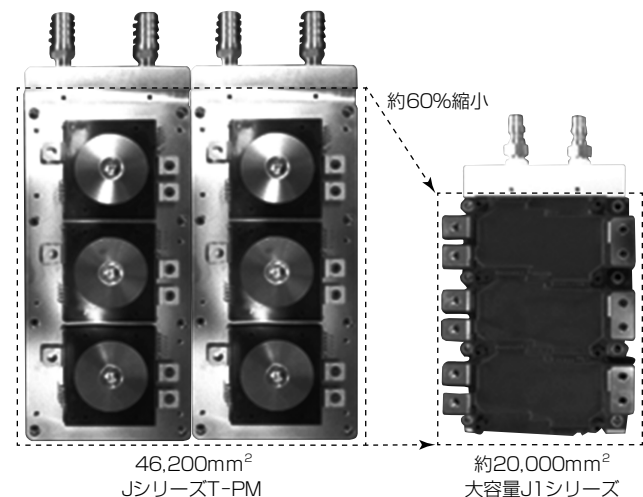


図4. フットプリントの比較

ズT-PM(CT300DJH120を6台Cu冷却フィンに放熱グリスを介して取り付けしたもの)と大容量J1シリーズのフットプリント比較を示す。構造の最適化とモジュールの6in1化によって、T-PMソリューションと比較して約60%のフットプリント縮小を達成した。また、**図5**に質量比較を示す。アルミフィンを採用することで、従来構成と比較して約70%の質量低減を達成した。

図6に熱抵抗の比較を示す。アルミは銅よりも熱伝導率が悪いものの、アルミフィンをもジュールと一体化することで放熱グリス層を削減して、さらに絶縁基板下のはんだ層を削減することで、T-PMソリューションと比較して約20%の熱抵抗低減を達成した。この絶縁基板下のはんだ層の削減で、熱サイクル耐量の向上も果たしている。

図7にPN間のインダクタンス比較を示す。通常、大型

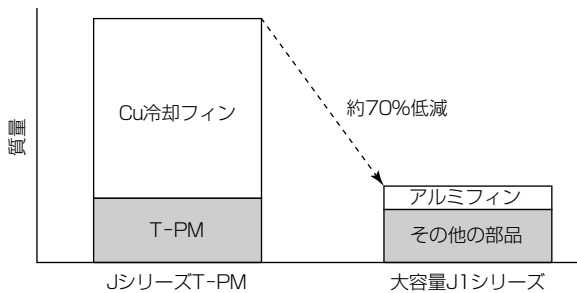


図5. 質量の比較

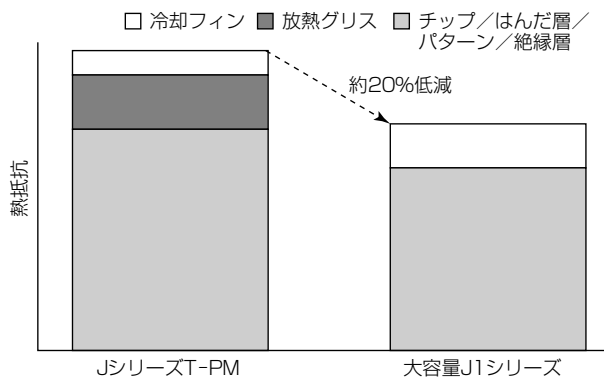


図6. 熱抵抗の比較

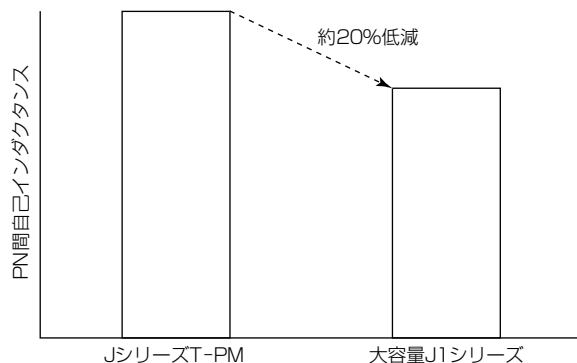


図7. PN間自己インダクタンスの比較

のパッケージは配線長が長くなるため、小型のパッケージに比べて自己インダクタンスが大きくなる傾向がある。この自己インダクタンスが大きいと、IGBTの高速スイッチングの際、より高いサージ電圧を生じるため使用条件が限定的になることがあり、パワーモジュールの大容量化が困難であった。しかし、大容量J1シリーズではパッケージの小型化とpn電極の平行配線を施すことで、T-PMソリューションと比較して約20%の自己インダクタンス低減を達成しており、使用条件の拡大や低スイッチング損失を実現可能にした。

3. 大容量J1シリーズの性能

3.1 第7世代IGBTとダイオード

大容量J1シリーズは、第7世代IGBTとダイオードを搭載している。第7世代IGBTは“CSTBT”に加えて、極薄ウェーハプロセス技術を適用して低損失化を実現した。さらに、第7世代ダイオードはRFC(Relaxed Field of Cathode)効果が得られる裏面構造を適用したことで、snap-off(電圧跳ね上がり)とそれに誘発される発振が抑制できる高リカバリーSOA(Safe Operating Area)性能が可能となり、前世代品よりも更に薄ウェーハ化することで低損失化を実現した。当社のIGBTとダイオードの性能進化は常に高出力密度化と低損失化を目指して進めており、第7世代IGBTとダイオードは大容量J1シリーズの小型化、低損失化に貢献している(**図8**)。

3.2 1,200V系

図9に大容量J1シリーズCT600CJ1B120のインバータ損失の内訳を、**図10**に大容量J1シリーズCT600CJ1B120のTjシミュレーション結果を示す。Tjmax(175℃)以下で500Arms以上の通電が可能であり、様々な通電条件に対応可能であることを示している。

3.3 650V系

図11に大容量J1シリーズ650V系のインバータ損失の内訳を、**図12**に大容量J1シリーズ650V系のTjシミュレー

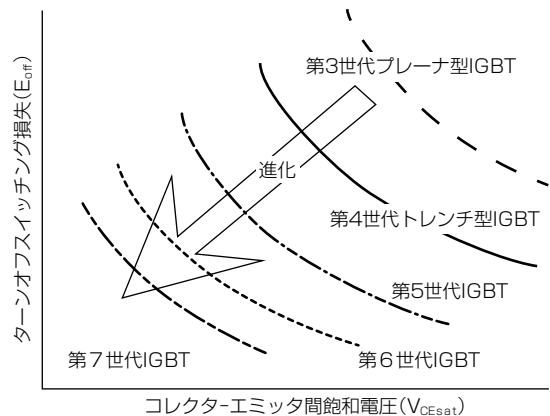
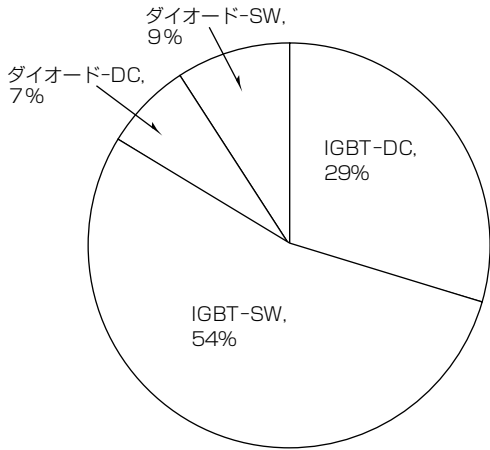
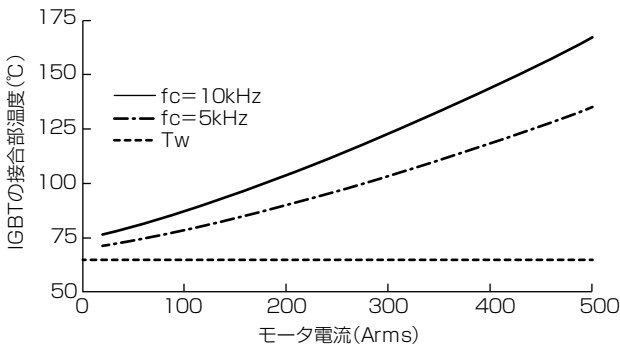


図8. IGBTの進化



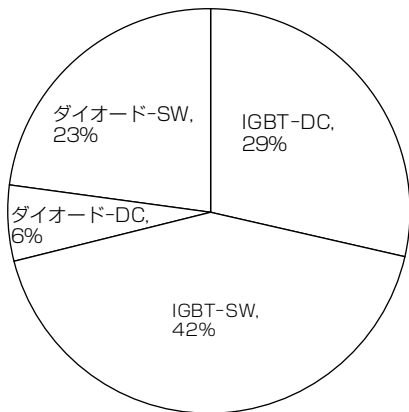
条件: $I_o=400\text{Arms}$, $V_{cc}=600\text{V}$, $f_c=5\text{kHz}$, $\text{PF}=0.8$, $M_o=1$
 SW: スイッチング損失, DC: 通電損失

図9. CT600CJ1B120のインバータ損失の内訳(代表例)



条件: $V_{cc}=600\text{V}$, $f_c=5\text{kHz}$, 10kHz , $T_w=65^\circ\text{C}$,
 流量=10l/min, $R_{th(j-w)}$ (IGBT)=最大,
 当社評価用冷却ジャケット使用

図10. 1,200V系のTjシミュレーション結果(代表例)



条件: $I_o=600\text{Arms}$, $V_{cc}=450\text{V}$, $f_c=5\text{kHz}$, $\text{PF}=0.8$, $M_o=1$

図11. 650V系のインバータ損失内訳(代表例)

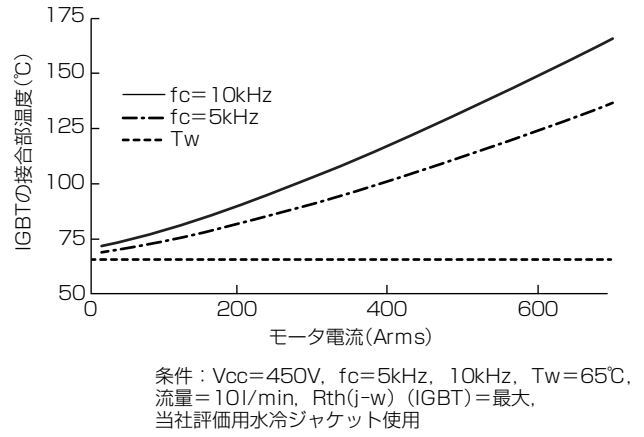


図12. 650V系のTjシミュレーション結果(代表例)

シミュレーション結果を示す。Tjmax(175°C)以下で700Arms以上の通電が可能であり、様々な通電条件に対応可能であることを示している。

4. む す び

次世代自動車用パワーモジュール“大容量J1シリーズ”は、冷却フィン一体型構造、DLB構造の採用と内部構造の最適化、及び第7世代IGBTとダイオードの採用によって、自動車用として“高性能”“小型・軽量化”と“大容量化”を同時に達成するモジュールとして開発中である。当社は、EV/HEV市場のニーズに応えるため、“大容量J1シリーズ”に最適な評価キット(ドライバボード、DCリンクキャパシタ、水冷ジャケット)を準備しており、大容量J1シリーズのユーザーサポートの充実化に取り組んでいる。

今後は、大容量製品を含めた“J1シリーズ”の更なるラインアップの拡充を行うとともに、新たな高性能モジュールの開発を行って、ますます広がる自動車用パワーデバイス市場を主導していく。

参 考 文 献

- (1) 猪ノ口誠一郎, ほか: 自動車用IPM/T-PM“Jシリーズ”, 三菱電機技報, **86**, No.5, 283~286 (2012)
- (2) 石原三紀夫, ほか: 次世代自動車用パワー半導体モジュール“J1シリーズ”, 三菱電機技報, **88**, No.5, 321~324 (2014)