

# 第7世代IPM“G1シリーズ”のラインアップ拡充

青木伸親\*  
米山 玲\*  
塚本英樹\*\*

## Expanded Lineup of 7th Generation IPM "G1 - Series"

Nobuchika Aoki, Rei Yoneyama, Hideki Tsukamoto

### 要 旨

地球環境保全の目的から世界中で省エネルギー化への取組みが盛んに行われている。省エネルギー化への取組みのキーパーツとして、大電力の電力変換を担うパワー半導体は必要不可欠である。このパワー半導体には“高効率”, “小型”, “高信頼性”が市場ニーズとして求められている。近年、中国・アジア地域での工場自動化が急成長しており、特に駆動回路と保護回路を一つのモジュール内に搭載したインテリジェントパワーモジュール(IPM)は製品の扱いやすさから多くのユーザーに使用されている。IPMはサーボやインバータ、新エネルギー分野など用途が多岐にわたるため、ユーザーによって使用環境・実装方法に対する要求は様々である。

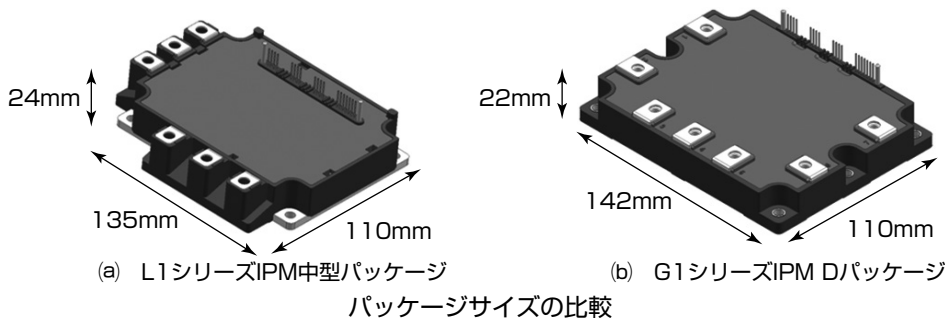
7世代IPM“G1シリーズ”は製品定格に応じて3タイプ

のパッケージを展開していたが、今回、高出力・高放熱といった市場のニーズに応えるため、“Dパッケージ”を新規に開発し、ラインアップを拡充した。G1シリーズDパッケージは次の特長を持ったパワーモジュールである。

- (1) 低損失の7世代IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)とダイオードを採用し、大容量化した。
- (2) モジュールサイズを従来品である“L1シリーズ”相当とし、より高出力用途を希望するユーザーに対応して、パッケージの放熱性能を向上させた。
- (3) G1シリーズ“Aパッケージ”, “Bパッケージ”と主端子の高さをそろえ、また、P-N端子をモジュール左右から出すことで、ユーザーでの設計自由度を向上させた。

	25A	50A	75A	100A	150A	200A	300A	450A
L1シリーズ 600V定格		L1-小型pkg				L1-中型pkg		
G1シリーズ 650V定格		G1-Apkg					G1-Cpkg	
		G1-Bpkg						G1-Dpkg
L1シリーズ G1シリーズ 1,200V定格		L1-小型pkg		L1-中型pkg				
		G1-Apkg						
		G1-Bpkg						
					G1-Cpkg			
					G1-Dpkg			

製品ラインアップ(G1/L1シリーズ)



### 7世代IPM“G1シリーズ”のラインアップ拡充

G1シリーズIPMでは、定格電圧650V品で450A、定格電圧1,200V品で200Aまで製品ラインアップを拡充した。今回、高出力用途を希望するユーザー向けに、放熱性能に特化したDパッケージ(Dpkg)をラインアップした。また、Dpkgではパッケージサイズを110×142×22(mm)とし、G1シリーズIPMの中では最大のパッケージサイズとした。これはL1シリーズIPM中型パッケージ(L1-中型pkg)と同程度のパッケージサイズだが、L1シリーズよりも高出力で使用できる。

## 1. ま え が き

近年、中国、アジア地域での工場の自動化が急成長している。工場の自動化にはサーボやインバータといった電力変換を必要とするパワー半導体が欠かせない。特に駆動回路と保護回路を一つのモジュール内に搭載したインテリジェントパワーモジュール(IPM)は製品の扱いやすさ、高信頼性から多くのユーザーに使用されている。IPMの用途はサーボやインバータだけではなく、太陽光発電や風力発電といった新エネルギー分野など多岐にわたるため、ユーザーによって使用環境・実装方法に対する要求は様々である<sup>(1)</sup>。“高効率”、“小型”、“高信頼性”への要求が年々増加しており、高出力で高い放熱性能を兼ね備えたパワーモジュールが必要とされている。このような市場のニーズに対応するため、7世代IPM(G1シリーズIPM)を開発した。今回、G1シリーズIPMにDパッケージを追加し、ラインアップを拡充した。

## 2. 7世代IPM(G1シリーズIPM)の特長

### 2.1 7世代IPM(G1シリーズIPM)の製品ラインアップ

パワーモジュールは近年小型化やラインアップの充実化が求められている。特にユーザーで一つの筐体(きょうたい)の中にパワーモジュールを複数実装することも多く、筐体の小型化を実現するためにパワーモジュールの狭幅・小型化・容量拡大の要求が強い。G1シリーズIPMは従来製品であるL1シリーズIPMからこれらの要求を実現した製品である。G1シリーズIPMとL1シリーズIPMの製品ラインアップを図1に示す。G1シリーズIPMは製品定格に応じてAパッケージ(Apkg)、Bパッケージ(Bpkg)、Cパッケージ(Cpkg)、今回述べるDパッケージ(Dpkg)の4タイプを展開している。L1シリーズIPMは定格電圧600V品では300Aまで、定格電圧1,200V品では150Aまでのラインアップであったが、G1シリーズIPMでは定格電圧650V品で450A、定格電圧1,200V品で200Aまで製品ラインアップを拡充した。

G1シリーズIPMは7世代IGBT“CSTBT”とダイオードを採用し、従来品であるL1シリーズから低損失化を実現した。

	25A	50A	75A	100A	150A	200A	300A	450A
L1シリーズ 600V定格 G1シリーズ 650V定格		L1-小型pkg		L1-中型pkg		L1-大型pkg		
		G1-Apkg		G1-Bpkg		G1-Cpkg		
L1シリーズ G1シリーズ 1,200V定格		L1-小型pkg		L1-中型pkg		L1-大型pkg		
		G1-Apkg		G1-Bpkg		G1-Cpkg		
						650V/450Aの製品を先行開発		
						G1-Dpkg		

図1. 製品ラインアップ(G1/L1シリーズ)

また、G1シリーズIPMは同定格のL1シリーズIPMからパッケージサイズ比で実装面積をBpkgで25%、Cpkgで31%を削減し、インバータ機器などの小型化と軽量化に貢献している。

G1シリーズIPMでは各パッケージで定格を重複させることでユーザーは用途に応じてパワーモジュールを使い分けることができる。例えば、従来のL1シリーズ小型パッケージ(L1-小型pkg)定格の内、100A以下ではユーザーの用途によって、G1シリーズApkgとBpkgの二つのパッケージから選択可能である。また、200AではG1シリーズBpkgとCpkgから選択可能とした。これによって、ユーザー側でシステム設計の際にパッケージの共通化などの自由度が広がった。今回述べるG1シリーズDpkgはCpkgと重なる定格ラインアップでパッケージを追加した。L1シリーズから最大定格を拡充する中で、Cpkgは小型化に特化したパッケージであったが、高出力用途を希望するユーザーに向け、放熱性能に特化したDpkgをラインアップした。今回、G1-Dpkgの中でも最大定格である650V/450Aの製品を先行して開発を行った。

### 2.2 7世代パッケージ構造

一般的にパワーモジュールはシステムの起動、停止動作を繰り返すことでケース温度が変化する。この際、熱ストレスが構成部材にかかり、部材間の線膨張係数の違いによって接合材であるはんだ層の劣化が進行する。7世代IPM(G1シリーズIPM)では樹脂絶縁銅ベース板を採用することで、絶縁層と放熱ベース板を一体化し、絶縁基板下のはんだを使わない構造(はんだレス構造)としている。また、封止材にエポキシ系樹脂を用いたダイレクトポッティング構造を採用した。G1シリーズIPMでは絶縁基板下のはんだレス構造とすることで、絶縁基板下のはんだ劣化に起因するサーマルサイクル耐量を向上させ、モジュールの高信頼性化を達成した<sup>(2)</sup>。今回ラインアップに追加したG1シリーズDpkgでもこれらの構造を採用している。

また、Dpkgではパッケージサイズを110×142×22(mm)とし、G1シリーズIPMの中では最大のパッケージとした(図2)。これは従来品であるL1シリーズIPM中型パッケージ(L1-中型pkg)と同等程度のパッケージサイズだが、L1シリーズIPMよりも高出力で使用できる。

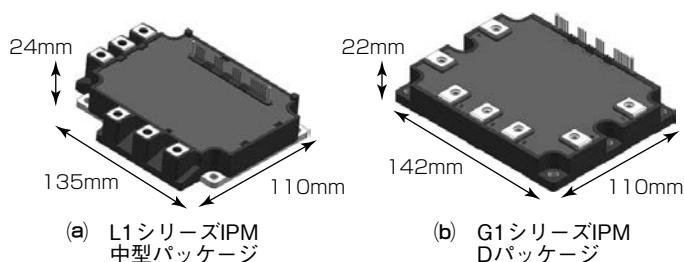


図2. パッケージサイズの比較

### 2.3 電気的特性・搭載機能

G1シリーズIPMではEMI(放射)ノイズ低減のため、低ノイズIGBT駆動回路を搭載している。低ノイズIGBT駆動回路の原理を図3に示す。G1シリーズは低電流領域のスイッチング速度を遅くすることでEMIノイズの発生を低減し、大電流領域(定格電流)ではスイッチング速度を早く設定し、発生損失を低減するスイッチング速度切替え機能がある。スイッチング速度切替えはチップ内に内蔵された素子を使用することでIGBTに流れる電流をリアルタイムに制御ICで検出し、あるしきい値以上でスイッチング速度が自動的に切り替わる仕様になっている。この切替えポイントはユーザー側の特性を最大限に引き出すように設計を最適化している。G1シリーズIPMとL1シリーズIPMを用いて発生損失シミュレーションを実施した結果を図4に示す。G1シリーズIPMの発生損失は定常運転モードを想

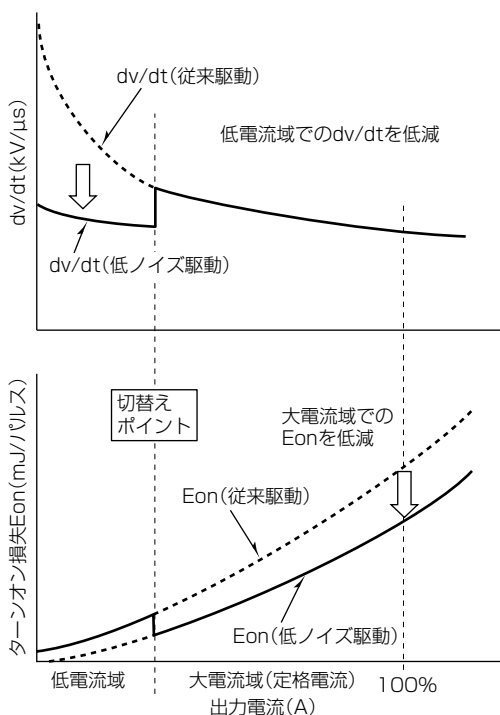


図3. 低ノイズIGBT駆動回路の原理

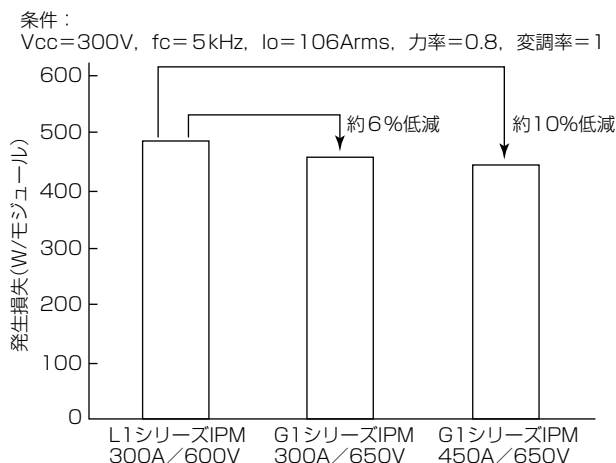


図4. 定常運転モードでの発生損失シミュレーションの比較

定した場合、L1シリーズよりも同定格品(300A/650V)で約6%, 最大定格品(450A/650V)で約10%低減する。

また、G1シリーズIPMではエラー信号を発生させるとともに、保護機能(加熱保護(OT), 制御電源電圧低下保護(UV), 短絡保護(SC))がある。今回、G1シリーズIPMではエラー信号に各種保護動作の識別機能を追加した。各保護機能に対応したエラー信号時間を設定しており、保護機能が働いた際に規定のエラー信号時間がユーザーへ出力される。ユーザーでエラー出力を検知することでどのような異常が発生しているかを把握することが可能になった。

### 3. G1シリーズ Dpkgの特長

#### 3.1 放熱性能の向上

G1シリーズDpkgでは放熱性能を向上させるため、放熱に寄与する樹脂絶縁銅ベース板サイズを101×117(mm)とし、G1シリーズの中では最大放熱面積となっている。放熱面積拡大に加え、7世代のIGBTとダイオードを採用したことで発生損失低減効果、各チップの熱干渉を考慮したチップ配置による発熱抑制効果によってチップ温度が上昇しにくい設計としている。L1シリーズの最大定格品(300A/600V)とG1シリーズDpkgの最大定格品(450A/650V)での発熱シミュレーションの比較結果を図5に示す。同一の電流出力条件で比較した場合、G1シリーズDpkgのチップ温度はL1シリーズと比べて約10%低減することを確認した。

#### 3.2 ユーザー設計自由度の向上

アプリケーションによっては一つのユニットで複数のモータを駆動する場合があるが、出力容量に応じて異なるパッケージのモジュールを複数使用することになる。この際、モジュールのパッケージ高さが異なるとユニットのシステム設計が複雑になる。それに対して、今回は高出力用途向けのDpkgのパッケージ高さを小・中出力向けのApkg, Bpkgとそろえて22mmにしたことで、高・中・小出力に対応した各パッケージを容易に組み合わせて使用できる。また、同一平面のヒートシンクにモジュールを配置した場合、制御基板の高さを統一化(1枚化)することができる。これによって基板間を接続するコネクタやハーネ

発熱シミュレーション条件：  
三菱電機任意のシミュレーション条件での相対比較  
Vcc=300V, fc=5kHz, Io=106Arms, 力率=0.8, 変調率=1

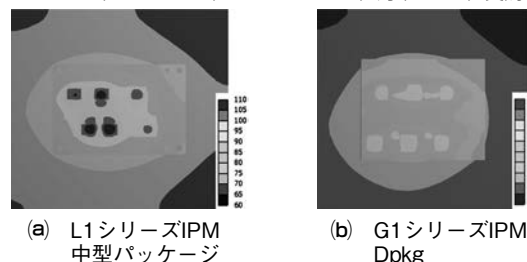


図5. 発熱シミュレーションの比較結果

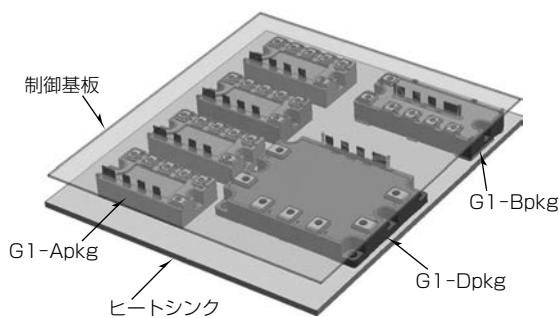


図6. パッケージ高さの統一による同一平面での基板共通化例

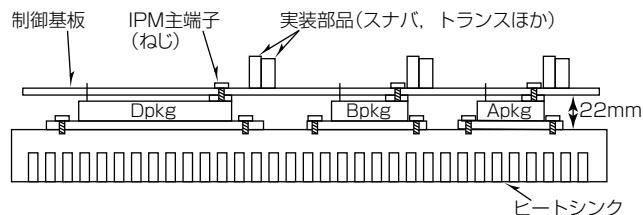


図7. ヒートシンクと制御基板への実装例

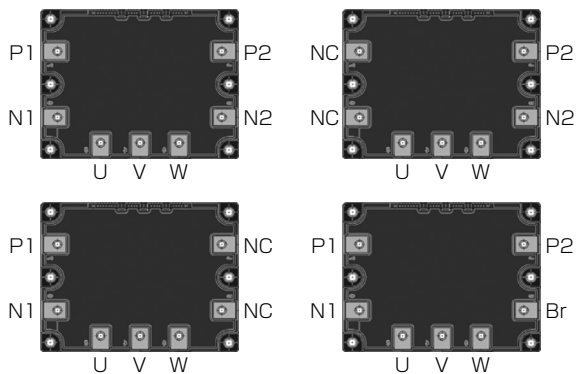


図8. G1シリーズDpkgの主端子配置

スの削減など、ユニット設計の容易化、部品点数の削減などを可能にした(図6, 図7)。

また、L1シリーズIPMのパッケージはP-N電極は1箇所固定されていたが、DpkgはP-N電極を2箇所設けることでユーザーの設計自由度を向上させた。図8にDpkgの主端子配置のラインアップを示す。P-N端子をモジュール両側からP1-N1, P2-N2と配置した場合、図9のように平行平板配線と反対側の主端子にスナバコンデンサ(スナバC)を配置することができ、パワーモジュールに発生するサージ電圧の抑制効果を高めることができる。一方、P-N端子を左側だけ、又は右側だけというように限定して使用することも可能である。この場合、ユーザーはユニット側でのモジュールレイアウトを図10(a), (b)のようにすることができ、設計の自由度が広がる。

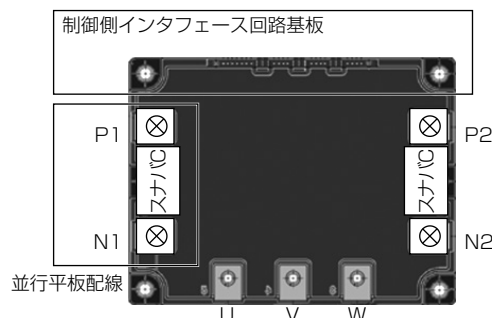
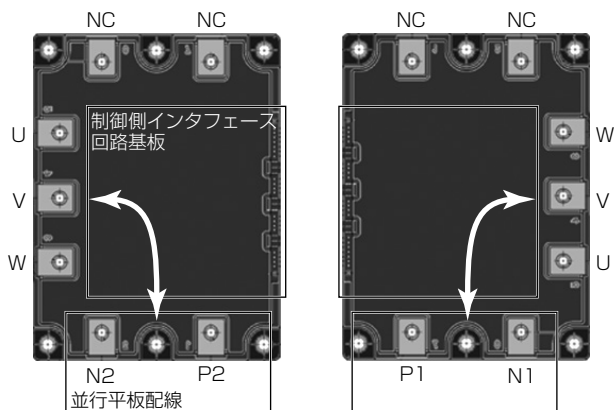


図9. G1シリーズのDpkg配線例1



(a) P2-N2を主端子とした場合 (b) P1-N1を主端子とした場合

図10. G1シリーズDpkgの配線例2

#### 4. む す び

G1シリーズIPMのDパッケージの特長を中心に述べた。このIPMは従来品であるL1シリーズIPMから製品定格を拡大するとともに、放熱性能の向上、電極レイアウト自由度の向上、パッケージ高さの統一化を盛り込んだ。G1シリーズはDパッケージを追加することでパッケージ選択肢を拡大し、出力容量別ラインアップを充実化して、多様化する市場要求に対応した製品になったと考える。今後は多様なアプリケーションを想定し、Dパッケージを活用して電源再生コンバータ等に応用することを検討中である。

#### 参 考 文 献

- (1) 魚田紫織, ほか: 新大容量 2 in 1 “V1シリーズ”, 三菱電機技報, 84, No.4, 248~250 (2010)
- (2) 木村義孝, ほか: 産業用第7世代IPM“G1シリーズ”, 三菱電機技報, 90, No.5, 299~302 (2016)