産業向け大容量 IGBT モジュール「HPnC」

“HPnC” Industrial Large–Capacity IGBT Module

日達　貴久 HITACHI, Takahisa　　川畑　潤也 KAWABATA, Junya　　小平　悦宏 KODAIRA, Yoshihiro

温室効果ガスの排出量を削減するために、再生可能エネルギーが注目されている。今後のさらなる普及に向けて、発電コストの低減および発電効率の向上のため、電力変換装置の大容量化が進んでいる。富士電機はこれに対応するため、並列接続の容易さと出力容量の拡大を実現した、産業向け大容量 IGBT モジュール「HPnC」を開発した。定格電圧 1,700 V 品は内部構造の最適化により製品の電流密度を上げることで、従来品に比べ出力電流が約 33％ 拡大した。また、定格電圧 2,300 V 品は DC1,500 V の電力変換装置に対応し、従来品に比べ出力容量が約 18％ 拡大した。

Renewable energy has been highlighted as a means of reducing greenhouse gas emissions. For further promote its use, power conversion equipment capacity is increasing in order to reduce power generation costs and improve efficiency. Fuji Electric has accordingly developed the “HPnC” industrial large-capacity IGBT module, which can be easily connected in parallel and provides high output power. Products of a 1,700-V rating have increased approximately 33% available output current by using optimal internal structure. Products of a 2,300-V rating, which are developed for 1,500-V DC power conversion equipment, have increased the output power by approximately 18%.

1　まえがき

近年、世界各国で地球温暖化が原因と推定される異常気象が問題となっている。そのため、地球温暖化の主な原因である温室効果ガスの排出量を削減することができる太陽光・風力発電などの再生可能エネルギーが注目され、普及が進んでいる。再生可能エネルギーのさらなる普及に向けては、発電コストの低減と発電効率の向上が求められている。そのためには電力変換装置の大容量化が有効であり、使用する半導体モジュールには、高電流密度化や高耐電圧化が期待されている。加えて、並列接続の容易さも要求されている。

富士電機ではこれらの要求に応えるために、再生可能エネルギーなど産業用の高出力アプリケーション向け大容量 IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）モジュール製品として、「HPnC」（High Power next Core）を開発した（**図 1**）。

図 1　大容量 IGBT モジュール「HPnC」

2　電力変換装置における入力電圧の高電圧化

現在は電力変換装置の入力電圧が DC1,000 V のシステムが主流であるが、さらなる発電コストの低減や発電効率の向上のため、入力電圧 DC1,500 V システムの導入が進んでいる。太陽光発電システムの構成例を**図 2** に示す。電力変換装置において、DC1,000 V システムと DC1,500 V システムを比較すると、DC1,500 V システムの方が電圧が高いため、太陽光パネルの直列接続数を 1.5 倍に増やすことができる。それに伴い、使用するケーブル量や電力変換装置や変圧器数が 2/3 になり、これら周辺部材や機器のコストを低減できる。また、電圧を上げることで電流が減り、電圧降下に伴う電力損失が小さくなるため、発電効率が向上する。

表 1 に DC1,500 V システムにおける 2 レベルインバータと 3 レベルインバータの比較を示す。大容量の電力変換装置では、IGBT モジュールを多並列接続して使用することが多く、2 レベルインバータの方が、回路が単純で主回路の配線が容易な上に部品点数も少なく、多並列化に有利である。従来の DC1,000 V 入力の 2 レベルインバータには定格電圧 1,700 V の IGBT モジュールが使用されているが、DC1,500 V 入力に対しては電圧容量が足りず、適した定格電圧のラインアップがなかった。そこで今回、DC1,500 V 入力に適した定格電圧 2,300 V の IGBT モジュールを開発した。これを使用することで、DC1,500 V に対して 2 レベルインバータを適用して回路構成を簡素化し部品点数を削減でき、多並列接続が容易になる[(1)]。

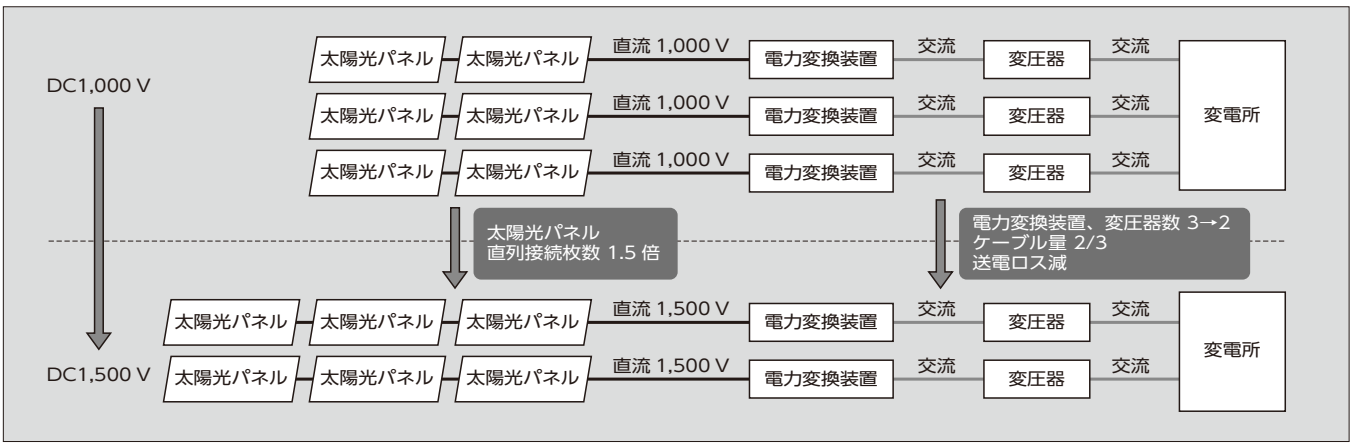
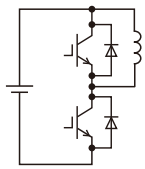
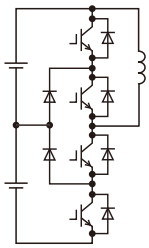


図 2　太陽光発電システムの構成例

表 1　DC1,500 V システムにおける 2 レベルインバータと 3 レベルインバータの比較

項目	2レベルインバータ		3レベルインバータ	
回路構成	主回路配線が容易	○	主回路配線が複雑	×
部品点数	少ない	○	多い	×
多並列化	向き	○	不向き	×
素子定格電圧	2,300 V	−	1,700 V	−
モジュール1台当たりの損失	大きい	×	小さい	○
回路例				

3　製品ラインアップ

表 2 に HPnC の製品ラインアップを示す。定格電圧 1,700 V で定格電流 1,200 A/1,500 A/1,800 A、定格電圧 2,300 V で定格電流 1,200 A のモジュールをラインアップした。定格電圧 1,700 V 品は DC1,000 V 入力に適しており、従来品に比べて小型で高効率となっている。定格電圧 2,300 V 品は 2 レベルインバータにて DC1,500 V 入力に対応できる。IGBT チップと FWD（Free Wheeling Diode）チップは、低損失の第 7 世代「X シリーズ」技術を採用しており、回路構成は 2 in 1 である。サーミスタを内蔵しており、モジュール内部の温度検知が可能である。高放熱性を確保するため、絶縁基板には窒化アルミニウム（AlN）セラミックを、ベース材には銅（Cu）を採用している[(2)]。また、ケース材料に高 CTI（比較トラッキング指数：Comparative Tracking Index）樹脂を採用して、絶縁耐量を上げることで、従来品の耐圧 1,700 V から 2,300 V までに対応したパッケージとなっている。

表 2　「HPnC」の製品ラインアップ

製品型式	定格電圧（V）	定格電流（A）
2MBI1200XZF170-50	1,700	1,200
2MBI1500XZF170-50		1,500
2MBI1800XZF170-50		1,800
2MBI1200XZF230-50	2,300	1,200

4　「HPnC」の特徴

4.1　電流密度の向上

HPnC は、内部構造の最適化によるチップ搭載エリアの拡大により電流密度が向上している。**表 3** に定格 1,700 V/1,800 A の HPnC と従来品である PrimePACK™[〈注〉] のチップ搭載エリアの比較を示す。ベースプレート面積に対するチップ搭載エリアの比率は、PrimePACK™ の 21.7% に対し、HPnC は 28.4% となり約 7% 向上した。チップの占有面積が増えた結果、ベースプレート面積に対する電流密度は定格 1,700 V/1,800 A 品の場合、PrimePACK™ は 8.1 A/cm^2 であるのに対して、HPnC は 12.9 A/cm^2 と約 1.6 倍になり、小型パッケージでより大きな電流を出力可能となった。電流密度の向上により、電力変換装置は同一設置面積で出力容量を拡大できる。

表 3　チップ搭載エリアの比較

項目	PrimePACK™＊		HPnC	
	面積（cm^2）	対ベースプレート	面積（cm^2）	対ベースプレート
ベースプレート	222.5	21.7%	140.0	28.4%
チップ	48.2		39.8	

＊PrimePACK™：Infineon Technologies AGの商標または登録商標

〈注〉PrimePACK™：Infineon Technologies AG の商標または登録商標

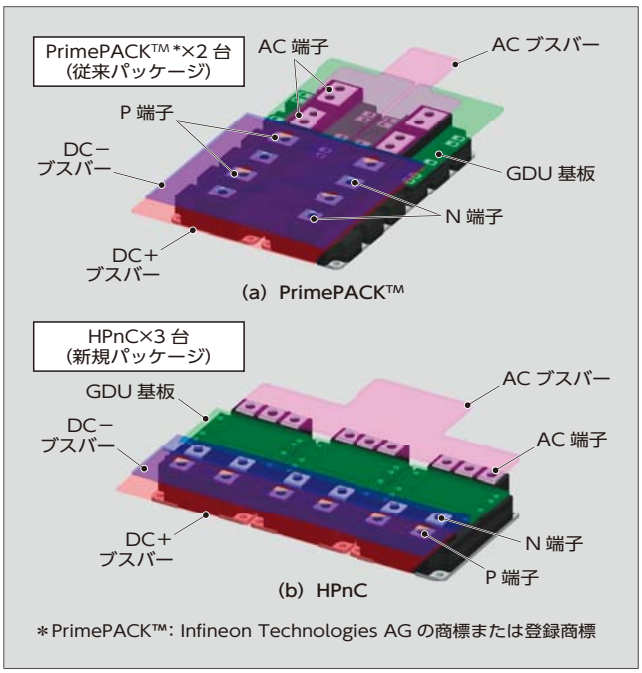


図 3　並列接続時の取付け状態の比較

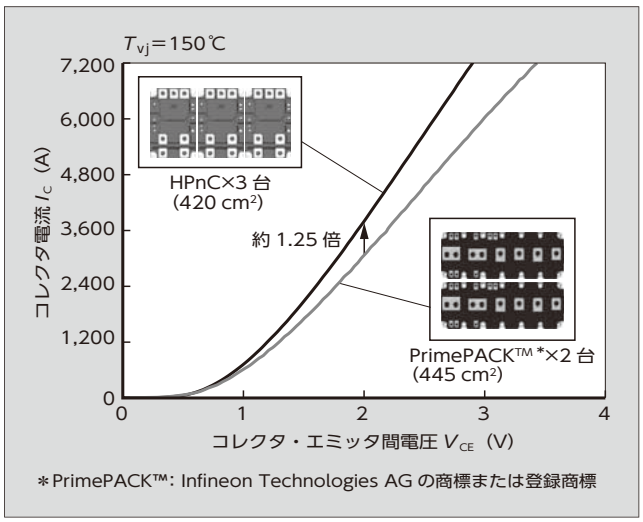


図 4　コレクタ電流 I_C−コレクタ・エミッタ間電圧 V_{CE} 特性（定格電圧：1,700 V）

4.2　並列接続の容易さ

従来の大容量製品で並列接続する場合、GDU（ゲート駆動回路：Gate Drive Unit）基板が主電流経路の端子位置と重なるためブスバーと干渉し、組立性が悪い。**図 3** に並列接続時の取付け状態の比較を示す。例として、同一設置面積となる HPnC3 台と、従来品である PrimePACK™2 台を並列接続した状態とした。

GDU 基板の取付けを想定した場合、PrimePACK™ では GDU 基板が AC ブスバーの直下に配置されるため、GDU 基板上の搭載部品が AC ブスバーと干渉する可能性がある。HPnC では PN 端子と AC 端子を離して配置することにより、ブスバーとの干渉を解消した。

また、PrimePACK™ は AC 端子を挟んで GDU 基板を取り付けるため、並列接続する際の GDU への配線が複雑であった。HPnC では PN 端子と AC 端子が離れていることで、GDU 基板への配線が PN 端子や AC 端子と干渉することがなくなった。これらにより、並列接続が容易になった。

5　電力変換装置への適用効果

5.1　出力電流の増大（定格電圧 1,700 V 品）

定格電圧 1,700 V 品は、前述のとおり電流密度を向上し、パッケージを小型化した。ベースプレート面積を比較すると、PrimePACK™ は 2 台で 445 cm^2（222.5 cm^2×2）となるが、HPnC では同一設置面積に 3 台（420 cm^2：140 cm^2×3）搭載できる。これらをそれぞれ並列に接続した場合のコレクタ電流 I_C−コレクタ・エミッタ間電圧 V_{CE} 特性を**図 4** に示す。同じ V_{CE} で比較した HPnC の I_C は約 1.25 倍となり、同一設置面積でより多くの電流が流せることがわかる。

図 5 にインバータ発生損失の比較を示す。**図 4** の特性を反映すると IGBT の導通損失が約 15% 低減し、インバータ発生損失は HPnC が 2,701 W となり PrimePACK™ の 3,060 W に比べ約 12% 低減する。

図 6 に出力電流と IGBT 接合温度の関係を示す。IGBT 接合温度 T_{vj}=125 ℃の時の IGBT の出力電流は HPnC で 1,850 A となり、PrimePACK™ の 1,390 A に対して約 33% 増やすことができる。

このように、HPnC は同一設置面積で大電流化できるため、電力変換装置の大容量化に貢献する。

5.2　出力容量の拡大（定格電圧 2,300 V 品）

HPnC では、PrimePACK™ にない定格電圧 2,300 V 品をラインアップしている。DC1,500 V 対応の 2,300 V 品を使用することで、DC1,000 V 対応の 1,700 V 品と比べて、同一設置面積における出力容量を上げることができる。

図 7 に出力容量と IGBT 接合温度の関係を示す。**5.1 節**

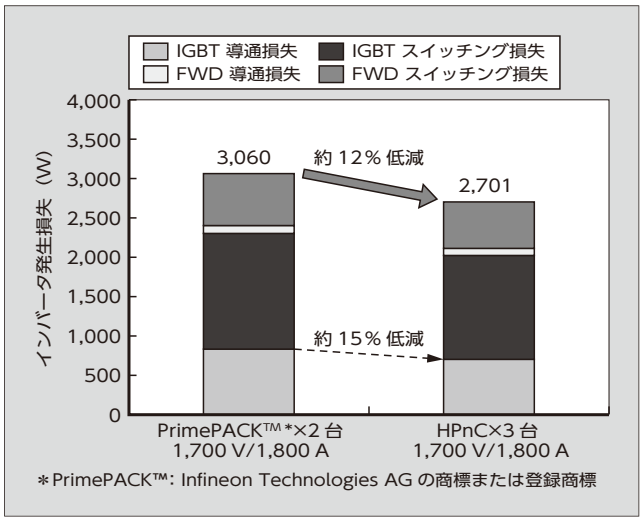


図 5　インバータ発生損失の比較（定格電圧：1,700 V）

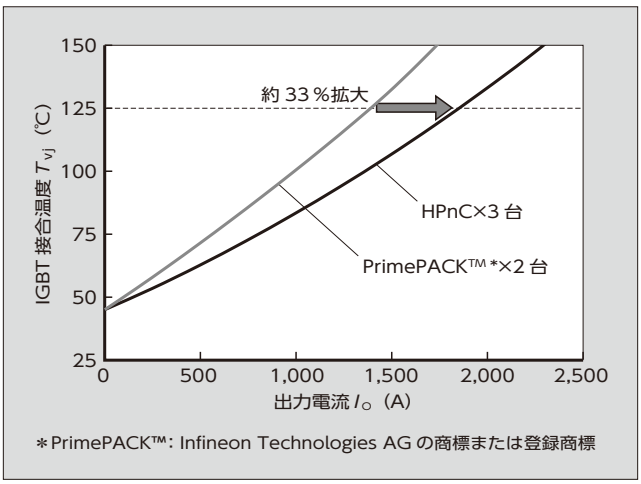


図 6　出力電流と IGBT 接合温度の比較（定格電圧：1,700 V）

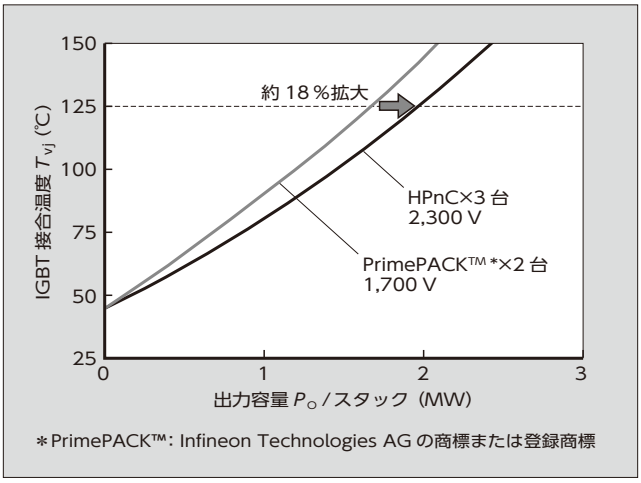


図 7　出力容量と IGBT 接合温度（定格電圧：2,300 V、1,700 V）

と同様に、同一設置面積となるよう PrimePACK™ は 2 台、HPnC は 3 台として、PrimePACK™ は定格電圧 1,700 V 品を、HPnC は定格電圧 2,300 V 品を使用した場合の出力容量を比較した。IGBT 接合温度 T_{vj}=125 ℃における HPnC の出力容量は 1.97 MW となり、PrimePACK™ の 1.67 MW に比べ約 18% 拡大することができる。2,300 V 品は 1,700 V 品に対して動作電圧が上がるため、出力容量を増大しても低電流で動作できる。低電流では電圧降下に伴う電力損失が下がるため、電力変換装置の効率が向上する。

6　あとがき

今回開発した「HPnC」は、定格電圧 1,700 V 品は主に DC1,000 V のシステム向けに、定格電圧 2,300 V 品は DC1,500 V のシステム向けにラインアップした。電力変換装置の大容量化に対応するため、モジュール 1 台当たりの電流密度が向上するとともに、並列接続が簡単にできる構造とした。また、電力変換装置のさらなる高効率化に向け、低損失の SiC（炭化けい素）−MOSFET（Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor）チップを搭載した定格電圧 2,300 V 品の開発も進めている。

今後も、再生可能エネルギーのさらなる発電コストの低減と発電効率の向上に貢献できるよう、製品開発を進めていく所存である。

参考文献

(1)　S. Chen et al. “Application of Newly−Developed 2.3 kV Si and SiC Devices to Renewable Energy System”. Proceeding of PCIM Europe 2023, p.696−700.

(2)　関野裕介ほか. 大容量SiCハイブリッドモジュール「HPnC」. 富士電機技報. 2017, vol.90, no.4, p.228−232.

日達　貴久

産業用 Si−IGBT モジュール、SiC−MOSFET モジュールの開発に従事。現在、富士電機株式会社半導体事業本部産業事業部産業設計第一部。

川畑　潤也

産業用 Si−IGBT モジュール、SiC−MOSFET モジュールの開発に従事。現在、富士電機株式会社半導体事業本部産業事業部産業設計第一部。

小平　悦宏

産業用 Si−IGBT モジュール、SiC−MOSFET モジュールのパッケージ設計に従事。現在、富士電機株式会社半導体事業本部産業事業部産業設計第一部。

富士電機

Innovating Energy Technology

＊本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。