

# HVDCに適したスイッチングデバイスPPI

## PPI Switching Devices for HVDC Systems

塚本 直人      新田 哲也      寺前 智  
 ■TSUKAMOTO Naoto      ■NITTA Tetsuya      ■TERAMAE Satoshi

地球温暖化防止に向け、パワーエレクトロニクス分野の省電力化が求められている。電力送配電分野では、高圧直流送電(HVDC: High Voltage Direct Current Transmission)が、大容量・長距離送電の省電力化に適した方式として、世界中で実用化が進んでいる。

東芝デバイス&ストレージ(株)はHVDCに適したスイッチングデバイスとして、IEGT(Injection Enhanced Gate Transistor)素子を用いた圧接型IEGT(PPI)の製品化を行ってきた。HVDC向けスイッチングデバイスでは、低電力損失、運転継続性、及びパッケージの防爆耐量が重要な特性である。低電力損失については、新たに採用したトレンチ型構造による通電損失の改善で約18%の損失低減を実現し、PPI構造の特長の一つである運転継続性については強制的に破壊した素子で50hの運転継続能力を確認するとともに、防爆耐量改善パッケージの採用により従来パッケージと比べて約1.7倍のエネルギーまで破裂しない防爆性を実現している。

Reduction of the power consumption of equipment used in the power electronics field is an important issue as part of efforts to prevent global warming. Particularly for power transmission and distribution applications, high-voltage direct current (HVDC) transmission systems have been put to practical use as an energy-saving method suitable for long-distance, large-capacity power transmission.

Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation has developed and released a line of injection enhanced gate transistors (IEGTs) known as press-pack IEGTs (PPIs) as switching devices for HVDC systems. These PPIs incorporate the following features: (1) an 18% reduction in energy loss through the introduction of a new trench structure, (2) an improved short-circuit failure mode (SCFM) allowing 50 hours of continuous current driving in the event of device failure, and (3) high rupture resistance through the application of a new package that achieves 1.7 times the rupture resistance of conventional packages.

### 1 まえがき

パワーエレクトロニクス分野における半導体デバイス(以下、パワーデバイスと略記)は、直流から交流、交流から直流への変換や、電圧、電流、及び周波数の制御を自在に行っている。パワーデバイスは、風力や太陽光などによる発電から、鉄道や、自動車、産業機械、家電製品など身近な場所での電力の活用まで、様々な分野で使われている(図1)。東芝デバイス&ストレージ(株)は電力変換のキーコンポーネントであるハイパワーデバイスの開発に注力し、発電、送配電、及び活用の全ての分野で、電力の効率のかつ安定的な利用に貢献している。

発電から活用までを安定的に実現するためには、送配電分野にも高効率、高信頼が求められる。特に近年、大容量で長距離の送電に適した方式としてHVDCが注目され、世界中で実用化されている。この方式は、通常の高圧交流送電と比較して、送電距離が長いほど省電力効果が高く、コスト的にも優れている。従来のHVDCシステムでは、他励式変換器が主流であり、スイッチングデバイスにはサイリスターが用いられてきた。しかし、他励式変換器は、調相設備や低次高調波フィルタなどの付帯設備が必要で、設置面積が大きくなる問題が

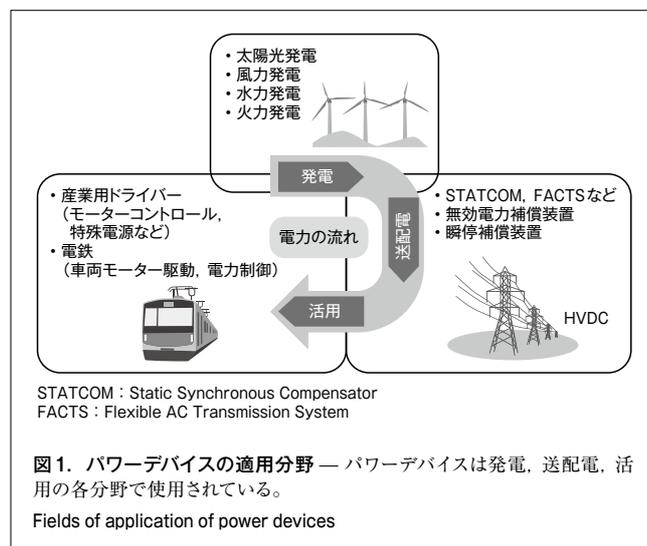


図1. パワーデバイスの適用分野 — パワーデバイスは発電、送配電、活用の各分野で使用されている。  
 Fields of application of power devices

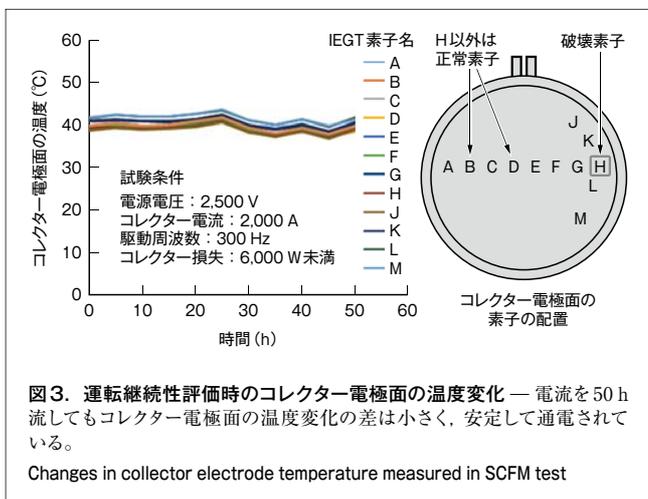
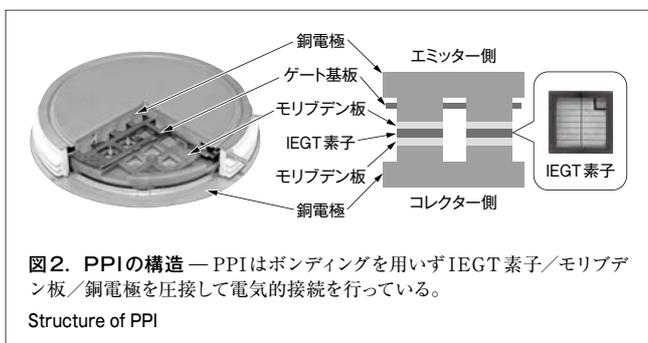
ある。これに対して自励式変換器は、有効電力とは独立して無効電力を自由に制御できるという他励式変換器にはない特長を持っている。そこで近年、HVDC向けにIEGTなどの自己消弧型のパワーデバイスを適用した自励式変換器が注目を集めている。

当社は、両面冷却による高い冷却能力と気密封止による耐候性を持つ、自励式変換器に適したPPIを採用することで、HVDC向けパワーデバイスに必要な、低電力損失、運転継続性、及びパッケージの防爆耐量の改善を実現した。ここでは、その概要について述べる。

## 2 PPIの運転継続性

HVDCなどの送配電の分野では、素子が破壊したときにシステムが停止しないように、破壊後も電流を流せる特性が求められる。一般的なプラスチックケースのモジュールはボンディングワイヤを使用しており、素子が破壊したときにボンディングワイヤが切斷されて、電流が流せなくなる場合がある。一方、PPIは、素子の電気的な接続を圧接で実現しているため、回路がオープンになりにくく、万一事故により素子が破壊してもショート状態を保ち、電流を流し続けることができる(図2)。これを生かし、IEGT素子を直列接続して冗長性を持たせることで、運転を継続できる。また、はんだやボンディングによる接続がないため、熱疲労による劣化が少なく、高い信頼性を実現している。

PPIの運転継続性を確認するために、通電の安定性の実験を行った(図3)。強制的に破壊した素子(Hの位置)を、正常

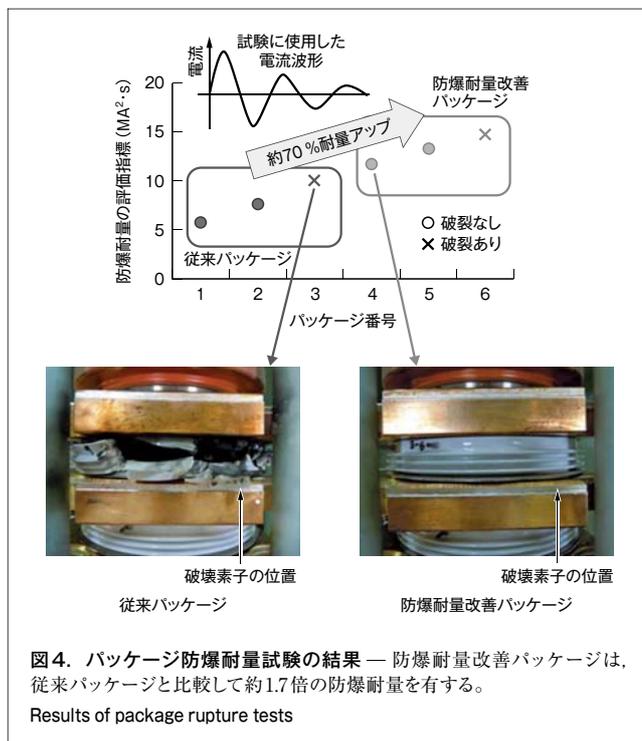


素子とともにPPI中に搭載した。変換器の稼働時に相当する連続パルス電流を、50hまで通電し、各素子に対応するコレクター電極面の温度を測定したところ、各測定点の温度変化の差は小さかった。このことから、安定して通電されていることが分かる。このようにPPIは、素子が破壊した後も継続して電流を流すことができ、電力の安定供給が必要なHVDCに適したパワーデバイスである。

## 3 PPIパッケージの防爆耐量

IEGT素子が破壊したときにパッケージが破裂すると、冷却器やほかの近接する機器にダメージを与え、システムが停止する可能性がある。安定的にシステムを運転するために、素子が破壊してもパッケージが破裂しない防爆性が望まれている。PPIのパッケージはセラミックを使用しているためパッケージが破裂しにくい特長があり、更に防爆性を高めた防爆耐量改善パッケージを開発した。

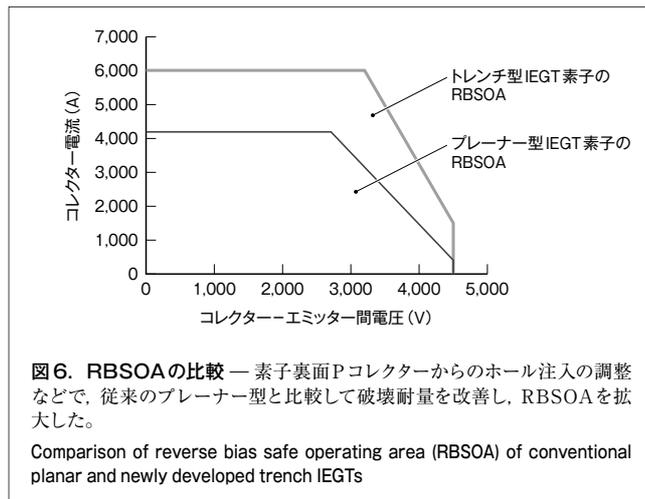
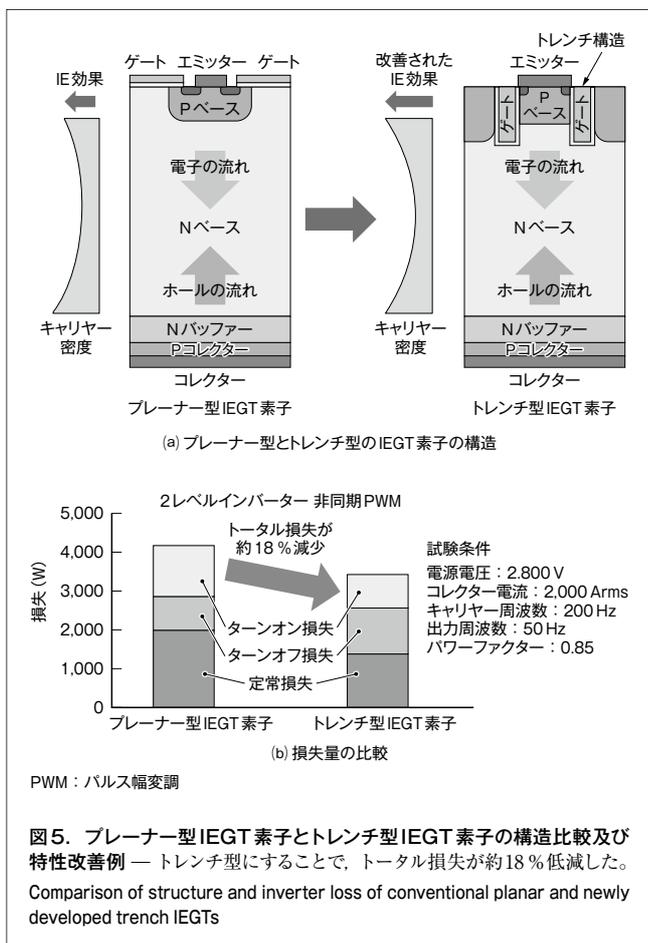
防爆耐量改善パッケージと従来パッケージを比較評価した結果を図4に示す。あらかじめ破壊した素子をPPIに搭載し、図中に示す波形の電流を流して、パッケージ破裂の有無を確認した。通電電流の大きさは、素子の短絡が想定される300kA前後とした。防爆耐量改善パッケージは、従来パッケージと比較して防爆耐量の評価指標が約70%向上した。これは、同じコンデンサー容量や同じ浮遊インダクタンスの回路において、直流電圧が約1.3倍になってもパッケージが破裂しないことを示しており、より高いシステム信頼性を実現できる。



## 4 IEGT素子の低損失特性及び遮断時の破壊耐量

IEGT素子では、エミッター側のP（P型半導体）ベースから注入されるホールの流出を抑制することで、IE（電子注入促進）効果<sup>(1)</sup>によりエミッター側のキャリア密度を上昇させ、低オン電圧を実現しているが、従来のプレーナー型構造では、その効果に限界があった。そこで、HVDC向け4,500 V素子として、ゲートをトレンチ構造にしたトレンチ型IEGT素子を開発した。この素子は、Pベースの配置を調整することで、IE効果の更なる改善を行った（図5(a)）。また、素子裏面のコレクター側からのホール注入効率を調整することで通電損失及びターンオン損失の改善を行い、トータル損失を約18%改善した（図5(b)）。

大容量スイッチング素子としては、大電流遮断時の破壊耐量も重要な特性である。IEGT素子の電流遮断時の破壊耐量向上には、MOS（金属酸化膜半導体）ゲート構造に含まれる、寄生NPNトランジスタ（N：N型半導体）の増幅率の抑制や、素子裏面Pコレクターからのホール注入の調整が有効である。加えて、素子裏面外周部のPコレクターから注入されるホールを抑えることが、破壊耐量改善に有効であることが分かっている。4,500 Vトレンチ型IEGT素子では、素子裏面外



周部のコレクターの不純物濃度を低減することで、外周部のホール注入を抑制し、従来のプレーナー型IEGT素子と比較して、より大電流の遮断まで破壊しない素子を実現した。この結果、RBSOA (Reverse Bias Safe Operating Area) が拡大した（図6）。

## 5 あとがき

パワーエレクトロニクスの各分野で省電力化が求められる中、電力送配電分野においては、電力損失改善に加えて、システムの信頼性維持が特に重要である。当社は、今後もパッケージ技術と素子技術の双方の向上により、省電力化やシステムの信頼性向上に貢献していく。

## 文献

- (1) Kitagawa, M. et al. "A 4500 V injection enhanced insulated gate bipolar transistor (IEGT) operating in a mode similar to a thyristor". IEDM Tech. Dig. IEEE International Electron Devices Meeting, 1993. Washington DC, USA, 1993-12, IEEE, 1993, p.679 - 682.



**塚本 直人 TSUKAMOTO Naoto**  
東芝デバイス&ストレージ(株)  
ディスクリート半導体事業部  
ディスクリート応用技術センター  
Toshiba Electronic Devices & Storage Corp.



**新田 哲也 NITTA Tetsuya**  
東芝デバイス&ストレージ(株)  
ディスクリート半導体事業部  
ハイパワーデバイス技術部  
Toshiba Electronic Devices & Storage Corp.



**寺前 智 TERAMAE Satoshi**  
東芝デバイス&ストレージ(株)  
ディスクリート半導体事業部  
パワー半導体開発技術部  
Toshiba Electronic Devices & Storage Corp.