

太陽光発電システムの2,000 V化に対応した 長沿面ゲートドライバークプラー

Gate Driver Coupler with Long Creepage Distance for 2 000V PV Systems

冷 可 LENG Ke 釘山 裕太 KUGIYAMA Yuta

地球温暖化対策として、再生可能エネルギーの一つである太陽光発電（PV）システムが、住宅からメガソーラーまでの幅広い用途で急速に普及している。PVシステムの電圧は、発電効率の向上と設備コストの削減を両立するため、従来の1,500 Vから2,000 Vへと高電圧化が進んでおり、これに伴い、安全性確保の観点から、システム絶縁性能向上への要求が高まっている。

このような市場ニーズに応え、東芝デバイス&ストレージ（株）は、PVシステムの絶縁性能向上に寄与する長沿面ゲートドライバークプラーを開発した。パッケージの沿面距離を従来品最長の8 mmから延長して15 mmにするとともに、樹脂材料として比較トラッキング指数（CTI：Comparative Tracking Index）が600以上の高耐トラッキング性材料を採用することで、安全規格であるIEC 62109-1及びIEC 62477（国際電気標準会議規格62109-1及び62477）における2,000 Vシステムの要件を満足した。

With the introduction of renewable energy systems to combat global warming, use of photovoltaic (PV) systems has been expanding rapidly from residential use to mega solar installations. To enhance power generation efficiency and reduce the cost of PV systems, voltage is being increased from the conventional 1 500V to 2 000V. In line with this trend, there is a need for better insulation performance to ensure the safety of 2 000V PV systems.

Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation has developed a gate driver coupler contributing to improved PV system insulation performance both by increasing the creepage distance from 8 mm, the longest in its existing products, to 15 mm, and by using resin material with a high comparative tracking index (CTI) of more than 600. This device complies with the safety requirements for 2 000V PV systems specified in the International Electrotechnical Commission (IEC) 62109-1 and IEC 62477 standards.

1. まえがき

地球温暖化の進行に伴い、再生可能エネルギーの導入が持続可能な社会の構築に向けた重要な柱として位置付けられている。中でもPVシステムは、代表的な技術の一つとして注目されており、住宅用から産業用、更にはメガソーラーと呼ばれる大規模発電施設用にまで至る幅広い用途で、世界的に需要が年々増加している。

このような背景の下、PVシステムに求められる技術水準は高度化している。発電効率の向上と設備コストの削減を両立するため、システムの高電圧化が進められている。システム電圧を高めることで、同じ出力電力を得るのに必要な電流を大幅に減らせる。特に、大規模なメガソーラー施設などでは配線距離が長くなるため、配線に流れる電流が減少すれば、損失が低減され、発熱も抑えられる。これにより、システムのエネルギー変換効率が向上し、発電電力をより有効に活用できる。このため、従来主流であった1,500 Vシステムから、より高効率な2,000 Vシステムへの移行が始

まっている。今後は、2,000 Vが新たな標準電圧として定着することが予想される。

しかし、システム電圧の上昇に伴い、安全性の確保がこれまで以上に重要な課題となっている。特に絶縁性能に関する要求は厳格化されており、システム内で使用される絶縁部品には、より高い耐圧性能と信頼性が求められる。これに対応するため、2,000 V化に対応した部品の開発が必要であり、新たな材料の採用や構造設計の見直しが進められている。

東芝デバイス&ストレージ（株）は、PVシステムの2,000 V化に対する市場ニーズに応えるために、これに対応可能な絶縁性能を備えた、長沿面構造のゲートドライバークプラーを開発した。この製品は、従来品と同等の伝送性能を維持しながら、再生可能エネルギー分野における安全性向上に大きく貢献するものである。

ここでは、2,000 V PVシステムに求められる性能や、半導体絶縁部品に対する具体的な要求事項を整理し、これらを踏まえた当社における技術開発の取り組み内容について

述べる。

2. 2,000 V PV システムの概要とゲートドライバーカプラーへの要求

2.1 PVシステムの概要

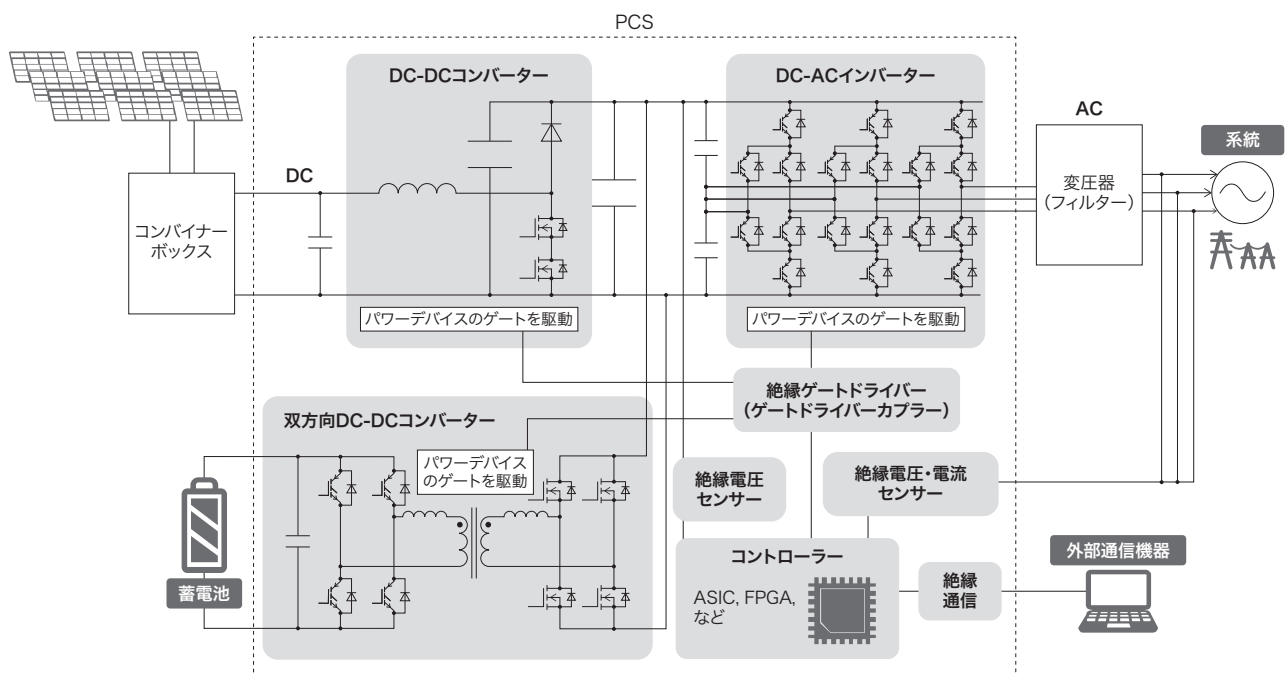
PVシステムのパワーコンディショナー (PCS) は、主に、DC (直流) -DCコンバーター、DC-AC (交流) インバーター、エネルギー貯蔵用双方向DC-DCコンバーターの三つの部分で構成されている (図1)。DC-DCコンバーターは、太陽光パネルから得られるDC電力の電圧を安定化させ、発電効率を最大化する。DC-ACインバーターは、安定化されたDC電力をACに変換し、家庭用電源や商用グリッドへの接続を可能にする。双方向DC-DCコンバーターなどのエネルギー貯蔵システム (ESS) は、発電した電力を蓄え、夜間や曇天時など発電量が低下する時間帯にも安定した電力供給を実現する。

2.2 PVシステム用ゲートドライバーカプラーの要件

ゲートドライバーカプラーは、PVシステムのパワーデバイス (MOSFET (金属酸化膜半導体型電界効果トランジスター) や IGBT (絶縁ゲート型バイポーラートランジスター) など) を駆動するために使用され、制御信号を安全かつ確

実に伝達するために、1次側と2次側の間で高い絶縁性能を維持する必要がある。

システム電圧が高くなるに連れて、ゲートドライバーカプラーの1次側と2次側の間に印加される電圧も高くなり、絶縁性能への要求も厳しくなる。PVシステムに関する安全規格 (IEC 62109-1 及び IEC 62477) では、使用される材料の絶縁グレード、汚染度、及び動作環境に応じて、必要な沿面距離と空間距離が定められている。汚染度は、空気中のほこりや導電性の汚染物、結露の有無などに基づいて、4段階に分類される。数字が大きいくほど、電気機器にとって過酷な環境を意味する。汚染度2は、非導電性の汚染であるが、結露などで一時的に導電性になる可能性がある環境であり、多くの電気機器はこの環境を想定して設計されている。システム電圧が高くなるほど、要求される沿面距離と空間距離も長くなる。2,000 Vシステムでは、空間距離は7.2 mm 以上が必要になり従来品の8 mm で対応可能であるのに対し、沿面距離については絶縁に用いる樹脂材料が湿気・汚染に対してどれだけ耐えられるかを示す指標であるCTIに依存する。すなわち樹脂材料のCTIが高い場合は、より短い沿面距離でも安全性を確保できるが、CTIが低い場合は長い沿面距離が必要となる (表1) ため、検討が必



ASIC: 特定用途向けIC
FPGA: Field Programmable Gate Array

図1. PVシステムの構成

PVシステムのPCSは、DC-DCコンバーター、DC-ACインバーター、エネルギー貯蔵用の双方向DC-DCコンバーターなどで構成される。

PV system configuration

表1. IEC 62109-1 及び IEC 62477 で規定されたシステム電圧に対して必要な沿面距離

Creepage distances necessary for system voltages specified in IEC 62109-1 and IEC 62477

CTI*	沿面距離 (mm)	
	1,500 V	2,000 V
≥175	15	20
≥400	10.4	14
≥600	7.51	10

*汚染度2の条件で必要な値

要である。

3. 2,000 V PV システム対応ゲートドライバーカプラーを実現する技術施策

PV システムの2,000 V 化に伴い、ゲートドライバーカプラーには沿面距離と空間距離の確保や耐電圧性能の向上が求められる。従来ゲートドライバーカプラーとして用いられているフォトカプラーでは対応が困難であり、長沿面構造のパッケージや高耐トラッキング性樹脂材料を採用したゲートドライバーカプラーの開発が必要となる。

3.1 長沿面構造のパッケージ

図2に、対向型ダブルモールドタイプのフォトカプラーの基本構造と、パッケージ規格において定められている指標の概要を示す⁽¹⁾。

パッケージ内の1次側にLED（発光ダイオード）チップ、2次側に受光チップを実装して対向させることで、1次側と2次側を電氣的に絶縁しつつ、光により信号を伝達する。

パッケージ規格における沿面距離の定義は、絶縁物に沿った二つの導体間の最短距離であり、フォトカプラーにおいては1次側フレームと2次側フレームの間の最短距離を指す。

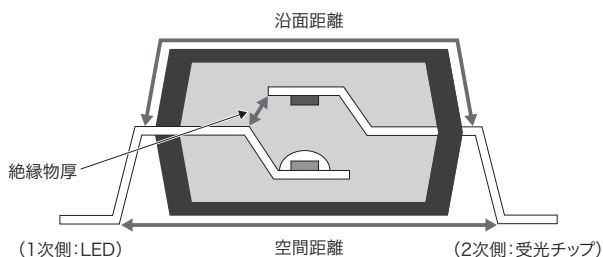


図2. 対向型ダブルモールドタイプのフォトカプラーの基本構造

パッケージ内にLEDチップと受光チップを実装して対向させ、光によって信号を伝達する。1次側と2次側は電氣的に絶縁されている。

Basic structure of face-to-face type photocoupler in double-molded package

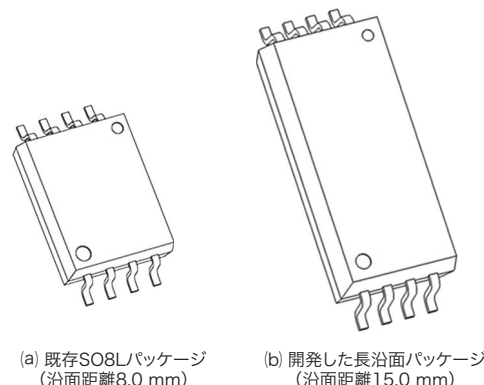


図3. 既存品と開発品のパッケージサイズの比較

パッケージの長手方向の寸法を大幅に広げることで、沿面距離を15.0 mmとする長沿面化を実現した。

Package size comparison of existing and new devices

当社の従来品において、沿面距離が最も長いパッケージは、SO6L、SO8L、及びSO16Lの8.0 mmであった。

今回の開発では、将来的な高耐圧化への対応を考慮し、十分な設計余裕を確保した。その結果、主にパッケージ長手方向を図3のように大きく延長することで、沿面距離15.0 mmを持つ新たなパッケージを実現した。絶縁距離が延長したことで、最小絶縁耐圧も5 kVから7.5 kVへ向上した。この際、従来品と同じ強化絶縁が対応できる絶縁物厚0.4 mmを採用して、パッケージ内部の絶縁構造はそのまま踏襲することで、市場で実績のある既存の8.0 mmパッケージの特長をそのまま生かしつつ、システムの高電圧化に対応したパッケージを具現化した。

3.2 高耐トラッキング性樹脂材料の採用

沿面距離15.0 mmを確保できたことから、表1に示すように、2.2節に示した安全規格において、汚染度2の条件では、システム電圧2,000 Vに対して樹脂材料のCTIは400以上であればよい。ただし、市場の要求としては、今後更に高電圧化が進んでいく傾向にあり、安全規格の絶縁性能に対する要求もより厳しくなることが予想される。そのため、今回の開発では、製品として600以上のCTIを担保できるエポキシ樹脂材料を選定した。なお、この樹脂材料のCTIを向上させるためにエポキシ剤や硬化剤、離型剤の種類や配合を調整した。それに伴う他材料との密着性の低下や成型時の成型性・離型性の低下、耐クラック性の低下など、トレードオフとなる不具合が発生しないことを十分に確認し、最終材料として選定した。

CTIの評価は、絶縁物表面上に電位差のある電極を一定の間隔で配置し、電極間に電解試験液を滴下することによって導电路の形成（トラッキング）が発生するまでの電圧

表2. 既存品の樹脂材料と新たに選定した樹脂材料のCTI評価結果の比較

Comparison of CTI values of resin materials used in existing and new devices measured by sample tests

樹脂材料		既存材料A		新規材料B	
測定電圧 (V)		575	600	575	600
測定結果 (絶縁破壊までの 滴下数)	サンプル1	50+	50+	50+	50+
	サンプル2	50+	50+	50+	50+
	サンプル3	50+	21	50+	50+
	サンプル4	50+	50+	50+	50+
	サンプル5	50+	50+	50+	50+
判定		合格	不合格	合格	合格

50+ : 滴下数50滴以上

や滴下数を測定する方法で行われる。今回、IECの手法にのっとり、50滴でn=5個の試験片の全てがいずれも破壊しない最大電圧、と定義して判定した。表2に、新たに選定した樹脂材料のCTIの評価結果を示す。既存材料Aでは、測定電圧600 Vにおいて滴下数50滴を下回る試験片があり、CTIは600未満と判定される。それに対し、新規材料Bは、測定電圧600 Vにおいても全ての試験片が50滴以上でその絶縁性能を維持できており、CTIが600以上の材料であると判断した。

沿面距離15.0 mmを備えた新規パッケージにこの樹脂材料を採用することで、2,000 Vシステムに対し、より信頼性の高い絶縁性能を持つデバイスを提供することが可能となった。

4. あとがき

PVに代表されるシステムにおける絶縁性能への要求に応える、長沿面構造で、高耐トラッキング性材料を備えたゲートドライバーカプラーについて述べた。

今後も、省エネルギー社会の実現に貢献するアイソレーターのラインアップ展開や性能・信頼性向上に向けた開発を進めていく。

文 献

- (1) 東芝デバイス&ストレージ, “パッケージと安全規格”, <<https://toshiba.semicon-storage.com/jp/semiconductor/knowledge/e-learning/discrete/chap5/chap5-7.html>>, (参照 2025-10-08).



冷 可 LENG Ke
東芝デバイス&ストレージ(株)
半導体事業部 半導体応用技術センター
Toshiba Electronic Devices & Storage Corp.



釘山 裕太 KUGIYAMA Yuta
東芝デバイス&ストレージ(株)
半導体事業部 オプトデバイス開発部
Toshiba Electronic Devices & Storage Corp.