

産業用第7世代IGBTのCIBタイプ

大原孝太*
江草 稔**
小田敬雅***

CIB Type of 7th Generation IGBT Module for Industrial Use

Kota Ohara, Minoru Egusa, Takamasa Oda

要 旨

IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)モジュールは産業分野でモータ制御などに広く使用されている。近年では、太陽光や風力を始めとする再生可能エネルギーを利用した発電の電力変換用としてIGBTモジュールの需要が増加しており、今後ますます役割は大きくなると予想される。これらの幅広い産業用途のニーズに応えるために産業用第7世代IGBTモジュールを開発しているが、今回新たに中・小容量帯をメインとするCIBタイプ(Converter + Inverter + Brake素子を内蔵)のラインアップを拡充した。

パッケージは、絶縁部と銅ベース部が一体化された樹脂絶縁銅ベース板とダイレクトポッティング(DP)樹脂充填を組み合わせたSLC(SoLid Cover)技術を適用した“NXパッケージタイプ”を採用している(以下“NX-CIBタイプ”

という)。NX-CIBタイプでは、従来の“CIB-Mパッケージ”に加えて新たに小型の“CIB-Sパッケージ”を追加し、50~150A(650Vクラス)、35~150A(1,200Vクラス)をラインアップした。また、特性の異なる“Tシリーズ”と“T1シリーズ”の二つのラインアップを開発しており、ピンタイプは“はんだピンタイプ”と“プレスフィットピンタイプ”をそろえることで、更に多様なユーザーニーズに対応できる(45品種、2018年3月現在)。なお、全品種に対してPC-TIM(Phase Change Thermal Interface Material)塗布のオプションを準備している。これを選択することで、ユーザー側の放熱グリースを塗布する作業が不要となり、組立て工程の簡素化が実現できる。

形名	パッケージタイプ	外形寸法(mm)	タイプ	主電極ピン本数	他社互換製品
CM***MXUA***T*	CIB-S	45.0×107.5	A	1	EconoPIM2 ^(注1)
CM***MXUB***T*	CIB-S	45.0×107.5	B	2	EconoPIM2
CM***MXUC***T*	CIB-M	62.0×122.0	C	2	EconoPIM3
CM***MXUD***T*	CIB-M	62.0×122.0	D	3	EconoPIM3

(注1) EconoPIMは、Infineon Technologies AGの登録商標である。

第7世代IGBTモジュールのCIBタイプ(はんだピンタイプ)

NX-CIBでは、2種類のパッケージタイプ(Sパッケージ、Mパッケージ)がある。さらに、Sパッケージには主電極ピン本数が1本のAタイプ、2本のBタイプ、Mパッケージには主電極ピン本数が2本のCタイプ、3本のDタイプがあり、電流容量に応じて各パッケージタイプを使い分けてラインアップ化している。

1. ま え が き

三菱電機産業用IGBTモジュールは、低損失性、高信頼性を特長として、これまでインバータ、サーボアンプ、風力・太陽光発電、UPS(Uninterruptible Power System)などの産業用市場の幅広い応用機器製品で採用されてきた。近年、エネルギー利用の効率化や機器の長寿命化のため、更なる低消費電力と高信頼性の要求が高まっている。これらのニーズに応えるため、第7世代IGBTモジュールを開発しており、今回NX-CIBタイプのラインアップを拡充した。

本稿では、NX-CIBタイプの性能と特長について述べる。

2. NX-CIBタイプの性能

2.1 TシリーズとT1シリーズの特性

今回、NX-CIBタイプは多様なユーザーニーズに対応できるように、特性の異なるTシリーズとT1シリーズをラインアップ化している。図1に、インバータ動作時の発生損失を競合他社(A社)と比較計算した結果を示す。TシリーズはA社の最新シリーズと同等、T1シリーズはA社の旧シリーズと同等以上の損失を持つ製品仕様となっている。

2.2 高信頼性

システムの起動・停止によってIGBTモジュールのケース温度(T_c)は大きく変化する。モジュールは複数の素材から構成されているので、線膨張係数の差によってそれぞれの境には強い応力がかかって疲労を起こす。これを模擬した試験がサーマルサイクル試験であり、通電を繰り返すことで T_c を変化させて製品の寿命を評価する。6世代NX構造及び7世代NX構造を図2に示す。6世代NX構造では、銅やセラミックに比べはんだが脆(もろ)いため、絶縁基板下のはんだ層にクラックが発生することが製品寿命を決める一つの要因となっていた。今回、7世代NX構造

では絶縁部と銅ベース部を一体化した構造を採用しており、基板下のはんだ層を排除している。図3に、サーマルサイクル試験で同一サイクル後のSAT(Scanning Acoustic Tomograph)画像を示す。6世代NX構造では、セラミック絶縁基板下にクラック発生が観察されるのに対して、7世代NX構造では樹脂層にも異常は見られない。最終的に、7世代NX構造のサーマルサイクル試験はチップ下のはんだ層で寿命が決まるため、パワーサイクル寿命と同一の破壊モードとなっている。そのため、ユーザー側でサーマルサイクル寿命を考慮する必要がなくなる。

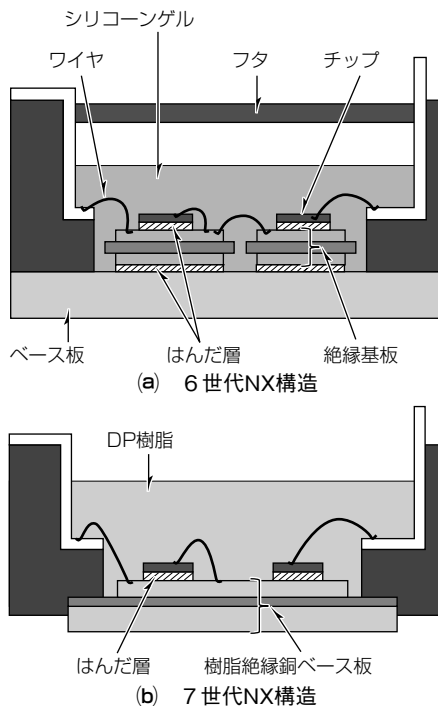


図2. 6世代NXと7世代NX構造の比較⁽¹⁾

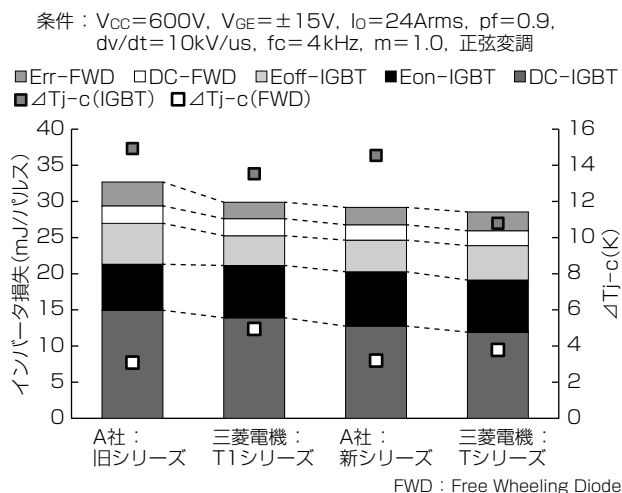


図1. 1,200V/50A素子でのトータル損失

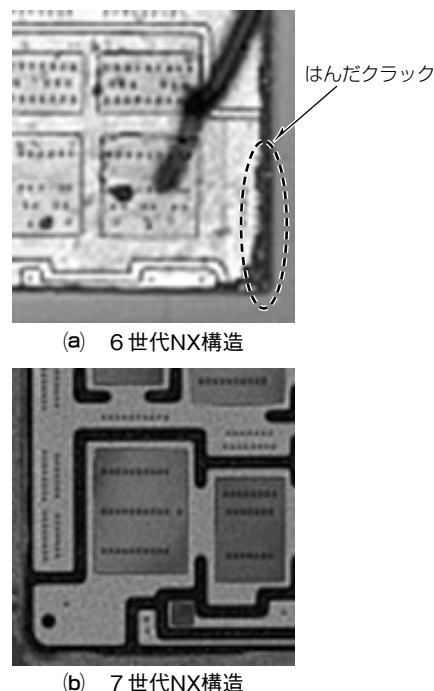


図3. サーマルサイクル後のSAT画像

3. NX-CIBタイプの特長

3.1 制御基板上の回路パターン発熱抑制

NX-CIBタイプは、制御基板に接続する端子が全てピンタイプで構成されており、制御基板上の回路パターン（以下“制御基板パターン”という。）とはんだ接続又は、プレスフィット接続している。ピンタイプは、ねじタイプより高い電流密度となるため端子の発熱が高くなり、接続している制御基板パターンの温度も高くなる。近年の市場動向として、大電流化の動きもあり、NX-CIBタイプでは制御基板パターンの発熱がたびたび問題視されることがある。そこで、制御基板パターンの発熱を競合他社品と比較して評価を実施した。評価方法を図4、評価結果を図5に示す。

図5から、電流値が高くなるほど各社の温度差が顕著化されている。この要因として、7世代NX構造ではパワーチップとAlワイヤで接続している端子電極部が連結して

いる形状（ピン連結型）を設けており、競合他社より低い電流密度を実現していることで、競合他社より制御基板パターンを発熱抑制ができていると考察している。図6にピン端子の構造比較を示す。

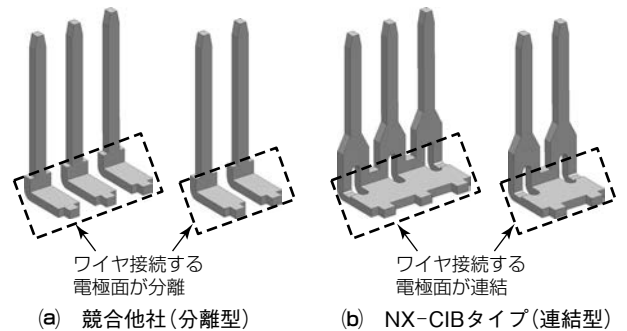
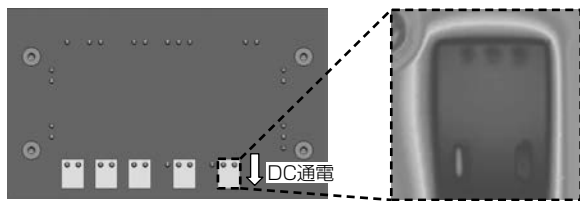
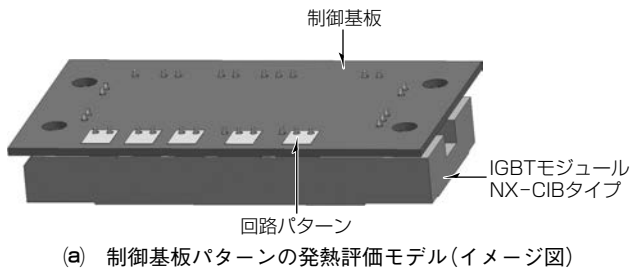


図6. ピン端子の構造比較



<測定条件>		<通電条件>	
・制御基板	: t=1.6mm	・雰囲気温度	: 常温(25℃)
・回路パターン厚	: 70μm(銅)	・通電時間	: 10分
・CIB-Sパッケージ		・冷却方式	: 空冷

(b) 制御基板パターンの発熱評価サーモビューア画像

図4. 制御基板パターンの発熱評価方法

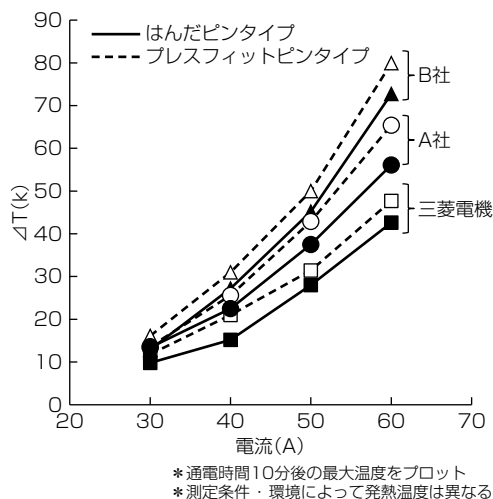


図5. 制御基板パターンの発熱評価結果

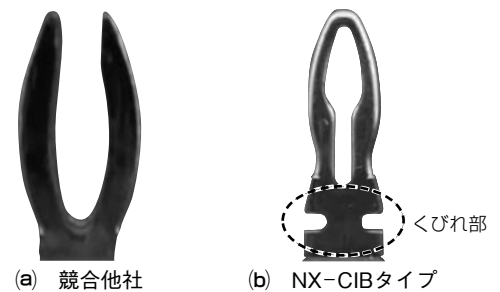
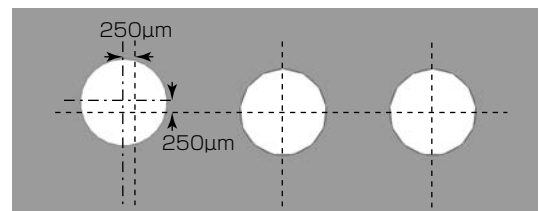
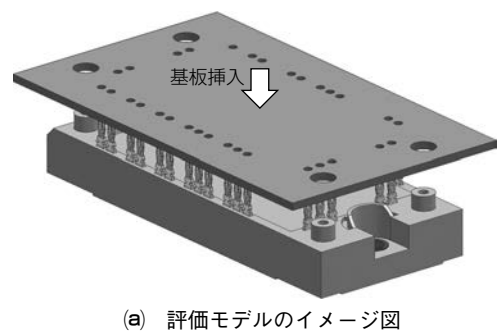


図7. プレスフィットピンの形状比較

表1. プレスフィットピン挿入力・抜去力評価

	競合他社	NX-CIBタイプ
挿入力	74~93N/pin	60N/pin(Typ.)
抜去力	45~49N/pin	52N/pin(Typ.)



基板材料	FR-4
基板厚み	1.6mm
銅厚	25μm
スルーホール直径	φ2.2+0.09/-0.06mm
表面仕上げ	無電解スズ

(b) 制御基板スルーホール部の拡大図

図8. 温度サイクル試験の評価内容

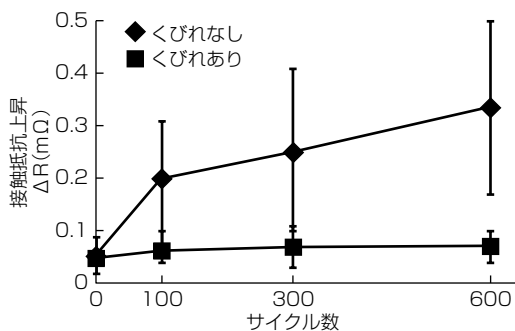
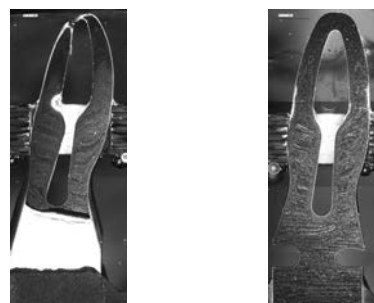


図9. 温度サイクル試験の評価結果⁽²⁾



(a) くびれなし (b) くびれあり

図10. 温度サイクル試験後のスルーホール部断面図

表2. NX-CIBタイプ製品ラインアップ(PC-TIM塗布のオプションを準備)

定格	Tシリーズ		T1シリーズ	
	CIB-Sパッケージ	CIB-Mパッケージ	CIB-Sパッケージ	CIB-Mパッケージ
650V	50A	CM50MXUB-13T CM50MXUBP-13T	-	CM50MXUB-13T1 CM50MXUBP-13T1
	75A	CM75MXUB-13T CM75MXUBP-13T	CM75MXUDP-13T	CM75MXUB-13T1 CM75MXUBP-13T1
	100A	CM100MXUB-13T CM100MXUBP-13T	CM100MXUD-13T CM100MXUDP-13T	CM100MXUB-13T1 CM100MXUBP-13T1
	150A	-	CM150MXUD-13T CM150MXUDP-13T	-
1,200V	35A	CM35MXUA-24T CM35MXUAP-24T	-	CM35MXUA-24T1 CM35MXUAP-24T1
	50A	CM50MXUA-24T CM50MXUAP-24T	-	CM50MXUA-24T1 CM50MXUAP-24T1
	75A	CM75MXUB-24T CM75MXUBP-24T	CM75MXUC-24T CM75MXUCP-24T	CM75MXUB-24T1 CM75MXUBP-24T1
	100A	-	CM100MXUC-24T CM100MXUCP-24T	-
	150A	-	CM150MXUD-24T CM150MXUDP-24T	-

3.2 プレスフィットピン

NX-CIBタイプでは、三菱電機で新規開発したニードルアイ形状のプレスフィットピンを採用している(図7)。ニードルアイ構造によって、競合他社より挿入力が小さく、抜去力が大きくなっている。表1に競合他社との挿入力・抜去力の比較評価結果を示す。三菱電機プレスフィットピンは挿入しやすく、抜けにくい構造となっている。また、三菱電機プレスフィットピンでは胴体部にくびれ構造を設けており、制御基板の温度上昇の要因となる接触熱抵抗の増加を抑制できるため、スルーホール位置の公差を競合他社の±0.05mmから±0.1mmまで高めることが可能になった。

さらに、くびれ構造はプレスフィット接続部への負荷を軽減している。評価として、負荷の高い制御基板が位置ずれした状態で温度サイクル試験(-40~85℃、各1時間)を実施して接触熱抵抗を比較した。図8に評価内容、図9に評価結果、図10に温度サイクル試験後のスルーホール部の断面観察結果を示す。くびれなしの場合はプレスフィット部が塑性変形して接触部が極端に少なくなっているのに対し、くびれありの場合はくびれ部が優先的に塑性変形することでプレスフィット部の異常な塑性変形を抑制できている。結果としてスルーホールの両壁面に対して十分な接触面積を維持できていることを確認できた。そのため、温

度サイクル試験後の接触熱抵抗の上昇を抑制し、高い信頼性の確保が可能になった。

3.3 製品ラインアップ

NX-CIBタイプは多様なユーザーニーズに対応できるように、幅広いラインアップをそろえている。表2に製品ラインアップを示す。

4. む す び

NX-CIBタイプは、サーマルサイクル寿命を考慮する必要がなく、最新プレスフィット技術を適用することによって高い信頼性を実現している。特性の異なるTシリーズとT1シリーズで幅広いラインアップをそろえており、今後市場に展開することで、様々な産業用途のニーズに応じていく。

参考文献

- (1) 宮澤雅臣, ほか: 産業用第7世代IGBTモジュールの“Tシリーズ”, 三菱電機技報, 90, No.5, 295~298 (2016)
- (2) 江草 稔, ほか: パワーモジュールに適用するためのプレスフィット接続技術の開発, 第24回「エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術」シンポジウム, 85~90 (2018)