

# 「V シリーズ」 IPM の系列拡大 — 高放熱タイプ「P630 パッケージ」 —

Expansion of the IPM “V Series”  
— High Heat Dissipation Type “P630 Package” —

本橋 覚 MOTOHASHI Satoru

高橋 秀明 TAKAHASHI Hideaki

田岡 正裕 TAOKA Masahiro

アルミナ絶縁基板を適用した既存「P630 パッケージ」に加えて、窒化アルミニウムを適用した高放熱タイプ「P630 パッケージ」を開発した。既存パッケージに対して、熱抵抗を 30% 以上低減しており、高負荷条件下で  $\Delta T_{jc}$  を抑制できる。また、絶縁基板下はんだ材の見直しにより、窒化アルミニウムと鉛はんだを用いた前世代の IPM (Intelligent Power Module) に対して、 $\Delta T_c$  パワーサイクル耐量が大幅に向上している。機械的・電気的特性および外形は、既存パッケージと同等であり、負荷条件・放熱系の設計条件に応じて使い分けが可能である。

In addition to the conventional “P630 package” that uses alumina insulating substrate, we have developed the high heat dissipation type “P630 package” that uses aluminum nitride. This new package reduces thermal resistance by more than 30% compared to the previous package and can suppress  $\Delta T_{jc}$  under high load conditions. In addition, by reassessing the use of insulating substrate solder materials, we have greatly improved  $\Delta T$  power cycle capacity compared to the previous generation of intelligent power modules (IPMs) that used aluminum nitride and lead solder. The mechanical and electronic features and external form are the same as the conventional package, and the package is capable of various uses corresponding to load conditions and heat dissipation system design.

## 1 まえがき

富士電機は、1988 年に IPM (Intelligent Power Module) を他社に先駆けて製品化した。それ以来、市場ニーズに応えるためさまざまな製品系列を展開してきた。IPM は、IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) と FWD (Free Wheeling Diode) からなるスタンダードモジュールに、損失とノイズのトレードオフを最適化した制御機能、種々の異常に対する保護動作およびアラーム出力機能などを付与してインテリジェント化を図ったものである。この IPM を適用すると、顧客装置側のドライブ設計を省略でき、装置設計が容易になるとともに、低損失・高信頼性を実現できる。IPM は主に、モータ駆動装置 [NC (Numerical Control) 工作機、汎用インバータ、サーボ、エレベータなど] やエアコン、無停電電源装置 (UPS)、太陽光発電用パワーコンディショナ (PCS) などで用いられ、産業用電力変換素子として幅広く使用されている。

こうした中、富士電機は、最新世代であるトレンチゲート構造のフィールドストップ (FS) 型「V シリーズ」IGBT チップを採用した「V シリーズ」IPM (V-IPM) を開発することで、さらなる低損失および装置の小型化を行ってきた。近年、低損失化の要求に加えて、装置筐体 (きょうたい) の小型化または出力容量アップに伴うチップ温度上昇の抑制が強く求められている。そこで、チップ温度の上昇を抑えた高放熱タイプ IPM を、新たな製品ラインアップとして予定している。本稿では、高放熱タイプ「P630 パッケージ」の概要と特徴について述べる。

## 2 高放熱タイプ「P630 パッケージ」の概要

### (1) 熱抵抗の低減

高放熱タイプ P630 パッケージは、既存の P630 パッケージの絶縁基板で採用しているアルミナ ( $Al_2O_3$ ) よりも熱伝導率が高い窒化アルミニウム (AlN) を採用している。表 1 に、絶縁基板の熱伝導率を示す。熱伝導率の大幅な改善により、ジャンクション-ケース間の熱抵抗  $R_{th(j-c)}$  の大幅な改善が見込まれ、既存パッケージと比べて熱抵抗は 30% 以上改善した。さらに、IGBT ジャンクション温度  $T_j$  とケース温度  $T_c$  の差  $\Delta T_{jc}$  は、前世代の P612 パッケージとの比較では、発生損失の 17% 低減との相乗効果で、30% 以上の低減を実現した。

### (2) 高信頼性

高放熱タイプ P630 パッケージは、絶縁基板と銅ベース間の接合材に、すず-アンチモンベースのはんだ材を新たに適用している。これにより、ケース温度の  $\Delta T_c$  パワーサイクル耐量の大幅改善につながった。

### (3) 外形とラインアップ

図 1 に P630 パッケージの外形図を、表 2 にラインアップを示す。絶縁基板とはんだ材のみを変更し、外形・端子配列は既存パッケージと同じである。また、主な電気的・機械的特性も既存パッケージと同等である。定格の範囲は 50 ~ 200 A/600 V および 25 ~ 100 A/1,200 V であり、6 in 1, 7 in 1 のいずれにも対応している。既存パッケージと高放熱タイプ P630 パッケージで、装置筐体の共通化および負荷条件によるパッケージの使い分けが可能である。

表 1 絶縁基板の熱伝導率

項目	高放熱タイプ P630 パッケージ	既存 P630 パッケージ
絶縁基板	窒化アルミニウム	アルミナ
熱伝導率 [W/(m・K)]	170.0	21.0

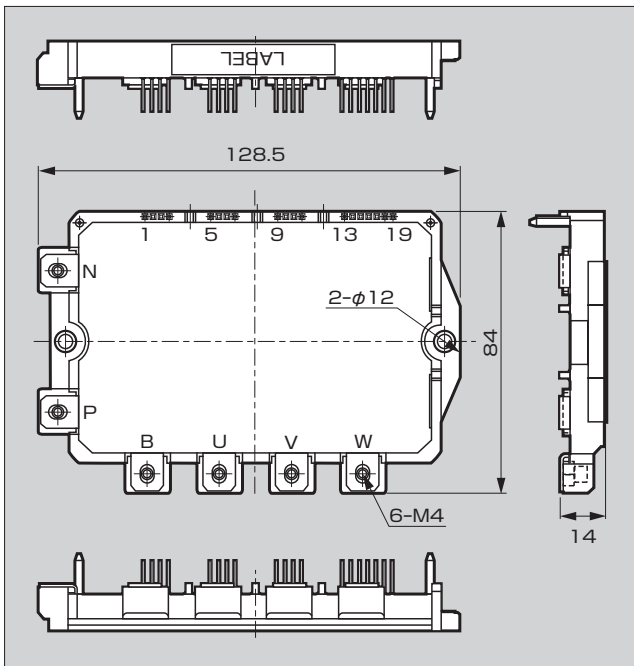


図1 「P630 パッケージ」の外形図

表2 パッケージのラインアップ

電圧	電流	高放熱タイプ P630パッケージ		既存P630パッケージ	
		6 in 1	7 in 1	6 in 1	7 in 1
600V	50A	○	○	○	○
	75A	○	○	○	○
	100A	○	○	○	○
	150A	○	○	○	○
	200A	○	○	○	○
1,200V	25A	○	○	○	○
	35A	○	○	○	○
	50A	○	○	○	○
	75A	○	○	○	○
	100A	○	○	○	○

IPM 製品系列の拡大により、装置設計の自由度が大きくなった。

(4) 装置筐体の小型化・高効率化

(1)~(3)に示したように、窒化アルミニウム絶縁基板の採用により、熱抵抗を既存パッケージに比べ30%以上改善した。これにより、チップ温度の上昇が抑制され、装置筐体の放熱系の小型化が可能となり、装置全体でのコストメリットを得ることが可能になった。また、チップ温度の低減は、電流容量拡大によるトルクアップならびにキャリア周波数を上げることにより装置能力の向上に直結し、装置の高効率化に寄与している。

③ 高放熱タイプ「P630 パッケージ」の特徴

3.1 熱抵抗の低減

図2に200A/600V定格相当品の既存パッケージと高放

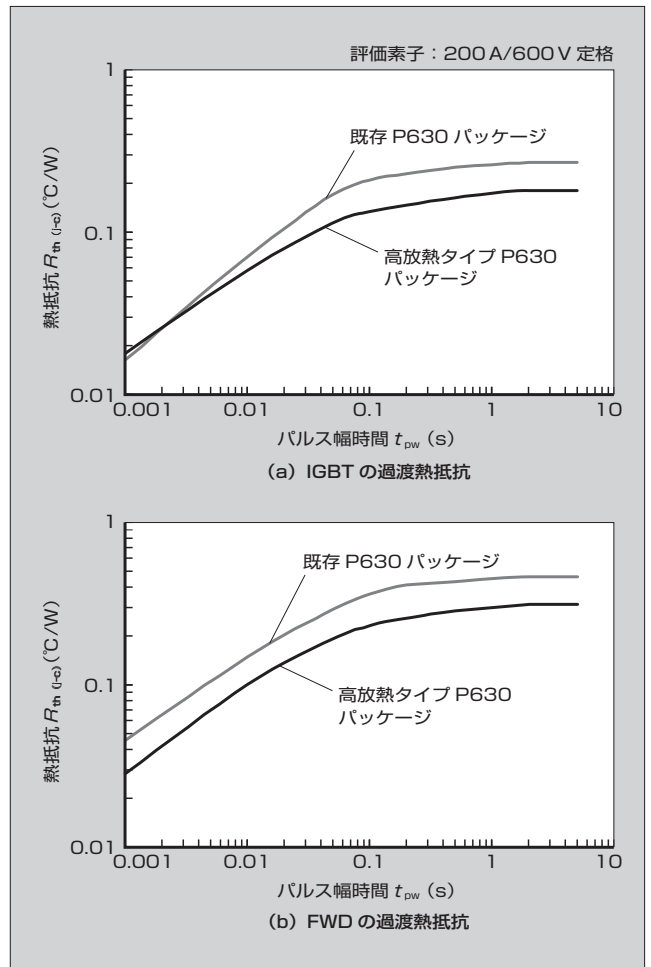


図2 過渡熱抵抗

表3 定常熱抵抗

	高放熱タイプP630パッケージ		既存P630パッケージ	
	IGBT	FWD	IGBT	FWD
熱抵抗 (°C/W) (max.)	0.18	0.30	0.27	0.46
低減率 (%)	33	35	—	—

評価素子：200A/600V定格

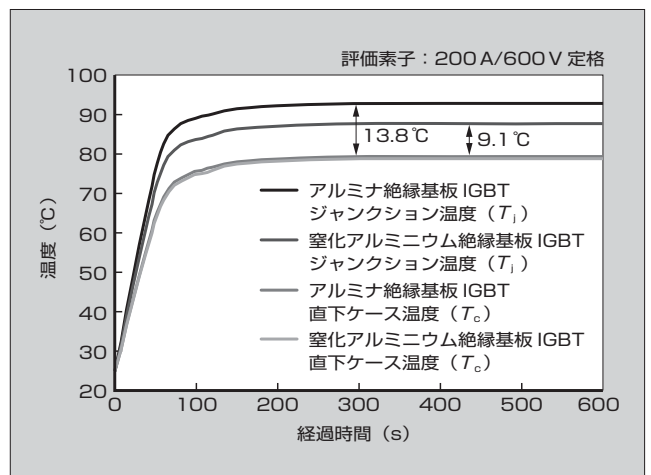


図3 FEMによる温度上昇シミュレーションの結果

熱タイプ P630 パッケージの過渡熱抵抗を、表 3 に定常熱抵抗値を示す。窒化アルミニウム絶縁基板の適用により、既存パッケージに対して熱抵抗の低減を実現している。特に定常熱抵抗では、30% 以上改善した。

図 3 に、有限要素法 (FEM) を用いたジャンクション温度  $T_j$  の温度上昇シミュレーションの結果を示す。高放熱タイプ P630 パッケージでは、熱抵抗の 30% 以上の低減により、連続動作 [ $I_c=100$  A (実効値)] でのチップ温度飽和時のジャンクションケース間温度  $\Delta T_{jc}$  は、アルミナ絶縁基板適用の既存パッケージの 13.8℃ に対して 9.1℃ となっている。既存パッケージと比較して、 $\Delta T_{jc}$  は 30%

以上低減している。

図 4 に、モータロック動作を模した条件の下、赤外線カメラによるジャクション温度  $T_j$  の比較を示す。これは 200 A/600 V 素子における、室温 (25℃) から定格電流でロック動作させた際の 5 秒経過時のチップ表面の温度分布である。ロック動作などの高負荷条件での適用に際しても、既存パッケージと比較して  $T_j$  は低下しており、高負荷などの厳しい条件下での使用が可能である。同じ負荷を印加した場合、 $\Delta T_{jc}$  は既存パッケージよりも 30% 以上低減しており、これにより、 $T_j$  は、157.9℃ から 134.0℃ に低減した。

表 4 に示すように、最新世代の V-IPM は、前世代の R-IPM3 に比べて、トータルの発生損失を 17% 以上低減している。トータル発生損失の低減と熱抵抗の低減の相乗効果により、IGBT チップの  $\Delta T_{jc}$  の温度上昇は、高放熱タイプ P630 パッケージでは前世代のパッケージに対して、34.6% 低減している。

### 3.2 高信頼性の実現

高放熱タイプ P630 パッケージの  $\Delta T_c$  パワーサイクル耐量は、機械的強度に優れている鉛フリーはんだの適用に

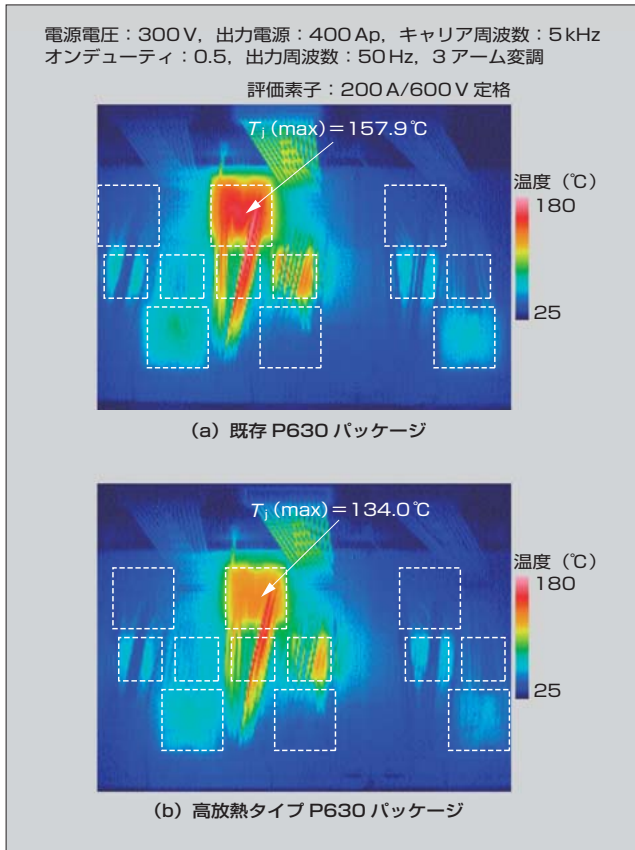


図 4 チップ表面の温度分布

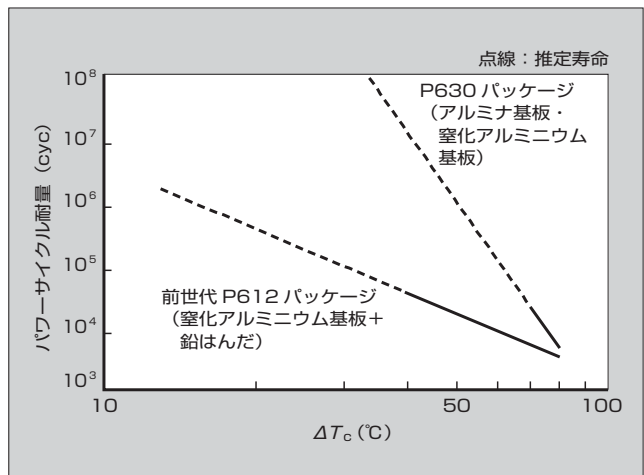


図 5  $\Delta T_c$  パワーサイクル耐量

表 4 V-IPM の特性

シリーズ (パッケージ)	型式 (150 A/600 V)	IGBT			FWD		
		発生損失 (W)	熱抵抗 (°C/W)	$\Delta T_{jc}$ (°C)	発生損失 (W)	熱抵抗 (°C/W)	$\Delta T_{jc}$ (°C)
R-IPM3 (前世代P612)	7MBP150RTB060-50	47.26	0.29	13.71	7.97	0.47	3.74
V-IPM (高放熱P630)	7MBP150VDN060-50	38.97	0.23	8.96	7.56	0.37	2.8
低減率 (%)		17.5	20.7	34.6	5.1	21.3	25.1

電源電圧：300 V，出力電流：75 A (実効値)，キャリア周波数：8 kHz，力率：0.8，制御率：1.0，出力周波数：50 Hz，3アーム変調

〈注〉モータロック動作：モータ動作の一種で、モータ軸が特定の位置で固定されトルクが維持された状態における動作をいう。ロック動作の期間中は、モータ電流は直流電流として流れ、IPM 内部のチップはチョッパ動作となる。この場合、チップの責務は厳しくなり、チップ温度の上昇につながる場合がある。

より、前世代のP612パッケージ（窒化アルミニウム+鉛はんだ）に比べて大幅に向上した（図5）。例えば、前世代のパッケージに比べて、 $\Delta T_c=50^\circ\text{C}$ での耐量は約50倍（推定）になっている。 $\Delta T_c$ パワーサイクル耐量は、エレベータなどに代表されるケース温度の変化が比較的大きいアプリケーションにおいて、装置寿命に関わる重要な指標である。

#### 4 あとがき

「Vシリーズ」IPMの系列拡大として加わった、絶縁基板に窒化アルミニウムを適用した高放熱タイプ「P630パッケージ」について述べた。高放熱タイプのラインアップにより、装置放熱フィンの小型化・適用電流条件の拡大など装置設計の自由度の拡大に寄与できる。また、併せて実施した絶縁基板下はんだ材の見直しにより、 $\Delta T_c$ パワーサイクル耐量の向上も実現した。今後とも、市場の要求に応える製品開発および系列拡大に注力していく所存である。

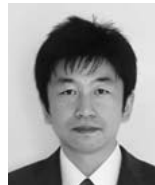
#### 参考文献

- (1) 渡辺学, 梶原玉男. インテリジェントパワーモジュール. 富士時報. 1994, vol.67, no.5, p.268-274.
- (2) 山口厚司, 市川裕章. 新型IGBT-IPM (Rシリーズ) の開発. 富士時報. 1997, vol.70, no.4, p.237-242.
- (3) 山口厚司ほか. 中・大容量RシリーズIGBT-IPM. 富士時報. 1998, vol.71, no.2, p.101-105.
- (4) 梶原玉男ほか. 小容量民生用IGBT-IPM. 富士時報. 1998, vol.71, no.2, p.106-111.
- (5) 梶原玉男ほか. 汎用小容量インテリジェントパワーモジュール. 富士時報. 1999, vol.72, no.3, p.199-202.
- (6) 渡辺学ほか. インテリジェントパワーモジュール「R-IPM3, Econo IPMシリーズ」. 富士時報. 2002, vol.75, no.10, p.572-576.
- (7) 関川貴善ほか. UシリーズIGBT-IPM (600V). 富士時報. 2004, vol.77, no.5, p.317-320.
- (8) 森貴浩ほか. IPM用小型ドライバIC. 富士時報. 2008, vol.81, no.6, p.395-398.
- (9) 清水直樹ほか. インテリジェントパワーモジュール「VシリーズIPM」. 富士時報. 2009, vol.82, no.6, p.384-388.
- (10) 清水直樹ほか. 大容量「Vシリーズ」IPMの系列化. 富士時報. 2011, vol.84, no.5, p.322-326.
- (11) Motohashi, S. et al. "The 6th Gen. Intelligent Power Module", in Proc. 2011 PCIM Asia. 2011, p.161-166.
- (12) Momose, M. et al. "A 600 V Super Low Loss IGBT with Advanced Micro-P Structure for the next Generation IPM", in Proc. 2010 ISPSD.
- (13) M. Zhan, et al. "The 6th gen. Intelligent Power Module for Large Capacity Type", in Proc. 2012 PCIM Asia.
- (14) Takaku, T. et al. "Development of the New Generation Intelligent Power Module", in Proc. 2012 PCIM South America. (in press).



**本橋 寛**

インテリジェントパワーモジュールの開発に従事。現在、富士電機株式会社電子デバイス事業本部パワー半導体事業統括部産業モジュール技術部チームリーダー。工学博士。日本物理学会会員。



**高橋 秀明**

インテリジェントパワーモジュールの構造開発・設計に従事。現在、富士電機株式会社電子デバイス事業本部パワー半導体事業統括部産業モジュール技術部チームリーダー。



**田岡 正裕**

インテリジェントパワーモジュールの開発に従事。現在、富士電機株式会社電子デバイス事業本部パワー半導体事業統括部産業モジュール技術部。



\*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。