インテリジェントパワーモジュール「R-IPM 3，Econo IPM シリーズ」

渡辺　学（わたなべ　まなぶ）　楠木　善之（くすのき　よしゆき）　松田　尚孝（まつだ　なおたか）

1　まえがき

富士電機のIGBT-IPM（Insulated Gate Bipolar Transistor-Intelligent Power Module）は，1993年にJシリーズ，1995年にNシリーズ，1997年にRシリーズの開発量産化を行った。Jシリーズでは低損失，Nシリーズではソフトスイッチング，そしてRシリーズではオールシリコン化による信頼性とコストパフォーマンスの向上およびチップ過熱保護機能による保護精度の向上を実現した。

近年のパワーエレクトロニクス応用製品のさらなる高周波化，小型化，高効率化，低ノイズ化の要求を背景に，今回R-IPMをベースに損失改善を図った「R-IPM 3」およびR-IPMとEconoモジュールのコンセプトを融合した小型・薄型の「Econo IPMシリーズ」を新たに開発したので紹介する。

IGBTは薄ウェーハプロセスの確立により実現した100 μm厚のNPT（Non Punch Through）微細チップ（Tシリーズ）を開発し，FWD（Free Wheeling Diode）にはソフトリカバリー性を向上させた新構造FWDチップを新規に開発し適用している。**表1**に各IPMシリーズの特徴を示す。損失改善を実現しつつコストパフォーマンスを向上させたRTBタイプ，パッケージの小型・薄型化を実現したEcono IPM，損失低減重視のRTAタイプの3系列を開発した。**図1**にR-IPM 3，Econo IPM，小容量R-IPM 3の外観を示す。

表1　IPMの特徴

項目＼シリーズ名	R-IPM 3		Econo IPM	小容量 R-IPM 3
	RTA	RTB		
外　形	○R-IPMシリーズと互換（標準パッケージ） ○ねじ端子		○小型，薄型 ○ピン端子	○銅ベース付きパッケージ ○小型
特　性	○低損失（R-IPM比18％減）	○低損失（R-IPM比10％減） ○コストパフォーマンス	○低損失（R-IPM比10％減） ○コストパフォーマンス	○ベース付きで放熱性向上（ベースレス比）

2　R-IPM 3，Econo IPMの系列

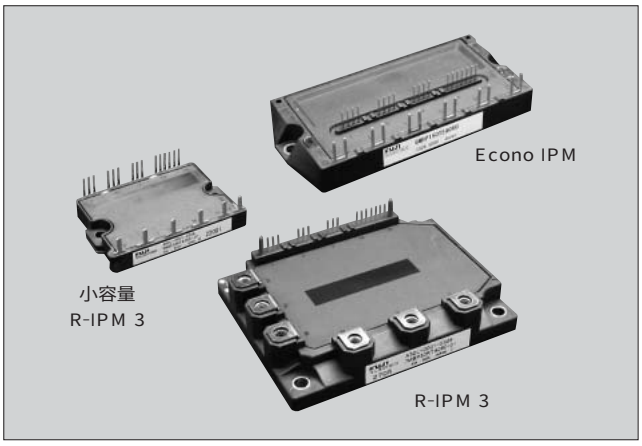
表2にR-IPM 3とEcono IPMの製品系列，特性および内蔵機能を示す。IGBTチップは，NPTプレーナを採用し，スイッチング損失の低減を図っている。FWDチップは，アノード構造を最適化しソフトリカバリー性をさらに改善した。

R-IPM 3シリーズは，従来のR-IPMシリーズと外形，機能で互換性があり，リプレースに最適である。

Econo IPMシリーズは，外形を小型化し，取付面積をR-IPM比で約30％低減した。さらに上アームのアラーム出力を追加することによって，地絡などのトラブルに対して，より確実な保護を可能にしている。

両シリーズとも，600 V系で電流定格50～150 A，6個組，7個組（ブレーキ用IGBT内蔵）を用意した。さらに20 A小容量素子については，銅ベースタイプのパッケージを適用することで使いやすさを向上させており，豊富なラインアップから，用途にあった製品を提供可能としている。**図2**に各IPMの外形図を示す。

図1　IPMの外観



渡辺　学

インテリジェントパワーモジュールの開発に従事。現在，富士日立パワーセミコンダクタ(株)松本事業所開発設計部チームリーダー。

楠木　善之

インテリジェントパワーモジュールの開発に従事。現在，富士日立パワーセミコンダクタ(株)松本事業所開発設計部。

松田　尚孝

インテリジェントパワーモジュールの開発に従事。現在，富士日立パワーセミコンダクタ(株)松本事業所開発設計部。

表２　IPMの系列，特性および内蔵機能

(a) Econo IPM

素子数	型　式	V_{DC} (V)	V_{CES} (V)	インバータ部		ブレーキ部		内蔵機能								パッケージ型式
				I_C (A)	P_C (W)	I_C (A)	P_C (W)	上下アーム共通			上アーム		下アーム			
								Dr	UV	TjOH	OC	ALM	OC	ALM	TcOH	
6 in1	6MBP 50TEA060	450	600	50	144	—	—	○	○	○	○	○	○	○	×	P622
	6MBP 75TEA060			75	198	—	—	○	○	○	○	○	○	○	×	
	6MBP100TEA060			100	347	—	—	○	○	○	○	○	○	○	×	
	6MBP150TEA060			150	431	—	—	○	○	○	○	○	○	○	×	
7 in1	7MBP 50TEA060	450	600	50	144	30	144	○	○	○	○	○	○	○	×	P622
	7MBP 75TEA060			75	198	50	198	○	○	○	○	○	○	○	×	
	7MBP100TEA060			100	347	50	198	○	○	○	○	○	○	○	×	
	7MBP150TEA060			150	431	50	198	○	○	○	○	○	○	○	×	

(b) R-IPM 3

素子数	型　式	V_{DC} (V)	V_{CES} (V)	インバータ部		ブレーキ部		内蔵機能								パッケージ型式
				I_C (A)	P_C (W)	I_C (A)	P_C (W)	上下アーム共通			上アーム		下アーム			
								Dr	UV	TjOH	OC	ALM	OC	ALM	TcOH	
6 in1	6MBP 20RTA060	450	600	20	103	—	—	○	○	○	×	×	○	○	×	P619
	6MBP 50RTA060			50	198	—	—	○	○	○	○	×	○	○	○	P610
	6MBP 80RTA060			80	347	—	—	○	○	○	○	×	○	○	○	
	6MBP100RTA060			100	431	—	—	○	○	○	○	×	○	○	○	P611
	6MBP160RTA060			160	500	—	—	○	○	○	○	×	○	○	○	
	6MBP 50RTB060			50	144	—	—	○	○	○	○	×	○	○	○	P610
	6MBP 75RTB060			75	198	—	—	○	○	○	○	×	○	○	○	
	6MBP100RTB060			100	347	—	—	○	○	○	○	×	○	○	○	P611
	6MBP150RTB060			150	431	—	—	○	○	○	○	×	○	○	○	
7 in1	7MBP 50RTA060	450	600	50	198	30	144	○	○	○	○	×	○	○	○	P610
	7MBP 80RTA060			80	347	50	198	○	○	○	○	×	○	○	○	
	7MBP100RTA060			100	431	50	198	○	○	○	○	×	○	○	○	P611
	7MBP160RTA060			160	500	50	198	○	○	○	○	×	○	○	○	
	7MBP 50RTB060			50	144	30	144	○	○	○	○	×	○	○	○	P610
	7MBP 75RTB060			75	198	50	198	○	○	○	○	×	○	○	○	
	7MBP100RTB060			100	347	50	198	○	○	○	○	×	○	○	○	P611
	7MBP150RTB060			150	431	50	198	○	○	○	○	×	○	○	○	

Dr：IGBT 駆動回路，UV：制御電源不足電圧保護，TjOH：素子過熱保護，OC：過電流保護，ALM：アラーム出力，TcOH：ケース温度保護
＊6MBP20RTA060は，Nラインでシャント抵抗による検出方式を採用

3　パワー素子の特徴

従来のR-IPMに適用したPT（Punch Through）-IGBTとR-IPM 3，Econo IPMに適用したNPT-IGBTチップ断面図を**図3**に示す。

NPT-IGBTの主な特徴は次の3点である。

(1)　コレクタ-エミッタ間飽和電圧（$V_{CE\ (sat)}$）が正の温度係数を持つため，チップ内の単位セルに電流集中することがない。

(2)　ターンオフ損失（E_{off}）の温度依存性が小さい。

(3)　ライフタイムコントロールがないため，$V_{CE\ (sat)}$のばらつきが小さい。

$V_{CE\ (sat)}$とターンオフ損失のトレードオフ関係を**図4**に示す。図から従来IGBTチップのNシリーズおよびSシリーズは，温度依存性が大きいことが分かる。一方，開発したTシリーズのNPTプレーナチップは，温度依存性が小さく高温でのターンオフ損失を低減することができる。PTプレーナチップとNPTプレーナチップを比較した$V_{CE\ (sat)}$のばらつきを**図5**に示す。NPTプレーナは狭い範囲に分布しており，安定した定常損失特性を示す。

次に，R-IPM 3とEcono IPMに採用したFWDについて述べる。FWDには放射ノイズ低減のため，新構造を採用した。新構造FWDと従来のFWDの逆回復時の波形比較を**図6**に示す。新構造FWDは**図6**に示すようにアノードからの正孔注入を抑えて逆回復ピーク電流を小さくし，ソフトリカバリー化を達成している。

図２　IPM の外形図

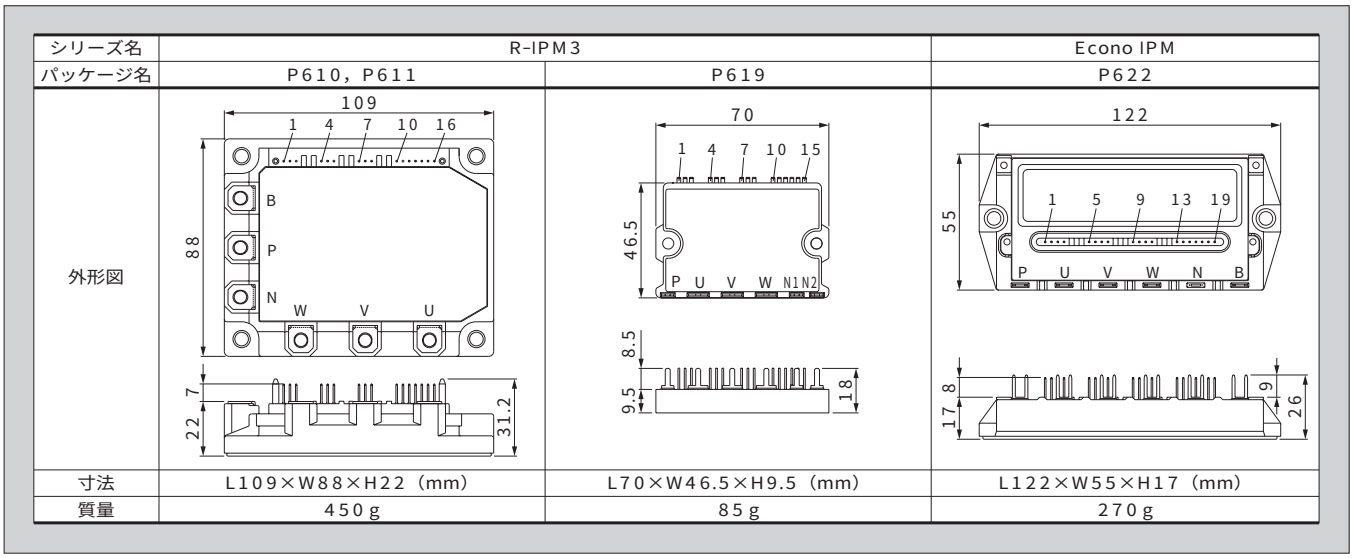


図３　IGBT チップの断面比較

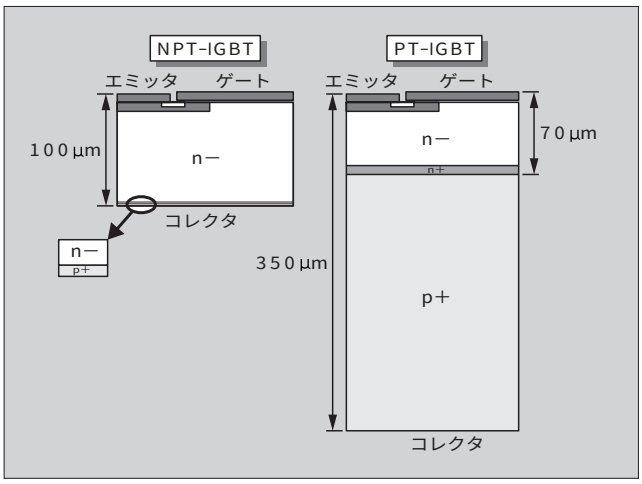


図４　IGBT チップのトレードオフカーブ

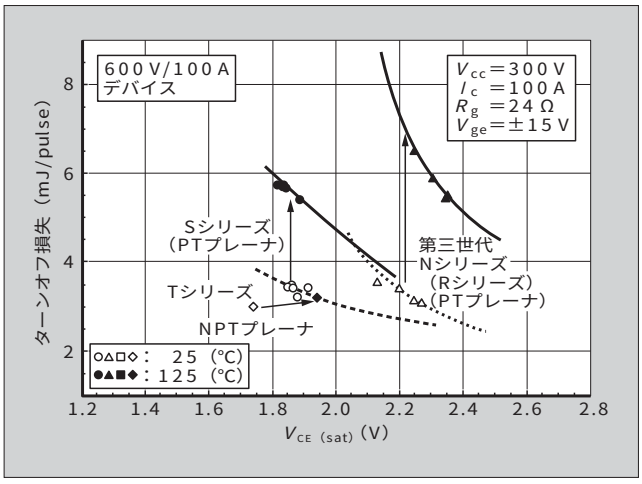


図５　$V_{CE\ (sat)}$ の分布図

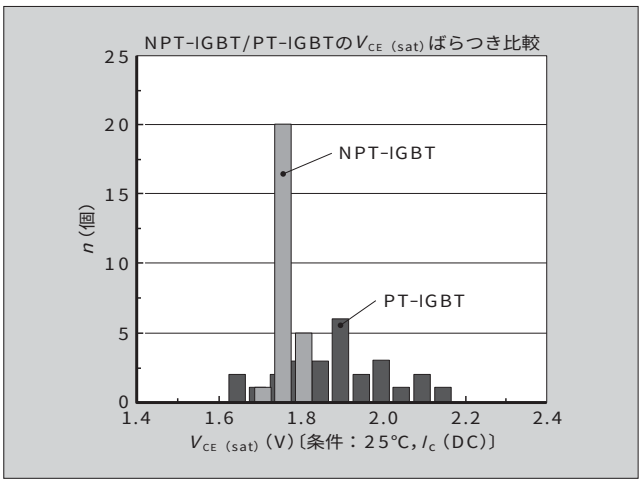
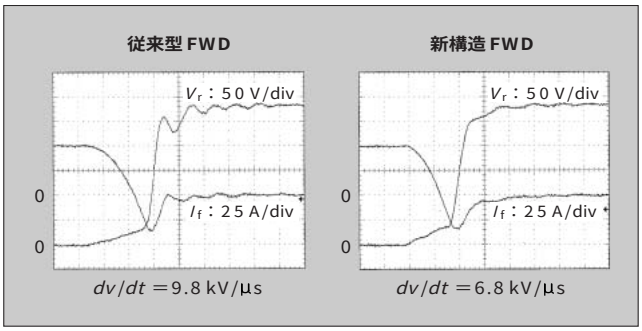


図６　FWD の逆回復時の波形比較



4　パッケージ構造

Econo IPM は小型・薄型化を達成するため，従来とは異なる構造で作られている。従来のパッケージでは端子バーによる配線方式が取られていたが，バー配線の制約から，パッケージ高さを低く抑えることが難しい。そのため，Econo IPM では従来の端子バー構造から，内部結線すべてをアルミワイヤで行う方式を採用した。またパッケージ幅を抑えるために，制御プリント板を２階に配置する構造を採用している。これらにより，従来と比較し大幅にコンパクトなパッケージを作ることに成功した（**図７**参照）。

図 8 にサイドフィンタイプのサーボアンプへの Econo IPM 搭載例を示す。この図の Econo DiM（Econo Diode Module）は Econo IPM と同一コンセプト（Econo-Module Concept）で開発され，共に 17 mm のパッケージ高となっている。Econo IPM と Econo DiM は同じ高さであるため，同一のプリント基板で接続することができる。この二つのモジュールを採用することにより，プリント基板設計の簡素化が期待できる。また，Econo IPM は薄型のパッケージをさらに有効に生かす工夫として，ふたの一部を下げている。図に示すようにプリント基板と Econo IPM のふたとの間隔を 3 mm 確保することにより，プリント基板の裏面にホトカプラなどの電子部品の搭載を可能にした。これにより顧客装置内のデッドスペースを減らし，顧客装置の省スペース化へ貢献できることが期待される。

5　損失低減

IPM の製品開発コンセプトとして，損失の低減と，これとトレードオフ関係にある放射ノイズレベルの両立が最も重要な項目である。

今回新たに開発した Econo IPM と R-IPM 3 においても上記課題が重要なテーマの一つであった。その中で，前述の新たに開発した NPT-IGBT を適用することにより，IGBT 損失の低減を図り，またソフトリカバリー性を持つ MPS ダイオードを搭載し，さらに駆動条件の最適化を行

図 7　Econo IPM の内部構造

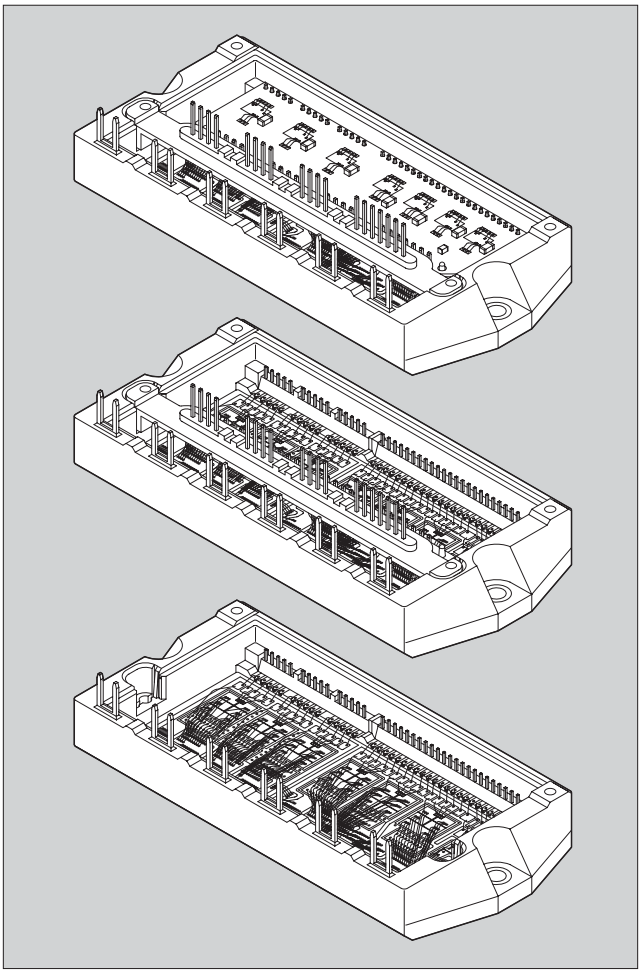


図 8　Econo IPM の搭載例

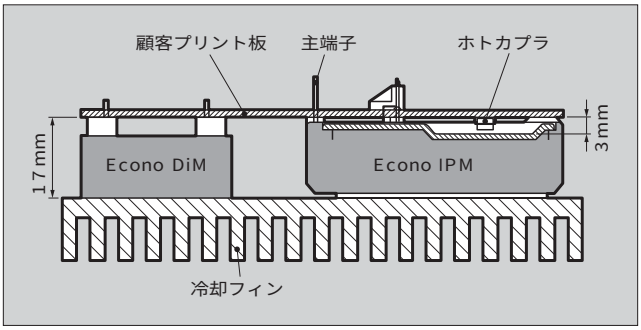


図 9　総損失比較

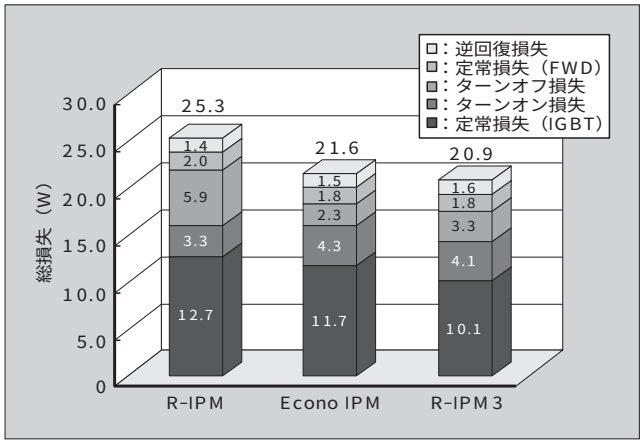


図 10　ターンオフ波形

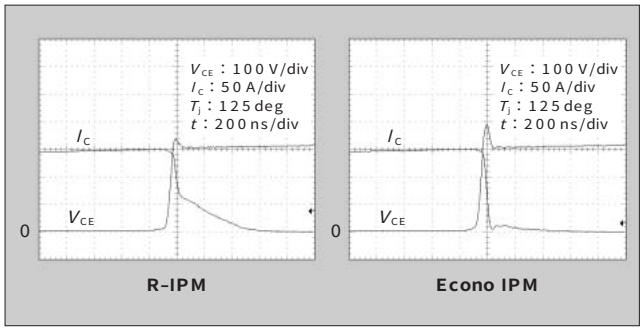


図 11　放射ノイズスペクトルの比較

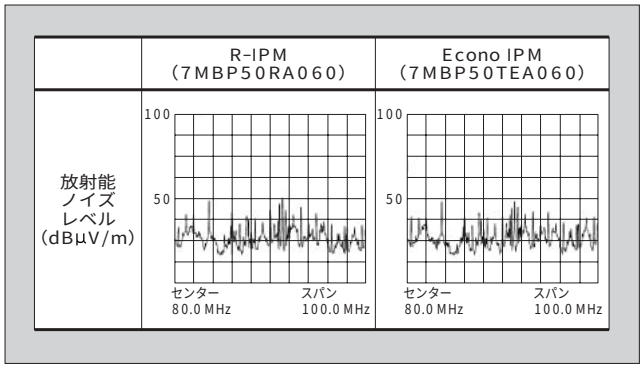
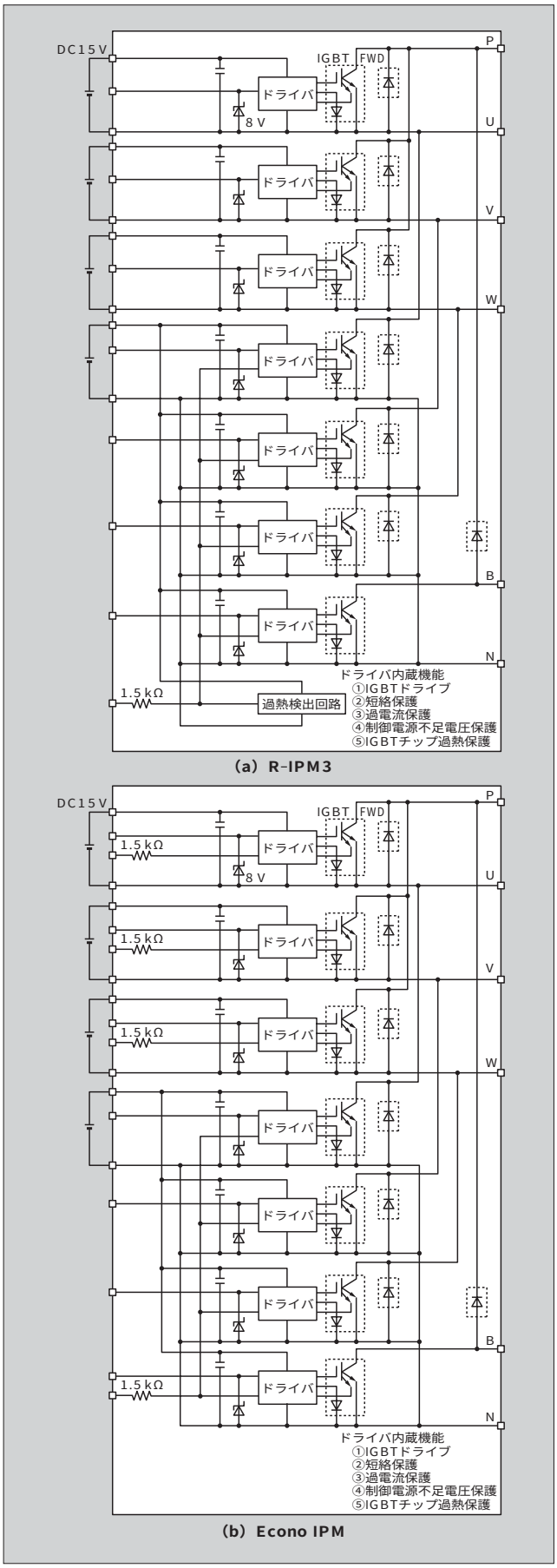


図12　IPM 回路ブロック図



うことにより，従来品の R-IPM と比べ，同等以下の放射ノイズレベルを達成することに成功した。

図9に，今回開発した Econo IPM，R-IPM 3 と，従来の R-IPM との総損失比較を示す。新しい IGBT チップと FWD チップを搭載した結果，従来の R-IPM に対し，Econo IPM は 15 %，R-IPM 3 は 18 %の損失低減を達成している。特にターンオフ損失の低減が，総損失低減に大きく貢献している。**図10**に従来品（R-IPM）と Econo IPM のターンオフ波形を示す。また，**図11**に R-IPM と Econo IPM の放射ノイズのスペクトルを示す。放射ノイズスペクトルは，キャリヤ周波数 4 kHz のサーボアンプを用いて加減速運転を行い，3 m 法により測定したものであり，30 ～ 130 MHz の範囲で従来品と同等のノイズレベルを保っていることが分かる。

6　IPM のブロック図

ブレーキ内蔵タイプのブロック図を**図12**に示す。(a)が R-IPM 3，(b)が Econo IPM である。Econo IPM では，上アーム回路のアラームを外部へ出力している。

7　あとがき

富士電機のパワーデバイスにおける最新の技術を盛り込んだ IGBT-IPM を紹介した。これらの IPM は，パワーエレクトロニクス応用製品の高効率化，小型化を実現し，市場の期待に応えられるものと確信する。

今後とも市場要求に十分応えられるよう，開発，製品化に注力していく所存である。

参考文献

(1)　Kusunoki, Y. et al. A new compact intelligent power module with high reliability for servo drive application. PCIM Europe 2002.

(2)　Matsuda, N. et al. New 600V Compact Intelligent Power Module “ Econo IPM ”. CIPS2002，p.101-106.

e-Front runners

＊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。