

パワーエレクトロニクス(PE)技術は、既に広い範囲で実用化され、将来の厳しいエネルギー需給に対応するものとしてその重要性はますます高くなっている。当社のPE製品は、顧客ニーズに応じて、運転の高効率化、制御の高性能化、あるいは要求される動作を可能にする高機能化などにおいて特長を持っている。パワーデバイス、PE専用マイコン、PE実装構造技術、モータなどのPEコア技術は、製品の基本的な性能、コストを決める重要な技術であり、最近では、パワーデバイスの能力を最大限に発揮させる、これらコア技術を結集したパワーユニット技術の開発に特に注力している。そして、これらの成果を新製品開発に反映させている。

Power electronics (PE) technologies have already been applied in many fields, and will become increasingly important against the background of the severe energy balance in the future. Toshiba is manufacturing various types of PE equipment having distinguishing features such as high operating efficiency, high controlling performance, highly functional performance, and so on, according to the needs of customers.

PE core technologies - namely, power devices, PE specialized microprocessors, and PE equipment structure and motor technologies - are of prime importance in determining the fundamental performance and cost of such PE products. We are therefore carrying out R&D activities in this area, especially in the field of power unit technologies which condense these core technologies in order to extract the maximum performance of power devices.

## ■ 認知された“パワーエレクトロニクス”

パワーエレクトロニクスという用語が使われ出して約30年が経過した。2000年2月に改定された電気学会の専門用語集でも、“半導体電力変換装置”が“パワーエレクトロニクス”に改題されている。

PE装置・機器は、順調に発展を続け、様々なシステムの中で重要なコンポーネントとして採用されてきた。これは、パワーデバイスなど、コア技術の進歩に負うところが多い。

ここでは、PE装置・機器の必要性、それぞれの適用分野における技術動向、コア技術の動向、及び今後の技術予測について述べる。

## ■ エネルギー問題解決に貢献するPE技術

世界のエネルギー動向を見ると、アジアを中心にその需要は増大して

おり、これは21世紀も継続していくものと考えられる。一方、最近注目を浴びている二酸化炭素による地球温暖化現象は、21世紀の人類にとって極めて大きな問題である。

このような状況では、次の施策がますます重要となってくる。

- (1) エネルギーの電力化率が増大していくなかで、電力を効率的に運用する。
- (2) 省エネルギー(以下、省エネと略記)を推進する。
- (3) クリーンエネルギーを採用する。

そして、その実現のためには、従来にも増してPE技術の役割が大切になる。例えば、電力分野のPE機器は(1)を、家電機器用インバータ、産業用省エネドライブあるいは永久磁石電動機の採用は(2)を、更に太陽光発電システムは(3)をねらったものである。今後、飛躍の伸張が期待されている電気自動車(EV)は、別の観点での環境対策の一例である。

## ■ 装置・機器動向は自励方式、高効率、小型化

表1は、当社が取り組んでいるPE装置・機器の各分野の代表的なものについて、次の視点から一覧表にまとめたものである。

- (1) 装置の電圧・変換容量はどれぐらいか。
- (2) その機能はどのようなものか。
- (3) ニーズをベースとした技術動向はどうか。

また、図1は上記(1)項の装置電圧(V)と容量(kVA)がどのような領域になるのかを描いた図である。

表1の技術動向を総括すると次のようになる。

- (1) 容量の大きいところで、他励方式から自励方式への流れが始めている。
- (2) あらゆる分野で、自励インバータの小型・低損失化ニーズが高い。汎用インバータ(3.7kW・200V)の例では、この15年間で

表1 . パワーエレクトロニクス装置・機器の概要と技術動向  
Outline of and technical trends in PE apparatus manufactured by Toshiba

分野	装置・機器	分類	変換器容量(kVA)	電圧(kV)	機能(使われ方)	技術動向
電力	HVDC, SVC	D	10,000 ~ 700,000	10 ~ 250	直流送電による安定化, 系統の無効電力補償	・他励方式が主流だが, より制御性の優れた自動方式が採用され始めた。 ・小型・低損失化
	可変速揚水	M	10,000 ~ 100,000	3 ~ 10	発電/駆動制御, 周波数安定化	・同上
交通	車両ドライブ	M	300 ~ 5,000	0.6 ~ 3	車両駆動制御	・小型・軽量・低損失( GTO から IGBT, IEGT など MOS系素子へ) ・高効率化のため PM モータ適用計画あり
	車両補助電源	S	10 ~ 300	0.2 ~ 3	エアコン・照明への電力供給	・小型化のため高周波共振インバータが注目
	地上電源	S	10,000 ~ 100,000	1.5 ~ 20	架線給電, リニア電源など	・自動方式の採用
産業ドライブ	プラントドライブ	M	2 ~ 10,000	0.2 ~ 5	鉄鋼圧延, 抄紙機などの駆動制御	・大容量ドライブでは他励方式(サイクロコンバータ)と自動方式のすみ分け。 ・MMI, リモートメンテナンス機能の高度化
	単機ドライブ	M	200 ~ 10,000	0.4 ~ 6	ポンプ, ファンなどの省エネ駆動	・高圧ダイレクトドライブインバータ(省エネ主体)の適用拡大
	汎用ドライブ	M	0.2 ~ 200	0.2 ~ 0.5	一般機械駆動用	・永久磁石ドライブ適用開始
昇降機ドライブ	昇降機ドライブ	M	3 ~ 250	0.2 ~ 0.5	エレベーター駆動制御	・高速化, 振動抑制制御 ・マシーナブルメス化のための小型化( PM ドライブを含む)
受変電	サイリスタリッパ・リミタ	D	10 ~ 20	6	コジェネなどでの系統との切離し	・発電機保護のための速い制御
	SVCS	D	10,000 ~ 100,000	3	電気炉のフリッカ抑制	・他励方式から自動方式へ(性能向上)
UPS	UPS	S	0.1 ~ 1,500	0.1 ~ 0.4	重要負荷の瞬時停電対策	・力率, 高調波対策にアクティブコンバータ ・共通予備などの高効率システム ・リモートメンテナンス機能の高度化
EVドライブ	ハイブリッド車	M	10 ~ 100	0.1 ~ 0.4	エンジン補助	・高効率モータ: PM モータ / PRM ドライブ
	純電気自動車	M	10 ~ 100	0.1 ~ 0.4	全領域インバータ駆動	・同上。二次電池, FC との組合せ
家電機器	エアコンインバータ	M	1 ~ 20	0.1 ~ 0.2	コンプレッサ駆動, ファン駆動	・高効率(トッランナー方式)
	冷蔵庫インバータ	M	0.2 ~ 0.5	0.1	コンプレッサ駆動	・同上
	洗濯機インバータ	M	0.2 ~ 0.5	0.1	洗濯及び脱水	・低騒音指向のダイレクトドライブ
新エネルギー応用	PVインバータ	S	1 ~ 300	0.1 ~ 0.2	太陽電池からの変換	・小型高効率化, フレキシブルな系統連携機能
	FCインバータ	S	100 ~ 500	0.1 ~ 0.2	燃料電池からの変換	・同上

分類 M: モータドライブ系 S: 電源系 D: 送電・配電系  
GTO: Gate Turn-Off thyristor HVDC: 直流送電 MMI: Man Machine Interface PV: 太陽電池 SVC: 無効電力補償装置 UPS: 無停電電源装置 FC: 燃料電池

体積約 1/5, 損失約 1/2 が達成されている。

- (3) 快適性が重要な分野では, 低騒音化(低損失化とトレードオフとなることが多い), 振動抑制などがますます重要となる。
- (4) 中小容量モータドライブでは, インダクションモータ(IM)ドライブから永久磁石(PM)モータドライブ(家電領域ではブラシレスDC(直流)モータドライブ)による高効率化の流れとなっている。
- (5) 電磁環境(EMC)/電磁干渉(EMI)対応, 高調波抑制など, 変換器みずからの環境対策が重要となっている。家電機器などでのリーク電流対策, 産業ドライブにおける軸電流対策なども重要課題である。
- (6) リモートメンテナンス機能など

情報通信技術(IT)の活用が, ますます活発化していく。

なお, 装置・機器の高信頼性化と低価格化ニーズはすべてに共通しているため, あえて記述していない。

### ■ 技術進歩を支えるコア技術開発

#### ■ 低損失化を目指すパワーデバイス技術

パワーデバイスは低損失化, MOS (Metal Oxide Semiconductor) 化, 集積化の方向で開発が行われている。次に, 代表的なパワーデバイスについて, 動向を述べる。

高耐圧SOI (Silicon On Insulator) 応用では, 250 V・1 A のワンチップインバータが実現している。現在, 更に, 高電流密度化, 高機能化に向け

た開発が行われている。

パワー MOSFET (Field Effect Transistor) はオン抵抗を下げる技術開発が進められている。30 V 耐圧パワー MOSFET のオン抵抗は, 15 年間で 1/20 に下がった。今後, 低電圧の安定化電源への適用が見込まれるため, トレンチゲートによるいっそのオン抵抗低減が進み, また, それに有利な横型パワー MOSFET 構造を採用していく。

IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) は, トレンチゲートに加え, より薄いウェーハを用いたパンチスルー (PT) 構造への開発が進み, 壊れにくい低スイッチング損失のパワーデバイスが実現した。高耐圧SOI を応用した単一ゲート電源駆動, 能動的なゲート駆動による EMI 低減などのインテリジェント化も進んでい

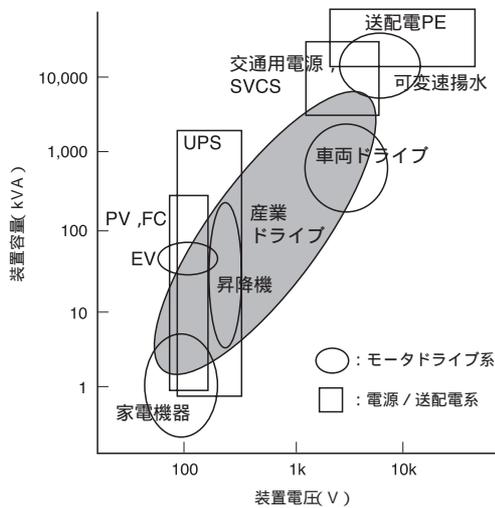


図1. パワーエレクトロニクス装置の電圧と容量 UPS, FCなどの低圧大電流変換器を除いて、電圧と容量がほぼ比例関係にある。  
Voltage and capacity regions of PE apparatus

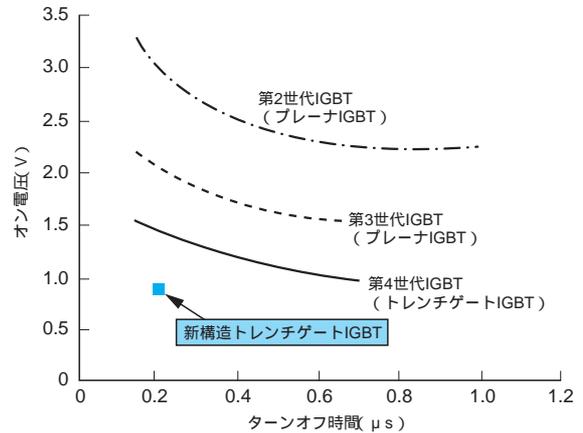


図2. 新構造トレンチゲートIGBTの性能比較 トレンチゲート構造の採用により、オン電圧低減の効果がみられる。  
Comparison of characteristics of various generations of IGBTs, including new trench-gate type IGBT

る。図2には、新構造トレンチゲートIGBTの比較性能を示す<sup>(1)</sup>。

新パワーデバイス IEGT (Injection Enhanced Gate Transistor) では、高耐圧のIGBT系パワーデバイスでありながら、IE効果<sup>(注1)</sup>により低オン電圧を実現している。高耐圧パワーデバイスでゲート駆動をMOS化することは、IEGTが適用される中大容量の変換器盤の小型化へ大きなインパクトを与えている。

以上のパワーデバイスのパッケージ構造にはいろいろな工夫が見られる。特に、汎用IGBT用には、チップ性能の向上との相乗効果により、従来の1/2というサイズのCompact-IPM<sub>TM</sub> (IPM: Intelligent Power Module) が実現している。ここでは、主電極端子と電極パターン間の超音波接合技術による接続、印刷回路基板のスルーホールを通じた信号用アルミワイヤのボンディング接続などの新しい構造技術が採用されている。また、より小型化するためには、サージ電圧を跳ね上げない低インダ

クタンス配線技術、あるいはチップを最適に配置する構造・温度解析技術などを駆使している。

次世代パワーデバイスとしては、新素材を使ったSiC (Silicon Carbide) パワーデバイスの実用化、あるいは新原理の構造である真空マイクロ素子などが候補に挙がり、研究が進んでいる。特に、SiCデバイスは市場に供給される結晶の質が上がってきており、数年後には一部の用途で実用化が始まると期待されている。

#### ■ PE専用マイコンで制御、センシングを高度化

PE制御機能の向上、周辺機能集約による低コスト化をねらって、当社はPE専用マイコンPP7を開発、適用してきた。ハードウェアとソフトウェアの最適分担を図り、PE制御における機能向上を達成した。電流制御は従来比1けた高速となっている。また、高速で複雑な制御を精度良く行うことができ、プロセス量を検出するセンサの代わりとして使うこともできる。PE

専用マイコンPP7とインバータの回路構成と機能を図3に示す。

#### ■ 小型化を実現するPE実装構造技術

PE実装構造技術の革新により、PE装置・機器の小型化、低コスト化を進めてきた。PE装置に要求されるもっとも特徴的な技術は、パワーデバイスという局部に集中して発生する高い発熱を冷却する技術である。水路パターンを工夫した水冷ヒートシンク、沸騰促進構造を採用した沸騰ヒートシンクなど、パワーデバイスを強力に、しかも均一に冷却する高性能ヒートシンク技術を開発してきている。また、中小容量の領域では冷却を含むPE実装技術が製品の外形、コストに大きな影響を与えるため、特殊環境下での小型化、あるいは極薄型化を指向したインバータなど、用途・ニーズに応じた構造が工夫されている。

また、スイッチング時に発生するサージ電圧を抑制するためには、周辺回路部品と接続する構造で低インダクタンス化が重要である。産業用インバータでは、配線の一部にパワーボードが採用されている例もある。

(注1) IE効果

電子注入促進(Injection Enhanced)効果。アノードからベースに注入されたキャリア(正孔)を、カソード構造の工夫によりカソードへの流出を抑制する。キャリアは蓄積され、パワーデバイスのオン電圧を低減することができる効果。

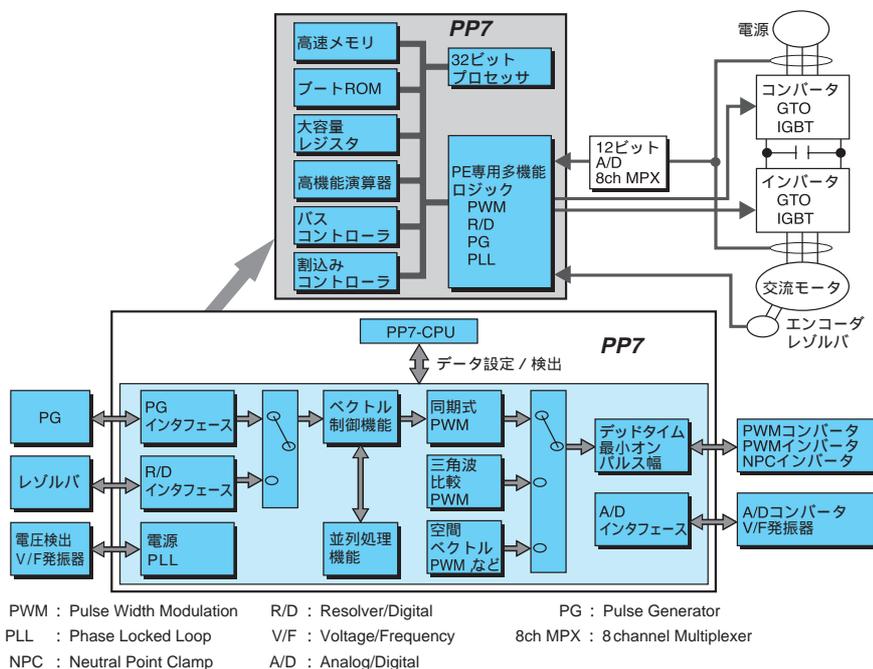


図3 . PP7とインバータの回路構成と機能 PWM制御などPE制御に特有な機能をLSI部品にして集合化することにより、高機能で高性能なシステム制御を実現している。  
 Circuit and function configuration of PP7-inverter system

■永久磁石を利用してモータ技術を高度化

多くのPE装置はモータドライブ用途に使われており、モータはPEシステムの重要なコンポーネントである。最近、前述の動向でまとめたように、

小型・低コスト化、省エネをねらってPMモータ化が進み、適用範囲が増

(注2) PRM  
 永久磁石によって発生するトルクとリラクタンス成分によって発生するトルクの両方の効果があるロータ構造を持ったモータ。PRMでは、PMモータに比べ使用される磁石量が少ないため低コストとなり、更にPMモータ並みに効率を上げることができる特長がある。誘起電圧成分が小さくなり、広い弱め界磁範囲を持つ用途に最適。

えている。更に、広い可変速範囲に対応できるモータとして、当社では永久磁石リラクタンスモータ( PRM )<sup>(注2)</sup>を開発した。これらのモータにとっては、特に高温時で性能が維持されるコストの低い永久磁石の開発が重要である。IM ,PM モータとPRMの構造と特徴の比較を図4に示す。

■高度なコア技術が高付加価値PE装置・機器を創出

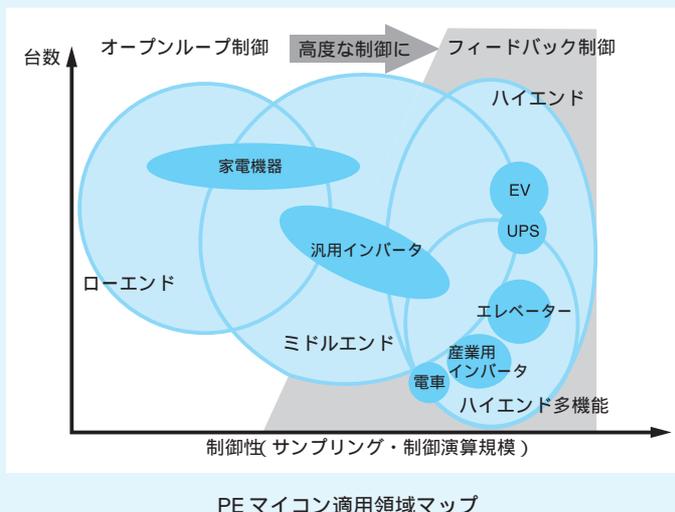
前章で紹介した新コア技術を今後の製品に適用していく。

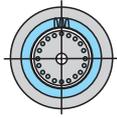
新パワーデバイス IEGT の適用は、5,000 kVA を超える大容量変換装置において画期的な小型化が図れる。この特長を生かして、高圧モータ用省エネインバータ、圧延機用インバータなどのドライブ装置、フリッカ抑制用無効電力補償システム( SVCS )などを開発している。

PE専用マイコン PP7は、当社の中大容量インバータに採用され、

PE専用マイコンの適用コンセプト

電力、産業、交通用インバータにおける高速、大容量の信号処理には、PP7のような多機能、高性能なPE専用マイコンが向いているが、汎用インバータ、空調用インバータなどのある程度機能が限定される用途には、よりコストを重要視して処理能力を限定したPEマイコンが適切である。更に、用途によってはコストだけに注目したローエンドのマイコンが適切である領域もある。図には、これらPEマイコンの適用領域マップを示す。



モータの名称	IM	PRM	PMモータ
ロータ構造			
特徴	・ステータ、ロータともにトルク電流が流れるので効率が低い	・リラクタンストルクと永久磁石トルクを併用 ・誘起電圧が低く、広い弱め界磁運転に有利	・永久磁石で磁束を、ステータ電流でトルクを発生 ・磁石誘起電圧が常にあり、磁束を弱めにくい
効率	△	◎	◎
出力密度	△	○	◎
誘起電圧 / 定格電圧比	◎	○	△
短絡電流 / 定格電流比	◎	○	×
弱めの界磁範囲	◎	◎	○
必要磁石量	◎	○	△

◎:非常に優れている ○:優れている △:普通 ×:考慮が必要

図4. PMモータとPRMの構造と特徴の比較 PRMは広い弱め界磁範囲を持つ用途に最適であり、PMモータと同等の効率を実現する。  
Comparison of structures and features of permanent-magnet (PM) motor and permanent-magnet reluctance motor (PRM)

高性能化に寄与している。更にPE専用マイコンの適用コンセプトに従って、応用範囲を拡大していく(囲み記事参照)。

各種インバータには新PE実装構造技術の適用を進め、モータの適用では、産業・交通分野でPMモータ・PRMドライブ化の拡大を進めている。また、これらの技術を結集して

EVドライブシステムにも対応できる開発を進めている。

これらの製品開発をサポートするコア技術として、パワーデバイス応用技術をユニット機能として結集したパワーユニットの開発に注力している。高性能なパワーデバイス、PE専用マイコンに、高度PE実装技術を組み合わせることにより、高パワー密度パワ

ーユニットを実現することができる。IEGTパワーユニットの一例と、パワーユニットを構成するそれぞれの部品、あるいは構成そのものに求められている技術を図5に示した。

## ■ 変化する重要 PE 技術

以上述べたように、コア技術としてはパワーデバイスの機能向上からパワーデバイス応用技術の向上へ重点が移動していて、これに対応した技術開発を進めている。

また、今後、ITとの関連が強くなると、各種ネットワークを経由して、UPS・ドライブ装置などで適用されている監視サービス機能がより強化される。将来はDSM(Demand Side Management)など各種サービスに対応できる電力変換器も考えられる。

これらの技術力を結集して、当社はPE装置・機器が適用される市場の急速な変化に対応した製品の供給に注力していく。

## 文 献

- (1) 中川明夫,ほか.ますます性能をあげるデイスクリート半導体技術.東芝レビュー.55, 1,2000,p.30-33.

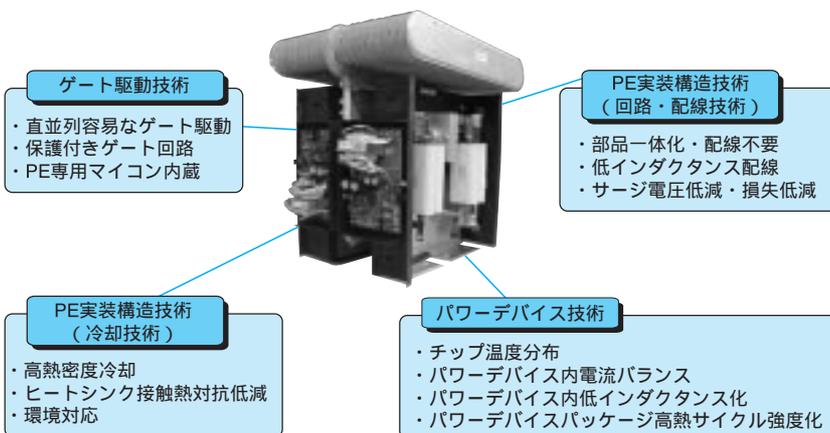


図5. IEGTパワーユニットの一例と求められる技術 スwitchingに必要な機能を一つにまとめたIEGTパワーユニットでは、高度なコア技術が必要である。

Example of IEGT power unit and its required technologies



齋藤 涼夫  
SAITO Suzuo

電力システム社 電力・産業システム技術開発センター技監。パワーエレクトロニクス機器の技術研究に従事。電気学会会員。

Power and Industrial Systems Research and Development Center



渡辺 陽三  
WATANABE Yozo

情報・社会システム社 電源システム事業部主幹。パワーエレクトロニクス技術の開発企画に従事。電気学会会員。

Power Distribution Systems Div.