

# ネットワーク時代のパワーデバイス技術

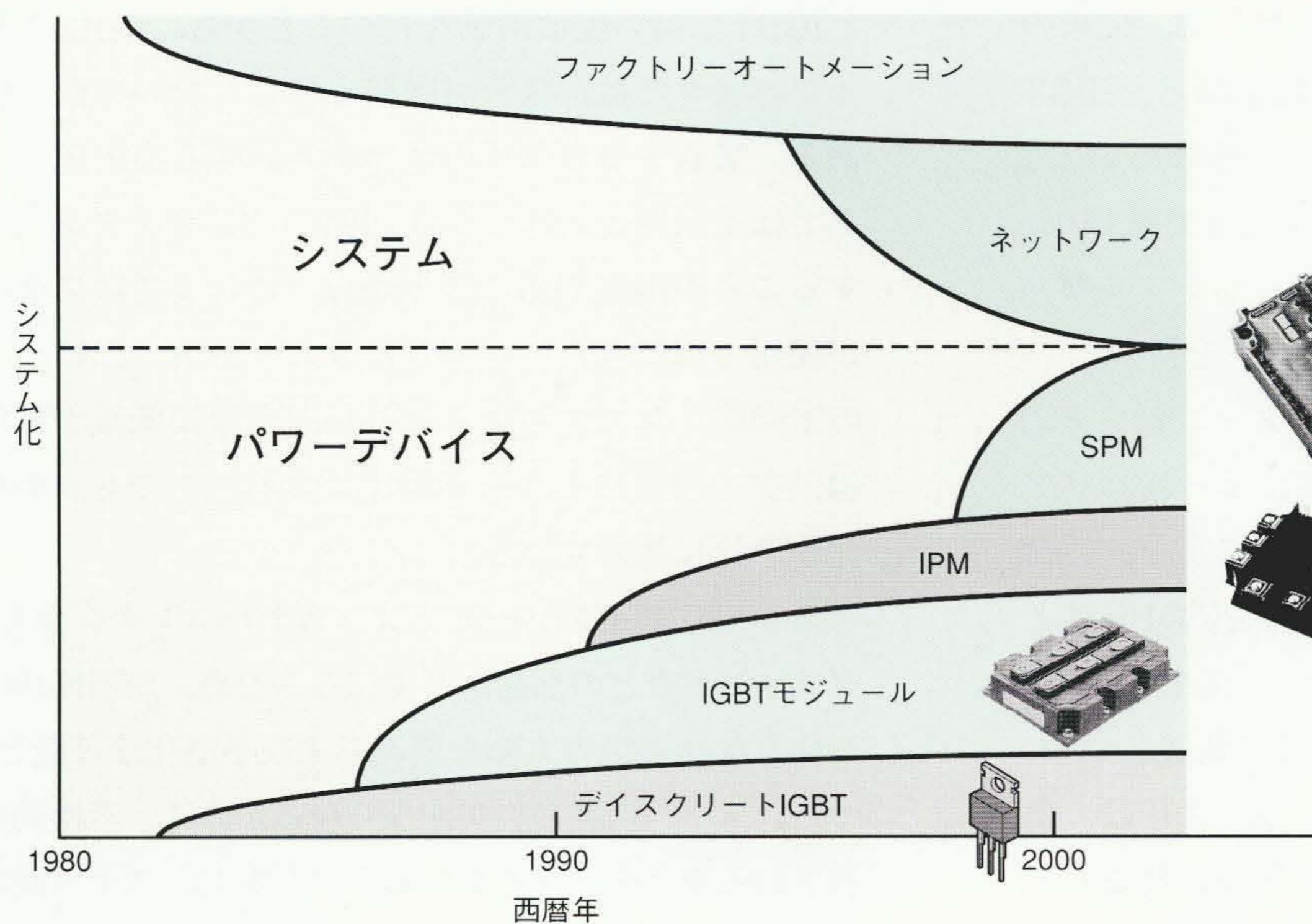
Power Device Technologies for Network Systems

森 睦宏 *Mutsuhiro Mori*

小林秀男 *Hideo Kobayashi*

長洲正浩 *Masahiro Nagasu*

中津欣也 *Kin'ya Nakatsu*



注：略語説明

IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)

SPM (System Power Module)

IPM (Intelligent Power Module)

MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor)

HiGT (High-Conductivity IGBT)

## パワーデバイスのシステム化トレンド

IGBTなどの低損失・低ノイズ化とともに、マイコンを内蔵し、ネットワークにつながる通信機能を持つSPM化が進む。

パワーデバイスには、低損失性や使いやすさ、堅ろうさ、低ノイズ性などが求められている。これらの特性はIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)やパワーMOSFET(Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor)などのMOSゲートデバイスの絶え間ない高性能化と制御技術の開発によって実現され、パワーデバイスの応用範囲がますます拡大している。さらに、パワーエレクトロニクス製品をネットワークで接続し、これらを効率的に監視、制御するために、パワーデバイスのシステム化も求められている。

日立製作所は、ネットワーク化の時代に対応し、産業機器などのシステム全体の省エネルギーや、高度監視制御などのソリューションを実現するために、マイコンや通信機能を搭載した、ネットワークにつながるSPM(System Power Module)の技術開発を進めている。

## 1 はじめに

パワーデバイスは、電力・産業・交通・情報・家電など数多くのパワーエレクトロニクス製品に適用され、機器の小型化、省エネルギー化などに大きく貢献してきた。特に商用100 V以上の電源電圧を取り扱う分野では、1980年代初めに開発されたIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)の高性能化が著しく、交通・産業分野などでもすでに主力のパワーデバイスになっている。

しかし、最近の地球温暖化対策や情報機器への電磁ノイズの規制などに対応するために、パワーデバイスのいっそうの低損失化、低ノイズ化が求められている。さらに、ネットワーク化の進展に伴い、パワーエレクトロニ

クス機器をネットワークにつなげることによる、システム全体のいっそうの省エネルギーと、機器の効率的な監視制御なども期待されている。

ここでは、IGBTの低損失化が可能な新型パワーデバイス“HiGT”、低ノイズ化のための制御技術、およびネットワークに対応したSPM(System Power Module)について述べる。

## 2 次世代の低損失IGBT“HiGT”

IGBTはスイッチングが速く、高周波化ができ、制御も容易であることから、中・小容量のインバータ装置を中心に適用されてきており、最近では、高耐圧・大電流IGBTの発展とともに、従来のGTO(Gate Turn-off

Thyristor)に代わり、車両などの大容量インバータにも使われるようになってきた。今後は、地球温暖化防止のための省エネルギーがますます重要視され、IGBTのいっそうの低損失化が求められるものと考えられる。

日立製作所は、次世代パワーデバイスとして、従来のIGBTの長所を備え、いっそうの低損失化を図ったHiGT (High-Conductivity IGBT)<sup>1)</sup>の開発を進めている。HiGTは、(1) 電荷(ホール)の蓄積：高電導で低損失、(2) 過電流の抑制：短絡耐量の確保、(3) シンプルなプレーナ構造：製造が容易の三つのコンセプトを持つ。

HiGTでは、導通時の抵抗損失[エミッタ・コレクタ間飽和電圧、 $V_{ce(sat)}$ ]を低減するために、ホールバリア層と呼ぶ独自の構造を採用している。これにより、電荷が蓄積し、電導度変調が促進される。3.3 kVのHiGTと従来IGBTチップの出力特性を図1に示す。従来のIGBTと比べて $V_{ce(sat)}$ を約70% (5 V→3.6 V)に低減しつつ、過電流を従来IGBTと同等に抑制している。これは、負荷短絡などの異常時に安全に遮断することが容易なことを示している。一方、トレンチIGBTは、 $V_{ce(sat)}$ がHiGTに比べて大きく、過電流は定格電流の数十倍に達し、過電流抑制のための何らかの保護回路なしで遮断するのは難しい。また、HiGTは、従来IGBTにホールバリ

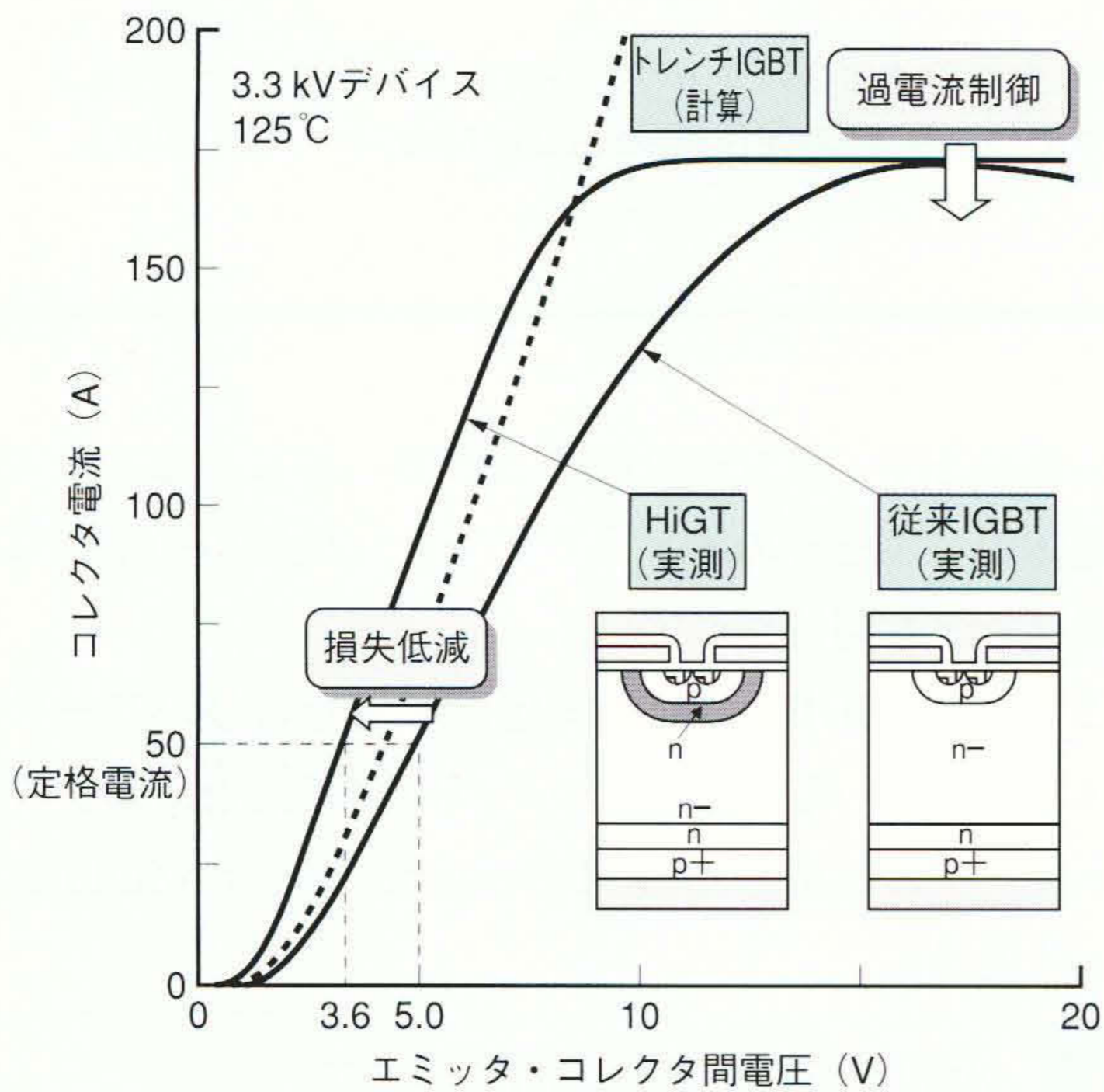


図1 3.3 kV HiGTチップと従来IGBTチップの出力特性比較  
HiGTではコレクタ・エミッタ間飽和電圧が最も低く低損失で、過電流も従来IGBT並みに抑制され、短絡保護が可能となる。トレンチIGBTでは飽和電圧が高く、過電流が定格電流の数十倍も流れ、過電流抑制のためのゲート制御が必要である。

ア層を1層だけを追加しただけのシンプルなプレーナ構造であり、製造が容易であるという特徴を併せ持つ。

### 3 IGBTの低ノイズ制御技術

IGBTは高い破壊耐量を持つことから、IGBTを用いたインバータでは、スナバ回路を使用しないのが一般的である。数百キロワットの電力を制御する高耐圧インバータでは主回路が大きく、主回路のインダクタンスを低減することが困難であることから、これまではスナバ回路が使用されてきた。しかし、ラミネート ブス バーなどの主回路インダクタンスを100 nH前後に低減が可能な配線部材の開発により、高耐圧インバータでもスナバレス化が急速に進んでいる。

スナバレスインバータでは、スナバコンデンサや抵抗、ダイオードなどの部品が不要になるため、主回路のシンプル化と部品点数の大幅な削減および小型化が可能となる。また、スナバ回路の損失がなくなるために、変換効率が改善されるなどのメリットもある。しかし、スナバ回路を取り除くと、スイッチング時の電圧変化率( $dv/dt$ )が急峻(しゅん)になり、以下のような問題が発生する。

インバータ回路の概略構成を図2に示す。インバータは、直流電圧をスイッチしてモータに電圧を印加することから、スイッチング時の $dv/dt$ が急峻になると、多くの高調波がモータに印加される。高調波成分は、インバータの出力部と配線、および配線とモータ入力部でインピーダンスの不整合による反射を発生させるので、 $dv/dt$ が急峻になるとモータの入力端子部に過電圧が発

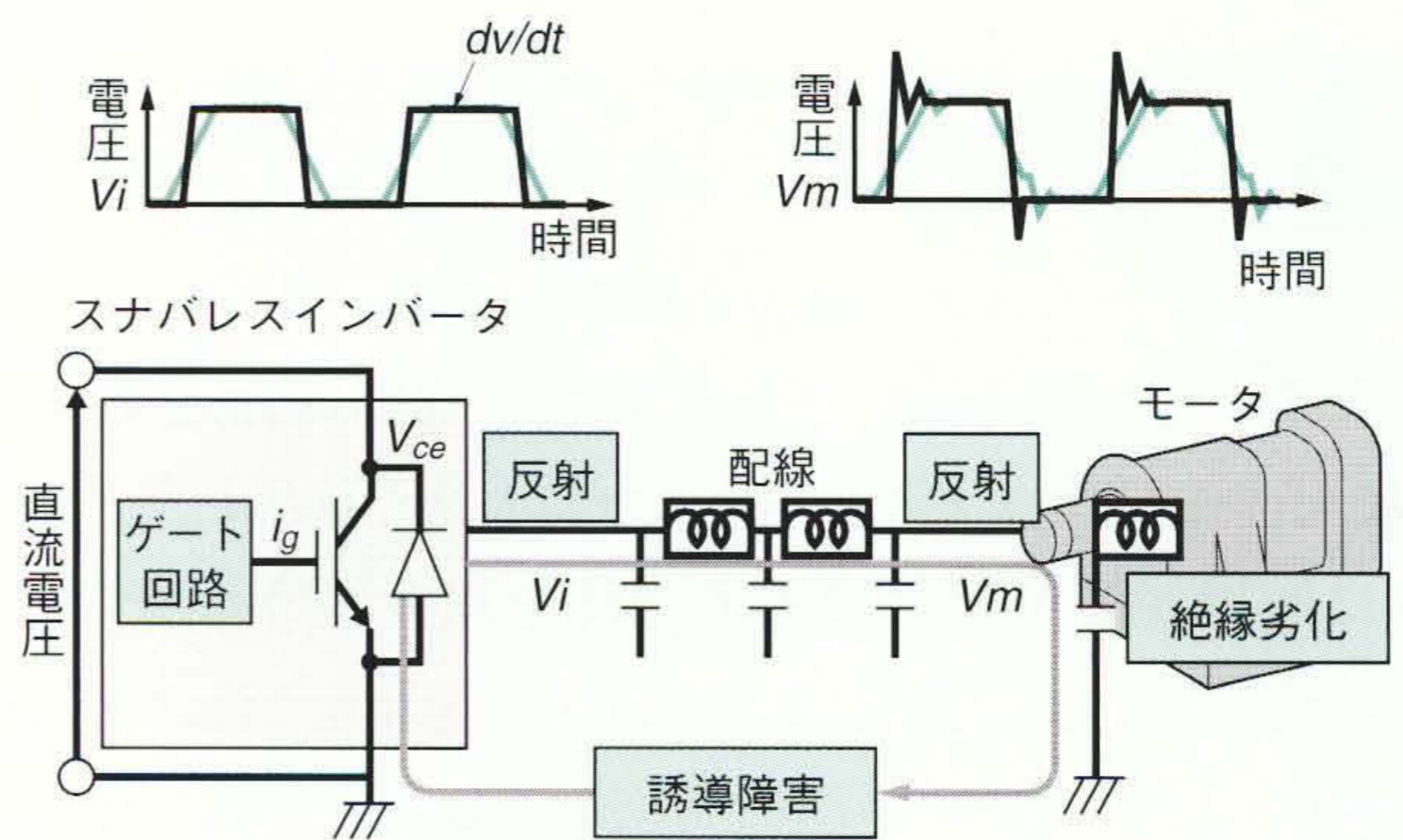
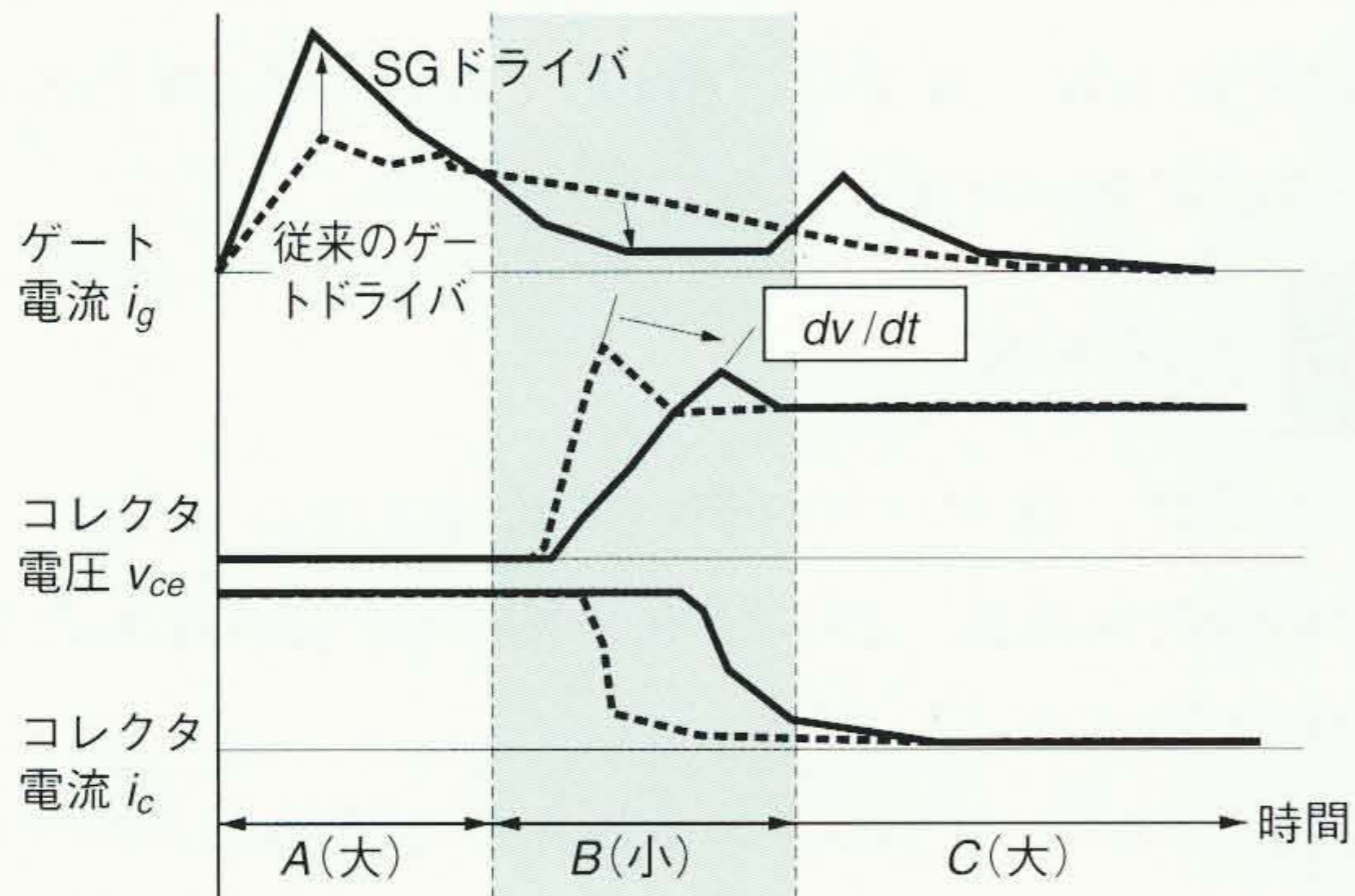


図2 インバータ回路の概略構成  
インバータ出力電圧 $V_i$ の $dv/dt$ が急峻になると、インバータ、配線、モータのインピーダンス不整合による反射や、モータの寄生容量を通して流れる高周波電流が増大し、過電圧によるモータ絶縁の劣化や誘導障害が発生する。



注：略語説明 SGドライバ (Soft Gate ドライバ)

図3 SGドライバの動作原理

ゲート電流 $i_g$ を大、小、大とアクティブに制御することにより、損失とスイッチング時間の増加を最小限に抑え、 $dv/dt$ を低減する。

生し、モータの絶縁を劣化させる。また、高調波成分は、モータ内部の寄生容量を通してアースに流れ、「インバータ-配線-モータの寄生容量-アース」を通して流れる高周波の電流ループを構成する。これが、誘導障害の原因となり、ラジオやテレビ、電車であれば信号の誤動作などを引き起こす。

日立製作所は、スナバレスインバータの高 $dv/dt$ の問題を解決することを目的に、SGドライバと名づけた簡易な構成のゲートドライバを開発した。SGドライバの動作原理を図3に示す。従来のゲートドライバで $dv/dt$ を制御するには、IGBTのゲート抵抗を大きくする方法が採られていた。しかし、抵抗を大きくするとゲート電流が低下することから、スイッチング時間と損失が増大するなどの問題があった。

これに対してSGドライバでは、ゲート電流 $i_g$ を大、小、大と順次アクティブに制御する<sup>2)</sup>。スイッチング $t$ 時の $dv/dt$ は $i_g$ が小さいほど緩やかになることから、 $i_g$ が小になる期間Bをコレクタ電圧 $V_{ce}$ が上昇する期間に一致させ、 $dv/dt$ を低減する。また、スイッチングの初期と後半には、 $i_g$ が大となる期間AとCを設けることにより、スイッチング時間の短縮と損失の低減を図っている。

#### 4 システムパワーモジュール(SPM)

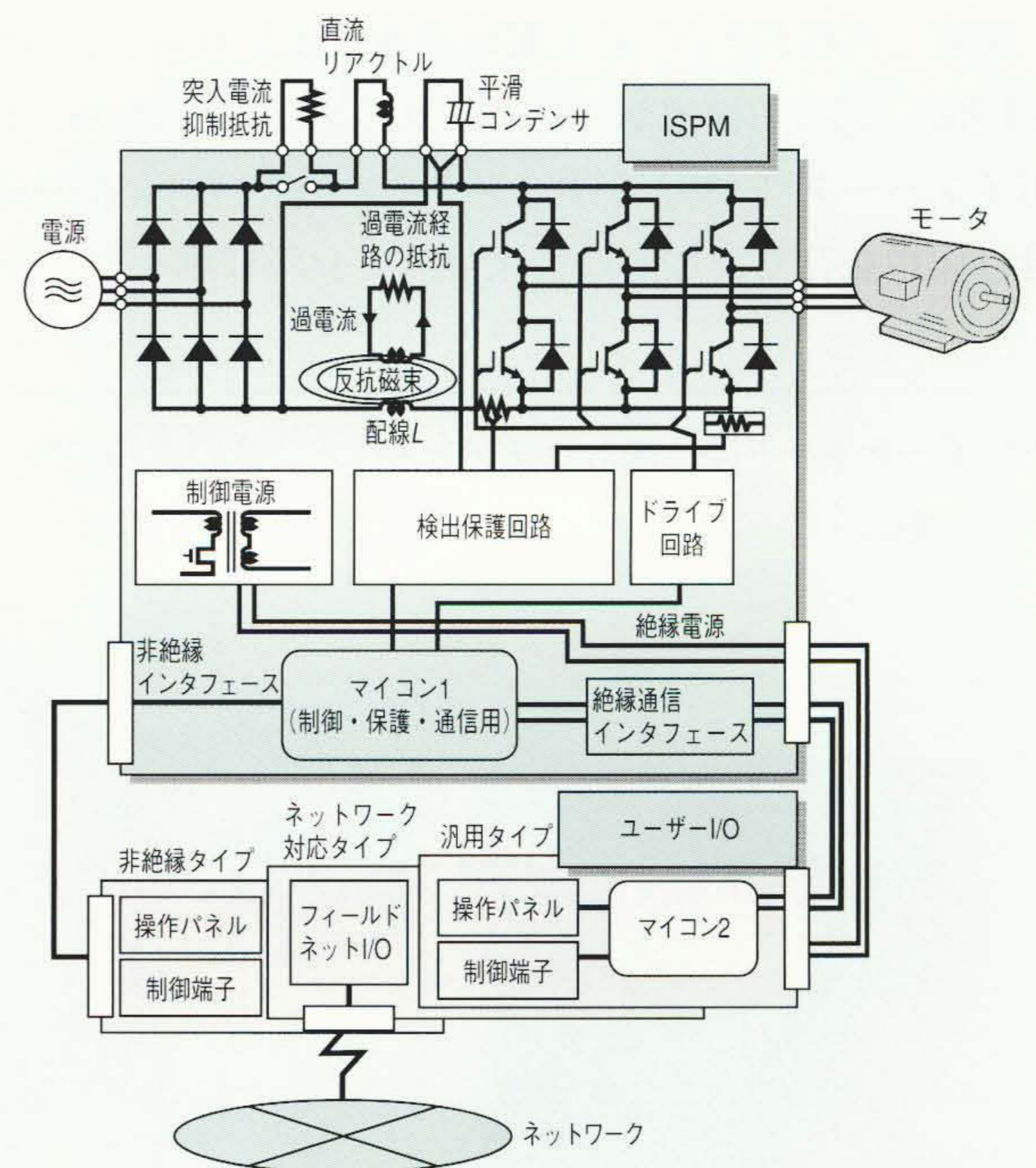
パワーエレクトロニクス応用分野では、インバータ化が急速に広がるにつれ、インバータ装置の専用化や小型化、開発コストを含めた低価格化が急務となっている。

日立製作所は、ユーザーの開発コストと期間の大幅な削減をねらいとし、IGBTに代表されるパワーデバイスや

SuperH RISC engineに代表される制御用マイコン、センサレスベクトル制御に代表される制御技術、および通信インタフェースを搭載し、インバータの周辺回路も一つのモジュールに集積したSPMを世界に先駆けて開発した。SPMでは、各種ネットワークに対応できるように通信インタフェースに拡張性を持たせ、ユーザーの使い勝手や組立性を格段に向上させている。

SPMのコンセプトを持つ汎用インバータ回路のISPM (Inverter System Power Module)を図4に示す。汎用インバータ本体は、ISPMとインタフェースユニット(以下、ユーザーI/Oと言う。)の二つのユニットで構成する。この特徴は、ユーザーI/OとISPMを絶縁通信インタフェースで接続したことにより、負荷であるモータの制御指令、運転状態や故障情報などに代表される、ユーザーが必要とするデータをシンプルに取り出せることにある。汎用インバータの開発に際しては、ユーザーI/Oの設計に注力できるとともに、交換が簡単なユーザーI/Oでさまざまな顧客への対応が可能となる。

ユーザーI/Oの例として、三つのタイプについて以下



注：略語説明 I/O (Input-Output)

図4 SPMのコンセプトを持つISPMの回路構成

ISPMは制御用マイコンとネットワーク対応の通信インタフェースを持ち、インバータ周辺回路を含めた一つのモジュールに集積する。

に述べる。

(1) 従来の汎用インバータが備えていたヒューマンインタフェースを搭載した汎用タイプであり、強電部を含むISPMとユーザーI/Oがすでに絶縁されているので、十分に小型化が可能である。

(2) フィールドネットワークやイーサネット<sup>※</sup>などのネットワーク専用のインタフェースを搭載したネットワーク対応タイプであり、ユーザーI/Oの交換だけで複数のネットワークに接続が可能である。

(3) 図4に示すマイコン1を直接操作する非絶縁タイプであり、ポンプや搬送機などの専用機器への組み込み時に重複するヒューマンインタフェースの削減や装置全体を統括するコントローラとの直接接続など、ユーザーI/Oの大幅な小型化とカスタマイズ性の飛躍的な向上を可能にする。

ISPMの小型化は、IGBTなどが高速に電流を遮断する際に生じる渦電流を用いて反抗磁束を作り出し、この反抗磁束を配線パターンと鎖交させて配線インダクタンス $L$ を大幅に低減し、さらに配線の細線化で基板面積を縮小することによって達成している。渦電流を用いた配線 $L$ の低減効果は、不要な輻(ふく)射ノイズやパワーデバイスの損失も抑制できる<sup>3)</sup>。

開発したISPMとそれを用いた汎用インバータの外観を図5に示す。3機種があり、これらのISPMにより、汎用インバータ(L100, SJ100シリーズ200 V 0.4 kW)の据付け面積を日立製作所の従来機比で44%に縮小できた。

※) イーサネットは、富士ゼロックス株式会社の商品名称である。

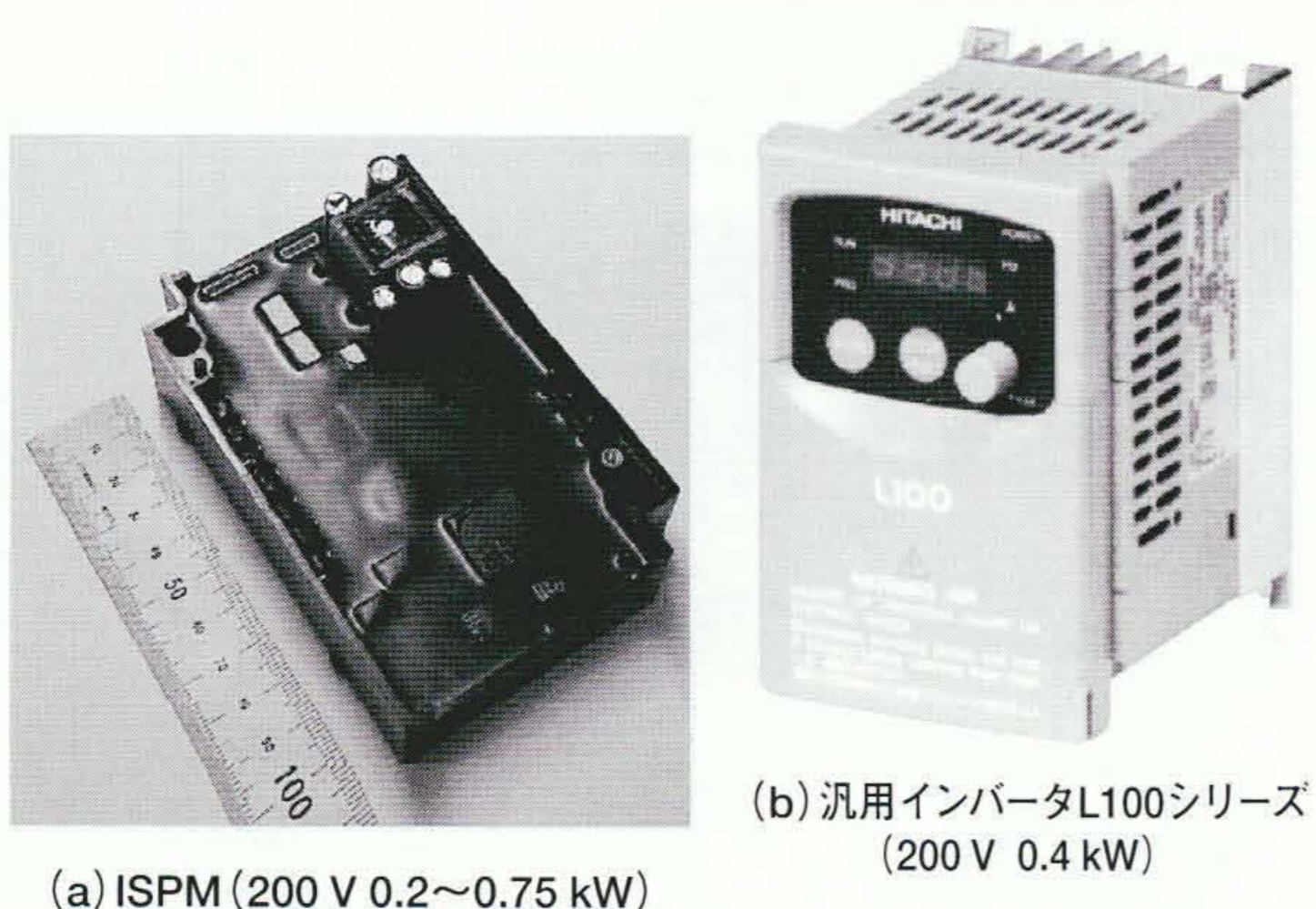


図5 開発したISPM(a)と汎用インバータ(b)の外観  
ISPMにより、据付け面積を従来機比44%に縮小した。

開発したISPMは、単相200 V 0.2~2.2 kW、三相200 V 0.2~7.5 kW、および三相400 V 0.4~7.5 kWの各インバータに対応が可能である。

## 5 おわりに

ここでは、新型パワーデバイス“HiGT”，低ノイズ化のための制御技術、およびネットワークに対応したSPMについて述べた。

今後も、いっそうの省エネルギーを目指し、ユーザーの信頼にこたえる小型、低価格の機器の開発に注力していく考えである。

## 参考文献

- 1) M.Mori, et al.: A Novel High-Conductivity IGBT (HiGT) with a Short Circuit Capability, Proceedings of ISPSD, pp.429-432(1998)
- 2) 宮崎, 外: IGBT駆動用ソフトスイッチングゲート駆動回路の検討, 電気学会産業応用部門全国大会, 289~292(1995)
- 3) K.Nakatsu, et al.: A Super Compact Inverter with a New Concept Power Module, PCIM JAP, pp.87-92(1998)

## 執筆者紹介



### 森 睦宏

1979年日立製作所入社, 日立研究所 情報制御第四研究部所属  
現在, パワーデバイスと制御技術の研究開発に従事  
電気学会会員, IEEE会員  
E-mail: mmori@ gm. hrl. hitachi. co. jp



### 長洲正浩

1992年日立製作所入社, 日立研究所 情報制御第二研究部所属  
現在, パワーデバイスの制御技術の研究開発に従事  
電気学会会員, 応用物理学会会員, 画像情報メディア学会会員  
E-mail: naga@ gm. hrl. hitachi. co. jp



### 小林秀男

1976年日立製作所入社, 日立研究所 情報制御第四研究部所属  
現在, パワーデバイスの研究開発に従事  
電子情報通信学会会員  
E-mail: hkobaya@ hrl. hitachi. co. jp



### 中津欣也

1994年日立製作所入社, 日立研究所 情報制御第一研究部所属  
現在, 汎用インバータ, パワーモジュールの研究開発に従事  
電気学会会員  
E-mail: nakatsu@ hrl. hitachi. co. jp