

# 新パワーデバイスと新制御で進化する パワーエレクトロニクス

Evolution of Power Electronics by New Power Devices and Control

細田 博美

HOSODA Hiromi

金井 丈雄

KANAI Takeo

小玉 純康

KODAMA Sumiyasu

電力用パワーデバイスの進歩とともに、パワーエレクトロニクス製品は大きく発展してきた。最近では高圧・大容量で高速スイッチングできる IEGT (Injection Enhanced Gate Transistor) 素子の登場によって、損失を従来装置の 1/2 以下に低減した製品が完成し稼働に入った。大容量機であり、省エネルギーの絶対効果が大きい。一方、制御面では、高調波の少ない PWM (パルス幅変調) コンバータや、より効率よくデバイスを使用できる制御などが開発されている。装置の持っている情報をプラント全体として遠方監視、管理することができるようになり、保守やメンテナンスにも生かすことが可能になってきた。

The field of power electronics has made great progress thanks to the development of power devices. The recently developed injection enhanced gate transistor (IEGT) has been applied to large inverters and self-commutated static var compensators, and has decreased power loss to less than 50%. New control methods have also been developed that minimize harmonics and obtain maximum power from power devices.

Recent advances in information technology have improved the management and maintenance of power electronics equipment. Plant-wide central monitoring systems are now beginning to be used, and are reducing maintenance costs.

## 1 まえがき

大容量の変換装置では、GTO (Gate Turn-Off thyristor) を用いた大容量電動機駆動用インバータや自励式静止型無効電力補償装置 SVCS<sup>TM</sup> が使われていた。これは力率 = 1 が可能であり、電源に優しい変換器だが、効率面ではやや見劣りしていた。最近、次世代の高圧・大容量パワーデバイスとして開発を進めてきた IEGT が完成し、これを使用することで、これまでの GTO の課題を克服した装置が実用化段階となった。

この IEGT は、IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) と同様に電圧信号で大電力をオン/オフできるので、使いやすく、しかも耐圧が高いことから高圧・大容量変換器に適している。スイッチング速度も速いことからスイッチング損失が少ないので、装置の効率が良く、更にはパワーデバイスの外部周辺部品が少なくて済むことからコンパクト化も可能である。

IEGT 応用装置は、いくつかのプラントで既に稼働に入り、効率改善や性能改善の効果のほか、電源システムの安定化にも威力を発揮している。

## 2 IEGT 応用例(1) IEGT インバータ装置

### 2.1 大容量電動機の変速ドライブ装置の推移

鉄鋼圧延主機駆動には、長く直流電動機が使用されてきた。1980年代になって、ベクトル制御が完成すると、交流電動機を直流電動機と同様に自由自在に変速制御できるようになり、サイクロコンバータ(変換器)との組合せで、鉄鋼圧延主機駆動の交流可変速化が進んだ。90年代に入ると、電源品質が目立つようになり、サイクロコンバータの電源力率の低さを解決する装置として、GTO インバータ装置が目撃されたが、スナバ回生回路が必要なことや、効率が低いという問題を抱えていた。

近年では、鉄鋼圧延の最終製品の高級化、圧延コスト低減などを目的として、いろいろな圧延プロセスが行われるようになってきた。このために、スラブの大型化や高速圧延化、更に急加減速のニーズがあり、これを実現するために従来比 20% から 50% もの電動機容量のアップが要求されることが多くなっている。一方では、従来装置と同等の据付面積・電源設備が求められる。IEGT インバータ装置の構成を図 1 に示す。

### 2.2 IEGT インバータ装置の特長

IEGT インバータ装置は次のような特長がある。

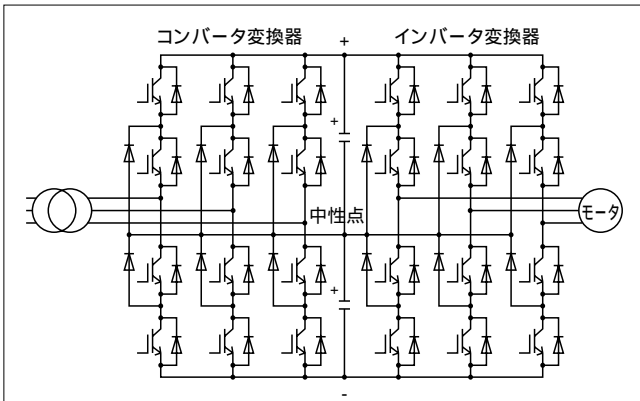


図1 . IEGT インバータ装置の主回路構成 - 3レベル方式によって高圧・大容量化している。

Main circuit of IEGT converter/inverter

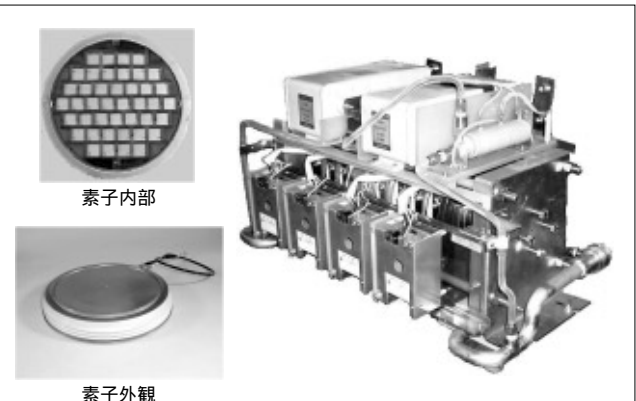


図2 . IEGT 素子と IEGT スタック(1相) - スタックは1相分の回路をコンパクトにまとめている。

IEGT device and IEGT stack (one leg)

- (1) 変換効率が良い スイッチング速度が速いのでスイッチング損失が少なく、変換器の効率が98.5%程度で、従来のGTOインバータ装置の96%程度と比較して、年間170万kWhもの大幅な省エネルギー効果がある(電動機容量10,000kW,稼働時間6,800h/年の場合)。
- (2) 無効電力量制御 コンバータ変換器は、電源の有効電力と無効電力を別々に制御ができる。これにより、有効電力でDC(直流)母線の電圧を制御しながら、これとは独立して無効電力を制御する。コンバータ変換器は、力率=1に制御するだけでなく、遅れ力率や進み力率で運転することもできるので、系統の電圧調整の機能も持たせることができる。
- (3) 据付面積1/2以下(当社比) IEGT変換器は水冷方式を採用しており、コンパクトで電気室の計画がしやすい。既設更新の場合はもちろん、新設でも盤の大きさは重要なファクターで、水冷の場合には発熱を電気室に放出しないので、電気室の冷房コストも減らせるメリットもある。
- (4) メンテナンスが容易 IEGT変換器はユニット化されており、メンテナンスが容易である。水冷ユニットはカバーを使用しているため、簡単にユニットの交換ができる(図2)。
- (5) 大容量化 IEGTインバータ装置は、図1の基本構成を複数使用することで大容量化が可能で、4バンク化によって、超大容量の製造実績もある(図3)。



図3 . 大容量 IEGT インバータ装置 - 4バンク構成で、大容量鉄鋼圧延主機駆動にも適用した。

Large-capacity IEGT inverter (4 banks)

### 3 IEGT 応用例(2) 高圧変換装置

#### 3.1 自励式 SVCS<sub>TM</sub>

鉄鋼のアーカ炉などで発生するフリッカを抑制するため、自励式変換器により無効電力の変動を抑制する装置が自励

式 SVCS<sub>TM</sub> である。アーカ炉により発生する無効電流の変動を打ち消す電流を自励式 SVCS<sub>TM</sub> から供給する。これまで自励式 SVCS<sub>TM</sub> にはパワーデバイスとして GTO を使用してきた。今回、IEGT を採用し低損失・小型化を図った 21MVA の自励式 SVCS<sub>TM</sub> を製品化した。

自励式 SVCS<sub>TM</sub> の主回路構成を図4に示す。IEGT の単相ブリッジで1相を構成し、これを3台で3相を構成したものを高調波低減のため変圧器により4段直列多重としている。

単相ブリッジを構成する IEGT 4個とスナバ回路、ゲート回路などをユニットに構成したものが IEGT モジュールである。表1は、IEGT モジュールと GTO モジュールの比較である。モジュールの体積で1/3に小型化した。

効率面では、損失を1/2以下にすることができた。これらは IEGT が電圧駆動であることによるゲート回路の小型化、dv/dt・di/dt耐量が高いことによるスナバ回路の簡素化、アノードリアクトルの削除によるものである。

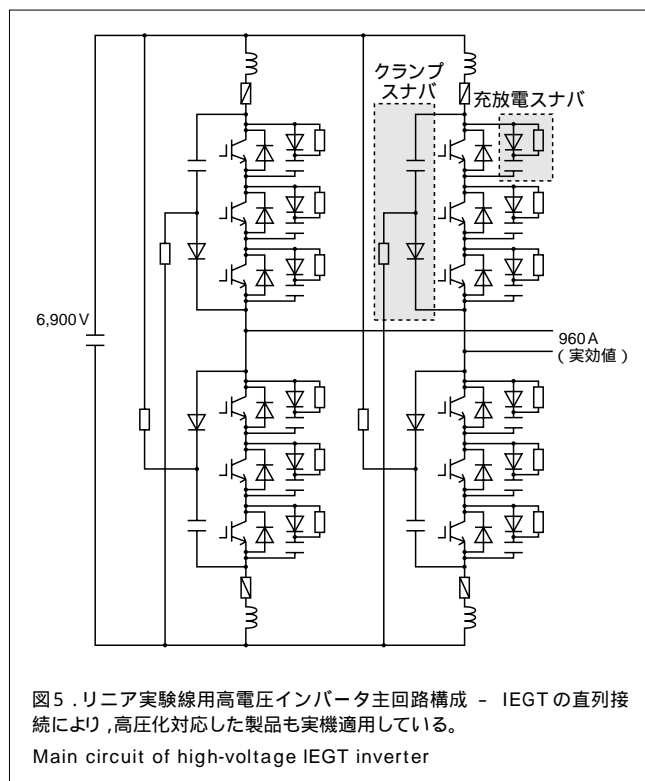
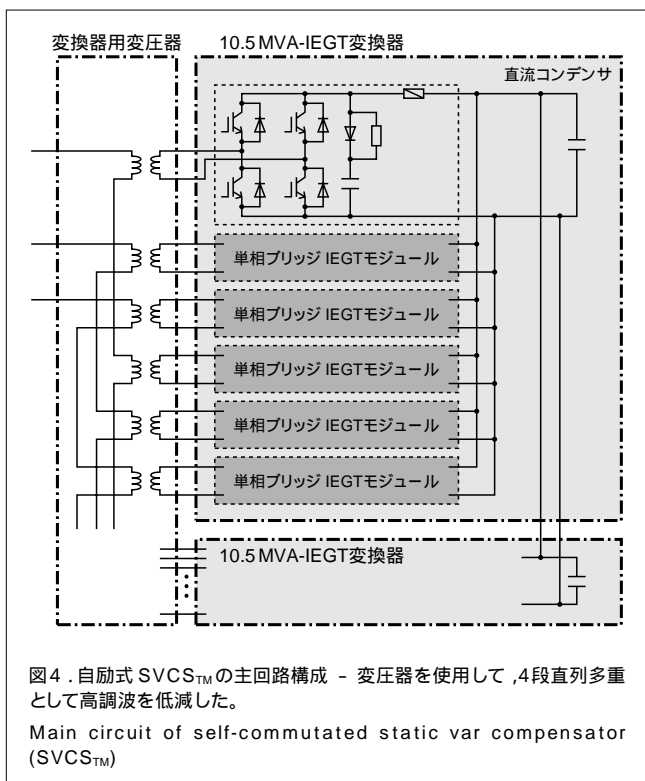


表1 . IEGT モジュールと GTO モジュールの外形比較  
Comparison of IEGT module and GTO module

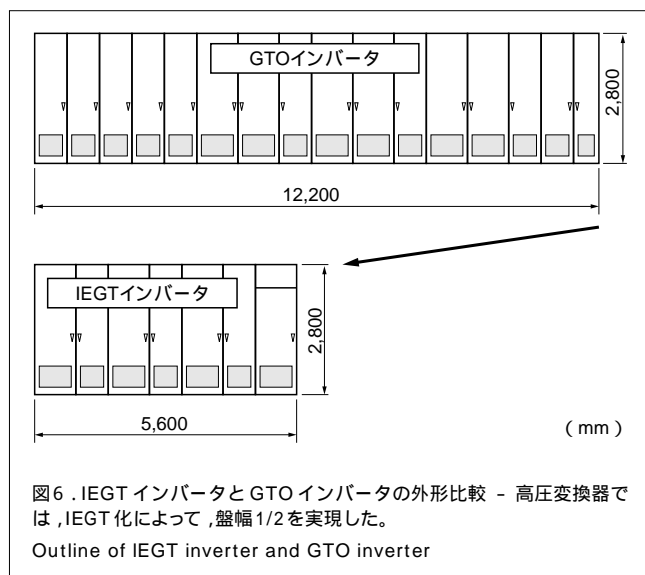
	IEGT モジュール	GTO モジュール
容量 (kVA)	1,750	1,500
容積 (m <sup>3</sup> )	0.156	0.470
容積低減率 (%)	33	100

### 3.2 IEGT の高電圧変換器への適用

より高電圧・大容量の分野への適用として ,IEGT を直列接続して構成した IEGT 変換器も製品化している。山梨リニア実験線の GTO インバータの一部を IEGT インバータに置き換えたもので ,このインバータは ,直流電圧 6,900 V に対して IEGT を 3 直列で 1 アームを構成している。回路構成を図 5 に示す。

この変換器では ,直列素子間の電圧のバランスを確保しながらスナバ回路損失を低減するため ,素子個別の充放電スナバ回路とアーム全体のクランプスナバ回路で構成した。

また ,外形は従来の GTO インバータと比較して ,1/2 を実現している (図 6)。損失では GTO 変換器比 1/3 を達成した。



は ,コンバータ変換器(電源側)も PWM 制御を行っている。従来の三角波比較による PWM 制御では ,変調率の変化により高調波成分が変化するので高調波は最小にならない。このため ,あらかじめ求めた最適な PWM パターンを固定して用いる (固定パルスパターン制御) ことにより ,より高調波の少ない電源波形を負荷の大小にかかわらず得られ ,電源ひずみを半減できる。また ,コンバータ変換器の電流制御はコンバータ変換器の電圧位相を変化させることで行っている。この方式を用いると高調波が半減できるので ,高圧又は

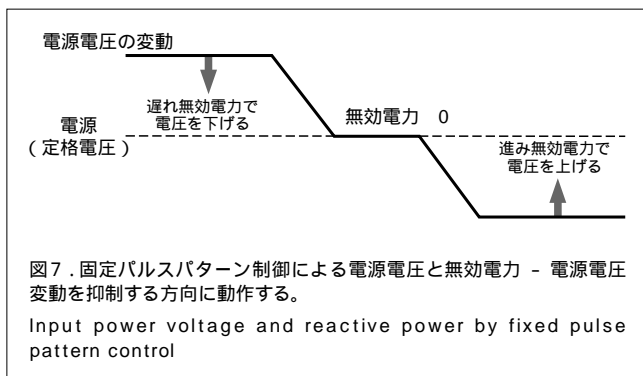
## 4 最新の制御の導入

### 4.1 固定パルスパターン制御(コンバータ制御)

前述のように電動機の変速用 IEGT インバータ装置で

特別高圧で受電する需要家の高調波抑制対策ガイドライン” (経済産業省)やIEEE(米国電気電子技術者協会)519などの高調波規定を高調波フィルタなしで満たすことができる。

固定パルスパターンのもう一つの特長は、力率制御機能を持っていることである。固定パルスパターンのコンバータ制御で、電源電圧が低下すると、進みの無効電力を発生し電源電圧を上昇させ、電源電圧が上昇したときは、逆に遅れの無効電力を発生し電源電圧を低下させる。このように固定パルスパターンでは、同期電動機による力率改善と同様な系統電圧安定化効果が得られるので、電源系統が弱い場合でも有利である。図7は、電源電圧変動により無効電力がどう変化するかを示した図である。



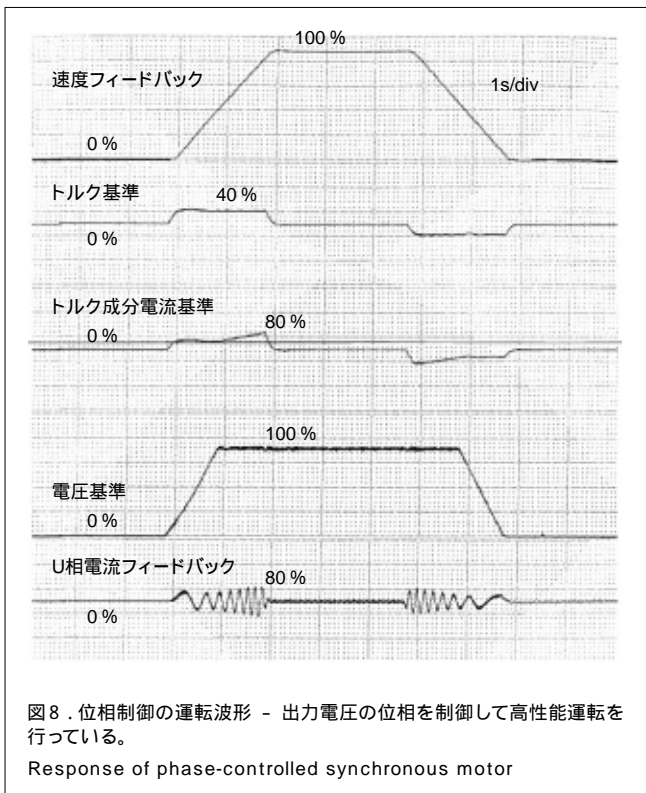
#### 4.2 同期電動機の位相制御による、制御の安定化と出力電圧アップ

同期電動機のベクトル制御が確立され、性能面だけでなく電源面でも直流電動機ドライブ装置以上の装置が完成し、本格的に鉄鋼圧延主機ドライブ装置にインバータ装置が使われるようになったが、更に改善した位相制御方式を取り入れ、装置の容量を有効に引き出す(コンパクト化)ことができるようになった。

- (1) 2軸制御(従来方式) 鉄鋼圧延主機用サイクロコンバータを中心に多数の実績がある従来の方式である。同期電動機のベクトル制御では、基本的には界磁弱め速度域での電動機端子電圧が一定となるように制御されるが、電流制御の制御余裕電圧分を考慮して、電動機定格電圧に対して変換器の最大出力電圧を高め、設計する必要があることから、変換器としての電圧利用率が低下し、大きな装置となっていた。
- (2) 位相制御(改良方式) 位相制御方式では、電圧を変化させるときには電圧位相を変える。誘起電圧と差が生じた分だけ電機子漏れインダクタンスに電圧が印加されることになり、その直交方向に電流は増加していき、最終的に有効電流が指令値に追従する。過渡的には無効電流が発生するが、界磁電流を変化させることにより、

変換器出力電圧と電流が同相になるようにする。つまり、速い応答が要求される有効電流の制御は、出力電圧の位相変化のみにより行い、遅い応答で十分な無効電流の制御は、界磁電流の調整により行う。また、有効・無効電流の基準となる座標軸を変換器出力電圧とすることで、同期電動機のパラメータ誤差の影響を受けにくくしている。

この制御により、変換器出力電圧は大きなフォージング分は必要ないので、変換器が約15%コンパクトにできた。運転データ例を図8に示す。ほとんど電圧を変えずに、電動機の電流を制御していることがわかる。



## 5 ドライブ装置の遠方監視,管理

図9は、保守システムの構成図で、ドライブ装置の調整、保守、故障解析に役だてる。このパソコンを使用してのツール(Witool)は装置に1:1で接続するほか、PLC(Programmable Logic Controller)との制御LAN経由で工場全体の保守・監視をしたり、ドライブLANによる1:nの接続など、いろいろな接続を準備している。ツールは、ドライブ装置のデータを高分解能で表示、保存する機能を装備し、パソコンだけで現地調整が行える。従来は、各工場単位に保全グループを配置するのが一般的であったが、省力化の流れのなかで、大きな事業所では、複数の工場を統括して保守すること

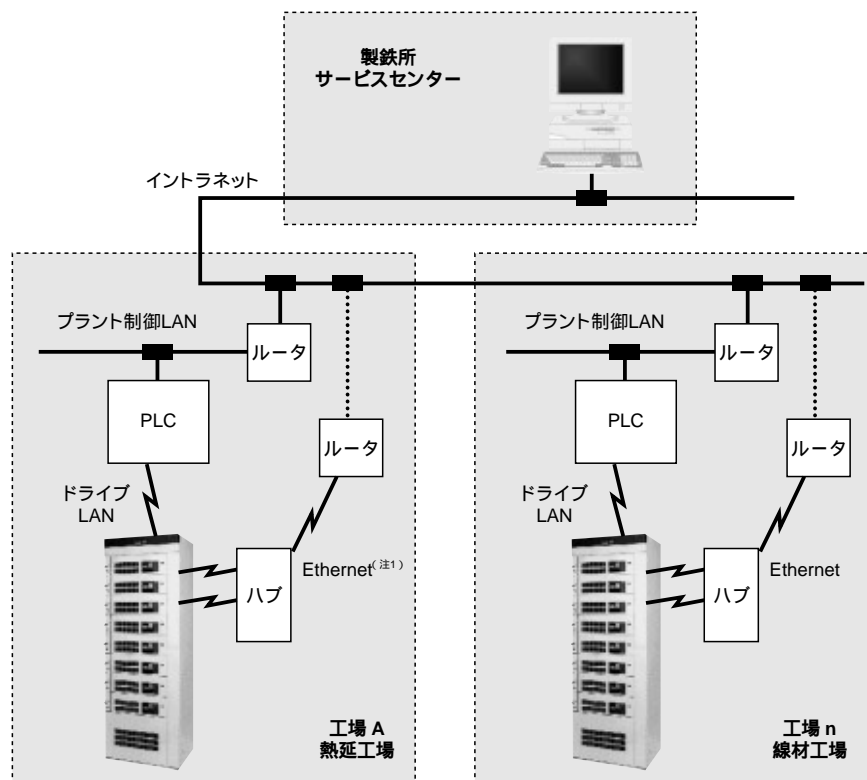


図9 . イントラネットによる遠方監視・メンテナンス - ドライブ装置を遠方監視したり, 保守することも可能となった。  
Configuration of maintenance system using intranet

が行われている。そのような場合には、各工場にある装置をイントラネット経由で接続し、装置の運転情報や故障情報がリアルタイムで把握できるので、交換部品のサーチが容易になり、迅速な復旧が可能となる。これらの情報を加工することで、予備品の在庫管理・発注などや、予防保全などにも拡張が可能となる。

この保守システムをルータを介して外部と接続すれば、リモートメンテナンスにも対応できる。実際の運用では、セキュリティなどの課題があるが、この保守システムの採用により、ドライブ装置のリアルタイムデータ収集から、高度のメンテナンスサービスも可能になる。

## 6 あとがき

パワーエレクトロニクス製品は、パワーデバイスや制御技術の進歩により、効率改善や性能アップが図られ今日に至った。これからもIT(情報技術)など最新技術を取り入れて、パワーエレクトロニクス製品の機能向上を図っていく。

(注1) Ethernet / イーサネットは、日本における富士ゼロックス(株)の商標。

## 文献

- (1) Ichikawa, K., et al. "New Advanced High Voltage Inverters employing IEGT's". IPEC-TOKYO 2000.
- (2) 市川耕作,ほか. IEGTを適用した産業用大容量インバータ. 東芝レビュー. 55, 7, 2000, p.23 - 26.
- (3) 北川光彦,ほか. IEGTとその実用化. OHM. 84, 4, 1997, p.32 - 36.
- (4) Tobita, M., et al. "Development of New High Power Converter using IEGT". IPEC-TOKYO 2000.
- (5) 色川彰一,ほか. 電力系統への適用拡大に向けた IEGT 変換器の大容量化技術. 東芝レビュー. 55, 7, 2000, p.15 - 18.



細田 博美 HOSODA Hiromi

社会インフラシステム社 府中社会インフラシステム工場 ドライブシステム部主幹。ドライブ装置の設計・開発に従事。電気学会, IEEE, AISE 会員。  
Fuchu Operations - Social Infrastructure Systems



金井 丈雄 KANAI Takeo

社会インフラシステム社 府中社会インフラシステム工場 パワーエレクトロニクス部主査。自動変換器の設計・開発に従事。電気学会会員。  
Fuchu Operations - Social Infrastructure Systems



小玉 純康 KODAMA Sumiyasu

東芝GEオートメーションシステムズ(株) 重工システム部主幹。鉄鋼圧延システムのシステムエンジニアリングに従事。電気学会, AISE 会員。  
Toshiba GE Automation Systems Corp.