

# 高性能産業用 AC ドライブシリーズ

High-Performance AC Variable-Speed Drive Series

小玉 純康  
S. Kodama

細田 博美  
H. Hosoda

宮崎 聖  
S. Miyazaki

ここ数年間の鉄鋼をはじめとする産業への AC 可変速ドライブの適用の普及は目覚ましいものがある。補機ドライブ用に使いやすい IGBT (絶縁ゲートバイポーラトランジスタ) インバータの容量が拡大したことと、主機ドライブ用サイクロコンバータの実績の積み上げがその普及の背景にある。さらに 3レベル GTO (Gate Turn-Off thyristor) インバータも適用容量が拡大してきた。これら産業用高性能 AC ドライブを TOSCYCLO- $\mu$ /SW, TOSVERT<sub>TM</sub>- $\mu$ /S, - $\mu$ /SW としてシリーズ化した。

In recent years there has been a dramatic increase in the use of AC variable-speed drives for industrial applications. One of the reasons for this trend has been the accumulation of proven know-how gained from the application of cycloconverters to rolling mill main drives and of IGBT inverters to auxiliary drives. In addition, the recent evolution of 3-level GTO inverter technology has expanded the operating range of GTO-based products.

Toshiba's TOSCYCLO and TOSVERT<sub>TM</sub>- $\mu$ /S AC variable-speed drive series have been extensively applied to steel and nonferrous plants. Following the widespread success of these drive systems, Toshiba has released new, enhanced versions called the  $\mu$ /SW series.

## 1 まえがき

最近の鉄鋼プラントでは全 AC ドライブシステムの適用が進み、新設プラントでは直流ドライブ装置の適用は非常に少なくなった。これは、半導体素子技術とデジタル制御技術の発展により、数 kW の小型のインバータから数十 MW の大型のサイクロコンバータまで全範囲に、使いやすく高性能の AC ドライブシステムが完成したことによる。

当社ではさらに AC ドライブシリーズをいっそう充実させ、たとえば IGBT インバータでは沸騰冷却フィンを使った装置のコンパクト化と容量アップ、独自開発のパワーエレクトロニクス専用マイコンの採用による信頼性の向上と制御の高速化などを行った。

また、ユーザのオープン化に対する強いニーズに対応して、デファクトスタンダード対応を強化しており、他社の主幹コントローラとシリアル伝送で接続も可能とし、Windows95<sup>®</sup>(注1)対応のサポートツールの開発も行った。

## 2 ドライブ装置シリーズと適用

図 1 に産業用高性能 AC ドライブシリーズの容量と出力電圧範囲を示す。これらは、小容量の補機ドライブ用 IGBT インバータから、大容量の主機ドライブ用のサイクロコンバータまでカバーする高性能 VVVF (Variable Voltage Variable Frequency) 装置である。

(注1) Windows95 は、Microsoft 社の商標。

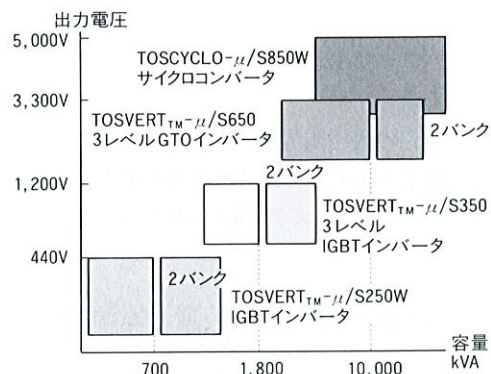


図 1. 産業用 AC ドライブシリーズの容量と出力電圧 小容量の補機ドライブから大容量の主機ドライブまで適用可能な高性能 AC ドライブシリーズが完成している。

Capacity and voltage of AC variable-speed drive series

図 2 に熱間圧延設備のドライブ適用例を示す。

TOSVERT<sub>TM</sub>- $\mu$ /S250W は 440 V 級 PWM (Pulse Width Modulation) ベクトル制御 IGBT インバータである。IGBT インバータは電動圧下装置や、センサレスベクトル制御を使ったテーブルロール駆動など、500 kW 程度までの補機ドライブに多数使われる。

サイクロコンバータ TOSCYCLO- $\mu$ /S850W は主機電動機駆動に適用される。サイクロコンバータは、AC 出力を直接 AC 電源から得ることができるサイリスタ他励変換器のため 99% 以上の高い変換効率を得られる。光トリガサイリスタ (LTT) を使用した場合、72 アーム 1 パラレル構成で容量

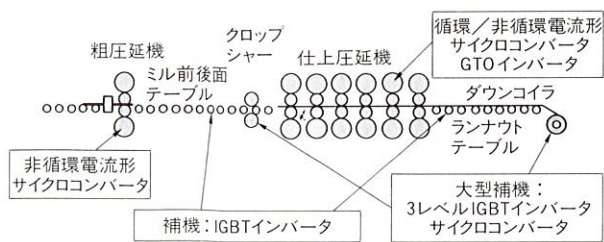


図2. 熱間圧延設備と適用ドライブ 電動機の容量, 回転数などにより, 最適なドライブ装置が適用される。

Hot strip mill and AC drive system

10,000 kW を超える最大級の圧延主機にも適用できる。また, 従来の電気トリガサイリスタ (ETT) 使用のものはスタックおよび盤構造を見直しさらにコンパクト化を図った。

3レベル IGBT インバータ TOSVERT<sub>TM</sub>-μ/S350 は2バンクで3,600 kVA-1,200 V の出力が得られるので, 大型補機ドライブだけでなく中容量の圧延機までに適用できる。

TOSVERT<sub>TM</sub>-μ/S650 は3レベル GTO インバータである。最大のもは6 kV-6 kA の素子を使い1バンクで10,000 kVA の出力が得られる。3レベル GTO インバータは容量的にはサイクロコンバータと重複するが, プラントのニーズに合わせ機種を選択が可能となった。

### 3 IGBT インバータ TOSVERT<sub>TM</sub>-μ/S250W

鉄鋼設備の全 AC 化は高性能に加えてコンパクトで使いやすい電圧型 IGBT PWM インバータの出現によるところが大きい。TOSVERT<sub>TM</sub>-μ/S250W は大容量 IGBT (1,200 V-600 A) を複数並列接続することで, インバータ容量を単機で700 kVA, 2バンク接続で1,400 kVA まで容量拡大して, 大型補機ドライブまで適用可能とした。外形も直流レオナードよりコンパクト化でき (当社比で1/3以下), 特に小容量では多段積みユニットにより設置スペースの削減に寄与している。図3にラインアップを示す。

125 kVA 以下は多段積み方式で, それを越えると自立盤方式となる。多段積みは最大8台のインバータを収納できる。インバータ電源は共通直流電源から盤内の DC 共通母線を通して供給される。

IGBT インバータのコンパクト化には, 図4に示す沸騰冷却方式冷却フィンを開発して適用した<sup>(2)</sup>。従来のフィンでは取付け位置によって IGBT の温度が異なっていたが, 沸騰冷却方式の採用で, 温度ばらつきを低減し容量を15%改善できた。冷却ファンは取り付けを変更し保守性を向上し, 小容量では冷却ファンを使わないものも設けている。

制御面では演算周期の高速化を図り, 速度検出器はレゾルバとパルス発信器を対応可能とした。センサレスベクトル制御の機能をアップし, 負荷アンバランスのある多数台

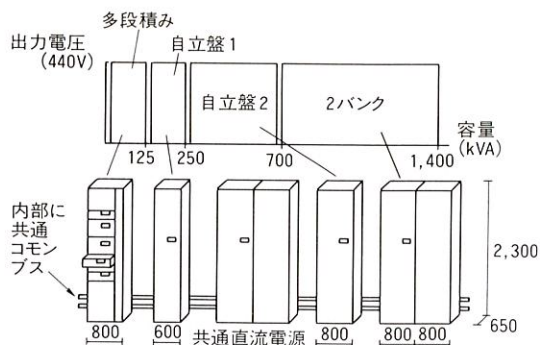


図3. IGBT インバータの容量と盤サイズ インバータは, 小容量は多段積み, 大容量は自立盤で最大容量1,400 kVA である。

Capacity and cubicle dimensions of IGBT inverter

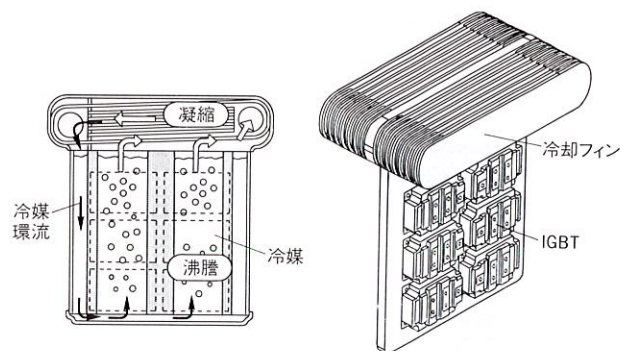


図4. 沸騰冷却方式冷却フィン 沸騰冷却方式の採用で IGBT 素子の温度ばらつきが低減される。

High-efficiency power device cooling system

電動機の並列駆動の制御特性を向上し, 圧延機のテーブル駆動などへの適用範囲を広げた。故障時の解析に有効なトレースバック機能も拡張している。

直流電源は, サイリスタコンバータとダイオードコンバータに加えて, IGBT PWM コンバータも合わせて製品化した。IGBT PWM コンバータは力率1の電源高調波の少ない電源である。

### 4 サイクロコンバータ TOSCYCLO-μ/S850W

サイクロコンバータは1,500 kVA 以上の圧延主機用ドライブとして広く使われている。当社では循環/非循環電流サイクロコンバータと同期電動機/誘導電動機を用途ごとに最適な組み合わせを行って, 熱間粗圧延機のような低速圧延機からタンデムコールドミルのような高速圧延機まで幅広く対応している。主機 AC ドライブにより従来は複数の直流電動機をタンデムに接続していた大容量高速回転の圧延機も, 交流電動機では1台で実現できるので軸ねじり振動周波数が上がり, より速い速度応答が可能となった。

サイクロコンバータ TOSCYCLO-μ/S850W は従来のサ

イリスタ盤を改良し、メンテナンス性の向上と容量アップを図ったスタック構造を採用している。また同時に盤サイズのコンパクト化も達成している。

6 kV-2.5 kA のLTTを使用したサイクロコンバータは72アーム構成で20,000 kVAの出力を得ることができ、最大級の圧延機に適用される。大容量高耐圧素子を使用したため、出力電圧は5 kVでサイリスタヒューズレス化も可能である。

サイクロコンバータの力率は同期電動機の採用、中性点バイアス方式や72アームサイクロコンバータの非対称制御で改善されている。さらに当社の特長として、サイクロコンバータによる無効電力一定制御があげられる。これは循環電流サイクロコンバータの循環電流制御により無効電力を一定に制御するもので、系統に無効電力補償装置(SVC)を必要とせず系統電圧変動を低減できる(図5)。

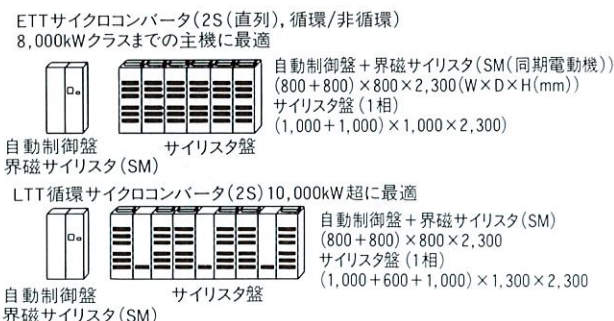


図5. サイクロコンバータの盤外形 スタック構造の見直しで容量アップと盤寸法の小型化が達成できている。

Cubicle dimensions of cycloconverter

## 5 3レベルGTOインバータ TOSVERT<sub>TM</sub>-μ/S650

3レベル回路は、図6に示すように、GTOの制御により3レベルの電圧が出力できる。通常の2レベルPWMインバータと比べて、少ないスイッチング回数でより正弦波状の電圧が出せるので、GTOに適した主回路である。

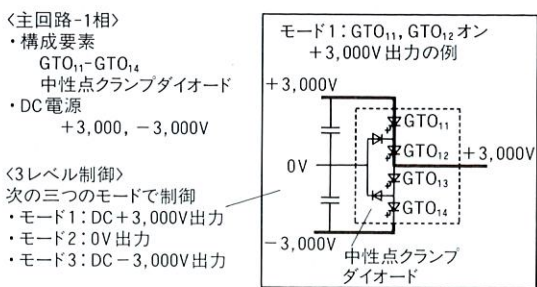


図6. 3レベルGTOインバータの主回路構成(1相分) 1相分の主回路は4個直列接続されたGTOで構成され、正、負、ゼロの3レベルの出力電圧が得られる。

Main circuit of 3-level GTO inverter (1 phase)

これまで、形鋼、条鋼用などの中規模の圧延機に対して実績があったが、今回、6 kV-6 kAのGTO素子を用いた10,000 kVAの大容量モデルを追加し、適用範囲を広げた。

図7は古河電工(株)福井事業所に納入した熟間仕上圧延機用5,000 kWのGTOドライブである。装置はコンバータ、インバータとも6 kV-6 kAの素子を使用した3レベルGTO変換器である。コンバータ部は電源高調波の発生が少なく、さらに進相電力発生装置の機能を合わせもっている。

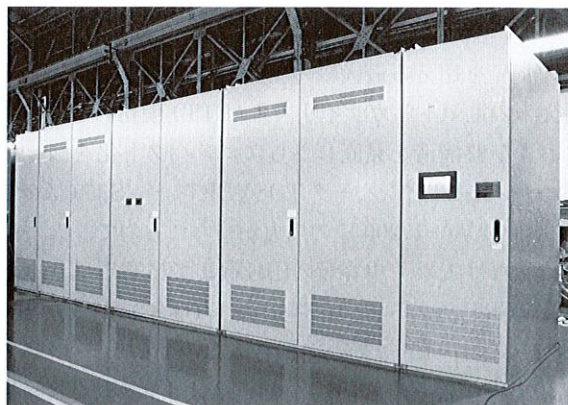


図7. 3レベルGTOインバータ 10,000 kVAクラスのGTOインバータを7.6 m幅にコンパクトにまとめている。GTOコンバータ(左)とGTOインバータ(右)の間にコンデンサ収納盤がある左右対称の構成である。

3-level GTO inverter (10,000 kVA class)

## 6 3レベルIGBTインバータ TOSVERT<sub>TM</sub>-μ/S350

TOSVERT<sub>TM</sub>-μ/S350は3レベルIGBTインバータである。動作原理は3レベルGTOインバータと同じであるが、ゲート回路は電圧駆動のためシンプルである。1,700 V耐圧のIGBTを使用し1バンクで1,800 kVA-1,200 Vの出力を得ることができる。IGBTはGTOに比べスイッチング損失が少なく高い周波数でPWM制御を行っている。沸騰冷却方式の風冷IGBTユニットを採用し、1,800 kVAで1,600 mm幅と非常にコンパクトかつ保守が容易に設計されている。

## 7 パワーエレクトロニクス専用プロセッサ PP7

新しいシリーズでは、パワーエレクトロニクス制御用として開発した32ビットプロセッサPP7を用いた。PP7はインバータなどのパワーエレクトロニクス制御の高度化、高性能化へ対応するため開発された。ベクトル演算命令やリミット機能付き演算など汎(はん)用プロセッサにない機能とパワーエレクトロニクス制御に必要な機能を1チップに収納したコンパクトで信頼性の高いデバイスである。PP7により電流制御演算を10 μs周期で実行できる(図8)。

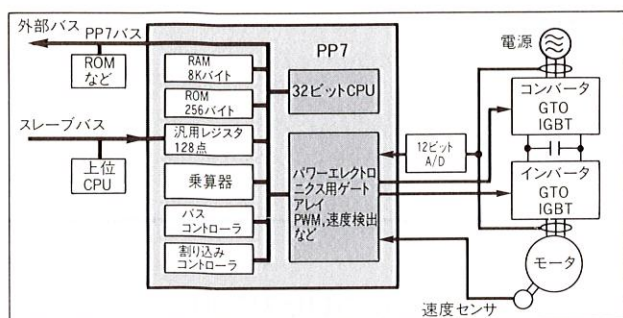


図8. パワーエレクトロニクス専用プロセッサPP7の構成 ベクトル演算などの演算命令、128点の汎用レジスタおよびパワーエレクトロニクス用ゲートアレイを内蔵している。

Configuration of PP7 microprocessor designed for power electronics applications

## 8 オープン化

最近ドライブ装置に関しても伝送のオープン化の要望が多くなってきている。これにこたえるべく  $\mu$ /SW シリーズでは当社の光伝送インタフェース TOSLINE<sub>TM</sub>-S20に加え、図9のようにフレキシブルな対応を行えるようにした。

サイクロコンバータの制御はVME<sup>(注2)</sup>基板を使用している。PROFIBUS (DIN 19245) などの欧米で一般化している伝送は基板をスロットに組み込み対応している。

IGBTインバータの場合はオプション基板を使用して、PROFIBUS、DeviceNet<sup>(注3)</sup>の伝送に対応している。さらにTOSLINE<sub>TM</sub>-S20で他社PLC (Programmable Logic Controller) と接続することも可能である。

## 9 ドライブ装置調整ツール

$\mu$ /S、 $\mu$ /SW シリーズでは、どの機種も共通のツールで調整可能である。Windows 95 対応でツールの操作性を改善し、専門知識なしに、十分使いこなせる。

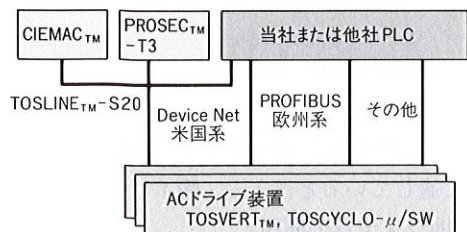


図9. ドライブ装置と上位PLCとのインタフェース TOSLINE<sub>TM</sub>-S20 などによりフレキシブルな対応が行える。

Interface between AC drive and PLC

(注2) VMEbusは、モトローラ社の登録商標。

(注3) DeviceNetは、The Open Device Net Vender Associationの商標。

主な機能は、データの調整・監視、ブロック図表示、トレースバックなどであるが、TOSLINE<sub>TM</sub>-S20を用いた1:Nメンテナンスやリモートメンテナンスも行える(図10)。

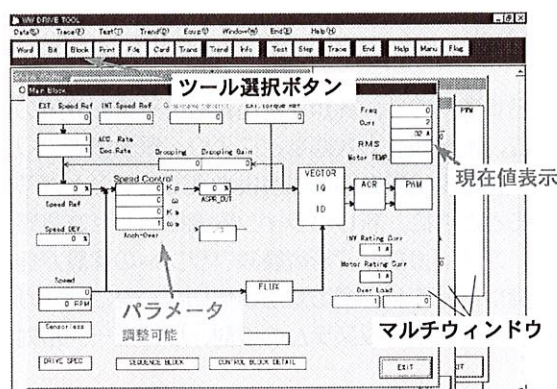


図10. ドライブ装置調整ツールによるブロック図表示 ブロック図表示などにより調整がより容易になった。

Example of PC-based drive equipment maintenance tool display

## 10 あとがき

最新の産業用ACドライブシリーズを紹介した。 $\mu$ /S、 $\mu$ /SW シリーズの中から最適な機種を選択しニーズにあった最適なシステムの構築が行える。

今後IGBT素子の2.5kVさらには3.3kVへの高耐圧化を受けIGBTインバータの適用範囲はさらに大きくなる。また、GTOに代る電圧駆動型素子も開発されてドライブの選択の幅はさらに広がるであろう。

## 文献

- 電気学会金属産業技術委員会：金属産業分野におけるACドライブ技術、(1997)
- 鈴木昌彦、他：自動車用積層コアを用いた小型沸騰冷却器、第34回日本伝熱シンポジウム、J, pp.261-264 (1997)



小玉 純康 Sumiyasu Kodama

電機システム事業部 重工システム技術部主査。熱間圧延機のシステムエンジニアリング業務に従事。電気学会会員。

Industrial Automation Systems Div.



細田 博美 Hiromi Hosoda

府中工場 ドライブシステム部主査。産業用ACドライブ装置の開発に従事。電気学会会員。

Fuchu Works



宮崎 聖 Satoshi Miyazaki

府中工場ドライブシステム部主査。産業用ACドライブ装置の開発に従事。電気学会会員。

Fuchu Works