

# 高性能, 多機能, 及び安全を実現した産業用インバータ

TOSVERT™ VF-S15 Inverter for Industrial Use with High Performance, Multifunctionality, and Safety

細川 雅則

計良 尚志

有馬 裕樹

■ HOSOKAWA Masanori

■ KERA Takashi

■ ARIMA Hiroki

地球温暖化対策のため、二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) 排出量の削減と省エネを目的としてモータ可変速用インバータが幅広く適用されている。近年、高効率モータの世界的な法制化と合わせ、駆動するインバータにもいっそうの効率化が求められてきている。更に、システムの簡易化と低コスト化のため、ノイズフィルタや、産業用ネットワーク、インバータ外部で行っていたシーケンス作成機能など周辺機能のインバータ内蔵化と、インバータの高性能化及び汎用化の要求は高まっている。

そこで東芝は、高性能の多機能・小形インバータ TOSVERT™ VF-S15 を開発した。このシリーズは、パラメータの簡単設定や永久磁石モータ駆動などの機能を搭載して簡易化や省エネに貢献するとともに、機能安全を備えている。

Industrial inverters for variable-speed motor drives are widely used for the purpose of reducing carbon dioxide emissions and saving energy as a countermeasure against global warming. Further enhancement of efficiency in such drives has become increasingly important due to the enactment of legislation mandating high-efficiency motors in various countries around the world in recent years. In order to realize simplified and low-cost systems, there is a need for high-performance multifunctional inverters equipped with a noise filter, industrial network connectivity, functions such as sequence generation, and other features.

To meet these requirements, Toshiba has developed the TOSVERT™ VF-S15 high-performance, multifunctional, and compact inverter for industrial use. The VF-S15 offers a function for simplified programming of parameters, the capability to drive a permanent-magnet motor for energy saving, and functional safety.

## 1 まえがき

省エネを目的としてモータ可変速用インバータの使用が広がっている。またシステムの簡易化と低コスト化のため、インバータの高性能化及び汎用化と、シーケンスの簡易プログラミング機能やパラメータの簡単設定などの周辺機能の内蔵化への要求も高まっている。更に欧州を中心に機能安全の搭載の要求も高い。これら要求に応じて東芝は、高性能の多機能・小形インバータ TOSVERT™ VF-S15 を開発した。

VF-S15は全機種に設定ダイヤルを装備し、設定作業をより簡便なものにしている。期待寿命は10年となる設計をし、メンテナンスフリーの製品を実現した。また、単相200V及び三相400Vクラス機種はEMC (Electromagnetic Compatibility) フィルタを内蔵し、インバータ単体で欧州EMC指令に対応している。VF-S15シリーズの外観を図1に示す。

ここでは、VF-S15の新機能と性能について述べる。

## 2 VF-S15の新機能

VF-S15は、従来機種 (VF-S11) に対してシステムの簡易化と安全性の向上のため、多くの新機能を搭載している。以下に、それらについて一部を述べる。

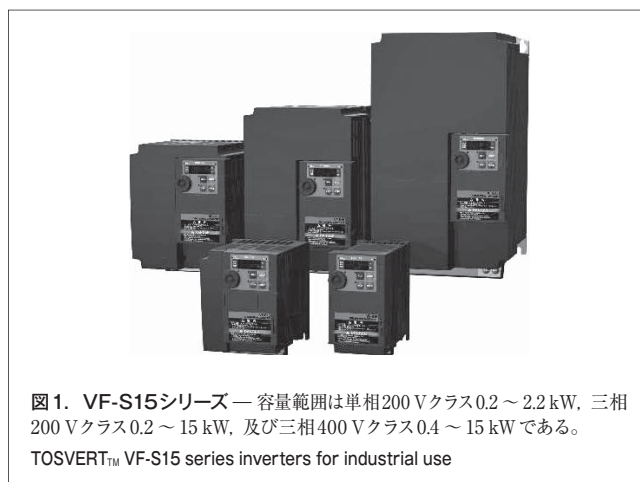


図1. VF-S15シリーズ — 容量範囲は単相200Vクラス0.2～2.2kW, 三相200Vクラス0.2～15kW, 及び三相400Vクラス0.4～15kWである。

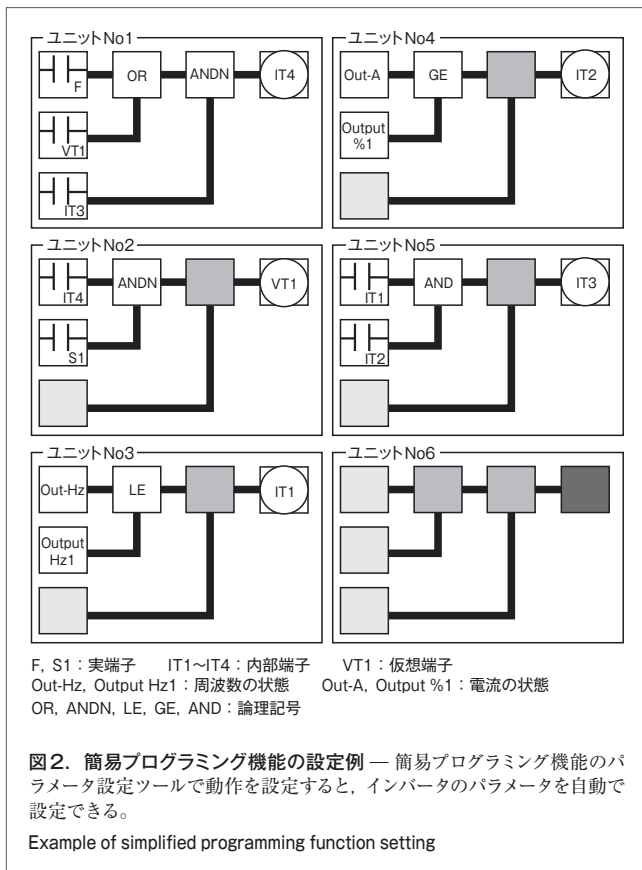
TOSVERT™ VF-S15 series inverters for industrial use

### 2.1 簡易プログラミング機能

従来はインバータ外部にリレー又はPLC (プログラマブルロジックコントローラ) などを使用してユーザーのニーズに応じていた部分を、インバータ内部で実現する機能として、簡易プログラミング機能を搭載した。インバータの入出力信号がプログラム化されるため、システムの高速度応答、省スペース化、及び低コスト化ができる。

簡易プログラミング機能として、次の3種類を装備している。

- (1) デジタル入出力 簡易リレーシーケンス



(2) アナログ入力 アナログ入力によるパラメータ調整  
 (3) アナログ出力 モニタ機能の最大・最小値表示出力  
 この機能を用いた設定の一例を図2に示す。この例では、ユニットNo1でF端子のプッシュ型正転指令により正転運転し、ユニットNo2でS1端子のプッシュ型運転停止により運転停止し、ユニットNo6で運転周波数が5 Hz以下かつ出力電流が120 %以上のとき自動停止を行う。

この例のように、ANDやORのような単純な論理演算だけでなく、少し複雑なシーケンスにも対応できる。

## 2.2 用途別パラメータの簡単設定

現在の汎用インバータは、様々なユーザーのニーズに応えるため機能が豊富になり、それに伴ってパラメータの数が多くなり、操作方法も複雑になっている。そのため、個々のユーザーは、そのほとんどのパラメータを使用することはないにもかかわらず、数多くのパラメータの中から、必要とするパラメータを探し出す煩わしさを感じている。

VF-S15では、その煩わしさを解消するため、モータ簡単駆動、コンベア、搬送機械、昇降機、ファン、ポンプ、及びコンプレッサの七つの用途に分類し、各用途別に使用される頻度の高いパラメータだけを表示させる機能を設けた。

## 2.3 機能安全

VF-S15は設備の想定外の動作を防止するため、STO (Safe Torque Off) 機能を標準搭載した。この機能は機能動作時に

出力トルクを遮断するもので、機械類の安全規格ISO13489-1 (国際標準化機構規格13489-1) カテゴリー 3、機能安全規格IEC/EN 61508 (国際電機標準会議規格/欧州規格61508)、及び電力変換システム製品安全規格IEC/EN 61800-5-2 SIL (Safety Integrity Level) 2に準拠している。このため、機械類又は産業プロセスにおいて、機能安全を備えている電気・電子・プログラマブル電子制御システムの一部としてVF-S15を組み込むことができる。

このように、VF-S15を適用することでシステムの安全性を向上できる。

## 2.4 制御電源バックアップ

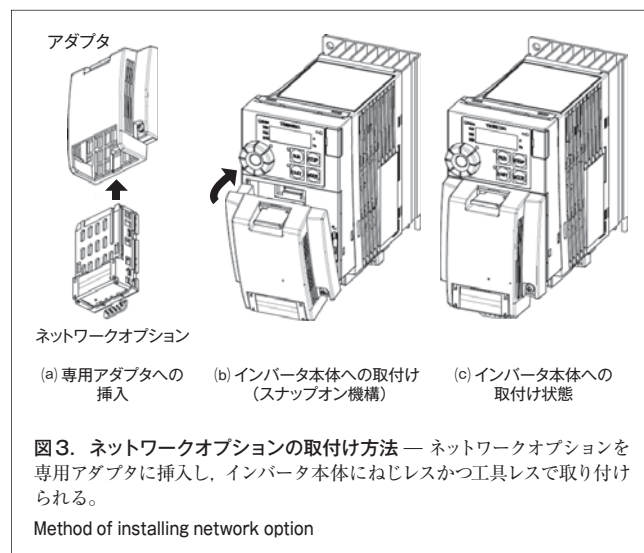
想定外の主電源遮断時にもバックアップ電源によりインバータ制御回路だけ動作を維持できるように、VF-S15は制御電源バックアップ機能を搭載している。

これにより、制御回路は上位システムとの動作を常時継続できるため、システムに異常をきたすことがなくなり、メンテナンス性が向上している。供給用電源電圧をDC (直流) 24 Vとしているので主電源がない場合でも直流安定化電源などからの給電により制御回路が動作できるため、インバータ設置前のパラメータ変更にも利用できる。

## 2.5 産業用ネットワーク対応

VF-S15では様々なシステムへ組み込みできるよう、多種の産業用ネットワークに対応している。

標準装備のMODBUS RTU (Remote Terminal Unit) をはじめ、DeviceNet™(注1)、EtherNet/IP™(注2)、CANopen™(注3)、PROFIBUS DP (Decentralized Peripherals)、CC-Link™(注4)、MODBUS TCP (Transmission Control Protocol)、Ether-



(注1) DeviceNetは、Open DeviceNet Vendor Associationの商標。  
 (注2) EtherNet/IPは、ControlNet International, Ltd.の商標。  
 (注3) CANopenは、CAN in Automationの登録商標。  
 (注4) CC-Linkは、三菱電機(株)の登録商標。

CAT™(注5)をオプションとして準備している。これらのネットワークオプションは、他シリーズのインバータとの共用化と簡単な取付けを図るため、プラグインタイプの小型モジュールとし、VF-S15へは専用のアダプタを使用して取り付けるようにした。メンテナンス性を考慮して、ねじレス及び工具レスの取付け・取外し構造を採用した。

ネットワークオプションの取付け方法を図3に示す。ネットワークオプションを専用のアダプタに挿入し、アダプタをスナップオン機構でインバータ制御端子扉の上に取り付ける構成としている。このアダプタの取付け有無は、VF-S15の標準搭載している機能には影響を与えない。

### 3 VF-S15で向上させた性能

VF-S15では、省エネや、簡単化、システム簡易化のほか、システムの安定性を向上させるため、VF-S11に比べ性能を向上させている。以下に、その一部について述べる。

#### 3.1 デジタル入力応答性能

VF-S15では、運転及び停止に関するデジタル入力端子の応答時間を速くするとともに、そのばらつきをVF-S11に比べ格段に小さくした(図4)。これにより、位置決めなどのアプリケーションにおける、位置制御精度を向上させることができる。

#### 3.2 デッドタイム補償改善

インバータ用途の拡大に伴い静音化のニーズが高まっている。インバータ駆動時のスイッチングにより発生する磁気騒音を減少させるためには、スイッチングキャリア周波数を高くする必要がある。しかし、スイッチング回数の増加に伴いスイッチング時のIGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) アームのデッドタイム(注6)による出力電圧の欠落の影響が大きく

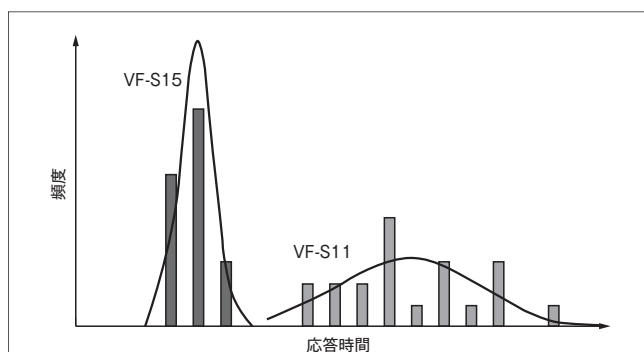


図4. VF-S15とVF-S11の入力端子における応答比較 — VF-S15は、VF-S11に比べ、分布が左側にあることから応答時間が速く、また、分布幅が狭いことからばらつきが少ないことがわかる。

Comparison of digital input responses of VF-S15 and VF-S11 models

(注5) EtherCATは、Beckhoff Automation GmbHの登録商標。

(注6) IGBTのスイッチング遅れによる上下相短絡を防止するために設けているスイッチオフ時間。

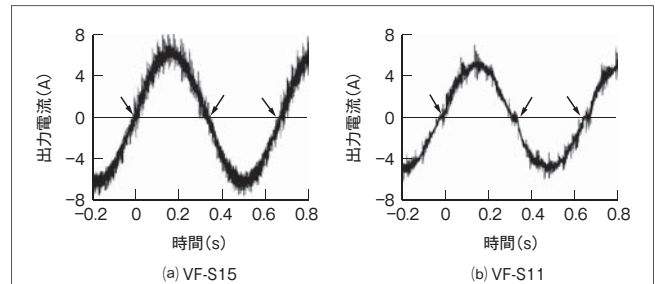


図5. VF-S15とVF-S11の出力電流波形比較 — VF-S15と従来機種VF-S11との200 V/3.7 kW機種の無負荷時電流波形を比べると、VF-S15は、ゼロ点付近の波形がVF-S11より滑らかである。

Comparison of output current waveforms of VF-S15 and VF-S11 models

なってくる。これによりモータ電流波形が乱れ、主に低速運転時にトルクリップルとして影響が現れてくる。

VF-S15では、このデッドタイムによる欠落分の補償精度を向上させ、高キャリア周波数運転時にもこの影響を小さく抑えている。200 V/3.7 kWで、無負荷における高キャリア周波数(12 kHz)運転時の出力電流波形を、VF-S15とVF-S11を比較して図5に示す。VF-S11の出力電流波形に見られるゼロ点付近の電流波形の乱れはVF-S15では滑らかになっており、デッドタイム補償改善の効果を確認することができる。

### 4 モータ制御の特性改善

VF-S15は、従来の汎用インバータで駆動していた誘導モータだけでなく、永久磁石モータを磁極位置センサレス駆動することができる。モータを高効率な永久磁石モータにすることで省エネ効果を期待できる稼働率の高いファンやポンプなどの用途をはじめ、起動時から定格トルクの出力が必要な定トルク仕様の用途にも適用できる。ただし、これは突極性を持つ永久磁石モータが対象である。以下に、永久磁石モータ用に新たに搭載した機能について述べる。

#### 4.1 永久磁石モータ用オートチューニング機能

従来の機種ではできなかった回転子位置により変化するインダクタンスをチューニングすることができ、より高効率な制御を実現している。永久磁石モータの定格情報を入力後、オートチューニングを実施することで、巻線抵抗値とインダクタンス値の測定が行われ高性能な駆動ができる。チューニング後の速度-トルク特性の例を図6に示す。

また、トルクリミットを有効としたときの特性を図7に示す。チューニングを実施することで高い精度でのトルク制限が実現できていることが確認できる。負荷トルク過渡特性は、図8に示すように、負荷トルクの急しゅんな変動に対しても制御が不安定になることなく安定に駆動できることが確認できる。

#### 4.2 永久磁石モータ用当て止め機能

往復運動を行う搬送機や自動扉などの終点の簡易的な位置



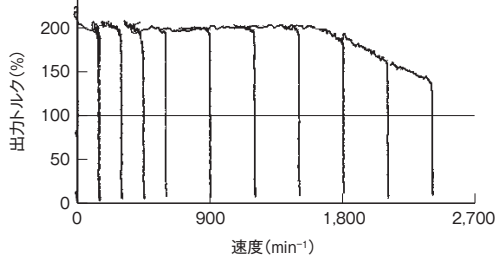


図6. 永久磁石モータ駆動時の速度-トルク特性 — センサレスでの永久磁石モータ駆動でありながら、誘起電圧の小さくなる低速域でも十分なトルクを出力し、界磁弱め領域でも安定かつ高効率に制御できている。  
Speed-torque characteristics with permanent-magnet motor

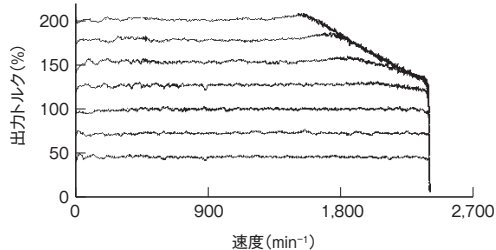


図7. 永久磁石モータ駆動のトルクリミット特性 — 50～200%の間で設定したトルクリミットそれぞれに対し、全ての速度において、出力トルクが高い精度で制限されている。  
Torque limitation accuracies with permanent-magnet motor

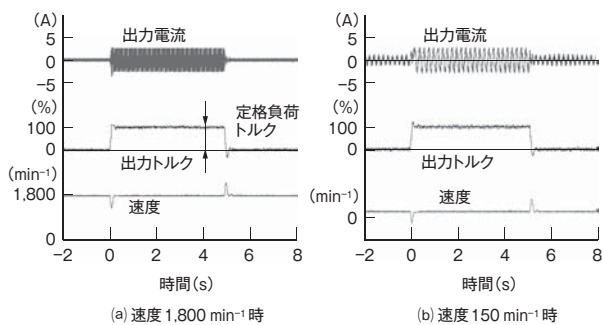


図8. 負荷トルク過渡特性 — 速度1,800 min<sup>-1</sup>及び150 min<sup>-1</sup>で永久磁石モータを駆動しているとき、定格負荷トルクをステップ状に印加させても安定して駆動できている。  
Disturbance torque responses

決めに用いられる当て止め機能は、定トルク仕様への適用の利便性を追求して、インバータだけで実現できるようになっている。

VF-S15は、永久磁石モータを用いている場合でも、当て止め機能を安定して動作させることができる。その動作例を図9に示す。リミットスイッチなどのセンサから当て止め機能の入力信号を受けて、モータ速度を当て止め周波数まで減速させる。その後、当て止め状態となり、回転子は停止し、当て

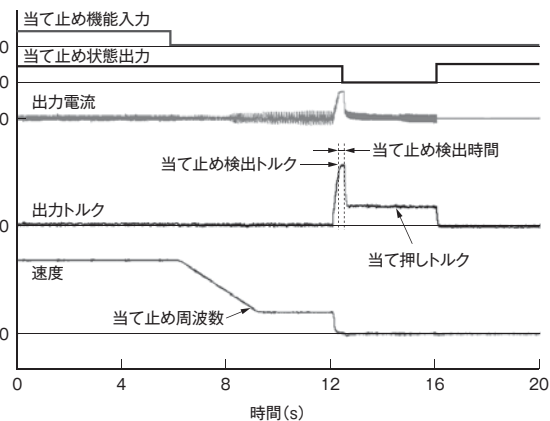


図9. 永久磁石モータによる当て止め機能の動作例 — 永久磁石モータを駆動している際に、当て止め機能の入力信号を受けて減速し、当て止め検出トルクを検出した後、出力トルクを当て押しトルクレベルに制限している。  
Example of contact-stop operation with permanent-magnet motor

止め検出トルクまで出力トルクが増加すると、当て止め検出時間の経過をもって当て押しトルクレベルに出力トルクを制限しているようすがわかる。回転子が停止後は、ゼロ周波数での制御となるが、安定に制御できていることが確認できる。

## 5 あとがき

ここでは、産業用動力システムの省エネに貢献する永久磁石モータ駆動、及びシステム簡易化に貢献する多くの新機能を搭載した多機能・小形インバータ TOSVERT<sup>TM</sup> VF-S15の新機能と性能について述べた。

今後も、市場の多様なニーズに応え、産業用インバータのラインアップを幅広く拡充していく。



細川 雅則 HOSOKAWA Masanori

東芝シュネデール・インバータ(株) 開発部 開発・設計Gr 主務。産業用インバータの開発に従事。  
Toshiba Schneider Inverter Corp.



計良 尚志 KERA Takashi

東芝シュネデール・インバータ(株) 開発部 開発・設計Gr 主務。産業用インバータの開発に従事。  
Toshiba Schneider Inverter Corp.



有馬 裕樹 ARIMA Hiroki

東芝シュネデール・インバータ(株) 開発部 開発・設計Gr 主務。産業用インバータの開発に従事。電気学会、IEEE 会員。  
Toshiba Schneider Inverter Corp.