

高性能・多機能形インバータ「FRENIC-MEGA シリーズ」

近藤 靖 (こんどう やすし)

田島 宏一 (たじま ひろかず)

山崎 高裕 (やまさき たかひろ)

特集(1)

1 まえがき

近年、汎用インバータの性能・機能は大きく進展し、その応用範囲は単純可変速駆動装置から工作機械、水平・上下搬送機へと拡大している。

これらの用途に「FRENIC5000G11Sシリーズ」を提供してきたが、いっそうの用途の拡大にこたえるために、「FRENIC-MEGAシリーズ」を開発した。このインバータは、制御性能や設備適応力、環境適合性を大幅に向上させた製品である。

本稿ではその特徴を中心に紹介する。

2 機種構成

2.1 機種バリエーションの充実

図1にFRENIC-MEGAシリーズの外観を、表1に機種

〈注1〉MEGA: Maximum Engineering for Global Advantage, 世界に先駆けた高機能の意

図1 FRENIC-MEGAシリーズの外観



バリエーションを示す。

FRENIC-MEGAシリーズは、従来機種の「FRENIC5000G11Sシリーズ」との置換えに適したベークタイプ、発生ノイズを低減したEMCフィルタ内蔵タイプ、電源高調波を抑制した国土交通省ガイドライン対応タイプ(直流リアクトル内蔵)を新たにラインアップした。

また、上下搬送機など大きな制動負荷がかかる用途への応用を拡大するため、ブレーキ回路内蔵タイプの標準対応を22kWまで拡大した。200V:30~55kW, 400V:30~110kWについても、受注生産によるブレーキ回路内蔵タイプのラインアップを充実させた。

2.2 二重定格の採用

負荷用途に合わせ、1台で2種類の出力定格に対応させ、それぞれ、HD(High Duty:重過負荷)仕様とLD(Low Duty:軽過負荷)仕様とした。HD仕様は、一般用途向けに過負荷耐量を150%1分、200%3秒とし、LD仕様は、ファン・ポンプ・遠心分離機など過負荷が比較的軽い用途向けに過負荷耐量を120%1分とした。また、LD仕様は、インバータ容量の1枠上のモータを運転可能とした。

3 性能・機能

3.1 ダイナミックトルクベクトル制御

FRENIC-MEGAシリーズでは、従来から好評を得ている富士電機独自の技術であるダイナミックトルクベクトル

表1 FRENIC-MEGAシリーズの機種バリエーション

機種分類	バリエーション	
ベーシック	三相200V	0.4~55kW (75~90kW)
	三相400V	0.4~75kW (90~630kW)
EMCフィルタ一体型	三相200V	0.4~55kW (75~90kW)
	三相400V	0.4~75kW (90~630kW)
国土交通省ガイドライン対応	三相200V	5.5~55kW
	三相400V	5.5~55kW

()は、順次ラインアップ予定



近藤 靖

可変速駆動装置の開発・設計に従事。現在、富士電機機器制御株式会社生産本部システム機器事業部インバータ開発生産センター駆動設計部リーダー。



田島 宏一

可変速駆動装置の開発・設計に従事。現在、富士電機機器制御株式会社生産本部システム機器事業部インバータ開発生産センター制御設計部リーダー。電気学会会員。



山崎 高裕

可変速駆動装置の開発・設計に従事。現在、富士電機機器制御株式会社生産本部システム機器事業部インバータ開発生産センター駆動設計部。電気学会会員。

制御を搭載した。本制御方式は、誘導電動機の電圧方程式を用い、モータ定数と電流を基に、負荷変動など運転条件の変化に応じて最適な電圧と周波数を演算して出力し、速度を指令値どおりに保ちつつ安定したトルクを発生する方式である。例えばコンベヤや遠心分離機ではトルクリプルが小さいこと、および負荷トルクが変動しても回転速度の変動が小さいことが要求される。FRENIC-MEGA シリーズでは、電圧誤差補償によるトルクリプルの低減と、磁束オブザーバを用いた磁束補償、および高精度モータ定数チューニングにより速度制御性能を大幅に向上させた。図2はトルクリプルに起因する回転むらの比較結果であり、極低速時の回転むらを従来機種との約50%に低減し、低速域の速度安定性を増した。図3は速度-トルク特性の比較結果であり、磁束補償と高精度モータ定数チューニングにより従来機種より負荷トルク変動による速度変動が減り、特に1~10Hzの駆動側、5~10Hzの制動側における速度制御精度を大幅に改善していることが分かる。

図2 回転むら

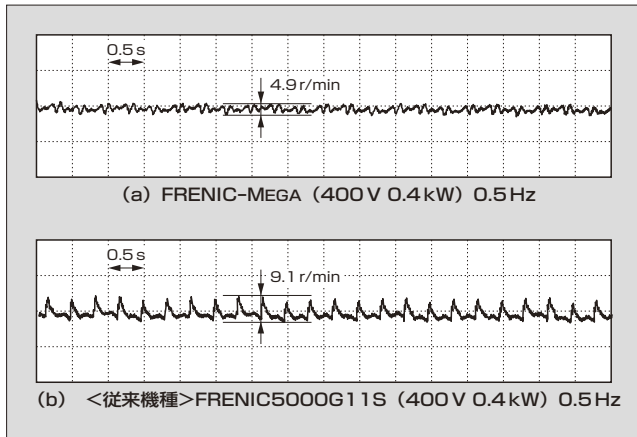
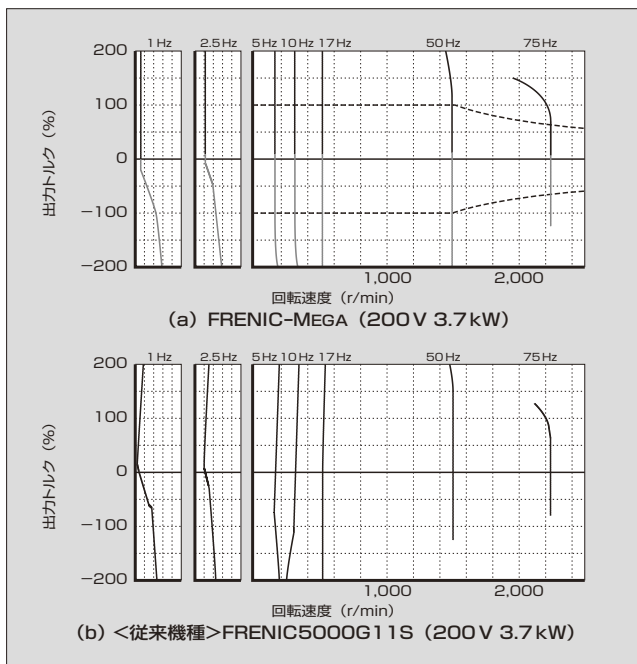


図3 速度-トルク特性



3.2 速度センサレスベクトル制御

速度センサを用いずに、高いトルク制御精度と速いトルク応答を要求される用途に対応するため、従来機種から搭載しているダイナミックトルクベクトル制御、速度センサ付きベクトル制御に加え、新たに速度センサレスベクトル制御を搭載した。図4に制御ブロック図を示す。

図5にトルク制限特性を示す。図5から、トルク制御精度は駆動側で±10%以内であることが分かる。また、図6に電流応答特性を示す。この図から電流応答は600Hzであり、速いトルク応答を可能とした。これらにより、速度センサなしで高いトルク制御精度と速い応答が要求されるプレス機などへの応用を可能とした。

3.3 速度センサ付きベクトル制御

高いトルク制御精度と速いトルク応答が要求される用

図4 速度センサレスベクトル制御の制御ブロック図

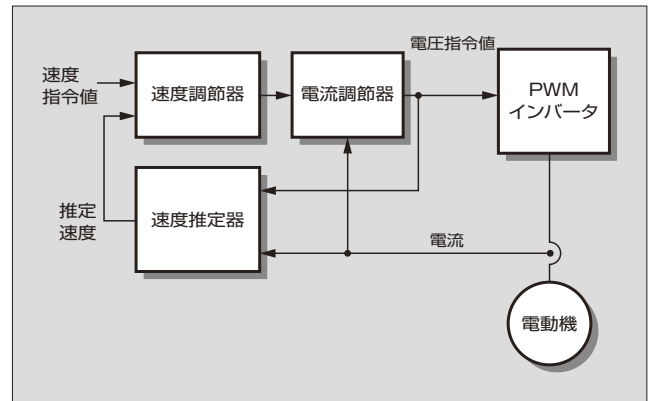


図5 トルク制限特性 (速度センサレスベクトル制御)

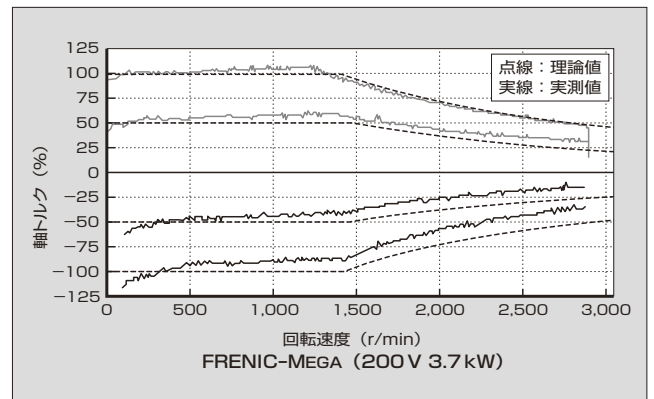
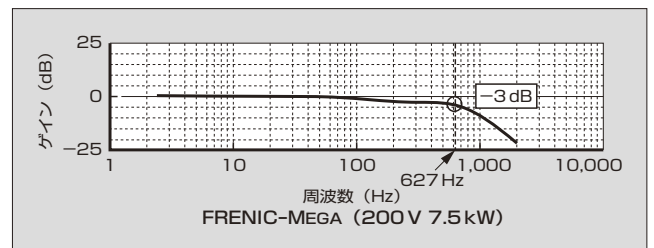


図6 電流応答特性 (速度センサレスベクトル制御)



途に対応させるため、従来機種 FRENIC5000G11S シリーズと同様、パルスジェネレータ (PG) フィードバックを用いた本格的な速度センサ付きベクトル制御を搭載した。FRENIC-MEGA シリーズでは従来機種で実績のある方式を基に、高速制御演算により速度応答を向上させ、温度センサ (NTC サーミスタ) を用いてトルク制御精度を向上させた。

図7 トルク制限特性 (速度センサ付きベクトル制御)

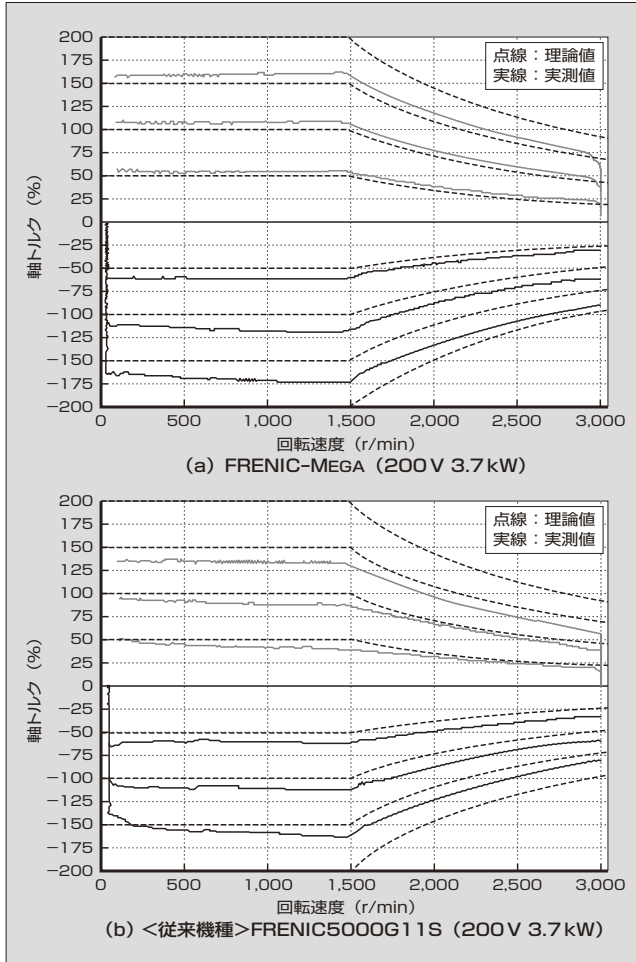


図8 速度応答特性 (速度センサ付きベクトル制御)

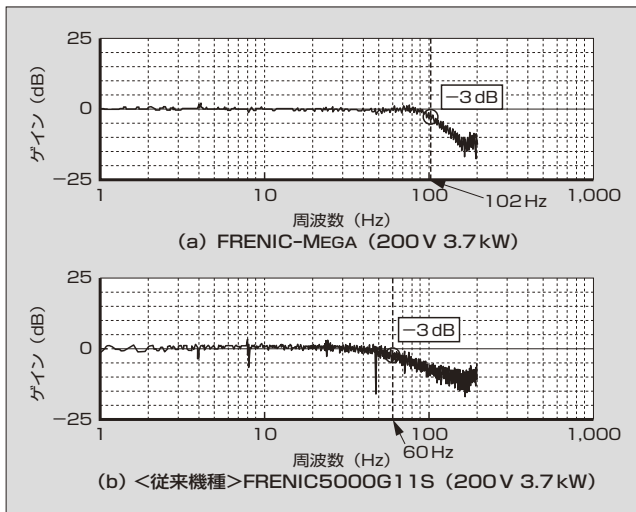


図7にトルク制限特性を、図8に速度応答特性を示す。図7の駆動トルク100%のトルク制御特性に着目すると、従来機種では速度により軸トルクが85~100%の範囲で変化しているが、FRENIC-MEGAシリーズの軸トルクはほぼ110%一定に制御できている。また、図8から速度応答は従来機種の60Hzから100Hzに向上している。これらの性能は、昇降機などの上下搬送用途や伸線機、印刷機などの機械性能をさらに向上させている。

3.4 タッチパネルにUSBポートを標準装備

近年のパソコンにはUSB (Universal Serial Bus) ポートが標準装備されている。そこで、このパソコンをローダとして活用するために、インバータのタッチパネルにUSBポートを標準装備した (図9)。タッチパネルのメモリにはインバータ内部データ (ファンクション、メンテナンス情報) が一時的に記憶できるので、事務所などの安全な場所で、メンテナンス作業が可能となる (図10)。

3.5 パルス列入力をインバータ本体に標準装備

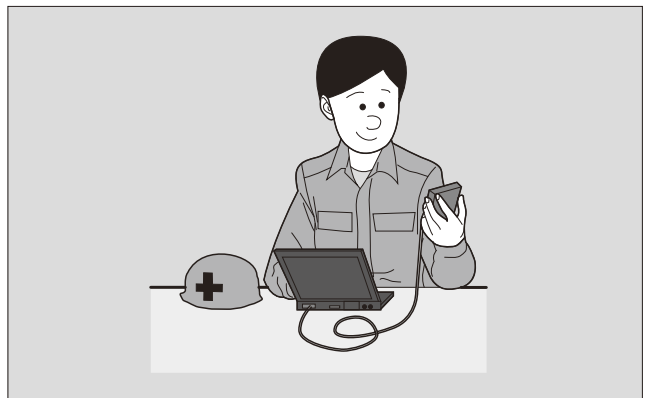
従来、パルス列入力はオプションであったが、これを標準装備とした。

標準で、PLCなどのパルス列発信器から、パルス列入力 (単相パルス+極性符号) による周波数指令が可能となった (最大パルス入力: 100 kpps)。パルス列入力の利点は、電圧・電流のようなアナログ量をデジタル量に変換

図9 標準タッチパネルUSBポート



図10 タッチパネルによるメンテナンス例



する際の変換誤差がなくなる点にある。これは、射出成形機や巻取機など速度制御精度が必要な用途に適している。

④ 環境性

4.1 RoHS 指令に適合

EU (欧州連合) の WEEE & RoHS 指令の施行により、インバータ業界においても、もはや環境対応が標準化しつつある。

FRENIC-MEGA シリーズにおいても、RoHS 指令で制限している有害 6 物質^(注4)の含有量を規定値以下に管理している。

4.2 寿命部品の長寿命化

電解コンデンサ、冷却ファンは寿命部品に該当し、メンテナンス交換の必要がある。FRENIC-MEGA シリーズでは、従来機種に比べいっそうの長寿命化を図り、寿命 10 年設計の部品を採用した。ただし、使用条件が周囲温度 40℃、負荷率 100% (HD 仕様)、80% (LD 仕様) の場合である。

さらに、図 11 に示すように、22kW 以下についてはワンタッチで冷却ファンの交換を可能とし、30kW 以上については、前面カバーを外さずに、ねじ 2 本を外すことにより交換可能とした。

4.3 耐環境性の向上

インバータの使用環境仕様は、あくまで「粉じんなきこと、腐食性ガスなきこと」を前提としているが、実使用環境は必ずしもそのような条件にはない。今回、標準品で実使用状態での耐量向上を図るため以下の処理を施した。

(1) 銅バーのめっき処理

従来は、めっき処理なしであったが、銅は硫化ガス雰囲気中で腐食するため、銅バーにめっき処理を施した。

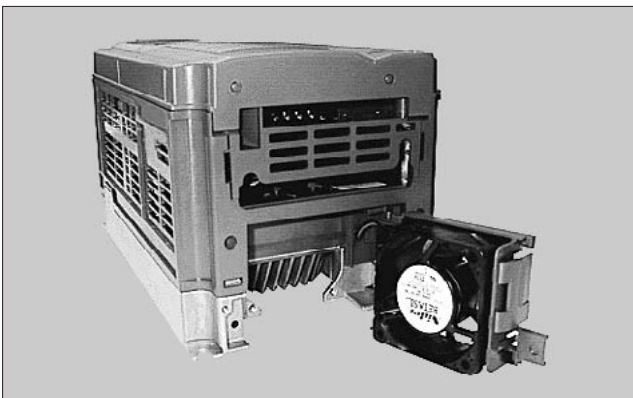
(2) 冷却ファンのコーティング

〈注 2〉 WEEE : 廃電気電子機器

〈注 3〉 RoHS : 電気電子機器に含まれる特定有害物質の使用制限

〈注 4〉 有害 6 物質 : 鉛、水銀、カドミウム、六価クロム、ポリ臭化ビフェニール (PBB)、ポリ臭化ジフェニルエーテル (PBDE)

図 11 冷却ファン取付け部構造 (200V 3.7kW)



特に、冷却ファンは粉じんにさらされるため、ベアリングだけでなく、直流ファン内部のプリント板の故障が発生しやすい。今回このプリント板をコーティングするとともに、リードの引出し部にもシーリングを施した。

⑤ シミュレーション技術の活用

FRENIC-MEGA シリーズの開発では、過負荷耐量の向上、EMC フィルタの内蔵、直流リアクトルの内蔵、といった課題を素早く解決するためにシミュレーション技術を活用した。以下に主なものを記す。

5.1 熱冷却解析⁽¹⁾

冷却ファンの熱冷却設計では、ファンの枚数・厚さ・高さなどの設計パラメータとコストの間には、トレードオフが存在する。コストミニマムで冷却性能を向上させるには、フィン形状の最適化が重要になる。

そこで、設計パラメータを振った代表的フィン形状の解析モデルを数種類作成し、その試験結果と熱流体シミュレーション結果とを突き合わせ、シミュレーション精度を把握した後、各種設計パラメータの最適化検討を実施した。その結果、従来機種のダイカストフィンと比較して質量を 49% 低減した。

また、冷却フィン上へ発熱源である IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) モジュールとダイオードモジュールの配置により、モジュールベース面の温度分布に大きな差が生じる。モジュールの配置は、モジュール冷却にとって非常に重要である。特に大容量インバータでは、試作と評価に多大なコストと時間を要する。そこで、熱流体シミュレーションを活用し、開発効率を向上させた。

5.2 ダイカストファンの casting シミュレーション⁽²⁾

従来、ダイカストファンの金型製作や casting 法案の策定は、熟練者の勘と経験により試行錯誤的に行われてきた。これを定量的に把握するため casting シミュレーションを使用した。この結果を基に、金型形状や casting 条件を決定し、開発効率の向上と安定した生産を実現した。

⑥ あとがき

高性能・多機能形インバータ「FRENIC-MEGA シリーズ」の特徴を紹介した。FRENIC-MEGA シリーズは、従来の汎用インバータを越え、設備への対応力や幅広い用途への対応を可能にした。今後も、市場要求に応える汎用インバータの製品化に努力していく所存である。

参考文献

- (1) 山本勉, 鳩崎芳久. 汎用インバータの熱冷却解析技術. 富士時報. vol.80, no.3, 2007, p.212-215.
- (2) 岩倉忠弘, 鳩崎芳久. casting シミュレーション技術. 富士時報. vol.80, no.3, 2007, p.220-222.