同期電動機駆動システム「FESPAC シリーズ」とその適用分野

糸魚川 信夫（いといがわ　のぶお）　野村　尚史（のむら　なおふみ）　廣瀬　英男（ひろせ　ひでお）

1　まえがき

米国では1992年に高効率電動機以外の産業用電動機の使用を禁ずるエネルギー政策法（Energy Policy Act of 1992）が制定され，日本でも2000年に高効率電動機が JIS 化された（JIS C 4212）。界磁損失がない永久磁石同期電動機（以下，同期電動機と略す）は，上記規制に対応した高効率電動機を実現し，また磁石材料の進歩や低価格化に支えられ，近年その実用化が進められている。

同期電動機駆動は，回転子位置によって電流を制御するのが一般的であり，通常は回転子位置を検出するための位置センサが必要となる。しかし，価格アップ，配線，構造，信頼性などの問題からセンサレス化が望まれている。また，同期電動機の普及を進めるうえで誘導電動機のインバータ駆動からの置換えを考えると位置センサレスが重要なポイントとなる。

本稿では，FESPAC シリーズ（低減トルク仕様ーインバータ型式：FVR □□□ DPS-2，電動機型式：GNA □□□ PA1-N2 □）における位置センサレス同期電動機の駆動方法とその適用分野について紹介する。

表１に FESPAC シリーズ（低減トルク仕様）の標準系列一覧を示す。

2　位置センサレス同期電動機の駆動方法

同期電動機のセンサレス駆動は，電動機の電流・電圧，および電動機定数から回転子速度と磁極位置を演算してこれらの情報に基づいて運転を行う「センサレスベクトル制御」と，電動機の端子電圧情報を使って転流のタイミングを切り換える「センサレスブラシレス DC モータ制御」とが主流である。富士電機ではすでに同期電動機のセンサレスベクトル制御の開発を完了しており，ゼロ速度を含めた高性能運転を実現している[(1)(2)]。しかしながら，本方式は複雑な演算をリアルタイムで行う必要があるのでハードウェアが高価になるという欠点がある。

2.1　同期電動機の *V*/*f* 制御

同期電動機用の小型で安価な汎用インバータをシリーズ化するというコンセプトのもと，*V*/*f* 制御をベースとした同期電動機の制御方式を開発し，FESPAC シリーズに採用した。*V*/*f* 制御は電動機の端子電圧を周波数に比例して制御する比較的簡単な制御方式であるため，安価なハードウェアでセンサレス運転が実現できる。また，以下に述べる制御により，センサレスベクトル制御と同等な高効率運転と始動トルクの向上が図られている。

表１　FESPAC シリーズ（低減トルク仕様）の標準系列一覧

電源系列	容　量	同期電動機			適用インバータ
		1,800 r/min	3,600 r/min	7,200 r/min	共　通
三相 200 V	0.2 kW	GNA201PA1-N2G	GNA201PA1-N2M	GNA201PA1-N2H	FVR0.2DPS-2
	0.4 kW	GNA401PA1-N2G	GNA401PA1-N2M	GNA401PA1-N2H	FVR0.4DPS-2
	0.75 kW	GNA751PA1-N2G	GNA751PA1-N2M	GNA751PA1-N2H	FVR0.75DPS-2
	1.5 kW	GNA152PA1-N2G	GNA152PA1-N2M	GNA152PA1-N2H	FVR1.5DPS-2
	2.2 kW	GNA222PA1-N2G	GNA222PA1-N2M	GNA222PA1-N2H	FVR2.2DPS-2
	3.7 kW	GNA372PA1-N2G	GNA372PA1-N2M	GNA372PA1-N2H	FVR3.7DPS-2
	5.5 kW	GNA552PA1-N2G	GNA552PA1-N2M	GNA552PA1-N2H	FVR5.5DPS-2
	7.5 kW	—	GNA752PA1-N2M	GNA752PA1-N2H	FVR7.5DPS-2

糸魚川 信夫

可変速駆動装置の開発・設計に従事。現在，鈴鹿工場設計部。

野村　尚史

交流可変速駆動装置の開発・設計に従事。現在，（株）富士電機総合研究所パワーエレクトロニクス研究所。電気学会会員。

廣瀬　英男

永久磁石同期機の設計・開発に従事。現在，富士電機モータ（株）開発部。

2.2　最大効率制御

同期電動機は後述するように電動機単体でも高効率であるが，負荷に応じて電圧や電流を最適化することにより，電動機の効率を最大限に高めた高効率運転ができる。同期電動機をベクトル制御により運転する場合の高効率運転については，これまで多くの文献が発表されている。しかし，V/f 制御を行う場合の高効率運転はこれまでに例がない。このため，運転状態に応じて効率が最大となるように電動機端子電圧を自動制御する「最大効率制御」を新たに開発した。これにより負荷に応じた最大の効率点で同期電動機を運転することが可能である。

2.3　始動トルクの向上

V/f 制御で同期電動機を運転する場合の課題として始動時を含めた低速時に最大トルクを大きくできない問題がある。

FESPAC シリーズでは，この問題を電流フィードバックを併用することにより解決しており，定格トルクの 70 %以上の始動トルクが出力できる。これにより，ファン・ポンプを主とした低減トルク用途での適用が可能となる。

3　同期電動機の適用分野

同期電動機が誘導電動機に比べ高効率・小型軽量という面で実用化が進んでいる分野としては，民生向けのエアコンディショナをはじめ，一般産業向けのファン・ポンプなどがある。

FESPAC シリーズでは，送風ブロワ・給水ポンプをはじめとするファン･ポンプ分野への適用を進めている。

3.1　電動機とインバータの仕様

表 2 に低減トルク仕様の一覧を示す。またインバータの外形寸法については，富士電機のコンパクト型汎用インバータ FVR-E11S シリーズと共通化を図っている。**図 1** にインバータと電動機の外観を示す。

表 2　低減トルク仕様一覧

電動機仕様	回転速度（r/min）	1,800/3,600/7,200
	絶縁種別	F 種
	振動（μm_{p-p}）	V5 以下（7,200 r/min：V10 以下）
	外被構造	全閉外扇形（JP44）
インバータ仕様	入力電源	三相，200～230 V，50/60 Hz
	過負荷電流定格	120%-1 min
	速度制御範囲	1：10
	始動トルク	70%以上
	保護構造	閉鎖形 IP20

3.2　標準誘導電動機との比較

3.2.1　高効率化

図 2 には，富士電機製の同期電動機と標準誘導電動機との電動機効率の比較を示す。これらの電動機は，米国のエネルギー政策（EPAct）に対応している。

省エネルギー面では，誘導電動機のインバータ駆動を超える省エネルギー効果を発揮する。**図 3** には損失電力の比較，**図 4** には節約電力量の比較を示す。総合損失電力を 35 %削減し，ランニングコストが大幅に削減でき，ファン・ポンプなどの流体機器に最適であることが分かる。

図 1　インバータと電動機の外観

図 2　電動機効率の比較

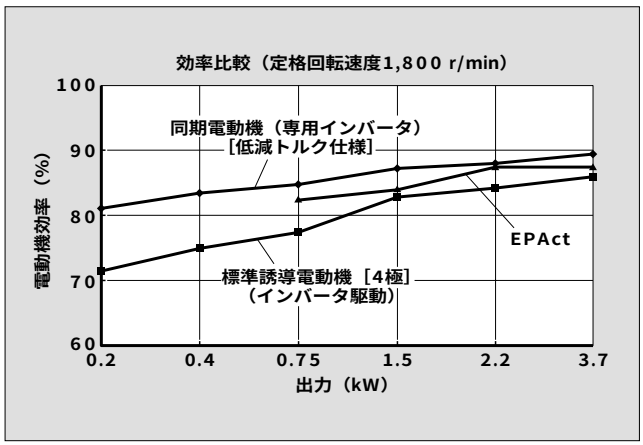
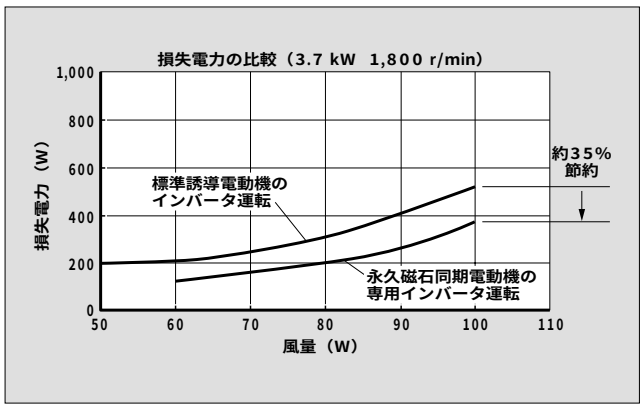


図 3　損失電力の比較



3.2.2　小型・軽量化

同期電動機は，界磁損失がないことから回転子で発生する発熱量が少ない。そのため，誘導電動機に比べ総合損失を低減することが可能となり，固定子鉄心容積の縮小，所要冷却能力の軽減により標準誘導電動機より枠番を下げることが可能となる。これにより装置全体の小型・軽量化を図ることができる。**図 5** には，富士電機製の同期電動機と標準誘導電動機との寸法比較を示す。

3.3　送風ブロワへの適用

図 6 には，定格速度 3,600 r/min の送風ブロワに適用した場合の加減速特性を示す。負荷条件としては定格速度で約 80 %となる負荷を印加しており，５秒以下での加減速運転を可能としている。

3.4　給水ポンプへの適用

最近衛生面から注目されている受水槽を必要としない直結給水では，吐出部の圧力低下を抑制するため吐出圧力一定制御を行う。これにより停止状態から定格速度までの加速時間が１秒以下であることが望ましい。**図 7** には吐出圧力一定制御の構成を示す。さらに，負荷のトルク特性が低減トルク特性であることから，速度の二乗に比例した加速トルクが必要となり，平均加速トルクとしては 100 %程度必要なのが一般である。

そこで給水ポンプへの適用を考えた場合の駆動特性として，**図 8** には定格速度 3,600 r/min の電動機単体相当での加減速特性を示す。１秒以下での加減速が可能であることが分かる。次に**図 9** には，定格速度 3,600 r/min の同期電

図４　節約電力量の比較

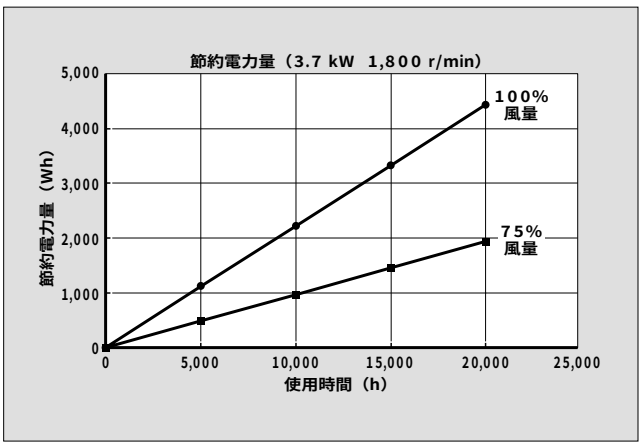


図５　電動機の寸法比較

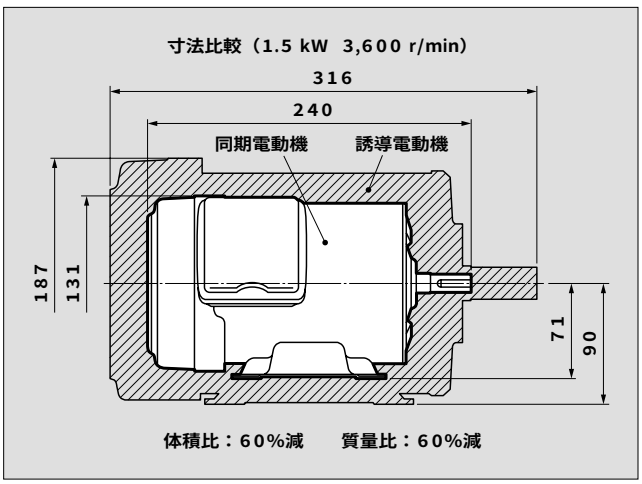


図６　送風ブロワの加減速特性

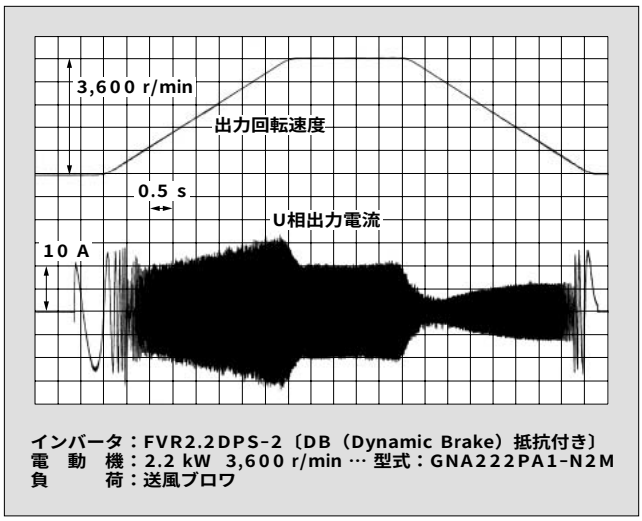


図７　吐出圧力一定制御の構成

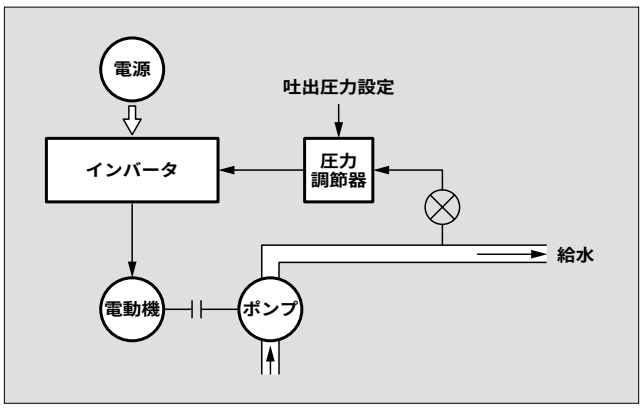


図８　電動機単体相当での加減速特性

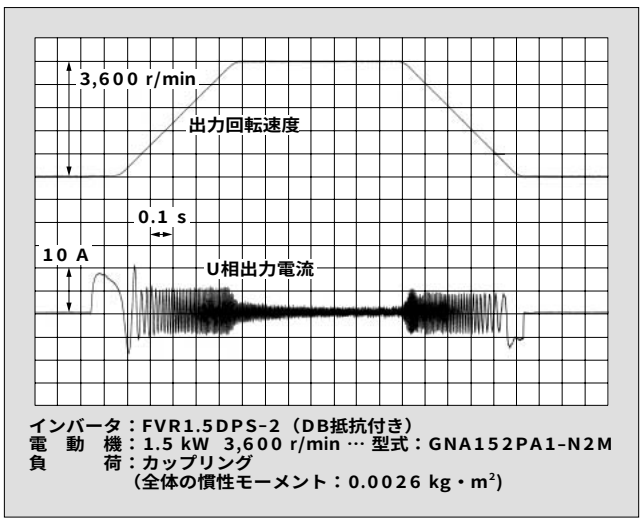
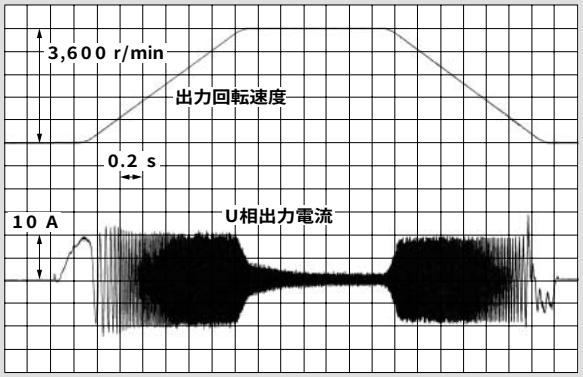


図９　慣性負荷での加減速特性



インバータ：FVR1.5DPS-2（DB抵抗付き）
電　動　機：1.5 kW　3,600 r/min … 型式：GNA152PA1-N2M
負　　荷：フライホイール
（全体の慣性モーメント：0.0144 kg・m²）

動機に慣性負荷（全体の慣性モーメント　0.0144 kg・m²，電動機の約７倍）を付けた状態での加減速特性を示す。平均加速トルクとして約 100 %出力可能であることが分かる。これらの駆動特性から給水ポンプへの適用が可能と考える。

4　あとがき

以上，FESPAC シリーズの位置センサレス同期電動機の駆動方法とその適用分野について紹介した。今後も省エネルギーの需要がますます増え同期電動機の適用分野が広がっていくと考えられることから，市場のニーズにこたえるよう，インバータの開発に努力していく所存である。

参考文献

(1)　星昌博ほか．省エネルギー用可変速駆動システム．富士時報．vol.73，no.11，2000，p.595-599.

(2)　Aihara, T. et al. Sensorless Torque Control of Salient-Pole Synchronous Motor at Zero-Speed Operation. IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS. vol.14, no.1，1999.

解　説　米国エネルギー政策法（Energy Policy Act）

米国で，1992年に制定されたもので，高効率電動機以外の産業用電動機の使用を禁ずる法律である（Energy Policy Act of 1992）。この法律は1997年10月25日から施行されている。

概要は以下のとおりである。

(1)　対象機

多相かご形誘導電動機，汎用Ｔフレーム，フットマウンティング単速度，230V または 460V，0.75 ～ 150 kW，60Hz

(2)　規定内容

①　電動機単体および電動機が組み込まれた製品を米国にて販売する場合，定められたエネルギー効率基準値を満たすこと。

②　電動機製造業者は，銘板にエネルギー効率値を表示すること。

電動機が組み込まれた製品の製造業者は，カタログなどに電動機のエネルギー効率値を表示すること。

③　電動機の製造業者は，米国内で認められた独立の試験機関または認証プログラムにより認定を受けなければならない。

④　定められたエネルギー効率基準値を満たさない場合は，罰金が課せられる。

e-Front runners

＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。