「FRENIC5000VG7S/MG5」の運搬機械への適用例

辻原　弘（つじはら　ひろし）　林　寛明（はやし　ひろあき）　大路　正孝（おおじ　まさたか）

1　まえがき

インバータの運搬機械への適用を考えた場合，安定した運転ができることはもとより，クレーンでは大きな始動トルク，大容量電動機への対応，応荷重制御（荷重に応じた速度制御）が，立体駐車場では停止精度，始動時のロールバックを防止するためのトルクバイアス機能，応荷重制御が，立体倉庫では省スペース化，１サイクルの運転時間の短縮化などが，それぞれ求められる。

本稿では，インバータの運搬装置への適用例として，クレーンおよび立体駐車場への高性能ベクトル制御インバータ「FRENIC5000VG7S」の適用例，立体倉庫への電源回生機能付き一般産業用インバータ「FRENIC5000MG5」の適用例を紹介する。

2　クレーンへの適用

2.1　インバータ駆動クレーンの概要

クレーンの可変速制御は約15年前までは，DC ドライブ（サイリスタレオナード）が主流であった。これは当時，インバータによる AC ドライブでは，広い可変速範囲，制御性能（特に応答性）が得られなかったことによる。

しかし，ベクトル制御により DC ドライブ以上の性能を出すことが可能となり，富士電機としても1987年にインバータ駆動クレーンの１号機を納入して以来，クレーンの AC ドライブ化を進めてきた。以下に用途別クレーンの特徴およびインバータ駆動クレーンのメリットを述べる。

2.2　用途別クレーンの特徴

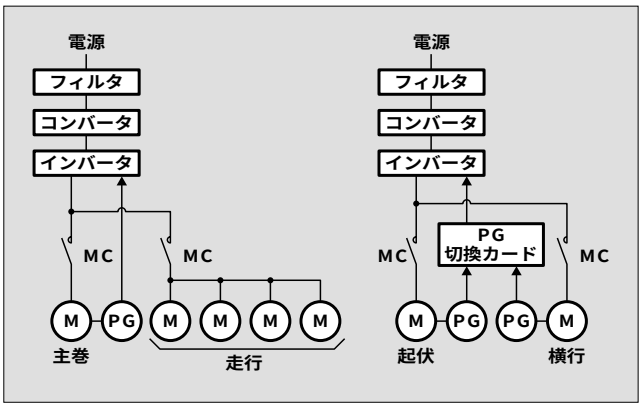
2.2.1　コンテナクレーン（キーサイドクレーン）

コンテナを船とバース間で積み降ろしする目的のクレーンであり，つり荷重を上下させる主巻装置，主巻装置を左右に移動させる横行装置，クレーン自体を前後に移動させる走行装置，ブームを上下させる起伏装置から構成される。

図１にコンテナクレーンの一般的な回路構成例を示す。

主巻と走行および横行と起伏は同時運転がないため，１台のインバータで電動機を切り換えて運転する。

図１　コンテナクレーンの回路構成例



ベクトル制御では，電動機定数を使用して電動機を制御する。FRENIC5000VG7S は電動機に関するパラメータを３台分（うち１台分は V/f 専用）有し，インバータに切り換え信号を入力するだけで電動機定数の切換が可能である。

また，複数電動機からなる走行については，FRENIC 5000VG7S では代表 PG（Pulse Generator）によるベクトル制御，センサレスベクトル制御または V/f 制御で制御している。

コンテナクレーンの場合，高力率，電源回生を目的に PWM（Pulse Width Modulation）コンバータが設置されるのが一般的である。

2.2.2　トランスファクレーン

コンテナクレーンで陸側に降ろされたコンテナを各ヤードに搬送するクレーンで，各ヤードを自在に動き回るため，自走式のタイヤマウントが主流であり，主巻，横行，走行装置から構成される。自走式のため，電源はクレーン本体にエンジン発電機を設置し，そこから給電される。

図２にトランスファクレーンの一般的な回路構成例を示す。

通常，同時運転は主巻と横行のみであるため，走行用イ

辻原　弘

可変速駆動に関するシステム設計に従事。現在，神戸工場可変速設計部担当課長。

林　寛明

可変速駆動装置の開発・設計に従事。現在，神戸工場可変速設計部主任。

大路　正孝

可変速駆動装置の開発・設計に従事。現在，神戸工場可変速設計部。

図２　トランスファクレーンの回路構成例

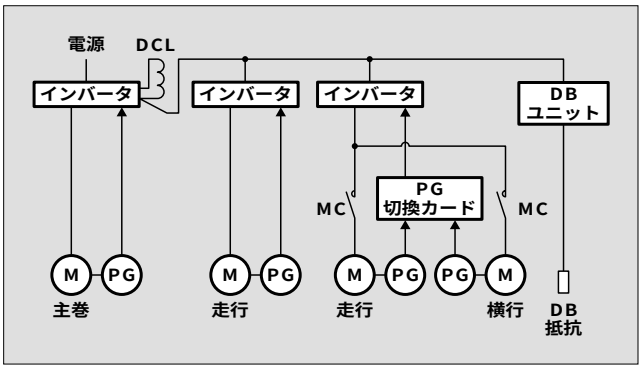
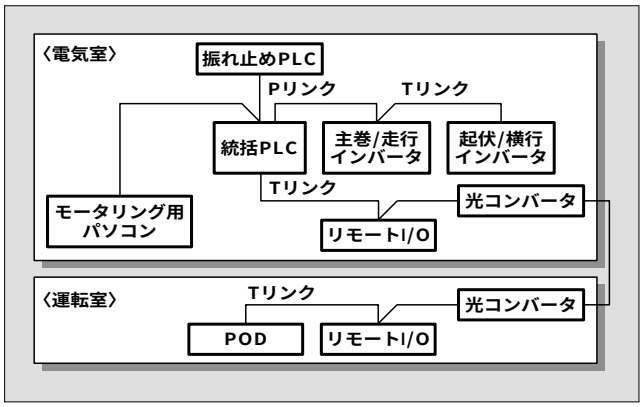


図３　コンテナクレーンのシステム構成例



ンバータの１台は横行と切り換えて併用する。

主巻用インバータのダイオードコンバータを利用した直流コモン方式を採用し，複数のインバータ間の電力の授受を行い省エネルギー化を図る。また，電源が発電機で回生エネルギーを電源側に返せないため，回生エネルギーは直流中間回路に設置した抵抗器に熱消費される〔DB（Dynamic Brake）抵抗方式〕。

2.3　クレーン駆動用インバータの特長

ベクトル制御インバータ FRENIC5000VG7S をクレーン用途に使用した場合のメリットを述べる。

(1)　広い速度制御範囲

32 ビット高速，高性能 CPU を 2 個採用のオールディジタル制御により 1：1,000（最低回転速度 1.5 r/min）の広い速度制御範囲が得られ，安定した微速運転が可能である。

(2)　応荷重制御，ブレーキ釈放信号を標準装備

巻上装置においてはあらかじめ負荷条件（定格速度，定格荷重，機械効率，負荷慣性モーメントなど）をインバータに入力しておき，つり荷重が軽い場合には自動的にそれに応じた高い速度で運転することができる応荷重制御を標準装備している。また，宙づり状態の荷重を荷ずれを起こすことなく持ち上げるためには機械式ブレーキの開放タイミングが重要であるが，これをインバータから出力する機能も標準装備している。

(3)　瞬時停電に強い

電圧型インバータは原理上，平滑コンデンサを内蔵しており，このためサイリスタレオナード制御と異なり瞬時停電に非常に強いことが特長である。20 ms 程度の瞬時停電であれば，電動機の速度を変化させることなく継続運転が可能である。

(4)　PWM コンバータで高力率，高調波レス運転が可能

オプションである PWM コンバータを付加することにより電源力率 95 %以上という高力率が得られ，経済産業省が定めたガイドライン上では高調波電流をゼロと見なすことができ，高調波フィルタが不要となる。

また，PWM コンバータは電源回生機能を有しているため，巻下げ時の回生エネルギーを効率的に電源側へ回生できる。

(5)　大容量化が可能

インバータ単機では 400 V 系列で最大容量 630 kW（過負荷耐量 150 %　1 分間）であるが，電動機を多巻線化にしインバータを多重化することにより最大 2,500 kW まで対応可能である。

(6)　電動機の保守作業が容易

インバータ駆動用電動機はかご形誘導電動機を採用しているため，整流子やブラシなどがなくメンテナンスはベアリングのみであるので，保守作業が容易である。

2.4　システム構成例

図３にコンテナクレーンのシステム構成例を示す。

クレーンの運転制御は統括プログラマブルコントローラ（PLC）で行い，PLC とインバータは T リンク伝送でデータの授受を行う。電気室と運転室は距離的に離れており，ノイズを考慮し，信号を光信号に変換して通信を行う。振れ止めには専用 PLC を設置し，統括 PLC とは P リンク伝送（ブロードキャスト通信）を行う。ただし，振れ止め制御で速い応答を求められる横行速度指令などの信号は振れ止め PLC とインバータ間を直接ハードワイヤで接続している。

モニタリングにはパソコンを用い，統括 PLC とは P リンク伝送または Ethernet〈注〉でデータの授受を行い，リアルタイムでクレーンの状態を監視できるシステムとなっている。

3　立体駐車場への適用

3.1　立体駐車場の概要

過密化する都市部では，限られた敷地内での駐車スペース確保，周囲環境への配慮（低騒音・低振動）や入出庫時間短縮などの使命が立体駐車場に与えられる。

図４に立体駐車場の収納方式を示す。(a)のエレベータ方式は，車をパレットに載せて昇降させ，棚に格納する方式で，昇降速度の高速化による迅速な入出庫や，最小限の直

〈注〉Ethernet：米国 Xerox Corp. の登録商標

図４　立体駐車場の収納方式

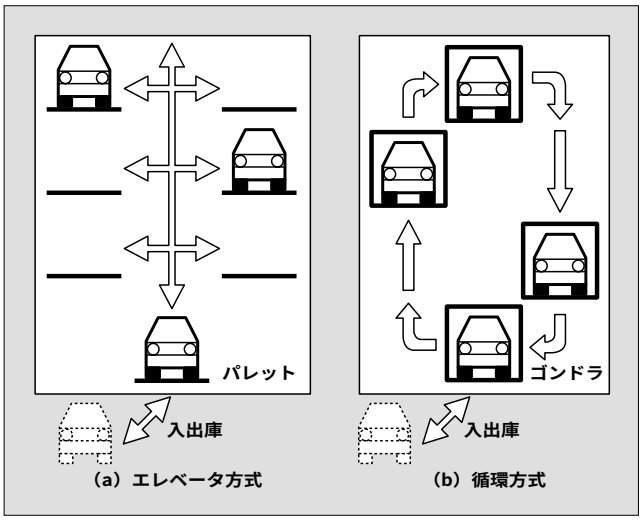
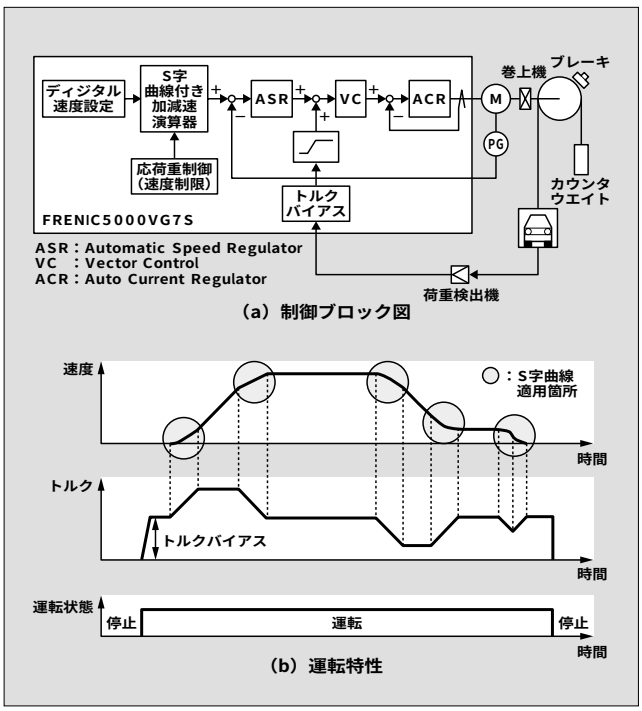


図５　制御ブロック図と運転特性



線運動による省エネルギーが特徴である。(b)の循環方式は，車を載せたゴンドラごと循環させる方式で，狭小地の効率利用，連続入出庫の円滑性などが特徴である。本章ではエレベータ方式への適用例について述べる。

3.2　インバータの適用

図５に，昇降駆動部への FRENIC5000VG7S 適用時の制御ブロック図および運転特性を示し，昇降駆動部に求められる各機能を以下に紹介する。

(1)　ディジタル速度設定

ディジタル速度設定（最大15段）により，始動・停止時の零速度運転時の速度変動が少なくなり，高精度速度制御による移動距離精度向上で目的位置に停止可能となる。また，Ｓ字曲線適用により，滑らかな加減速運転が可能となる。

(2)　高トルク仕様による過負荷トルクアップ

インバータ容量 22 kW 以下の容量では最大トルク 200 %/10 秒を出力可能な高トルク仕様の適用で，加速・減速時間の短縮が図れ，車呼出しから出庫までの待ち時間を短縮できる。

(3)　トルクバイアス機能

積載質量に見合ったトルクバイアス量を加算して，始動時のロールバックを防止できる。また，トルクバイアス量の立上り時の傾きをパラメータで設定することで，始動時のショックを緩和できる。

(4)　応荷重制御（無段階倍速制御）

負荷条件を設定することで，自動的にその荷重に応じた電動機特性範囲内での最高速度運転が可能となる。

応荷重制御機能を使用することで，設備の稼動効率の改善が図れる。

(5)　電動機定数チューニング

既存電動機の一次抵抗値（%R１）や漏れリアクタンス（%X），定格負荷のすべりや磁気飽和係数などのベクトル制御に必要な各定数を電動機を停止させたままで計測する電動機定数オートチューニング機能により，容易に既設設備のインバータ化が図れる。

図６　インバータ１台３役の例

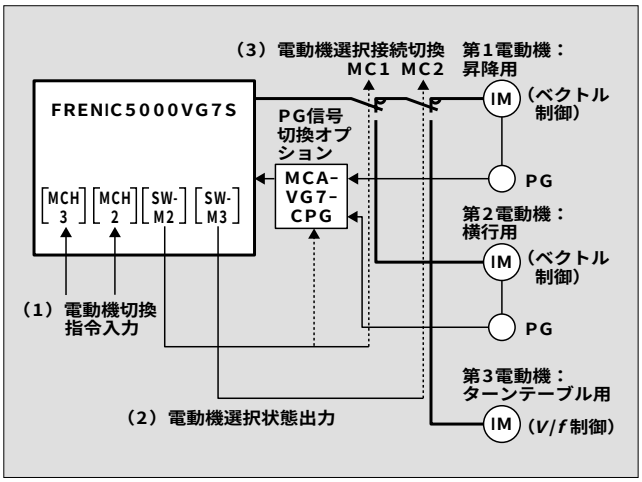
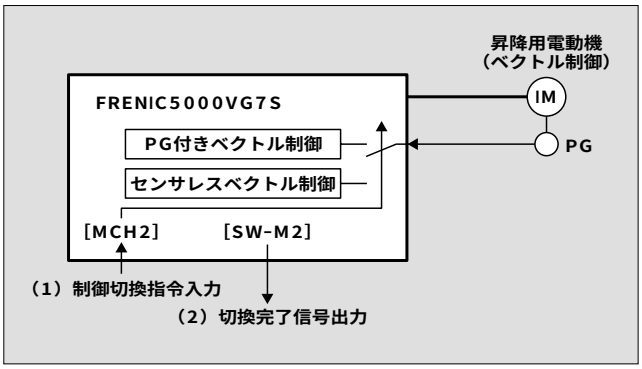


図７　PG トラブル防止対策の例



3.3　応　用

FRENIC5000VG7S では最大３台までの異なる電動機が接続可能であり，本機能の応用例を紹介する。

3.3.1　インバータ１台３役

図６のように，制御精度が必要となる，第１電動機，第２電動機をそれぞれ，昇降用，横行用に割り付け，ベクトル制御を行い，第３電動機（*V*/*f* 制御専用）をターンテーブル用とする。運転工程ごとに，インバータに電動機切換指令をディジタル入力で与え，電動機選択状態信号を受けて，電磁接触器を切り換え，電動機切換運転を行う。

3.3.2　PG トラブル防止対策

図７のように，昇降部駆動電動機を，第１電動機：ベクトル制御用，第２電動機：センサレスベクトル制御用として割り付け，第１，第２電動機とも同一定数を設定する。

通常はベクトル制御駆動（第１電動機）とし，PG に異常が発生した時点で，センサレスベクトル制御（第２電動機）に切り換えて，車を安全な位置まで移動させ，PG トラブル発生時の昇降路への車の閉じ込めを回避する。

4　立体倉庫への適用

富士電機は，高頻度な加減速，特に制動能力の向上や省スペース化といった立体倉庫用インバータへの要求にこたえるため，FRENIC5000MG5 シリーズを製品化している。以下に，その構成や特長，適用例について紹介する。

4.1　ユニットの構成

FRENIC5000MG5 シリーズ（以下，MG5 シリーズと略す）は，ドライブユニット（インバータ回路部）とコンバータユニットの二つのユニットで構成される。**図８**に MG5 シリーズの外観を示す。これらのユニットは，横方向に密着させて取り付け，バー配線で主回路の直流母線を並列接続して使用する。

4.2　MG5 シリーズの特長

(1)　電源回生方式

MG5 シリーズのコンバータユニットは，電源回生方式を採用している。この電源回生方式は，直接電源に戻す方式であり，制動頻度を大きく取ることができる（過負荷定格時 30 % ED）。また，連続定格出力以下であれば連続回生も可能である。

(2)　電源分離構造による多彩なシステム構成

MG5 シリーズは，コンバータユニットとドライブユニットが分離された，いわゆるブックタイプ構造となっている。したがって，盤内に設置する際，横に並べることが可能であり，効率よく収納することができる。

また，組合せにより，１台のコンバータユニットで複数台のドライブユニットを駆動することができるので，昇降用や横行用，フォーク用まで含めた多軸ドライブシステムが容易にかつコンパクトに構築できる。

(3)　小型・軽量化

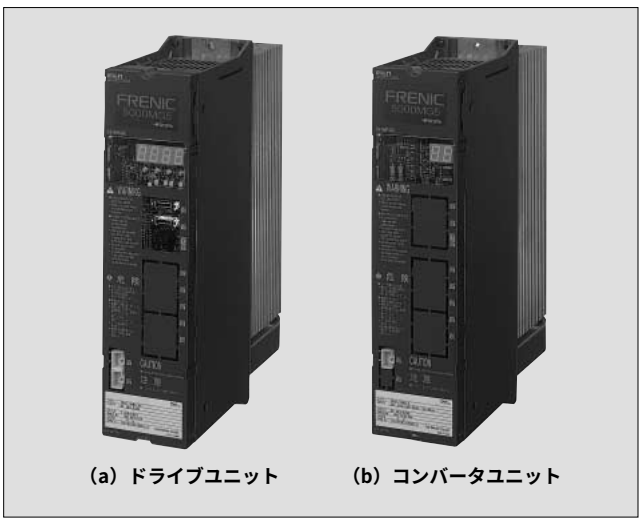
MG5 シリーズは，低損失 IGBT の採用，冷却体の最適化により大幅な小型・軽量化を実現している（従来，電源回生コンバータ＋インバータ方式であった当社同等品と比較し約 1/3 に小型化）。特に，据付け面積が小さくなっているので，盤内の収納性をよくすることができ，盤の小型化が可能となる。

(4)　優れた性能，豊富な機能

MG5 シリーズは富士電機独自のトルクベクトル制御，および AVR（Automatic Voltage Regulator）制御を採用しており，特に低速で高トルク，低回転むら特性を得ることができる。

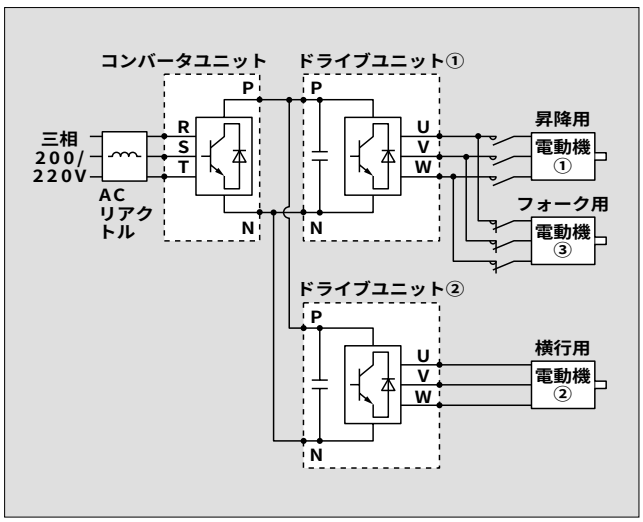
また，15段多段速度設定，Ｓ字加減速設定（２種類設定可，加速・減速別），加速・減速時間切換（６種類），ブレーキコントロール信号出力，簡易位置決め，第２電動機切換など昇降用・横行用インバータとして最適な機能を標準装備している。

図８　FRENIC5000MG5 の外観



(a) ドライブユニット　　(b) コンバータユニット

図９　立体倉庫への適用例



4.3　立体倉庫への適用例

図9にMG5シリーズを立体倉庫に適用する例を示す。図に示したように，駆動すべき電動機は昇降用，横行用，フォーク用計3台あるが，コンバータは共通で1台，ドライブユニットは昇降用と，フォーク用を兼用で使用するため2台である。また，電動機のブレーキや電動機切換用コンタクタの投入・釈放は，ドライブユニットから出力される信号をそのままリレー出力変換することで可能である。本システムでは，直流回路が共通となっているため，例えば昇降用電動機の回生エネルギーを横行用電動機の駆動エネルギーとして使用することができる。したがって，従来の制動抵抗での回生に対して省エネルギー化が図れ，かつ制動抵抗器の発熱といった問題がなくなる。また，盤ごと自走する場合には，MG5シリーズの適用で，小型・軽量化が図れる。

5　あとがき

以上，クレーン，立体駐車場，立体倉庫といった運搬機械への富士電機製インバータの適用について概要を紹介した。省力化，自動化，スピードアップといった世の中の流れの中で，運搬機械分野はまだまだ発展していく分野であると考える。その中で富士電機のインバータ群をさらに発展させ，ユーザーのシステム構築に貢献すべく，たゆみない努力をしていく所存である。

参考文献

(1)　増本英夫，中尾繁雄．クレーン用インバータ制御．港湾荷役．vol.41，no.2，1996，p.242-246.

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。