

篠原 丞 波多野 通広  
S. Shinohara M. Hatano

阪急電鉄(株)は8200系2両1編成を新造した。この車両は最新鋭のエレクトロニクス技術を駆使しており主電動機制御には個別制御の変圧可変周波数(以下、VVVFと略記)制御装置、低騒音静止型補助電源装置、ヒートポンプ型空調装置を採用している。

また、昨今の鉄道車両の課題である朝夕の混雑緩和策として混雑時だけ座席を収納する方式を採用し、体感混雑率を下げ、乗客がより快適感を得られるような施策を施した。その他、14インチ液晶モニターによるビデオ放映、文字放送(見えるラジオ)、LEDによる次駅停車などの運行案内など乗客サービスにも意を注いでいる。

Hankyu Corporation has newly built two series 8200 electric trains. Each train consists of two cars and incorporates the latest electronic technology. Among the features of these trains are an individual-axle-drive VVVF inverter system for traction motor control, a low-noise static inverter for the auxiliary power supply system, and a heat-pump type air conditioner.

Furthermore, in order to relieve passenger congestion, which has been a problem in recent train systems, the trains have been equipped with new seats that can be folded during rush hours. This reduces crowding and increases the passengers' comfort.

### 1 まえがき

阪急電鉄(株)は1988年末に8000系車両を新造し現在に至っている。

8000系はゲートターンオフ(GTO)サイリスタを使用したVVVF主制御装置、静止型補助電源装置などを搭載した当時としては画期的な車両であった。ところがエレクトロニクス技術の発展は目覚ましく、電力用半導体は高耐圧・大電流化やGTOサイリスタに変わる素子が開発され、マイクロエレクトロニクスは高集積化されている。また、これらの技術進歩から従来では構成不可能であったシステム構築も可能になり、電車に適用した場合、小型・軽量化、高性能化が実現されることになる。

阪急電鉄(株)ではこのような技術進歩を考え合わせて8200系新造車を製作することに決定した。

8200系は2両編成で他編成と増結される車両である。この車両は最近のエレクトロニクス技術を随所に取り入れ、主制御器は個別制御VVVF装置、補助電源装置はIGBT(絶縁バイポーラトランジスタ)インバータ方式を採用した。

さらに、8200系は鉄道車両の課題である朝夕の混雑緩和策としてラッシュ時だけ座席を収納する方式を採用した。

この方式の採用によって、立っている乗客の快適度を上げるために、体感混雑度の緩和だけでなく空調能力の増加策、液晶テレビの設置などの新しい試みを行った。さらに扉は1

枚当たり20cm広げ、乗降を容易にした。この新しい試みは、将来の新造車製作のモデルとしてさらに快適性を追求することにしている。

### 2 車両の概要

8200系車両は、制御電動車(Mc1)×1両と制御車(Tc)×1両を連結した2両編成の車両である。

この車両の運用としては、現存車両の4両、6両、8両の各編成に接続して使用する。基本的に8200系車両の単独運用はない。

車両主要寸法は8000系車両と同一である。ただし、性能面では冒頭に説明した個別制御VVVF装置を採用し、8両時に3M5T編成が可能な経済編成で今回のようにMT比が1の場合は、主電動機の数を3台/両で所定の性能が出せるように設計されている。すなわち将来は、4両、6両、8両の編成についても今回の車両と同系列で製作することを考慮して、付随車(T車)1に対し電動車(M車)を0.6の比となるように主電動機の数を調整する。

8200系車の主要諸元を表1に示す。

### 3 主制御装置

鉄道車両の駆動方式は従来の直流電動機駆動方式から交流

表1. 8200系車両の主要諸元

Main details of series 8200 electric car

車種	制御電動車		制御車
	Mc1		Tc
車両系列	8000		
車両形式	8200		8250
自重(t)	35.5		31.1
主要寸法(mm)	最大	長	19,000
		幅	2,750
	車体	高	4,095
		幅	2,730
定員(人)	133		133
運転性能	最大運転速度：130 km/h 加速度：2.6 km/h/s, 減速度：3.7 km/h/s		
主要機器	集電装置	○	—
	主電動機	○	—
	断流器	○	—
	制御装置	○	—
	補助電源	—	○
	空気圧縮器	—	○
	蓄電池	○	—
台車	モノリンク式ボルスタレス台車		
主電動機	三相交流かご形誘導電動機 200kW×3台/両		
制御装置	個別制御VVVF装置(電力回生ブレーキ付)		
補助電源装置	静止型IGBTインバータ装置 75kVA, AC200V, 60Hz, 三相		
空調装置	天井集約分散式, ヒートポンプ式 冷房能力：12.3kW(10,500kcal/h×4台) 暖房能力：8.73kW(7,500kcal/h×4台)		

電動機駆動方式に技術変革された。なかでも東芝は1台の主電動機を1台のインバータで駆動する“個別制御VVVFインバータ方式”を開発・量産化した。

個別制御方式の特長を次に示す。

(1) 車両内の各車軸で制御系が独立しているため、各車軸の空転・滑走量に応じた再粘着制御を行うことができ、空転・滑走発生時に加減速度の低下と乗りごこちの悪化を最小限に抑えることができる。

(2) 主電動機の個別開放ができ、1軸のインバータ故障時にも残りの健全軸で運転し、車両性能の低下を最小限に抑えられるので、冗長性に優れている。

今回は特に各車軸の独立性を利用して、大容量(200kW)の主電動機を使用、電動車の4軸のうち3軸を動輪、1軸を従輪とする経済的な個別制御VVVFインバータを製作した。

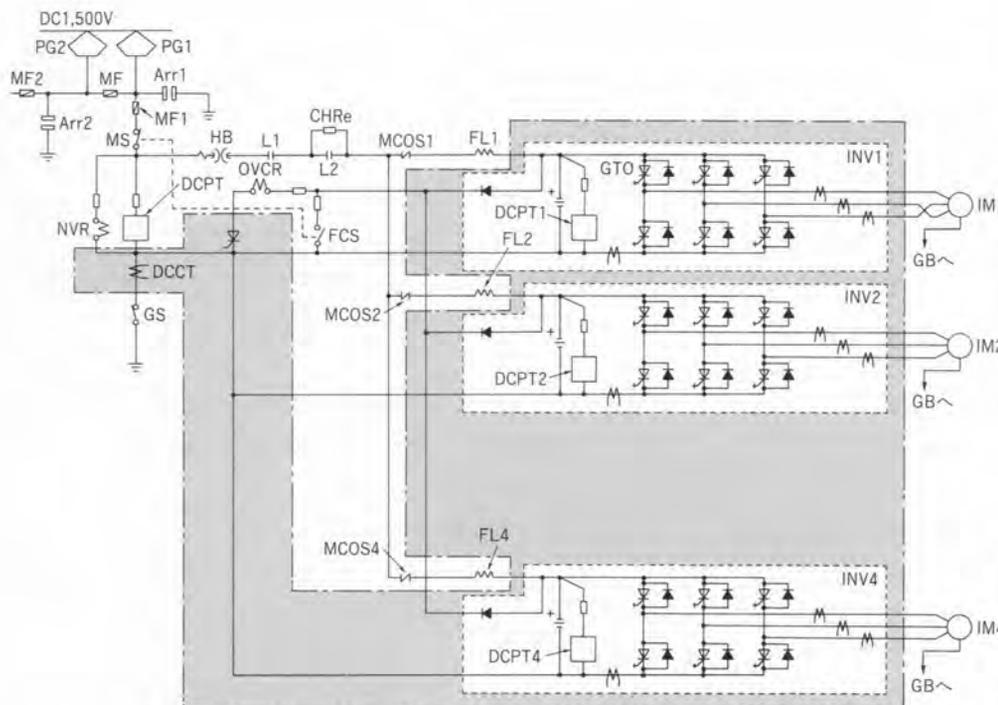
### 3.1 システム構成

主回路を図1に、インバータ装置の外観を図2に示す。システムは、断流器箱、フィルタリアクトル、VVVFインバータ装置および表示・取扱い部分を集約した補助制御箱から構成される。高速度遮断器および断流器は共通であるが、今回、台車の走行安定性を考慮し第3軸を従輪としたので、第3軸に対応する個別開放用スイッチ、フィルタリアクトル、アームユニットおよび制御ユニットは不要なため搭載していない。



図2. VVVFインバータ装置 中央が制御部、両端がアームユニットで構成している。

Individual-axle-drive VVVF inverter



PG：パンタグラフ, HB：高速度遮断器  
OVC：過電圧検出継電器  
MF：主ヒューズ, DCPT：直流電圧検出器  
CHRe：充電抵抗器, Arr：避雷器  
DCCT：直流電流検出器  
L：断流器, MS：主開閉器  
GS：接地開閉器  
FCS：フィルタコンデンサ放電スイッチ  
NVR：無電圧検出継電器  
INV：インバータ, MCOS：主電動機開放スイッチ  
GB：接地装置, IM：主電動機  
FL：フィルタリアクトル

図1. 個別制御VVVFインバータ方式の主回路 主電動機1台に対し、1台のインバータで制御している。

Schematic circuit diagram of individual-axle-drive VVVF inverter system

表2にVVVFインバータ装置の定格を示す。各動輪を軸単位で独立に個別制御が可能であり、優れた再粘着性能が期待できるため、期待粘着係数は力行時20%、ブレーキ時17%に設定した。

表2. VVVFインバータの定格  
Ratings of VVVF inverter system

架線電圧	定格DC1,500V(DC900V~1,800V)
制御容量	200kW 誘導電動機×3台
使用素子	GTO4,500V-500A×6個/インバータ
制御方式	電圧型PWM個別制御VVVFインバータ 回生優先ブレーキ方式 定速制御・軸重移動補償制御機能付
車両性能	加速度2.6km/h/s(250%乗車まで一定) 減速度3.7km/h/s(常用最大)
冷却方式	ヒートパイプ自冷式

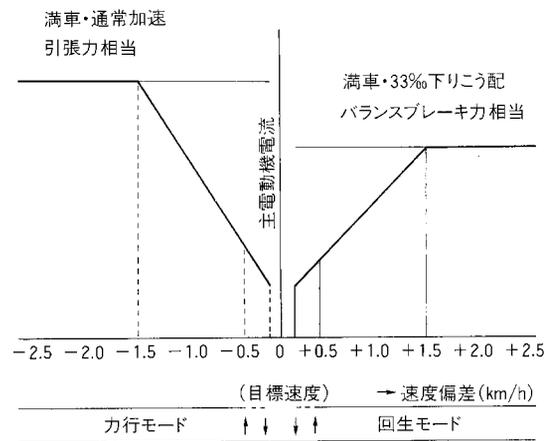


図3. 定速制御パターン 目標速度±1.5 km/hで定速制御する。  
Pattern of constant speed control

### 3.2 制御の特長

制御機能上の特長を以下に示す。

3.2.1 ユニットカット時のブレーキ制御 同一車両内のインバータが故障しユニットカット(個別開放)した場合、極力回生ブレーキを生かすため、カット数に応じた回生ブレーキ制御を行う。

- (1) 同一車両内で2インバータ(2軸)以上動作している場合、健全軸は最大期待粘着係数17%をリミット値として回生ブレーキを優先して作用させる。
- (2) 同一車両内で1インバータだけ動作の場合は、回生ブレーキはカットし、空気ブレーキに切り換える。

健全軸のブレーキ力は、例えば2インバータ動作の場合、以下の関係式①、②を満足させるようにブレーキ受量器側でブレーキ力指令のパターン制御を行う。

$$2 \times BE_e + 4 \times BE_a = B_p - BT_c \quad \dots \textcircled{1} \text{ (M車トータルの式)}$$

$$BE_e + BE_a = B_{\max} \quad \dots \textcircled{2} \text{ (ある健全軸の式)}$$

ここで、 $BE_e$ : M車健全軸(1軸あたり)の回生ブレーキ力  
 $BE_a$ : M車健全軸(1軸あたり)の空気ブレーキ力  
 $B_p$ : ユニットブレーキ力(指令値)  
 $BT_c$ : T車トータル均一ブレーキ力

3.2.2 定速制御 1パルスモード、速度53 km/h以上で定速指令時、そのときの速度を目標値として力行~回生モード自動切換えの定速制御を行う。目標速度に対する主電動機電流制御パターンを図3に示す。

3.2.3 空転滑走制御 以下の3方式を併用し、各軸個別の再粘着制御を行う。

- (1) 速度変化率検知制御 主電動機回転速度( $f_r$ )の変化率 $df_r/dt$ により空転・滑走を検知し、時定数 $\tau$ の指数関数パターンにより主電動機電流を絞り込む方式。

- (2) 速度微分リミット制御  $df_r/dt$  検知後、インバータ周波数の変化率 $f_{inv}/dt$ を実加速度以下に制限し、誘導電動機の分巻特性を利用し再粘着させる方式。
- (3) 基準速度制御 各軸(3軸)の主電動機回転速度をリアルタイムに監視し、中心値を基準速度とし、各軸速度と基準速度との偏差により空転・滑走を検知する方式。検知後の電流絞りパターンは(1)と同様とする。

## 4 補助電源装置

補助電源装置には低騒音、小型・軽量化を図ったIGBTインバータを採用した。

### 4.1 IGBTインバータの特長

IGBTインバータの特長を従来方式のGTOインバータ対比で表3に示す。

表3. IGBTインバータの特長  
Features of IGBT inverter system

	GTOインバータ	IGBTインバータ
外形寸法	100%	60%
質量	100%	80%
騒音	70 dB	62 dB
効率	90%	92%
ひずみ率	10%	5%

さらに、IGBTインバータは次の特長をもっている。

4.1.1 高性能化 制御部に高性能マイクロプロセッサを、制御演算中心部にはDSP(Digital Signal Processor)を採用し、出力電圧の安定化、蛍光灯のちらつき防止制御などの過渡応答高速化を図っている。

4.1.2 無保守化 従来の主回路用高速度遮断器を廃止

しGTO 遮断器を採用したこと、シーケンス制御部をすべて半導体化したことで7年間無保守を目ざした。

#### 4.2 IGBT インバータの定格

今回採用した IGBT インバータの定格を表 4 に示す。

表 4. IGBT インバータ定格  
Ratings of IGBT inverter

回路方式	直列分圧型三相インバータ
定格	連続
入力定格電圧	直流 1,500V
出力定格容量	75kVA
出力の種類	三相交流 4 線式
出力定格電圧	AC200V
出力定格周波数	60 Hz
出力周波数変動範囲	±1 Hz
定格負荷力率	85%(遅れ)
効率	92%
冷却方式	自然冷却(ヒートパイプ式)

#### 4.3 外観

この装置は起動装置、インバータ装置本体、リアクトルトランス箱の3箱構成である。

インバータ装置本体の外観を図 4 に示す。



図 4. IGBT インバータ装置本体 右端が制御部、左側が IGBT ユニットの構成している。  
IGBT inverter

### 5 空調装置

8200 系車の空調装置は、冒頭で説明したように収容人員増に伴い冷房負荷が増加するが、この対応のため、これまでの空調装置を1台/両増し、12.3kW(10,500kcal/h)×4台にした。

また、この空調装置はヒートポンプ式で、暖房運転もできるようにした。冷房制御は、阪急電鉄(株)と東芝で共同開発し1986年から本格採用している4段階の稼働率制御方式でよりきめの細かいサービスを行う。暖房は従来座席下に収納のヒータだけで行っていたが、座席ヒータは通常運転時の暖房を行い、出庫時にはヒートポンプ式空調装置の温風による急速暖房で車内をすばやく暖め、サービスの向上を図った。

表 5. 空調装置の定格

Ratings of air conditioner

項目	諸元
形式	天井集約分散式, RPU-3003BH 型
搭載台数	4台/両
外形寸法	2,034L×1,100W×346H
冷房能力	12.3kW (10,500kcal/h)
暖房能力	8.73kW (7,500kcal/h)
電源	三相 200V, 60 Hz
質量	240kg
圧縮機	2個/台 1.35kW 2極
室内送風機	1個/台 0.25kW 4極
室外送風機	2個/台 0.2kW 6極
冷媒	R-22



図 5. 空調装置本体 12.3kW/8.73kW ヒートポンプ式空調装置を示す。  
Air conditioner

空調装置の主要定格を表 5 に、空調装置の外観を図 5 に示す。

### 6 あとがき

阪急電鉄(株) 8200 系新造車の概要を紹介した。今後主流になるであろう個別制御VVVFインバータ装置は、システムの特長を生かして改良を加えるとともに阪急電鉄(株)の中心的存在にするよう努める考えである。東芝は個別制御システムに最新鋭の技術を折り込み、高性能化、高信頼性化、小型・軽量化に努める。

また、今後についても世の中のニーズと最新技術との整合性をとりながら、調和のあるシステムの開発に努めていく所存である。



篠原 丞 Susumu Shinohara

1958年京阪神急行電鉄(現阪急電鉄)株式会社入社。主として車両新造・改良工事の設計業務に従事。現在、鉄道本部車両技術グループ調査役。  
Hankyu Corporation



波多野 通広 Michihiro Hatano

1983年入社。車両用VVVFインバータの開発設計に従事。現在、交通事業部交通車両システム技術部主任。  
Transportation Equipment Div.