

埼玉新都市交通株式会社向け 2000系「ニューシャトル」新車用電気品

Electric Equipment of 「New shuttle」 Series 2000 Train for Saitama New Urban Transit Co., Ltd.

Recently, Saitama New Urban Transit Co., Ltd. has manufactured the series 2000 train to increase the carrying capacity to cope with the increasing number of passengers. The new series train will replace the current series 1000 train which has been operating for more than 20 years.

The series 2000 train is constructed of converter, inverter, and induction motor which are made of new technologies. The series is manufactured of six cars formation, and has two units configured as three cars a single unit.

Each unit has one converter, one inverter and three motors connected in parallel to provide compactness of the equipments. Moreover, this guarantees advantageous system in unit price and maintenance.

TOYO DENKI SEIZO K.K. has delivered the main control unit (C/I), traction motor, auxiliary power unit, power collection equipment, and master controller for the series 2000 train.

This report describes in details.

畠山 卓也

Takuya Hatakeyama

久保 徹之

Yoshiyuki Kubo

山口敏弘

Toshihiro Yamaguchi

1. まえがき

このたび埼玉新都市交通株式会社では近年増加傾向にあるご乗客に対応するための輸送力増強と、現在車歴20年を越える現1000系の後継となる新系列車として2000系を製作した。埼玉新都市交通株式会社では2000系を計画するにあたり社外の識者を交えた車両検討委員会を設置し、ニューシャトル全体につきあらゆる角度からの検討を加え、本電気品も委員会の検討結果に基づき最新の車両技術を取り入れ、主制御器としてはコンバータ/インバータ方式が採用された。

その結果、ご乗客に優しく（バリアフリー、車幅を拡大、良好な乗り心地）、保守をする方に優しく（主電動機のブラシレス化）、また変電所に優しい（コンバータによる電源波形の低歪み化、高力率運転）車両となった。

また2000系は最初から6両固定編成で製作されるため3両を1ユニットとし、それが2ユニットで編成される。1ユニット当たりは1コンバータ・1インバータ・3個モータ並列接続として機器の集約を図りコスト面、保守面で有利なシステムとなっている。

図1に2000系ニューシャトルの外観を示す。



図1 2000系ニューシャトル外観（埼玉新都市交通㈱ご提供）

Fig.1 New Shuttle Series2000

2. 車両緒元

1000系では当初4両編成と6両編成が混在したため、2両1ユニットで製作されていたが、2000系では6両固定のみのため（M1+M2+M3）+（M4+M5+M6）の2ユニットで編成される。

M1, M6に補助電源装置, M2, M5に主変換装置（C/I）そして左右2組の集電装置, M3, M4に遮断器そして左右1組の集電装置が配置される。M2とM3, M4とM5の集電装置はそれぞれ並列に接続され、常に1ユニットは3台の集電装置から集

電される。

主電動機はM1～M5ではM6方向の台車を駆動しているがM6だけは、ぎ装の関係でM5側の台車を駆動している。なおニューシャトルは大宮方がループ線であるため従来と同様方向区分はしていない。

現1000系と2000系の車両緒元比較を表1に示す。

表1 車両緒元比較

Table 1 Features of New Shuttle

		2000系	1000系
全長(mm)		8000	
車体長(mm)		7550	
車体全幅(mm)		2480	2300
車体全高(mm)		3240	3190
車体材質		ステンレス鋼	SS鋼材
車両質量	先頭車	11.8t	10.8t
	中間車	11～11.1t	10.5t
定員	先頭車	52～49名	59名
	中間車	68～66名	70名
き電方式		三相交流600V 50Hz 3線鋼体架線(非接地)	
制御方式 装備数		コンバータ/インバータ式 2台/編成	サイリスタ可逆レオナード式 3台/編成
主電動機 装備数		誘導電動機 125kW	直流電動機 100kW
		6台/編成	
台車		個別案内方式	操向ロッド方式
集電装置		6台/編成片側 ユニット3台並列	6台/編成片側 ユニット2台並列
最高運転速度		60km/h (設計70km/h)	60km/h
加速度		0.97m/s ² (3.5km/h/s)	
減速度		常用0.97m/s ² (3.5km/h/s) 非常1.25 m/s ² (4.5km/h/s)	
マスコン制御段数		力行3段, 制動5段	力行3段, 制動4段
補助電源 出力1 出力2 装備数	出力1	DC100V(安定化) 5kW	DC100V(安定化) 4kW
	出力2	3φ 200V 25kVA	3φ 200V 16kVA
		2台/編成	3台/編成
蓄電池		焼結アルカリモブロック補水式	
容量 装備数	容量	40Ah	30Ah
	装備数	2台/編成	3台/編成
空気圧縮機 装備数		レゾナンス式 C1000 2台/編成	レゾナンス式 C400 6台/編成
列車保安装置		高周波連続誘導式 ATC (二重系構成)	
列車情報装置		設置あり	設置なし
パリアフリー設備		法令遵守	設備なし

本車両は長期にわたり増備される予定であり、陳腐化を防ぐ意味からも将来を見据えた車両設計をしている。その一つは最高速度を70km/h走行が可能な性能としたこと、その二つはATO自動運転化にも対応できる準備を施していることである。

3. 主回路構成

従来車のサイリスタ可逆レオナード方式は、回路がシンプルで損失が少なくサイリスタの冷却も自冷で構成できたが、主電動機は直流機で保守に手が掛かった。また車両の低速域での電源力率が悪い、電流に高調波を多く含む等、電力系統にとっては最良のシステムではなかった。

2000系の新製に際しては高性能化、高調波の低減、保守の軽減などを目的として、主制御器は三相のコンバータ/インバータ(以下C/Iとする)方式を採用した。また製作コストの低減を図り1台のインバータで3台の誘導電動機を並列駆動する方式を採用している。ゴムタイヤを使用した新交通に1インバータ・複数個モータ並列駆動方式は、荷重差等でゴムタイヤの動荷重半径の差が大きくなり問題があると考えられていたが、十分なシミュレーションを行い、モータに対しても許容範囲であることを確認して採用した。

図2に力行と回生の速度特性曲線を、図3に主回路を示す。

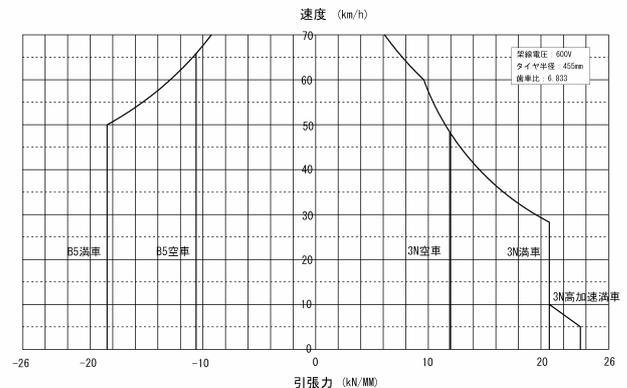


図2 力行、回生速度特性曲線(代表値)

Fig.2 Powering, Regenerative break
Characteristic curve

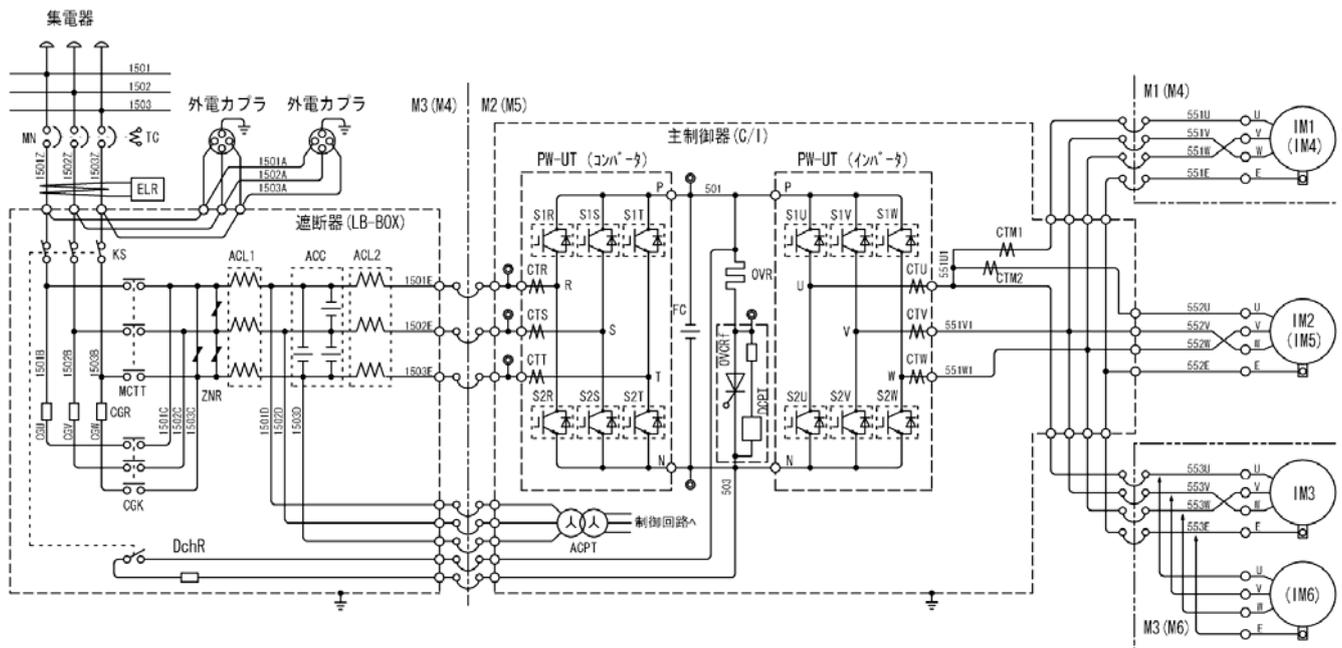


図3 主回路図

Fig.3 Traction power circuit schematics

4. 構成機器

4.1 主制御器 (RG697-A-M)

コンバータユニット (Cov-UT), インバータユニット (Inv-UT), 直流フィルタコンデンサ (FC), 制御アンプから構成されている。大容量の IGBT を使用した Cov-UT と Inv-UT は同一のユニットを使用し標準化を, また FC にはフィルムコンデンサを使用し長寿命化を図った。

制御アンプは今回新たに設備された列車情報装置と状態情報伝送を行う。また将来 ATO 装置との制御伝送が出来るようにハードは準備されている。

図4に主制御装置の外観を示す。



図4 主制御装置外観

Fig.4 Main controller

4.1.1 コンバータユニット

125kW の主電動機3台を制御する容量を有しており, IGBT は高いスイッチング周波数で動作させているため従来のサイリスタレオナード方式に比べスイッチング損失が多く, 床下

のぎ装スペースの関係で小型化が絶対条件のために強制風冷方式としている。

コンバータの制御はデジタル制御回路に最適な制御方式を採用し, 安定した系を実現している。

表2にコンバータ部の仕様を示す。

表2 コンバータ仕様

Table 2 Specification of converter

主回路方式	IGBT 電圧形2レベル PWM コンバータ
素子構成	1700V 1200A 1S1P6A
制御方式	定キャリア方式
キャリア周波数	1.5kHz
入力	400~600V (3φ 50Hz)
電源歪率	5%以下
電源力率	95%以上
定格出力電圧	DC900V
定格出力電流	650A
素子冷却	強制風冷

4.1.2 インバータユニット

1台のインバータで3台の主電動機を一括制御している。ユニットはコンバータと同じユニットを使用して構成し, 制御アンプもハード的には同一である。素子の冷却はコンバータと同様に強制風冷としている。

制御はベクトル制御とし回転速度を演算により算出する速度センサレス制御を行い応答性の高い、高精度の制御を行っている。またPWM制御は応答性と低速度域の低騒音化を目的に非同期モードのキャリア周波数を高く設定し、またパルスの切換わりを非同期→9パルス→1パルスとすることにより、パルスモードの切換わりの音色の変化を極力少なくした。

1000系では機能がなかったが2000系では定速度運転機能を採用した。新交通システムでは走行抵抗が大きいために惰行で運転される状態は少なく、低トルクをかけた定速度運転を多用する。このような運転状態のとき、インバータは出力電圧を下げ鉄損、励磁分電流などを少なくする省エネルギー運転を行う。

表3にインバータ部の仕様を示す。

表3 インバータ仕様
Table 3 Specification of Inverter

主回路方式	IGBT 電圧形2レベルPWMインバータ
素子構成	1700V 1200A 1S1P6A
制御方式	速度センサレス瞬時値ベクトル制御方式
定格入力電圧	DC900V
定格出力電圧	AC700V
定格出力電流	400A
素子冷却	強制風冷

4.2 遮断器 (SA138-A-M)

CI装置の主接触器、試験解放スイッチ、交流フィルタ等を取納した装置である。交流フィルタはコンバータの低歪制御により、またフィルタリアクトルは開放部分に配置し走行風による冷却を考慮し小型、軽量化を図った装置になっている。

表4に遮断器の仕様を、図5に外観を示す。

表4 遮断器仕様
Table 4 Specification of circuit breaker

主接触器	定格電圧：600V 3φ 50Hz 定格電流：800A
試験解放 スイッチ	定格電圧：600V 3φ 50Hz 定格電流：800A 直流フィルタコンデンサ放電接点付き
交流フィルタ	定格電圧：600V 3φ 50Hz 定格電流：330A 連続 冷却：リアクトルは走行風自冷
抵抗器	直流フィルタコンデンサ充、放電抵抗



図5 遮断器外観
Fig.5 Circuit breaker

4.3 補助電源装置 (S4389-A-M)

直流負荷に安定した100Vと、三相交流600Vをそのまま200Vにトランスで降圧して出力する。

直流100Vはサイリスタにより定電圧化し、ATC装置など重要な装置の電源となるためバッテリーでバックアップし、通常はそのバッテリーの充電も行う。編成間は引き通され二重系の構成となっている。

表5に補助電源装置の仕様を示す。

表5 補助電源装置仕様
Table 5 Specification of Auxiliary power supply

入力	550V 3φ 50Hz	
出力1	定格容量	5kW
	定格電圧	DC100V
	定格電流	50A
	方式	サイリスタ位相制御による定電圧制御
出力2	定格容量	25kVA
	定格電圧	3φ 200V
	定格電流	72A
トランス方式	乾式 自冷 F種絶縁	

4.4 主電動機 (TDK6450-A)

三相かご形誘導電動機で車体装荷され駆動軸を介して台車内の差動歯車を駆動している。全ての電動機には伝動側にはね圧による駐車ブレーキを備えている。

主電動機内に侵入した水や塵を、外枠下部に設けたダクトと冷却ファンの排圧を利用して外部に自動排出する構造としたこと、軸受け構造にグリース給油方式を採用し分解せずに給油を可能としたこと、誘導電動機であること等で保守の大幅な軽減が図られている。

制御は速度センサレス制御を行っているが、ATC装置車速信号用速度発電機2台を主電動機に組み込んだ機種を編成に付き1台、および運転台の速度計用パルス発生器を1台組み込んだ機種を編成に2台、いずれも組み込んでいない機種を編成に3台の組み合わせになっている。

表6に主電動機の仕様を、図6に主電動機の外観を示す。

表6 主電動機仕様

Table 6 Specification of Traction motor

方式	三相かご形誘導電動機
駆動方式	車体装荷直角カルダン軸駆動方式
通風方式	自己通風
定格	1時間
出力	125kW
電圧	700V
電流	133A
周波数	55Hz
極数	4
回転速度	1610min ⁻¹
すべり	2.4%
効率	91.5%
力率	85%
回転速度センサ	種別1：なし 種別2：誘導形速度発電機2台付き 種別3：無電源 W パルスセンサ1台付き



図6 主電動機外観

Fig.7 Traction motor

4.5 集電装置 (PT66-A)

三相入力の新交通用としての標準品で1000系で実績のあるタイプである。1000系では1ユニット当たり2台並列で集電しているが、2000系では1ユニット3台並列集電に変更し1台当たりの集電電流は変えず、同時に離線の発生も防止している。すり板は減摩剤入り焼結合金でこれも従来と共通である。

4.6 主幹制御器 (ES9224-A-M)

ブレーキノッチを従来の4段から5段に増やし、より細かいブレーキ操作を可能とした。また従来のハンドルは一本の棒の先に球形の握りが固定されていたのでノッチの位置により手首に無理が掛かっていた。またデッドマンスイッチも手のひらで押し切るタイプのため余計に手首に無理が掛かった。今回は逆L形の握りに変更し、どのノッチ位置でもリンク機構により手と平行を保つため、ごく自然な手首の動きになった。

表7に主幹制御器の仕様を示す。

表7 主幹制御器仕様

Table 7 Specification of Master controller

ハンドルタイプ		前後移動ワンハンドルタイプ (平行リンク式) 前後進切替ハンドル組み込み
ステップ数	非常制動	1段
	制動	5段
	切	1段
	力行	3段
デッドマン		ハンドル握り込み

5. むすび

今回1000系の後継として2000系が新造された。本車両は現状考えられる最新の技術を駆使して作られた車両であり、当社担当の機器も最新技術が投入された装置になっている。

今後2年ぐらいいは1編成だけの運用なので2000系のメリットがあまり表面に出るはこないと思われるが、順次増備されるにしたい「ご乗客に優しい、保守員に優しい、変電所に優しい」特長が発揮できるものと期待している。

最後にこの2000系の車両電気品の完成に多大なるご指導を賜った埼玉新都市交通株式会社、ご協力頂いた関係メーカ各位に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- (1) 近藤栄作, 広瀬明彦, 奥山直樹, 飯田哲史, 野村英児, 田中孝佳, 水之江昭二: 「新交通用コンバータ/インバータ現車試験報告」東洋電機技報第101号, 1998年5月, p28-33

執筆者略歴



畠山 卓也

1985年入社。現在交通事業部交通工場制御設計グループにて走行システム設計に従事。電気学会会員。



久保 厳之

1992年入社。技術研究所, 鉄道設計部, 鉄道品証部を経て現在交通事業部交通工場制御設計グループにて電源システム設計に従事。



山口 敏弘

2004年入社。生産本部交通工場設計グループを経て現在交通事業部交通工場電機設計グループにて車両用電動機設計に従事。