

馬場 良直  
Y. Baba

宮崎 玲  
A. Miyazaki

新田 一彦  
K. Nitta

人口 1,200 万人のエジプト カイロ市も、世界の大都市の例に漏れず、自動車による深刻な交通渋滞が恒常化している。道路渋滞解消の切り札として、地下鉄の整備が急がれており、すでに開業している 1 号線に引き続き、2 号線の建設が進んでいる。当社は、1992 年に 1 号線用電車 90 両分の電気品を受注したが、さらに 2 号線用電車 90 両分の電気品を受注した。2 号線は ATO(列車自動運転装置)を採用した先進的な地下鉄システムであり、その車両には VVVF(可変電圧可変周波数)インバータによる誘導電動機駆動をはじめとする進んだシステムが搭載されている。また、車両と地上システムとを無線でリンクし、車両搭載機器の動作状況を地上で監視し、さらに、自動仕業検査、検査・修繕後の機能確認試験の結果も地上の車両保守支援システムへ伝送され、迅速・正確な車両保全システムを構築している。

The Egyptian city of Cairo, with a population of 12 million, has been suffering from daily traffic congestion like other large cities throughout the world. The construction of subways is now being promoted in order to solve this serious urban problem. Line 1 has been opened and is in operation, and Line 2 is currently under construction.

Following a contract for the supply of electrical equipment sets for 90 cars for Line 1, Toshiba successfully concluded a new contract to supply electrical equipment for 90 cars for Line 2. Line 2 is a modern subway system with automatic train operation (ATO). The cars for Line 2 are also equipped with technically advanced systems such as inverter-controlled AC motor drives. Furthermore, the train communication network is connected with ground systems by microwave beacons. The operating conditions of the on-board equipment are monitored by the central train control system, and the health check results of on-board equipment are automatically transmitted to the ground-based maintenance systems to aid in car maintenance work.

### 1 まえがき

5,000 年の歴史を誇るエジプトの首都カイロは、人口 1,200 万人を数えるアフリカ最大の都市であり、恒常的な道路渋滞が生じている。この深刻な交通渋滞の解消のため、大量輸送システムとして地下鉄の建設が進んでいる。地下鉄網は現在計画中の路線も含め 3 路線からなり、今回受注した車両用電気品は、現在 NAT(National Authority for Tunnels : エジプト地下鉄建設公団)による建設が進む、2 号線用電車 90 両向けである。

2 号線は、市内北部の人口密集地区のショブラからナイル川をくぐり、ナイル西岸のギザに至り、全長は 18.5 km、駅数は 17 駅である。南北に延びる既設の地上 2 路線(直流 1,500V 架線)を、長さ数キロのトンネルで結んだ 1 号線と異なり、2 号線は直流 750V 第 3 軌条き電、全長 18 km で、ATO も導入した本格的な地下鉄システムである。

車両用電気品も、ハードウェア面では VVVF インバータ

による誘導電動機駆動システムの採用、ソフトウェア面でも、運転開始前の自動検査結果、営業運転時の故障発生情報、車両基地での検査・修繕後の機能確認試験データを、GBMS(Ground-Based Maintenance System : サーバ、ワークステーション、ターミナルなどから構成されるデータベースを基本とする保守支援システム)とリンクするなど、総合的な車両保守作業の軽減を図っている。GBMS へのデータ伝送は車両ビーコンと地上ビーコン(車両基地内、および終端駅に設置される)は無線で、地上ビーコンと GBMS 間は LAN で行う。

さらに、待避線のないトンネル内での高密度運転を予定しているため、車両機器単体の信頼性を高めることはもちろん、主要なシステムはすべて冗長性をもった構成とし、定時運転の保持を旨としている。

したがって、わが国の同様のシステムと比較すると過剰な面もあるが、これも彼我の車両運用、車両保守に対する考えかたの違いと言えよう。



図1. カイロ地下鉄2号線電車 将来は8両編成となるが、1996年8月の開業時は6両編成で運転される。

Cars for Cairo Subway Line 2

## 2 車両概要

車両の外観は図1に示すとおり、窓が大きく、車側にはオレンジと紫色の帯が走るなど、明るい印象を与えている。車両諸元を以下に述べる。

- (1) 車両編成 8両編成(電動車6両、付随車2両:6M2T)。ただし、4両を固定編成の基本ユニットとし、4両目と5両目には簡易運転台を設けて車両基地での編成作業を容易にしている。また、開業当初は6両の電動車だけで運行される。
- (2) 車両長 17 m
- (3) 軌間 1,435 mm
- (4) き電電圧 直流750V(第3軌条)
- (5) 最高速度 80 km/h
- (6) 加速度 2.3 km/h/s
- (7) 最大減速度 3.96 km/h/s
- (8) 列車制御 ATO

## 3 駆動システム

駆動システムは各電動車で独立した構成となっており、1車両当たり4個の誘導電動機を4台のVVVFインバータで個別に制御する“個別モータ制御方式”を採用している。個別モータ制御方式は、インバータ/モータ単位での開放が可能であるため、機器故障時に車両性能の低下を最小限にとどめての運転継続が可能である、空転時の再粘着性能に優れている、電磁誘導障害が少ない、装置が小型となる、などの特長をもっている最新の電車で駆動システムである。

VVVFインバータにはATO、あるいは運転台のマスコン(主幹制御器)により選択された運転モードが指令される。この指令は、ATO運転の場合、主電動機のトルクを指定する

127段階のデジタル信号で指令されるが、マスコンの場合も、アナログ信号を、同じく127段階のデジタル信号に変換している。運転台に搭載された中央装置からVVVFインバータへの信号伝達には、RS485をプロトコルとするデジタル伝送が用いられ、インバータなどの機器のモニタリング情報と伝送線を共用しているため、編成車両間の引き通し線の本数も削減できた。

表1にVVVFインバータの仕様、図2にインバータ装置の外観を示す。

表1. VVVFインバータ仕様

Specifications of VVVF inverter

架線電圧	定格DC750V(DC500~900V)
制御容量	115kW誘導電動機×4台
使用素子	GTO 4,500V-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
冷却方式	ヒートパイプ自冷式

PWM: Pulse Width Modulation



図2. VVVFインバータ 日本国内で使用されている標準型VVVFインバータとほぼ同じ仕様。

VVVF Inverter for propulsion

VVVFインバータの構造は、ヒートパイプによるGTO(Gate Turn Off)サイリスタの自然冷却、4個のインバータの1箱構成、1相ごとのユニット化など、これまでの個別モータ制御インバータを踏襲しているが、カイロの自然環境(高い周囲温度、細かな砂)を考慮し、熱的な余裕度を大きくとる、防塵を強化する、などの対策をとっている。

## 4 補助電源システム

補助電源システムは、8両編成中4両を基本ユニットとして構成されている。4両の基本車両ユニットに補助電源として2台の38kWのDC/DCコンバータが搭載され、片方のコンバータが故障しても他方のコンバータで営業運転が継続できる設計となっている。

DC/DCコンバータに入力された第3軌条からの直流750V電力は、330Vおよび100Vの直流電力に変換される。直流330Vはトランジスタインバータにより220V三相交流

に再変換され、空気ブレーキ用コンプレッサを駆動する。一方、直流 100 V は灯具(インバータ・バラスト内蔵蛍光灯灯具)、バッテリー充電、VVVF インバータの制御電源などとして使用されるほか、一部がやはりトランジスタインバータで三相交流に変換され車内換気ファンの駆動に用いられる。

## 5 車両情報・制御伝送システム

車両情報・制御伝送システムは、車両電気機器のモニタリング機能に加えて、運転指令伝送機能を持ち、さらに、運転開始前の自動検査結果、営業運転時の故障発生情報、車両基地での検査・修繕後の機能確認試験データを、ビーコンによる無線、地上 LAN 経由で GBMS に伝送する。

また、このように多くの重要機能が要求されるため、このシステムは待機二重系となっている。

### 5.1 ハードウェア構成

車両情報・制御伝送システムは、図 3 に示すように、両運転室に中央装置、表示装置、伝送変換装置を、各車両に端末装置を搭載する。また、各先頭車から 2 両目には、地上システムへデータ伝送を行う車上ビーコンを搭載している。図 4 に中央装置、端末装置、表示装置の外観を示す。

中央装置には 32 ビット CPU を使用しており、ATO 装置、およびマスコンなどの運転機器からの列車運転指令が入力される。一方、端末装置には、16 ビットの CPU を使用しており、VVVF インバータ、ブレーキ制御装置、DC/DC コンバータ、ドア制御装置など、単一車両内の機器の状態情報が取り込まれる。

これら中央装置と各端末装置の間のトレインバス(車両間伝送)には、伝送速度 100 Kbps の FSK(周波数変調)方式を、また、端末装置と VVVF インバータなど車載機器との間のビークルバス(車両内伝送)には、マルチポイント伝送が



図 4. 中央装置、端末装置、表示装置(車両情報制御システム) 中央装置には 32 ビット、端末装置には 16 ビットの CPU が使用されている。

Driving computer, car computer, and display Unit

行える RS485 方式(伝送速度 9,600 bps)を採用した。

表示装置はタッチパネル付き EL ディスプレイで、表示内容は中央装置から伝送変換装置を経由して入力される。この伝送にも車両内伝送と同様に RS485(9,600 bps)の伝送を用いている。また、後位側中央装置がバックアップしている場合でも先頭運転台での表示を確保するため、列車前後の伝送変換装置間にも、FSK(9,600 bps)の伝送路を準備している。

ビーコンは、1.2 GHz のキャリア周波数を用いた微弱電力の無線データ伝送システムである。車上ビーコンは、地上ビーコンに 19.2 Kbps の伝送速度で車両情報を送出する。

地上ビーコンは、この情報を LAN を経由して車両基地の GBMS に転送する。

### 5.2 車両情報・制御情報

車両情報・制御伝送システムのハードウェア構成は上述のとおりであるが、このシステム構成に基づき、以下の車両情報、制御情報を管理する。

- (1) 運転指令データ ATO 車上装置、または運転台のマスコンから、列車の運転のための力行/ブレーキの制御指令が中央装置、トレインバス、各車両の端末装置、

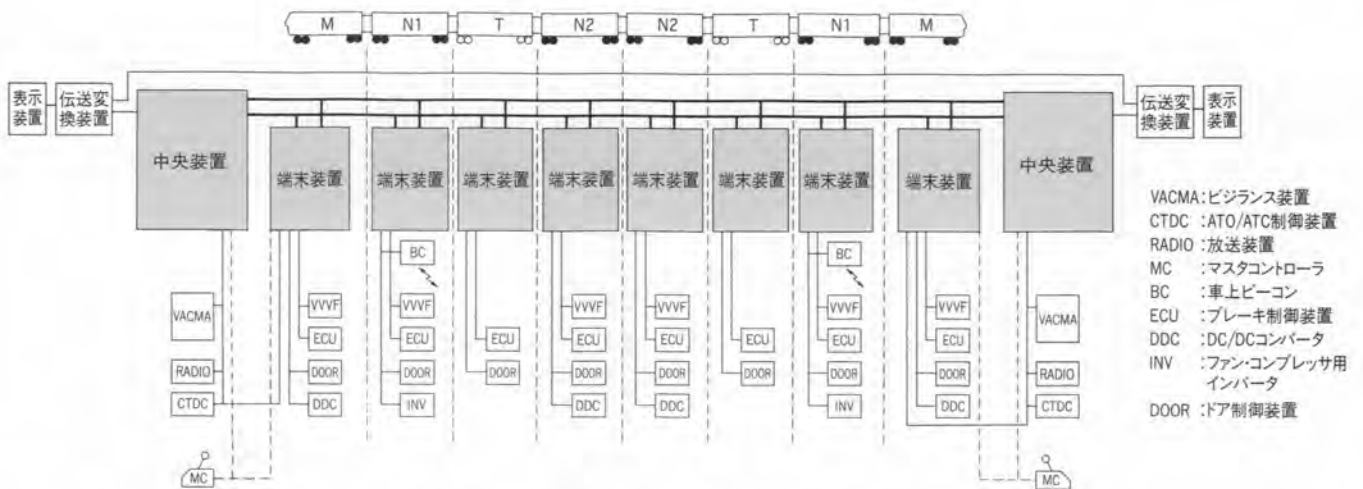


図 3. 車両情報システムの構成 車両間伝送路、中央装置、端末装置は冗長性を確保するため二重系となっている。  
On-Board information system (OBIS)

ピークルバスを經由して、VVVF インバータ、ブレーキ装置へ伝送される。

- (2) 列車運行データ 列車運用番号、走行距離、故障発生時の機器状態データなどの列車の運転状態情報が、終端駅のビーコンを經由して GBMS に伝送される。
- (3) 運転記録 運転モード、速度、距離情報などの列車の運転記録は、データカセットに記録され、運転管理、および解析に使われる。
- (4) 故障記録 VVVF インバータなどには、故障発生時にその前後の詳細な動作データを記録するロギング機能があり、この詳細故障情報はこのロガーから、ピークルバスを經由して伝送され、端末装置に接続されるパーソナルコンピュータに読み出され、故障解析に利用される。
- (5) 故障重大度 車両搭載機器が故障した場合、中央装置がその故障の列車運行に与える影響度を判定する。判定された運行への影響度は、終端駅に到着した時点で、ビーコンを經由して運転指令所に送られる。
- (6) 試運転データ 車両検査・修繕後の試運転の際の、加速度、減速度、消費電力量などの性能試験データである。車両基地内の試運転線に設置されたビーコンを經由して、同じく GBMS に送られ、車両保守データとして管理される。
- (7) 車両検査・修繕試験データ 毎日の作業検査データと、検査・修繕後の機能確認検査データとがある。いずれも各装置内の自己診断機能 (BITE: Built-In Test Equipment) により実施され、結果は車両基地内ビーコンを經由して GBMS に送られ、管理される。
- (8) 前 3 分間データ 現時点から前 3 分間の速度などの

走行データであり、中央装置内のバッテリバックアップ RAM に記憶されている。中央装置のシリアルポートから読み出し可能である。運転、事故の解析に使用される。

図 5 に以上の車両情報のフローを示す。

### 5.3 システム冗長性

以上の高機能と同時に、高いシステム信頼性を実現するために、システムには次の冗長性をもたせた。

- (1) 中央装置 中央装置は、通常前位側の中央装置が“親”となり、列車制御を統括するが、万一、前位側の中央装置がダウンした場合、後位側の中央装置が“親”機能を引き継ぐ。また、表示情報も後位の中央装置から、前位側の表示装置へ送られる。さらに、両中央装置がダウンした場合でも、先頭車両の端末装置が列車制御機能を受け継ぎ、列車の運行機能を確保できる。
- (2) 端末装置 各端末装置は、待機二重系を構成している。すなわち、1 台目がダウンした場合には、2 台目がバックアップし、端末機能を維持する。
- (3) 車両間伝送 車両間伝送路は二重系となっている。

## 6 あとがき

当社は、30 年以上前にカイロの郊外のヘリオポリスに市電を納入して以来、アレキサンドリア市、カイロ市に同様の市電を 1,000 両以上納入してきた。さらに、1992 年にはカイロ地下鉄 1 号線用電車 90 両分電気品を受注した。

今回の受注は、これらのエジプト電車市場における実績を踏まえてのものであるが、カイロ地下鉄 2 号線は、車両はもちろんのこと、列車制御システム、信号システム、車両保守設備などに最新のシステムを採用した高度な地下鉄システムを目標としている。世界に誇れる地下鉄を建設し、カイロの交通渋滞を解消したいというカイロ市民の期待を裏切ることなく、さらに、今後の 2 号線延伸計画、3 号線計画のモデルとなるよう関係各社とも力を合わせ、このプロジェクトを成功させたいと考える。

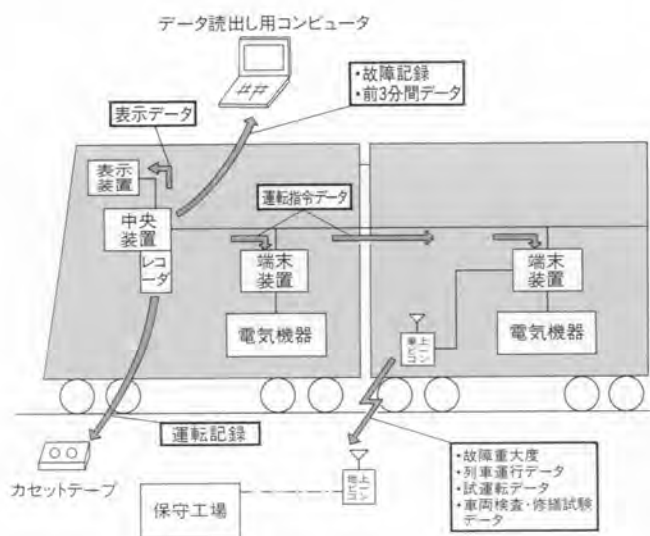


図 5. 車両情報システムによる列車情報の流れ 各種列車間情報は、ビーコン、データ読み出し用コンピュータ、カセットテープにより地上側へ伝達される。

Flow of train information



馬場 良直 Yoshinao Baba

1980 年入社。交通車両システムの技術業務に従事。現在、交通事業部交通車両システム技術部課長。Transportation Equipment Div.



宮崎 玲 Akira Miyazaki

1982 年入社。交通車両主回路システムの設計に従事。現在、府中工場車両システム部主務。Fuchu Works



新田 一彦 Kazuhiko Nitta

1984 年入社。交通車両情報システムの設計に従事。現在、府中工場交通システム部主務。Fuchu Works