

ウクライナ キエフ市地下鉄 － 車両の更新工事 －

生産本部 技術部



図1 完成車両外観

1 はじめに

地球環境が変化するなかで先進諸国を中心とした世界的な規模での地球温暖化を抑制する動きが浸透しつつある。このような背景のもと当社はウクライナにおける電力消費量の低減とCO₂排出量の削減を目的とした車両更新工事のプロジェクトに参画した。

本案件は、「京都議定書第17条に基づく排出量取引の施行に伴う資金を、温室効果ガスの排出量削減を含む環境対策に使用する」という条件下で日本の技術が採用されたものである。

当社は、旧ソビエト連邦製の電車の床下機材を、電気効率の面で経済性に優れた日本製の主回路機器と補助電源装置、そして独製のブレーキ装置の各機器に取り替える工事の設計業務を2013年4月に受注した。

2014年9月現在、初ロットの改造車両が営業運転を開始している。

2 設計業務の沿革

当社では伊藤忠商事株式会社殿からウクライナ国キエ

フ市地下鉄公団（以下 キエフメトロ）向けの電気品・ブレーキシステム更新に伴う床下機器配置ならびにシステムインターフェースに関わる設計業務を受注した。

本案件はキエフメトロ1号線にて運用されている経年40～50年を経た旧ソビエト連邦製の車両95両分の電気品・ブレーキ装置を、日本製機器を中心としたシステムに更新する工事で、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）とウクライナ環境投資庁（SEIA）が交わしたグリーン投資スキーム（SEIAに対してNEDOが支払った温室効果ガス排出枠購入代金を本案件の契約代金の支払いに充当）に基づく事業として実施されたものである⁽¹⁾。

本件は総合車両製作所として初めての海外エンジニアリング案件の受注であり、日本の鉄道車両関連メーカーとしても初めてのウクライナ国向け案件である。

図2はキエフメトロの地下鉄路線図である。この図はキエフメトロの公式ホームページより転載したものである。キエフ市では現在3路線が運行されている。赤いラインが1号線で更新工事を施した車両の運行路線である。



© 1960-2014 Kyiv Metro CE. All right reserved.

図2 キエフメトロ路線図⁽²⁾

1号線は18駅、22.7km、運転時分はおよそ片道40分である。

が特筆すべき点である。当社分を含めた工事全般の作業分担について表1に示す。

3 本案件における当社の担当業務

改造車は、内装および電機品・空制品を含めて製造後40～50年を経たものであり、各所の老朽化が著しかった。そのため、構体のみを補修・流用し、その他の装置についてはすべて更新することとなった。

そのうち、主電動機を含む主回路装置、補助電源装置、ブレーキ装置、モニタ装置を日本側の手配で供給することになり、これらの装置のぎ装機器配置、ツナギ検討、システム間インターフェース、改造作業に供するための配管、配線図の作成と、日本側からの納入機器の車両への据付施工要領の作成を当社が受注した。

また、改造初編成のぎ装施工指導と日本側からの納入機器の現地性能確認に際する試験計画立案と試運転における指揮をとりおこなった。これらの設計検討や指導作業に加え、日本側メーカー間の調整やウクライナ側との設計会議の進行や仕様確定に向けた日本メーカー各社とウクライナ側との文書のやり取り窓口としての役割も担った。

このように、設計作業にとどまることなく、車両メーカーならではのノウハウに基づいた調整力を発揮したこと

表1 本案件の作業分担

案件履行に関わるマネジメント 日本メーカーに対するサポート	伊藤忠商事株式会社殿
主回路装置の設計、納入 モニタ装置の設計、納入	三菱電機株式会社殿
補助電源装置の設計、納入	富士電機株式会社殿
ブレーキ装置の設計、納入	独・クノール プレムゼ社殿
上述装置のぎ装設計、システム設計ならびに据付施工要領の作成 作業指導および検査・コミッションングのコーディネート	総合車両製作所
上述以外の装置（ドア、保安装置等）の購入手配 改造工事の施工	ウクライナ・クリュコフ社
技術面の承認	ウクライナ・ウクリニフ社



図3 改造前の外観（5両編成）

4 改造後の車両システム

4.1 概要

電源はDC825Vの第3軌条方式、車両は5両編成の3M2TでTc-M-M'-M-Tcの車種構成とした。要求仕様により、Tc車の入れ替え、M系車両は同一車種間での方転と入れ替えが可能となっている。よって、電車としての編成、運用管理の概念が日本とは異なり、あまり例のない考え方で、むしろ日本の気動車における編成、運用管理に近い。

表2に車両の主要諸元を示す。キエフメトロ内の高頻度運転に供せるよう、加速度は 1.2m/s^2 、減速度は 1.1m/s^2 を設定している。

台車はクリュコフ社で新製されたボルスタ式空気ばね台車を採用している。特記事項としてエアサスペンション化したことが挙げられる。M、M'車の主電動機は三相かご形誘導電動機（自己通風型）を搭載した。

地上部分を走行する区間では、真冬になると車両の屋根部のダブルルーフ側面に設置された換気用のよろい戸から粉雪が入って車内に舞っている情景が見られる。

4.2 主回路装置

各M車にVVVFインバータ装置、フィルタリアクトル、HSCB、ブレーキ抵抗器、主電動機、主断路器を配した。制御は1C2Mの2群を適用し、万一の不具合時における冗長性を確保したものとなっている。

主電動機の形状は、従来の直流電動機の取り付けに合わせ、かつ配線の接続は、ツナギ箱方式からコネクタ方式に見直されメンテナンス作業の効率化を図った。

4.3 補助電源装置

補助電源装置（APS）をTc車に各1台配している。出力は三相AC220VとDC80Vの2系統となっている。

4.4 ブレーキ装置

ブレーキ装置は大きく、ブレーキ作用装置（BCU）、ブレーキ制御装置（EBCU）、台車の基礎ブレーキユニットから構成されている。

車両の速度信号、VVVFインバータ装置、主幹制御装置（マスコン）からの指令、保安装置、およびEBCU機器間の情報を演算しながらBCUを制御し、速度コントロールをしている。

ブレーキ機能としては、常用ブレーキ、非常ブレーキ、（マスコンおよび空気ブレーキハンドル）、保持ブレーキおよび駐車ブレーキを有している。

4.5 モニタ装置

モニタ装置（TMS）の基本機器構成としては、運転台にモニタ画面表示器、Tc車にはTMSの中央ユニット装置、M車にはローカルユニット装置を配置している。また、通信機器としては、Tc車は信号装置1系・2系、EBCU、APS、M車ではVVVF装置1系・2系、EBCUと伝送をしている。

伝送は、車両の各ユニット装置間を基幹伝送としてRS485、車両内伝送としてローカルユニット装置と機器装置間をRS485とRS422を使用し、機器で使い分けて機器の状態情報を通信し、中央およびローカルユニットで演算して運転台のモニタ画面表示器に編成および機器状態を表示し、運転士や検修担当に情報を提供している。

このTMSは、機器のモニタリング機能だけではなく、機器状態記録装置としての機能も有している。

4.6 保安装置

保安装置は日本のATC装置に類似した装置を搭載している。

4.7 その他のシステム

この車両には、運転室の背面機器室と床下の主要機器箱内に機器から火災が発生した場合に自動で消火する消火装置を搭載している。

床下機器においては、VVVFインバータ装置箱、APS装置箱、バッテリー箱にこの装置が備えられている。

5 設計上の考慮点

キエフメトロの改造工事の対象車両は、旧ソビエト連邦のモスクワ市およびレニングラード市（現サンクトペテルブルク市）で製造された車両である。

冷戦下の共産圏に供するために生まれた車両は、国民の移動手段だけを目的とするものであった。言い換え

ば冷戦戦時下の車両であるということが調査の結果わかった。

旧ソビエト連邦時代にモスクワ市からキエフ市に貸与された車両は、両運転台車で1形式を基本とし、5両連結でサービスに当たる形をとっていた。この5両編成の車両は、どのように組み替えても使用することができ、車両の入れ替えと各車単位での方転も自在であった。不具合の発生した車両を直ぐに車両交換させ、代替の車両はどの車両が選択されても直ぐに差し替え可能なマルチプルなものである。

更新改造では、編成を5Mから3M2Tに変更したが上記の基本コンセプトはウクライナ側の要望もあり可能な限りその考え方を残した。更新工事後の編成は、Tc-M-M'-M-Tcとした。両端のTcに種別はなくどちら向きの先頭車にも使えること、M車は位置の入れ替えと方転を可能とすること、M'は受給電の関係から編成中で中央配置に固定するが方転可能なものとした。以上が最大限に車両の組み換え時の共通使用を図った点である。

車体構造は日本の鋼製電車によく似ていた。現車調査の結果は靴ズリ部の台ワクと外板の間に雨水の侵入と思われる若干の腐食は見られたが更新工事には全く影響がなく、長い間湿気のない土地で使われていたことがわかる。



図4 先頭車構体



図5 中間車構体

また、調査の結果、初期に製造された車両の方が構体に使われている鉄材の品質が良好であることがわかった。

ウクライナでは旧ソビエト連邦時代のGOST規格とウクライナGOST規格が存在する。当社の設計範囲においては必要とする場面ごとにGOST規格を配慮しつつ、JIS規格とEN規格を併用しながら設計が進められた。

前後進の指令線は4番5番であり日本と同じで、電車のルーツがどこかでつながっているようだ。その他、EU圏の電車よりも日本の古い時代の電車に近い構造が随所に見られた。

床下機器配置では、製造された年代によって横梁の本数や配列のピッチが異なっていることが改造の途中で判明し、改造現場での苦心があった。図6, 7, 8はクリュコフ社での作業指導の場面である。



図6 コネクタの結線作業指導



図7 床下結線の作業指導



図8 床下配線の作業指導

床上の内部骨組みには木が使われ、内装品の取り付けには木ねじ（タッピングビス）が用いられている。当社が初期の段階から携わった運転台コンソール設計の計画ではアウトワークした運転台ユニットを木ねじで固定することを考慮した設計としている。

床上に木が使える理由としては床面にファイヤーバリアが存在し、火災時の炎が床上には及ばないという考え方がある。

いくつかの設計上で考慮した点について述べたが、この他にも冷戦時代の生まれを感じさせる事柄が数多くあった。

6 環境と国情

2010年10月、当時の東急車輛製造の技術者2名がキエフ市内に、40年前に旧ソビエト連邦のモスクワ市およびレニングラード市（現サンクトペテルブルク市）で製造された地下鉄車両の調査の目的で1週間滞在した。本案件はこの時の更新工事の可能性の判断が基となり全てが始まった。

冬季は市街地でも -20°C が通常である。車両のスペックは -40°C であり通常の電子機器は外部環境下では動作しない。日本製の機材を如何に安定して動作させるかという課題があった。

モニタ画面ひとつをとっても外気温度まで下がった周囲温度ではとうてい機能しない。床下機器を吊る鉄製ブラケット類の溶接ではあまりにも寒過ぎて低温による脆性破壊の懸念もあった。ハード面ソフト面の様々な課題を仕様書ならびに関係する技術文章を読み解き、また、現地の調査の内容とすり合わせて一つひとつ可能な限りシンプルな方法で解決していった。

キエフ市は旧ソビエト連邦時代に事故に見舞われたチェルノブイリ原子力発電所が近く、本案件を始めるにあ

たってはその方面の安全性に関しても調査した。キエフ市内にはできたばかりのチェルノブイリ博物館があり情報収集に役立った。日本での東日本大震災では、原発事故がどのように環境に影響を及ぼすかを長期的に想像できるほど知識を得た。震災直後の時期にウクライナへ渡航した際、線量計を買ってきてもらえないかとずいぶん周囲の人から言われたが、確かに当時はウクライナの方が線量計の機種が多かったと記憶する。

ウクライナは過去に国取り合戦に翻弄されてきた歴史を持ち、ことごとく悲劇の主人公となってきた。旧ソビエト連邦の一構成国から独立国家となったが、昨今の報道のとおり親ロシア派の出現やロシアの介入などを含む内戦状態を見ると、海外案件のリスク判断は難しいと言える。

総合車両製作所としての海外案件第1号は、ウクライナ語を母国語とする相手と旧ソビエト連邦のGOST規格を相手に戦術が練られ、最終的に電力削減を基軸とする日本のモノづくりが受け入れられた形となった。ここには欧州のEN規格や米国のMIL規格を引用する車両のルールは無かった。

元共産圏特有のインフラ構造や技術認証の組織構図などを知り得たことは、単なる床下改造プロジェクトの参画に留まらず、当社として歴史的に意味を持つ貴重な経験であった。

7 おわりに

本案件は、当社が調査を開始してから履行開始にこぎつけるまでにおよそ3年の歳月を費やした。履行開始前にも紆余曲折があったが、履行開始後もウクライナ側と徹夜の設計会議を含む喧々譁々の議論を行いながら設計作業を進めてきた。

ようやく車両が本線走行試験に入ろうとしたところで、ウクライナの国情が不安定となり、またも大きな困難に直面した。初めての国、初めての相手で、様々な壁が立ちはだかった中、技術者として通ずるものがあったからこそ、ウクライナ側日本側双方の力が結実して、改造車両完成にこぎつけることができた。

プロジェクトを通じて、旧共産圏製の電車においては、車両の構造や空気部品の構造、そして電気のシステムなどが妙に昔の日本の電車で良く似ていることがわかったり、ウクライナ人の気質が割りと日本人に近かったりと共通点も大いに見い出せた。

改造車両は2014年8月ごろから順次営業投入されており、キエフメトロのお客様や乗務員から大変好評を頂いている。この改造車両がキエフ市民の日々の生活を支え

る役割を担っていくことを願ってやまない。

最後に、本プロジェクトのきっかけをもたらし、また成功のために多大な尽力をいただいた伊藤忠商事株式会社殿に心からの謝辞を述べて筆を置く。

参考文献

- (1) 伊藤忠商事株式会社ホームページの本案件に関する記事
- (2) ウクライナ・キエフメトロ・ホームページの路線図

(工藤真也, 大野一男, 鈴木久郎 記)

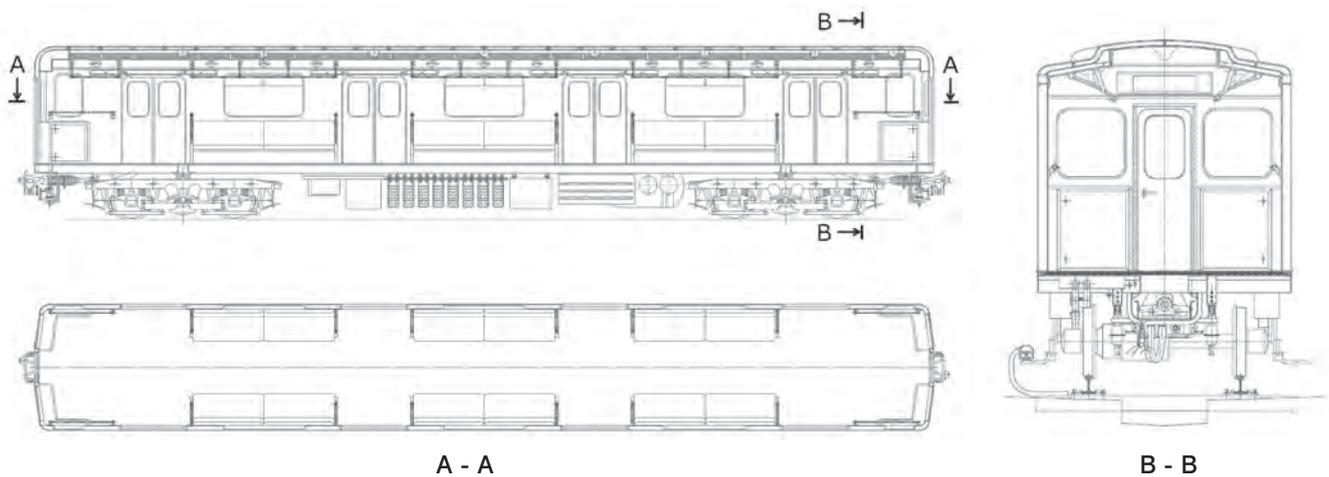


図9 改造前の車両

表 2 主要諸元表

号車		先頭車	中間車	中間車	備考	
車種		Tc	M	M'		
車両質量	AW0	空車重量(AW0) TR / 実際 (t)	30 / 27.9	32 / 31.1	32 / 31.1	1人当り 70kg
	AW3	着席定員 (人)	256 (36)	281 (36)	281 (36)	
		車両重量 TR / 実際 (t)	47.9 / 45.8	50.6 / 50.1	50.6 / 50.1	
車体寸法	連結面間距離(mm)		19430	19210		
	車体長さ(mm)		19030	18810		
	車体幅(mm)		2676			
	屋根高さ(レール上面より, mm)		3700			
	床下面高さ(レール上面より, mm)		1219			
	台車間中心距離 (mm)		12600			
	側扉	構造		戸袋つき両引戸		
片側数		4				
有効開寸法(mm)		1360(W)×1880(H)				
構体		軟鋼				
編成						
最大軸重 (t)		15 以下				
軌間 (mm)		1520				
架線電圧(V) / 電気方式		DC825V D.C (550V-975V D.C.) / 第3軌条方式				
性能	最高速度 (km/h)		設計最高速度: 90 / 運用最高速度: 80			
	初回加速度(m/s ²)		1.2			
	常用減速度(m/s ²)		等価車両減速度: 1.13, 平均車両減速度: 1.00			
	非常減速度(m/s ²)		等価車両減速度: 1.33, 平均車両減速度: 1.20 (非常ブレーキにおける速度90km/hからの停止距離が 260m 以内(水平))			
	ブレーキ制御方式		電空併用ブレーキ(回生付) スリップスライド防止装置付			
	定格 制御回路電圧(V)		80V D.C (+/- 4V)			
	非常モード時の起動能力		上り勾配4.5%でAW3の不能列車を押し上げることのできるけん引力を提供するトラクションシステム (勾配起動(バースト) モード信号が必要となる)			
台車	方式		ボルスタ式空気ばね台車 (T台車)	ボルスタ式空気ばね台車 (M台車)		
	支持装置	一次	コイルばね			
		二次	空気ばね			
	けん引装置		Zリンク			
	軸距(mm)		2100	2100		
	車輪径(新造, mm)		860	860		
	基礎ブレーキ		ディスクブレーキ、ブレーキ・キャリパ			
動力伝達方式		-	平行カルダン、ギア・カプリング			
集電方法		台車に取付の集電靴				
電気駆動系	マスコン	型番 / 質量 (kg)	S334 C307R / 3.5	-	-	
		方式	ワンハンドル無接点形マスコン	-	-	
	インバータ	型番 / 質量 (kg)	-	MAP-154-75V256 / 780		
		制御方式	-	絶縁ゲートバイポーラトランジスタ (IGBT) を用いたパルス幅変調 (PWM) 方式 1台のインバータ回路で2個のモータを制御 2つの制御機器を一体箱とする (1C2M x 2)		
	主電動機	型番 / 質量 (kg)	-	MB-5149-A / 530 x4		
		方式	-	三相かご形誘導電動機(自己通風型) 4極		
		電気ブレーキ方式	-	回生ブレーキ		
ブレーキ抵抗器 型番 / 質量 (kg)		-	R9p 128716 / 370			
ブレーキ	空気圧縮機	型番 / 質量 (kg)	VV120-T / 290	-	-	
		容量 (L/min)	1450	-	-	
	方式	オイルレスピストン式	-	-	-	
ブレーキ装置	型番 / 質量 (kg)	EPC-L / 19.5				
補助電源設備	APS	型番 / 質量 (kg)	CDA131 / 860	-	-	
		方式	2レベル PWM インバータ	-	-	
		出力	出力 1: 220V A.C. 50Hz 出力 2: 80V D.C.	-	-	
	切替箱 型番 / 質量 (kg)	-	-	SWB131 / 33		
	蓄電池	形式 / 型式	KL 140 P (ADS)	-	-	
		容量 (Ah)	140	-	-	
用途		制御用	-	-		
点灯方式		前灯・尾灯・乗務員室灯	室内灯: LED タイプ			
その他主要機器	保安装置		ARS: 自動速度制御システム ALS: 自動機関車保安装置	-	-	
	客室換気装置		自然換気			
	車内案内表示装置		ラウドスピーカ 液晶ディスプレイ			
	モニタリング装置		タッチスクリーン画面	-	-	
	安全警報装置		消火装置の警報			

