

大韓民国・大邱都市鉄道3号線向け モノレールシステムの導入

—現地ニーズへの対応による海外展開—

君島 信彦
Kimijima Nobuhiko

金 相宰
Kim Sang Jac

古田 春弥
Furuta Kazuya

坂詰 友之
Sakatsume Tomoyuki

日立は、50年以上にわたり日本国内の各モノレール路線で培った経験に加え、海外各国での経験を活用し、モノレールシステムの海外への展開を推進している。

大韓民国・大邱都市鉄道3号線は、日立の海外向けモノレールとして4か国目の路線となる。大韓民国現地企業の製品を積極的に取り入れ、量産編成の車両については

同国内の鉄道車両メーカーで製造し、製造コストの低減をめざした。また、同国内で過去に発生した地下鉄車両火災事件の教訓から、車両用の消火設備および避難設備を強化し、高架を走行するモノレールに対する乗客の不安払拭にも寄与している。

1. はじめに

日立はこれまで海外3か国にモノレールシステムを納入してきた。各国で法規・基準やシステム納入範囲が異なるものの、納入先要求や現地状況を最大限くみ取り、ニーズに合わせて納入国の法規・基準に則ったシステムを構成し

納入してきた。

大韓民国（以下、「韓国」と記す。）・大邱広域市（以下、「大邱市」と記す。）の大邱都市鉄道3号線（以下、「3号線」と記す。）に導入が決定したモノレールは、海外向けモノレールとして4か国目の路線である（[図1](#)参照）。



図1 | 大邱都市鉄道の路線図

1~3号線が各主要地区を結び、快適な市内移動を提供している。

表1 | 大邱都市鉄道各路線の概要

既設の1号線および2号線は地下鉄方式を採用している（一部地上区間あり）。

	1号線	2号線	3号線
路線長（営業路線長）	25.9 km（複線）	31.4 km（複線）	23.1 km（複線）
駅数	30駅	29駅	30駅
方式	地下鉄	地下鉄	跨座型モノレール
編成	6両	6両	3両
運転方式	自動	自動	自動
運転士乗務	あり	あり	なし （添乗員乗務あり）
開業年	1997年	2005年	2015年

本稿では、納入した製品を含めた3号線の概要とともに、今後の日立のモノレールシステムの海外展開戦略について述べる。

2. 大邱都市鉄道3号線の概要

韓国南東部に位置する大邱市は人口約250万人（2016年8月現在）の都市である。大邱市内の都市鉄道を運営する大邱都市鉄道公社は、今回開業した3号線を含めて3路線を保有している（表1参照）。

1997年に市内北東部・南西部間を結ぶ1号線、2005年に市内東部・西部間を結ぶ2号線が地下鉄方式で開業していたが、住民や各種企業・団体からは、市内鉄道空白地域である市内北西部および南東部での鉄道・軌道系の公共交通機関の建設を求められていた。

2007年に市内北西部および南東部間を結ぶ総路線長23.9 km（営業路線長23.1 km）の3号線の建設が決定し、さらに2008年に跨（こ）座型モノレール方式が採用されることとなり、跨座型モノレール方式の中でも都市鉄道としての実績が複数ある日本方式が取り入れられるに至った。

表2 | 車両主要諸元

軌道桁幅850 mm・最大軸重11 tの跨座型モノレール車両は、国内・海外ともに多くの納入実績があるタイプである。

項目	主要諸元	
車種	跨座型モノレール車両	
編成	3両固定編成（Mc1-M-Mc2）	
定員	265人（Mc1：84人・M：97人・Mc2：84人）	
電気方式	直流1,500 V	
軌道桁幅	850 mm	
軸重	11 t（最大）	
最高速度	70 km/h（運転最高速度）	
加減速性能	加速度	0.97 m/s ² （3.5 km/h/s）
	減速度（常用最大）	1.11 m/s ² （4.0 km/h/s）
	減速度（非常）	1.25 m/s ² （4.5 km/h/s）
ブレーキ制御方式	電気指令式電磁直通空気ブレーキ方式 （回生ブレーキ優先・空油変換式ディスクブレーキ）	
主回路装置制御方式	2レベルIGBT VVVFインバータ方式	
信号保安方式	デジタルATP方式（日本のデジタルATC方式に相当）	
運転方式	ATO無人運転方式（添乗員乗務あり）	

注：略語説明 Mc（Motor Car with Cab）、M（Motor Car）、IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）、VVVF（Variable Voltage Variable Frequency）、ATP（Automatic Train Protection）、ATC（Automatic Train Control）、ATO（Automatic Train Operation）

日立は3号線向けにモノレールのコア製品・システムである車両、分岐器、信号システムを納入し、3号線は2015年4月に開業を迎えた。

3. 車両システムの特徴

3号線向けの車両は、日立が国内外で多くの納入実績を持つ軌道桁幅850 mm・最大軸重11 tの跨座型モノレール車両である（表2参照）。

3両編成の構成で、合計28編成（84両）を納入している（図2参照）。3号線向けに特化した車両設備・機能や特記すべき項目を以下に示す（図3、図4参照）。

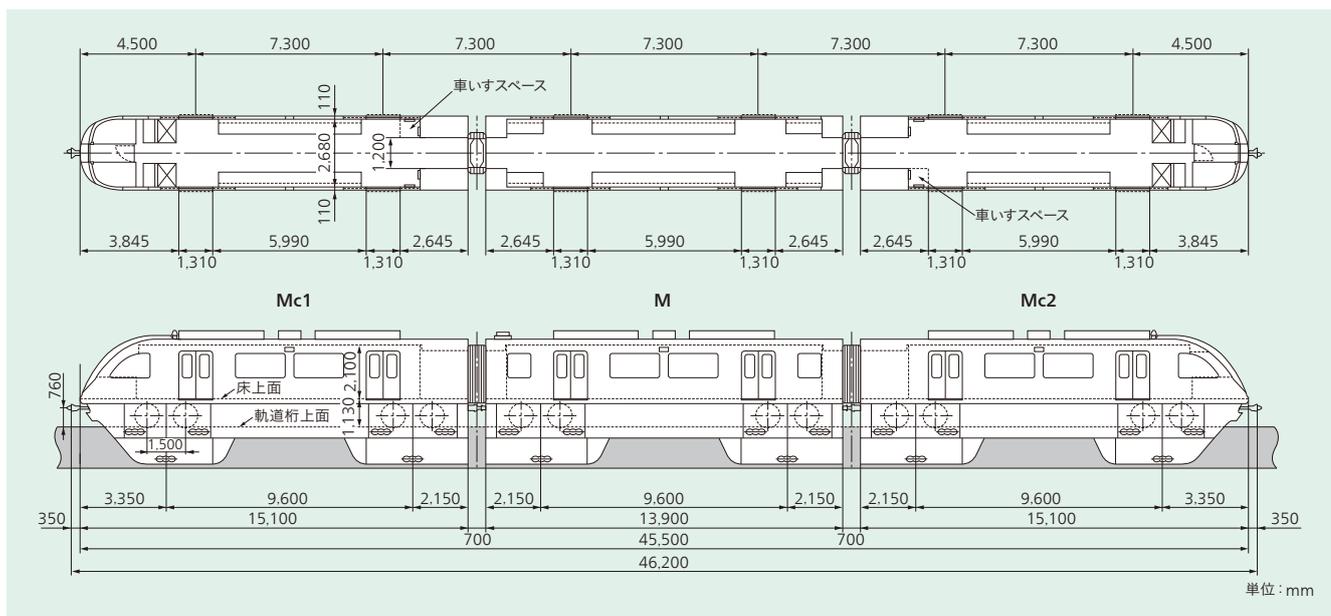


図2 | 車両寸法

3両固定編成で編成長（先頭連結器含む）は46.2 mである。完全自動運転のため運転室は設置せず、乗客が車窓を楽しめるよう展望座席を先頭部に設置している。



図3 | 車両外観

車両デザインは大邱市内にある慶北大学のデザイン学科教授の監修の下で複数提案され、市民による投票により決定した。



図4 | 車両客室内

座席配置はロングシートを基本としている。大型の側窓を採用することで開放感を出している。

3.1 現地鉄道車両メーカーとの協業

3号線向けの車両はすべての編成を日本国内で製造するのではなく、プロト編成(第1編成)については日立製作所笠戸事業所で製造し、量産編成(第2~28編成)については、日本から主要機器・部品を韓国国内の鉄道車両メーカーである宇進産電に供給して製造した(図5参照)。



図6 | 車両消火設備

水タンクおよび圧縮空気タンクは屋根上に設置した(左)。天井ダクト内に設置された煙検知器にて煙が検知されるか、各車両客室内に設置された手動操作盤(右上)のボタンが押下されることにより、圧縮空気によって高圧力で加圧された消火水が車両天井7か所に設置されたノズル(右下)から射出される。

3.2 消火設備の導入

2003年、大邱都市鉄道1号線の中央路駅において発生した車両放火事件を教訓に、3号線向けの車両においては火災発生時に迅速に消火が可能となるよう、従来使用されている可搬型の消火器だけではなく、天井に設置されたノズルから高圧力で加圧された消火水をミスト状に射出させる消火設備を搭載している(図6参照)。

消火水には特殊な薬剤などを使用せず一般的な水道水を使用し、圧縮空気によって消火水を高圧力で加圧しているため、人体や周辺環境に影響を及ぼさない。

3.3 乗客避難設備の導入

非常時に車両から地上へ乗客が安全かつ迅速に避難できるように、両先頭車両の展望座席後方に2台、編成で合計4台の乗客避難設備を搭載している(図7参照)。

避難設備は、東京モノレール株式会社と日立で共同開発したスパイラルシュータ方式を採用している。この方式はシュータ内部がらせん状であり、降下速度3 m/s以下で乗客が安全に地上面に降下できるようになっている。

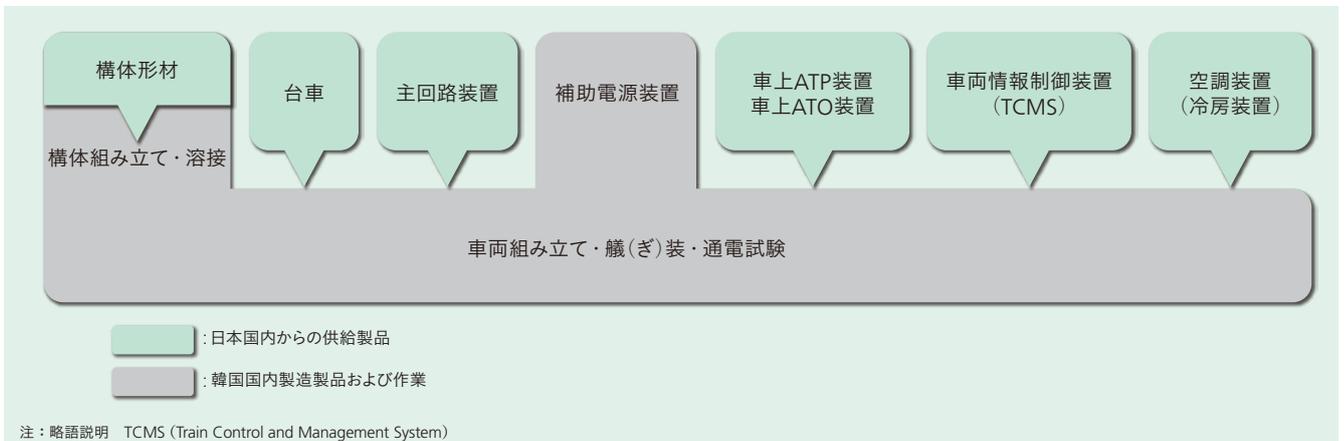


図5 | 量産編成の車両製造分担

量産編成は日本から車両の構体形材と主要製品を韓国に輸出し、韓国国内の鉄道車両メーカーで組み立てを行う「ノックダウン生産方式」を採用して製造した。



図7 車両乗客避難設備

スパイラルシュータは両先頭車両の展望座席後方に設置された格納箱（左上）内に格納され、使用時には格納箱のふたを開錠し、カバーを開けて取り出す（左下）。フレームを車両側出入り口に固定してシュータ部を地上に落下させ（右）、乗客を避難させる。

3.4 降雪時の対策

大邱市は冬季に降雪する可能性が高いため、先頭車両に取り付けが可能な除雪ブラシを納入し、降雪時の軌道桁上の堆雪防止を図っている。また、一部の編成は融雪剤を軌道桁走行面に散布できるように車両内に配管を追設し、降雪中や気温低下時に融雪剤を散布することで、軌道桁走行面の凍結防止を図っている。

さらに、全線高架軌道であるモノレールの運営が初めての
大邱都市鉄道公社において適切な対処が可能となるように、日本の降雪時の対応を基にした降雪時の運用・対処方を運用マニュアル内に織り込んでいる。

3.5 韓国法規・基準の準拠

韓国の車両製造においては、「鉄道安全法36条および同法細部法令」ならびに「都市鉄道車両の性能試験に関する基準」によって、製作検査項目・性能試験項目が細かく規定されている（表3参照）。

それぞれの検査・試験項目において、政府が指定する機関の検査員・試験員の立ち会いが原則必須であり、検査員・試験員の立ち会いの下で検査・試験をクリアしなければならない。

日立はこれらに対応すべく、検査・試験の体制や工程を早期の段階から確立させた。検査・試験の予定日数が超過しそうな場合は即座に工程を見直し、工程手順を入れ替えて調整することで、工程遅延を発生させずにすべての検査・試験項目をクリアし、納入を完遂することができた。

表3 | 韓国の鉄道車両に関する検査・試験項目一覧

材料（素材）、部品、装置、主要構成品の単体試験および完成車試験を経て、事前の予備走行試験で本線走行に問題がないことが確認されたあと、本線試運転が可能となる。

検査・試験名	検査・試験内容	検査機関	
製作検査	入庫検査	韓国鉄道車両エンジニアリング (ROTECO)	
	工程検査		構体製作・台車製作・塗装作業・艤装作業・配管作業・配線作業などそれぞれの工程における外観・機能の検査
性能試験	構成品試験	韓国鉄道技術研究院 (KRRI)	
	完成車試験		主要構成品〔構体・台車・主回路装置・補助電源装置・信号保安装置・車両情報制御装置 (TCMS)〕の単体での外観・機能・性能試験 車両が完成した状態での試験で車両製作工場（第1編成：笠戸事業所・第2～28編成：宇進産電）において静止状態および工場内で走行可能な最高速度（15 km/h以下）で実施される機能・性能試験 注：一部試験は車両基地内および本線にて実施
	予備走行試験		完成車試験完了後、本線走行に問題ないことを事前確認するための試験 第1編成（プロト編成）・第2編成（宇進産電製造初度編成）は5,000 km、第3～28編成は1,000 kmを走行
	本線試運転		本線を走行し車両の機能・性能を最終確認する試験

注：略語説明 ROTECO (Korea Rolling Stock Technical Corporation)、KRRI (Korea Railroad Research Institute)

4. 信号システムの特徴

4.1 デジタル伝送方式信号システム

3号線においては、車上・地上間の制御信号をデジタル方式で伝送するデジタルATP (Automatic Train Protection) 方式 [日本のデジタルATC (Automatic Train Control) 方式に相当] を採用している。

デジタルATP方式は車上主体の信号方式であり、地上から車上へ送信される自列車在線軌道情報および停止軌道情報に基づき、車上で停止パターンを生成し、先行列車在線軌道・未開通進路・終端部への冒進を防護している。また、曲線区間や勾配区間など速度制限が要求される区間においては、速度制限区間進入前までに減速パターンをあらかじめ車上装置に保有させ、速度超過を発生させないように列車速度を制御している。さらに、ATO (Automatic Train Operation) システムはデジタルATPシステムと協調し、スムーズな自動運転を実現している（図8参照）。

4.2 完全自動運転対応の運行管理システム

3号線は運転手の操作が不要な完全自動運転方式である（図9参照）。本線走行だけでなく、車両基地内の留置線からの出庫および留置線への入庫においても、列車運行ダイヤグラムに合わせて自動運転の制御が可能な運行管理システムを採用している。

また、本線運行中の各列車の車両状態および列車監視カ

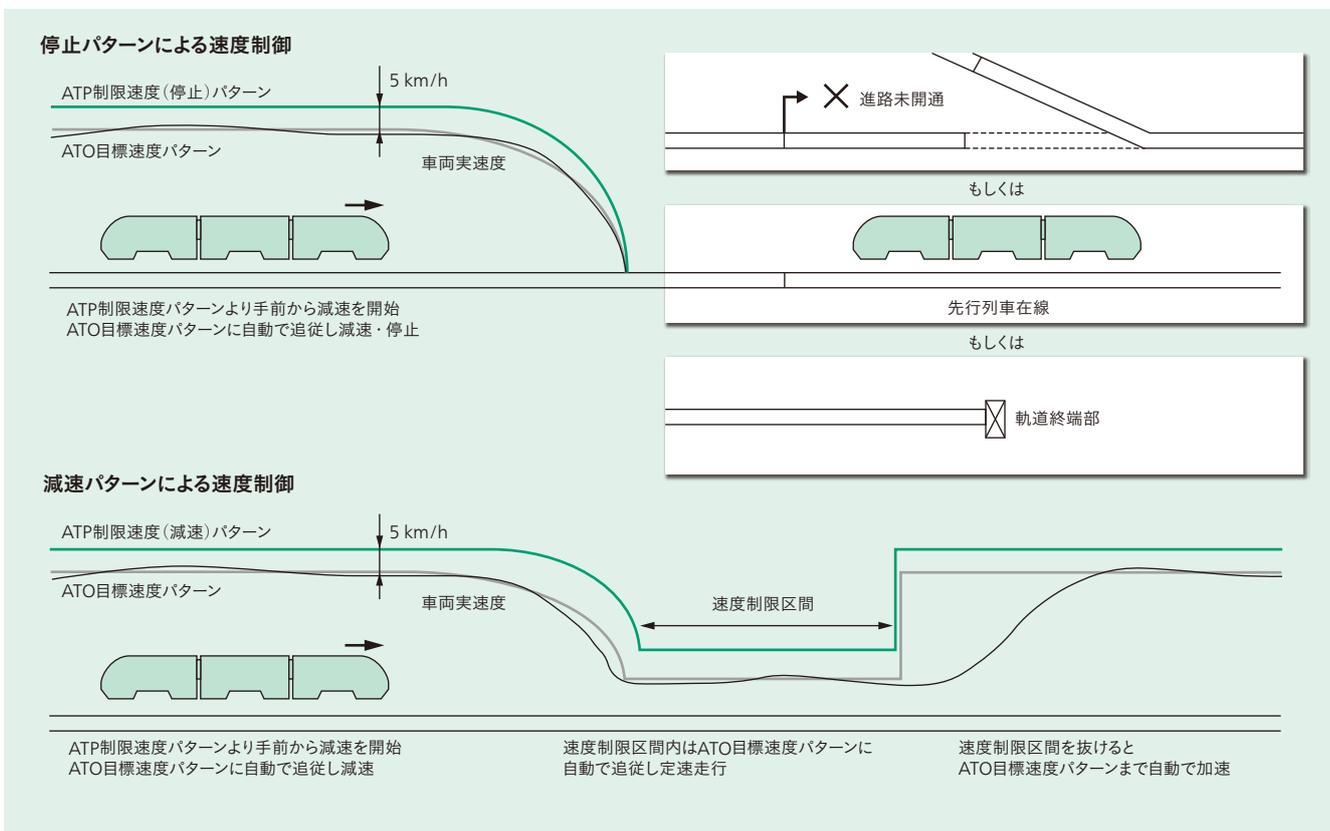


図8 | デジタルATPおよびATOシステムによる車両の速度制御

デジタル伝送方式の採用で車上・地上間の双方向・大容量の情報伝送が可能となり、確実な列車防護を確保しつつ精度のよい自動運転を実現している。

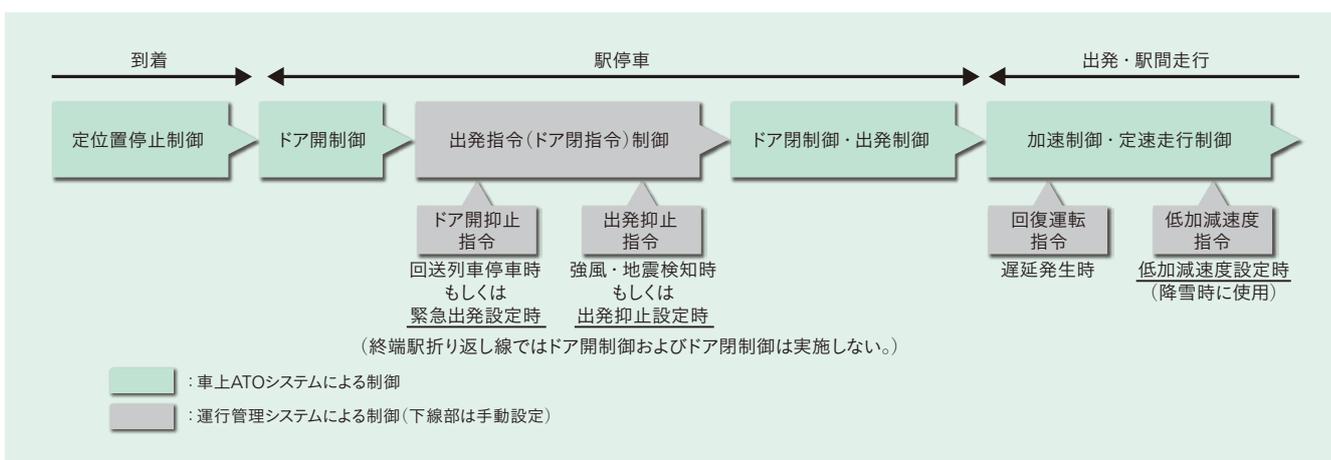


図9 | 自動運転フロー

あらかじめ設定した列車運行ダイヤグラムに基づき、手動介入なく本線の列車が運行されるシステムとなっている。本線運行に加えて列車の車両基地入出庫も、あらかじめ設定した列車入出庫ダイヤに基づいて自動で実施される。

メラ映像(各客室内映像・両先頭方向映像)が統合管制室(指令所)にリアルタイムで伝送され、管制員(指令員)が各列車の状況を把握することが可能である。

4.3 分岐器

3号線向けのモノレール用分岐器は、国内・海外で実証された信頼性を有するタイプを本線および車両基地内に採用している(表4参照)。

また、現地の気象状況を考慮し、冬季の降雪時や温度低下による凍結が原因の転換不良を防止するため、ロック装

置溝部および制御盤内には一定温度以下になると動作する凍結防止用ヒータを設置している。

5. 今後の海外展開

これまでの納入実績・経験を生かし、海外へのモノレールシステムの納入をさらに推進すべく、以下の3項目について開発や体制強化を促進していく。

(1) 車両軽量化

モノレール車両を含め鉄道車両の質量低減は、車両を支持する軌道への負荷軽減によって土木構造物の簡略化が図

表4 | 分岐器一覧

反位側（曲線通過側）の通過速度を向上させる必要がある箇所は「可とう式」を採用している。

場所	分岐器種別・基数	用途
車両基地	5差分岐器5基 2差分岐器（関節式）1基	基地内入れ換え・ 入出庫
本線（漆谷慶大病院駅）	渡り分岐器（可とう式）1基	終端駅折り返し
本線（北区庁・達城公園駅間）	渡り分岐器（関節式）1基	非常時折り返し
本線（龍池駅）	渡り分岐器（可とう式）1基	終端駅折り返し
	2差分岐器（可とう式）1基	入出庫
駐泊基地	5差分岐器1基	基地内入れ換え・ 入出庫

注：可とう式〔分岐器側面（案内面・安定面）が曲線状にたわむ方式（反位側通過最高速度：25 km/h）〕、関節式〔分岐器側面（案内面・安定面）がたわまない方式（反位側通過最高速度：15 km/h）〕

れるほか、必要な走行エネルギーの低減が可能となるなどシステム全体へのメリットが大きい。そのため、モノレール車両においても、各装置の簡略化や機器構成・儀（ぎ）装方法の見直しによる軽量化へ継続的に取り組んでいる。特に、跨座型モノレール特有の構造を持つ台車・駆動装置については、構造の簡略化および軽量化をねらった新規開発を実施している。構造の簡略化は保守作業性の向上にもつながるため、試作品の性能評価を通じ、早期の実現に向けて取り組んでいく。

(2) 地上信号設備のCBTCシステム導入推進

車両在線検知および車両制御情報の伝送を無線化したCBTC（Communications-based Train Control）について、海外の一部のモノレール路線に導入している。移動閉そく制御による列車運転時隔短縮化だけでなく、現場機器（ループコイルケーブル・整合器など）の据え付け・設置が不要となり、現地据え付け工事短縮も図れるためメリットが多い。今後は海外向けモノレールシステムの標準信号システムとして導入を推進していく。

(3) アンサルドSTS社との協業強化

日立グループの一員となったイタリアの鉄道エンジニアリング企業であるアンサルドSTS社との協業を強化し、双方の経験を最大限生かし、プロジェクトマネジメント・システムインテグレーションなどのシステム全体の統括能力を向上させていく。

6. おわりに

3号線は韓国で初めての都市交通としてのモノレール路線であり、韓国政府や韓国国内の各自治体・企業から注目を浴びている。3号線を利用する沿線住民の人々や大邱市を訪問する人々からの評価は高い。また、3号線利用者の

増加に伴って沿線の商業施設や観光施設の利用者も増加し、大きな相乗効果が得られている。

日立は今後、単なるモノレールシステムの導入の提案ではなく、納入先のニーズや沿線状況をくみ取り、一歩進んだ提案をしていく考えである。

謝辞

最後に、海外プロジェクト遂行にあたり、多大なる支援を頂いている国内の各モノレール事業者にも厚く御礼を申し上げる。

参考文献など

- 1) 金，外：大韓民国・大邱広域市都市鉄道3号線向けモノレールシステムの概要，モノレール122号（2012.5）
- 2) 秋山：大韓民国・大邱広域市都市鉄道3号線開業：愛称：Sky Rail PSC軌道桁および主要構造物の紹介，モノレール128号（2015.5）
- 3) 安：大邱都市鉄道3号線モノレール開業，モノレール129号（2015.12）
- 4) 趙：韓国・大邱都市鉄道3号線の品質認証，モノレール129号（2015.12）
- 5) 君島，外：大韓民国 大邱広域市都市鉄道3号線向けモノレール車両，車両技術247号，124～141（2014.3）
- 6) 近江，外：大邱広域市都市鉄道3号線向けモノレール車両用信号システムの開発，鉄道サイバネ・シンポジウム論文集52（2015.11）
- 7) 大邱都市鉄道公社，
<http://www.dtro.or.kr/>

執筆者紹介



君島 信彦

日立製作所 鉄道ビジネスユニット
プロジェクトエンジニアリング本部 第一部 所属
現在、モノレールシステムのエンジニアリングおよび取りまとめに従事
日本機械学会会員



金 相宰

Hitachi Korea Ltd. 大邱支店 鉄道プロジェクト部 所属
現在、モノレールシステムのエンジニアリングおよび取りまとめに従事



古田 春弥

日立製作所 鉄道ビジネスユニット 笠戸交通システム本部
車両システム設計部 所属
現在、モノレール車両の台車設計に従事



坂詰 友之

日立製作所 鉄道ビジネスユニット 水戸交通システム本部
信号システム設計部 所属
現在、海外都市交通信号システムの地上設備に関するエンジニアリングに従事