

多様な需要に応えるモノレールシステムインテグレーション シンガポール「セントーサエクスプレス」の事例

System Integration for Sentosa Express Monorail System in Singapore

豎谷 裕貴 Hiroataka Tateya

井上 智己 Tomomi Inoue

山本 久寿 Hisatoshi Yamamoto

保 貴之 Takayuki Tamotsu

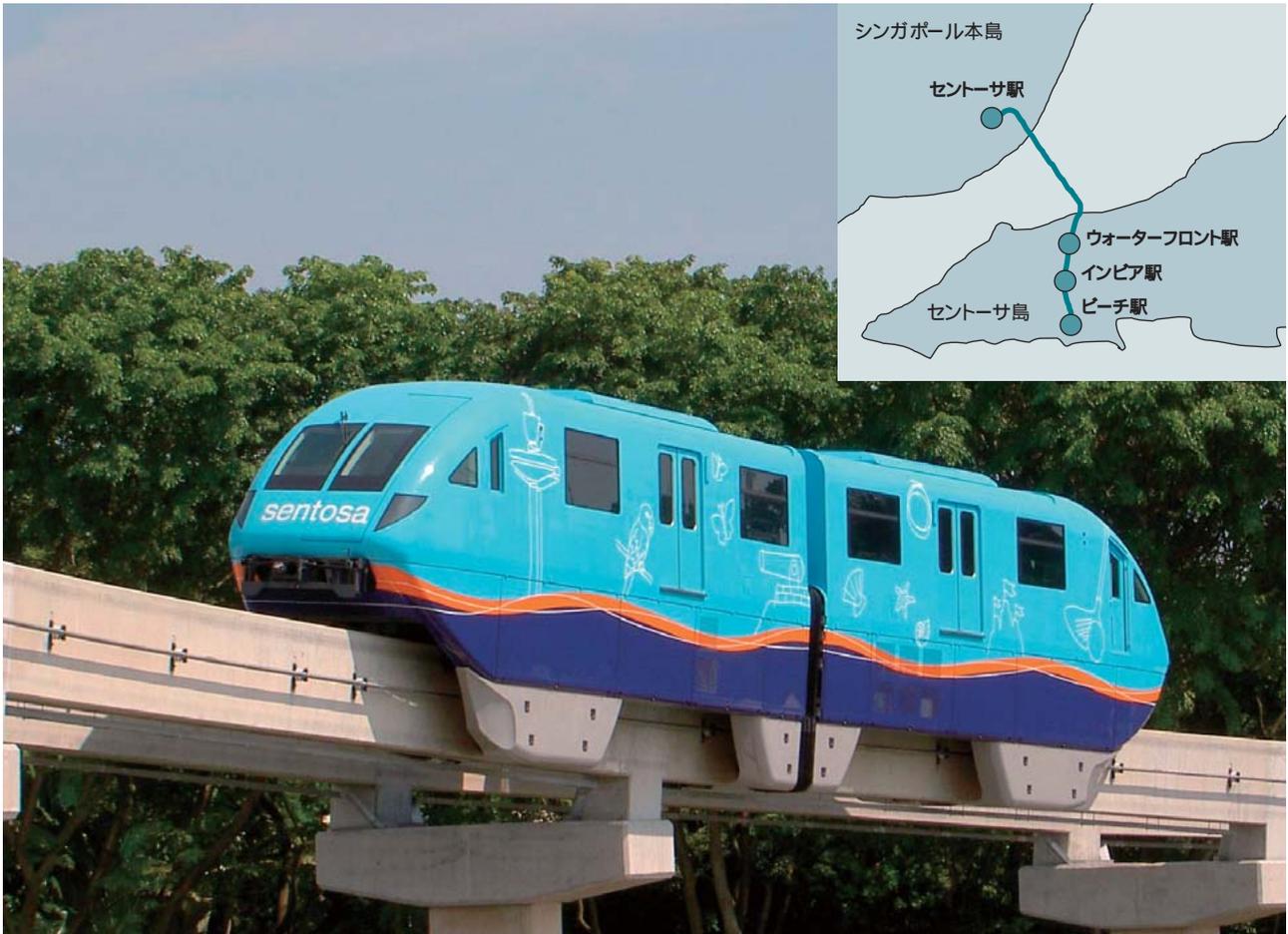


図1 セントーサ島内を走行するセントーサエクスプレスモノレール車両と路線略図
日立製作所が納入したセントーサエクスプレスは、開業以来、順調に稼働を続け、セントーサ島へのメインアクセスとして活躍している。

日立製作所は、軌道系中量輸送都市交通システムとして、跨座(こざ)型モノレールの開発・普及に取り組んでいる。

近年は特に、(1)土木構造物を含むフルターンキープロジェクトへの取り組み、(2)小規模輸送に見合ったシステム構築を実現する小形モノレールシステム「SMARTRAN」の開発を通じ、多様な需要に応えるシステムインテグレーションの実現に注力してきた。

2007年1月に、シンガポールの観光地セントーサ島に開業した「セントーサエクスプレス」は、これらの成果を反映して建設された。小形・軽量化されたモノレール車両と、地上設備を簡素化した信号システムにより、小規模輸送需要に見合った設備規模を追求して開発されたモノレールシステムである。

1.はじめに

シンガポールのセントーサ島は、同国本島の南に位置する面積約6.4 km²の島である。全体が政府系のSentosa Development Corporation(以下、SDCと言う。)によりレジャーセンターとして開発され、マーライオンタワー、ビーチ、ゴルフ場、ホテルなどが整備されている。また近年は、観光開発に力を入れるシンガポール政府の政策に沿い、大規模な再開発が行われている。

「セントーサエクスプレス」は、この再開発の一環として、同島へのアクセス改善のために建設された。

路線は、本島側のターミナル駅と島内の3駅から成る複線2.1 kmで、最小曲線半径は35 m、最急勾(こう)配は57.9/1,000

である(図1参照)。乗客需要は、開業時にピーク1時間1方向約3,000人、将来は同約4,000人が見込まれ、軌道系交通システムとしては比較的小規模なシステムである。

その一方で、リゾート島のイメージを強調し、乗客の期待を高める、レジャーセンターへのアクセスにふさわしいシステムとする必要があった。

ここでは、このような需要に応え、日立製作所がフルターンキープロジェクトによって建設したセントーサエクスプレスの概要について述べる。

2. システムインテグレーション

セントーサエクスプレスの建設に際し、顧客であるSDCは、フルターンキーシステムの国際入札によってメーカー選定を行った。

軌道系交通システムのフルターンキーシステム建設においては、その運用に必要なすべてのサブシステムについて、輸送需要や路線の事情、事業者の要望を踏まえたシステムインテグレーションを行い、最適なシステム構成を立案する必要がある。

日立製作所は、これまで、通常の2名乗務方式からワンマン運転、運転士が乗務しない自動運転システムまで、最新の技術を取り入れながら、路線ごとの事情に合わせたさまざまな運用方式の跨座(こざ)型モノレールを実用化し、実績と経験を重ねてきた。

また、1時間1方向約2,000人の小規模な輸送から、同約2万5,000人の大量輸送まで、さまざまな需要規模に対応したラインアップをそろえており、セントーサエクスプレスの乗客需要(開業時ピーク1時間1方向約3,000人、将来同約4,000人)にも適したシステムを提供できる。

そこで、これらの実績と経験、およびSDCの要望に基づいて、表1に示す各サブシステム全般にわたるシステムインテグレーションを行い、小形モノレールシステム「SMARTRAN」をベースとした提案を行った。

その結果、提案内容について高い評価を得ることができ、

表1 モノレールのサブシステム

軌道系交通システムでは、これら多種多様なサブシステムが、全体として統合して機能する必要がある。

電気・機械設備	車両	受変電設備
	信号システム	電力・弱電線路設備
	通信システム	分岐器
	運行管理システム	可動式安全柵
	設備管理システム	駅務機器
土木設備	非常電源システム	車庫設備・試験機器
	軌道	駅舎建築
	分岐橋	車庫建築
	基礎・支柱	変電所建築
付帯業務	据付け工事	運用・保守トレーニング
	スペアパーツ計画・管理	保守

入札に参加した競合メーカー6社を退け、セントーサエクスプレス向けに、日立製作所の跨座型モノレールシステムを納入することとなった。

納入したシステムは、小規模な輸送需要向けに開発された、次の二つのサブシステムを大きな特徴としている。

- (1) 接続構造を採用し、小形・軽量化されたモノレール車両
- (2) 地上設備を簡素化した、無線応用信号システム

3. セントーサエクスプレスの車両

3.1 デザイン

車両のエクステリアは、リゾート施設へのスピーディなアクセスをイメージする流線型とし、編成ごとに異なるイメージカラーを配して、リゾート島へのアクセスにふさわしいデザインとした(図1参照)。

インテリアは、側壁・天井の白を基調に妻部にグリーン、腰掛けにオレンジ、床面にブルーを配色して、セントーサ島のイメージであるビーチ、椰子(やし)の木と熱帯林、太陽、海を取り入れたデザインとしている(図2参照)。

3.2 概要

車両の形式・寸法を図3に、主要諸元を表2にそれぞれ示す。

車両は2両固定編成で、車両連結部に連接台車・車体支持構造を採用し、急曲線(半径35m)の走行を可能としている。

車体にはアルミ押し薄肉形材を使用し、床はダブルスキン、側・妻・屋根はシングルスキンで構成して、強度の確保と軽量化の両立を図った。

台車は、中・大形モノレールと同様の2軸ボギー構造を踏襲しつつ、小形・軽量化を図ったものである。空気バネを用いて直接車体を支持するボルスタレス構造となっており、前後方向の変位量が大きく左右方向の剛性が高い空気バネの採用により、半径35mの急曲線通過時にも安定した乗り心地を確保した。



図2 車両の客室内

腰高のスタンプンボール、多客時を想定した跳ね上げ式シートの採用により、小形であっても開放感を損わないデザインとしている。

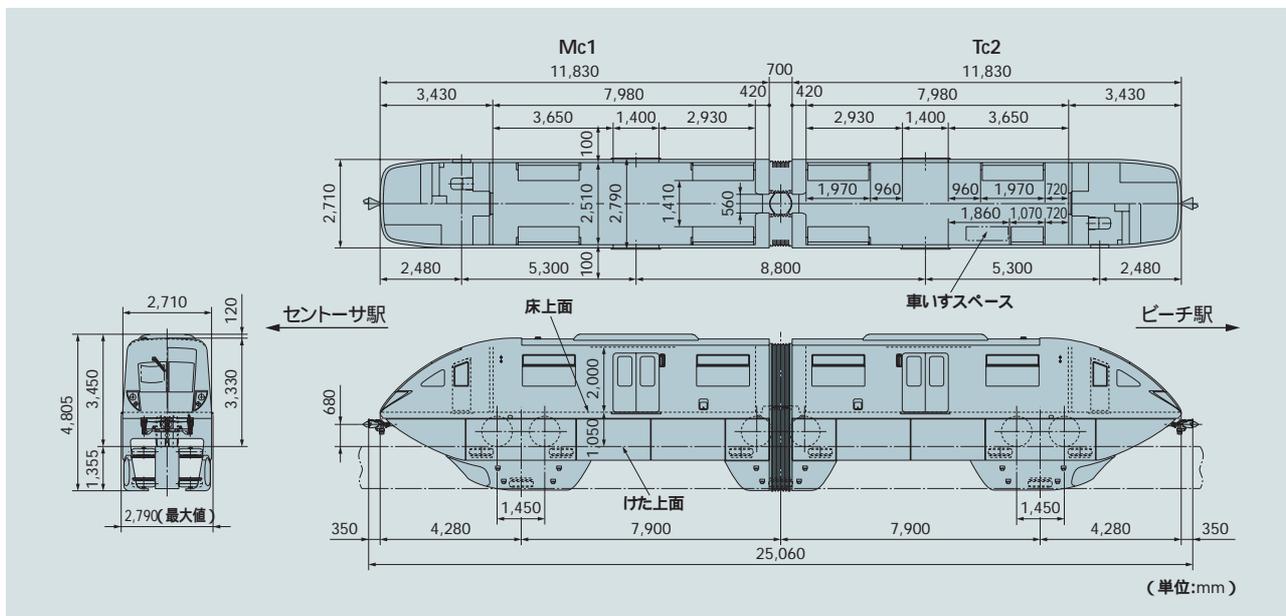


図3 車両形式と寸法

2両固定編成で、編成長約25 mである。編成ごとに異なるイメージカラーの塗装を施し、繰り返し乗車する楽しみも訴求した。

表2 車両の主要諸元

連接構造を採用することで、台車数削減による軽量化を図っている。

項目	主要諸元
車種	跨座型小形モノレール2軸ボギー連接電動客車
編成	2両固定編成(2両1ユニット)
定員	Mc1車:62人,Tc2車:62人
電気方式	直流750 V
軌道寸法	幅700 mm,高さ1,300 mm
荷重	軸重(最大) 9 t
性能	加速度:3.5 km/h/s
	減速度 常用最大:4.0 km/h/s 非 常:4.5 km/h/s
最急勾配	60/1,000(設計値)
最小曲線半径	35 m(軌道けた中心)
運転方式	ATPワンマン運転

注:略語説明 Mc(Motor Car with Cab),Tc(Trailer Car with Cab)
ATP(Automatic Train Protection)

その他の主要機器についても、編成として必要な機能・信頼性を確保しつつ限られたスペースにぎ装するため、構成の見直し、部品・配線の削減、質量バランスを考慮した最適化が行われている。

また、屋根上に各車両1台ずつ搭載した埋め込み型薄形空調装置は、主要機器を二重構成として、万が一の故障発生時にもサービス低下を最小限とするよう配慮し、熱帯気候下での運用に備えた。

4.地上設備を簡素化した信号システム

4.1 信号システムの概要

従来の跨座型モノレールシステムでは、全線にループコイルを配置する連続列車検知方式の信号システムを採用していたため、駅間に設置する機器が多くなる傾向があった。しかし、小規模のモノレールシステムにおいては、駅間閉そくで十

分対応できる列車密度で運用されるため、最低限、駅間に列車が在線していることを検知できれば、必ずしも連続して列車を検知する必要はない。

そこで、セントーサエクスプレスでは、ループコイルを廃止し、導入コストおよびメンテナンスコストを低減した信号システムを採用した。

このシステムは、次の特徴を持っている。

- (1) 駅間一閉そくのチェックイン・チェックアウト方式
- (2) トランスポンダと列車無線を用いた列車検知
- (3) 車上ATP(Automatic Train Protection)装置による列車制御

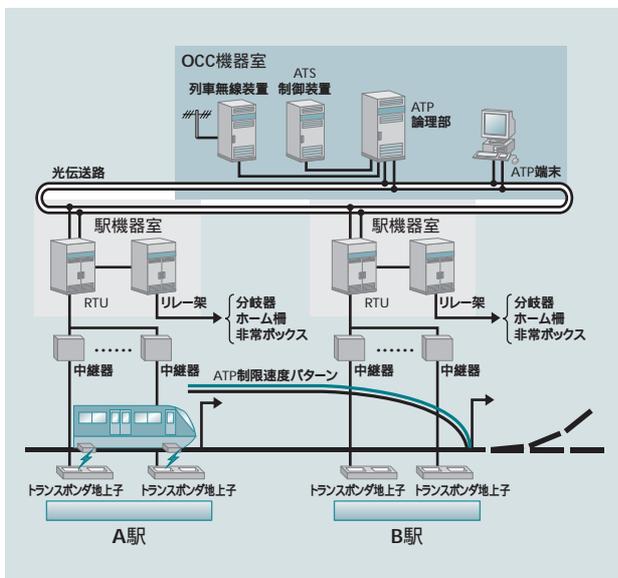
これらにより、地上設備の簡素化を実現した、無線応用信号システムである。

4.2 駅間一閉そくの信号システム

この信号システムでは、駅間に一つの閉そく区間を設け、閉そく境界手前の列車停止位置である駅の軌道の上に、2個のトランスポンダ地上子を設置している。地上装置と車上装置が、トランスポンダと列車無線を介した制御情報の送受信により、列車検知と列車制御を実施する。

4.2.1 列車検知方式

地上システム(図4参照)のATP論理部は、トランスポンダを介して車上ATP装置から受信した車上情報(車両ID(Identification)、列車状態情報)に基づき、在線列車を識別する。トランスポンダの通信状態が「なし」から「あり」へ移行することにより、当該トランスポンダの位置に列車在線を検知し、通信状態が「あり」から「なし」へ移行することにより、トランスポンダ位置から運転方向への列車移動を検知する。



注:略語説明 OCC(Operation Control Center),ATS(Automatic Train Supervision),RTU(Remote Terminal Unit)

図4 信号システム構成

駅軌道上に離散的にトランスポンダを設置し、駅間機器を削減することで、地上設備を簡素化した信号システムを提供する。

閉そく区間からの完全進出判定には、列車無線装置を介したデータ通信を用いる。ATP論理部は、列車が駅から進出する際、駅トランスポンダ位置からの走行距離を車上ATP装置から列車無線装置を介して受信し、閉そく区間からの完全進出を判定する。

4.2.2 列車制御方式

車上ATP装置(図5参照)のATP制御装置は、ATP送受信装置を介して地上のATP論理部から受信した地上情報(停止軌道、信号現示)に基づき、次の停止軌道までのATP速度制限パターンを発生し、速度発電機およびパルスセンサーにより検知する列車速度に応じてブレーキ制御を行い、列車を防護する。ATP速度制限パターンは、緩和ブレーキパターン、常用ブレーキパターン、非常ブレーキパターンを発生し、列車速度がブレーキパターンを超過したときに各ブレーキパターンに対応したブレーキ指令を出力する。

列車は、車上ATP装置による速度防護の下、手動運転に

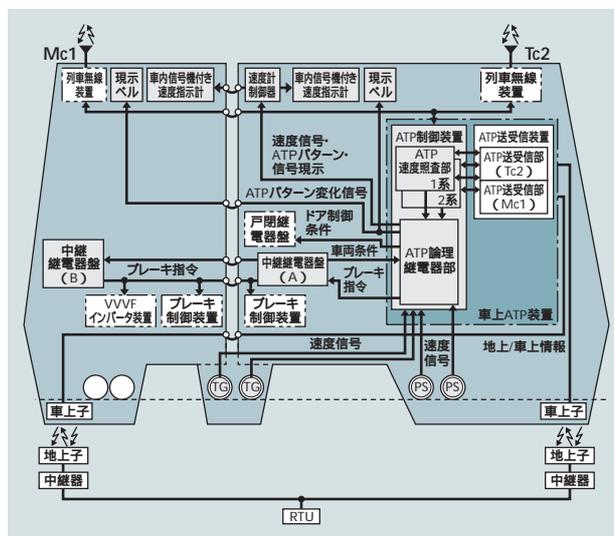
執筆者紹介



堅谷 裕貴
1997年日立製作所入社、電機グループ 交通システム事業部 輸送システム本部 モノレールSI部 所属
現在、モノレールプロジェクトの取りまとめに従事



山本 久寿
1997年日立製作所入社、電機グループ 交通システム事業部 笠戸交通システム本部 車両システム設計部 所属
現在、モノレール車両の車体設計に従事



注:略語説明 VVVF(Variable Voltage Variable Frequency)
TG(Tacho Generator),PS(Pulse Sensor)

図5 車上ATP装置の構成

車上ATP装置はATP速度照査部二重系、ATP送受信部は前後(Mc1,Tc2)で2台とし、冗長性を確保した構成としている。

より、ATP速度制限パターン以下の速度で駅間を走行する。

また、緊急時の非常停止制御は、列車無線装置を介したデータ通信を用いており、車上ATP装置は、非常停止を受信した場合、非常ブレーキ指令を出力して車両を停止させる。

5. おわりに

ここでは、日立製作所がフルターンキーで建設したシンガポールのセントーサエクスプレスについて述べた。

セントーサエクスプレスは、開業以来、順調に稼働を続け、セントーサ島へのメインアクセスとして活躍している。また、乗り心地やデザインについても、高い評価を得ている。

日立製作所は、これまでのシステムインテグレーションの経験と最新技術を活用し、事業者の多様な需要や地域のイメージに合わせ、また、そのイメージを向上させるモノレールシステムの構築と普及を推進していく考えである。

参考文献

- 1) 桑原,外:都市交通における新しいソリューション:小形モノレール,日立評論,83,8,519~522(2001.8)



井上 智己
2000年日立製作所入社、電機グループ 水戸交通システム本部 信号システム設計部 所属
現在、モノレール向け信号システムの開発に従事



保 貴之
1998年日立製作所入社、電機グループ 水戸交通システム本部 車両電気システム設計部 所属
現在、鉄道車両用保安装置の設計取りまとめに従事