

スマートな運行を実現する 無線式列車制御システムの導入

近年、世界中の鉄道システムでは従来の信号システムに比べ、より高効率の運行を可能にし、かつ導入設備を少なくしメンテナンスを極少化できる無線式列車制御システム（CBTC）の導入が促されている。

日立は、シンガポール共和国のSentosa Development Corporationから受注し、セントーサモノレールの信号システムのCBTCシステムへの更新ならびに車両1両の増備、通話無線システムの導入を行った。本稿では、CBTCシステム導入に至った経緯とシステムの概要について報告する。

中島 健太 | Nakashima Kenta

柳田 亨 | Yanagida Toru

藤井 健一 | Fujii Kenichi

大機 慎太郎 | Oki Shintaro

Lim Sungin

1. はじめに

CBTC（Communication Based Train Control）とは、列車の運行と制御を列車と地上装置の間の通信を使って行う信号システムのことである。近年、モノレールや近郊列車、地下鉄をはじめとする多くの都市交通向けに導入されている。

2014年10月、日立はシンガポール共和国のセントーサ開発公社（Sentosa Development Corporation：以下、「SDC」と記す。）より、CBTCシステムおよび車両1編成を受注した。

本稿では、Sentosa Expressの概要および日立のCBTCの特長について述べる。

2. プロジェクト概要

2.1

プロジェクトの概要

Sentosa Expressとは、シンガポール本土と本土の南部に位置するセントーサ島との間を運行するモノレール（路線長2.1 km、4駅）で、SDCが運行を実施している。

日立が2007年に車両、信号システム、変電設備、運行システム、分岐器などの主要設備およびシステムをフルターンキーで納入していたが、2010年のカジノやユニバーサル・スタジオ・シンガポール[※]などの開業以来、乗客の増加による駅および車内の混雑が問題となり、シンガポール政府からの強い改善要求を受け、信号システ

※）ユニバーサル・スタジオ・シンガポールは、Universal Studiosの商標である。

ム更新による輸送量増強により解決を図ることになった。

日立は、既設信号システムをCBTCシステムに置き換え、増車1編成(CBTC対応)および乗客とOCC(Operation Control Center)が連絡を取るための通話無線システムを納入した。

2.2

各サブシステムの概要

(1) 信号システム

今回納入したCBTCシステムは、ドライバーレスATO(Automatic Train Operation) 運転を適用している。

ATO運転では、設定したダイヤに従い自動で列車の発車、加速、惰行、減速とブレーキの制御、駅定点停止、車両ドア開閉、運転台切り替えを実施する。

(2) 車両システム

本案件は、システム移行期間中も既設システムでの運行を継続するため、車両システムはすべて既設システムから流用した。

そのため、今回納入したCBTCシステムでは既設車両システムと同じインタフェースとしている。

(3) 通話無線システム

既設システムでは、異常発生時に、乗客が客車内にある非常通報装置から運転台にいる運転士と会話することができた。

今回納入したCBTCシステムはドライバーレスであるため、乗客が指令室スタッフと会話することができるように通話無線システムを導入している。

導入にあたり、既設システムで使用していたデータ無線システムの設備(アンテナ、ケーブルなど)、周波数

を流用するために、既設無線システムと同じインタフェースとしている。

3. CBTCシステムの特長

3.1

特長、規格準拠など

既設信号システムは従来から多くの鉄道で採用されている固定閉塞方式であった。固定閉塞では、駅間に1列車しか在線できず、先行列車が次駅を出発すると次列車が次駅へ走行可能となる。この閉塞の距離がネックとなり、車間距離を詰めることができず、運転ヘッドの短縮にも限界があった。

一方、CBTCシステムは、国際規格IEEE1474で、「主たる列車位置検知が軌道回路によらないこと」、「地上装置・車上装置の双方で、安全性を保証すること」、「地上-車上間で連続的に通信を行っていること」と定義されている。

今回納入したCBTCシステムは、無線システムを用いて列車位置検知や運転制御を行う移動閉塞方式となっている。

車上システムは地上システムに列車位置情報を伝送し、地上システムは受信した列車位置情報を基に、各列車に列車制御情報を伝送する。各列車は中央システムから受け取った列車制御情報を基に列車停止限界まで走行する(図1参照)。

日立のCBTCシステムは、国際規格IEEE1474に準拠し、国際安全性規格に完全適合した最高安全レベルSIL

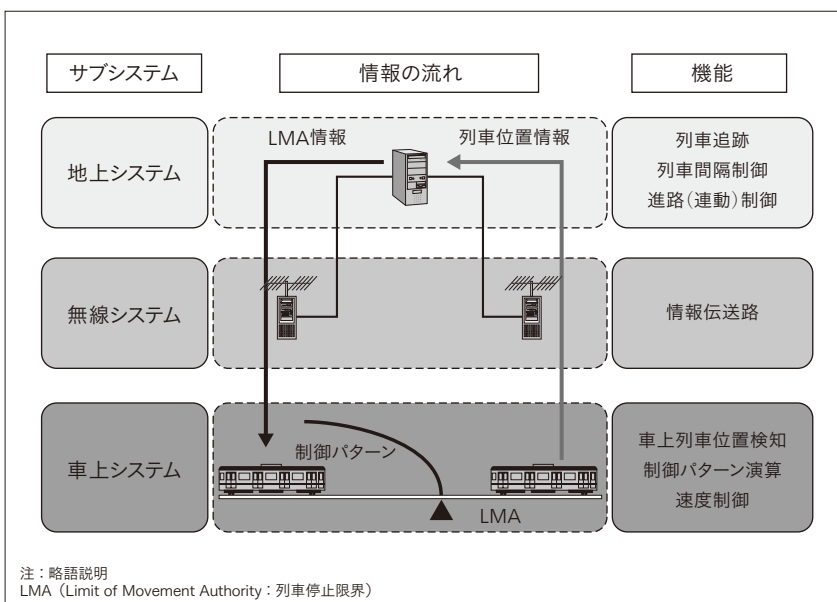


図1|CBTCの概念図

CBTC (Communication Based Train Control) システムで列車を制御する際の情報の流れを示す。

(Safety Integrity Level) 4のRAMS (Reliability, Availability, Maintainability, Safety) 認証を欧州認証機関から取得している。本認証を欧州の認証機関から取得したのは日立が日本企業としては初めて¹⁾である。

3.2

システムアーキテクチャ

CBTCシステムのシステムアーキテクチャを図2に示す。

車上ATC (Automatic Train Control) 装置は、トランスポンダー受信部、速度発電機から受信した情報により自列車位置を計算し、MS (Mobile Station) から地上に向けて送信する。CTBC論理部は、路線上に設置されているアンテナ、BS (Base Station)、機器室のBSC (Base Station Controller), CTBC-LAN (Local Area Network) を通して列車位置情報を受信し、列車制御情報を作成し、逆の経路で車上ATC装置に送信する。この列車制御情報を基に列車が走行する。

3.3

信号システムの詳細

CBTCシステムではまず、各列車が走行距離積算とトランスポンダー情報による位置補正を行う。自列車走行距離および速度、運転方向を認識し、自列車の位置をリアルタイムに地上システムへCBTC無線で伝送する。この列車位置情報は、地上に設置されたトランスポンダーからの距離で表される。

地上システムは、受信した列車位置情報を基に、各列車に列車停止限界を含む列車制御情報を伝送する。各列

車は地上システムから受け取った列車制御情報を基に、リアルタイムかつフレキシブルに速度制御パターンを作成し、速度制御パターンに沿って走行する (図1参照)。

これにより列車の運行間隔をそのときの状況に合った最小値に設定することが可能となり、運行ダイヤの短縮化および同時運行可能車両数増加による輸送力増強も可能となる。

3.4

CBTC無線の特長

CBTC無線では、無線LAN (WLAN : Wireless Local Area Network) と同じ周波数帯 (2.4 GHz帯) を使用する。無線LANにおいては、通常、電波干渉を起こさないためにオーバーラップしない3チャンネルを利用する。

日立のCBTC無線は安定した無線通信の実現のために次の4つの技術を採用している (図3参照)。

(1) OFDM (Orthogonal Frequency-division Multiplexing) 変調方式

複数の搬送波にデータを分割して送信する方式で、耐干渉性を向上している。

(2) 周波数ホッピングと時間ダイバーシティ

毎周期、使用する周波数を変更し、かつ時間をずらして同一電文を複数回送信している。

(3) サイトダイバーシティ

地上無線装置および車上無線装置が片系故障となっても地上-車上間の無線通信が継続できるように考慮して地上のアンテナを設置している。

(4) ゾーン別周波数割り当て

チャンネルのバンド幅を通常の無線LANより狭くする

図2| システムアーキテクチャ

CBTCシステムのシステムアーキテクチャを示す。

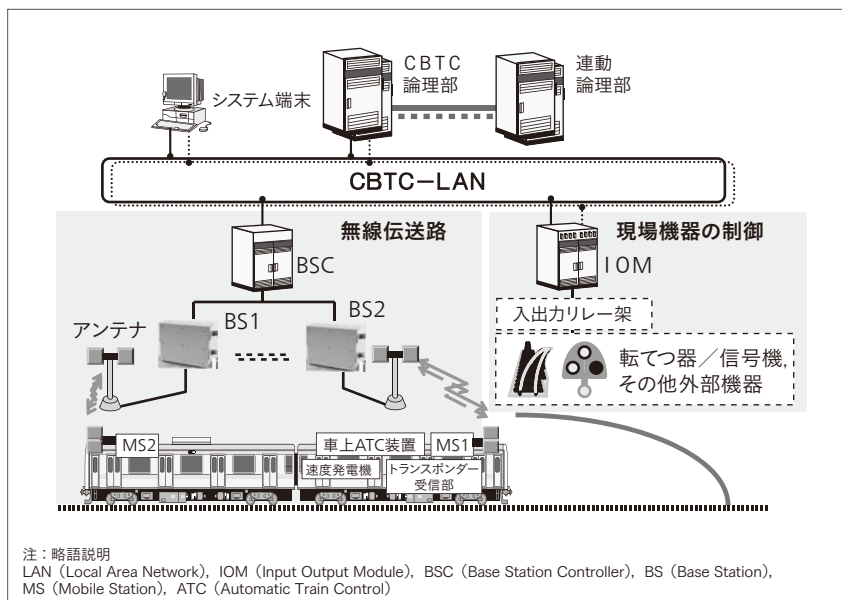
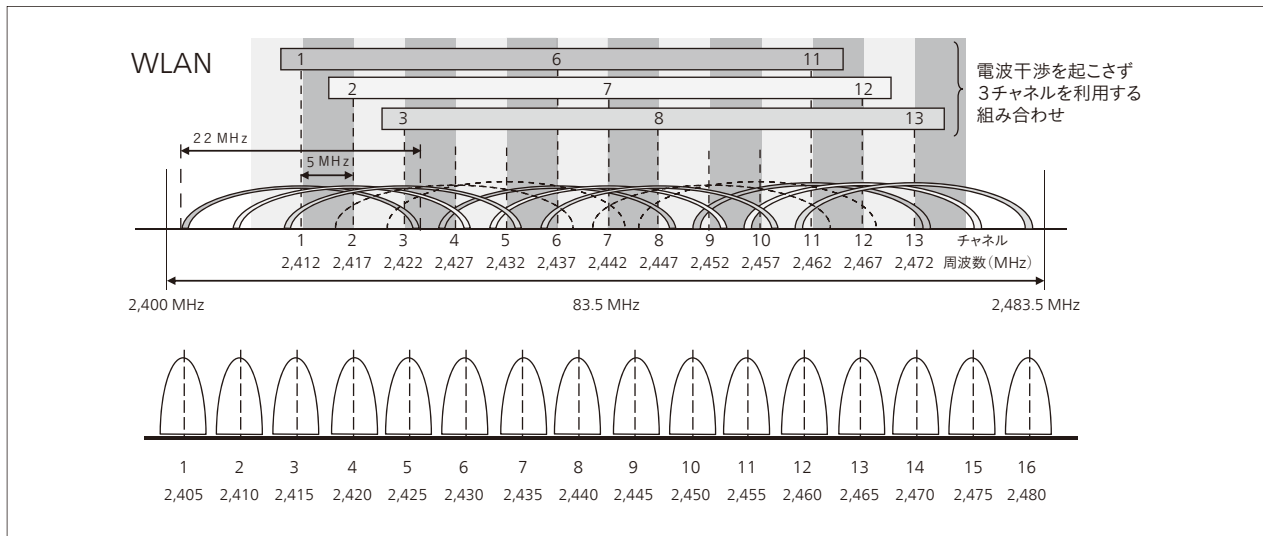


図3|WLANとCBTC無線のチャンネル概要

WLAN (Wireless Local Area Network) とCBTC無線のチャンネルの概要を示す。



ことでチャンネル数を増やし、オーバーラップしないチャンネルの組み合わせを増やしている。

外向けにCBTCを展開していく考えである。

4. 今後の課題と対応

セントーサ島では今後も新しいアトラクションや施設の建設が計画されている。これらへのアクセス確保の目的で延伸なども一部計画されているようであり、ますます本モノレールの利用者が増えると予想されている。

一方、今回のCBTCシステム導入により、信号システムが固定閉塞から移動閉塞となったため、最大同時運行編成数は増加できたが、そもそも輸送量にいちばん大きく影響を及ぼすのは端末駅の線形である。

現在の線形では両端末駅とも単線となっているために、後続列車は先着列車が出発し、分岐が転換するまで駅に進入できない。信号システムのみの変更ではこれ以上輸送量を増やすことはできず、線形を複線化しないと、非常に難しい。

今後、SDCが延伸などを行う際にさらなる輸送力増強案を提案できるよう努めていく。

5. おわりに

Sentosa Expressは日立で初めてCBTCの地上システム、車上システム、無線システムを一括で納入した路線である。

今後、日立は本プロジェクトで得た経験を生かし、海

参考文献など

- 日立ニュースリリース、日立がシンガポール・セントーサ開発公社よりモノレール「セントーサエクスプレス」の都市交通向け無線信号システム (CBTC) および車両を受注 (2014.11), <http://www.hitachi.co.jp/New/cnews/month/2014/11/1119a.html>

執筆者紹介



中島 健太
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業務に従事



柳田 亨
日立製作所 鉄道ビジネスユニット 水戸交通システム統括本部
信号システム設計本部 トータル信号制御システム設計部 所属
現在、CBTC地上信号システムの設計・開発に従事



藤井 健一
日立製作所 鉄道ビジネスユニット 笠戸事業所
笠戸交通システム統括本部 車両品質保証部 所属
現在、公民鉄・モノレール車両の検査・試験および品質保証業務に従事



大機 慎太郎
株式会社日立国際電気 ソリューション統括本部
ソリューション本部 交通ソリューション部 所属
現在、列車無線システムの取りまとめ業務に従事



Lim Sungin
日立アジア社 産業用製品事業部 所属
現在、セントーサモノレールのCBTCメンテナンス対応業務に従事