重慶モノレール3号線導入実績と「CBTC」のグローバル展開

Development of CBTC for Global Markets

田崎 智明 Tazaki Tomoaki
李 貞玉 Li Zhengyu
山畳 一広 Sanjo Kazuhiro
酒井 憲一 Sakai Kenichi
嶋田 育男 Shimada Ikuo
田岡 浩志 Taoka Hiroshi

日立グループは2011年12月30日，中国重慶市において，モノレールの信号システムでは海外初となるCBTCシステムの開業を果たした。この重慶モノレール3号線は，総延長55.6 km(開業区間39.1 km)と長距離路線であり，全線にわたり無線による移動閉そく制御を導入し，運転間隔は120秒と高密度の運行を実現している。また，設計段階から，無人運転要素を取り入れた最新技術を搭載し，将来の発展性を考慮したシステムとした。こうした実績を基に，今後も日立グループはグローバルな事業展開を進めていく。

1. はじめに

重慶市は1997年に北京市，上海市，天津市と並ぶ中国で4番目の中央政府直轄市に昇格しており，19市区，15県，4自治県を管轄し，4直轄市の中で最も規模が大きい。2010年6月には内陸部初の国家級開発区として，内陸の港湾と空港の一体型保税区が設置されている。また，西部地域の対外開放と経済発展に必要なインフラである水路と陸路の要所として位置づけられ，西南地区最大の工業都市として発展を続けている。

市の中心部は長江と嘉陵江の二つの大河に挟まれ，面積が狭く急勾配が多い地形で，鉄道敷設には不利とされており，これら地理条件に最適とされるモノレールの導入を採用している。2011年には，2005年6月の重慶モノレール2号線に続き，最新技術を取り入れた重慶モノレール3号線が開業した。

ここでは，日立グループの海外向け初のCBTC（Communication Based Train Control）システムである重

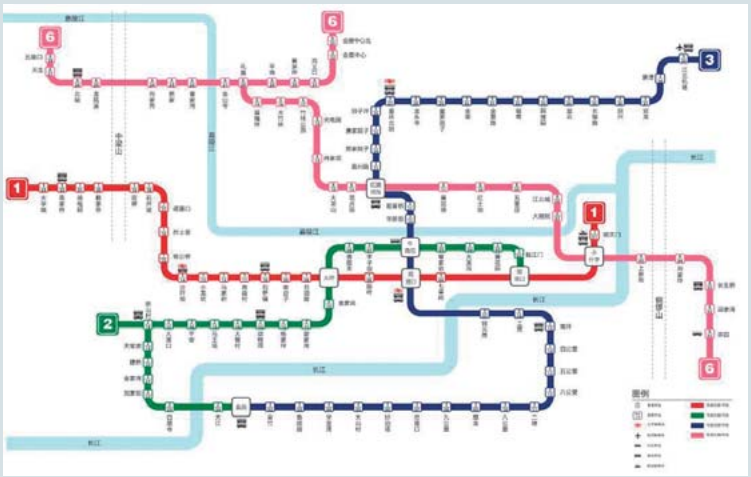


図1｜重慶都市交通路線略図と車両外観
重慶モノレール3号線は，「3」に示すとおり，市街地を南北に貫く路線である。途中，6号線，2号線，1号線との乗換駅があり，乗客数が最も多い路線である。

慶モノレール3号線の概要と，CBTCのグローバル展開に向けた今後の展望について述べる。

2. 重慶モノレール3号線の概要

2.1 プロジェクトの概況

重慶モノレール3号線は，市街地の二つの大河を南北に貫き，北側空港終端駅までを通る総延長55.6 km（39駅）の路線である（**図1**参照）。

2011年12月30日時点では，1期，2期工事区間である二塘駅―江北空港駅区間，約40 kmの開業を果たし，この時点で世界最長の路線規模を誇る。主な技術仕様を**表1**に示す。

2.2 システム構成

システム構成を**図2**に示す。

(1) 地上装置構成

地上システムは，主に全線の運行状態を管理して進路設定指示を行う運行管理装置，運行管理装置からの指示に従い進路制御を行う連動装置，列車の在線位置や進路状態から在線している各列車に対する制御情報を作成して間隔制御を行うATP（Automatic Train Protection）装置，および，列車との無線通信を行う無線基地局などから構成される。

(2) 車上装置構成

車上システムは，自列車位置の計算と地上からの制御指示によってブレーキ制御を行う車上ATP装置，地上との通信を行う無線ユニット，運転士に情報を提供するディスプレイ，操作指示を入力するコントロールパネルなどから構成される。

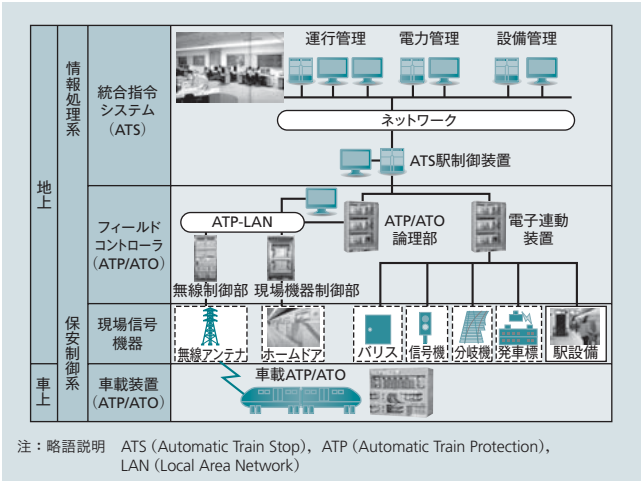
(3) その他

重慶モノレール3号線では，万が一のCBTCシステムの障害に備え，別系統の列車在線検知装置を備えたバックアップシステムを導入している。バックアップシステムの列車在線検知は車軸検知装置を採用している。

表1｜重慶モノレール3号線の主な技術仕様
モノレールの標準仕様に加え，最先端CBTC技術を融合させている。

	項目	1期，2期対象
運用概況	車両システム	モノレール（ゴムタイヤ）
	運転形態	ワンマンATO（折り返し時ドライバーレス）
	列車編成	6両
	車両基地	運転士責任運転（冒進防止）
	運行速度	75 km/h
	運転時隔	120秒
	本線全長	40 km
	駅数	29駅
CBTC仕様	論理システム	移動閉そく
	無線伝播（ぱ）形態	Radio（via AP）
	無線周波数	2.4 GHz
	システム起動時の在線検知手法	車上：地上子（バリス）通過により車上位置確定 地上：車上位置報告により在線検知

注：略語説明　ATO（Automatic Train Operation），
CBTC（Communication Based Train Control）



注：略語説明　ATS（Automatic Train Stop），ATP（Automatic Train Protection），LAN（Local Area Network）

図2｜重慶モノレール3号線の全体構成
CBTCシステムは，統合指令システム（ATS），フィールドコントローラ（ATP/ATO連動装置），現場信号機器，車載装置（ATP/ATO）の大きく四つの階層で構成される。

2.3 CBTCシステムの制御概要

(1) 移動閉そく制御

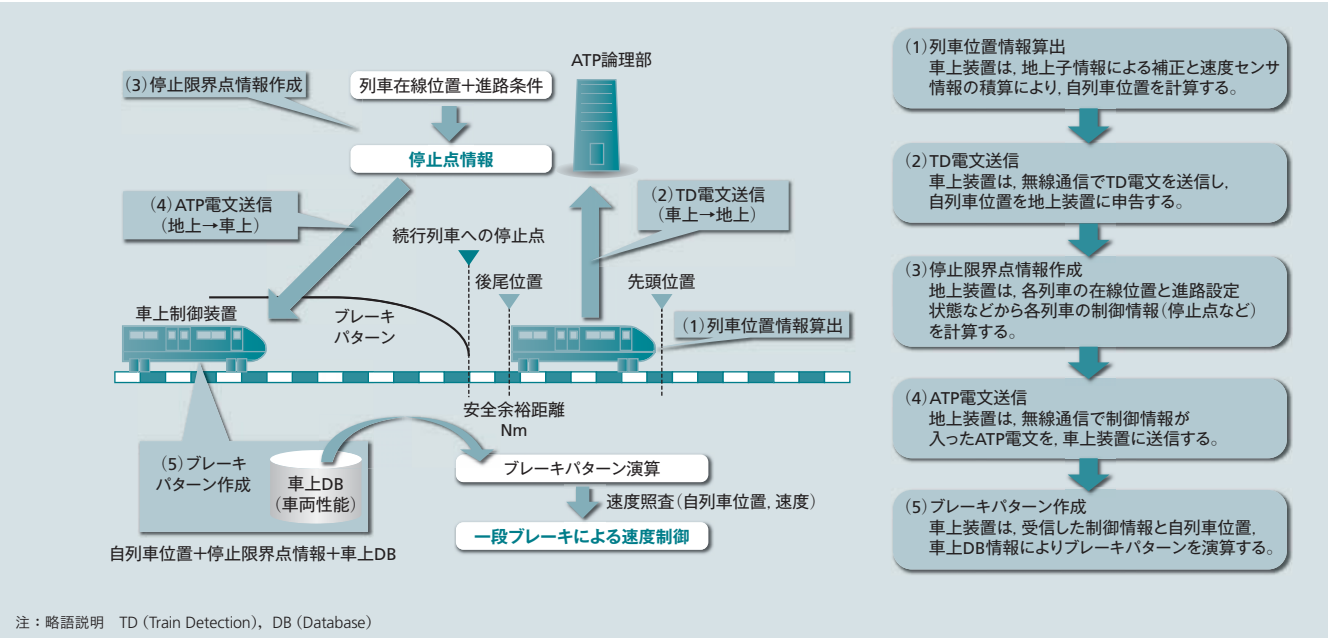
従来の軌道回路方式では列車在線検知が固定した区間単位であったのに対し，CBTCシステムでは移動閉そく制御を採用し，リアルタイムな移動に対して常に各列車の停止限界点を更新して，列車に通知する。

(2) 車上位置検知による在線検知と安全余裕距離

従来の軌道回路方式では軌道回路の区間単位に在線を検知するため，列車位置に誤差は発生しない。これに対してCBTCシステムでは，各列車が速度センサー情報の積算で車上装置が位置検知した情報を用いて，地上ATP装置が在線検知を行う。このため，車上ATP装置による位置検知誤差の発生が想定され，結果としてシステムが認識する列車位置と実列車位置に誤差が発生する可能性がある。そこで，位置検知誤差を含めた，在線位置判定を行う列車検知方式とする必要がある。また，絶対停止位置と車上ATP装置が停止するための停止パターンの基点間に設ける安全余裕距離についても，位置検知誤差を考慮する必要がある。

(3) 無線通信による在線検知

従来の軌道回路方式では，列車在線検知が物理検知であることから，列車からの申告には関係なく，地上装置が独自に在線検知を行う。また，軌道回路故障時には列車在線と認識するため，列車の位置が不明になることはない。これに対して，CBTCシステムでは車上ATP装置による位置検知情報と地上・車上間通信の情報によって在線検知を行う必要があるため，無線通信が途絶えると列車位置が不明となる。そのため，CBTCシステムでは無線通信が途絶



注：略語説明　TD (Train Detection)，DB (Database)

図3｜CBTCシステムの処理フロー

ISM (Industry Science Medical) 帯 (2.4 GHz) 無線空間波による，車上位置申告型移動閉そく制御を実現する。無線による大容量制御電文の送受信と，列車の連続検知を可能としている。

えた場合には，一定区間の防護範囲を設定している。CBTCシステムの処理フローを**図3**に示す。

3.　グローバル市場を視野に入れたソリューション

日立グループは，重慶モノレール3号線システムの設計当初から，日本での実績を重視しつつ，今後のグローバル市場への進出を視野に入れた仕様とする方針を取っていた。以下に日立CBTCの強みについて述べる。

3.1　ドライバーレス自動運転（UTO）の実現

重慶モノレール3号線システムは，日本のモノレール運用実績を重視し，ATO (Automatic Train Operation) ワンマン運転形態を基本としているが，例外として，駅での折り返し箇所にてUTO (Unattended Train Operation) 機能を取り入れている。これは，折り返し時隔が短いことから，運転士が折り返し時に車両進行方向の運転台へ移動する時間を節約する目的で，設計当初から取り入れてきた仕様である。

運転取り扱いは，「運行管理からの自動運転の指令→自動進路設定→自動運転台切り換え→出発ホームまでの自動運転」というUTOの要素を網羅しており，技術的には確立されたものである。

国際電気標準会議規格 (IEC62267) によると，4段階の自動化レベルが既定されており，他国の都市交通向けCBTC新案件でもUTOの要求が高まりつつある。日立グループは，重慶モノレール3号線で確立された技術に加え，日本 (福岡市交通局七隈線，大阪市交通局南港ポートタウン線，横浜新都市交通シーサイドライン，ゆりかもめ東京臨海新交通臨海線) の無人運転に関わる運用面でも豊富なノウハウを有する。今後これらを融合し，日立CBTCソリューションの拡充を図っていく。

3.2　運転時隔要求の達成

モノレールに対する時隔要求は，地下鉄 (鉄輪式) の標準に比べ厳しい条件であることは一般的に知られている。モノレールの時隔条件が不利な点として，以下の理由が挙げられる。

(1) モノレールは車両の特性上，地下鉄 (鉄輪式) よりも最高速度と加減速度の値が小さい。

(2) モノレールで採用される分岐器の構造上，走行制限速度が低く設定されており，かつ分岐器の転換時間が長い。

(3) 折り返し箇所において，後取りの路線形状が多い (重慶モノレール3号線の例)。

中国におけるほかのCBTC案件〔地下鉄 (鉄輪式)〕の運転時隔に対する要求は，120秒が通例であり，重慶モノレール3号線における運転時隔要求も例外ではなかった。すなわち，重慶モノレール3号線CBTCは，モノレール条件でありながら，地下鉄 (鉄輪) と同等の性能を求められていると言える。これら厳しい条件の下，重慶モノレール3号線では，時隔シミュレーション結果と現場の実測値の分析を行い，運転時隔120秒を達成している。よって，運転時隔に対して，一般的には好条件とされる地下鉄 (鉄輪式) においては，今後さらなる短縮が期待できる。

3.3　世界標準の採用

(1) 無線システム

重慶モノレール3号線の無線システムでは，汎用無線である，ISM (Industry Science Medical) 帯を使用したOFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 方式を採用しており，地上―車上システムのインタフェースは確立されている。さらに日立グループは，外乱に強いアーキテクチャと，高セキュリティを兼ね備えた信頼性の高い独自の無線製品を有しており，今後の海外市場へ向け，各国の電波状況 (法規制など) に依存しない円滑な無線システムの導入が可能である。

(2) 地上子 (バリス) システム

重慶モノレール3号線のバリスシステムは，欧州規格の地上子 (バリス) を採用している。モノレールは地上子―車上子との離隔条件が厳しい中，日立グループは，バリスの艤 (ぎ) 装方法，伝送方法，電文内容を取り決めた実績があり，地上―車上間のインタフェース技術を確立している。

3.4　混在運転

前述したとおり，CBTCシステムの列車在線検知は無線通信を介して行う。しかし，外部から混入する外乱や，無線自体の故障による通信断が発生した場合，車上装置からの位置申告が途絶え，列車位置が不明となる。この現象はCBTCシステムの宿命と言えるが，世界的にはより安全に対する要求が高まっており，IEEE1474中でも，無線による列車検知に加え，列車の物理検知を併用する「混在運転」の機能がオプションとして規定されている。

現在，重慶モノレール3号線においても，CBTC通常運用時に非CBTC列車 (無線を搭載していない列車) を検知できる「混在運転」の実現に向け，詳細設計段階に入ったところである。この機能も日立CBTCソリューションのオプションの一つとして，製品の充実を図っていく。

4.　おわりに

ここでは，日立グループの海外向け初のCBTCシステムである重慶モノレール3号線の概要と，CBTCのグローバル展開に向けた今後の展望について述べた。

世界の鉄道信号システムは，複数の主要都市間移動を目的とした高速・長距離路線であるメインライン (ETCS：European Train Control System) と，都市内の移動を目的とした短距離路線である地下鉄，モノレール，新交通などの都市交通 (CBTC) に二分される。両者とも，列車在線検知と制御情報の伝送を行う従来の軌道回路方式から，無線を用いた列車制御へ遷移したことが共通点である。日立グループは，世界標準であるこれらの信号システム開発をいち早く手がけ，昨年末のほぼ同時期に，中国の2ユーザー向けに，異なる最新技術を用いた上記2種類の信号制御システムの稼働実績を上げている。この実績は，中国における日立グループの高い技術力を印象づけ，世界に向けた広告塔として寄与するものと考えている。

今回紹介した都市交通CBTCシステムは，中国をはじめ全世界の各主要都市への導入が見込まれており，市場規模 (案件数，車両数) はメインラインよりも大きいとされている。今後重慶モノレール3号線の実績をベースとしたCBTC製品群の充実を図り，世界シェアの一角を担うべく，日立プレゼンスの向上に取り組んでいく所存である。

参考文献など

1)　二川，外：ETCSとCBTCに対応した列車制御システムのグローバル展開，日立評論，94，1，65 (2012.1)
2)　田代：国際規格に対する交通安全環境研究所の鉄道分野の対応
3)　重慶市軌道交通有限公司，http://www.cqmetro.cn/crtweb/

執筆者紹介

田崎 智明
2001年日立製作所入社，交通システム社 輸送システム本部 信号システム部 所属
現在，中国都市交通信号システムのエンジニアリング取りまとめに従事

李 貞玉
2003年日立製作所入社，交通システム社 輸送システム本部 信号システム部 所属
現在，中国都市交通信号システムのエンジニアリング取りまとめに従事

山畳 一広
1981年日立製作所入社，交通システム社 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，海外都市交通信号システムの車上装置に関するエンジニアリングに従事

酒井 憲一
1990年日立製作所入社，交通システム社 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装置に関するエンジニアリングに従事

嶋田 育男
1996年日立製作所入社，交通システム社 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，海外都市交通信号システムの車上装置に関するエンジニアリングに従事

田岡 浩志
2000年日立製作所入社，交通システム社 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装置に関するエンジニアリングに従事