

# 列車制御用車上データベースの無線通信による更新技術

信号・情報技術研究部 信号システム研究室

副主任研究員 藤田 浩由

## 1. はじめに

近年、地上設備位置や車両性能を車上データベース（以下、車上DB）として登録し、列車制御に活用する運転保安システムが開発、導入されている。現状、車上DBの更新は、CFカード等の記録媒体を用い、装置単体で行われているため、多大な時間と労力を要している。そこで、更新時の省力化を目的として、無線通信を活用した車上DBの更新技術を開発し、プロトタイプを用いた検証試験を行った。なお、無線通信による車上DB更新の対象例として、現在JR北海道ならびにJR九州で運用されているATS-Dx<sup>1)</sup>を選定し、更新システムのプロトタイプを開発した。

本発表では、車上DBの概要と、開発した無線通信による更新技術において更新時のデータ正当性確認手法およびセキュリティ手法について述べると共に、検証試験結果について報告する。併せて、車上DB更新技術の展望についても報告する。

## 2. 列車制御用車上DBの概要

車上DBを有する運転保安システムは、近年開発、導入が進んでおり、新幹線のデジタルATCをはじめ、山手線、京浜東北線のD-ATC、京王線ATC、ATS-Dx等が挙げられる。いずれの装置も車上DBに地上設備位置等の線路データや車両性能等を登録することで、地上設備の削減や細かな速度制限設定および車両性能に応じた最適な速度照査を実現している。

### 2.1 ATS-Dxにおける車上DBの構成

ATS-Dxの車上DBは、車両最高速度やブレーキパターン等の車両の基本性能を登録する車両性能DB、および地上子位置や速度制限位置等を登録する線路DBから構成される<sup>1,2)</sup>。

#### (1) 車両性能DB

車両性能DBは、図1に示すように搭載車両に対応する車両基本性能データならびにブレーキパターンテーブルより構成される。

#### (2) 線路DB

線路DBは、図2に示すように区間境界（基本的に連動駅間を1区間としている）に設置される絶対位置確定用地上子から受信した情報を元に、線路データ参照先を確定するための絶対位置データと、地上子位置や信号機位置、曲線や分岐等の速度制限情報を列車の進行順に登録した線路データより構成される。

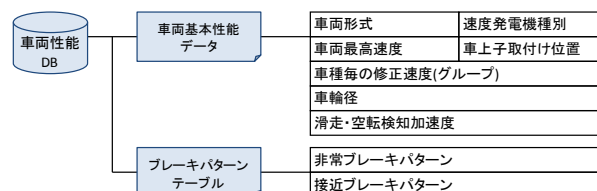


図1 車両性能DB登録内容

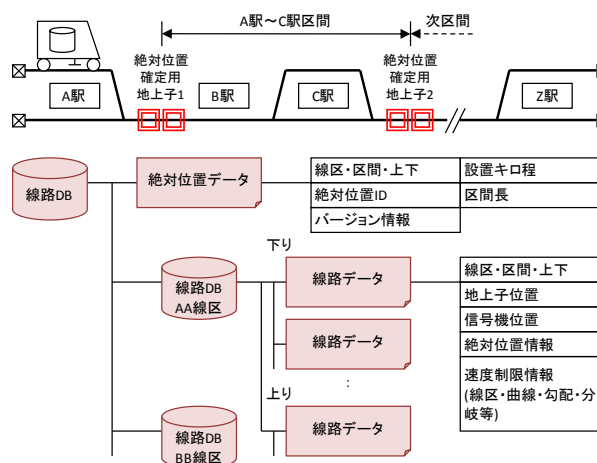


図2 線路DB登録内容

## 2. 2 車上 DB の作成・管理

車上 DB に登録されるデータは、速度照査パターン作成に直接使用されることから、データの正当性確保は、重要な要件となる。このため、車上 DB の構築にあたっては、図 3 に示すように DB 入力機能、DB シミュレータ機能、DB 管理機能の 3 種類の機能により、DB の作成、検証、管理を行い、安全性に配慮することとしている。特に管理装置は、車両基地等に設備されており、十分に検証されたデータが車上送受信器にインストールされるような仕組みとしている。

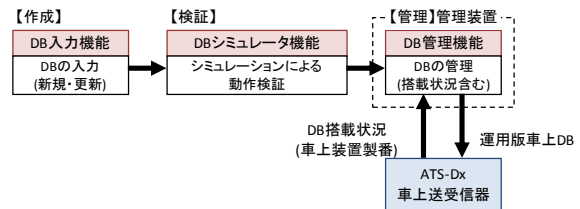


図 3 車上 DB 作成からインストールまでの流れ

## 3. 無線通信による車上 DB 更新技術

### 3. 1 システム構成

今回、ATS-Dx を対象例として無線通信による車上 DB 更新システムを開発した。また、プロトタイプ装置を開発するにあたり、極力、現状の ATS-Dx 車上送受信器のハードウェア改修が生じないよう配慮した。システム構成を図 4 に示す。

車上装置は、ATS-Dx 車上送受信器と無線制御装置、更新対象車両であることを設定するための更新スイッチ（以下、更新 SW）、音声の鳴動や LED 表示を行う表示装置から構成される。一方、地上装置は、車上 DB を管理する管理装置と無線制御装置から構成される。また、プロトタイプ装置における地上および車上の無線制御装置は汎用の無線モデムおよび PC での構成とし、地上に設置される管理装置は、簡素化のために PC にて構成した<sup>3)</sup>。なお、実用システムにおいては、地上管理装置にはフェールセーフ性が要求される。

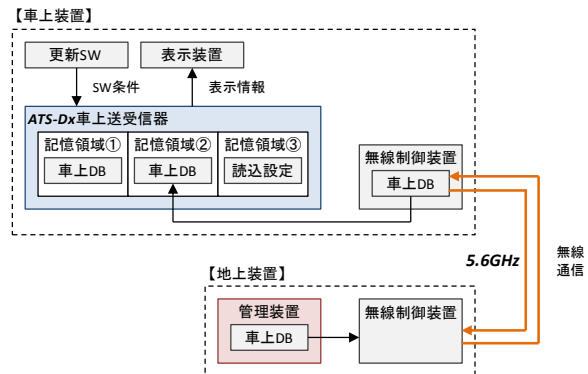


図 4 プロトタイプの構成および仕様

### 3. 2 更新プロトコル

プロトタイプ装置においては、更新 SW が扱われた条件をトリガに ATS-Dx 車上送受信器が車上 DB の更新専用モード（以下、更新モード）に移行し、無線通信を開始する。

本システムの記憶領域は、旧 DB と新 DB をそれぞれ保持するための記憶領域①と記憶領域②、そして車上送受信器が読込む記憶領域を設定するための記憶領域③の 3 領域で構成される。また、新旧 DB はそれぞれ制御情報を 2 面分保持できるようにしており、基本的に新 DB は現状使用しているバージョン（地上設備変更前）と変更後のバージョンを保持する。旧 DB と新 DB の切換は、車上送受信器の起動時に読込む車上 DB を記憶領域③で指定する方式とした。記憶領域の切換方法を図 5 に示す。車上送受信器が更新モードに移行すると、記憶領域③で指定されていない記憶領域を消去し、その記憶領域を新 DB の保存領域として使用する。新 DB の正当性が確認され、通信が正常に終了すると、記憶領域③の内容を変更する。更新終了後、車上送受信器を再起動すると、新 DB で動作する。万一、更新に失敗した場合は、記憶領域③の内容が変更されないため、旧 DB で起動する。上記のような記憶領域の構成ならびに切換方法は、ATS-Dx システムで実施されている、地上設備の工事等の終了後に行われる車上 DB の切換に影響を与えないように配慮したものである<sup>1)~3)</sup>。

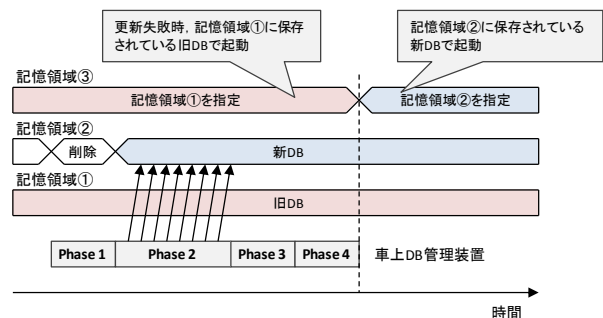


図 5 記憶領域の切換方法

### 3. 3 車上 DB の正当性確認

車上 DB を更新する際、誤ったデータで車上 DB が更新されると運転保安装置の安全が担保できないため、受信したデータの正当性を確認する必要がある。一般には、伝送データの正当性確認方法として、受信データを返送し、送信データと返送されたデータの一致を確認する方法が用いられている。ただし、この方法では、車上 DB の全データを送信するため、データ伝送量が大きくなると共に、同じ無線伝送特性の条件下ではデータ伝送量が大きくなる分だけ車上 DB 更新時間が長くなる。また、新 DB と旧 DB は、広域かつ大規模な線形変更が実施されない限り、同一の制御情報が数多く登録されている特徴を持っている。そこで、車上 DB 更新時間の短縮を目的としたデータ伝送量の縮小手法として、旧 DB と新 DB との差分を車上装置と地上装置とでそれぞれ独立して算出し、地上装置内で、車上装置から送信された差分データと地上装置で算出した差分データを比較することとした。差分の比較で誤りがある場合には、地上装置から新 DB の使用が許可されないようにした。図 6 に無線伝送により更新された車上 DB の正当性の確認手法の概要を示す。

なお、本手法は、高い安全性を実現するため、フェールセーフ CPU を搭載した地上装置と車上装置で、独立して算出した差分情報を比較することを基本としている。

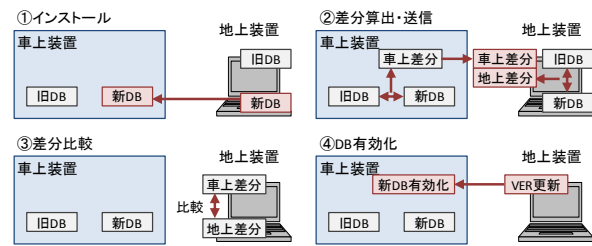


図 6 差分方式による正当性確認の概要

### 3. 4 無線通信における安定性・安全性・セキュリティ対策

無線制御装置は、導入のしやすさを考慮し、無線免許が不要な汎用品を使用することとした。屋外での使用が認められている 2.45GHz 帯と 5.6GHz 帯の無線 LAN を候補とし、車両基地内での電波環境測定を実施した。図 7 に車両基地における、2.45GHz 帯の電波環境測定結果として、電力密度に対する場所率で表わしたものを示す。車両基地によっては、2.45GHz 帯の使用が困難であったため、5.6GHz 帯の無線 LAN (IEEE802.11a) を使用することとした。

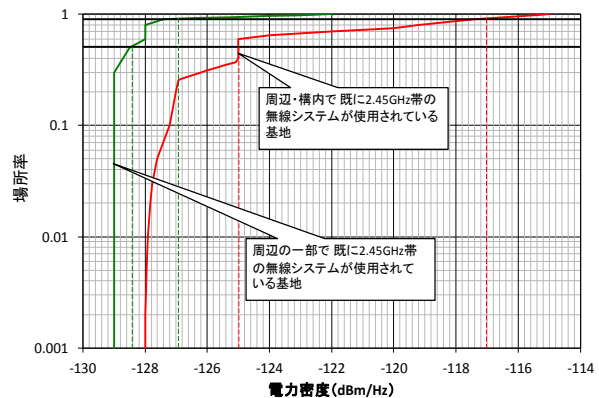


図 7 電波環境測定結果 (2.45GHz 帯)

また、汎用無線規格を用いてデータ伝送を行う場合、保安情報の伝送に関する鉄道向け国際規格 IEC62280 に従った安全性およびセキュリティ対策を実施することが求められている<sup>4)</sup>。IEC62280 では、無線 LAN をカテゴリ 3 のオープントランスミッションシステム (特性が未知・可変であり、かつ使用者が特定できない) と位置付けている。そこで、本システムにおいては、IEC62280 で定義される 7 つの脅威に対応するため、以下の対策をとることとした。

- ・重複、削除、挿入、順序誤り、遅延：フレーム通番、タイムスタンプの付加とチェック
- ・破壊：フレームチェックシーケンス (FCS) の付加とチェック
- ・なりすまし：送信元 ID、宛先 ID、メッセージ認証コードの付加とチェック

なお、伝送パケットにはメッセージ認証コード (MAC) を付加し、暗号化方式としては、強固な共通暗号鍵方式である 256bitAES (Advanced Encryption Standard) を採用した。

### 4. 検証試験

開発した無線更新技術について、無線特性ならびに機能検証のための試験を実施した。

無線特性試験については、鉄道総研構内において減衰特性および通信距離特性試験を実施し、20Mbps以上のスループットを得るためにはC/Nを25dB以上、無線制御装置間距離を150m以下とする必要があることを確認した。一方、伝送品質の試験は車両区にて実施した。パケット送信成功率の時間推移を日中帯の2日間観測したところ、目立った特徴は見られず、5.6GHz帯の無線通信によるデータ伝送の信頼性に関して問題ない結果が得られた。また、機能検証試験は同じく車両区にて実施し、正常動作ならびに異常発生時の動作として、他車両による遮蔽、無線通信の断絶および妨害波印加、更新データ誤りおよび更新SW誤扱いについて、動作確認を行った。プロトタイプによる機能検証試験の結果、仕様通りの動作を確認した。

## 5. 無線DB更新技術の展望

今回開発したシステムは、ATS-Dxを対象にハードウェア構成を極力変更しない前提としたため、更新開始時に車上で更新SWを扱う必要がある等の制約が生じていた。そこで、新たに無線を利用した車上DB更新を行う車上保安装置においては、車上装置のハードウェア構成、データ管理ならびに使用無線等について、十分な検討を行ったうえで開発することが望ましい。

一例として、プロトタイプと同様に車両基地の地上装置から車上DBの更新を行う場合、車上装置のハードウェアとして具備すべき要件を示す。車上装置内のハードウェア構成は、図8に示すように保安制御部と無線モジュールを内蔵した無線制御部で構成し、車上アンテナにコネクタ接続する構成とする。無線制御部は、高速な無線通信でダウンロードしたデータを一時的に蓄えるものとし、保安制御部へインストール用データの引渡しを行う。さらに、ダウンロードされたデータを無線制御部のダウンロードメモリに格納し、データ選択回路により保安制御部で使用していない側のデータベースおよびプログラムメモリにインストールを行う仕組みとする。これにより、走行中であっても運転保安装置の動作に影響を与えることなく、データ更新が可能となる。

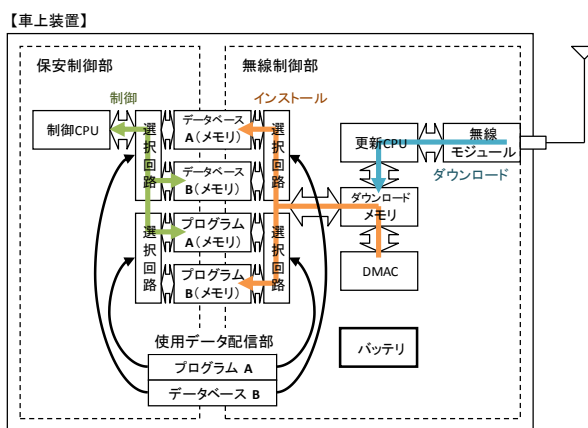


図8 将来システムのハードウェア構成

## 6. おわりに

無線更新技術として、免許が不要な汎用無線LANを選定し、IEC62280の要件である7つの脅威に対応できる伝送フォーマットの策定を行った。また、地上装置、車上装置での新旧データの差分比較によるDB更新の安全性確保技術を開発した。さらに、プロトタイプ装置を用いた検証試験を実施し、無線による車上保安装置用DB更新の基本機能に問題がないと共に、従来と同等の正当性を確保したまま複数台の同時更新が可能であり、単体毎と比較して効率的に車上DBを更新できることを確認した。本システムの開発で得られた知見や技術は、今後の車上DBを保有する運転保安装置における車上DB更新作業の効率化に寄与するものである。

## 参考文献

- 1) 藤田浩由, 新井英樹, 佐藤和敏, 門脇雅明, 貞苅路也: 車上データベースを用いたATS-Dxの開発, 鉄道総研報告, Vol. 24, No. 3, pp. 5-10, 2010
- 2) 藤田浩由, 会津知晃, 森田隼史, 相馬清高: ATS-Dxの車上DB管理システムの開発, 第48回鉄道サイバネ・シンポジウム, No. 608, 2011
- 3) 小関泰二, 森田隼史, 新井英樹, 杉本経嗣, 三浦泰久, 森下隼人: 無線による車上データベース更新技術の開発, 第51回鉄道サイバネ・シンポジウム, No. 529, 2014
- 4) 川崎邦弘: 安全関連伝送に関する国際規格IEC62280, 鉄道総研報告, Vo. 27, No. 2, pp. 41-44, 2013