

# 車上データベースを用いたATS-Dxの開発

藤田 浩由\* 新井 英樹\* 佐藤 和敏\*\*

門脇 雅明\*\*\* 貞苅 路也#

## Development of ATS-Dx with Permissible Speed Profile Using an On-board Database

Hiroyuki FUJITA Hideki ARAI Kazutoshi SATO

Masaaki KADOWAKI Michiya SADAKARI

The authors had developed the basic train control system of ATS (Automatic Train Stop) -X which is interoperable with the existing ATS-Sx system already introduced into almost all the conventional lines of JR companies. The safety level of ATS-X system is higher than that of ATS-Sx system because ATS-X system has function to compare train speed with a permissible speed profile calculated by on-board device. This time, the authors developed a new ATS system called ATS-Dx system which uses a database installed in the on-board device, and is based on the ATS-X system. The ATS-Dx system is able to reduce the construction costs and the number of beacons with respect to the function of limited speed reference for curves and turnouts. In this paper, the authors report on the specifications of this system and the functional field test results.

キーワード：ATS, ATS-X, ATS-Dx, 車上速度照査パターン, デジタル信号, 車上データベース

### 1. はじめに

現在、JR会社のほとんどの在来線には、ATS-S改良形（以下、ATS-Sx）が導入されており、信号冒進事故の低減に大きく貢献している。このATS-Sxでは、列車が停止信号機に付随する地上子を通じた際に、地上子から送信されている130kHzの周波数信号を車上で受信することにより、乗務員に対して警報を与え、警報後5秒以内に乗務員による確認扱いが行われなかった場合、自動的に非常ブレーキが動作する機能を有している<sup>1)</sup>。しかし、一旦確認扱いが行われた後は、その後の運転誤りに対して防護できないという課題を抱えている。また、鉄道に関する技術上の基準を定める省令第57条が改正され、列車を自動的に減速または停止させる装置には、線路条件に応じた速度制限機能が追加となり、これらの課題ならびに要求を解決できる保安度の高いATSの開発が望まれている。

鉄道総研では、これまでに保安度向上を図るため、現行ATS-Sxとの機能互換性を確保しつつ、車上で速度照査パターンを発生させる新しい車上速度照査式ATS（以下、ATS-X）の開発を行ってきた<sup>2)</sup>。今回、著者らはこれまでに開発されたATS-Xを基本とし、線路条件に

応じた速度制限機能等に関して、低コスト化ならびに地上装置の省略を実現するため、車上データベース（以下、車上DB）を新たに導入したATS-D形（以下、ATS-Dx）を開発した。

本稿では、ATS-Dxのシステム概要、制御機能、および機能検証試験結果について報告する。

### 2. ATS-Dxのシステム機能概要

ATS-Dxは、ATS-Xと同様に車上速度照査機能の採用により高い保安度を有しており、ATS-Sxとの互換性を確保している点が大きな特長と言える<sup>2)・3)</sup>。概念的には、ATS-Sxの機能に車上速度照査機能を付加したものがATS-Dxである。さらに、線路条件に応じた速度制限機能等に関して、車上DBを活用した速度照査パターン制御方式を採用している。ATS-Dxは、地上装置と車上装置によって構成される。システム構成を図1に示す。

#### 2.1 地上装置

地上装置は、現行設置されているS形地上子の他、新たに開発したDx形地上子で構成される。Dx形地上子は、図2に示すように共振周波数とデジタル信号を同時送信できる有電源地上装置（ATS-Xで開発済み）と、固定デジタル信号を送信できる電源ケーブルレス地上装置の2種類がある<sup>4)</sup>。有電源地上装置は、現行S形地上子で使用される103kHz、108.5kHz、123kHz、130kHzの

\* 信号通信技術研究部（信号）

\*\* 研究開発推進室（JR）

\*\*\* 北海道旅客鉄道株式会社（工務部）

# 九州旅客鉄道株式会社（電気部信号通信課）

特集：信号通信技術

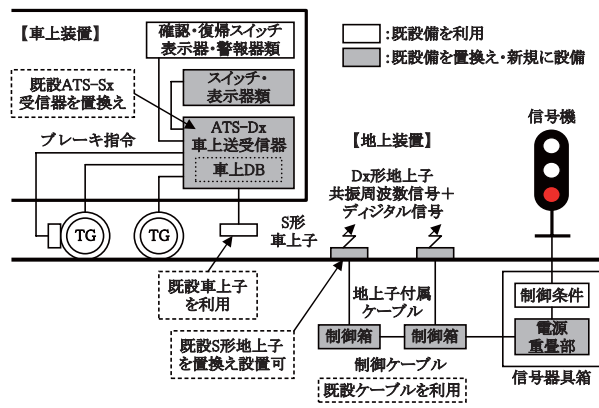


図1 ATS-Dx システム構成

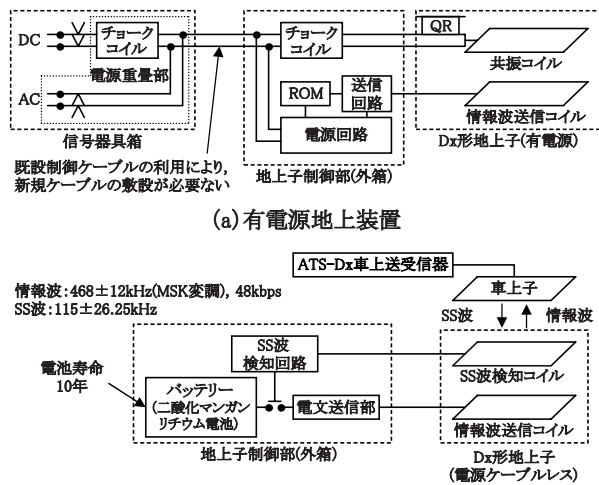


図2 地上装置構成

周波数信号に加え、車上速度照査パターンの作成に必要な信号機までの距離情報等をMSK変調によるデジタル信号として重畳送信する機能を有している。デジタル信号送信のための電源は、既設のATS制御ケーブルを用いて供給し、S形地上子の共振周波数切替制御用電源(DC24V)に、デジタル信号送信用の交流電源(AC400Hz, 24V)を重畳して、信号器具箱から供給する。

一方、電源ケーブルレス地上装置は、車上DB活用のため、自列車位置を認識させる目的で設置される絶対位置確定用地上子として用いられる他、速度制限用地上子としても用いることができる<sup>4)</sup>。

電源ケーブルレス地上装置は、二酸化マンガンリチウム電池、車上子からのスペクトラム拡散(Spread Spectrum: 以下SS)信号<sup>5)</sup>を受信することにより電源制御を行うSS波検知回路、および固定情報を送信するための電文送信部で構成される。また、本地上装置は電源ケーブルの敷設が不要となるため、設置コストが低減できる。なお、バッテリーの寿命は、送信起動73万回(200本×365日×10年)以上を確保することとしており、51万回を超えた場合、バッテリー残量の低下を通知する電文を送信出力し、運転台表示器の地上子ランプを点灯させる。

これらDx形地上子の寸法、形状は、現行S形地上子(小形地上子)とほぼ同一であり、取付け互換性を有している。

2.2 車上装置

車上装置は、ATS-Dx車上送受信器と車上子、速度発電機、表示器、各種スイッチから構成される。なお、ATS-Sxのための車上子および接続ケーブルをそのまま使用でき、車両のぎ装変更を極力少なくしているため、導入コストの低減を図ることができる。地上子検出方式はSS方式とし、従来の変周方式から動作安定性、ならびにメンテナンス性の向上を図っている<sup>5)</sup>。ATS-Dxにおける車上/地上間の伝送仕様を表1に示す。また、ATS-Dx車上送受信器は、ATS-Sxと同じ機能を有する他、Dx形地上子から受信したデジタル信号、または車上送受信器に記憶している車上DB情報に基づき、速度照査パターンを発生し、地上子情報によりパターンの消去、更新を行う<sup>3)</sup>。

なお、車上送受信器において、有電源地上装置から送信される共振周波数とデジタル信号の受信タイミングは、完全には一致しないが、これらも同一地上子からの情報として処理する必要があるため、共振周波数ならびにデジタル信号の処理は以下のように実施している。通常、車上子における地上子からの共振周波数信号の受信エリアがデジタル信号(変調波)の受信エリアに含まれる、もしくは反対にデジタル信号(変調波)の受信エリアが共振周波数信号の受信エリアに含まれる状態が考えられるが、ここでは極端な例として、図3に示すように互いにずれて信号を受信した場合を挙げる。

共振周波数信号は、受信DSP(Digital Signal Processor)に入力され、FFT(Fast Fourier Transform)演算処理により1ms毎のレベル値を算出し、CPU(Central Processing Unit)からのデータ要求に対して処理周期分まとめてCPUに転送される(図3では1周期目:3ms, 2周期目:5ms)。CPUは、転送されたレベルデータを元に、しきい値以上の状態が6ms分継続したことで信号ありの判定を行う。一方、デジタル信号は、CD(Carrier

表1 ATS-Dxにおける車上/地上間の伝送仕様

項目	内容	
対応列車速度	140km/h以下(営業最高速度)	
共振周波数	地上子検出方式	SS方式(電圧レベル検知, FFTピーク演算処理方式)
	応動距離	320mm以上
	周波数信号	103kHz, 108.5kHz, 123kHz, 130kHz
デジタル信号	伝送周波数	468kHz ± 12kHz
	伝送速度	48kbps
	変調方式	MSK変調方式
	電文フォーマット	HDLC準拠
	符号形式	NRZ(Non Return to Zero)
	電文長	80bits(情報48bits)
	応動距離	340mm以上
	受信電文数	最低3電文受信
電文内容検定方式	CRC照合, C <sub>2</sub> 多数決照合(3電文中2電文以上が一致)	

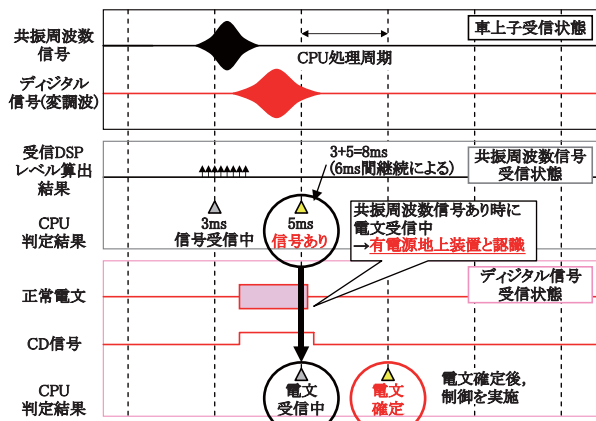


図3 有電源地上装置からの情報受信イメージ

Detect) 信号を検知し、CRC検定に合格した正常電文がある場合、正常電文を読み込む(電文受信)。CD信号なし、正常電文なしとなった場合、その直前に受信した正常電文から後着優先で多数決照合を実施し、電文を確定する。このとき、有電源地上装置から送信される共振周波数とデジタル信号は、同一地上子からの情報として併せて制御を行う必要があるため、①共振周波数信号あり時に電文受信、②電文確定時に共振周波数信号あり、のいずれかの成立をもって処理を行っている。図3の例では、①が成立しているため、有電源地上装置からの共振周波数とデジタル信号の受信タイミングが一致してはいないが、安定した処理を実現している。

### 3. ATS-Dxで用いる車上DB

#### 3.1 車上DB導入の目的

鉄道に関する技術上の基準を定める省令第57条が改正され、曲線や分岐器等での速度超過をATS等により防護することが要求されている。現行ATS-Sxでは、速度制限箇所ごとに速度制限地上子を設置することで速度制限を実施するため、地上子の設置が多数必要となる。また、地上設備で速度制限を実施するため、制限速度をその区間を走行する最もブレーキ性能の悪い列車に合わせなければならないという制約がある。一方、ATS-Xでは、地上子からの情報により、車両性能に見合った速度制限は実施できるが、速度制限箇所ごとに速度制限地上子を設置する必要がある。

そこで、ATS-Dxでは、速度制限機能を低コストに実現することを目的として、車上DB情報に基づく車上速度照査機能を採用している。これにより、速度制限箇所ごとに速度制限地上子を設置する必要がなく、車両性能に見合った速度制限の実施を可能としている。また、車上DBを持つことにより、例えば大規模駅での分岐器速度制限に対する制御については、車上DBに登録した駅構内情報と地上子から通知された進入番線情報とを照

らし合わせることで容易に実現できる。さらに、車上DBに基本運用ダイヤを登録し、列車番号設定器により設定された列車番号に基づき、停車駅誤通過防止制御を実現できる拡張性も有している。

#### 3.2 車上DBの情報内容

車上DBは、①管理の容易性、②変更の容易性、③構造の単純化に配慮した構成とした。図4に示すように車上DBは、車両最高速度や減速度等の車両の基本性能を登録する車両性能DB、および絶対位置や線路設備を登録する線路DBから構成される。ここで、線路設備については、その設備の位置情報として、図4に示す絶対位置確定用地上子からの距離を登録する。

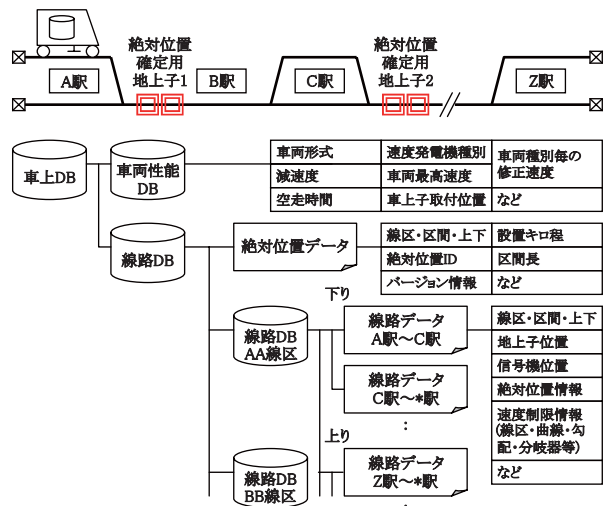


図4 車上DBの構成

#### 3.3 車上DBの作成・管理方法

車上DBは、あらかじめ決められたデータ形式により登録されたデータがATS-Dx車上送受信器にインストールされることにより有効となる。車上DBの構築にあたっては、DB入力装置、DBシミュレーション装置、DB管理装置の3種類の装置を用いる。図5に車上DBの作成からインストールまでの流れを示す。はじめに、車上DBを作成するため、DB入力装置を用いて車両性能データならびに線路データを入力する。続いて、DBシミュレーション装置を用いて入力された車上DBによる発生パターン等の検証を行う。その後、DB管理装置を用いて検証済みの車上DBをCFカードにコピーする。このCFカードを車上送受信器に挿入することにより車上DBがインストールされる。なお、CFカードを用いて車上DBを車上送受信器にインストールする際には、ポジ・ネガデータの照合による健全性チェックを行うことにより、安全性を確保している。また、車上DB搭載状況の管理は、DB管理装置とインストール済みCFカードを用いて行う。

特集：信号通信技術

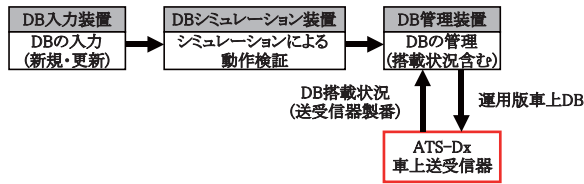


図5 車上DB作成からインストールまでの流れ

3.4 車上送受信器による線路データ照合方法

車上DBに基づく車上速度照査機能を実施するためには、車上装置が常に自列車位置を認識する必要がある。ATS-Dxでは、車上での自列車位置検出のために、速度発電機信号に基づき距離積算を行っており、さらに、車上DBに登録された地上子を通過する毎に位置補正を行っている。このような自列車位置検出においては、車上DBの内容と実際の地上設備や線路条件が一致していることが重要な要素となる。例えば、地上設備に変更があった場合、車上DBの内容もこの変更後の内容に書換える必要があるが、万一これを失念した場合であっても、顕在化できるチェック機能が必要となる。そこで、車上DBにバージョン情報を持たせるとともに、絶対位置確定用地上子にもバージョン情報を持たせ、列車が絶対位置確定用地上子を通過した際に受信するバージョン情報と車上DBのバージョン情報の一致確認を行う。このとき、バージョン情報が不一致となれば、自動的に非常ブレーキを動作させ、安全性を確保する。

4. ATS-Dxの制御概要

本章では、ATS-Dxの信号機冒進防護機能ならびに線路条件に応じた速度制限機能等の主機能と異常時の制御について述べる。なお、JR北海道とJR九州では、ATS-Dxの仕様が若干異なるため、以降それぞれATS-DN、ATS-DKと呼ぶ。

4.1 信号機冒進防護機能

ATS-Dxでの信号機冒進防護機能の制御イメージを図6に示す。ATS-DNでは、車上DBを最大限活用した制御方式としている。そのため、信号機に付随するS形地上子の設置位置を車上DBに登録しておき、登録位置に対して一定の範囲内で共振周波数信号を受信した場合、車上で速度照査パターンを作成する(103kHz:信号パターン消去, 108.5kHz:信号パターン継続)。一方、ATS-DKでは、Dx形地上子から共振周波数とデジタル信号(信号機までの距離)を同時受信することにより、その情報を基に速度照査パターンを作成する。これは、現行ATS-SKにおいて、108.5kHzの共振周波数信号が、既設の2点間速度照査用として使用されていることによる。

4.2 線路条件に応じた速度制限機能

4.2.1 分岐器速度制限機能

分岐器速度制限パターンは、車上DBより発生し、場内信号機に付随するDx形地上子から送信される「分岐パターン継続/消去」情報に基づき制御される。場内2進路の制御イメージを図7に示す。パターンが重複して発生した際には、下位側の速度照査パターンを超過した場合、非常ブレーキが動作する。一方、3進路以上の駅では、分岐パターンの継続/消去だけでなく、進路に応じた分岐パターンのみを残す必要があるため、進入番線確定用地上子と呼ばれる地上子を設置する必要がある。

4.2.2 線路速度制限機能

線路速度制限パターンは、車上DBを用いて発生させる(図8左側)。車上DBには、各制限箇所に対し、制限開始位置、制限区間長、制限速度等の情報をあらかじめ登録しておく。なお、図中右側に示すように、電源ケーブルレス地上子から制限箇所に関する上記情報を送信することにより、同様の制御は可能となる。

4.3 異常時の制御

制御上の異常として、3.4節で述べた車上DBと地上設備のバージョン不一致のほか、地上装置ならびに車上装置の故障によるものが挙げられる。地上装置の故障によ

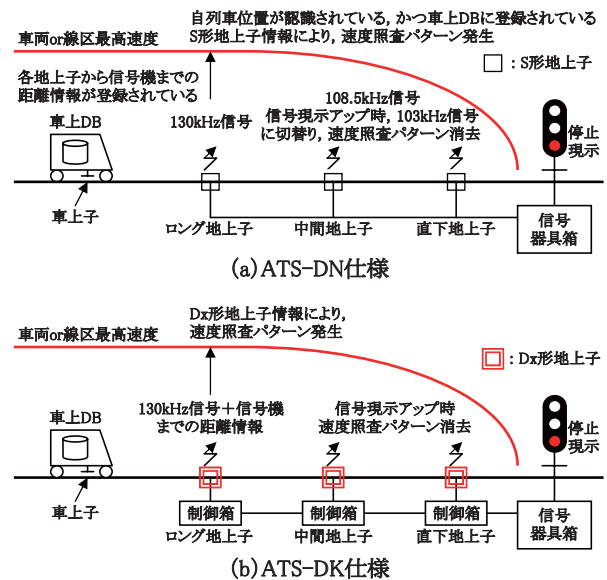


図6 信号機冒進防護機能の制御イメージ

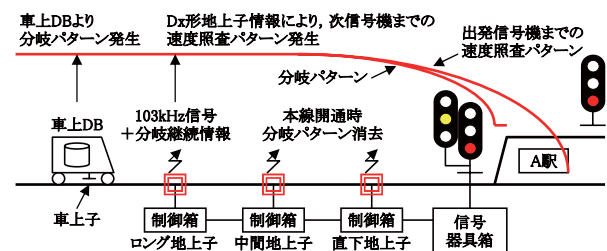


図7 分岐器速度制限機能の制御イメージ

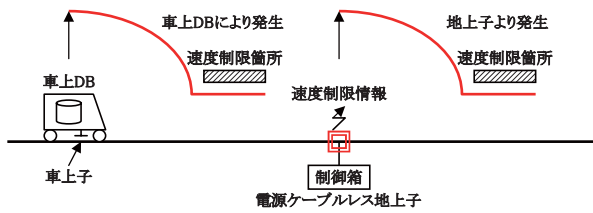


図8 線路速度制限機能の制御イメージ

り、デジタル信号が受信できなかった場合、発生済みの速度照査パターンは保持し、共振周波数信号に基づいた制御となる。ただし、絶対位置確定用地上子や進入番線確定用地上子のように、デジタル信号を受信できないことにより、車上でパターン制御ができなくなる場合は、車上DBにおいてデジタル情報未受信を検知し、非常ブレーキを動作させる。一方、車上装置においては、車上速度照査機能に支障する速度発電機関連の故障、およびデジタル信号受信回路の故障等、ATS-Dx機能のみに影響する場合は、ATS-Sxの機能に縮退する。また、車上DBに登録した地上子を所定の検出範囲内で検出できない場合、位置ずれと判定し、運転台表示器の地上子ランプを点灯させる。2回連続で位置ずれとなった場合には、非常ブレーキを動作させる。

## 5. 機能検証試験

ATS-Dxの車上DBおよび地上子情報に基づく速度照査パターン制御に関する機能を検証するため、現車試験を実施した。また、本試験では、主機能の検証に加え、実際のブレーキ制御や閉そく指示運転等の補足機能ならびに付加機能の検証も行った。なお、現車試験は、JR北海道函館本線、ならびにJR九州鹿児島本線で実施したが、同種の試験であるため、ここではJR北海道での試験について述べる。

### 5.1 試験方法

#### 5.1.1 車上側試験構成

試験車両先頭車の既設ATS車上子を既設ATS-SN送受信器より取外し、ATS-DN車上送受信器への接続変更を行った。また、第1軸ならびに第2軸の速度発電機からの速度パルス信号、および力行・ブレーキ指令条件、各種スイッチ条件をATS-DN車上送受信器に入力し、車上送受信器から車両側に非常ブレーキ指令を出力する構成とした。

試験時は、図9に示すような試験構成ならびに測定機器構成とし、DN形地上子上を通過した際のデジタル信号(変調波)の受信レベルをスペクトラムアナライザにより測定した。また、車上送受信器での復調結果の妥当性について検証するため、受信した変調波の復調結果をプロトコルアナライザにより測定した。さらに、車上速度照査パターン制御が問題なく行われていることを確認するため、モニタPCを用いて、車上送受信器の制御

状態を記録した。仮設機器の写真を図10に示す。

#### 5.1.2 地上側試験構成

試験区間に有電源地上装置ならびに電源ケーブルレス地上装置を仮設した。さらに、閉そく信号機中間・直下にパターン消去用としてS形地上子を仮設した。有電源地上装置から送信する共振周波数信号ならびにデジタル信号の切替は、各箇所配置した条件切替スイッチを扱うことで実施した。仮設機器の写真を図11に示す。

### 5.2 試験結果

上記の試験構成により、15日間(1日4走行)、計60試番の現車試験を実施した。地上子から受信したデジタル信号(変調波)の受信レベルについては、仕様通りであり、受信した変調波の復調結果についても妥当であることを確認した。また、地上子からの受信信号ならびに車上DBの登録内容により、実施する各制御機能について確認を行った。制御状態の確認に用いたモニタPCによる動作状態記録データの一例を図12に示す。図12において、横軸は車上送受信器電源投入からの走行距離、縦軸は速度を示す。図12より、例えば曲線速度制限に対して、①速度照査パターンの発生位置、②制限開始・終了位置、③制限速度について、車上DBの登録内容と比較し、制御が妥当であることを確認した。同様に、分岐器に対する速度照査パターンについては、上記内容の他、④地上子からの

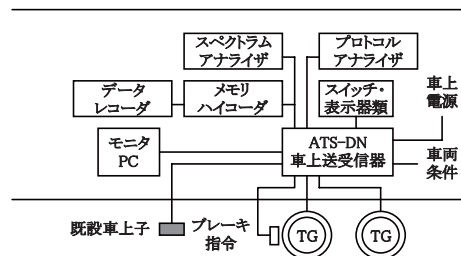
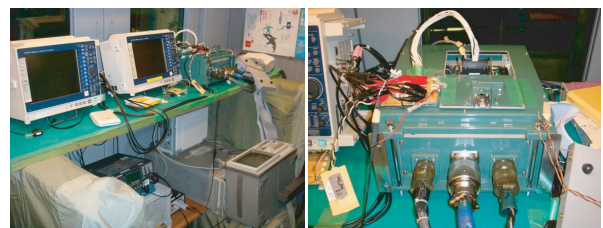
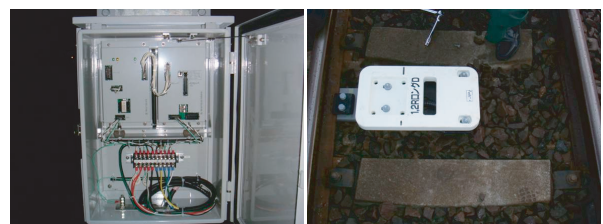


図9 車上側試験構成・測定機器構成



(a) 測定機器類 (b) 車上送受信器

図10 車上側仮設機器



(a) 制御部(有電源) (b) DN形地上子

図11 地上側仮設機器

特集：信号通信技術

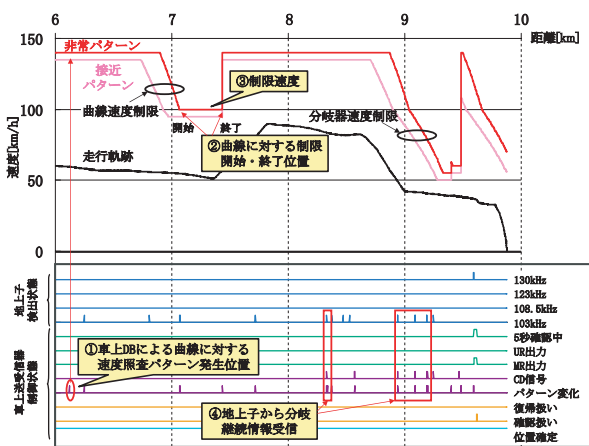


図12 動作状態記録データの例

受信信号も含め、妥当であることを確認した。

上記の要領で制御状態を検証した結果、ATS-DNの主機能、補足機能、付加機能について、全試番を通じて仕様通りであり、実用上問題ないことを確認した。さらに、4.3節で述べた異常時の制御についても仕様通りであることを確認した。

また、自列車位置の認識について、本試験では、車上送受信器が認識した地上子間走行距離とあらかじめ測量した地上子設置間隔との比較を行った。ATS-DNでは、距離積算誤差(地上子間走行距離と地上子設置間隔の差分)が地上子設置間隔の3%、または5m(地上子の最小設置間隔)以内である場合に、車上DBの探索対象地上子として認識し、自列車位置を補正する機能を有している。なお、車上DBに登録する地上子位置は1m刻みとしているため、地上子設置間隔が167m以上の場合は3%以内、166m以下の場合は5m以内が距離積算誤差の許容値となる。

本試験において、地上子設置間隔が167m以上の箇所注目すると、車上送受信器で検知した滑走・空転時を含め、誤差は最大で1.7%であり、許容する誤差範囲内であった。一方、地上子設置間隔が166m以下の箇所について、距離積算誤差の結果を図13に示す。図13において、横軸は対象となる地上子設置間隔、縦軸は距離積算誤差の絶対値を示し、対象となる地上子設置間隔において、誤差は最大で3.4mであり、いずれも5m以下となることから、許容する誤差範囲内であった。

したがって、今回の試験では、すべての地上子設置間隔において、許容する誤差範囲内であったことから、自列車位置の認識精度が良好であり、車上DBに基づく速度照査パターン制御が問題なく実施できることを確認した。

なお、ATS-DKの機能検証試験については、上記と同様、良好な結果が得られた。

以上より、ATS-Dxシステムの信号機冒進防護機能や線路条件に応じた速度制限機能といった主機能、ならびに補足機能・付加機能が実用上問題ないことを確認した。

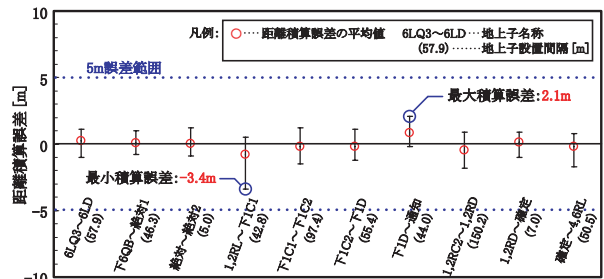


図13 距離積算誤差(地上子間隔166m以下)

6. おわりに

本稿では、ATS-Dxのシステム概要、制御機能、および機能検証試験結果について述べた。

ATS-Dxは、これまでに開発されたATS-Xを基本とし、低コスト化ならびに地上装置の省略を実現するため、車上DBを積極的に活用したシステムである。さらに、JR在来線のほとんどの線区・車両に導入されているATS-Sxのための既設インフラの積極的活用と互換性確保により、導入コストの低減ならびに段階的な導入が図れるとともに、連続的な車上速度照査機能の採用により高い保安度を有する。

また、実フィールドでの機能検証試験を実施した結果、ATS-Dxが実用上問題ない性能を有していることが確認できた。さらに、地上装置および車上装置に対する安全性評価を行い、故障検出手法ならびに故障検出時の安全側制御の妥当性について証明し、十分な安全性を有していることを確認した。

本システムは、JR北海道ならびにJR九州で導入が予定されており、今後、実導入による保安度向上が期待される。

最後に、本システムの開発にあたり、ご協力いただいた関係各位に深く感謝する。

文献

- 1) (社)日本鉄道電気技術協会:鉄道技術者のための電気概論 信号シリーズ7 ATS・ATC (改訂版), 2001
- 2) 新井英樹, 佐藤和敏:車上速度照査式ATS-Xの基本システム開発, 鉄道総研報告, Vol.20, No.10 pp.5-10, 2006
- 3) 土師将人, 新井英樹:現行ATSと互換性を有する車上速度照査式ATS-X, 鉄道と電気技術, Vol.19, No.10 pp.43-48, 2008
- 4) 佐藤和敏, 新井英樹, 澤田康夫, 和久津拓也, 田中和広:ATS-Xシステムの開発—電源ケーブルレス地上子の開発—, 第44回鉄道サイバネ論文集, No.625, 2007
- 5) 新井英樹, 佐藤和敏, 田中和広, 澤田康夫:スペクトラム拡散方式を用いたATS地上子検出方法の開発, 第43回鉄道サイバネ論文集, No.628, 2006