

無線を用いた列車制御システム

Train Control System with Radio

馬場 裕一 平塚 敦 佐々木 英二

Baba Yuichi

Hiratsuka Atsushi

Sasaki Eiji

山本 修

宮本 昌和

Yamamoto Osamu

Miyamoto Masakazu

鉄道は、ダイヤどおりに安全に運行させることが必要不可欠であり、安全をつかさどる信号保安システムは安全性、信頼性の向上、高効率化を求めて進化してきた。

日立グループは、電子連動装置やデジタルATC装置などの信号保安システムで培った技術をベースとして、無線を用いた列車制御システム(ATACS)の開発を東日本旅客鉄道株式会社とともにやってきた。ATACSは軌道回路や地上設備の削減と異常時機能の充実を実現し、安全性とコスト低減を両立させるユーザーニーズに対応したシステムである。

1. はじめに

鉄道運行の安全をつかさどる信号システムは、鉄道の発祥以来、軌道回路や信号機、転てつ器を制御する連動装置などの信号設備によって安全を確保する仕組みを確立してきた。安全性の向上に加え、輸送本数の増大や相互乗り入れなどの実施に伴い、輸送効率向上や鉄道管理業務の自動化などさまざまな施策を行ってきた結果、地上設備は複雑かつ高コストなものになった。このような背景から、今までに培ってきた安全性を確保したままコストを低減することがユーザーから要求されている。その一つの方策として、これまで地上設備主体であった制御方式を、情報制御技術をベースとした地上装置・車上装置一体で運用することにより、さらなる安全性の向上やコスト低減を実現する方法が検討された。

複雑化したシステムを簡略化することやコスト低減を実現するため、メンテナンス費などのコストのかかる軌道回路から脱却し、代替としてこれまで軌道回路で行ってきた列車位置の検知を無線通信で行うシステムが考案された。これが国内初の無線を用いた東日本旅客鉄道株式会社の列車制御システムATACS(Advanced Train Administration and Communications System: アタックス)である。無線

通信を使用することによって地上設備の削減が図れ、メンテナンスコストなどのライフサイクルコストの低減が実現可能であり、設備の削減による安定性の向上が期待できる。また軌道回路を用いないために、移動閉そくを実現でき、列車運行の高密度化も実現できる。

ここでは、列車制御システムATACSの開発経緯と概要について述べる。

2. 無線を用いた列車制御システム開発の経緯

ATACSは1987年から公益財団法人鉄道総合技術研究所で開発を行ってきたCARAT(Computer And Radio Aided Train Control System)をベースに、1995年以来、東日本旅客鉄道株式会社が実用化に向けて開発を行ってきたシステムであり、表1に示す段階を重ねてきた。ATACSはシステム構成上、地上装置、車上装置、無線装置の三つに分けられ、日立グループは地上装置の開発を担当した。

3. ATACSの概要

3.1 パイロット線区

このシステムの開発に際し、パイロット線区としてJR東日本の仙石線が選定された。主な選定理由を次に示す。

(1) 地方線区はほとんどの場合交流電化区間であるが、仙

表1 | 列車制御システムATACSの開発段階

列車制御システムATACSの実用化に向けた開発段階を示す。

1995年	東日本旅客鉄道株式会社がATACSとして開発を開始
1997年～1998年	第1期システム(基本機能)の現地モニタランを仙石線にて実施
2000年～2001年	第2期システム(応用機能)の現地モニタランを実施
2001年	プロトタイプ開発(信頼性・耐久性の向上)を開始
2003年～2005年	プロトタイプ版モニタランを仙石線で実施
2008年	実用化開発を開始(実運用に即した異常時対応機能などを追加)
2010年3月	実用化版モニタランを開始
2011年10月10日	仙石線にて運用開始(ステップ1)

注：略語説明 ATACS(Advanced Train Administration and Communications System)

石線は直流電化区間であり、東北本線などの近隣他線区からの乗り入れがない。

(2) 路線が地上区間だけでなく地下区間もある。

(3) 列車編成が比較的単一である。

(4) 仙石線沿線は仙台への通勤圏であることから、ある程度の列車本数がある。

今後の首都圏などの他線区への展開を考慮し、選定されたものである。

3.2 仙石線ATACSのシステム概要

仙石線に導入されたATACSは仙石線全線(あおば通駅—石巻駅)のうち、あおば通駅から東塩釜駅までの複線区間の約18 kmを制御対象とし、四つの拠点装置、周波数400 MHz帯のデジタル無線を用い、無線基地局は8基地局、車両の運用編成数は18編成である(表2参照)。

このシステムのシステム構成概略を図1に示す。

地上装置は拠点装置、現場端末、在線管理装置、システム管理装置、拠点端末などの装置で構成されている。

(1) 拠点装置

拠点装置は連動駅に設置され、各拠点での列車の間隔制

表2 | システム仕様

東日本旅客鉄道株式会社の仙石線の列車制御システムATACSは約18 km区間を四つの区間に分けて制御を行っている。

制御対象区間	仙石線(あおば通駅—東塩釜駅間、約18 km)
拠点装置数	4拠点
無線基地局数	8基地局
基地局設置間隔	約3 km
制御対象列車数	16列車/拠点
無線周波数	400 MHz帯

御や列車追跡機能などの無線列車制御(ATACS)機能および連動制御機能を行う装置で、信号保安装置である電子連動装置をベースとした計算機三重系で構成されている。ATACS制御機能と連動制御機能を一体(連動機能を分離し、別の連動装置との接続も可能)としており、地方線区で導入されているCTC(Centralized Traffic Control)駅装置とも接続可能である。また、無線なりすまし検知機能も有しており、無線データの暗号化(無線装置で実施)と併せて妨害無線に対しても対策が施されている。

駅に設置されている転てつ器などの各種現場機器の制御や無線基地局との通信は現場端末で行い、拠点装置とは光回線で二重化された拠点LAN(Local Area Network)で接続されている(図2参照)。

(2) 在線管理装置

在線管理装置はシステム内のすべての列車を把握・管理し、拠点装置停止時のバックアップ機能や、異常列車や故障列車が発生した場合のIDシフト機能、臨速(臨時速度規制)設定機能などを有している。各拠点装置とは光回線で二重化されたATACSネットワークで接続され、データの授受を行っている(図3参照)。

(3) システム管理装置

システム管理装置は、運行状況のモニタや各拠点の連動装置状態をモニタするなど、在線管理装置のマニマシ機能を担っている。

拠点端末は、各拠点での連動制御盤機能を有しており、中央のCTC装置に何らかの異常が発生した場合には、駅側での連動駅扱いを行うことができる装置である(図4参照)。

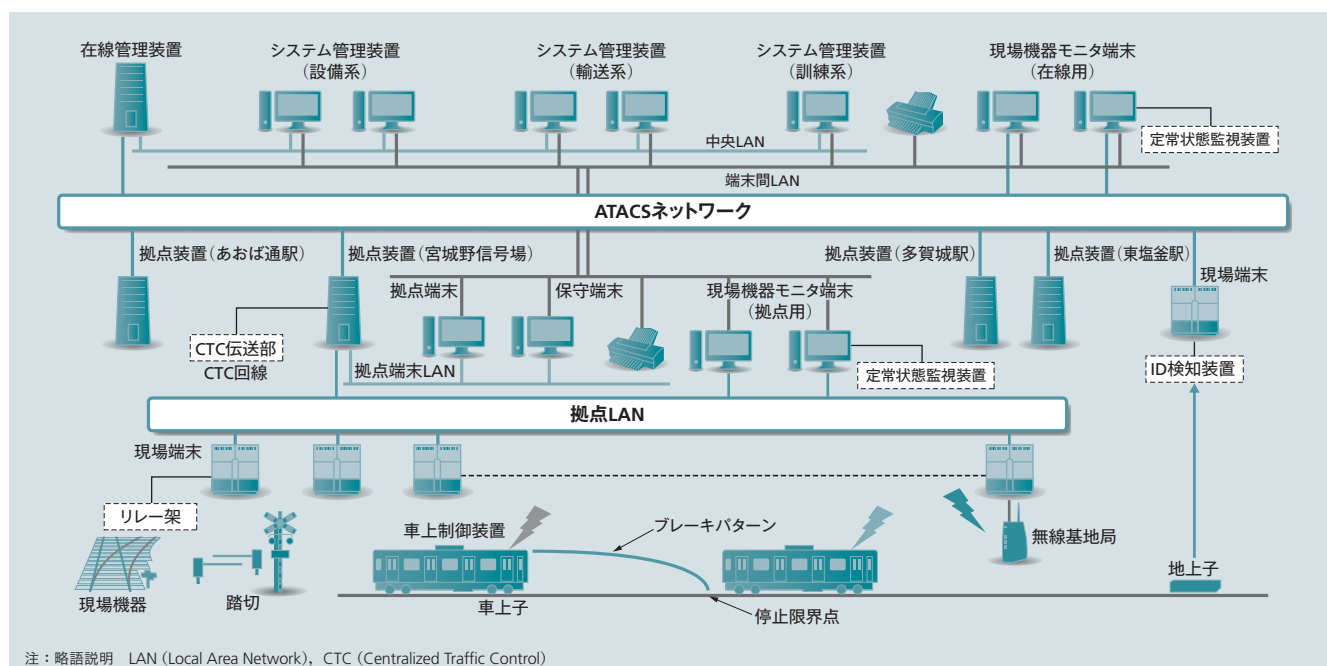


図1 | 仙石線ATACSのシステム概略構成

仙石線システムでは、地上装置は各エリアを担当する四つの拠点装置と、中央装置である在線管理装置から構成され、列車制御を行っている。



図2 | 拠点装置

列車間隔制御や停止限界点の演算を行っている。

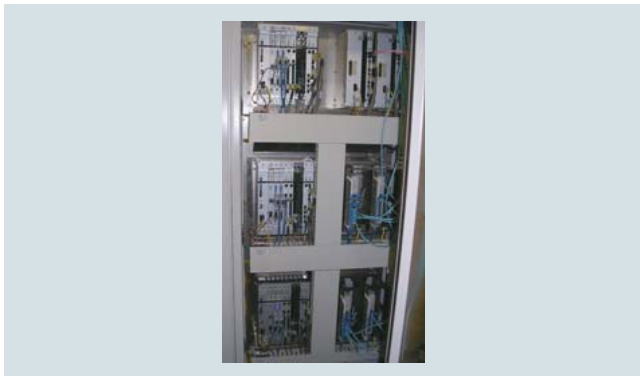


図3 | 在線管理装置

システム内の全列車を把握・管理し、拠点装置異常時にはバックアップする機能を有している。

(4) 無線装置

無線装置は、地上側に設置される無線基地局と、列車に搭載される車上無線局から構成されている。無線基地局は約3 km間隔で設置され、地上区間はアンテナによる空間波で、地下区間やトンネル区間はLCX〔Leaky Coaxial Cable：漏洩（えい）同軸ケーブル〕で車上無線局と双方向通信を行っている。代表的な無線通信項目は以下のとおりである。

(a) 地上装置から車上装置へ

- (i) 停止限界点
- (ii) 経路情報
- (iii) 支障情報
- (iv) 臨時速度制限情報

(b) 車上装置から地上装置へ

- (i) 列車情報（列車位置、列車番号など）
- (ii) 運転方向情報
- (iii) 踏切制御指示情報

(5) 車上制御装置

車上制御装置は、各編成の運転台に設置され、地上装置から送信される停止限界点を基に速度照査パターンを演算し、運転台に上限速度を表示するとともに速度超過が発生した場合は、ブレーキ出力を行う。

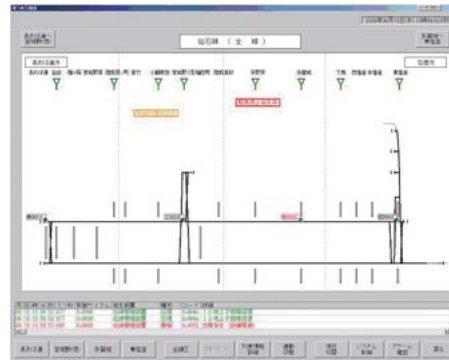


図4 | システム管理装置（運行表示画面の例）

システム内の列車の位置、停止限界点の表示を行っている。

3.3 無線による列車制御の概要

ATACSでの列車制御の方法は、拠点装置が従来の信号現示に代わり、列車が安全に到達可能な位置を「停止限界点」として車上装置へ無線で送信し、車上装置は受信した停止限界点より、その車両性能に応じた最適な速度照査パターンを作成する。列車の運転自体は列車乗務員が行い、列車速度が速度照査パターンを超過した場合において自動的にブレーキがかかる仕組みである。基本的な列車制御はデジタルATC (Automatic Train Control) とほぼ同様であるが、軌道回路（閉そく）がないため、各列車の間隔を制御することによる移動閉そくを実現することができる。

以上による制御の概略を以下に示す。

- (1) 車上装置は路線データベース、速度発電機や位置補正用トランスポンダによって自列車位置を検知する。
- (2) 検知した自列車位置情報を地上装置へ無線を用いて送信する。
- (3) 地上装置は、受信した全列車の位置および進路制御状態などから各列車の停止限界点を作成し、各列車へ無線送信する。
- (4) 車上装置は受信した停止限界点から速度照査パターンを作成し、必要によりブレーキ制御を行う。

以上が基本的な制御の流れである。

異常時の対応機能としては、以下に示す代表的な機能がある。

(1) 緊急停止指示送信機能

システム内で無線通信が途絶したなど、列車に異常が発生した場合は、関係する近隣の列車へ緊急停止指示を送信する機能である。

(2) 無線基地局故障時のバックアップ機能

無線基地局が故障した場合はその基地局を切り離し、隣隣の基地局を用いて、故障した基地局が受け持っていた範囲をバックアップして制御を継続する機能である（図5参照）。

(3) IDシフト機能

無線通信が途絶したなどの異常列車に対して、無線ではなく列車に設置されているID車上子を用いて列車追跡を行う機能である。

(4) 非搭載車検知機能

ATACS装置が搭載されていない車両が、システム内に進入した場合、その車両を検知し、近隣のATACS搭載車両に対して停止指示などを行う機能である。

3.4 踏切制御機能

従来の踏切の制御では、軌道回路や線路沿いに設置された踏切制御子が列車の通過を検知することで、踏切の鳴動／停止を行っている。踏切鳴動制御のタイミングは速度の最も速い列車に合わせて制御しており、速度の遅い列車に対しては踏切鳴動時間が長くなってしまふ。ATACSでは列車が自分の位置と速度を常に把握しており、列車の踏切到達までの時間が把握できるため、列車側から地上装置に踏切鳴動の指示を行うことが可能になる。

このように、無線を用いることによって列車速度や列車種別に応じた車上主体の踏切制御が可能となり、踏切鳴動時間の適正化が図れる。

3.5 仙石線のモニタランとコントロールラン

2010年3月から最終確認を目的とした昼夜モニタラン試験を開始し、併せて2010年4月から夜間コントロールラン試験を現地で開始した。

モニタラン試験は、従来の信号システム(ATS: Automatic Train Stop)のまま、並行してATACS制御を行う(実際のブレーキ出力はしない)試験で、季節や天候による影響を考慮し通年での無線電波状況の確認や、仙石線の列車運用とシステムの整合性の確認、ロングラン試験を行った。

コントロールラン試験では、実際に現地システムをATACSに切り替え、無線による列車制御や各種機能の確認、現場設備との接続確認を実際に列車走行させて行った。

これらの試験で蓄積したデータを解析し、運用に問題が

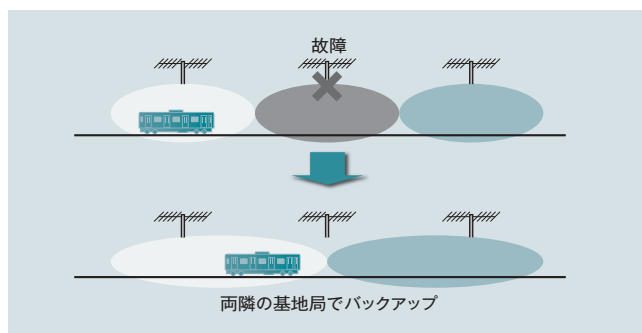


図5 | 無線基地局故障時のバックアップ機能

無線基地局が故障しても、隣接する無線基地局が担当していたエリアをバックアップし、列車運行を継続させる。

ないことを確認した。

4. おわりに

ここでは、列車制御システムATACSの開発経緯と概要について述べた。

仙石線ATACSは、ステップ1およびステップ2の二つの段階で運用開始される。ステップ1では無線列車制御の基本部分を運用開始し、ステップ2では車上主体の踏切制御を運用する予定である。

東日本旅客鉄道株式会社では、将来、首都圏へのATACS導入が計画されており、検討が開始されている。ほかの鉄道事業者においても軌道回路をなくすというニーズは高く、メンテナンスコストの低減が実現できるシステムとして注目されている。

海外では、無線を用いた列車制御システムは主流になりつつある。ATACSは欧州の列車制御システムであるETCS (European Train Control System) Level3に相当することから、今後は国内のみならず、海外にも市場が拡大する可能性がある。

執筆者紹介



馬場 裕一

1991年東日本旅客鉄道株式会社入社、鉄道事業本部 電気ネットワーク部 所属
現在、無線列車制御システムの導入業務に従事



平塚 敦

1992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、無線列車制御システムの設計業務に従事



佐々木 英二

1992年日立製作所入社、交通システム社 輸送システム本部 輸送システム部 所属
現在、鉄道信号保安システムの開発に従事



山本 修

1995年日立水戸エンジニアリング株式会社入社、システム設計部 所属
現在、無線列車制御システムの設計業務に従事



宮本 昌和

1997年日立水戸エンジニアリング株式会社入社、システム設計部 所属
現在、無線列車制御システムの設計業務に従事