

デジタルATCの開発と導入



鈴木 剛史*

当社では現在、新しい列車制御システムである「デジタルATC」の導入を進めている。このシステムは地上側から先行列車の位置をデジタル信号で伝送し、それを受けた車両側では曲線や勾配などの線路条件を考慮した最適なブレーキ制御を行うため、乗り心地の改善が実現するほか様々なメリットがある。新幹線用のデジタルATC（DS-ATC：Digital communication & control for Shinkansen - ATC）は、2002年12月に開業した東北新幹線盛岡～八戸間で使用開始した。2005年11月には古川～盛岡間、2006年10月には新白河～古川間で使用開始し、今後ほかの新幹線線区にも拡大予定である。また在来線用のデジタルATC（D-ATC：Digital - ATC）は2003年12月に京浜東北線南浦和～鶴見間、2006年7月に山手線で使用開始し、今後京浜東北・根岸線大宮～南浦和間・鶴見～大船間に導入予定である。

●キーワード：列車制御、デジタル信号、車上自律制御、速度照査パターン、アシュアランス技術

1. はじめに

当社では、新幹線と東京圏の在来線（山手線、京浜東北線、埼京線など）で自動列車制御装置（ATC：Automatic Train Control system）を使用している。このATCは、地上からアナログ信号により『この区間は210km/h以下で走ってよい』という速度信号をレールに流し、それを受けた車両の速度が速度信号を超えている場合に自動的にブレーキがかかるシステムである。

しかし、これまでのATC（アナログATC）は1964年に開業した東海道新幹線のシステムを基本としており、停車までに何度も強いブレーキがかかり乗り心地が悪いことや、設備が重厚であるなどの問題があった。

このため、当社では新たにデジタルATCを開発し、2002年12月に開業した東北新幹線盛岡～八戸間で使用開始したのを始め、ほかの新幹線線区や京浜東北・根岸線、山手線への導入工事をすすめている（図1、2）。

デジタルATCを導入したことにより、無駄のない最適なブレーキ制御が可能となり、東北新幹線、京浜東北線および山手線において、運転所要時分の短縮と運転時隔短縮、また乗り心地の改善が実現した。

なお現在、根岸線桜木町～大船間の運転方式は「自動閉そく式（ATCバックアップ）」であり、デジタルATC導入後も同運転方式の予定であった。しかしその後、省令が改正され、同一区間でも車種ごとに運転方式を選択することが可能となった。そこで、根岸線桜木町～大船

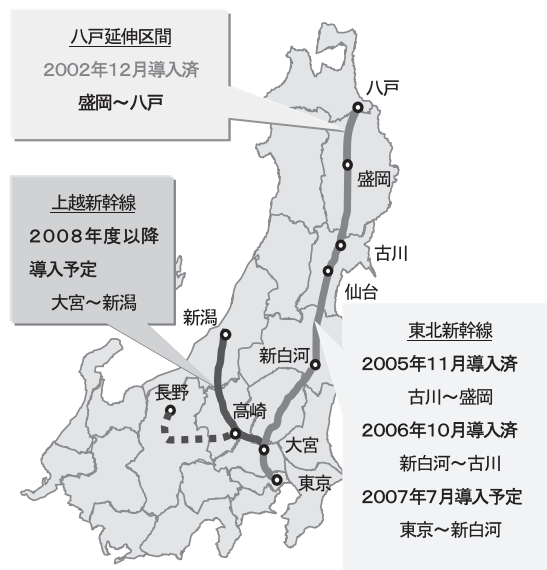


図1 DS-ATCの導入計画

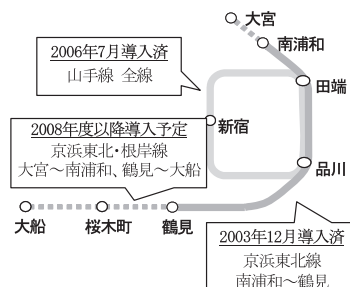


図2 D-ATCの導入計画

間の運転方式はデジタルATC搭載車を「ATC方式」、非搭載車を現行通りの「自動閉そく式」とすることとした。ATC搭載車の運転方式を統一することにより、運転時間および到達時間の短縮効果が期待できる。

2. アナログATCの問題点

アナログATCは、地上装置から速度毎に割り当てられた周波数の異なる速度信号を、一定の区間に区切られた線路（軌道回路）毎に流している。車両側ではその時の走行速度と速度信号（許容速度）を比べて、走行速度の方が高い場合には自動的にブレーキがかかり、速度信号以下の速度まで減速する（図3）。

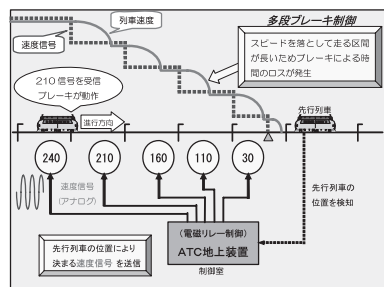


図3 アナログATCのイメージ図

このシステムは1964年に開業した東海道新幹線（東京～新大阪）で開発された技術を基本としており、実績のある安全なシステムである反面、次のような問題点を抱えている。

- (1) 各軌道回路の速度信号に応じて階段状に多段階で減速していくため、ブレーキの動作・緩解の繰り返しにより乗り心地に影響を与える。
- (2) 軌道回路毎の速度信号は、最もブレーキ性能の悪い車両に合わせて決めており、スピードを落として走行する区間が長くなるため、時間的なロスが大きく、車両のブレーキ性能が向上しても列車の運転間隔や運転時分の短縮につながらない。
- (3) 運転士には前方の速度信号が分からず、列車が速度信号の低い軌道回路に入ると突然強いブレーキがかかるため、乗り心地と運転操作性が悪い。
- (4) リレーを使ったハードロジックによる重厚な装置構成や専用機器の使用により、高コストな設備となっている。

当社のアナログATCは新幹線・在来線共に使用開始から約20年以上が経ち、更新の時期を迎えることから、こ

れらの問題点を解消するため、優れた特徴を持つデジタルATCを導入することとした。

3. デジタルATCの機能概要

デジタルATCでは、列車が停止すべき軌道回路を「停止区間」として地上から車両へデジタル信号で伝えている。車両側では、地上に設けられたトランスポンダ地上子からの位置情報と、速度発電機のパルス出力を用いて「自列車の位置と速度」を常に把握している。

この「停止区間」と「自列車位置と速度」を基に最適なブレーキ制御を車上主体で自律的に行うのがデジタルATCの基本的な考え方である（図4）。

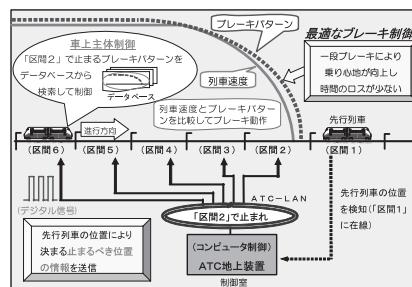


図4 デジタルATCのイメージ図

3.1 列車検知

軌道回路には列車検知信号が送信されており、列車の車輪が軌道回路を短絡することによりATC論理部で列車の在線を検知する。列車検知信号をデジタル信号化することにより、信頼性を高めることが可能となった。

3.2 停止区間の決定

軌道回路による列車位置情報や運動装置からの進路設定情報などの情報のほか、列車を停止させてはいけない電車用送電線の切換区間などの設備情報を基に、地上にあるATC論理部で停止区間を決定している。

3.3 デジタルATC信号の送信

地上のATC論理部で決定した停止区間を、デジタルATC信号として軌道回路を通して車上装置に伝達する。

3.4 自列車位置認識

車上装置は、一定距離毎に設置したトランスポンダ地上子からの位置情報を受信し、車軸に設けた速度発電機のパルスカウントから移動量を常に計算している。これに線区全体の進路情報を格納した車上データベースの情報を併せ、自列車の位置を認識する。

3.5 速度照査パターンの検索

デジタルATC信号で停止区間情報を受信した車上装置は、常時認識している自列車位置をキーとして、予め車上データベースに格納されている速度照査パターンを検索する。速度照査パターンは、前方の線路勾配、ポイント、曲線半径などによる制限速度も考慮して予め作成したものを車上データベースに搭載している。

3.6 速度照査とブレーキ制御

検索で該当した速度照査パターンと自列車位置から、その時点での許容速度を計算する。さらに許容速度と自列車速度とを比較して、その時点で必要なブレーキ力を計算することで、最適なブレーキ力を出力する。

なお、ブレーキが作用する時と、ブレーキが緩む直前にはブレーキ力を弱めることで前後の衝動を防ぎ、乗り心地の改善を図っている。

また、できるだけ照査パターンに沿って列車が減速するように、列車の実速度と照査パターンを常に比較するフィードバック制御も行っている。このため、スムーズで乗り心地の良いブレーキ制御が可能となっている。

3.7 車内信号現示

運転士正面の車内信号機に、自列車速度とその時点での速度信号（許容速度）を表示する（図5）。

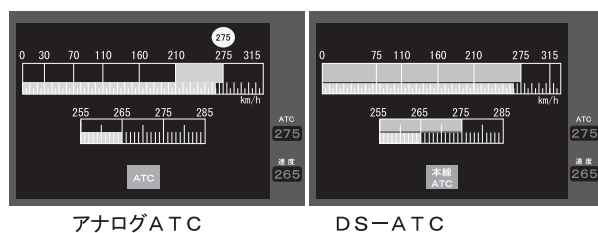


図5 車内信号現示の比較（新幹線）

特に高密度区間に導入されるD-ATCでは、列車速度が許容速度に近づいた場合に、ATCブレーキを動作させる前にパターン接近表示灯が点灯して、運転士に注意を促す（図6）。

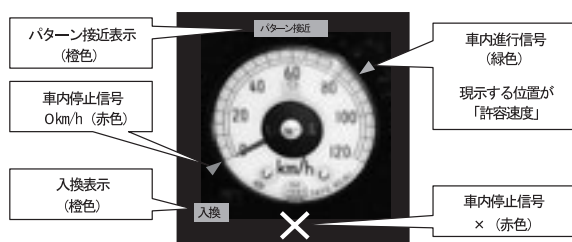


図6 車内信号現示（在来線D-ATC）

3.8 運転士への支援機能

停車すべき駅の通過を防止する機能を持っているほか、D-ATCでは運転台のモニター装置に先行列車の位置の表示や、駅のホームや踏切に設置されている列車非常停止装置の動作などによる緊急ブレーキの動作理由も表示する。また、アナログATCでも一部機能に音声出力を使用しているが、D-ATCでは更に音声出力を追加し、運転士への情報伝達を分かりやすく行っている（図7）。

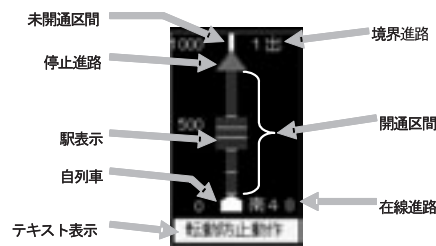


図7 運転士支援機能の例

3.9 入換時の制御

D-ATCでは、入換信号機が進行の時は制限速度を超えないための頭打ち制御、停止の時は信号機の手前で止めるパターンによる制御を行う。

DS-ATCでは、基地構内の入換を除いて地上に設置した信号機を廃止した「構内ATC」としており、運転台に進路の終点（着点）を表示する（図8）。

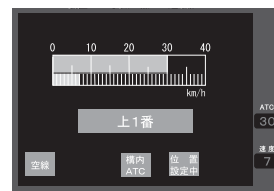


図8 構内ATCの信号現示（新幹線）

4. デジタルATC装置の構成

4.1 地上装置

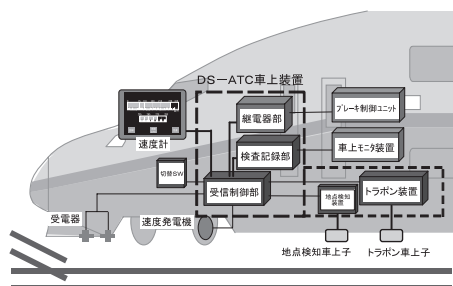
D-ATCの地上装置は、主要駅に設置された「論理部」、各駅に設置された「送受信部」などで構成されており、光ケーブルによるLANで接続されている。論理部は、列車がどの軌道回路にいるか検知するとともに、列車が停止すべき軌道回路の決定や伝送する信号電文の作成を行う。また送受信部は列車検知信号とATC信号を軌道回路に送信する。

DS-ATCもほぼ同様の構成だが、今後導入される区間では連動装置とATC装置を一体（SAINT：Shinkansen ATC and INterlocking system）化している点が大きな特

Figure 1 illustrates the system configuration of the proposed system. It shows a train (Alx) on a track with a ZB (Zigzag Barrier) and a position correction transponder. A control system (制御端末) is connected to a signal control device (進路制御装置). The signal control device is connected to a central control unit (中央制御装置) which manages multiple track sections (送受信器). The central control unit is connected to a SAINT-LAN network. The SAINT-LAN network is connected to a train control system (列車制御装置) which includes a train control unit (列車制御装置) and a train control unit (列車制御装置). The train control system is connected to a train control unit (列車制御装置) which includes a train control unit (列車制御装置) and a train control unit (列車制御装置). The train control system is connected to a train control unit (列車制御装置) which includes a train control unit (列車制御装置) and a train control unit (列車制御装置).

また地上装置は、駅構内の進路相互の安全を担保する連動装置や、緊急に列車を踏切などの手前に停車させるための列車非常停止装置等から情報を受け、列車に伝達している。これらの情報は、在来線では東京圏のネットワーク全体の運行管理を行うATOS（東京圏輸送管理システム：Autonomous decentralized Transport Operation control System）、新幹線ではCOSMOS（新幹線総合システム：Computerized Safety, Maintenance, and Operation systems of Shinkansen）にも提供されている。

車上装置は、ATC信号の受信と列車速度制御を行う「受信制御部」、地上子からの情報を受ける「トランスポンダ送受信部」、車上装置の動作を記録し、装置検査の際の支援を行う「検査記録部」などから構成されており、アナログATC機能も有している（図10）。



安全・安定輸送を確保するために、受信制御部とトランスポンダ送受信部は、それぞれフェールセーフ性を持つ装置を2重系としている。万一片方の系が故障した場合でも、正常なもう一方の系を使用して通常運転ができるため、安全性・信頼性の高い装置構成となっている。また、車上装置の状態を0.3秒周期で検査記録部のPCカードに記録しており、障害発生時の原因究明を容易にできるようにしている。

デジタルATCは、デジタル信号の伝送上の安全性、自
列車位置認識の確実性などについても充分配慮したシス
テムとしている。

地上装置からは一定長のATC電文を車上装置に伝送する。電文のフレーム長はD-ATCでは96bit、DS-ATCでは75bitで、これには電文に誤りがいないか検定するためのCRCチェック用電文も含まれている。車上装置ではCRCチェックだけでなく、電文の発行番号などの正当性チェックを行い、不正と判断した電文は制御に使用しない。

車上装置で列車の位置を正確に認識することは、デジタルATCシステムにおいてはきわめて重要な事柄である。しかし位置認識に用いる速度発電機は、低速走行時や車輪の滑走による誤差が想定されるので、ソフトウェア論理による位置補正機能を取り入れている。また、D-ATCでは速度発電機の誤差が危険側にならないように、パルスカウントに一定の補正率を乗じて位置補正しており、DS-ATCでは速度発電機の誤差分の距離を余裕距離として予め見込んでいる。万一位置が全く認識できなくなった場合には、直ちに非常ブレーキを動作させる。

システムの切換時、つまりアナログATCからデジタルATCに切換えるとき、高密度運転で大量輸送を行っている線区を全線同時にシステムチェンジすることは不可能であり、毎日運転を行いながら安全に切換えなければならないという問題が生じる。

新旧のシステムを運用しながら、段階的にシステムの移行を行う技術、他システムとの共存を図る技術、さらに確実なシステムの変更を行う技術、つまりアシュアランス技術の活用によりこの問題を解決した。以下にデジタルATCにおけるアシュアランス技術について述べる。

アシユアランス技術とは、異種性と適応性の2つの要素を考慮した、システムに適用される技術の総称である。つまり複数のシステムが接続されたときに、互いに妨害することなく状

況に応じて連携し共存できることを保証する技術である。

6.2 時間的なシステム移行

デジタルATCシステムの新設は順次行われていくが、実際の使用開始は施工が終わる都度行うのではなく、一定区間ごとに順次新しいシステムに切換えていく。

具体的には、アナログATCとデジタルATCのデータを共存させ、デジタルATCの電文が有効か無効かの情報を加えて送信し、車上装置がいずれのシステムで動作するかを選択することとした。

これにより、アナログATC制御のままデジタルATC信号の送信チェックが可能となるほか、デジタルATC信号の有効無効情報を変更するだけで、短時間の間にシステムの切換えを実施することができる（図11）。

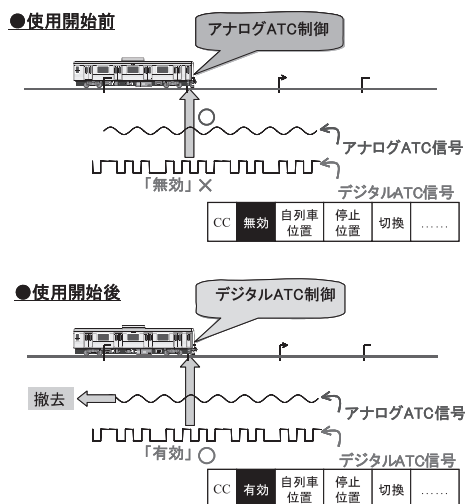


図11 デジタルATCの使用開始切換

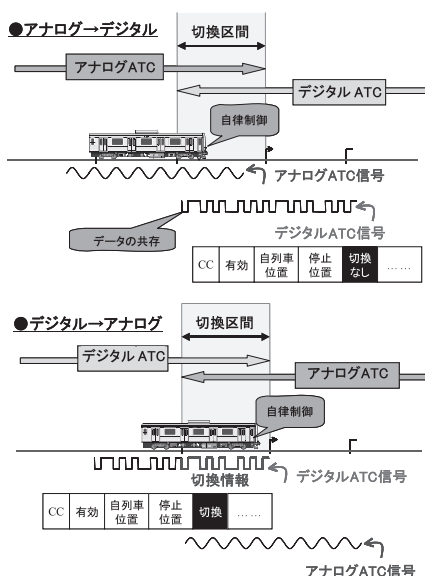


図12 デジタルATCとアナログATCの共存

6.3 空間的なシステム移行

ATCの更新においては、全線区を一度に更新するのではなく、いくつかの段階に分けた形で更新を行う。

デジタルATCの導入を予定している線区は、アナログATCが設置されている区間であるため、デジタルATC導入に当たっては、システム境界箇所においてアナログATCとデジタルATCの新旧切換え処理が必要となる。

切換区間にアナログATCとデジタルATC信号を共存させることにより、データを受けた車上装置のモードをデータに応じたモードに自動的に切換える方法とすることができた（図12）。

7. まとめ

これまでに述べたデジタルATCの特徴をまとめると、次のようになる。

- (1) 無駄のない最適なブレーキ制御を行えるため、列車の運転間隔や到達時間の短縮が可能である。
- (2) 車両の減速性能が向上した場合、車上のデータベースを変更すれば、地上設備の変更なしに列車の運転間隔を短縮可能なフレキシビリティを備えている。
- (3) 列車密度の高い区間に導入されるD-ATCでは、前方の列車位置などの情報を運転台ディスプレイに表示するとともに、きめ細かいATCブレーキ制御を行うことにより運転操縦性の改善が可能である。
- (4) 汎用情報機器の活用や装置の統合により、スリムで低コストの地上設備を実現している。

8. おわりに

当社ではデジタルATCの導入を進めるとともに、さらに革新的な列車制御システムの実現に向けて、デジタル列車無線を使用した、新幹線の「無線制御ATC」や在来線の「ATACS」の開発を進めている。

参考文献

- 1) 松本、大場 「Development and introduction of digital ATC at East Japan Railway Company」 RAIL INTERNATIONAL Schienen der Welt MAY2003
- 2) 市原 「JR東日本におけるデジタルATCの技術」 鉄道車両と技術No.82
- 3) 松本、北村、八木 「デジタルATCにおけるアシュアランス技術」 第1回アシュアランスシステム研究会
- 4) 松本、北村、山田、森 「自立分散型列車制御システムにおけるアシュアランス技術」 アシュアランスシステムシンポジウム