

## デジタルATCの開発と導入



東日本旅客鉄道株式会社 運輸車両部 岡田 恭一

当社では新しい列車制御システムである「デジタルATC」を開発しました。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ります。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ており、今後ほかの新幹線線区にも拡大する予定です。また在来線用のデジタルATC（D-ATC：Digital - ATC）は2003年度に京浜東北線、2005年度には山手線に導入する予定です。

### 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）を使用しています。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す。

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ります。

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ます。（図1、2）

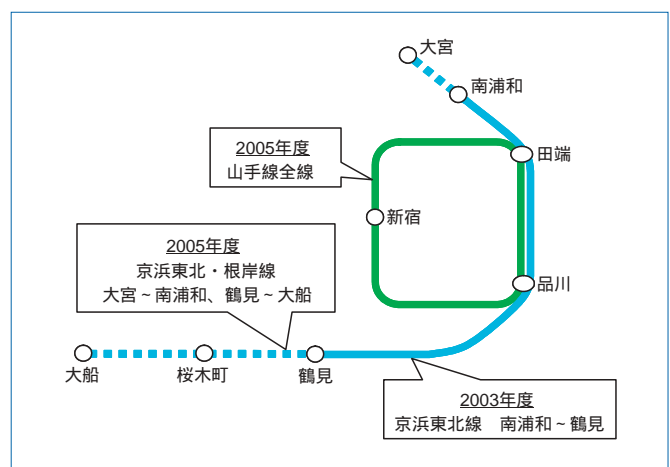


図2：D-ATCの導入計画

### 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）毎に流しています。車両側ではその時の走行速度と速度信号を比べて、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します。（図3）

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ます。

- (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。



図1：DS-ATCの導入計画

- (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、乗り心地と運転操縦性が悪い。
- (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利用により、高コストな設備となっている。

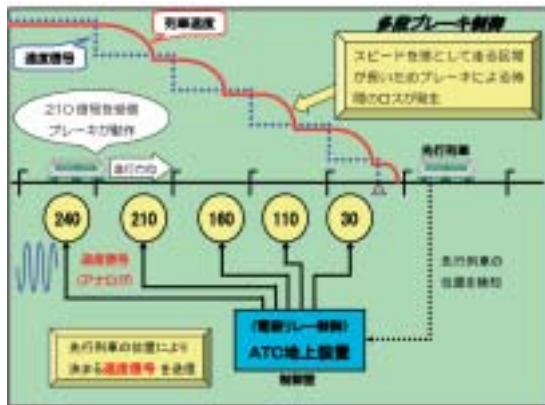


図3：アナログATCのイメージ図

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ました。

### 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ます。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」を常に把握しています。

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に行うのがデジタルATCの基本的な考え方です。(図4)

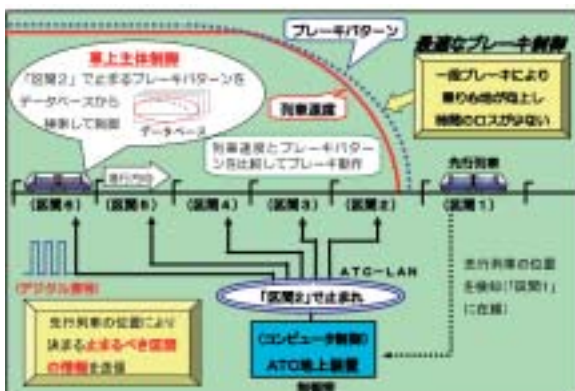


図4：デジタルATCのイメージ図

#### 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します。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りました。

#### 3.2 停止区間の決定

軌道回路による列車位置情報や連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ます。

#### 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します。

#### 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車上側で受信し、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ます。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します。

#### 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します。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ます。

#### 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します。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します。

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ます。

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ます。

### 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）を表示します。（図5）

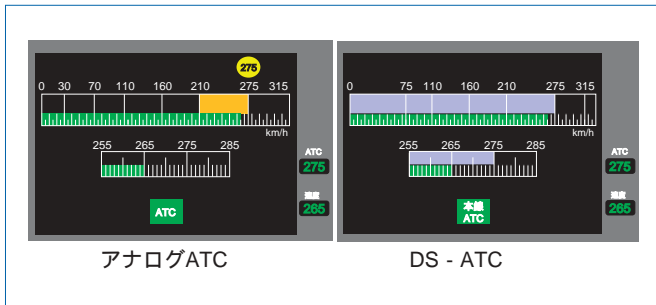


図5：車内信号現示の比較（新幹線）

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  
促します。（図6）

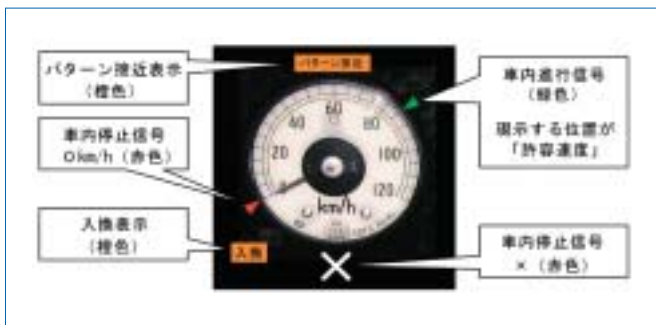


図6：車内信号現示（在来線D-ATC）

### 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  
します。また、アナログATCでも一部機能に音声出力を  
使用していますが、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ます。（図7）

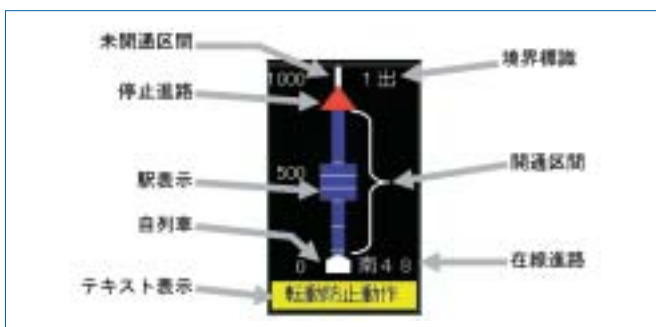


図7： 運転士支援機能の例

### 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います。

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）を表示します。

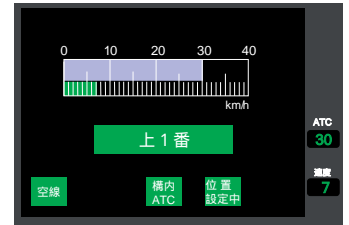


図8：構内ATCの信号現示（新幹線）

## 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で接続されています。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  
行います。また送受信部は列車検知信号とATC信号を軌  
道回路に送信します。

DS-ATCもほぼ同様の構成ですが、今後導入される区  
間では運動装置とATC装置を一体（SAINT：Shinkansen  
ATC and INTERlocking system）化している点が大きな  
特徴です。（図9）

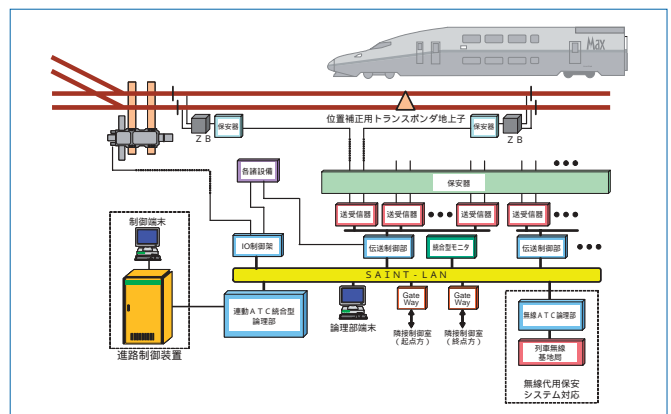


図9：DS-ATC地上装置の構成

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  
ています。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（東京圏運行管理シ  
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)にも提供されています。

## 4.2 車上装置

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機能も有しています。(図10)

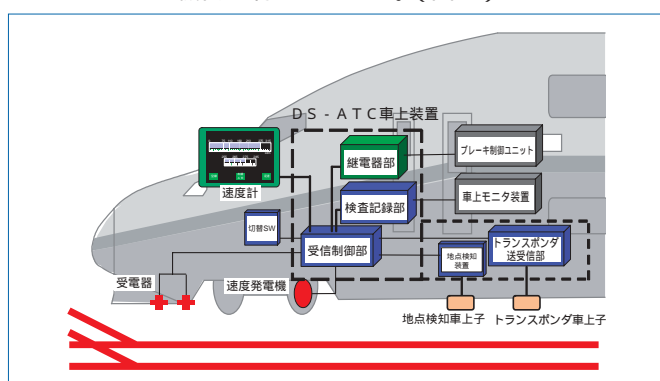


図10: DS-ATC車上装置の構成

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、それぞれフェイルセーフ性を持つ装置を2重系としています。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ます。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ます。

## 5 デジタルATCにおける安全性

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ます。

### 5.1 ATC電文伝送時の安全性

地上装置からは一定長のATC電文を車上装置に伝送します。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ないことを検定するためのチェック用電文も含まれています。車上装置では電文の誤り検定だけでなく、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ません。

### 5.2 車上装置における自列車位置認識の確実性

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す。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ますので、ソフトウェア論理による位置補正機能を取り入れています。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ます。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ます。

## 6 まとめ

これまで述べてきたデジタルATCの特徴をまとめると、次のようになります。

- (1) 無駄のない最適なブレーキ制御を行えるため、列車の運転間隔の短縮や到達時間の短縮が可能です。
- (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運転間隔の短縮が可能なフレキシビリティを備えています。
- (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す。
- (4) 汎用情報機器の活用や装置の統合により、スリムで低コストな地上設備を実現しています。

## 7 おわりに

当社ではデジタルATCの導入を進めるとともに、更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「無線代用保安システム」や在来線の「ATACS」の開発を進めています。

### 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 MAY 2003.
- 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, レールアンドトラック出版, 2003.2.