

- 鉄道一般
- 車両
- 施設
- 電気
- 運転・輸送
- 防災
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

# 列車制御システムの動向と将来

列車制御システムは、安全性の向上はもちろん、高速、高密度運転など、利便性の向上にも大きな役割を果たしており、近年では無線式列車制御システムが実現するなど、保安制御システムとしては一つの節目を迎えたと言える状況です。一方、無線式列車制御システムのようにICTを活用したシステムは、安全性や利便性のさらなる向上の可能性を持っているほか、地方線区の課題解決にも大きく貢献できるものと考えます。ここでは、列車制御システムの発展の経緯と動向を紹介し、現在の研究開発の取り組みを通じて、その将来像について展望します。



**平栗 滋人**  
Shigeto Hiraguri  
信号・情報技術研究部  
部長  
【専門分野】 鉄道信号、  
安全性技術

## 列車制御システムとは

列車制御システムは、列車運行の安全を確保するために、列車の速度を制御することを使命としています。具体的には、ATS（自動列車停止装置）、ATC（自動列車制御装置）、最近、実用化された無線式列車制御システムなどがあります。

これまで、列車制御システムは、鉄道の安全性の向上に大きな役割を果たしてきました。それと同時に、近年は高速、高密度運転など、利便性の向上にも重要な役割を果たすようになっていきます。

## 列車制御システムの変遷

現在、国内で使用されている列車制御システムの大半を占めるATS、ATCについて、旧国鉄からJRにいたる技術的な変遷を図1に示します。

ATS<sup>1)</sup>は、地上信号機にしたがって速度制御を行う運転士をバックアップするシステムとして、1960年代から導入されました。当初のタイプであるATS-Sは、列車が地上子上を通過するときに信号に応じて切り替わる周波数を検出し、運転士に対する警報出力や、ブレーキ制御を行います（図2(a)）。その後、地上子を設けた地点での速度

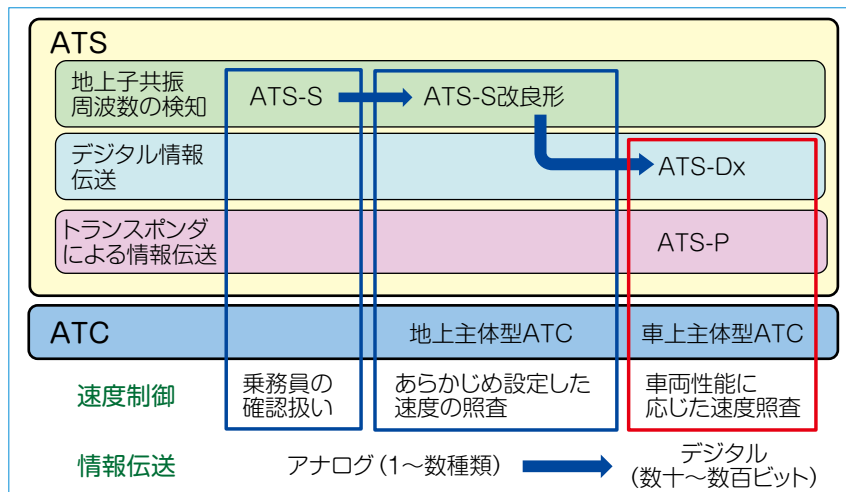


図1 列車制御システム (ATS, ATC) の変遷

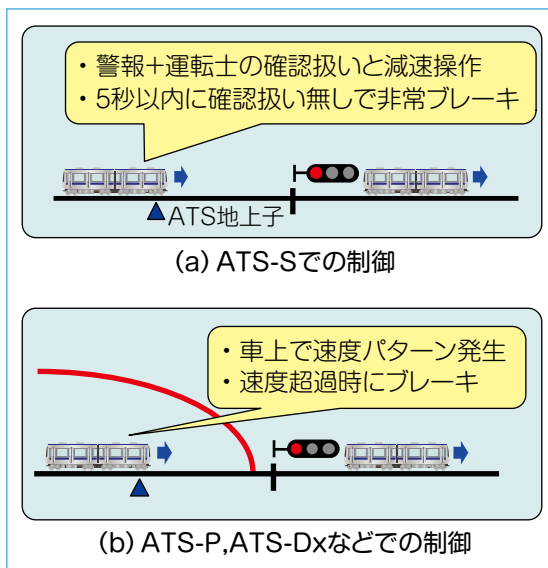


図2 ATSの進化

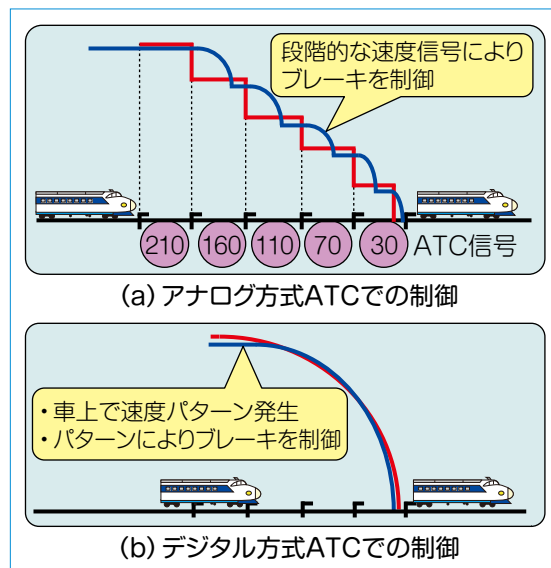


図3 ATCの進化

照査機能などを追加した改良形が導入されました。

一方、1990年頃から、東京、大阪の高密度線区を中心に、ATS-Pが導入されました。これは、トランスポンダと呼ばれる種類の地上子を使用して、列車に対して、停止信号までの距離をデジタル伝送し、列車が安全な速度パターンを発生する(図2 (b))のもので、後に述べる車上主体型制御のはしりとも言えます。

さらに、近年、鉄道総研では、車上装置に搭載した線路データベースを

使用した車上での位置検知や、ATS-S改良形と機能互換性を持たせることなどを特徴する、ATS-Pと同じような速度パターンによる制御を実現するATS-Dx<sup>2)</sup>を開発し、ATS-DN (JR北海道)、ATS-DK (JR九州)として導入されています。

このほかに、公民鉄でもさまざまなタイプが使用されており、近年はトランスポンダや、レールによるデジタル伝送などを利用して、機能的にはATCに近い制御を行うタイプも導入されています。

ATC<sup>1)</sup>は、1964年に東海道新幹線が開業したとき、車内信号式のもの本格的に導入されました。ATSとは異なり、自動的にブレーキの動作と緩解を制御し、列車を減速させるシステムですが、当初はレールに送信する信号電流の変調周波数(☞参照)を検出することで、速度信号を認識するアナログ方式が使用されていました(図3 (a))。

一方、2000年代からはデジタル変調(☞参照)を行った信号電流を使用して、停止位置までの距離に相当する情報を送信し、列車上で速度パターンを発生するデジタル方式のATCが導入されています(図3 (b))。

ATS、ATCともに情報伝送の手段が、アナログからデジタルに進化したこと

で、伝送できる情報量が増え、これらの情報を列車に搭載したコンピューターが処理し、自身のブレーキ性能などに応じて走行制御を行うことができるようになりました。このような車上主体型の列車制御システムが、近年のトレンドになってきており、次に述べる無線式列車制御システムは、この方向性をさらに進めたものと言えます。

### 無線式列車制御システム

列車制御に無線を使用する研究開発は、国内では1990年頃から本格的に行われるようになりました。鉄道総研ではCARAT (Computer and Radio Aided Train Control System) と名付けたシステムの研究開発を行い、車上位置検知、列車間隔制御、無線による制御情報伝送など、基盤となる要素技術を開発しました。

その後、2011年にJR東日本の仙石線(あおば通-東塩釜間)でATACS (Advanced Train Administration and Communications System) の実運用が始まっています。

無線式列車制御システムは、列車検知を軌道回路によらず、列車自身が行うこと、列車の制御情報の伝達に地上-車上間の双方向無線通信を使用することなどを特徴とします。これによっ

#### ☞ 変調周波数

電氣的に情報を伝送する場合、基本となる信号波(搬送波)の振幅や周波数を変化させて送信する変調技術を用います。アナログ方式のATCでは、1kHz 辺りの搬送波を数十Hzの信号波で振幅を変化させるAM変調を使用しています。

#### ☞ デジタル変調

搬送波に変化を与えて、情報伝送を行う意味では、アナログ変調と基本は同じです。アナログ変調が連続的に変化する量を伝送するのに対し、デジタル変調は、離散的な量(“001011...”のようなビット列)を伝送できるように変調します。初期に導入されたデジタル方式のATCでは、MSK (Minimum Shift Keying) 変調と呼ばれる方式を使用しています。

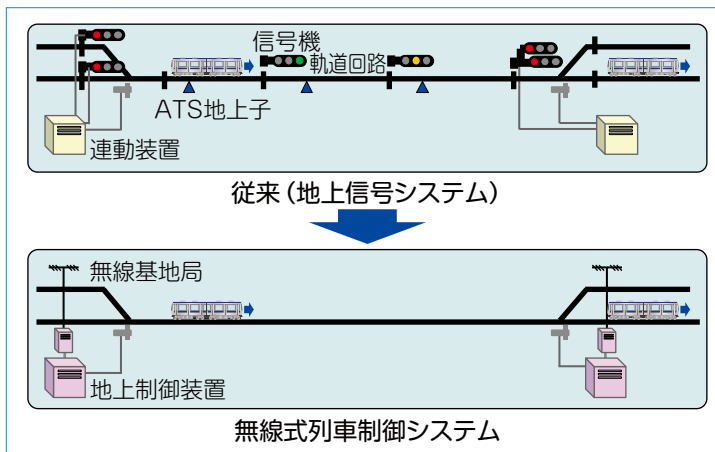


図4 無線式列車制御システムの特徴

て、信号機、軌道回路、ケーブルなどの地上設備が削減できるため、設備メンテナンスの省力化が期待されます(図4)。また、列車に対する制御指示は、従来のように速度ではなく、走行できる範囲(位置)によって行います(図5)。この点は、デジタル方式のATCと同じですが、無線式列車制御では、軌道回路を使用しないため、この範囲(位置)が先行列車の走行にとまって連続的に変化します。つまり、いわゆる移動閉そくが実現され、列車間隔の短縮のほか、列車に遅れが発生した場合の早期ダイヤ回復などの点で優れています<sup>3)</sup>。また、従来は列車の速度向上を行う場合や、線路の変更が発生した場合には、列車の最高速度や必要な運転間隔などを考慮したうえで、軌道回路長を決定し、それに合わせた現場設備の工事が必要でした。一方、無線式列車制御システムでは、これらの作業の多くが、線路データベースの書き換えというソフト的な作業になります。その結果、設備の更新や、輸送需要の変動への対応するための負担やコストが軽減されることが期待されます。

### 海外の動向

海外でも、ATSやATCに相当するさまざまな列車制御システムが使用されています。海外では、多くの場合、これらをまとめてATP(Automatic Train Protection)と呼んでいます。

無線式列車制御システムについては、日本と同じく、1990年代に欧州や米国で研究開発が本格化しました。欧州では、ERRI(European Rail Research Institute)において開発が始まったETCS(European Train Control System)が、その後、EUのプロジェクトに引き継がれる形となりました。ETCSにはレベル1~3までのシステム構成があり、無線を使用するのはレベル2(デジタル方式ATC相当の機能)、レベル3(ATACS相当の機能)です。このうち、レベル2が2000年代半ばから欧州の高速路線のほか、中国などに導入されています。

また、近年、地下鉄などの都市鉄道を中心にCBTC(Communication Based Train Control System)と呼ばれるシステムの導入が進んでおり、100余りの線区で使用されています。CBTCは、特定のシステムを指すものではなく、さまざまなメーカーが提供するシステムの総称ですが、多くのシステムで、2.4GHz帯の汎用無線技術を使用していることが特徴です。

海外においても、近年のシステムでは、列車制御の指示は、先に述べた日本の場合と同じように、走行可能な位置情報によって与える車上主体型がトレンドです。海外では、このような列車制御のことを“Distance to Go

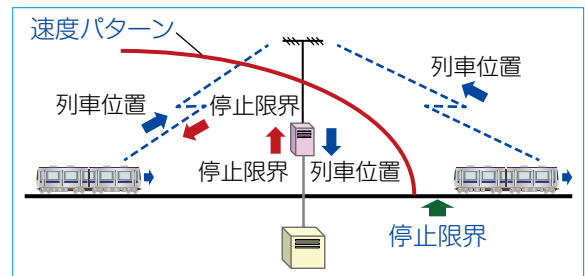


図5 無線式列車制御システムでの制御

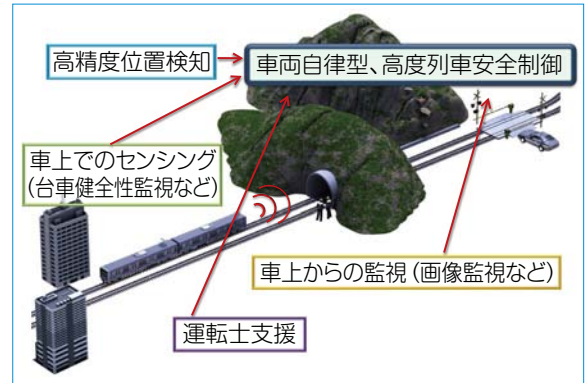


図6 高度な安全制御

Signalling”と呼ぶ場合があります。

### 列車制御システムの将来

ここまで述べてきたように、列車運行の安全を確保するシステムとしては、いわゆる移動閉そくが実現される段階まで到達しました。しかし、無線式列車制御システムなどのICTを活用した列車制御システムには、さらなる発展の可能性があると考えています。

無線式列車制御システムを例とすると、列車の位置、速度などの詳細な情報を連続的に得られることが、従来にはなかった特徴の一つです。また、列車に対する指示の伝達に関しては、従来は、信号機の現示を制御、あるいはATCのようにレールに信号を送信し、それらを、その箇所に到達した列車が認識するという、間接的な形でした。これに対して、無線式列車制御では、個別の列車に対して制御指示を直接、伝達できる点も、従来にはなかった特徴です。

このような点を活用することで、たとえば、沿線で災害を検出した場合や、車両に何らかの異常を検出した場合に、異常の種類、程度や、そのときに列車

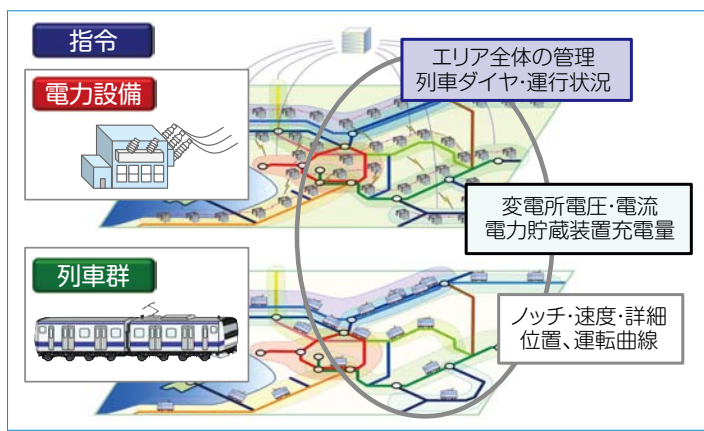


図7 エネルギーネットワークによる省エネルギー

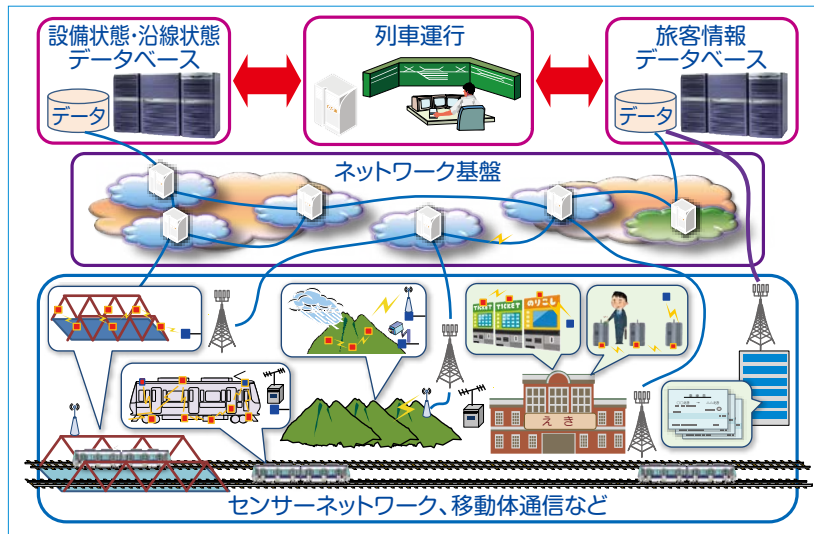


図8 情報ネットワーク基盤と列車運行システムのイメージ

が在線する場所などの状況に応じて、列車を安全に減速、あるいは停止させるような制御が考えられます(図6)<sup>4)</sup>。

さらに、列車群の運行をつかさどる運行管理との機能的な融合によって、さらに高度で、利便性の高い列車運行も考えられます。たとえば、本誌の「運行管理と列車制御を統合した新しい列車運行方式」で紹介するものがあげられます。このようなコンセプトの列車運行制御は、たとえば、欧州におけるShift2Rail<sup>5)</sup>という研究プロジェクトでもメニューの一つに掲げており、これらの動向にも注目する必要があると言えます。

また、列車群の運行制御を中心として、さらなる省エネルギー化を目指したエネルギーネットワークの研究開発も進めています(図7)<sup>6)</sup>。将来的には、

この研究成果と、先に述べた新しい列車運行方式とを連携したシステムの提案を目指しています。

さらに、鉄道に関するさまざまな情報を相互に活用できるような情報ネットワーク基盤(図8)<sup>7)</sup>を構築することで、列車の遅れ、保守作業の実施、災害の発生などの状況に応じた、より高度な列車運行制御が実現できると考えられます。

### 地方線区の列車制御システム

将来に向けた高度な列車制御とならんで、地方線区に適した列車制御システムも重要な課題です。

列車制御にICTを活用することで、先に述べたように、地上設備の削減が可能になります。したがって、設備メンテナンスの負担軽減などの面で、地

方線区にも大きなメリットをもたらすことができると考えています。

このような線区では、導入コストに対する要求も一層厳しいことが想定されます。これに対しては、たとえば無線通信エリアを駅近傍に限定することや、機能のある程度、絞り込むことなどで、低コスト化を図ることが考えられます。また、ICTの活用によって、導入後の機能の拡張もしやすくなるものと期待されます。この課題に対して本誌の「新技術による地方交通線向け列車制御システム」で紹介する取り組みを進めています。

### おわりに

列車制御システムの特徴を、従来の保安制御にとどまらない範囲まで、拡げて活用することで、さらに安全で利便性の高い列車運行を実現する可能性があると言えます。あわせて、その要素技術は、地方線区の課題解決にも貢献するものと言えます。今後も、鉄道の維持、発展に向けた提案をしていきたいと考えています。[RRR]

### 文献

- 1) 新井英樹：ATCとATSで列車を安全に走らせる，RRR，Vol.65，No.7，pp.22-25，2008
- 2) 藤田浩由，新井英樹，佐藤和敏，門脇雅明，貞効路也：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
- 3) 平尾裕司，長谷川豊，稲毛弘苗，平栗滋人：列車制御シミュレータUTRASの開発と信号方式の評価，鉄道総研報告，Vol.9，No.1，pp.55-60，1995
- 4) 佐々木君章：知能列車による安全性・信頼性向上，RRR，Vol72，No.7，pp.8-11，2015
- 5) <http://shift2rail.org>
- 6) 兎束哲夫：電力制御のリアルタイム化によるエネルギーネットワーク，第28回鉄道総研講演会要旨集，pp.31-37，2015
- 7) 深澤紀子：鉄道輸送ネットワークにおけるリアルタイムなデータ連携と高度列車運行，第28回鉄道総研講演会要旨集，pp.45-52，2015