

第4回

ATC

ATCとは

ATC (Automatic Train Control : 自動列車制御装置)¹⁾は、地上設備から伝送される情報と走行速度に応じて、自動的にブレーキを動作させたり、緩めたりして列車の安全を確保する装置です。新幹線や大都市の通勤線区、地下鉄など、特に高い保安度が要求される線区で使用されていますが、制御の機能や運転方法は様々です。各方式に共通する技術として、レールを用いた情報伝送があげられます。レールを用いた情報伝送は、**図1**のように、レールに電流を流し、車両に取り付けた受電器と呼ばれるアンテナでその電流を受信することにより、地上から車上に情報を伝送するものです。列車の位置にかかわらず、連続的に情報伝送ができるので、保安度の向上が図れる利点があります。変調方式や伝送する情報などは、技術の進歩とともに変化してきていますので、ここでは、ATCがどのように進化してきたのかをご紹介します。

最初のATC

ATCと呼ばれる装置が日本で最初に実用化されたのは

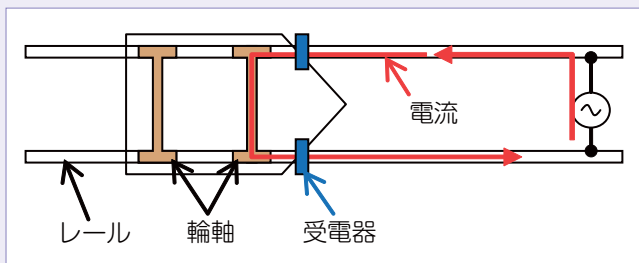


図1 レールを用いた情報伝送

日比谷線でした²⁾³⁾。打子式ATS (Automatic Train Stop : 自動列車停止装置) という機械式のATSの置き換えとして、1961年3月に南千住～仲御徒町間で最初に使用され、その後、東武鉄道へ直通運転しています。ATCというと、車内信号方式を思い浮かべる方も多いと思いますが、このATCは地上信号機を運転士が見て運転を行い、ATCがバックアップする方式です。

開発当時、真空管がまだ主流でしたが、日比谷線のATCは、トランジスタで装置を構成する先駆的なものでした。FS (Frequency Shift) 変調という方式を採用し、変調された電流をレールに流して、地上から車上に情報を伝送しました⁴⁾。このFS変調は、一般的なFSK (Frequency Shift Keying) 変調 (後述) とは異なる方式です。2つの周波数を交互に切り替えながら送信するのですが、切り替えの周期 (周波数) にG, Y, YY, R1などの信号現示を割り当てます。

新幹線への導入

同じ時期に、新幹線のATCも開発が進められていました。高速で走行する新幹線では、地上信号機を見て運転す

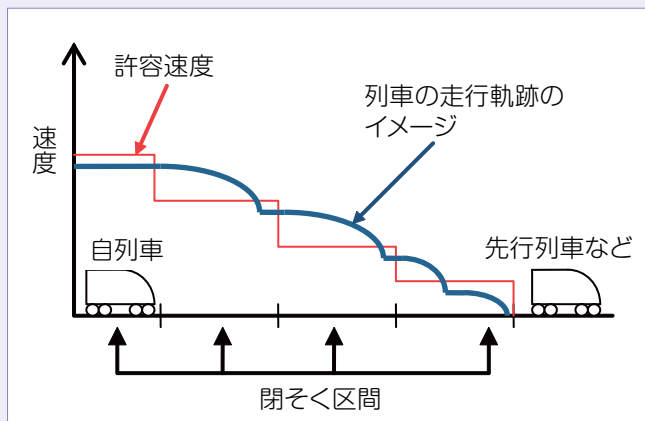


図2 新幹線のATCのイメージ

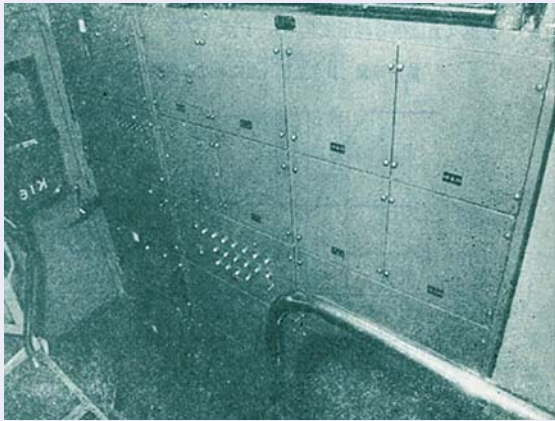


図3 新幹線のATC車上装置
出典：「新版 新幹線」より抜粋，
一般社団法人日本鉄道運転協会 発行

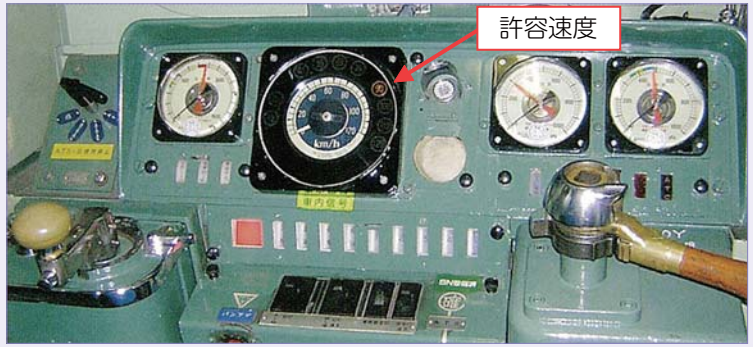


図4 在来線の運転台
出典：「わかりやすい鉄道技術 [鉄道概論・電気編]」，
公益財団法人鉄道総合技術研究所 発行

ることは不可能と考えられたため、車内信号式のATCが採用されました。運転士は運転台に表示される許容速度に従って運転します。この方式の運転のイメージを図2に示します。階段状に設定された許容速度を超過するとブレーキが動作し、許容速度以下になるとブレーキが緩む動作を繰り返します。

図2の許容速度に対応する情報をレールに流す電流で伝送するわけですが、交流電方式の新幹線では電源高調波の影響が大きいこと、伝送する区間が長くなることから、S/Nを確保することが困難でした。この課題を解決するために、架線の電源周波数変動に同期させたSSB (Single Side Band) 方式のATCが開発されました。SSBはAM 変調 (Amplitude Modulation) の一種で、AM変調で発生する側帯波のうち、片側だけを伝送するものです。この方式では、電源高調波と搬送波を一致させることにより、電源高調波をノイズとみなす必要がなくなり、S/Nの課題を解決したことが大きな特徴です。

車上装置の写真を図3に示します。

在来線のATC

新幹線のATCが実用化されたのち、国鉄でも1971年に常磐緩行線でATCが導入され、その後、山手、京浜東北線などにもATCは拡大されました。これらのATCでは、新幹線のSSB方式とは異なり、通常のAM変調が採用されています。在来線のATCも新幹線と同様に車内信号方

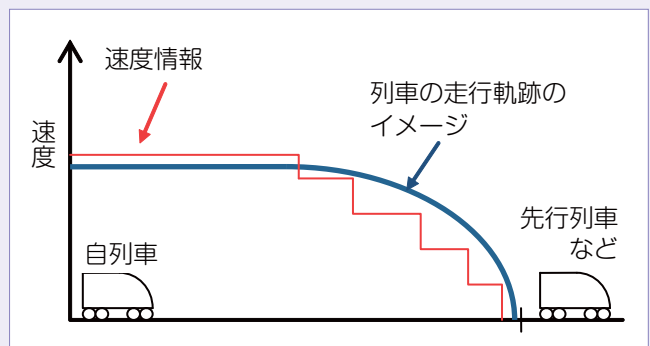


図5 一段ブレーキ制御方式のイメージ

式で、運転台に許容速度が表示されます。図4に運転台の写真の例を示しますが、速度計の周りのランプで許容速度を指示しています。

一段ブレーキ制御方式

ここまでのATCは、レールを用いて連続的に情報が伝送されているので、保安度の向上が図れますが、図2のように階段状の許容速度に応じて、減速とだ行が繰り返されますので、必ずしも運転時隔の短縮や乗り心地の面で最適化されているとは言えないものでした。そこで、考え出されたのが一段ブレーキ制御方式です。

図2のような方式 (多段ブレーキ制御方式) では、次の閉そく区間に進入するまでに許容速度以下まで減速している必要がありましたが、一段ブレーキ制御方式では、図5に示すように、その制約をなくした点が特徴です。許容速度 (信号) ではなく、ブレーキを動作させるトリガーとしての速度情報という考え方なので、ブレーキが動作した後は、走行速度が速度情報以下にならなくても問題がありま

せん。だ行で走行する分の余裕が削れるので、ブレーキを動作開始する地点が先行列車に近くなり、運転時隔を短縮することができます。

ただし、走行速度が速度情報より小さくなるとブレーキが緩んで図2と同様になってしまいますので、この方式の効果をj得るためには、停止すべき位置までに確実に停止でき、さらに、途中でブレーキが緩まないように階段状の速度情報を絶妙に作る必要があります。そのため、速度情報の種類を増やしたり、情報を伝送する区間を短く区分したりして工夫をしています。

なお、この方式も車内信号方式ですが、信号の現示としては、停止信号(R)と進行信号(G)の2現示のみで運転します。

デジタルATC

一段ブレーキ制御方式は優れた方式ですが、新幹線のような高速鉄道では、図5のような階段の段数を多数作る必要があるためあまり向いていません。また、図2の多段ブレーキ制御方式と図5の一段ブレーキ制御方式のどちらの場合でも、走行する車両の中で最もブレーキ性能の悪い車両に合わせて設計されるため、ブレーキ性能が均一でない場合は、効率的に制御することができません。

そこで、考えられたのがデジタルATCです。デジタルATCは、地上から車上への情報伝送をデジタル化して情報量を増やすとともに、車上に線路や車両のデータベースを搭載して車上で図6のようなブレーキパターンを計算したり、読み出したりする方式の総称です。1980年代の後半から、レールを用いたデジタル符号伝送や車上でのブレーキパターンの作成などの研究を鉄道総研が行い、デ

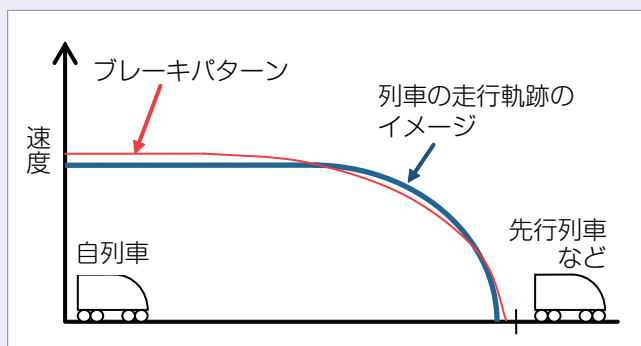


図6 デジタルATCのイメージ

ジタルATCの基礎的な技術を確立しました⁵⁾⁶⁾。デジタル符号伝送には、MSK (Minimum Shift Keying) 変調方式を用い、数十ビットの情報を繰り返し伝送しています。MSK変調はFSK変調の一種で、レールに流す電流を中心周波数(f_c)から一定の周波数(Δf)だけ変化させた、 $f_c + \Delta f$ 、 $f_c - \Delta f$ の2種類の周波数によって、“0”、“1”のビットを伝送します。在线区間のIDや停止すべき位置に関する情報を“0”、“1”のビット列に変換しておき、そのビット列を $f_c + \Delta f$ 、 $f_c - \Delta f$ の周波数に変換してレールに流します。伝送する情報の例(フレーム構成)を図7に示します。

ブレーキパターンは、車両の減速度と停止すべき位置までの距離や勾配などから、各地点での許容速度を示したものです。走行速度がブレーキパターンを超過すると、ブレーキが動作します。車両のブレーキ性能に合わせてブレーキパターンが作成されるので、ブレーキ性能の異なる車両が混在する線区にも適用可能です。図8に東北新幹線などで使用されているDS-ATC (Digital communication & control for Shinkansen-ATC) の運転台表示の例を示します。白い横棒が許容速度、緑の横棒が走行速度を示しています。なお、下段の表示は許容速度の近傍が拡大表示されている状況です。

現在、デジタルATCは、新幹線(東北新幹線、東海道新幹線、九州新幹線など)や在来線(京浜東北線や山手線など)で実用化されています³⁾。

地上主体型のデジタルATC

当初、デジタルATCはデジタル符号伝送と、車上のデータベースを組み合わせた車上主体のシステムとして開発されました。その後、車上にデータベースを搭載しない、地

フレーム長：56ビット

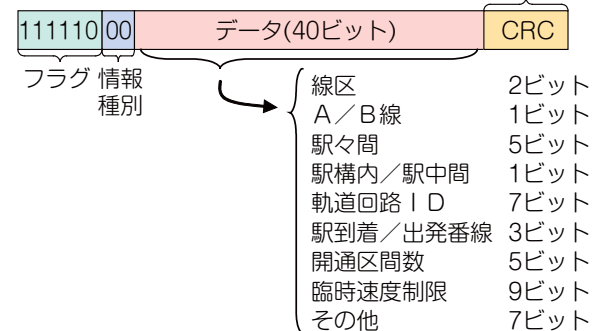


図7 伝送フォーマットの例

上主体のシステムがつくばエクスプレスで実用化されました⁷⁾。つくばエクスプレスでは、デジタルATCと同じデジタル符号伝送を行います。制御は一段ブレーキ制御方式と同じ考え方でブレーキを動作させます。

同様の方式は、他の地下鉄などでも採用されていますが、この方式では、一段ブレーキ制御方式に比べ、デジタル符号伝送によって情報量が増えるので、速度情報の種類を増やせる利点があります。機能面では、車上主体のデジタルATCの方が有利ですが、走行する車両のブレーキ性能が均一で、線区の長さに対して編成数が多い場合は、地上主体の方が、改修などが発生した場合の管理やコストの面で有利になる可能性があります。

今後の展望

ここで紹介したATCは、いずれも固定閉そくと呼ばれる方式です。図2のように線路を固定的な閉そく区間に分けて、閉そく区間を基準に制御を行います。デジタルATCも閉そく区間の境界を基準にブレーキパターンが描かれますので、図6の場合も、先行列車が前に進んでも、次の区間に入りきるまではブレーキパターンは更新されません。一方、移動閉そくと呼ばれる方式では、固定的な区間に縛られず、その都度、列車が走行してよい区間を連続的に更新します。常に先行列車の直ぐ後ろを基準としてブレーキパターンを更新するシステムを構築することもできるので、より効率的な列車制御が可能となります。日本では、無線を用いて移動閉そくを実現したシステムとしてATACS (Advanced Train Administration and Communications System) が2011年に仙石線で実用化されています⁸⁾。ただし、デジタルATCの場合でも、駅近傍などで閉そく区間を適切に設定すると、移動閉そくと遜色ない運転時隔を達成することも可能です⁹⁾。

また、近年ATSも高機能化が進んでおり、ATSとATCを機能面で区別することも難しくなっています。技術的には、両者を区別せずに、列車を安全に走行させるためのシステムとして認識する方が良くもありません。なお、欧州では、もともとATCやATSという呼称はなく、どちらもATP (Automatic Train Protection) と呼ばれています。

冒頭でATCの共通技術としてレールを用いた情報伝送をあげましたが、今後はレールによる情報伝送だけでなく、ATACSのように無線などを用いたシステムへと発展していくと考えられます (ATACSはATCの機能だけな

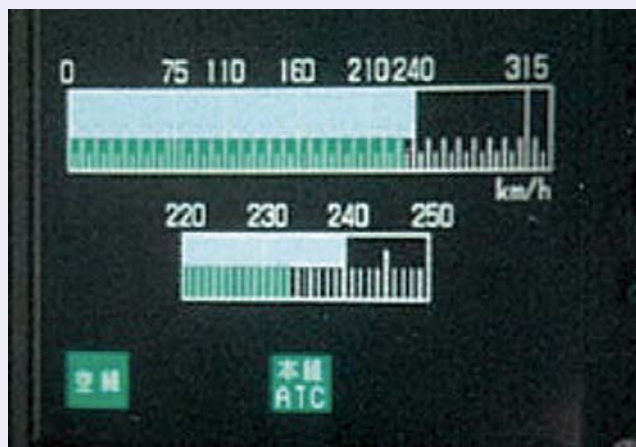


図8 デジタルATCの運転台表示の例
出典：「信号システムの進歩と発展」から抜粋、
社団法人日本鉄道電気技術協会 発行

く、構内の進路制御や踏切の制御などを含んでいます)。

これまで、ATCは安全性の向上と運転時隔の短縮などの機能向上の面で進歩してきました。今後は、安全性の向上に加え、故障が発生しても最低限の運行を確保したり、自然災害などの影響を受けにくくしたり、あるいは、故障からの復旧を容易にするなど、多面的な進歩が求められると考えます。

(福田光芳/信号・情報技術研究部 列車制御研究室)

文献

- 1) 鉄道技術用語辞典(第2版), 財団法人鉄道総合技術研究所編, 丸善, 2006
- 2) 鉄道信号の技術はこうして生まれた, 社団法人日本鉄道電気技術協会, 2009
- 3) 信号システムの進歩と発展=近年20年の展開と将来展望=, 社団法人日本鉄道電気技術協会, 2009
- 4) 京三サーキュラー, Vol.2, No.2, pp.13-15, 1975
- 5) 高重哲夫: デジタルATCのしくみ 軌道回路方式の列車制御を革新する, RRR, 49巻, 11号, pp.9-14, 1992.11
- 6) 渡辺郁夫, 高重哲夫, 志田洋, 小林巧, 内田清五, 音無隆, 犀川潤: 山陽新幹線におけるデジタルATC性能試験, 鉄道総研報告, 14巻, 2号, pp.41-46, 2000.02
- 7) 中村信幸: つくばエクスプレスのATC, 鉄道と電気技術, Vol.16, No.12, pp.22-26, 2005
- 8) 宮林直樹: 仙石線ATACSについて, 鉄道と電気技術, Vol.23, No.3, pp.7-9, 2012
- 9) 田口明夫, 秋田雄志, 高重哲夫: デジタルATCの導入効果の解析-東海道新幹線をモデルにした解析-, 鉄道総研報告, Vol.6, No.7, pp.45-54, 1992