

ATCとATSで列車を安全に走らせる

新井 英樹

信号通信技術研究部(信号 主任研究員)



あらい ひでき

はじめに

列車の安全運行は、ATS (Automatic Train Stop device：自動列車停止装置) やATC (Automatic Train Control device：自動列車制御装置) と呼ばれる運転保安装置によって支えられています。運転士が、信号の現示(「進行」, 「注意」, 「停止」, または「許容速度〇km/h以下」など)に従って列車を操縦(力行, ブレーキ)することにより、列車の安全走行が保たれますが、信号現示の誤認や見落としといったヒューマンエラーが発生した場合には、列車の衝突・脱線などの重大事故につながる恐れがあります。ATSやATCは、そのようなヒューマンエラーが発生した時に、自動的にブレーキを動作させ、列車を減速させる、あるいは停止させる機能を持っており、列車事故を未然に防ぐために導入されています。

また、ATSやATCは、鉄道開業当時から導入されていたわけではなく、過去に発生した列車事故の歴史、そして列車の高速化・高密度運転化の流れとともに、整備が進められ、さらには機能向上が図られてきた経緯を持ちます。現在では、各鉄道事業者において、様々な方式のATSやATCが用いられています。

ここでは、ATSとATCの機能や導入経緯について概説するとともに、制御方式の例をいくつか紹介します。

ATS・ATCとは？

日本工業規格であるJIS E 3013(鉄道信号保安用語)では、ATSとATCという用語について、以下のように定義されています。

自動列車停止装置：列車が停止信号に接近すると、列車を自動的に停止させる装置。ATSともいう。

自動列車制御装置：列車の速度を自動的に制限速度以下に制御する装置。ATCともいう。

ATSとATCが担うべき役割は、冒頭で述べたように基

本的には同じなのですが、用語の定義が異なるように、それぞれの装置の区分は、若干異なります。

ATSは、運転士が停止信号を誤認して進行するなどのヒューマンエラーが発生した時に、「自動列車停止装置」という言葉の通り、自動的に列車のブレーキを動作させて、列車を停止信号手前までに停止させる機能を持っています。また、曲線などの速度制限箇所に対し、列車が許容速度以上で進入した場合においても、列車を停止させる機能を持つ場合もあります。ATSでは、原則として列車が停止するまで、ブレーキを緩解させることはありません。また、ATSは、あくまでも列車の安全走行を運転士優先で確保することを前提として導入される運転保安装置であり、ATS自体は、運転士のヒューマンエラーに対するバックアップ的な位置づけとなります。ATSは、JRや民鉄問わず、在来線において広く用いられている運転保安装置です。

一方、ATCは、常時、列車が走行してもよい速度を把握しており、列車速度がその許容速度を超過した場合には、「自動列車制御装置」という言葉の通り、自動的に列車のブレーキを動作させて、列車速度を許容速度以下まで減速させる機能を持っています。また、列車速度が許容速度以下になると自動的にブレーキを緩解させます。ATCは、ATSの機能をさらに発展させたものであり、安全面だけではなく、輸送効率面も考慮された運転保安装置と言えます。そのため、高速で走行する新幹線や高密度運転を実施している在来線、地下鉄などで用いられており、列車の安全走行を装置優先で確保しています。

以上が、ATSとATCの基本的な区分となりますが、現在では、在来線において両者の区分が必ずしも明確ではありません。例えば、ATCと同様に、常時、列車の走行許容速度を把握し、列車速度に応じてブレーキを動作／緩解させる機能を有している場合でもATSと称していることもあります。なお、欧米では、ATSとATCを区別せず、ATP(Automatic Train Protective device)と呼んでいます。

表1 列車事故の歴史とATSの導入経緯¹⁾

主な事故(青字で示す)とATSの整備(黒字で示す)	
S22.9	東北線(国鉄)上野・鶯谷列車衝突事故
S29.12	B形車内警報装置を京浜東北線・山手線で使用開始
S31.10	参宮線(国鉄)六軒駅列車衝突事故
S37.5	常磐線(国鉄)三河島駅列車二重衝突事故
S37.11	羽越線(国鉄)羽後本庄・羽後岩谷列車衝突事故
S38.12	地方鉄道建設規程にATSを規定(地下鉄等) 日本国有鉄道建設規程にATSと車内警報装置を規定
S41.4	ATSを国鉄全線に設置
S41.7	常滑線(名鉄)大江駅列車衝突事故
S41.8	京阪本線(京阪)蒲生信号所列車衝突事故
S41.11	大阪線(近鉄)河内国分駅列車衝突事故
S42.1	運輸省から大手民鉄等にATS設置を指示
S47.1	運輸省から大手民鉄等にATS設置の拡充を指示
S48.12	関西線(国鉄)平野駅列車脱線事故
S49~	多変周式ATS-Pを関西線で試行(国鉄)
S59.10	山陽線(国鉄)西明石駅列車脱線事故
S62.3	トランスポンダ式ATS-Pを西明石駅他3駅に設置(国鉄) 普通鉄道構造規則にATSを規定
S63.12	中央線(JR東日本)東中野駅列車衝突事故
H1.4	飯田線(JR東海)北殿駅列車衝突事故
H1.8	阪和線(JR西日本)天王寺駅列車衝突事故
H1~	JR各社でATS-Sの改良を順次実施
H2.5	JR東日本、JR西日本でATS-Pの整備を順次実施 運輸省から中小事業者に対しATSの整備促進を指示
H12.12	越前本線(京福)列車衝突事故
H13.6	〃
H14.2	国交省から中小事業者に対しATSの整備を指示
H17.3	宿毛線(土佐くろしお)列車衝突事故
H17.3	国交省から終端防護用ATSの緊急整備を指示
H17.4	福知山線(JR西日本)列車脱線事故
H17.5	国交省から速度超過防止用ATSの緊急整備を指示
H18	鉄道に関する技術上の基準を定める省令に曲線等速度制限箇所の速度制限機能について規定

ATSとATCの導入経緯

ATSの導入経緯を表1に示しますが、ATSは、まさに列車事故の歴史とともに発展してきました¹⁾。

国鉄におけるATSは、昭和29年に京浜東北線、山手線で導入されたB形車内警報装置が最初となります。しかし、B形車内警報装置は、列車が停止現示の信号機に接近した際に、車内警報を発するのみで、自動列車停止機能は持っていませんでした。その後、昭和37年5月に発生した常磐線三河島駅での列車二重衝突事故を契機として、自動列車停止機能を有するATSの導入が始まり、昭和41年に国鉄全線整備となりました。

現在、JR在来線の大部分の区間に整備されているATSは、国鉄のATS-S形を原型としており、ATS-S改良形と呼ばれています。図1に、ATS-S形の制御概略を示しますが、信号機の外方に設置された地上子から130kHzの単一周波数信号を車上で受信することにより、車内に警報を発する仕組みとなっています。さらに、警報後5秒以内に運転士による確認扱いが行われなかった場合のみ、自動的に非常ブレーキを動作させる機能となっています。この機能

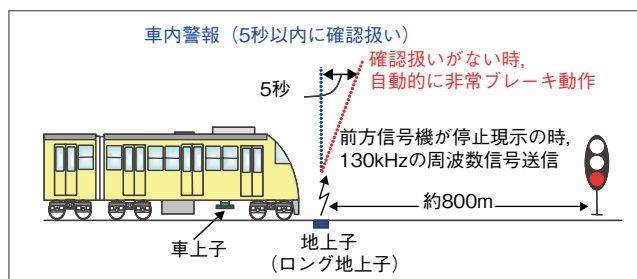


図1 ATS-S改良形の制御

に関しては、ATS-S改良形も同じです。一方、昭和48年12月に関西線平野駅で発生した列車脱線事故を契機として、ATS-P形の開発が進められ、現在では、JR東日本やJR西日本における大都市高密度線区に導入されています。ATS-P形では、停止信号機までの速度照査パターンが作成でき、車上での連続的な速度照査機能を有している点がATS-S改良形とは、大きく異なります。

民鉄におけるATSは、昭和2年に開業した東京地下鉄銀座線浅草-上野間に導入された打子式ATSが始めとなります。これが、我が国最初のATSでもあります。打子式ATSは、信号機が停止現示の時に、レール脇に設置された打子が立ち上がり、列車に取り付けられているブレーキコックと接触させることにより、ブレーキを動作させる仕組みとなっており、機械式のATSです。昭和30年代までに建設された地下鉄には、打子式ATSが整備されました。

その後、昭和41年に民鉄において相次いで発生した列車事故を契機として、民鉄では、車上速度照査機能を有するATSの整備が進みました。

次に、ATCの導入経緯ですが、昭和36年開通の営団地下鉄日比谷線、昭和39年開通の東海道新幹線に始まります。ATSが列車事故の歴史とともに発展してきたのに対し、ATCは、列車の安全確保はもとより、鉄道の高速度・高密度運転化という要求を満たす運転保安装置として大きく発展してきた経緯を持ちます²⁾。

当時の在来線のATCは、運転士が地上信号機を確認して列車を操縦しており、ATSと同様、運転士の取り扱いが優先のバックアップ的な位置づけでしたが、昭和40年に名古屋地下鉄2号線に導入されたATCからは、車内に信号現示を表示する車内信号方式が採用され、さらに、昭和44年に開業した千代田線には、列車の減速を装置優先で行うATCが導入されました。その後、地下鉄を中心に、東急新玉川・田園都市線などの高密度運転を実施する在来線には、ATCが整備されていきました。また、国鉄では、常磐線(綾瀬-我孫子)が千代田線と相互直通運転を開始するにあたり、昭和46年にATCが導入されました。その

後、山手線、京浜東北線、根岸線、埼京線といった高密度運転線区において、ATCが使用開始となりました。

一方、新幹線のATCですが、新幹線ほど高速になると運転士が地上信号機を確認して運転することは困難であるため、昭和39年の東海道新幹線開業時より、列車の減速を装置優先で行う車内信号方式のATCとなっています。図2に示すように、従来の新幹線ATCでは、軌道回路と呼ばれる区間毎に段階的な走行許容速度情報を車上に伝送し、車上では階段状の速度照査を実施していました。しかし、東北新幹線（盛岡－八戸）³⁾や最近ATCの設備更新を行った東海道新幹線⁴⁾などに導入された新しいATCでは、地上からの走行許容地点情報をもとに、車上で保有しているデータベースから走行可能距離を算出し、一段の速度照査パターンを作成する車上主体型の制御方式となっています。なお、在来線の山手線や京浜東北線も、上記のような新しいATCに更新されています³⁾。

ATSの制御概要

先にも述べましたが、現在、JRや民鉄で用いられているATSには、様々な制御方式のものが存在します。それらATSを区分すると、表2のようになります。実際には、車上速度照査パターンの作成方法や形状、さらには、列車速度が速度照査パターンを下回った場合にブレーキを緩解させるもの、させないものといった具合に、現在用いられているATSは、表2よりさらに細分化されることになります。

表2に示すように、ATSは、点制御式と連続制御式に大きく分けられます。点制御式は、信号機の手前の1箇所あるいは複数箇所で、地上子などを用いて車上に情報を伝送する方式です。車上では間欠的にしか情報を受信することができません。よって、連続的に車上速度照査を行うためには、手前の地上子から受信した速度照査に関する情報

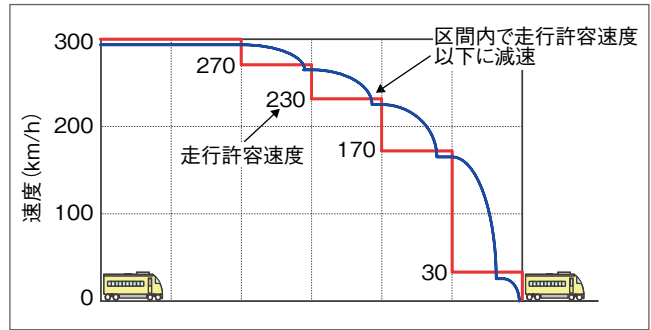


図2 従来のATCの制御(多段制御ATC)

を、次の地上子より新たな情報を受信するまで保持する必要があります。逆に、信号機が現示アップ(停止→進行)した場合でも、次の地上子を通るまで速度照査に関する情報が更新されないことになります。このように、信号現示に対する追従性が悪いということが、点制御式ATSの欠点となります。一方、連続制御式は、レールにある周波数の電流を流すことにより、常時、車上に情報を伝送する方式であり、ATCと同様な技術を使用する方式です。信号現示に対する追従性も良くなるため、高密度運転区間に対応できる方式と言えます。

ATSの制御方式の例として、民鉄で多く用いられている多変周式ATSを図3に、JR東日本やJR西日本の大都市高密度線区に用いられているATS-P形を図4に示します。

図3に示す多変周式ATSでは、信号機手前の複数箇所に設置された地上子より、複数の周波数信号を切り替えて送信することができます。送信できる周波数信号の種類が多いことより、多変周式と言われています。周波数信号毎に列車の走行許容速度を割り当てることにより、車上で階段状の速度照査を実施することができます。例えば、地上子より116kHzを受信した後に、列車速度が65km/hを超えた場合には、自動的にブレーキを動作させるといった具合です。

図4に示すようにATS-P形では、地上子(トランスポン

表2 ATSの種類

制御区分	制御方式	情報伝送手段	信号機に対する速度照査	概略図
点制御	単変周式	地上子(単一周波数)	なし(警報のみ) 地上子間通過時間照査方式	図1
	多変周式	地上子(複数周波数組合せ)	多段速度照査方式 一段速度照査パターン方式	図3
	符号伝送(デジタル)式	トランスポンダ地上子	一段速度照査パターン方式	図4
	商用周波軌道回路式	レール(電流の断続) レールとループコイル	多段速度照査方式 多段速度照査方式	
	永久磁石+AF信号併用式	永久磁石とコイル/レール	多段速度照査方式	
連続制御	AF軌道回路式	レール(AF信号)	一段速度照査パターン方式	
		レール(AF信号+変調)	多段速度照査方式	

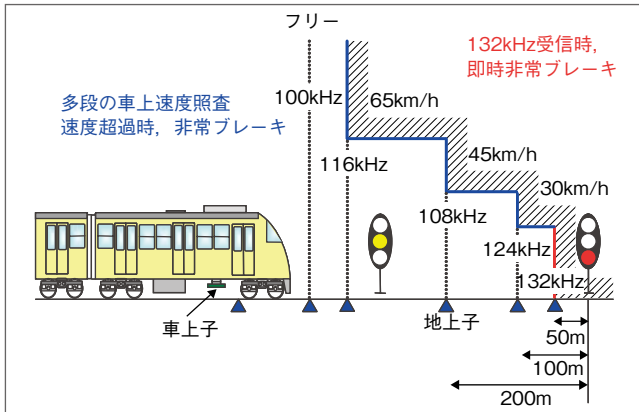


図3 多変周式ATSの制御

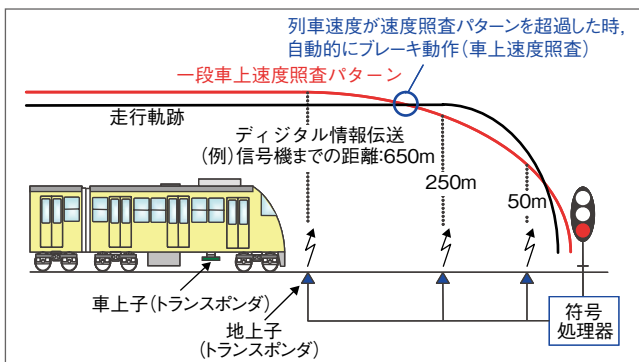


図4 ATS-P形の制御

ダ)より、停止信号機までの距離をデジタル情報として車上に伝送し、車上ではこの情報に基づき、自列車のブレーキ性能に応じた一段の速度照査パターンを作成します。列車速度が、速度照査パターンを超過した場合には、自動的にブレーキを動作させます。

ATCの制御概要

ATCでは、常時、車上で走行許容速度を把握する必要があるため、レールを介して連続的に必要な情報を車上に伝送します。また、ATCでは、先行列車との間隔や線路条件から決定される走行許容速度が、軌道回路と呼ばれる区間に分けて階段状に示されます。その場合、先の図2に示したように各区間内で一旦必ずその許容速度以下まで列車速度を減速させる制御方式を、多段制御ATCと言います。多段制御ATCでは、ブレーキ動作が多くなるため、輸送効率が悪くなります。

それに対し、最終の区間までに列車速度を減速させる制御方式を一段ブレーキ制御ATCと言います。図5に示すように、一段ブレーキ制御ATCでは、各速度段のブレーキが省かれるため、高密度運転区間に適した方式です⁵⁾。

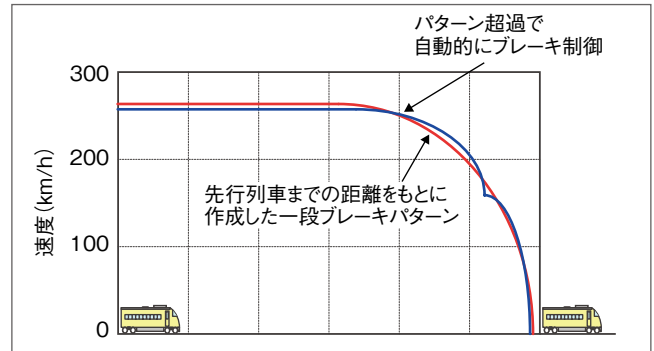


図5 一段ブレーキ制御デジタルATC

さらに、最近の車上主体型のデジタルATCでは、車上に走行許容速度情報を伝送するのではなく、停止位置までの距離やそれに相当する情報を伝送し、車上データベースの情報と合わせて、自列車のブレーキ性能に応じた一段のブレーキパターンを作成して制御する方式となっています。最近のATCでは、乗り心地も考慮した制御を実施しています。

おわりに

平成17年4月25日に発生した福知山線列車脱線事故により、鉄道に関する技術上の基準を定める省令が改正となりました。運転士が列車の適切な速度調整を行えないこともあり得るという前提に立ち、曲線、分岐器、線路終端、下り勾配など重大な事故を起こす恐れがある箇所に、速度照査機能を有するATSやATCを整備する必要があるという内容になります。

今後も、鉄道の安全・安定輸送の確保のために、ATS、ATCはますます重要な装置になっていくとともに、さらなる機能向上が図られていくものと思われます。RRR

文献

- 1) 水野寿洋：ATS・ATCの導入経緯と今後の展開，JREA，Vol.49，No.5，pp.31602-31605，2006
- 2) 奥谷民雄：最近のATC/ATS技術の潮流，鉄道車両と技術，No.82，pp.2-10，2003
- 3) 市原良和：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，pp.11-16，2003
- 4) 渋谷正文：JR東海におけるデジタルATCの技術開発，鉄道車両と技術，No.82，pp.17-22，2003
- 5) 高重哲夫，渡辺郁夫：高速高密度区間用デジタルATCの開発，鉄道総研報告，Vol.9，No.1，1995