



鉄道信号システムの革新

中村英夫 (日本大学)

応
般

鉄道の安全を守る基本原理

本年(2014年)は、新幹線開業50周年を迎える意義ある年である。当事斜陽と言われていた鉄道産業の復権に新幹線が果たした決定的役割は万人の認めるところである。同時に、今日に至るまでの間、新幹線では衝突・追突などの重大な事故が皆無であることが物語るように、装置によって安全性を確実に向上できるということを実証した点で、その意義は大きい。

新幹線によって飛躍的に向上した鉄道の安全であるが、その原理は、「列車の在線する区間には列車を進入させない」という単純な考え方から始まった^(編集部注1)。在線するか否かを判断し、乗務員に伝える「信号」は、その後、装置化、システム化が進み、高度な保安システムとなるが、それらを総称して信号システムと呼ぶ。信号システムの歩みは、鉄道の保安制御の歩みでもあるが、その過程では、しばしば人間のミスに起因した悲惨な事故を経験した。信号システムの歴史は、そのような悲惨な事故を教訓として繰り広げられた技術開発によって築き上げられたのである。本稿では、「**信号システムの変遷**」でその歩みを振り返るとともに、「**新たな列車制御へのブレークスルー**」でこれからの姿を展望する。

信号システムの変遷

◆ 信号の登場と軌道回路

1825年イギリスの「ストックトン&ダーリントン鉄道の貨物列車」に始まる鉄道の歴史書には、鉄

道の黎明期に蒸気機関車を先導する騎馬の写真が登場する。騎手が手にする赤旗こそ、いわゆる「信号」の最初の姿といえるかもしれない。やがて、蒸気機関車の速度が向上し、事故が頻発するにおよび、専門の人間が両手を使って区間への進入の可否の合図をした。手信号(手合図)の登場であるが、やがて人間の手から円や四角形の信号機に取って代わられる。しかし、人間によって操作されるため、能率が悪いばかりでなく安全上の限界もあった。これに対しWilliam Robinsonは1872年にレール(軌道)をセンサの一部に組み込んだ列車在線検知装置を発明し、人間を介さずに信号を直接制御する道を切り拓いた。このセンサは、軌道回路と呼ばれ、原理は図-1のようになっている。常時、レールに電流(軌道回路電流)が流れ、軌道リレーをONにしているが、列車が入ると電流が車輪と車軸で短絡されるため、軌道リレーがOFFになる。電流がなくなったり、配線断やレール破断が発生したり、といった万一の場合には、軌道リレーがOFFになるため、列車ありと等価に動作し、フェールセーフ性が保たれる長所がある。軌道回路は、信号システムの絶対的な基本インフラとして利用されている。

なお、レールに並行して流れる電車電流(帰線電流)^(編集部注2)は、レール絶縁を介して分けられた

【編集部注1】 この考え方が発展して、現在広く用いられている「閉そく」の基本的概念となった。すなわち、線路を複数の区間(閉そく区間)に分割し、1つの閉そく区間には、同時に2本以上の列車が存在することを許さないようにして、列車の衝突・追突などの大事故を防止しようとする考え方である。

【編集部注2】 電車を動かすための電流は、変電所から架線を通して電車に達し、モータを動かした後、レールを通して変電所に戻る。この戻り電流を帰線電流という。

閉そく区間を越えて流れるが、軌道回路電流は閉そく内しか流れないようにするために設置される装置が、図中のインピーダンスボンドで、実際はレールの外に埋設されている。

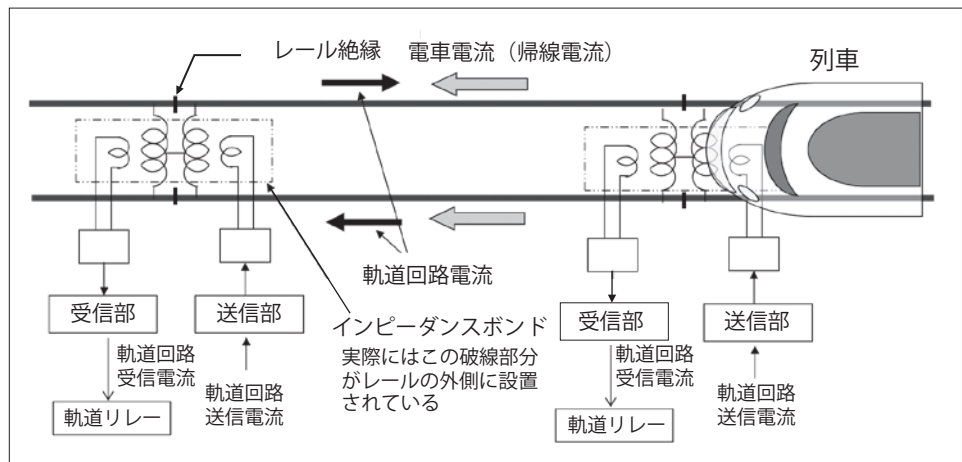


図-1 軌道回路の概念

◆ 人間のミスから安全を守る

赤 (R) や青 (G), 黄 (Y) の信号を信号現示というが、信号現示を伝達すれば、乗務員がそれに従って運転する限り、安全は保障される。しかし、最終的なブレーキ操作を人間に委ねた状態は、人間の信号機の見誤りや取扱ミスに起因した事故を防止できないため万全ではない。停止現示の際には運転席で警報音を鳴らしたり (車内警報)、それでも乗務員が失念しているときにはブレーキを自動的に作動させたりすることで安全を確保しようとする技術開発は戦前から行われており、1966年には、ATS (自動列車停止装置: Automatic Train Stop) が国鉄の全線区に導入された。安全への大きな第1歩であった。

一方、1964年に開業した新幹線においては、安全にかかわるブレーキ制御を、人間を介さずに直接機械主導で行うというATC (自動列車制御装置: Automatic Train Control)^{☆1}が導入された。ATCは今日に至るまでその高い安全性を実績で示し、安全性確保の目指すべき方向が示された。

◆ 列車密度と速度信号

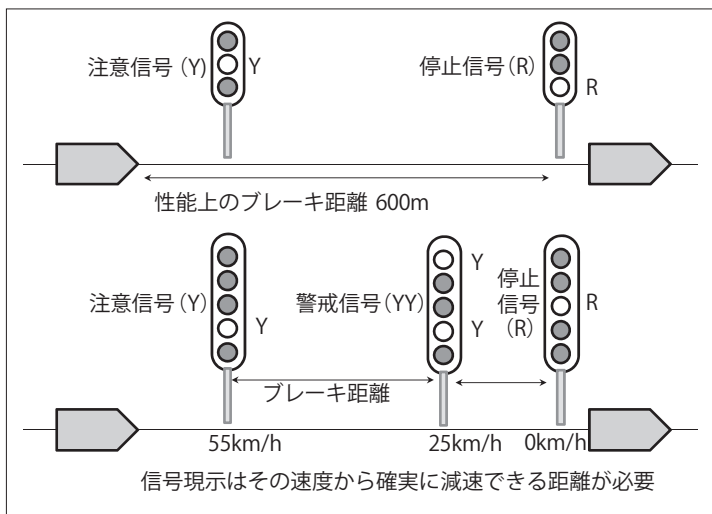
信号現示の制約を受けないで列車が走行できる (G 現示を見ながら走行できる) とき^(編集子注3)、後続列車との最小時間間隔を運転時隔という。在来線の高密度線区での運転時隔は大体 120 秒程度であ

る。閉そくの原理によれば、前方の閉そく区間から列車が抜けられない限り、後続列車はその区間へ進入できない。したがって、閉そくの長さは、列車密度に影響を与える。しかし、単純に閉そく長を短くするわけにはいかない。在来線においては、非常ブレーキをかけたときに列車が止まるまでの距離は 600m 以内と定められている。言い換えると、非常ブレーキをかけても 600m 走ってしまうことがある。したがって、閉そく区間の長さが 600m に満たない場合、その区間の入口に G 現示を出すと次の信号機が R 現示であっても、止まりきれず危険である。このようなケースでは、Y 現示を用いる。しかし、都市圏の高密度線区では、200m 程度の閉そく長が連続している。このため、Y 現示だけでは不足し、減速信号 (YG 現示—制限速度は 65km/h または 75km/h) や警戒信号 (YY 現示—制限速度は 25km/h) など、多段の信号現示が必要になり、それぞれの信号現示に応じて通過速度が定められており^{☆2}、乗務員は信号現示に対応した

☆1 日本では、人間の運転のバックアップ装置であるATSと、機械が優先してブレーキを制御するATCを区別して用いるが、欧州では、両者をひっくるめてATP (Automatic Train Protection) と呼ぶのが一般的である。

☆2 国鉄は1947年に鉄道信号規定、運転規定、信号設備心得、運転取り扱い心得を制定し警戒信号、注意信号、誘導信号にそれぞれ速度を明示した。

【編集子注3】先にも述べられているように、信号機に表示されている赤や黄、青の信号を、正式には、信号現示という。赤は、R 現示あるいは停止現示と呼ばれ、その手前で列車を停止させなければならないことを意味する。黄は、Y 現示あるいは注意現示と呼ばれ、定められた速度制限 (線区によるが 45km/h または 55km/h) 以下で列車を運転しなければならないことを意味する。青 (正しくは緑であるが、慣用的に青と呼ばれる) は、G 現示あるいは進行現示と呼ばれ、信号の面からの走行速度の制限はない。



◀図-2 閉そく長と多灯形信号現示の概念

▼表-1 ATC 信号と周波数

信号種別	上り (Hz)		下り (Hz)	
	搬送波 (720, 900)		搬送波 (840, 1020)	
	信号波	送信波 (+)*	信号波	送信波 (-)*
210 信号	10	730, 910	10	830, 1,010
160 信号	15	735, 915	15	825, 1,005
110 信号	22	742, 922	22	818, 998
70 信号	29	749, 929	29	811, 991
30 信号	36	756, 936	36	804, 984

注) * 送信波 (+), 送信波 (-) は, 搬送波に対する上位側帯波, 下位側帯波をそれぞれ意味する。

速度を守ればよい (図-2 参照)。このように運転士が守るべき制限速度の情報を信号として伝える信号方式を特に速度信号方式 (スピードシグナル Speed signal) と呼ぶ。

◆ 新幹線で実証された ATC

新幹線に採用された ATC^{☆3} は速度信号方式の究極の姿と言え、安全確保に実績を残している。ただ、地上信号機における多段階の速度信号現示と ATC との間には大きな技術的な差がある。ATC はレールを介して速度信号 (ATC 信号) を直接車上に伝達し、ATC 車上装置が走行速度と速度信号値を比較して走行速度が高いときには自動的にブレーキをかける。機械優先として人間を排除することで、人間の誤りによる安全性の喪失を封じ込めた。単なるルールにとどまらず、制御によって安全を確実なものにしたのである。しかし、その実現に向けては大きな技術的課題があった。

ATC は、レールに流した ATC 信号をアンテナの役割をする受電器によって受信し、その周波数成分で速度信号を識別している。しかし、レールには数百アンペアを超える帰線電流が流れる。安定した ATC の動作を保証するには、帰線電流によるノイズへの対策が必要になる。新幹線のアナログ ATC では、架線 (トロリー線) に流れる電源の高調波を

☆3 近年導入されたデジタル ATC と区別するため、アナログ ATC と呼ぶこともある。

搬送波として用いる電源同期式 SSB (Single Side Band) 方式を開発した。車上装置と地上装置の電源を同一にすることにより、電源の乱れに伴って生成される搬送波のノイズ成分が相殺できる。ATC 信号は、その搬送波を速度段に対応した周波数で AM 変調させて作り出す。ATC 信号と周波数の関係を表-1 に示す。

速度向上への対応や高機能化を図ろうとすると、伝送する情報の量を増加させることが必要になる。アナログ ATC は、変調信号を 2 周波組み合わせることで情報量増大を可能にしたが^{☆4}、車両性能 (ブレーキ性能) のいかににかかわらず、同じ処理方法でブレーキ制御がなされるというシステム上の限界や、比較する速度が階段状であるため、ブレーキ作動と緩解 (ブレーキが緩むこと) が頻発するという乗り心地の悪さが指摘されていた。

この課題を緩和しようと、さまざまなチャレンジが行われたが、デジタル ATC^{☆5} の出現により本質的解決が図られた。デジタル ATC は、進入禁止となる境界の軌道回路や列車自身が在線する軌道回路を電文情報として車上装置に伝える。この情報を基に、車上でブレーキ性能と線路の勾配等を加味した停止目標位置までの速度照査パターン (単一パ

☆4 それまでの信号波 (主信号) に副信号を組み合わせ、(主信号, 副信号) で速度段を決める方式。250 信号は (10, 16.5), 210 信号は (10, 27) など。なお副信号は、上り下り共通に 1,200Hz の搬送波を変調して生成していた。

☆5 デジタル ATC は、電文により停止地点の閉そくや速度制限箇所までの閉そく数と制限速度などを与える。

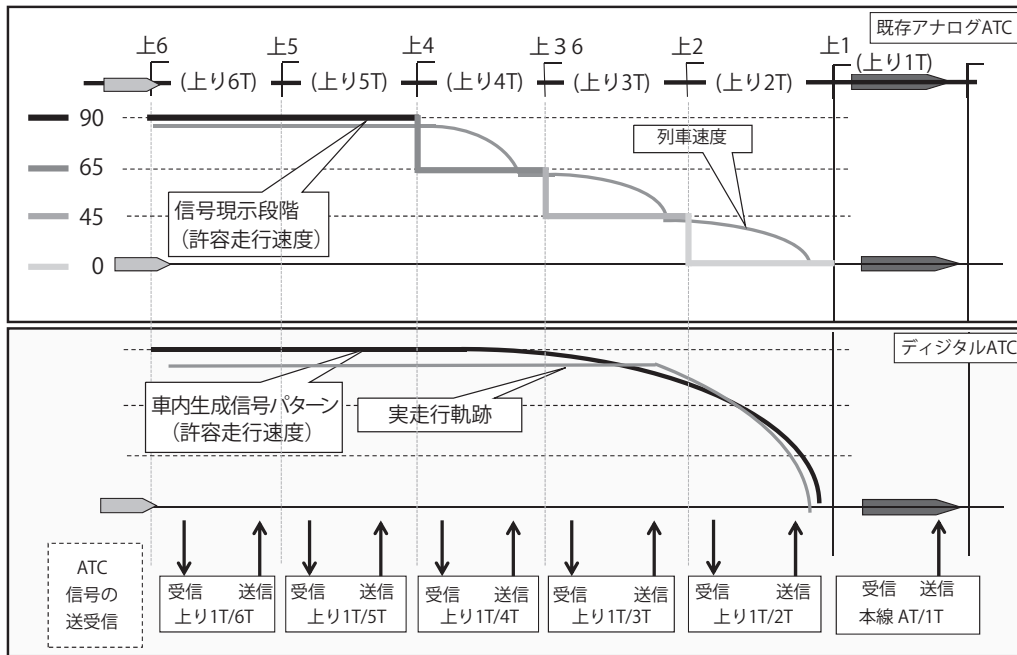


図-3 アナログATCとデジタルATCの制御概念の比較

ターン)を自ら生成する。この結果、速度向上に対しても新たな情報を追加する必要はなく、速度照査のパターンも車両のブレーキ性能に応じた最適なものが適用できる。このような技術が可能となった背景には、従来の電子回路で行っていたアナログATCと異なり、フェールセーフなコンピュータの普及とソフトウェア技術の進歩がある。アナログATCの制御の様子とデジタルATCの制御の様子を比較して図-3に示す。

◆ 機能性の向上と情報量

デジタルATCに至り、車両性能に応じた合理的な保安制御が実現できるようになったが、この機能性の向上は保安設備の情報量増大によってもたらされたと考えられていた。日本で最初に導入されたATS-S形から今日の列車制御システムまでその過程を情報量と機能との関係を主体に振り返ってみる。ATSは信号機を運転手が視認する代わりに地上子(レール間に置かれた送信機)から信号を送り、これを車上子(列車側に装備された受信機)で受信して、列車を自動停止させるシステムである。日本最初のATS-Sは、自動警報装置に非常ブレーキを付加したものであったが、情報がONかOFFかの1ビットしかなく、確認扱い後の失念による事

故を防止できない^(編集子注4)という致命的な欠陥を有していた。その改善は、情報量を増大させた多変周式のATS-P形の開発によって可能性が実証され、トランスポンダを利用したATS-Pへとつながった。ATS-P形に用いられたトランスポンダは80ビットの電文情報を送信でき、変周式と比べると一挙に情報量が拡大した。アナログATCも新幹線導入当時には軌道回路の制約上5つの速度信号周波数を確保するのがせいぜいであったが、2周波組合せ方式により情報量が拡大し、信頼性向上と新幹線の速度向上に寄与した。

一方で、1990年代に(財)鉄道総合技術研究所(鉄道総研)は、車上に情報を持ち、位置検知機能と車上の情報処理機能により、地上からの信号波を増やさずとも高機能化が可能であることを明らかにした。この「情報に依拠した制御」の考え方はATS-SPシステムとして実証された^{1), 2)}。ATS-SPシステムは、近年実用化されたATS-DN(JR北海道)やATS-DK(JR九州)のベースとなった(これらのシステムをATS-Dxと呼ぶことにする)。情報量

【編集子注4】 赤信号(R現示)に対するATSの警報が鳴ったとき、運転士は、そのことを認識していることを示す動作を行う(確認扱いという。確認扱いをしないと非常ブレーキがかかる)。ただし、確認扱いを行った後は、赤信号であることを失念して進んだとしても非常ブレーキはかからないため、この点についての改良が求められていた。

と機能の実現度の関係を図-4に示す。

歴史的に見ると機能性の向上を求めて行われた技術開発は情報量増大の歴史でもあった³⁾。ただ、ATS-Dxの例が示すように、必ずしも情報量が機能性を決定づけるものではなく、ここにインテリジェンスと情報を利用した情報依存型の特徴を見ることができる。

なお、図-4におけるATP閉そくは、現在開発中のシステムである。ATP閉そくについては、別途説明する。また、ATSはそれぞれの機能のほかに、制御の概念による類型化ができる。この流れを示したものが、図-5である。ATSはもともと車内警報装置の開発から始まったが、可聴周波数帯域(AF帯域)に情報を割り当てたA形と商用周波数の軌道回路電流を瞬断させることで情報を与

えたB形、そして車上の発振周波数が地上子^{☆6}を通過時に地上子の共振周波数に引き込まれる(発振周波数が変わる)変周現象を利用したC形があった。ATSのA形、B形、S形(もとはC形車内警報装置)の運転取り扱いは共通で、警報後5秒以内に確認扱いをしなければ非常ブレーキが動作するというものであった。

この確認扱いの不十分さを回避するものが速度照査機能の付加であったが、ブレーキ性能の違いにかかわらず一様に制御される欠点を近年のATS(図-5

^{☆6} 列車がその上を通過時にATS情報を車上に伝達するため、レール間に設置された長四角の板状の設備。

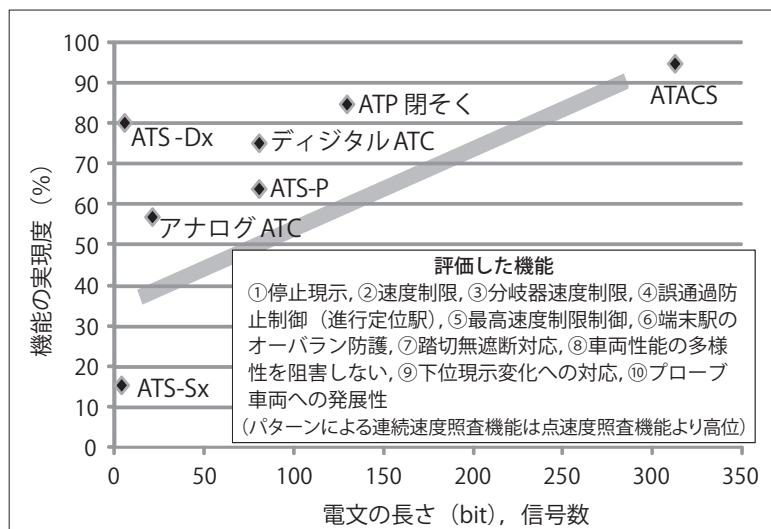


図-4 ATS/ATCの情報量と機能性

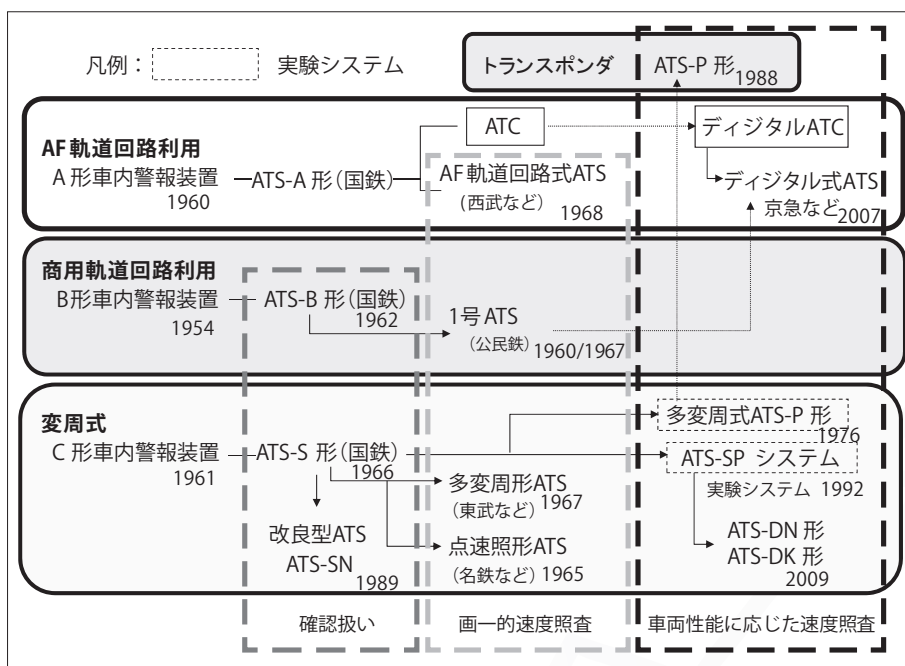


図-5 ATSの開発経緯

中の破線でくくった一番右側に位置する)は克服し、車両のブレーキ制御に合わせた保安制御が実現している。ここにも、情報処理技術の成果が読み取れる。

新たな列車制御へのブレークスルー

◆ 新しい信号システムとCBTC

(1) デジタルATCとATACS

2011年3月の東日本大震災で被災した仙石線で、同年10月よりJR東日本は無線式列車制御システムATACS(Advanced Train Administration and Communications System)の実制御を

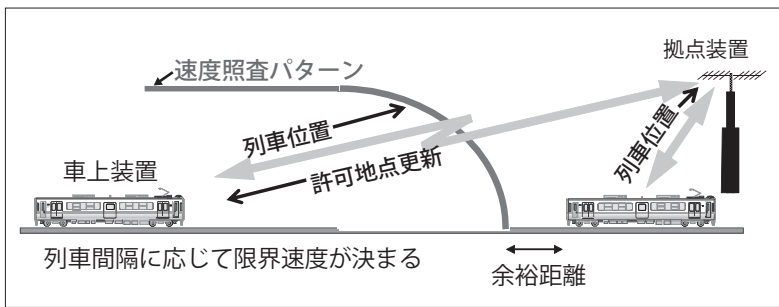


図-6 ATACSの制御概念

開始した。ATACSは、鉄道総研が1990年代に開発したCARAT (Computer And Radio Aided Train control system 次世代運転制御システム)⁴⁾の成果を引き継ぎ、在来線で実用化させたシステムである。ATACSの保安制御は抛点装置、無線装置、車上装置により実現される(図-6参照)。ATACSでは、走行する列車が、線路内に置かれた絶対位置を伝える地上子と速度発電機から算出した走行距離を基に自らの列車の位置を検知し、無線により地上の装置へ送信する。一方、地上の装置はエリア内のすべての列車位置を把握し、各々の列車に対して走行許可地点情報を決定して無線により車上装置へ伝達する。各列車の車上装置は、受信した情報を基に車上データベース上の車両性能、線路曲線・勾配等の制限速度条件等を加味して速度照査パターンを作成し、列車速度がそのパターンを超えないようにブ

レーキ制御を行うというものである。ATACSは、導入以来今日に至るまで安定して稼働を続けており、導入後に発生した駅構内改良工事においても、従来の信号システムで不可避であったケーブル配線の変更や信号設備の設置も不要になるという長所が実証された。JR東日本では今

日までの実績を踏まえ埼京線での導入を発表している⁵⁾。

なお、このATACSは後述する無線利用列車制御装置CBTC (Communication Based Train Control system)の1つである。ATACSと新幹線を支えるデジタルATCは、今日我が国の列車制御技術では最先端に位置すると言ってよい。では、両者をどのように解釈すべきなのであろうか。

デジタルATCにおける地上装置では、軌道回路で列車を検知し、前方列車が在線する閉そく区間と自列車在線区間を電文内の情報として生成する。その電文を軌道回路を介して車上に伝達するが、そのために図-7のように、地上に多くの装置を必要とされていた。保安制御に必要なのは前方列車位置情報であるから、直接その情報ももらえれば、図-7において一点鎖線で囲った「コード生成を行う地上

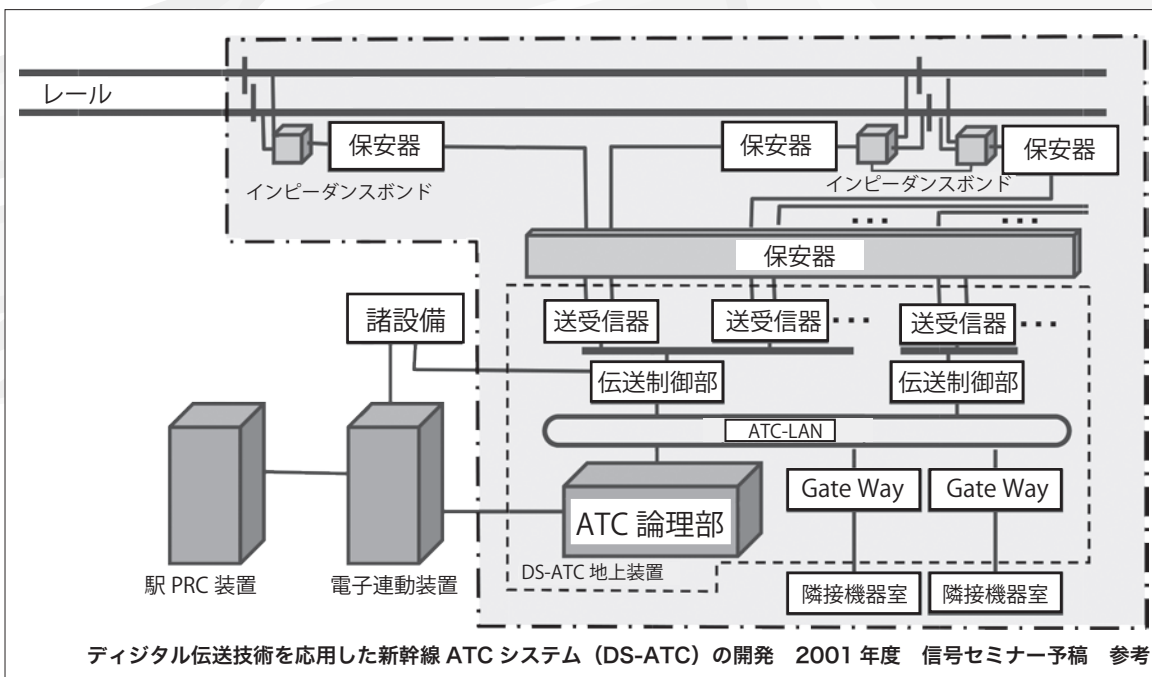


図-7 デジタルATCの地上装置構成

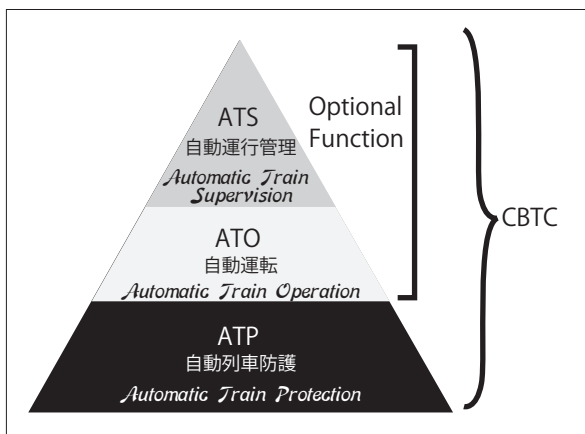


図-8 CBTCの階層的機能構成

装置」は不要になる。ただ、「列車なし」の場合と伝送装置が故障して情報なしになる場合の判別が要る。このため、線区の全列車の動きを把握する装置を介して情報をもることが合理的である。このように考え、必要な装置のみを配置すると、結局ATACSやCARATの構成に行きつく。これらの無線を使った列車制御システムについては、米国の電気電子学会IEEEが2004年にIEEE1474.1⁶⁾の規格を制定しCBTCと称した。CBTCの制御原理は、新幹線から地方交通線に至るまで、共通に適用できる。まさにCBTCこそ信号システムの革新として登場したものと言ってよい。

(2) 機能階層構造を採るCBTC規格

IEEE1474.1では、CBTCを「軌道回路から独立した高精度の列車位置検知を利用した連続的自動列車制御システムで、連続的双方向の列車—地上間大容量データ通信と車上および沿線処理装置により自動列車防護機能(ATP)を実現するシステムであり、オプションとして自動運転機能(ATO)と自動運行管理機能(Automatic Train Supervision(ATS) functions)を有する」としている(図-8参照)。

オプション機能とはいえ、自動運転機能と自動運行管理機能を配置している点で、CBTCシステムは、単独で運行指令から保安に至る列車制御全体を包含できる。これに対しATACSは、運行管理機能は持たず、何らかの上位システムの存在を前提としていた。もちろん、自動運転の機能も持っていない。上

述したCBTCの分類でいえば、システムの基本機能であるATPのみを実現させたシステムと考えてよい。

そもそもIEEE規格のCBTCは、新交通システムや空港内アクセスなどその線区で完結した無線式列車制御システムを念頭に作られているため、運行管理や自動運転を具備することはごく自然といえる。

◆ CBTCにおけるATPの究極の姿と本質制御

CBTCの単線区間への適用を考えるなら、列車をどちらの駅から発車させるかという運転方向の制御が必要になる。既存の単線閉そく装置の1つである電子閉そく装置^{☆7}では、隣接駅のフェールセーフコンピュータ(駅閉塞装置)が相互に情報交換し、運転方向の制御を行っていた⁷⁾。しかし、CBTCとして進路設定の権限を唯一に限定すれば、単線閉そくを実現するための駅装置相互間での情報交換は不要になる。

この考えに従って開発したシステムがATP閉そくである。ATPはCBTCの必須要素機能であり、日本におけるATSやATCを意味する。ATP閉そくでは、汎用無線を利用してセンタと各列車が情報交換を行い、センタの処理装置は閉そくの管理や運行管理も実現する。無線による通信は、駅構内や閉そく境界などの限定された区域内での離散的な情報交換になる。この点が、拠点装置と車上装置間でほぼ1秒周期で情報交換しているATACSとは異なる(なお、ATACSの無線交信周期であるが、運転能率の面だけで考えるなら交信周期を伸ばせる余地がある。たとえば、仮に3回の無線交信失敗時にブレーキをかけるとしても、試算によれば、2分の運転時隔での運転を行わせるだけなら、駅中間部分は80秒周期で、また駅構内は17秒周期で情報交換すればよいということが導ける)。

ATACSとATP閉そくでは、システムの構成概念においても差異がある。両者のアーキテクチャの比較を図-9に示す。ATP閉そくは、汎用無

^{☆7} 伝送ケーブルで繋がっている駅閉そく装置同士が、列車の車載器から発信される固有番号を照査・記憶することにより自動的に信号機を制御して閉そくを確保する装置。1986年の国鉄のダイヤ改正時に閉散線19線区で実使用を開始した。

線（携帯電話）のローミング技術でセンタにすべての列車情報が集約されるため、ATACSで重要な役割を占めていた拠点装置が不要になる。拠点装置は無線エリア内の列車を管理するもので、今日のデジタルATC等の概念を踏襲しているとも言える。列車が拠点装置の管理エリアを移る際には、隣接拠点装置間での情報の引き渡しが必要になる。また、無線装置故障時には隣接拠点装置が交信を受け持つハンドオーバー処理も必要になるなど、拠点装置には複雑な制御処理が組み込まれている。しかし、ローミング技術で無線基地局の存在をトランスペアレントにしたATP閉そくでは、無線のハンドオーバー処理も不要であるし、装置間の情報の引き渡しもない。センタと車両という本質的に必要な要素のみが相互に情報交換をして保安制御を行うATP閉そくは、制御のための要素が最小限に限定され、その分信頼度は向上する。同時に、人間を含めた要素間インタフェースの不具合に起因する事故発生確率も小さくなる。これを本質的系統制御（本質制御と略する）と呼ぶ。本質制御こそ、優れた機能を低コストで実現

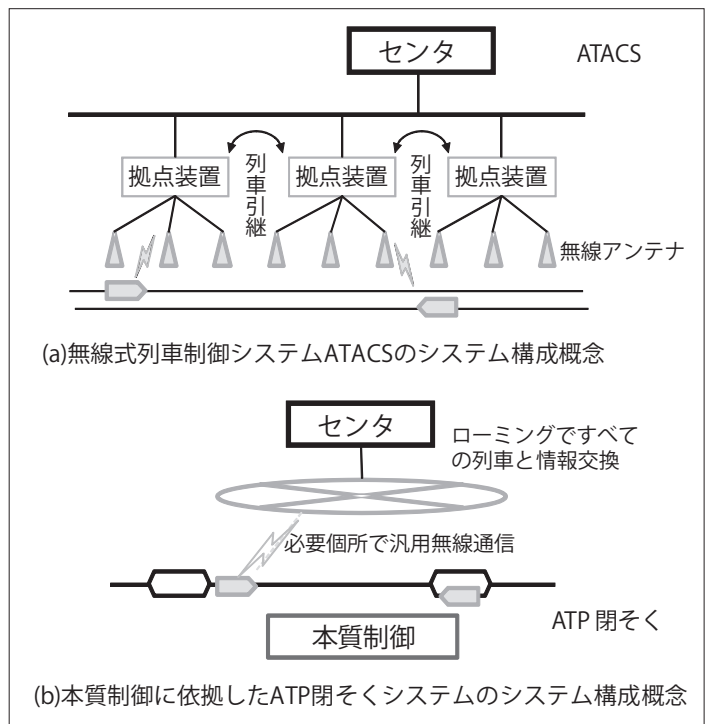


図-9 ATACSとATP閉そくの構成概念の比較

させ、信頼性、安全性に優れたシステムを実現する設計コンセプトである。これまで述べてきた技術の変遷という視点でATS・ATCを整理したものが図-10であるが、本質制御こそ信号システムの目指すべき方向であり、そしてそれが実現したあかつきには、もはや信号システムとしてではなく、ト

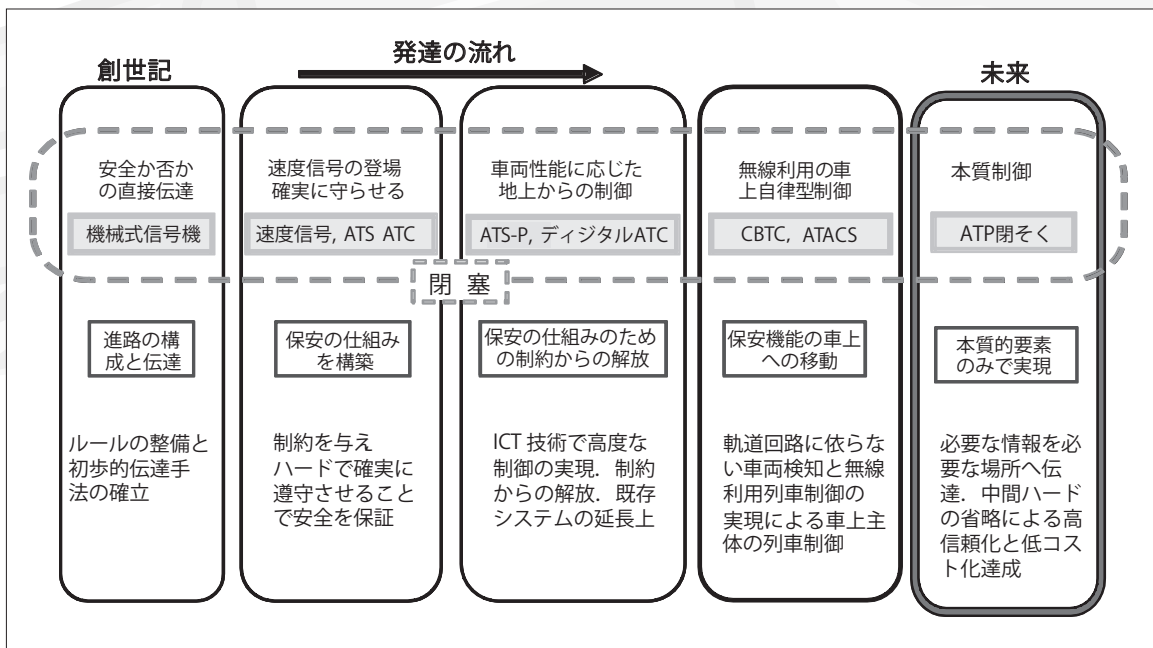


図-10 技術の発展とATS・ATCの変遷

タル列車制御システムとして万全な保安制御を担うことになる。

◆ 列車制御のコンセプトで一步先の鉄道を

ここまで、列車運行の安全を支える ATS や ATC といったシステムにフォーカスを当て、信号システムのあり方を考察し、これからの姿を展望してきた。その結果、鉄道の安全が物理的な保安設備によって確保され、しかもその機能がより高度にそして鉄道としての性能を十分に発揮できる方向へと進んでいることが明らかとなった。そしてその先には、本質的に必要とされる物のみが相互に情報を交換し合い、保安を実現していくという本質制御と称する究極の姿が展望できる。

本質制御は単なるコスト低減や信頼性、安全性、保安性の向上をもたらすだけではない。軌道回路や制御のための装置を持たないシステムは、信号制御に難のあったレールバスやデュアルモードビークル^{☆8}といった新しい車両の保安制御が共通にでき、鉄道に新たな可能性を切り拓く。

鉄道の復権が世界的に叫ばれているが、我が国の動きは蚊帳の外にある。鉄道技術者が英知を結集し、

鉄道自体をより競争力のある交通手段に変革することなしには、展望は切り拓けないであろうが、本質制御の概念の適用は、その可能性を現実のものとする。鉄道の未来への確かなビジョンを持って世界をリードする日の再来を切望している。

参考文献

- 1) 中村英夫、武子 淳：情報依存型制御方法の提案と列車制御への応用，鉄道総研報告，Vol.7, No.8, pp.9-16 (Aug. 1993).
- 2) 中村英夫、佐々木達也：ATS-SP システムの開発—ATS-S 形を利用しパターン式連続速度照査を実現する—，鉄道総研報告，Vol.5, No.4, pp.35-42 (Apr. 1991).
- 3) 中村英夫：保安装置の姿と展望，鉄道と電気技術，鉄道電気技術協会，Vol.23, No.7, pp.5-10 (Sep. 2012).
- 4) 中村英夫：CARAT 一次世代運転制御システム—，鉄道総研報告，Vol.7, No.5, pp.10-16 (May 1993).
- 5) 「埼京線への無線式列車制御システム (ATACS) の導入について」2013 年 10 月 8 日 JR 東日本プレス発表，東日本旅客鉄道株式会社 (2013).
- 6) IEEE1474.1 ; Standard for Communications-Based Train Control (CBTC), Performance and Functional Requirements (2004).
- 7) 立道康夫：加古川線の電子閉そく装置，鉄道と電気技術，Vol.1, No.5, pp.40-43 (Nov. 1990).

(2013 年 11 月 19 日受付)

^{☆8} バスを改造してレール上を運行するレールバスや道路とレールの両方を運行できるデュアルモードビークルは、軌道短絡に難があり、現行信号システムの適用が課題となっていた。

中村英夫 | nakamura.hideo@nihon-u.ac.jp

国鉄、(財)鉄道総合技術研究所を経て、日本大学理工学部教授。元日本信頼性学会会長、前電気学会交通電気鉄道技術委員会委員長、電子情報通信学会フェロー。著書として、「列車制御」、「鉄道信号・保安システムがわかる本」など。工学博士 (日本大学)。

