

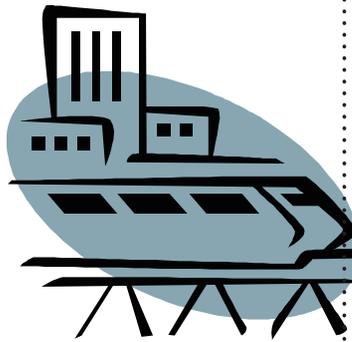
解説

安全・安定に寄与する 鉄道情報処理技術

前編

制御系システム

片岡 健司 三菱電機(株)先端技術総合研究所
明日香 昌 三菱電機(株)先端技術総合研究所
駒谷 喜代俊 三菱電機(株)伊丹製作所



鉄道における情報処理技術は、運行管理システムに代表される地上からの集中管理システムを中心に発展してきたが、近年の技術発展に伴い、鉄道車両内のIT化も急速に進展しつつあり、一層の安全確保および利用者の利便性向上に寄与している。本稿では、鉄道分野で用いられている情報処理技術について、制御系システムと運行系システムに分けて解説する。前編では制御系システムとして、信号システムを中心に解説する。

鉄道における情報処理の役割

鉄道は安全・安心な交通機関として日々多数の乗客に利用されている。また、あらかじめ定められた列車ダイヤ通りに運行される安定した交通機関として乗客から信頼されている。さらに、自動車や航空機に対してエネルギー効率が良いことから、環境にやさしい交通機関として社会的に認知されている。

さて、鉄道といえば、古くは車両、信号、指令所、線路、駅、車両基地、変電所などを必要とする装置産業と位置付けられてきた。しかし、新幹線や大都市圏の鉄道を考えれば明らかなように、多種多様で膨大な量の情報を処理する情報産業としての側面が強くなってきている。鉄道を支えている情報処理システムとしては、図-1に示すように、座席の予約や乗車券の販売・自動改札などにかかわる営業系システム、列車ダイヤの作成や列車の運行管理にかかわる運行系システム、列車の運転や信

号の制御にかかわる制御系システム、さらには設備の保守・管理や一般業務にかかわる業務系システムなどがある。また、最近では、ICカードを用いた非接触乗車券システムや、地上から車上へ情報を配信して乗客へさまざまな情報を提供するトレインビジョンといった先端的な情報処理技術も適用されている。

こうした情報システムの中で、鉄道における安全・安定輸送の実現には制御系システムと運行系システムが大きく貢献している。本解説では、前編では安全の要である信号システムを中心とする制御系システムを、後編では安定輸送の鍵を握る運行管理システムに代表される運行系システムについて解説する。

前編として、以下では、鉄道における安全の考え方を説明した後、図-2に示すシステム・装置を例に、安全の要である信号システムおよび速度制御方式と連動制御方式、自動運転を実現する運転制御システム、車両のIT化を推進する車両統合管理システムについて順に解説する。



図-1 鉄道を支える情報システム

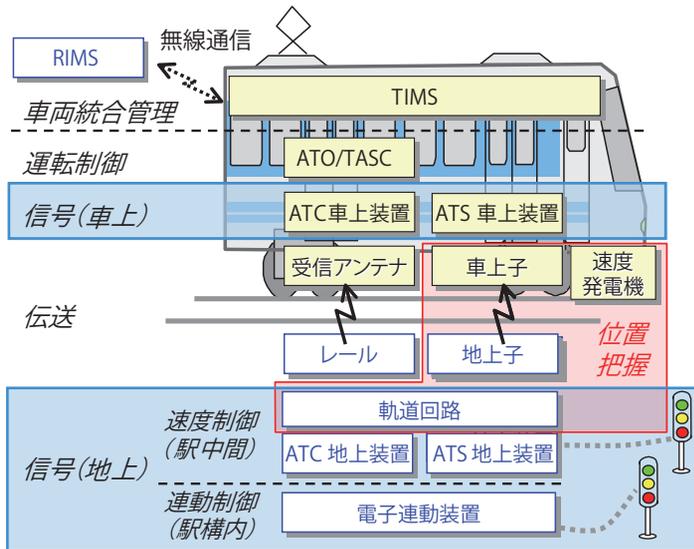


図-2 主要な制御系システム

鉄道の特性と安全の考え方

鉄道車両は自動車と同様に路面と車輪との間の粘着力によって走行するが、自動車のようにハンドル操作によって曲がることはできない。また、滑りやすいレールと車輪を用いるがゆえに、最高速度から停止するまでの非常制動距離が、たとえば在来線では130km/hで600mと非常に長い。さらに、ブレーキ減速度は乗客の安全性や乗り心地からも強い制約を受ける。こうした鉄道の特性から、安全を確保するためにさまざまな工夫が施されてきた。

鉄道における安全の基本は列車の位置を把握し、他の列車が進入できる区間を制限することによって、追突・衝突を防止することにある。これは技術的、経済的な理由から軌道回路と信号機という地上設備を主体として実現されてきた。一方、車上側では運転士の注意力のみに依存する状況から、車上機器を設置して、信号機による指示が守られていない場合に警報を出力する機能、さらには自動的に停止させる機能が実用化されている。これは地上・車上間の情報インタフェースが軌道回路と信号機という最小限の構成から、デジタル情報の活用へと進化したことに対応している。

安全性に対するもう1つの重要な概念は、フェールセーフである。フェールセーフとは、システムが故障したとき、安全側状態に固定し、危険側に動作しないことをいう。たとえば列車位置把握では、軌道回路が故障した場合には、その区間に列車が在線すると想定して、他の列車を進入させないことが安全側状態である。このため軌道回路は、列車在線検知側に故障する確率がきわめて高くなるように設計されている。このようなフェー

ルセーフ設計を行うためには、システムの安全側状態を定義できることが前提条件となる。鉄道の信号システムの場合、地上では信号機を赤にする、車上ではブレーキをかけることがこれに相当する。従来は機械的にフェールセーフ性を実現していたが、装置の電子化と高機能化に伴い、演算処理が制御の主体を占めるようになってきている。このため、2つのCPUの演算結果を比較照合するデュアルCPU方式によりフェールセーフ性が確保されている。しかし、航空機や自動車の場合、単純に安全側状態を定義できない。このことが、鉄道の信号システムにおいてフェールセーフの概念が特徴的に発達する要因となったと考えられる。厳密なフェールセーフ設計により、鉄道システムは他の交通システムと比較して高い安全性を維持している。

信号システム

信号システムは地上設備と車上機器から構成され、速度制御と連動制御の2つの機能を持つ。速度制御は列車の脱線、衝突、追突を防止するために地上設備からの指示で車上機器を制御し、必要に応じて列車を減速させることで、列車間の間隔を安全に保つ。一方、連動制御は列車を安全に運行させるために地上設備を制御し、列車の進路を確保する。これらの機能はともに列車位置を基本情報として用いている。ここでは、まず列車位置を把握する技術について説明し、その後で速度制御と連動制御における情報処理について解説する。

■列車位置把握

地上での列車位置把握

列車の在線位置は軌道回路と呼ぶ地上設備で検知される。これは図-3に示すように、一定の区間（数十m～数km）内で2本のレールを電気回路として用い、その一端からレールに信号を送信し、他端で受信している。その区間に列車が進入すると、車軸によって2本のレールが短絡され受信状態が変化するため、列車の在線を検知することができる。

鉄道の安全性は、列車が在線する軌道回路には他の列車を進入させないことを基本としている。運転間隔をつめて多数の列車を運行させるためには、軌道回路長を短くすればよい。しかし、短い軌道回路を多数設置することになると、保守も含めて多大な費用が発生する。このため、軌道回路は路線条件や運行形態を詳細に検討して設定される。

軌道回路は1872年に米国で発明され、古くから用い

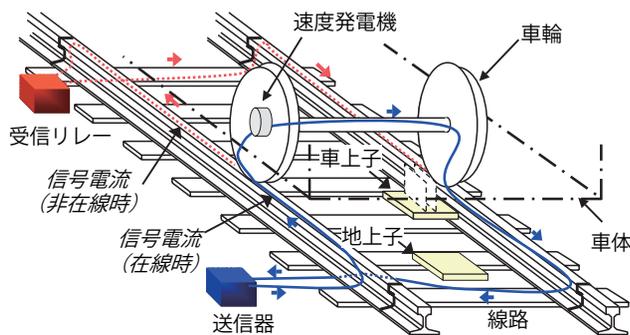


図-3 列車位置把握用設備

られている基本技術であるが、情報という観点からは以下の3つの課題がある。

- ①軌道回路では位置以外の情報を入手できない
- ②列車の位置ではなく、在線区間として検知する
- ③車上の計測値ではなく、地上での計測値である

車上で列車位置把握

車上で位置を連続的に把握するには、図-3の速度発電機と地上子／車上子の組合せを用いる。速度発電機による車軸回転パルスと車輪径に基づく演算により、レール上の相対的な走行距離が分かる。この方式だけでは以下の課題があるため、点在して設置する地上子の上を車上子が通過するときに位置補正を行い、地上子間は走行距離を積算して列車位置を連続的に把握する。

- ①車輪のすべり(滑走、空転)や車輪径の設定誤差などに起因する誤差が発生する
- ②列車制御等では、前方の目標地点までの残走距離が重要な情報であるが、距離積算が進むに従い、残走距離の誤差も積算される

列車位置把握の高機能化と課題

地上での列車位置把握には軌道回路、車上で列車位置把握には速度発電機と地上子／車上子の組合せがある

ことを述べたが、設置コストや保守コスト、誤差に関する課題があり、代替技術への要望は多い。これらの課題に対し、GPSによる列車位置検知¹⁾やレーダ等による相対距離の連続検知のような非接触型連続位置把握技術の導入も検討されている。GPSは環境によって誤差が変動することから、トンネル区間などを含め、精度数mを常時確保することが実用化への大きな課題である。またレーダについてはコスト、精度、耐環境などが課題となっているが、通信と測距を組み合わせた方式が米国で試験導入段階にある。

速度制御方式

鉄道においては、当初の前方目視のみに頼る安全確認から、軌道回路と信号機を組み合わせる走行区間の安全確保状況を運転士に伝達する方式へ移行し、100年以上にわたり採用されている。この方式では信号機が示す形状や色で情報を運転士に伝達するが、列車の制御自体は運転士が行うため、信号誤認や操作ミスによる事故を根絶することができない。そのため、情報伝達と速度制御をシステム化し、運転士をバックアップするATS (Automatic Train Stop)、さらに装置自身が優先して列車速度を制御するATC (Automatic Train Control)が開発・導入されてきた。

これらの速度制御システムは、制御情報の伝送形態に着目すると、「アナログ」もしくは「デジタル」で分類することができる。ATSもATCも従来はアナログ伝送が用いられており、車上機器は伝送された信号情報と伝送位置における現在速度を比較し、状況に応じて制御を行ってきた。これに対し、近年のデジタル伝送を利用した制御では、停止位置までの距離情報と列車性能、現在位置、現在速度を考慮し、より安全性が高く、運行効率も高い制御を実現している。表-1に速度制御方式の分類例を示す。

		アナログ伝送	デジタル伝送
操作バックアップ	制御方式	ATS	ATS-P
	伝送方式	地上子／車上子 (変周式)	地上子／車上子 (トランスポンダ式)
	伝送情報	前方信号機状態	停止信号機までの距離情報
	制御概要	停止信号を見落とすと非常制動	防護パターンを作成し、現在位置における防護パターンの指示速度を現在速度が上回れば制動 (停止まで)
自動列車制御	制御方式	多段ATC	一段ATC
	伝送方式	レール伝送	レール伝送
	伝送情報	走行区間の制限速度	停止位置までの距離情報
	制御概要	指示制限速度と現在速度を比較し、現在速度が高ければ減速	防護パターンを作成し、現在位置における防護パターンの指示速度を現在速度が常に下回るように減速

表-1 速度制御方式の分類例

自動列車停止装置 ATS

運転士の操作をバックアップする目的で、日本ではATSが広く普及している。変周式（電磁結合による発信周波数の変化で地上情報を得る方式）地上子／車上子によるOn/Off情報のみのアナログ伝送を用いた方式がJRを中心に導入されていたが、近年、トランスポンダによるデジタル伝送を用いさらに安全性を高めた、ATS-Pと呼ばれる制御方式へと移行しつつある。従来型ATSとATS-Pの動作概念を図-4に示す。

信号機は隣接信号機と接続されており、進行方向に対して前方にある信号機の現示（列車に対する指示速度を色で表したものに）に応じて、当該信号機が表示する現示もあらかじめ定められており、前方のどの信号機が停止現示なのか分かるようになっている。また、トランスポンダはRFIDに類似したデジタル情報送受信装置であり、地上子と車上子が同一位置に到達した場合に情報を伝送する。

数十cm程度の範囲でのみ情報伝送が行えることを利用し、前述のように車上の位置補正にも利用される。

ATSでは、前方信号機が停止信号の場合に、一定距離手前に設置した地上子（ロング用地上子）で地上設備から停止信号状態であることを車上機器に伝達する。車上機器はその情報を受信した時点で運転士へ確認操作を促し、確認操作が一定時間以内に行われない場合に非常制動をかける。また、信号機直下にも地上子を設置し（直下用地上子）、赤信号の際に直下用地上子を通ると即座に非常制動（非常ブレーキによる停止）をかけるようになっている。

一方ATS-Pでは、停止信号機の設置位置を停止位置とみなし、停止位置までの距離情報を含む数十bitの情報を、信号機と接続されたトランスポンダ地上子から送信する。車上機器では、地上子を通じた時点で車上子が停止位置までの距離を受信すると、停止位置に自列車の最大減速性能で停止するための減速パターン（防護パターン）を作成する。その後、車上機器では速度発電機に基づく残走距離および現在速度と防護パターンを常時比較し、防護パターンが示す現在位置における指示速度より現在速度が上回っていれば、停止するまで制動（通常のブレーキ）をかける。また、信号現示が変化すれば、次の地上子を通じた時点で防護パターンが更新される。信号機ごとに通常3つの地上子が接続され、停止信号

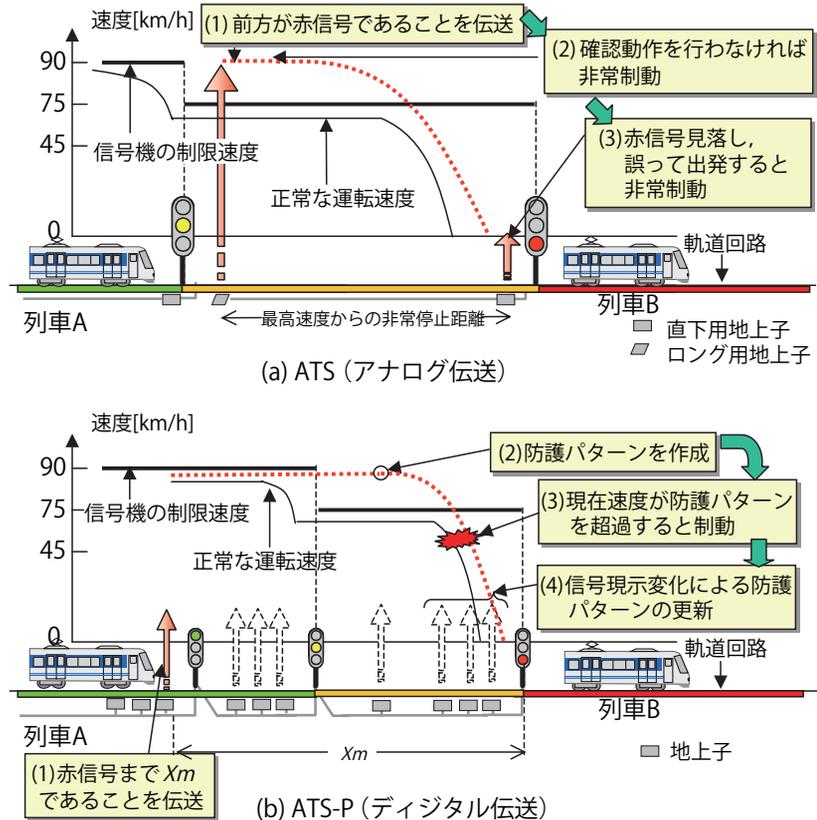


図-4 ATSとATS-Pの動作概念

による減速中に信号現示が変化した場合でも、中間の地上子通過時に防護パターンを更新可能となっている。

ATS-Pで伝送する情報の例を表-2に示す。停止信号に関する情報以外に、分岐や曲線に対する速度制限情報も伝送することで、速度超過による脱線も防止している（この場合制限速度以下に速度が下がれば制動は解除される）。なおトランスポンダを用いる場合、スペック上は64Kbps程度の伝送が可能であるが、非常に狭い区間でしか伝送ができないため、高速走行列車に対しては最も少ない場合数百bit前後の伝送にとどまる。一方、さまざまな用途ごとに地上子を設置することが可能であり、地上子を並べて設置することでトータルの情報伝送量は上げられる。

自動列車制御装置 ATC

ATSがあくまで運転士の操作ミスに対するバックアップ装置であるのに対し、より積極的に列車速度を制御するシステムとして、高密度・高速路線を中心にATCが導入されている。従来は、多段ATC方式が主流であったが、こちらも一段ATCと呼ばれる高機能型の制御方式が導入されつつある。

ATCでは信号情報をレール経由で送信する。軌道回路では、前述のように列車位置把握のためにレールへ信号を送信しているが、信号の変調方式を工夫し、図-5に

停止目標に関する情報	停止信号機までの距離 平均勾配値
進路に関する情報	なし(分岐ごとの速度制限情報を伝送)
速度制限に関する情報	速度制限, 開始位置, 制限区間長

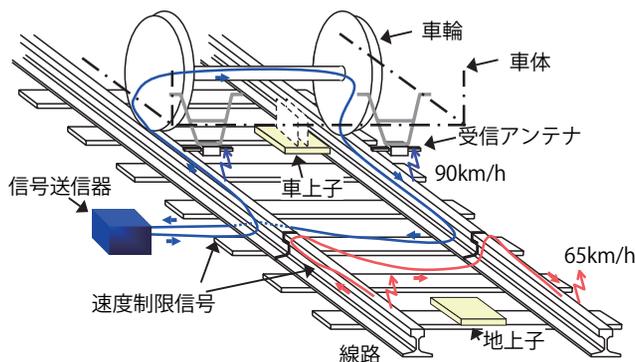


表-2 ATS-P で伝送する情報の例

図-5 情報伝送設備(レール, 地上子, 車上子)

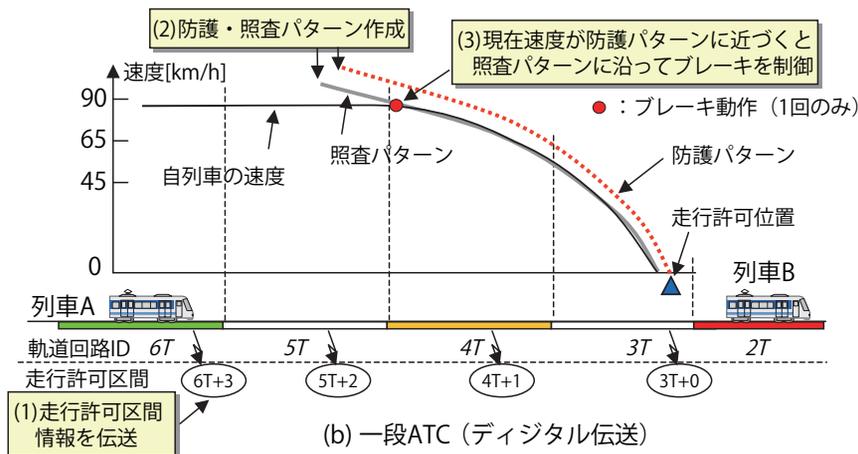
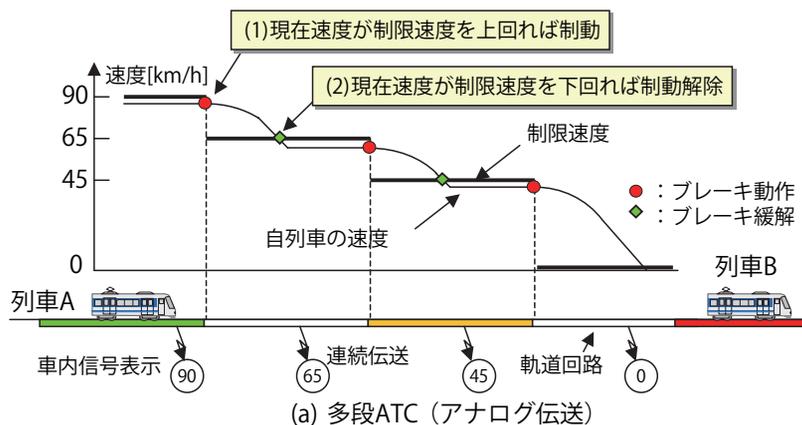


図-6 多段 ATC と一段 ATC の動作概念

示すように、車上にレールと近接したアンテナを搭載することで、レールに流れる信号を車上でも受信することが可能である。

従来のアナログ方式では、変調周波数などを複数切り換え、それぞれの周波数に意味を持たせる方式をとっていたが、近年のデジタル処理技術の進展に伴い、デジタル信号として車上に送信する方式が実用化されている。デジタル方式ではおおむね 200 ~ 300bps 程度の伝送が可能である一方、伝送可能な軌道回路長はアナログ方式より短くなり、最大数百 m 程度にとどまる方式

が多い。

多段 ATC と一段 ATC の動作概念を **図-6** に示す。

多段 ATC では、在線区間における制限速度情報をアナログ信号によりレール経由で車上に伝送し、列車の現在速度が制限速度より高ければ減速制御を行う。ATS 導入区間での運転士が信号を目視しながら走行する方式(信号機の直前に信号機の指示速度を下回っていけばよい)と比較し、信号機が速度を指示する区間に進入した瞬間に減速が始まってしまうこと、また減速性能が異なる列車が混在する区間では、高減速性能の効果が発揮さ

停止目標に関する情報	軌道回路 ID 開通軌道回路数または開通軌道回路 ID
進路に関する情報	開通進路 ID
速度制限に関する情報	速度制限, 開始軌道回路 ID, 制限軌道回路数

表-3 一段 ATC で伝送する情報の例

れづらいことといった問題があった。

一段 ATC 方式の制御方法は ATS-P 方式と類似しており、停止目標位置（または制限速度と制限区間）を地上設備から車上機器に伝送する。図-6 (b) の場合、列車 A が軌道回路 6T に、列車 B が 2T に在線しているとすると、ATC 地上設備は 3T まで、すなわち 6T から 3 つ先まで走行可能であるという情報を列車 A の車上機器に伝送する。車上機器では保持しているデータベースに基づき、その情報から実際に走行できる位置として、3T の境界から一定距離の余裕を持たせた走行許可位置を得る。車上機器では走行許可位置に対し、自列車の最大減速性能に応じて防護パターンを発生し、防護パターンが示す現在位置における指示速度より現在速度が上回っていれば、非常制動がかかる。一方、防護パターン以外に、通常の減速度で減速するための照査パターンも発生し、照査パターンを列車速度が上回れば、照査パターンに沿うようなかたちでブレーキをかけて自動的に減速し、照査パターンを下回ればブレーキを自動的に解除することで、常に列車速度が防護パターンを下回るように列車を制御する。

一段 ATC では表-3 に示すような情報を、数十 bit のデジタル情報としてレール経由で連続的に伝送しており、デジタル ATC とも呼ばれる。レール伝送は帯域が狭いため、勾配や軌道回路境界位置、進路 ID が構成する軌道回路 ID リストなど、設備に関するデータベースは車上機器で保持するケースが多いが、地上から関連情報を随時伝送することで車上データベースが誤る危険性を回避する方式もある。一方、伝送信頼性を確保するために誤り検出や繰り返し伝送を行うことから、一周期の情報を車上で受信完了するまでに一定の時間が必要であり、伝送遅れを考慮したシステム設計の必要がある。

一段 ATC 方式は東海道新幹線などですでに運用が開始されている。情報伝送が主にレール伝送であり、機器の制限から最大軌道回路区間長が短くなってしまふこと、また機械優先型のため常時動作が前提であり、フェールセーフ設計に加えて稼働率向上が要求されることから、導入コストが比較的高く、高密度運行路線での採用が主である。

無線による列車制御

このように、信号システムは情報伝送のデジタル化により機能が向上しつつあるが、既存信号システムにおける情報伝送帯域は非常に狭く、またレール伝送では地上→車上の一方しか実現できていないため、さまざまな課題がある。こうした課題を克服するためには、車上で把握した列車位置を地上へ無線伝送することが考えられる。無線を用いれば、位置以外の情報として速度、列車番号、乗務員名など、より多様な情報を伝送することも可能である。無線を用いた信号システムとしては、たとえば ATACS (Advanced Train Administration and Communications System)²⁾ と ETCS (European Train Control System) が開発段階にある。ATACS は鉄道専用のデジタル無線を利用するシステムで、JR 東日本が 1995 年から開発に着手し、2003 年からは長期間の走行試験も実施され、実用化を目前に控えている。一方 ETCS は欧州の統一規格として 3 つのレベルを定義し、レベル 1 (日本の ATS-P 相当) およびレベル 2 (GSM-R と呼ばれる携帯電話ベースの鉄道向けデジタル無線で伝送を行うが、位置把握は軌道回路による信号システム) まで実用化されている。レベル 3 では軌道回路を用いず、車上で把握した列車位置情報を GSM-R 経由で伝送し、速度制御を行うが、まだ実用化が決まった路線はない。

これらのシステムは、これまでの軌道回路を単位とした停止位置の制御ではなく、先行列車の後尾位置等を目標停止位置とし、目標停止位置自体が動的に移動する制御方式の実現を目指している。そのために、列車自身が自分の位置を他列車に連続的に伝達する仕組みを構築している。これにより、軌道回路の削減が可能となるため低コスト化につながると同時に、列車間隔を任意の長さに設定することができるため、高密度の運行が可能になる。

■連動制御方式

駅中間の複線区間では、各列車が 1 次元のレール上を一定の方向へ走行する。したがって、安全を保つには、先行列車位置に基づいて、後続列車が追突しないように速度制御することが中心となる。一方、駅構内や単線区間では、異方向からの列車が同一レールを使用する場合があります。列車が衝突しないように列車を誘導しなければなりません。また、転てつ機と呼ばれる装置を用いて、列車の走行線路の切り換えが可能のため、列車の動きが単純な 1 次元ではない。さらに、転てつ機は線路上唯一の可動装置であり、その動作中に列車が走行すれば、脱線する恐れがある。

このため、駅構内では、線路や転てつ機といった地上設備の使用や列車間での競合を、安全かつ効率的に管理・制御することが必要である。そこで、信号システム

としては、線路を列車の進入・出発点から進出・到着点までに区分し、これを進路と呼んで、管理・制御の基本単位としている。進路単位で、各進路へ進入するための信号機やATC信号送信機および転てつ機といった地上設備の制御、使用完了した設備の開放等を、相互に関連づけて安全に実施するのが連動制御である。連動制御の障害は、重大な事故に直結する可能性が高いため、安全性の向上を目指し、フェールセーフを中心とした技術開発が進められている。

連動装置

連動制御を実施する連動装置においても、フェールセーフ設計が取り入れられている。従来は鉄道用電磁リレーを用いてハードウェア的に制御上の相互関係を表現していたが、近年はCPUとソフトウェアを利用した電子連動装置が普及しつつある。電子連動装置に用いられるCPUはフェールセーフ性に配慮された構成をとっており、FSP (Fail Safe Processor) と呼ばれる。FSPの構成方法は以下に示すようなさまざまな方式があるが、現在はデュアルCPU方式が主流となっている。

(1) 多数決3重方式

3つのCPUで同一の計算を実施し、多数決回路で1つのCPUでの故障を検知すれば、これを切り離す方式。以後、修理が完了するまで2つのCPUの出力結果の一致により、動作を継続する。

(2) 自己診断方式

要求される安全度に応じて、プログラムやデータに冗長符号を付加し、1つのCPU上で、制御処理と冗長符号による故障診断を行う方式。

(3) Nバージョンソフトウェア方式

同一機能を持つ、異なるN個のプログラムを作成し、これらの出力結果を比較することにより、出力の正しさを確保する方式。

(4) デュアルCPU方式

2つのCPUで同一の計算を実施し、両者の結果が異なれば故障とする方式。多数決3重方式と比べて構成が単純化できるが、いずれかのCPUが故障すれば直ちに停止するので、稼働率を上げるにはデュアルCPUの多重系構成とする必要がある。

電子連動装置のシステム構成例を図-7に示す。上で述べた連動制御は主に連動論理部で実行される。連動論理部は、地上設備系ネットワークから電子端末部と呼ばれるインタフェース装置を介して、進路を構成する地上設備に接続されている。連動論理部は、連動制御に基づいて信号機・転てつ機といった設備ごとの制御命令を送信し、各設備の状態を示す表示情報や列車の在線情報を受信する。電子連動装置は、フェールセーフ性のみならず、高い稼働率も要求されることから、システムは多重

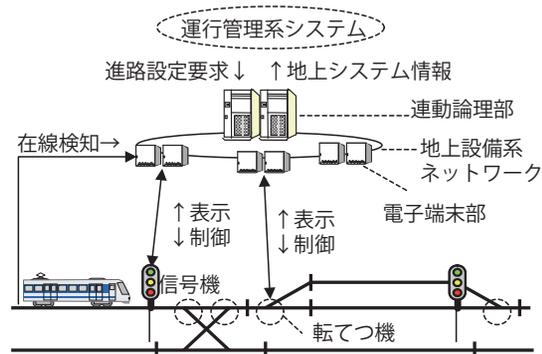


図-7 電子連動装置のシステム構成例

系構成をとるのが一般的である。

一方、連動論理部は運行管理システムとも接続しており、運行管理システムからの進路設定要求に基づいて地上設備を制御するとともに、地上設備の表示情報や列車の在線情報、および進路状態といった地上システムの各種情報を返す。

現行の連動装置では、電子端末と地上設備は各々メタル線で接続されているが、これらを光ネットワークにより接続し、デジタル情報伝送により制御する方式の開発が進められている。これにより、駅構内ケーブル類の大幅な削減によるコストダウンが期待されている³⁾。

運転制御システム

これまで述べてきた信号システムは安全確保が目的のシステムであるが、信号システムで用いられる情報をより効率的な運転制御に活用するシステムも実用化が進んでいる。

■ 自動列車運転装置 ATO

運転士の負担を軽減し、あるいは無人運転を実現するために、列車の運転を自動化するATO (Automatic Train Operation) が地下鉄や新交通システムを中心に普及している。これまでのATOは、駅間ごとに、定時走行および遅れからの回復運転を実現するための運転パターンを事前に調整し、登録しており、走行時には遅れの実績に応じて定時運転パターンと回復運転パターンを切り換えている。図-8に運転パターンの一例を示す。

点線で示した定時運転パターンは速度制限区間を考慮し、駅間後半の速度を抑えて走行時分を調整している。一方回復運転パターンは、速度制限区間以降を最高速度で走行し、B駅への到着時間の遅れを短縮する。パターンに惰行をうまく組み込むことで、電力消費を削減することも可能である。

パターンの事前調整には手間がかかる一方、異常時には、手動運転で対処しなければならない場合もある。このため、駅間の運転パターンを状況に応じて動的に調整することで、事前調整の手間を省くとともに、手動運転への切り換えを不要とし、遅延の早期回復を図る機能が今後実現されていくと考えられている。

■ 定位置停止装置 TASC

TASC (Train Automatic Stopping Controller) は、列車が駅に停車する際に自動的にブレーキをかけて、ホームの定位置に停止させるための運転支援装置である。TASC は一般には ATO の一部機能であるが、高密度区間では運転士の技量による停車までの所要時間増加が運行遅延を招きやすいこと、またホーム柵設置区間では数十 cm 以下の精度で停止位置に停車しなければホーム柵が開けられないこと、などの点から、TASC 単独の導入も増えている。

TASC では停止位置までの残走距離の把握が制御に重要な役割を果たす。これまでは、ATS や ATC などと同様、距離積算用の速度発電機と、位置補正および停止判定用の複数のトランスポンダとの組合せで残走距離を把握してきたが、前述のような非接触型連続位置把握技術を導入することができれば、制御精度の向上および地上設備の削減が可能となる。

車両統合管理システム

最新の鉄道車両は自動車と同様に、ネットワークを用いたデータ伝送が導入されている。ただし、自動車とは異なり、鉄道ではモータとブレーキが搭載された複数の車両が連結されて、列車編成の単位で運転される。また、列車編成は分割や併合によって変えられる。このため、鉄道車両の IT 化では、編成レベルでの情報管理と統合制御を行う車両統合管理システム (TIMS: Train Integrated Management System) が重要な役割を果たしている⁴⁾。

TIMS は 1980 年頃に誕生した列車モニタリングシステムが発展したものと位置付けられる。図-9 に示すように、先頭車に表示器と中央ユニットを搭載し、中央ユニットと各車両の端末ユニットは車両間ネットワークで接続されている。また、端末ユニットは車両内の推進制御装置、ブレーキ装置、空調装置など各種車載機器と車両内ネットワークで接続されている。各ユニットには 32bit の RISC CPU を搭載し、車両間には 10Mbps、車両内には 1Mbps のネットワークを採用している。また、表示器は 10.4 インチ・VGA のカラー LCD が主流であるが、高機能化と複数台の設置が進んでいる。

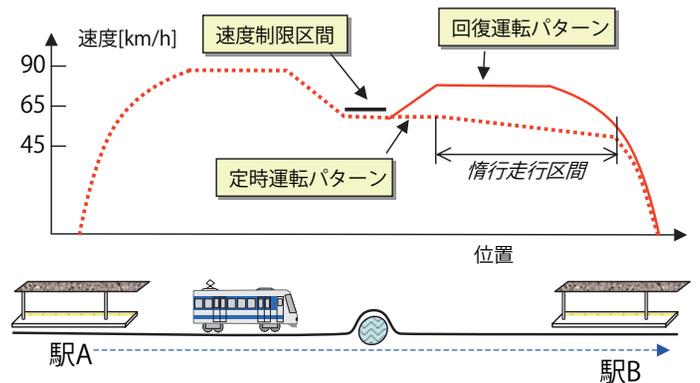


図-8 ATO 運転パターンの例

TIMS の特長としては、次の 3 点が挙げられる。

(1) 車両の信頼性向上と軽量化

TIMS が導入されるまでの車両では、信号線を用いて情報を伝達していた。たとえば、制御指令が入力されるとそれに対応した電気信号を生成し、信号線に流して対象機器へ伝達していた。そして、対象機器は受信した電気信号から制御指令を特定し、指令に応じて動作していた。こうしたアナログ的な情報伝達では、情報の点数に比例して H/W 部品と信号線を増加させる必要があった。TIMS ではこれらの情報を 1 本のネットワークを用いてデジタル伝送できるため、H/W 部品と信号線を統合することができる。さらに、制御機能を S/W 化して TIMS に集約することにより、車両の信頼性を向上させた。また、こうした信号線は、たとえば新幹線では 16 両編成 (400m)、通勤電車でも 10 両編成 (200m) に引き通す必要があり、従来は数十本もの信号線が必要であった。ネットワーク化による信号線の大幅な削減は車両の軽量化にも貢献している。

(2) 列車モニタリング機能の高度化

ネットワークを用いたデジタル伝送では、情報の点数と伝送コストは依存しなくなる。このため、TIMS ではモニタ項目数を大幅に増加させるとともに、詳細な動作状態・故障情報を収集・表示・記録することが可能となった。また、双方向で情報を伝送することにより、車両の点検および車載機器の検査の自動化を進め、業務の効率化を図っている。さらに、最近ではデジタル無線通信を活用して、こうした車上の豊富な情報を地上の指令員や検修員が共有するリモートモニタリングシステム (RIMS: Remote Information Monitoring System) が実用化されている。RIMS を用いれば、たとえば車両故障が発生したときに地上の指令員や検修員から車上の乗務員を支援して、迅速な故障復旧が可能となってい

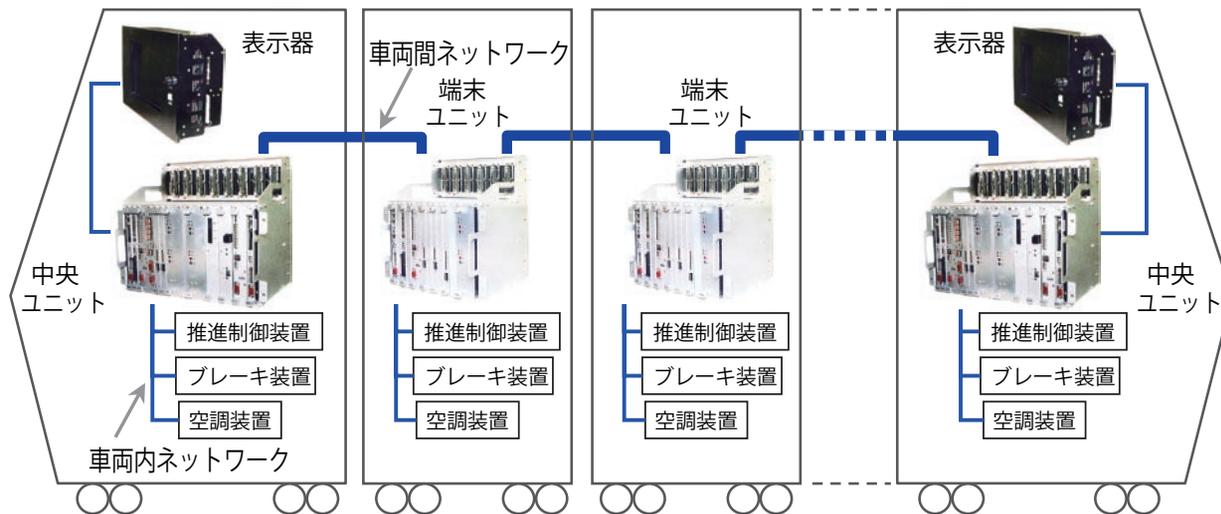


図-9 車両統合管理システムのシステム構成

る。今後は故障機器のリセットや開放など、車載機器を遠隔操作することも技術的には可能となる。

(3)列車編成の統合制御

TIMS では高速伝送 (10Mbps) と定周期処理 (数十ミリ秒) が実現されたことにより、力行 (加速)・ブレーキなどの制御指令を車両間ネットワークで伝送している。列車編成としての制御目標値と各車両の荷重状態 (乗客の重量) から、各車両の制御量を決定している。特に、ブレーキトルクの演算では消費電力量削減につながる電気ブレーキを活用できるように、空気ブレーキとのトルク配分を編成単位で決定している。TIMS は力行・ブレーキといった基本機能を担当することから、ネットワークと CPU の冗長性を高め、信頼性を確保している。ただし、安全性を保障するために、非常制動の制御指令は従来と同様に信号線を用いて伝達されている。

運行系システムとの連携

本稿では鉄道における情報システムのうち、制御システムを紹介してきた。移動体である鉄道車両は、自身の運行中の安全を自律的に確保する必要がある。列車の位置情報や進路情報を把握するため、地上システムが指示する信号機情報をはじめとする各種情報を参照し、列車の現在位置および現在速度と比較して制御しているが、無線伝送技術の進化に伴い、これらの情報がより高精度に、より大容量化することで、安全性・安定性がさらに高められている。

前編で紹介したこれらの制御系システムを包含し、路線を走行中の各列車の挙動を列車群として、ダイヤどお

りの定時運転を確保するために全体最適制御を図るのが、運行系システムである。後編では、運行系システムについて解説する。

参考文献

- 1) 山本春生, 飯倉茂弘, 穴戸真也, 他: 鉄道環境における GPS 適用時の課題と対策, 鉄道総研報告, Vol.19, No.8, pp.23-28 (2005).
- 2) 立石幸也, 武子 淳, 黒岩 篤, 他: 無線による列車制御システム ATACS プロトタイプ試験結果, JR East Technical Review, No.12, pp.40-51 (2005).
- 3) 平野善之, 遠藤優史, 国藤 隆, 橋本哲郎, 弘光 勉, 会見憲一: ネットワーク信号制御システムの実用化開発, 第 43 回鉄道サイバネ・シンポジウム論文集, 論文番号 632, pp.476-479 (2006).
- 4) 本間英寿, 角南健次: 統合化車両制御システムの動向と展望, 三菱電機技報, Vol.80, No.12, pp.39-42 (2006).
- 5) 吉武 勇: 鉄道の運転保安設備, 日本鉄道運転協会 (2006).

(平成 19 年 6 月 27 日受付)

片岡 健司 Kataoka.Kenji@dh.MitsubishiElectric.co.jp

システム最適化技術部交通システム制御グループマネージャ。1989 年大阪大学工学研究科通信工学専攻修士課程修了。同年三菱電機(株)に入社。博士(工学)。運行管理、信号保安などのシステム研究開発に従事。電気学会会員。

明日香 昌 Asuka.Masashi@ay.MitsubishiElectric.co.jp

システム最適化技術部交通システム制御グループ主任研究員。1990 年京都大学工学研究科数理工学専攻修士課程修了。同年三菱電機(株)に入社。予測技術を利用した列車運行管理、および鉄道信号保安システムの研究・開発に従事。電気学会会員。

駒谷 喜代俊(正会員) Komaya.Kiyotoshi@ce.MitsubishiElectric.co.jp

交通システム部主管技師長。1979 年京都大学大学院工学研究科(電気工学専攻)修士課程修了。同年三菱電機(株)に入社。システム工学、知識工学の交通システムへの応用に関する研究に従事。工学博士。電気学会、計測自動制御学会、IEEE 各会員。