

ヨーロッパと日本の 列車制御システムと動向



平栗 滋人

HIRAGURI Shigeto

列車制御システムに関して、ヨーロッパと日本では、安全性や輸送効率の向上を目指し、その時々 of 社会的要請や技術進歩に応じて、それぞれのシステムを開発してきた。特に高速運転を行う線区や都市部の主要線区では、情報技術を積極的に活用したシステムが導入されている。また、ここ20年来、無線を使用した列車制御システムの開発が双方で行われ、現実のものとなりつつある。本稿では、従来の列車制御システムの概要と無線列車制御システムに関する動向について述べる。

キーワード：列車制御システム、ERTMS/ETCS、JR-TC、標準化

1. はじめに

列車制御システムは、安全かつ効率的な列車運行を実現するために、重要な役割を担っている。これまでに、その時点での社会的あるいは鉄道事業者自身のニーズに応じて、または技術の発展に伴って、様々なシステムが開発されてきた。特に、最近の約20年は、コンピュータ技術、情報技術の急速な進展を受けて、新しい技術開発が行われ、いわゆる移動閉そくを実現できる、無線を利用した列車制御システムも実用を視野に入れられる段階になってきている。

本稿では、鉄道による輸送が占める割合が比較的高く、技術面でも固有の開発を行っているヨーロッパと日本の列車制御システムについて、これまでに導入されたシステムを概観するとともに、無線など情報技術を活用した新しい列車制御システムの動向について述べる。

2. 従来の列車制御システム

(1) ヨーロッパのシステム^{1), 2)}

ヨーロッパでこれまでに導入されてきた列車制御システムは、①電磁的結合や電気的接触による点制御方式、②トランスポンダを使用した点制御方式、③レールを使用した情報伝送による連続制御方式、④ケーブルを使用した情報伝送による連続制御方式に大別される。

① 電磁的結合や電気的接触による点制御方式

イギリスのAWS、フランスなどのCrocodile、ドイツなどのIndusiなどが代表的である。ヨーロッパにおける導入規模（路線長）では、このタイプが最大の割合である。

機能的には、停止現示の信号機手前での警報、乗務員による確認扱い、確認扱いが一定時間以内に無い場合の非常ブレーキ動作など、日本におけるATS-Sを基本とする各種ATSと類似している。この他、システムによって、特定地点での速度照査機能や信号機直下での停止機能を持つものがある。

② トランスポンダを使用した点制御方式

フランスなどのKVB、ノルウェーやスウェーデンのEbicabなどがある。

基本機能は、地上のトランスポンダから列車に情報を伝送し、これに基づいて車上コンピュータで照査速度パターンを発生させ、速度超過時には警報を発するとともに、ブレーキを動作させるものであり、日本のATS-Pと類似している。なお、フランスでは乗務員による地上信号機の確認とブレーキ操作を基本としているが、北欧では車上にも制限速度情報が表示され、地上信号機の表示より優先すると位置付けられている。

③ レールを使用した情報伝送による連続制御方式

フランスなどの高速運転路線で使用されているTVM、

財団法人鉄道総合技術研究所信号通信技術研究部信号研究室長

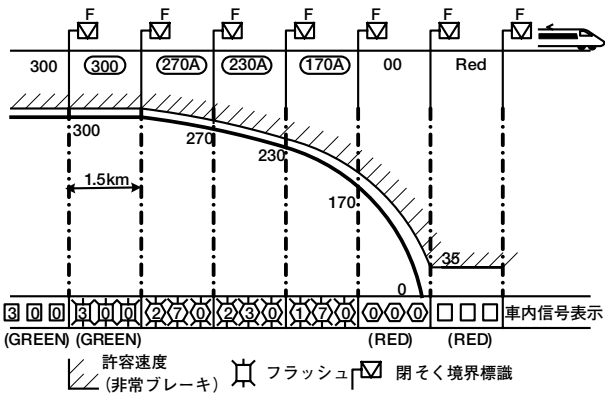


図-1 TVM430の概要

イタリアのBACCなどがある。

TVMはTGVが走行する路線を始め、ユーロトンネルなどに導入されており、TVM300とTVM430 (図-1)の2種類がある。TVM300は1981年のTGV南東線開業時に導入され、TVM430は1993年のTGV北線の開業時に導入された。TVM300では、軌道回路を使用して段階的な速度信号を列車に送信する。一方、TVM430ではレールを介してデジタル情報 (速度や距離などの制御情報、列車種別、線区識別情報など) 伝送を行い、車上で停止パターンを算出し、許容速度を超過した場合に非常ブレーキが動作する。

④ ケーブルを使用した情報伝送による連続制御方式

ドイツの高速運転路線を中心に使用されているLZBが代表的である。

LZB (図-2)は1970年代にドイツの在来線での200km/h運転開始時に本格的に導入され、その後、ICEが走行する高速新線その他、スペイン、オーストリアなどでも導入されている。

レール間に敷設された交差誘導線 (交差間隔: 100m) を使用して地上-車上間の制御情報伝送を行う。車上装置は誘導線の交差検知と速度発電機出力の積算により位

置検知を行い、位置、速度、列車長、ブレーキ性能などを地上に送信する。地上では、連動条件や軌道回路による列車検知情報なども加味して、列車の停止目標位置、目標速度、ブレーキ特性 (減速度) を決定し、車上に送信する。車上では目標までの照査速度パターンを発生し、速度が超過した場合には非常ブレーキが動作する。

(2) 日本のシステム

日本の列車制御システムはATSとATCに大別される。

JR各社のATSは国鉄時代のS形をベースにして、停止信号に対する絶対停止機能などを付加した改良形が使用されている。また、地上子にトランスポンダを使用し、停止信号までの距離情報を車上に伝送し、照査速度パターンの発生と連続的な速度照査を行うATS-Pが、1990 (平成2) 年頃からJR東日本やJR西日本の大都市圏で導入された。この他、JR東日本ではATS-Sと同様の変周式を基本として、連続的なパターンを発生するATS-Psを開発し、2001 (平成13) 年から導入している。

一方、民鉄では1965 (昭和40) 年頃から広い範囲での導入が始まったが、当初から速度照査機能を持つものが多かった。

ATCに関しては、1964 (昭和39) 年の東海道新幹線開業時に車内信号式のもの本格的に導入された。その後、JRの首都圏の路線や地下鉄などでも使用されるようになった。1991 (平成3) 年には、速度信号段階の増加や軌道回路長を短くすることなどによって、運転時隔の短縮が可能な、いわゆる一段ブレーキ式のATC (図-3) が最初に東急電鉄で導入され、地下鉄などで使用されている。さらに、レールを使用したデジタル情報伝送により、前方の開通軌道回路数や停止すべき位置情報を送信し、車上で照査速度パターンを発生するデジタル方式のATC (図-4) が、2002 (平成14) 年の東北新幹線 (盛岡-八戸間) を初めとして、首都圏のJR在来線や東海道新幹線、九州新幹線などで使用されている。

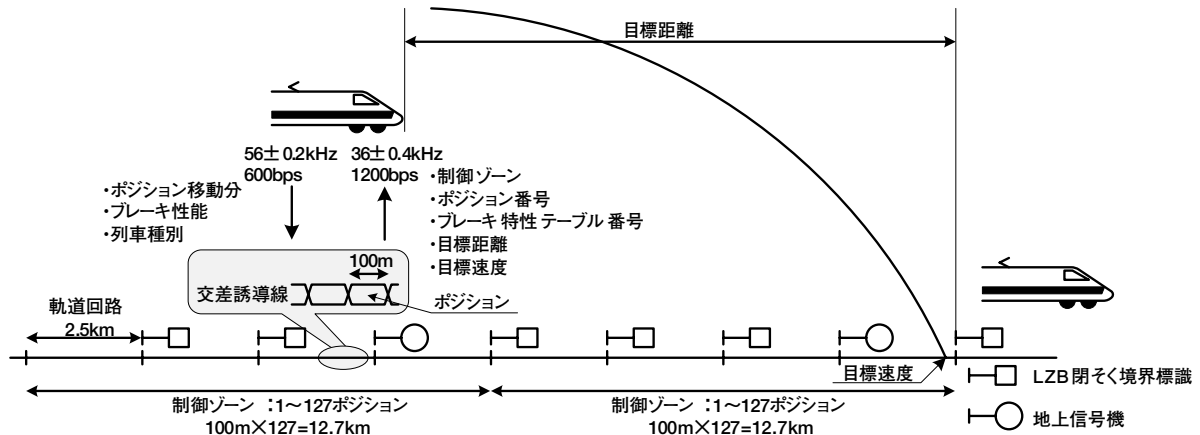


図-2 LZBの概要

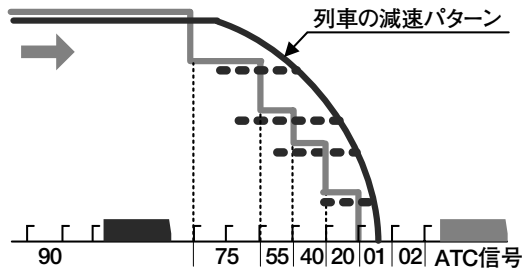


図-3 一段ブレーキ制御ATCの概要

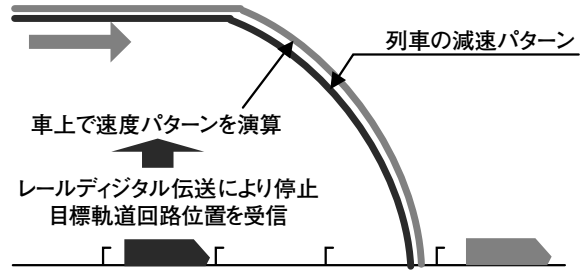


図-4 デジタル方式ATCの概要

表-1 高速鉄道の列車制御システムの比較

	新幹線の ATC (日本)	TVM (フランスなど)	LZB (ドイツなど)
信号の方式	アナログ方式：段階的な速度信号 デジタル方式：許容速度など	段階的な速度信号(前方の予告情報付き)	許容速度 目標地点までの距離 目標地点での速度
速度制御	アナログ方式：信号速度超過時に常用ブレーキ デジタル方式：照査速度パターン超過時に常用ブレーキ	照査速度パターン超過時に非常ブレーキ	照査速度パターン超過時に非常ブレーキ
信号情報伝送	レール(軌道回路)：地上⇒車上	レール(軌道回路)：地上⇒車上	交差誘導線：地上⇄車上
他システム搭載車の乗り入れ	不可	不可(地上信号機を設備した一部区間では可)	在来車：地上信号機と在来車用 ATS (Indusi) で制御 LZB 車：地上信号機のを減灯制御し、LZBで制御

以上に述べたように、ヨーロッパと日本、いずれにおいても、詳細機能や実現方法は異なるものの、線区の規模などに応じて、一般的な線区では主に点制御方式、高速鉄道や高密度運転を行う線区では連続制御方式が主に使用されている。特に後者においては、地上-車上間のデジタル情報伝送を活用して、よりきめ細かな制御を志向したシステムが導入されている。高速鉄道について、日本のATCとTVM、LZBの比較を表-1に示す。

3. 無線を使用した列車制御システム

(1) ヨーロッパのシステム

ヨーロッパでは次世代の列車制御システムとして ERTMS/ETCS²⁾ の開発が推進されている。このシステムは、導入形態をレベル1~レベル3の3段階に分けており、最も高機能となるレベル3では、車上主体の位置検知、地上-車上間の無線伝送などによって、いわゆる移動閉そくを実現する。ただし、システム全体の大きな目的として、国ごとに異なっている信号システムを共通化することで、EU域内の国際列車の運行を円滑に行う、インターオペラビリティの実現が挙げられている。初期段階のレベル1では、無線通信は基本的には列車制御に使用しない。各レベルの概要を図-5および以下に示す。

① レベル1

列車検知は既存の軌道回路などを使用し、列車は地上

信号機に従って走行する。ATS相当の機能を行うための情報は、Euro Balise (ユーロ・パリシ) と呼ばれる ERTMS/ETCS用に開発された地上子を通じて列車に伝送する。

② レベル2

列車検知には軌道回路などを使用するが、車上に対する制御情報伝送には無線 (GSM-R) を使用し、車内信号方式となる。車上では速度発電機などを使用して、連続的な速度照査などのための位置検知を行い、Baliseを通過する時に補正する。GSM-Rはヨーロッパの移動体通信の標準方式であるGSMの中で、鉄道用に割り当てられた周波数帯を使用する無線システムであり、列車制御以外にも、運行管理や保守作業などの用途にも使用される。

③ レベル3

軌道回路などによる列車検知は行わず、車上で検知した位置情報、および地上からの制御情報を無線を介して相互に通信することで列車制御を行う。

以上の基本システム構成の他に、レベル2、レベル3の応用版として、UIC (国際鉄道連合) が中心となってローカル線向けのERTMS Regional と称するシステムの開発を進めている。これは、転てつ機など現場機器の制御指令も無線を介して伝送し、信号機やケーブルなどの地上設備、駅の要員を削減することなどが目的とされている。現在、スウェーデンにおいて試験が行われている。

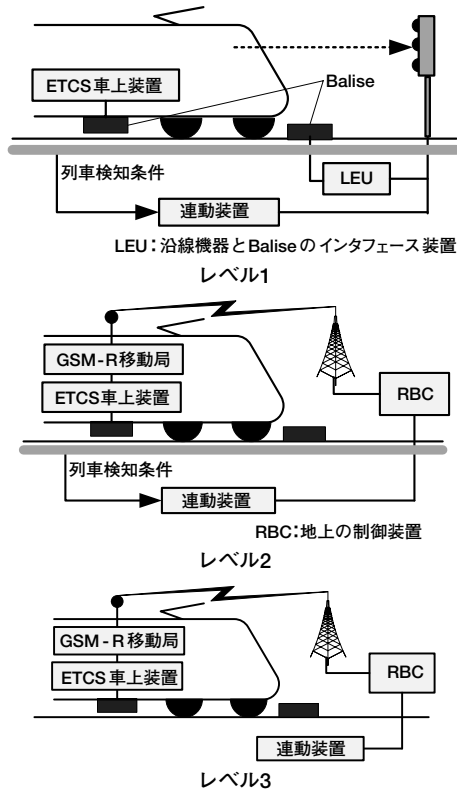


図-5 ERTMS/ETCSの導入段階

ERTMS/ETCSは、これまでにレベル1、レベル2のシステムの導入実績がある。この内、レベル2のシステムは2008年末までにドイツ、イタリア、オランダ、スペイン、スイスなどで約1700kmに及ぶ区間で導入されている。一方、レベル3に関しては未だ導入されておらず、現時点では、具体的な導入計画は無い模様である。

(2) ERTMS/ETCSの背景

先に述べたように、ERTMS/ETCSはEU統合と関連したインターオペラビリティ実現のための重要な要素の1つと位置付けられている。

鉄道におけるインターオペラビリティに関してはEU指令2008/57/ECにおいて、その実現が求められている。このEU指令は以前に示されていた高速鉄道(96/48/EC)と在来鉄道(2001/16/EC)のインタオペラビリティ指令をまとめた形のものである。この指令では新規の鉄道建設や改良を行う場合、原則としてインタオペラビリティに関する技術仕様(TSI: Technical Specifications for Interoperability)に従うことを要求している。TSIは信号システムに限らず、その他の設備、車両などを対象としている。このTSIの中で、列車制御システムに関してはERTMS/ETCSが主要な内容を構成している。なお、さらに具体的、詳細な仕様についてはCEN、CENELECなどの欧州規格で定めることとされている。つまり、ヨーロッパにおける鉄道システムの要件は、「EU指令-TSI-欧州規格」という階層で構成されている。現在、

TSIおよびERTMS/ETCSの仕様の管理、改訂などの作業は、フランス、バレンシエンヌに設置され、2005年から活動を始めたヨーロッパ鉄道庁(ERA)が担当している。

このように、ERTMS/ETCSはEUの政策と密接に関連しており、ヨーロッパ外への導入を目指す動きも見られる。

(3) 日本のシステム

日本では、1988(昭和63)年頃から1995(平成7)年頃まで、鉄道総研でCARATと称するシステムの開発を行った。その後、JR東日本においてATACSと称するシステムの開発が行われ、仙石線での現地試験や技術検討委員会による審議などを経て、現在、実用化に向けた段階に到達している。

一方、昨今の国際規格審議をめぐる状況などに鑑みて、ATACSやその他の将来的なシステムを包含する形で、日本としての無線式列車制御システム(JRTC: Japan Radio Train Control system)をJIS化する作業が進められている。作業は2005(平成17)年に開始されて以来、約100名に上る関係者の努力の結果、今年4月20日に「第1部 一般要求事項及び機能要求事項」が制定された。現在は、「第2部 システム要求事項」の原案作成作業が行われているところである。

今回のJIS作成作業の結果が、国際規格審議の場においてどのような形で反映されるかは、今後に委ねられるものであるが、自らの技術を標準化するために国際規格を戦略的に利用しているヨーロッパに対して、少なくとも、日本の無線式列車制御システムを同じレベルで議論の俎上に乗せる第一歩となるということは言えるであろう。

4. おわりに

ヨーロッパと日本の列車制御システムについて、従来のシステムを概観するとともに、無線を使用するシステムを対象として、現在の動向について述べた。それぞれのシステムは、各国や地域に固有の背景や経緯を経て開発されたものであるが、鉄道運行の安全と効率の向上という目的は共通していると言える。

今後の方向性として、各国や地域に固有なシステムが尊重されるとともに、これらが共存することで、鉄道の地位が全体的に向上するということがあると思われる。今回の無線式列車制御システムのJIS化が、列車制御システムの分野における一つの端緒となることが期待される。

【参考文献】

- 1) Institution of Railway Signal Engineers, "European Railway Signalling", A&C Black, 1995
- 2) UIC, "Compendium on ERTMS", Eurailpress, 2009