

ATS-DKを活用した GOA2.5自動運転システム



藤田 浩由
Hiroiyuki Fujita
信号技術研究部
列車制御システム研究室長



青柳 孝彦
Takahiko Aoyagi
九州旅客鉄道株式会社
安全創造部
専門副課長



森田 隼史
Shunji Morita
日本信号株式会社
次世代交通インフラ推進室
システム開発部
課長

はじめに

生産年齢人口の減少による影響がさまざまな産業分野でも深刻化しており、地域鉄道を含めた鉄道ネットワークの維持において、今後の運転士等の鉄道従事者の確保が課題となっています。この解決策の一つとして、列車の運転操縦を自動化し、列車先頭に人が乗務しない形態や、列車の先頭に動力車操縦者運転免許を持たない係員が乗務する形態の自動運転が挙げられます。鉄道の運転の自動化レベル (GOA : Grades

Of Automation)^①を表1に示します。前者のドライバレス自動運転については、GOA3およびGOA4に相当し、国内では1980年代から新交通システムなどで実施されています。

本稿では、後者の形態の自動運転について、踏切があるなどの一般的な鉄道路線への導入を目指し開発した、世界初のGOA2.5自動運転システムである「ATS-DKベースのGOA2.5自動運転システム」のコンセプト、システム概要、および安全性確保手法を紹介します。

表1 鉄道の運転の自動化レベル (運転士や係員の乗務形態による分類)

自動化レベル(IEC/JISによる定義)		乗務形態 []内は主な作業	国内の導入状況
GOA0	目視運転	運転士(および車掌)	路面電車
GOA1	非自動運転		踏切がある等の一般的な路線
GOA2	半自動運転	運転士[列車起動, 緊急停止操作, 避難誘導等]	一部の地下鉄等
GOA2.5*	緊急停止操作等を行う係員付き自動運転(IEC/JISに定義なし)	列車の先頭に乗務する係員[緊急停止操作, 避難誘導等]	JR九州 香椎線
GOA3	添乗員付き自動運転	前頭以外に乗務する係員[避難誘導等]	一部のモノレール
GOA4	自動運転 ドライバレスに区分	係員の乗務なし	一部の新交通等

* GOA2.5は、国土交通省の「鉄道における自動運転技術検討会」のとりまとめ(2022年9月13日公表)で定義されたレベル。本とりまとめでは、踏切がある等の一般的な路線を対象とした自動運転の導入について、自動化レベルに応じた人間とシステムの役割分担、安全確保の考え方や要件を提示。

① GOA

鉄道の運転の自動化レベル (GOA : Grades Of Automation) を指し、国際電気標準会議 (IEC : International Electrotechnical Commission) の国際規格であるIEC 62267: 2009 (JIS E 3802: 2012) : 「自動運転都市内軌道旅客輸送システム (AUGTシステム) -安全要求事項」により定義されています。なお、本システムの対象としているGOA2.5は、IECやJISによる定義がなく、国土交通省の「鉄道における自動運転技術検討会」のとりまとめ(2022年9月13日公表)¹⁾で定義されたものです。

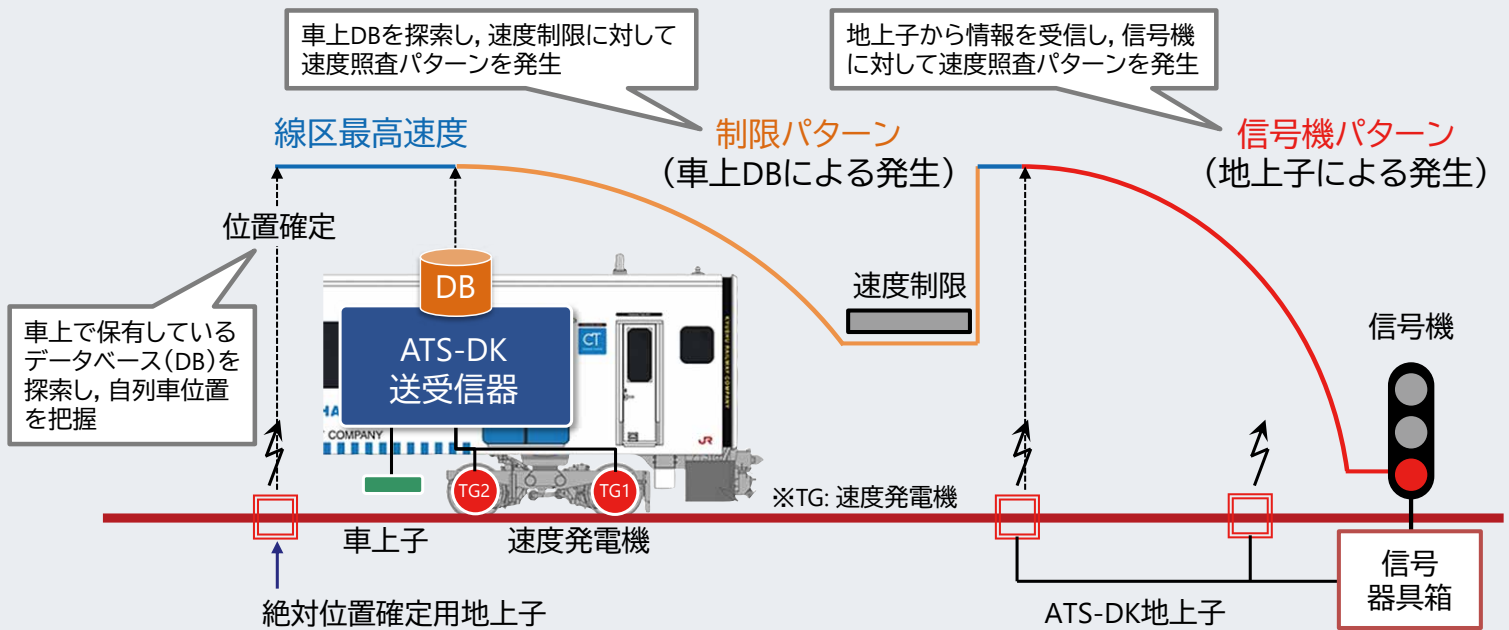


図1 ATIS-DKのシステム構成と制御概要

GOA2.5自動運転システムのコンセプト パターン制御式ATSをベースとした自動運転

従来、自動運転においては、ATO(Automatic Train Operation: 自動列車運転装置)により、運転操縦の自動化が行われていますが、ATO装置は保安装置として位置づけられておらず、列車間の間隔を確保する装置であるATC(Automatic Train Control: 自動列車制御装置)が保安機能を担うことを前提としています。ATCは地上の軌道回路などから常に速度信号等の保安制御情報を車上で受信し、ATOはATCの保安制御の下で走行制御を行うことが基本となっています。一方、在来線の9割以上の路線では、地上信号機とATS(Automatic Train Stop: 自動列車停止)装置によって列車制御を行っており、特に地域鉄道ではこれをATCに置き換えることは経済的に困難な場合が多いと想定されます。

車上子と地上子間で保安制御情報を送受信する点制御式と呼ばれるATSでは、保安制御情報は車上子が地上子上を通過したときのみ車上で受信されます。つまり、ATCのように車上で情報を連続的に受信できないという制約があ

ります。しかし、点制御式ATSのなかでも連続速度照査式ATS、いわゆるパターン制御式ATSでは、車上装置にて自列車位置と、停止位置および速度制限区間を認識して、連続的に列車速度が制限速度を超過していないかチェックする「速度照査」を行っており、これをベースとすることで既存のパターン制御式ATSを置き換えることなく自動運転の実現が期待できます。

今回開発したGOA2.5自動運転システムは、**図1**に示すJR九州の在来線に導入されているパターン制御式ATSである**ATIS-DK^(注2)**をベースとしています。

システムの前提条件

本システムは、列車先頭に乗務した係員が異常を認めた場合の緊急停止操作や緊急時の旅客の避難誘導等を行い、従来の運転士が行っていた主な運転操縦をATOが行うこととしていま

注2 ATIS-DK

JR九州の在来線に導入されている連続速度照査式ATSの一種です。車上データベースに曲線や分岐などの制限速度データを登録し、走行位置を常に認識することで、地上設備によらずに速度制限などに対して連続的に速度照査をすることができます。

表2 線区、列車、列車先頭に乗務する係員に対する前提条件

対象	前提条件
線区	<ul style="list-style-type: none"> ● ATS-DK導入線区(常時パターン制御方式:当該信号機が停止信号でない場合、次信号機を停止信号とみなして速度照査パターンを発生させる方式)
列車	<ul style="list-style-type: none"> ● ATS-DK送受信器およびATO装置搭載の本線列車 ● 駅の通過運転なし, 前進のみ ● ATS-DKの基本機能は極力変更しない(手動運転区間を走行する場合があるため、ATSの作用や運転取扱いに影響しないように配慮)
列車先頭の係員	<ul style="list-style-type: none"> ● 列車防護や緊急停止操作等を行うために列車に乗務 ● 作業に必要な適性, 知識および技能を有しており, かつATO装置の取扱いに必要な教育を受けた者

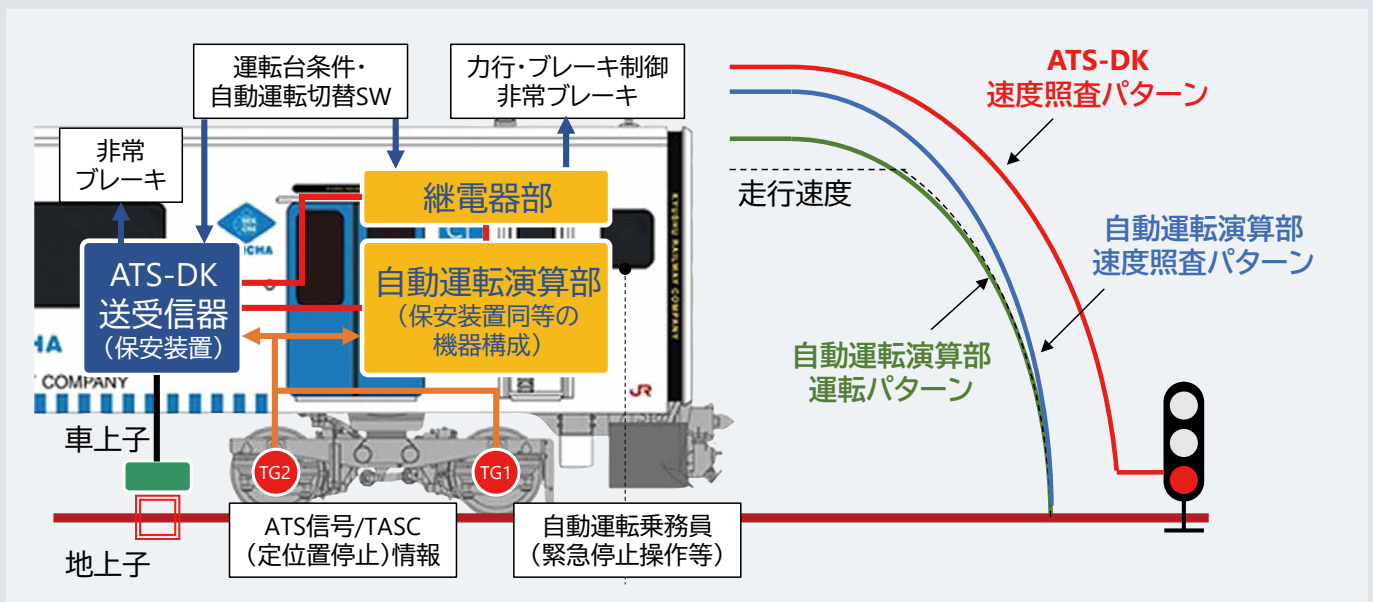


図2 ATS-DKベースのGOA 2.5自動運転システムの概略

す。また、本システムは、踏切があるような一般的な路線を対象として、ATCをベースとする自動運転システムよりも安価な自動運転システムを目指したものです。

本システムの開発にあたっては、線区、列車、列車先頭に乗務する係員に対して、表2に示す前提条件を設定しました。なお、列車先頭の係員については、JR九州では職名は「車掌」とし、「自動運転乗務員」と称しています。

システム概要

従来からのATSの位置づけは、運転士が適

切な運転操縦を行う前提でのバックアップ装置です。しかし、係員によるGOA2.5自動運転を行うためには、システムの機能により列車間の安全を担保する必要があります。

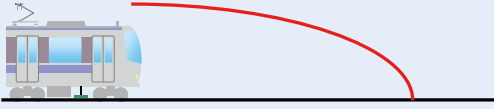
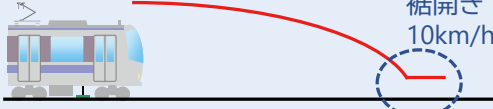
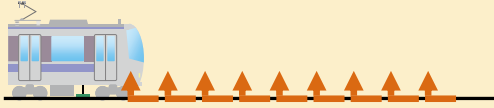

そこで、従来のATCベースでのATOとは異なり、ATOにも保安装置で実績のあるフェイルセーフ構成を適用することによって、ATS-DKとの組合せにより安全を確保する仕組みを導入することとしました。また、ATSを補完する機能を付加することで、自動運転実施時の信号冒進防護を行うこととしました³⁾。

本システムは、既存設備(ATS-DK送受信器



図3 車上装置の写真

表3 ATCとATS-DKとの主な相違点

相違点	ATC	ATS-DK(連続速度照査式)
① 停止までの照査速度	0km/hまでの速度照査 	0km/hまでの速度照査をしない  裾開き 10km/h
② 保安制御情報の受信の連続性	レールなどを介して受信(連続的) 	地上子からの受信(離散的) 

など)に新たに自動運転演算部および継電器部、自動運転システム用の地上子などを追加した構成となっています。本システムの概略図を図2、車上装置の写真を図3に示します。自動運転演算部は、ATS-DK送受信器が演算する速度照査パターン(速度を超過すると非常ブレーキが出力される)の情報および地上子情報に基づき、目標速度となる運転パターンを作成し、それに追従するように力行、ブレーキノッチ制御条件を出力するとともに、ATSを補完する速度照査パターンの演算を行う装置です。本装置は、ATS-DK送受信器と同様のハードウェア構成

のフェイルセーフな装置としています。また、自動運転を行うためのスイッチ類として、走行開始要求ボタンや自動運転用列車停止ボタンなどが設置されています。一方、地上側の設備については、既存設備であるATS-DK用地上子のほかに、TASC(定位置停止)地上子などの自動運転システム用地上子を追加で設置しています。

安全性確保手法

ATS-DKと、従来の自動運転のベースとなっているATCとの主な差異は、表3に示すとおり、

まえ、GOA2.5自動運転システムの導入は問題ないと判断するとともに、自動運転乗務員の養成を行い、2024年3月16日より香椎線において世界初のGOA2.5自動運転の営業運転を開始するに至りました(図5)⁴⁾。

おわりに

今回開発したATS-DKベースのGOA2.5自動運転システムは、ATSを活用して実現したものであり、フェイルセーフ構成としたATOとの総体で安全性を確保する新しい考え方に基づくものです。また、システムと係員の総体で安全性を確保するGOA2.5に対応したシステムとしては、世界初の実施例となりました。

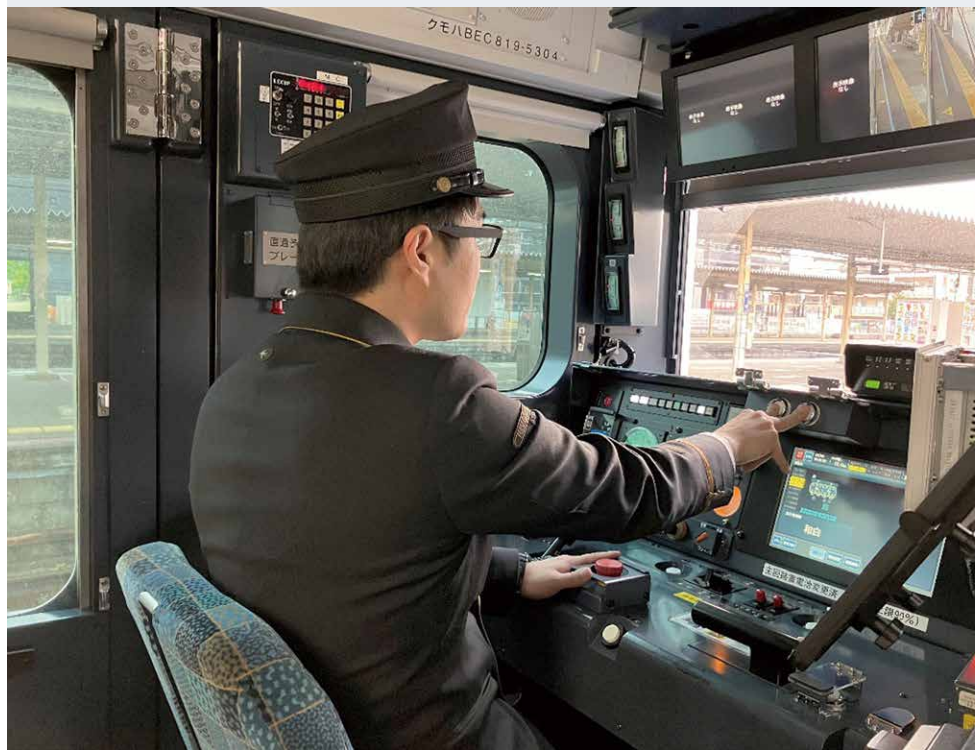
本システムによるGOA2.5自動運転の効果として、運転制御の自動化による安全性の向上や消費電力の削減、既設ATS活用による導入コスト低減、車掌への2か月間の追加教育で取得可能な部内資格にできたことによる「なり手不足」の解消と運転士養成にかかるコスト低減を確認できたことから、目的としていた地域鉄道における鉄道ネットワークの維持の解決策の一つとなったと言えます。

今後、香椎線以外の路線への導入拡大を目指し、導入コストのさらなる低減を図る予定です。

RRR



ATS-DKベースのGOA2.5自動運転システムの出発式



自動運転乗務員の乗務形態

図5 ATS-DKベースのGOA2.5自動運転システム

文献

- 1) 鉄道における自動運転技術検討会：鉄道における自動運転技術検討会とりまとめ（令和4年9月13日），<https://www.mlit.go.jp/tetudo/content/001512132.pdf>（入手日：2025年2月14日）
- 2) 藤田浩由，新井英樹，佐藤和敏，門脇雅明，貞苅路也：車上データベースを用いたATS-Dxの開発，鉄道総研報告，Vol.24，No.3，pp.5-10，2010
- 3) 藤田浩由，野村拓也，青柳孝彦，森田隼史：ATS-DKを活用した自動運転システムの開発，鉄道総研報告，Vol.35，No.10，pp.5-10，2021
- 4) 青柳孝彦，溝口聡真，森田隼史：GOA2.5/2.0自動運転開始と今後の展開，JREA，Vol.67，No.8，pp.7-11，2024