

東海道新幹線の自動運転システムに関する技術開発

技術開発部 車両制御チーム A T C開発グループ グループリーダー
新幹線鉄道事業本部 車両部車両課 課長代理

高見 俊彰
鈴木 桂太郎

1 はじめに

当社では、最新の技術を積極的に取り入れ、効率的な業務執行体制を構築するための「業務改革」に取り組んでいます。その一環として、東海道新幹線の営業運転に自動運転システム（GOA2）を導入することを目指し技術開発に取り組んでいます。自動運転システムには、安全性と信頼性の確保はもちろん、正しい位置に止まること、速度を制御すること、ダイヤ通りに運転することなどの要素技術に加え、省エネ化や乗り心地なども求められます。

現状は、乗務員が高い技量で安全かつ正確な輸送サービスおよび快適な乗り心地を提供し、設備故障、車両故障、災害といった状況においても、適切に対処しています。

当社は、自動運転システム導入後もこのような突発的な異常時に迅速に対応できるよう、運転台に運転士は乗務しますが、システムによって、運転操縦の支援を拡充することで乗務員の役割分担を見直し、より安全でより良いサービスを効率的に提供できるよう検討しています。



写真 1 自動運転システム導入を目指す N700S

2 東海道新幹線のダイヤの特徴

東海道新幹線は駅と駅の間隔が長く、高速で走行するほか、多くの列車を設定することにより、稠密かつ複雑

なダイヤ構成となっています。速達列車である「のぞみ」をはじめ、主要駅に停車する「ひかり」、各駅に停車する「こだま」の3種類の列車種別があり、図1のように、列車種別により停車駅のパターンが複数あること、各駅の発車時刻・通過時刻・到着時刻を15秒単位で定めているのが特徴です。また、同じ列車種別においても駅間走行時分が異なることや、駅間が長く同じ駅間走行時分で運転する方法も無数に存在するため、多くの走行パターンを有します。（図2）。

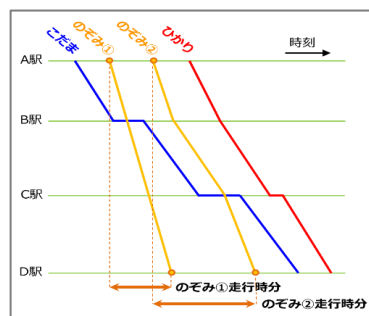


図1 東海道新幹線の列車ダイヤ

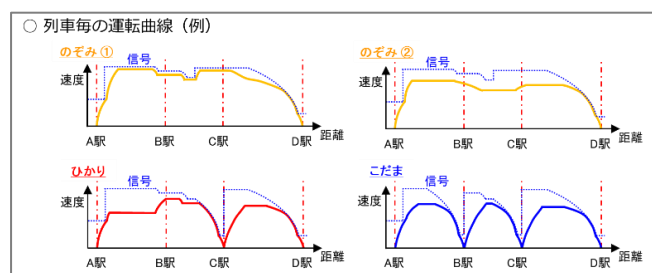


図2 列車ダイヤに基づく多数の運転曲線

東海道新幹線の運転士はダイヤに定められた各駅の発車時刻、通過時刻、到着時刻をもとに、信号や勾配、トンネルなどの地上条件、日々保守管理のために設定される計画徐行のほか、快適な乗り心地などを考慮して運転しています。また、天候や安全確認のための急遽の徐行があると、その都度速度計算をやり直すことで、定時運

行に努めています。

一方、一般には地下鉄や新交通システムといった国内で既に導入されている自動運転では、東海道新幹線と比べて駅と駅の間隔が短く、停車パターンもシンプルであることから、予め決められた運転曲線に従って速度を調節したり、駅の停車時間で時刻を調整する方式が多く採用されています（図 3）。

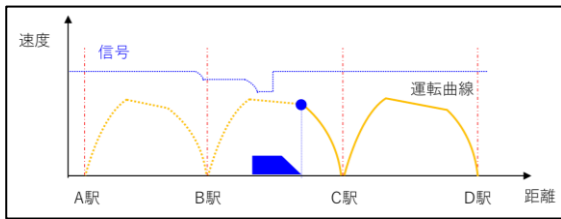


図 3 国内の鉄道における自動運転の事例

しかし東海道新幹線では、多様な運転曲線があり、また急遽の徐行にも適切に対応して定時の通過・到着を目指すため、リアルタイムに運転曲線を計算し、走行制御する技術を新たに開発しました。

3 自動運転システムの特長

当社では、自動運転につながる要素技術は過去から開発しており、開発成果の一部は N700A に導入した定速走行機能や、1 時間あたり「のぞみ」片道最大運転本数 12 本のダイヤ改正の際に導入した停止支援機能として既に実用化しています。

定速制御・停止支援装置の概要を図 4 に示します。定速走行機能は、ダイヤが乱れた場合などに、運転台にある定速スイッチを運転士が押すことで制御を開始します。信号や線路情報など制御に必要な情報を ATC 装置から取得し、その情報に基づき定速走行のための目標速度を設定します。この目標速度と実際の速度を比較しながら線路条件に応じて最適な加速力あるいはブレーキ力を選定してきめ細やかで高精度な制御を行います。これによって目標速度に沿って安定した運転を実現し、遅れもすみやかに回復します。

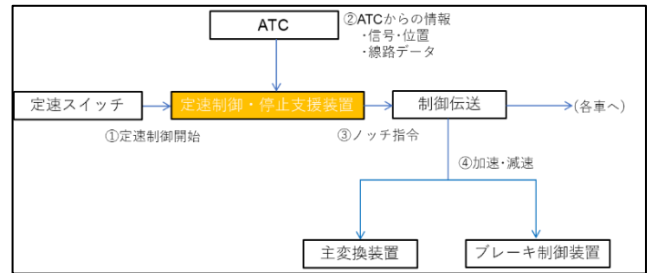


図 4 定速制御・停止支援装置の概要

停止支援機能は、東京駅到着時の ATC ブレーキの開始地点を停止位置側に近づけたことに伴い、運転士のマニュアルブレーキを支援するために導入された機能です。東京駅進入前に設置されたトランスポンダ地上子を受信することで停止支援制御を開始します。速度 30km/h 未満で運転士の「確認扱い」による ATC ブレーキ緩解後、万が一運転士のマニュアルブレーキが不足してアシストブレーキ領域に入った場合に、アシストブレーキが動作して行き過ぎを防止します（図 5）。

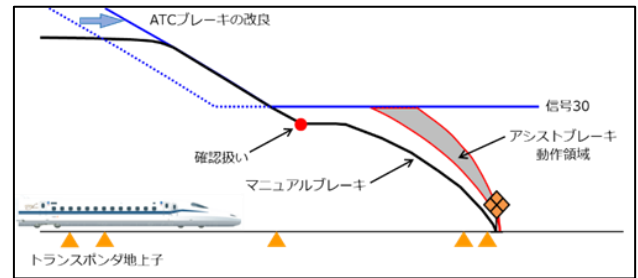


図 5 停止支援機能概要

現在開発中の自動運転システムは、これらの要素技術を基に、「自動で定時運転するための技術」と「ホームの定位置に自動で停止する技術」から構成しています。

(1) 自動で定時運転するための技術

前述の通り、東海道新幹線の運転曲線は多様であり、急遽の徐行にも適切に対応するためにも、予め決められた運転曲線に従って速度調節し、駅の停車時間で時刻を調整するといった方式では対応が困難であるという課題がありました。そこで、今回開発している自動運転システムは、前方の信号や徐行などの制限速度情報、勾配やトンネルなどの地上条件、現在時刻と各駅の通過時刻・

到着時刻に基づいて、省エネで乗り心地のよい走行が可能となる運転曲線を作成します。更に、その運転曲線に沿って加速、だ行、減速の各制御を行いながら、前方の駅に定時に通過・到着できるかを 0.1 秒ごとに確認し、状況に応じて新たな運転曲線を作成・更新します(図 6)。これにより、事前に計画された徐行のほか、天候や安全確認のための急遽の徐行に対しても、通過時刻・到着時刻を考慮しながら速度を調整して走行することが可能となります。

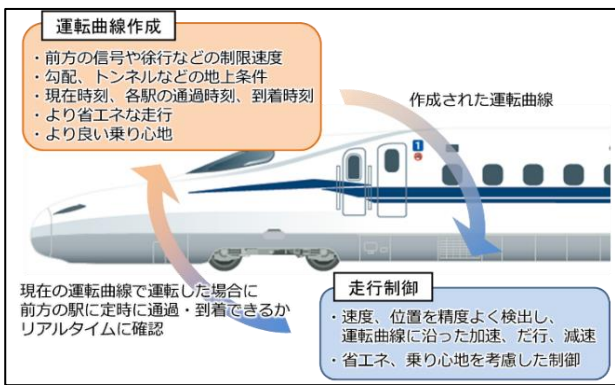


図 6 自動運転システムのポイント

続いて、本システムの運転曲線の更新と走行制御の具体的な流れを説明します。図 7 の上段は A 駅から D 駅まで運転する際、A 駅発車前に演算して作成する運転曲線（オレンジ色の曲線）です。列車が A 駅を出発し、運転曲線に沿って走行します。走行中、現在の運転曲線で走行した場合に、前方の駅に定時に通過・到着できるかを 0.1 秒ごとに確認しており、時分に一定のずれが生じた場合には新たな運転曲線に更新して定時運転を行います。続いて、図 7 の下段のように B 駅を定時に通過した後、急遽の徐行が発生し、本システムに情報が伝達されると、走行状況に応じて C 駅の定時通過、D 駅の定時到着を目指し、運転曲線をリアルタイムに計算・更新し、それに沿った走行制御を行うことで、各駅の定時通過・定時到着を目指します。運転曲線に沿って走行する際には、現在の速度・位置と前方にある勾配やトンネルなどの地上条件に応じてノッチを選択します。この際、不要な加減速を抑えて乗り心地を考慮するとともに、効率よ

く加速できるノッチを選択し、勾配箇所でのだ行運転なども取り入れながら省エネ運転も実現しています。

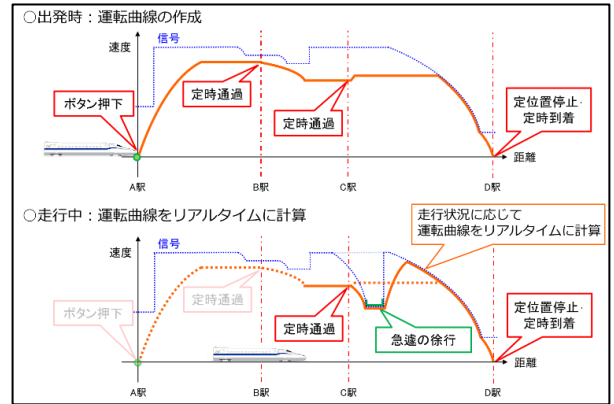


図 7 運転曲線（出発時・走行中）のイメージ

(2) 駅の定位置に自動で止めるための技術

停車駅では定位置停止制御機能 (TASC) により、ホーム上の停止位置目標に合わせて停車します。その仕組みは、駅に設置したトランスポンダ地上子の情報を受けて TASC ブレーキパターンを作成し、これに沿って自動でブレーキを制御することにより、停止位置目標に精度よく停車する方式です(図 8)。

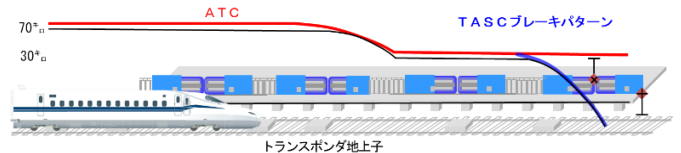


図 8 定位置停止機能 (TASC) の概略図

ブレーキ制御にあたっては、停止位置の精度、停止に要する時分、乗り心地が相反する関係にあり、これらを最適化することに工夫が必要となります。速度を十分落として停止位置に止めれば停止位置の精度は高めやすくなりますが、停止に要する時分が延び、後続列車の定時性に影響を及ぼすなどの問題が生じてしまいます。また、停止間際は機械ブレーキにより停止させるため列車個々の減速度バラツキがあります。そこで、営業車のデータを大量に取得・分析し、図 9 に示す低速域からのブレーキ減速度のバラツキを把握しました。このバラツキに合わせてブレーキ投入のタイミングを最適化することで、停止

に要する時分を延ばすことなく、運転士と同程度の滑らかなブレーキで乗り心地を維持したうえで、停止位置目標に対して精度よく停車することが可能となりました。

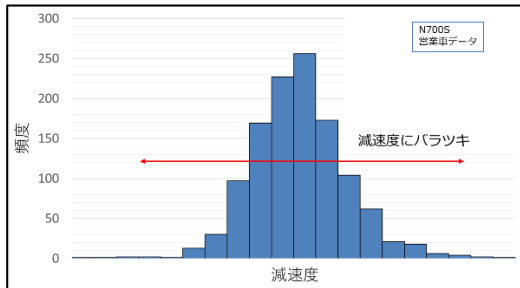


図9 低速域のブレーキ減速度

4 N700S 確認試験車による走行試験

これらの自動運転の技術開発にあたっては、2021年11月から営業運転後の夜間に本線での試験を重ねてきました（写真2）。



写真2 本線試運転中の様子

また、2023年5月11日未明に浜松～静岡間で自動運転試験の様子を報道公開しました。走行試験においては、掛川駅を定通、静岡駅に2秒の早着、所定停止位置から9ミリ手前に停車し、定時性ならびに停止位置精度は良好な結果でした（図10）。現在では、夜間の試験に加え、日中の営業車の間合いにおいて走行試験を実施し検証を重ねており、定時性ならびに停止位置精度について再現性も高く、良好な結果が得られています。

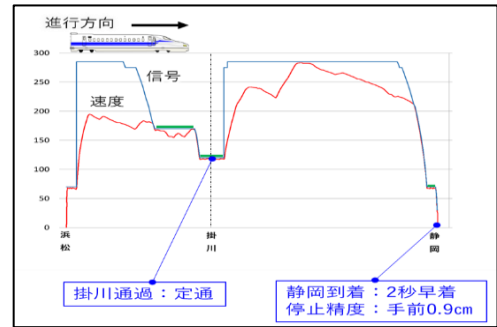


図10 本線試運転の走行結果（浜松～静岡間）

5 おわりに

本稿では、東海道新幹線に導入を目指している自動運転システムについて紹介しました。今後は、様々なダイヤにおける走行検証、運転実績データの分析に基づくさらなる省エネ化など、制御の最適化に取り組み、これらの改良・検証・走行試験を重ね、N700Sに自動運転システムを導入していきます。自動運転機能の運用開始は2028年頃を想定しており、これ以降、同機能を搭載した列車を順次運用していく予定です。

謝辞

本自動運転システムの開発に携わって頂いた、日立製作所、東芝インフラシステムズの皆様に心より感謝申し上げます。



高見 俊彰
車両制御チーム ATC 開発グループ
電気学会員

指令指示など自動運転に必要な情報を自動的に制御に反映すべくシステムを進化させていく。



鈴木 桂太朗
新幹線鉄道事業本部 車両部車両課

安全の確保を最優先に、業務改革に資する、安定性、省エネ性の高い自動運転システムを開発していく。