

列車運行の自律化と 利便性・効率性の向上

最新のICTの活用により、運行状況や旅客の流れなどの情報に基づいてダイヤを自動で修正する技術や、線路内の異常を検知する技術、また、気象や設備の状態に応じて柔軟に走行パターンを自動生成する技術の研究開発が進んでいます。これらの技術と、すでに実用化済の無線式列車制御を組み合わせることで、さらに高度な列車運行の実現が期待されています。ここでは、より安全で利便性の高い列車運行を少ない地上設備で実現するための考え方の一つとして、自律型列車運行制御システムの将来像と期待される効果を紹介します。



川崎 邦弘
Kunihiro Kawasaki
信号・情報技術研究部
部長
【専門分野】 対列車通信
システム、電波環境

「自律」とは？

まず、「自律」とはどのような意味でしょうか。『新明解国語辞典・第六版』（三省堂）によれば、「自分で決めた規則に従うこと」とされています。つまり、自ら規則をつくり、その規則に従って自分の行動を律することが「自律」です。一方、類似のことばに「自動」があります。同じく『新明解国語辞典・第六版』では、「あらかじめ用意された作業手順に従って、ボタンやスイッチ一つで作動すること」とされています。英語で「自律」は Autonomous、「自動」は Automatic ですが、Autonomous は自分自身で判断しながら行動をコントロールすること、Automatic は与えら

れた条件・手順に従ってある作業を実行できること、といった意味で使われます。「自律」は、行動するにあたっての規則や手順を自ら設定する点が「自動」との大きな違いといえるでしょう。

ICTによる列車運行制御の高度化

さて、鉄道では、これまで時代時代の情報通信技術（ICT）を活用して列車の運行制御の自動化を進め、人間の負担を軽減することでヒューマンエラーを減らし、安全で安心して利用できる鉄道へと発展してきました。

最近では、デジタル移動体通信技術を活用し、移動閉そくを実現する無線式列車制御¹⁾が2011年に営業線に導

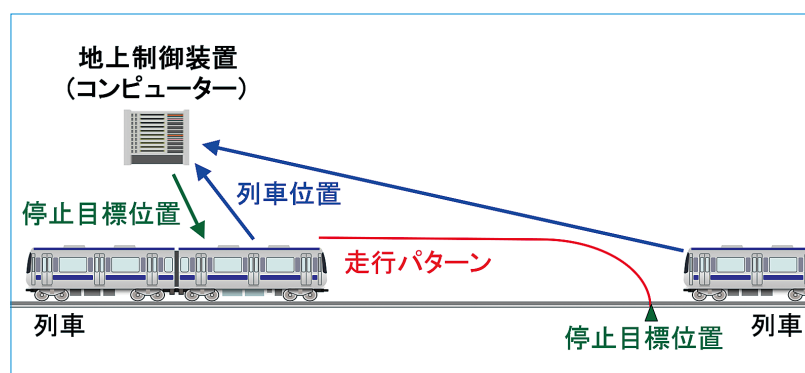


図1 無線式列車制御システムの基本動作

入²⁾されるなど、安全・安心な鉄道を支えるシステムの多くがICTによって実現されています。

無線式列車制御の特徴と効果

前節であげた無線式列車制御は、列車運行制御におけるICT活用の代表例といえます(図1)。無線式列車制御では、各列車の位置情報を地上の制御装置(コンピューター)に集め、各列車が安全に走行できる範囲を計算して「停止目標位置」を各列車に指示します。各列車は、指示された停止目標位置で停止できる走行パターン(列車の位置と速度との関係を示すパターン)を生成し、走行パターンを超えない速度で走行します。このシステムでは、列車位置を連続的に把握できること、個々の列車に対して直接的に制御情報を与えられる点が、従来の保安装置と大きく異なります。この特長をより積極的に活用し、自動運転と組み合わせることで、列車運行にさまざまな革新をもたらすことが期待されています。

本誌の特集記事「列車運行の安全向上」で紹介されているように、無線式列車制御システムをさらに発展させ、詳細な列車の位置や速度などの情報を運行管理にも活用することで、さまざまな状況に適応して運転曲線のレベルで列車をきめ細かく制御するリアルタイム列車運行制御システムの開発に取り組んでいます³⁾。リアルタイムでの列車の運行制御が可能となれば、リアルタイムハザードマップ⁴⁾を活用した自然災害時の運行判断や、現在開発中の機械学習などを使った列車運行予測⁵⁾に基づいて列車をきめ細かく制御することで、とくに高密度線区などで遅延拡大の抑制や、早期の遅延回復が可能となり、利便性が高く、効率のよい運行の実現が期待できます。

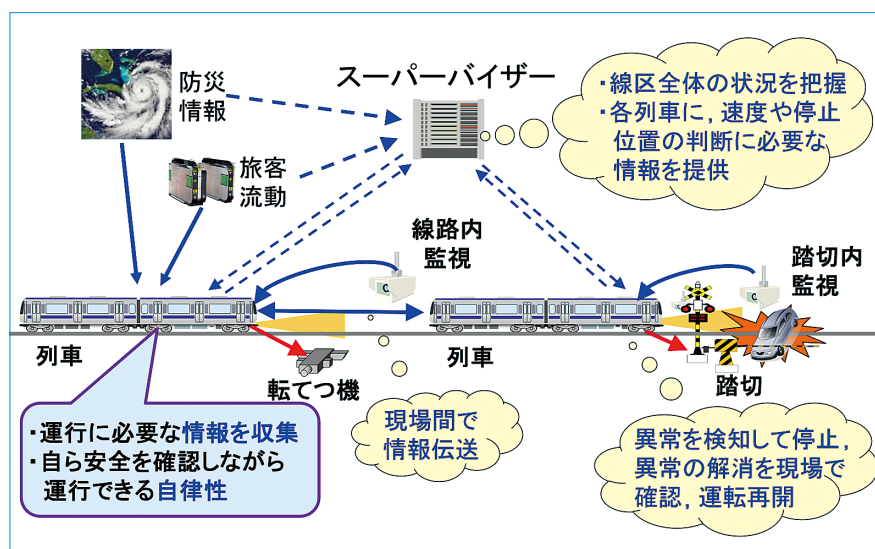


図2 自律型のシステム構成

制御システムの構成と課題

今後、さらに列車運行制御システムを高度化しようとしたとき、システムの構成の仕方として大きく分けて2つの方法があります。

一つは、地上に情報を集め、地上側で集中的に処理して制御する方法です。この方法は、現在のシステムから移行がしやすく、また地上の方が電源やスペースに余裕がありますので、処理が重くなっても実現しやすい、というメリットがあります。

しかし、今後、自動運転と組み合わせるなど高度化を図ろうとすると、必要な情報量が増え、大量の情報が集中して、処理負荷が増大してしまうことが考えられます。

また、もし線路内に異常が生じた際には、異常を検知して停止させることができますが、異常が解消されたとしても、地上からの制御指示が来るまで運転再開はできません。地上側では、現地の詳細な状況を収集し、大量の情報を処理して安全を確認してから再開の指示を出すことになるので、早期の運転再開という面では課題が残ります。

集中型でも安全な運行を実現できませんが、安定した輸送を支えるためには、

制御システムも通信システムも規模や負担が大きくなりがちです。また、地上設備が多くなり、故障リスクが増えてしまう懸念もあります。

列車運行制御の「自律化」

もう一つのシステム構成の方法として、運行に必要な情報を列車に集め、列車自身が安全を確認しながら運行できるように自律化させる、という方法が考えられます。本稿の冒頭で述べた「自律」の考え方に沿えば、列車の運行制御を自律化するということは、列車の運行状況や車両・線路などの設備の状態情報、また、旅客の流れや気象情報などに基づいて、安全に走行できる区間と速度を決定できる能力をもたせること、と考えることができます。すなわち、列車が、運行状況や線路内の状態などの情報を基に、自ら停止目標位置を決め、走行パターンを設定できるようにすることが、自律化することといえるでしょう。

自律化された列車は、前後列車の状態情報と沿線の状態情報、そして転てつ機・踏切などの状態情報に基づいて、進路と走行パターンを自ら設定して転てつ機・踏切を自ら制御し、進路の確

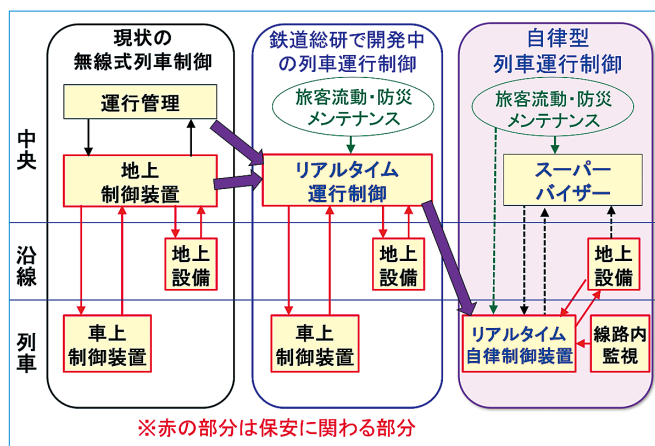


図3 従来の地上集中型と自律型のシステム構成の比較

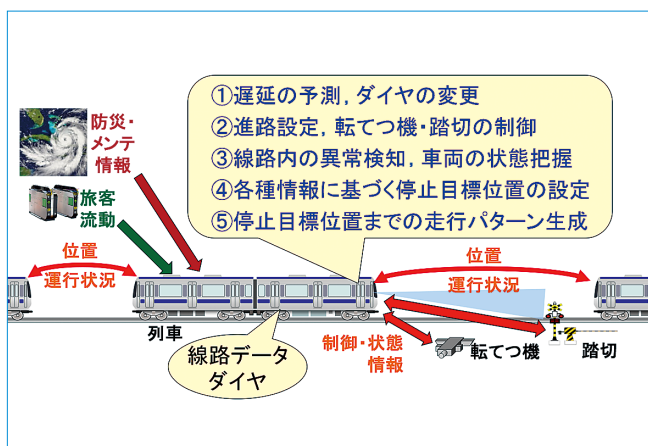


図4 自律型列車運行制御システムの機能と情報の流れ

保と線路内の安全監視を行いながら自動で走行します。

列車が自律化できれば、自列車周辺の詳細な情報を使って迅速に異常を検知でき、異常解消後の安全確認も早くできるので、現場で迅速に運転再開の判断ができます。また、一部の列車の周辺で異常が発生して減速・停止が必要となっても、安全に支障しない区間の列車には波及しないという効果も期待できます。

なお、枝線や列車種別が多く運行パターンが複雑な線区では、複数の列車が相互に動けなくなってしまうデッドロックや、他の列車の運行を阻害してしまうことが懸念されます。そこで、線区全体の列車の動きや、旅客の流れ、またリアルタイムハザードマップ、メンテナンスなどの情報を集約し、列車に対して発車のタイミングや駅の番線などを指示するスーパーバイザー的な役割を果たすシステムが必要と考えています(図2)。

自律型のシステム構成

前節で述べたような自律化を実現するためには、これまで地上に置かれていた停止目標を設定する機能を車上に移し、防災情報や旅客の流動、また、線路内の監視情報などに基づいて、発着時刻と停止目標位置を再設定するア

ルゴリズムを車上に搭載する必要があります(図3)。

また、本誌の他の特集記事で紹介している踏切内と線路内の異常の有無を自動で検知する技術、列車の運行に必要な情報を構成要素間で共有するための情報通信ネットワークが必要となります。

開発中の運行管理と保安制御を融合した列車運行制御は、地上・車上の機能分担と情報伝送の面では従来の無線式列車制御と同じですが、自律型では安全に関わる機能を車上に集約しますので、万が一地上との通信ができなくなったとしても、車上の機能に基づいて安全を確保できる範囲で運行を継続することができます。

自律化された列車の機能と動き

自律型列車制御システムでは、車上に駅や転てつ機、踏切などの設備の位置を収納した線路データベースと、計画ダイヤをもたせます。列車は、前後の列車と、相互の位置や駅への着発時刻など運行状況の情報をやりとりします。そして、これらの情報と、旅客の流動情報を基に、今後の運行を予測し、必要に応じてダイヤを修正します(図4①)。このダイヤに基づいて、進路を設定し、進路上の転てつ機や踏切を直接制御します(図4②)。そして、

線路内の異常の有無や車両の状態を把握しながら(図4③)、防災情報、メンテナンスの情報に応じて停止目標位置を判断し(図4④)、停止目標位置で停止できる走行パターンを生成します(図4⑤)。このとき、防災情報やメンテナンス情報から、ある区間で減速する必要がある場合は、それに応じた走行パターンを生成します。

この図4中の①～⑤の一連の動きをリアルタイムに繰り返しながら走行していく、というのが、自律型の列車運行制御システムの考え方です。

自律型列車制御システムの核となる機能が図4中の④のさまざまな情報に基づいて停止目標位置を設定するアルゴリズムです。このアルゴリズムは、想定される異常に対応できるように設計する必要がありますが、もし想定していないような事象が発生した場合には、システムだけでは対応できない可能性があります。そこで、列車自身も持っている種々の情報を基に対応の候補を指令員や乗務員に提示できるようにすることで、人とシステムが協調して予期しない異常にも対応できるようにする必要があると考えています。

自律型列車運行制御システムの将来像と効果

上で述べた列車運行制御の自律化の

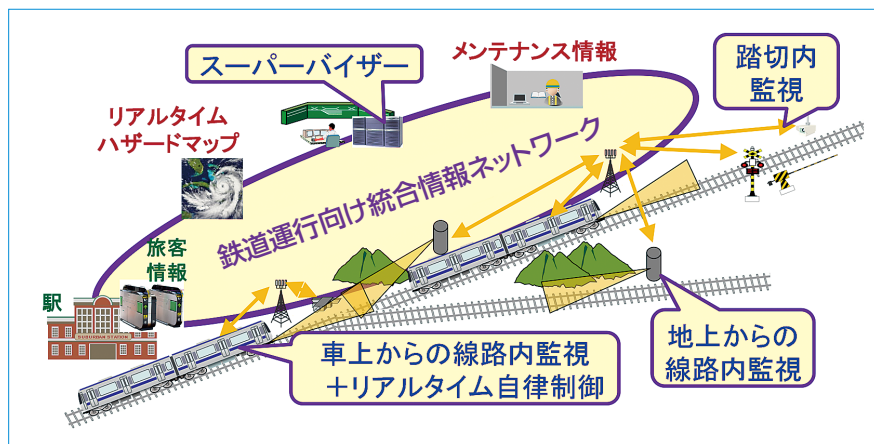


図5 自律型列車運行制御システムの将来像

考え方と、現在研究開発に取り組んでいる技術を組み合わせることで、自律型列車運行制御システムの将来像を描くことができます(図5)。

列車運行制御の自律化の効果は、指令員・乗務員の負担軽減によるヒューマンエラーの低減、地上設備の削減による保守・運用コストと故障リスクの低減、そしてさまざまな異常が発生した際の早期運転再開や運転継続による利便性・効率の向上、があげられます。自律化による効果が最も発揮されるのは、異常発生時の対応の場面です。たとえば線路内に留まった自動車や人^{と人}が検知されて一時的に列車を停止した場合でも、異常が解消して安全に進行できる状態になった時点で、列車が線路内の状態を判断し、安全を確認しながら運転を再開します。また、列車の進路上での斜面崩壊など運転再開に時間がかかるような場合でも、列車が自ら状況を判断して前駅に退行するように運行計画を変更し、後続列車と情報交換をしながら前駅に戻り、乗客を早く降車、避難させることも可能になります。

自動運転との関係

自律型列車運行制御が実現できれば、さまざまな線区への自動運転の展開が期待できます。自動運転システムは、

人が担っていた役割をどこまでシステムにもたせるかによって、いくつかの種類があります。鉄道の列車運行に関する自動化の程度の分け方は、都市鉄道の指令／制御システムの要件を定めた国際規格 IEC 62290-1 (JIS E 3802) によって定義されている GoA (Grade of Automation) が用いられます。運転士が乗務して出発操作を行う GoA2 や、運転資格をもたない係員が搭乗して運行する GoA3 については、乗務員と自律列車制御システムの双方が協働することでさらに安全性・利便性を高めることが可能となります。現在の自動運転は、高架や地下など、踏切がなく人の立ち入りができない線区にのみ導入されていますが、列車の自律化ができれば、一般的な線区への自動運転の導入・展開も期待できます。また、無人運転の形態である GoA4 の安全性向上にも活用可能です。

おわりに

ここでは、列車運行の自律化の考え方と、自律化によって期待される効果について紹介しました。

情報を共有化する基盤の上に、自律型列車運行制御システムを構築し、リアルタイムハザードマップやメンテナンス情報など関連の情報とリンクさせ、また、鉄道のオペレーションに携わる

方々とシステムとが協調することで、安全・安心な輸送サービスが提供できると考えています。さらには、情報ネットワーク基盤の中で、鉄道を利用する方々の動き、要望、満足度といった情報が鉄道システムにフィードバックされれば、広い意味での鉄道輸送サービスのデジタル化が期待できます。

自律化の考え方自体は以前からありましたが、技術的な難易度が高く、実現が困難と考えられてきました。近年の ICT の高度化により、自律化を実現できる可能性は高まっていますが、線路内の監視やセキュアな情報伝送、複数の情報に基づく制御アルゴリズムなど、自律型列車運行制御システムの実現には越えなければならない険しい山がいくつもあります。

今後、鉄道事業者、メーカー、研究機関など各分野の専門家の方々との連携を深めながら、ICT を上手に使って課題を一つずつ解決し、より安全・便利で運用しやすい列車運行制御システムの実現に向けて、研究開発に取り組んでいきたいと考えています。【RRR】

文献

- 1) 渡辺郁夫：無線式列車制御の動向，鉄道総研報告，Vol.25，No.5，pp.1-4，2011
- 2) 黒岩篤：無線による列車制御システム「ATACS」の使用開始，JRガゼット，Vol.70，No.2，pp.40-44，2012
- 3) 杉山陽一，岩田浩司，山本春生：運行管理と保安制御を融合した列車運行制御システムの基礎検討，鉄道総研報告，Vol.32，No.5，pp.35-40，2018
- 4) 太田岳洋：気象災害ハザードマップのリアルタイム化による鉄道防災ネットワーク構築，第28回鉄道総研講演会要旨集，pp.16-22，2015
- 5) 辰井大祐，中挾晃介，國松武俊：ニューラルネットワークによる列車運行予測手法，鉄道総研報告，Vol.31，No.10，pp.29-34，2017