

信号通信技術に関する最近の研究開発

川崎 邦弘*

Trends and Topics of Research and Development related to the Sophistication of the Signalling and Telecommunication Systems

Kunihiro KAWASAKI

With the recent developments in information and communication technology (ICT), various research and development projects are ongoing in the world to propose new train control technology for safer and more stable transportation services. In particular, 5th generation mobile communication network system (5G) whose service will be partially available in 2019 is expected to be used for critical missions in various safety related systems, such as automatic driving systems of road vehicles, train control systems in the future. This paper outlines the recent trends of basic studies for utilizing various communication network technique including content centric network technique and 5G systems to sophisticate signalling systems and train control systems. This paper also introduces a future plan for the challenges of the developing autonomous train operation and control system to realize safer, more stable and low-cost train operation services.

キーワード：無線式列車制御，ICT，情報ネットワーク，第5世代移動体通信，自律化

1. はじめに

プロセッサの飛躍的な処理能力向上と、記憶デバイスの大容量・低コスト化により、大量のデータを高速で処理することが可能となり、従来は困難であった高度な情報処理が小型の装置でも実行可能となっている。さらに、2019年度から部分的にサービス開始となる第5世代の移動体通信システム（5G）がフル稼働した暁には、あらゆるモノに内蔵されたセンサーとコンピュータがネットワーク上でつながり、現実世界の現象がデジタル化された膨大なデータとなって産業分野を超えて共有・活用される世界が描かれている¹⁾。また5Gは、自動車の自動運転や列車制御のような安全に直結する用途への適用も期待されている。このような最新の情報通信技術を活用することで、さらに安全で安定した輸送サービスを提供するための研究開発が世界中で進行している。

本稿では、列車の運行制御の高度化に向けて鉄道総研が取り組んでいる5Gを含む情報ネットワーク技術の活用に関する研究開発について紹介する。また、より安全・安定で低コストな列車運行制御の将来像として検討中の自律型列車運行制御システムの構想についても紹介する。

2. 情報ネットワーク技術の活用

2.1 鉄道運行用統合情報ネットワークの研究開発

現在、列車運行に必要な情報の伝送は、車両、信号、

運転といった業務分野ごとに個別にネットワークが構成されており、データの形式や伝送方法は分野によって様々である。これらのネットワークでは、ユーザーが情報を得ようとした場合、その情報を保有する相手先を指定して通信を行う必要があり、分野横断でのデータ共有が難しいという課題がある。そこで、分野間で情報の相互利用ができるよう、データを統合的に扱うことができる通信手順（プロトコル）の開発を進めている²⁾。

この開発中のプロトコルは、情報指向型ネットワーク（Information Centric Network：ICN）もしくはコンテンツ指向型ネットワーク（Contents Centric Network：CCN）の考え方を参考に開発を進めている。ICN（またはCCN）は、ユーザーが必要とする情報を指定すれば、その情報の場所を知らなくても所望の情報を取得できるネットワーク技術である。鉄道総研が開発している統合情報ネットワークでは、このICN/CCNの考え方に、ネットワークを流れる情報の優先度に応じてデータの流れを制御するQoS（Quality of Service）制御技術を組み合わせることにより、アプリケーションが伝送路や情報の場所を意識することなく、鉄道運行に必要な情報を取得できるネットワークを目指している。

また、列車の運行に係る情報を扱うネットワークであるため、鉄道における保安情報の伝送に関する国際規格IEC 62280や情報セキュリティ規格IEC 27000シリーズ、IEC 62443等を参照しながら、鉄道用の情報ネットワークとして具備すべきセキュリティ機能の考え方や、異常時に安全を確保しながら運行を継続するための情報伝送のあり方についても検討を行っている。

* 信号・情報技術研究部長

特集：信号通信技術

2016年度までに基本的なデータ形式と通信手順をRITP (Railway Information Transfer Protocol) として定義し、シミュレーションによって一部の機能が所定の動作を行うことを確認した(図1)。2019年度には伝送媒体路の状態を自動計測して伝送経路を選択する機能とセキュリティチェック機能の一部を実装し、鉄道総研の所内試験線に実際にネットワークを構成して機能確認試験を行う予定である。2020年度以降は、所内試験線で実務に活用して実用性を検証しながら、プロトコル標準化に向けて提案を行う予定である。

2.2 第5世代移動体通信システムの活用

前節で述べたRITPによる情報ネットワークを実際に稼働させるためには、情報を送受するための伝送媒体となる通信システムが必要である。このため、これまで鉄道事業者が構築してきた自営の通信網を活用するほか、近年信頼性と通信速度の向上が著しい汎用の移動体通信技術を活用することも検討している。

特に、2019年度から部分的なサービス開始が予定されている第5世代移動体通信(“5G”と呼ばれる)は、現在利用されているLTE携帯電話網の100倍以上となる10Gbpsの伝送容量が実現される見込みである。5Gのコンセプトは、「あらゆるモノをネットワークにつなぐこと」であり、「人に利用される情報」の伝送から「人・モノが利用できる情報」の伝送へと転換することにある。5Gでは、大量のデータを伝送するアプリケーションだけでなく、IoTのようにデータ量は少ないものの膨大な数のセンサーや端末を接続するようなアプリケーションにも対応可能となることが期待されている。鉄道においては、この5Gの特徴を利用することにより、大容量伝送を活かした地上～車上間の画像・データの伝送や、低

遅延伝送を活かした制御情報の伝送、また多数の現場機器やセンサーを収容できるモニタリングシステムの実現などが期待される(図2)。5Gが利用可能となり次第、前節で述べたRITPとの組み合わせにより、鉄道として求められるセキュリティを考慮した情報ネットワークを構築する手法の研究開発に取り組む予定である。

2.3 ミリ波などの周波数資源の開拓

鉄道でのICT活用を進めるうえで重要な課題の一つに、情報を伝送するためのリソース(周波数資源)の確保がある。特に走行中の列車と地上間の情報通信については、これまでのような小容量・高信頼の伝送に対する要求だけでなく、画像や膨大なセンシングデータなど大容量のデータの伝送に対するニーズも高まっている。現在、鉄道ではUHF帯(300MHz～3GHz)の電波が最も多く利用されているが、UHF帯は携帯電話や無線LAN、様々な業務用無線、放送など非常に多くの情報伝送に利用されており、周波数資源がひっ迫している。そこで、UHF帯よりも広い周波数帯域を利用でき、また多くのチャンネル数を確保できるミリ波帯の活用が検討されている。低コストで高性能な半導体素子が開発されており、また無線周波数の電気信号をそのまま光ファイバーで伝送するRoF(Radio over Fiber)と呼ばれる技術が発展していることから、ミリ波による対列車通信システムを低コストで構築することが可能となっている³⁾。将来、ミリ波による対列車通信が実用化されれば、これまで実現できなかった運転業務の効率化や旅客サービスの向上、あるいは新しい運転制御方式の導入が期待できる。さらに、前節で述べた5Gなどの広域網や汎用の無線通信技術と共用することによって、より安全で安定した列車の運行の実現するためのツール・手段として積極的に活用できるようになることも期待される。ただし、列車の運行制御などの高い信頼性・安全性が要求される情報を必要な時に確実に伝送するためには、耐妨害性や通信品質の安定性を確保しなければならない。

鉄道総研では、複数の無線通信媒体をシームレスにリンクすることにより、大容量・高信頼の鉄道用無線通信

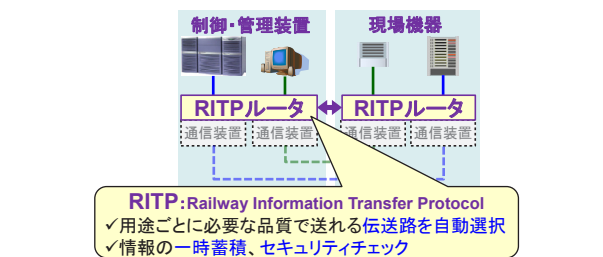


図1 鉄道運行向け統合情報ネットワークと専用プロトコル RITP

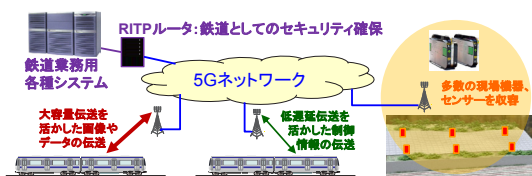


図2 第5世代移動体通信技術(5G)の活用

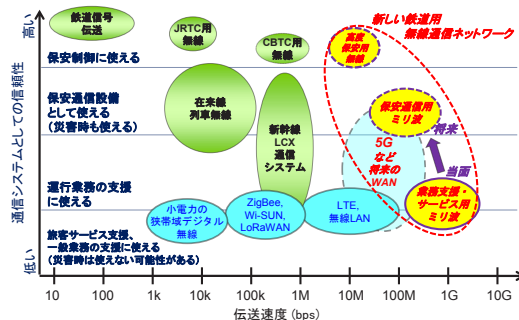


図3 鉄道における無線通信の今後の展望

ネットワークを実現するための研究開発に取り組んでいる（図3）。5Gではミリ波帯も利用する計画があることから、鉄道総研でこれまで取り組んできたミリ波帯の対列車通信システムの回線設計技術や電波伝搬に関する測定評価、シミュレーション技術等に関する研究成果を、5Gの鉄道応用にも活用したいと考えている。

3. 列車運行制御の自律化

3.1 自律化とは

列車運行の自律化とは、個々の列車が、前後列車と近接列車の状態、沿線・線路内の状態、転てつ機・踏切等の状態の情報に基づいて、転てつ機・踏切を制御して進路を設定し、線路内の安全監視を行いながら、適切な停止目標位置と走行パターンを判断して自動で走行することである。既に実用化されている自動運転では、地上の制御装置が、各列車の位置情報に基づいて転てつ機を制御し、各列車に対して速度信号等を指示しており、列車は決められた走行パターンに従って列車運行を自動的にやっている。自律化は、自動化の機能に加え、個々の列車が転てつ機・踏切を制御し、進路の安全を監視しながら停止目標位置を判断して走行できることが特徴である。

3.2 自律型列車運行制御システムの機能

列車運行を自律化するためには、運行に必要な各種の情報を列車に集め、列車が自ら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必要がある。このため、自律型列車運行制御システムでは、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る。列車は、前後列車の位置や駅への着発時刻などの運行状況の情報と、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する（図4①）。このダイヤに基づいて、転てつ機や踏切を直接制御して進路を設定する（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する（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、それに応じたパターンを生成する。

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のが、自律型の列車運行制御システムの考え方である。

自律型列車運行制御システムの核となる機能が図4中の④の様々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ある。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るが、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る。そこで、列車に収集されている種々の状態情報を基に、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もあると考えている。

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支障して動けなくなるデッドロックや、他の列車の運行を阻害してしまうことが懸念される。そこで、線区全体の列車の動きと旅客の流れ、リアルタイムハザードマップ、メンテナンスの計画や実施状況などの情報を集約し、列車が判断する際に考慮すべき事項を情報として配信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る（図5）。

3.3 自律化の利点

列車運行制御の自律化の利点は、地上側の設備や制御用ケーブル等の削減による保守・運用コストと故障リスクの低減、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、異常発生時の早期運転再開と運転継続による利便性・効率の向上、などが挙げられる。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ため、現場で迅速に運転再開の判断が可能となる。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る。例えば線路内の支障を検知して一時的に列車が停止した場合でも、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

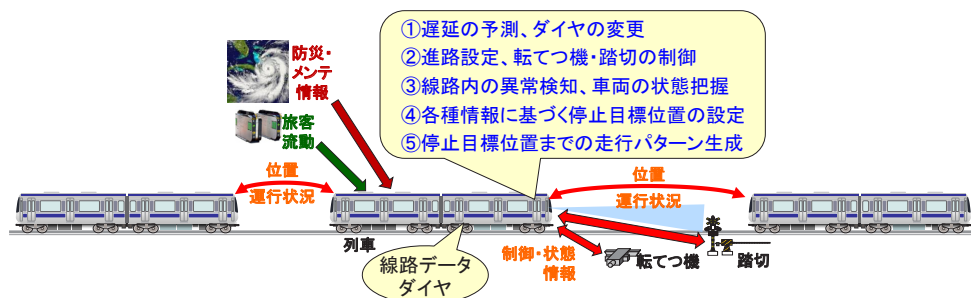


図4 自律型列車運行制御システムの機能と情報の流れ

特集：信号通信技術

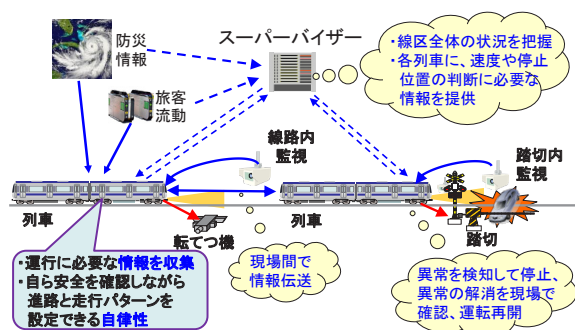


図5 自律型のシステム構成

認しながら運転を再開できる。また、斜面崩壊など運転再開に時間がかかるような場合には、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となる。

さらに、自律型では安全に関わる機能が車上に集約されるため、万が一地上との通信ができなくなった場合でも、車上からの前方監視などの機能によって安全を確保できる範囲内で運行を継続できる効果も期待できる。

自律型列車運行制御システムは、鉄道の運行に携わるスタッフと協調することで、安全・安心な輸送サービスが提供できると考えている。さらには、鉄道利用者の動きだけでなく要望や満足度といった情報もシステムへフィードバックできれば、広い意味での鉄道輸送サービスのデジタル化が実現できるのではないかと考えている。

3.4 自律型列車運行制御システムの開発ステップ案

前節で述べた自律化を実現するためのベースとなる列車制御システムとしては、既に実用化されている無線式列車制御システムを想定している。現在、鉄道総研では、無線式列車制御システムの発展形として、情報ネットワークの活用により運行管理と列車制御を融合した新しい列車制御システムの開発を行っている。この新しい列車運行制御システムは、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システムと同じであるが、地上側で行っていた全列車分の制御処理を個々の列車に移し、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ことで、自律化を実現していく開発ステップを検討している(図6)。また、これまで本誌上で報告してきた線路内の監視技術や踏切の監視・制御技術も自律化のための要素技術としてさらに高度化して活用することも考えている。

今後、鉄道総研における2020年度以降の次期基本計画の策定に向けて、自律型列車運行制御システムの開発計画に関する検討を深め、研究開発テーマの目標やスケジュール等を具体化して提案していく予定である。

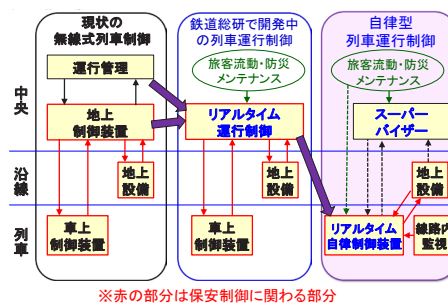


図6 自律化までの開発ステップ案

4. おわりに

情報ネットワーク技術の急速な発展によって脚光を浴びるようになったICTは、今後の鉄道を維持していくうえで欠かせないツールであり、またさらなる発展のための強力な武器となるであろう。ただし、ICTの活用は、単に既製品の技術を使えばよい、という単純なものではない。鉄道に求められる安全性・信頼性を踏まえて適切な技術を選択し、所要の機能や性能が得られるようにカスタマイズする必要がある場合が多い。利活用する技術の適否を判断するための基準・ガイドラインづくりや、導入効果の評価法の確立も今後の課題の一つである。さらに、情報ネットワークを利用するためには、サイバーセキュリティへの対応も必須である。特に安全に直結する制御システムにおいては、安全を確保しつつシステムをできるだけ止めないようにするための考え方の整理と、具体的な制御手法の構築が欠かせない。

自律化については、考え方自体は従前から提唱されていたが、技術的な難易度が高く、実現が困難であった。ICTの急速な高度化により、自律化を実現できる可能性は高まっているものの、線路内の監視やセキュアな情報伝送、複数の情報を基に列車同士が協調して地上設備を制御する手法など、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は多い。

今後も、鉄道の維持・発展に資する成果を提供できるよう、鉄道事業者や先端技術を有する研究機関・メーカー・大学と連携させて頂きながら、地にしっかり足をつけつつ将来に向けた研究開発に取り組んでいきたいと考えている。

文献

- 1) 総務省：平成30年度版 情報通信白書、2018
- 2) 中村一城、川崎邦弘、竹内恵一、流王智子：列車運行向け情報統合ネットワークの提案、鉄道総研報告、Vol. 32, No. 5, pp.41-46, 2018
- 3) 川崎邦弘、中村一城：ミリ波技術の鉄道応用に関する動向、鉄道総研報告、Vol. 30, No. 1, pp.51-54, 2016