

- 鉄道一般
- 車両
- 施設
- 電気
- 運転・輸送
- 防災
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

情報ネットワークを活用した列車運行制御の仕組み

鉄道総研では、情報ネットワークを活用し、列車運行をきめ細かく制御するシステムの実現に取り組んでいます。この運行制御システムでは、無線で列車や分岐器・踏切の情報を収集するとともに、詳細なダイヤに基づいて計画を更新し、列車や分岐器・踏切を制御します。これにより、設備の削減や柔軟な運行が期待できます。

このシステムでは、中央の装置で更新するダイヤに従って列車運行を行います。分岐器・踏切の制御も含め基本仕様にまとめました。また、安全性を確保する対策を検討し、システムの安定性の評価も行いました。



杉山 陽一
Yoichi Sugiyama
信号・情報技術研究部
列車制御研究室
副主任研究員
【専門分野】無線列車制御システム



岩田 浩司
Koji Iwata
信号・情報技術研究部
列車制御研究室
室長
【専門分野】列車制御システム、安全性評価、アベイラビリティ評価



山本 春生
Haruo Yamamoto
信号・情報技術研究部
上席研究員
【専門分野】衛星測位、無線列車制御システム

はじめに

情報ネットワークを活用して、全列車の運行状況を頻繁に把握し、状況に応じて各列車の運転方法を再計算することにより、柔軟かつ安全に列車を運行することができます。そのためには、システムの具体的な制御方法だけでなく、安全、安定やリアルタイム性から要求される性能を整理しなければなりません。

そこで、提案するシステムでの列車・分岐器・踏切などの制御方法を検討し、仕様としてまとめました。そのうえで、全線を管理する機能を一つの装置に集

中させてもネットワークに負荷をかけずシステムを運用できることを確認しました。さらに、安全性確保のための対策を定めて、システムの安定性についても評価しました。

運行管理と保安制御との融合

近年導入が進んでいる無線式列車制御システム¹⁾では、地上・車上間の無線伝送により、地上の装置が列車の位置・速度を詳細に把握できます。

しかし、従来の列車運行システムでは、運行管理と保安制御(参照)の機能が明確に分かれており、運行管理

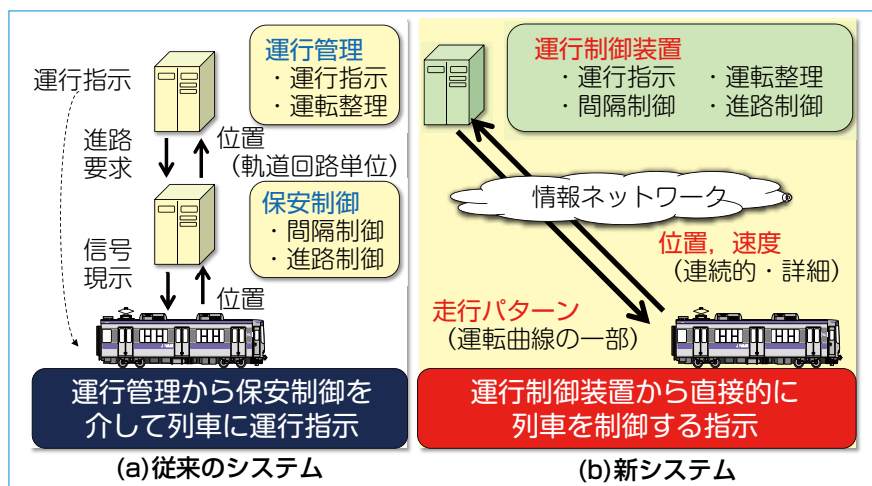


図1 新しい列車制御の仕組み

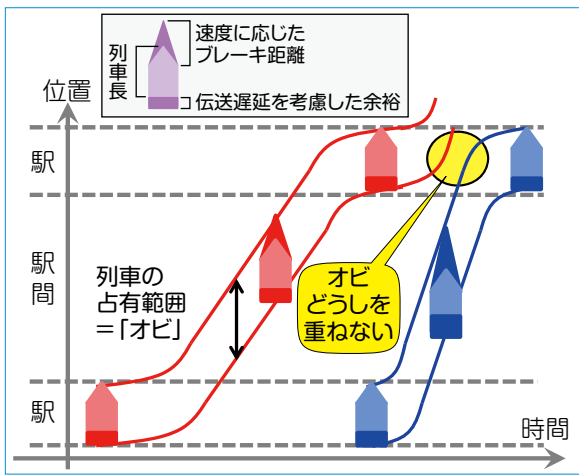


図2 新システムのダイヤと列車間の安全確保

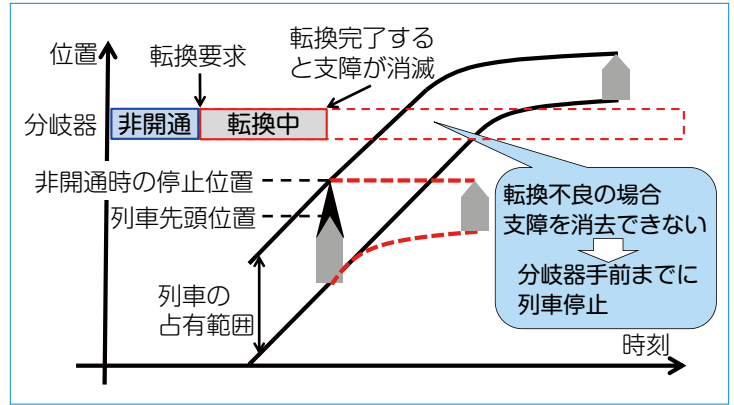


図3 ダイヤに基づく現場設備制御(分岐器の例)

は区間単位の列車位置をもとに制御を行うため、詳細な情報を活用しきれていないとはいえません(図1(a))。

一方で、提案する新システムでは、図1(b)のように、運行管理と列車制御の2つの機能を融合させ、高精度な情報を無線によって収集して積極的に活用します²⁾³⁾。

システムの概要は以下の通りです。

- ①中央の装置が詳細な列車位置や現場設備の状態を収集する。
- ②中央の装置が収集した情報をもとに安全な運行を計画する。
- ③中央の装置が計画を列車や現場設備に伝送する。
- ④列車や現場設備は計画に沿って安全に制御される。

新システムでは、中央の装置が安全な運行を計画しますが、この計画を運転曲線と呼ばれる詳細なカーブを集めたダイヤ上で作成します。また、列車の走行方法だけでなく、分岐器や踏切の制御も含めて同じダイヤ上で計画す

ることで、列車間の安全だけでなく、列車の安全な進路も確保することができます。

また、乗降時間が長引くことによる列車の出発遅れ、設備の故障などによって計画通りに運行できない場合にも安全を確保するよう、運行計画を定期的に更新することもできます。

さらに、将来的には、旅客の利便性を向上させたり、線路保守作業を容易にしたり、省エネルギーな運行を行うなどの応用も期待できます。

列車・設備の動きをダイヤで計画

現在の一般的なシステムでは、各駅の着発時刻だけを定めたダイヤで運行を計画し、列車の安全確保については、信号系の別システムで行います。

これに対し、新システムでは運転曲線を基にした新しい方式のダイヤ(図2)で運行を計画します。このダイヤでは線路上のあらゆる位置(縦軸)と時間(横軸)を対応づけます。

列車間の安全確保については、列車が占有する範囲どうしを重ねないことで実現します。列車の占有する範囲には、前方のブレーキ距離と後方の余裕距離が含まれます。この占有範囲のことを「オビ」とよんでいます。

さらに、この新しいダイヤに列車のオビだけでなく、分岐器、踏切または保守作業による線路上の支障を盛り込

むことで列車の安全な進路を設定することができます。

たとえば、ダイヤ上の分岐器の考え方は図3のようになります。列車が進む方向に分岐器が開通していない間、ダイヤ上の分岐器の位置に横長の支障が設定されています。次に、列車のオビが設定され、列車が分岐器の位置を通過する時刻が決まると、分岐器の転換が計画されます。ただし、分岐器を転換している間は支障が横たわったままです。所定の転換ができた段階でダイヤ上の支障を消すことができますが、仮に分岐器の転換に失敗した場合には、支障は消えず、列車は分岐器手前に停止することになります。踏切の遮断や、保守作業員の退避についてもこの考えを応用することでダイヤ上に盛り込むことができます。

計画の実行と結果の収集

中央の装置で計画したダイヤをもって、列車ごと・現場設備ごとに制御情報を分類し、無線で指示します。

列車や現場設備は指示に従って走行し、制御されるのが基本ですが、伝送の遅れや故障などによって、指示通りに制御されない場合もあります。そのため、各列車の最新の位置・速度、各現場設備の最新の状態を定期的に収集し、ダイヤを繰り返し更新します。

運行管理

ダイヤに沿って列車の運行を指示するとともに、ダイヤが乱れたとき、運行計画を変更して正常ダイヤに戻すこと。

保安制御

列車運転上の安全を確保する制御。列車間の安全な間隔を保ち衝突させない間隔制御、列車の安全な進路を構成する進路制御などに分けられる。

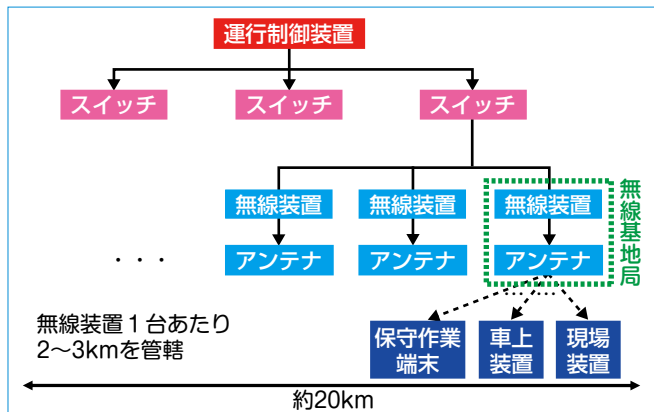


図4 新システムの実用性を評価するためのモデル

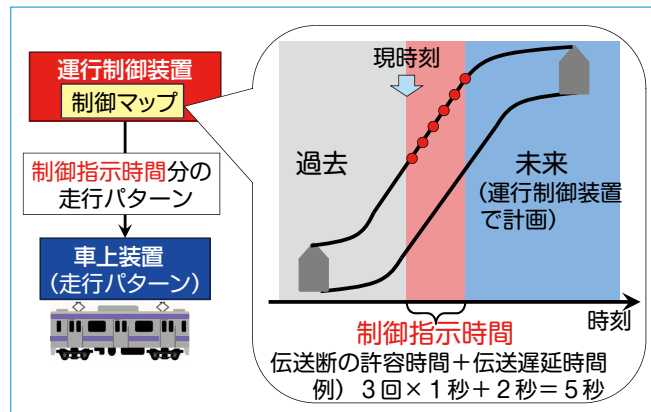


図5 新システムで列車に指示する情報

新システムの実現性評価

新システムでは、中央の装置が線区全体の運行を一括で制御するため、装置を制御する指示や、装置の状態に関する情報が一点に集中するおそれがあります。そこで、装置の制御に必要な情報量を定めたうえで、ネットワーク上の負荷を算出しました。

新システムで管理する線区を約20kmと想定し、図4のようなシステム構成としました。線区内の各装置と中央の運行制御装置との間の伝送は無線基地局を経由して行います。一つの基地局で同時に管理できる装置数を36台とし、情報を1秒間隔で伝送することとしました。

情報の伝送が途切れた場合、列車や現場設備を安全側（列車を停止させる側）に制御しなければなりません。1回途切れただけで列車を停止させると安定した輸送を提供できないおそれがあります。そこで、3回連続までは伝送の途切れを許容することにします。この場合、図5に示すように、各列車への制御情報は伝送にかかる時間も含め約5秒分必要となります。よって、1回の伝送で5秒分の指示に相当する情報量がネットワーク上でやり取りされる想定としました。

このような設定で、大都市通勤路線のダイヤを想定したシミュレーション（図6）を行ったところ、情報が最も集

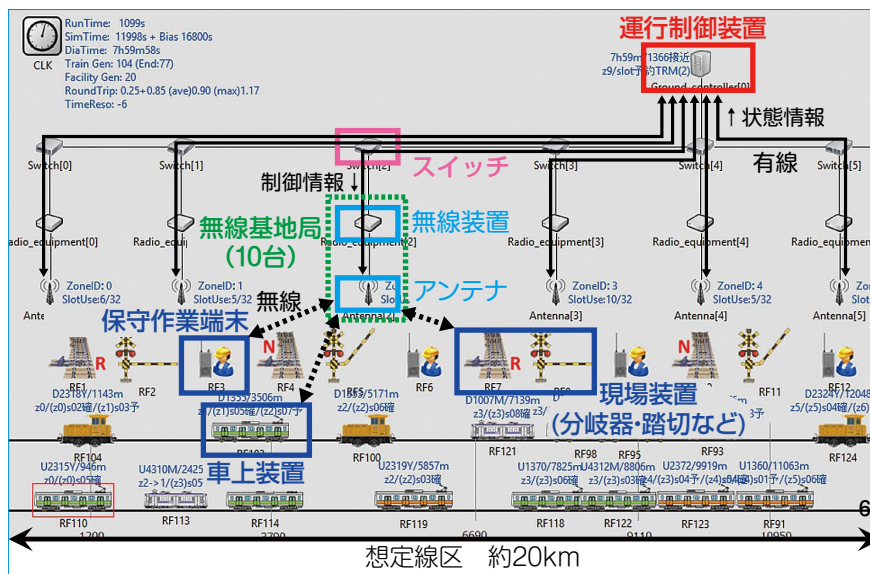


図6 ネットワークシミュレーター（図4の構成を再現）

中する箇所でもネットワーク上の負荷が小さいことがわかり、実現に問題がないことが確認できました。

新システムの安全対策

新システムでは、中央の装置が安全を担保したダイヤを更新する仕組みですが、ダイヤ自体に誤りが生じないようにするための対策を表1の例のように分析しました。

①②のように列車の走行位置や現場設備の状態を各装置が誤って認識してしまうと、ダイヤそのものの誤りにつながりシステムの安全が保てなくなります。

しかし、車輪の滑走や空転を検知した時に位置の補正を行ったり、フェイルセーフ装置（参照）を採用して誤

りを検知したりすることでダイヤの誤設定を防ぎます。この場合、ダイヤ上の列車のオビを最大限に拡大したり、故障した現場設備の位置に強制的に支障を設定したりすることにより、列車の運行を安全側に制御します。

また、③や⑤⑥のように、各装置で時刻やダイヤ設定を誤っても、GPSで時刻補正を行ったり、制御情報を受け取った装置でタイムスタンプをチェックしたりすることで影響を抑えることができます。

フェイルセーフ装置

装置の一部に故障が発生しても、安全側の状態に固定することで、故障の影響を限定することができる装置。

表1 システムの安全対策の分析例

装置	故障の種類	影響	検知方法	対策
車上装置 ・ 現場装置	① 列車位置の認識誤り	ダイヤの設定誤り	滑走・空転の検知, 直前の位置と照合	ダイヤ上のオビを拡大
	② 装置状態の認識誤り		フェイルセーフ装置による検知	ダイヤ上に支障を設定
現場装置	③ 時刻誤り	古い情報のダイヤ	タイムスタンプの通番チェック	ダイヤ上のオビ拡大支障設定
	④ 情報出力なし	ダイヤ上のオビの更新不能	伝送断許容回数・最大遅延の設定	
運行制御装置	⑤ ダイヤの設定誤り	衝突, 脱線	フェイルセーフ装置による検知	制御情報を出力しない
	⑥ 時刻誤り	システム全体の時差	GPS時刻と比較, タイムスタンプの通番チェック	緊急停止・異常情報を出力
	⑦ 情報出力なし	列車・装置の制御停止	伝送断許容回数・最大遅延の設定	

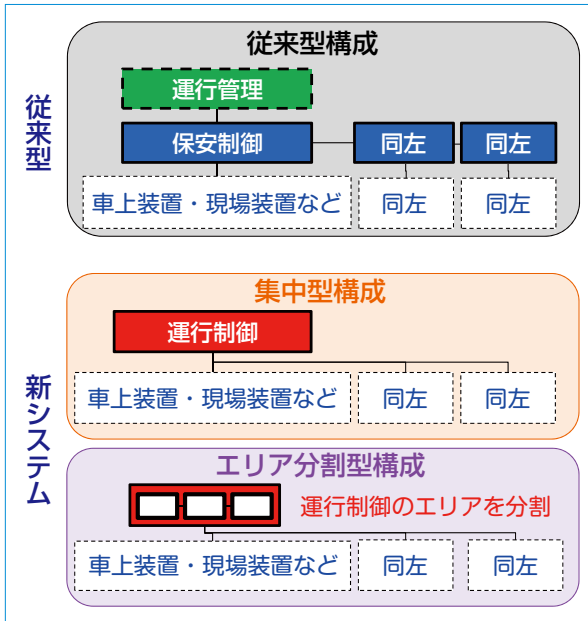


図7 安定性の計算で想定したシステム構成の例

一方、④⑦のように各装置が誤りを検知して制御情報や状態情報を出力しなくなった場合でも、伝送が途切れた場合と同じく、列車を停止させる安全側制御を行うことができます。

このほか、各装置の制御情報が不ぞろいな場合も想定されます。各装置は中央の装置からの制御情報に従いますが、装置ごとに異なる時点のダイヤによって指示されたのでは、安全を確保できません。このような場合は、装置どうしで時刻の同期を取ったり、同じタイミングのダイヤに基づく制御となるよう、伝送の途切れを見越して制御タイミングを延ばしたりするなどの対策で解決することができます。

新システムの安定性

新システムがどの程度安定したシステムであるか評価するため、装置が故

障したときの輸送サービスの低下具合を、従来型のシステムと比較しました。

図7のように、運行管理と保安制御が別々の構成と、新システムのように一つの装置に集中された構成で比較しました。新システムは中央の装置に機能を集中させる構成のほかにも、故障の影響度を低減するために、装置内部の構成を変化させた案も比較対象にしました。

システムの安定性を計算する条件として、3つの無線基地局エリアを仮定した線区としました。装置の故障頻度は10万時間に1度とし、中央の装置の復旧に2時間、その他の装置に1時間を要する設定としました。

この結果、基本的には、新システムの構成では装置数が減るため、従来型よりシステム稼働率が改善することがわかりました(図8)。

おわりに

情報ネットワークから得た列車運行状況や装置状態に基づいて運行計画を

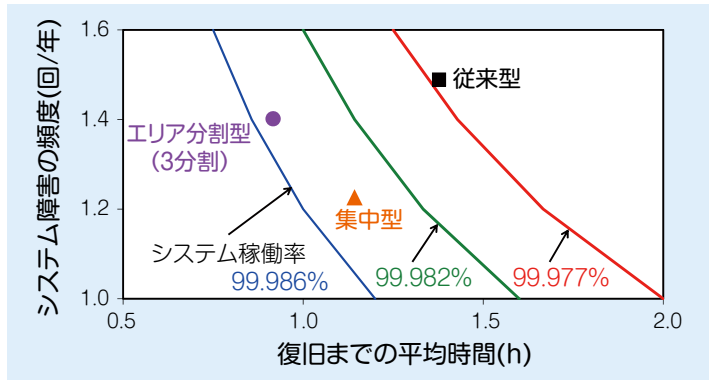


図8 各システム構成での安定性

更新する新システムについて、基本設計を行い、実現可能であることを確認しました。また、安全性を確保する対策の検討や、安定性の評価も行いました。

その結果、制御論理を中央の装置に集約した構成としても、ネットワークに過度な負荷をかけずに線区内の全装置を制御できることを確認しました。また、機能を集中した構成とすることで、従来のシステムより安定性が向上することも確認しました。

今後は、ダイヤ乱れ時など状況に適応した列車制御について機能の実現を図っていきます。[RRR]

文献

- 1) JIS E 3801-1：無線式列車制御システム 第1部：一般要求事項および機能要求事項, 2009
- 2) 福田光芳, 杉山陽一, 國松武俊, 辰井大祐: Improvement of train traffic control functions, WCRR2016, No.842, 2016
- 3) 福田光芳, 杉山陽一, 辰井大祐: 運行管理と列車制御を融合した新しい列車運行方式, RRR, Vol.74, No.1, pp.8-11, 2017