

指令業務を効率化し柔軟な列車運行を支援するスマート列車運行オペレーション

中桐慶之*
Yoshiyuki Nakagiri

Smart Train Operation for Efficient Command Work and Flexible Train Operation

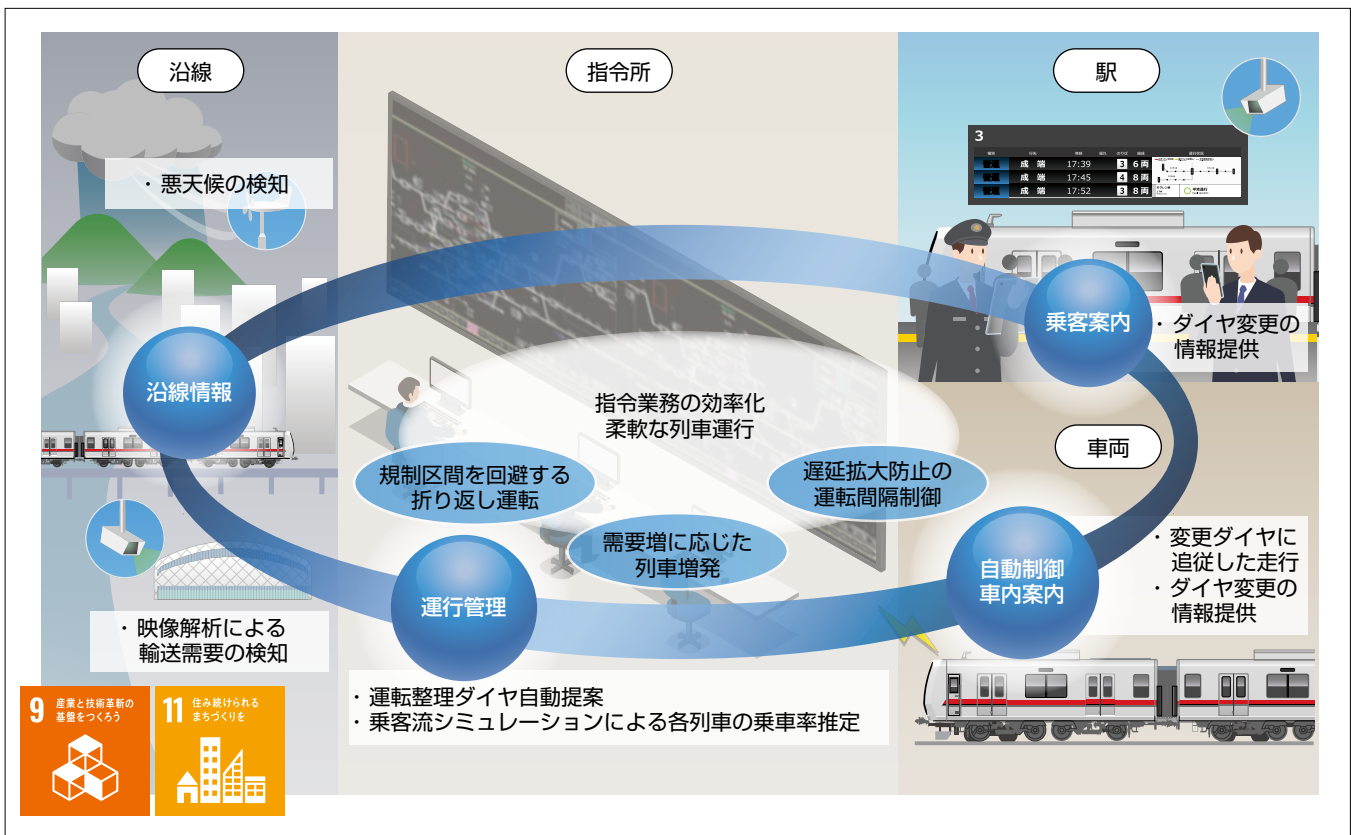
要 旨

悪天候や突発的な輸送需要増大等によって計画どおりの列車運行ができない場合、状況に応じた輸送力の確保や運転調整などの柔軟な列車運行をすみやかに行うことが求められる。指令員はこの要求に応えるため、支障箇所の状況把握、各列車の運転状況の把握とそれを踏まえた各列車への運転指示、車両や乗務員の状況を踏まえたダイヤの変更、駅や関係部門、運転中の乗務員への連絡等を行う必要があり、大きな負担になっている。

三菱電機はこのような指令員の業務負担を軽減し、柔軟な列車運行を支援するスマート列車運行オペレーションの開発を進めている。スマート列車運行オペレーションは、

列車運行に関わる地上／車上の各システムの情報連携や様々な自動化技術の導入によって指令業務を効率化し、気象条件や輸送需要変動、各列車の運行状況等に応じた列車増発や列車間の運転間隔調整など、駅での乗客の滞留抑制を目的としたものである。

上記の実現に向け、スマート列車運行オペレーションを構成する速度規制指令の自動化、規制に応じた折返しダイヤ自動提案、各駅・各列車の混雑状況を加味した増発ダイヤ自動提案、ダイヤ変更時の各列車の乗車率推定、自動運転による運転間隔の自動調整等の機能の開発に取り組んでいる。



スマート列車運行オペレーションによる指令業務の効率化及び柔軟な列車運行

地上／車上の各システムを相互に連携させ、かつ様々な自動化技術の導入によって指令業務を効率化し、悪天候等の輸送障害からの早期復旧・需要増加に応じた迅速な列車増発・タイムリーな情報提供など、乗客にも事業者にも優しい列車運行を支援することで、国連SDGs (Sustainable Development Goals)の目標9と目標11が目指す持続可能な社会の実現にも貢献する。

1. ま え が き

悪天候や突発的な輸送需要増大等によって計画どおりの運行ができない場合、状況に応じた輸送力の確保や運転調整などの柔軟な列車運行をすみやかに行うことが求められるため、指令員に大きな負担がかかっている。

当社は指令員の業務負担を軽減し、柔軟な列車運行を支援するスマート列車運行オペレーションの開発を進めている。スマート列車運行オペレーションは列車運行に関わる地上／車上の各システムを連携させ、かつ様々な自動化技術の適用によって、悪天候や混雑状況など状況に応じて必要になる指令業務の効率化を図るとともに、適正な輸送力確保や迅速・的確な情報提供によって乗客サービスの向上を目的としたものである。

本稿では、スマート列車運行オペレーションと、それを構成する機能について述べる。

2. スマート列車運行オペレーションによる指令業務の効率化と柔軟な列車運行

スマート列車運行オペレーションによる指令業務の効率化と柔軟な列車運行について、指令員が多大な労力を要している悪天候による運行支障発生時と大量輸送需要発生時の輸送力の適正化を例に述べる。

2.1 運行支障発生時の例

悪天候等によって運行支障が発生した場合、(a)規制対象

列車の抽出、(b)規制対象列車への規制通知、(c)規制区間を回避して運行を継続するためのダイヤ変更、(d)ダイヤ変更情報や運行状況等の乗客や駅員への情報提供などの各業務は指令員が経験やノウハウを駆使して複数システムの操作や音声連絡によって遂行してきた。

図1にスマート列車運行オペレーションでの運行支障発生時の指令業務フローを示す。沿線に設置されている風速計で強風を検知すると沿線情報システムが規制情報を指令所に通知する(図1①、以下、図1中の番号だけ示す)。指令員が規制を発令すると(②)、運行管理システムが規制情報から停止すべき列車を自動的に抽出して当該列車に停止指示を出す(③)。当該列車は受信した停止指示を基に自動的に停止する(④)。また、運行管理システムは規制発令に伴う運転見合せ区間の情報や運行状況を、駅の案内表示や車両案内、スマートフォン、駅員のタブレット等に自動で通知する(⑤)。さらに、運行管理システムが規制区間を回避して輸送力を確保するための折り返しダイヤを提案する(⑥)。提案ダイヤを指令員が承認することによって、運行管理システムが当該列車に行き先変更を指示し(⑦)、当該列車は行き先を変更して運行を行う(⑧)。行き先変更情報は瞬時に運行管理システムが車内案内システムや旅客案内システムを通じて乗客や駅員に提供する(⑧、⑨)。

このようにスマート列車運行オペレーションでは、指令員の業務ノウハウをアルゴリズム化してシステムに組み込むことで規制対象列車やダイヤ変更案をシステムが自動提案する。指令員が提案内容を確認して承認することで、運行管理システムが対象列車への規制通知や乗客や駅員への

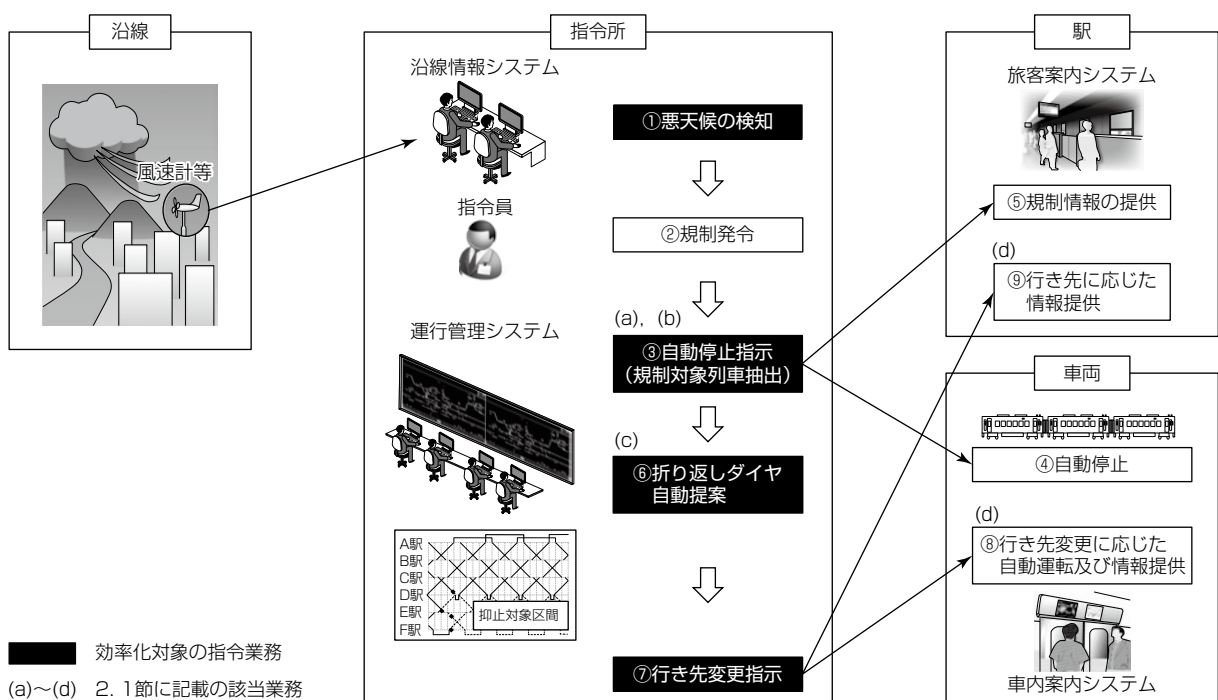


図1. 運行支障発生時の指令業務フロー

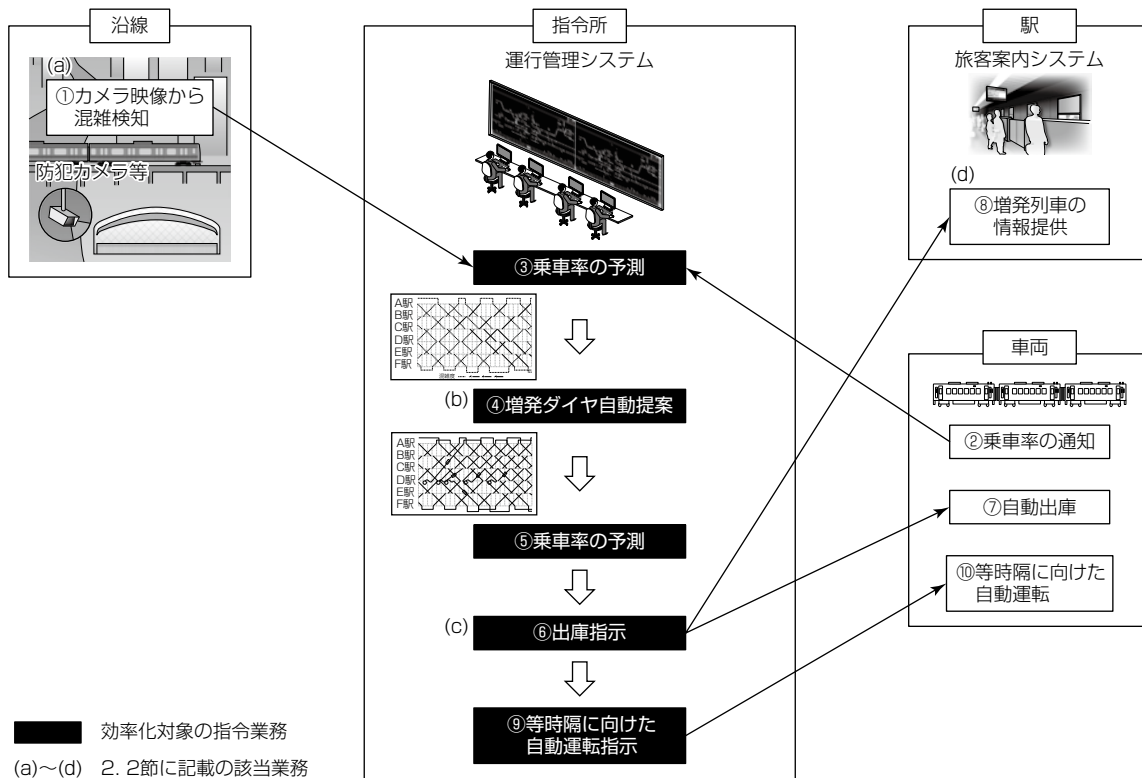


図2. 大量輸送需要発生時の指令業務フロー

ダイヤ変更の情報提供を自動で行う。このようにして、規制に応じたダイヤ検討を試行錯誤する手間や関係部門への手配・乗客等への情報提供の業務負荷が低減できる。なお、折り返しダイヤの自動提案機能の詳細については3. 1節で述べる。

2.2 大量輸送需要発生時の例

沿線でのイベント開催など通常と異なる輸送需要が見込まれるときには、(a)今後の輸送需要の予測、(b)需要増に対する増発ダイヤ立案、(c)車両基地への出庫手配、(d)ダイヤ変更情報や運行状況等の乗客や駅員への情報提供など、指令員が適正な輸送力確保に向けた業務を経験やノウハウを頼りに実施してきた。

これに対し、スマート列車運行オペレーションでの大量輸送需要発生時の指令業務フローを沿線近辺での大規模イベントが終了し、イベント会場から最寄り駅に向かって大量の乗客が移動を始めた場面を例に図2に示す。イベント会場周辺のカメラ映像等から推定乗客数を取得し(図2の①、以下、図2中の番号だけ示す。)、運行管理システムがこの推定乗客数と現在走行中の各列車から収集した乗車率情報(②)を基に、現状のダイヤでの各列車の乗車率を予測する(③)。予測結果は運行管理システムのダイヤ画面上で乗車率の高さを列車スジの線種や太さで表現するなどして指令員に示す(図3)。

乗車率予測結果によって輸送力の増加が必要と判断がさ

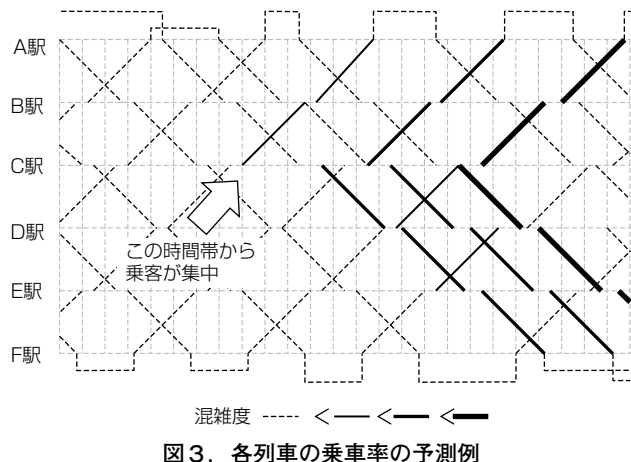


図3. 各列車の乗車率の予測例

れた場合、運行管理システムが増発ダイヤを自動提案し(④)、指令員は提案された増発ダイヤについて、再度乗車率予測を行う(⑤)。指令員は現状ダイヤより混雑緩和が見込まれる場合、ダイヤの承認を行う。ダイヤの承認後、運行管理システムは車両基地に出庫指示を出す(⑥)。車両基地では、出庫指示に従って車両が自動出庫する(⑦)。また、増発列車の情報を駅の案内表示や車両案内、スマートフォン、駅員のタブレット等に提供する(⑧)。

増発手配後に、イベント会場最寄り駅に想定以上の乗客が集中して列車に遅れが発生した場合、運行管理システムは各列車を等間隔に運転するための運転パターンを算出し、自動運転指示を当該列車に出す(⑨)。当該列車は運転指示を基に自動的に速度調整を行うことで、遅延拡大を防止する(⑩)。

このようにスマート列車運行オペレーションでは、カメラ映像の映像解析技術によって今後の輸送需要をシステムが予測する。指令員は予測された需要に応じた輸送力増強の要否について乗客流予測シミュレーション機能を用いて判断する⁽¹⁾。指令員の業務ノウハウをアルゴリズム化してシステムに組み込むことで増発ダイヤ案をシステムが自動提案する。指令員は提案内容を確認して承認することで、対象列車への車両基地への出庫手配や乗客や駅員へのダイヤ変更等の情報提供が自動で行われる。このようにして、運行支障発生時と同様の業務負荷が低減できる。

さらに、乗降時間の増大等による小規模な遅延発生時には遅延拡大を防止するための運転制御が自動で実施される。なお、増発ダイヤの自動提案機能の詳細は3.2節、列車運転間隔の調整機能の詳細は3.3節で述べる。

3. スマート列車運行オペレーションを構成する機能

スマート列車運行オペレーションを構成する主な機能について次に述べる。

3.1 運行支障区間を回避する折り返しダイヤ自動提案機能

折り返しダイヤ自動提案機能は悪天候等による規制区間を回避して列車運行を継続するための折り返しダイヤを提案するものである。

図4は異常気象等によってD駅～F駅の当該区間が抑止対象になり、その区間に向かう各列車が近傍の駅(◆印)で出発抑止された場合の動作例を示す。

この機能は、まず、抑止区間と折り返し設備の配置を考慮して運休区間を決定し、運休区間に向かう列車について運休区間の部分運休を自動設定する。次に、部分運休によって計画どおりの車両のやり繰りがつかなかった(車両運用に矛盾が生じた)列車について、折り返しや入出庫等を自動設定する。図4の例で、D駅に折り返し設備があり、D駅～F駅が運休区間になった場合、D駅からA駅に

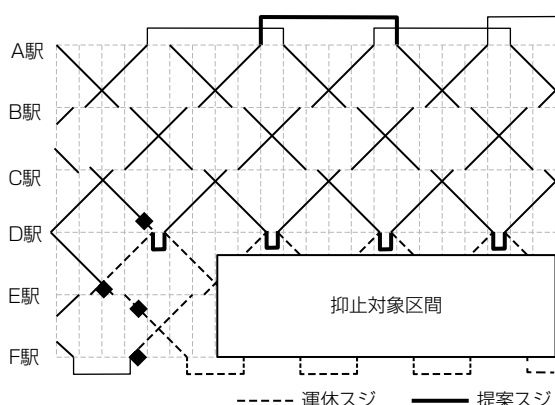


図4. 抑止対象区間を回避する折り返しダイヤ自動提案例

向かう上り列車に割り当てられる車両がE駅やF駅で抑止されているため、D駅に到着した下り列車の車両を使用するようD駅で下り列車と上り列車の折り返しを自動設定する。

この機能によって、指令員の復旧ダイヤ検討にかかる時間や労力を低減するとともに、復旧ダイヤを迅速に実行させることで、乗客への影響の早期低減が可能になる。

3.2 大量輸送需要に応じたダイヤ自動提案及び乗車率予測機能

この機能は、①通常時からの需要の増加を検出する機能、②需要増加による各列車の乗車率の変化をシミュレーションで推定する機能、及び③需要増に対して混雑緩和に効果的な増発ダイヤを提案する機能からなる。

3.2.1 需要増加検出機能

カメラ映像から映像解析によって人数を推定する機能である⁽²⁾。

3.2.2 乗車率シミュレーション機能

運転整理時に立案したダイヤに対して、乗客の列車選択基準(①最速経路を選択する。②乗車率が一定基準以上の場合、少し時間がかかっても乗車率が低い列車を選択する。)に沿って経路を検索し、3.2.1項で収集・算定したODデータ(Origin-Destination: 発駅/着駅の組合せごとの利用者数)に当てはめて、各経路・各列車の利用人数を推定する機能である。

図3の例では、矢印の時間帯からC駅へ乗客が集中した場合に、乗客流シミュレーションを行った結果を示しており、時間の経過とともにC駅を出発する列車の乗車率が高くなっていることが分かる。

これまでの運行支障発生の運転整理は、熟練の指令員が過去の乗客数等の実績やノウハウを基に立案や見直しを行っており、ダイヤ時間帯ごとにどういった利用が多いかを考慮しながら、特定の列車に乗客が偏らないよう、又は特定の駅に乗客が滞留しないようにダイヤを調整してきた。乗客流シミュレーションを活用することで、運転整理を実行する前に、想定した輸送需要と変更ダイヤの整合が確認でき、乗客サービスの向上と乗降時間の増大等による小規模な遅延の防止が可能になる。

3.2.3 増発ダイヤ自動提案機能

需要増に対応するため、出庫可能な車両数や出区線の使用状況等の条件を考慮した増発ダイヤを自動提案する機能である。

図3の例では、C駅での矢印の時間帯からの需要増に対

して、車両基地のあるD駅から、現時点で出庫可能な車両数、車両基地からD駅のホームに向かう際に使用する出区線の使用状況、他列車との時隔等を考慮して、増発ダイヤを自動提案する(図5)。

また、図5の増発ダイヤについて、乗客流シミュレーションを行った結果を図6に示す。C駅で乗客が集中する時間帯の列車本数が増加したことによって、図3のダイヤよりも乗車率を抑えられることが分かる。

この機能によって、指令員の需要に応じたダイヤ検討にかかる時間や労力を低減するとともに、増発ダイヤを迅速に実行させて乗客への影響の早期低減が可能になる。

3.3 列車運転間隔の調整機能

乗降時間の増大等によって小規模な遅延が発生した場合、従来は当該駅での停車時間が増大して出発が遅れ、後続列車は先行列車との運転間隔が詰まることで駅間停車が発生し、遅れが後続列車に拡大していく状況になる。従来の列車運行では熟練運転士が過去のノウハウに基づき、先行列

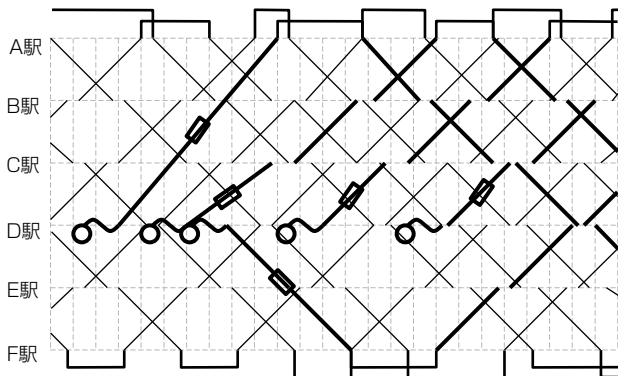


図5. 増発ダイヤの自動提案例

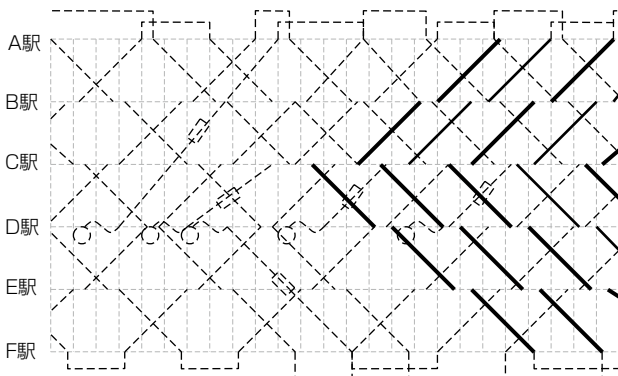


図6. 増発ダイヤについての乗客流シミュレーション例

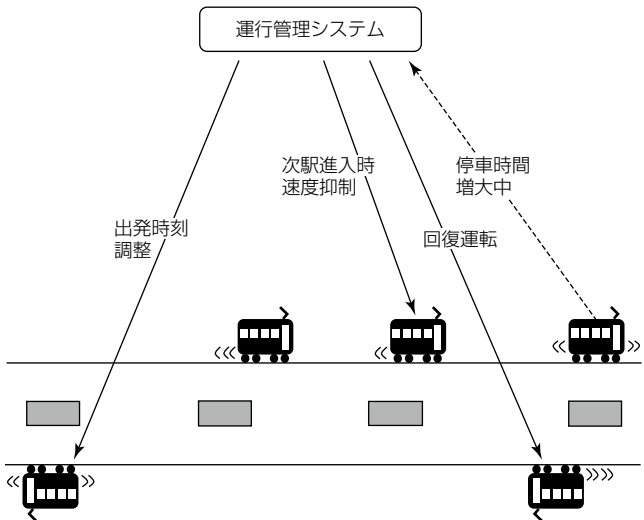


図7. 遅延拡大防止のための各列車への到着目標時刻指示

車に接近し過ぎないように速度を調整して運転を行っていた。

これに対して、この機能は運行管理システムが各列車から詳細な在線位置と速度を受信し、先行及び後続列車の在線位置や速度を加味して、先行列車との間隔が詰まることによる駅間停車を回避するための次駅の到着目標時刻を算出する。運行管理システムは算出した到着目標時刻を周囲の列車に指示し、各列車は指示された到着目標時刻に次駅に到着するように速度調整等を自動で行って運転する(図7)。

路線全体の各列車の運転状況に応じた到着目標時刻を運行管理システムが算出して各列車に指示することで、駅間での停車を削減し、遅延拡大防止を実現する。

4. む す び

本稿では、スマート列車運行オペレーションとそれを構成する機能について述べた。今後も指令業務を効率化し、柔軟な列車運行を支援するための技術開発を進めていく。

当社は自動車分野での安全な自動運転の実現に向けた技術開発を進めている。鉄道分野でも、これらの関連技術を結集して、需要に応じたオンデマンド自動運転や省エネルギー運転など、より高度な列車運行を実現することによって、沿線・地域の活性化や環境への負荷低減など持続可能な社会の実現にも寄与していく。

参 考 文 献

- (1) 立石大輔, ほか: 列車運行管理の高度化を支えるシミュレーション技術, 三菱電機技報, 90, No.9, 525~528 (2016)
- (2) 井上一成, ほか: 銀座線渋谷駅「混雑度の見える化」実証実験, JREA, 63, No.8, 44300~44304 (2020)