

鉄道での自動指令システム

Autonomous Railway Operation Control System

*神戸製作所

要 旨

三菱電機は、少子高齢化や自動運転拡大に伴って変化する鉄道指令業務の効率化を実現する自動指令システムを開発した。このシステムは、列車運行シミュレーションに基づいて遅延発生時に運転整理案を自動生成し、さらに車両・乗務員運用の変更案作成や気象に基づく規制自動発令を統合的に行うことで、少人数体制でも安全かつ効率的な運行管理を実現することを目指す。将来的には輸送指令、電力指令、信号通信指令などの各指令エージェントへと機能を拡張し、これらを協調制御する総合指令AIオーケストレーターを導入によって横断的な統合指令システムへの展開を目指していく。

1. ま え が き

少子高齢化に伴う労働力人口の減少は、鉄道分野でも指令員や現業職員などの人員確保・世代交代を困難にし、安全性・安定輸送・サービス水準の維持に重大なリスクをもたらしている。それに加えて、自動運転の適用範囲が拡大することで車上業務は省力化される一方、遠隔監視や例外対応など指令側に求められる役割が高度化し、指令業務の負荷構造が変化すると考えられる。こうした社会的制約と自動運転の進展に対応する技術的解決策として自動指令システムの開発を行っている。この自動指令システムは、指令員の業務の中でも業務負荷の高い遅延回復(運転整理)の効率化を図るため、熟練指令員の判断をデータ化して学習させることによって、異常時の対応の自動化を実現していくものである(図1)。具体的には、列車運行シミュレーションによって、遅延の発生等を予測し問題点が検出された場合には、その対策案として運転整理の提案を実施する。同様に、車両運用や乗務員運用に変更が必要な問題が発生する場合には、それぞれ対策案を自動的に提案する。

本稿では当該システムの主要機能と、今後の展望について述べる。

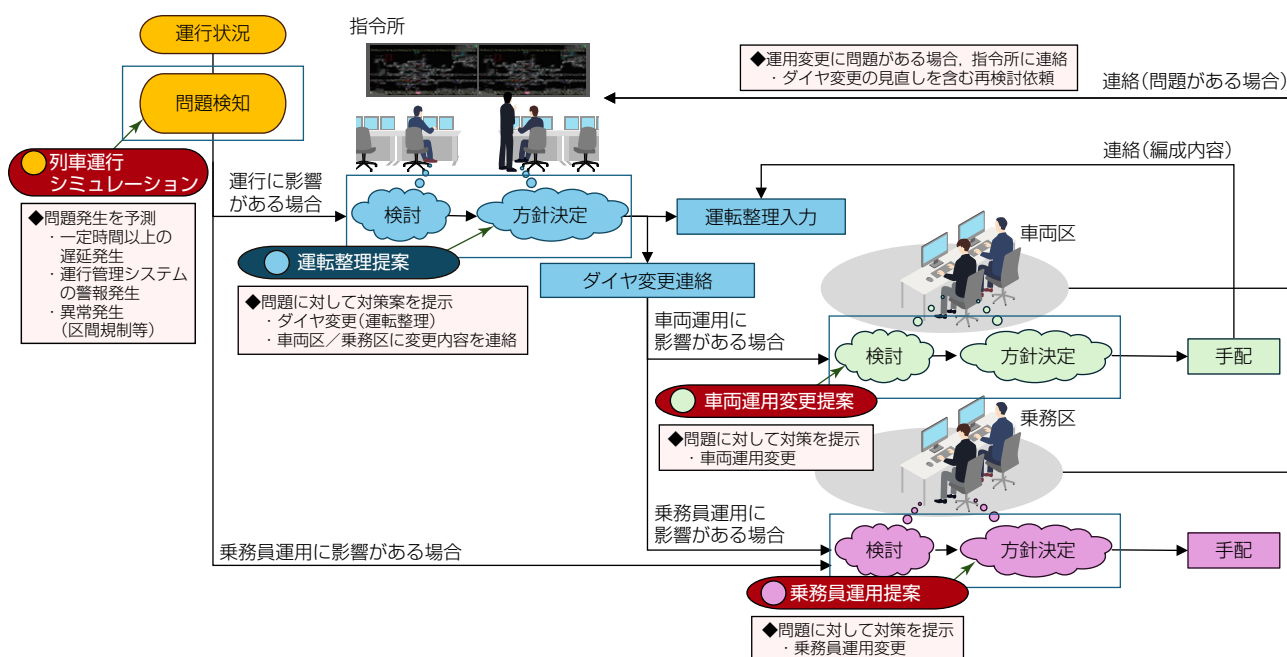


図1-自動指令システムの概念

2. 自動指令システムの概要

この章では、自動指令システムの概要を述べる。

2.1 システムの基本構成

運転整理の自動的な提案を実現するため、統合シミュレーション機能や各種提案機能を具備した予測サーバーを導入する。予測サーバーは、既存の運行管理システムや輸送計画システムなどと接続を行い、ダイヤ情報などの計画データや列車の運行状況などのリアルタイム情報を把握する。既存のシステムから得た情報を基に、シミュレーションを実行して将来的に発生する可能性のある遅延や列車間の競合などの問題を検知し、それらの問題を解消する変更案を生成する。

2.2 システムの機能

この節では、システムの機能について述べる。

(1) 統合シミュレーション機能

実施ダイヤを基に、現在時刻以降の列車運行を到着・発車単位で予測し、予測ダイヤを作成する。予測ダイヤに基づいて車両・乗務員の移動も推定し、“何もしなければ生じる異常”（列車間の競合、車両不足、乗務員拘束時間超過等）を検出して指令員にアラートを通知する（図2）。

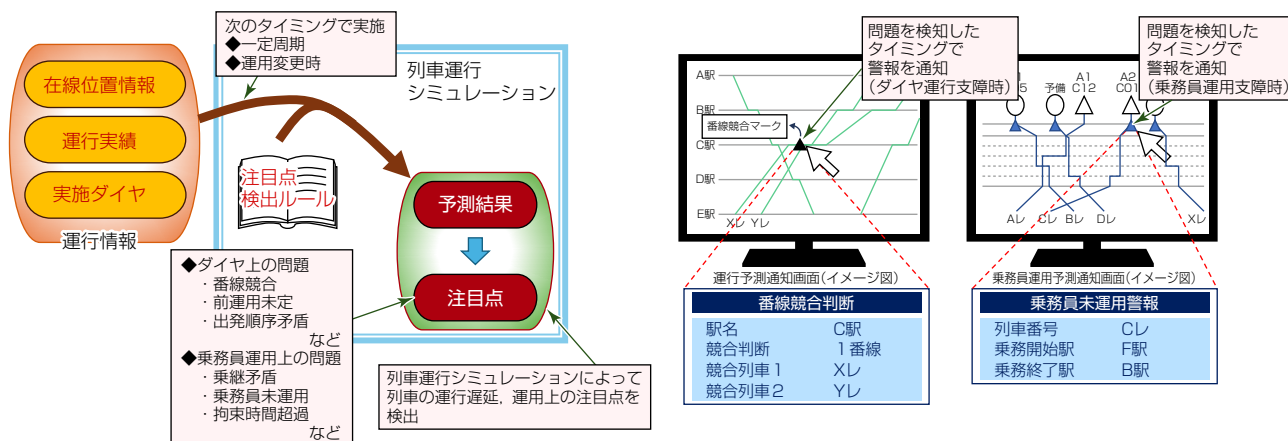


図2-統合シミュレーターの概要

(2) 運転整理提案機能

シミュレーションの結果によって一定時間以上の遅延の発生や、列車間の競合の発生が予測される場合には、システムは自動的に運転整理提案を実施する（図3）。これまで運転整理の自動化には多様な試みがなされてきた。しかし日本では定時性が高く運転整理事例が稀（まれ）なため、訓練用システムでシナリオに沿ってダイヤ乱れを模擬的に発生させて、その際の運転整理データを収集・蓄積する作業が必要であり、多大な労力を要するため実運用導入の大きな制約になっていた。また事業者ごとの運用慣行や路線特性を反映した自動提案機能の構築には更に多くの時間と労力を必要としていた。そこで、訓練用データを整備するのではなく、各事業者が蓄積した過去の運転整理履歴を個別学習データとして直接活用する方式とし、教師付き機械学習を採用した。これは鉄道事業者ごとの運転整理方針や慣行を反映した提案を効率的に生成することを目的としたものである。訓練用データを新たに整備しないことによって教師付きデータが不足する可能性があるため、後に述べるルールベースを併用することで解決を図っている。開発には学習処理（推論モデル作成）と提案処理（リアルタイム処理）を明確に分離したモデルを採用した。学習処理では、運行管理システムのダイヤデータと過去の運転整理実績から問題発生時刻、遅延発生状況、列車種別、編成情報、接続関係等の特徴量群を作成し、指令員が採用した運転整理（運休・折り返し・順序変更等）及びそのパラメーターをラベルとして学習を行う。学習に際して、事例が稀なことによってサンプル数に偏りがある不均衡状態の場合、予測精度に悪影響を与えるため、前処理で遅延が微小な事例を除外する、アンダーサンプリングやクラス重み付けを併用して学習バイアスを軽減する対策を行った。

提案処理では、先に述べた学習処理によって得られた結果を使って推論を実施する。しかしながら、学習データに含まれない事象では、運転整理案を提示できないケースが生じるおそれがあるため、あらかじめ設定したルールによって提案を実施するルールベース方式を併用することとした。これによって、学習時に発生していない事象への対応力を高めることを可能とする。また、この機能によって得られた提案結果は、鉄道ダイヤグラム画面(スジ画面)上に反映し、当該運転整理を実施した場合の影響を視覚的に知ることができるようにした。これによって提案の採用可否の効率的な判断を支援している。この機能は某大手鉄道運行管理システム向けに機能追加として開発中で、2028年度に実装予定になっている。

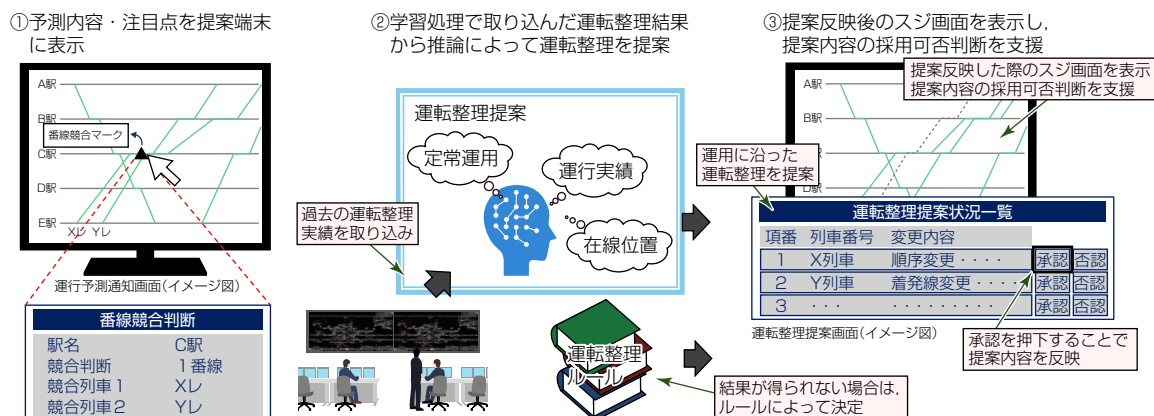


図3-運転整理提案イメージ

(3) 車両運用変更案生成機能

運転整理によって時刻変更や走行順序変更を行った際、折り返し列車など車両の運用変更が必要になる場合があるため、運転整理提案と連携する車両運用変更案の生成機能を開発している(図4)。車両の運用を変更する場合には、車両検査周期、編成互換性、車両基地への出入庫条件等の様々な制約を考慮する必要があるが、制約条件はルール化されており、車両検査周期は絶対に遵守しなければならないといった特性がある。そのため運転整理提案とは異なって、車両運用変更提案では機械学習などのAIベースではなく、ルールベースの機能として開発を行っている。具体的には、車両運用が割り当てられていない列車に対して予備編成を充当するといった提案を行うなど様々な提案機能を持たせる。

この機能によって、検査が間近に迫っている車両を、検査予定の車庫以外へ入庫してしまうなどといった事象を防ぐことが可能になる。また、計画と異なる運用を行った車両を、運行への影響を抑えつつ、計画運用にいち早く戻す操作を効率的に行うことが可能になり、車両指令員の負荷が軽減される。この機能は某大手鉄道向けに車両運用変更提案システムとして開発中で、2027年度に実装予定になっている。

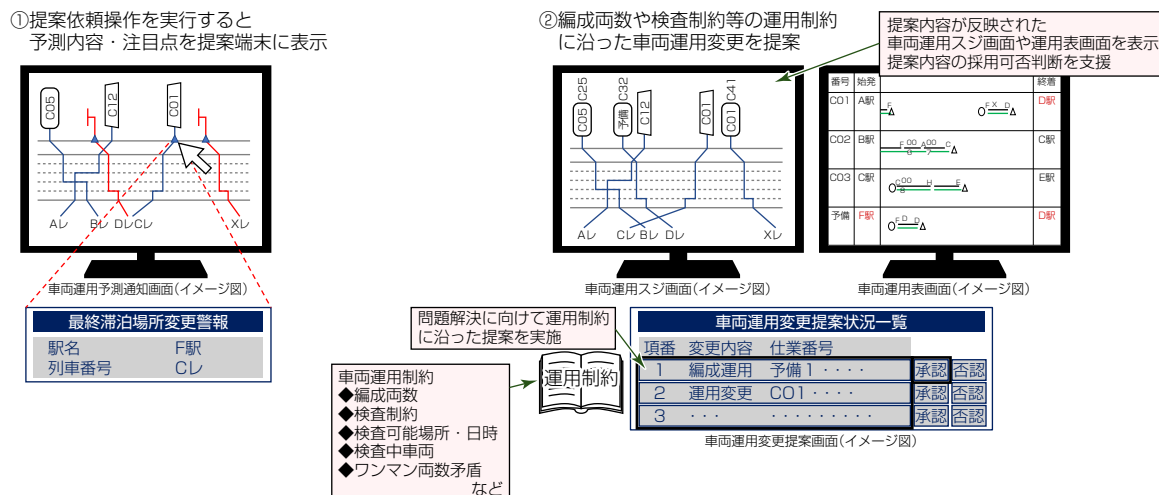


図4-車両運用変更案生成

(4) 乗務員運用変更案生成機能

車両運用と同様に、乗務員運用の変更提案作成機能についても現在開発を行っている(図5)。乗務員の運用変更についても、乗務員の勤務時間、休憩・勤務間隔、運転資格などの制約条件を満たす必要があるが、それだけではなく、乗務間に別列車に便乗して移動するケースを考慮する必要があるため、車両運用より更に複雑度が増していく。勤務時間や連続運転時間など遵守すべきルールが厳密に定められていることを考慮し、制約条件を必ず守れるようにルールベースで開発を行っている。

具体的には、乗務員が割り当てられていない列車に対して、待機している乗務員を充当する機能を開発していく。

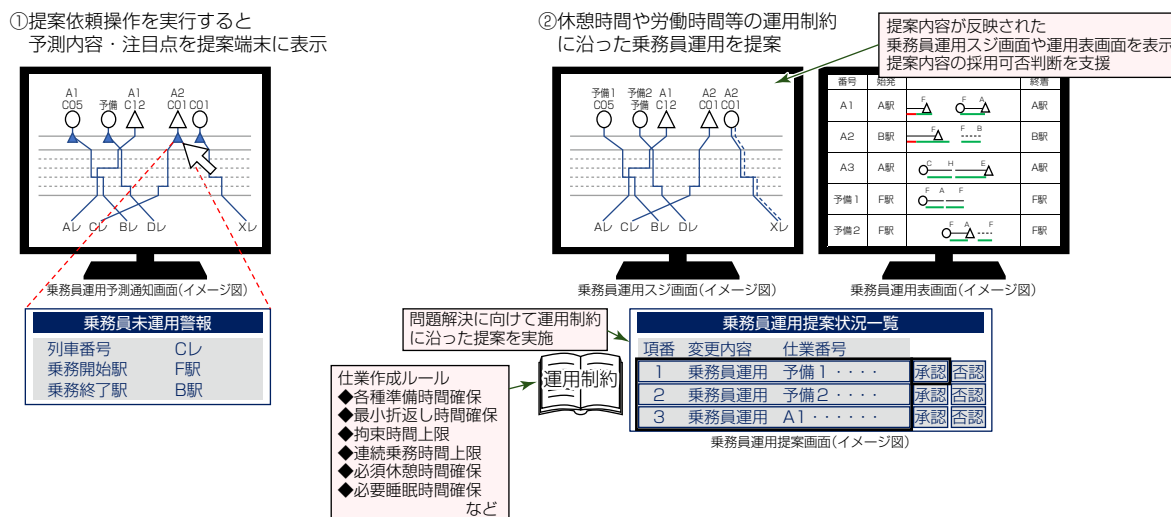


図5-乗務員運用変更提案

(5) 規制自動発令

雨量や風速、レール温度などの気象観測データをリアルタイムに取得し、運転規制の自動発令を行う機能についても開発を行っている(図6)。この機能では、降雨予測分布を利用して降雨実績などの気象実績データとの相関関係から雨規制の発令見込み時間と規制解除見込み時間を予測して、計画運休ダイヤと運転再開ダイヤを自動作成し提案する機能を具備する。集中豪雨など急速に変化する気象事象に対して、あらかじめ対応を計画することが可能になり、指令員の負荷軽減に加えて、乗客への早期の情報提供によって利便性の向上や乗客の安全確保に寄与する。

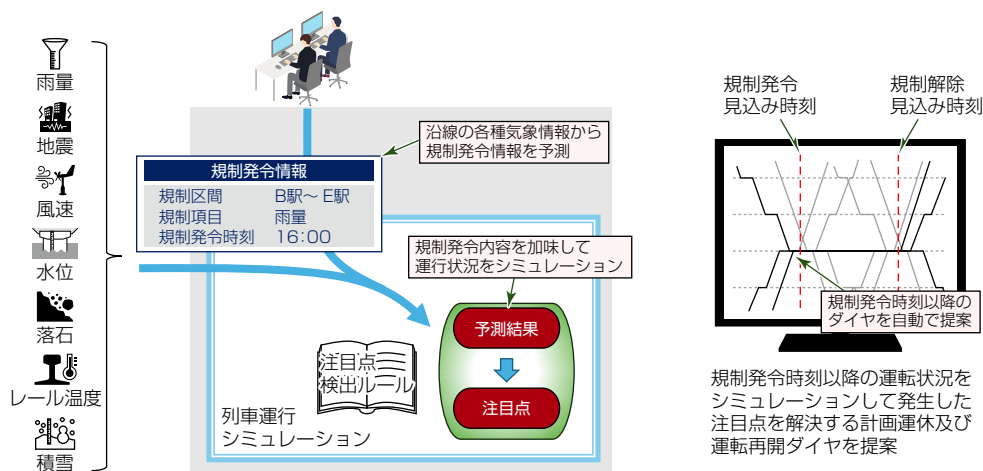


図6-規制自動発令のシミュレーション

3. 総合指令AIオーケストレーターへの発展

鉄道運行は、運行制御を担う輸送指令のほか、電力制御を担う電力指令、旅客への情報提供を担う旅客指令、信号・通信設備の状態監視を担う信号通信指令など、複数の指令業務の連携によって成り立っている。現在は各指令システムが個別最適を指向して独立的に配備されているため、横断的かつ複合的な判断を迅速に行うことが困難である。

今後、自動指令システムを中核とするAIエージェント群を拡張し、輸送指令エージェントや電力指令エージェント(電力系統事故時の原因特定や復旧手順の自動提案等)などを開発する。各指令業務を分析、データ化し、暗黙知を含む指令運用データを学習させることで業務ごとに最適化されたAIを構築するものである。さらに、これらのエージェントを協調制御(オーケストレーション)する総合指令AIオーケストレーターによって列車運行に関わる全指令を統合管制し、横断的かつ複合的な課題に対する統合的な解決を図るシステムへと発展させていく(図7)。

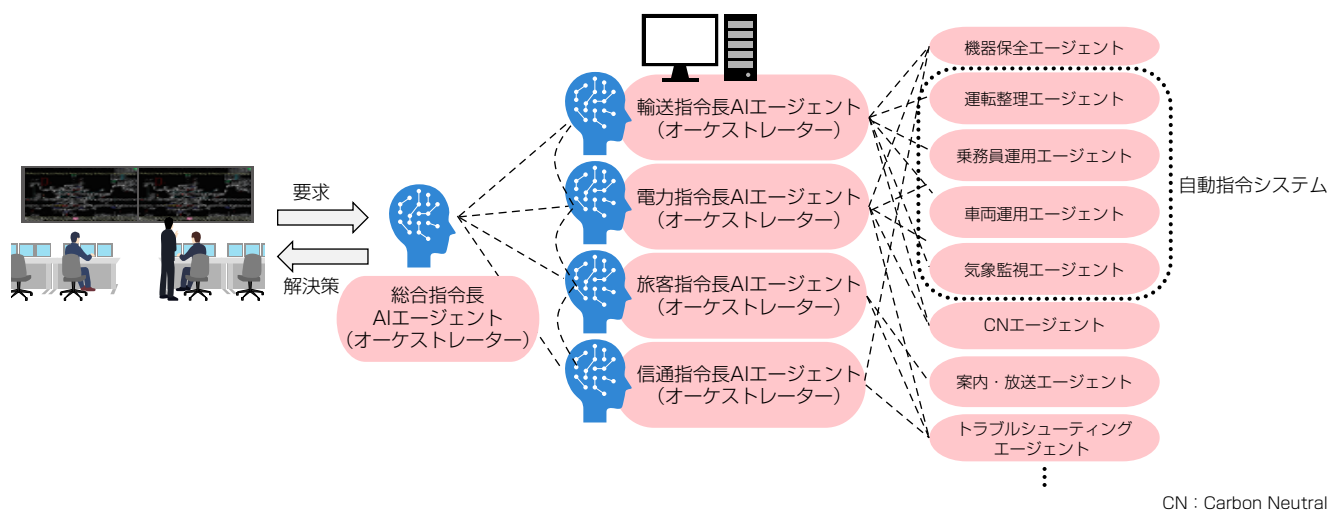


図7-総合指令オーケストレーターによる統合管制

4. む す び

少子高齢化が進展する社会で安定輸送を継続するには、指令業務の省力化が喫緊の課題である。本稿では、その解決手段として自動指令システムを提示した。このシステムは自動運転など今後想定される業務の複雑化に対応し、効率的かつ安定的な運行管理を実現することで、持続可能な輸送サービスの確保という社会的課題の解決に貢献していく。