

列車運行データを用いた、AIで分析して運転整理業務の負荷を軽減する技術と運行評価に有益な分析機能

Traffic Operation Rescheduling Technology Applying AI and Train Operation Performance Analysis Function Based on Train Operation Data

佐々木 智文 SASAKI Tomofumi 小泉 善裕 KOIZUMI Yoshihiro 白濱 大作 SHIRAHAMA Daisaku

近年、都市鉄道では、相互直通運転の拡大や輸送サービスの向上などへの対応から、列車の運行管理業務が複雑化している。ダイヤを変更する運転整理では、運転指令員に瞬時に最適な判断が求められるが、後継者不足などから人員減少も見込まれ、業務負担の増大が予想されている。

こうした中、東芝グループは、鉄道事業者の運行管理システムで取得される大量の列車運行データを用いて、(1)AIを応用して運転整理要否を提案することで、運転整理業務の負荷軽減を図った運転整理支援技術を開発した。また、(2)列車遅延をビジュアル化し、その傾向を確認して改善ポイントを抽出することで、鉄道事業者に有益な情報を提供する運行分析機能も開発した。

Japanese railway companies operating urban railway systems have recently been contending with increasingly complicated daily train operations as a result of the expansion of mutual direct operations among multiple railway lines and further improvements in transportation services. In particular, train rescheduling operations that require immediate and appropriate decision-making place a high burden on train dispatchers, and this is expected to become a critical issue as the decline in the working population leads to a shortage of successors in this field.

With this as a background, the Toshiba Group has developed the following technologies making effective use of large volumes of data acquired by the train traffic control systems of individual railway companies: (1) a technology to support traffic operation rescheduling, which makes it possible to reduce the burden on train dispatchers by proposing the necessity for rescheduling through the application of artificial intelligence (AI) on their behalf, and (2) an analysis function to evaluate train operation performance, which provides railway companies with useful information through the visualization of train delays and extraction of improvements in operations from the trends that are obtained.

1. まえがき

昨今の都市鉄道は、相互直通運転の拡大や、通勤時間帯の有料座席指定列車に代表される輸送サービスの向上などで、列車の運行形態が複雑化している。また、これに伴い、列車遅延状況も複雑化し、運行品質の維持に一段の労力が掛かるようになってきている。

一方、今後は、後継者不足などから人員減少も見込まれ、業務負担の増大が予想されている。

このような背景の中で、東芝グループは、列車運行データを用いて運行管理業務を支援する二つの技術・機能を開発した。

- (1) AIを応用した運転整理支援技術 過去の運転整理内容を学習・利用するAIを応用して、運行管理業務の一つである運転整理を行う指令員を支援し、負担を軽減する。
- (2) 運行分析機能 列車の運行実績データを分析することで、特に都市圏で複雑化している列車遅延の全体像や改善ポイントを把握できる有益な情報を提供する。

ここでは、これらのAIを応用した運転整理支援技術と、運行分析機能について述べる。

2. 運行管理システムと列車運行データ

多くの鉄道事業者は、列車の運行管理に運行管理システムを導入している。東芝グループは、長年、様々な鉄道事業者に運行管理システムを納入してきた。運行管理システムは、走行している列車を追跡し、列車に対する信号制御やダイヤ変更などを行う機能を提供する。

図1に、運行管理システムと列車運行データの関係を示す。運行管理システムは、時々刻々と変化する列車の運行状況を追跡・監視するため、大量の列車運行データを取得できる。この列車運行データの中には、稼働状況（運行管理システムの列車制御タイミングなど）のほか、路線特有の遅延発生状況や、日々の運転整理実施状況、運転整理実施の有無による遅延の伝搬など、様々な情報が含まれている。この列車運行データを用いて、列車運行分析を行うことで、分析結果を様々な形で活用できる。遅延発生を改善するためのダイヤ計画へのフィードバックや、過去の運転整理内容

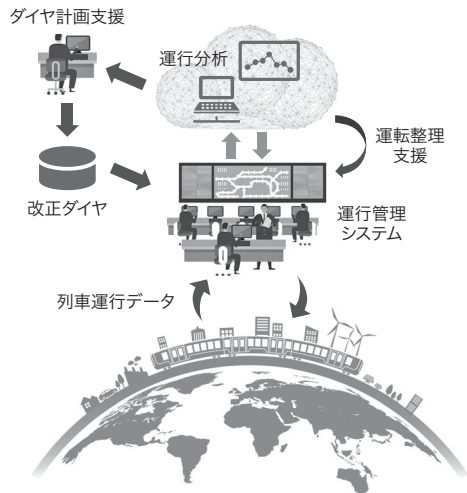


図1. 列車運行管理業務の概要

運行管理システムは、時々刻々と変化する列車の運行状況を追跡・監視するため、大量の列車運行データを取得できる。列車運行データを分析して、その結果を運転整理支援やダイヤ計画支援に活用する。

Overview of train traffic control operations

を基にした運転整理支援機能の構築などが挙げられる。このように、サイバー領域の列車運行データをフィジカル領域の列車運行にフィードバックすることで、サイバー領域とフィジカル領域の融合が可能となる。

3. AIを応用した運転整理支援技術

運行管理業務の一つに、運転整理と呼ばれるダイヤ変更作業がある。運転整理とは、列車遅延や輸送障害などの理由により、所定ダイヤでの列車運行ができない場合などに、ダイヤを変更する作業である。運転整理には、列車の運転を取りやめる“運休”や、待避関係など列車の走行順序を変更する“順序変更”，所定の列車種別を変更する“種別変更”，所定の運用を取りやめて途中駅での折り返しなどを行う“運用変更”など、多岐の手法が存在する。運転指令員は、このような多岐にわたる運転整理手法の中から、瞬時に最適なものを判断・実施する。

運転整理では、編成両数、列車ごとの前後列車間隔の違い、日々の乗客の人数、天候、駅ごとの利用者数、これからの列車遅延波及の影響など様々な要素を基に、経験やノウハウなどから総合的に、最適な手法を判断・実施する必要がある。そのため、運行管理業務に占める運転整理のウェイトは高く、多くの労力が必要となる⁽¹⁾。

前述のように、列車の運行形態は複雑化しているため、運転指令員は、常に列車の運行状況に気を配りながら運行管理業務を行っている。

そこで、指令員の負担を軽減する目的で、AIを応用した

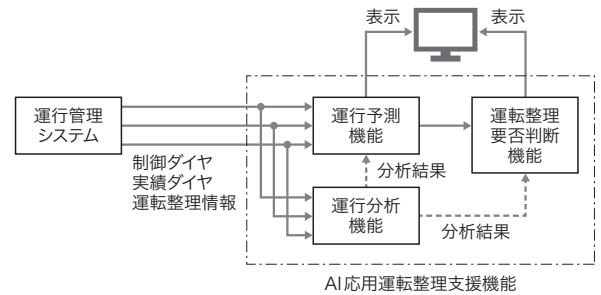


図2. AIを応用した運転整理支援装置の機能構成図

運行管理システムから受信したデータを基に、運行予測と運転整理要否判断結果を指令員に提示し、運転整理支援を行う。

Functional overview of traffic rescheduling support system applying AI

運転整理支援技術及びこの技術を適用した運転整理支援装置を開発した。

3.1 AIを応用した運転整理支援装置の機能構成

AIを応用した運転整理支援装置の機能構成を、図2に示す。運行管理システムから、当日の制御ダイヤ・実績ダイヤ・運転整理情報を受信し、これらを基に以後の運行状況を予測する。また、予測した結果を基に、運転整理要否を判断する。運転整理実施要否判断結果は、運転指令員に提示され、運転指令員は、運転整理実施を最終判断する。

一方で、日々の列車運転実績を運行分析機能で分析し、分析結果を運行予測機能と運転整理要否判断機能にフィードバックすることで、運行予測と運転整理要否判断の精度向上を図る。

3.2 運転整理要否判断へのAI応用

3.1節で述べた運転整理要否判断では、様々な要素を総合的に考慮して機械的に運転整理要否を判断するため、ニューラルネットワークモデル(以下、AIモデルと呼ぶ)を用いた運転整理要否判断アルゴリズムを開発した。

図3に、開発した運転整理要否判断アルゴリズムの概要を示す。

過去の列車運行データを学習データとすることで、過去に指令員が運転整理を実施した状況が包含された内容で学習ができる。また、熟練指令員は、列車全体の運行を把握しながら運行管理を行っており、運転整理を対象とする列車だけでなく、時々刻々と変化する遅延の予兆検知などを含めたマクロな観点で運転整理を実施しているため、着・発時刻情報を学習データに取り込んでAIモデルを作成することにした。運転整理要否判断部にAIモデルを使用することで、ルールに書き表すことが困難な知見やノウハウなどを用いた運転整理要否判断を行うことが可能となった。

運行管理システムで使用できるデータとして、一般にダイ

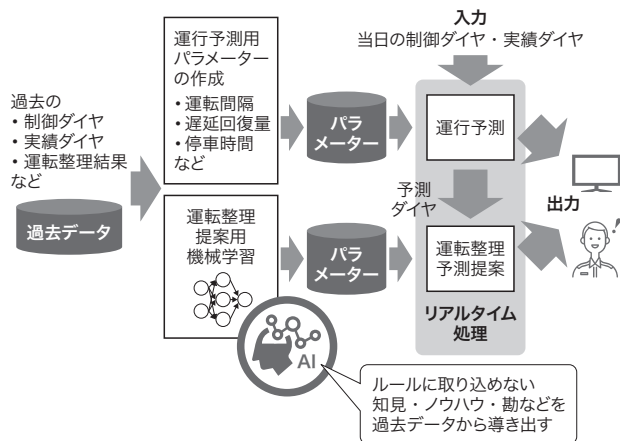


図3. AIモデルを用いた運転整理要否判断アルゴリズム

過去の列車運行データを学習データとすることで、ルール化しにくい知見や、ノウハウ、勘などを取り込んだ運転整理要否判断ができる。

Rescheduling algorithm using AI models

データを挙げる事ができる。運転整理要否判断対象列車を含む周囲の列車について、各駅の着・発遅延時間を入力変数とすることで、過去データを用いて作成された列車の運転間隔、遅延回復量、停車時間などの運行予測用パラメータによって運行予測した予測ダイヤに対し、運転整理実施要否が出力として得られる。

3.3 東武スカイツリーラインでのフィールド試験

2021年3月現在、東武鉄道(株)の東武スカイツリーラインでフィールド試験を実施しており、その一部を述べる。

東武スカイツリーラインでは、朝のラッシュ時に日常的に実施している運転整理として、せんげん台駅上り線の普通列車と急行・区間急行列車との順序変更がある。通常のダイヤでは、せんげん台駅で普通列車は急行・区間急行との待ち合わせを行うが、急行・区間急行列車が遅延し、待ち合わせで普通列車に遅延波及が見込まれる場合は、普通列車の待避を取りやめるというものである。待ち合わせのパターンが1列車の場合と2列車の場合、列車ごとの前後間隔の違い、日による急行・区間急行列車の遅延発生の違いなどから、運転整理の実施に一律のルールを設けることができない。そこで、この運転整理の要否判断にAIモデルを使用した。

要否判断の例を図4に示す。要否判断の入力変数は、普通列車と急行・区間急行の待避関係を考慮し、東武動物公園駅からせんげん台駅までの複数列車の着・発遅延時間とした。出力変数は、順序変更実施の要否である。

フィールド試験は、2019年8月から実施しており、実際のデータを用いてAIの運転整理実施判断の精度確認を行い、AIの判断が運転指令員と同等の精度であることを確

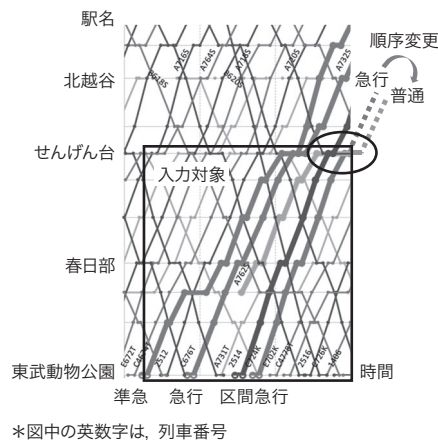


図4. 運転整理要否判断の例

要否判断対象に関する複数列車の着・発遅延時間を入力変数とし、順序変更実施の要否を出力する。

Example of rescheduling of multiple train operations using AI

認した。また、精度のほか、季節による変動など長期的なデータを用いた確認も実施した。

4. 運行分析機能

2章及び3章で述べたように、運行管理システムは大量の列車運行データを取得できる。この列車運行データの中には様々なデータが含まれており、これらを分析することで、遅延のビジュアル化・傾向確認や改善ポイント抽出などを行い、鉄道事業者にとって有益なデータを提供できる。

開発した運行分析機能によって得られるデータを、以下に示す。

4.1 駅間走行時間・駅停車時間の伸び／縮み

指定駅の指定時間帯における走行時間・停車時間を、計画ダイヤとのずれ時間の度数分布で示すことで、伸び／縮みの要因を抽出できる。

4.2 着・発時刻のずれ分布

着・発時刻の計画ダイヤと実績ダイヤのずれ時間の度数分布を示すことで、駅ごとの遅延・増延・減延分析に活用できる。

4.3 列車指定遅延時間推移

指定列車の始発終着駅間の遅延時間推移を示すことで、各列車の遅延相関関係を確認できる。また、運転整理による各列車の遅延量の改善を確認できる。

4.4 駅指定遅延時間推移

駅ごとの着・発遅延時間をダイヤ時刻に散布描画することで、特定駅での遅延推移分析に活用できる。

図5に、ある駅での遅延時間推移を示す。朝のラッシュが始まり、8:00付近に遅延のピークがあることや、ラッシュ

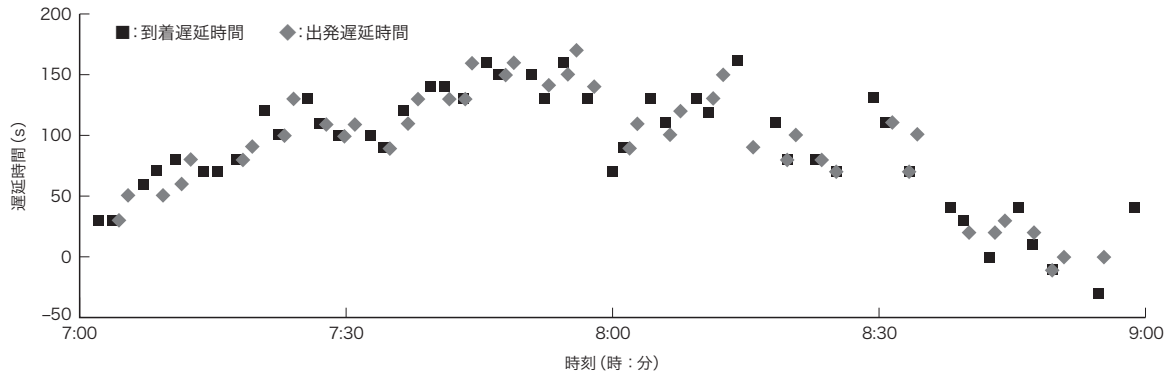


図5. ある駅での遅延時間の推移

着・発遅延時間のピークが、8:00頃にあるのが分かる。

Changes in delay time at certain station over time

が終盤になるにつれて着・発遅延時間が減少していることが確認できる。

4.5 運行状況の評価

図6に、運行状況の評価結果を示す。ユーザーが、自由に任意の8種類の評価値を定めることで、レーダーチャートを用いて自由度の高い運行評価ができる。また、複数の評価軸で傾向分析を実施することで、様々な面からの分析が可能になる。

5. あとがき

列車の運行データを用いた、AI応用運転整理支援技術と運行分析機能について述べた。

運行管理システムから得られる大量のリアルなフィジカルデータを基に、サイバー領域で分析し、付加価値を高めたデータやサービスをフィジカルな世界にフィードバック提供することで、鉄道システムの価値向上に貢献していく。

謝辞

今回の技術開発に際し、ダイヤデータや試験フィールドを提供いただいた東武鉄道(株)の関係各位に、深く感謝の意を表します。

文献

- (1) 田口康一, ほか. “運転整理支援機能へのAI適用可能性評価”. 第56回鉄道サイバネ・シンポジウム論文集. 東京, 2019-11, 日本鉄道サイバネティクス協議会, 2019, 論文番号405. (CD-ROM).

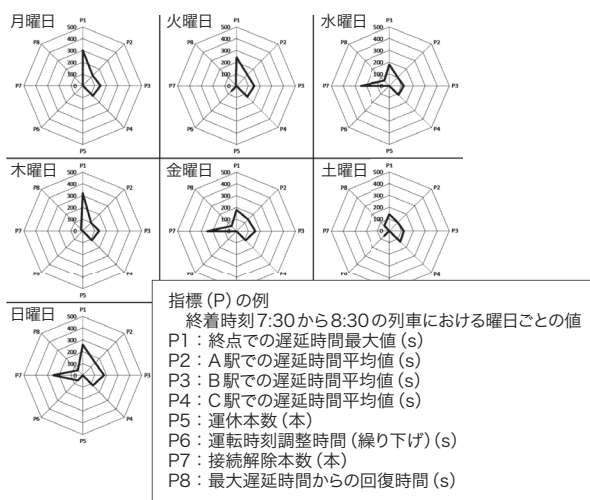


図6. 運行状況の評価結果

ユーザーが自由に任意の評価値を定めることで、様々な視点からの分析・評価ができる。

Results of evaluation of train operations using radar charts



佐々木 智文 SASAKI Tomofumi
東芝インフラシステムズ(株)
鉄道システム事業部 鉄道システム技術部
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.



小泉 善裕 KOIZUMI Yoshihiro
東芝インフラシステムズ(株) インフラシステム技術開発センター
システム制御・ネットワーク開発部
電気学会・人工知能学会・計測自動制御学会会員
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.



白濱 大作 SHIRAHAMA Daisaku
東芝デジタルソリューションズ(株)
ICTソリューション事業部 交通ソリューション部
Toshiba Digital Solutions Corp.