

## 在来線混雑可視化システムの導入効果の検証

Verification of introduction effect of congestion visualization system for conventional trains



志小田 雄宇\*



伊藤 和敬\*\*



坂入 整\*\*

Train congestion has a significant impact on customer satisfaction, but now when a transport accident occurs, we select which train to cancel or adjust only based on delay information and experience of past accidents.

In this study, we have developed a visualizing system for the dispatcher to quantitatively grasp congestion and delay of trains in real time for use in transport operation.

Utilizing the system, dispatchers achieved 31.4% reduction of the maximum congestion rate and 18.6% average congestion rate in some cases.

●キーワード：在来線、応荷重、可視化、運転整理

### 1. はじめに

列車の運行管理を担当する指令員は、輸送障害が発生すると、その影響を最小限に抑えるために、時々刻々と変化する列車の「遅延時分」や「在来線位置」、「混雑状況」など様々なパラメータを総合的に勘案して、運転整理を決定している。

これらのパラメータのうち「遅延時分」と「在来線位置」は既存の輸送管理システム等からリアルタイムに定量的データが提供されているが、列車の混雑状況については定量的に把握する手段がないため、「指令員自身の過去の経験則」に基づいて判断を行っている場合が多くみられる。

一方で、当社が実施しているお客さまへの満足度調査によると、当社管内の列車の混雑状況に対するお客さま満足度(CS: Customer Satisfaction)は低く、更に当社の全体的な満足度への影響も大きいことが明らかとなっている。このため列車の混雑は、重点的に改善が必要な分野と位置付けられている。(図1)

つまり、指令員が定量的に示された混雑状況に基づいて、よりの確な運転整理の判断を行える環境が整えば、列車の混雑を低減させる柔軟な輸送サービスを実現できるようになり、最終的にはCSの向上が期待できる。

列車混雑の情報提供に関する先行研究としては、轟氏らによって、路面電車利用者向けに混雑情報を提供した例<sup>1)</sup>や、鉄道利用者向けに混雑情報を提供した場合の乗車選択行動をモデル化し、その有効性を検討した例<sup>2)</sup>などが報告されている。しかしながら、実際の鉄道指令オペレーションに混雑情報を活用し、その効果を検証したという事例は、これまでに報告されていない。

そこで、著者らは列車の混雑状況をリアルタイムかつ定量的に把握し、輸送障害発生時に指令員が運転整理や旅客案内などに活用できる「在来線混雑可視化システム」のプロトタイプを開発した<sup>3) 4)</sup>。本稿では、開発したシステム構成の概要と実証試験における評価結果について報告する。

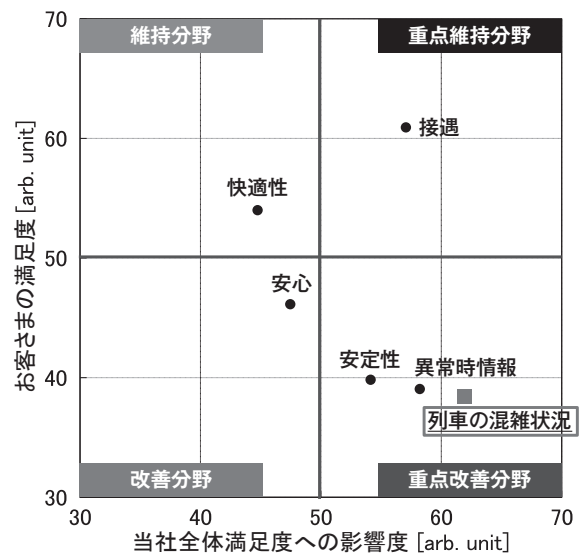


図1 お客さまへの満足度調査の結果(2015年度)

### 2. プロトタイプシステム概要

#### 2.1 システムの全体構成

開発したプロトタイプシステムの全体構成を図2に示す。

一般に、鉄道車両は荷重(乗車率)が増すと、車両に同じ力でブレーキを掛けた際の減速度が鈍くなる。そのため、鉄道車両には荷重の増減を検知して、ブレーキ制動による減速度を一定に保つための応荷重装置が搭載されている。また、当社管内における首都圏在来線の大部分ではデジタ

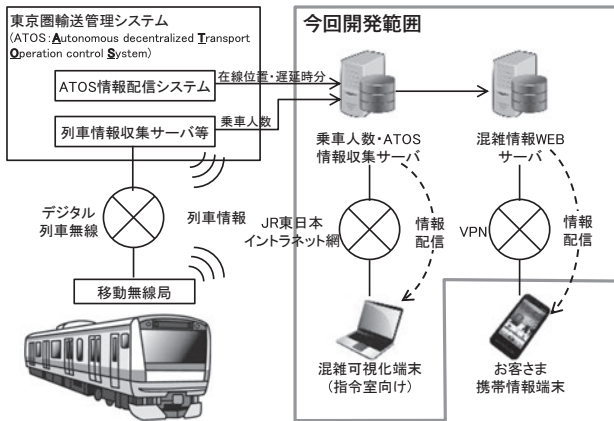


図2 プロトタイプシステムの構成

ル列車無線システムが導入されており、走行中の列車情報をリアルタイムに地上設備に転送している<sup>5)</sup>。列車情報には、「応荷重装置の荷重値より算出した乗車人数のデータ」が含まれており、本システムではこのデータを活用することで、列車の混雑状況の可視化を行う。

また本システムでは、列車の運行管理を行う上で重要な指標である在線位置や遅延時分の情報についても既存の輸送管理システム（ATOS）より収集し、乗車率・在線位置・遅延時分の3種類の情報を可視化する。乗車率情報は在線位置・遅延時分情報を併せて確認することではじめて有用な情報となる。仮にこれらの情報が別々のシステムで提供される場合、指令員は複数のシステムをそれぞれ閲覧して情報を読み取る必要が発生するため、混雑情報、在線位置、遅延時分のデータを組み合わせると同じ画面上に表示した。

プロトタイプシステムは主に以下の2つの要素で構成される。

- ・乗車人数・ATOS情報収集サーバ
- ・指令室向け混雑可視化端末

以下では、上記2つのプロトタイプシステムの構成要素について、それぞれの機能と特徴を述べる。

## 2.1.1 乗車人数・ATOS情報収集サーバ

乗車人数・ATOS情報収集サーバの機能構成を図3に示す。乗車人数・ATOS情報収集サーバは、ATOS情報配信システムから列車の在線位置と遅延時分を、乗車人数集計検索システムから列車の在線位置と乗車人数を、それぞれ30秒周期で収集し、両者を結合した上で、可視化データとしてデータベースに登録する。また、乗車率を算出するための車両の定員情報は、予めデータベースに登録されている。

乗車人数・ATOS情報収集サーバは、混雑可視化アプリケーション（混雑可視化端末）の要求に応じて、可視化に必要なデータ（リアルタイムデータまたは過去データ）を送信する。

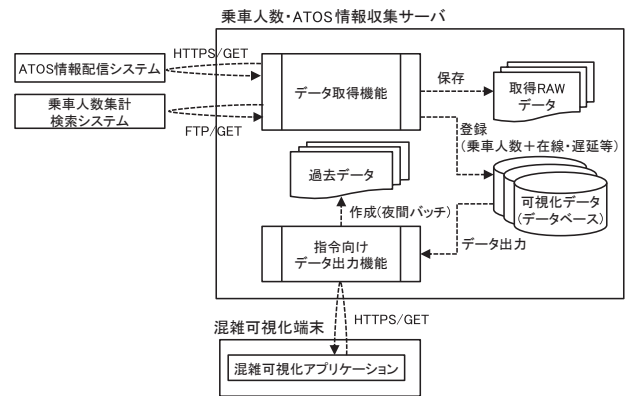


図3 乗車人数・ATOS情報収集サーバ機能構成

## 2.1.2 混雑可視化端末

指令室で利用する混雑可視化端末には、本研究で開発した専用のクライアントアプリケーション（混雑可視化アプリケーション）がインストールされている。可視化対象線区は、京浜東北・根岸線、山手線、埼京川越・山手貨物線、常磐線、常磐緩行線、中央・総武緩行線、中央本線、横須賀・総武快速線、東海道本線、東北本線、高崎線、東北貨物線の12線区で、輸送障害発生時の状況把握、過去の運転整理の振り返り、情報共有等に利用できる。混雑可視化端末は以下の機能を有している。

### (1) 表示モード選択

リアルタイム表示モードと過去データ表示モードの2種類のモードを備えている。リアルタイム表示モードでは当日の直近のデータが表示され、30秒周期に更新されている。過去表示モードでは任意の日付を選択すると、乗車人数・ATOS情報収集サーバで保持している選択日のデータ（過去データ）をダウンロードし、アニメーションとして再生することができる。また、過去表示モードでは当日分についても始発からデータ要求時刻までのアニメーションを表示することが可能である。

### (2) 表示形式

上述のとおり、本システムでは乗車率に加えて、在線位置、遅延時分という次元の違う3種類の情報を同じ画面に可視化しなければならないことから、アイコンの色やサイズ、テキストなどを効果的に使用することが求められる。このため、ユーザーインターフェイス（以下、UI）の開発については、ユーザーである輸送指令員にヒアリングを繰り返しながら改良を行う「アジャイル手法」を採用した。

最終的に完成したUIを図4～図6に示す。表示モードは、「地図表示」と「在線図表示」の2種類を備えている。地図表示ではマウス操作で視点位置変更、ズームイン・ズームアウトが可能である。全体広域を表示している状態では、混雑している列車に着目しやすくなっており、ズームインすると

図5のように1つ1つの列車の在線位置を確認することができる。また、図6に示すように在線図表示では、ある路線上にいる列車を一列に並べて表示する機能で複数の路線を並べて表示することもできる。

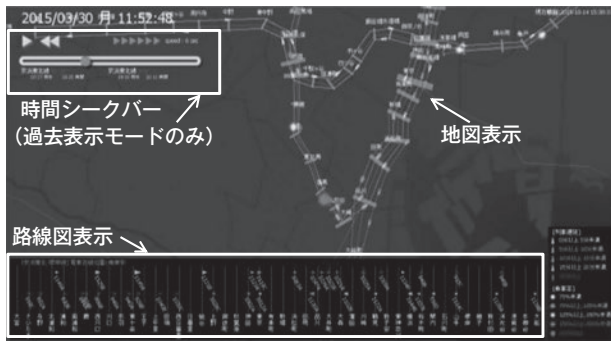


図4 混雑可視化システムUI (全体図)



図5 混雑可視化システムUI (地図表示)

▲印の色は遅延時分、▲印周囲の●印の色・大きさは乗車率を表す。



図6 混雑可視化システムUI (路線図表示)

▲印の色は遅延時分、▲印の大きさは乗車率を表す。

### (3) 表示遅延

今回開発したプロトタイプシステムは、既存の「ATOS情報配信システム」と「乗車人数集計検索システム」という異なる2つのシステムのデータを紐付けて表示している。ATOS情報配信システムから取得する列車の「在線位置」「遅延時分」のデータは30~40秒程度のタイムラグで取得可能であるが、一方、乗車人数集計検索システムから取得している「乗車人数」データは、様々なシステムを経由してデータを取得しているため、3分程度のタイムラグが生じる。加えて、乗車人数・ATOS情報収集サーバでは、2つのシステムから

取得したデータの結合やデータベース登録などのプロセスを実行する必要がある。

そのため、指令向け混雑可視化アプリケーションのリアルタイム表示モードでは、現時刻から3分から4分程度遅れたデータが表示される。

## 3. 開発したプロトタイプシステムの評価

指令室向け混雑可視化システムを評価するために、当社管内の首都圏の主要な線区の運行管理を行っている東京総合指令室に開発した混雑可視化端末を設置し、実証試験を実施した。実証試験で得られた効果や実用化に向けた課題を下記(1)および(2)に示す。

### (1) 輸送障害時の混雑緩和効果

2015年9月10日(木)大雨のため始発から実施された宇都宮線間々田駅-小山駅間の速度規制の影響で、列車本数を減らして運転した。開発したシステムを確認したところ、宇都宮駅-大宮駅間の朝通勤時間帯の上り列車(上野方面行)で混雑が常態化していた。この混雑を緩和するために、指令室では翌日9月11日(金)に運転する列車本数の調整を行った。

上述の運転整理を実施した際の混雑緩和率の変化を表1に示す。ここで、混雑緩和率は、下記の式で与えられる。

$$\text{混雑緩和率 } \rho [\%] = \left( 1 - \frac{\text{当該列車等の乗車率 } \beta}{\text{比較対象列車等の乗車率 } \alpha} \right) \times 100$$

久喜駅-大宮駅間の上り列車(上野方面行)について、9月11日(金)は前日(9月10日(木))と比較して、始発から10:00までの列車の中で乗車率が最も高い列車(以下、最大乗車率列車という)の混雑緩和率が31.4%、また同時刻帯の混雑緩和率の平均値が18.6%であった。このように本システムを参照して列車本数等の調整をすることにより、輸送障害時の列車混雑を緩和することが可能であることが明らかになった。

表1 久喜駅-大宮駅間の朝通勤時間帯(始発~10:00)における駅間混雑緩和率

駅間		9/11(金)の混雑緩和率(前日同時刻帯比較)	
発駅	着駅	平均	最大乗車率列車
久喜	新白岡	24.7%	31.4%
新白岡	白岡	24.5%	25.8%
白岡	蓮田	20.8%	20.7%
蓮田	東大宮	17.9%	9.7%
東大宮	土呂	13.4%	4.3%
土呂	大宮	10.6%	2.9%
平均		18.6%	-

## (2) 指令員アンケート結果

指令員にアンケート調査を行った結果、延発整理（輸送障害等によって列車間隔が大きくなった場合に、列車間隔を調整するため先行列車を意図的に遅らせることで、混雑による列車の増延を防止すること）において約9割の指令員が本システムを利用していることが分かった。

延発整理を実施するための主な判断基準は、列車の乗車率と運転間隔である。本システムはこれらの情報を同時に提供できる唯一のシステムであることから、良く利用されていると考えられる。

その他にも過去表示モードを活用して輸送障害時の輸送手配の振返りを行い、今後の運転整理の参考にするなど、様々な用途に活用され始めている。

一方で、アンケートの調査の結果として、以下に示す課題・改善点が明らかとなった。

- (a) 大規模な輸送障害になるとシステムを見て手配をとる余裕がないこと。
- (b) 表示遅延が短縮できれば、更に延発整理等手配の精度を上げることができること。
- (c) 回送列車、貨物列車を考慮して運転整理を行うためこれらの情報の表示が必要であること。
- (d) キロ程が表示できれば、災害時などの障害時に救済すべき列車の優先順位が把握できること。
- (e) 端末を持ち運べるようになれば、特定の運用担当者以外の人も閲覧できるようになるため、活用の範囲が広がること。

## 4. おわりに

本研究開発では、開発プロセスにアジャイル手法を採用することによって、プロトタイプとはいえ現場の指令員が実業務に十分活用できるレベルのシステムを構築することができた。

開発したシステムを指令員の実業務で活用した結果、列車の混雑状況と遅延時分が定量的に把握できることから、運転整理（特に延発整理）に有効的に活用できることが明らかとなった。また、実証試験中に発生した大雨による輸送障害では、指令室で運転整理の判断材料として活用され、大幅な混雑の緩和につながった。

上述のような結果から、本システムは当社が目指している「お客さま目線の柔軟な輸送サービスの実現」に必要な不可欠なシステムであると考えられる。また列車の混雑状況の可視化は、指令員向けだけでなくとどまらず、駅係員に情報提供することでお客さまの適切な案内に寄与できると考えられる。

更に、混雑情報をお客さまの携帯情報端末などに直接配信するサービスが広く一般化すれば、情報提供によるCS向上およびお客さま自身が混雑した列車を回避することができ、鉄道の混雑全体の平準化につながることを期待される。

今後は、本研究で得られた課題を解決するための機能改良および検証を継続して実施すると共に、利活用範囲の拡大についても検討を進めていく。

### 参考文献

- 1) 轟朝幸, 松本修一, 松田博和, 「路面電車利用者への混雑情報提供の有用性の検証」, 運輸政策研究, Vol.11, No.1, pp.17-24, 2008.
- 2) 轟朝幸, 水野隆二, 「鉄道における混雑情報提供の有用性の検討-乗車選択行動モデルを用いて-」, 土木計画学研究・論文集, Vol. 27, No. 4, pp787-794, 2010.
- 3) S. Sakairi, Y. Shikoda, I. Otsuchibashi, R. Otsuka, 「New Transport Arrangements using ICT」. In Proceedings of The 11th World Congress of Railway Research(WCRR2016), Milano, Italy
- 4) Y. Shikoda, K. Ito, S. Sakairi, M. Nakamura, 「Development of Congestion Visualization System Based on Train Probe」, In Proceedings of The 2016 IEICE General Conference(Information and Systems Society), Fukuoka, Japan, pp. 149
- 5) Y. Omagari, M. Atsuzawa, K. Yoshida, 「Field evaluation results in conventional linedigital train radio system ~ Improvement of radio quality by zone boundary ~」, In Proceedings of The 2007 IEICE Society Conference, Tottori, Japan, pp. 414