

輸送システムの開発概要

JR東日本研究開発センター 先端鉄道システム開発センター 課長（運転制御）

辺田 文彦



JR東日本研究開発センターでは、当社の中期経営構想ニューフロンティア2008の柱のひとつである「安全性・安定性の向上」をめざし、輸送混乱時の早期復旧を支援するシステムを開発しています。

これまでに、列車ダイヤの変更を支援するシステムや車両・乗務員の運用変更を支援するシステム、また、その変更情報を伝えるためのシステムを統合的に開発してきました。

ここでは、それらのシステムの概要を紹介し、合わせて輸送業務のシステム化を図るためのCrew Management Support System（乗務員管理システム）や入換計画支援システムについても紹介します。

1. はじめに

JR東日本の輸送関係のシステムは、今までに輸送計画を作成する「輸送総合システム」、輸送管理を担う「東京圏輸送管理システム(ATOS)」等の大規模なシステムが開発、実用化され現在に至っています。これらのシステムを、ダイヤ改正時の列車設定や日常の列車運行時に使用し、輸送業務の仕組みの改善に大きな成果を挙げてきました。

しかし、設備故障や事故等で列車ダイヤが乱れた時、より早く平常ダイヤに復旧させることもシステムが支援すべき大きな課題ですが、残念ながら現状ではまだシステム化されていません。

そこで列車ダイヤが乱れた場合に、お客様への影響を最小限にし、列車ダイヤをできるだけ早く平常に復旧させることを目的として、輸送関係のシステムの開発を進めてきました。

開発システムは大きく分けると、運転整理システム、車両運用整理支援システム、乗務員運用整理支援システム、通告伝達システムの4つで構成しており、このうち2つのシステム、車両運用整理支援システムと通告伝達システムは既に一部線区で実用化し、残りのシステムも開発の最終段階を迎えています。

ここでは列車ダイヤ乱れ時に、平常ダイヤに復旧するための手配や処理方法を解説するとともに、開発した各

システムの概要を紹介します。

また、さらに輸送業務の近代化を図るために、現在開発を進めているCrew Management Support Systemや入換計画支援システムについても紹介します。

2. 輸送計画と運行管理の概要

2.1 平常時

列車ダイヤ乱れ時の輸送計画と運行管理を説明する前に、平常時やダイヤ改正時の輸送計画と運行管理について説明します。

輸送計画（列車ダイヤ）を作成するためには、需要の予測をする必要があります。需要予測を行うためにはODデータ（O：Origin、D：Destination）が必要です。このデータは、普通列車全線交通量調査や「ノリホ」（乗車人員報告）、最近ではSuicaや磁気券を読み取る駅の自動改札機のデータを活用して求めています。

データを基に各種分析を行ったあと、線区の輸送量を推定します。（詳細は省略します）

こうして需要の予測を行ったあと、使用する車両の選定やその車両性能での運転時分の算定を行い、輸送計画（列車ダイヤ）の作成を行います。ここで使用されるシステムが「輸送総合システム（IROS）」です。

列車ダイヤ、車両運用、乗務員運用は、輸送総合シス

テムのサブシステムの一つである「計画作成システム」を使って作成します。支社の計画担当者がコンピューターの支援を受けながら、画面上で対話形式により列車ダイヤや車両運用、乗務員運用を作成します。輸送総合システムの導入により、JR東日本管内の全線区の列車ダイヤ情報や車両運用、乗務員運用情報がデータベース化され一元管理できるようになりました（図1）。これにより、これまで人が注意力に頼って作成していたものをシステムで支援・作成することになり、大幅な時間短縮とミスの削減が可能になりました。

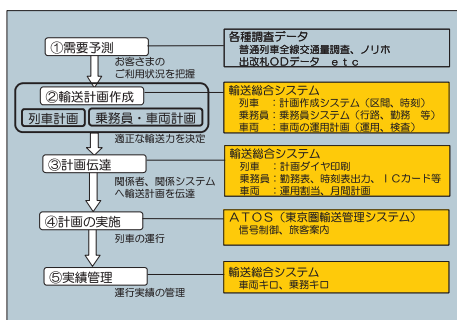


図1 輸送計画システムと運行管理システム

こうして作成した輸送計画を関係箇所（乗務員区、駅、設備保守区等）に配信するサブシステムが「計画伝達システム」です。以前は「運転報」と呼ばれる印刷物により、作成された輸送計画を関係箇所に伝えていました。印刷物を配るので、計画作成から伝達完了までかなりの時間を要していました。関係箇所では、配られた輸送計画から自分の箇所に関するデータを抜粋し、それぞれの箇所でも独自の管理台帳や必要な帳票、特に乗務員区では、列車の運転に必要な携帯時刻表も作成していました。そして、作成ミスを防ぐために、複数の社員が二重、三重のチェックを行うなど多くの人手を要し、非常に神経を使う仕事でした。

計画伝達システムを導入することにより、これらの作業の近代化を図りました。乗務員区においては関係データの「抜粋」作業ばかりでなく、手作業で作成していた携帯時刻表がシステムから出力できるようになり、さらに勤務指定表や点呼簿等の作成も可能になりました。駅や設備保守区等においても、業務に必要な運転状況表や見張り用列車ダイヤの自動作成が可能になりました。このように現在では支社で作成された輸送計画がシステムより関係箇所に伝えられ、そのデータを基に実際の列車運行を毎日行っています。

次に、列車の運行管理するシステムとして、「東京圏輸

送管理システム（ATOS）」があります。ATOSについての詳細な説明は省きますが、輸送総合システムからの列車ダイヤを基に駅等の進路制御に必要なデータを作成し、各駅の進路制御装置に毎日配信します。駅進路制御装置では、そのデータをもとに信号機やポイントを制御し、列車の運行を管理します。また、お客様に対する案内情報として、LED表示器や自動案内放送もATOSによって制御しています。

このように、平常時には支社で作成した輸送計画に基づいた列車ダイヤで、車両を手配し、担当の乗務員が列車に乗務し、駅ではATOSにより進路を制御して、列車を運行しています。

2.2 列車ダイヤ乱れ時

事故や装置故障により、列車ダイヤ乱れが発生した場合、列車の運行を管理する指令室では、その事故や故障の状況に合わせて運転計画を変更します。例えば列車を途中駅で折り返しさせたり、列車を運休にしたりして、できる限り輸送を確保するとともに、早く平常時のダイヤに戻るための処置を行います。この作業のことを「運転整理」と呼んでいます。

現状の運転整理は、ベテラン指令員と呼ばれる社員が、事故の大きさ、お客様の状況、現場の状況等の情報を収集し、今までの経験や知識に基づいて短時間で変更案を作成しています。その後、各指令間や関係箇所と調整を経てATOSへ運転整理の入力作業が行われます。この入力作業は、運行管理する指令員がグラフィック・ディスプレイ（GD）に表示された列車ダイヤデータをマウスで直接操作することにより行います。この変更入力により、列車ダイヤはその場で変更となり、それに基づいて駅の進路制御や案内表示も自動的に変更となります。

但し、乗務員区や関係保守区については、ダイヤ変更データは自動では配信されず、指令室から指令員がFax等を用いて伝達しています（図2）。

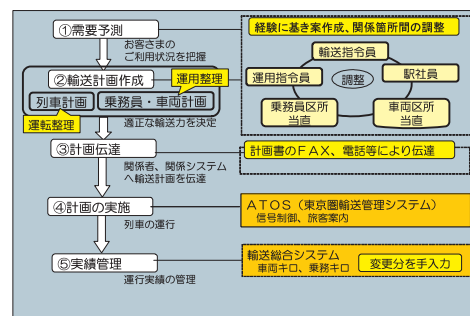


図2 列車ダイヤ乱れ時の輸送計画と運行管理

このように、入力する運転整理案は指令員の経験と知識で作成しており、現状ではシステムによる支援や提案は行っていません。

また、運転整理により列車ダイヤを変更すると、これに伴って車両運用や乗務員運用も当初の計画から大きく異なってきますが、これらの車両や乗務員の運用変更についても、現状では指令員と乗務員区所の担当社員により連携や調整をとりながら行っており、システムによる支援や提案は行っていません。

3. 平常ダイヤへの早期復旧に対するシステム支援

以上のように、現状の輸送関係の業務は輸送計画から平常時の運行管理までは、一部の作業を除いてシステムを使用して行っていますが、ダイヤ乱れが発生した場合に、ダイヤを早期に復旧させるための「システムによる支援」は、どこの鉄道会社を見渡しても、ほとんど無いというのが現状です。

乱れたダイヤを早期に復旧するためには、

- ①状況を正確に把握する。
- ②状況に対応する変更案（列車ダイヤ変更案、車両運用変更案、乗務員運用変更案）を作成する。
- ③運行管理装置に入力する。
- ④変更情報を関係者や関係箇所伝える。

の4点を迅速、的確に行う必要があります。

状況を正確に把握することの支援は、当分の間は現状の列車無線や電話や駅の画像情報からとなりますが、将来的には情報技術を活用したものが考えられます。

列車ダイヤ変更案の作成については、今までに指令員の経験や知識等のノウハウを明確化したものがほとんど無く、システム化を難しいものにしていました。車両運用や乗務員運用の変更案についても、運転再開直後の輸送を確保するために、指令員が手配した変更による車両や乗務員の位置把握（追跡）が完全にできていないため、その後の的確な変更案作成ができない状態となっていました。

作成した変更案の入力についても、案作成がシステム化されていなかったため、当然人手で作成した変更案をマウスやキーボードを使って入力し、多くの時間を要していました。

変更情報の伝達は、駅や区所等へはFaxを使用し、走行中の列車の運転士や車掌へは、指令員からの列車無線や駅社員を介した「運転通告券」により伝えているのが実情です。

先端鉄道システム開発センターでは、以上述べてきた

問題を解消するために、「平常ダイヤへの早期復旧」をシステムで支援する、

- ①指令員の運転整理を支援する「運転整理システム」
- ②ダイヤ変更を基に車両運用を支援する「車両運用整理支援システム」
- ③ダイヤ変更を基に乗務員運用を支援する「乗務員運用整理支援システム」
- ④ダイヤ変更情報を伝達する「通告伝達システム」

の各システムを開発してきました（図3）。なお、一連のシステム開発は中央・総武緩行線をモデル線区として行ってきました。

以下、各システムの概要と特徴を紹介します。

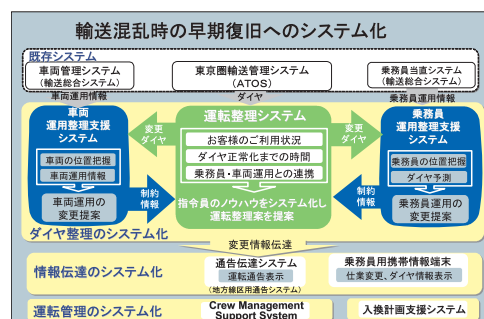


図3 平常ダイヤへの早期復旧

3.1 運転整理システム

車両故障や人身事故等により列車ダイヤの乱れが発生した場合、輸送指令員は、短時間に多数の運転整理手配を行う必要があります。この作業を、的確かつスピーディに行わないと平常ダイヤへの復旧が遅れてしまうことがあります。しかし運転整理は前述のように、今まではベテラン指令員の知識と経験に頼って行っているのが実状でした。

これまでに京葉線において運行管理システム（PRC）から時々刻々と送られてくる実績ダイヤに基づき、数時間後までの列車ダイヤを予測し、この予測を基に列車増延の原因になりそうな箇所に警報を表示する等、指令員の運転整理を支援するシステムを開発してきました。

しかし、このような支援システムでは、ある時間のある場所での増延の原因は解消できますが、逆に、この処置により他の場面では遅れの原因となり、それによって全体として遅延を増大させることもありました。これはある一部分の合理性しか見ていない判断によるもので、全体を見渡して平常ダイヤへ早期復旧する判断ができなかったことに起因しています。

また、列車ダイヤは使用できる車両とそれに乗務する乗務員がいて、初めて列車として運転できます。この車

両と乗務員の運用を全く考慮しないで運転整理案を作成しても、運転整理として成り立たず、結局作り直しとなってしまうことも多々あり、この作り直しに掛かった時間遅れにより遅延が増大することもありました。

そこで、ダイヤ乱れ時にシステムで運転整理案の作成を支援するとともに、すでに開発を進めてきた車両・乗務員運用整理支援システムとも連携をとるシステムを開発し、指令員の作業軽減と乱れた列車ダイヤの復旧を早めることを目的とした「運転整理システム」の開発を進めてきました（図4）。



図4 運転整理システム

このシステムの大きな特徴は、

- ①お客さまの利用状況を加味した運転整理
 - ②指令員の方針を反映した運転整理
 - ③車両と乗務員の運用（動き）を加味した運転整理
 - ④運転再開時からダイヤ復旧までの運転整理案作成を考慮したアルゴリズムを採用していることです。
- これにより、全体的にバランスが取れた運転整理案の提案を可能としています。

なお、お客さまの利用状況は、各列車の乗車人員を基にその時間帯の輸送量を想定し、これに基づいて運休列車や折返し運転等を設定しています。

3.2 車両運用整理支援システム

ダイヤ乱れ時には、指令員の運転整理によって車両運用も計画とは大幅に変更になります。この「運用整理（当日の使用計画に戻すこと）」の仕方によっては、ダイヤ復旧時間が遅れ、翌日以降の「運用戻し（月間計画に戻すこと）」に手間取るといった事象が発生します。そこで、車両運用業務に必要な情報を指令員及び区所の担当者へ提供するとともに、運用整理等の提案を行うことにより、ダイヤ乱れ時の的確な整理作業を支援するシステムを開発しました。

システムの基データである車両割付や検査予定等の情報は、既設の車両管理システム（輸送総合システム）より取り込み、ダイヤ乱れ時に発生する運休や折返し変更

等は東京圏運行管理システム（ATOS）から入力した変更情報を使用します。また、列車からは装備した通信装置により、列車番号とそれに対応した編成番号や位置情報を順次地上のシステムに送ります。これにより計画外の編成を使用した場合やATOS線区外で変更を行った場合でも編成の把握（追跡）が可能となります。

支援システムでは、列車の列車番号とそれに対応する編成番号が常時モニタでき、車両形式制限や検査等の制約条件から、ダイヤ乱れ時には運転整理による当日の運用上の警報（計画に対する未充当、検査回帰等の各種妥当性チェック）を出力します。また、それを回避するための提案を行う「運用整理機能」と、翌日以降の月間検査計画に戻すための提案を行う、「運用戻し機能」の2つの機能を持たせました（図5）。なお、運用戻しのアルゴリズムには、組み合わせ最適化問題を解決する方法の1つである自由度順計画法を使用しています。

車両運用整理支援システムは、2005年4月から中央・総武緩行線で使用開始しています。

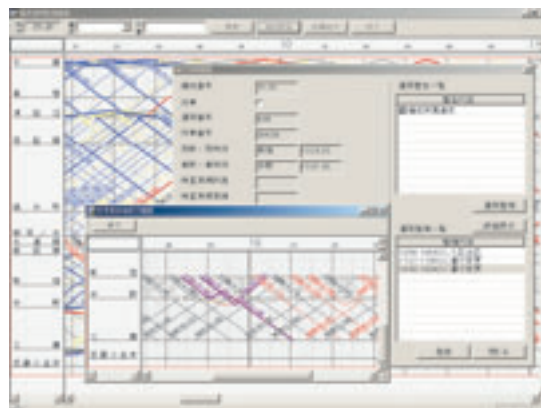


図5 車両運用整理支援システム

3.3 乗務員運用整理支援システム

車両運用と同様に、列車には運転士、車掌などの乗務員を割り当てることが必要です。列車ダイヤ乱れ時には、運転整理によって乗務員運用も乗務を担当する列車が変わるなど変更が生じます。運用を担当する指令員や乗務員区所の運転当直は、ある乗務員が列車の遅延等により次の担当列車に間に合わない場合、別の乗務員を手配したり、担当する列車を持ち替えたり、元の計画へ戻す整理を行います。もし、手配の遅れや漏れが発生すると、さらに輸送混乱を拡大させてしまいます。

そこで、乗務員の手配漏れが発生しないようにチェックを行い、必要に応じ警報出力や変更の提案を行うシステムが乗務員整理支援システムです（図6）。

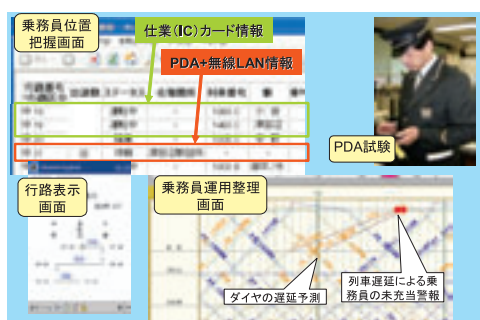


図6 乗務員運用整理支援システム

JR東日本の車載モニタを標準装備している新型車両は、運転士が持参したICカード（行路表用カード）を運転台に装着することで、運転時刻表がモニタ画面に表示できるようになっています。

乗務員運用整理支援システムでは、担当する運転士が乗務交代でICカードを運転台に装着した際、行路番号を通信装置を介して地上の乗務員運用整理支援システムに登録します。また、乗務員が持参する携帯情報端末（以下PDA）の位置把握機能により、どこの詰所で乗務員が待機中かがわかります。これらの位置情報を基に、列車の遅延や運休によって乗務員が列車に割り当てられない（未充当）状態が発生したという警告や、それを回避するための乗務変更案を作成します。また、その作成した変更情報を個々の担当乗務員に伝えるため、「乗務員用携帯情報端末（PDA）」を開発しました（図7）。



図7 乗務員用携帯情報端末（PDA）

PDAは、どこにいても変更情報をシームレスに受信できること、端末を持つことによって乗務員の現在位置を把握できること（どの列車に乗務中か、どこの詰所で待機中か）、従来のICカードに代わって、行路表の内容を蓄積し、必要により内容の表示できること等の機能が必要です。

この機能を実現するためにPDAへの通信手段は公衆無線網（PHS）を使用しました。また、位置検知にはPHSで簡易的に位置を検知する方式や無線LANによる位置検知の方式も開発しました。行路表情報のダウンロードや運転台モニタへ

の時刻表アップロードには無線LANを使用しています。

3.4 通告伝達システム

通告伝達システムは、指令員が運転整理のため東京圏輸送管理システム（ATOS）に入力した情報を基に、運転通告に必要な情報を自動作成し、人手を介さずに該当する列車の運転台モニタに表示し運転通告を行うシステムです。単に情報を送り出すだけではなく、指令員側では、送り出した情報が確実に列車に届いているか、乗務員がその情報を閲覧したかをタイマで監視し、必要な場合は警報を発して情報送受信の確実性を図っているのが大きな特徴です。また、運転通告情報の重要性を鑑み、通告施行箇所の一定地点前で、失念防止機能により乗務員に対して運転台モニタ表示器に再度注意を促す機能も開発しました（図8）。

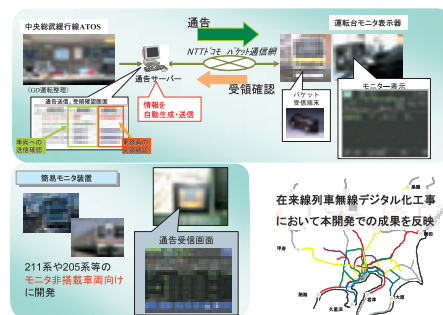


図8 通告伝達システム

運転通告や受領確認を送受信するため、中央・総武緩行線の全編成にパケット無線機や情報送受信装置等の車上装置を搭載しました。これにより、地上側から全ての列車へ情報伝達が可能になるだけでなく、逆に車上側から送信されてくる情報（列車番号、編成番号、担当乗務員の行路番号、車両の現在位置等）も各システムで利用することができます。この情報により、車両、乗務員の位置把握が可能になり、運用整理の支援をシステム化することが可能となりました。

通告伝達システムは、2004年4月に中央・総武緩行線で使用開始しました。今後は、在来線デジタル列車無線の導入にあわせて、首都圏線区への展開を進めています。また、首都圏以外の線区においても、雨量等による速度規制情報等を迅速に伝達することをめざし、「地方線区用通告システム」の開発も進めています。

いままで紹介してきたように、先端鉄道システム開発センターでは、列車ダイヤ乱れ時に平常ダイヤに早く復旧するためのシステムを開発してきましたが、このほか

にも輸送業務の近代化を図るために「Crew Management Support System」や「入換計画支援システム」の開発を進めています、以下に概要を紹介します。

4. Crew Management Support System

乗務員区所の運転当直業務は、輸送総合システムの導入により近代化が進んできていますが、未だに点呼簿の作成やチェック・携帯時刻表、乗務員の携行品の管理等に多くの時間および労力をとられ、最も重要な業務である社員の管理に充分専念できないような状況にあります。

この問題を解決するために、運転当直における新たな乗務員支援管理ツールとしてCrew Management Support System（以下CMSS）の開発を行いました。



図9 Crew Management Support System

CMSSは、輸送総合システムと協調し、出退勤管理機能、点呼モニタ機能、出先点呼機能、乗務実績出力機能を兼ね備えています。出退勤管理機能および点呼モニタ機能は、点呼に必要な情報を表示するとともに、乗務員の出勤状況を自動把握します。出勤時に行う点呼では、当直用モニタと乗務員用携帯情報端末（PDA）を使った方式とし、乗務員は当日乗務する最新の行路表データを乗務員自ら携帯端末にダウンロードします。これにより、これまで予め行っていた携帯時刻表作成やICカードの作成作業を大幅に軽減することが可能となります。

乗務終了時には、乗務変更や遅延、特記事項を報告する乗務報告書の作成を支援し、作成作業を軽減することが可能となりました。

また、出先地における点呼では、TV会議システムとアルコールセンサーを組み合わせ、画面上で乗務員の健康状態を把握しつつ、点呼中の呼気からアルコール成分

を検出する機能を開発しました。

今後は、必要な検証試験を行ったうえで実用化を目指します。

5. 入換計画支援システム

車両配置区所では検査や清掃作業のために、車両の入換作業を毎日行っています。おおよその作業計画は、ダイヤ改正時に決められますが、臨時の修繕、清掃のために日々の作業計画を前日に作成して使用しています。計画作成作業は、進路の有無や交差支障、留置可能量数等の構内制約条件などの各種条件を考慮しなければならない極めて複雑な作業です。また、予定していた作業計画が、当日の列車ダイヤ乱れによって変更になる場合には、迅速に再度計画を作成しなければならず、システム化が望まれていました。

入換計画支援システムは、この入換計画作成の部分をシステムで支援し、業務を近代化するだけでなく、今まで開発を進めてきた運転整理システム、車両運用整理支援システム、乗務員運用整理支援システムと連携することでより一層の「平常時ダイヤへの早期復旧」を達成することが可能となります。入換計画支援システムの開発を現在鋭意進めています。

6. おわりに

以上述べてきたように、先端鉄道システム開発センターでは、輸送業務の中でもっともシステム化が難しいと言われている「列車ダイヤ乱れ時のシステム支援」について、列車ダイヤ、車両運用、乗務員運用、通告伝達と一連の業務の流れをシステム化するという研究開発を進めてきました。

今後は開発したこれらのシステムの評価を行い、早急に実用化導入することにより、お客様に信頼されるシステムを構築していきたいと考えています。