

輸送管理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、「輸送の安定性向上」をめざし、ダイヤ乱れ時に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、列車ダイヤの変更を支援する運転整理システムや車両・乗務員の運用変更を支援する運用整理支援システム、また、その変更情報を伝える通告伝達システムを統合的に開発しています。

本稿では、輸送管理システムと密接に関係する、それらのシステム概要とつながりを紹介し、あわせて運転関係区所などで輸送管理に関係する入換計画支援システムを紹介します。

1. はじめに

鉄道の輸送関係システムは、大きく分けて列車を動かす段取りを決める「輸送計画システム」と、その段取りに従って列車を動かす「輸送管理システム」があります。

JR東日本では、輸送計画を作成・伝達・管理する「輸送総合システム (IROS)」、首都圏の輸送管理を担う「東京圏輸送管理システム (ATOS)」、その他の在来線には線区ごとに「進路制御システム (PRC)」が開発され、実用化されています。また、新幹線についても、輸送計画と輸送管理の両方の機能を持つ「新幹線総合システム (COSMOS)」が実用化されています。

「輸送管理システム」の大切な機能の一つは、毎日計画通りに列車の運行を制御することです。一方で、機器故障や事故などで列車の運行が乱れた場合に、より早く平常ダイヤに復旧するように支援することも、輸送管理システムの大きな機能の一つですが、現状では残念ながらまだシステム化が十分になされていません。

そこで列車の運行が乱れた場合に、お客さま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ダイヤに復旧させることを目的として、輸送管理に関係するシステムの開発を進めています。

開発システムには、列車ダイヤに関わる「運転整理システム」、車両運用（車両の使用方）に関わる「車両運用整理支援システム」、運転士・車掌などの乗務員運用（乗務の担当方）に関わる「乗務員運用整理支援システム」、変更情報を伝える「通告伝達システム」、そして運転関係

区所での車両の入換、転線作業に関わる「入換計画支援システム」があります。

「通告伝達システム」など、一部のシステムは既に実用化が始まり、残りのシステムも基本となる部分のシステムはできあがり、開発の最終段階を迎えています。

本稿では最初に、ダイヤ改正時に関係する「輸送計画」、次に日常の「輸送管理」の手配や処理方法を解説するとともに、関係する各システムの概要を紹介します。

2. 輸送計画と輸送管理

2.1 輸送計画

輸送計画には、その中心となる列車計画（列車ダイヤ）のほか、車両運用計画、乗務員運用計画、入換計画などがあり、これらを総称して輸送計画と呼びます（図1）。

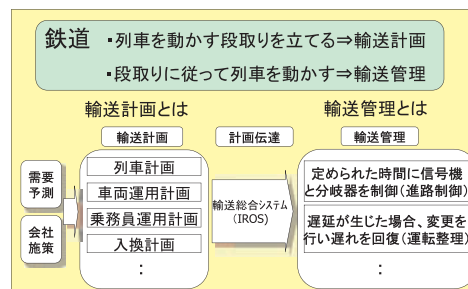


図1 輸送計画と輸送管理

輸送計画、特に列車ダイヤは鉄道事業の商品にあたり、列車ダイヤの良し悪しがお客さまのご利用を大きく左右します。この列車ダイヤを作成するには、まずお客さま

のご利用の実態を把握し、その上で将来の需要を予測する必要があります。ご利用の実態を把握するデータとしてODデータ（O：Origin、D：Destination）と呼ばれるデータがあります。これは、ある駅から別の駅まで行くお客さまが何人いるかを表したデータです。大都市交通センサス（公共輸送利用実態調査）は、この時間帯別ODデータを調査したものです。また、全線交通量調査や「ノリホ」（乗車人員報告）によって、どの列車がどのくらい混んでいるかが把握できます。最近ではSuicaや磁気乗車券を読み取る駅の自動改札のデータを利用してODデータを取得したり、車両の台車空気バネのたわみによる乗車率測定データを利用して混雑率を調査することが可能です。

こうして得たODデータや混雑率をもとに各種分析を行い、今後の需要を予測します。すなわち線区の輸送量を推定します。次にこのデータをもとに列車の運転区間、時間帯の必要列車本数、お客さまサービスなどを考慮して、使用する車種・形式、編成両数やその車両性能での運転時分の査定を行い、列車ダイヤ作成に移ります。ここで使用するシステムが「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「計画作成システム」を使って作成します。各支社の計画担当者が、画面上で対話形式により列車ダイヤや車両・乗務員運用を作成していきます。このシステムによりJR東日本管内の全線区の列車データや車両運用、乗務員運用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。

こうして作成した輸送計画を乗務員区所、駅、保守区所など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って、関係区所に配布され輸送計画を伝えていました。システム化されたことにより、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各種帳票がシステムから出力できるようになりました。

このように支社で作成された輸送計画がデータベース化され、システムにより関係箇所に伝えられます。

2.2 輸送管理（平常時）

輸送総合システムで作成された輸送計画に基づき、首都圏の場合はATOS、その他の線区ではPRCに、列車ダイヤと車両運用データが渡されます。

輸送管理システムは、列車ダイヤと車両運用データをもとに駅などの入出区に必要なデータを作成し、時間により信号機やポイントを制御します。

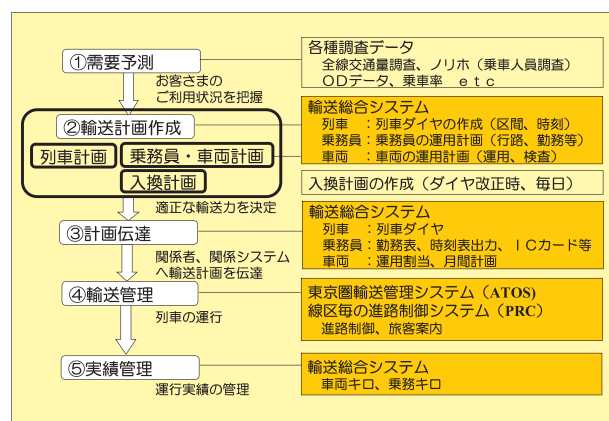


図2 輸送計画と輸送管理（平常時）

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、車両が手配され、担当の乗務員が列車に乗務します。駅では輸送管理システムにつながった制御装置が進路を設定し列車が運行されます（図2）。

3. ダイヤ乱れ時の輸送管理

3.1 運転整理

平常時はダイヤ通りに進路が制御され、列車が運転されていますが、事故や機器故障などが発生すると、列車が停止し、ダイヤが乱れることになります。

輸送管理をする指令室では、その状況にあわせて輸送計画を変更し、例えば、ある列車を途中駅で折返ししたり、運休させるなどして、できる限りの輸送力を確保します。そして運転再開後は、早く平常ダイヤに戻すための処置を行います。この作業を「運転整理」と呼びます。

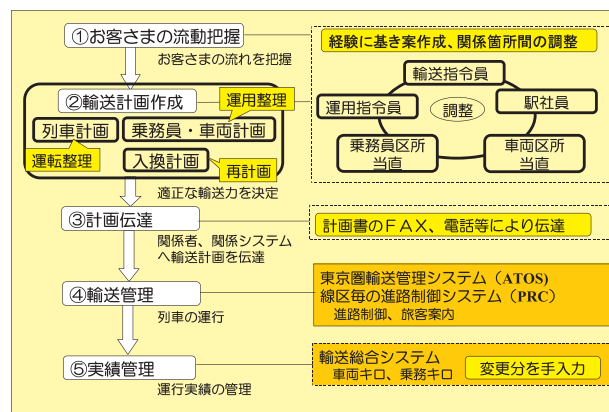


図3 ダイヤ乱れ時の輸送計画と輸送管理

現状の運転整理作業は、指令員と呼ばれる社員が、事故の大きさ、お客さまの混雑状況、現場の状況などの情報を収集し、今までの経験や知識に基づいて短時間でダイヤの変更案を作成します。そしてその作業と並行して、車両や乗務員の運用計画を各指令や関係区所などと調整し、指

令員が輸送管理システムに入力を行います。この変更入力により、列車ダイヤはその場で変更になり、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。

ただし、駅や乗務員区については、ダイヤ変更データは自動的に配信されず、指令室から指令員がFaxなどを用いて伝達しています。このように運転整理案の作成は計画担当の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まだ行われていません（図3）。

3.2 運転通告

運転整理により、走行中の列車に番線変更や折返しなどの変更が生じた場合、運転通告として変更情報を運転士や車掌に伝えなければなりません。これを「運転通告」といいます。運転取扱いを行う駅では、指令室からのFaxなどの変更情報より「運転通告券」を作成し、関係列車の乗務員に手渡します。また、運転取扱い社員がいない線区では、列車無線を使った「無線による運転通告」を行います。どちらの方法を用いても、確認のために復唱や「通告受領券」への記入など、時間と手間がかかる作業です。

3.3 運用整理

また、運転整理により列車ダイヤが変更されると、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変わってきます。これをできるだけ早く元の行路に戻すことを「運用整理」と呼んでいます。

乗務員区所では、指令室からFaxなどで送られてきたダイヤ変更情報をもとに乗務行路の持ち替え案を作成し、担当乗務員に電話などを使って変更を伝えます。この作業を乗務員の場合は乗務員運用整理、車両の場合も同様に車両運用整理と呼んでいます。現状では指令員と区所担当社員により連携や調整を取りながら作業を行っており、システムによる支援や提案はありません。

4. 平常ダイヤへの早期復旧のためのシステム支援

以上述べてきたように現状の輸送業務は、輸送計画から日々の輸送管理まで、平常時はシステムを使用して行っています。しかし、ダイヤ乱れが発生した場合、元のダイヤに復旧させるための「システムによる支援」は、他の鉄道会社でもほとんど無く、指令員が変更案を作成し、輸送管理装置に入力するというのが現状です。

そこでダイヤ乱れを早期に復旧するには、

- ① 現場の状況を正確に把握する。
- ② 状況に対応する列車ダイヤ変更案を作成する。
- ③ 列車ダイヤにあわせて車両と乗務員を確認する。

- ④ 変更案を輸送管理装置に入力する。
 - ⑤ 変更情報を関係者や関係箇所迅速に伝える。
- の5点を迅速、的確に実行することが必要です。

それでは、なぜ今までこの重要な領域にシステム化が行われなかったのでしょうか。

現場の状況を正確に把握することは、現状では乗務員からの無線連絡や駅からの画像情報等だけで、詳しい情報を得ることが出来ませんでした。列車ダイヤ変更案の作成については、今まで指令員の経験や知識などのノウハウを明文化したものがほとんど無いことや、列車の運転される線区による条件があまりにも違いすぎるため、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についても、運転再開直後にお客さま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るのが実態でした。また、システムを構築する上でのハード的な環境としても、CPUの処理速度やGUI（グラフィカルユーザインターフェイス）の問題、各種アルゴリズム（組合せ最適化問題）の適用研究が十分でなかったことも原因のひとつと考えられます。

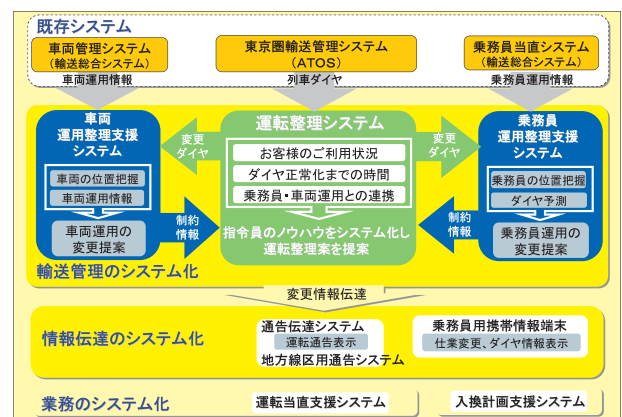


図4 平常時ダイヤへの早期復旧のためのシステム支援

変更情報の伝達、すなわち運転通告については、新幹線の駅や区所などでは、いち早くシステム（COSMOS）により自動伝達されていました。しかし、移動体である列車への伝達については、十分な容量の通信手段が無かったため、新幹線、在来線ともに、指令員による列車無線を使用した運転通告が行われてきました。

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決するために、「平常時ダイヤへの早期復旧」をシステムで支援する開発を進めています。

指令員の運転整理を支援する「運転整理システム」、ダイヤ変更をもとに車両や乗務員運用整理を支援する「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」、ダイヤ変更や運転規制などの運転通告業務を支援す

る「通告伝達システム」「地方線区用通告システム」の各システムを開発してきました。以下、各システムの概要と特徴を紹介します（図4）。

4.1 運転整理システム

車両故障や人身事故などにより列車ダイヤの乱れが発生した場合、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。これは、首都圏のように多くの列車が運転されている場合、運転整理を的確かつスピーディに行わないとダイヤの復旧がどんどん遅れてしまうことがあるからです。

列車は自動車のように遅れたからといって速度を増して運転することは出来ません。計画した列車ダイヤは、線区の最高速度、列車の最高速度で設定され、運転時分も決められています（多少の余裕時分はあります）。このため、ダイヤを復旧させるためには、列車を運休したり、途中駅で折返し変更などを行い、遅れを吸収する方法が多く使われます。

しかし、多くの列車を運休したり、折返し変更をすれば、その分早くダイヤは元に戻りますが、駅では多くのお客さまがお待ちになったり、列車が非常に混雑したりして、お客さまの不満が増すばかりでなく、逆に駅では乗り降りに時間がかかり、運転整理をしたためにかえって遅れが増すことにもなりかねません。

このように、どこの駅で、どの列車を運休したり折返し変更の運転整理をするかは、経験豊かなベテラン指令員の知識や腕に頼って行っているのが実情です。

これまでも、既存のPRCからの実績ダイヤをもとに数時間先の列車ダイヤを予測し、この予測をもとに列車増延の原因になりそうな箇所に警報を表示するなど、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、このような部分的に警報を表示する支援システムは、ある時間のある場所での増延は解消できますが、逆に、この処置により他の場所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、ダイヤ全体を見渡して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、それを運転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まったく考慮しないで運転整理案を作成しても、運転整理としてなりたらず、結局作り直しとなってしまうこともあり、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す。

そこで、以上のような状況を改善し、ダイヤ乱れ時に

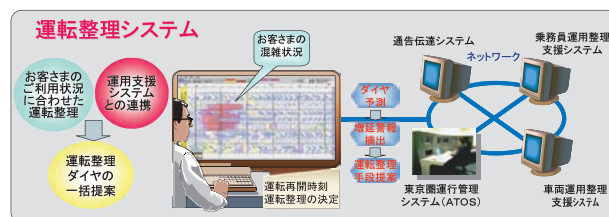


図5 運転整理システム

システムで運転整理案の作成を支援するとともに、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の開発を進めてきました。

このシステムの大きな特徴は、

- ① お客さまのご利用状況を加味した運転整理
 - ・各列車の乗車人員をもとにした時間帯の輸送量を考慮
- ② 指令員の方針を反映した運転整理
 - ・ダイヤの復旧時間を指定できる
- ③ 車両と乗務員の運用を加味した運転整理
 - ・車両の検査、乗務員の運転可否線区のチェック
- ④ 運転再開時からダイヤ復旧までの運転整理案作成
 - ・部分提案ではなく一括した運転整理案作成

を考慮したシステムです。これにより、全体的にバランスの取れた運転整理の提案が可能となります（図5）。

4.2 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にATOSに入力した変更情報をもとに、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するシステムです。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ーで監視し、必要場合は警報を発して、情報の送受信、閲覧の確実性を図っているのが大きな特徴です。また、運転通告の重要性に鑑み、通告施行箇所の一定地点前に、失念防止機能によって乗務員に対し運転台モニタに再度注意を促す機能も開発しました。



図6 通告伝達システム

通告伝達システムは、中央・総武緩行線で実用化され、現在は在来線デジタル列車無線の導入にあわせて、首都圏に展開を進めています。なお、線区展開にあわせて、防災情報システム（PreDAS）の雨や風など、運転規制情報も通告できるように機能アップが図られています（図6）。

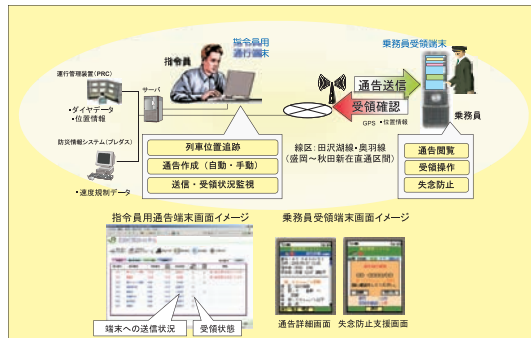


図7 地方線区用通知システム

首都圏以外の線区においても、雨や風などの速度規制の運転通告を迅速に伝えるため、「地方線区用通告システム」を開発しています。このシステムは、首都圏で開発した通告伝達システムをベースに、ATOSのような運行管理装置が無く、また車両にモニタ装置が無い地方線区においても、通告業務をシステムで支援するものです。乗務員が持参する携帯端末で列車の在線を把握し、通告内容もその携帯端末を使って表示します。受領確認などの機能は、首都圏と同等になっています。なお、通信インフラは携帯電話などと同じ公衆回線を利用しています（図7）。

4.3 運用整理支援システム

運用整理支援システムについては、「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」を開発してきました。

4.3.1 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となります。「運用整理（当日の使用計画に戻す）」の仕方によっては、ダイヤ復旧時間が遅れたり、翌日以降の「運用戻し（月間使用計画に戻す）」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および区所の担当者へ提供するとともに、運用整理などの提案を行うことにより、ダイヤ乱れ時の整理作業を支援するシステムを開発しました。

支援システムでは、列車番号とそれに対応する編成番号が常時モニタできます。ダイヤ乱れ時には、車両形式上の制限や検査などの制約条件から、当日の運用上の警報出力（未充当、検査回帰などの各種チェック）、その回避提案を行う「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」の二つの機能を持たせました。中央・総武緩行線でシステム開発を行い、そのうちの一部機能が、在来線デジタル無線導入に伴い中央急行線に導入される予定です（図8）。

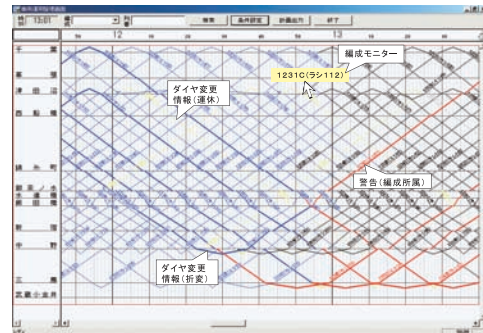


図8 車両運用整理支援システム

4.3.2 乗務員運用整理支援システム

列車には、運転士、車掌の乗務員を割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も担当乗務列車が変わるなど変更が生じます。運用業務を担当する指令員や乗務員区所の運転当直は、乗務員が列車の遅れ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るなどの指示をします。また、ダイヤ復旧後は変更した行路を元の行路に戻す整理を行います。もし、手配遅れや漏れなどが発生すると、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、警報出力や乗務変更提案を行うシステムが乗務員運用整理支援システムです。

支援システムは4つの大きな機能により構成されています。

1つ目は、乗務員の位置把握機能です。乗務員が持参する携帯情報端末（PDA）により、詰所に待機中、列車に乗務中などの位置がわかります。無線LANやGPSの技術を使用します。

2つ目は、乗務変更の提案機能です。列車の遅延や運休、途中折返し変更などによって乗務員が割当てられない（未充当）状態が発生したとき、位置情報をもとに乗務変更案を作成する機能です。

3つ目は、変更情報の伝達機能です。作成された変更案を公衆通信網で、乗務員のPDAに送信します。情報が確実に伝わるように受領確認の機能も有しています。

4つ目の機能は、オプションですが、無線LAN技術を使用し時刻表を運転台モニタに伝送する機能です。JR東日本の乗務員は、携帯時刻表とICカード（仕業カード）を使用して運転していますが、ダイヤ乱れ時に乗務変更を指示された場合、変更列車の時刻表は持っていません。このため、現状では乗務員が待機している詰所や駅にFax

で携帯時刻表を送り、これを乗務員に渡しています。支援システムでは携帯端末を利用して、作成した乗務変更をPDAに伝送します。乗務員はPDAにて変更された行路や持ち替える列車の時刻表を見ることができます。さらに、運転台に乗車してPDAを操作することにより、時刻表をモニタに転送・表示することができます。

このシステムの開発は、最終段階を迎えており、早期の実用化に向けて、確認試験を進めています(図9)。

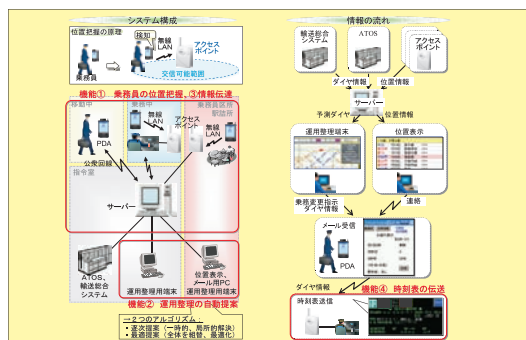


図9 乗務員運用整理支援システム

5. 入換計画支援システム

今までは本線を走行する列車の輸送管理として、ダイヤ乱れ時に平常ダイヤに早期復旧を支援するシステムについて述べてきました。ここでは、平常時でもダイヤ乱れ時でも、輸送管理業務に関係する車両配置区所の入換作業を支援するシステムを紹介します。

車両配置区所では、検査や清掃、給水などの作業のために、車両の入換作業を毎日行っています。毎日のおおよその作業計画は、タイヤ改正時に決められていますが、臨時の修繕や清掃のために、日々の作業計画（入出区や転線計画）を前日に作成して使用しています。計画を作成する作業は、清掃や車両洗浄などの作業可能番線、留置可能両数、進路の有無や交差支障などの構内制約条件のほか、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、当日のダイヤ乱れによって変更になる場合は、迅速に再度計画を作成しなければなりません。このため、入換計画の作成は、区所でも経験を積んだベテラン社員が行っています。

入換計画の作成は、各編成（車両）が区所への入区から出区までの間に、検査や清掃などの作業を行うため、番線を移動する順序を決められた条件を守りながら作成する組合せ最適化問題です。この問題は総当りで調べていくと演算が膨大となり、時間が掛かってしまうか、解が求まらない場合もあります。そこで開発には、解を効率よく得る技術として制約論理ソフトを使用しました。

開発した支援システムには、以下の3つ機能があります。

① 基本入換計画機能

- ・ダイヤ改正ごとに作成する基本入換計画を、各種制約条件を守り作成します。

② 日別入換計画機能

- ・作業対象日の日別入換計画を作成します。また、部分修正のための手動介入も可能です。ダイヤ乱れ時に使用して再計画を行います。

③ 帳票機能

- ・入換計画順序表、出区表の帳票出力をします。



図10 入換計画支援システム

これらの機能を持った「入換計画支援システム」を習志野運輸区構内をモデルにプロトタイプとして開発しました。

基本機能の確認が終わり、今後はフィールド試験を行う予定です。「入換計画支援システム」の実現により、業務を近代化できるだけでなく、今まで開発を進めてきた「車両運整理支援システム」と連携することで、より一層平常時ダイヤへの早期復旧の達成が可能となります（図10）。

6. 今後の開発

JR東日本研究開発センターでは「次世代の首都圏鉄道システム」をめざした開発を進めています。将来の首都圏輸送では、平常時においてもダイヤ乱れ時においても、お客さまのご利用状況に合わせた弾力的な輸送と適時適切な情報をお客さまに提供することが求められます。今後は今までに開発した要素技術をもとに、「次世代の首都圏鉄道システム」のサブシステムである「次世代の輸送管理・運行管理システム」に今までの成果を活かし、お客さまに信頼される輸送をめざしていきます。

参考文献

- 1) 富井、福村、坂口、平井：鉄道のスケジューリングアルゴリズム エヌ・ティー・エス 2005