

輸送システムの現状と研究開発



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 渡邊 貴志

JR東日本では、効率的な輸送計画の作成・伝達を行うために、運転曲線作成システム（ヘラクレス）や輸送総合システム（IROS）といった輸送システムを開発してきました。ここでは、それらのシステムの概要を、ダイヤ作成、ダイヤ伝達、輸送管理の順に、業務の流れに沿った形で紹介します。

また、現在の課題である「平常時ダイヤへの早期復旧」を目的として、現在開発を進めている運用トータル管理システムの概要についても紹介します。

1 はじめに

輸送システムは、効率的な輸送計画の作成、伝達や輸送計画に基づく輸送管理を行うシステムです。

JR東日本では、ダイヤの作成・伝達・管理を行う「輸送総合システム」、ダイヤ作成に必要となる運転曲線を作成する「ヘラクレス」システムや、首都圏の輸送を管理する「東京圏輸送管理システム（ATOS）」などを開発し、システム化を進めてきています。

一方、列車運行が乱れた場合に、お客様への影響を最小限にして、ダイヤを平常状態に復旧させることも輸送システムがサポートすべき課題ですが、現状では、システム化されていません。この課題については、「運用トータル管理システム」として、現在研究開発を進めています。

ここでは、これまでに開発・導入されたシステムおよび現在開発を進めているシステムの紹介を行いたいと思います。

2 輸送計画の作成

2.1 需要予測

まず、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。この需要予測を行うために必要なデータとしてODデータと呼ばれるものがあります（O：Origin，D：Destination）。これは、ある駅から別の駅まで行くお客様が何人いるかを表したデータです。このデータは、例えば旅客流動調査や、自動改札の情報など、各種のデータから求めています。

このODデータをもとに、需要予測を立てることになりますが、大規模なシステムを使用するのではなく、各種のアルゴリズムを利用した分析手法を利用します。その手法の代表的なものとしては、1960年代にMITによって確立された四段階推定法などがあります。（詳細については省略します）

2.2 車両の選定

需要予測等により輸送量が想定されると、次に線区の運転区間、時間帯の必要輸送力、お客様サービスなどを考慮して、使用する車種・形式、編成両数を決定します。これもシステムのデータベース等を利用しますが、経験豊かな人での仕事が主となります。

2.3 運転時分の算定

列車ダイヤを作成するためには、すでに決定された車両によって各々の駅間を何分で運転できるか分らなければなりません。この時分のことを基準運転時分といいます。基準運転時分は、列車を運転する場合の駅間における計画上の最小所要時分のことです。この時分を算出するために必要となるのが、運転曲線図と呼ばれるグラフです。

運転曲線図は、列車の走行状態をグラフ化したもので、列車の距離と速度の関係を表しています。一般的には、「ラン・カーブ」と呼ばれています。

JR東日本では、この運転曲線を作成するシステムとして、1992年に運転曲線作成システム「ヘラクレス」を開発しました。ヘラクレスでは、図1のように、線路データ（距離、勾配、曲線等）と車両データ（加減速性能等）を基礎データとして管理し、与えられた条件下のもとで最小運転時分の運転曲線を作成します。また、この運転曲線をもとに、基準運転時分表を作成します。

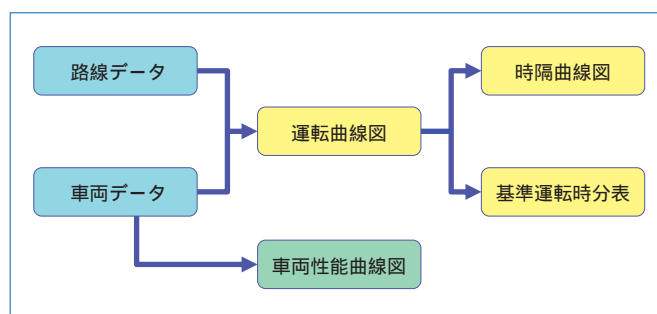


図1：ヘラクレスの仕組み

また、2002年には、このシステムを汎用コンピュータでも使用できるようにした「PC版ヘラクレス」を開発し、各支社の輸送担当者の実務や、研究開発センター、東京電気工事事務所等の研究開発、工事関係などでスピードアップや線路改良工事のシミュレーションに使用しています。

2.4 輸送計画の作成

需要予測、車両の選定及び運転時分の算定の後、具体的な輸送計画（列車ダイヤ）の作成に入ります。ここで使用するシステムが輸送総合システム（IROS）と呼ばれるシステムです。

ここで、輸送総合システムの概要を説明します。輸送総合システムの構成は、図2のようになっています。このシステムは大きく以下の4つのサブシステムに分かれています

- ・「計画作成システム」
- ・「計画伝達システム」
- ・「実績把握システム」
- ・「車両管理システム」

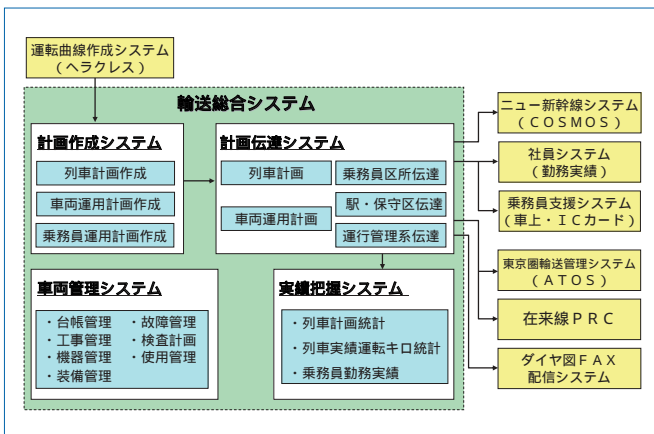


図2：輸送総合システムの構成図

計画作成システムでは、支社での列車ダイヤ、車両運用、乗務員運用の作成業務を近代化するシステムです。計画伝達システムは、支社で作成された計画を駅、乗務員区に伝達するシステム、実績把握システムは、運転実績の報告・集計を自動化するシステム、車両管理システムは、車両の機器管理や故障などの情報を一元管理するシステムです。

この輸送総合システムの導入により、JR東日本管内の全ての線区のダイヤ情報がデータベース化され一元管理されるようになっています。

話を戻しますが、列車ダイヤ作成は、輸送総合システ

ムの「計画作成システム」で行われます。

計画作成システムでは、支社などの列車の計画担当者が、コンピュータ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を作成します。これまで、人間が紙と鉛筆を使用し、注意力に頼っていたダイヤ作成を、システムで行うことにより、大幅な時間の短縮と計画ミスの削減させることが可能となりました。

3 輸送計画の伝達

次に、作成された輸送計画を関係箇所へ伝達する業務について説明します。

従来、計画の伝達は「運転報」とよばれる印刷物で関係箇所へ伝えられていました。関係箇所では、この運転報に掲載されている列車の時刻、番線等の運転情報や、車両や乗務員の運転計画などを抜粋し、紙のダイヤに書き込む等の作業を行っていました。これは、駅、運転区所、保守区等のすべての職場で行われ、またミスを防ぐために、複数の社員が2重、3重のチェックを行うなど、膨大な人手を要し、非常に神経を使う業務でした。

この業務をシステム化したものが、輸送総合システムの「計画伝達システム」です。

まず、支社においては、時刻表や列車ダイヤ作成の自動化により、担当者の負担が軽減され、実施ダイヤも出力されるようになりました。

乗務員区所においては、臨時列車の運転に伴い、毎回行っていた「携帯時刻表」の作成業務から解放されたら



図3：輸送総合システム導入前後の作業フロー

かりでなく、勤務計画として勤務指定表、点呼簿等が出力されるようになりました。

また駅・保守区においては、それぞれの業務に必要な運転状況表や見張用列車ダイヤの自動作成が可能になり、業務量の軽減と安全性が向上しました。従来の運転報を抜粋する作業では、例えば臨時列車の抜粋が漏れてしまうと、線路内作業中に列車が走行してきて、触車事故につながる可能性もありましたが、このシステムによりそうしたミスを防ぐことができるようになりました。

図3に示す通り、輸送総合システムの導入により、従来行われていた運転報の抜粋業務が基本的になくなり、安全性の向上、業務の大幅な効率化につながっています。

4 輸送管理

4.1 平常時

2項、3項で作成・伝達された列車ダイヤに基づき、列車の運行が行われることとなります。この列車の運行を管理するシステムとして、例えば東京圏輸送管理システム(ATOS)などがあります。既にATOSについては紹介されていますので、詳細は省きますが、輸送総合システムからのデータをもとにATOSに必要なダイヤを作成し、駅の進路制御装置に伝達します。進路制御装置では、そのダイヤデータに基づいて信号、ポイントの制御を行っています。また、そのダイヤデータは進路制御に留まらず、お客様に対する案内情報としてLED掲示器等に表示されたり、自動案内放送に使用されています。

4.2 ダイヤ乱れ時

このように、通常時はダイヤ通りに進路が制御され、列車が運行されていますが、何らかの事故が発生すると、列車が停止し、列車ダイヤが乱れることとなります。

列車の運行を管理する指令室では、人身事故や装置故障等が発生した場合、その事故の状況に合わせて、運転計画を変更し、例えば、ある列車を途中駅で折り返させたり、運休させるなど、できる限りの輸送を確保するとともに、事故復旧時に、できるだけ早く平常ダイヤに戻すための操作を行います。この作業を「運転整理」と呼んでいます。ATOSが導入されている線区では、この操作を指令室にいる指令員が、グラフィックディスプレイ(GD)に表示されたダイヤデータをマウスで直接操作して、変更情報を入力することにより、その変更データ

に基づいて、駅の進路制御や案内表示も自動的に変更されるようになっていきます。

ただ、運転整理の内容は、指令員の判断で行われており、システムによるサポート等は現状では行われていません。

また、運転整理により列車運行が変更されたことによって、車両の運用や乗務員の運用も当初計画とは大きく異なってきますが、この運用変更についても、現在は指令員や区所社員の判断でおこなわれているのが現状です。

5 運用トータル管理システム

以上のように、輸送関係のシステムは列車の計画段階から、列車の運行管理まで一部の作業を除いて順次システム化が進められてきました。そしてこれにより、ダイヤ改正作業や日々の作業はかなりの部分が省力化、近代化されてきています。

しかし、事故や故障等で輸送混乱が発生し、列車ダイヤが乱れた際には、ダイヤを早期回復させるための「システムによる支援」は、どこの鉄道会社を見回してもほとんど無いというのが現状です。このため輸送混乱時の変更案の作成(運転整理、運用変更)や変更案の伝達(指令伝達)等のシステム化が望まれてきています。

それでは、なぜ今までこの大切な領域にシステム化が行われなかったのでしょうか。変更案の作成、すなわち運転整理案作成については、指令員の知識や経験等のノウハウを明文化されたものがほとんどなく、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むずかしいものにしていたと考えられます。また、車両、乗務員運用の運用変更案作成については、運転再開直後の輸送を確保するために行う指令員による手配後、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す。システムを構築する上でのハード的な環境においても、CPUの処理速度の問題や各種アルゴリズムの適用研究が十分ではなかったことも原因のひとつと考えられます。

変更案の伝達、すなわち指令伝達については、新幹線の駅や区所等では、いち早くシステムにより情報が自動伝達されていましたが、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、指令員による無線を使用した運転通告が行われてきました。在



図4：運用トータル管理システム概要図

来線についても通信媒体はアナログ列車無線しかなかったため、指令員から駅にFAXされた情報をもとに運転通告券を作成し、それを駅社員が乗務員に手渡すという方法で行われていました。

先端鉄道システム開発センターでは、この領域の問題を解消するために、指令員から列車の乗務員へ運転通告を自動的に行う「通告伝達システム」、車両運用の整理作業を支援する「車両運用整理支援システム」を開発し、基本機能の確認などをおこなって来ました。また、乗務員運用の整理作業を支援する「乗務員運用整理支援システム」、指令員や区所の運転当直から乗務員個人へ直接情報伝達を行う「乗務員用携帯情報端末」についても現在開発を進めています。そして今までに開発してきた4つの各システムを図4に示すように統合し「運用トータル管理システム」と名づけ、現在、中央・総武緩行線をモデル線区として、全編成、全乗務員（乗務員運用については運転士のみ）による総合試験を実施しています。

以下「通告伝達システム」、「乗務員運用支援システム」、「車両運用整理支援システム」、「乗務員用携帯情報端末」の概要と「運用トータル管理システム」の統合を可能にした通信インフラ設備等について紹介します。

5.1 通告伝達システム

通告伝達システムは、図5に示すように、指令員が運転整理のためATOSに入力した情報を、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。

もちろん、情報をただ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、また、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送受信の確実性を図っているのが大きな特徴です。



図5：通告伝達システム概要図

この情報を送受信するために、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も各システムで利用することができることになりました。この情報こそが今回の車両、乗務員運用整理支援システムを可能にしたといえる大切なものです。

車上から逐次送信されてくる情報は、その時々列車番号（編成は1日にいろいろな列車番号の列車になりま

す) 編成番号、現在地、キロ程、担当乗務員の行路番号が含まれます。この情報によりダイヤ乱れ時においても、図5に示す通り、「車両運用整理支援システム」での車両の位置、編成名の把握、「乗務員運用整理支援システム」での乗務員の位置、行路番号の把握を可能にしています。



図6：車上装置の搭載と車上からの情報

5.2 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。変更の仕方によっては、ダイヤ平復が遅れたり、ダイヤ平復後の「運用戻し」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共に、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。

システムの初期値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の変更情報はATOS入力から、また、列車からは通告伝達システムで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が順次地上のシステムに送られてきます。これにより計画外の編成を出区に充当した場合やATOS線区外で変更が行われても編成の追跡が可能となります。

支援システムは、これらの情報と車両形式制限等の制約条件から、列車の編成番号のモニタ、当日の運用上の警報出力、運用整理提案を行う「運用整理機能」と、翌日以降の検査を元の月間検査計画に戻すための提案、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行う「運用戻し機能」の2つの機能を持たせました。また、運用戻しのアルゴリズムには組合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。車両運用整理機能で表示される画面例を図7に示します。



図7：車両運用整理機能の画面例

5.3 乗務員運用支援システム

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必要があります。列車の運行に乱れが生じたとき、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、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、元の計画へ戻す整理を行います。もし、手配の遅れや漏れ等が発生すると、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警報を出したり、必要な変更情報を担当者へ提供すると共に整理提案を行うシステムを開発しています。

変更情報は指令員によるATOS入力をから、位置、行路情報は乗務員が仕業カードとして使用しているICカード内の行路番号を利用しています。

JR東日本では、車載モニタを標準で装備している新型車（209系以降の通勤車と651系以降の特急車）では、運転士が持参したICカードを運転台に装着することで、運転時刻表がモニタに表示されるようになっています。このときに、担当運転士の行路番号が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されます。これらの情報を基に、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ていない（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整理案を提示する仕組みになっています。

5.4 乗務員用携帯情報端末

乗務員運用整理支援システムでは、各種警報や未充当を回避するために乗務変更案を作成しますが、その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）」の開発を進めています。外観と表示例を図8に示します。

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担当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）従来の仕業カード（ICカード）に代わって、行路表の内容を蓄積、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（パケット通信）を使用し、位置検知や行路表情報のダウンロード、アップロードには無線LANを使用しています。



図8：乗務員用携帯情報端末

6 今後の輸送システムの方向性

以上述べてきましたように、JR東日本では輸送業務の中でもシステム化が非常に難しいと言われているダイヤ乱れ時のシステム支援についても研究開発を進めてきました。

これにより、列車ダイヤ等を作成し関係箇所へ伝達する「輸送総合システム」、列車の日々の輸送を管理する「東京圏輸送管理システム（ATOS）」、当日のダイヤ乱れの変更に対応する「運用トータル管理システム」と一連の作業がシステム化されてきています。

しかし、この線区はこの季節にどのような種類の何本の列車が必要か等、列車設定に関する部分とダイヤ乱れ時に指令員が行う運転整理の部分については、知識や経験豊かな担当者の腕に依然として頼っているのが現状です。研究開発センターではこれらの課題にも積極的にチャレンジしていきますが、特にダイヤ乱れ時、平復時間に多大な影響を与える「運転整理のシステム支援」を今後は重要なテーマとして取り上げていきます。

首都圏の朝の通勤、通学時間帯は列車の本数が非常に多いため、指令員自身が整理案を作りそれを入力して列車を管理することはすでに限界になっていると思われます。今後は、システムに指令員の知識や経験のノウハウを取り入れ、運用トータル管理システムで可能になった車両、乗務員運用情報を活用することによって運転整理の自動化を進めていきたいと考えています。

参考文献

- 1) 脇田康幸, 富井規雄, 藤森聡二, 後藤浩一, 青木俊幸：鉄道とコンピュータ, 共立出版, 1998.
- 2) ジェイアール東日本情報システム：ソリューションへの挑戦と実績, 交通新聞社, 2000.
- 3) 富井規雄, 脇田康幸, 後藤浩一, 青木俊幸, 佐々木君章, 福村直登：鉄道システムへのいざない, 共立出版, 2001.