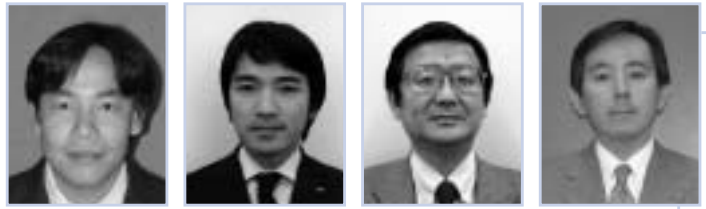


運用トータル管理 システムの開発



原 啓太* 小島 央士* 辺田 文彦* 渡邊 貴志*

列車ダイヤ乱れ時における各種作業の中で、指令から乗務員への運転通告・情報伝達や車両・乗務員運用の整理作業は人手で行われているが、これらの作業が的確かつ迅速に行われないと平常ダイヤへの復旧が遅れてしまう。これまで、これらの作業を自動化または支援するシステムとして「通告伝達システム」「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」「乗務員用携帯情報端末」を個別に開発してきたが、本開発では、各システムを組み合わせることで中央総武緩行線にて総合試験を実施することにより、列車ダイヤ乱れ時における各システムの有効性の検証を行っている。

キーワード：運転通告、運用整理、ATOS、パケット通信、仕業カード、無線LAN

1 はじめに

中央線・東海道線といった大動脈線区やそれらを環状で結ぶ山手線を抱える首都圏では超高密度な運転が行われており、ひとたび人身事故、踏切事故など重大事故が発生すればもちろんのこと、数分程度の列車停止などでも正常な運行に対して多大な影響を及ぼし、大きな輸送混乱へとつながる。このような輸送混乱が発生した場合、輸送指令では列車の運休、折返し変更等の運転整理手配を行い、平常ダイヤへの復旧を図っているが、ときには列車本数の多さと予想できないお客様の流れにより、平常ダイヤに戻るまでに長時間を要し、結果としてサービス低下を招くこともある。

このような中、当社では首都圏に東京圏輸送管理システム ATOS (Autonomous Decentralized Transport Operation Control System) を順次導入し、お客様への情報提供や列車の進路制御の自動化を図っている。しかし、輸送指令～列車の乗務員への運転通告や乗務員への情報伝達、車両・乗務員運用の整理作業については、システム化が進まず、いまだ人手で行われており、ダイヤ乱れの早期復旧を図るには、これらの情報伝達や運用整理を自動化または支援するシステムが必要である。

そこで、これまでに輸送指令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行ってきた。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」、指令や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る。これらのシステムを統合し、

中央総武緩行線をIT化のモデル線区として総合試験を実施することにより、実際のダイヤ乱れ時に各システムの試験を行い、機能、操作性、有効性などについて評価を行っている。以下に各システムについて紹介する。

2 通告伝達システム

2.1 運転通告の現状

2.1.1 運転通告とは

運転整理を計画通りに実施するには、輸送指令から乗務員へ運転整理計画を指示・連絡することが必要となる。例えば、走行中の列車をやむを得ず途中駅から運転を取りやめる場合、運転士はもちろんのこと、乗車中のお客様に対して車内放送等で案内する車掌にも予め指示・連絡しなければならない。このような、輸送指令から乗務員に対してダイヤ変更等の重要事項を指示連絡する作業を「運転通告」といい、現状では本線上での運転通告の手段として、(a) 駅社員を介した運転通告、(b) 列車無線による運転通告の2種類がある。(図1)

(a) 駅社員を介した運転通告



(b) 列車無線を使用した運転通告

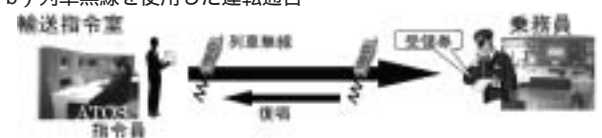


図1：現在の運転通告の方法

2.1.2 運転通告の方法

2.1.2.1 駅社員を介した方法

ATOS線区では一般的に、輸送指令の運転整理計画者はダイヤ変更事項を「運転計画書」に記入し、データ入力担当者はその内容をGD (Graphic Display 図2) 装置へ入力している。この「運転計画書」は主要駅に対してFAXしており、駅社員はこれをもとに必要事項を「運転通告券」(図2) と呼ばれる紙に記入して乗務員にそれを直接渡し通告しており、手間が掛かるだけでなく、運転整理計画者はこの一連の作業が行われる時間を考慮する必要がある。

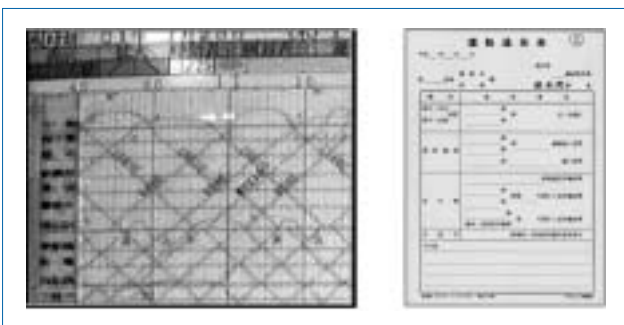


図2：ATOS入力画面（一部）と運転通告券

2.1.2.2 列車無線を使用した方法

列車無線を用いて輸送指令～乗務員間で直接会話して行う運転通告は、急遽の場合などには非常に有効な手段ではあるが、その反面、乗務員は無線で受領した内容を「運転通告受領券」に記入しなければならないため、手間が掛かるだけでなく、書き間違えることも生じ得る。また現在使用されている列車無線には、少チャンネル数のため一対多での通話ができない。ブレーキ扱い中の運転士やドア開閉扱い中の車掌は無線に出ることは出来ない、といった弱点もある。

2.1.3 開発の目的とコンセプト

運転整理を計画通りに施行し、平常ダイヤへの復旧時間を短縮するためには、上述のような手間と時間を要す運転通告作業を、よりスムーズに行うことが求められる。

なおこのシステムでは、以下の4点をコンセプトとして開発を進めた。

- (1) ATOS・運転台モニター装置等既存設備の活用
- (2) 通告発生時には輸送指令の新たな入力操作なしに、情報を自動的に生成・伝達すること
- (3) 通告の確実な伝達と、乗務員の受領が確認できる
- (4) 専用の通信インフラを設けず汎用通信技術を活用

2.2 開発概要

2.2.1 システム概要

通告伝達システムは、地上装置と車上装置の2つに分かれる。(図3)

地上装置では、輸送指令がATOSに入力した運転整理のうち、乗務員に伝達すべき情報を通告サーバー内で自動的に抽出・編集する。通告サーバーではATOSの在線情報と車上から送られてくる列車番号・編成番号・IPアドレスで対象となる列車を判断し、送信用データに変換後、専用線で汎用通信網へと送信する。

地上～車上間の伝達手段については、(株)NTTドコモの packet 通信を使用した。packet 通信を採用した理由は、地上と個々の列車間は常時接続状態にしておくことが可能で、発生した情報はすぐに伝達できる利点があるだけでなく、ランニングコストにおいても通信したpacket量による従量制であるので廉価となるためである。

車上装置のpacket受信端末で受信したデータは、情報送受信装置でプロトコル変換され列車情報管理装置へ送られる。列車情報管理装置は受信号車(10号車)モニターに表示させるとともに、必要な場合には反対側運転台(1号車)に伝送しモニター表示させる。

また運転通告以外では、旅客情報(周辺線区の運転状況等)も同様の経路で運転台モニター装置に表示可能である。ATOS線区では、お客様向けに運行情報等の案内文を駅ホーム発車標に表示したり、駅社員に対して情報を発信するため、旅客指令がATOS旅客端末装置に情報を入力しており、このデータを通告サーバー内で配信すべき列車を自動的に決定したうえで伝送する。

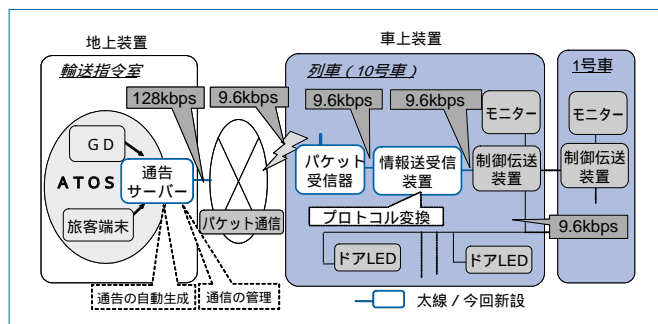


図3：通告伝達システムブロック図

2.2.2 通告伝達システムの主な機能

2.2.2.1 車上装置 列車番号管理機能

ATOSでは、列車番号や在線位置情報は管理しているが、編成番号については管理していない。しかし、実際の列車(編成)は終着駅で折り返すたびに列車番号が変化していくため、車上装置(packet受信端末)のIPアドレスと列車番号の動的関連を常に追跡する必要がある。

そこで本システムでは通告サーバー内に列車番号/編成番号対応管理テーブルを構築し、車上側の状態変化時(折り返しの列車設定時や、乗務員の交代時等)から受信した編成番号、端末IPアドレス、列車番号、走行位置と、ATOS装置内

で管理している列車番号・在線位置を常時対照することにより、正確な伝送先列車を特定することを可能とした。(図4)

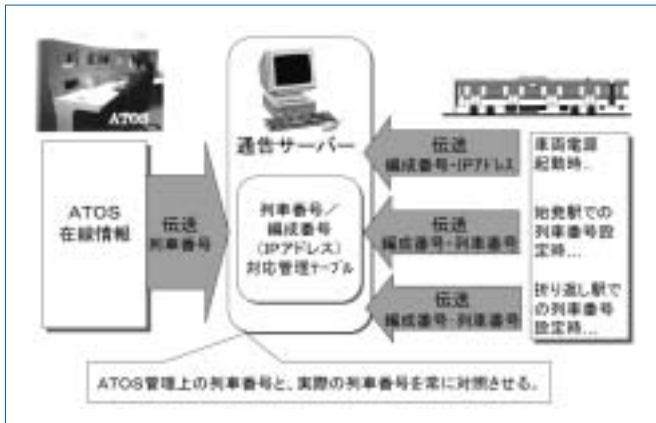


図4：車上装置 - 列車番号管理機能

2.2.2.2 受領確認監視機能

運転通告は現状でも、駅社員からの通告完了報告や乗務員からの内容復唱など一定の伝達手順を踏むことにより、情報伝達の確実性を保っており、本システムにおいてもこの確実性を確立する仕組みを設けた。

車上装置は通告受信完了後、「送信完了」データを地上装置に送信する。さらに、モニター画面上に受領確認ボタンを設け、乗務員のボタン操作により、「受領確認完了」データを地上装置に送信する機能を持たせた。



図5：運転台モニター表示(時刻変更受信)

(図5)

一方地上装置側では、通告サーバー内に受領確認監視テーブルを設け、各通告内容の送信時刻、「送信完了」「受領確認完了」データの受信状況を格納し、図6に示すように画面上でその状況を確認することができる。また一定時間内に送信完了や受領確認が行われない場合には、警報出力や自動再送を行うことで、指令員が通告サーバーを常時監視する必要をなくし、指令員の負担軽減を図った。

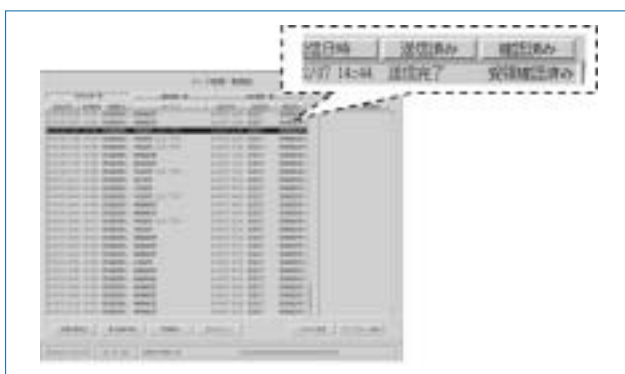


図6：通告サーバー画面(受領監視)

なお、受領確認を必要とする情報は指令伝達情報として区別し、受領確認が不要な情報としては、前述の旅客情報および延発とし、延発については運転情報という種別に定めた。

2.2.2.3 失念防止機能

車上で受信した通告内容は、モニター装置に表示するだけで「紙」に残らないため、これまでのように運転台に掲出しておくことは不可能である。このため、乗務員が変更事項を失念する危険性があり、ヒューマンエラーを防止する機能が必要である。

そこで変更事項施行駅より一駅前にモニターに注意喚起の表示を行う機能を設けた。また過去に受信したデータは、車上装置内に蓄積しておくことが可能で、乗務員が内容を確認したいときには、ボタン操作によりいつでも参照できるようにした。

2.2.2.4 車内案内表示機能

受信した旅客情報は運転台モニターに表示させるだけでなく、車内ドア上部の表示装置にスクロール表示させることで、乗車中のお客さまに対してもタイムリーな情報提供を可能とした。(図7)



図7：旅客情報受信画面と車内ドア上部LED表示器のスクロール表示

2.3 現車試験

2.3.1 基本機能確認試験(2000年度)

2.3.1.1 試験概要

基本機能等の確認は、2001年2月に車上装置を2編成に搭載し(仮設) 定置試験および走行試験を各2日間行った。

この定置・走行試験では、ATOSのGD装置や旅客端末装置で、変更情報や旅客情報を数回にわたり実際に入力し、表1に示す「車上端末・列車番号管理機能」「受領確認監視機能」「失念防止機能」「車内案内表示機能」等基本機能を確認するとともに、送信情報欠落の有無等についても確認した。なお確認試験は、定置試験としてまず電区区構内留置線で行い、その後、試運転列車を千葉～中野間で同一時間帯に両列車が運転するように設定し、走行中に試験を行った。

2.3.1.2 試験結果

試験項目1～5についてすべて良好であり、このことから各機器間の伝送、および2.2.2項に示した基本機能はすべて確

立できたと言える。

伝送時間については、ATOS入力から車上モニター表示までの計測した時間は、指令伝達については平均14秒、旅客情報については平均19秒という結果が得られ、現在行われている人間系の通告に要する時間と比較すると、飛躍的に迅速な伝達を実現できたと言える。なお旅客情報が指令伝達情報に比べて若干時間を要しているのは、情報量が大きいためパケット使用量が増加したことに起因すると考えられる。

表1：主な試験項目

試験項目	試験内容
1 回線接続試験	通告伝達システムの各機器電源を各種パターンにより操作し、パケット通信「接続」「切断」状態を確認する。
2 指令伝達旅客情報伝送試験	ATOS装置から各種通告・旅客情報を送信し、運転台モニター表示器に設計通りの表示がされるかを確認する。 指令伝達18件 旅客情報14件
3 受領確認伝送試験	運転台モニター表示器への受領確認操作により、通告サーバーへデータ伝送できるか確認する。
4 失念防止支援表示確認	施行区間前に表示されるか確認する。
5 車内案内表示試験	旅客情報伝送試験と平行して、運転台モニター操作による車内ドア上部LED表示器への伝送・表示を確認する

2.3.2 データ送受信試験 (2001年度)

2.3.2.1 試験概要

前述した地上～車上間通信のパケット通信 (DoPa網) は、(株)NTTドコモのiモードで使用されている公衆通信網のため、運転通告という業務に使用できうるか確認する必要があった。このため2001年10月から2002年2月までの約四ヶ月間、一編成に試験装置を搭載し、DoPa網に接続した地上確認装置との間で30秒毎に500バイトの模擬データの送受信を行い (図8) (1)～(3)の条件別でパケット誤り状況を分析した。

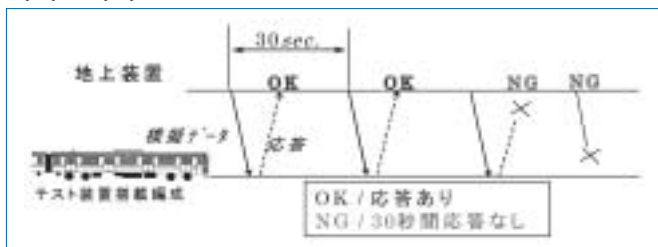


図8：パケット通信試験イメージ

(1) 走行位置別誤り率

トンネル区間やビルの谷間における電界強度の影響を見るため、500M単位で区間を区切り、誤り率を算出する。

(2) 時間帯別誤り率

iモード携帯電話を所持している人の1日の行動パターン

によるパケット通信の影響を見るため、時間帯を区切り、それぞれの時間帯における誤り率を算出する。

(3) 走行速度帯別誤り率

移動体速度の影響を見るために、走行速度を区切り、単位毎に誤り率を算出する。

2.3.2.2 試験結果と考察

4ヶ月間約13万件の送受信データをもとに誤り率を算出したところ、平均誤り率は0.22%であった。

$$\text{誤り率 (\%)} = \frac{\text{異常データ数}}{\text{総データ数}} \times 100$$

(1) 走行位置別誤り率 (図9)

全区間についてほぼ問題のない結果が得られたと考えられるが、新宿、四ツ谷付近等で若干高い値を示している。

これらの区間においては、トンネルや高層ビル群に囲まれていることが伝送誤りの一要因と考えられる。

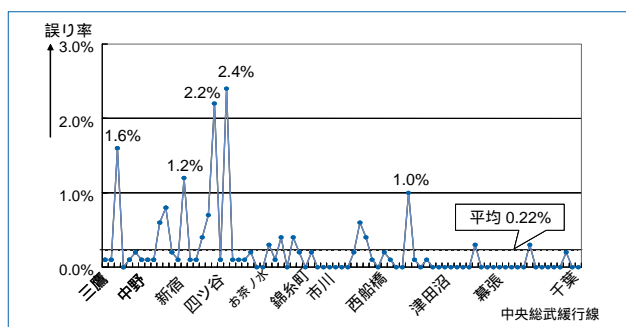


図9：走行位置別誤り率

(2) 時間帯別誤り率

時間帯別の誤り率を表2に示す。

いずれの時間帯における誤り率も、全時間帯平均の0.22%の前後に収まっている。また(c)の昼休み時間帯全時間帯が0.50%で若干高い傾向が見えるが、数値的には低いと考えられることから、携帯電話所持者の行動パターンにはあまり影響を受けないと言える。

表2：時間帯別誤り率

時間帯	データ数	異常データ数	誤り率
全時間帯	130,346	293	0.22
a ~ 9:00	29,785	47	0.16
b 9:00～12:00	20,871	51	0.24
c 12:00～13:00	6,237	31	0.50
d 13:00～17:00	27,588	66	0.24
e 17:00～21:00	30,587	66	0.22
f 21:00～1:00	15,278	32	0.21

(3) 走行速度帯別誤り率

走行速度帯別の誤り率を表3に示す。

いずれの速度帯においても全体平均0.22%前後にとどま

っている。懸念されていた高速走行時であるが、0.12%でありさほど高くはないことがわかる。

よって在来線では走行速度に影響されないと考えられる。

なおこのパケット通信試験では、伝送誤りが発生してもデータ再送を行わない試験であるが、実際の通告を送受信する際は、データ送信状態を監視し、エラー発生時に自動再送するため、限りなく誤り率は0%に近いものになると考えられる。

表3：走行速度帯別誤り率

速度帯	データ数	異常データ数	誤り率
全速度帯	130,346	293	0.22
a 0km/h	39,053	109	0.28
b 1～30km/h	21,902	54	0.25
c 31～80km/h	60,842	120	0.20
d 81km/h以上	8,419	10	0.12

2.3.3 モニターラン（2002～3年度）の概要

実導入を踏まえた最終試験という位置付けで、実際の輸送障害時において「データ生成およびデータ送受信の確認」「使い勝手等のユーザー評価」を行う。

試験を行うにあたり、中央総武緩行線の車両（一部除く）に車上装置を搭載し（図10）中央総武緩行線ATOSに地上装置を接続した。またユーザー評価では、従来の通告と平行して本システムを扱い、使い勝手等をアンケート等で評価するため、試験開始前に試験線区的全乗務員（運転士、車掌）および指令員に対する訓練を行った。

なお試験は図11にあるように、2期に分けて行っており、現在、第一期試験のデータ解析及びアンケート分析を行っている。



図10：車上装置

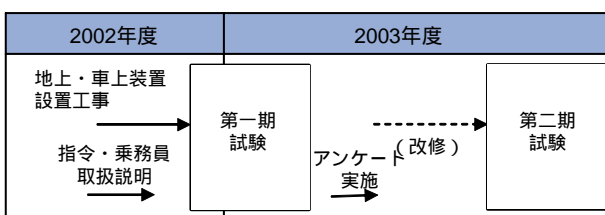


図11：モニターランスケジュール

3 車両運用整理支援システム

3.1 車両運用整理の現状

列車の運行を行うためには、列車ダイヤに電車などの車両を割り当てて、列車として運転できるように整備されていることが必要である。このような車両の使用計画のことを車両運用といい、おおむね1日周期で作成されている。基本的にはそれぞれの運用は循環して繰り返され、定期的に検査等が実施できるように計画されている。また、在来線では、各車両配置区所において修繕計画等を考慮しながら日々の運用割当てを決定している。

列車運行に乱れが生じた時には、輸送指令員は事故の内容と過去の経験から、輸送障害の程度を予測し、平常ダイヤへの早期平復を図るために、運転休止、折返し変更等の運転整理計画案を作成する。運用指令員は、この運転整理計画案をチェックし、区所からあらかじめ聞いていた検査予定車両の未入区や車両形式等の違いによる入線不可車両の入線が発生する可能性がある場合は、輸送指令員に回避案を伝えるか、計画の再考を依頼する。区所はFAXで送付される運転計画書の内容をダイヤに記入し、車両の運用、編成を把握する。ATOS線区外等で編成が把握できないものは、運用指令に無線で乗務員に確認してもらうよう依頼する。車両の運用、編成が把握できたら区所においてもチェックを行い、緊急に変更の必要がある場合はその都度運用指令に連絡して車両運用変更を依頼する。

ダイヤ平復後も、検査予定車両の未入区や車両形式等の違いによる入線不可車両の入線が当日中に発生する場合は、運用指令と区所の検修当直でチェックして、回避するための車両運用変更を輸送指令に依頼する。1線区に2車種以上存在する線区の場合は、車種を元の計画に戻すための運用変更も必要となる。当日行う車両運用変更の方法としては、区所入区後の差し替え、折返し駅における運用変更、車両交換等がある。区所では、運転整理により変更された車両運用を把握した後、翌日以降の検査予定等にあわせるため、自区所入区後に差し替えを行う事により元の月間運用計画へ戻す計画を立てるか、白紙から再計画を立てる。ダイヤの乱れ方にもよるが、元の計画に戻るのに編成によっては2週間以上かかる事もある。このように、一連の作業は指令や区所にまたがって全て手作業で行われており、担当者は瞬時的確な判断が要求されるため相当な経験が必要となる。そこで、これらの作業を支援するシステムの開発を行った。

3.2 開発概要

3.2.1 全体概要

本システムは、輸送総合システム（車両管理システム）から車両割付や検査予定等の情報を取得すると共に、ダイヤ乱れ時に発生する運休や折返し変更等の情報をATOSから取得する。また、別件名で開発中の通告伝達システムからは、列車番号に対応する編成番号や位置情報を取得する。取得したこれらの情報と車両形式制限等の制約条件から、各列車に割り当てられている編成番号のモニタや当日の運用上の警告出力、運用整理提案を行う「運用整理機能」、翌日以降の計画を元の月間運用計画へ戻す提案を行う「運用戻し機能」の2つの機能を有する構成とした。（図12）



図12：全体概要図

プロトタイプの開発にあたり、分割併合等の車両運用上の制約条件がある事、車両配置区所が2区所ある事から中央快速線を対象モデル線区とした。

3.2.2 運用整理機能

3.2.2.1 編成モニター機能

編成モニター機能は、平常時、異常時に関わらず、列車に割り当てられている編成がリアルタイムに把握でき、大まかな所在地を知ることができる機能である。基本的には車両管理システムから得られる日々の車両割付情報と、ATOSから得られる運用変更情報により、編成がどの列車に割り当てられているかを把握することができる。しかし、列車ダイヤ乱れ時においてATOS線区外で運用変更が行われた場合や、突発的に計画外の編成を出区に充当した場合などは、これらのシステムだけで追跡を行うことが出来なくなる。指令または区所で必要な情報を入力する方法もあるが、輸送混乱時に新たに入力を行うことは難しい状況である。そこで、別件名で技術開発を行っている通告伝達システムを利用することにより、これらの問題を解決することとした。

通告伝達システムは、ATOSで入力された変更情報を運転通告として自動生成し、関係する列車へパケット通信網を経由して送信され、車上の運転台モニターに表示するシステム

である。このシステムでは、車上からその時々列車番号、編成番号、現在地、キロ程、担当運転士の行路番号を逐次送信する仕組みを確立している。この情報を随時取得することで、ATOS線区外における運用変更の情報や計画外の編成を出区に充当する列車の追跡についても把握できるようにした。（図13）

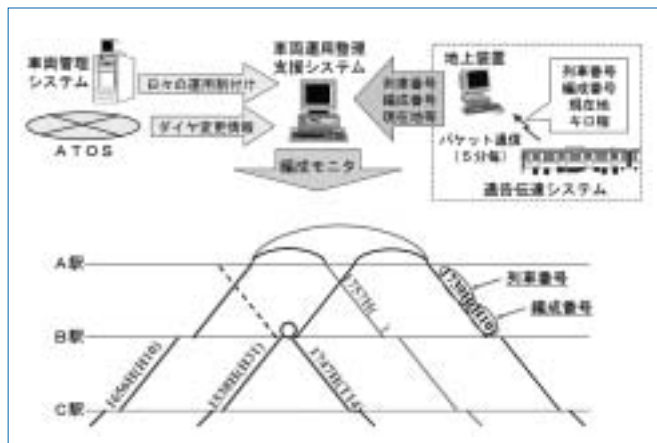


図13：運用整理（編成モニター機能）

3.2.2.2 運用変更支援機能

運用変更支援機能は、輸送指令、運用指令が運転整理の計画を行う際に、あらかじめ車両運用上の警告を表示することにより、車両運用を考慮した運転整理を可能にする機能である。任意の列車スジを任意の場所で選択すると、その列車の着駅における運用変更の対象となる列車スジを抽出し、それぞれの列車に運用変更した場合の警告内容（検査予定車両未入区、車両形式等で運用制限に該当する警告等）を予測し表示する。任意の列車スジを選択した場合の変更対象列車の抽出方法は、選択列車スジの着時刻から、あらかじめ条件データとして設定されている運用変更探索範囲（時間）の上下限値の範囲に発時刻を持つ列車スジで、発駅が選択列車スジの着駅と等しい列車スジを抽出する。（図14）

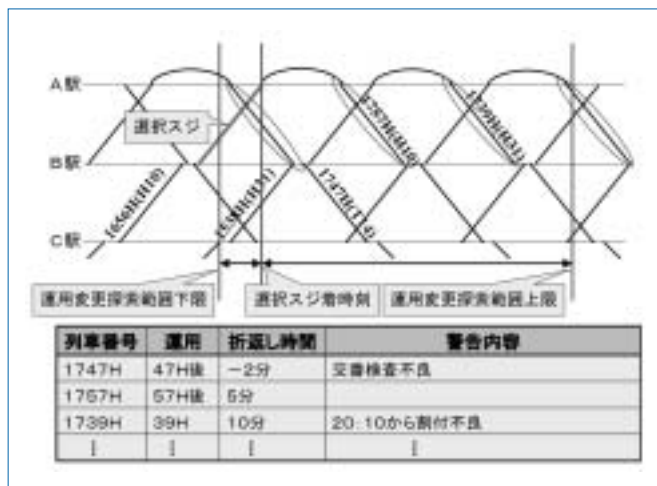


図14：運用整理（運用変更支援機能）

3.2.2.3 警告出力・整理提案機能

東京圏を中心とした稠密線区では、車両運用を考慮した運転整理を完全に行うことは困難であり、輸送力確保や早期ダイヤ平復を行うための運転整理が優先される。このような運転整理により発生した問題を解決するのが警告出力・整理提案機能である。運転整理により発生した車両運用上の警告は、列車スジを赤色に表示する。警告表示を行う項目は、仕業検査不良（仕業検査が行えない）、交番検査不良（交番検査が行えない）、運用割付不良（入線不可車両の入線等）、翌日運用違反（翌日の計画運用に充当できない）、編成所属違反（編成の所属が違う運用に充当されている）、役車違反（役車が設定されている）があり、項目毎に警告表示するかどうかを設定できる。また、警告表示したい内容について編成毎にも設定することが可能である。赤色表示の列車スジを選択すると、警告内容が確認でき、その警告を解決するための運用整理案も自動提案する。警告が複数ある場合は、そのうちの回避したい警告内容を選択して自動提案を実行する。運用整理の提案を行う範囲は、実施済みの地点から警告が実際に発生する地点までとし、提案内容としては、折返変更、運行変更、車両交換、出区変更、入区出区を提案する。（図15）この中で車両交換については、お客様へのご案内や乗務員の手配など影響範囲も大きいので、運用整理案に車両交換を含めるか、含めないかをあらかじめ選択することができる。車両運用整理の提案内容は、運行変更等を行う予定の双方の編成が計画ダイヤ上同時刻に駅や車両基地に在線していることが前提となっており、各駅の番線状況や遅延予測を意識していないので、現実には不可能な提案も含まれることがある。

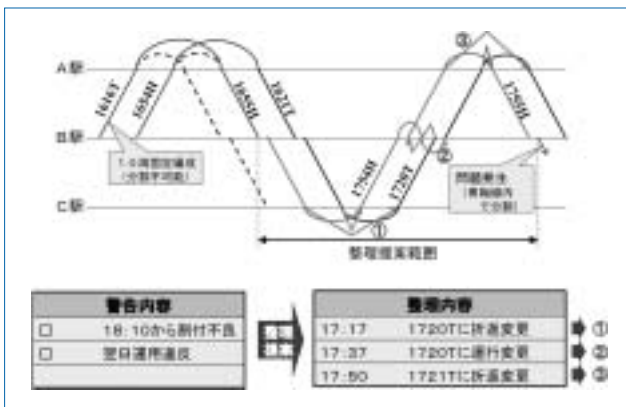


図15：運用整理（警告出力・整理提案機能）

3.2.2.4 本数チェック機能

ダイヤ平復後、車両基地や駅に在線する編成本数と計画予定していた本数をチェック機能にて確認することができる。チェック結果に問題があれば、臨時列車等を設定して本数を合わせる必要がある。全ての本数が合えば、当日の各編成の最終運用データを運用戻し機能に渡して終了する。

3.2.3 運用戻し機能

3.2.3.1 自動作成機能

自動作成機能は、翌日以降の計画を検査予定にあわせるため、元の月間運用計画へ戻す提案を自動的に行う機能である。本機能は、運転整理により変更されたダイヤ乱れ当日の変更実績（最終運用）を運用整理機能から取得する。その状態から、翌日以降の運用の組合せを変更することにより、元の運用計画へ戻す提案を自動的に行う。提案された戻し計画に対して修正したい部分だけを再度自動提案させたり、手動で修正する事も可能である。

運用戻し作業は、編成に数日間の運用を割当てる作業で組合せ問題に属し、問題の規模が大きくなるに連れて、計算量が爆発的に増大する。組合せ最適化問題を解決する手法は、様々な分野において多くの手法が研究されているが、今回の問題においては、アルゴリズム検討段階でいくつかの手法を検証し、短時間で近似解を得ることのできた自由度順計画法を採用した。自由度順計画法とは、運用の資源への割り当てにおいて、運用を自由度の高低に応じて分類し、自由度の低いグループから順次割り当てを行う方法である。これにより少ないステップで最終的な解を得ることが出来る手法である。この手法を運用戻しの問題に適用すると、各要素の自由度順は低い順から、交番検査等の運用、滞泊運用、日帰運用、となり、中央急行線、南武線をモデルにシミュレーションした結果、実行可能解を得ることができた。車両運用の再計画は、上述してきたように当初の計画に戻す方法と当初の計画を白紙にして新規に計画を立てる方法があり、この手法が常に有効とは言えないが、今回の検証により多くの線区で適用可能なレベルにあると判断し本手法を採用した。

また、中央快速線の場合、車両配置区所は武蔵小金井電車区と豊田電車区の2区所であり、従来は、まず自区所の編成を自区所の運用へ戻し、自区所へ入区した時のみ差替えを行って元の計画へ戻していた。この従来の方と、互いの編成、

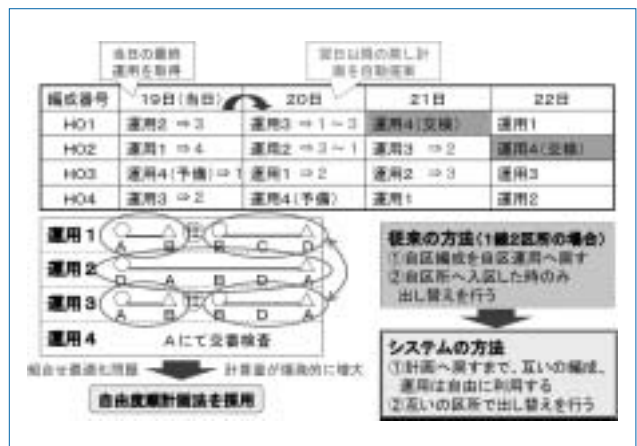


図16：運用戻し（自動作成機能）

運用は自由に利用し、互いの区所で差替えを行う方法でシミュレーションを実施したところ、後者の方が5日も早く元の計画へ戻ることが確認でき、エンドユーザーからも評価を得ることが出来たので、本システムでは効率的に早く計画へ戻す後者のアルゴリズムを採用している。(図16)

3.2.3.2 自動チェック機能

自動チェック機能は、自動提案または修正した計画案に対して、各種妥当性をチェックする機能である。この機能によりチェックする項目は、以下の通りである。

- (1) 運用充当 (全ての運用が計画されているか)
- (2) 運用妥当性 (編成が割り当て可能な運用か)
- (3) 検査 (仕業検査、交番検査が実施可能か)
- (4) 前後運用つなぎ (日中の入出区運用の接続状況)
- (5) 前日・翌日つなぎ (前・翌日の運用との接続状況)
- (6) 仕業検査回帰 (仕業検査の回帰を満たしているか)

3.3 検証試験

3.3.1 プロトタイプ試験 (オフライン)

プロトタイプの検証試験は、ATOS、通告端末、車両管理システムと接続は行わず、実際に発生した事故のデータを使用してオフラインで行い、基本機能、出力結果、処理速度について確認した。中央急行線のダイヤデータや車両管理システムから得られる予定の日々の運用割付や検査計画は事前を取得してあらかじめデータを入力しておき、ATOSや通告端末から時々刻々と得られるデータについては試験用端末 (CPU 1GHz、256MBメモリ搭載機) 内にシミュレーターを用意して、クロック機能を利用することにより実現した。ATOSの入力データについては、GDのマンマシン入力ジャーナルから作成し、通告端末のデータについてはATOSの実績ダイヤから作成した。このシミュレーションの結果、各機能とも基本機能、出力結果について、概ね良好な結果が得られ、処理速度についてもタイムラグなく処理できることを確認した。

3.3.2 フィールド試験 (オンライン)

実際の列車ダイヤ乱れ時における本システムの有効性を検証するために、通告伝達システムの試験を実施している中央総武緩行線 (58編成にパケット無線機内蔵の車上装置を搭載) でフィールド試験を実施している。ATOSにおけるダイヤ変更情報や車両からの情報は、通告伝達システムの通告端末からリアルタイムに取得し、ダイヤや運用等のデータは基本データを使用している。試験端末 (CPU 1.7GHz、256MBメモリ搭載機) は、東京総合指令室と中央総武緩行線の車両配置区所である三鷹電車区、習志野電車区に設置してオンラインで通信を行っている。(図17)

試験は2003年の6月から実施しており、現在までに10件程

度のダイヤ乱れが発生しているが、各箇所において概ね順調に機能している。(図18・19) 今後も引き続きデータ及び各箇所ユーザーの意見収集を行う。

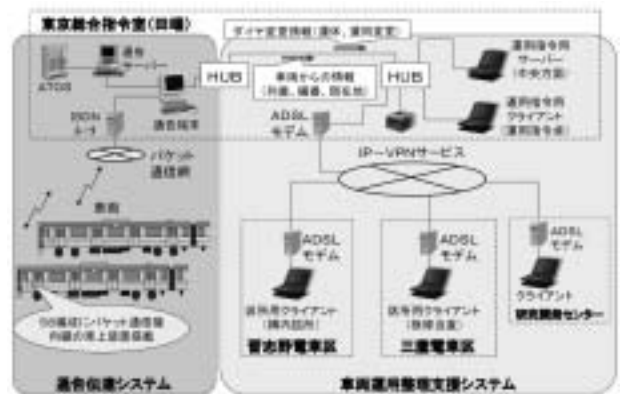


図17: フィールド試験のシステム構成

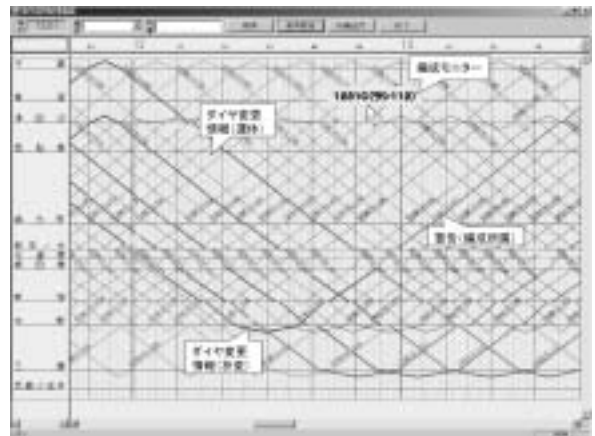


図18: ダイヤ乱れ時の運用整理画面 (03.8.5)



図19: 運用戻し画面 (自動提案)

4 乗務員運用整理支援システム・乗務員用携帯情報端末

4.1 乗務員運用整理の現状

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当てる必要がある。東京圏を中心とした稠密線区の乗

務員の運用では、日帰りまたは一泊の行路が主体となっている。乗務員の行路は、所属区所で勤務を開始し、1勤務が終わると所属区所に戻って勤務を終了するように行路が作成されている。

列車ダイヤ乱れが発生した際、運用指令員は輸送指令員が作成した運転整理計画案と列車の在線状況（遅延）等により乗務員運用もチェックする。乗務員が割り当たらない列車がある場合や、割り当たっている乗務員が乗務出来ない区間に進入する可能性のある場合等は、乗務員区所に代替乗務員を要請するか、輸送指令員に計画の再考を依頼する。また、臨時入区や特発が計画されている場合は、事前に区所へ連絡し、実施可能かどうかを確認する。区所はFAXで送付される運転計画書の内容を乗務員運用ダイヤに記入し、乗務員を追跡する。状況が把握できたら区所においても乗務員運用のチェックを行い、乗務員が割り当たらない列車に予備の乗務員や運休になった列車の乗務員を充当する。代替乗務員の手配がつかない場合は運用指令に他区との調整を依頼するか、列車の運休を要請する。当直は、休養時間や泊地などを考慮して乗務員の運用を整理し、極力元の行路に戻るよう手配する。乗務員は折返し駅や乗務交代が行われる駅の詰所等から自区所の当直へ連絡し、次に乗務する列車を聞くなどして指示を受ける。連絡のつかない乗務員には当直から運用指令へ無線で連絡を依頼するか、駅を介して連絡をする。列車運転時刻表に従って運転する区間においては時刻表が必要となるため、乗務員が予定外の列車を担当する場合は、指令や当直が詰所や駅に時刻表をFAXで送付して乗務員に渡す。東京圏を中心とした稠密線区では、乗務員運用を全て把握するのは難しい状況であり、運用指令員と区所の当直が協力して臨機応変に対応しているが、手配漏れ等が発生すると輸送混乱を拡大さ

せてしまう。また、列車から降りてしまった乗務員への連絡手段は駅社員、乗務員区所当直等を介した電話連絡になるが、駅が混乱している場合は、駅社員と連絡がとれない、乗務員が見つからない等で、情報の伝達に時間をとられるケースが発生する。以上のような現状から、ダイヤ乱れ時における乗務員の運用に関する業務をサポートするには、乗務員の追跡、追跡に基づいた運用整理の自動提案、乗務員への変更情報の伝達、が必要であると言える。

4.2 システム概要

4.2.1 システム構成

乗務員運用整理支援システムと乗務員用携帯情報端末のプロトタイプシステムは、中央総武緩行線の運転士運用を対象として開発している。車両運用整理支援システムのフィールド試験と同様に、通告伝達システムの試験環境を利用することにより、ATOSに入力されたダイヤ変更情報や車両から送信される運転士の情報を取得することが可能となるからである。

プロトタイプシステムは以下のような構成になっている。東京総合指令室には乗務員運用整理支援システムと乗務員情報管理サーバーを設置し、通告伝達システムの通告端末と接続する。中央総武緩行線の運転士区所である中野電車区と習志野運輸区には区所用端末と無線LANのアクセスポイント

表4：主なハードウェア仕様

装置名称	主な仕様
乗務員運用整理支援システム	EWS CPU：500MHz メモリ：1GB
乗務員情報管理サーバー	デスクトップPC CPU：1.2GHz メモリ：512MB
区所用端末	ノートPC CPU：1GHz メモリ：256MB
無線LANアクセスポイント	規格：IEEE802.11b
携帯情報端末	PDA パケット無線機内蔵 無線LAN CFカード使用

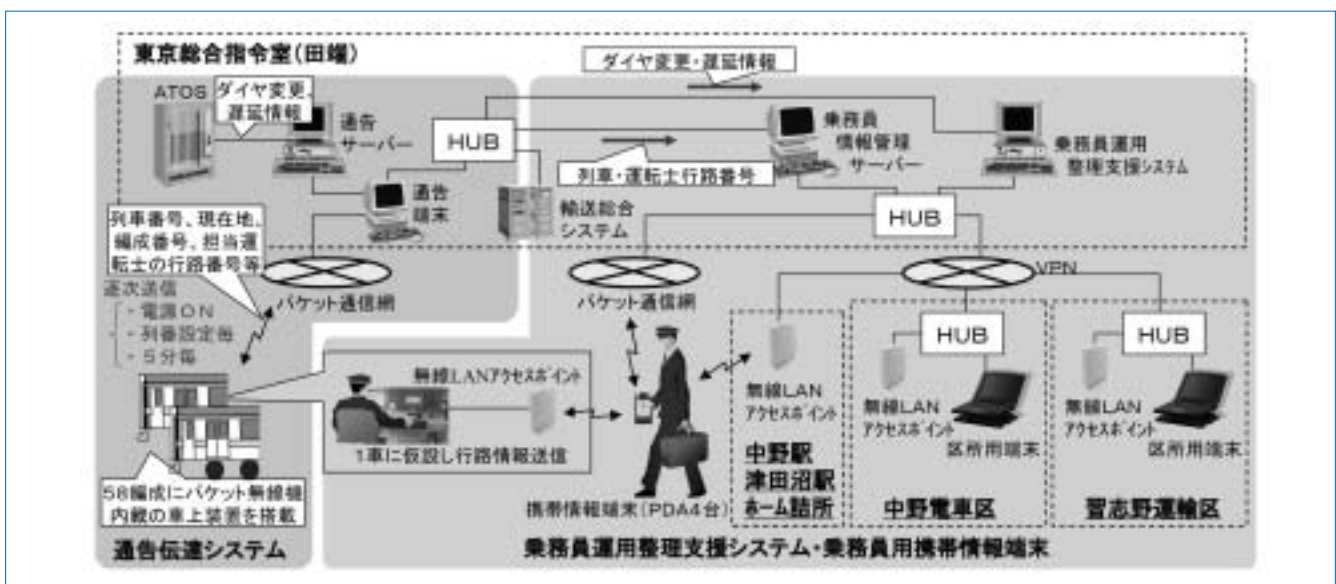


図20：システム構成図（中央総武緩行線の運転士運用対象）

を、中野駅と津田沼駅の運転士詰所には無線LANのアクセスポイントをそれぞれ設置しネットワークを構築する。また、携帯情報端末はパケット通信と無線LANの両方が機能する機種を選定した。(図20)それぞれの機器の主なハードウェア仕様を表4に示す。また、各機器の主な機能を次で説明する。

4.2.2 機器の機能概要

4.2.2.1 乗務員運用整理支援システム

- (1) ダイヤ乱れ時に入力された運休列車、遅延時分、運行変更情報をATOSから、乗務列車の情報や乗務員の位置情報を乗務員情報管理サーバーから取得し、乗務員運用スジの実績及び予測のリアルタイムな表示(ダイヤ図形式)と更新を行う。
- (2) 列車の遅延や運休により発生する乗務員未充当などの警告をリアルタイムに出力すると共に、警告を回避するための整理案を提示する。

4.2.2.2 乗務員情報管理サーバー

- (1) 区所や駅詰所等に設置した無線LANアクセスポイントを使用して、乗務員の所持するPDAの位置情報を取得する。また、車上から送信される情報(列車番号、運転士の行路番号)により、乗務中の乗務員情報を取得する。
- (2) 上記の乗務員位置情報や乗務員運用整理支援システムから取得する最新の乗務員の行路情報やダイヤ情報を管理し、区所用端末やPDA用にホームページを作成する。
- (3) 209系以降の車両の運転台モニター装置で使用されている仕業カード(ICカード)相当のデータ(所属区所や行路番号を含んだ行路表情報、計画された乗務予定列車の時刻表情報など(以降仕業データと書く))を作成、更新、管理する。
- (4) 乗務員運用に変更が生じた場合に、関係する乗務員に行路の変更情報をプッシュ型メールで送信し、送信状況、確認状況を管理する。

4.2.2.3 携帯情報端末

- (1) 出勤操作により、行路番号と端末固定のアドレスを送信し、ブラウザにより当日担当する行路情報が箱ダイヤ形式で確認できる他、仕業データをPDA内に格納する。
- (2) 乗務員情報管理サーバーから送信されたメールを受信し、ブラウザによる変更内容の確認、最新の仕業データを格納する。
- (3) 格納されている最新のデータを無線LANにより車両の運転台モニター装置にアップロードする。

4.3 使用例と開発状況

本システムを実際に使用する場合は、乗務員の出勤操作から始まる乗務員の追跡、乗務員の追跡情報の基づいたダイヤ

乱れ時における乗務員運用の警告出力と整理提案、提案された乗務員運用変更情報の乗務員への伝達、という流れになる。この一連の流れに沿って、開発状況や試験状況を含めて以下に記述する。

4.3.1 乗務員の追跡

乗務員は出勤時に任意のPDAで出勤操作を行う。その日担当する行路番号を入力して送信することにより、行路番号とPDAの固定のアドレスを乗務員情報管理サーバーに登録する。ブラウザにより入力した行路の箱ダイヤを確認し、仕業データをPDAにダウンロードする。PDAを所持して乗務員区所を離れると、乗務員区所の無線LANアクセスポイントエリアから外れ、乗務員情報管理サーバーにおける当該行路のステータスは「移動中」となる。駅詰所の無線LANアクセスポイントエリアに入ると、自動的にPDAのアドレスが送信され、乗務員情報管理サーバーにおけるステータスは駅詰所で「待機」となる。担当する列車に乗車した時は、PDAに格納されている仕業データを車上の無線LANアクセスポイント経由で車上のモニター装置に伝送する。これにより、車両モニター装置側は現在使用されている仕業カードが挿入された状態と同等の状態になる。車両モニターで列車番号が設定されると車上に搭載されたパケット無線機により、列車番号と乗務員の行路番号が通告端末を介して乗務員情報管理サーバーへ逐次送信される。これにより、ステータスは「乗車」または「運転中」となる。(図21)

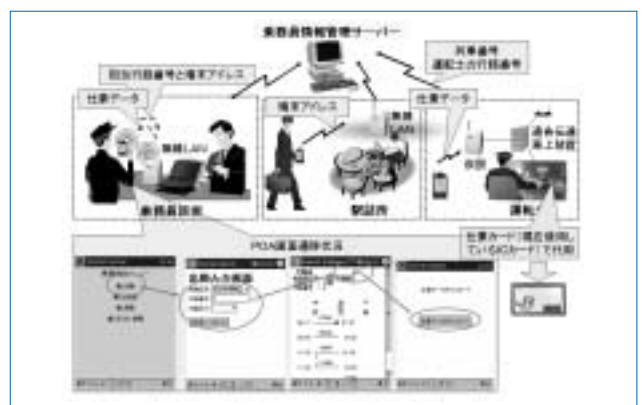


図21：乗務員の追跡イメージとPDA画面

現在使用している仕業カードによる乗務中の乗務員の追跡は、ほぼ確実に行うことが確認でき、この情報を乗務員運用整理支援システムにおいても活用できている。出勤操作や無線LANによる位置検知機能については、概ね良好な結果が得られている(図22)が、無線LANを常時使用することによるPDAの電力消費や、無線LANとパケット通信の自動切替えなど、いくつか課題も残っている。また、車両にも無線LANのアクセスポイントを1台仮設して伝送機能の確認を行ったが、伝送時間などについても良好な結果が得られている。



図22：乗務員の追跡状況

4.3.2 乗務員運用の警告出力・整理提案

輸送障害などで列車に遅延が発生すると、乗務員運用整理支援システムでは、駅の番線や折返し時分などを考慮してダイヤの予測を行う。このダイヤ予測により次乗務列車に間に合わない列車を検出し警告（遅延監視）を出力する。また、ATOSに運休や折返し変更などの運転整理が入力された場合も、乗務員運用の矛盾を検出し警告（運用矛盾監視）を出力する。出力される警報はこの他に、運用整理などにより未充当の列車が存在する場合に摘出する未充当監視、列車の最終

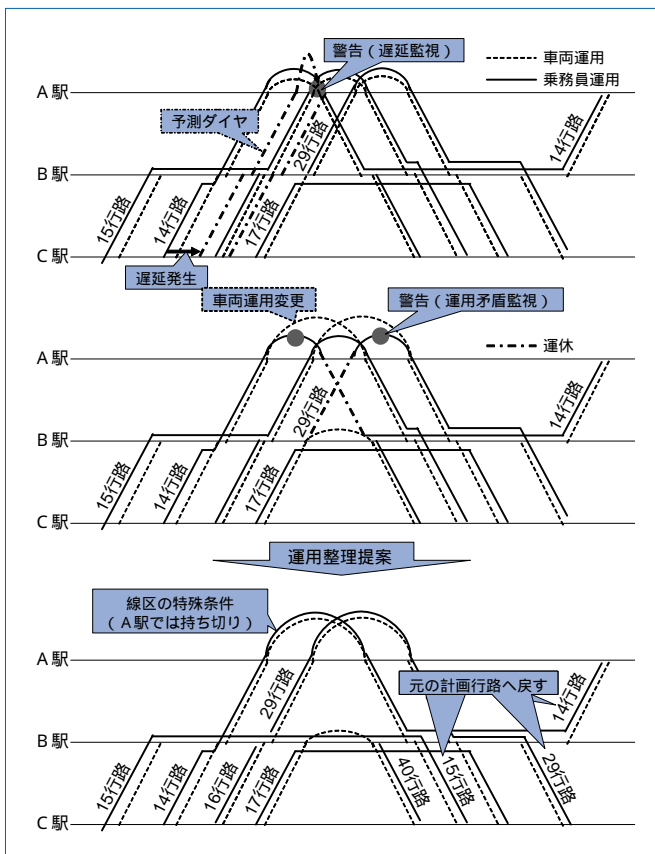


図23：乗務員運用の警告出力と整理提案

行先地が当日の計画されていた行先地と異なる場合に摘出する最終行路監視などがある。乗務員運用の予測は30秒周期で繰り返し行われるので、リアルタイムに時々刻々と変化する警告が出力される。これらの警告を解決するために、乗務員情報管理サーバーから取得した乗務員の位置情報などを基にして、運用整理の提案を自動的に計算し出力する。運用整理の提案は、出力されている警告の中から最も優先順位の高いものについて提案を行い、提案した内容を反映して次の警告に対する提案処理へと続く。なお、1つの警告に対して複数の提案がある場合は優先順位の高い提案を採用する。これらの処理を繰り返し、最終的な整理提案を出力する。提案される内容は、折返し駅や乗務員の交代駅における行路の切断とつなぎ、予備の乗務員の充当等がある。提案は、折返し駅における交代方法や乗務員区所毎の乗務可能区間といった線区の特殊条件やルールを考慮しながら行うと共に、元の計画行路へ戻していく方法をとっている。(図23)

ATOSから得られる遅延情報及びダイヤ変更情報、乗務員情報管理サーバーから得られる乗務員の乗務実績情報をダイヤ図に反映する事については確実に処理できており、ダイヤ予測や警告の出力についても概ね良好な結果が得られている。(図24) 運用整理提案機能については、簡単な乱れのパターンを入力した場合には、実施可能な出力結果が得られることを確認しているが、引き続きアルゴリズムの改良が必要である。なお、整理提案の処理時間は、摘出されている警告が10個の場合でも16秒程度で処理できている。

4.3.3 運用変更情報の通知

乗務員運用整理支援システムで提案された乗務員の運用変更を確定すると、その変更情報が乗務員情報管理サーバーへ送信され、関係する行路などのホームページやPDAにダウンロードするための作業データが更新される。乗務員情報管理サーバーは関係する行路へ通知するためのメールをメールサ



図24：整理支援システム画面（警告出力）

ーバーに入れ、該当するPDAへトリガーメッセージを送信する。トリガーメッセージを送られたPDAは自動的に電源が入り、パケット通信網からダイヤルされると共に、メールクライアントが自動起動してメールの受信を行う。メールを受信すると、アラーム音鳴動と共に通知メッセージを表示し、メールの内容中にあるWebアドレスをクリックすることで、変更後の最新の箱ダイヤを表示する。変更内容を確認したら、「確認終了」をクリックし、最新の仕業データをダウンロードする。(図25) 乗務員情報管理サーバーでは、変更通知メールの送信状況と乗務員による確認状況を管理しており、区所用端末でもブラウザにより表示して確認することができる。

プッシュ型メールについては、電波状況の悪い箇所ではPDAを起動できない場合があったが、トリガーメッセージのリトライ回数を増やすなどの改良を行った。これにより、走行中の列車内や移動中の屋外においてもシームレスに配信できることを確認している。また、送達時間については、運用変更の確定からPDAの起動までには3～5秒で実施できているが、メールの受信までに1～2分を要することがあり改良が必要である。



図25：運用変更情報の通知

5 おわりに

ダイヤが乱れた時の輸送指令～列車の乗務員への運転通告や乗務員への情報伝達、車両や乗務員の運用整理業務は、複数の部門にまたがって行われる作業であり、その境界は明確ではなく、各担当者が臨機応変に対応しているのが現状である。そのため、定められた業務手順はなく、これまでに鉄道会社（在来線）でシステム化された事例は現時点ではない。これらの背景から、ここで紹介したシステムの開発においては、本来あるべき姿や最も現行業務に即した姿など、様々なシステムイメージを模索しながら開発することとなった。

通告伝達システムについては、2001年度までに行ってきた

試験により、本システムを導入することで通告作業の迅速化および省力化が図れること、車内情報表示によるお客様へのサービス向上を図れること、公衆無線網を用いても問題ないことが確認できた。また現在行っているモニターランでは、輸送障害時のデータ送受信において問題ないことや乗務員の使い勝手について分析するが、このほかに実導入した場合の作業方法の変更や規程改正など、運用方法について各部門との詰めが必要であると考えられる。

車両運用整理支援システムについては、現在実施しているフィールド試験において、エンドユーザーからは一定の評価を得ると共に、本システムの方向性は正しく、十分に実用可能であることを確認している。今後は、分割併合が頻繁に行われる線区や異車種の編成が混在する線区に対応できるようにするために、アルゴリズム等の改良を行っていく予定である。

乗務員運用整理支援システム・乗務員用携帯情報端末については、乗務員の追跡や労働条件等を考えると、車両運用よりもさらに難しい開発であると言える。これまでに実施した開発及び試験から、基本的な機能については確認することができたが、それぞれの機能について解決すべき課題もいくつか抽出された。乗務員運用整理支援システムについては、引き続きアルゴリズムの改良を行い、ユーザーを含めて提案出力結果の評価を行っていく。また、乗務員用携帯情報端末については、マンマシンインターフェースなどを改良し、PDA数台でフィールド試験を行うことにより、徐々に深度化を図る予定である。

以上のように、中央総武緩行線で運転通告や情報の自動伝達、車両・乗務員の運用整理に関するシステムを開発し、検証試験を行っている。これにより、ダイヤ乱れ時における関連した作業のシステム化が可能となってきたと言えるが、ダイヤ平復の手順書である運転整理案の作成は、依然として指令員による手作業で行われているのが実状である。特に首都圏のような稠密線区においてダイヤが乱れると、列車の遅れ、混雑率、運転設備、車両運用、乗務員運用等、運転整理に必要な判断材料が大量となるため、熟練の指令員でも最適な運転整理案を作成することは困難な場合がある。今後は、この運転整理案の作成を支援するためのシステム構築をめざしていくが、具体的にはダイヤ予測、運用を加味した運転整理の一括自動提案機能を持つ「運用協調型運転整理システム」の開発を行い、運用トータル管理システムと接続する予定である。

参考文献

- 1) 北原文夫, 岩本孝雄 他: 超高密度鉄道の列車群を自律分散制御する東京圏輸送管理システムの開発, 電気学会産業応用部門誌, Vol.118 - D, 1998.