

# 列車ダイヤ乱れ時の乗務員運用整理支援

辺田 文彦, 相馬 眞, 若井 雅宏, 小島 央士,  
片岡 健司, 高橋 理

列車の運行を行うためには、列車ダイヤで時刻を定めるほか、車両、運転士、車掌の割当て計画が必要である。しかし、ひとたびダイヤが乱れた場合には、割当て計画を再度行う必要が生じる。この再計画がうまくいかなかった場合、乗務員がいないために列車を発車させられないなど、輸送混乱をさらに拡大させてしまう可能性があり、担当者には相当な経験と瞬時の適格な判断が要求される。そこで、担当者の作業を支援するために、必要な情報を担当者へ提供し、計画の提案出力を行う「乗務員運用整理支援システム」を開発している。

キーワード：乗務員、乗務員運用、運転整理、ダイヤ予測

## 1. はじめに

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当てるだけでなく、全列車に運転士、車掌などの乗務員を割当てる必要がある。この乗務員の割当て計画のことを乗務員運用計画といい、ダイヤの改正ごとに作成される。乗務員運用計画では、乗務員の割当て漏れが発生しないようにすることはもちろんのこと、各乗務員が所属箇所（乗務員区所）で勤務を開始し、戻って勤務を終了するまでの一勤務のなかで、勤務時間、休憩時間、連続乗務可能時間、宿泊箇所などの各種条件を考慮しながら行程（列車への乗務や車両の入出庫などの作業）を割当てる。また線区と乗務員区所が1対1の関係にない——例えば、ある乗務員区所は東海道線、横須賀線を担当し、あるいは東海道線はいくつかの乗務員区所で分散して割当てている——ため複雑な計画になっている。

図1に乗務員運用計画の一例を示す。列車ダイヤ（実線）上に、乗務員1と乗務員2の作業行程（破線、一点鎖線）を割当てた状態を示している。なお分かりやすくするため、この図では全列車に乗務員がまだ割

り当てられていない状態で示している。

- 乗務員1の行程  
A 駅で出勤→出区（出庫）→乗務（A 駅→B 駅）→休憩（B 駅）→乗務（B 駅→C 駅）→乗務（C 駅→B 駅）→休憩（B 駅）→乗務（B 駅→A 駅）→入区（入庫）→A 駅で退勤
- 乗務員2の行程  
B 駅で出勤→出区（出庫）→乗務（B 駅→C 駅）→乗務（C 駅→B 駅）→休憩（B 駅）→乗務（B 駅→A 駅）→乗務（A 駅→B 駅）→入区→B 駅で退勤

この一勤務の作業行程を行路とよぶが、東京圏を中心とした線区の乗務員運用では、日帰りまたは一泊の行路が主体となっている。

一方、列車ダイヤに乱れが生じたときには、列車の運転休止や番線変更、車両の運用変更などの手法を用いて元のダイヤに戻す処置が行われる（これを運転整理という）が、この場合、乗務員運用計画も変更を余儀なくされる。

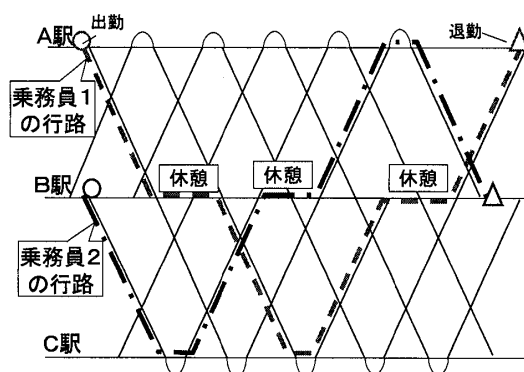


図1 乗務員運用計画の例

へんだ ふみひこ, そうま しん, わかい まさひろ  
東日本旅客鉄道(株) JR 東日本研究開発センター  
〒331-8513 さいたま市北区日進町2-479  
こじま てるひと  
東日本旅客鉄道(株) 鉄道事業本部運輸車両部  
〒151-8578 渋谷区代々木2-2-2  
かたおか けんじ, たかはし さとる  
三菱電機(株) 先端技術総合研究所システム最適化技術部  
〒661-8661 尼崎市塚口本町8-1-1

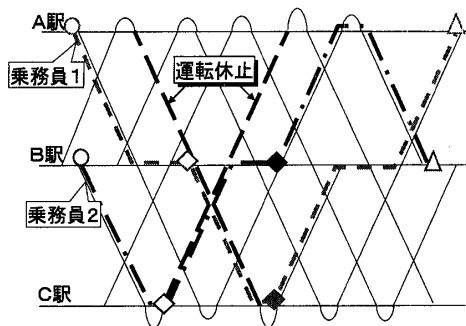


図2 割当て不良状態

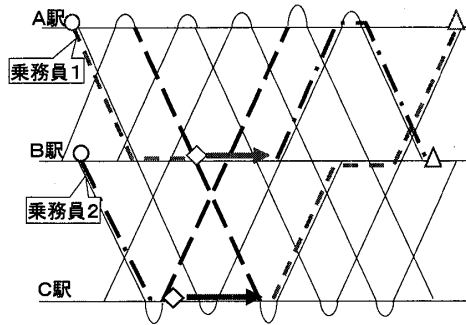


図3 乗務員運用整理の例

図2は、先ほどのダイヤで運転整理が行われた例であり、列車ダイヤの点線部分が運転休止となっていることを示す。乗務員1、2は途中、列車乗務がなくなるため、結果としてそこから移動できず(図中の◇)、そのあとに乗務すべき列車に乗務員のいない状態が発生する(図中の◆以降)。この場合、列車が運転できない状態になることから、図3のように、乗務員1、2の行路を途中で差し替え(◇→)、再割当てを行う。さらに当該の乗務員への変更指示を行う。しかしこのままでは乗務員1、2の勤務終了箇所が当初と異なるため、完了とならず、予備の乗務員などを途中充当するなどして、対処することも必要となる。

このダイヤ乱れ時における乗務員運用の変更計画、各種手配などのことを乗務員運用整理という。上記の例では単純化しているが、首都圏線区では列車本数も多大であり、1区所あたりの乗務員も数十名が日々乗務しているため、複雑な「パズル」となる。またダイヤ改正時の乗務員運用計画とは事情が大きく異なり、ダイヤ乱れ時における運転休止や、番線変更などの運転整理は、時々刻々と変化するお客様の動向にあわせて次々と行われるため、その内容にあわせた乗務員の割り当て計画を瞬時に判断し、変更内容の指示連絡などの作業も滞りなく行う必要がある。したがって計画担当者(以下、運転当直助役)の技量に左右される部

分が非常に大きいため、ちょっとしたミスや判断の遅れにより、担当乗務員が割当てられずに列車が発車できないなど、輸送混乱を拡大させてしまうこともある。

そこで、ダイヤ乱れの早期復旧を目的に、乗務員の手配漏れなどが発生しないように、必要な情報を担当者へ提供し、運用整理等の提案を行うとともに、乗務員へ直接タイムリーに変更等の情報提供を可能とするシステムを開発している。

## 2. 乗務員運用整理業務の現状

列車ダイヤの乱れ時における各担当者の作業内容は、以下ようになる。

### (1) 輸送指令員

事故等が発生した際、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復旧を図るために、運転休止、番線変更等の運転整理計画案を作成する。

### (2) 運用指令員

運用指令員はこの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をチェックする。乗務員が割当たらない列車がある場合などには、乗務員区所に代替乗務員を要請するか、場合によっては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(列車に遅延がある場合に途中駅から別の車両を仕立てること)が計画されている場合は、事前に乗務員区所へ連絡し、実施可能かどうかを確認する。

### (3) 運転当直助役

乗務員区所の運転当直助役は、FAXで送付される運転整理計画案の内容をダイヤ(紙)に記入し乗務員運用計画と照らし合わせて乗務員を追跡する。状況が把握できたら乗務員区所においても乗務員運用のチェックを行い、乗務員が割当たらない列車には、予備の乗務員や運転休止になった列車の乗務員を充当する。この際、休憩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。代替乗務員の手配が自区所できない場合は運用指令に他の乗務員区所との行程振り替えの調整を依頼する。

### (4) 乗務員

乗務員は折返し駅や乗務交代が行われる駅の詰所(休憩所)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の連絡を依頼するか、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、

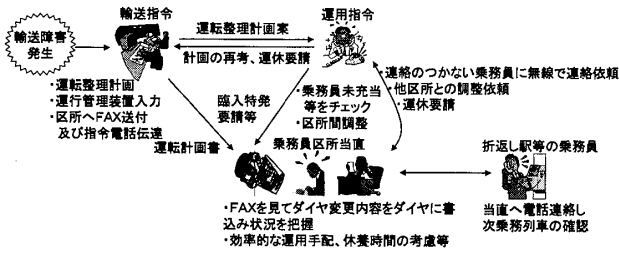


図4 乗務員運用整理作業

乗務員が予定外の列車を担当する場合は、指令や運当直助役が詰所や駅に時刻表を FAX で送付して乗務員に渡す。

その他、乗務員の運用整理作業には、以下のような特徴がある (図4)。

- ・ 運転休止となった列車の乗務員 (余っている乗務員) を有効活用したり、長時間の継続乗務は避けたりするなど効率の良い運用手配が必要となる。
- ・ 安全上、個人個人の技量——訓練習熟度などにより、Aさんはこの区間が運転できるがBさんはできない、Cさんはこの車両は運転できるがDさんはできない、など——や適切な休憩時間の確保も考慮する必要がある。
- ・ 乗務員の所在を把握し、情報を伝達しなければならないが、その伝達経路も固定電話、列車無線、駅長事務室経由等多岐に渡る。
- ・ 線区ごとに乗務面でのルールや運転整理パターンといった運用整理上の特殊条件がある。

このように、乗務員の運用整理作業は人 (乗務員) の行程管理であり、指示、伝達も必要となるため、そのノウハウは複雑を極める。

### 3. システム概要

#### 3.1 システム化のポイント

以上のような現状から、ダイヤ乱れ時における乗務員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いえる。これを実現するために、以下の機能を有する乗務員運用整理支援システムを開発した。

##### (1) 乗務員位置検知機能

「〇〇列車で乗務中」「〇〇詰所で待機中」など乗務員の位置情報をリアルタイムに取得する。

##### (2) 警報出力機能

運行管理装置等から列車の遅延情報やダイヤの

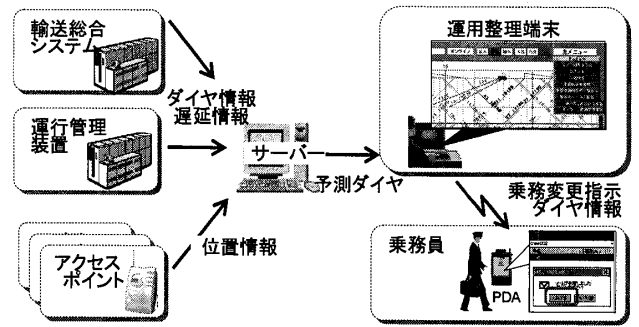


図5 システム全体概要図

変更情報をリアルタイムに取得し、ダイヤ予測技術を取り入れて列車遅延による予測ダイヤを出力することで、乗務員未充当などの予測を行う。

##### (3) 運用整理の自動提案機能

未充当等の問題を解決するために、線区における特殊条件や連続乗務時間等を考慮して、乗務員運用の整理提案を自動で行う。

##### (4) 情報伝達機能

乗務員には情報端末を携帯させ、運用整理に基づいた変更の指示・連絡をシームレスに行う。

#### 3.2 システムの全体概要

乗務員運用整理支援システムでは、日々のダイヤデータと乗務員運用計画データを、既に稼動している輸送総合システム (列車計画、乗務員運用計画のシステム) からあらかじめ取得する。運行管理装置からは、ダイヤ乱れ時に入力される変更情報 (運転休止など) や遅延実績を取得する。また乗務員に携帯させる情報端末には無線 LAN 機能を搭載させ、詰所等に設置するアクセスポイントとの通信を活用し、現在位置情報としてデータを取得、管理する (図5)。

これらの情報から、ダイヤ図形式で乗務員運用の実績および予測のリアルタイムな表示と更新を行うとともに、列車の遅延や運転休止により発生する乗務員未充当などの警報をリアルタイムに出力し、警報を回避するための整理案を提示する。また行路が途中変更となった場合には、各乗務員の情報端末にメールで伝達する。

以下、前節(2)警報出力機能、(3)運用整理の自動提案機能について詳細に記述する。

#### 3.3 運用整理支援機能

##### (1) 警報出力機能

乗務員運用整理支援システムでは、さきほどの例であったように、運行管理装置から取得する運転休止や

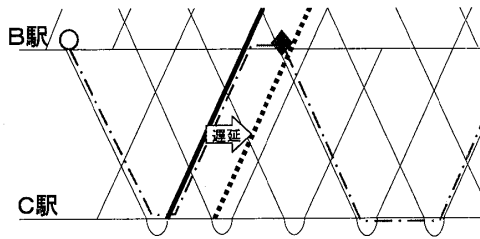


図6 遅延監視の例

運用変更などの運転整理が入力された場合に、乗務員運用の未充当を検出し（未充当監視）、警報を出力する。また輸送障害などで発生した列車遅延をもとに、駅の番線や折返し時間などを考慮してダイヤの予測を行い、次乗務列車に間に合わない列車を検出し警報（遅延監視）を出力する。

図6は、太線の列車が太点線まで遅延した場合に、乗務員は次乗務となる◆印で間に合わない例である。

出力される警報をまとめると以下ようになる。

- ・ 未充当監視  
乗務員の割り当てられていない行路がある
- ・ 運用矛盾監視  
列車の運転休止等で行路通りの乗務ができない
- ・ 遅延監視  
列車遅延により次行程の列車に乗務できない
- ・ 一連続乗務時間監視  
連続乗務時間が社内規程上の時間を越える
- ・ 食事時間監視  
食事に要するだけの休憩時間をとれない
- ・ 最終行路監視  
行路終着駅が計画行路と異なる

なおダイヤ乱れ時において、一連続乗務時間や食事時間は社内規程で定めていないが、計画作成上において定めている制約条件を使用して出力させている。また、これらの警報の内、いずれの警報を出力させるかを、任意に設定できる機能を設けた。

本システムでは、乗務員運用の予測を30秒周期で繰り返し行うこととしたので、ほぼリアルタイムに時々刻々と変化する警報が出力される。

図7は実際にシステムで出力した警報の表示例である。

#### (2) 運用整理の自動提案機能

前述の警報を解決するために、乗務員用携帯情報端末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機能を開発した。自動計算のアルゴリズムとして、局所的な問題を

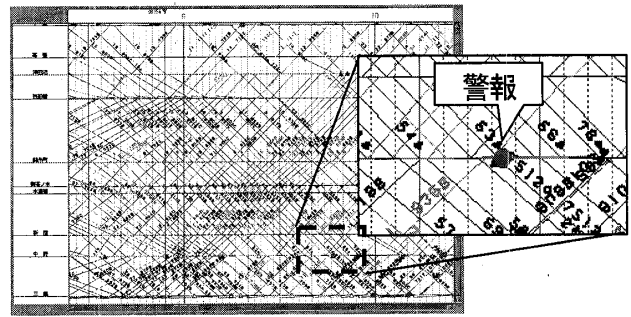


図7 警報出力の例

逐次解決する手法と、ダイヤ乱れ当日全体について最適な整理計画を計算する手法を検討し、それぞれのアルゴリズムを適用した「逐次提案機能」と「最適整理提案機能」の2機能を開発した。

#### (a) 逐次提案機能

この機能では、その時々で出力されている1つ1つの警報に対して提案を逐次行う機能である。主な提案内容として以下のものがある。

- ・ 元計画行路との行路つなぎの提案
- ・ 当該駅にいる計画外行路とのつなぎ提案
- ・ 就業前乗務員との行路つなぎの提案
- ・ 予備乗務員の充当提案
- ・ 就業明け乗務員との行路つなぎの提案
- ・ 便乗での行路つなぎの提案

これらの提案は、折返し駅や乗務員の交代駅において提案される。具体的には、警報が出力されている前後の時間帯で、乗務することができる乗務員（待機中、予備等）を探し、抽出された候補の中から、折返し駅における交代方法や乗務員区所ごとの乗務可能区間といった線区の特長条件やルール、連続乗務時間や食事時間、最終行き先地等を考慮しながら決定する。

なお、現状の乗務員運用整理作業では、元の計画行路へ戻していく方法をとっているため、本アルゴリズムにおいても、元の計画行路へ戻すことの優先順位を高く設定している。

また逐次提案は局所的な問題解決手段であるので、一つを解決すると、また次に別の矛盾が発生し対処が必要となることが多いため、自動的に出力されている警報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報に対する提案処理へと連続処理を行う機能も有する。この連続処理では、提案を行う際、1つの警報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。繰

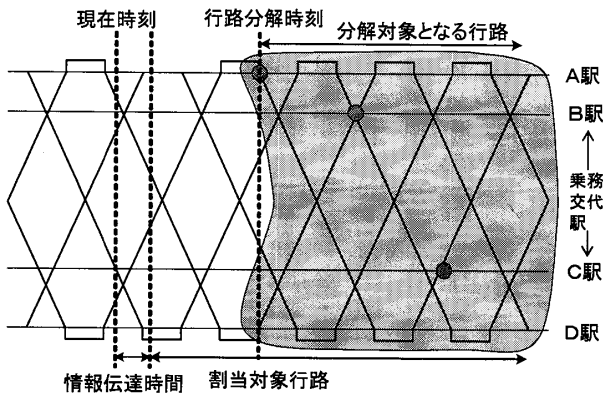


図8 分解対象となる行路の時間帯

り返し処理は最大 50 回まで連続して計算する。

(b) 最適整理提案機能

最適整理提案機能は、実績が上がっていない全行路を行程に分解し、もとの計画行路を考慮しつつ、効率的で最適な行路を再作成する機能である。

この機能では、警報発生時刻以降の計画行路を各行程にいったん分解し、すべての制約条件を満たすように各行路への再割当を行う。分解は、最も早い警報時刻を行路分解の開始時刻（行路分解時刻）とし、各行路に所属する行程のうち、警報発生時刻よりも後ろにある行程（行程の終了時刻が警報発生時刻以降）を再割当ての対象行程として切断する。また、各行程が乗務交代する駅を跨いでいる場合には、当該駅で行程をさらに切断する（図8）。

再割当では、運用整理に適用可能な解を短時間で見つけるために、拘束時間以外の制約条件充足を行う初期解生成段階と、初期解の修正によってすべての制約条件充足を目指す暫定解修正段階に分けたアルゴリズムとしている。

初期解生成段階では、切断した行程を開始時刻順にソートした後、各行程を割り当てる行路の候補を割当ルール（計画行路割当、休憩最適割当等）にしたがって決定する。割当ルールによって抽出された行路候補の中から、行程の割当にもっともふさわしい行路を決定するために、知識（元の行路に戻った行路の多い状態、計画時間未満である状態、所定上の前行程と同じ行路である状態、食事休憩を確保した行路の多い状態等）を優先順位の高い順に適用し、適応度の高い行路を選択する。また、適応度の等しい行路が複数個ある場合には、その複数個に対して次順位の知識を適用する。なお、現在の知識の優先順位づけは、計画時にお

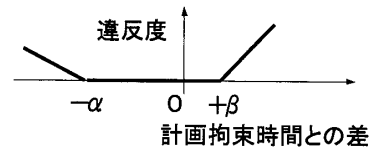


図9 違反度

ける指令員の融通を生かすために所定行路を最優先としたうえで、所定に戻ることができない場合には、食事時間確保などの条件を満たしながら、空き時間を短縮するように設定している。

暫定解修正段階では、初期解生成段階で考慮しなかった拘束時間違反の解消を目指し、行路間で行程を移動する操作を繰り返して新しい解を探索する。ここで、拘束時間上限は許容される残業時間の上限を定義するものであり、乗務員の都合や泊まり勤務の場合の仮眠時間確保を考慮して設定し、拘束時間下限は、他の行路との間で拘束時間のばらつきを抑えるために設けるものとして、図9に示すように数値化する。

4. おわりに

以上、ダイヤ乱れ時の乗務員運用整理業務を支援するシステムを紹介したが、開発中のシステムについては、首都圏線区をターゲットにプロトタイプを製作し、現在は各種試験を実施しているところである。無線LANを活用した位置情報取得や、情報端末による情報伝達機能については技術的に検証が完了しているが、ダイヤ乱れ時の運用整理提案機能などのアルゴリズム部分については、実際のダイヤ乱れ時に使用できるかユーザーを含めた検証を実施しているところである。

参考文献

[1] 原, 小島, 辺田, 渡邊: 運用トータル管理システムの開発, JR EAST Technical Review, No.5 (2003) 43-54.  
 [2] 小島, 浅見, 相馬, 辺田: 乗務員運用整理支援システムの実運用検証試験, JR EAST Technical Review, No. 20 (2007) 54-58.  
 [3] 高橋: 鉄道システム開発における OR の適用と課題, オペレーションズ・リサーチ, Vol. 52, No.5 (2007) 279-284.  
 [4] S. Takahashi, K. Kataoka, F. Henda, S. Souma, T. Kojima and M. Asami: An algorithm for automatically modifying train crew schedule, The 8th World Congress on Railway Research (2008).