

S1-5-2

乗務員運用整理案の自動作成

[電] ○高 橋 理 (三菱電機株式会社)

[電] 片 岡 健 司 (三菱電機株式会社)

辺 田 文 彦 (東日本旅客鉄道株式会社)

浅 見 雅 之 (東日本旅客鉄道株式会社)

原 啓 太 (東日本旅客鉄道株式会社)

Automatic Crew Operation Dispatching

Satoru Takahashi,	Member	(Mitsubishi Electric Corporation)
Kenji Kataoka,	Member	(Mitsubishi Electric Corporation)
Fumihiko Henda,	Non-Member	(East Japan Railway Corporation)
Masayuki Asami,	Non-Member	(East Japan Railway Corporation)
Keita Hara,	Non-Member	(East Japan Railway Corporation)

Train crew operation dispatching, which is caused by the disorder of the train diagram, allocates all trains to train crews with considering a lot of constraints, mainly about crew's working conditions. It has been too difficult to get an appropriate solution for the problem in a short period, even by computers, since it has too many constraints. This paper proposes a new algorithm to rapidly get a solution satisfying all the constraints. It firstly decomposes all the operations allocated to each train crew, and secondly gets an initial solution by relaxing some constraints. It lastly searches a final solution satisfying all the constraints. We also apply the algorithm to sobu central line owned by East Japan Railway corp., and confirm it gets an appropriate solution in a short period.

キーワード: 乗務員運用, スケジューリング

Keyword: train crew operation, scheduling

1. はじめに

列車運行の乱れにともなって列車ダイヤの変更(運転整理)が行われると、それに合わせて乗務員運用の変更(乗務員運用整理)も必要になることが多い。この乗務員運用整理業務では、乗務員の労働条件を勘案しながらすべての列車に乗務員を割り当てる必要があるが、これまでは乗務員位置情報の収集や運用整理結果の連絡が人手で行われていたため、列車本数が多い高密度線区では手配に長い時間を要したり手配漏れが発生し、輸送混乱を拡大させてしまうという課題があった。そこで、われわれは、中央総武緩行線をモデル線区として、これまで紙ベースまたは電話連絡により収集・配信されてきた情報を計算機上で一元的に取り扱うことのできる乗務員運用整理支援システム¹⁾²⁾の開発を行っている。

本論文では、同システムの中核機能として開発している乗務員運用整理案の自動作成機能について述べる。これは、すべての労働条件を勘案しながらすべての列車に対して乗務員の割当を行う

組合せ問題の制約充足解を高速に求めるものである。また、中央総武緩行線における実際の乱れダイヤに対する適用結果について示すことで本機能の有効性について評価する。

2. 乗務員運用整理支援システム

システムの全体構成を図1に示す。東京総合指令室には乗務員運用整理支援装置と乗務員情報管理サーバが設置され、列車運行管理システムからくる列車ダイヤの変更情報や遅延情報、通告端末から送られてくる乗務中の運転士情報、乗務区所からの乗務員出退勤情報および現在位置情報を受信する。乗務員運用整理支援装置はこれらの情報に基づき、周期的または要求時に乗務員運用予測を行い、乗務員が次乗務列車に間に合わない、乗務員未充当の列車があるといった警告出力を行うとともに、警告を回避するための整理案作成を行う。さらに、運用変更が生じた場合には、区所端末および乗務員のもつ携帯情報端末に変更情報を送信する。

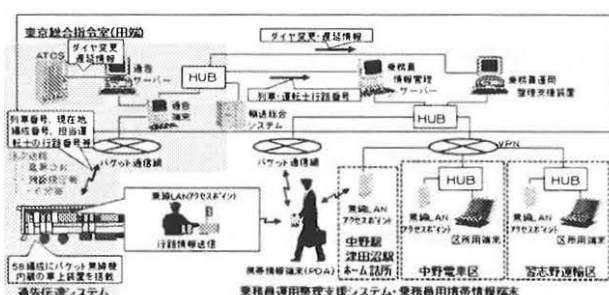


図1 中央総武緩行線向け乗務員運用整理支援システムの構成

次に、図2の列車ダイヤを用いて、乗務員運用の考え方について述べる。図中の太線部分はある乗務員の行う一連の作業に対応づけたもので行路と呼び、列車を運転する作業を示す行程の集合として構成する。計画ダイヤに基づき、乗務員の労働条件や移動上の物理制約などの制約条件を満たすように行路を作成する業務が乗務員運用計画である。これに対して、乗務員運用整理とは、列車運行の乱れが発生した場合に、運転整理によって修正された列車ダイヤに基づいて各行路を再構成するものである。

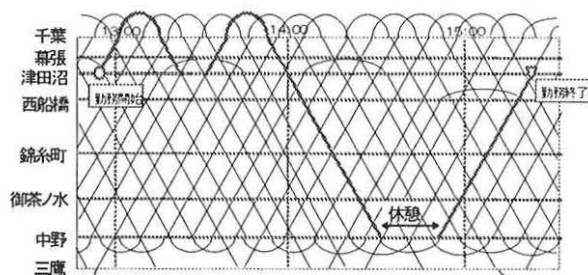


図2 中央総武緩行線における列車ダイヤと行路例

中央総武緩行線の運転士運用条件を図3に示す。整理案作成の対象となるのは図中に実線で示した中央緩行線線区(三鷹ー御茶ノ水)と総武緩行線線区(御茶ノ水ー千葉)であり、両線区に乗り入れている中央快速線や東京メトロ東西線の中野ー西船橋間は含まない。これらの線区には39駅があり、うち運転士の交代が可能な駅は6駅である。また、1日に運用される行路数は163、行程数は1260である。運転士は中野電車区または習志野運輸区のいずれかに所属し、泊まり勤務者の一部を除いては所属区所にて勤務を開始・終了する。

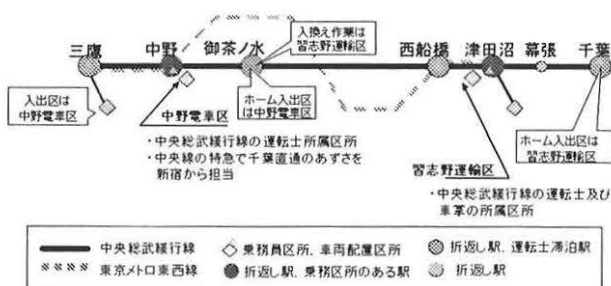


図3 中央総武緩行線における運転士運用ルール

乗務員運用計画の作成にあたっては、乗務員の労働条件をはじめとして表1に示すような制約条件が定められているが、列車運行乱れ時における乗務員運用整理では乗務員の労働条件充足よりも列車運行の早期復旧が優先されることから明確な制約条件は設定されておらず、やむをえず労働条件を超過することもあるのが現状である。

本論文で提案する自動作成アルゴリズムでは、列車運行乱れ時においてもあらかじめ定められた制約条件を可能な限り満たす整理案の作成を目指し、計画作成時と同じ制約条件を適用する。

表1 乗務員運用整理における制約条件の例

項目	内容
食事時間	食事時間帯に必要な休憩時間を確保する
一連続乗務時間	休憩なしで列車乗務する時間が上限以下
拘束時間上下限	行路終了時刻の計画からのずれが閾値以下
最終行先地	行路終了駅が計画と一致する

3. 乗務員運用整理案の自動作成アルゴリズム

乗務員運用整理は、乗務員運用計画と同様に、表1に示すような制約条件の下で、列車ダイヤ上のすべての列車に対して乗務員の割当を行う組合せ問題としてモデル化できる。しかし、乗務員運用整理においては、現在時刻までの実績や現在時刻以降の列車運行予測結果が問題を解くうえでの条件となるほか、短時間のうちにすべての乗務員割当を実現した整理案を出力する必要がある。

そこで、本論文では、実行可能解を短時間で求めるために、列車運行の乱れによって最初に乗務員運用の制約違反が発生する時刻以降の行路を分解して白紙に戻した後、一部の制約条件を除いて解を作成する初期解生成段階と、初期解の修正を繰り返してすべての制約条件を満たす解の探索を行う暫定解修正段階からなるアルゴリズムを提案する。

3.1 行路の分解

列車運行の乱れによって最初に乗務員運用に制約違反(図4に丸印で示す箇所)が発生する時刻以降の行路(図中の網掛け部分)を行路単位に分解する。また、各行程が乗務交代でき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。

一方、切断した行程の割当が可能な行路として、現在時刻+情報伝達時間より後まで乗務する予定の行路(整理案の確定後に連絡可能な状態にある乗務員)を抽出する。

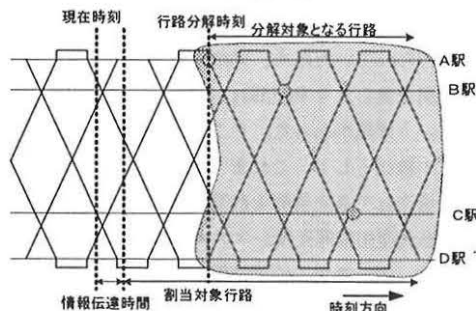


図4 切断対象・割当対象の行路

3. 2 初期解生成段階

切断した行程について、開始時刻の早いものから順に、拘束時間および最終行先地を除く制約条件と表2の割当ルールを満たす行路を接続先候補として抽出する。

表2 割当ルールの例

ルール名	内容
空き行路割当	まだ作業を担当していない行路
連続乗務割当	休憩なしで乗り継ぐことができる行路
休憩最適割当	30分程度の休憩をとれるような行路
計画行路割当	行程が計画上で割り当てられていた行路
最短食事割当	食事時間をぎりぎり確保できる行路

次に、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最もふさわしい行路を決定するために、表3に示す状態選択知識を順に適用する。

まず、各行路候補に対して最初の知識を適用し、知識に該当しない行路候補を候補から削除する。この結果、行路候補が1つになればそれを行程の割当先行路として決定し、行路候補が複数残った場合には、その複数個に対して次順位の知識を適用する。ただし、ある知識の適用によって、すべての行路候補が削除される場合には、その知識は適用せずに次順位の知識を適用する。

ここで、乗務員は点呼時に各自の担当行路に関する諸注意を受けるが、運用整理が行われた後には変更分に対する諸注意を与える余裕がないことも多いため、運用整理案の作成にあたっては計画からの変更量が少ないものが望まれる。そこで、本研究では表3に示すように、割当ルールによって抽出された行路候補の中で計画行路に戻すことができる候補を最優先して選択する。

表3 状態選択知識の優先順位例

順位	知識
1	計画行路に戻す
2	決められた折返ルールに対応している行路
3	拘束時間が計画に達していない行路
4	食事休憩を確保した行路
5	連続乗務が継続する行路

ここで、制約条件を満たす割当先行路が1つも存在しない場合には、行路と行程の間に便乗をはさむことによって割当可能となる行路の探索を行い、便乗を用いてもなお割当先が見つからない場合には乗務区所待機する予備乗務員に割り当てる。

さらに、予備乗務員がいない場合や、予備乗務員を用いてもなお割当先が見つからない場合には、制約条件を段階的に緩和しながら再び割当先を探す。これは、乗務員未充当行程が発生するのを防ぐために実際の運用でも行われている措置であり、乗務員の食事時間や休憩時間など緩和可能な制約条件を一定の範囲内で見直すものである。

3. 3 暫定解修正段階

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と最終行先地に関する違反の解消を行う。

ここで、拘束時間上限については、それぞれの乗務員の都合に合わせて設定し、あるいは泊まり行路を担当する乗務員の場合には翌日行路開始時刻との間の仮眠時間を確保できるように設定したうえで、各行路における制約違反の程度を図5に示す違反度として数値化する。

そして、この初期解に対して、制約違反を含む行路と他の行路との間での行程移動を繰り返すことにより、全行路の違反度の総和を小さくする解の探索を行う。

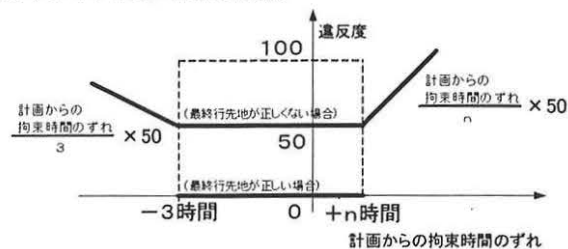


図5 違反度

行程移動については、拘束時間違反または最終行先地違反のある行路について、①当該行路の途中または末尾にある行程の他行路への移動(図6)、②他行路にある行程の当該行路末尾への移動、③当該行路の末尾にある行程の他行路の行程との交換のうち、最も違反度の削減効果が大きいものを選択する。



図6 暫定解修正段階における行程移動の例

4. 実際の運行乱れデータを用いたアルゴリズムの評価

中央総武緩行線にて実際に発生した運行乱れデータに対して提案アルゴリズムを適用した結果を表4に示すとともに、作成された運用整理案の例(一部抜粋)を図7に示す。なお、運用整理の対象外となる同線区の特急列車や快速列車は遅延なく走行し、拘束時間上限は全乗務員一律に計画上の拘束時間+3時間、予備乗務員はいないと仮定した。

表4に示す評価項目のうち、「適用前の違反数」は整理案作成前の時点における制約違反の数、「割当行程数」は行路への割当が必要な行程の数を示し、「行程割当率」は実際に行路に割り当てることができた行程の割合、「適用後の違反数」は整理案に残った制約違反の数である。また、「計画比率」は元の計画通りに再度割り当てられた行程の比率、「処理時間」は整理案の自動作成に要した時間を示している。

いずれのケースにおいても乗務員未充当行程を解消することができ(行程割当率=100%)、1ケースを除いてはすべての制約違反を解消する運用整理案を作成することができた。また、いずれのケースにおいても全体の90%程度の行程を計画行路に割りあてることができ、変更量の少ない整理案が作成された。さらに、図7

に示すように、変更のある行路も拘束時間が大きくずれることはなかったことから、特定の乗務員に過度な負担を与えることを抑制するような整理案を作成することができたといえる。一方、処理時間については運行乱れの程度(制約違反の数)にはあまり依存せず、割当行程数が多くなるにつれて増えることがわかった。

表4 乱れダイヤに対するアルゴリズム適用結果

試験 ケース	適用前 の 違反数	割当 行程数	行程 割当率	適用後 の 違反数	計画 比率	処理 時間
1	24	1072	100%	0	96%	21 秒
2	47	1061	100%	0	95%	22 秒
3	64	1059	100%	1	88%	22 秒
4	19	350	100%	0	99%	15 秒
5	29	346	100%	0	99%	15 秒
6	40	346	100%	0	99%	16 秒

※ 動作環境： ME/RB2000 (CPU: PA8500-400MHz, OS: HP-UX10.20)

5. おわりに

列車ダイヤの変更(運転整理)に伴う乗務員運用整理案を短時間で自動作成するアルゴリズムを開発した。本アルゴリズムは、一部の制約違反を許容して全行程の行路割当を行う初期解生成段

階と、すべての制約違反を解消する解の探索を行う暫定解修正段階から構成するものであり、中央総武緩行線の乱れダイヤに適用した結果、実行可能解を短時間で得られることが分かった。

今後は、よりさまざまな条件下で実際の乱れダイヤデータを用いたアルゴリズムの検証を行い、常に実用的な解が得られるように改良を加え、システムの実用化を目指す所存である。

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, pp. 43-54, 2003
- 2) 原, 小島, 府川: 乗務員運用整理支援システム・乗務員用携帯情報端末の開発, 第40回鉄道サイバネシスシンポジウム論文集, 2003
- 3) 高橋, 片岡, 駒谷, 原, 辺田: 乗務員運用整理案の自動作成アルゴリズム, 平成16年電気学会産業応用部門大会講演論文集, 2004
- 4) 高橋, 片岡, 辺田, 浅見, 原: 乗務員運用整理案の自動作成アルゴリズム, 第2報: 中央総武緩行線の乱れダイヤを用いた検証, 第42回鉄道サイバネシスシンポジウム論文集, 2005
- 5) 竹田, 一階, 片岡, 薦田: 状態選択法と条件緩和探索法による知識型乗務員運用計画方式, 電気学会論文誌, Vol. 119-C, No. 11, pp. 1377-1382, 1999

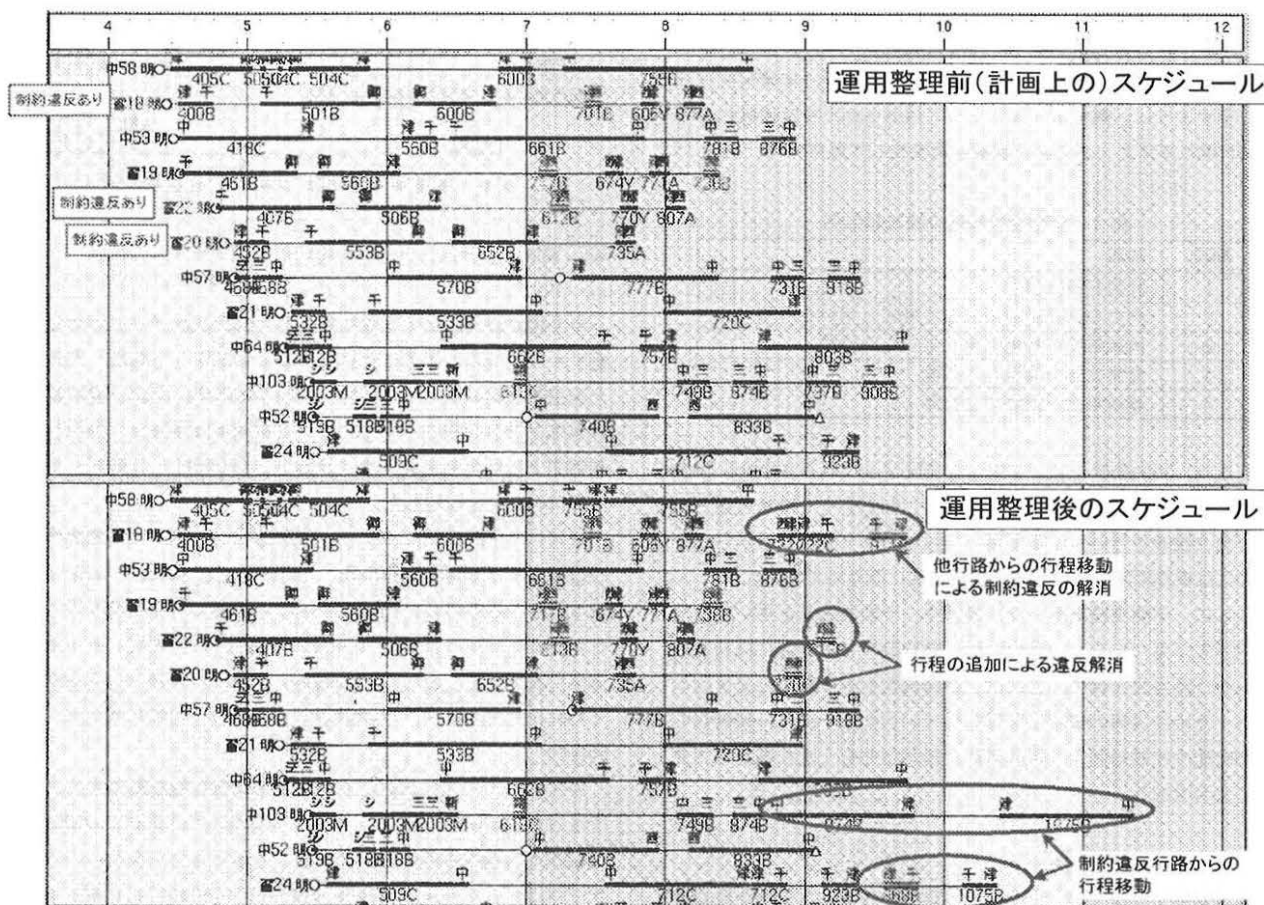


図7 乱れダイヤに対する乗務員運用整理案作成事例