

# 保守区の勤務形態に対応した 勤務計画作成システムの開発

尾崎 尚也\* 羽田 明生\* 佐藤 紀生\*

## Development of a Job Assignment System for Maintenance Workers

Naoya OZAKI Akio HADA Norio SATO

In each maintenance group, they have to prepare a job assignment monthly. It takes a lot of time to determine the assignment, because they are preparing it manually at present and they have to take into consideration many constraints that should be complied with. Accordingly, we developed a system which automatically generates job assignment candidates, complying with given constraints, and taking into consideration the working conditions of maintenance workers. In this paper, we introduce the system and the result of computational time evaluation of the system. This system greatly helps planners in preparing job assignments.

キーワード：保守区，勤務計画，作成システム，数理計画

### 1. はじめに

鉄道保守現場では、毎月、勤務計画表を作成してそれに沿って勤務を行っている。現在、ほとんどの場合、勤務計画作成は担当者が作業内容、社員の資格の有無、夜勤や休日出勤のバランスなど様々な条件を考慮しながら手作業で作成している。これには多くの時間を割いており、また担当者の計画作成経験に依存している。

これまで、鉄道分野では運転士や車掌といった列車乗務員の勤務計画作成の効率化について、さまざまな検討が行われており<sup>1)</sup>、どのように行路を設定すればよいか、乗務員をどの列車に割り当てるかといった問題をコンピュータで自動作成することについて検討されている。

一方、保守区などの現場での勤務計画の自動作成についてはこれまでほとんど検討されてこなかった。

また、勤務計画をコンピュータで自動作成する手法については、一般的なシフト勤務に対する多くの研究と実用化が行われている。しかし、保守現場の勤務は日勤夜勤の連続で行う場合があることや作業内容が日々異なるなど一般的な勤務形態と異なる。そのため、既存のシフト勤務を対象とした勤務計画の手法をそのまま当てはめることは難しい。

そこで、本研究の目的として以下の2点を挙げた。1つ目は手作業で行っている勤務計画作成をシステム化することで作業時間を短縮し、勤務計画作成担当者の負担を軽減することである。2つ目は、計画作成経験に依存せずに基本的な条件を満たした勤務計画の作成を行えるシ

ステムとすることである。

本研究では以下の手順で研究を進めた。はじめに、勤務計画作成業務についてヒアリングを行い、現状の確認を行った。また、関連する既存の研究および市販システムについて調査を行い、本研究の課題を整理した。その後、勤務計画の際に考慮される条件などを整理し、数理モデルとして構築した。このモデルをもとに、プロトタイプシステムを作成し、性能評価を行った。その結果、本研究で想定している10人程度の保守区に対しては実用的な機能と性能を持ったシステムとなっていることが確認された。

本論文では、勤務計画作成の現状と課題、検討内容、プロトタイプシステムの概要、性能評価結果について報告する。

### 2. 勤務計画作成の現状と課題

#### 2.1 勤務計画作成業務の現状

実際に行われている勤務計画作成業務についてヒアリングを行った。その結果、下記のような現状を把握した。

- (1) 保守現場における勤務計画作成は担当者が表計算ソフトウェア等を利用している場合もあるが、手作業で行っている。
- (2) 勤務計画作成には、区所の規模等により異なるが、のべ数時間から十数時間かかっている。
- (3) 多くの条件を考慮する必要があり、勤務計画作成は経験に依存するため、作成時間や作成効率に大きな差が生じている。
- (4) 勤務計画を作成する単位は概ね10人程度である。

\* 輸送情報技術研究部（設備システム）

特集：輸送情報技術

- (5) 勤務時間の管理を行うシステムはすでにあるが、勤務計画作成を支援する機能を持ったシステムはない。
- (6) 毎月20日までに作業内容が確定し、25日までに勤務計画の作成を行っている。

毎月1回の作業とはいえ、手間と時間をかけていることがわかった。また、作成にかけられる時間は数日間であり、そのうち十数時間をこの作業にとられるのは担当者にとって負担となっていると考えられる。

2.2 既存システムの調査

勤務計画をコンピュータで自動作成する手法については、これまでに多くの研究と実用化が行われている。研究例として多くあげられるのは看護師のシフト勤務の計画作成である<sup>2)</sup>。様々な条件を満たす勤務計画をいかに効率的に求めるかという問題に対して、モデル化やアルゴリズムについて研究が行われている。

また、勤務計画作成を行う市販ソフトウェアがある。これらのうち比較的安価に購入できるソフトウェアについて本問題に対応できるか確認をしたところ、下記のような条件については対応できないことが判明した。

- (1) 作業内容の設定ができない。日勤・夜勤の振り分けのみはできるが、具体的に誰がどの作業を行うかの割り当てはできない。
- (2) 夜勤数や休日出勤数の平準化のような勤務の公平性を含めた条件には対応できない。
- (3) 勤務の設定が曜日単位であることから、具体的な勤務体制を所与として入力できない。

鉄道保守現場は作業内容が日々異なるため、作業に必要な人数も日々異なる。また、勤務もシフト制ではなく、午前・午後のみ勤務や午前から翌朝までの勤務などがあり、一般の勤務形態とは異なっている。よって、保守現場では既存の勤務計画ソフトウェアをそのまま利用することは難しいことがわかった。

2.3 システム開発の要件

以上から、保守作業現場に適用可能な、日々の異なる作業予定に対応し、様々な条件を考慮した勤務計画表を出力する勤務計画自動作成システムの開発を本研究の目的とした。また、システムを開発する上での要件は下記の通りであった。

- (1) これまで手作業で行っていたものをシステムで行うことにより、勤務作成の時間を短縮すること。
- (2) 経験に依らず、基本的な条件を満たした勤務計画表をすばやく出力すること。
- (3) 個々の保守区に導入することを想定すると、高価になると導入しにくいいため、できるだけ安価に導入できるシステムにすること。
- (4) 個別の区所には様々なルールが存在するためすべて

に対応するのではなく、共通的な条件を満たした勤務計画表を出力し、区所固有の条件については簡単に修正でき条件の再チェックが可能なシステムにすること。

システムを利用することで勤務計画作成担当者の負担の軽減につながると考えられる。

3. 勤務計画作成要件の整理

勤務計画作成経験者に対してヒアリングを行い、勤務計画を作成する上で必要なデータおよび考慮すべき点を抽出した。その内容を参考に制約条件および評価指標を整理した。制約条件とは必ず満たさなければいけない条件のことである。評価指標はどういった勤務計画がよいかを判断するためのものであるが、「できるだけこうしてほしい」という緩い条件を記述することもできる。

3.1 制約条件

本研究で考慮している制約条件は下記のとおりである。これらの内容はヒアリングで抽出された勤務計画作成上、満足すべき点を条件として整理したものである。

- (1) 特定4週に4日公休をとる（ひと月の特休公休数は基準となる特休公休の数と一致する）、
- (2) 勤務に必要な人数は〇人（作業予定を入力する際に人数を入力）、
- (3) 必要な資格を持った人を割り当てる（作業予定を入力する際に必要な資格と人数を入力）、
- (4) 作業に必ず参加する人と参加できない人を区別する（作業予定を入力する際に入力）、
- (5) 夜勤翌日は非番、
- (6) 年休・代休希望日の前日に夜勤を入れない、
- (7) 非番希望日は非番とし非番前日は夜勤とする、
- (8) 年休・代休希望日は年休・代休とする、
- (9) 土曜・日曜・祝日の連続勤務はしない、
- (10) 休日出勤日数の多い人と少ない人の差は〇日以内（日数は任意に設定できる）、
- (11) 夜勤日数の多い人と少ない人の差は〇日以内（日数は任意に設定できる）。

(1)は労働基準法35条に定められ、法律上守らなければならない条件である。(2)～(4)は作業を行う上で必要であり、一般的な鉄道保守現場で考慮される条件と考えられる。(5)は連続夜勤をしないということの意味している。(6),(7)は(5)の条件と矛盾が生じないように設定したものである。(8)については、基本的に休暇希望があったその日は休暇とするという運用を実際に行っているということで設定した。(9),(10),(11)は勤務作成の際に考慮している点ということで設定した。(9)は通常の週末であれば土日の両方出勤することがな

のように、大型連休などでは連続出勤がないよう考慮しているということで設定した。(10)、(11)は夜勤や休日出勤といった負担の大きい勤務はできるだけ平準化し特定の人に多く割り当てることのないようにしたいという意見があり、それを実現するための条件となっている。(5)～(11)についてはすべての現場がこの条件で勤務計画を作成しているとは限らないため、各現場での状況に合わせ選択して設定するものとした。

### 3.2 評価指標

どういった勤務計画がよいかを判断するための評価指標は以下の3点を考慮している。これらも勤務計画作成経験者へのヒアリングにより、実際に作成する際に考慮している内容ということで導入した。これらの評価指標は確実に守る必要はないが、できるだけ守るようにしたいという条件である。

- (1) 土日祝出勤をできるだけ等しくする、
- (2) 夜勤数をできるだけ等しくする、
- (3) 土日祝出勤の振替はできるだけ連休にする。

(1)、(2)については夜勤や休日出勤といった負担の大きい勤務はできるだけ同じ日数ずつ割り当てるようにしたいという意見から設定したものである。この指標は3.1節の制約条件の(10)、(11)と勤務の平準化という目的は同じだが、確実に差を数日以内としたい場合は制約条件として設定し、できるだけ土日祝出勤あるいは夜勤数を等しくしたい場合については評価指標として設定することで柔軟な対応ができるようにした。

(3)は通常の週末について、土曜日に出勤した場合には日曜日と月曜日をできるだけ連休に、日曜日に出勤した場合には金曜日と土曜日をできるだけ連休にしたいという意見があり導入した評価指標である。

### 3.3 必要なデータ

制約条件と評価指標のほかに必要なデータをまとめた。これらの情報は勤務計画を作成する前に入力する必要がある。

- (1) 各人の情報(名前・資格・グループ等)、
- (2) カレンダー情報(特定4週基準日・特休公休日等)、
- (3) 作業予定(日時・内容・必要人数・資格等)、
- (4) 各人の休暇希望、
- (5) 前月の勤務計画。

(5)について、制約条件(1)に関して特定4週は月をまたがる条件であるため、前月の勤務計画が必要である。前月途中に当月の勤務計画を作成するため、勤務実績は確定していない。そのため未確定の部分には勤務計画を用いる。前月の勤務計画にシステムを利用してデータが登録してあればシステムが自動的に利用する。

## 4. システム化に向けた検討

### 4.1 勤務計画作成手順

システムを考えるにあたり、操作手順について検討を行った。実際の勤務計画を作成する手順に沿って行うことがわかりやすいと考え、ほぼそれに合わせた形で図1のフローチャートに示す手順によって勤務計画作成を行うこととした。

はじめに、各社員の情報やカレンダーの情報など基本的な情報を入力する。これは使用開始時に一度入力した後は必要に応じて変更を行えばよい。その後、作業予定を入力し、各社員の休暇希望等を入力する。これで、必要なデータの inputs は完了となる。そして、制約条件と評価指標を設定し計算を始める。

計算開始の後、制約条件違反がある場合、条件を満たす解が見つからない場合については、システムがその旨を通知する。制約違反である場合は、システムが見つけれられる範囲で原因を示すので、その通知内容を参考に担当者が変更を行う。人数が足りないのであれば作業予定を変更する、あるいは休暇希望の変更を社員に確認した後に変更をする。制約条件を満たせない場合には制約条件設定を変更する。また、解が見つかった場合には画面に計算結果が表示され、その内容を計画作成担当者が確認を行う。表示された内容に対して修正が不要の場合は勤務計画表を確定し、修正する場合には担当者の変更など適宜勤務内容を調整する。その後、条件を満たしているかのチェックを行い、違反がある場合はシステムがそ

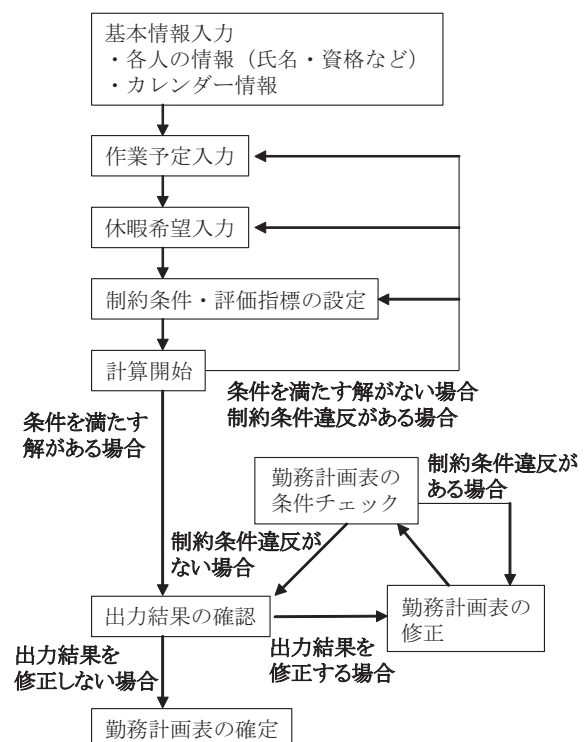


図1 勤務計画作成手順

特集：輸送情報技術

の旨を通知する。この場合はシステムが違反の原因を通知するのでその内容を参考に再度修正を行う。違反がなければその結果を確認し勤務計画表を確定する。

4.2 モデルと解法

一般に勤務計画作成問題をコンピュータで解く際には、必要なデータ、様々な条件、評価基準を数式で表現した数理モデルを構築する必要がある。

そこで、3章で挙げた制約条件、評価指標および必要なデータから数理モデルを構築した。モデルを構築する際には、問題に適した方法でモデル化を行う必要がある。既存の勤務計画作成のためのモデル化を参考にしつつ、保守区特有の勤務形態をモデルに反映させた。勤務計画問題については、過去の研究から制約充足問題<sup>2)</sup>としてモデル化する場合と最適化問題<sup>3)</sup>としてモデル化する場合が考えられる。制約充足問題とは、評価指標を設定せず条件を満たす解を見つけるモデルである。最適化問題とは条件を満たす解のうち、最も評価指標が良い解を求めるモデルである。いずれのモデルも条件を満たした解を求めることはできるが、今回は評価指標も考慮したために最適化問題としてモデル化することとした。

また、最適化問題を解く方法として、発見的解法(ヒューリスティクス)と呼ばれるものがある。遺伝的アルゴリズム<sup>4)</sup>や焼きなまし法<sup>4)</sup>と呼ばれる方法などがこの解法に該当する。これらの方法はあらかじめ解の候補を見つけ、その解から一定の規則に沿って最も評価指標の良くなる解を探索するものであるが、ほかに評価指標のより良い解があるにもかかわらず、評価指標の悪い解を出力してしまうことがあり得る。よって、発見的解法では安定的に良い解を得ることはできない。これらの方法は問題の規模が大きく、最適解が見つかりにくい問題を対象とした際に効率よくできるだけ最適解に近い解を求めるために用いられる方法である。

一方、他の方法として整数計画法がある。この解法は最も評価指標の良い解を求めることができるという利点を持つ反面、計算時間の観点から大規模な問題を扱うことが難しいという欠点を持つ。今回対象となる勤務計画問題は、最適化問題としては大規模な問題ではないと考えられ、発見的解法ではなく、評価指標の最も良い解を厳密に求められ、安定的に良い解を得られる方法である整数計画法<sup>3)</sup>として定式化することとした。

整数計画法とは、制約条件や評価指標を数式で表現し、制約条件を満たす変数の組み合わせのうち評価指標が最も良くなる組み合わせを求める問題であり、かつ変数は整数に限られるものである。本研究では人(i)・日付(j)・時間帯(k)・仕事内容(l)を表す変数 $X_{ijkl}$ を0か1をとるものとし、 $X_{ijkl}=1$ のとき、人(i)が日付(j)の時間帯(k)の仕事(l)を行うことを意味する。そして、

人・日付・時間帯・作業内容の組み合わせを表すすべての変数に0か1を割当てることで勤務の割当が決まる。

現実的にはこのように定式化された問題を人手で解くことは不可能である。そのため、このような最適化問題を解く際に、一般には最適化ソルバと呼ばれるソフトウェアを利用する。これらのソフトウェアを利用することで、最適解を短時間で求めることができる。市販ソフトウェア<sup>5)</sup><sup>6)</sup>は性能のよいアルゴリズムを搭載しているため、最適解を短時間で出力ができる。しかし、コンピュータ1台につき数十万円から百数十万円の費用がかかり、各保守区で導入することを考えると高価である。一方、研究開発用に用いられるフリーウェアがある。こちらは市販のソフトウェアと比較して計算時間は長くなる等欠点はあるが、本問題に対しては十分と考えられ、しかも無料で利用できるという利点がある。

4.3 システム構成

図1で示したフローチャートの手順で作成を行うためのシステムの構成について検討を行った。その結果、システムの構成は

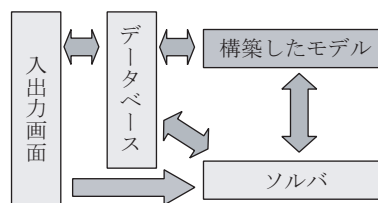


図2 システム構成図

図2のようなものとした。

入出力画面で作成担当者が入力した情報はデータベースにモデルおよびソルバの対応形式に合わせて保存される。勤務計画作成実行の際は、入出力画面からソルバに命令が行き、ソルバはデータベースから必要な情報を取得し、モデルの内容に合わせて計算を行い、計算結果をデータベースに返す。データベースに保存された計算結果を入出力画面に示すことで、出力された勤務計画表を作成担当者が見ることができる。修正作業についてはデータベースを更新することで対応している。

モデルとソルバを分離することで、モデルのカスタマイズやソルバの変更にも対応しやすいものとした。データベースは一般に多く利用されているMicrosoft Accessを用いることとした。モデルは4.2節で構築したモデルを用いた。ソルバはフリーウェアのGLPK<sup>7)</sup>を用いた。

5. プロトタイプシステムの概要

4章で検討した内容を踏まえプロトタイプシステムを作成した。本システムは、勤務計画作成に必要なデータと満たすべき条件を入力し、自動作成システムに計算させることで条件を満たした勤務計画表を出力する。出力された勤務計画表は必要に応じて修正でき、修正後に条件を満たしているかの確認を行える。これにより柔軟に

計画作成が行える。

本システムは3.1節に挙げた制約条件を必ず満たす勤務計画を作成する。入力データに条件違反がある場合にはシステムがチェックしその内容を提示する。その内容に応じて、入力データの修正や制約条件の設定変更が必要となる。その場合に備えて、それぞれの制約条件を考慮するかどうか選択できるようになっている。また、3.2節に挙げた評価指標も同様にそれぞれ考慮するかを選択できるようになっている。

出力結果は図3のように勤務計画表として出力され、手作業で修正することも可能である。また、修正した内容が条件を満たしているかを確認する機能がある。この場合、制約違反があるとシステムが違反の原因を示す機能を持っており、勤務計画表の修正がしやすくなっている。

出力結果は画面だけではなく、Excelファイルとして出力することも可能である。また、日別の作業計画表を出力することもできるようになっており、日々の業務日誌等作業記録への利用もできる。

### 6. プロトタイプシステムの性能評価

作成したプロトタイプシステムが実用上利用可能な時間で勤務計画を求めることができるかを確認した。対象人数・作業内容・制約条件・評価指標のパターンを複数用意し、どの程度の時間で計画を求められるかを調べた。計算にはCPUが3.6GHz、メモリが1GB、OSがWindows XP Professional (SP2)のコンピュータを使用した。

制約条件については(1)～(9)は全て満たすように

し、夜勤日数および休日出勤日数平準化に関わる制約条件(10)、(11)の差の条件を1日、2日、3日の3種類設定した。差が小さいほど厳しい条件と言える。評価指標については(1)、(2)は制約条件の(10)、(11)と重複するため考慮せず、(3)の休日出勤の前後をできるだけ連休にするという評価指標を用いた。なお、計算時間が3分以上かかる場合は計算実験を打ち切ることとした。

図4に結果を示す。傾向として、人数が同じ場合には勤務平準化の条件が緩い場合、すなわち日数差の条件を大きく3日以内とした場合には計算時間が短かった。休日出勤および夜勤日数の差が1日のうち20人および40人の場合に3分以上かかった。

また、ソルバに市販ソフトウェアであるCPLEX<sup>5)</sup>を用いたものについても計算時間の評価を行った。制約条

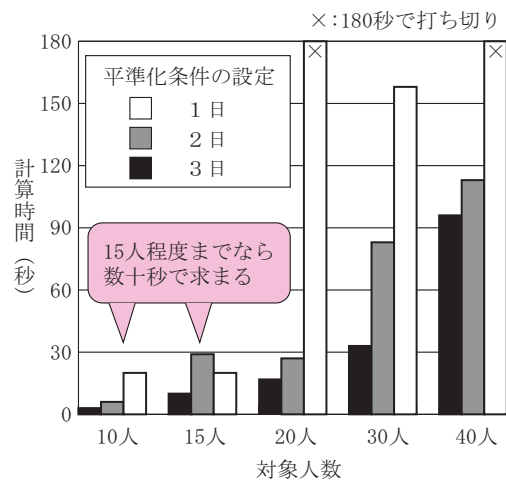


図4 プロトタイプシステムの計算実験結果

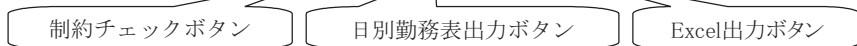


図3 勤務計画表出力例

特集：輸送情報技術

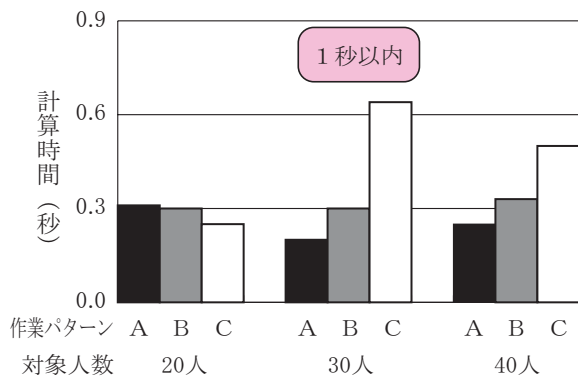


図5 CPLEXによる計算実験結果

件については(1)～(9)は全て満たすようにし、夜勤日数および休日出勤日数平準化に関わる制約条件(10)、(11)の差の条件を1回と最も厳しいものを設定した。評価指標については(1)、(2)は制約条件の(10)、(11)と重複するため考慮せず、(3)の休日出勤の前後をできるだけ連休にするという評価指標を用いると設定した。

図5に結果を示す。ほとんどの場合CPLEXを用いた場合は1秒以内で出力されている。

これらの結果から、15人程度の勤務計画であればフリーウェアのGLPKを用いても数分以内に計算できると考えられる。20人以上になるとGLPKでは計算時間が長くなり、40人程度の人数になるとフリーウェアであるGLPKで短時間に求めることは困難になってくると言える。

現場での作成単位である10人程度の勤務計画作成では、20秒程度で求めることができた。この結果、実用上利用可能と考えられる時間で勤務計画を求めることができたことがわかった。ただし、作業量や作業に必要な人数、休暇希望の状況など様々な要因によって計算時間は変わるため、どのような条件でもこの結果で示した時間で求められるわけではない。

プロトタイプシステムを現場で実際に勤務予定表作成を行っている担当者に試用してもらい評価を行った。その結果、実用に堪える機能および性能を持っていることが確認された。

7. システムの導入形態

システムの導入形態としては、各区所に個別に1台ずつソフトウェアを用意し利用するスタンドアロン型と、センターサーバにソフトウェアを用意し各区所からネットワーク経由でアクセスするサーバ・クライアント型が考えられる(図6)。

今回構築したモデルはいずれにも対応でき、スタンドアロン型ではフリーウェアのソルバを利用することで導入費用を抑えられ、サーバ・クライアント型では市販ソルバを用いても区所あたりの費用が軽減できるなど、導

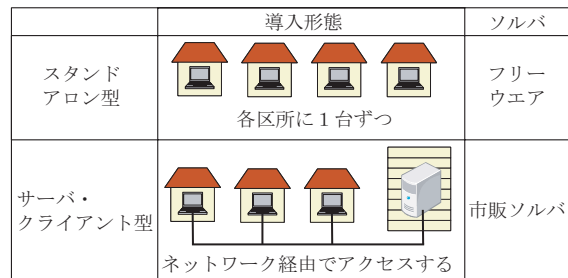


図6 導入形態

入形態に応じてより効果的な方法を選択できる。

8. おわりに

本研究では保守作業現場に適用できる、様々な条件を考慮し日々の異なる作業予定に対応した勤務計画表を出力する勤務計画自動作成システムを開発した。

プロトタイプシステムを作成し計算実験を行った結果、実際の作業グループを想定した15人程度では数十秒以内で求められることが示された。このシステムを用いることで、勤務計画作成にかかっていた時間を短縮することができるようになる。また、勤務計画作成の経験に依らず、基本的な条件を満たした勤務計画を求めることができる。出力結果を修正し、条件を満たしているかを調べる再チェック機能があるため、より柔軟な勤務計画作成に対応できるものとなっている。

本システムを用いることで、勤務計画作成担当者の負担が軽減できる。また、勤務条件を満たしているかの確認も容易になる。

実際に導入をするには、利用箇所ごとの勤務計画作成のルールなどを改めて整理し、カスタマイズが必要となるが、本システムが基本的な性能および機能を持っていることが確認されたことで、保守現場向けの勤務計画作成システムの基本的な構成はできたと考えている。

文献

- 1) (財)鉄道総合技術研究所運転システム研究室: 鉄道のスケジューリングアルゴリズム, NTS, 2005
- 2) 服部宏光他: 動的重み付最大制約充足問題に基づくナーススケジューリングシステム, 人工知能学会論文誌, 20, 1, C, pp. 25-35, 2005
- 3) 今野浩, 鈴木久敏: 整数計画法と組合せ最適化, 日科技連, 1982
- 4) 久保幹雄, 松井知己: 組合せ最適化短編集, 朝倉書店, 1999
- 5) ILOG. Inc: CPLEX, <http://www.ilog.co.jp/product/opti/cplex/cplex.html>
- 6) 樹数理システム: NUOPT, <http://www.msi.co.jp/nuopt/>
- 7) GLPK: <http://www.gnu.org/software/glpk/>