

保守区向け勤務計画作成システム

○尾崎 尚也 羽田 明生 佐藤 紀生 (鉄道総合技術研究所)

A duty assignment system for groups of maintenance workers

○Naoya OZAKI, Akio HADA, Norio SATO

(Railway Technical Research Institute)

Monthly duty assignment for maintenance workers groups of railway industries is still made manually. The assignment planners have to know many constraints and need some experience to make it. And this work takes much time. Therefore, we developed a duty assignment system which automatically generates duty assignment candidates satisfying given constraints. This system greatly helps assignment planners make assignments.

キーワード：勤務計画，整数計画，保守区

Key Words：duty assignment, integer programming, maintenance group

1. はじめに

現在，多くの鉄道保守現場での勤務計画作成は担当者が作業内容，作業員の資格の有無，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，また担当者の経験に頼っている。これまで，どのように乗務員を列車に割り当てるかについての検討は行われてきた¹⁾が，保守区など設備管理部門での勤務計画作成の自動化についてはあまり検討されてこなかった。そこで，保守区を対象とした勤務計画作成システムについて検討を行い，プロトタイプシステムを作成した。想定する人数は実際の保守区の人数をふまえて 10 人程度としている。また，実運用では毎月 25 日までに翌月 1 か月の予定を作成しているので，それに合わせたシステムとなっている。

これまで，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勤務計画作成である²⁾。様々な条件を満たすシフトをいかに効率的に求めるかについて研究している。こういったソフトウェアは日々の勤務がローテーションで行われることを前提としている。つまり，固定された勤務時間に人を割り当てる問題である。ところが，鉄道保守現場は毎日作業の内容が異なるため，日により作業に必要な人数は異なる。そのため，一般的なローテーション勤務とは異なり，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。

そこで，われわれは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を出力する勤務計画自動作成シ

ステムを開発した。このシステムを利用することで予定表作成担当者の負担の軽減につながると考えられる。また，コンピュータを介すことで，勤務条件を満たさない計画を作成してしまうといった間違いがおこらないという利点もある。

一般に勤務計画作成問題を解く際には最適化ソルバー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，短時間で作成することができる。多くの市販ソフトウェア^{3) 4)}は性能のよいアルゴリズムを搭載しているため，短時間で出力ができる。しかし，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⁵⁾があるが，こちらは市販のソフトウェアと比較して性能は劣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点が利点である。

本稿では，われわれが開発した勤務計画作成システムの概要と特徴を説明する。また，実際の過去の作業予定を入力し，市販のソフトウェアとフリーウェアとの 2 種類を用いた計算実験の結果を示し，どの程度の計算時間で出力できたかを示す。

2. システムの概要

はじめにシステムの概要 (図 1) について説明を行う。本システムは，勤務計画作成に必要なデータおよび条件を入力し，システムに計算させることで条件を満たした勤務予定表を出力する。出力された勤務予定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，より柔軟に勤務計画作成が行える。

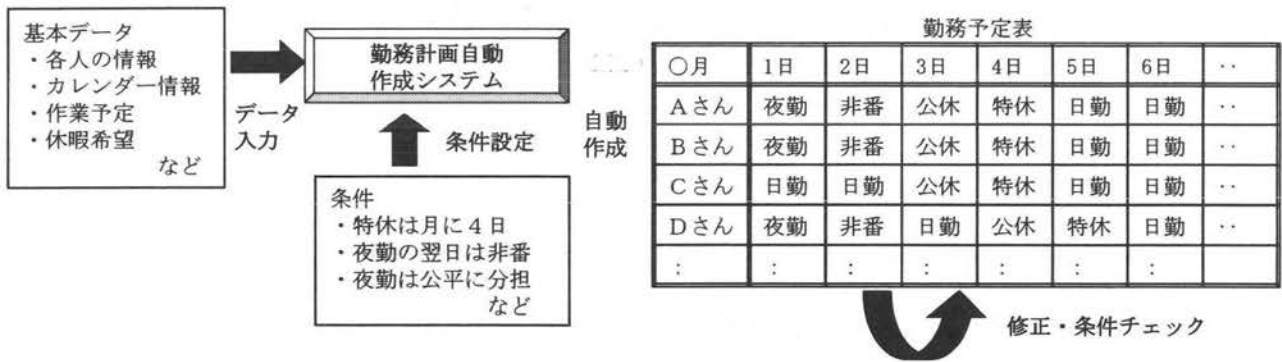


図1 本システムの概要

2.1 入力データ

本システムで基本データとして入力が必要な内容は以下のとおりである。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) 前月の勤務予定。

(1)(2)は変更があるときに一度入力すればよい内容である。(3)(4)は毎月入力する必要のあるデータである。(5)は前月の勤務予定がすでにデータとしてあればシステムが自動的に利用するため入力する必要はない。

2.2 制約条件

必ず満たす必要のある条件を制約条件と呼ぶ。本システムで考慮している制約条件は以下の内容である。これらは実際に勤務計画の作成に携わったことのある方にヒアリングを行いまとめた条件である。

- (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 n 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を入力)。
- (4) 作業に参加すべき人は参加し、参加できない人は参加しない（作業予定を入力する際に入力）。
- (5) 年休・代休希望日の前日に夜勤を入れない。
- (6) 非番希望日は非番とし非番前日は夜勤とする。
- (7) 夜勤翌日は非番。
- (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 m 回以内
(日数 m は任意に設定できる)。
- (11) 夜勤回数の多い人と少ない人の差は m 回以内
(日数 m は任意に設定できる)。

(1)は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)～(11)は各現場で必要に応じて選択できる条件である。(5)～(8)は勤務計画作成上矛盾がおきないようにするための条件である。(10)(11)は夜勤や休日出勤といった負担の大きい勤務の平準化をするための条件となっている。

本システムはここに挙げた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、入力した内容修正が必要となる。データを確認しても条件を満たせない場合にはいずれかの条件を除くか制約条件(10)(11)を緩くする(数字を大きくする)必要がある。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。

2.3 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。これらも勤務計画を作成した経験のある方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。

- (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)についてはそれぞれ制約条件の(10)(11)と内容は同じであるが、確実に条件を満たしたい場合は制約条件として設定し、できるだけ守りたい場合については評価指標として設定することができる。(3)の条件は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するという評価指標である。

このほかにも数式で表現できるものであれば導入することは可能である。これら評価指標も制約条件と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。

2.4 解法

勤務計画作成問題を解く手法として、数理計画の1つの

手法である整数計画法⁶⁾を用いる。2. 1～2. 3節に挙げた入力内容・制約条件・評価指標を数式で定式化し、最適化ソルバーを用いて勤務計画を作成する。ソルバーには整数計画法を用いて解くためのアルゴリズムが含まれており、これを利用することで効率的に計画を求めることができる。

2.5 修正機能

出力された結果を修正することも可能である。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り、違反があれば違反箇所を示し、違反がなければ違反なしと表示される。

3. 計算実験とその結果

2章で示した内容をもつプロトタイプシステムを作成し、その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。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。ソルバーとして市販のソフトウェアILOG社のCPLEX(Ver. 10.1)⁹⁾およびフリーウェアGLPK(Ver. 4.27)⁶⁾を用いた。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、GLPKによる計算時間の評価とGLPKとCPLEXの比較を行った。

2. 2節で示した制約条件については(1)～(9)は全て満たすようにし、勤務平準化に関わる制約条件(10)(11)の休日出勤および夜勤回数の差の条件を変更した。2. 3節で示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の有無によって条件を変更した。また、3分以上かかる場合に於いて計算実験は打ち切ることとした。

3.1 GLPKによる計算時間

まず、フリーウェアGLPKによる計算実験結果を示す(表1)。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、すなわち回数差の条件を大きくした場合には計算時間が短かった。また、同じ人数かつ勤務平準化の条件が等しい場合、できるだけ連休にする評価関数を導入した場合のほうが導入しない場合に比べて計算時間が短かった。休日出勤および夜勤回数の差が1日のうち試験番号7および13では、評価指標ありの場合に3分以上かかってしまったが、評価指標なしでは1分以内という結果であった。評価指標がなしの場合、最大でも2分強(試験番号4)で求められた。

表1の試験番号4では、上記に述べた傾向とは異なる結果となっているが、これは評価関数を設定する場合は評価関数が改善する方向に解を求めていけるが、設定しない場合は条件を満たす解のいずれかを求めればよく、解を探す方向性が決まっていないため時間がかかってしまうという可能性が考えられる。

GLPKの場合少人数の場合、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ることがわかった。

3.2 GLPKとCPLEXとの計算時間比較

次に、フリーウェアGLPKを用いた場合の計算時間と市販ソフトウェアCPLEXを用いた場合の計算時間の比較を行った。夜勤回数および土日出勤に関する制約を厳しく1日と設定し、計算の時間がかかると思われる厳しい条件を設定した。その結果を表2に示す。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とがわかった。GLPKの場合は試験番号7および9で3分かかっていても出力されず、解を求められなかった。

表1 GLPK 性能評価計算実験結果

試験番号	作業内容パターン	人数	回数差上限設定日数		計算時間(秒)	
			休日出勤	夜勤	評価指標なし	評価指標あり
1	1	10	1	1	14	20
2	1	10	2	2	2	6
3	1	10	3	3	2	3
4	2	15	1	1	139	20
5	2	15	2	2	20	29
6	2	15	3	3	8	10
7	3	20	1	1	58	180+
8	3	20	2	2	7	27
9	3	20	3	3	13	17
10	4	30	1	1	16	158
11	4	30	2	2	48	83
12	4	30	3	3	10	33
13	5	40	1	1	34	180+
14	5	40	2	2	23	113
15	5	40	3	3	59	96

180+は180秒で計算実験を打ち切ったことを表す。

表 2 GLPK と CPLEX の比較計算実験結果

試験 番号	作業内容 パターン	人数	回数差上限設定日数		計算時間(秒)	
			休日出勤	夜勤	GLPK による	CPLEX による
1	1	20	1	1	79	0.31
2	2	20	1	1	68	0.30
3	3	20	1	1	142	0.25
4	1	30	1	1	70	0.20
5	2	30	1	1	89	0.30
6	3	30	1	1	107	0.64
7	1	40	1	1	180+	0.25
8	2	40	1	1	159	0.33
9	3	40	1	1	180+	0.50

180+は 180 秒で計算実験を打ち切ったことを表す。

3.3 計算時間評価のまとめ

これらの結果から、15 人までの勤務計画であればフリーウェアの GLPK を用いても実行時間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 で求めることは困難になってくると言える。

ただし、作業量、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が保証されるわけではない点に注意していただきたい。

4. おわりに

われわれは作業予定、必要人数、必要資格、休暇希望等の条件を入力した後、条件を満たす勤務計画案があれば出力し、入力データに条件違反がある場合には提示する機能を持った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、実用上利用可能な時間で求められることが示された。このシステムはフリーウェアを利用することで比較的安価となり導入しやすいものとなっている。現在想定している問題に対しては GLPK で対応可能である。人数が増えた場合など想定が変わった場合は CPLEX の利用や別途アルゴリズムを開発することが必要となる。

また、これを利用することで、勤務計画表を短時間で作成でき、作成担当者の負担を軽減できると考えられる。

実際に導入をするには、利用箇所ごとに独自のルールなどに対応するためカスタマイズが必要であるが、基本的な構成はできたと考えている。

課題としては、さらなる工夫をすることで計算時間が長くなる場合を減らすことが挙げられる。ソルバーを使う前後の処理など工夫できる点があると考えられる。

謝辞

本研究を進めるにあたりご協力いただいた西日本旅客鉄道株式会社の延原様、松原様、山野井様に謝意を表します。

参 考 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) ILOG, Inc: CPLEX, <http://www.ilog.co.jp/product/opti/cplex/cplex.html>
- 4) (株)数理システム: NUOPT, <http://www.msi.co.jp/nuopt/>
- 5) GLPK, <http://www.gnu.org/software/glpk/>
- 6) 今野浩・鈴木久敏: 整数計画法と組合せ最適化, 日科技連, 1982.
- 7) 尾崎尚也他: 保守区向け勤務計画自動作成システム, 第 45 回鉄道サイバネ・シンポジウム, 2008. (印刷中)