

# 代替出勤依頼モデルを用いた依頼順決定手法の複数ラウンドにおける評価 Evaluation of an Order Determination Algorithm in Multiple Rounds using Substitute Attendance Requests Model

千坂 知也<sup>1)</sup>横山 想一郎<sup>2)</sup>山下 倫央<sup>2)</sup>川村 秀憲<sup>2)</sup>

Tomoya Chisaka Soichiro Yokoyama Tomohisa Yamashita Hidenori Kawamura

## 1 はじめに

総務省統計局の調査により「自分の都合の良い時間に働きたいから」という理由で非正規雇用者として就業する従業員は、特に労働集約型産業にて増加の一途を辿っている [1][2]。このような産業では、従業員の欠勤が多く発生するため事前に決定された勤務表を修正する業務を管理者が負担しなければならないという問題を抱えている。勤務表修正においては、管理者が欠勤者の代わりに出勤する従業員（代替出勤者）を選定するための依頼（代替出勤依頼）を従業員に対し行う必要があり、依頼によってなるべく早く所定の従業員数を確保できなければ、業務そのものの遂行が不安定となる可能性が発生する。このことが管理者の時間的かつ精神的な負担に大きく結びついており、この依頼業務をより効率的かつ適切に行うことはこのような管理者の負担を軽減し、安定した業務を行うために重要であるといえる。

本稿では4週間の間に発生した欠勤に対する代替出勤依頼のシミュレーションモデルを構築し、複数の依頼順決定手法を提案、その評価を行う。評価の指標としては、1日当たりの管理者の従業員に対する依頼配信回数と1日の全ての欠勤者に対する代替出勤者を選定できたかどうかを表す未充足率を用いる。これらの指標はそれぞれ管理者の負担及び安定した業務の担保の程度を表している。

シミュレーションモデルでは、まず従業員の休み希望に基づいた期間全体の勤務表をスケジューリング問題の求解により作成する。その後、各従業員の欠勤がそれぞれ一定確率で発生し、管理者が1件の欠勤に対し代替出勤可能な従業員（代替出勤候補者）一人ずつに順番に依頼配信を行う。従業員は事前に設定された代替出勤依頼受諾確率に基づいて依頼の可否を応答する。この依頼と応答のラウンドを全ての欠勤者に対し行い、ある1日の全ての欠勤者に対し、代替出勤者がすべて見つければその日は充足、見つからなければ未充足と判定する。このシミュレーションを複数回行い、そのなかで未充足が発生した割合（未充足率）を計測する。各従業員の期間全

体における依頼の受諾回数の上限値が設定されていると仮定した場合、未充足率の低下には管理者から従業員に対して十分な回数の依頼配信が必要である。その一方で依頼配信の回数が増加すれば管理者の負担も増加すると考えられる。このように代替出勤依頼配信回数と未充足率は互いにトレードオフの関係にあり、本稿ではこの関係をパレート改善できるような依頼順決定手法を提案、評価を行う。提案する依頼順決定手法は従業員の代替出勤受諾確率に基づいた依頼順及び欠勤者に対する代替出勤人数の期待値に基づいた依頼順である。

本稿の構成について述べる。2章では本稿の関連研究について紹介する。3章ではシミュレーションモデルについて詳細に説明する。4章では従業員の代替出勤依頼受諾確率に基づいた依頼順の説明と未充足率、依頼配信回数についての評価、5章では代替出勤人数の期待値に基づいた依頼順に関しての説明と同様の評価、6章では本稿のまとめを行う。

## 2 関連研究

### 2.1 勤務表作成問題

勤務表作成問題に関しては古くから研究が行われており、なかでも一大分野を形成している看護師の勤務表作成問題（ナーススケジューリング問題）は1970年代から始まったとされる [3]。ナーススケジューリング問題に代表される現実的な時間での求解が困難なスケジューリング問題に関しては、メタヒューリスティクスなどの研究により、その解決が試みられてきた [4]。本研究ではこのナーススケジューリング問題を参考に勤務表作成を行ったが、代替出勤依頼に主眼を置いているため、メタヒューリスティクスなどを必要としない比較的簡単な制約条件のもと求解を行った。なお勤務表作成においては汎用数値最適化ソルバーであるCPLEXを用いた。

### 2.2 再スケジューリング

事前に決定された勤務表が従業員の欠勤などの発生で実行不可能になった場合の勤務表修正手法として、代替出勤依頼の他に再スケジューリングが挙げられる [5]。再スケジューリングは欠勤者などの発生により勤務表における従業員全体の再配置を試みる手法であり、予備従業員が少なくかつ再配置した勤務表を従業員が受諾する可能性が高い場合に用いられる手法である。本稿ではあ

1) 北海道大学大学院情報科学院, Graduate School of Information Science and Technology Division, Hokkaido University

2) 北海道大学大学院情報科学研究院, Faculty of Information Science and Technology Division, Hokkaido University

る 1 日の予備従業員数とその日の欠勤人数分の代替出勤者を充足できる可能性が十分にあるという仮定のもと、シミュレーションを行った。

### 2.3 代替出勤依頼モデル

幡本らによるメッセージングアプリを利用した代替出勤依頼手法の開発においては、実世界のコールセンターにおける代替出勤依頼をモデル化し、代替出勤候補者への依頼順と未充足率の関係をシミュレーションにより明らかとされた [6]。本稿ではこの研究を踏まえ、従業員の代替出勤依頼受諾確率による依頼順及び代替出勤人数の期待値に基づいた依頼順の評価を未充足率および代替出勤依頼配信回数の観点のもと行う。

## 3 シミュレーションモデル

### 3.1 スケジューリング問題による勤務表作成

従業員を  $m$  人、期間を  $n$  日、各日付における勤務時間帯を 3 つとして次の通り定義する。なお各従業員は休み希望の日を事前に提出するものとする。

$M = \{1, 2, \dots, m\}$  : 従業員の集合

$N = \{1, 2, \dots, n\}$  : 対象日の集合

$W = \{1, 2, 3\}$  : 勤務時間帯の集合

$A = \{(i, j), i \in M, j \in N\}$  従業員  $i$  の日  $j$  は休み希望

: 休み希望が提出された従業員と日の組の集合

$a_k, b_k$  : 1 日当たりの時間帯  $k$  の最低(最高)勤務人数

$e$  : 最大勤務日数

$r$  : 最大連続勤務日数

$s$  : 勤務時間帯 3 の最大連続勤務日数

従業員  $i$  が日  $j$  の時間帯  $k$  に勤務するとき 1, 勤務しないとき 0 となる意思決定変数を  $x_{i,j,k}$  とする。次の制約条件式をすべて満たす  $X = \{x_{i,j,k}, i \in M, j \in N, k \in W\}$  の一つを勤務予定とする。

$$\sum_{k \in W} x_{i,j,k} = 1 \quad i \in M, j \in N \quad (1)$$

$$a_k \leq \sum_{i \in M} x_{i,j,k} \leq b_k \quad j \in N, k \in W \quad (2)$$

$$\sum_{j \in N} \sum_{k \in W} x_{i,j,k} \leq e \quad i \in M \quad (3)$$

$$\sum_{l=0}^r \sum_{k \in W} x_{i,j+l,k} \leq r \quad i \in M, j \in \{1, \dots, n-r\} \quad (4)$$

$$\sum_{l=0}^s x_{i,j+l,2} \leq s \quad i \in M, j \in \{1, \dots, n-s\} \quad (5)$$

$$x_{i,j,2} + x_{i,j+1,0} \leq 1 \quad i \in M, j \in \{1, \dots, n-1\} \quad (6)$$

$$x_{i,j,k} = 0 \quad i \in M, j \in N, k \in W, (i, j) \in A \quad (7)$$

### 3.2 欠勤の発生および代替出勤の依頼

前節で作成された勤務予定に対し、初日から最終日まで 1 日ずつ欠勤の発生と代替出勤者確保の処理を行う。日付  $i$  において、 $x_{i,j,k} = 1 (j \in N, k \in W)$  を満たす  $j, k$  の組すべてに対し欠勤確率  $p$  により  $x_{i,j,k} = 0$  と更新することで、欠勤を発生させる。時間帯  $k$  に対する代替出勤候補者は、 $\sum_{k \in W} x_{i,j,k} = 0$  を満たし、代替出勤依頼を受諾することにより節 3.1 の式 (3),(4),(5),(6) の制約に違反しない従業員である。

代替出勤候補者に対し、依頼対象者と依頼順序を決定し、1 人ずつ順番に出勤を依頼の配信を行う。依頼を受けた従業員は代替出勤の受諾の可否を回答する。依頼が受諾された際は  $x_{i,j,k} = 1$  に更新する。発生した欠勤と同じ数だけ受諾された場合はその時点で依頼を終了し、それ以外の場合は次の対象者へ代替出勤を依頼する。すべての依頼対象者から応答を得た時点で発生した欠勤と同数の受諾が得られない場合は、日付  $i$  の代替出勤は未充足とする。これを、日付  $i$  のすべての勤務時間帯に対して順番に行う。

## 4 代替出勤依頼受諾確率に基づいた依頼順

本章では非正規雇用者の割合が大きく、従業員の欠勤が多発するなかで、それらを全て代替出勤依頼により補填することが可能である職場を対象に、従業員の代替出勤依頼受諾確率に基づいた依頼順を提案、評価を行う。提案する依頼順は代替出勤候補者にランダムに依頼する場合、受諾確率の降順に依頼する場合(降順依頼)、昇順に依頼する場合(昇順依頼)の 3 つである。

### 4.1 実験設定

従業員数を 50 人、対象期間を 28 日として実験を行う。3.1 節における最低(最高)勤務人数  $a_k, b_k$  は、全て 8 とした。また、最大勤務日数は  $e = 20$ 、最大連続勤務日数は  $r = 4$ 、勤務時間帯 3 の最大連続勤務日数は  $s = 3$  とした。欠勤確率は  $p = 0.05$  とし、従業員の代替出勤依頼受諾確率については従業員 1 人ずつ日付によらず勤務時間帯別に設定する。1 日あたりの受諾確率の期待値の大小を表現するために、今回は全ての勤務時間帯における受諾確率が 0.50 の従業員が 5 人、0.20 の従業員が 5 人、0.10 の従業員が 40 人に設定した。なお従業員の受諾確率は管理者にとり既知とする。また特定の従業員ばかりが代替出勤依頼を受諾することを防ぐために各従業員に対し期間全体における最大依頼受諾回数を設定する。今回の実験では各従業員が平均して 1 週間に 1 程度代替出勤依頼を受諾できることを表現するため、最大依頼受諾回数を 4 回に設定した。

各依頼順に対し期間全体のシミュレーションを 500 回行い、未充足が発生した割合(未充足率)を日別に計測する。同様に、期間の各日の管理者による代替出勤依頼配信回数の 500 回のシミュレーションにおける平均値

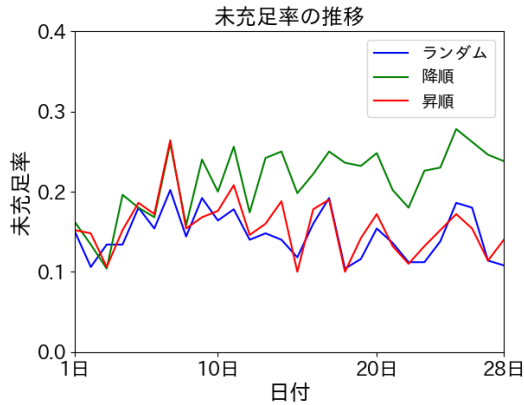


図 1: 依頼順別の未充足率の推移

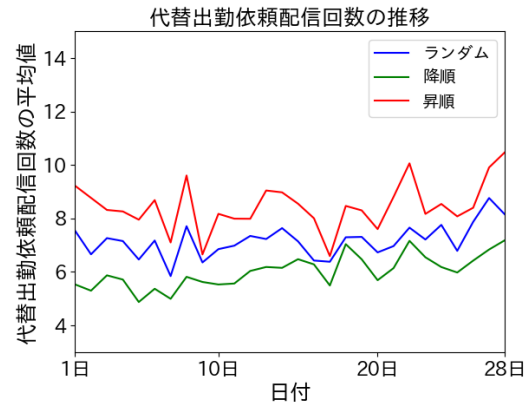


図 2: 依頼順別の代替出勤依頼配信回数の推移

表 1:  $\alpha$  の値別の前半 14 日間及び後半 14 日間の未充足率の平均値

(a) 前半 14 日間

$\alpha$	未充足率の平均値
1.50	0.224
1.75	0.219
2.00	0.215
4 章での降順依頼	0.194

(b) 後半 14 日間

$\alpha$	未充足率の平均値
1.50	0.222
1.75	0.215
2.00	0.216
4 章での降順依頼	0.231

表 2:  $\alpha$  の値別の代替出勤依頼配信回数の推移

$\alpha$	代替出勤依頼配信回数の平均値
1.50	5.91
1.75	5.96
2.00	5.96
4 章での降順依頼	6.01

の推移も依頼順別に計測する。

## 4.2 実験結果

未充足率の依頼順別の推移を図 1 に示す。図 1 より期間の前半ではどの依頼順でも未充足率に大きな差はないが、期間の後半では降順依頼の際の未充足率が他の依頼順に比べて右上がりに大きく増加していることが分かる。これは降順依頼の際に、受諾確率の期待値が大きい従業員の多くが期間の前半で最大依頼受諾回数分の依頼を受諾し、期間の後半における代替出勤候補者のほとんどが受諾確率の小さい従業員であることに起因する。

次に管理者による代替出勤依頼配信回数の平均値の依頼順別の推移を図 2 に示す。図 2 より期間全体において、やや後半期間に増加傾向にあるものの、降順依頼の際に最も代替出勤依頼配信回数が少ないことが分かる。これは降順依頼の際に受諾確率の期待値が大きい従業員から順番に依頼していくため、少ない依頼回数で代替出勤者を選定できることに起因する。これらから代替出勤依頼における降順依頼では代替出勤依頼配信回数が他の依頼順に比べて少なくなる傾向にある一方で、期間の後半にて未充足率が大きく増加するトレードオフの傾向にあることが分かった。

## 5 代替出勤人数の期待値に基づいた依頼順

本章では前章のトレードオフの関係を解消しパレート改善を図るために、前章と同様の職場を対象に、降順依頼を基本としたうえで代替出勤人数の期待値が閾値を超えた日にあえて受諾確率の期待値が大きい従業員に依頼しない依頼順について提案、評価を行う。

### 5.1 実験設定

4 章と同様のパラメータで期間全体のシミュレーションを 500 回行う。今回のシミュレーションでは、期間の前半  $X$  日間の日付  $j$  の勤務時間帯  $k$  にて欠勤者が発生した際に、その勤務時間帯  $k$  での代替出勤人数の期待値が閾値を超えていれば受諾確率が最も高い従業員に依頼配信を行わない。日付  $j$  の勤務時間帯  $k$  における閾値はその日付及び勤務時間帯における欠勤人数  $\times \alpha$  とする。今回の実験ではまず  $X = 14$  に固定し、未充足率及び代替出勤依頼配信回数を  $\alpha$  の値別に計測する。また同時に、前章で見られた降順依頼の際の右上がりの増加傾向に関しても考察を行う。その後、計測したなかで比較的、未充足率が抑えられている  $\alpha$  の値に対し、今度は  $\alpha$  の値を固定した状態で  $X$  の値を変えて未充足率及び代替出勤依頼配信回数を計測する。以上の  $\alpha$  および  $X$  の値をもって計測した未充足率と代替出勤依頼配信回数の関係について期間全体の平均値をもって比較し、それらの指標がパレート改善できているかを考察する。

### 5.2 実験結果

$X = 14$  とし、 $\alpha$  の値を 1.50, 1.75, 2.00 とした場合のそれぞれの未充足率の推移を図 3 に、前半 14 日間及び後

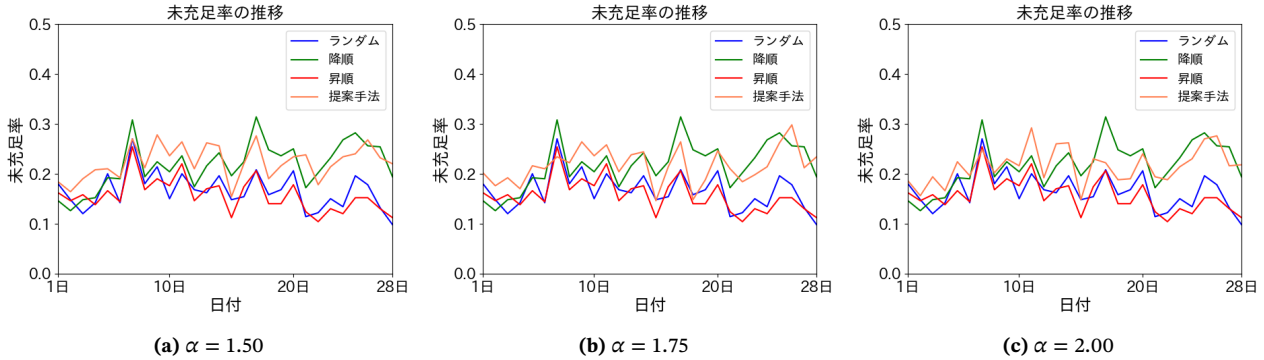


図 3:  $X = 14$  での 500 回のシミュレーションにおける  $\alpha$  の値別の未充足率の推移

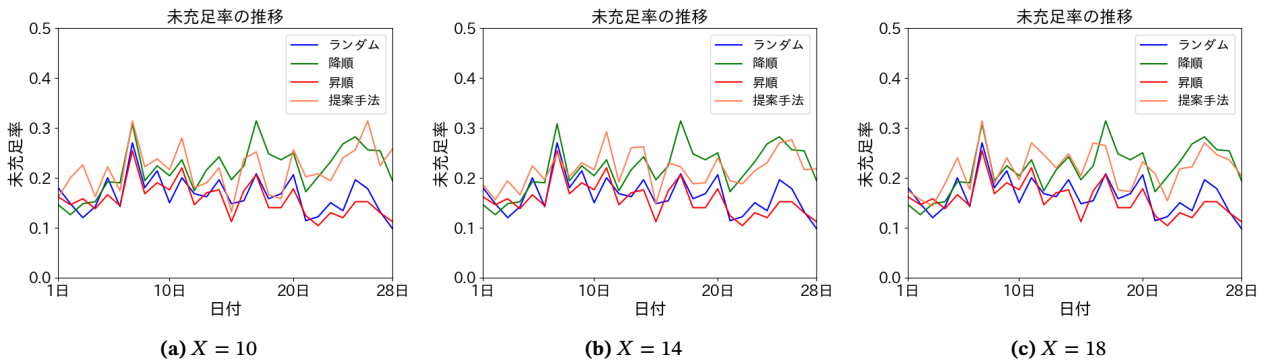


図 4:  $\alpha = 2.00$  での 500 回のシミュレーションにおける  $X$  の値別の未充足率の推移

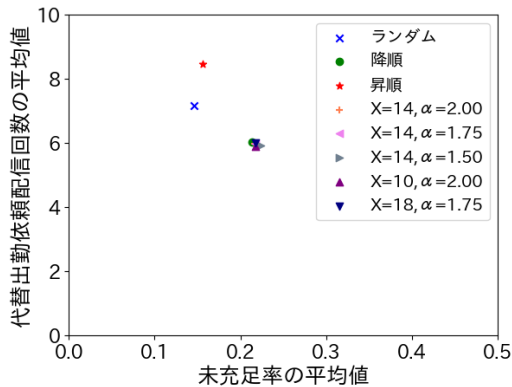


図 5: 未充足率と代替出勤依頼配信回数の関係

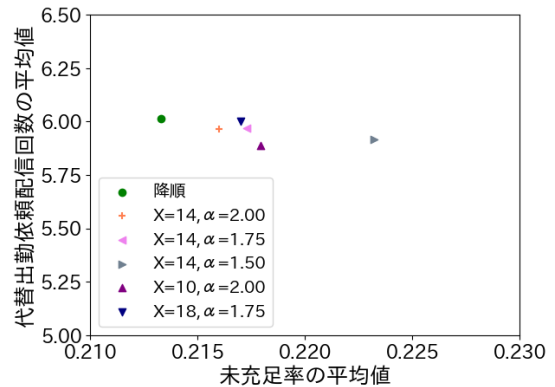


図 6: 未充足率と代替出勤依頼配信回数の関係(拡大)

半 14 日間の未充足率の平均値を表 1 に示す. また期間全体の管理者による代替出勤依頼配信回数の平均値も  $\alpha$  の値別に表 2 に示す. 表 1 より前半 14 日間での未充足率の平均値は検証した全ての  $\alpha$  の値において 4 章で検証した降順依頼の際より大きい, 後半 14 日間の未充足率の平均値は検証した全ての  $\alpha$  の値において 4 章での降順依頼の際を下回っている. また前半 14 日と後半 14 日では  $\alpha$  の値によらず未充足率の平均値に大きな差はなく, 4 章での降順依頼のような右上がりが増加していく傾向が解消できていることが分かる. 表 2 より期間全体の代替出勤依頼配信回数においては全ての  $\alpha$  の値において 4 章での降順依頼と差はないことが分かる. このことから降順依頼の利点である代替出勤依頼配信回数の少なさは代替出勤人数の期待値に基づいた依頼順でも担保されていると考えられる. 次に, 計測した  $\alpha$  のなかで

表 3:  $\alpha = 2.00$  での期間全体の  $X$  の値別の未充足率の平均値

X	未充足率の平均値
10	0.217
14	0.215
18	0.217
4 章での降順依頼	0.217

比較的未充足率が小さい  $\alpha = 2.00$  において  $X$  の値を変更して同様のシミュレーションを行う.  $X = 10, X = 18$  とした際の未充足率の推移について  $X = 14$  の際と合わせて図 4 に, 期間全体の未充足率の平均値については表 3 に示す. 表 3 より  $X$  の値によらず期間全体での未充足率の平均値は 4 章での降順依頼とほぼ等しいが, 図 4 より後半期間の複数日において 4 章での降順依頼より未充足率が小さい日が発生していることが分かる. これは検

表 4:  $\alpha=2.00$  での  $X$  の値別の期間全体における代替出勤依頼配信回数の平均値

$X$	代替出勤依頼配信回数の平均値
10	5.88
14	5.96
18	6.00
4 章での降順依頼	6.01

証した  $X$  の値によらず、4 章の降順依頼で見られた後半期間の未充足率の増加が大きい日がある程度抑えることができていると考えられる。また  $X$  の値別の期間全体における代替出勤依頼配信回数の平均値を表 4 に示す。これより  $\alpha = 2.00$  の場合、検証した  $X$  の値によらず代替出勤依頼配信回数は 4 章での降順とほとんど差がないことが分かる。これより  $X$  の値を変化させても 4 章での降順依頼での代替出勤依頼配信回数の少なさは担保されていると考えられる。

最後に計測した  $\alpha$ ,  $X$  の値における期間全体の未充足率と代替出勤依頼配信回数の平均値の関係を 4 章で検証したランダム依頼、降順依頼、昇順依頼と合わせて図 5 にまた降順依頼の場合の点付近を拡大した関係を図 6 に示す。図 5 及び 6 から本章で提案した依頼順に関してはすべて 4 章での降順依頼に比べてパレート改善ができているとは言えないことが分かる。一方で 4 章でのランダム依頼が他の依頼順に比べてややパレート改善している傾向にあり、これは依頼順によっては未充足率と代替出勤依頼配信回数のトレードオフを解消し効率的な依頼を行うことができる可能性があることを示唆している。

## 6 まとめ

本稿では非正規雇用者の割合が大きい労働集約型産業を対象に、代替出勤依頼のシミュレーションモデルを構

築し、複数の依頼順決定手法の評価を行った。代替出勤候補者の受諾確率に基づいた依頼順では、受諾確率の降順に依頼していく際に、後半期間で大きく未充足率が増加する傾向にあったが、一方で依頼配信回数は期間全体を通して最も低い値を示した。これらのトレードオフを解消するために行った代替出勤人数の期待値に基づいた依頼順では降順依頼からのパレート改善を達成することはできなかったが、降順依頼の際に見られた期間全体での未充足率の右上がりの増加傾向は見られず、また管理者による代替出勤依頼配信回数は降順とほぼ差がないことが分かった。また今回提案した依頼順では 4 章で検証したランダム依頼が最もパレート改善する傾向にあることが分かった。

今後の展望としては本稿の 4 章で検討した依頼順をより詳細に分析し、未充足率と代替出勤依頼配信回数のパレート改善ができる依頼順を検討することや、より現実に即したシミュレーションモデルのもと、依頼順の検討を行うといったことが挙げられる。

## 参考文献

- [1] 総務省統計局. 労働力調査 (詳細集計). 2021.
- [2] 総務省統計局. 労働力調査 (詳細集計). 2022.
- [3] 池上敦子. ナース・スケジューリング -問題把握とモデリング-.
- [4] Snehasish Karmakar; Sugato Chakraborty; Tryambak Chatterjee; Arindam Baidya; Sriyankar Acharyya. heuristics for solving nurse scheduling problem: A comparative study. 2016
- [5] 北田 学, 森澤 和子, 急な欠勤発生に伴う動的ナース・スケジューリング問題のヒューリスティック解法
- [6] 幡本昂平, 横山想一郎, 山下倫央, 川村秀憲, 代替従業員確保のためのメッセージングアプリを利用した効率的な依頼手法の開発. Vol. 60, No. 10, pp. 1757-1768, 2019.