

医師のワークライフバランスを考慮した 勤務スケジュール作成手法の提案

武田 碧生¹ 後藤 佑介¹ 酒井 晃二² 廣田 達哉² 小原 雄² 内山 彰³ 乃村 能成¹

概要：就業機会の拡大や就業者の意欲・能力を存分に発揮できる働き方の環境を構築することは重要である。特に、少子高齢化による生産年齢人口の減少、および働き方の多様化による育児や介護の両立といった現状の課題に対する解決方法として、Society 5.0 で提唱されている実空間のセンサデータを集約し、解析してフィードバックする仕組みが挙げられる。Society 5.0 の活用は、働き方改革の実現において非常に有効であり、多くの機関で実用化に向けた動きが進んでいる。しかし、医療分野では、実際の医療現場における様々な要件をすべて満足する必要があり、医師の勤務スケジュールリングを統合的に管理するシステムソフトウェアを作成することは難しい。本研究では、医療現場の働き方改革を実現するシステムソフトウェアを実現するため、医師のワークライフバランスを改善する勤務スケジュールの作成手法を提案する。提案手法では、実際の医療現場における医師の勤務環境を考慮して勤務スケジュール作成のアルゴリズムを構築することで、これまで手作業で作成していたスケジュール担当の医師にかかる負担を削減する。提案手法を用いたシミュレーション評価の結果、手作業による従来手法に比べて作成時間を大きく短縮できることを確認した。

1. はじめに

情報技術が様々な分野に浸透した超スマート社会である Society 5.0 [1] を実現するため、我が国では多くの取り組みが行われている。特に、「少子高齢化に伴う生産年齢人口の減少」、「育児や介護との両立といった働き方のニーズの多様化」といった現状の課題に対して、Society 5.0 による情報インフラを整備することで、就業機会の拡大や就業者の意欲・能力を存分に発揮できる環境を作る必要がある。また、内閣総理大臣が議長となり設置された働き方改革実現会議では、働き方改革を推進する「働き方改革実行計画」が 2017 年 3 月に策定された [2]。厚生労働省では、働き方改革を実現するため、長時間労働の是正、ダイバーシティの推進、賃金の引上げ、および労働生産性の向上に取り組んでいる [3]。

Society 5.0 の活用は、働き方改革の実現において非常に有効であり、自動車運送事業 [4]、建設業 [5]、および IT

産業 [6,7] といった多くの機関で実用化に向けた動きが進んでいる。しかしながら、AI を介してサイバー空間と現実空間を繋ぐ具体的なシステムモデルは未だに提案されていない。特に、医師の働き方改革において、日常の病院医療、専門医資格の維持、若手医師に対する指導、日々の研究活動により多くの医師がオーバーワークとなり、ワークライフバランスの維持は難しい。このため、どのようにして医師の作業を減らし、業務時間を短縮するかが喫緊の課題となっている。しかし、現状では、医療現場において医師の勤務割当てはまったく効率化されておらず、医師のスケジュールリングを統合的に管理するシステムソフトウェアはほとんど存在していない。

一般的な大学病院内の放射線画像診断医の場合、一定の経験を有する医師が勤務スケジュールの作成を担当する。担当医師は、本来は研究活動として割り当てられている時間を利用して、部局に所属する医師全員の出張予定、技量、および育児状況を事前にヒアリングし、今後 3 ヶ月間の勤務スケジュールを作成する。しかし、医師は年次休暇や学会出張といった予定が決まると、勤務スケジュールの変更を依頼するため、勤務スケジュールを一度作成した後も担当医師の負担は大きい。このように、多くの医療現場においてスケジュールリング作業は効率的に行われておらず、長期的に医師を教育する戦略的なスケジュールリングではない。

¹ 岡山大学大学院自然科学研究科
Graduate School of Natural Science and Technology
Okayama University

² 京都府立医科大学大学院放射線診断治療学講座
Department of Radiology, Kyoto Prefectural University of
Medicine

³ 大阪大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Science and Technology, Os-
aka University

本研究では、医療現場の働き方改革を実現するシステムソフトウェアを実現するため、医師のワークライフバランスを改善する勤務スケジュールの作成手法を提案する。提案手法では、実際の医療現場における医師の勤務環境を考慮して勤務スケジュール作成のアルゴリズムを構築することで、これまで手作業で作成していたスケジュール作成担当の医師にかかる負担を削減する。

2. 働き方改革

2.1 概要

働き方改革 [3] は、労働者が個人の事情に応じた多様な柔軟な働き方を自身で選択可能にするための改革である。日本が直面する「少子高齢化に伴う生産年齢人口の減少」、および「働き方のニーズの多様化」といった課題に対応するため、投資やイノベーションで生産性を向上するとともに、労働者が多様な働き方を選択できる社会を実現することで、就業機会を拡大して労働者の能力を向上させる必要がある。

2.2 働き方改革の具体例

実際に行われている働き方改革について、自動車運送業、建設業、および IT 産業の具体例を以下に示す。

2.2.1 自動車運送業

RFID タグを用いることで貨物の物流をネットワーク上でリアルタイムに追跡できる仕組みが考えられている [4]。このような IoT 技術による管理において、パレットやコンテナといった輸送機材を共同で使用することで、輸送物の受け取りで発生する時間を短縮して宅配の再配達における効率性を高め、トラックの運転手は勤務時間を短縮できる。

2.2.2 建設業

週休 2 日制を導入し、ICT 技術を利用して業務の効率化や適正な工期設定を実現することで、労働者の勤務時間を短縮する。国土交通省では、土木建築において i-Construction [5] と呼ばれる新たな基準を導入し、建設現場の生産性を 2025 年度までに 2 割向上する目標を設定している。

2.2.3 IT 産業

IoT センサを用いて低コストでオフィス利用率を計測する手法 [6] が提案されている。また、社員がフレキシブルな働き方を実現する IT 環境の構築手法 [7] が提案されている。

2.3 医療現場における働き方改革

超高齢化社会では、長期的な治療が必要な患者数が増加するため、医療に対する負担は今後大きくなる。また、医療の質の維持、患者や家族とのコミュニケーションの確保、および他の医療施設との地域連携を実現するため、医師に対する肉体的かつ精神的な負担は大きい。このような労働

環境で勤務を続ける場合、医師において健康に対する影響は深刻であり、離職や休職に繋がる可能性は高くなる。このため、医療現場において、医師の働き方を改善する要求が高まっている。

これまでの研究で、医師の長時間労働が原因で、業務遂行能力の低下、および医療事故の増加が示されている。このため、長時間労働の改善が早急に必要である。2017 年の総務省「就業構造基本調査」 [8] において、職業別週労働時間 60 時間以上の雇用者割合は合計で 11.8 % である一方で、医師は 37.5 % と最も高い。医師の健康管理を維持しながら高品質の医療を提供するため、医師の勤務スケジュールを整備する必要がある。

2.4 現状の勤務割当て手法における課題

大学病院の場合、一般的には、一定の経験を有する医師が勤務スケジュールの作成を担当する。勤務スケジュールの担当医師は、本来は研究活動として割り当てられている時間を利用して、部局に所属する医師の出張予定、技量、および育児状況を事前にヒアリングし、今後 3 ヶ月間の勤務スケジュールを作成する。しかし、年次休暇や学会出張により勤務スケジュールが直前に変更する場合、担当医師はスケジュールを修正する必要があり、負担が大きい。このように、多くの医療現場においてスケジュールリング作業は効率的に行われておらず、勤務スケジュールを作成する医師の負担は大きい。

3. ナース・スケジュールリング

医師の勤務スケジュール作成では、各部門における人数配置やスキルレベルの維持、医師の研究時間の確保、および医師が希望する年次休暇や出張といった多くの制約条件を考慮する必要がある。多くの制約条件を考慮したスケジュールリング手法として、ナース・スケジュールリング [9] が挙げられる。病棟で勤務するナース（以下、看護師）の勤務表作成は、長い時間と多くの労力が必要であり、すべての制約条件を満たすことは難しい。

制約条件の具体例として、スタッフの人数やスキルレベルといった勤務シフトにおける制約が挙げられる。また、スタッフや看護師の労働負荷への配慮、休日希望への対応、および夜間勤務の翌日における休暇の設定といった勤務シフトへの対応に関する制約が挙げられる。このため、勤務シフトに関する制約条件を満たした上で、看護師に配慮したスケジュールを作成することは困難である。さらに、看護師に配慮されていない勤務シフトの場合、看護師の睡眠パターンや健康に悪影響を及ぼす。

以上より、勤務表を普段作成する部署の看護師長や主任看護師にとって、日常の業務時間以外で様々な制約条件を考慮して勤務表を作成する負担は大きい。

4. 関連研究

4.1 看護師の勤務スケジュール作成手法

文献 [9] では、医療現場の問題点に着目し、すべての看護師に対して、事前に設定した制約条件を満たしていない項目の数を違反度として数値化することで、高品質のスケジュールを作成する。スケジュールの組み合わせの数は膨大にあるが、本手法では、違反度が低くなるアルゴリズムを構築して局所探索を繰り返すことで、勤務シフトの組み合わせのうちもっとも良いスケジュールを作成する。評価では、合計 90 個（日勤、準夜勤、夜勤の 3 種類のシフトで 30 日分）のシフトに対して違反度は 6 であり、実際に主任看護師が作成した違反度が 39 のスケジュールに比べて高品質となった。

文献 [10] では、Multi-Commodity Network Flow (MCF) 法の考え方に基づいた手法を提案している。MCF 法は、数量が既知の複数の商品を複数のソースノードからシンクノードに輸送し、シンクノードによる制約条件を満たしながら最小のコストで輸送することを目標とするネットワークフロー問題である。本手法では、ソースノードを勤務可能な看護師、シンクノードを勤務シフト、商品を主任ナース、ベテランナース、および指導係のナースと定義し、制約条件を満たす上で負荷コストを最小化するモデルを設計する。複数の制約条件を考慮してコストを最小化する複雑な問題に対するモデル化が容易であり、エネルギー管理や巡回セールスマン問題に関する分野で利用されている。

文献 [11] では、看護師における仕事量の公平性と仕事に対する満足度を向上させるスケジューリング手法として、目標計画法を利用する。目標計画法は、意思決定者が複数の目標に対して設定したすべての要求水準を同時に達成する手法である。本手法では、看護師に対する勤務シフトと休暇希望の両方を達成する度合いを最大化するとともに、すべての看護師に対してバランスが良い仕事量を割り当てることができる。

文献 [12] では、レジリエンスに関する解を導入したナース・スケジューリング (ResNSP) を提案している。レジリエンスとは、外的な変動に対して耐性があるとともに、外乱により機能が低下しても回復する可能性がある性質である。提案手法では、0-1 整数計画法を用いて、耐性に関する目的関数と回復可能性に関する目的関数を設定し、これらを満たす最適解を導出する。レジリエンスが高い勤務表は、直前のシフト変更に対する柔軟性が高く、勤務表の作成者に対する負担を減少できる。

4.2 他分野における勤務スケジュール作成手法

他分野におけるスケジューリング手法として、非正規雇用のスタッフが主力となる場合のスケジューリング [13] が

挙げられる。非正規雇用のスタッフは、飲食店や販売店において勤務可能な時間帯は限られており、業務工程の数や勤務上の規則は正規雇用のスタッフと異なる。このため、非正規雇用と正規雇用のスタッフがどちらも勤務する現場において、制約条件を満たすモデルを構築することは難しい。本手法では、現場の制約条件をすべて満たす 1 日分のスケジュールを複数日に対してそれぞれ作成する。次に、複数日のスケジュールのうち、勤務人数や総労働時間が少なくなる組み合わせを求めることで、勤務表を作成する。飲食チェーンの店舗を対象にした評価では、6 ヶ月分の勤務表作成のうち 5 ヶ月分において、勤務で必要となる人数が従来の勤務表に比べて減少した。

文献 [14] では、外食産業における勤務シフトのスケジューリング手法を提案している。外食産業では人員不足が問題であり、業務の制約条件を満たすと同時に、人件費を最小限に抑えることは難しい。本手法では、組合せ最適化問題に対する一解法である組み合わせオークションの最適化問題に対する解法を利用して、業務時間における不足人員の最小化を目指すとともに、余剰人員を最小化する。本手法を用いることで、勤務シフトの決定と業務割り当ての両方を同時に行うことができる。

文献 [15] では、介護施設における介護職員の勤務表を作成するスケジューリング手法を提案している。介護施設のスケジューリングは、介護職員が保有する資格に応じてシフトの種類や勤務形態が異なり、制約条件が非常に多くなるため、組み合わせ最適化問題が複雑になる。提案手法では、貪欲法で作成したスケジュールや過去に作成したスケジュールを初期解として利用する。また、違反している制約条件の種類に応じてスケジュールの組合せを修正することで、違反度をできるだけ少なくし、最適解の作成を目指す。

4.3 医師の勤務スケジュール作成手法

文献 [16] では、麻酔科医に対する勤務スケジュールの作成手法が提案されている。本手法では、24 時間体制で勤務する医療機関において、制約条件を満たす勤務表を作成するとともに、すべての麻酔科医に対して負担の均一化するスケジューリングを提案している。

文献 [17] は、医師の不満度をスコア化してスケジューリングに適用することで、医師の負担を均一化する手法である。本手法では、複数月で蓄積した不満度のスコアをもとに、貪欲法によってすべての制約条件に対して優先順位をつけた上で、勤務スケジュールを作成する。

4.4 従来研究

文献 [18] で提案している医師のスケジューリング作成手法では、各医師に対して役職や担当可能な部門といった初期情報を事前に設定した後、所属部門ごとに必要な人数に

| 10月 v6 | 月 | | | 火 | | |
|-----------|--------|-----|---|--------------|------|------|
| | 午前 | 午後 | 夜 | 午前 | 午後 | 夜 |
| YMD | | | | KNI/ SHK | | |
| TMK | | | | CC I | RC1 | |
| YMZ | | | | | | |
| STO | | | | FKTY (診断) | | |
| TKH | | | | | CC I | |
| SKI | | | | | | |
| SZK | | | | SSKS (治療) | | |
| HRT | CC I ② | 読影 | | IVR(外来) | | SIKY |
| AKZ | | | | | | HRKW |
| GTO | | | | | | OIK |
| TKH | | | | | | |
| MUR | CC I ① | IVR | | SSKS (診断) | | |

図 1 外勤表の例

基づいて医師を割り当てる。この手法では、初期情報の設定時間は長くなる一方で、所属部門ごとに医師を割り当てる時間を短縮できる。しかし、割り当てる人数の制限や医師のスキルレベルの確保といった制約条件を考慮してスケジュールを作成できない。

ナース・スケジューリングや他分野のスタッフ・スケジューリングに関する研究は多い一方で、医師のスケジューリングに関する研究は少ない。本研究では、文献 [9,13] の手法に基づき、医師の勤務形態を考慮してより多くの制約条件を満たした上で、勤務スケジュールの作成時間を短縮するスケジューリング手法を提案する。

5. 提案手法

5.1 概要

本研究では、医療現場の働き方改革を実現するため、医師のワークタイムバランスを実現する勤務割当て手法を提案する。提案手法では、実際の医療現場に応じた医師の勤務環境を考慮して勤務スケジュール作成のアルゴリズムを構築することで、これまで手作業で作成していたスケジュール担当の医師にかかる負担を削減する。

5.2 初期情報

本研究では、京都府立医科大学大学院放射線診断治療学講座で運用している勤務条件に基づいたスケジューリング手法を提案する。本講座では、図 1 に示すように、各人員の内勤日、外勤日が割り当てられた 3 ヶ月分の一覧表（以下、外勤表）を用いて、各月および各週における内勤の担当一覧表を作成する。具体的には、外勤表で勤務情報を割り当てられていない医師に対して、シフト上の制約条件を満たすように内勤を割り当てることで、勤務表を作成する。

本講座における内勤の初期情報を以下に示す。

(1) 担当部門

- (a) 治療
 - (b) Interventional Radiology (IVR)
 - (c) 診断
 - (d) Radio Isotope (RI)
- (2) 担当可能時限
- (a) 曜日（月～金）
 - (b) 時限（AM, PM, 時間外（夜））
- (3) 権限の大きさに応じた担当医師の能力値（以下、確定権限値）
- (a) 確定権限 A：1.0
 - (b) 確定権限 B：0.5
 - (c) 研修中：0.0
- (4) メインスタッフ（診断）：主担当である診断部門において重要な役割をもつ医師
- (5) メインスタッフ（RI）：主担当である RI 部門において重要な役割をもつ医師

5.3 探索方法

提案システムでは、局所探索で最適スケジュールを導出する。はじめに、各医師に対して、外勤表をもとに考えられるシフト（以下、実行可能シフトパターン）をすべて求める。次に、各医師の実行可能シフトパターンに対して、最適な組み合わせを探索する問題を設定する。この問題の定式化は、以下の通りである。

記号

$I = \{1, 2, \dots, i\}$ ：医師番号 i の集合

$N = \{1, 2, \dots, 10\}$ ：スケジューリング対象の曜日・時限の集合

$K = \{rule1, rule2, \dots, rulek\}$ ：制約条件の集合

$a_{jk}, j \in N, k \in K$ ： j 曜日・時限の制約条件 k に対する下限値

$b_{jk}, j \in N, k \in K$ ： j 曜日・時限の制約条件 k に対する上限値

P_i ：医師 i の一週間分の実行可能シフトパターンの集合
 各パターンは、 δ_{iqjk} （パターン q の j 曜日・時限に制約条件 k が該当していれば 1、そうでなければ 0）で表現
 λ_{iq} ：医師 i が実行可能シフトパターン q を割り当てられるときに 1、そうでないときに 0 となる意思決定変数

$S = \{s | s \text{ は 1 つの目標}\}$ ：目標の集合

$f_s, s \in S$ ：目標 s が満たされない度合い

定式

$$\min \sum_{s \in S} f_s \quad (1)$$

subject to

$$a_{jk} \leq \sum_{i \in I} \sum_{q \in P_i} \delta_{iqjk} \lambda_{iq} \leq b_{jk} \quad j \in N, k \in K \quad (2)$$

$$\sum_{q \in P_i} \lambda_{iq} = 1 \quad i \in I \quad (3)$$

$$\lambda_{iq} = 0, 1 \quad i \in I, q \in P_i \quad (4)$$

5.4 スケジュールの評価値

本研究では、局所探索による解の導出で必要となるスケジュールの評価値について、制約条件の違反度として定義する。最適なスケジュールを違反度が最も小さいスケジュールと設定した場合、現在評価しているスケジュールよりも違反度が小さいスケジュールがあれば更新し、違反度が0になるまで繰り返す。以下に、違反度の計算方法を示す。

評価式

$$\min \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} w_{jk}^- \alpha_{jk}^- + \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} w_{jk}^+ \beta_{jk}^+ \quad (5)$$

subject to

$$\sum_{i \in I} \sum_{q \in P_i} \delta_{iqjk} \lambda_{iq} + \alpha_{jk}^- - \alpha_{jk}^+ = a_{jk} \quad j \in N, k \in K \quad (6)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{q \in P_i} \delta_{iqjk} \lambda_{iq} + \beta_{jk}^- - \beta_{jk}^+ = b_{jk} \quad j \in N, k \in K \quad (7)$$

$$\sum_{q \in P_i} \lambda_{iq} = 1 \quad i \in I \quad (8)$$

$$\lambda_{iq} = 0, 1 \quad i \in I, q \in P_i \quad (9)$$

ここで、 $w_{jk}^-, w_{jk}^+ \geq 0$ は制約条件の重み付けであり、この値を変更することで、制約条件の優先順位を設定できる。また、 $\alpha_{jk}^+, \beta_{jk}^+$ はスラック変数、 $\alpha_{jk}^-, \beta_{jk}^-$ はサンプラス変数と呼び、これらの変数の値が制約条件における人数の過不足を表す。

6. 設計

6.1 制約条件の設定

今回の実装で設定した制約条件を以下に示す。

- 診断部門において、確定権限値の合計は、各曜日について、AM, PM ともに 5.0 以上である。
- 診断部門において、医師を割り当てる人数は、各曜日かつ各時限について 8 名以上である。
- RI 部門において、RI メインスタッフとして割り当てる医師が 2 名以上である。
- RI 部門に割り当てる医師は、各曜日かつ各時限について 4 名である。

6.2 アルゴリズム

5章で述べた探索方法のアルゴリズムを設計する。はじめに、各医師に対して実行可能シフトパターンを作成し、適当な試行解のスケジュールを作成する。本研究では、事前に外勤表で割り当てられた治療部門と IVR 部門を除いた上で、各医師に対して診断部門と RI 部門のうちどちらかを 10 日分設定した最大で $2^{10} = 1024$ 個のシフトパター

ンを作成する。適当な試行解から探索を開始し、各医師の実行可能シフトパターンを入れ替えて式 (5)-(9) を解いた結果のうち、最良な解を次の試行解とする。以上のように、試行解を評価し、実行可能シフトパターンを入れ替えて新しい試行解に更新する流れをイテレーションと呼び、違反度の値が 0 になるまでイテレーションを繰り返す。

本研究では、探索における無限ループの発生を避けるため、試行解として用いた実行可能シフトパターンは探索対象から一定期間除外する。具体的には、各イテレーションにおいて、試行解として用いた実行可能シフトパターンを除外リストに保存し、除外リストに保存されていない実行可能シフトパターンを比較して探索する。TL を除外リストの長さ、 $removed_{iq}$ をパターン q が探索対象から除外されたときのイテレーションの番号とした場合、最適なスケジュールを作成するアルゴリズムは以下の通りである。

アルゴリズム

- (1) 各医師 $i \in I$ に対し、制約条件を満たした実行可能シフトパターンの集合 P_i を作成。
- (2) 各 $q \in P_i$ に対し、 $removed_{iq} = 0$. $iteration = 1$.
- (3) 各医師の適当な実行可能シフトパターン q^i をそれぞれ準備し、初期解のスケジュールを作成。
- (4) 各医師 $i \in I$ に対し、 $TABU_i = \{q | removed_{iq} \geq iteration - TL, q \in P_i\} \cup \{q^i\}$. q^i と交換した場合に違反度が最小となるパターン q を除外リストに保存されていないパターンの中から医師ごとに見つけ、医師ごとの最良パターンを q_i 、最小値を z_i とする。
- (5) $z_{i^*} = \min_{i \in I} z_i$ となる i^* を選び、試行解の i^* 番目における医師の実行可能シフトパターンを q_{i^*} に変更. $q^{i^*} = q_{i^*}$, $removed_{i^*q} = iteration$. $iteration = iteration + 1$.
- (6) $z_{i^*} = 0$ ならば、現在のスケジュールを解として終了。そうでない場合、手順 4 に戻る。

このアルゴリズムの終了条件は、違反度が 0 である最適解のスケジュールを見つけることである。違反度が 0 にならない場合は、これまでに探索したパターンのうち、違反度が最小となるパターンを構成するスケジュールを得るための終了条件が必要である。また、局所最適となる場合はイテレーションに上限を設定する。試行回数が上限に達した場合、初期解のスケジュールを変更して再探索を行う必要がある。さらに、勤務表の作成者が複数の候補解から選択する場合、違反度が最小となる解を複数求める必要がある。

7. 評価

7.1 概要

医師のワークタイムバランスを改善する勤務スケジュールの作成手法を評価する。具体的には、医療に従事する医

師が実際に提案手法によって作成されたスケジュールを評価する。評価者は、京都府立医科大学大学院放射線診断治療学講座で実際に勤務スケジュールを作成する医師である。評価者は、事前のヒアリングに基づいて作成した提案手法の要求定義をどれだけ実現できているかについて、アンケート形式で評価する。評価は、2020年12月16日に、京都府立医科大学で行った。

7.2 評価項目

評価項目は、以下の通りである。

(1) スケジュール作成時間

3ヶ月先までの勤務スケジュールの作成時間について、提案手法、および実際に行われている勤務スケジュールの作成手法（以下、従来手法）で比較する。

(2) 制約条件の完全性

事前のヒアリングをもとに作成した制約条件をどの程度満たしているか。

(3) アンケート評価

評価者が提案手法に基づくスケジューリングを利用し、提案手法の有用性をアンケート形式で評価する。

7.3 スケジュール作成時間

勤務スケジュールを作成するために必要な時間について、提案手法と従来手法で比較する。勤務スケジュールは、初めに、3ヶ月分のスケジュールの枠組みである基本表を作成する。次に、年次休暇や出張に応じたスケジュールの調整を毎日行う。

提案手法と従来手法による勤務スケジュールの作成時間を表1にそれぞれ示す。表1より、提案手法における勤務スケジュールの基本表の作成について、作成時間は従来手法に比べて約94.4%短縮した。また、毎日の調整について、提案手法では変更箇所を修正した新しいスケジュールを約1分で作成できる。一方で、従来手法では約30分必要である。提案手法では、初期情報の入力スケジュール作成時間の大部分を占めている。このため、初期情報を入力した後は、入力内容のうち変更が必要な箇所のみを修正となり、変更を反映したスケジュールを容易に作成できる。

提案手法では、制約条件の違反度を数値化しており、作成したスケジュールに対する信頼性は高い。制約条件をすべて満たすスケジュールが作成できない場合は、勤務表の作成者は、違反度および違反している制約条件の内容をそれぞれ確認して対応できる。一方で、従来手法では、手作業でスケジュールを作成しているため、多くの制約条件をすべて満たしているかどうかを確認する時間が長大化する。

7.4 制約条件の完全性

提案手法と従来手法で作成したスケジュールを図2、図3にそれぞれ示す。提案手法では、事前に設定したすべての

表1 作成時間

| 作成工程 | 提案手法 | 従来手法 |
|-------|------|-------|
| 基本表 | 約15分 | 約270分 |
| 毎日の調整 | 約1分 | 約30分 |

| 2021年1月 | (月) | (火) | (水) | (木) | (金) |
|---------|---|---|---|---|---|
| 治療 | YMZ AIB NSM KMT NGS WTN | YMZ AIB NSM SMZ NGS NGT WTN SRI | SZK NSM KMT SMZ NGS WTN | YMZ AIB NSM KMT SMZ NGS WTN SRI | YMZ SZK AIB KMT SMZ SRI |
| IVR | NSM KTG | YMS KTG | HRT MUR YMS KTG | MUR YMS NGT NSM | MUR YMS NGT NSM |
| IVR・診断 | YMD TKH SKI AKZ GTO TKH KBA KNY TSJ MHR AKY OKM | TKH SKI AKZ GTO TKH BMB KNY NKI MHR OKM MNO | YMD TKH SKI TKH KBA TYT NKI MHR OKM | SKI TKH KBA KNY OHR TYT AKY MNO TYM | YMD TKH SKI GTO KBA KNY TYT TSJ NKI |
| RI | TMK NSM BMB MNO TYM | NSM KTN KTR TYM | TMK KTN BMB MNO KTR | TMK AKZ NSM KTN BMB | TMK NSM KTN KTR TYM |
| 治療 | YMZ AIB NSM KMT SMZ NGS | YMZ SZK AIB NSM SMZ NGS NGT SRI | YMZ SZK NSM KMT SMZ NGS WTN | AIB NSM KMT NGS WTN | SZK AIB KMT SMZ SRI |
| IVR | HRT MUR NSM KTG | YMS KTG | HRT MUR YMS KTG | YMS NGT NSM | MUR NGT |
| IVR・診断 | YMD TKH SKI AKZ GTO TKH KBA KNY TSJ MHR AKY OKM | YMD SKI GTO TKH BMB KNY NKI MHR OKM MNO TYM | YMD TKH SKI AKZ TKH KBA TYT TSJ NKI MHR OKM | YMD SKI TKH KBA NKY OHR TYT AKY KTR TYM | YMD TKH GTO KBA NKY OHR TYT NKI AKY |
| RI | TMK NSM BMB MNO TYM | AKZ NSM KTN KTR | TMK KTN BMB MNO KTR | TMK AKZ NSM KTN BMB | TMK NSM KTN KTR TYM |

図2 提案手法で作成したスケジュール

| 2021年1-3月 | (月) | (火) | (水) | (木) | (金) |
|-----------|--|---|---|--|---|
| 治療 | YMZ SZK AIB NSM KMT WTN SRI (HRT)(MUR) | YMZ SZK AIB NSM SMZ NGS NGT SRI | SZK SMZ NGS NSM KMT WTN | YMZ AIB NSM KMT SMZ NGS (HRT) MUR NSM | YMZ SZK AIB KMT SMZ SRI MUR NSM |
| IVR | NSM KTG | KTG | YMS | (HRT) MUR NSM | YMS |
| IVR・診断 | YMD TKH AKZ GTO TKH KBA KNY MRI TSJ AKY OKM CT OHR | TKH AKZ GTO TKH KTN MRI NKI MHR CT OHR | YMD TKH (AKZ) MRI TKH KBA TYT OKM CT OHR | (YMD) (HRT) AKZ MRI TKH KBA TYT BMB CT TYM OHR | YMD TKH GTO KBA TYT TSJ NKI CT TYM OHR |
| RI | TMK NSM BMB MNO MHR | TMK NSM BMB KNY MNO | TMK BMB MNO MHR | TMK NSM KNY MNO | TMK NSM KNY AKY |
| CC I | MUR/HRT | TMK | AKZ | YMD | |
| 治療 | YMZ SZK AIB NSM KMT SMZ NGS SRI | YMZ SZK AIB NSM SMZ NGS NGT SRI | YMZ SZK SMZ NGS KMT WTN | (YMZ) (SZK) AIB NSM KMT WTN | SZK AIB KMT SMZ SRI MUR |
| IVR | HRT MUR NSM KTG | KTG | YMS | (HRT)(MUR) NSM | YMS |
| IVR・診断 | YMD TKH AKZ GTO TKH KNY MRI TSJ AKY OKM CT OHR | YMD (TKH) AKZ GTO TKH KTN MRI NKI MHR CT OHR | YMD TKH AKZ TKH KBA MRI TYT TSJ OKM CT OHR | YMD AKZ GTO TKH KBA BMB KNY CT TYM OHR | YMD TKH GTO KBA TYT TSJ NKI CT TYM OHR |
| RI | TMK NSM KBA BMB MHR | NSM MHR | TMK BMB MNO MHR | TMK NSM KTN AKY | TMK NSM KNY AKY |
| CC I | | TKH | | YMZ/SZK | SKI |

図3 従来手法で作成したスケジュール

制約条件を満たし、違反度が0であるスケジュールを作成できた。本研究では、シフト上の制約条件のみに対して違反度を設定しており、担当部門の固定、および確保すべき研究活動の時間といった各医師に対して個別に設定すべき詳細な条件を考慮していない。

また、2種類のスケジュールを比較すると、CT番といった特殊な担当を除いて、スケジュールはほぼ同じであった。

7.5 アンケートによる評価

評価者によるアンケートの結果を表2に示す。問2から問5は、5段階評価とする。

問1: 基本表ができるまでの時間が長く、作成時間の分

表 2 アンケート内容

| 番号 | 質問内容 |
|-----|---|
| 問 1 | 普段、勤務スケジュールの作成でかかる時間（おおよそ）をご記入下さい。 |
| 問 2 | 普段の勤務スケジュール作成手法と比較して、今回提案したスケジュールシステムは使いやすい（効率的、負担が少ない）と感じましたか？ |
| 問 3 | ヒアリングに基づいて作成した初期設定はすべて満たされていますか？ |
| 問 4 | システムで作成した勤務スケジュールは実際に運用できる内容となっていますか？ |
| 問 5 | システムを実際に利用したいと思いましたか？ |
| 問 6 | システム全体でよかった点、改善点、感想がございましたら以下の欄にご記入ください。 |

散は大きい。平均では、約 1.5 時間/日である。

問 2： 評価：4（やや当てはまる）

理由：自動化できるプロセスが増えると、負担は軽減される。結果として、時間のおよび心理的な負担を軽減できる。また、手動による人為的なミスが無くなり、目視による確認作業が減ることで、作業効率が向上する。

問 3： 評価：5（とても当てはまる）

理由：シフト上の制約条件は満たされている。

問 4： 評価：2（あまり当てはまらない）

理由：確定権限数やスタッフの制限は満足しているが、各医師に対する詳細な制約条件は満たされておらず、現在の提案手法で作成した勤務スケジュールを実際に運用することは困難である。

問 5： 評価：5（とても当てはまる）

理由：外勤表から基本表をすぐに作成できれば負担が大きく減るため、スケジュールの作成作業を自動化できる箇所があれば大いに利用したい。

問 6： 良かった点：パズルのような勤務スケジュールの作成処理が自動化された点。

改善点：制約条件を満たした複数の勤務スケジュールを提示し、選択できるようにする必要がある。

8. 考察

表 1 より、提案手法では、5.2 節で述べた各医師の初期情報の入力が必要となる一方で、年次休暇や出張によるスケジュールの変更を考慮した提案手法における 3 ヶ月分の勤務スケジュールの作成時間は、従来手法に比べて大幅に短縮できる。現在は、スケジュールの変更を考慮して、すべての制約条件を反映した勤務スケジュールを作成している。今後は、基本表をもとに、スケジュールの変更部分のみを反映した勤務スケジュールを作成するアルゴリズムを提案する必要がある。

7.5 節の有用性評価について、利便性や制約条件の満足度に関して、勤務スケジュール作成時の負担軽減に対する

評価は高かった。一方で、システムの実用性に関して、各医師の詳細な制約条件を考慮しておらず、評価は低かった。勤務スケジュールの作成者は、勤務時間における各医師の制約条件だけでなく、医師同士の相性、各医師にかかる負担の均一化といった目に見えない制約条件を考慮している。従って、今後はこれらの制約条件を考慮して、複数の異なるスケジュールの解を提案するシステムを作成する必要がある。

9. おわりに

本研究では、医療現場の働き方改革を実現するシステムソフトウェアを実現するため、医師のワークライフバランスを改善する勤務スケジュールの作成手法を提案した。提案手法では、実際の医療現場に応じた医師の勤務環境を考慮して勤務スケジュール作成のアルゴリズムを構築することで、これまで手作業で作成していたスケジュール担当の医師にかかる負担を削減する。

提案手法の設計および実装について、京都府立医科大学大学院放射線診断治療学講座における勤務スケジュールの作成者にヒアリングを行い、作成した要求定義をもとに設計し、医師の制約条件を考慮したスケジューリングを実装した。評価では、勤務スケジュールの作成医師が提案手法で作成したスケジュールを確認し、アンケート形式で提案手法の有用性を確認した。また、作成時間に関して、従来手法に比べて大幅に短縮できた。

今後の課題として、作成者が使いやすいユーザインタフェースの実装、スケジュール作成後の変更に対する調整機能、作成者が選択可能な複数の解を提示するアルゴリズムの構築、および詳細な制約条件を設定できるような柔軟なシステムの提案が挙げられる。

10. 謝辞

本研究は、文部科学省による Society 5.0 実現化研究拠点支援事業によって行われたものである。また、本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金（基盤研究（C））（課題番号：18K11265）の研究助成によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] 内閣府: Society 5.0, <https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/index.html> (参照 2021-01-10).
- [2] 内閣府: 働き方改革実行計画, <<https://www.kantei.go.jp/jp/headline/pdf/20170328/01.pdf>> (参照 2021-01-10).
- [3] 厚生労働省: 働き方改革～一億総活躍社会の実現に向けて～, <<https://www.mhlw.go.jp/content/000335765.pdf>> (参照 2021-01-10).
- [4] (一社)日本経済団体連合会: Society 5.0 時代の物流～先端技術による変革とさらなる国際化への挑戦～,

- <http://www.keidanren.or.jp/policy/2018/085_honbun.pdf>
(参照 2021-01-10).
- [5] 国土交通省: i-Construction,
<<http://www.mlit.go.jp/tec/i-construction/>> (参照 2021-01-10).
- [6] 高田芽衣, 中嶋啓, 山田健一郎, 玉垣亮, 笈田邦彦: IoT センシングによるオフィス活用率測定の有効性評価～「働き方改革×オフィス改革」への適応事例～, 情報処理学会デジタルプラクティス, Vol.10, No.4, pp.705-718 (2019).
- [7] 丸山文夫, 水品雪絵, 斎藤彰宏: IBM がテクノロジーを通じて実現する社員視点の働き方改革, 情報処理学会デジタルプラクティス, Vol.10, No.4, pp.719-738 (2019).
- [8] 総務省: 平成 29 年就業構造基本調査,
<<https://www.stat.go.jp/data/shugyou/2017/>> (参照 2021-01-10).
- [9] A. Ikegami and A. Niwa: A Subproblem-centric Model and Approach to the Nurse Scheduling Problem, Mathematical programming, Vol.97, pp.517-541 (2003).
- [10] A. A. El Adoly, M. Gheith and M.N. Fors: A new formulation and solution for the nurse scheduling problem: A case study in Egypt, Alexandria Engineering Journal, Vol.57, No.4, pp.2289-2298 (2018).
- [11] P. Rerkjirattikal, V. N. Huynh, S.Olapiriyakul, and T. Supnithi: A goal programming approach to nurse scheduling with individual preference satisfaction, Mathematical Problems in Engineering, Vol.2020, No.2379091, pp.1-11 (2020).
- [12] 吉田基輝, 沖本天太, 平山勝敏: 0-1 整数計画法によるレジリエントなナース・スケジューリング, 情報処理学会第 81 回全国大会講演論文集, Vol.1, pp.327-328 (2019).
- [13] 徳永拓真, 田中勇真, 小林隆文, 杵水佑樹, 池上敦子: 非正社員を主力とするスタッフスケジューリングにおけるモデル化と支援システムの構築, 情報処理学会論文誌数理モデル化と応用, Vol.8, No.2, pp.57-65 (2015).
- [14] 伊藤愛, 藤井信忠, 貝原俊也, 國領大介, 新村猛: 外食産業における勤務シフトスケジュールと業務割当の同時計画手法, 精密工学会学術講演会講演論文集, pp.213-214 (2018).
- [15] 柏木一杜, 林祐作, 榮隼人, 小野智司: 制約違反解消オペレータを導入した介護施設の勤務スケジューリング, 人工知能学会全国大会論文集, No.34, No.4Rin1-29, pp.1-4 (2020).
- [16] 山中悠介, 沖本天太, 平山勝敏: 公平性を考慮した麻酔科医スケジュールリングに関する一検討, 情報処理学会第 80 回全国大会講演論文集, Vol.1, pp.335-336 (2018).
- [17] R.D.Landtsheer, G.Delannay, CPonsard: Dealing with Perceived Fairness when Planning Doctor Shifts in Hospitals, Proceedings of the 7th International Conference on Operations Research and Enterprise Systems (ICORES 2018), Vol.1, pp.320-326 (2018).
- [18] 岩本尚己, 後藤佑介, 酒井晃二, 田添潤, 三浦寛司, 小原雄, 内山彰, 乃村能成: 医師のワークライフバランスを改善する勤務割当て手法の提案, 情報処理学会研究報告 (マルチメディア通信と分散処理研究会 2020-DPS-182) No.48, pp.1-6 (2020).