

# 生産スケジューリングにおけるディスパッチングルールの動的な切り替え手法

0360074 三菱重工業株式会社 \*渡部 洋介 WATANABE Yosuke

0360074 三菱重工業株式会社 古賀 祐一 KOGA Yuichi

Indian Institute of Technology Kanpur PRAWESH Shankar

Indian Institute of Technology Kanpur KHANRA Avijit

Indian Institute of Technology Kanpur HAMID Faiz

## 1. はじめに

製造業において効率的な生産スケジュールの立案は、品質の高い製品を安いコストで製造して納期までにお客様に届けるための重要な課題の1つである。生産工場では、複数の工程からなる製品を複数の機械で生産することを想定したジョブショップスケジューリング問題(JSP: Job-shop Scheduling Problem)を対象に、なるべく製造リードタイムを短縮する等、高効率な生産計画を短時間で立案する手法が求められる。また、ベテラン作業計画者は現場の状況に応じて作業順番を柔軟に変更することで遅れを挽回しており、そのような現場のノウハウを形式知化することも課題の1つである。

JSPの解法は、2種類に大別される。1種類目は数理最適化を用いる方法であり、最終的に最適な生産計画を立案できることが保証されているが、最適解を得るのに多大な時間を要する。2種類目はシミュレーションベースの手法であり、実行可能な生産計画を高速に求めることができるが、解の最適性は保証されない。実運用上は、生産計画の最適性よりも、計画立案時間が課題となることが多いため、短時間で生産計画を立案可能なシミュレーションベースの手法が扱いやすい。実際に作業計画者がスケジューリングを行う際は、出社後から朝ミーティングまでの間に前日までの作業実績を加味して当日のスケジュールを立て直すなど、計画立案に割ける時間が制限されている場合が多い。

シミュレーションベースの手法は、クロックタイム(黒田ら[1])と呼ばれる時間軸を進めながら、ディスパッチングルールと呼ばれる優先規則に従って次にやるべき工程を選択していく流れが一般的であり、使用するルールにより生産計画の効率が大きく左右される(Yih-Long[2])。岡田ら[3]はディスパッチングルールを切り替え可能なスケジューリングシステムを提案し、状況に応じて適切なルールを判断する手法の検討を課題として挙げている。

そこで本研究では、1つの生産計画の中で事前に設定したマイルストーンにおける工程の特徴に応じてディスパッチングルールを動的に切り替えながらスケジューリングする手法を提案する。提案手法により高効率な生産計画の立案と現場のノウハウの形式知化の両立を図る。

## 2. ディスパッチングルールの事前学習

提案手法では、学習済みの機械学習モデルを用いることで工程の特徴に応じた適切なディスパッチングルールを短時間で選定する。機械学習モデルとして、解釈可能な木構造からなるランダムフォレストを採用した。事前学習からルールの切り替えまでの流れを以下に示す。

- (1)シミュレーションベースのスケジューリングを行い、機械学習モデルの学習に必要な訓練データを作成する。スケジューリング開始後、任意のマイルストーンに到達する度に、ルールの候補全てに対して残りの計画未完了の工程の計画にそのルールを使い続けた場合の製造リードタイム等の評価値を算出し、評価値が最良となるルールを特徴量とペアで蓄積する操作を繰り返す(図1)。特徴量は、計画未完了の工程を対象に、ジョブの作業時間、納期までの余裕時間、リソースの余裕度合い等、候補となるルールの優先度算出式の構成要素である一般的な指標を用いて作成する。
- (2)ランダムフォレストを用いて(1)で作成した訓練データを基に最良ルールを推定できる様に学習する。学習後は入力された特徴量に対して複数の決定木で多数決を取り、生産計画の評価値が最良となるルールを推定する。
- (3)学習後は、スケジューリング中に任意のマイルストーンに到達する度に、学習済みのモデルにその時点で計画未完了の工程の特徴量を渡して最良ルールの推定結果を取得する。その後、取得したルールに基づいて着手可能な工程の優先度を評価して次に着手する工程を選択する操作を繰り返す。

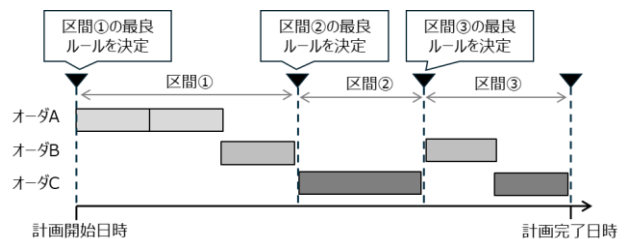


図1: 訓練データ作成方法

## 3. 提案アルゴリズム

2章で学習済みの機械学習モデルを用いたスケジューリングアルゴリズムを以下に示す。

- (1)クロックタイムをスケジューリング開始時刻に設定する。
- (2)クロックタイムを計画未完了の工程の着手可能時刻の最早

時刻, もしくは次のマイルストーンのいずれか早い時刻まで進める。

- (3) クロックタイムがマイルストーンに到達した場合は(4)に進み, それ以外は(5)に進む。
- (4) 計画未完了の工程の特徴量を計算して学習済のモデルに入力する。モデルが推定したディスパッチングルールを取得し, 以降のスケジューリングで使用するルールに設定する。(2)に戻る。
- (5) ディスパッチングルールにより未着手かつ次に着手可能な工程の中から最も優先すべき工程を決定し, 選ばれた工程の作業開始時刻と使用する機械を決定する。
- (6) 全ての工程に対して作業時間と使用する機械が決まり計画が完了した場合は終了し, それ以外は(2)に戻る。

図2に, 上記アルゴリズムを実現する生産スケジューラの構成を示す。

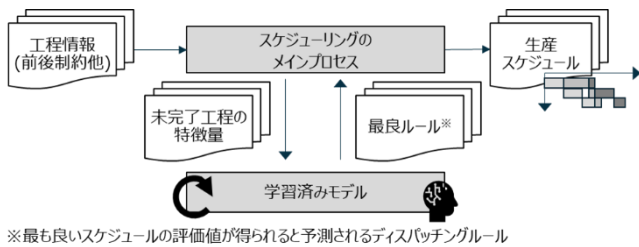


図2: 生産スケジューラの構成

#### 4. 結果

スケジューリング中にディスパッチングルールを切り替えず単一のルールを使用する従来手法と, 動的に変更する提案手法の結果を比較し, 提案手法の有効性を検証した。本検証では, 製造部品と問題規模が異なる3種類の問題例(表1)を対象に, 300件の訓練データで事前学習を済ませた機械学習モデルを用いて計算実験を行った。

表1: 検証問題

問題No.	問題規模	
	工程数	期間
1	約2万	約1年半分の計画
2	約6万	約1年分の計画
3	約10万	約4か月分の計画

図3に従来手法と提案手法を比較した結果を示す。製造リードタイムを比較した結果, 全ての問題例において従来手法よりも全オーダの平均リードタイムが短縮した。最も大きな短縮効

果が得られた問題例3については, 全オーダの平均リードタイムを▲6.6%(従来手法: 17.8日→提案手法: 16.7日)短縮できる見込みがあることを確認した。なお, 本検証で提案手法の計算に要した時間は約1分であり, 良好な解を実用的な時間内で求められることを確認できた。

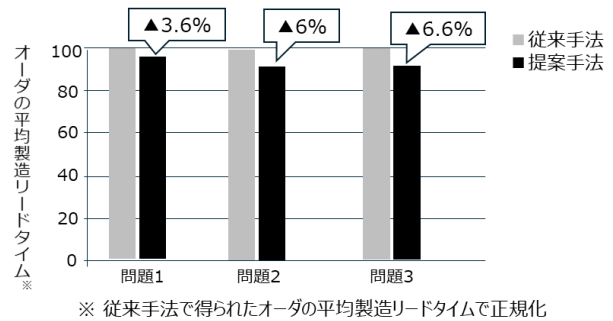


図3: 従来手法と提案手法の比較結果

#### 5. おわりに

本研究では, 1つの生産計画の中で事前に設定したマイルストーンにおける工程の特徴に応じてディスパッチングルールを動的に切り替えながら高効率な生産計画を立案する手法を提案した。数値実験において, 状況に応じてディスパッチングルールを動的に切り替える本手法により, 単一のディスパッチングルールを使い続ける場合よりも製造リードタイムが▲6.6%短い生産計画を立案できることを確認した。

今後は, ディスパッチングルールの切り替えタイミングを固定せず, 問題の特徴が変わるタイミングを自動で判断してルールの更新を行える様に拡張することで, さらなる生産計画の効率向上を目指す。

#### 参考文献

- [1]黒田 充, 村松 健児, 伊理 正夫: 生産スケジューリング(経営科学のニューフロンティア), 朝倉書店(2002)
- [2]Yih-Long, Toshiyuki Sueyoshi, Robert S. Sullivan: Ranking Dispatching Rules by Data Envelopment Analysis in a Job Shop Environment, IIE Transactions, pp.631-642(1996)
- [3]岡田拓朗, 高田昌之: 知識ベースシステムを用いたディスパッチングルール切り替え型スケジューリングシステム, スケジューリング・シンポジウム 2003 講演論文集, pp.32-37(2003)