

PS-18 深さ優先探索に基づく大組ブロックのリソース制約付き

二次元定盤配置計画

構造・産業システム系 * 谷口 智之

1. はじめに

ブロック大組立工程は、加工から搭載の中間に位置し、物量も多い工程であるため、この工程の最適化は非常に重要な課題である。一方で、ブロック大組建屋内の定盤日程配置計画は個人の勘や感覚に依存して計画されることが多く、工程にムダ・ムラが存在している。ブロック定盤の効率的な使用による定盤稼働率の最大化が、ブロック製造工場の効率指標である年間生産トン数の最大化にも繋がるため、本課題の重要性は非常に高い。

これまでに造船でのブロック定盤計画や日程計画に関する研究が多くなされている。奥本ら¹⁾は組立定盤内のブロックの配置位置を自動で計算するため、SA法を用いたネスティングを提案している。ブロックを二次元の凸多角形としてとらえ、固定定盤上でどのように配置すればよいかを解いている。梶原ら²⁾はストックヤードの工程に対して資源制約付きスケジューリング問題として解く手法を提案している。Huら³⁾は造船の大組立工程に対してブロックの形状と時間軸上の関係を同時に考慮する手法を提案している。工程の前後関係を考慮し、定盤上の位置をBottom-Left-Fill法を用いて決定するアルゴリズムを提案している。

以上のように、リソースの制約を考慮した日程計画の最適化や、ブロックの形状を考慮した二次元上での配置の最適化は実施されているが、それぞれ別々に取り扱うか限定的な取扱いにとどまっている。本報では、リソースの制約を考慮した上で、ブロックの二次元上での配置も同時に取り扱うことが可能なアルゴリズムを提案する。

2. 定盤配置計画問題の定式化

本報では前提条件を次のように置いた。

- ・1つの定盤（形状）
- ・リソース別の最大人員数
- ・ブロックの2次元形状、リソース別の工期・人員・実施順・前倒し、最遅期日
- ・N個のブロックの割付順

ここに、ブロックの割付け順を事前情報とした理由はブロックの搭載順でほぼ決定されるためである。

次に、同時に満足すべき制約は以下とした。

- ・各リソースが各最大値を超えない
- ・2次元空間上でのブロック同士の干渉が無い。

設計変数として以下を取り扱う。

- ・ブロックの着手日（バックワードでは出棟日）

- ・ブロックの二次元空間上における位置と角度

目的関数は定盤稼働率の向上のため、全体期間の最小化とした。これは、制約条件にリソースの最大値を超えないという条件があるため、リソースの平準化も同時に達成されると考える。これらの要件をすべてのブロックで、かつ全体最適化することは人手では困難であるため、既存のスケジューリング手法とネスティング手法を活用したブロックの定盤日程配置計画アルゴリズムを提案する。

3. 二次元配置とリソース制約の同時最適化手法

本提案アルゴリズムは大きく2段階に分かれる。1つ目はブロックの割付け順に前詰め（もしくは後ろ詰め）でスケジュールを構築するローカルソルバーであり、2つ目はローカルソルバーを用いた深さ優先の木探索に基づく全体最適化を担うグローバルソルバーである。また、本アルゴリズムは前詰めおよび後詰めどちらの日程計画にも対応しているが、以下では説明上前詰りを前提として記述する。

3.1 ローカルソルバー

ブロックの割付け順に前詰めでスケジュールを構築する。

Step1: i 番目のブロックのすべてのリソースを前詰めで割り当てる。

Step2: Step1より i 番目のブロックの定盤占有期間が決定するため、その期間内にある他の配置ブロックと干渉しない位置と角度を求める。この時Bottom Left Fill法⁴⁾を活用して位置と角度を決定する。形状は凸多角形を取り扱う。

Step3: Step2で干渉しない位置が求められなかった場合、占有開始日以降で後ろの期間にずらしStep1を再度開始する。解が求められるまで繰り返す。

Step4: i を $i+1$ に更新し、Step1へ戻る。すべてのブロックが配置終わった場合、計算を終了する。

上記をローカルソルバーと呼ぶこととする。

3.2 グローバルソルバー

3.1のローカルソルバーによって定盤上二次元空間の制約とリソース制約を満足するスケジュールが得られるが、単に前詰めで構築したスケジュールであるため、後ブロックの配置は考慮せずに実施される。そのため、不要な待ち時間が生じる可能性がある。そこで、本報では深さ木探索を活用して後ブロックの配置まで考慮したアルゴリズムを考案する。これをグローバルソルバーと呼ぶこととし、その手続きの概要を図-1に示す。今回は評価値 V を工期の逆数とした。

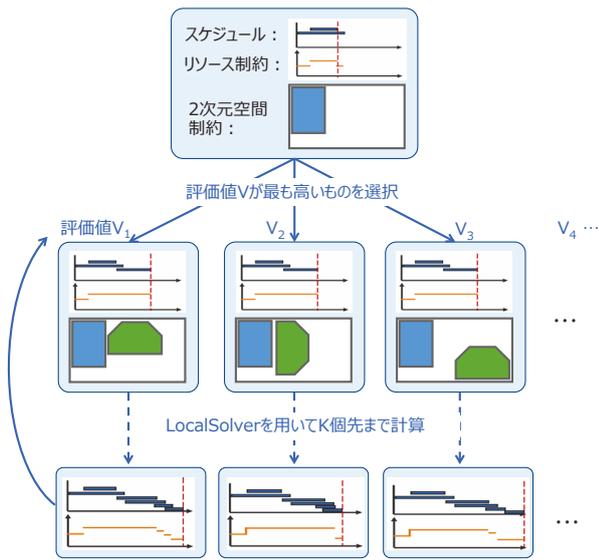


図-1 グローバルソルバーのアルゴリズム概略

4. 計算結果と考察

浅川造船株式会社東予工場における大組立定盤を対象とし、30個のブロックに対して計算を実施した。鉄工職 (Iron) と溶接職 (Weld) の2種類で設定し、それぞれリソースの最大値を鉄工職は80h, 溶接職は160hとした。ブロックは90°回転のみを許容する。図-2はグローバルソルバーによるスケジューリングの結果を示している。

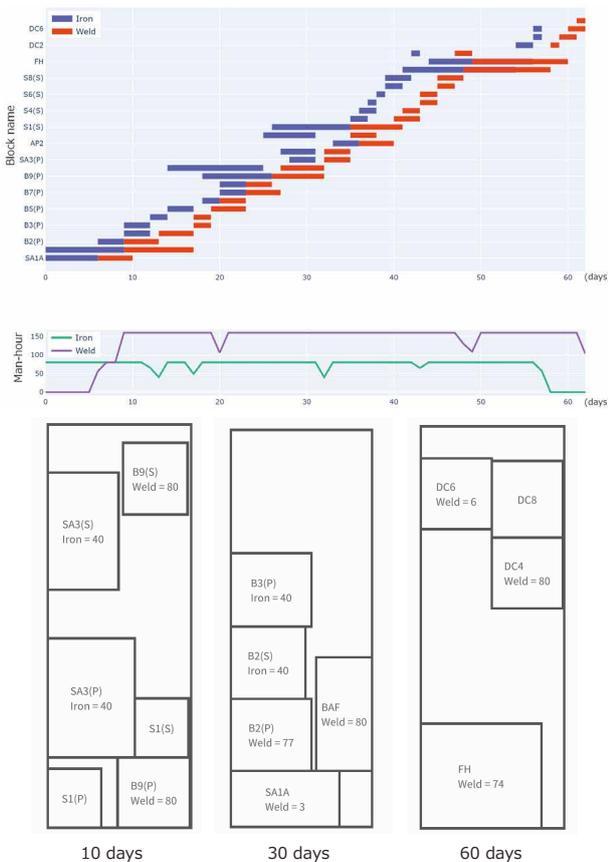


図-2 計算結果 (上段: ガントチャート, 中段: リソース, 下段: 代表日の配置計算結果例)

リソースの最大値を超えないようにスケジューリングがなされ、ブロック同士の空間的な干渉も無い。リソースは多少の凹凸があるものの、おおよそ平準化されている。さらに、実際の工期よりも2日間短縮された結果であることを確認している。また、本計算結果を得るまでの計算時間はシングルコア (Intel (R) Core (TM) i7-6800K CPU@3.4GHz) で約5秒であった。後工程を考慮せずにブロックを配置すると、スペースが空かずに配置できないといった状況に陥り、リソースの山谷や納期遅れ、計画の乱れなど多大な悪影響を及ぼす。このような影響は定盤面積といったスカラー値では正しく評価できないため、本提案手法のように定盤上の二次元空間的制約とリソースを同時に考慮する手法が有効といえる。今回は長方形形状であったが、凸形状でも同様に計算が可能であり、後ろ詰めスケジューリングも実施できる。

5. まとめ

大組ブロックの定盤配置計画を対象として、工数のリソース制約と二次元定盤上の空間的制約を同時に考慮したスケジューリング手法を提案した。ブロックの着手順に割り当てるローカルソルバーとローカルソルバーによる評価値を用いて後工程を考慮した最適化を行うグローバルソルバーを提案し、浅川造船株式会社様の大組立工程を対象として計算を実施した。その結果、定盤上でブロック同士の空間的な干渉のない平準化されたスケジューリングが可能であることを示し、実工程よりも短縮された結果となった。今後は反転ブロックや総組などにも対応できるように機能を拡張し、実工場での運用に向けた取り組みを進める予定である。

謝辞

本研究は、国交省の令和4年度革新的造船工程高度化推進補助金における浅川造船株式会社様の事業の一環として実施した成果である。谷川文章様、浅海正明様、馬渡亮浩様、浅海真様、浅海馨介様にご協力及びご助言を頂きました。深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 奥本泰久, 井関隆太郎: SA法を応用した組立定盤内のブロック最適配置, 日本船舶海洋工学会論文集, 第1号 (2005).
- 2) 梶原宏之, 木村元, 石川一郎, 山田拓史, 嵩下雄介, 中島昌吾: RCPSP法によるストックヤード工程計画に関する研究, 日本船舶海洋工学会論文集, 第31号 (2020).
- 3) S. Hu, T. Liu, S. Wang, Y. Kao and X. Sun: A Hybrid Heuristic Algorithm for Ship Block Construction Space Scheduling Problem, Discrete Dynamics in Nature and Society (2015).
- 4) E. Burke, R. Hellier, G. Kendall and G. Whitwell: A New Bottom-Left-Fill Heuristic Algorithm for the Two-Dimensional Irregular Packing Problem, Operations Research, Volume 54, No. 3 (2006).