

分枝限定法を活用した製鉄所出荷バースの操業スケジューリング

(株)神戸製鋼所 生産技術研究所
 コベルコシステム(株)
 岡山大学 工学部電気電子工学科

○梅田豊裕 北村 章
 金村真三 高見真司
 小西正躬

1. 緒言

製鉄所における鋼材出荷業務では、近年多品種小ロット輸送、ジャストインタイム納入の必要性から、輸送の中心となる船舶の効率的な荷役作業スケジュールの作成が課題となっている。しかしながら、考慮すべき条件が多い複雑な問題となるため、実用レベルのシステム化が困難であった。筆者らは、分枝限定法に基づく探索に予測評価項を含む評価関数を組み合わせることにより、出荷バースでの荷役スケジュールを最適化するシステムを構築した¹⁾。また、操業現場の作業ノウハウを採り入れることにより、実用性を高めた。本稿では、スケジューリング方法の概要および実操業での適用結果について述べる。

2. バーススケジューリングのモデル化

2.1 決定変数

図1に示すように、対象とする内航船出荷バースは合計6ヶ所あり、1日あたり20から30隻の船が入港する。製品は岸壁倉庫から所定のバースに浜出しされ、各バースに設置されているクレーンにより船積みされる。バーススケジューリングでは、入港予定の船舶に対する荷役作業バースと、各バースでの作業開始・終了時刻を決定する。

2.2 制約条件

考慮すべき制約条件の例を以下に示す。

- 作業可能バース：積荷の種類や寸法により作業バースが限定される。
- 出航限界時刻：向け先での作業時間帯に合わせるため、所定の時刻までに出货すべき船舶がある。
- 作業人数：同時に岸壁で作業できる作業人数の合計には上限があり、時間帯により異なる。
- 天候：雨天時には屋根付きの全天候バース以外では荷役できない製品がある。
- 作業時間帯：クレーンの修理や食事時間帯は荷役作業ができない。

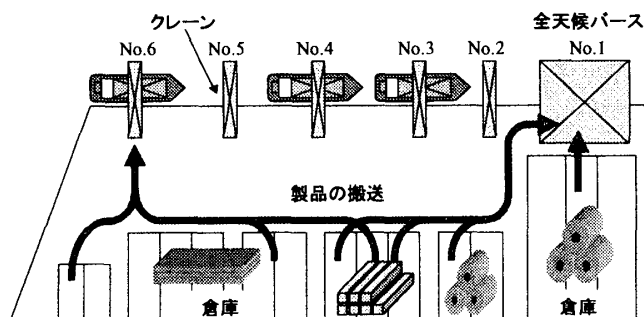


図1 製鉄所出荷バースの物流概要

2.3 評価項目

スケジュールの評価指標を以下に示す。

- 船舶の運行効率：滞船時間（荷役完了時刻と入港時刻の差）→極力小さくする
 - 岸壁での作業性：製品を保管場所から作業バースまで搬送するのに要する時間→極力小さくする
- 本来は制約条件である出航限界時刻からの遅れを加え、評価関数 E を、船 i に対する評価値 F_i の総和として(1)式のように定義する。

$$\begin{cases} E = \sum_i F_i \rightarrow \text{minimize} \\ F_i = w_1 f_{1,i} + w_2 f_{2,i} + w_3 f_{3,i} \end{cases} \quad (1)$$

ただし、 $f_{1,i}$ 、 $f_{2,i}$ および $f_{3,i}$ は、それぞれ船 i における滞船時間、製品の搬送時間および出航限界時刻からの遅れである。また、 w_1 、 w_2 および w_3 は、それぞれ0以上の重みパラメーターである。

3. バーススケジュール作成アルゴリズム

本問題は組合せ最適化問題であり、解法として分枝限定法を適用した。処理フローを図2に示す。

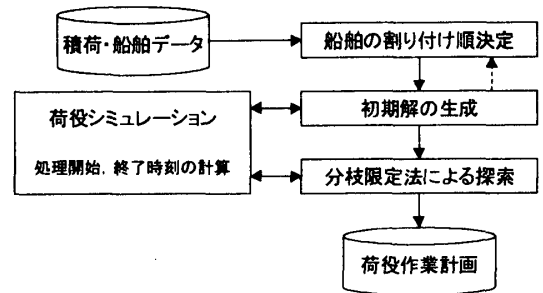


図2 バーススケジューリングの流れ

3.1 船舶の割り付け順決定

各船舶について以下の3項目の重み和を計算し、その値が小さい順に船舶をバースに割り付ける。

- 入港予定時刻が早い船を優先
- 出港限界時刻と入港時刻の差が小さい船を優先
- 荷役作業時間の短い船を優先

上記の出港余裕時間に対する重みは、次の初期解生成段階で、どのバースに割り付けても出港限界時刻を守ることができない船舶が発生した場合、その値を一定幅大きくする。

3.2 初期解の生成

初期解では極力良い解を得ることが探索効率を上げる上で重要であるが、解の決定に多くの時間を費

やすことは避けねばならない。そこで、割り付け順序にしたがって評価値の増加が最小となるバースを逐次決定して行くことにより、初期解を生成する。

3.3 分枝限定法による探索

初期解を最初の暫定解として、分枝限定法の1つであるバックトラック計画法²⁾により探索を行う。探索のイメージを図3に示す。

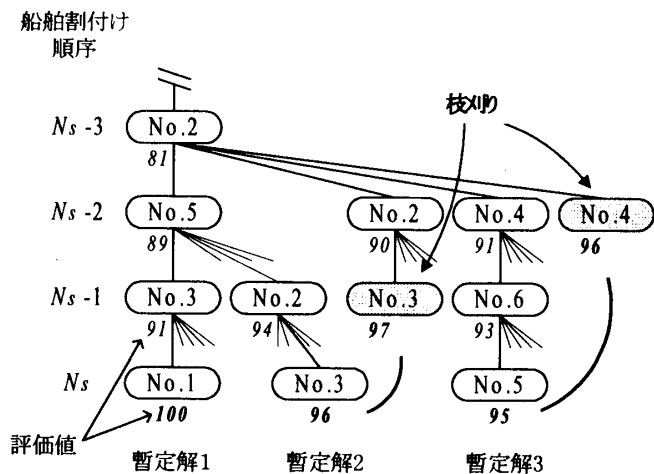


図3 分枝限定法による探索

分枝操作を行うごとに評価関数を計算し、その値が暫定解の評価値を超えた場合は、それ以降の探索は行わず(枝刈り)再度分枝操作を行う。これは、船舶の割り付けに対して評価関数が単調増加するため可能となる。

4. 探索の高速化

探索時間を高速化するには、枝刈りをできるだけ上流のステップで行う工夫が必要となる。本方法では、(2)式に示すように、探索途中ステップ m の評価関数に、未展開部分の船舶に対する予測評価項を導入し、枝刈りの効率化を図った。

$$E_m = \sum_{i=1}^m F_i + \hat{P}_m, \quad (m=1, 2, \dots, N) \quad (2)$$

ここで、 N は船舶の総数、 \hat{P}_m は第 $m+1$ ステップ以降の予測評価項で、(3)式のように定義される。

$$\hat{P}_m = \begin{cases} \sum_{i=m+1}^N \min_k (F_{ikm}), & (m=1, \dots, N-1) \\ 0, & (m=N) \end{cases} \quad (3)$$

ただし、 F_{ikm} は第 m ステップにおける船の割り付け状態において、未展開部分の船 i をバース k に割り付けた場合の評価値 F_i の値である。つまり、未展開部分の船舶に対しては、今後少なくとも科せられることが確実な評価値を加えている。したがって、この予測項を用いて探索した結果と、第 m ステップまでの評価値のみを用いて探索した最適解は一致する³⁾。

5. 実作業への適用

5.1 分割による計画期間拡張への対応

週末のように2日分の計画をまとめて作成する場合には、探索空間をさらに縮小する必要がある。そこで、割り付け順位に従い、船舶を前半と後半2つのグループに分割した上で、前半計画の評価値上位一定数の解を保持し、各解候補に対して後半の探索を行うようにした。前半部分の解を一定数確保すれば、トータルの計画の質をほとんど落とすことなく計算時間を1/10以下にできることを確認した⁴⁾。

5.2 操業ノウハウの活用

これまでの方法では、1隻の船は1つの作業バースで1回だけ作業することを前提にしていた。しかし実際の操業現場では、積荷の保管場所に合わせ、荷役の途中で作業バースを変更するバースシフトが行われている。これにより、製品の搬送効率が向上する。そこで、本方法では、事前に決定したバースシフト対象の船を仮想的に2隻の船に分割した上で、作業時間が重複しない制約を加えることにより、上記探索手法をバースシフト操業に拡張した。図4に、バースシフトに拡張したスケジューリング結果の一例を示す。例えば、大王丸はNo.3バースからNo.1バースに移動している。

2000年04月02日

	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
No.1																													
No.2																													
No.3																													
No.4																													
No.5																													
No.6																													

図4 バーススケジューリング結果の一例

6. 結言

出荷バースの操業スケジューリングに分枝限定法を活用した事例について報告した。本方法を用いたシステムは製鉄所の出荷業務におけるスケジューリング・ツールとして実用化され、従来の人手作業による計画時間を大幅に短縮しただけでなく、計画精度の安定化や荷役作業の効率向上に寄与している。

【参考文献】

- 1) 梅田他：予測評価探索をともなう分枝限定法による出荷バースの操業スケジューリング；システム制御情報学会論文誌，Vol. 13, No. 4, pp. 194-203 (2000)
- 2) 鍋島：数学ライブラリー37 スケジューリング理論，森北出版 (1974)
- 3) 岩井他：知識システム工学，計測自動制御学会(1991)