

バックワード・フォワードスケジューリングを活用した 多段工程操業計画法

01402684 住友金属工業(株) 中川 義之 NAKAGAWA Yoshiyuki
01118154 " *熊本 和浩 KUMAMOTO Kazuhiro
" 浅田 克暢 ASADA Katsunobu
" 藤井 憲和 FUJII Norikazu

1. はじめに

近年、鉄鋼業においてはユーザーニーズの多様化に対応した多品種・小ロット化、短納期化生産の効率化が重要な課題となっている。特に製造工程が多段にわたり操業管理対象が大規模・複雑な場合、各工程の作業負荷を考慮し、納期確保をはかる一貫操業計画の立案が不可欠である。今回、鉄鋼薄板製造工程を対象に納期確保と各工程の操業負荷を調整する操業計画法を開発したので、その概要を報告する。

2. 対象工程と問題の特徴

- ①多段…主要10工程のジョブショップ型で注文品種により通過工程が異なる(図1参照)。
- ②大規模…対象注文件数約1万件。
- ③多目的…納期確保、操業効率化、工程間の同期化。
- ④制約条件…各工程でロット集約条件が異なる(図2参照)。

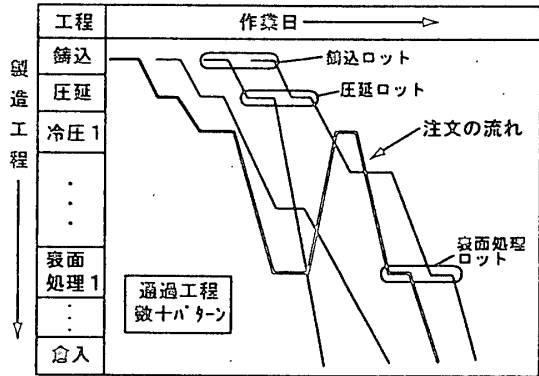


図1 薄板製造工程における注文の流れ

3. 問題解決へのアプローチ

従来、上流工程における注文の処理開始時刻を決定する指標として、当該注文の作業納期から標準的な製造リードタイムを減算した値を用いていた。しかし、途中工程におけるロット集約条件が厳しい、あるいは処理能力に制限がある場合(含、休止工程)、必ずしも納期が確保できるとは限らないという欠点がある。そこで、各工程でロット集約条件、処理能力等を考慮

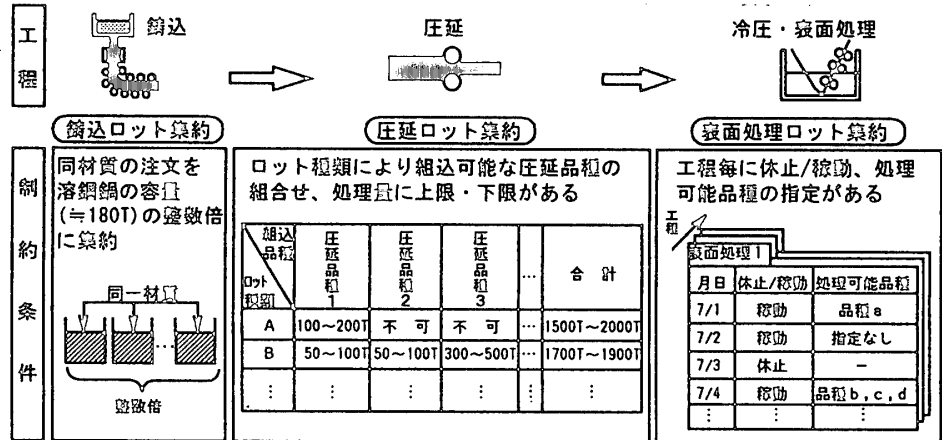


図2 ロット集約に関する制約条件例

に入れた以下(1)~(3)の工程往復処理を採用した(図3)。

(1) バックワードスケジューリング

全注文に対して作業納期を基準として時間の流れとは逆方向に通過工程別処理能力(含、稼働・休止条件)、ロット集約条件を満足した作業基準日を決定する(表面処理→冷圧→圧延工程)

(2) ロット集約と同期化重視のスケジューリング

鋳込工程、圧延工程はロット集約条件が厳しく特に工程間の同期化が重要視されるため、実用的スケジューリングアルゴリズムを開発した(詳細次節参照)。ここでは、納期確保のため(1)で決定された圧延作業基準日の遵守を狙う。

(3) フォワードスケジューリング

各工程の操業負荷予測、出荷時期予測のため(2)で決定された圧延計画をもとに、冷圧~表面処理工程の時間軸に沿った操業計画を決定する。

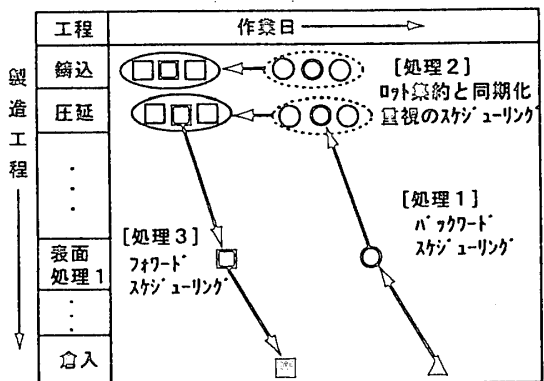


図3 工程往復処理の概要

表1 鑄込・圧延スケジューリング問題の定式化

<p>【鑄込制約】</p> $C_{z_j}^{\min} \leq \sum_{i \in A_j} w_i \leq C_{z_j}^{\max} \quad (j=1,2,\dots,l)$ $z_{x_i} = v_i \quad (i=1,2,\dots,l)$ $y_{i_1} = y_{i_2} \quad (i_1 \in A_j, i_2 \in A_j, i_1 \neq i_2, j=1,2,\dots,l)$ $s_{i_1} = s_{i_2} \quad (i_1 \in A_j, i_2 \in A_j, i_1 \neq i_2, j=1,2,\dots,l)$ $a_j = \left[\left(\sum_{i \in A_j} w_i \right) \times F \right] \quad (j=1,2,\dots,l)$ $e_{j+1} - (e_j + a_j) \geq p_{z_j, s_j, z_{j+1}, s_{j+1}} \quad (j=1,2,\dots,l-1)$ <p>【圧延制約】</p> $T_{r_k}^{\min} \leq \sum_{i \in B_k} w_i \leq T_{r_k}^{\max} \quad (k=1,2,\dots,K)$ $G_{r_k q}^{\min} \leq \sum_{i \in B_k: g_i=q} w_i \leq G_{r_k q}^{\max} \quad (q=1,2,\dots,Q)$ $h_{y_i} - (e_{x_i} + a_{x_i}) \geq l_i \quad (i=1,2,\dots,l)$ $b_k = \sum_{i \in B_k} o_i \quad (k=1,2,\dots,K)$ $h_{k+1} - (h_k + b_k) \geq R \quad (k=1,2,\dots,K-1)$ <p>【目的関数】</p> $\sum_i \{h_{y_i} - (e_{x_i} + a_{x_i})\} \rightarrow \min$ $\sum_i d_i - h_{y_i} \rightarrow \min$ $\frac{1}{J} \sum_j \sum_{i \in A_j} w_i \rightarrow \max$ $\sum_j \sum_{i \in A_j} w_i / \{D \times \sum_i \left[\left(\sum_{i \in A_j} w_i \right) / D \right]\} \rightarrow \max$ $e_j + a_j - e_i \rightarrow \min$	<p>【定式化に用いた記号】</p> <p>A_j : 鑄込ロットjに含まれるオーダiの集合 B_k : 圧延ロットkに含まれるオーダiの集合 I : オーダ数 J : 鑄込ロット数 K : 圧延ロット数 x_i, y_i : オーダiの属する鑄込ロット, 圧延ロット w_i, v_i, s_i, g_i : オーダiの重量, 材質, 鑄込巾, 圧延品種番号 l_i, o_i, d_i : オーダiの鑄込~圧延最小リードタイム, 圧延処理時間, 圧延作業基準時刻 z_j, e_j, a_j : 鑄込ロットjの材質, 処理開始時刻, 処理時間 C_z^{\max}, C_z^{\min} : 材質zの鑄込ロットの最大処理量, 最小処理量 T_r^{\max}, T_r^{\min} : チャンス種類rの圧延ロットの最大処理量, 最小処理量 $G_{r q}^{\max}, G_{r q}^{\min}$: チャンス種類rの圧延品種番号qの最大組込量, 最小組込量 Q : 圧延品種数 D : 溶鋼鍋の容量 F : 溶鋼鍋1杯分の鑄込処理時間 R : 圧延段取替時間 p_{z_1, s_1, z_2, s_2} : 材質番号z_1, 鑄込巾s_1の鑄込ロット 材質番号z_2, 鑄込巾s_2の鑄込ロット の間に必要な段取替時間 r_k, h_k, b_k : 圧延ロットkのチャンス種類, 処理開始時刻, 処理時間 $\lceil t \rceil$: t以上の最小整数</p>
---	--

4. 鑄込・圧延スケジューリング問題

鑄込工程、圧延工程の間は半製品を高温のまま搬送する必要があるため、特にリードタイムの短い同期化が必要とされる。そこで、以下に示す解法を開発した。

(1) 問題の定式化

本問題は圧延ロット集約、鑄込ロット集約とこれらの順序付けを行う多目的最適化問題である。制約条件と目的関数を表す定式化を表1に示す。

(2) 解法の手順

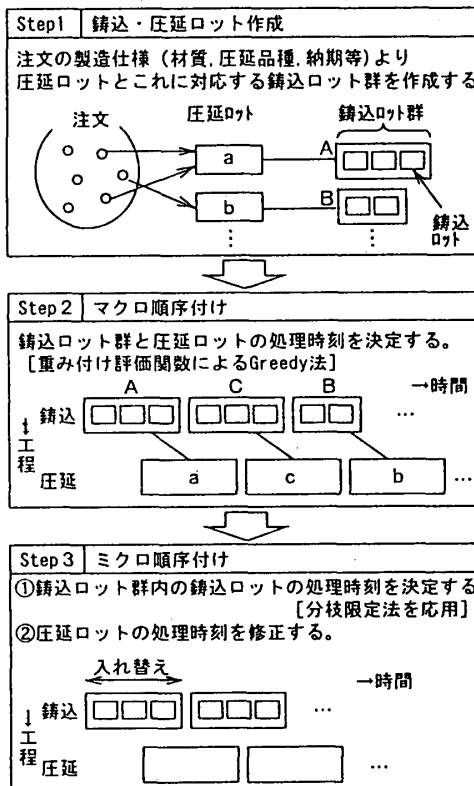
鑄込・圧延ロットのマクロ順序付けにGreedy法、鑄込ロットのミクロ順序付けに分枝限定法を応用した近似解法を開発した(図4)。

5. おわりに

本解法は1994年1月当社和歌山製鉄所薄板製造工程の操業計画立案システムに組み入れられ、各工程の負荷状況の予測、工程別操業量の調整に活用されている。その結果、在庫削減、納期遵守率向上、計画立案工数削減等の効果をあげている。

【参考文献】

井上一郎ほか、「バックワード/フォワードシミュレーションに基づく納期重視型生産スケジューリング」、生産スケジューリングシンポジウム'94 講演論文集、日本OR学会、pp. 100-105



狙い

- ・ 圧延作業基準日集約化
- ・ 鑄込ロット処理量最大化
- ・ 鑄込ロット注文充当率最大化
- ・ 鑄込~圧延リードタイム最小化
- ・ 圧延作業基準日順守
- ・ 詳細制約条件チェックによる計画精度向上

図4 鑄込・圧延スケジューリングの解法