

1. はじめに

板取とは、各オーダーを厚板工場での圧延ロット（スラブ）にまとめる2次元カッティングストック問題であり、その良否はリードタイムに大きく影響する。2次元カッティングストック問題は、一般に、考えられる組み合わせ候補が膨大な数となるため、実用時間内で最適解を求めることが難しい問題とされている。また厚板製品は、**Fig. 1** に示すように、スラブを目標の板厚に圧延した後、オーダーご

と製造、圧延時間のみならず、剪断時間、組み込み率（組み込まれたオーダー重量のスラブ重量に占める割合）など多岐に渡る

¹⁾。さらにこれらの評価指標は互いにトレードオフの関係にある場合が多く、問題をいっそう難しくしている。

Fig. 2 は圧延時間と剪断時間の評価指標が互いにトレ

ードオフの関係にあることを示した図である。本図において、同じ7枚のオーダーで板取されたスラブパタン

の高速な板取最適化計算を可能とした。以下では、板取最適化システムのアルゴリズムおよび実機システムについて紹介する。

2. モデリング

2.1 制約条件

板取により決定されたスラブは、連続鋳造機をはじめ、加熱炉、圧延機、剪断装置、出荷クレーンなど、通過する

。瘴鍵轟†6 睨。祕請”マ件罵單 啗濶怒估じを 鱒

3.1 分枝限定法によるスラブパタン生成

分枝限定法とは、ほとんどすべての組み合わせ最適化問題に適用できる応用範囲の広い手法で、解くことが難しい原問題をいくつかの部分問題に分解し、その部分問題を解くことによって間接的に原問題の解を得ようとするものである。今回のような板取問題の場合、基点となるオーダーを1枚選択し、それと別のオーダーを組み合わせたスラブパタンを分枝操作により作成する。次にそれぞれのスラブパタンが2.1節で示した制約条件を満たすかどうかを判定し、制約を満たさないスラブパタンに関してはそれ以降の探索を行わないとする(限定操作)ことで、必要なスラブパタンのみを生成し、計算時間を短縮することができる。

幅方向に2枚以上のオーダーを含むスラブパタンについては、Fig. 6に示すようにFig. 7で生成したスラブパタンを基点として、それらを幅方向に組み合わせることで生成する。また幅方向に組み合わせたパタンを長手方向に組み合わせることでさらに大きなスラブパタンの生成も行う。

制約条件に関しては、2.1節の設備制約上必要な制約条件とは別に、組み合わせるオーダーの幅差が大きい場合はそれ以降探索を行わないなど、冗長な制約条件を追加している。これは、製鉄所でこれまでに培われてきた探索を効率的に行うためのヒューリスティクスを有効に活用することで、計算時間を短縮するためである。分枝限定法における探索方向に関しては、基本的に幅優先探索を行うが、オーダー数が多いときなど、探索が収束しない場合を想定して、探索ノード数にも制約を設け、幅優先探索から深さ優先探索への切り替えを行っている。

これら冗長な制約条件に関しては、板取作業者が容易に追加・変更できるシステムとしており、オーダー構成の変化などに迅速に対応することが可能となっている。また、板取に起因する品質異常が発生した場合にも、ここで制約条

件を追加することで対応可能であり、品質制御能力の向上にも本システムが役立っている。

3.2 多目的混合整数計画法によるスラブパタン選択

前節で生成したスラブパタンは、圧延時間や剪断時間の異なる多数のスラブパタンを生成することを目的としているため、同一オーダーを重複して使用することを許している。先に示したFig. 5の例で、選択された1~4のオーダーは1枚ずつであるのに対し、生成されたスラブパタンでは、同一オーダーが複数枚使用されていることがそれにあたる。そこで生成されたスラブパタンの中から、受注したオーダーの枚数を制約として、最適なスラブを選択する。このときの手法としては目的関数を、とした多目的混合整数計画法を用いている。すなわち、次の最小化問題を解く。

$$\min \sum_{i=1}^N (\omega_1 T_i + \omega_2 T_i + \omega_3 L_i) \rightarrow \dots$$

$$\text{ここで、} \sum_{i=1}^N a_{ij} x_i \leq b_j, j = 1, 2, \dots,$$

ただし、 a_{ij} : スラブパタン i に使われているオーダー j の枚数、

b_j : オーダー j の受注枚数、

x_i : スラブパタン i の採用枚数

この多目的混合整数計画問題の解を求めるため、汎用高

した。仮に 100 枚のオーダーから板取を行う場合、3.1 節の分枝限定法により約 5 000 パタンのスラブパタンを生成し、その中から多目的混合整数計画法により約 10 本のスラブを選択するという大規模な組み合わせ問題となるが、次節で示す実機システムでは、最長でも 5 分以内で解を求めることができる。

Fig. 8 は、目的関数、の評価指標重み $\omega_1 \sim \omega_3$ を変化させたときの圧延時間、剪断時間および組み込みロスの変化をグラフ化したものである。このグラフで分かるように、評価指標重み ω を変更することで、評価指標間のトレードオフを調整することが可能である。この重みに関しては、冗長な制約条件と同様、板取作業者がそのときのオーダー構成や設備状況に応じて容易に変更可能なシステムとしており、例えば剪断工程がネックとなる場合には剪断予測時間にかかる重み ω_2 を大きくすることで、剪断工程ネックを回避した板取が可能となる。

4. 実機システム構成

システム構成に関しては、板取最適化における計算時間を短縮するため、汎用パソコンを複数台用いた分散処理システムを採用した (**Fig. 9**)。その日に板取対象となるオー

の重み係数を調整することで、オーダー構成や設備状況の変化に柔軟に対応できる板取が可能となった。

(4)