

# 連続鋳造-熱延直結プロセスの一貫 管理システム

© 1988 ISIJ  
 ///////////////  
**技術報告**  
 ///////////////

石川克己\*・平松照生\*・大西英行\*  
 北野利光\*・安田秀一\*<sup>2</sup>

## The Integrated Control System of the Directly Connected Production Process between Continuous Casting Machines and Hot Strip Mill

*Katumi* ISHIKAWA, *Teruo* HIRAMATU, *Hideyuki* OHNISI,  
*Toshimitu* KITANO and *Hidekazu* YASUDA

### Synopsis :

In Kashima Steel Works hot slabs supplied from two continuous casting machines are rolled at a hot strip mill in one rolling cycle.

Hence, in order to realize efficient casting and rolling operations while synchronizing these two processes under many equipmental and operational constraints, we have developed a consistent production control system, which includes the integrated cast and roll scheduling system and the instruction system for proper actions in case of abnormal occurrences.

In this paper we describe the concept of the mixed rolling schedule system (its aims, functions and features), and also its operational problems, improved points and a view for the future.

**Key words :** continuous casting ; rolling ; production control ; heat arrangement ; roll scheduling ; direct hot charge rolling ; scheduling.

## 1. 緒 言

鹿島製鉄所における No. 3 CC 設備 (以下, 3CC と記す) は, CC 化拡大及び熱延との直結化を行い, 素材コスト合理化・仕掛り在庫削減・リードタイム短縮を狙って建設された。操業上の課題は, 高生産性を要求されている熱延ミルに対し, 3CC から直接, 専用加熱炉に入るスラブ (以下, ダイレクトチャージスラブと記す) の供給量が能力差により少なく, 他の CC で鋳込まれたスラブや在庫スラブ (以下, 混合スラブと記す) を補充し混合して圧延する混合圧延操業を効率良く安定して行うことであつた。

この操業を支えるためには, 鋳込みと圧延の制約条件を満足し, タイミング調整のとれた綿密な一貫・混合計画を事前に組み, 各ラインへ適確に作業指示をすると共に時々刻々の操業実態の把握と計画変動に対して素早い対応ができる操業管理システムの確立が必須であつた。

本報では, 今回開発した連鋳~熱延直結プロセスの一貫管理システムの狙い・特徴を述べ, 特に混合圧延スケ

ジュール機能については, モデルの仕組みや, 運用方法などに関し, やや詳細に報告する。

## 2. 直結操業とその課題

### 2.1 スラブフローと特徴点

スラブフローは, Fig. 1 に示すとおりであるが, その特徴について以下に述べる。

#### (1) 分塊ラインの有効活用

##### ① 幅圧下による鋳込み・圧延の両立化

鋳込みロットが注文の圧延幅でまともならない時は, 広幅で幅集約を行い, 分塊ラインでの幅圧下により適正な圧延幅とする。また, 鋳込み自動幅替で発生するテーパースラブについては, スラブの矩形化を行う。

##### ② 分塊ラインでの品質救済

スラブ切断前に, 熱間探傷装置を使つて表面検査判定を行い, 異常があれば分塊工場のスクーパーを使つて表面疵をとり除き, 安定した品質のスラブを熱延へ供給する。

#### (2) 専用加熱炉の採用

昭和 62 年 10 月 20 日受付 (Received Oct. 20, 1987)

\* 住友金属工業(株)鹿島製鉄所 (Kashima Steel Works, Sumitomo Metal Industries, Ltd., 3 Oaza-Hikari Kashima-cho Kashima-gun Ibaraki pref. 314)

\*<sup>2</sup> 住友金属工業(株)システムエンジニアリング本部 (System Engineering Division, Sumitomo Metal Industries, Ltd.)

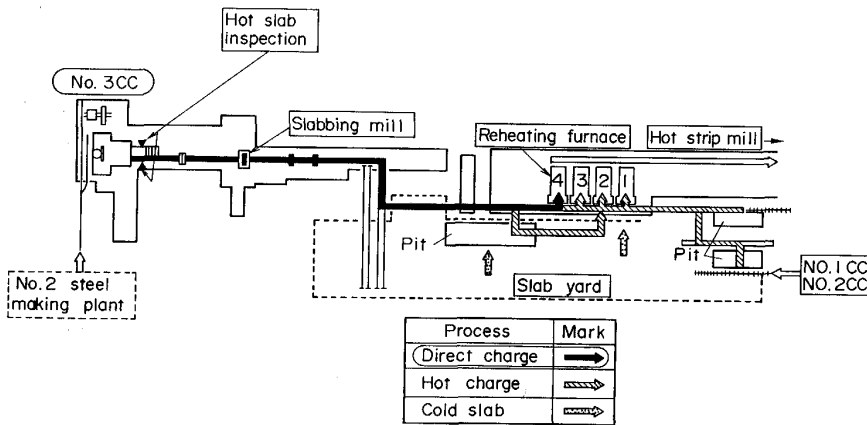


Fig. 1. Direct connection layout for the No. 3CC and the hot strip mill.

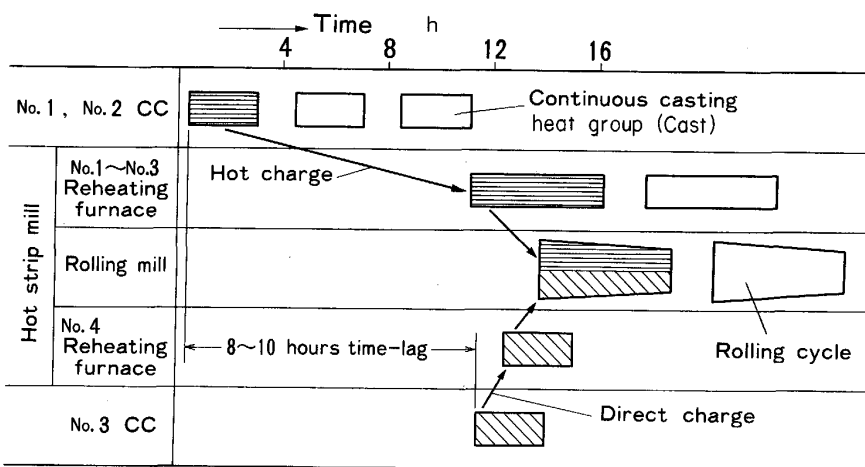


Fig. 2. Time chart of hot and direct hot charge rolling.

設備改造費低減、タイミング調整の柔軟性の観点から専用加熱炉方式を採用した。

専用炉の改造に当たっては、炉通過時間の短縮・少容量バーナー化の他、早送り装置によりスラブ到着遅れの回復を可能にした。

2.2 直結操業上の課題

鹿島製鉄所の現状は、設備・品質制約や、注文の小ロット短納期化などにより、直結操業は非常に複雑化している。特に熱延ミルが1基であることからさまざまな生産に関する要求が casting・圧延計画に凝縮されており、その立案を難しくしている。

直結操業を複雑化している要因は主として以下のものである。

(1) 3CC と熱延の生産能力差

3CC の casting 能力が、熱延の圧延能力より低いため、ダイレクトチャージスラブのみを単独に圧延するだけでは熱延の生産能力が阻害される。したがって熱延の能力を十分に発揮させるには混合スラブとの混合圧延が必須である。なお、専用加熱炉からの連続抽出ピッチは圧延ピッチより遅いため、ダイレクトチャージスラブと混合

スラブとの交互圧延が基本となる。混合圧延のイメージを Fig. 2 に示す。

(2) casting 制約・圧延制約による拘束

casting 制約は主として CC の能率に係わる制約と品質制約とである。能率面では極力同一鋼種で casting ロットをまとめ、継目材を減らし連連 casting 指数を上げること、幅替を極力減らすことなどであり、品質面ではキャストトップ・ボトムや継目域に対する注文の振当規制などである。また圧延制約はロールに係わる制約であり、例えば圧延の順序として広幅から狭幅への幅推移や滑らかな厚推移を行うこと、寸法精度を良くするため、リード材の当てはめを行うことなどである。直結操業においては、これら両制約を同時に満足させるような操業スケジュールが求められる。さらにダイレクトチャージスラブと混合スラブでは、casting まれてから熱延ミルへ到着するまでの時間差があるので相互に混合圧延相手を想定し、casting 開始時刻・加熱炉装入開始時刻・圧延開始時刻を決める必要がある。

(3) 注文ロットと casting ロットとのかい離

小ロット注文をまとめて casting ロットをいかに大きく

するかは余剰スラブ抑制の面から重要な課題である。鋳込みロットは鋼種・幅で決まるため、注文の条件を満たす鋼種の適用範囲の拡張や、鋳込み中幅替などを可能な限り実施して注文との紐付率を高くするキャスト編成を行っている。特に混合圧延を前提とした場合、3CC と他の CC の設備的特徴も考慮した注文の配分方法や、両 CC の同期のとれた鋼種・幅決定法は難しい問題である。なお、スケジュールフリーに対する設備・技術面の開発は日進月歩の感があり制約条件緩和なども頻繁に行われる。

(4) 下工程生産負荷や納期とのバランス

直結操業に主眼を置くと、生産量や熱片比率を上げるために、製造ロットにまともまつていて操業しやすい注文から生産する傾向にあり、ややもすると納期先行品を先作りしたり、精整工程などでの段取り替え回数の増加や材料過不足を発生させるので、これらをどうバランスさせるかの適正な判断が求められる。

(5) 操業変動の生産量や操業諸元への直接的影響

直結操業では、CC でのトラブルやスラブ品質の異常は、圧延スケジュールの変更となり熱延操業へ直ちに影響を与える。そのため、異常の早期発見と操業変動への迅速かつ適確な対応が従来以上に要求される。

3. 直結操業を支える一貫管理システムの必要機能

上述のごとく複雑な環境の下で直結操業を効率良く行うには、従来の水準を超えた新たな工程管理技術の確立

が必要である。すなわち、連続鋳造-熱延直結プロセスの一貫したスケジューリング機能、各工程での時刻管理機能や操業変動に対する迅速な調整機能、またそれらを支える全工程を網羅した操業管理、品質管理、物流管理機能の充実が上げられる。

特に操業計画画面では、考え方や意識の変革が必要である。従来は、連続鋳造・熱延それぞれ個別に最適化を狙って計画を組めば良かったが、中間バッファが無くなることにより鋳込み・圧延の同期のとれた双方最適化計画が求められる。また未到着・未鋳込みスラブを対象に計画を組むことになり、予測機能や計画外れに対する処置の考慮が必要となる。

さらに直結操業では物の流れが早いため、計画立案、操業指示、検査判定、トラッキングなどでは、物の流れよりも早い情報収集・伝達や、その情報を使つたすばやい判断が求められる。

4. 一貫管理システムの機能構成

上記要件を実現するシステムの全体機能を Fig. 3 に示し各機能に対する内容・特徴を以下に述べる。

4.1 月度生産計画機能

各生産設備ごとの日別生産量を四半期生産計画に基づき決定する。更に、圧延工程については、下工程の使用・供給バランスがとれるように日々の下工程向先別生産量も決める。

4.2 旬/週間生産・操業計画機能

直近5日間の操業計画を、全工程の生産実態や客先要

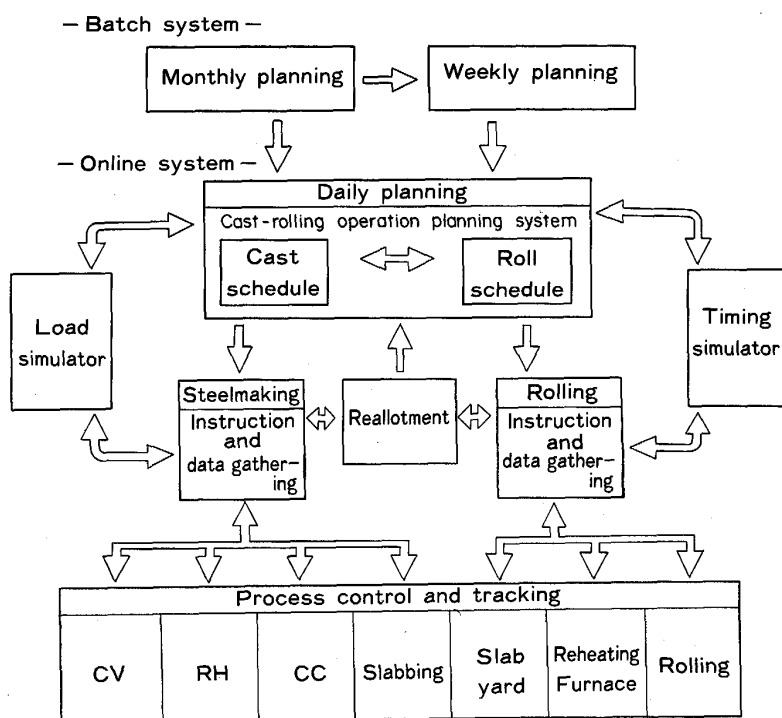


Fig. 3. Function diagram.

望を反映して作成する。特に混合圧延操業に影響を与える注文や、製造日に特に注意する注文については、鑄込み・圧延日や、同一タイミングで圧延する混合相手の注文などをあらかじめ決めておく。

#### 4.3 日々操業計画機能

##### (1) 操業方針の決定

操業形態や、混合パターンは向先・品種で決まるので、月度生産計画・週間計画や前日までの生産状況を見て、当日の向先・品種別の圧延目標量を定める。それに従って、混合圧延サイクルの数・時間、翌日の混合相手となる在庫スラブの鑄込み量、在庫スラブのみを使う圧延サイクルの数などを定める。

##### (2) 混合圧延計画

圧延サイクル単位に、鑄込み・圧延双方の設備・品質制約を守り、かつ、操業条件を満たす注文を選択し鑄込みと圧延の同期のとれた作業順序を決定する。また、計画結果はその良否を判断しやすい図・表を用いて評価する。詳細は次項で述べる。

#### 4.4 作業指示及び実績収集・判定機能

各作業セクションへは、該当現品通過ごとにオンライン・リアルタイムに客先要求に応じた作業指示を出す。ほとんどの設備ではプロセスコンピューターによる計測・制御が行われ作業実績が収集される。この実績をもとに品質判定を行い、次工程送り可否決定や次工程での作業内容決定をタイムリーに行う。

#### 4.5 各種振替・変更機能

各工程の実績から、万一注文不適合が判明した時は、

他の注文への振替を行い操業変動の吸収を図っている。この振替は、発生場所により即答性を求められるため、事前に予定された注文の鋼種や寸法に近い他の注文を振替候補として準備しておく。

一方操業進捗を常に監視し、異常事態に対しては、作業順変更やタイミング調整など鑄込み・圧延スケジュールの変更を行う。なお、操業変更の指示はボイスアナウンスエーターなどを利用しタイムリーにオペレーターへ連絡・徹底する。

#### 4.6 物流トラッキング機能

熱間工程での精緻な物流トラッキングが混合圧延操業の鍵となるため、高炉～製鋼～スラブヤード～熱延の全工程を網羅した時々刻々の物流トラッキングとそれらのグラフィック表示を実施する。特に混合スラブは加熱炉装入開始予定時刻までに圧延順に取り出せるよう、あらかじめ段取りしておく作業があるので、スラブヤードクレーン内に無線端末を搭載し、スラブの運搬指示・運搬実績の自動取り込みを行い、ヤード内のスラブの物流と置き位置のきめ細かい管理を行っている。

### 5. 混合圧延計画システム

実際の注文を鑄込みロット・圧延ロットにまとめ、圧延順を決定する。混合圧延計画システムの概要を Fig. 4 に示す。

#### 5.1 圧延サイクル属性の決定

鑄込み・圧延の候補となる注文の選択とそれに基づく混合圧延の圧延サイクル属性の決定法について述べる。

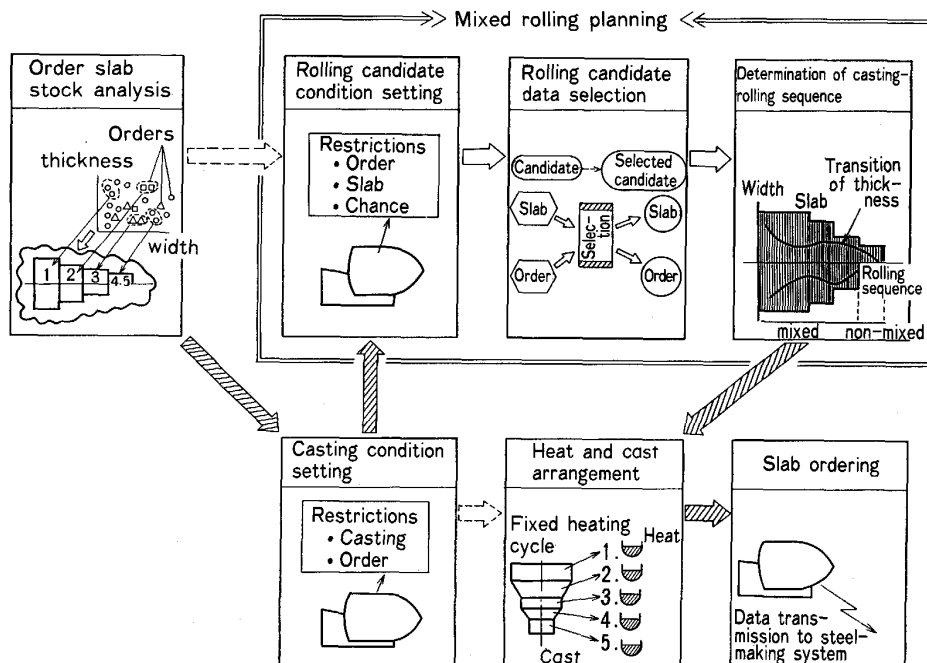


Fig. 4. Cast-rolling operation planning system.

### (1) 納期遵守のための注文抽出

受注時に決められた、客先要望納入日及び輸出品の配船日をもとに、当日鑄込み・圧延すべき注文を抽出する。また、前日に作業計画されたが何らかの要因で作業されなかつた注文を合わせて抽出する。

### (2) 操業方針遵守のための注文の抽出

日々操業方針で決めた向先・品種に、該当する注文を抽出する。

### (3) 対象注文のロットまとめ

対象の注文を鑄込みロット・圧延ロットに粗くまとめる。なお、対象の注文を、混合圧延サイクル内に一つでも多く組み込むためのロットまとめの手段として、異材質連続鑄やスラブ幅集約などを活用する。

### (4) 混合圧延のパターン設定

(3)でまとめた鑄込みロット・圧延ロットに対し混合相手となる注文の有無を確認する。ここでも当日の鑄込み・圧延対象が極力多く圧延可能となるように混合圧延のパターンを決定する。例えば、混合相手がなくても、ダイレクトチャージあるいは混合スラブの一方のみを連続圧延(シリアル圧延)したり、圧延幅を許された範囲で狭～広で混合させたりする。また、一つの注文をダイレクトチャージスラブと混合スラブに分割して混合させるパターンなどもある。

### (5) 圧延サイクルの属性決定

混合圧延サイクルに候補としてどの注文を当てはめるかを優先順に従って選定する。この混合圧延サイクルに、候補となつた注文の特徴を示す属性名を付与し属性名を聞けばおおよその混合圧延の方法がわかるようにしている。

## 5.2 候補注文の抽出方法

### (1) 鑄込み枠と圧延枠の設定

圧延サイクル属性を元に注文の中から混合圧延計画の対象となる注文を絞り込むため鑄込み枠と圧延枠を設定する。当然、ダイレクトチャージスラブについては、同じ注文が選択されるよう鑄込み枠と圧延枠を指定する。

### (2) 鑄込み枠

混合圧延を形成するキャストに候補注文がまとまるよう、材質、モールド幅と該当の重量、向先区分と該当の重量及び熱片区分などを枠として設定する。

鑄込み枠により指定された材質、モールド幅と所要重量に基づきスラブ群を設計する。スラブ群を、注文振当時に規制を受けるキャストトップ・ボトム、継目部と、鑄込み中幅替で発生するテーパ部とからなる非正常部とそれらの部分を除いた定常部とに区分し重量の配分を行う。

### (3) 圧延枠

圧延サイクルの目標圧延量や熱片区分、注文の絞り込み条件の圧延寸法、向先区分と該当の重量及び納期範囲などを枠として指定する。

### (4) 候補の抽出方法

これらの枠に従って、当該圧延サイクルの候補となる注文と在庫スラブの抜き出しを行うが、抜き出し時に操業制約、品質制約、置場制約などについてチェックし対象候補に加えたり、対象外にする。例えば、鑄込み時発生する非定常部に振当可能な注文を加えたり、ホットチャージについては、スラブの配置替を無くするため、一山まとめて圧延候補に加える、などである。

## 5.3 圧延順位決定方法

鑄込み枠で設計したスラブ群と在庫スラブで構成する圧延候補スラブを熱片区分や幅でグルーピングし、それらのグループごとに振当条件をチェックし注文を仮振当する。個々のスラブグループに対し仮振当された注文の平均圧延幅を求め、それぞれを平均圧延幅の広いものから狭いものへと並べる。スラブグループ内の圧延順はスラブの区分ごとに異なる。例えば、ダイレクトチャージスラブは鑄込み枠で指定された幅の順番であり、ホットチャージスラブは保温ピット内の積順の高いものからである。並べられた圧延候補スラブに対し圧延順を付与するがまだスラブと注文の紐付が確定していないので、ここでの圧延順は仮決定のレベルである。

## 5.4 スケルトンの決定方法

圧延が可能な圧延幅・圧延厚をみた、大まかな圧延順をスケルトンと呼ぶ。5.3で決めたスラブの区分別の圧延順と、仮振当された注文をみて、混合圧延が可能で、かつ圧延したい注文が極力多く入るようなスケルトンを決定する。決定はダイレクトチャージスラブと混合相手の鑄込み速度や圧延ピッチを考慮し、目標の混合比に近づけながら行う。

## 5.5 圧延順決定方法

圧延スケジューリングの概要を Fig. 5 に示す。ここでは、スラブ一本ごとに注文を振り当て、圧延順を決定するが、注文の振当では数多くの制約・条件を守る必要がある。以下にスケジューリングロジックの概要を述べる。

### (1) 注文の優先付け

スラブグループ内の振当候補となつた注文に対し、納期状況、圧延枠で指定された向先別重量及び圧延目標量を指標として優先度を付与する。

### (2) 圧延候補スラブへの注文の振当

振当には、優先度の高い注文の振当、圧延制約を守る

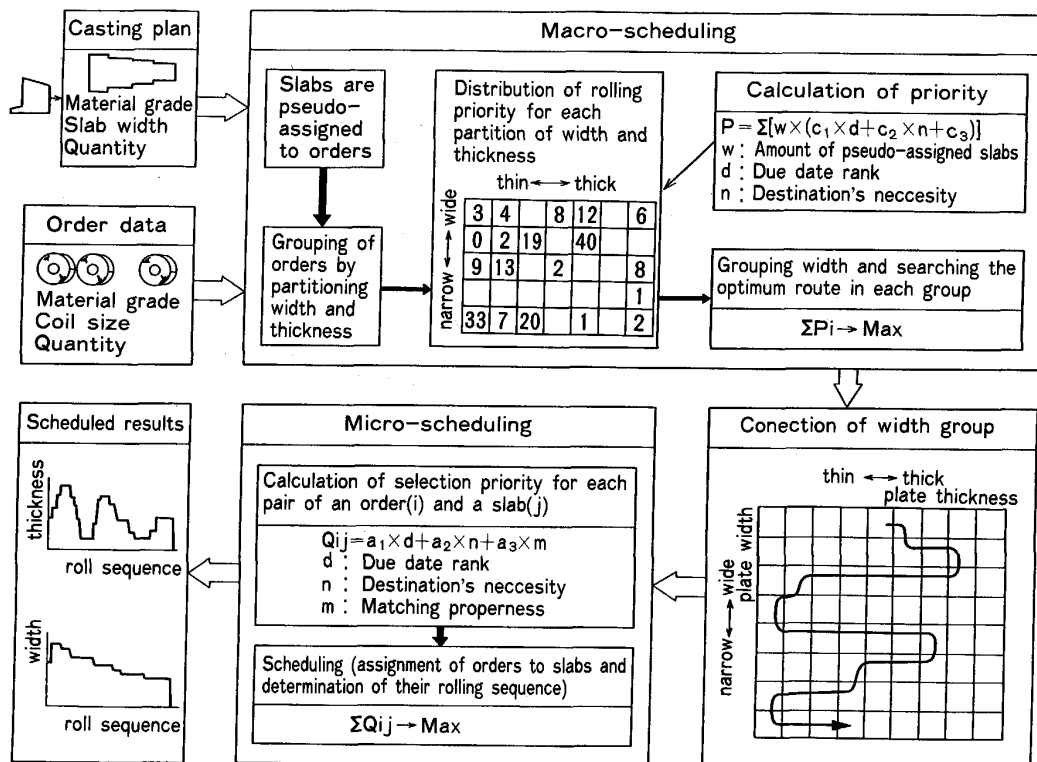


Fig. 5. Algorithm of roll scheduling.

ために必要な注文の振当と、圧延目標量を守るための振当の三種類がある。まず優先度の高い注文の振当を行い、次に設定されたスケルトンを守るためのキーポイントとなる板厚・板幅区分に該当する注文を選択し、圧延候補スラブに振り当てる。最後に、上記にて振当を確定した圧延候補スラブがスケジュールに組み込まれるよう、スケルトンにそつて、それらの廻りの圧延候補スラブ・注文を目標圧延量に到達するまで振り当てる。

(3) 圧延順の決定

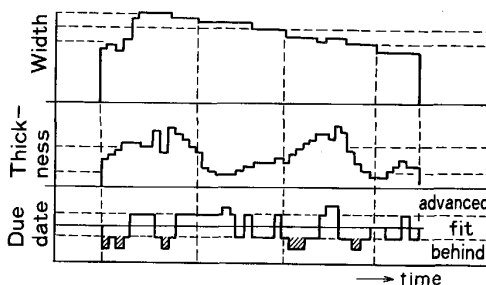
注文が振り当てられた圧延候補スラブを抽出し圧延順を付与する。ただし、ダイレクトチャージで未振当のスラブ群がある場合は圧延制約を守る範囲で強制振当を行つたり、リード材制約を満足するための追加振当を行う。

5.6 キャスト編成

注文が未振当のスラブ群があればホットチャージスラブとして鑄込めるように注文を振り当て、キャストとして完成させる。

5.7 混合圧延計画結果の評価

混合圧延計画は、これまでに述べてきたとおり、多目的かつ多制約の下で、スラブ・注文の振当と作業順序付けを行う非常に複雑な判断を要するシステムである。従つて、一見して問題の所在がわかり最適値探索の試行錯誤が容易にできるように計画結果の評価は図・表を用いて実施している。主要項目の評価の例として、熱延の圧



- Change width and thickness of strips smoothly
- Minimize the assignment of orders with advanced delivery due date

Fig. 6. Stabilizing the rolling operations and keeping the delivery data of each order.

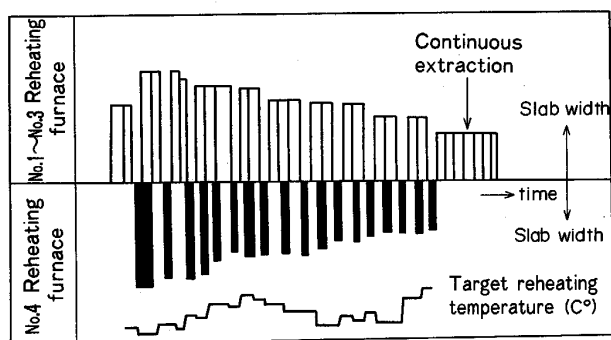
延性と納期確保を Fig. 6 に、熱延の生産能率確保・抽出目標温度の均一化を Fig. 7 に示す。なお、その他の評価項目として下工程向先別スラブ供給バランスや、鑄込み・圧延のタイミング差評価などがある。

6. システム運用上の課題

計画の立案を工務部管制室で、実施段階での調整変更を熱延工場熱片管理室で行っている。運用上の課題は次の三つである。

(1) スケジュール自動編成上の問題

注文の小ロット短納期化に伴い自動決定ロジックに反映すべきニーズがますますきめ細かくなり、一部人間介



- Harmonize the rolling interval with the interval of slab-extraction from reheating furnace (Avoid slab-extraction continuously from particular reheating furnace group)
- Make smooth transition of target reheating temperature

Fig. 7. Maximizing rolling productivity and minimizing fuel consumption of reheating furnaces.

入を余儀なくされる。例えば、

① 鋳込みロットがまとまらない場合、成分値に差の少ない異鋼種ロットをまとめ、成分規格上の共有レンジを狙うことにより、オーダー編成を上げるロジック。

② ロットがまとまらなくても鋳込みたい至急品がある場合、それを優先的に選び、そのオーダーを中心にロットをまとめるロジック、などである。

#### (2) 計画の総合評価の難しさの問題

スケジュール結果の評価は、注文や在庫の状況で判断尺度が変わったり、生産効率と納期のように互いの部門の利害が相い反したり、また評価指標も数多くありすぎて、例えば加熱温度レベルを揃えることすら難しいなど、一部門、一担当者では公正な判断が困難な場合が多い。

#### (3) 操業異常時の自動対応の難しさの問題

直結操業時の異常は、鋳込み先行（または圧延遅れ）、鋳込み遅れ（または圧延先行）と鋳込み外れに大別できる。それらに対する処置は、例えば、混合スラブの追加・削除、シリアル圧延化、注文振替や鋳込み時間調整などである。しかし、対応方法は、発生場所や発生タイミングにより異なり、その時々々の操業環境によつて熱片比を

救うか、生産量を救うかなどの判断も必要となる。

最適対応策の選択ルールは標準化が困難であり、システム化が難しく、現在は参考情報の提供やスケジュールの変更機能の充実に止まっている。

## 7. 今後の問題

従来から取り組んできた熱片スラブの品質安定化、リードタイム短縮活動に加え、幅集約や鋼種ロット集約面の工夫・改善を推進しており、それに伴う従来ロジックの改善を図っている。一方、注文の製造進捗、下工程への材料供給や各ラインの負荷などをやや長期レンジで見極めた上で混合圧延パターンイメージ付けが行えるよう、製鋼-熱延の範囲から更に下工程(冷延・表面処理)を一貫してとらえた操業計画システムを構築中である。

## 8. 結 言

本システムで開発した機能は、①複数工程にわたる同期のとれた操業計画、②円滑な物流コントロールと操業監視、③品質、操業異常時のダイナミックな変更調整である。これらの機能の強化により、加熱炉原単位の向上、仕掛り在庫量の低減、余剰スラブの発生防止などの効果を上げた。

## 文 献

- 1) 家長吉行, 田中雅章, 大西英行, 宍戸亮一: 鉄と鋼, 68 (1982), S900
- 2) 田中雅行, 宍戸亮一, 大西英行, 石合信吾, 登坂宗平, 家長吉行: 鉄と鋼, 69 (1983), S317
- 3) 家長吉行, 日高光義, 宍戸亮一, 大西英行: 鉄と鋼, 69 (1983), S318
- 4) 谷本善男, 北野利光, 長能正男, 大辻武夫, 水田勝則, 安田秀一: 鉄と鋼, 70 (1984), S356
- 5) 吉田克磨, 木村智彦, 渡部忠男, 吉原佳久次: 鉄と鋼, 72 (1986), A179
- 6) 大西英行, 北野利光, 石川克己, 谷本善男, 平松照生, 家長吉行: 鉄と鋼, 72 (1986), A207