

# 熱延工場圧延能率向上

## Improvement of Rolling Efficiency of Hot Strip Mill

平松 正嗣 HIRAMATSU Masashi JFE スチール 西日本製鉄所（福山地区）制御部 制御技術室 主査

### 要旨

JFE スチール西日本製鉄所（福山地区）熱延工場では、増産および生産コスト改善のため、能率向上に取り組んでいる。能率向上の手段としては、ハード改造やソフト改造などさまざまな手段があるが、効果的な手段を選ぶためには、圧延能率改善を大きく阻害している改善点を見つけ出す必要がある。しかし、ライン上多くの設備を有し、またライン上同時に数本の材料を搬送するという特徴を持つ熱延工場では、解析のために大量のデータを扱う必要があり、多くの時間がかかる。本稿では、解析作業効率化のためのデータ解析環境の構築について述べる。

### Abstract:

Rolling efficiency of hot strip mill is being improved in JFE Steel. Although there are hardware remodeling and software modification to improve efficiency, it is necessary to find out the improvement point which greatly hinders the rolling efficiency improvement in order to select the effective means. However, in the hot strip mill which has various equipment on the line and processes several steel materials simultaneously on the line, it is necessary to handle a large amount of data for analysis, and it is time consuming. This paper describes the construction of data analysis system for efficient analysis work.

## 1. はじめに

国内の老朽化が進んだ製鉄所で、最新鋭の海外の製鉄所と渡り合うため、JFE スチール西日本製鉄所（福山地区）熱延工場では、増産および生産コスト改善のため、能率向上に取り組んでいる。また、能率向上は同生産量あたりの工場待機時間の削減につながり、省エネ、カーボンニュートラルにも寄与するという側面もある。

能率向上の手段としては、加熱炉や圧延機などの製造設備の能力を増強するハード改造と、材料搬送時刻の予測精度向上により材料間の待機時間を最小化する、あるいは材料の搬送方法を改善するなどのソフト改造がある<sup>1,3)</sup>。いずれの施策を実施するにしても、効果的な手段を選ぶためには、圧延能率を阻害している改善点を見つける必要がある。しかし、ライン上多くの設備を有し、またライン上同時に複数の材料を搬送するという特徴を持つ熱延工場では、解析のために大量のデータを扱う必要があることから、最短かつ最適な改善施策の選択には、いかに効率的に解析作業を行い、効果的な改善点を見つけるかが重要となっている。

本稿では、まず熱延工場のライン構成、次いで材料の搬送ピッチコントロールを行うミルペーシング機能とその改善施策例について述べる。最後に、改善点のデータ解析環境の構築および実際に解析環境を用いて見出した改善事例および改善代について述べる。

## 2. 熱延工場のライン構成およびミルペーシング機能

### 2.1 熱延工場のライン構成

熱延工場のライン構成を図 1 に示す。加熱炉で加熱されたスラブと呼ばれる直方体の鋼材を圧延ラインに装入し、粗圧延、仕上圧延と進め、所望の板厚、板幅、板温度へと圧延した後、コイルと呼ばれる形状へ巻き取っていくラインである。ライン上の所定の場所で鋼材を待機させる機能も有している。

各プロセスの昇温時間、搬送時間に関する特徴について述べる。加熱プロセスでは、材料諸元ごとに必要な昇温時間が異なる。そのため、鋼種変わり等で、必要な昇温時間が短い材料から長い材料へと変わるタイミングでは、その間で昇温時間が必要となる。

次の粗圧延プロセスでは、各圧延機の間には最大 1 つの材料しか搬送できないという制約を設けている。そのため、先行材の尾端が抜けた後、後続材の先端を進入させる必要が

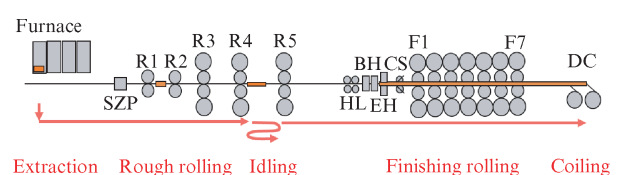


図 1 熱延工場のライン構成図

Fig. 1 Layout of hot strip mill plant

2025 年 3 月 4 日受付

ある。また本ラインでは、R2 圧延機では複数パスを実施する機能、R4 圧延機と R5 圧延機との間では材料を待機させる機能を有している。

そして、仕上圧延プロセスでは、粗圧延プロセス以降で材料が薄く延ばされてくるため、材料長が大変長くなり、その材料長に比例して圧延時間も長くなるという特徴がある。また、仕上圧延プロセスでは、温度も重要な因子となるため、温度制御が搬送速度に影響を与えることもある。

最後のコイルプロセスでは、先に巻き取ったコイルを抜き出し巻取り準備ができた段階で、後続材の鋼板を進入させ巻き取っていく。実際には複数のコイル設備を有するラインが多く、順番に対象コイルを変えて巻き取っている。例えば、コイル設備が2機の場合は、片方のコイル設備で鋼板を巻き取り機内から抜き出し後、次材の巻取り準備をしている間に、もう片方のコイル設備で鋼板の巻取りを開始することで、材料間隔を短縮している。

材料長が長く、圧延時間も長くなる仕上圧延プロセスがボトルネックとなることが多いが、材料の諸元の違いや前後の材料の組み合わせによって、他のプロセスがボトルネックとなることもある。

## 2.2 ミルペーシング機能

熱延工場では、能率を上げるために、通常ライン上を同時に複数枚の材料を搬送させている。そのピッチコントロールを行うのがミルペーシング機能である。ミルペーシング機能で実施している衝突チェックの内容を図2に、設定準備時間チェックの内容を図3に示す。衝突チェックは、先行材 A の尾端がチェックポイントを抜けてから、後続材 B の先端がチェックポイントに到達するまでの間隔時間が、設定時間以上確保されているかをチェックする機能である。計算の結果、間隔時間がマイナスになると、先行材 A と後続材

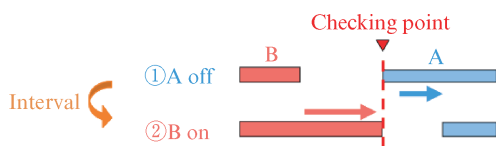


図2 衝突チェック

Fig. 2 Collision check

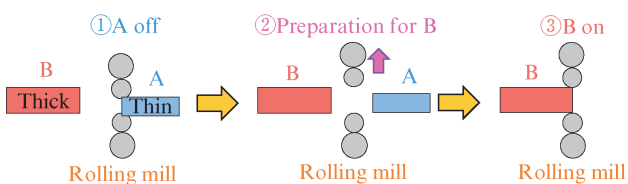


図3 設備準備時間チェック

Fig. 3 Preparation time check

B が衝突することを意味する。次の設定準備時間チェックは、先行材 A の尾端がチェックする設備を抜けた後、準備時間経過後に後続材 B の先端が設備に到達するかをチェックしている。

ミルペーシング機能は、各材料の各地点での搬送時刻を予測し上記2つのチェック機能を用いることにより、前後の材料同士が衝突することを防ぎ、設備の準備時間を確保するように加熱炉からの抽出タイミングを決定し、圧延ライン上の搬送速度を決定している。また、操業オペレータによる手介入や搬送時刻の予測誤差等から生じた搬送時刻のズレにより、前後の材料同士が衝突するリスクが発生した際には、後続材を待機させ衝突を回避する。前後の材料同士を衝突させてしまうと設備破損に至る可能性もあるので、確実に衝突を避ける必要があるが、衝突を避けるためにピッチを空けすぎると、その分能率低下にもつながる。ミルペーシング機能は、前後の材料同士の衝突を防ぎつつ最短ピッチで搬送することによる、圧延能率の最大化を狙っている。

## 2.3 ミルペーシング機能の改善事例と課題

図4にミルペーシング機能の改善事例を示す。前述したように、大部分の材料の組み合わせで仕上圧延プロセス付近で搬送のボトルネックになることが多いため、従来は粗圧延プロセス後半から仕上圧延プロセスに注力して改善してきた。しかし、上記のアプローチでは、操業オペレータや技術スタッフが認識している顕在化した課題の改善は実施できるが、仕上圧延プロセス前後とは関係せず、見過ごされてきた部分の改善が難しいという問題がある。実際にラインの上流から下流全地点で網羅的にチェックしようとする、鋼板1つあたり約700項目の関係データがあり、ライン上の鋼板4つに加えて、加熱炉内にある次に抽出される鋼板およびコイル設備で巻き取られた直後の鋼板など合計6つの材料データを考慮する必要がある、1回の計算で4200個のデータを扱うことになる。さらに、複数のタイミングで計算する必要があり、やみくもに解析を行っても有効な改善点に辿り着くのは困難である。

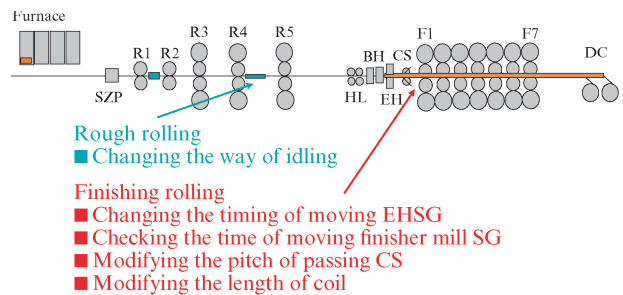


図4 ミルペーシング機能の改善事例

Fig. 4 Example of improved mill pacing control

### 3. 解析環境構築～操業の見える化～

#### 3.1 解析環境構築の目的

前述の課題を解決し、効果的な改善点を短期間で効率的に発掘するため、解析環境の構築に取り組んだ。

まずは確認すべき項目を選定した。能率向上の改善点が見える化するにあたり、材料ごとの詳細なボトルネック位置、材料ごとの各地点での搬送時刻の予測誤差、各地点での材料間隔の余裕時間の3項目が必要だと考えた。詳細なボトルネック位置については、加熱プロセスからコイラプロセスまでライン上に70地点を設定し、各材料の先端、尾端が通過する時刻からどの地点がボトルネックとなっているかを表示することを考えた。次に搬送時刻の予測誤差と材料間隔の余裕時間については、各地点での数値をヒストグラム表示することを考えた。ヒストグラム表示により、最小、平均、分散などの統計データが視覚的に一目で分かるようになる。

#### 3.2 解析環境構築のためのデータ準備

全入力変数を与えて解析するオフラインシミュレータを構築するには、数多くの関係データを用いて各タイミングでの各材料データを再現する必要があるため、またオンライン環境で計算方法を変更した際には、オフラインシミュレータも同様に変更する必要があるため、将来に向けての維持管理が難しいと判断した。そこで今回は、オンライン環境で搬送関係の計算を行うたびに計算データを解析データベースへ格納することを考えた。データベース格納の様子を図5に示す。今回のデータベース格納にあたっては、各材料ごとのデータを計算タイミングごとに1セットとしてデータベースに丸ごと格納し、その中から解析に必要なデータのみを抜粋して使用する構成とした。このように計算タイミングごとの全データを残すことで、計算時のラインの状況を容易に再現できるとともに、さらに細かい解析が必要になった場合でも必要な情報が揃っているため詳細な解析ができ、また別の視点で解析したいケースにも対応できる。

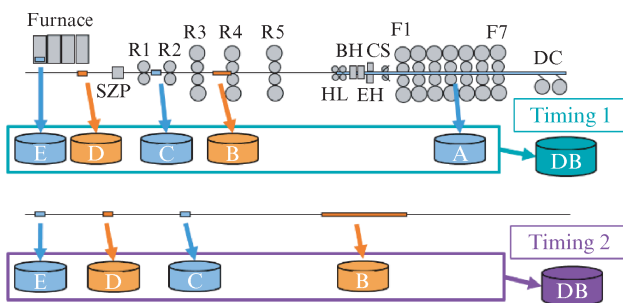


図5 データベース格納方法  
Fig. 5 Database storage

#### 3.3 各項目の見える化

データベースへ格納されたデータを用いて解析環境を構築した。前述したとおり詳細なボトルネック位置の算出、各材料の各地点での搬送時刻の予測誤差、各地点での材料間隔の余裕時間の見える化を行った。

##### 3.3.1 搬送ネック位置

図6に搬送におけるボトルネック位置の分析結果を示す。加熱プロセス、粗圧延プロセス、仕上圧延プロセス、コイラプロセスの4つに分類し、さらにその中で詳細なボトルネック位置をA~Hの8地点に分類した。青色が仕上圧延ネックを表している。仕上圧延ネックの材料に対して、D~Gの各ボトルネック位置ごとに設備上必要な材料間隔と実際の材料間隔の余裕時間を比較すると、各位置での改善代を調べることができる。また、各ボトルネック位置の材料比率を考慮することで、各位置での改善がどのくらいメリットがあるかを算出できる。赤色は粗圧延ネックを表し、これは、今まで着目できずに見過ごされてきた部分である。今回の解析の中で粗圧延ネックの部分にも改善代があることが分かり、さらに粗圧延ネックの中でも詳細なボトルネック位置が2箇所に集中していることが確認できた。

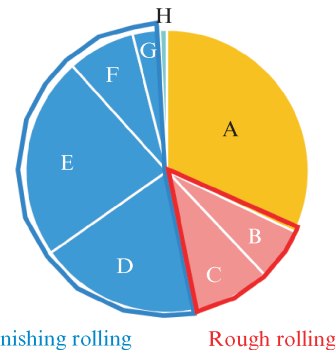


図6 ボトルネック位置  
Fig. 6 Bottleneck position

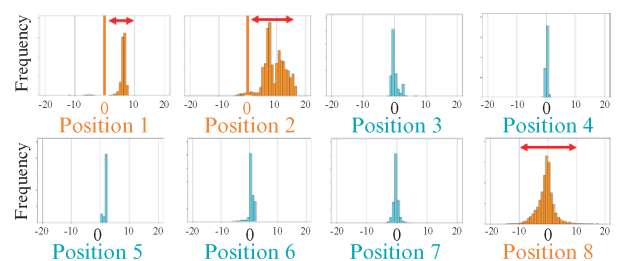


図7 搬送時刻の予測誤差  
Fig. 7 Error of calculating delivery time

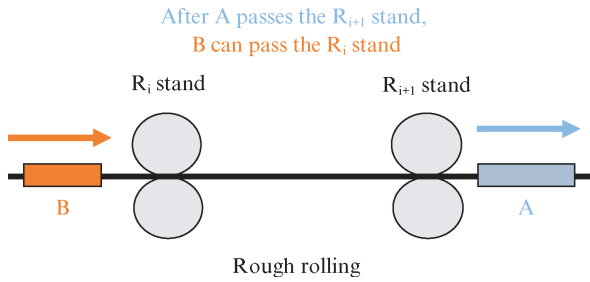


図8 粗圧延プロセスでの制約  
Fig. 8 Constraint of rough rolling

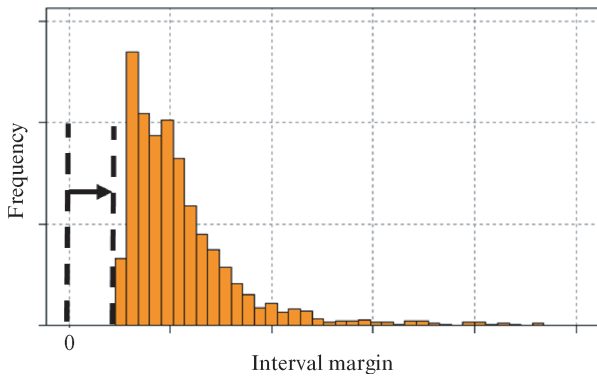


図9 C地点での材料間隔の余裕時間  
Fig. 9 Interval margin of position C

ていることが分かる。これに対し、1, 2, 8地点ではバラツキが大きく、また1, 2地点では平均もプラス方向へズレていることが分かる。これらにより1, 2, 8地点周辺で改善点があることが一目で分かることから、効率的に改善に取り組める。

### 3.3.3 材料間隔の余裕時間

さらに、材料間隔の余裕時間を表示した。図8に粗圧延プロセスでの制約を示す。粗圧延プロセスには、各圧延機の上に2つ以上材料が入ってはいけないという制約がある。つまり、先行材の尾端がR<sub>i+1</sub>スタンドを抜けてから、後続材の先端をR<sub>i</sub>スタンドに進入させる必要がある。

この制約に関してC地点での材料間隔の余裕時間を図9に示す。このヒストグラムより材料間隔が最短でも後続材はいくらかの余裕を持って搬送されていることを認識できた。全体の中でC地点がボトルネックとなる材料比率がそれほど高くなかったため、後続材の進入タイミングについて追いついた調整をこななかったことが推測される。本件については、今回パラメータ変更のみでピッチを短縮できた。このように、これまで認識できていなかった改善点は、比較的容易に改善できることが多い。また、その結果、ボトルネック位置がどのように変化したかを図10に示す。今回の例で言えば、もともとC地点がネックであったものが、パラメータ変更により後続材の進入タイミングを早めることにより、一

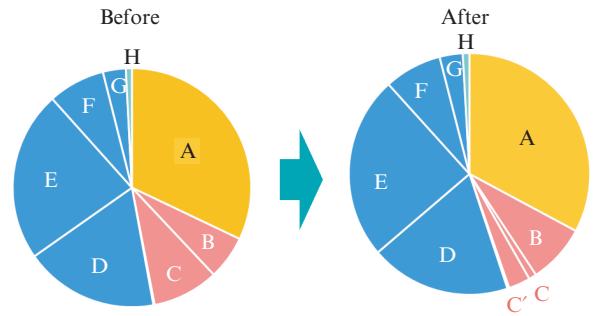


図10 C地点での改善後のネック位置の変化  
Fig. 10 Change of bottleneck after improvement at position C

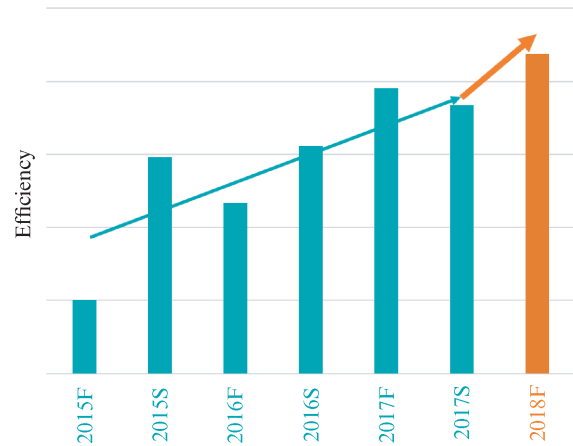


図11 圧延能率の推移  
Fig. 11 Trend in rolling efficiency improvement

部はC地点がボトルネックのままであったものの、大部分は次にボトルネックとなっている地点へと変化した。このように、今回の解析環境では、各改造前後でどのように変化するかも容易にシミュレーションできる。

### 3.3.4 解析環境を用いた改善

圧延能率の推移を図11に示す。従来から認識していた4件の能率改善施策を2015年度から2017年度前半にかけて実施したが、難しい改善課題でもあったため、2.5年の期間がかかり、圧延能率の改善代も0.57%に留まった。本稿で開発した解析環境を用いて新たに発掘した2件の改善点について2017年後半から2018年前半で施策を実施し、0.5年の期間で改善できた。その結果、圧延能率改善代0.81%を達成した。

## 4. おわりに

効率的かつ短期間で圧延能率改善を行うための解析環境を構築した。本稿では福山地区での改善事例について述べたが、本手法は千葉地区にも展開され実際に能率改善に結びついている。今後も、より効果的な改善点を発掘し、圧延

能率向上を図っていく所存である。

**参考文献**

- 1) 小山豊彦, 内山貴夫, 高野圭. 京浜熱延 圧延能率向上. 材料とプロセス. 2019, vol. 32, no. 2, p. 652.
- 2) 川田翔子, 内山貴夫, 宇張前洋. 京浜熱延・圧延能率向上 (加熱炉操炉方法の改善). 材料とプロセス. 2017, vol. 30, no. 2, p.817.
- 3) Guo, D.; Wang, J. Improvement of rolling rhythm for 2 250 mm hot

tandem rolling line with single-stand roughing mill configuration. Zhongguo Yejin. 2023, vol. 33, p. 98-104.

- 4) 平松正嗣. 操業見える化による熱延工場の圧延能率向上. 電気学会研究会資料, 産業応用部門ものづくり研究会, 2020, MZK20021, p. 15-16.

本稿は, 主執筆者が同じく執筆した参考文献 4) の論文の一部表現を変更して転載しております。