

データサイエンスを活用した直棒品質・歩留向上

Improving Quality and Yield of Straight Bars through Utilization of Data Science

1. はじめに

近年のカーボンニュートラルの機運の高まりの中で、電炉材の活用が求められている。電炉材は廃スクラップを使用するため、主に Cu, Sn といった不純物（いわゆるトランプエレメント）が含まれ、特に Cu は、圧延工程において鋼材の表面に疵を発生させる場合がある。

一方で、直棒製品は、主に自動車部品の用途として、表面の品質の高さが求められており、表面の疵の発生を抑えるように製造する必要がある。

以上より、トランプエレメントの影響を無害化させ、電炉材を用いて高炉材と同等以上の表面品質の直棒を製造する技術を確立することが、現在の課題の一つである。

今回、上記の課題解決の手段として、トランプエレメントによる直棒の表面品質への影響を定量化し疵を削減することを目的とした解析に取り入れた、操業データを使ってデータサイエンスを活用した手法について紹介する。

2. データ処理

2.1 測定装置

疵の削減の解析にあたり、説明変数（現象の原因を表す要因となりうるもの）は、製造時の温度や鋼材の成分等であるのに対し、目的変数（現象の結果を表すもの）は、通常の検査工程で使用している自動漏洩磁束探傷機（以下、MLFT という）の測定結果を利用した。

MLFT は直棒の全周・全長を探傷プローブで走査し、表面にある疵の深さに応じた強度の信号を出力する。これにより直棒の全表面の疵深さを、円周方向と長手方向の 2 軸の測定結果として出力できる。図 1 上部のグラフは、測定結果から円周方向の値の最大値を示すデータに加工したものである。また、表面品質の異なる 3 本の直棒の測定結果と、それぞれに発生している代表的な疵を示している。本手法では、これらの測定結果を用いた。

2.2 データの分類

MLFT のデータを収集すると、図 1 の①～③(上下) のようなグラフと写真を組み合わせたデータが得られる。本手法

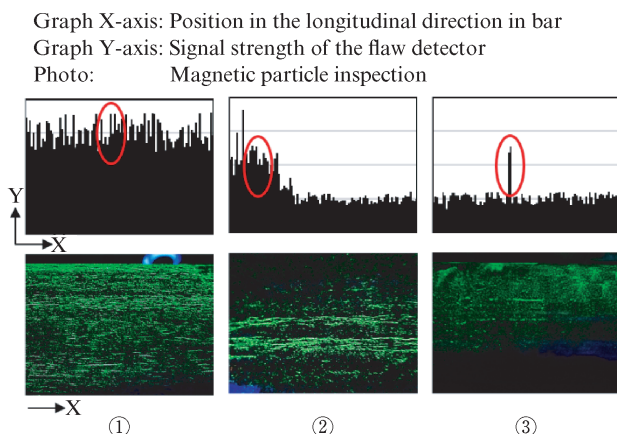


図 1 MLFT の探傷結果と対応する疵の形態の例

Fig. 1 Example of measurement results and flaw photographs

では、図 1 のようなデータの特徴的なパターンを利用して、疵を分類する。

疵の分類が必要な理由は、MLFT の測定結果を目的変数として利用するにあたって、解析の精度を高めるためである。目的変数とは現象における結果を示すものであるが、MLFT の測定結果を単に疵の有無だけを示す目的変数として用いると、異なる要因により異なる形態の疵を発生させた結果が混在し、課題であるトランプエレメントの影響の解析にならない可能性がある。これを防止するために疵の分類が必要である。

図 1 の①と②については、EPMA による観察で、図 2 のように表面に Cu の濃化が見られたこと、および疵の形態がともにシワ状であることから、発生範囲は異なるものの同一の疵であるとみなし、トランプエレメント (Cu) が疵の原因であると推定した。実際に分類した例を表 1 に示す。①と②のシワ疵が、本件の課題であるトランプエレメント (Cu) による疵であり、③の疵は異なる現象による疵で、シワ疵の解析においてはノイズとみなすことにした。

2.3 データの加工

MLFT の測定結果をシワ疵の解析に使う場合、図 1 の①のデータパターンでは目的変数は大きく、③のデータパターンは疵がない状態と同じで目的変数は小さく、②のデータパターンは両者の中間となるよう、データを加工して目的変数にすることが望ましい。

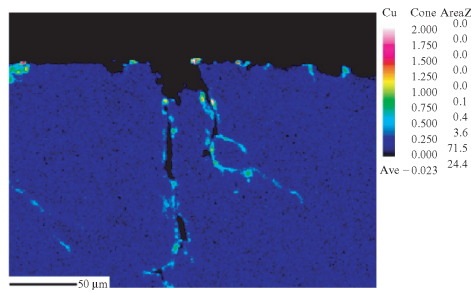


図2 EPMAによるしわ状疵のCu成分のマッピング
Fig. 2 Cu mapping of the wrinkle flaw using EPMA

表1 図1の探傷結果の発生形態

Table 1 Condition of the flaw in Fig. 1

	①	②	③
Description	Wrinkle	Wrinkle	Crack
Length	Overall	Partial	Single
Circumference	Overall	Partial	Single
Cause	Cu	Cu	Uncertain

図3に実際に使用しているデータの加工方法の例を示す。グラフは図1と同様、直棒1本のMLFTの測定結果である。まずは長手方向を一定間隔でいくつかに分ける。そして、区分ごとに、一定のしきい値を超えたシグナルの個数を集計する。ここでいうシグナルとは、測定結果のデータの最小単位であり、その個数はMLFTの分解能に依存する。また、しきい値は解析対象の直棒の表面品質の要求仕様によって任意に定めるものである。次に集計した個数を平均化する。以上の処理で、直棒に発生しているシワ疵の度合いを示す指数を算出する。以降、これをシワ疵指数と呼称する。

図1の測定結果にシワ疵指数を適用した例を表2に示す。

シワ疵の見た目の度合いが悪化するほど、シワ疵指数が大きくなっている。③のようにシワ疵がない場合は、たとえ別の疵があってもシワ疵指数は小さい値となる。

3. 適用方法

シワ疵指数はシワ疵の発生の度合いを表すものである。従って、これにより、疵の有無や探傷合格率といった総括的な表面品質の度合いではなく、トラップエレメント (Cu) の影響であるシワ疵に特化して、表面品質の度合いを表すことができる。

また、シワ疵指数は連続変数であるため、製造時の温度や鋼材の成分等と併せて、統計解析や機械学習に利用できる。

工場での製造条件の検討にあたり、シワ疵の発生しない条件を機械学習によって算出し、適用した。これにより、シワ疵の発生率は20分の1まで減少した。

Graph X-axis: Position in the longitudinal direction in bar
Graph Y-axis: Signal strength of the flaw detector

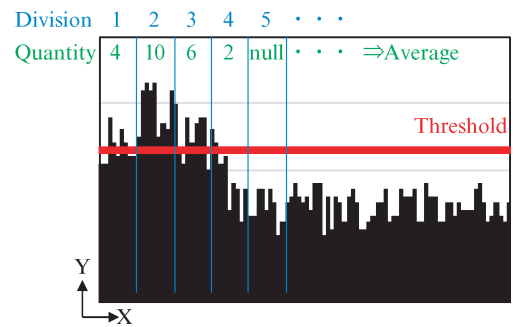


図3 データ加工の概要

Fig. 3 Outline diagram of data processing

表2 図1のシワ疵指数の適用例

Table 2 Application example of Wrinkle-index in Fig. 1

	①	②	③
Shape	Wrinkle	Wrinkle	Crack
Length	Overall	Partial	Single
Circumference	Overall	Partial	Single
Cause	Cu	Cu	Uncertain
Wrinkle-index	10.0	6.6	1.5

4. おわりに

電炉材特有のトラップエレメント (Cu) の影響による表面疵 (シワ疵) の削減という課題に対し、2021年より、製造したすべての直棒について本手法のシワ疵指数を算出し、シワ疵の発生状況を監視している。さらに、得られたデータから、トラップエレメント (Cu) の影響を低減する最適な製造条件を、統計解析および機械学習により算出し、直棒のみならず BIC 製品にも適用している。

以下に本検討で得られた知見および成果を示す。

- 漏洩磁束探傷機 (MLFT) の測定結果には、シワ状の疵 (シワ疵) に特徴的なデータパターンが見られた。
- シワ疵には Cu 濃化が見られた。
- MLFT の測定結果をデータ処理して、シワ疵の発生の度合いに特化したシワ疵指数を作成した。
- シワ疵指数を、シワ疵の発生の監視や統計解析などによる最適操業条件の算出に活用した結果、シワ疵の発生率は20分の1まで減少した。

〈問い合わせ先〉

JFE スチール 棒線事業部 仙台製造所 棒線部
TEL: 022-258-5526 FAX: 022-258-5541