

多工程一貫品質データ解析システム『J-astquad[®]』の開発

Development of Analysis System for Through-process Material Quality Data “J-astquadTM”

高木 宏征 TAKAGI Hiroyuki JFE スチール スチール研究所 サイバーフィジカルシステム研究開発部 主査研究員
舞嶽 孝二 MAITAKE Koji JFE スチール 西日本製鉄所（福山地区） 薄板商品技術部 一貫品質管理室 主査
平岩 琢朗 HIRAIWA Takuro JFE スチール 西日本製鉄所（福山地区） 制御部 鉄鋼制御室 副室長

要旨

近年、高品質な鉄鋼製品が強く求められている。JFE スチールでは従来から品質の管理指標を計測し、データベースに蓄積して操業改善に役立ててきたが、品質解析に用いるデータの粒度が粗く、また多工程のデータの紐づけに課題があった。そこで、最近のデータベースの大容量化や計算速度の向上を背景として、多工程一貫品質データ解析システム『J-astquad[®]』を開発した。本システムは、 casting, 熱延, 冷延, 表面処理にわたって、鋼板長手方向に細分化されたデータの収集および長手位置ごとのデータの紐づけを自動化した。また、紐づけたデータに基づく AI モデルを品質解析に活用することで、迅速な品質ばらつき原因の特定と操業改善を可能にした。本システムは実機適用され、品質ばらつきの低減に貢献している。

Abstract:

In recent years, there has been a strong demand for high-quality steel products. In JFE Steel, quality control indicators have conventionally been measured and accumulated in databases to support operational improvements. However, the data available for quality analysis were coarse in granularity, and linking data across multiple processes remained challenging. To address these issues, JFE Steel developed the analysis system for through-process material quality data, “J-astquadTM,” enabled by recent advances in database scalability and computational speed. This system automates the aggregation of through-process—casting, hot rolling, cold rolling, and surface treatment—operational data subdivided in the longitudinal direction of the steel sheets, as well as the alignment linking of data for each longitudinal position. Moreover, by utilizing AI models based on the linked through-process data for quality analysis, it enables rapid identification of quality variation causes and operational improvements. The system has been implemented in actual operations and has contributed to the reduction of quality variation.

1. はじめに

自動車外板などに用いられる薄板をはじめとする鉄鋼製品の製造においては、高い品質と安定した生産性が求められている。そのため、JFE スチールでは製造工程を厳格かつ効率的に管理し、信頼性や価格競争力に優れた製品の安定提供をめざしている。その中で従来から、鉄鋼製品の品質として重要である表面欠陥や機械的特性などの管理指標を定め、各製造工程で検査している。また、各製造工程の多種多様な操業データをデータベースに蓄積し、品質ばらつきが生じた場合には遡及的なデータ解析に活用することで操業改善に役立てている。しかし、膨大に蓄積されたデータを人の手作業によって解析することは容易でないという問題があった。

こうした背景のもと、JFE スチールでは前述のような問題

の解決に寄与する取り組みとして、デジタルトランスフォーメーション（DX）を推進している¹⁾。DX のコア技術となるのがサイバーフィジカルシステム（CPS）であり、仮想空間（サイバー）に設けた物理モデルや統計モデルと実際の製鉄所（フィジカル）とを結び付け、仮想空間でのシミュレーションにより見出した最適操業の方案を実際の製鉄所に適用することで、トラブル抑止、商品歩留り・品質の向上、開発の迅速化、および労働生産性の向上などを図るものである。

JFE スチールは、鉄鋼製品の品質向上に資する CPS として、多工程一貫品質データ解析システム『J-astquad[®]』を開発した。本システムで、鋼板の長手方向に細分化された操業や品質のデータを収集し、各製造工程における鋼板面内の位置を合わせて自動的に紐づけたデータを解析することで、人手の作業量を軽減して品質ばらつき要因の迅速な特定を図った。本稿では、本システムの開発について詳細に述べる。

2026 年 3 月 23 日受付

2. 従来の品質解析における課題

鉄鋼製品の高品質化への要求は年々高まっており、品質ばらつきの低減は大きな課題の一つである。ばらつきが大きくなった場合には、データに基づいて遡及解析し、その要因となった操業条件を特定して改善する必要がある。図1に、データ解析に基づく品質改善フローの概要を示す。品質に問題が発生すると、データを収集・解析して要因を抽出し、操業変更の実験を行い、実験結果データを収集・評価して、改善効果が十分でなければ解析と実験のサイクルを繰り返す。

鉄鋼製品の品質解析では、薄板を例に挙げると、 casting, 熱延, 冷延, 表面処理などの多数の製造工程の多岐にわたる種類のデータを必要とする。さらに、鋼板面内の特定の位置における解析には、位置ごとに細分化された詳細なデータを用いることが望ましい。JFE スチールでは、1980 年代に製鉄所における階層構造の計算機システムを完成させたが、旧来はデータを階層的に上位へ集約するピラミッド型の構造であった²⁾。各製造工程で計測されたセンサデータは、複数センサの論理演算やしきい値処理などを経て集約されるため、集約されたデータの粒度、すなわちデータが表す情報の細かさは主に鋼板単位となり、捨てざるを得ないデータも多かった。したがって、集約されたデータのみでは鋼板面内の特定の位置における詳細な解析を行うことができなかった。

鋼板の長手位置ごとに細分化されたデータを数多く収集して互いに関連づけて解析するためには、まず、図2のように製造工程ごとに保存されたデータを個別に収集する必要があった。さらに、工程を経るたびに複雑に生じ得る鋼板の先尾端の反転や表裏面の反転などを考慮して長手位置ごとにデータを紐づけることが難しかったため、手間と時間がかか

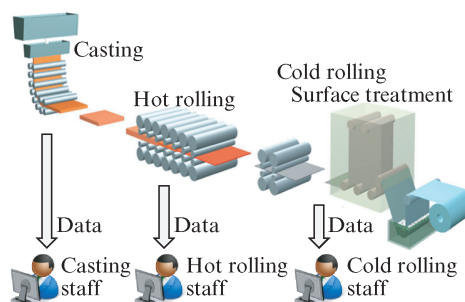


図2 従来のデータ収集方法

Fig. 2 Conventional data collection methods

かっていた。また、データ量が膨大であるがゆえに、人の手作業によって解析することが容易でなかった。そのため、最終的に品質ばらつきの発生要因を特定して操業改善に至るまでに多大な時間を要しており、その迅速化が課題であった。

この課題の解決のためにめざしたい姿は、多数の工程にわたる詳細なデータを自動的に収集して解析する仕組みの実現だった。

3. 『J-astquad[®]』の開発

JFE スチールは、近年、計算機システムを最新の計算基盤技術およびデータ統合技術で刷新し、下位の階層で得られる粒度の細かいデータを製造工程の近傍、すなわち社内ネットワークにおける端部（エッジ）に設置したエッジサーバに収集し、データベースに保存して活用する仕組みの構築を進めてきた^{2,3)}。このシステム刷新を背景に、前述の課題を解決するために、詳細なデータから操業条件と品質の関係をモデル化して品質ばらつき要因の特定に活用するCPSとして『J-astquad』を開発した^{4,5)}。

『J-astquad』の概要を図3に示す。『J-astquad』の重要な機能として、多工程長手位置合わせ紐づけデータの生成機能がある。この機能は、 casting, 熱延, 冷延, 表面処理の各工程にわたって鋼板の長手方向に細分化された操業データおよび品質データを収集し、位置を合わせて紐づけたデータを自動生成するものである。また、『J-astquad』は、鋼板上の位置ごとに細分化された情報をマッピングして可視化する機能、紐づけデータを活用し、AI (Artificial Intelligence) モデルによって品質ばらつき発生要因を解析する機能、解析結果および関係する操業データを一元的に画面に表示する機能も持つ。

以下に、これらの機能の詳細を説明する。

3.1 多工程データ長手方向位置合わせ紐づけ

鋼板の各工程における圧延による長さの変化、先尾端の反転、表裏面の反転、先尾端部の切断などの実績を考慮し、

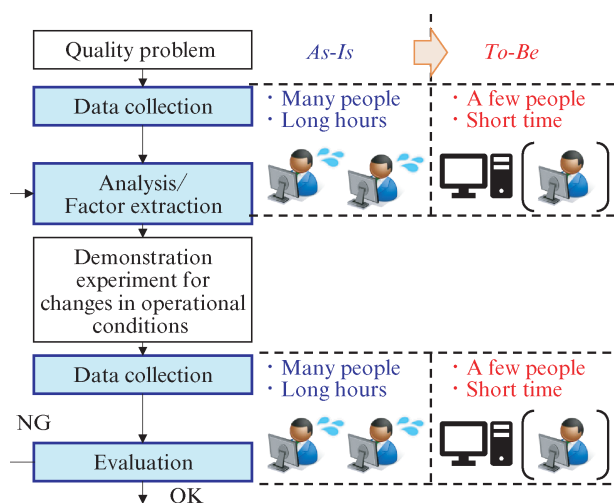
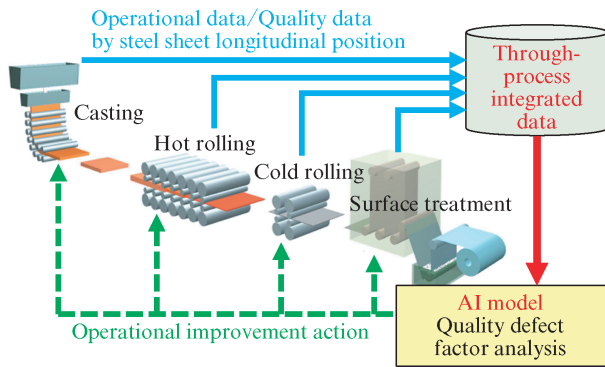


図1 データ解析に基づく品質改善フローの概要

Fig. 1 Overview of quality improvement flow based on data analysis

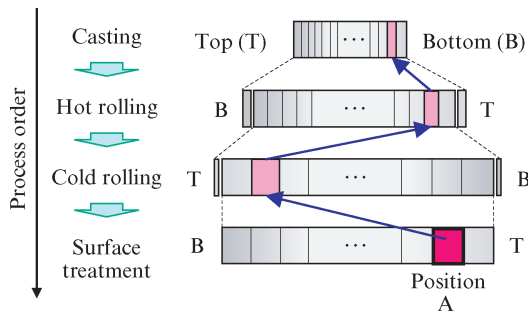
図3 『J-astquad®』の概要⁴⁾Fig. 3 Concept of "J-astquad"^{TM, 4)}

© (2024) The Iron and Steel Institute of Japan

多工程にわたって細分化された鋼板長手位置を精緻に合わせデータをつづけるロジックを開発した。品質検査装置などによる計測によって長手位置の座標情報とともに得られる品質データに対して、計測・収集ピッチの異なる各工程の鋼板長手方向の作業データの位置を合わせて結合する。この紐づけは、一部の対象鋼板に生じる途中追加処理工程や鋼板の長手分割処理に対応している。

多工程の紐づけにあたっては、工程間の鋼板追跡情報を生成して利用している。工程間追跡情報は、具体的には各工程の識別子、各工程の入側および出側における鋼板の全長、切断された長さなどの詳細情報を保持している。各鋼板に対しては工程ごとに一意の識別子が割り当てられているが、複数の工程を通じて対応する識別子を関連づけて、識別子の読み替えを可能としている。この情報に基づいて表面処理工程から casting 工程まで遡って識別子を辿ることにより、全工程にわたって包括的な情報を抽出できる。

図4に、ある鋼板の製造工程を一例とした紐づけの概念を示す。例えば、表面処理工程における位置Aに対して工程を逆順にたどって紐づける。表面処理工程の入側、出側で先尾端部の切断があるため、一つ前の工程である冷延工程に遡るにあたって、切断された長さを全長に含める。ま

図4 鋼板の長手位置合わせ紐づけ⁴⁾Fig. 4 Through-process longitudinal position alignment linking⁴⁾

© (2024) The Iron and Steel Institute of Japan

た、冷延工程の出側における鋼板の巻き取りと表面処理工程の入側における鋼板の払い出しの関係から、鋼板の先端と尾端が反転しているため、冷延工程ではAに相当する位置が先端側から見て逆転する。次に、冷延工程の出側での先尾端部の切断長さを全長に含め、圧延による長さの変化があることを考慮して圧延前後のデータの位置を合わせる。この後、同様の考え方で熱延工程仕上圧延、熱延工程粗圧延、 casting の各工程へと遡って、各工程で位置Aに相当するデータ同士を紐づける。

このようなデータ紐づけを、最終工程である表面処理工程における長手方向の各位置において行う。長手方向に細かく収集されている全工程の実績データを最終工程の鋼板の長さ単位に結合するために、最終工程である表面処理工程における鋼板全長に合わせて、前工程の鋼板の長さをスケールリングする。

このような多工程データ長手位置合わせ機能より、鋼板単位の代表値データの使用にとどまっていた従来解析と比べて、長手方向に細分化された多工程データの活用により、詳細に実態を解析できるようになった。

3.2 AIモデルに基づく品質解析

統計や機械学習に基づくAIモデルによって品質に影響を及ぼす操作条件を抽出し、品質ばらつきの要因を推定する技術を開発した。

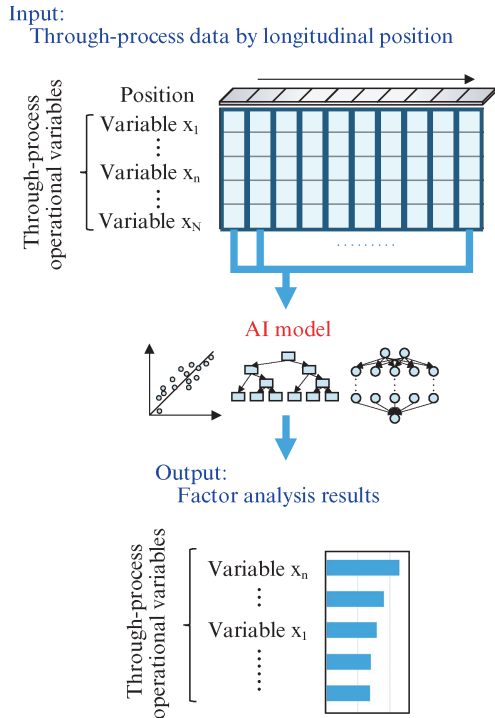
図5に示すように、多工程にわたって紐づけられた長手位置ごとの操作データを説明変数とし、品質データを目的変数としてAIモデルの学習を行い、モデルから得られる品質に対する操作変数の影響度を算出する仕組みを実装した。従来の方法である1枚の鋼板ごとに全長で一律とみなした代表値データを用いる解析よりも、鋼板の長手方向位置の推移に伴う品質指標と操作条件の変化の特徴を捉えることができる点で優位である。

本システムでは、解析対象とする品質に応じて、例えば統計に基づく回帰式や決定木型の機械学習といったさまざまな手法の中から、AIモデルに用いるアルゴリズムを適切に選択できる構成としている。

3.3 紐づけデータおよび解析結果の可視化

品質データと、要因として推定される操作変数項目の実績データを突き合わせて一元的に画面に表示する仕組みを開発した。

多数の鋼板の傾向を大局的に確認する画面では、AIモデルに基づく解析の結果として得られた品質に対する操作変数の影響度が表示されるとともに、影響度の高い変数と品質の相関を示すグラフが表示される。また、単一の鋼板を個別に確認する画面では、鋼板の部位ごとの品質状況を可視化した品質マップと、重要な操作変数の長手方向位置データを突き合わせたグラフが表示される。例えば品質ばら

図5 多工程データとAIモデルによる品質不良要因推定⁴⁾Fig. 5 Factor analysis of quality defects with through-process data and AI model⁴⁾

© (2024) The Iron and Steel Institute of Japan

つきが大きくなっている特定の鋼板に着目し、その鋼板上の位置別の品質状況と、重要な操業条件の長手方向位置の関係を一目で確認できるようになる。

このような画面表示機能により、品質ばらつき要因の迅速な判断および操業変更に寄与している。

4. 実機適用

『J-astquad』の実機適用について述べる。本システムは、対象とする製造地区を限定せずに、全社的な視点でデータへのアクセス性の向上を志向した。一方で、膨大になると想定された鋼板長手方向細分化データの処理量や蓄積量に対応することが課題であった。そこで、データを全社からアクセス可能なプライベートクラウド環境 J-OSCloud⁶⁾ 上に収集し、データ量に合わせて拡張可能な計算機環境を構築して解決した。これにより、製造地区を問わない汎用的な品質解析のフレームワークとして、薄板の製造工程での実用化に成功した。

4.1 システム構成

図6に『J-astquad』の全体構成を示す。各製造工程に設置されたセンサやPLC（Programmable Logic Controller: 制御装置）、プロセスコンピュータ（制御用計算機）で収集された時系列構造の操業データは、製造工程ごとに設けられたエッジサーバへ順次格納される。エッジサーバにおいて、時系列データは鋼板の長さ単位かつ一定ピッチのデータ、すなわち鋼板ごとの長手方向データへと変換され、長手方向データはJ-OSCloud上の多工程データをまとめて蓄積するデータベースサーバへ伝送される。データベースサーバの長手方向データと、別途収集された品質データおよび鋼板の工程間追跡情報が、データ紐づけ処理サーバへ伝送される。データ紐づけ処理サーバでは、各操業データおよび品質データを、工程間追跡情報および長手位置情報を基にして、自動的に多工程データの長手位置合わせ紐づけ処理を

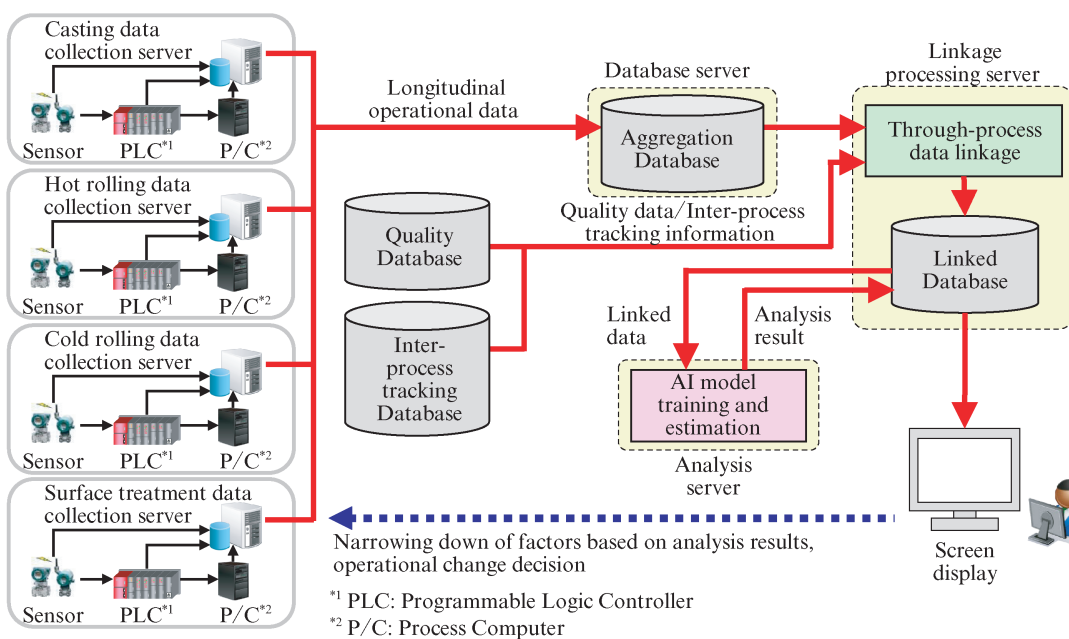


図6 『J-astquad』の全体構成

Fig. 6 Overall structure of "J-astquad"

実施している。紐づけ処理されたデータは、AI モデルによる品質解析などが実施され、解析結果を含む各種データが画面に表示される。

4.2 実用例

4.2.1 長手位置合わせデータによる品質変動要因解析

長手位置合わせデータの活用による品質変動要因の解析および操業改善の事例について述べる。

従来は、図 7 における位置合わせ前のように、鋼板の長手方向における操業データの収集位置が鋼板を代表する点のみであり、品質データの収集位置と必ずしも整合していなかった。位置を合わせた紐づけを行ったことで、図 7 における位置合わせ後のように、操業データと品質データの収集位置が整合するようになった。

鋼板の製造時に得られた操業実績データにおける特定の操業条件 X と品質指標との相関は、図 8 に示すように、高精度に長手位置合わせしたデータは従来の代表値データに比べて劇的に向上し、傾向が明確化した。この適解析結果をもとに、操業条件 X を適切に調整することで、以降の鋼板の製造における品質指標の変動を小さくすることができた。

4.2.2 AI モデルに基づく品質ばらつき発生要因解析

AI モデルに基づく変数影響度の算出による品質ばらつき要因の解析および操業改善の事例⁷⁾について述べる。

薄板製品に発生した品質ばらつきに対して、本システムを活用して図 9 のように AI モデル解析により操業要因を絞り込んだ。その結果として得られた変数影響度の上位に抽出された操業条件のうち、操業の知見と照らし合わせ、鋳造工程における操業条件 B が要因となっている可能性が高いと推定した。操業条件 B の詳細な解析を進めると、一定時間ごとにデータ分布が 2 群間で切り替わっていることが明らかとなった。また、品質ばらつきの大きさを示す指標についても、操業条件 B の分布に対応するように品質ばらつき指標が高い分布と低い分布で推移していることが判明した。このことから、分布の切り替わりと同様のタイミングで切り替わる設備による影響であると推定して、鋳造工程において

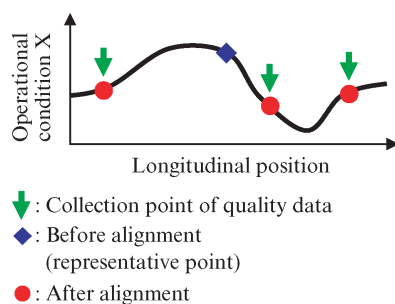


図 7 鋼板長手方向データ位置合わせ前後の概念図

Fig. 7 Conceptual diagram before and after longitudinal data alignment of steel sheet

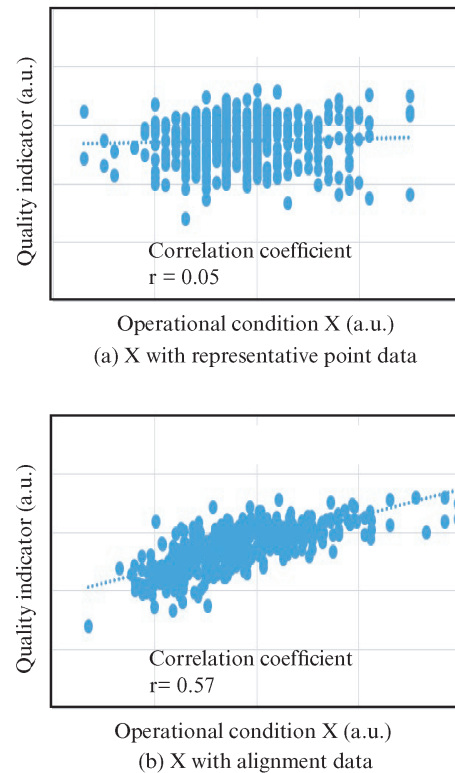


図 8 操業条件 X と品質指標の関係

Fig. 8 Relationship between operational condition X and quality indicator

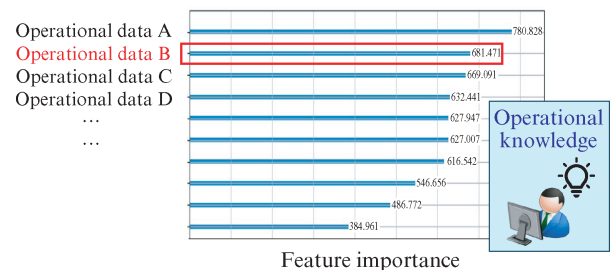
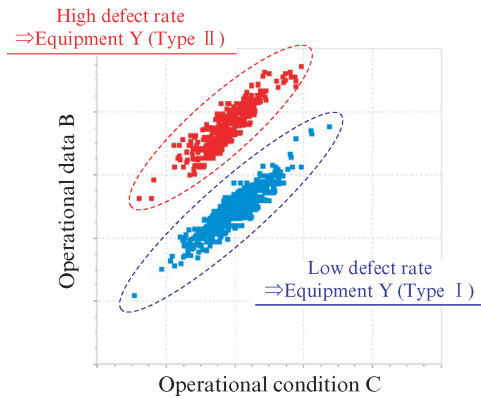


図 9 品質ばらつきにおける操業要因抽出⁷⁾

Fig. 9 Extraction of operational factors in quality variation⁷⁾

一定時間ごとに I 系と II 系が切り替わる設備 Y に着目した。設備 Y の各系統の使用時における操業条件 B を、通常の場合には B とほぼ同様の値をとることが分かっている操業条件 C との関係において比較すると、図 10 に示すように II 系が I 系より高い分布となっており、これが品質ばらつき指標の分布にも対応していたことが判明した。最終的には、鋳造工程の現場で II 系の設備不良箇所を修理したことで、以降の品質ばらつきの低減につながり、同設備の不良が原因で品質ばらつきの増加を引き起こしていたことを明らかにできた。

前記の事例をふまえて、今後、社内に知見として蓄積された過去の操業トラブルや設備故障などによる品質ばらつきは、再発する前に予防していく必要がある。そこで、

図 10 操業条件 B と品質ばらつき指標の関係性⁷⁾Fig. 10 Relationship between operational condition B and quality variation⁷⁾

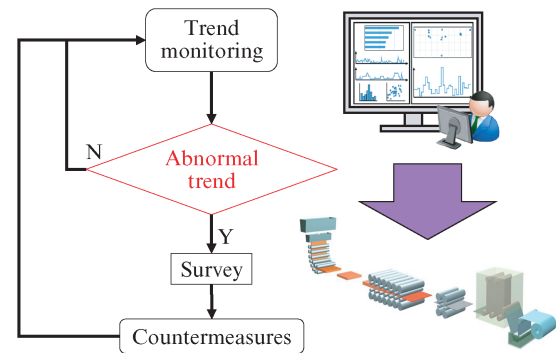
『J-astquad』では、操業データを監視する画面も設計した。品質へ影響を与え得るような重要な操業データは常時監視できるようにしており、現場の画面のみならず社内の一般業務用 PC などでも操業の傾向を把握できるようにした。図 11 のようなフローに基づき、少しでも異常な傾向が確認された場合は速やかに調査することで、品質ばらつきの発生原因に対して迅速な対策を打つことができる。

5. おわりに

JFE スチールでは、DX のコア技術である CPS の一つとして、鉄鋼製品の品質管理の強化を図るために、多工程一貫品質データ解析システム『J-astquad』を開発し、活用している。

- 多工程にわたる鋼板の長手方向に細分化されたデータを収集し、長手方向の位置を合わせて自動的に紐づける技術を開発した。
- AI モデルを活用した解析により、品質ばらつきの要因を迅速に特定できる仕組みを実現した。
- 全社クラウド基盤を利用した汎用的なシステムとして実用化し、品質ばらつきの低減に貢献している。

また、本システムは品質ばらつきの要因推定だけにとどまらず、多種多様な操業データ解析への活用も可能であり、

図 11 重要操業データの傾向監視⁷⁾Fig. 11 Trend monitoring of key operational data that affects quality variation⁷⁾

JFE スチールにおける DX の重要な基盤技術として位置づけられる。また、薄板だけでなく他品種への展開性が高く、今後広く鉄鋼製品の高品質化および生産性向上に寄与することが期待できる。

JFE スチールは、製造工程や品質管理のサイバーフィジカルシステム（CPS）化を進めるなど、DX を積極的に推進することで、革新的な生産性向上および安定操業の実現をめざし、鉄鋼製品の供給安定化に貢献していく。これにより、今後、より一層お客様満足度の向上に努めていきたい。

参考文献

- 1) 山口収, 飯塚幸理. JFE スチールの計測・制御・システム技術の発展と今後の展望. JFE 技報. 2025, no. 56, p. 1-7.
- 2) 風間彰, 河村和朗, 津田和呂, 杉岡真吾, 宮田淳. JFE スチールにおけるデータサイエンス活用の展開. JFE 技報. 2020, no. 45, p. 1-7.
- 3) 風間彰, 津田和呂. 鉄鋼プロセスにおけるデジタルデータ活用. ふえらむ. 2018, vol. 23, no. 12, p. 66-69.
- 4) 高木宏征, 中川洋, 舞嶽孝二, 愛甲貴広, 久山修司, 平田丈英. 多工程一貫品質データ解析システムの開発. 材料とプロセス. 2024, vol. 37, no. 2, p. 579.
- 5) 高木宏征, 剣持光俊, 松下昌史. 薄板製造を支える DX 技術. JFE 技報. 2026, no. 57, p. 89-94.
- 6) 小林健一, 久米正洋. プライベートクラウド基盤の構築. JFE 技報. 2023, no. 51, p. 6-10.
- 7) 平岩琢朗, 竹中秀同, 高木宏征, 中川洋, 鈴木勝也. 多工程一貫品質データ解析システムの開発及び活用事例. 電気学会研究会資料, 産業応用部門ものづくり研究会. 2025, MZK-25012023, p. 17-18.

本稿は、主執筆者が同じく執筆した参考文献 4) および 7) の論文を、許可を得て転載、一部表現を変更して作成しております。