

西日本製鉄所（福山地区）形鋼工場への 自動測定装置の導入

Introduction of Automatic Measuring Instrument at Shapes Plant in West Japan Works (Fukuyama)

脇田健太郎 WAKITA Kentaro JFE スチール 西日本製鉄所（福山地区）条鋼部 形鋼工場 副工場長（副課長）

要旨

JFE スチール西日本製鉄所（福山地区）形鋼工場では、形鋼の全長寸法保証、表面欠陥の流出防止を目的としてオンライン冷間寸法・表面欠陥計（OSIRIS・NEXTSENSE 社製/オーストリア）を導入し運用している。本装置は、福山地区形鋼工場で製造する全品種・全サイズを測定対象とした光切断方式による測定装置である。光切断方式は、従来の寸法計より演算速度が速く、搬送中の形鋼製品の全長寸法を高精度で測定できる。また、寸法と同時に表面欠陥も計測できることで、品質保証レベルの向上に貢献している。本報告では装置の原理、機器構成および製品の品質を保証するための測定精度、判定方法について紹介する。

Abstract:

JFE Steel has introduced and operated an online cold dimension and surface defect measuring instrument (OSIRIS, NEXTSENSE/Austria) for the purpose of guaranteeing the overall length of shape steel and preventing the outflow of surface defects at Shapes Plant in West Japan Works (Fukuyama). This device is a measuring instrument using Light-Section Method to measure all types and sizes of shapes products manufactured at the Shapes Plant in Fukuyama. In Light-Section Method, the calculation speed is faster than that of the conventional dimension measuring meter, and it is possible to measure and guarantee the total length of the conveying shape steels with high accuracy. In addition, surface defects can be measured at the same time as dimensional measurement, contributing to the improvement of quality assurance level. This report introduces the principle and configuration of the equipment, and the measurement accuracy and inspection judgment method for guaranteeing the quality of the product.

1. はじめに

JFE スチール西日本製鉄所（福山地区）形鋼工場（以下、福山地区形鋼工場）ではオンライン冷間寸法・表面欠陥計（OSIRIS・NEXTSENSE 社製/オーストリア）を導入し運用している。本装置は、福山地区形鋼工場で製造している 10 品種を測定対象とした、演算速度が速く測定精度の高い光切断方式の測定装置であり、搬送中の形鋼製品の全長寸法を高精度で測定している。また、寸法と同時に表面欠陥も判定できることで、品質保証レベルの向上に貢献している。本報告では装置の概要および導入に当たって実施した精度保証の検討結果について紹介する。

2. 光切断方式 寸法・表面欠陥計

2.1 測定原理

形鋼製品向けの寸法計・表面欠陥計として要求される主

な仕様を示す¹⁾。

(1) 測定対象：(図 1)

- ①品種：不等辺不等厚山形鋼，H 形鋼，U 型鋼矢板
球平形鋼，平行フランジ溝形鋼，重軌条
等辺等厚山形鋼，フォークリフトマスト形鋼

- ②測定領域：高さ 0~300 mm
幅 0~525 mm

- ③長さ：6~100 m

- ④搬送速度：0~4 m/s

(2) 計測位置：

- ①厚み/幅：断面任意位置
- ②長さ方向：25 mm ピッチ（測定周期：5 kHz）

(3) 計測精度（オンライン）：

- ①寸法：±0.1 mm
- ②表面欠陥：欠陥深さ 0.5 mm 以上
欠陥高さ 0.5 mm 以上

(4) 不感帯：

- ①長手先端部：<25 mm
- ②レーザー照射不可部位（鋼矢板爪部内側）

2015 年 3 月 11 日受付

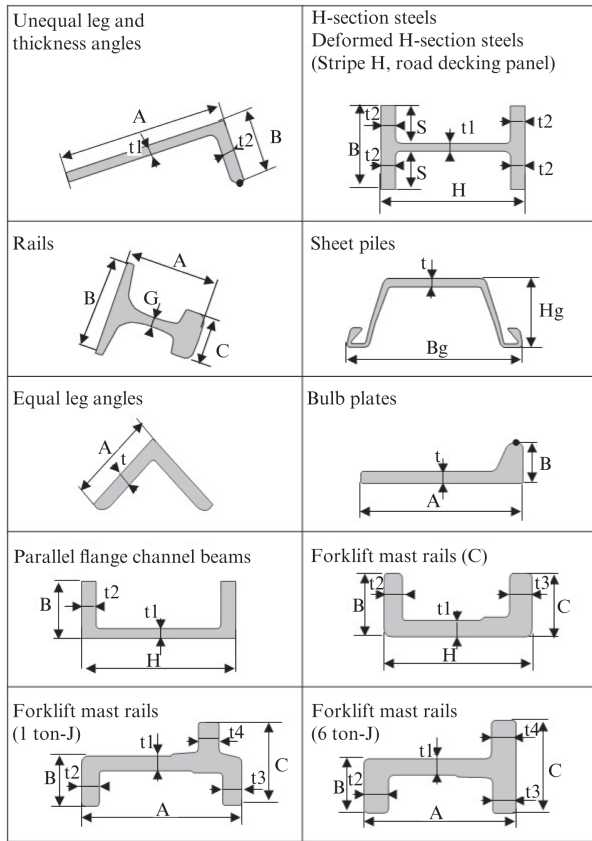


図1 測定対象製品と主な測定寸法

Fig. 1 Products to be measured and main dimensions

従来の寸法計の測定方法として、製品を停止させた状態でセンサーを走査させて自動測定する方法と複数のセンサーを配置して搬送中の製品を自動測定する方法がある。製品を停止させた状態で測定する方法は、高精度で測定できるが、測定に時間がかかり製品全長の測定ができないという欠点がある。一方、製品を搬送させて測定する方法は、1対のセンサーを板厚や幅等の寸法部位に合わせて複数設置したり、センサーを移動調整したりする必要があり、測定システムが複雑になるという欠点がある。

本装置は光切断方式を採用しており、2次元レーザーを製品に照射し、高速度カメラでその反射光を検出して、三角測量より製品とカメラの距離を2次元プロフィールとして取得している（図2）。本装置では、全サイズの製品の搬送領域で測定できるように、2次元レーザーと高速度カメラから成るセンサーが同一断面上に8セット配置されており（図3）、8つの2次元プロフィールを合成させて1つの断面プロフィールを取得している。また、製品を搬送中に測定し、連続的に断面プロフィールを取得して長手方向に結合することで3次元プロフィールを取得できる。全長寸法は断面プロフィール、表面欠陥は3次元プロフィールを用い、高精度・高速度で計測する。

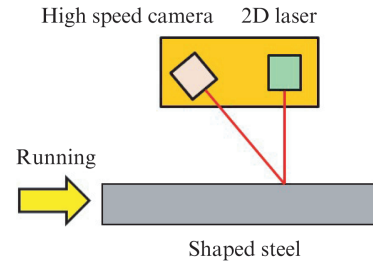


図2 光切断法方式

Fig. 2 Light-section method

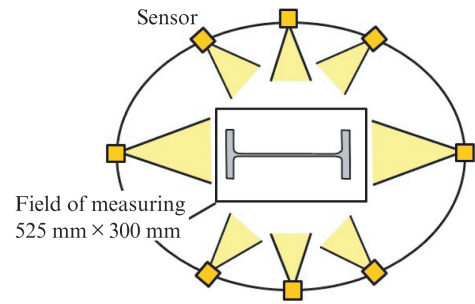


図3 センサー配置

Fig. 3 Placement of sensors

2.2 寸法測定方法

品種毎、寸法毎に寸法測定プログラムがあり、取得した断面プロフィールを用いて演算処理する。H形鋼のフランジ幅を測定する際のプロフィールと基準線例を図4に示す。

測定にあたっては、まず断面プロフィール上の座標位置を決め、次に、寸法の方向を示す基準線を決める。基準線をベースに測定点を決定して寸法を測定する。形鋼製品の断面形状は圧延ロールの摩耗等により正規のカタログ形状に対して若干変動するため、各形鋼の特徴に合わせ、より安定したプロフィール線より基準線を演算するようにしている。

従来の寸法計は、計測器の校正時に各寸法の測定方向となる基準面を設定しているため、搬送テーブルの摩耗や搬送中の被測定材のバタつき等により、あるべき基準面からズ

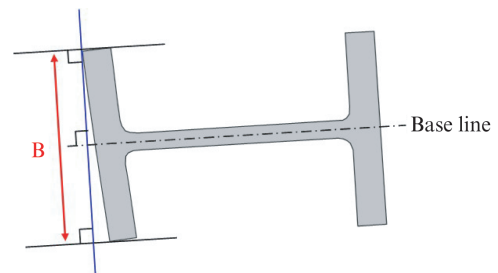


図4 断面プロフィールと基準線の例

Fig. 4 Example of cross-sectional profile and base line



図5 欠陥のラーニング例（レール浮出文字）

Fig. 5 Example of defect by learning (marking on rail)

れてしまう可能性がある。本装置は、常に適切な基準線を断面プロフィールから演算で決定することで、高精度な測定を可能にしている。

2.3 表面欠陥の測定方法

3次元プロフィールの全表面を画像データに変換し、まず表面画像の濃淡差により欠陥を検出する。検出された欠陥のうち、予めラーニングさせた知見に従い欠陥と判定させる。レール等の形鋼にはウェブ表面に浮出文字や刻印の表示があるため、表面欠陥とならないようラーニングさせている（図5）。

3. 測定装置の機器構成

3.1 配置・機器構成

本装置は冷却後の矯正機出側のテーブルライン上に設置されている（図6）。本装置の後工程に検査床があり、寸法計の測定結果をもとに最終判定を行う。本装置はリトラクト装置によりオンライン/オフライン切替が可能であり、オンライン位置で計測、オフライン位置でメンテナンスを行う（図7）。装置の内部に8セットのセンサーが組み込まれており、その中心に製品を通材させて測定する。オフライン位置には動作/精度確認用のサンプル測定装置が設置されている。また、校正試験片は装置内部に内蔵されており、自動で校正できる。寸法計の周辺機器について下記に示す。

(1) レーザードップラー式速度計

寸法計測定結果の長手位置の情報を速度データより算出する。

(2) エアパージ

製品表面の水滴を除去し、水滴による疵の過検出や水濡れによるプロフィールの欠損を防止する。

(3) 可変ガイド

形鋼の冷間寸法計への衝突を防止する。測定領域に形鋼を拘束させ、製品の蛇行や傾きを抑制する。

(4) サンプル測定装置

測定の動作確認および精度確認を行うために、オフライン位置に設置する。

(5) 校正装置

専用の校正試験片が寸法計内部に格納されており、オ

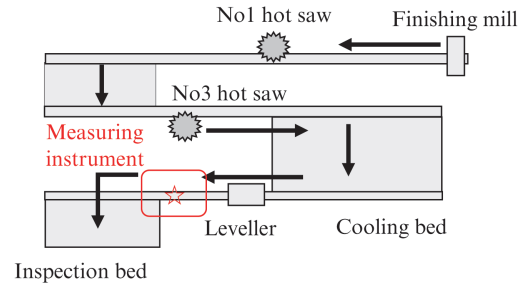


図6 設置場所

Fig. 6 Equipment layout

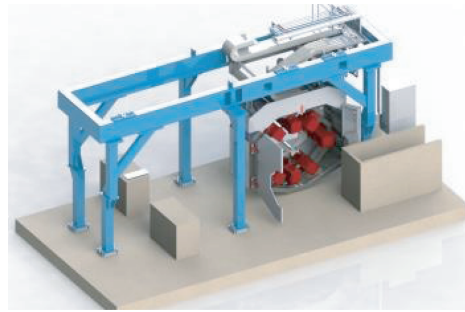


図7 設備概略

Fig. 7 Equipment overview

フライン位置で自動校正できる。

3.2 傾き補正機能

寸法測定精度向上のため、傾き補正機能を持つ。製品が搬送中に蛇行しないよう誘導ガイドを設けて製品を拘束しているが、製品の搬送性のため製品と誘導ガイドの隙間はなくせない。そのため、製品が誘導ガイド内で斜行して傾くことにより、幅寸法が実寸法より大きく測定され精度が悪化する。そこで斜行を補正するために寸法測定の前段にセンサーを設置し、長手方向の製品の傾き量を計測し傾き角度を演算して寸法を補正している（図8）。この傾き補正の精度を向上させるために、傾き量を計測する際の製品断面の測定点を、長手の寸法変動の小さい箇所としている。

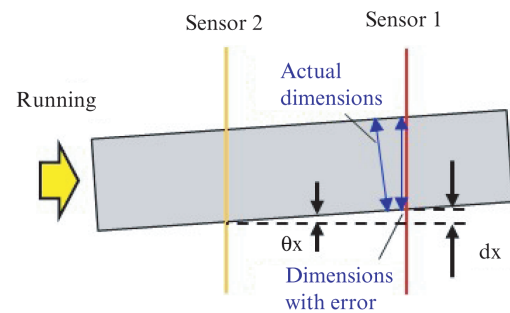


図8 傾き補正

Fig. 8 Tilt correction

4. 測定精度

4.1 寸法精度

寸法の精度検証は、接触式3次元測定器で寸法を事前に測定した精度検定用サンプルを準備し、オンライン搬送測定により実施している。寸法精度計測定結果の一例を図9に示す。測定の際のばらつきが $3\sigma < 0.1\text{ mm}$ であることから、高精度な測定が可能である。

4.2 欠陥の測定精度

表面欠陥の精度検証は、人工欠陥のあるサンプルをオンラインで搬送させて行っている。欠陥の深さを検証した結果を図10に示す。欠陥0.2 mm以上の疵は精度 $\pm 0.1\text{ mm}$ で検出できる。欠陥0.5 mm以上の測定仕様に対し、0.2 mm以上の欠陥の検出が可能であるが、実製品を測定する際には、スケール剥離や水濡れ等により合格判定に影響しない微小欠陥も検知してしまうので、0.5 mm未満の疵を検出することは難しい。よって、冷間寸法計では深さ0.5 mm以上の欠陥を判定している。

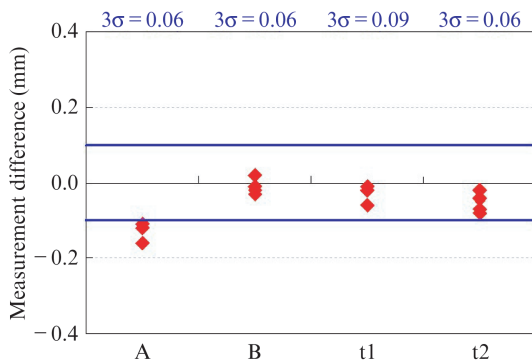


図9 寸法測定の精度検証例

Fig. 9 Example of dimensional accuracy verification

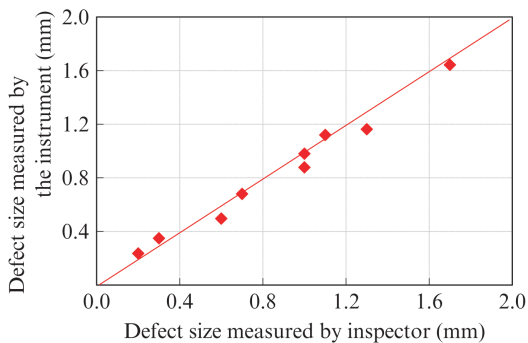


図10 欠陥の精度検証例

Fig. 10 Example of defect accuracy verification

5. 寸法の品質保証

5.1 寸法の判定方法

本装置は、寸法測定に関して、2018年11月にJIS認証を受け、品質保証設備として運用している。図11に寸法計の判定方法を示す。管理公差 T の場合、寸法計の保証精度 A を考慮した管理範囲 $\pm(T-A)$ で寸法計の合否判定を行う。寸法計で不合格判定となった製品は、オペレーターが検査床で最終判定を行う。

5.2 寸法の精度保証と測定の不確かさの考え方

GUM (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement: 計測における不確かさの表現のガイド)に基づき、不確かさを評価し、合否判定基準に不確かさを取り入れている。

(1) 保証精度 A の考え方

- (a) 真値との偏差と不確かさを足した値を保証精度 A とする (図12)。
- (b) 真値との偏差: 寸法計測定結果と精度検定用サンプル測定結果の差とする。

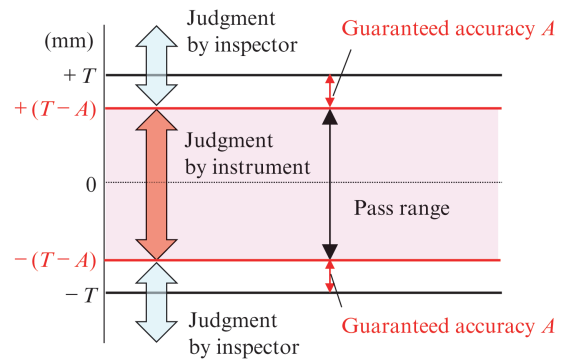


図11 寸法判定方法

Fig. 11 Dimension judgment method

True value

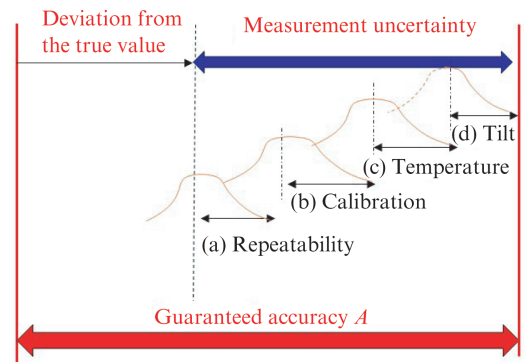


図12 測定精度 A

Fig. 12 Guaranteed accuracy A

(2) 不確かさの算出方法

ここでは主な不確かさの要因として、繰り返し測定の際のばらつき、測定器、製品温度、製品傾きの4つを考慮した。各標準不確かさを以下の方法で算出する。

- (a) 同一製品を n 回繰り返し測定し、 $s(x)$ を標準偏差とした時の繰り返し測定による不確かさ $[s1(\bar{x})]$

$$s1(\bar{x}) = \frac{s(x)}{\sqrt{n}}$$

- (b) 精度検定用サンプルの測定に使用した測定機の不確かさ $[s2(\bar{x})]$ (U_1 は測定器単体の校正証明書記載の不確かさを採用する)

$$s2(\bar{x}) = \frac{U_1}{2}$$

- (c) 製品温度による測定部位の熱膨張の不確かさ $[s3(\bar{x})]$ (矩形分布) a : 温度ばらつきによる寸法変動

$$s3(\bar{x}) = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

- (d) 製品傾きによる寸法変動の不確かさ $[s4(\bar{x})]$ (三角分布) b : 傾き補正精度

$$s4(\bar{x}) = \frac{b}{\sqrt{6}}$$

(a) ~ (d) の各標準不確かさより、拡張不確かさ U を算出する。包含係数 $k=2$ とする。

$$U = \sqrt{\sum s^2(\bar{x})} \times k$$

この拡張不確かさ U を保証精度 A とする。

6. 効果

図13に寸法計で測定したH形鋼の高さ寸法の全長プロフィールを示す。寸法計の導入により、全長の寸法トレンドが管理可能となった。表面欠陥は3Dプロフィールとして表示・確認し、より正確に欠陥を判定できる。また、製品の断面プロフィールをオペレーターに表示させ、近年における造船用形鋼 PSPC (Performance Standard for Protective Coating: 塗装性能基準) の要求等に対応する断面形状の検査にも活用している。図14に表面欠陥の苦情件数の推移を示す。寸法計を導入した2018年以降苦情件数が減少し、2020年には約4割減少している。

7. おわりに

JFE スチール西日本製鉄所（福山地区）形鋼工場に冷間

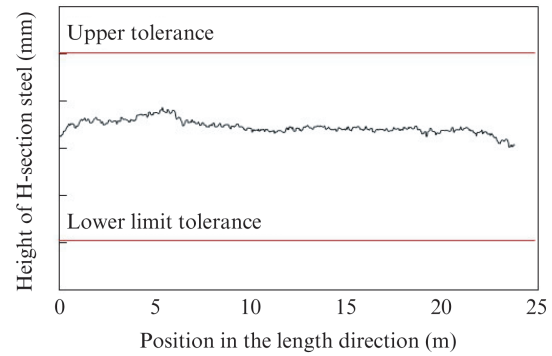


図13 全長寸法プロフィール

Fig. 13 Overall length profile of dimensions

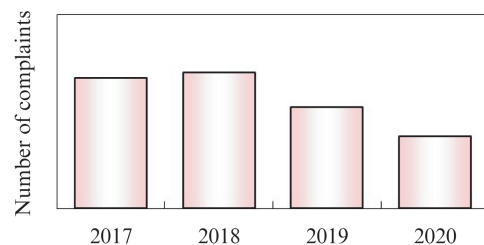


図14 苦情件数の推移

Fig. 14 Changes in the number of complaints

寸法・表面欠陥計を導入した。本装置の特徴と導入による成果を以下にまとめる。

- (1) 福山地区形鋼工場で製造している10品種を測定対象とした、演算速度が速く測定精度の高い光切断方式を採用した装置であり、搬送中の形鋼製品の全長寸法を高精度で測定できるようになった。
- (2) 2018年11月にJIS認証を取得し、寸法計・表面欠陥計の導入により苦情件数の削減を達成し、品質保証レベルの向上に寄与した。
- (3) これまで検出できなかった全長の寸法データを取得可能とし、更なる造り込み技術の向上に活用している。また、検査自動化による手動検査工程の削減、稼働率の向上も期待できる。

参考文献

- 1) 「OSIRIS COLD/OSIRIS HOT Data Sheet」. NEXTSENSE 社 (https://www.nextsense-worldwide.com/files/content/branchen/stahl/kontinuierliche_masshaltigkeit/SUOS101-02-Osiris_DataSheet_EN.pdf) 2021年1月26日閲覧。



脇田健太郎