

# ぶりき原板の表面自動検査装置

## Automatic Surface Inspection System for Tin Mill Black Plate (TMBP)

佐々木聡洋 SASAKI Toshihiro JFE スチール 東日本製鉄所(千葉地区) 第1冷延部冷延技術室 主任部員(副課長)  
 高田 英紀 TAKADA Hideki JFE スチール 東日本製鉄所(千葉地区) 制御部制御技術室  
 戸村 寧男 TOMURA Yasuo JFE スチール 東日本製鉄所(千葉地区) 制御部制御技術室 主任部員(課長)

### 要旨

ぶりき原板の最終製品製造ラインである連続焼鈍ライン(世界最高速連続焼鈍ライン)に導入したリニア CCD カメラ式の自動表面検査装置について紹介する。1400 m/min の高速環境下において、板幅方向 0.17 mm × 長手方向 1.25 mm の分解能を有する検査装置を導入し、欠陥検出率 95.5% を達成し板表面品質クレームが 1/20 に減少した。また、人工欠陥を用いた調整方法や、製品コイルのつなぎ目である溶接点を用いた日常点検方法を確立し、装置の精度維持体制を確立した。

### Abstract:

This report introduces an automatic surface inspection system applying CCD line scan camera which has been installed at a continuous annealing line in JFE Steel. This is the finishing line of tin mill black plate products with world highest operating speed. The resolution of the camera during surface inspection is 0.17 mm (cross-web) × 1.25 mm (down-web) under the strip speed of 1400 m/min and the detection ratio of defects is 95.5%. After the installation of this system, complain of the surface defects decreased to 1/20.

## 1. 緒言

JFE スチール東日本製鉄所(千葉地区)において、ぶりき原板の最終検査はライン出側に調質圧延機や精整設備を連続化した連続焼鈍ラインで実施されている。JFE スチールは、世界最高速度の連続焼鈍ライン(No.4 連続焼鈍ライン、炉部最高速度:1000 m/min)を有しており<sup>1)</sup>、**Fig. 1** に示す検査を行う出側セクションの最高速度は、1400 m/min に達する。品質保証のための板厚計や穴検出器などの機器は以前から自動化されたものが導入されているが、板表面の検査は検査者による目視によるものであった。検査を行うセクションの速度が高速であること、およびお客様が要求する板表面の品質レベルが非常に厳格化さ

れつつあることから、目視検査には限界が出てきた。そこで、自動表面欠陥検査装置を連続焼鈍ラインに設置し、板表面検査の自動化を図った。さらに合否判定機能、装置の信頼性を確保するための日常点検機能といった JFE スチール独自の機能を付加することで、板表面の品質保証体制をより強固なものとした。

## 2. 表面欠陥検査装置の概要

表面欠陥検査装置にはレーザー式やリニア CCD カメラを用いた方式、エリア CCD カメラを用いた方式など、さまざまなタイプのもがある<sup>2-5)</sup>。その中で、レーザー式は従来鉄鋼業で採用されてきたが、検査用に照射するレーザーのスポット径制約から、高速ラインでは十分な性能が得られない問題があった。そこで、高速ラインでも十分な分解能が得られ、かつ凹凸性欠陥だけでなく模様性欠陥に対しても欠陥検出能が高く、さらにエリア CCD 式と比較し検出視野内で均一な検出性能が得られるリニア CCD 式を採用した<sup>6-8)</sup>。

装置の仕様を決定するために、まず表面欠陥の種類や重度から欠陥を **Table 1** に示すように必ず検出しなければならない欠陥(MUST)および可能であれば検出したい欠陥(WANT)に分け、MUST の欠陥を検出できるかどうかをオフラインでテストを行い、カメラ角度と分解能を決定した。カメラは、正反射カメラと乱反射カメラからなる。これは角度の異なる2種類のカメラを用いることで欠

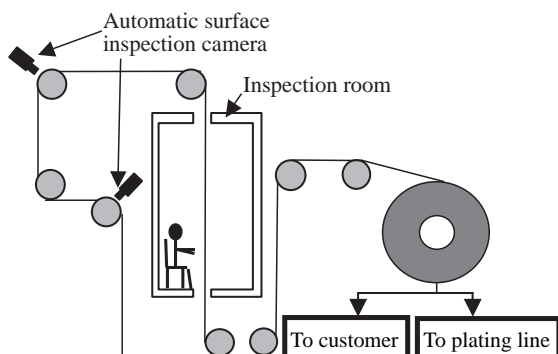


Fig. 1 Layout of delivery section of continuous annealing line

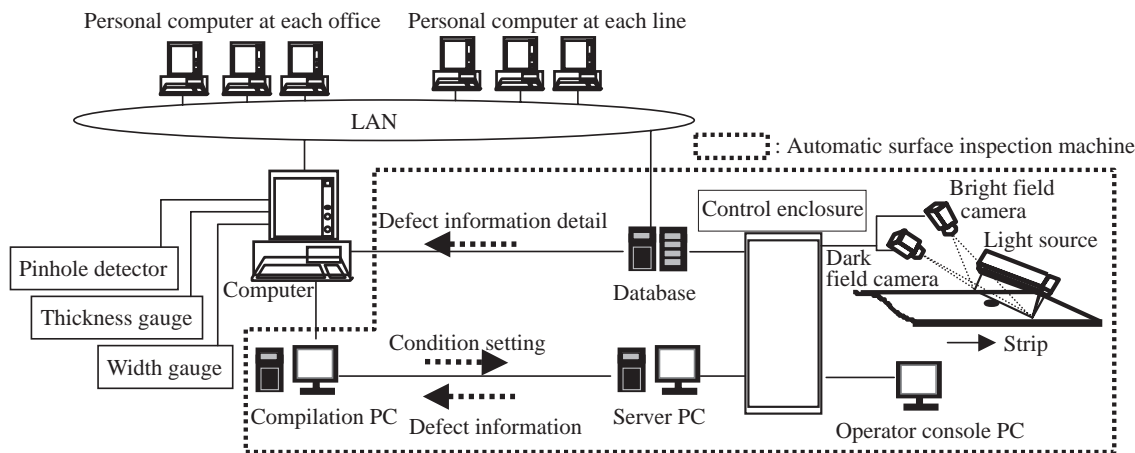


Fig. 2 System configuration of automatic surface inspection machine

Table 1 Classification of request for detect defect

Defect type	Pattern	Slight ← Level → Heavy				
		A	B	C	D	E
Defect A	Suddenly	W	M	M	M	M
Defect B	Cyclic	W	W	M	M	M
Defect C	Continuously	Z	Z	Z	Z	Z

Detect demand

M : Must      W : Want      Z : Needless

Table 2 Surface inspection machine specifications

CCD Camera type	CCD Line scan camera Resolution : 2 048 pixels Data rate : 40 MHz
Camera number	<ul style="list-style-type: none"> <li>Top 8 cameras bright/dark field</li> <li>Bottom 8 cameras bright/dark field</li> </ul>
Field of view	1 300 mm
Resolution	Cross-web : 0.17 mm Down-web : 1.25 mm
Light source	Halogen lamp

陥の検出能力を向上させ、かつ、それぞれのカメラで撮像する欠陥の特徴量を用いることで、欠陥種類の判定機能の精度を向上させるためである。さらに、板幅方向の必要分解能を確保するため、幅方向4台のカメラを設置（両面合計で16台）することにより、板幅方向0.17 mm×長手方向1.25 mmの分解能を達成した（Table 2）。

Fig. 2 に装置の構成を示す。装置は、上記のように正反射、乱反射2つのカメラを用いて欠陥画像を捉え、特徴量計算、疵種判定、過検抑止をソフトで処理することを特徴としている。疵候補を抽出するしきい値は6種を使用している。その一例を紹介する。

地合追従しきい値は面状の比較的凹凸の少ない欠陥抽出に適し、微分しきい値は凹凸のある微小な欠陥抽出に、長手方向積分しきい値は線状欠陥の抽出に有効である。これ

Table 3 Judgment of the coil results

Defect ratio allowance	Slight ← Defect level → Heavy				
	A	B	C	D	E
① Level-A	Under percentage of X1		Under percentage of Y1		0%
② Level-B	Under percentage of X2		Under percentage of Y2		0%

らのしきい値は、検出目標の欠陥が確実に抽出できるレベルまで下げて設定される。

このような設定をすると、ノイズ（無害疵）も欠陥候補になるが、この対策として特徴量を用いた疵種判定と、過検出抑止機能により無害疵と有害疵を分離することで、確実に検出・判別が可能となる。

なお、実際に用いている特徴量は120種にのぼる。また、検査結果はデータベースへ保管され、その欠陥データは製鉄所内のネットワークを通して事務所や他ラインのパソコンでの閲覧が可能となっている。

また、Table 3 に示すように、欠陥混入率のデータおよび製品仕様ごとの合否判定基準により、上位計算機では製品の合否判定を実施している。

### 3. 表面欠陥検査装置の性能

表面欠陥検査装置の検出能力を Table 4 に示す。検出能力を評価するにあたっては、まずサンプル欠陥にて疵種および疵等級の決定木方式の判別ロジックをオフラインで作成した後、実際に複数のコイルを通板し、それらを後工

Table 4 Detection ability

Item	Result
Detection rate	95.5%
Defect type accord rate	92.9%
Defect level accord rate	93.3%

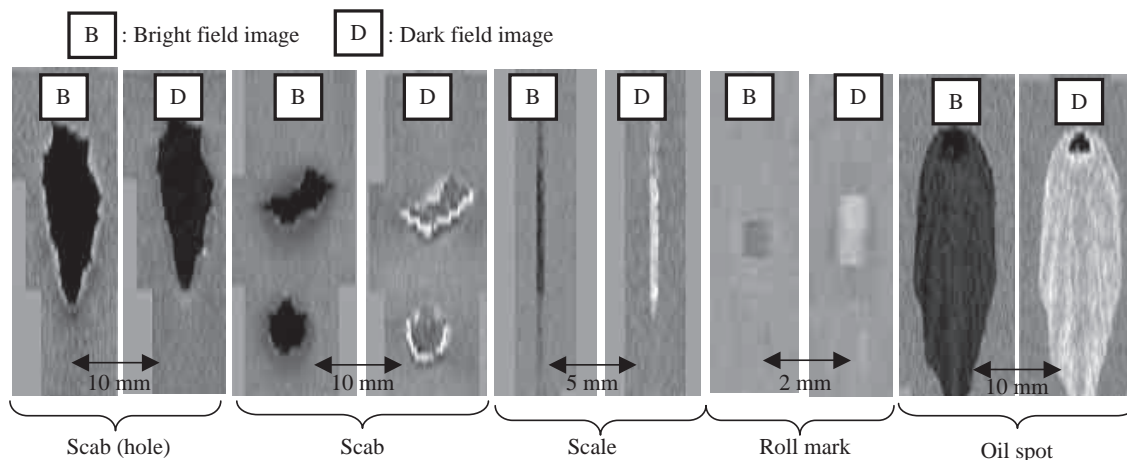


Photo 1 Example of the defect image

Table 5 Defect type accord

Person Machine	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
① Scab	26	0	0	0	0	0	0
② Sliver	3	30	2	0	0	0	0
③ Scale	1	1	45	1	1	0	0
④ Gauge	1	0	0	12	0	0	0
⑤ Scratch	0	0	2	0	20	0	0
⑥ Roll mark	0	0	0	0	0	28	1
⑦ Oil Spot	0	0	0	0	0	1	21

☐: Defect type of machine detected was in accord with actual type.

程で目視検査することで、一致率を評価した<sup>9,10)</sup>。また、同様な方法で過検出についても問題のないレベルであることを確認した。

疵種の一致率の状況を **Table 5** に示す。表中の数字は欠陥検出個数であり、対角線の色付けした部分が表面検査装置と実際の疵種類が一致した個数を表している。

また、検出した欠陥画像の例を **Photo 1** に示す。このように目視に近い画像が得られることも本装置の特長で、これらの画像もデータベースに保存され有効に活用している。

#### 4. 検査装置の維持管理

製品の合否判定に本装置の検出結果が利用可能になったことで、本装置は品質保証になくてはならない機器の位置付けになっている。そのため、維持管理の仕組みが信頼性確保の観点から重要である。

##### 4.1 精密点検方法の確立

本装置の精度維持のポイントは、正反射、乱反射の角度の異なるカメラが常に所定の感度で同一位置を撮像するこ

とである。そのために、独自の人工欠陥を製作し、それを用いた調整を行っている。この調整は、カメラを交換した場合や、後述する日常点検で異常が判明した場合に実施しているが、これとは別に期間を決めて周期的に実施し、検査精度が維持されていることを確認している

##### 4.2 日常点検方法の確立

品質保証計器として運用すると、点検時の精度が許容範囲外になった場合、前回の正常な点検時までさかのぼり、その間処理した製品を不良懸念材として保留する必要がある。そのため、短周期で容易に点検する仕組みが必要である。その方法として、溶接部のパンチ穴を用いた点検方法を確立した。連続ラインの先行材と次材間には、板幅方向に溶接部とパンチ穴が存在している。これらを利用して検査装置の精度をオンラインで確認する機能を設けた。

通常、溶接部周辺は調質圧延の非定常部であることから、製品の扱いでなくなるため未検査範囲とするが、日常点検時には、同範囲を検査範囲とし、溶接部周辺の画像 (**Photo 2**) を用いた点検手法を構築した。(1)パンチ穴の径、穴間距離のチェックによる長さの点検、(2)パンチ穴の濃度変化(色の変化)のチェックによる明るさの点検を実施している。これにより、検査装置のオンライン日常点検を可能にした。これらの作業はすべて標準化され、現在は、1回/1日以上以上の頻度で点検を実施し、検査装置の精度を管理している。

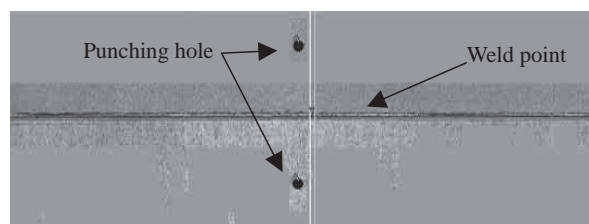


Photo 2 Weld point image for daily check

## 5. 効果

表面検査装置導入により、欠陥の流出を防止することができ、板表面品質不適合のクレームは約 1/20 に減少した。また、合否判定を自動化することで判定のばらつきをなくし、品質の安定化を達成した。

## 6. 結言

- (1) 1 400 m/min の環境下において板幅方向 0.17 mm×長手方向 1.25 mm の分解能を有する検査装置を導入し、疵検出率 95.5%を達成した。
- (2) 装置は疵種を判定機能を向上させるために正反射、乱反射の 2 種類のカメラを有し、ソフトで疵種判別を行うが、その疵種類一致率および疵等級一致率はそれぞれ 92.9%、93.3%を達成した。
- (3) 人工欠陥による装置の調整方法及びコイルの溶接点を利用した日常点検方法を確立することで、装置の精度維持管理体制を確立した。
- (4) 自動表面検査装置の導入により、板表面品質のクレームが 1/20 に減少し、品質を安定化した。

### 参考文献

- 1) 大野浩伸, 八角忠明, 下山雄二, 大西建男, 中村武尚, 千野俊彦. ぶ

- りき原板用高速連続焼鈍設備と操業. 川崎製鉄技報. vol. 23, no. 4, 1992, p. 300-307.
- 2) 虎尾彰, 福高善己, 戸村寧男. 鋼板表面品質のオンライン計測および検査技術. 川崎製鉄技報. vol. 31, no. 4, 1999, p. 205-210.
- 3) 奥野眞, 虎尾彰. 鉄鋼業における目視検査の自動化. 計測と制御. vol. 37, no. 7, 1998, p. 516-520.
- 4) 相澤均, 福高善己, 増野豊彦, 三宅秀和. 冷延鋼板の表面欠陥検査システム. 鉄と鋼. vol. 79, no. 7, 1993, p. 95-102.
- 5) 吉原敦, 田中宏幸. CCD 超高速画像処理型疵検査装置の CAPL への適用. 材料とプロセス. vol. 3, 1995, p. 370.
- 6) Badger, J. C.; Enright, S. T. Automated surface inspection system. Iron and Steel Engineer. vol. 73, no. 3, 1996, p. 48-51.
- 7) 奥野眞, 虎尾彰, 戸村寧男, 辻本雅己, 大井啓二. 酸洗鋼板表面疵検査装置の開発. 材料とプロセス. vol. 12, 1999, p. 286.
- 8) 設楽久敬. 欠陥検査システムの戦略的活用. オートメーション. vol. 46, no. 4, 2001, p. 20-28.
- 9) 山崎拓也, 戸村寧男, 野崎卓也, 金子智弘. 欠陥マーキングを用いた品質保証システム. 材料とプロセス. vol. 15, 2002, p. 924.
- 10) 平田丈英, 浅野一哉, 戸村寧男, 丹治雅之, 足立修一. 表面疵検査装置における疵種・等級判定ロジックの自動作成技術. 材料とプロセス. vol. 17, 2004, p. 969.



佐々木聡洋



高田 英紀



戸村 寧男