

ステンレス酸洗鋼板の微小スケール残り検査装置の開発

Development of Inspection System for Tiny Scales on Stainless Steel Sheets after Pickling

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 主任部員（副課長）
岡野 陽祐 OKANO Yosuke JFE スチール 日本製鉄所（千葉地区）ステンレス部ステンレス技術室
山平 尚史 YAMAHIRA Naoshi JFE スチール スチール研究所 計測制御研究部 主任研究員（係長）

要旨

JFE スチール 東日本製鉄所（千葉地区）ステンレス工場では、熱間圧延ステンレス鋼板を焼鈍後、酸洗で鋼板表面のスケールを除去している。鋼板表面に残る可能性があるスケールは、微小サイズで既存の表面検査装置ではすべてを検出できないため、ラインを停止して面検者がルーペを用いて目視検査していた。しかし、この検査方法では、検査範囲が限定的になる他、スケール残りを抑止する過剰な脱スケール条件で作業をする必要があった。製品の品質保証強化、操業の安定化を目的に、微小スケール残りを検出する検査装置を開発した。

Abstract:

In Stainless Steel Plant, East Japan Works (Chiba), JFE Steel, scale on the surface of hot-rolled stainless steel sheets is removed in pickling process after annealing. Inspection of the scale remained on steel sheet surface is very important. Since the scale defect is very small, the operators had to stop the line for manual inspection. However, the inspection area was limited, and the line speed had to be lowered. In order to improve these problems, JFE Steel has developed inspection system for tiny scales on stainless steel sheets after pickling.

1. はじめに

ステンレス鋼板は、熱間圧延鋼板を焼鈍後、酸洗で鋼板表面のスケールを除去し、検査セクションを経てお客様あるいは下工程へ出荷される。本製造工程でスケール除去が不十分な場合、鋼板表面に微小スケールが残る可能性があり、この状態で同製品を圧延すると、スケール残りが起因で表面に目立つ疵が発生する。そこで、微小スケール残りを自動で、確実に検査する検査装置を開発した。以下に、開発した「スケール残り検査装置」の測定方法、検査性能などについて紹介する。

2. スケール残り検査

ステンレス製造工程を図 1 に示す。ステンレス製造工場では、ショットブラストや酸洗槽で鋼板表面のスケールを除去している。しかし、操業設備のトラブルなど異常状態が発生すると鋼板表面にスケールが残る可能性が高くなる。スケール残り欠陥の外観例を写真 1 に示す。スケール残りの性状を光学顕微鏡で調査した結果、スケール残りは、1 mm 以内、0.1 mm オーダの微小な黒点の集合帯ということが判明した。

ライン出側、検査セクションに表面検査装置¹⁾はあるが、へげ、スリ傷などの欠陥を検出する光学系を採用、また、微小スケール残りを検出するには検査分解能が不足しているため、検出不可である。よって、スケール残りの検査は、写

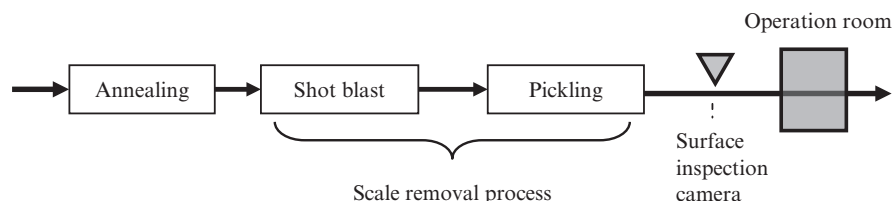


図 1 ステンレス製造工程
Fig. 1 Stainless steel manufacturing process

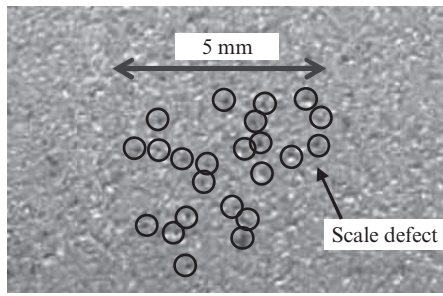


写真1 スケール残りの外観一例
Photo 1 Example of the scale defect



写真2 スケール残り検査状況
Photo 2 Inspection of scale defect

真2のように運転室の面検者が、定期的にラインを停止し、ルーペを用いた目視検査で対応していたが、どうしても検査範囲が限定的となる。また、全長にわたる検査ができないため、スケール残りを抑止すべく低速寄りの過剰な脱スケール条件で作業する必要があった。

外観検査のレベルアップによる品質の向上、操業の安定化を目的に、微小スケール残りの検査に特化した検査装置の開発に着手した。

3. スケール残り検査装置

3.1 光学系の選定

0.1 mm のスケール残りを検出するには、高分解能な撮像器が必要となる。また、検査対象のステンレス鋼板表面は性状が不均一で、ショット跡があるため、表面検査装置で適用している一般的な光学系では、地合ノイズを多数検出(過検出)する可能性が高く実用的な検査が困難である。これを踏まえ、スケール残り検査に適した光学系を検討した。

スケール残り欠陥サンプルを複数集め、これらを対象に検査照明と照射方法、およびカメラ仕様を変え、多種光学系の撮像テストを実施した。テスト結果の一例を図2に示す。図内A, Bの光学系でスケール残りは検出できる。しかし、表面凹凸部の影もスケール残り同様に黒点で撮像されるた

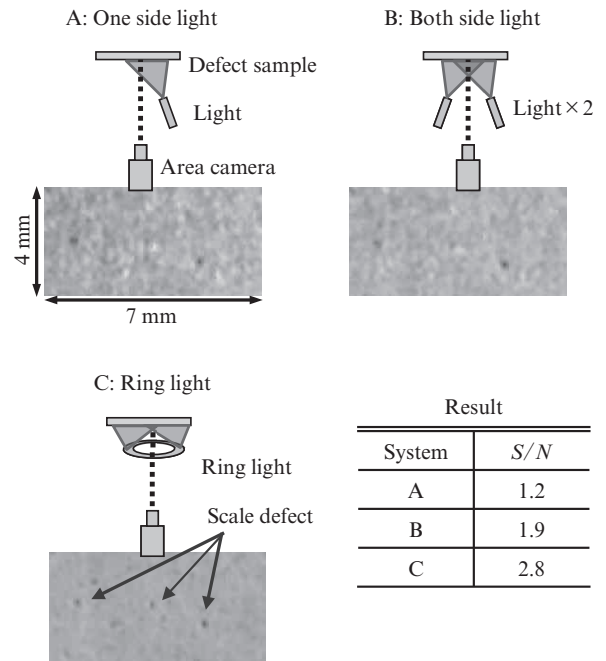


図2 スケール残り撮像テスト結果
Fig. 2 Results of scale defect imaging tests

め、低 S/N(欠陥 Signal と地合 Noise の比)となった。一方、照明にリング照明を採用し、照明の中心をカメラで撮像する光学系 C では、表面を多方向から照射するため、ショット跡など表面凹凸部の影を相殺できた。この結果、スケール残りが顕在化でき高 S/N が得られた。

3.2 検査照明の改良

JFE スチール 東日本製鉄所(千葉地区)ステンレス工場で製造する製品は多種あり、その一つに表面が鏡面状の外観厳格材がある。上記撮像テストでは、標準のリング照明を適用したが、図3に示すように鏡面状製品でスケール残りの S/N が低下する事例を発見した。この原因は、鏡面状製品は、他と比較して表面粗さが小さく、鏡面性が高いため正反射成分が強くなる。その一部がカメラに入り、地合ノイズが増大するためスケール残りの検出が困難になると推定した。

鏡面状製品でもスケール残りが検出可能な光学系について検討した結果、図4に示す方式が有効であることを見出した。リング照明の出射部にリング状の遮光板を取り付け、鋼板上のカメラ視野部を完全に暗視野にする構成である。この遮光板は、黒アルマイト処理したアルミ製のリングを用い、光を完全に遮断している。これにより、カメラには正反射成分の光が入らず、スケール残り欠陥の S/N 向上が確認できた。本方式では、リング照明の光を遮光するため、照度が低下する欠点がある。図3の一般的なリング照明と比較し、カメラ受光強度は 1/8~1/10 まで低下する。これについては、高輝度なストロボ照明を適用することで検査に必

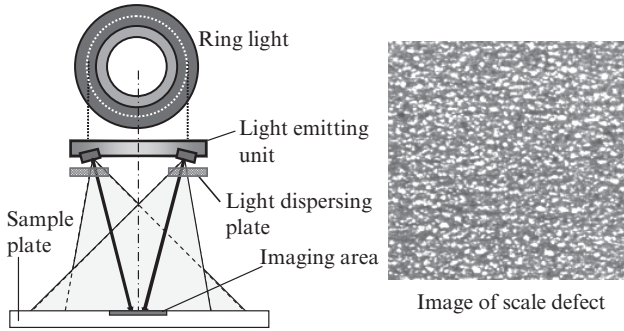


図3 標準リング照明適用時のスケール残り撮像テスト結果
Fig. 3 Result of scale defect imaging tests applying standard ring light unit

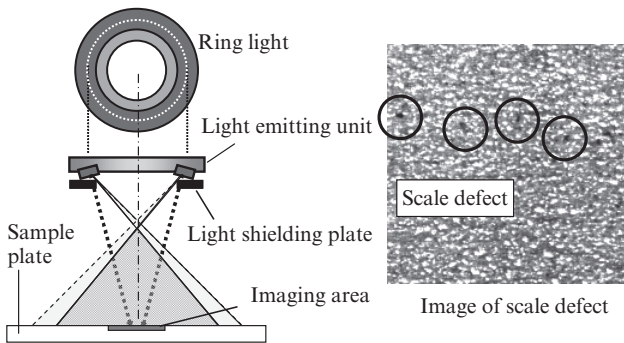


図4 改良リング照明適用時のスケール残り撮像テスト結果
Fig. 4 Result of scale defect imaging tests applying improved ring light unit

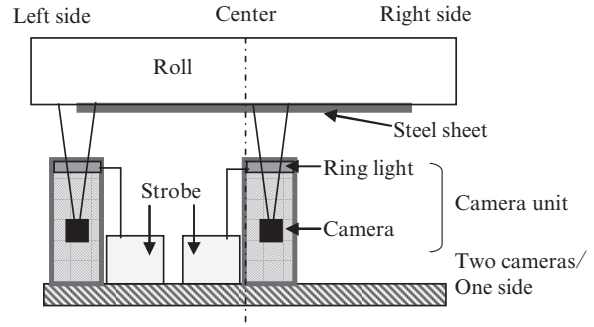


図5 検査装置検出部
Fig. 5 Detecting unit

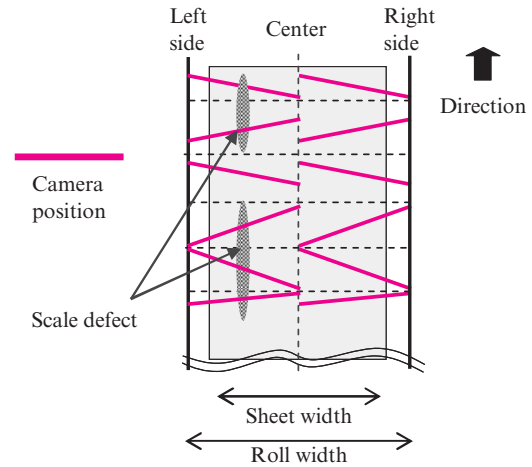


図6 シート上の検査範囲
Fig. 6 Inspection area on steel sheet

要な照度を確保した。

3.3 検出部構成

3.2節で開発した光学系をベースに実機に導入する検査装置を製作した。図5に実機の検出部構成、図6に製品の検査範囲をそれぞれ示す。

本検査装置は、カメラ視野を狭くして0.03 mm程度の検査分解能を確保する必要があるため、カメラと検査面の距離は100 mm程度と短くなる。導入当初、鋼板表面の全長全幅検査を検討したが、実現するには板幅方向にカメラが40台以上必要である。スケール残りは、進行方向の同幅位置に長期間連続的に発生する特徴があることから、カメラを2台/片面に配置し、カメラを板幅方向に一定速度で移動させる検査方式を採用した。

4. オンライン評価

4.1 スケール残り検査結果

スケール残り検査装置の実機導入後、対目視検査との比較で検査性能を確認した。結果の一例を図7に示す。同図

グラフの横軸は時間 (=シート測定長さ)、縦軸は検査装置が検出したスケール残り欠陥の画素数で、欠陥画素数が多ければ、図内 (b) Defect image のように画像内のスケール残り部が多いことを表す。検査性能の検証方法は、(1) 検査装置がスケール残りを検出した場合に、ラインを停止して目視検査を実施して結果を比較、(2) 従来どおりの目視検査でスケール残りを発見した場合、検査装置の検出状況と比較という2通りの方法で実施した。検査装置と目視検査の突合せを充分に実施し、検査装置は対目視検査で100%の検出を確認した。また、面検者が発見できなかったスケール残りの検出も確認できた。これらの結果から、図6に示す検査方法でもスケール残りに特化した装置としては十分な仕様であることを確認した。

検査状況は、図8のようにリアルタイムにマップ表示するようにした。表側 (Top) の同幅位置で、長手方向で連続的にスケール残りを検出していることが分かる。また、1画像内の欠陥面積が大きい重度な欠陥の場合は、マップの表示を変え (具体的には、軽度は緑色、重度は赤色) 面検者へのアナウンスに活用している。このように、従来は把握できなかったシート全体にわたるスケール残りの発生分布を

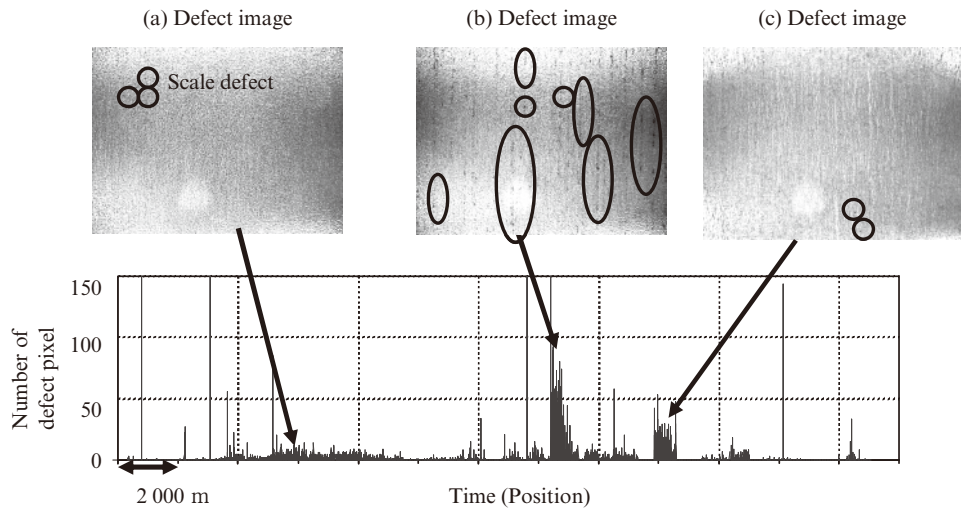


図7 スケール残り検査装置の検査結果例

Fig. 7 Example for result of inspection

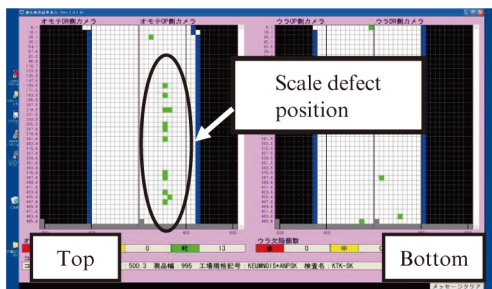


図8 検査結果表示画面

Fig. 8 Inspection display

定量的に示すことが可能となった。

4.2 検査性能の管理

表面検査装置が正常に機能していることを保証するには、日常点検方法を確立することが重要である。日常点検は、操業中に簡単に実施でき、かつ定量的に管理できることが望ましい。これら条件を満足する日常点検機能を本装置に導入したので紹介する。

日常点検は、検査性能を確認するため、カメラユニット内に組込んだ性能検証用のテストピースを撮像し、その撮像結果で得られる「平均輝度 (Average gray)」と「黒点画素数 (Black pixel)」を管理する運用とした。テストピースは、白色ガラスにφ0.2 mmの黒点を7ヶ所印字したもので、計4台のカメラユニットすべてに実装した。日常点検時は、テストピースを撮像し、写真3のような画像を取得する。なお、図内右はφ0.2 mmの黒点を12×12画素で拡大表示したものである。次に、テストピースの図内に示した範囲内で、検査しきい値を超えた画素数と平均輝度を算出し、検査装置の画面に表示する。

点検結果は、表1のように、計4台のカメラごとに、平均輝度と黒点画素数を表示する。平均輝度の値は、ストロボランプの経年劣化、カメラレンズの汚れなどが原因で、徐々に低下する。それに伴い、検出可能な黒点の検査レベルが低下していくため、黒点画素数の値も低下していく。

その他、カメラ異常、ピントのズレなどの異常が発生した場合も黒点画素数の値が減少する。カメラ、照明それぞれに器差があるため、同一の数値ではないが、カメラユニット単位で各数値を管理することで、異常の予兆と傾向を把握することが可能となる。

また、日常点検の実行は、ボタン操作で開始し、カメラ回避、テストピースのセット、撮像、結果表示の一連の動作を

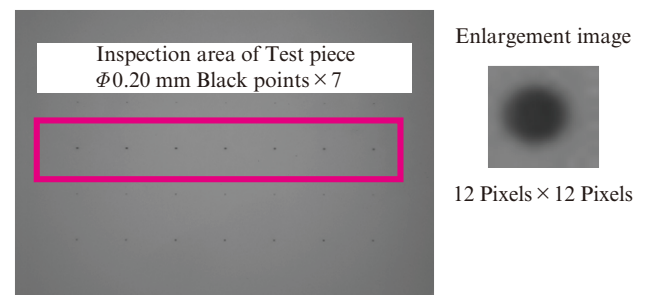


写真3 テストピース撮像画像

Photo 3 Image of test piece

表1 テストピース撮像結果

Table 1 Result of inspecting test piece

	Camera 1	Camera 2	Camera 3	Camera 4
Average gray	90.6	94.0	93.2	85.0
Black pixel	174	191	182	178

自動で行ない、約20秒の短時間で完了するようにした。現在、1回/1日の頻度で日常点検を実施し、平均輝度と黒点画素数の数値を記録、管理している。これらの数値には、管理値と限界値を設定しており、管理値を下回るとアラームを出力し、限界値になる前に点検、整備を行なう。また、長期間のデータを管理することで、ランプ交換、定期メンテナンス時期を決定し、検査装置の長期安定稼働を実現している。

5. おわりに

リング照明を用いた光学系を採用し、カメラを板幅方向に移動する構成で、微小スケール残りを検出する検査装置を開発した。本装置は、JFE スチール 東日本製鉄所（千

葉地区）ステンレス工場で稼働中であり、製品の品質保証に大きく貢献している。

参考文献

- 1) 佐々木聡洋, 高田英紀, 戸村寧男. JFE 技報. 2006, no. 12, p. 13-16.



高田 英紀



岡野 陽祐



山平 尚史