

# ぶりき用調質圧延ラインのロール疵検出装置について

## Development of Surface Detector on No. 3 Tin Temper Mill (3TMP)

茂野 雅彦 SHIGENO Masahiko JFE スチール 西日本製鉄所(福山地区) 錫鍍金部錫鍍金技術室 主任部員(係長)  
 山内 賢志 YAMAUCHI Kenji JFE スチール 西日本製鉄所(福山地区) 制御部表面処理制御室長  
 天沼 陽介 AMANUMA Yosuke JFE スチール 西日本製鉄所(福山地区) 冷延部第一冷延工場 統括マネージャー

### 要旨

JFE スチール西日本製鉄所(福山地区) No.3 調質圧延ライン(3TMP) に設置したロール疵検出装置について紹介する。本装置は、CCD (charge coupled device) による検査を行っており、ロール疵の特徴である周期性に着目し独自に開発した欠陥判定方式を適用している。これによって、周期信号のみ欠陥認識を行うことにより、従来ではノイズ信号強度以下であったために検出できなかった微小欠陥についても検出可能となった。

### Abstract:

A newly developed roll-surface defect detector for No. 3 tin temper mill at JFE Steel's West Japan Works (Fukuyama) is introduced. All-purpose charge coupled device (CCD) detects defect images and original logic judges correctly as roll defects based on its cyclical nature. It enables us to detect even tiny roll surface defects under noise strength level which were regarded as impossible to detect by conventional methods.

### 1. 緒言

西日本製鉄所(福山地区) 錫鍍金部錫鍍金工場は、飲料缶や食缶に用いられるぶりき材およびぶりき原板を中心に製造している。

飲料缶や食缶用途においては内容物適性(耐食性)、強度、加工性に加え、意匠性(表面性状)に対しても、年々品質要求が高くなっている。このような要求を満足するために、さらなる QA (品質保証: quality assurance) 向上が必要不可欠である。

### 2. ロール疵検査装置設置の必要性

ぶりきおよびぶりき原板の QA 向上を阻害する重要因子の一つとしてロール疵が挙げられる。西日本製鉄所(福山地区) No.3 調質圧延ライン(3TMP) は、圧延中に異物の飛び込みによる「ロール疵」と呼ばれる欠陥が生じるこ

とがある。ロール疵の特徴として、ワークロール径ピッチで鋼板に転写することがあげられる(Fig. 1)。この欠陥は、高速ラインであるがゆえに自ラインでの走間検査では発見しにくく、次工程以降で発見されリジェクトとなることが多い。つまり、ロール疵は鋼板の全長にわたって、ロール径に応じた一定の周期を持って発生し、いったん発生すると大量発生につながる極めて有害な欠陥であるにもかかわらず、高速操業下における走間検査では発見が非常に困難である。そのため、ロール清掃や組替による疵防止対策が遅れ、製品採取率低下については、納期遅れの主要因となっているのが実情であった。

これら課題を解決し、さらなる QA 向上を図ると同時に、欠陥格落低減による品質向上を達成すべくロール疵検査装置を設置した。

本装置設置における目標値として、欠陥程度が重いロール疵に対して、90%以上検出および欠陥格落率半減をあげた。

本報では、ロール疵検査装置導入に際しての開発内容と

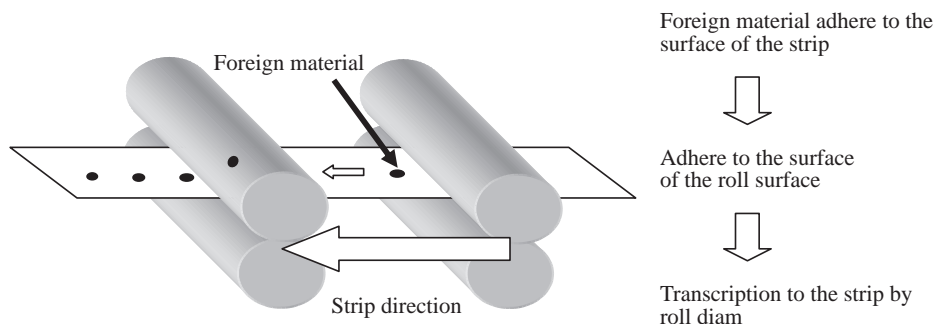


Fig. 1 Mechanism of roll mark

導入後の結果について述べる。

### 3. 福山地区 No. 3 調質圧延ライン設備概要

福山 3 TMP は、1 対の作動ロール (work roll) とバック・アップロール (back up roll) が、一直線上に積み上げられた 4High-2Stand (4Hi-2Std) 式のミルである。基本仕様を Table 1、2 に、ライン概略図を Fig. 2 に示す。

### 4. ロール疵検出に必要な性能と開発内容

#### 4.1 高速処理, 高分解能化

前述したように、3TMP はライン速度 1 500 m/min の高速ラインである。一方、検出対象欠陥であるロール疵は、0.5 mm φ 程度の欠陥である。このような高速ラインでの表面検査を可能とするには、欠陥信号処理速度の高速化と同時にカメラ分解能の向上が必要となる。

汎用 CCD 型欠陥計に代表される従来の欠陥計は、処理速度 (周波数) が遅かったゆえに、幅方向分解能と長手方向分解能の両立ができず高速ラインへの適用がなされ

Table 3 The suitable condition of camera resolution

| Case | Pixel | Amount | Resolution (Crossweb) | Resolution (Downweb) | Judgement        |
|------|-------|--------|-----------------------|----------------------|------------------|
| 1    | 1 024 | 4      | 0.32 mm               | 0.64 mm              | Adoption         |
| 2    | 2 048 | 2      | 0.32 mm               | 1.28 mm              | Resolution: Less |
| 3    | 2 048 | 4      | 0.16 mm               | 1.28 mm              | Resolution: Less |

Defect size: Minimum φ0.5 mm  
 Camera frequency: 40 MHz  
 Inspection view: 1 290 mm (Production maximum + 20 mm)  
 Inspection speed: 1 500 m/min

ていなかった。しかしながら、近年の CCD 型欠陥計の進歩<sup>1)</sup>は著しく、処理速度が大幅に向上してきた。従来の周波数が 10~20 MHz であったが、最新カメラの周波数は、40 MHz となった。つまり、1 s に  $40 \times 10^6$  画素の処理が可能になったのである。

たとえば、ラインセンサーカメラ (1 次元走査) で、1 024 ビットを使用した場合は、 $40 \times 10^6$  画素 / 1 024 = 39 062 スキャン/s が可能となる。1 500 m/min = 25 m/s であることから、1 スキャンあたり、0.64 mm となる。これが長手方向の分解能となるのである。

また、幅方向分解能は、カメラの台数、ビット数の増加によって向上する。3TMP ラインの最大通板サイズが 1 270 mm であるため、4 台使用した場合には 1 台あたり 1 270 mm / 4 台 = 317.5 mm となる。カメラビット数が 1 024 であることから、 $317.5 \text{ mm} / 1 024 = 0.31 \text{ mm}$  となり、これが幅方向の分解能になる。本開発において検出対象であるロール疵の大きさを考慮し、1 024 ビットカメラを 4 台使用することに決定した。Table 3 に各ケース毎の比較を示す。

#### 4.2 高精度化

高速ラインでの適用を実現するために、欠陥信号とノイズ信号との分離が必須となる。そこで、ロール疵の特徴である周期性に着目し、(1) 周期性欠陥判定機能の構築、および、(2) 欠陥判定しきい値の最適化を実施し高速ラインへの適用を実現した。

##### 4.2.1 周期性欠陥判定機能

ノイズに強い、新しい周期性欠陥判定機能<sup>2)</sup>を構築した。ある判定区区内で、同一周期欠陥を一定個数以上検出した場合に周期性欠陥と判定する。たとえば、判定区間を X 周期とし、判定個数を Y 個と定義した場合、X 周期分計測した時点で Y 個以上ピッチが一致した場合、周期性欠陥と判定する。概要を Fig. 3 に記す。仮に、Y 周期の時点ですべてピッチが一致していたら、その時点で周期性欠陥と判断する。一方で、同一周期欠陥が Y 個未満の場合には、周期性欠陥と判定しない。

Table 1 Line specification

|              |                       |                        |
|--------------|-----------------------|------------------------|
| Capacity     | 50 000 t/mouth        |                        |
| Line speed   | 1 500 m/min (maximum) |                        |
| Mill type    | 4High-2Stand          |                        |
| Work roll    | #1 Stand              | 500-414 × 1 425 mm     |
|              | #2 Stand              | 620-520 × 1 425 mm     |
| Back-up roll | #1 Stand              | 1 420-1 320 × 1 425 mm |
|              | #2 Stand              | 1 420-1 320 × 1 425 mm |

Table 2 Products size

|                  |              |                  |
|------------------|--------------|------------------|
| Strip thickness  | 0.08-1.2 mm  |                  |
| Strip width      | 508-1 270 mm |                  |
| Coil weight      | maximum 34 t |                  |
| Inside diameter  | Entry        | 508, 610 mm      |
|                  | Delivery     | 508, 610 mm      |
| Outside diameter | Entry        | maximum 2 340 mm |
|                  | Delivery     | maximum 2 340 mm |

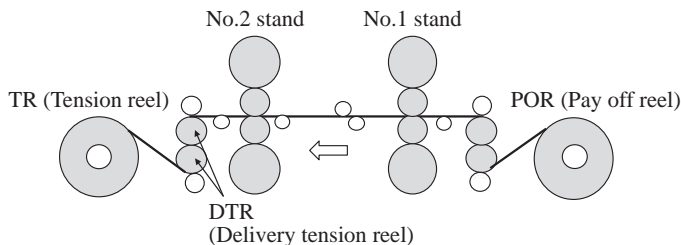


Fig. 2 Fukuyama No. 3 TMP

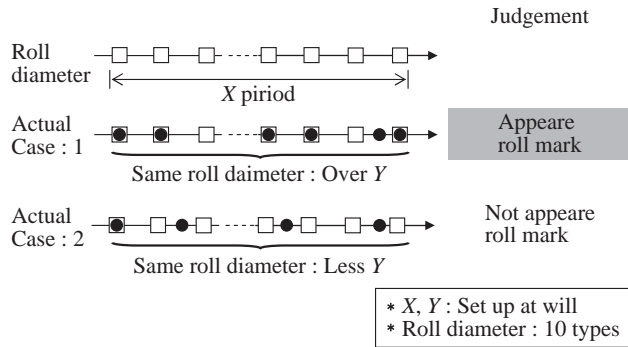


Fig. 3 Judgement mechanism of roll mark

XおよびYの値は、任意に設定可能となっている。また、ロール設定数は10通り可能としており、3TMPにて使用するワークロール径に合わせてあらかじめ設定されている。

この方法によって、演算機能の簡略化が実現できただけでなく、周期性のチェックを行うために一定強度以上の欠陥信号が連続発生しなくとも欠陥判定が可能となった。

従来方式では、幅方向の全信号を記憶した上で演算処理を実施していた。また、連続して一定値以上の信号強度が得られないかぎり、周期性判定ができなかった<sup>3-5)</sup>。

#### 4.2.2 欠陥しきい値の最適化

ノイズ信号と欠陥信号等との分離が難しい場合、欠陥しきい値は過検出を抑制するため、これら信号値以上の値を設定せざるをえなかった。このため、欠陥信号が弱い微小欠陥の検出は非常に困難であった。本装置では、周期性に着目したロジックを構築したことによってこの課題を克服することが可能となった。周期性のないもの（ノイズ信号を含む）は、欠陥認識を実施しないため、しきい値を極限付近まで下げても過検出の抑制が実現される。

つまり、従来品ではノイズ信号以下の欠陥検出が困難であったが、本装置では周期性に着目したことにより、ノイズとの分離が可能となった。これによって、ノイズ信号以下の微小欠陥検出が可能となった。Fig. 4に概略を示す。

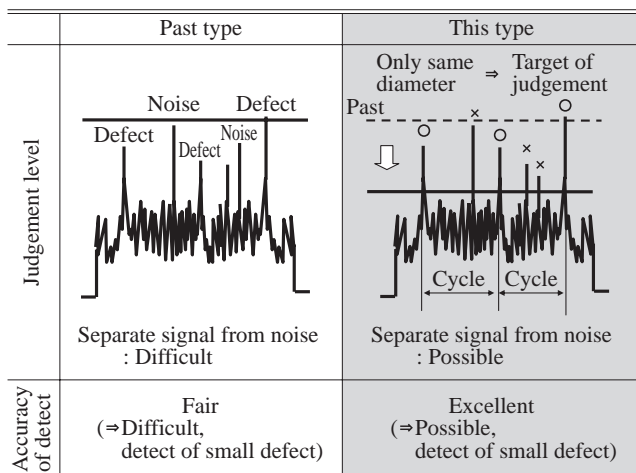


Fig. 4 The most suitable condition of judgement level

#### 4.2.3 画像データ保存機能

本装置のさらなる特徴として、周期性の有無にかかわらず欠陥信号は画像データとして保存できるようにした。

これによって、周期性がなくとも一時的に大きな信号が検出された場合に、それが何であったかが認識できる。

### 5. ロール疵検査装置の概要

#### 5.1 検査仕様

3TMP ロール疵検査装置の仕様をTable 4, 5, および, Fig. 5に示す。本装置は高性能 CCD カメラによる検査を実施しているため、鋼板の振動などにもなう外乱ノイズを防止すべく、出側のDTR (delivery tension reel) の上に設置した。また、ロール疵の約90%は表(オモテ)面での発生であることからオモテ面での設置とした。かかる配置によって安定した検査条件を確保した。

#### 5.2 欠陥判定ロジック

Fig. 6に欠陥判定ロジックを示す。

欠陥の判定方法として、(1)欠陥認識、(2)周期判定という2つの大きなプロセスを経て当該欠陥か否かを判定する。

欠陥認識としては、明暗処理、2次元積分処理(面積積分処理)、長手方向積分処理を備えている。事前検討の結果、

Table 4 Surface detector specification

|                  |                                  |
|------------------|----------------------------------|
| Camera           | 1 024 bit line sencer CCD × 4    |
| Inspection field | 1 290 mm (Production + 20 mm)    |
| Resolution       | 0.3 mm × 0.7 mm                  |
| Overlap          | 10 mm                            |
| Light source     | High frequency fluorescent light |

Table 5 Inspection condition

|               |             |
|---------------|-------------|
| Line speed    | 1 500 m/min |
| Rewind Length | 99 999 m    |
| Meander       | ± 10 mm     |
| Thrash        | ± 1 mm      |

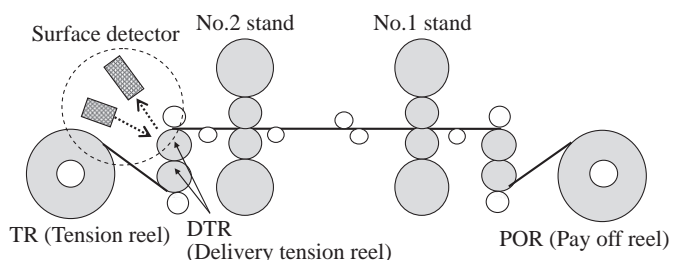


Fig. 5 Place of the "surface detector"

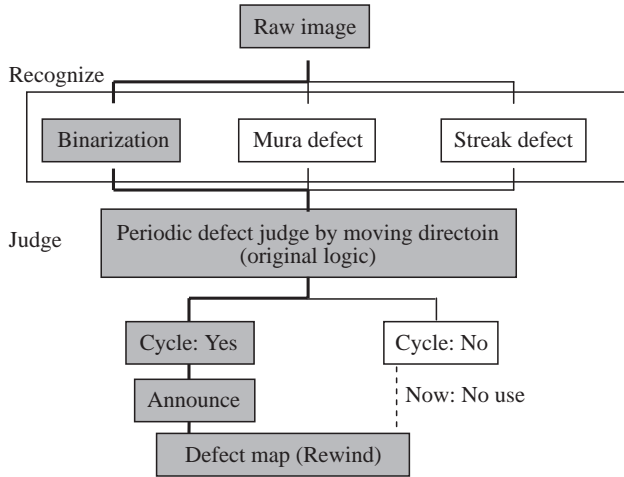


Fig. 6 Logic of defect recognize

ロール疵は明暗処理で検出することが分かっている。

一定のしきい値を超えた欠陥に対し、各信号のピッチを計測することで、周期性判定を実施している(4.2.1項)。ここで周期判定に合致した欠陥は、周期性欠陥(ロール疵)と判断され、ボイスおよびパトライト点灯によってオペレータが即時認知できる仕組みとなっている。

### 5.3 検査結果の記録

検査結果は欠陥発生位置がひと目で把握できるよう、A4サイズ一枚の逆展開表での打ち出しも可能とした。

## 6. 実機適用状況

### 6.1 オンライン確性結果

本装置のオンライン確性結果を Fig. 7 に示す。次工程で発見されたロール疵に対し、本装置が検出していたか否かを調査したものである。

各仕上げごとに、欠陥判定しきい値調整、周期判定ロジックの調整を実施し以下の結果が得られた。

欠陥程度の重いロール疵に対しては、97%以上の検出率となり目標値をクリアした。また、欠陥程度の軽いロール

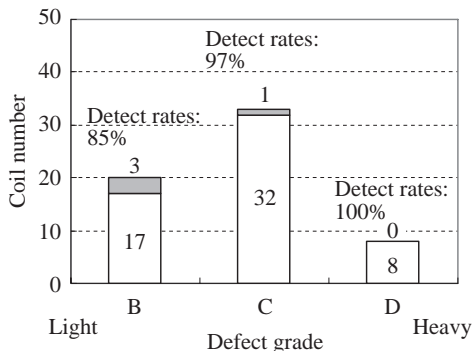


Fig. 7 Percentage of detect (Roll mark)

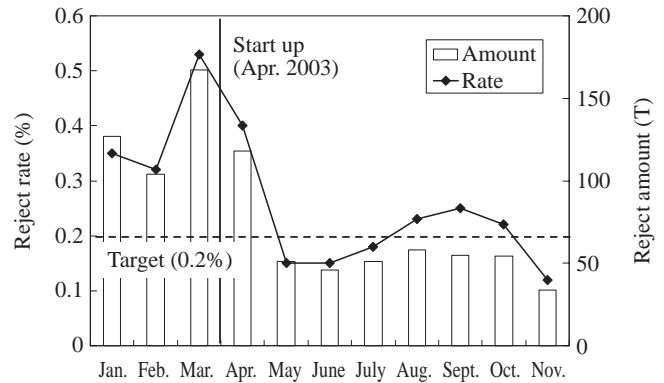


Fig. 8 Trainsition rate of out of grade

疵に対しても、85%の検出率を確保した。

### 6.2 ロール疵格落率推移

本装置の導入によって、欠陥発生時の早期対策が可能となった。この効果によって、欠陥格落率ならびに欠陥格落量が大幅に減少した(Fig. 8)。設置前は0.4%であったが、設置後は0.2%へと半減し、十分に効果を発揮した。

この背景には本装置の適用によって、早期発見が可能になり、従来不可能であった欠陥発生時のライン速度、発生位置など、定量的な把握が可能となった。これにより、発生防止に向けた効果的な作業方法を見出せた。

また、起因部の分析によって自工程だけでなく前工程にも情報をフィードバックし、ロール疵解消に向けて関係者一体となって取り組んだ成果でもあった。

## 7. 結言

本報での報告内容を以下にまとめる。

- (1) 周期性欠陥判定機能を構築することで、欠陥信号とノイズとの分離が大幅に改善された。このため、欠陥検出精度が向上し、欠陥程度が重いロール疵を97%以上検出することが可能となり、当初の目標をクリアすることができた。また、残り3%については従来どおり、次工程での目視検査によって、品質維持を図ることとした。
- (2) 独自に欠陥判定技術を構築したことで、汎用的なCCD型表面欠陥計の適用が可能であった。
- (3) 前述の効果によって、高速ラインへの適用を高精度を維持したまま実現することに成功した。
- (4) 本装置の導入によって、ロール疵発生時の早期対策が可能となり欠陥リジェクト率が半減した。

また、本装置<sup>6)</sup>の特長の一つとして、欠陥画像を保存している点が上げられる(4.2.3項)。この機能を周期性欠陥の起因部解析に役立てることが非常に効果的であると考える。

たとえば、ロール疵の発生起点の欠陥画像を調査した結

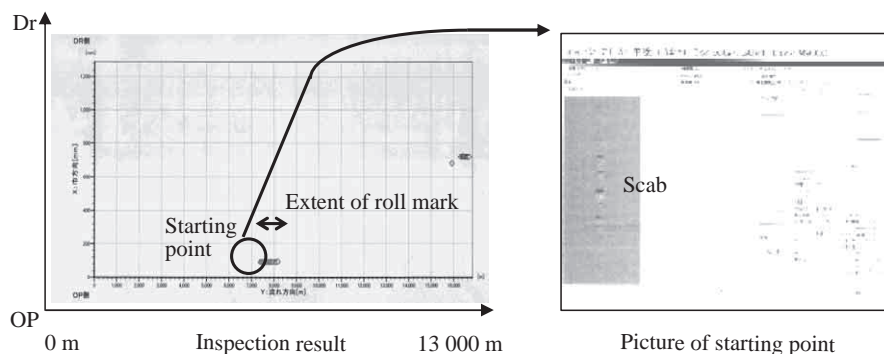


Fig. 9 The way of practical use by defect picture

果、へげ（鋼板表面に存在する、製鋼あるいは熱間圧延起因の欠陥）が存在していた事が認識できたとする。このケースを Fig. 9 に示す。つまり、ロール疵発生原因はへげ通過によるものと推定可能になるのである。

このように画像データ機能をロール疵の起因部解析に役立てることによって、3TMP ラインだけでなく前工程における対策を含め、ロール疵撲滅に向け有効活用していく所存である。

参考文献

- 1) 竹腰篤尚, 狩野久宣, 前田孝三, 榑田靖夫, 岩永賢一. NKK 技報. no. 152, 1995, p. 50.
- 2) 山内賢志. 表面疵検査装置の実用化対策. 計測技術. 1996-02.
- 3) 東京芝浦電気. 深沢千秋. ロール疵検出装置. 特開昭 58-156842. 1983-09-17.

- 4) 東芝, 川崎製鉄. 西邑誠吉ほか. 周期性疵検出装置. 特開平 01-232258. 1988-09-18.
- 5) 新日本製鉄. 田中宏幸. 金属表面欠陥検査装置. 特開平 07-198627. 1995-08-01.
- 6) JFE スチール. 茂野雅彦, 山内賢志, 天沼陽介. 周期性疵検出方法および装置. 特開 2005-241356. 2005-09-08.



茂野 雅彦



山内 賢志



天沼 陽介