

# 鉄鋼圧延ライン向け穴検査装置 TOSPECTRON-FCP・A

TOSPECTRON-FCP・A Hole Detector for Steel Rolling Lines

竹村 将太      中尾 努      川島 優樹  
 ■TAKEMURA Shota      ■NAKAO Tsutomu      ■KAWASHIMA Yuki

圧延計測機器は、鉄鋼の圧延プロセスにおいて、熱間圧延ラインなどの上流工程から表面処理ラインなどの下流工程までの全工程で、鋼板の厚さや、幅、形状、表面欠陥など幅広い計測に使用され、高精度かつ高信頼性が求められる。

東芝は、放射線や光応用技術を用い、鋼板の形状や、表面欠陥、穴の有無などに対する高い測定精度と精密な検査性能を備えた圧延計測機器を提供している。今回、CoaXPress規格に準拠した高速・高分解能ラインセンサカメラを適用し、高感度な穴サイズ識別機能やトラブルシューティングに有効な穴画像保存機能を備えた新型穴検査装置 TOSPECTRON-FCP・Aを開発した。

Rolling line measuring instruments are key quality management equipment in a steel rolling mill, ensuring high quality and high reliability. They are widely used to measure the thickness, width, shape, and surface defects of products at all stages of production, from upstream processes such as the hot rolling line to downstream processes such as the surface processing line.

Toshiba has been developing and supplying rolling line measuring instruments offering high measurement accuracy and precise performance inspection for a broad range of applications based on its proprietary radiation detection and optical sensing technologies. We have now developed the TOSPECTRON-FCP・A, a new hole detector incorporating a hole size judging function with high resolution as well as a hole image storage function effective for troubleshooting, applying cameras with high speed and high resolution compliant with the CoaXPress (CXP) high-speed point-to-point serial communication standard for the transmission of image data.

## 1 まえがき

鉄鋼の圧延プロセスにおける圧延計測機器の適用範囲は、熱間圧延ラインなどの上流工程から表面処理ラインなどの下流工程に至る全工程にわたっている(図1)。圧延計測機器は、圧延中の鋼板の厚さや、幅、形状、表面欠陥、穴の有無などの計測と検査に使われ、鉄鋼の圧延プロセスにおける重要な品質管理機器として位置づけられている。特にセンシングを行う検出部は、ライン内に設置されるため、高温多湿や、塵埃(じんあい)、振動などの劣悪な環境で連続稼働できる高い信頼性が必要とされている。これは、単なるセンシング技術だけでは実現できず、耐環境性能を確保するノウハウの獲得や、大型構造物をμmオーダーの精度で計測するための高度な機構設計が必要とされる。

東芝は、国内外の鉄鋼メーカーに対して様々な圧延計測機器を提供し、厚さや、幅、形状などの高い測定精度と表面欠陥や穴の有無の精密な検査性能を実現している<sup>(1),(2)</sup>。

鉄鋼の厚さ計測における代表的な手段は、X線やγ(ガンマ)線などの放射線を鋼板に照射し、反対側に透過する放射線量の減衰を検出する方法である。圧延ラインの測定空間に飛散する水や油が鋼板に比べて低密度であるため、この方法にはこれらの飛散物に起因する誤差が他の測定方法に比べて

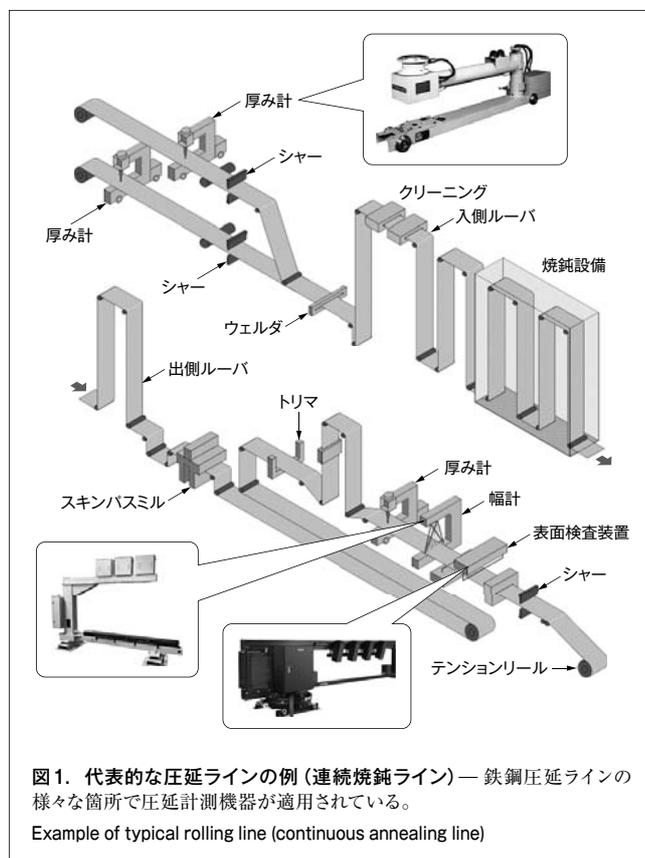


図1. 代表的な圧延ラインの例(連続焼鈍ライン) — 鉄鋼圧延ラインの様々な箇所では圧延計測機器が適用されている。  
 Example of typical rolling line (continuous annealing line)

小さいという特長がある。また、非接触測定であることや、被測定物を搬送する際の振動の影響を受けにくいなど、耐環境性能の利点が多いことから、鉄鋼の圧延ラインなどに多数採用されている。

鉄鋼の幅計測や、欠陥や穴の有無の検査には、光や磁気などを応用している。光応用技術を用いた計測機器では、センサーであるカメラ性能によって計測精度と検出分解能が左右される。そのため、CoaXPress規格に準拠する高速・高分解能ラインセンサカメラを適用した圧延計測機器のラインアップ拡充を進めており、今回、穴サイズ識別機能及び穴画像保存機能を備え、高付加価値材に対応した高品質化に有効な新型穴検査装置 TOSPECTRON-FCP・Aを開発した。ここでは、その概要と特長について述べる。

## 2 概要

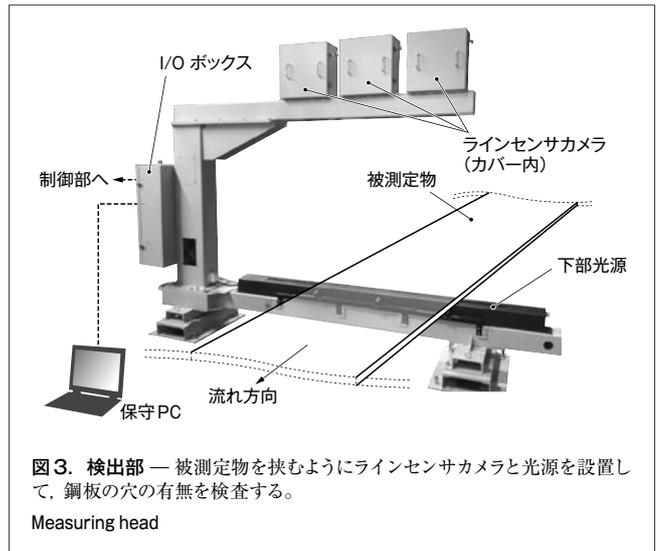
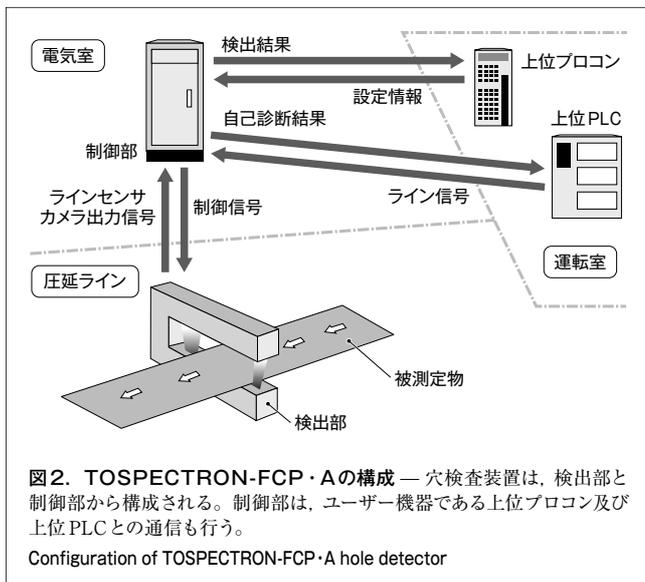
TOSPECTRON-FCP・Aの構成は、図2に示すとおり、検出部と制御部から成り、制御部はユーザー機器である上位プロセスコントローラ（プロコン）及び上位PLC（Programmable Logic Controller）との通信も行う。

### 2.1 検出部

TOSPECTRON-FCP・Aの検出部を図3に示す。

検出部は、高温多湿で油の多いライン内に設置されることから、高い耐環境性能が求められるため、耐油や防錆（ほうせい）などの施策が各所に施されている。

検出部のフレーム（Cフレーム）は、図3に示すように、アルファベットの“C”のような形状をしており、被測定物を挟むように、下部に光源が、上部に高速・高分解能ラインセンサカメラが組み込まれている。この光源とラインセンサカメラの間を通る鋼板の穴検査を24時間365日連続で行う。



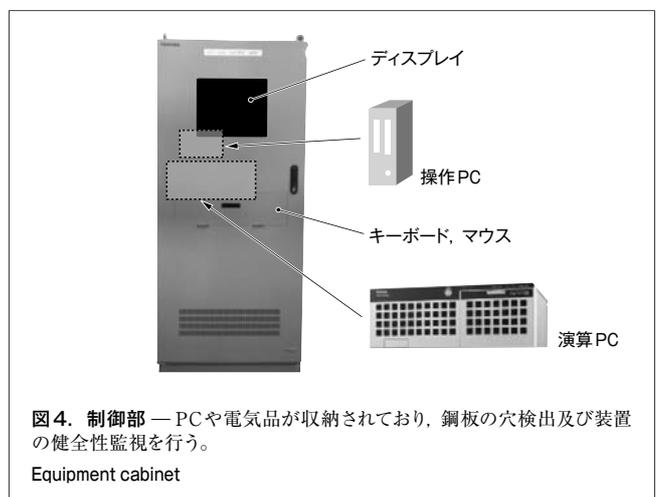
I/O (Input/Output) ボックスにはラインセンサカメラの電源や光源の電源などの電装部品、及びハブ (Hub) が内蔵されている。Hubには保守パソコン (PC) が接続されるとともに制御部と通信を行うLANケーブルが接続され、制御部にある演算PCからHubを介して受け取った情報を基に、保守PCでラインセンサカメラの画像波形や装置状態を確認しながら検出部の調整を行うことができる。

### 2.2 制御部

TOSPECTRON-FCP・Aの制御部を図4に示す。

制御部には、演算処理及びユーザー機器との通信を行う演算PC、演算結果の表示や操作を行う操作PC、及び制御用電気品が収納されている。制御部は穴検出処理を行う他、自己診断などで装置の健全性を監視している。

**2.2.1 演算PC** 検出部のラインセンサカメラから送られてきた画像を処理し、穴検出を行う。演算PCは複数台の高速・高分解能ラインセンサカメラのデータ処理を実施するため、クアッドコアプロセッサを搭載した当社製産業用コンピュータ



FA3100Sを採用している。ユーザー機器との通信も演算PCが行っており、上位プロコンから被測定物のコイル番号などの設定情報を受け取り、測定結果を編集して、上位プロコンへ出力する。また、上位PLCからライン信号として圧延ラインの情報を受け取り、自己診断結果などを上位PLCへ出力する。

**2.2.2 操作PC** 演算PCから測定結果や設定値を受信し、表示を行う。過去の検査結果や自己診断結果などのロギング機能が備わっており、鋼板製品の情報を管理できる。また、マニュアルモードに切り替えることで、装置単体でも稼働できる。

### 3 特長

TOSPECTRON-FCP・Aの主な仕様を表1に示す。穴検出感度は、既に圧延ラインに適用されている穴幅計<sup>(3)</sup>と同等である。

穴検出感度は、ライン速度、測定範囲、及び対象板厚によって制約を受けるため、ユーザーのライン仕様に合わせて光学系の設計を行っている。

#### 3.1 穴検出原理

2.1節で述べたように、検出部のCフレームには、被測定物を挟むように光源とラインセンサカメラが設置されているため、光源の光が被測定物で遮光されて撮像される。このとき、被測定物に穴があると、穴を通過した光をラインセンサカメラが捉え、穴と識別して検出する。

#### 3.2 穴サイズ識別機能

ユーザーが鋼板製品の品質グレードを決定するには、製品のどこの位置にどんな穴があるかの情報が必要となる。従来の穴検査装置での分解能は1(幅)×2(流れ方向)mmと非常に粗かったが、TOSPECTRON-FCP・Aでは高速・高分解能ラインセンサカメラを適用することにより、分解能が0.12(幅)×0.28(流れ方向)mmまで向上したため、穴のサイズを判定する機能を新規に追加した。

算出した穴サイズと設定しきい値とを比較し、大、中、小の3パターンの判定を行う。ユーザーにより、穴サイズ識別用のしきい値が異なるため、設定しきい値はパラメータ化してユーザーが設定できるようにしている。また、外乱ノイズを除去す

るために、ある一定の面積以上を穴と識別する機能も付加することができる。

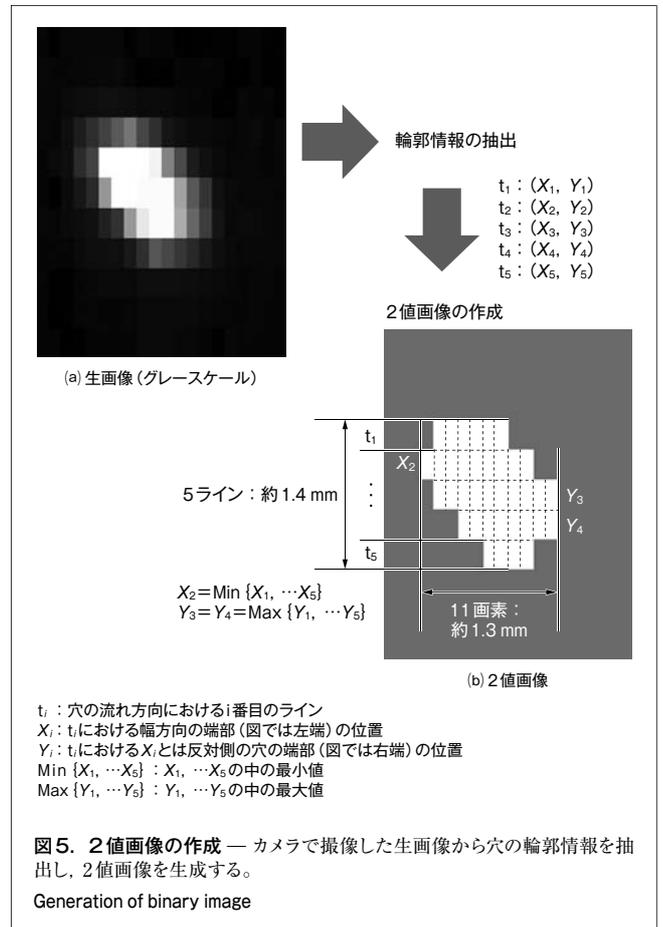
#### 3.3 穴画像保存機能

実績データは、最新約1年分のデータを時系列に保存している。ラインセンサカメラで撮像した生画像から、図5に示すように、穴の輪郭情報を抽出して2値画像を生成する。この2値画像を表示画像とし、ラインセンサカメラで撮像した穴画像をそのまま保存するとデータ量が膨大となるため、輪郭情報を実績データとして保存する。これにより、データサイズを小さくでき、多くの実績データを保存できるようになる。

実績データの画面表示例を図6に示す。表示したいコイルを選択すると、その実績画面が表示される。画面右下にある穴検出履歴欄のイベントには、検出した穴の情報として、コイル先端からの穴の位置、検出したラインセンサカメラ、及びサイズ判定結果が表示されている。

穴検出履歴欄からイベントを選択すると、そのイベントの穴サイズ・検出位置情報及び画像が表示される。穴サイズ・検出位置情報には、穴の幅と長さ、サイズ判定結果、及び幅方向の検出位置としてラインセンサカメラのピクセルアドレスが表示される。このピクセルアドレスから、穴の実際の位置が特定できる。

項目	仕様
測定範囲	400 ~ 1,550 mm
対象板厚	最大1.6 mm
穴検出感度	直径0.5 mm (板厚: 1.6 mm, ライン速度: 300 m/min以下)
演算周期	10 ms

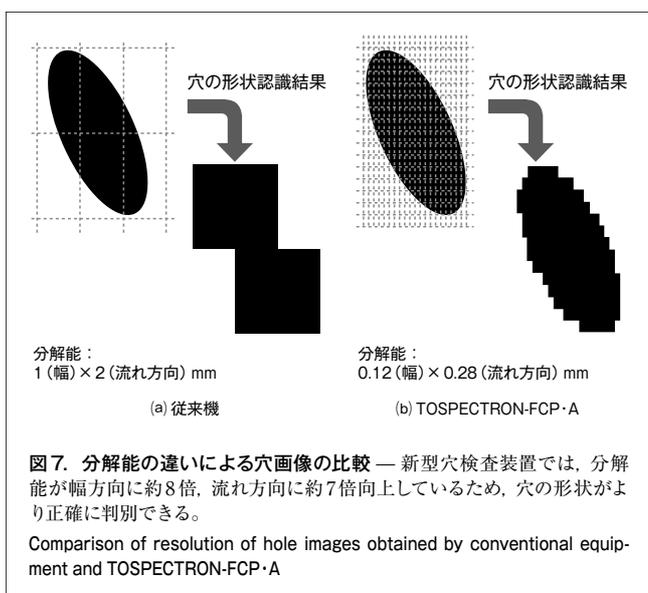




穴画像は、前述したように、2値画像で表示される。画面に表示する際には、保存されている実績データの輪郭情報から2値画像を改めて作成している。

穴画像は保存でき、穴検査装置のトラブルシューティングにも有効活用できる。例えば、下部光源上にごみが落ちていたり、鋼板表面に外乱光があったりして、穴が実在しないにも関わらず過剰に検出している場合に、再生画像の輪郭から誤検出の原因を分析できる。

鋼板表面のスケール<sup>(注1)</sup>、ヘゲ<sup>(注2)</sup>、ロールマーク、焼付き傷



(注1) 圧延プロセス前や圧延プロセス中などに、鋼板表面に生成する酸化第一鉄などの堆積物。

(注2) 素材内部の非金属介在物に起因する、表面が薄片状に剥がれている、あるいは剥がれかかっている傷。

などが甚だしい場合に穴となる。これらの穴発生メカニズムのうちロールマークと焼付き傷は、ロールに起因しているため、定ピッチで同じ形状の穴が発生する<sup>(4)</sup>。したがって、図7に示すような鮮明な画像で穴の形状を比較できると、傷の種類の特定に役立ち、製造プロセスへのフィードバックにも貢献できる。

## 4 あとがき

光応用技術を用いた計測システムでカメラを使用する機器では、計測精度と検出分解能がセンサであるカメラの性能によって左右される。そのため、CoaXPress準拠の高速・高分解能ラインセンサカメラを採用し、高精度な計測システムのラインアップを拡充してきた。既に適用を完了している穴幅計や形状計に加え、今回、穴検査専用装置へ適用し、ラインアップを完了させた。

## 文 献

- (1) 小原 哲. 新型X線厚み計 TOSGAGE™-8000Aシリーズ. 東芝レビュー. 64, 5, 2009, p.54 - 57.
- (2) 林 武史 他. 鉄鋼圧延ラインにおける光応用技術. 東芝レビュー. 66, 10, 2011, p.31 - 34.
- (3) 竹村将太 他. 鉄鋼圧延ラインにおける光応用技術 — 高速カメラを適用した穴幅計 TOSGAGE™-C2710BPS-A. 東芝レビュー. 68, 10, 2013, p.26 - 29.
- (4) 日本鉄鋼協会標準化委員会編. 冷延鋼板の形状及び外観きず用語の定義. 日本鉄鋼協会, 1980, 28p., (鋼材の外観きず用語集 ISIJ TR007-1980).



竹村 将太 TAKEMURA Shota

社会インフラシステム社 府中社会インフラシステム工場 パワーエレクトロニクス・計測制御機器部。圧延計測機器の開発に従事。

Fuchu Operations - Social Infrastructure Systems



中尾 努 NAKAO Tsutomu

社会インフラシステム社 府中社会インフラシステム工場 パワーエレクトロニクス・計測制御機器部主務。圧延計測機器の開発に従事。

Fuchu Operations - Social Infrastructure Systems



川島 優樹 KAWASHIMA Yuki

社会インフラシステム社 府中社会インフラシステム工場 パワーエレクトロニクス・計測制御機器部。圧延計測機器の開発に従事。

Fuchu Operations - Social Infrastructure Systems