

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

TOSGAGE™-C2710BPS・A Width Gauge System with Hole Detection Function
Applying High-Speed Cameras for Steel Rolling Lines

竹村 将太 中尾 努 梶原 辰也

■ TAKEMURA Shota ■ NAKAO Tsutomu ■ KAJIWARA Tatsuya

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検査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る。東芝は、放射線や光応用技術を用いた圧延計測機器を提供している。光応用技術を用いた計測機器では、その計測精度と検出分解能は使用するセンサによって左右される。

今回、高速ラインセンサカメラを適用した穴幅計 TOSGAGE™-C2710BPS・Aを開発した。マシンビジョン用途の高速の通信及び画像伝送に対応する CoaXPress 規格に準拠し、また画像処理性能の向上を図ることで、従来機種に比べて高分解能での穴検出を可能にした。更に、低消費電力化と環境負荷物質の削減も実現している。

Rolling line measuring instruments are widely used to measure the thickness, width, shape, and surface defects of the product at all stages of production in steel rolling mills, from upstream processes such as the hot rolling line to downstream processes such as the surface inspection line. Toshiba has been developing and supplying these instruments for a broad range of applications utilizing its proprietary radiation detection and optical sensing technologies. In the field of optical measuring instruments, measuring accuracy and detection resolution depend on the performance of the optical sensor employed in the instrument.

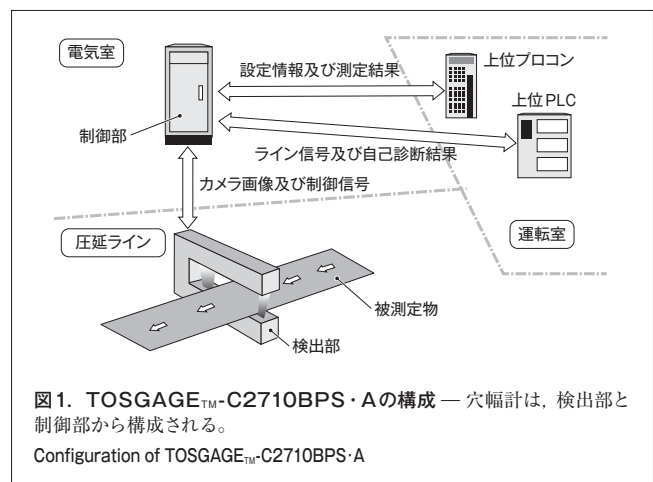
We have now developed the TOSGAGE™-C2710BPS・A, a new width gauge system with a hole detection function that realizes hole detection at higher resolution compared with conventional instruments. This has been achieved both by the use of high-speed cameras compliant with the CoaXPress high-speed image data transmission standard mainly for machine vision applications, and improvement of the image processing performance. Moreover, lower power consumption and reduction of environmentally harmful substances have also been realized.

1 まえがき

圧延計測機器は、圧延中の鋼板の厚さや、幅、形状、表面欠陥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。東芝は、国内外の鉄鋼ユーザーに対して様々な圧延計測機器を提供し、高い測定精度と精密な検査性能を実現している^{(1),(2)}。

こうした計測機器のうち、光応用技術を用いた計測機器では、計測精度と検出分解能がセンサであるカメラによって左右される。このため、産業用ラインセンサカメラでは、高性能化とともに伝送の高速化が進められている。現在はデジタル伝送方式が主流であるが、従来のデジタル伝送方式では高速伝送が可能な反面、伝送距離が10 m程度と短いというデメリットがある。鉄鋼ラインでは一般に、カメラが組み込まれる検出部と処理部が組み込まれる制御部の設置場所が離れており、伝送路を100 m以上延長する必要がある。伝送距離の延長は光変換などにより可能であるが、変換器や延長器などの追加によりコストが増加するという問題があった。

この問題を解決するため当社は、CoaXPress規格に準拠する高速カメラを適用した穴幅計 TOSGAGE™-C2710BPS・Aを開発した。CoaXPress規格はマシンビジョン用途の高速の通信及び画像伝送に対応しており、処理部を同軸ケーブル1本



で接続してデジタル方式で通信と画像伝送ができ、ケーブル長は最大110 mであるため、延長によるコスト増加を抑えることができる。また開発にあたって、画像処理性能の向上も図り、高分解能での穴検出を可能にした。ここでは、TOSGAGE™-C2710BPS・Aの概要と特長について述べる。

2 概要

TOSGAGE™-C2710BPS・Aの構成を図1に示す。

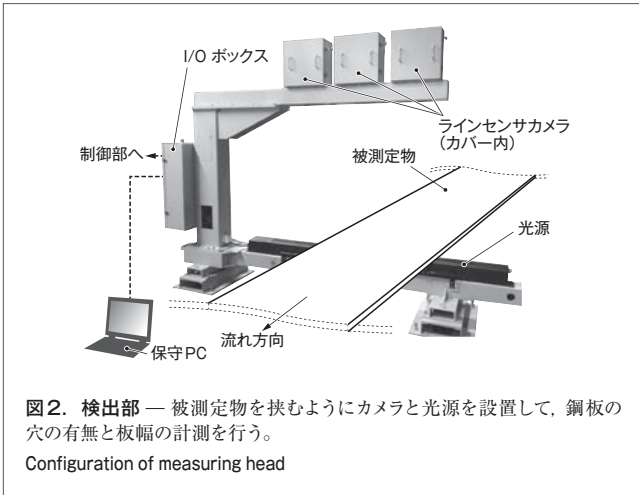


図2. 検出部 — 被測定物を挟むようにカメラと光源を設置して、鋼板の穴の有無と板幅の計測を行う。
Configuration of measuring head

2.1 検出部

検出部の構成を図2に示す。

フレームは“C”の文字のような形状(Cフレーム)をしており、被測定物を挟むように、下部に光源が、上部に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の有無と板幅の計測を24時間連続で行う。

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ためのLANケーブルが接続され、Hubを介して受け取った演算PCの情報をもとに保守PCでカメラ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

制御部の構造を図3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。制御部は幅計測及び穴検出処理を行うほか、装置の健全性を監視しており、装置に異常が発生した

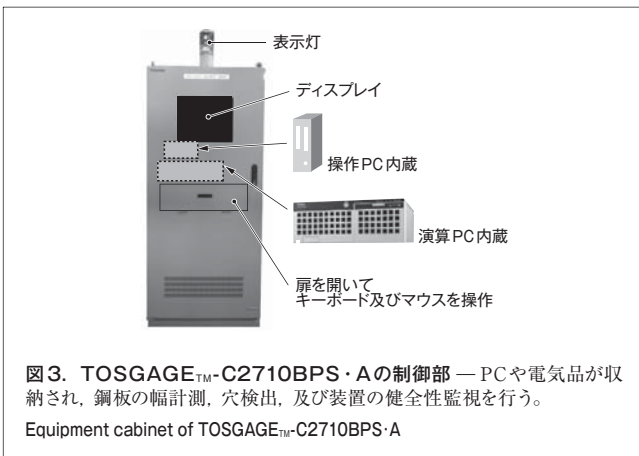


図3. TOSGAGE™-C2710BPS-Aの制御部 — PCや電気品が収納され、鋼板の幅計測、穴検出、及び装置の健全性監視を行う。
Equipment cabinet of TOSGAGE™-C2710BPS-A

場合には、装置上部の表示灯が点灯し、PIO (Process I/O) とLANの出力によりユーザー機器へ通知する。

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、幅計測及び穴検出を行う。ユーザー機器との通信も行っており、上位プロセスコンピュータ (プロコン) から被測定物の板幅目標値やコイルID (Identification) などの設定情報を受け取り、測定結果を編集して、上位プロコン及び上位PLC (Programmable Logic Controller) 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。過去の測定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、製品情報を管理できる。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

TOSGAGE™-C2710BPS-Aの主な仕様を表1に示す。また、従来機種からの改善点を図4に示し、概要を以下に述べる。

3.1 穴検出感度の向上

CoaXPress規格に対応し、高速スキャン性能を持つラインセンサカメラを採用することで、鋼板流れ方向の分解能を向上させた(図5)。これにより、穴検出感度としてライン速度300 m/minで直径0.5 mmの穴の検出を実現した。

3.2 機器構成の最適化

今回採用したラインセンサカメラは6,000画素のCMOS (相補型金属酸化膜半導体) カメラで、従来のラインCCD (電荷結合素子) カメラに比べて約3倍の画素を持つ。この特長を生かして、カメラ台数を最小とするように光学系を見直し、カメラ台数を5台から3台へと削減した。また、高画素数のカメラを採用することで、従来機種と同等の測定範囲を確保しながら、鋼板幅方向の分解能を向上させた(図5)。これにより、幅測定精度の維持と穴検出感度の向上を実現した。

また、カメラ台数を削減したことで画像処理基板が1枚で構成できるようになり、従来機種に比べて基板2枚を削減した。

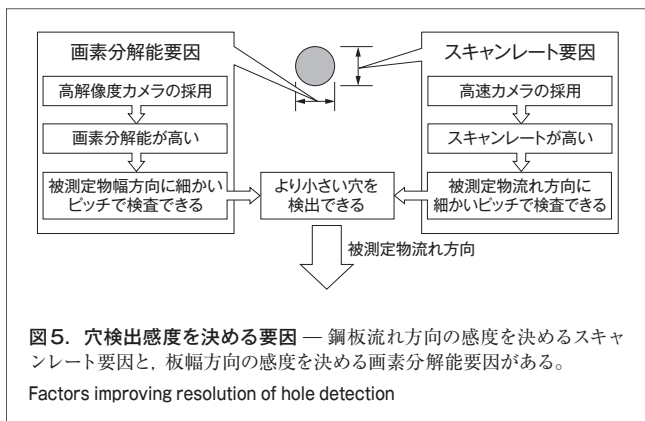
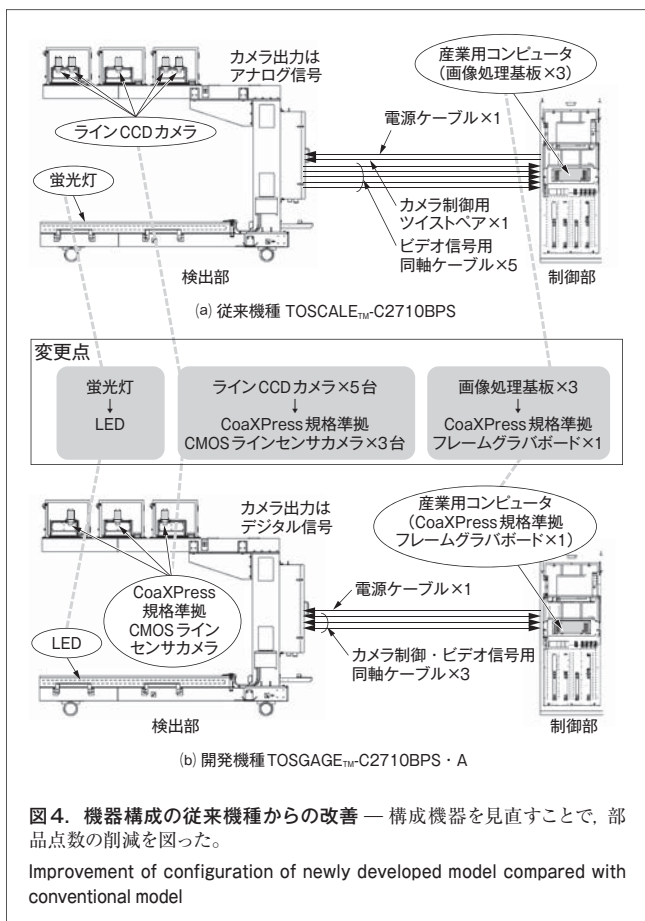
3.3 LED光源の採用

スキャンレートの高速化に伴ってラインセンサカメラの受光

表1. TOSGAGE™-C2710BPS-Aの主な仕様

Main specifications of TOSGAGE™-C2710BPS-A

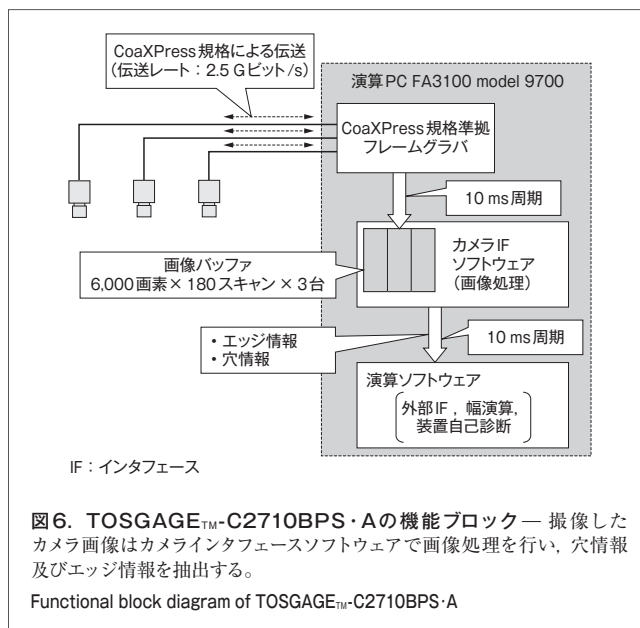
項目	仕様
測定範囲	400 ~ 1,550 mm
対象板厚	最大1.6 mm
幅測定精度	総合精度: $\pm 0.30 \text{ mm} (\sqrt{(\text{計測誤差})^2 + (\text{ドリフト})^2})$ 計測誤差: $\pm 0.22 \text{ mm}$ ドリフト: $\pm 0.20 \text{ mm}$
穴検出感度	直径0.5 mm (板厚: 1.6 mm, ライン速度: 300 m/min以下)
演算周期	10 ms



量が低下するため、高輝度LED（発光ダイオード）光源（発光面輝度約24,000 cd/m²）を採用し、穴検出及び幅計測に必要な光量を確保した。また、LED光源は従来機種の蛍光灯に比べ長寿命であるため、保守作業の軽減にも寄与する。

4 画像処理技術

TOSGAGE_{TM}-C2710BPS・Aの板幅及び穴検出分解能の向上を実現するために採用した画像処理技術について、次に述べる。



4.1 穴検出

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ラインセンサカメラと光源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。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。

穴検出の感度を向上させるため、TOSGAGE_{TM}-C2710BPS・Aではカメラ画像取込み周期を従来機種の250 μsから55 μsに高速化して、銅板の流れ方向の分解能を従来機種の約5倍に向上させた。これにより、従来機種では、最大ライン速度180 m/min時に直径1.0 mmの穴検出が限界であったのに対し、TOSGAGE_{TM}-C2710BPS・Aは最大ライン速度300 m/minまで対応し、直径0.5 mmの穴の検出ができるようになった。

この場合、演算周期である10 msの間に300万画素以上の画像データに対して穴検出処理を行う必要があるため、専用の高速演算アルゴリズムを開発した。更に演算PCには当社の産業用コンピュータFA3100 model 9700を採用して処理の高速化を実現した（図6）。

また、穴の過検出を防止する処理により、宇宙線の影響などで画像中にノイズが混入した場合にも誤検出を起こさないように穴識別を行っている。

4.2 板幅測定

3台のラインセンサカメラのうち、両端に配置された2台のカメラそれぞれの画像において明・暗部の境界となる画素位置から板端（エッジ位置）を検出して、式(1)により板幅を求める（図7）。

$$W = L + W_d + W_w \quad (1)$$

2か所のエッジ位置は、各カメラ出力信号を微分して、この微分信号のピーク位置として検出する。図8(a)に示すように

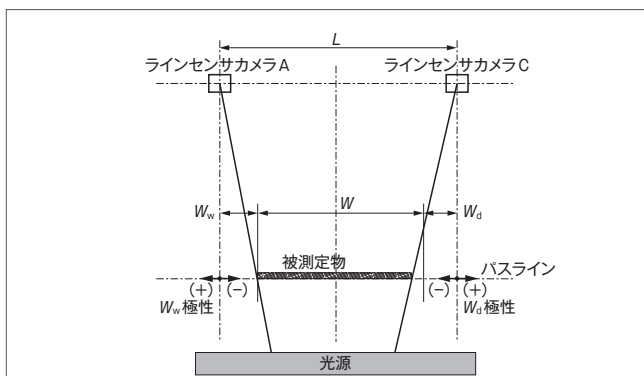


図7. 幅測定原理 — 2台のカメラでエッジ位置を検出する。
Principle of width measurement

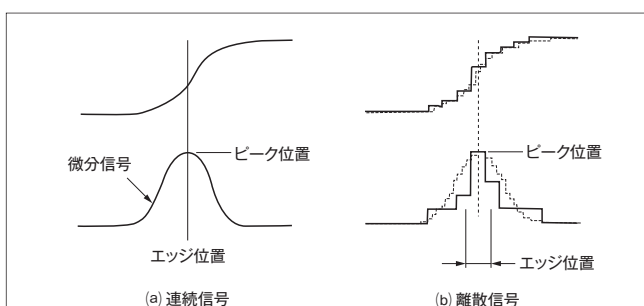


図8. エッジ位置検出方法 — カメラ信号を微分して、そのピーク位置をエッジ位置として検出する。信号が離散的だと、ピーク位置検出の分解能が不足する。
Edge detection method

信号が連続している場合はピーク位置を容易に検出できる。しかし、一般のラインセンサカメラの出力は図8(b)に示すように離散的であり、この場合の分解能はラインセンサカメラの画素分解能である約0.1 mmとなり、目標の精度を得るためには不十分である。ピーク位置を検出する分解能を向上させるため、TOSGAGE™-C2710BPS・Aでは微分信号の度数分布の平均値を求めることで解像度補正を行った。

解像度補正の例として、エッジ位置の像が1画素範囲内で僅かにずれた場合の、微分信号のピーク値と、解像度補正の結果得られたピーク位置との関係を図9に示す。解像度補正により、エッジ位置の僅かな変位も計算で求めることができるようになる。この結果、幅計測精度±0.3 mmを実現した。

5 環境調和型製品への取り組み

当社は、持続可能な資源循環型社会の構築に向け、製品のライフサイクル全体で発生する環境負荷を低減した環境調和型製品の開発に取り組んでいる。

従来機種では光源に蛍光灯を使用していたのに対し、TOSGAGE™-C2710BPS・Aでは水銀を含有しないLEDに変

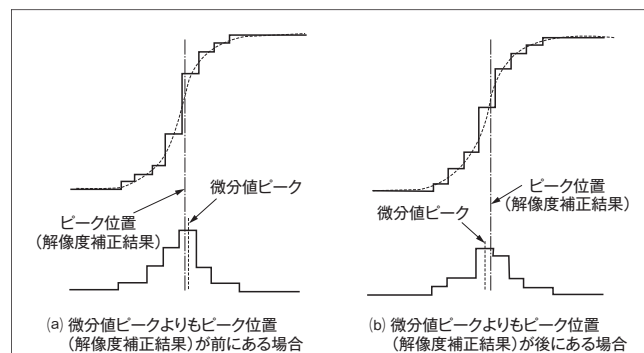


図9. 解像度補正の例 — 解像度補正により、カメラの画素分解能以上のピーク位置の検出分解能を得ることができる。
Calculation for compensation of edge detection resolution

更している。また、低消費電力化により装置使用による二酸化炭素(CO₂)排出量の削減を図っており、環境効率を向上させた製品を実現した。

6 あとがき

CoaXPress 規格を採用した高速ラインセンサカメラを適用した、穴幅計 TOSGAGE™-C2710BPS・Aについて述べた。TOSGAGE™-C2710BPS・Aは、計測性能の向上とともに、低消費電力化や、環境負荷物質の削減などを実現した環境調和型製品である。

今後は、今回採用した高速ラインセンサカメラを形状計に適用し、ラインアップの拡充を図る。

文 献

- 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.
- 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.



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 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 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



梶原 辰也 KAJIWARA Tatsuya

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 計測制御機器部。圧延計測機器の試験に従事。
Fuchu Operations-Social Infrastructure Systems