

鉄鋼圧延ラインにおける最新の計測・検査技術

Latest Measurement and Inspection Systems for Steel Rolling Lines

林 武史 渡邊 慶典

■ HAYASHI Takeshi

■ WATANABE Keisuke

鉄鋼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で、鋼板の厚さ計測、幅計測、形状計測、欠陥検査など多岐に及んでいる。

東芝は、計測項目に応じた原理を適用して、様々な用途に適用できる装置を開発している。鋼板の厚さ計測は、対象物の放射線の減衰を利用して検出する方法が代表的であり、鋼板の幅、先尾端形状、表面や内部の欠陥、厚物鋼板の厚さ、及び非金属板の厚さなどの計測は、光や磁気を応用したセンシング技術を適用している。

Rolling measurement systems are widely used in the field for various manufacturing processes ranging from the hot rolling process to surface processing, for the measurement of thickness, width, and shape as well as the inspection of defects.

Toshiba has been developing measuring and inspection technologies for steel rolling lines, and expanding its lineup of equipment according to a wide variety of applications. For measuring the thickness of steel sheets, we are employing a method for detection of the attenuation of ionizing radiation by measuring materials. For other measurements such as width, top and tail shape, surface and inner defects, and thickness of very thick materials and nonmetal materials, optical or magnetic sensing technologies are used.

1 まえがき

鉄鋼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で、鋼板の厚さ計測、幅計測、形状計測、欠陥検査など、多岐に及んでいる。したがって、計測手段（原理）も適用ラインや計測項目に応じて異なっている。

これらの圧延計測機器は、高温、多湿、振動、及び衝撃といった劣悪な環境下で、最大温度1,300℃、通板速度1,200 m/min (20 m/s) に達する鋼板を24時間連続で計測しなければならない。圧延計測機器の精度は、厚さ $\pm 1 \mu\text{m}$ 、幅 $\pm 0.5 \text{ mm}$ 、先尾端形状 $\pm 1 \text{ mm}$ 、などを要求される。したがって、信頼性、保守性、及び長寿命を確保するため、機器の環境対策が重要となり、様々な熱・防水対策を施すとともに、計算機には信頼性の高い当社の産業用コンピュータFA3100Sシリーズ（この特集のp.10-13参照）を採用している。

鋼板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増減を検出する方法である。この方法は適度な厚さに対しては比較的高精度に測定できるが、反対側に透過する放射線量が不足する厚い鋼板や、異種の金属が任意の厚さで重ね合わせた材料に対しては適用できない。また、法令に従った管理区域の設置や有資格者による管理が義務付けられている。

一方、光や磁気を応用した装置では、次に示すような広範囲にわたる項目を測定することができる。

- (1) 高精度幅測定
- (2) 形状測定
- (3) 耳カケワレ^(注1)及び穴測定
- (4) 表面や内部の欠陥検出
- (5) 厚い金属の厚さ測定
- (6) クラッド材^(注2)や金属以外の厚さ測定

ここでは、各種の圧延計測機器の中で、放射線では実現できない計測項目をカバーする代表的な装置として、光や磁気を応用したレーザ厚さ計、耳カケワレ検出機能付幅計、及び表層内部欠陥検査装置について述べる。

2 レーザ厚さ計

レーザ厚さ計は、放射線を使わず、レーザとCCD（電荷結合素子）カメラで鋼板の厚さを測定する装置である。放射線管理が不要であり、異なる材質が貼（は）り合わされたクラッド材や金属以外の厚さも測定できる。原理的に、材質、厚さの制限を受けないことが特長である（図1）。

レーザ厚さ計の仕様概要は次のとおりである。

- (1) 厚さ測定範囲：4.5～100 mm
- (2) 厚さ測定精度：50 μm

レーザ厚さ計の検出部は、鋼板を上下方向から挟むように配置した2台の距離計と、これらの距離計を設置するための

(注1) 鋼板のエッジ（縁）部に発生するき裂や穴のこと。

(注2) 2種類以上の異なる金属を貼り合わせた材料。

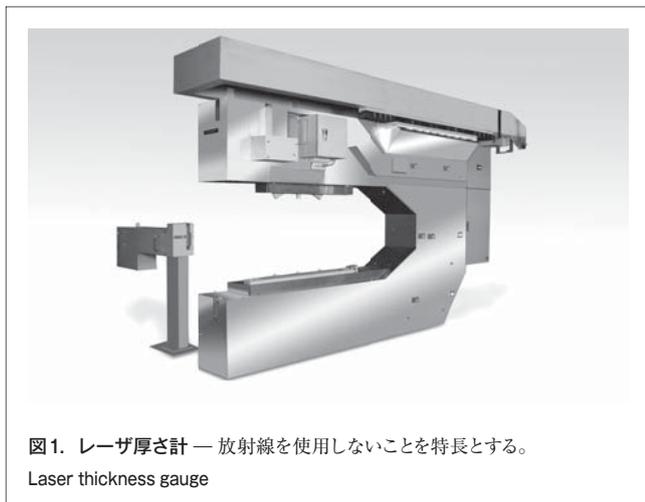


図1. レーザ厚さ計 — 放射線を使用しないことを特長とする。
Laser thickness gauge

C型構造のフレームで構成されている。

厚さは、2台の距離計から鋼板の表裏面までの距離測定値 D_u 、 D_d と2台の距離計間の距離 D_0 から次式で求められる。

$$\text{厚さ} = D_0 - (D_u + D_d) \quad (1)$$

以下、適用している距離測定方法について述べる。

距離計は、レーザとCCDカメラで構成されている。レーザから照射されるビームは、常時レーザの鉛直下にある鋼板表面で反射しているが、カメラの光軸はレーザビームに対して角度を付けて設置されている。したがって、鋼板表面が上下に移動すると、レーザビームの反射位置がカメラ視野内で移動して写ることになる。鋼板表面の上下方向位置とカメラ視野内の結像位置との関係をあらかじめ校正データとして採集しておくことで、距離に換算することができる。

安定した測定を行うために、精密校正とオンライン校正の2種類の校正方法を採用している。精密校正では、厚さが既知の校正用サンプルを測定エリア全域にわたってスキャンして校正データを採集しておく。これにより、厚さ測定直線の直線性とオフセットなどのすべての精度悪化要因がキャンセルされるように校正できる。オンライン校正は、搬送ラインを流れる鋼板のとぎれるわずかな時間を利用して行う校正である。測定エリアに既知の厚さの校正サンプルを挿入し、その測定値からオフセット成分だけを校正する。これらの校正方法の組合せにより、長時間にわたって安定した測定を実現している。

実際にオンライン測定を行うときには、鋼板の移動によって発生する振動や、圧延に用いられる油や水が鋼板表面に付着していることがあり、この影響を除去する必要がある。

レーザ厚さ計では、図2に示すように、2台のカメラを用いることでこれを回避している。

鋼板表面の付着物による反射率の変動が発生した場合、反射光のビーム形状が変化する。図2の例ではピーク位置がビーム径の1/5程度変化するが、この影響は2台のカメラで対

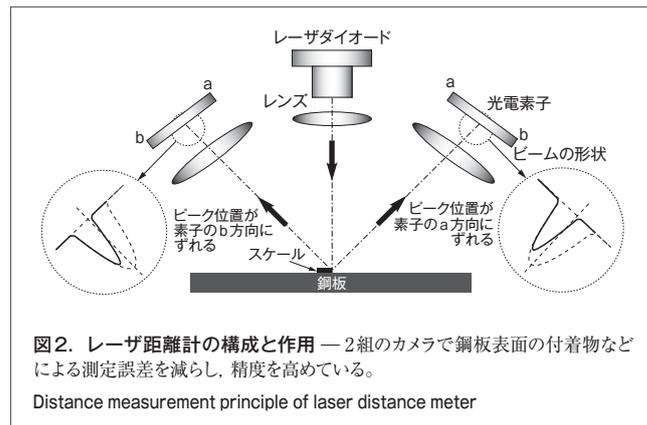


図2. レーザ距離計の構成と作用 — 2組のカメラで鋼板表面の付着物などによる測定誤差を減らし、精度を高めている。
Distance measurement principle of laser distance meter

称に現れる。したがって、2台のカメラの測定値の平均値を求めることで、鋼板表面の付着物による反射率の変動に影響されにくい距離測定を行うことができる。

3 耳カケワレ検出機能付幅計

幅計は光源と高感度ラインCCDカメラを用いて鋼板の幅を測定する装置である。鋼板を挟んで光源とラインCCDカメラを設置し、鋼板のシルエットを撮像する。シルエットの明暗変化点は鋼板のエッジ位置を示している。したがって、鋼板が通過する位置での、幅方向の位置とラインCCDカメラの画素位置の関係をあらかじめ校正データとして採集しておくことで、幅に換算することができる。

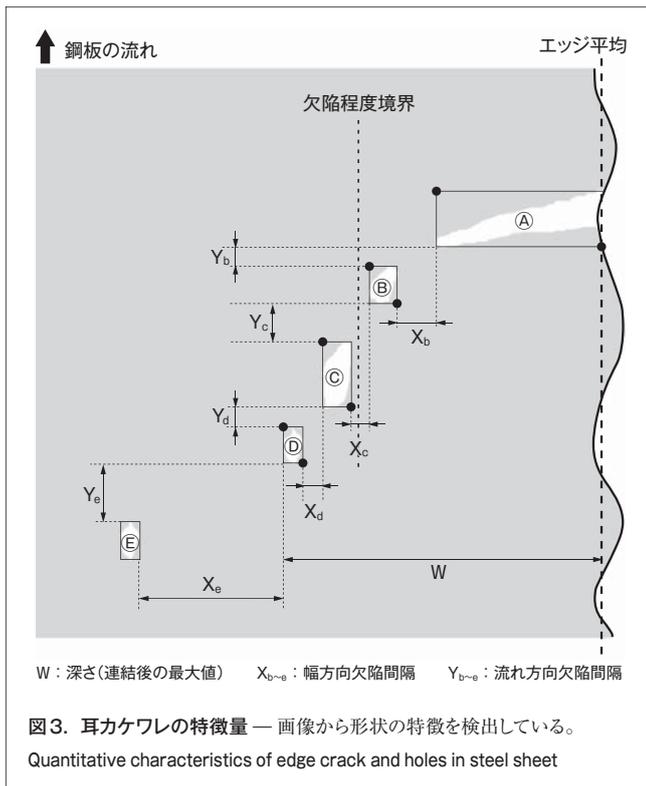
耳カケワレ検出機能付幅計は、耳カケワレ欠陥を検出する機能を付加した幅計測装置である。

耳カケワレを放置してラインを進行させると、鋼板が破断してライン設備に重大な損傷を与えることがある。この装置が出力する耳カケワレアラームにより、破断を未然に防ぐことができる。

耳カケワレ検出機能付幅計の検出欠陥サイズの仕様は、鋼板厚さが1.0 mmのとき、0.7 (幅方向) × 1.0 (長さ方向) mm以上である。

耳カケワレを検出するために、ラインCCDカメラから出力されるビデオ信号を鋼板の移動に同期させて蓄積し、2次元の画像を生成する。このとき、次のような工夫をすることで、検出精度の向上とデータ量圧縮による高速化を実現している。

ラインCCDカメラは数百 μs 周期で動作しているのに対し、鋼板の移動量1 mmの同期信号は、ライン速度の変化に応じて数百 μs から数 s の範囲で変化する。同期信号に対応したビデオ信号だけを取り込むと、次の同期信号が来るまでの間は、耳カケワレを含むビデオ信号の取りこぼしや大きさの過小評価が発生することがある。この対策として、次の同期信号が来るまでのビデオ信号を、画素ごとにピーク値で保持する処理を付加している。耳カケワレは光を透過するので、信号のピー



ク値を保持することで、見逃し、過小評価を防止できる。

画像例を図3に示す。A～Eが耳カケワレ又は穴のどちらかの欠陥である。鋼板エッジに近い順に、隣接した欠陥画像の距離が小さい場合は連結処理を行い、一つの耳カケワレとして扱う。これにより、一つの耳カケワレが離散的に検出されている場合でも正しい大きさを認識できる。一方、隣接した欠陥画像間の距離が大きい場合は穴として判定し、耳カケワレが過大に検出されるのを防止する。結合された欠陥画像の深さ(W)が欠陥程度境界より深い場合は重欠陥、浅い場合は軽欠陥と判定する。図ではAからDが結合され、重欠陥と判定されている。

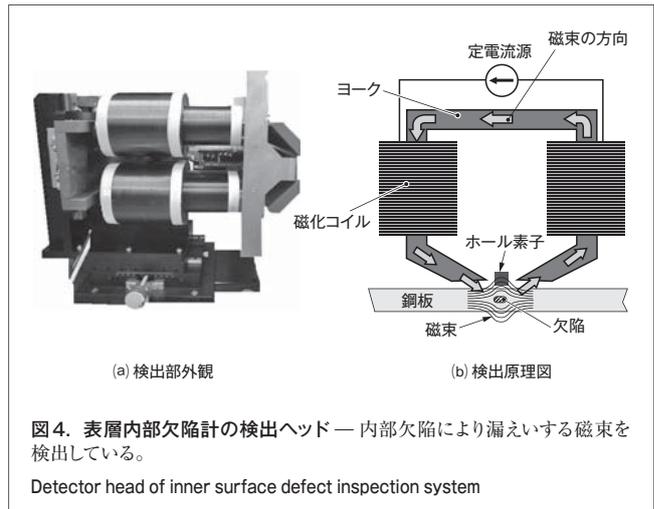
4 表層内部欠陥検査装置⁽¹⁾

鋼板の欠陥検査装置は、鋼板製造ラインにおいて品質保証のために不可欠な装置である。近年では、表面欠陥に加え、表面には現れない表層内部欠陥を検査するニーズも増加している。

表層内部欠陥検査装置の検出欠陥サイズの仕様は、1.0 (長さ) × φ0.02 (厚さ)mm 以上である。

表層内部欠陥検査装置は、検出原理として漏えい磁束法を用いている。その検出原理を図4に示す。磁気センサにコンパクトな高感度ホール素子を用いることで、高分解能で微小欠陥の位置を認識できるようにしている。

鉄心にコイルが巻き付けられており、コイルに一定の電流を



流し、ヨークを通して非接触で鋼板を磁化させる。磁化された鋼板の内部に欠陥が存在すると、欠陥部周辺から鋼板外部へ磁束が漏えいする。この漏えいした磁束をホール素子(磁気センサ)によって検出することで、欠陥の有無を判断する。このとき、ライン速度に依存して特性の異なるノイズが重畳しているため、これを最適に除去し、各ライン速度で十分なSN比(信号と雑音の比)を得るための処理回路を搭載し、ライン速度100～1,200 m/minでの安定検出を実現している。

5 あとがき

従来製品では専用のハードウェアやコントローラを使用していたが、産業用コンピュータをベースにしたプラットフォーム化を推進している。現時点ではX線厚み計⁽²⁾が先行しているが、今後ラインアップ化される製品を同一プラットフォーム上で接続できるようにすることで、より高い付加価値を生み出せるようにしていく。

文 献

- (1) 渡邊慶典, 鋼板製造ライン向け表層内部欠陥検査装置 TOSPECTRON_{TM}-I, 東芝レビュー, 63, 8, 2008, p.53-56.
- (2) 小原 哲, 新型X線厚み計 TOSGAGE_{TM}-8000Aシリーズ, 東芝レビュー, 64, 5, 2009, p.54-57.



林 武史 HAYASHI Takeshi

電力流通・産業システム社 府中事業所 計測制御機器部主務。
圧延計測機器の開発に従事。
Fuchu Complex



渡邊 慶典 WATANABE Keisuke

電力流通・産業システム社 府中事業所 計測制御機器部。
欠陥検査装置の開発に従事。
Fuchu Complex