

鉄鋼圧延ラインにおける光応用技術

Applied Optical Technologies for Steel Rolling Lines

林 武史

■ HAYASHI Takeshi

竹村 将太

■ TAKEMURA Shota

古田 哲夫

■ FURUTA Tetsuo

温室効果ガスの削減に代表される各種環境保全の動きが世界的に広がるなか、東芝は、環境調和型製品 (ECP : Environmentally Conscious Products) の創出に取り組んでいる。

その一環として、鉄鋼の圧延プロセスで重要な役割を果たす圧延計測機器では、製品の質量や消費電力などライフサイクルにおける環境負荷の低減を目指している。更に、当社独自の光応用技術を駆使したレーザ厚さ計を開発し、高精度で長期間の安定測定を実現するとともに、原理的に材質や厚さの制限を受けない幅広い対象物の測定を可能にしている。

In response to the worldwide movement toward environmental conservation as typified by the reduction of greenhouse gas emissions, Toshiba is continuously aiming at the creation of environmentally conscious products (ECPs), which are designed to embody environmental consciousness at all stages of their life cycle.

As part of this effort, we are focusing attention on reducing environmental burdens including weight reduction and power conservation in rolling measurement equipment, which plays a significant role in the steel rolling process. Furthermore, we have developed a laser thickness gauge that not only realizes highly accurate measurement with long-term stability but can also measure a wide variety of objects without limitations on their material and thickness, utilizing our proprietary applied optical technologies.

1 まえがき

圧延計測機器は、国内外の鉄鋼ユーザーのもとで、圧延中の鋼板の厚さや、幅、形状などの計測、及び欠陥の検査で使われる。圧延計測機器は、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、東芝は高い測定精度や精密な検査性能を提供し、圧延制御技術の発展に大きく貢献している。

2008年3月に環境省から公表された温室効果ガス排出量の業種別の集計結果⁽¹⁾によると、温室効果ガスは、製造業からの排出量が多めで、集計合計値の88%を占めている。その製造業の中で排出量が多めで多いのが、鉄鋼業の33%という結果であった。そこで鉄鋼業界では、排出量を削減するための自主行動計画として「鉄鋼生産工程における省エネルギーへの取組み」⁽²⁾などの五つの方針を定めた。

一方、当社でも、EU (欧州連合) のRoHS指令 (電気・電子機器中の特定有害物質の使用制限に関する指令) に代表される有害物質排除の動きに合わせ、環境に配慮した製品開発を進めている。

ここでは、当社が開発している圧延計測機器における環境配慮への取組み、及び概要を述べるとともに、代表製品として独自の光応用技術を駆使したレーザ厚さ計の特長について述べる。

2 環境調和型製品への取組み

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 (ECP) の開発に取り組んでいる。

圧延計測機器の開発では、製品の企画段階で、品質やコストの他に、製品の質量や消費電力などライフサイクルにおける環境負荷の目標を定める。そして、試作した装置の試験データを基にその結果を評価している。

3 圧延計測機器の概要

圧延計測機器は、鉄鋼の圧延プロセスにおける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適用され、測定・検査項目も、鋼板の厚さ計測や、幅計測、形状計測、欠陥検査など、多岐に及んでいる。

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。しかも、厚さ $\pm 1 \mu\text{m}$ 、幅 $\pm 0.5 \text{ mm}$ 、先尾端形状 $\pm 1 \text{ mm}$ など、高度な測定精度を求められる。その劣悪なオンライン環境下で、高精度な測定を実現するためには、設置環境への対策が欠かせない。信頼性、保守性、及び長寿命を確保するため、遮熱・防水・振動対策など、様々な対策を施している。

また、圧延計測機器には高速演算処理とデータ処理も不可欠であるため、計算機には、信頼性の高い当社の産業用コンピュータFA3100Sシリーズを採用している⁽³⁾。

鋼板の厚さ計測における代表的な手段は、X線やγ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を検出する方法である⁽⁴⁾。この方法は圧延環境で発生する水蒸気などの影響を受けづらく、適度な厚さに対しては長期間にわたって高精度に測定できるという特長を持つ。

一方、放射線管理が不要な光を応用した代表的な装置としてレーザー厚さ計がある⁽⁵⁾。当社は、光応用技術を駆使した厚板用及び薄物用のレーザー厚さ計を開発しており、これらの特長について次に述べる。

4 レーザ厚さ計の特長

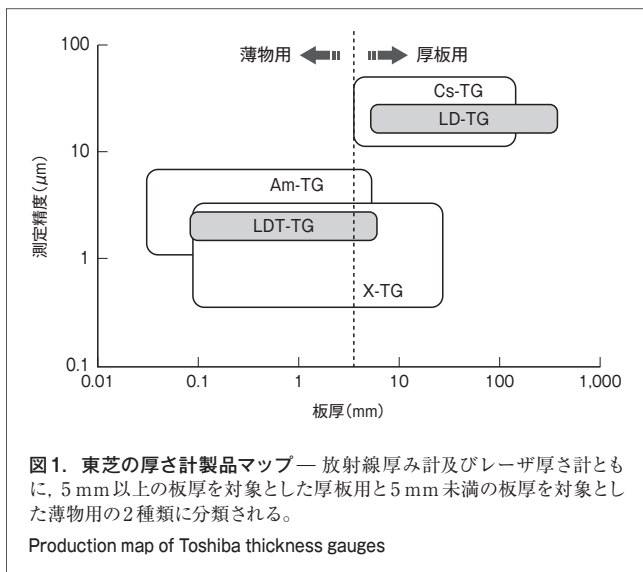
レーザー厚さ計は、放射線を使わず、レーザーとCCD（電荷結合素子）カメラで対象物の厚さを測定する装置である。この装置は、遮蔽用の鉛が不要となるため、放射線厚み計に比べ環境負荷を低減できる。更に、その他の構成要素についても、特定有害物質を含まない部品に順次切り替えてECP化を推進している。

対象物表面の光の反射特性を考慮した距離測定アルゴリズムや、設置ラインの操業パターンを考慮した校正方法、設置環境に見合った環境対策など、圧延計測機器を長年手がけてきた当社独自の技術により、従来のレーザー厚さ計が不得手であった、高精度かつ長期間安定な測定を可能にしている。

主な特長は、次のとおりである。

(1) 幅広い測定対象

- (a) 異種の金属が任意の厚さで重ね合わさった材料（クラッド材）や金属以外の厚さも測定できる。



- (b) 原理的に、材質や厚さの制限を受けない。

- (2) 高分解能 測定の位置分解能や応答性は測定ポイントの面積に反比例し、面積が小さいほど位置分解能がよくなり、対象物の厚さ変化に対する検出応答もよくなる。放射線厚み計に比べて測定ポイントの面積が小さいレーザー厚さ計は、対象物のエッジ部など細かいところを測定することができる。また、先尾端部などの厚さ変化も正確に測定することができる。

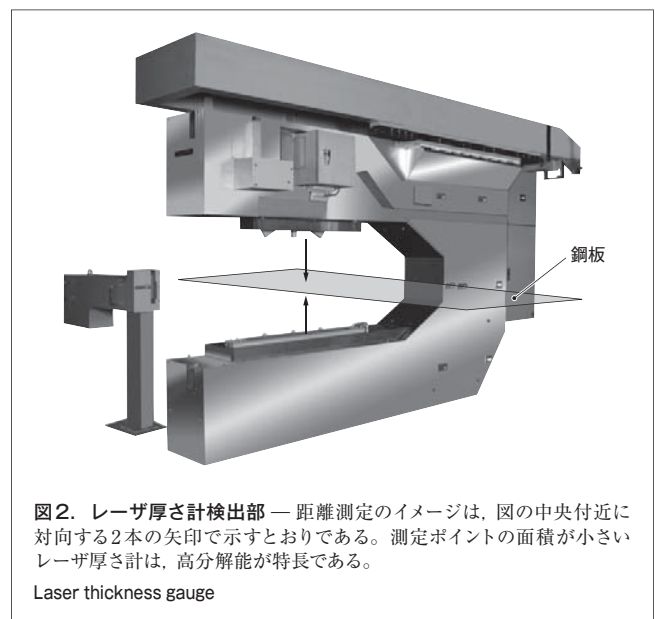
当社の圧延計測機器における厚さ計の製品マップを図1に示す。放射線厚み計及びレーザー厚さ計ともに、厚板用と薄物用の2種類に分類される。

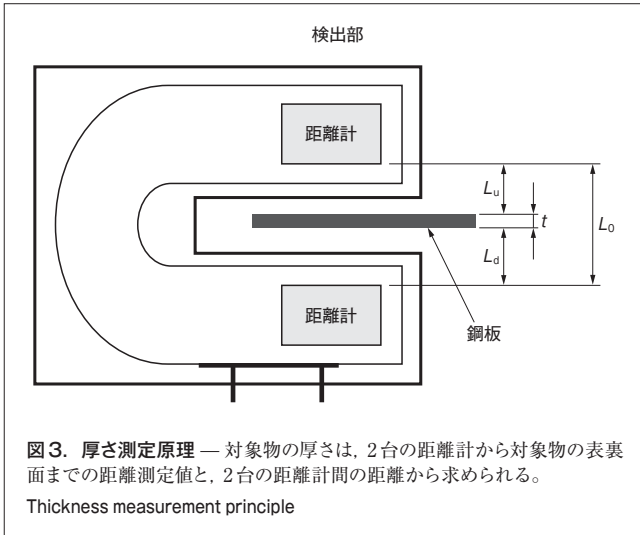
- (1) 厚板用 (5 mm以上の板厚を対象) 厚板用レーザー厚さ計 (LD-TG), X線厚み計 (X-TG), セシウム厚み計 (Cs-TG)
(2) 薄物用 (5 mm未満の板厚を対象) 薄物用汎用型レーザー厚さ計 (LDT-TG), X線厚み計 (X-TG), アメリシウム厚み計 (Am-TG)

5 厚板用レーザー厚さ計

熱延厚板工程は、1,000℃以上の鋼板を、圧延ロールで厚さ5～200 mm程度に圧延する工程である。厚板用レーザー厚さ計が設置される精製工程は、鋼板温度が最大300℃程度で、要求される測定精度は50 μmである。ここで圧延される製品は、船舶や、橋りょう、海洋構造物など大型構造物の主要構造物材として幅広く使われている。そのため、その品質管理も厳しくなっており、これまで以上に正確な測定が求められている。

レーザー厚さ計の検出部を図2に示す。検出部は、対象物を上下方向から挟むように配置した2台の距離計を内蔵したC





型構造のフレーム (Cフレーム) で構成されている。

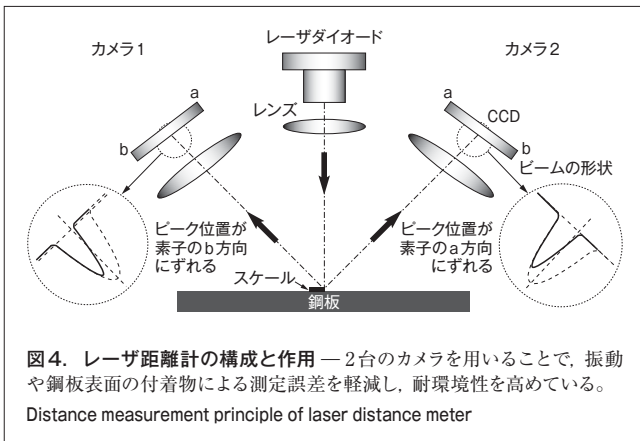
厚さ測定原理を図3に示す。厚さ t は、2台の距離計から対象物の表裏面までの距離測定値 L_u 、 L_d と、2台の距離計間の距離 L_o から式(1)により求められる。

$$t = L_o - (L_u + L_d) \quad (1)$$

距離計は、レーザと2台のCCDカメラで構成されている。この距離測定に採用されている技術について、以下に述べる。

図4に示すようにレーザから照射されるビームは、レーザの鉛直下にある対象物表面に連続照射される。それに対してカメラの光軸は、レーザビームに対して角度を付けて設置される。カメラは表面を斜めから見ているので、対象物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直線上を移動して見えることになる。

この関係をあらかじめ校正データとして取得しておく。測定時は、カメラ視野内のレーザビームの反射位置から前述の校正データを用いて距離を求める。レーザ厚さ計では、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。

精密校正は、ラインが長時間停止する時間帯を利用して行う校正である。既知の厚さ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校正データを取得することにより、厚さ測定における精度悪化要因 (光学系のひずみなど) を全てキャンセルできる。

オンライン校正は、オンライン位置で対象物がないわずかな時間帯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キャンセルする。実際にオンライン測定を行うときには、ライン上で振動が発生することや、圧延する過程で用いられる油あるいは水が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。

厚板用レーザ厚さ計では、図4に示したように2台のカメラを用いることで、振動などの影響による測定誤差の発生を軽減している。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4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。

このようにして、長期間にわたって安定した測定を実現している。

6 薄物用汎用型レーザ厚さ計

冷延薄板工程は、薄板用の鋼板を数段の圧延ロールで圧延する工程である。幅や厚さが規定値になるように圧延するため、鋼板が薄くなる分、長さが長くなり、ロール状に巻き取った形で出荷される。自動車や、デジタル家電、建築材料、住宅、飲料缶、変圧器など、生活や産業を支える幅広い分野で使われている。

薄物用汎用型レーザ厚さ計はこの工程に代表される5 mm未満の対象物測定に適用される。対象板厚が薄く、上下変動も小さいため、厚板用のものと比較して小型である (図5)。

厚板用レーザ厚さ計やX線厚み計の場合、板厚演算処理ユニットと検出部を分離しているが、薄物用汎用型レーザ厚さ計では、板厚演算処理ユニットを検出部に内蔵した。これにより、同程度のX線厚み計に比べ85%減の省電力化を実現した。また、板厚演算処理ユニットの回路基板を鉛フリー化することで、省電力化とあいまってECP化を図っている。

薄物用汎用型レーザ厚さ計も、厚板用レーザ厚さ計のように測定対象にレーザビームを照射し、その反射光を処理して距離を測定する。距離計を組み合わせることで厚さを測定するという基本的な測定原理は厚板用と同様であるが、要求測定精度が厚板用に比べて高いことから、周囲温度の変化や、レーザ



図5. 薄物用汎用型レーザー厚さ計 — 5 mm 未満の測定を対象とし、金属だけでなくゴムや繊維などへの適用も可能である。
Thickness gauge for thin steels

光の干渉に起因するスペックルノイズによる測定値への影響を抑えるため、次のような対策を施した。

- (1) 厚さ測定に直接関与している距離計と、それを取り付けているCフレームを収納する検出部内の温度を温調器により安定化させ、検出部の周囲温度の変化による影響を小さくした。
- (2) スペックルノイズは表面の反射で拡散したレーザー光がランダムに干渉して発生する。薄物用汎用型レーザー厚さ計は測定分解能が高いため、光学系の分解能も高く設定していることから、スペックルノイズの影響を受けやすい。この影響を最小化するために専用アルゴリズムを開発して安定した測定を実現した。

更に、レーザー厚さ計の“測定対象が広い”という特長を生かして、鉄や、アルミニウム、銅などの金属だけでなく、ゴムや繊維などへの適用も可能であり、金属分野に限らず幅広い分野への製品展開を図っていく。

7 あとがき

当社の圧延計測機器におけるECP化の事例として、光応用技術を駆使したレーザー厚さ計について述べた。

レーザー厚さ計は、測定原理そのものがECPに適しているが、それ以外の圧延計測機器でも、特定有害物質を含まない部品の採用、及び省電力化や小型化を考慮した設計により、今後もECPの開発に取り組んでいく。

文 献

- (1) 環境省. “温室効果ガス排出量-算定・報告・公表制度について [集計結果の公表]”. 環境省ホームページ. <<http://www.env.go.jp/earth/ghg-santeikohyo/kouhyo/h18/result.pdf>>, (参照2011-09-12).
- (2) 日本鉄鋼連盟. “自主行動基準”. 日本鉄鋼連盟ホームページ. <<http://www.jisf.or.jp/business/ondanka/joukyo/index.html>>, (参照2011-09-12).
- (3) 東 隆男 他. 産業用コンピュータのコンセプトと新展開. 東芝レビュー. 64, 10, 2009, p.10 - 13.
- (4) 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.
- (5) 林 武史 他. 鉄鋼圧延ラインにおける最新の計測・検査技術. 東芝レビュー. 64, 10, 2009, p.18 - 20.



林 武史 HAYASHI Takeshi

社会インフラシステム社 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



竹村 将太 TAKEMURA Shota

社会インフラシステム社 府中事業所 計測制御機器部。
圧延計測機器の開発に従事。
Fuchu Complex



古田 哲夫 FURUTA Tetsuo

社会インフラシステム社 府中事業所 計測制御機器部グループ長。圧延計測機器の機械構造設計に従事。
Fuchu Complex