

鉄鋼圧延ラインにおける厚み計測技術

Thickness Measuring Technologies for Steel Rolling Lines

大熊 茂幸 小原 哲 西川 政光

■ OKUMA Shigeyuki ■ OBARA Satoshi ■ NISHIKAWA Masamitsu

鉄鋼、銅、アルミなどの厚みや形状などを計測する計測機は、圧延制御技術と深くかかわっており、圧延制御理論の検証、品質の改善、及び生産性の改善データを提供する有力な武器であると考えている。

東芝は、1955年にβ線厚み計を開発して以来、50年間にわたり客先ニーズ（要求）に沿って、圧延用特殊計測機器を開発及び製造している。最近では、中国からは熱間圧延向けの品質保証上の要求や冷間圧延向けの制御上の要求があり、また国内からは、従来は測定不可能であったエッジ部数mm点の板厚測定や省スペースのための複合機能化の要求があり、加えて安定性と信頼性、従来機との互換性も重要視されている。現在、これらの要求に対応した製品を開発し市場に供給している。

Technologies to measure the thickness and form of steel, copper, aluminum, and so on are essential to verify rolling control theory in a steel rolling line and to improve the quality of the products and productivity of the rolling control process.

Toshiba has been developing special measuring devices for rolling based on customers' requirements for more than 50 years since the introduction of the β-ray thickness gauge in 1955. Recently, there have been many requirements for the quality assurance of hot rolling and control accuracy of cold rolling in China. In Japan, emphasis is placed on achieving accuracy on the order of mm for measurement from the edge of the metal sheet and realizing compact equipment with multiple functions. We are developing and manufacturing products to meet these requirements and satisfy customers' needs.

1 まえがき

年率20%のペースで増産を続ける、中国の新設ミル（圧延機）の厚み計測機器に対する要求は、厚み計の開発方向に大きく影響を与えている。これらの要求は、大別すると、被測定材全面を測定する熱間圧延（以下、熱延と略記）向けの品質保証上の要求と、リアルタイムにクラウン（圧延した被測定材の中央と端部の厚みの差）を測定する冷間圧延（以下、冷延と略記）向けの制御上の要求に大別される。

また、国内からの要求の大きな特徴は、厚板に見られるような従来は測定不可能であったエッジ部数mm点の板厚測定や、省スペースのための複合機能化である。加えて、国内では安定性と信頼性にも重点を置き、また従来機との互換性も重要視されている。

これらに応じて、熱延ではプロファイル（形状）を測定するために、台車を走査させる従来の走査型厚みプロファイル計に代わり、静止型全幅プロファイル計を、冷延ではPL-TCM（Picking Line with combined Tandem Cold Mill：冷間連続圧延機）、RCM（Reverse Cold rolling Mill：可逆圧延機）用静止型エッジドロップ計を開発し市場に供給してきた。

ここでは、熱延及び冷延用に開発し、出荷台数を増やしている厚み計測機器の特長と今後の動向について述べる。

2 測定原理

東芝の静止型プロファイル計の最大の特長は、円筒状の電離箱を幅方向にすき間なく配列し、X線の検出・測定に用いている点にある（図1）。必要な板厚測定位置は、エッジから25mmや40mmなどであるが、例えばエッジから25mmの位置の板厚測定値が必要な場合、まず電離箱の出力から被測定材のエッジ位置を求め、そこから25mmの位置の前後にある電離箱を選び出し、2個の電離箱の板厚測定値を直線補間

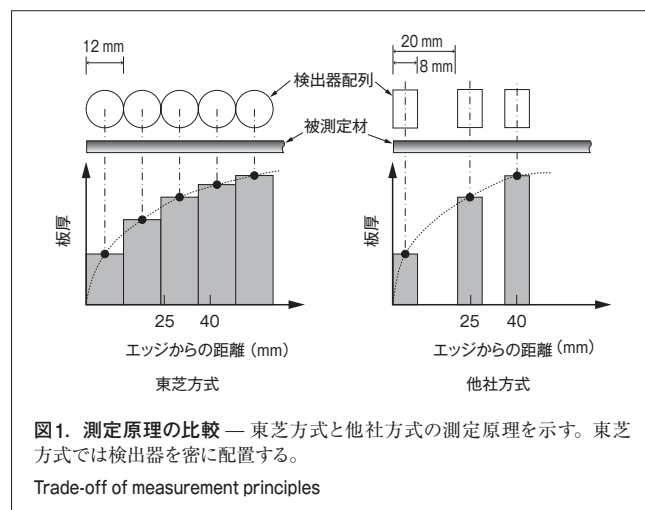


図1. 測定原理の比較 — 東芝方式と他社方式の測定原理を示す。東芝方式では検出器を密に配置する。
Trade-off of measurement principles

して25 mm点の板厚を求める。測定は200～400 msごとに行うが、毎回この処理を行うことにより、被測定材の蛇行に対し電気的な追従を可能としている。この方式は、測定に用いられない電離箱が多数あってむだに見えるが、画面に板幅方向の板厚分布を表示したときに、数字にできない情報が読み取れる利点がある。この方式の特長は、次のとおりである。

- (1) 被測定材のエッジ部でイレギュラーな板厚変化（ロール磨耗など）があっても、忠実に出力する。
- (2) エッジ位置の移動に対し電気的にエッジ位置を求めて追従しているので、被測定材の蛇行に強い。
- (3) 検出器が1、2個故障した場合でも、故障を自動的に検出し、故障検出器前後の検出器データから補間することが可能なため、測定への支障を最小限に抑えられる。
- (4) 円筒形の検出器の採用により指向性がなく、直線に並べて取り付けることができ、保守が容易である。

3 熱延用静止型全幅プロファイル計

3.1 検出部構成

熱延用は、被測定材の全面を測定する必要がある。プロファイル測定用には、ファン状にX線を発生するX線発生器3台と円筒電離箱を幅方向に配置した検出器を3台、また、センタ厚測定用には、板厚制御用の独立した発生器と高速の検出器をライン内に挿入される検出部内に配置している（図2）。

信頼性確保の観点から、プロファイル用とセンタ用の配線とCPUは独立した構成となっており、プロファイル用が故障して

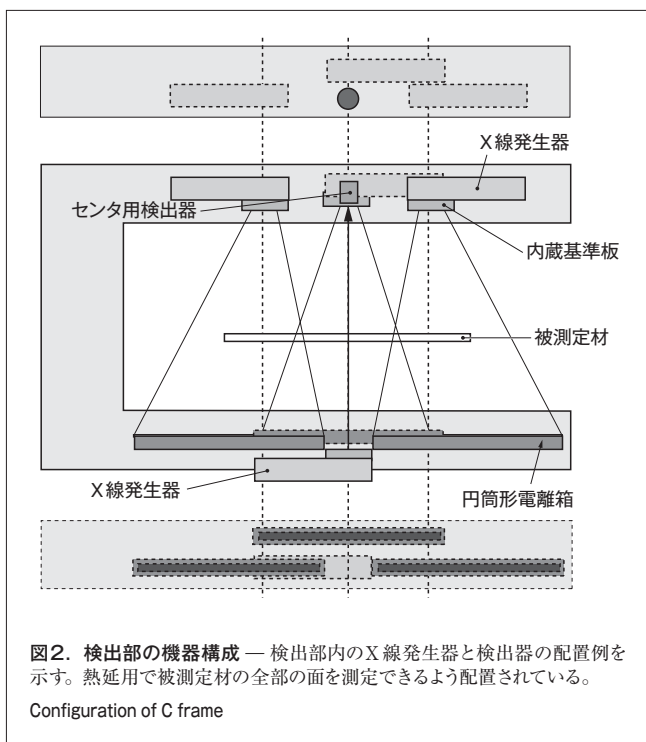


図2. 検出部の機器構成 — 検出部内のX線発生器と検出器の配置例を示す。熱延用で被測定材の全部の面を測定できるように配置されている。

も、センタは独立して運転可能なように構築されている。

3.2 仕様と特長

熱延用静止型全幅プロファイル計の主な装置仕様を表1に示す。

表1. 熱延用静止型全幅プロファイル計の仕様概要

Specifications for hot application

項目	仕様	
測定範囲	1.0～25.0 mm	
合金補正範囲	±15% (純鉄基準)	
演算周期	センタ	約3 ms
	プロファイル	約400 ms
再現性	センタ	±0.1%
	プロファイル	±0.1%
雑音	センタ	±0.1～±0.2% (時定数=30 ms)
	プロファイル	±0.1% (時定数=2 s)
ドリフト	±0.1%/10h (IEC61336)	
幾何学的分解能	12～13 mm (幅方向)	
板エッジ検出精度	±2 mm (相対変動)	

IEC61336 : 国際電気標準会議規格 61336

測定結果は図3のように、板幅方向の厚み偏差のクラウン量、エッジドロップ量、ウェッジ量などの結果がグラフで一括表示されるとともに、指定されたマルチポイント点のデータも切り替えて表示できる。

図3の画面で形状の変化を注意深く見ていると、測定時に条件が良好であれば、ロールのサーマルクラウン（圧延ロールの温度上昇によるクラウン量の変化）や、ロール端部の磨耗の転写、ウェッジによる蛇行が見えることがある。

図4は、実際の被測定材のオンラインデータの先端部をテキスト形式で取り出して、パソコン（PC）でグラフに描いたもの

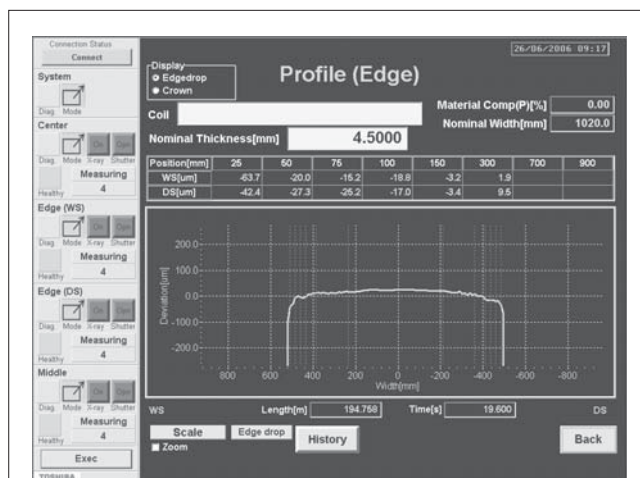
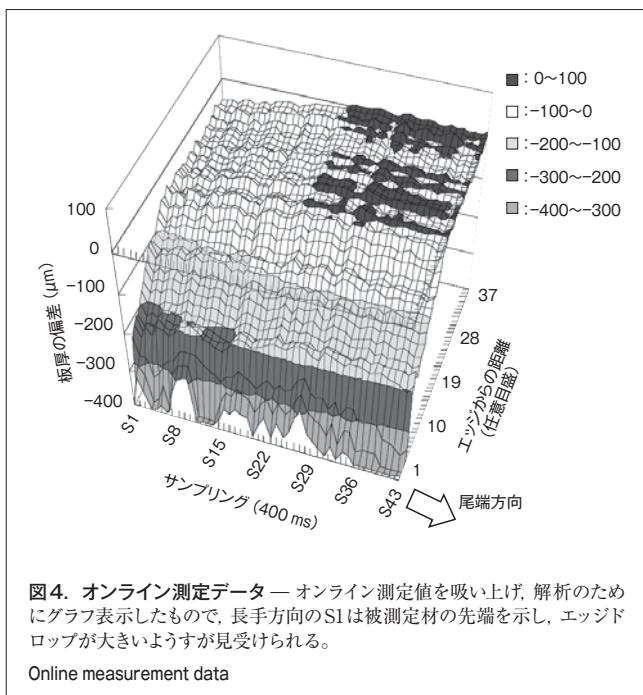


図3. オンライン測定値の表示 — オンライン測定値は、リアルタイムで操作用PCに描画される。

Online measurement display



である。長手方向のS1は被測定材の先端を示し、エッジドロップの大きいようすが見える。

4 冷延用静止型エッジドロップ計

冷延用エッジドロップ計は、基本的には熱延用静止型全幅プロファイルの流れをくむシリーズ製品と言えるが、形状制御用センサとして制御系に組み込まれている点が異なる。

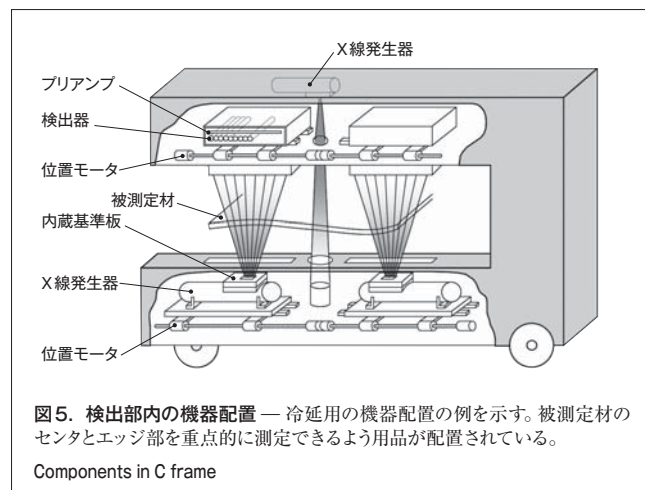
エッジドロップ計は2001年にリリースを開始し、わが国はもとより韓国、台湾、中国も合わせると、11台の納入実績を上げている。

主な用途は、エッジドロップ管理が非常に厳格化されている電磁鋼板の圧延ミルに用いられる場合が多い。

4.1 検出部構成

熱延用静止型プロファイル計との大きな違いは、全体を粗く見るより、10 mmぐらいまでのエッジ部だけを正確に測定する目的で設計されていることである。このために、エッジ部の幅方向の幾何学的分解能を向上させる必要があり、検出器をバスライン位置で4~5 mm程度の間隔(熱延は12~13 mm)になるように配列してある。分解能を上げるため測定できる幅が狭くなっているが、これは図5のように、検出器を板幅に応じて被測定材のエッジの上に移動させることで対策している。測定する板幅により、検出器をエッジ位置に移動させるため、板エッジを測定するX線ファンビームの条件が一定となり、更に再現性がよくなっている。

また、板幅方向の検出器当たりの幾何学的分解能(幅方向)が密になっているため、板エッジの検出精度が高く、表示密度



が高いので、異常が直感的にわかりやすい、などが挙げられる。

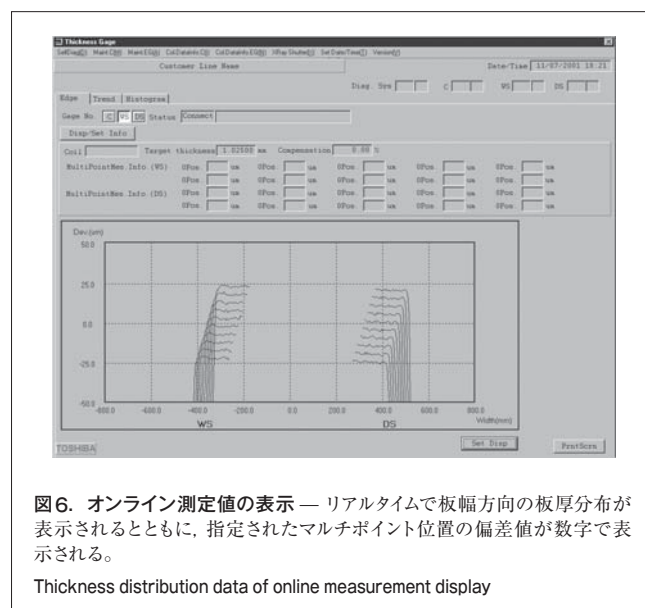
4.2 仕様と特長

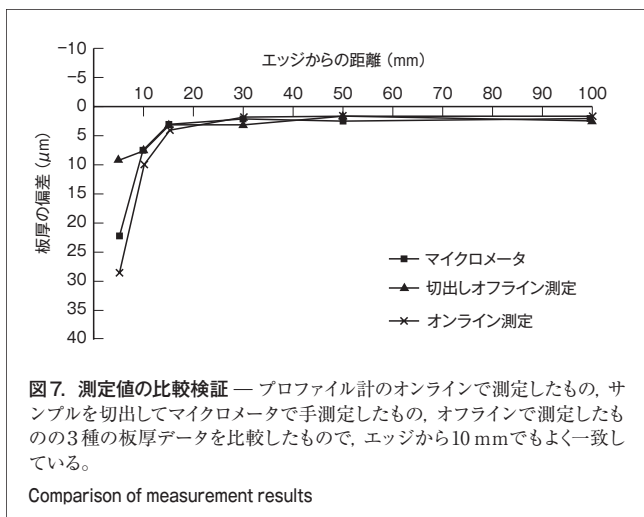
冷延用静止型エッジドロップ計の主な装置仕様を表2に示す。測定結果の表示例を図6に示す。リアルタイムで板幅方向

表2. 冷延用の仕様概要

Specifications for cold application

項目	仕様
測定範囲	0.1~8.0 mm
材質補正範囲	±15 % (純鉄基準)
測定板幅	550~2,000 mm
再現性	±0.1 %以下 (2σ)
雑音	±0.1 %又は2 μm以下 (2σ, 200 ms)
ドリフト	±0.1 % / 10 h (IEC61336)
幾何学的分解能	4~5 mm (幅方向)



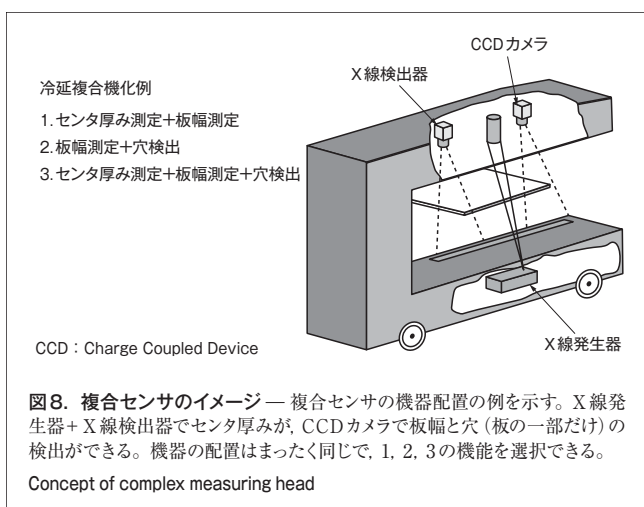


の板厚分布が表示されるとともに、指定されたマルチポイント位置の偏差値を数字表示し、可視性をよくしている。

図7はオンラインの厚み計測定値、該当する部分を切出した被測定材のオフラインの厚み計測定値、及びマイクロメータの測定値の3者を比較したもので、エッジ10 mm点まで3 μm以下で一致していることがわかる。

5 複合化センサ

制御の高度化に伴い、必要な制御用と品質管理用センサの種類、数量とも増加傾向にある。しかしながら、制御の観点から見て、圧延ラインにセンサのための設置スペースを拡大していくことは望ましいことではない。そこで、図8のように複数のセンサを一つのCフレームに搭載する複合機のメリットが出てくる。



複合機のメリットは、次のとおりである。

- (1) 省スペース (共通Cフレーム化, 共通制御部化)
- (2) 設置工事費の低減
- (3) 環境対策の共通化と軽減
- (4) 品質データの一括処理と一括管理
- (5) 計測の同時性確保

6 あとがき

制御であれ改善であれ、結果を正しく測定するところから物事は始まる。国内製鉄メーカーの叱咤(した)激励を糧に、当社はオンライン環境での厚み測定を追及してきた。熱延及び冷延それぞれの板厚測定ニーズに応え、圧延のいっそうの高度化に貢献していきたい。

文献

- (1) 森岡 義久. “最近の特殊センサの動向”. (社)日本塑性加工学会第248回塑性加工シンポジウム, 圧延工学分科会第93回研究会企画委員会編, 東京, 2006-05. (社)日本塑性加工学会, 東京, (社)日本塑性加工学会, 2006, P.51-59.
- (2) 小原 哲. 静止型プロファイル計. 計測技術, 31, 1, 2003, p.46-49.



大熊 茂幸 OKUMA Shigeyuki
産業システム社 府中事業所 計測制御機器部主査。
厚み計の設計・開発に従事。
Fuchu Complex



小原 哲 OBARA Satoshi
産業システム社 府中事業所 計測制御機器部主務。
厚み計の設計に従事。技術士(原子力・放射線部門)。
Fuchu Complex



西川 政光 NISHIKAWA Masamitsu
産業システム社 産業システム事業部 制御・計装機器営業部
主査。圧延特殊機器の技術・企画に従事。
Industrial Systems Div.