
熱間圧延環境に耐えるオンライン寸法・形状測定技術

On-line Size and Shape Measurement Techniques for Hot Steel Rolling Process

穴吹 善範(Yoshinori Anabuki) 後藤 義人(Yoshito Goto)

要旨：

川崎製鉄で、最近、開発・実機化した鋼材の寸法・形状測定技術についてまとめた。まず、レーザ距離計の高精度化技術について述べ、さらに、計測器にとっては過酷な測定環境である熱間圧延プロセスでのオンライン測定に必須の耐環境技術を詳述した。具体的な開発事例として、寸法測定技術に関しては、厚板シャーラインの測長計とホットストリップの仕上げスタンド間センサを、形状測定技術に関しては、厚板平面形状計と形鋼工場の寸法計を紹介した。

Synopsis：

Recent Kawasaki Steel's development on size and shape measurement techniques for hot steel rolling processes is reviewed. First, a precision enhancement technique for a laser distance meter is described, then, its rugged structure necessary for measurement in such tough environment as hot rolling processes is described in detail. A plate length meters and an inter-stand sensors for a hot strip mill are shown as developed size measurement techniques. Furthermore, plate shape meters and laser profile gauges for H-beams are depicted as specific examples of shape measurement techniques.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

On-line Size and Shape Measurement Techniques for Hot Steel Rolling Process



穴吹 善範
Yoshinori Anabuki
本島製鉄所 管理部商
品技術室 主査(課長)



後藤 義人
Yoshito Goto
千葉製鉄所 制御技術
部熱延制御課 チーフ
ラインマネージャー
(課長補)

要旨

川崎製鉄で、最近、開発・実機化した鋼材の寸法・形状測定技術についてまとめた。まず、レーザ距離計の高精度化技術について述べ、さらに、計測器にとっては過酷な測定環境である熱間圧延プロセスでのオンライン測定に必須の耐環境技術を詳述した。具体的な開発事例として、寸法測定技術に関しては、厚板シャーラインの測長計とホットストリップの仕上げスタンド間センサを、形状測定技術に関しては、厚板平面形状計と形鋼工場の寸法計を紹介した。

Synopsis:

Recent Kawasaki Steel's development on size and shape measurement techniques for hot steel rolling processes is reviewed. First, a precision enhancement technique for a laser distance meter is described, then, its rugged structure necessary for measurement in such tough environment as hot rolling processes is described in detail. A plate length meters and an inter-stand sensors for a hot strip mill are shown as developed size measurement techniques. Furthermore, plate shape meters and laser profile gauges for H-beams are depicted as specific examples of shape measurement techniques.

1 緒 言

日本の鉄鋼業は、川崎製鉄千葉製鉄所を初めとする戦後の臨海製鉄所の建設とともに急速に発展し、現在では質・量ともに世界最高の水準に達している。最近のアジア諸国からの追い上げがあるというものの、高品質の製品を開発することや、より一層のコストダウンを行うことにより、現時点においても世界最高の競争力を有するものと考えられる。

昨今の世界的な競争の時代には、一層の企業競争力強化のため高品質製品の開発や生産性向上が必要であり、これを支えるプロセス制御技術・計測技術がますます重要となってきた。

鉄鋼業は多種多様のプロセスから構成されるため、現場からのセンシング技術のニーズも多様である。しかも、その運転環境は熱・振動・塵埃・水にさらされるなど非常に過酷なものであり、市販の汎用センサを直接適用することは不可能な場合が多い。このため、川崎製鉄では長年にわたりセンサの自社開発を行ってきており、特にオンライン寸法・形状測定技術においては、各メーカーと協力しながら独自のセンサを開発し業界をリードしてきた。本稿では、それらの開発技術を紹介するとともに、各々のセンサの技術的特長を述べる。

2 主要開発技術

2.1 レーザ距離計の校正技術

2.1.1 オフライン校正技術

近年、寸法・形状測定に最もよく用いられる計測器はレーザ距離計である。当社はその高精度校正技術^{1,2)}を開発し、各測定装置に適用してきた。レーザ距離計の測定原理を Fig. 1 に示す。基本原理は三角測量方式であり、被測定物の表面で反射されたレーザ光をレンズで集光し、受光素子上に結像させ、この結像位置から、あらかじめ求めておいた結像位置と測定位置の関係を用いて、被測定物の位置を求めるものである。

レーザ距離計における結像位置と測定位置の直線性は、両者の関

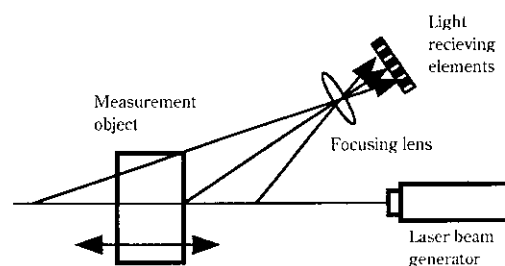


Fig. 1 Measurement principle of laser distance meter

* 平成11年10月7日原稿受付

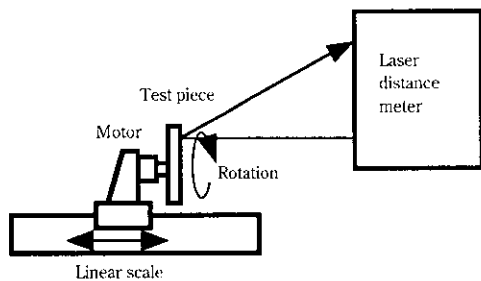


Fig. 2 Newly developed calibration method

係を求める時、すなわち校正時の受光素子上の受光エネルギー分布形状に大きく依存する。この分布形状は、被測定面の粗度や反射率変化に影響され、従来の校正方法では測定範囲の $\pm 0.05\%$ が測定精度の限界であった。当社では分布形状を安定させるため、校正時に各測定位置において被測定面を回転させることにより、粗度や反射率変化の影響を軽減させ、正規分布に近い安定した受光分布を得ることに成功した。これを Fig. 2 に示す。この結果、レーザ距離計の直線性を測定範囲の $\pm 0.015\%$ 以下にすることが可能になり、オンラインでの測定精度を飛躍的に向上させることができた。

2.1.2 オンライン校正技術

オフライン校正技術とともに、オンライン校正技術が測定装置の性能維持に必要である。定期的にオンライン校正を行うか、測定開始前に必ず校正用サンプルを用いてオンライン校正を行うことにより、測定精度の経時劣化を防いでいる。

2.2 耐環境技術

鉄鋼プロセスにおける計測技術の最大の課題は、環境対策である。特に、熱間プロセスにおける熱・振動・塵埃・冷却水などは計測機器にとって非常に過酷な環境であり、それらに対する適切な対策が行われない限り、オンラインでの安定測定は実現できない。以下に、当社で開発した環境対策例を示す。

2.2.1 熱対策

熱間圧延材の高精度寸法測定のためには、入念な熱対策が必要である。そのため、レーザ距離計を用いた寸法測定装置においては、距離計を設置する架台や装置自身に極めて熱膨張率が小さな材質を用いるとともに、それらの内部を一定温度に制御された冷却水を通すようにしている²⁾。これにより、複数の距離計の空間配置を精度良く保持できるようにした。また、距離計などの計測器を格納する収納箱も断熱構造とするとともに、収納箱内の温度が常時一定となるように温度制御している。

2.2.2 振動対策

測定器をミル直近に設置する場合や測定対象に接触させる場合は、振動対策が必要である。このような場合は、積層ゴムとスプリングおよびダンパーを組み合わせた緩衝装置³⁾を用いて、計測器に振動の影響が発生しない構造とし、可能な場合はミル本体とは独立な架台を設けている^{3,4)}。

2.2.3 粉塵対策

熱間圧延・冷間圧延を問わず、鉄鋼プロセスには酸化スケールの粉塵が多く、これが安定した測定の妨げとなっている。特に、レーザ距離計のような光学的手法を用いて寸法測定する場合には、大きな外乱となる場合が多い。これに対応するため、当社では、計測器表面を強力にエアバージして、粉塵が堆積しない構造を採用している。また、計測器格納容器を多層構造にして、粉塵とともに冷却水の投入にも耐えられる構造とする場合もある。ミル直近に設置した

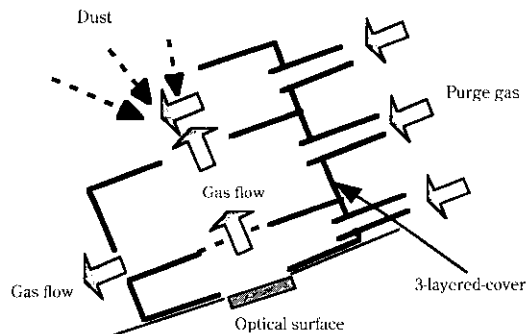


Fig. 3 Dust-proof structure

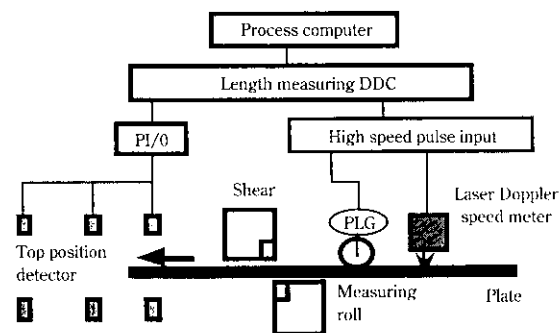


Fig. 4 System configuration of plate length meter

レーザ距離計収納箱の構造を Fig. 3 に示す⁵⁾。本構造により、レーザ距離計の光学面は6ヶ月以上清浄に保つことが可能である。

2.2.4 熱ゆらぎ対策

レーザ距離計を用いて熱間圧延材の寸法測定を行う場合は、輻射熱による光路内空気の膨張による熱ゆらぎ対策が重要となる。当社では、光路内を適切にエアバージすることにより、熱ゆらぎ対策を行っている²⁾。

2.3 保全技術

設備保全時の作業性と安全性の向上のために、基本的に各測定装置はオフラインに退避可能な構造としている。また、上位計算機とリンクさせて、校正時のデータや温度、振動、電圧などのデータを長期間に渡って保存し、任意のタイミングで解析可能としている。これにより、万一のトラブル発生時にも、迅速な対応が可能である。

3 寸法測定技術

3.1 長さ測定技術

材料長さをオンラインかつ高精度で測定する技術として、水島製鉄所厚板工場に導入した測長計を紹介する⁶⁾。本測長計の構成を Fig. 4 に示すが、特徴は以下の通りである。

- (1) レーザドップラー方式速度計とメジャーリングロール方式速度計を併用することで、鋼板の一時停止を含む全速度範囲で高精度測長を実現した。
- (2) 市販されているレーザドップラー速度計の能力を最大限に発揮させる測定環境を実現するために、測定距離の一定化・無振動化・垂直保持化が可能な保持機構を開発した。
- (3) 光電スイッチを用いて鋼板の先端検出を行うことにより、測長基準の設定と自己診断を行い、測長計の精度と信頼性を確保

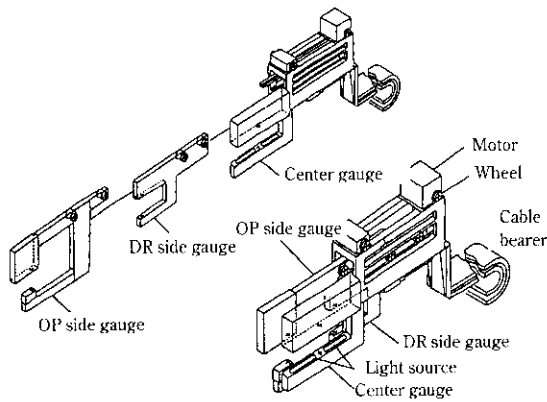


Fig. 5 Layout of inter-stand sensor

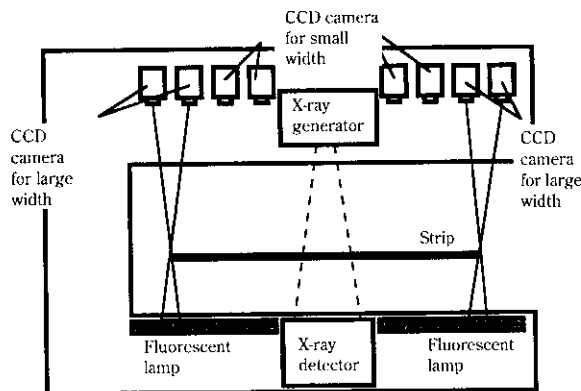


Fig. 6 Center gauge

した。

この結果、材料長さ 10m につき $1\sigma = 1.97\text{ mm}$ の高精度測長が実現できた。

3.2 厚さ・幅測定技術

熱間圧延鋼板の板幅、板厚などを測定する装置として、千葉製鉄所第3熱間圧延工場仕上げミルにスタンド間センサを導入したり。

3.2.1 構造

センター固定型のX線板厚計1台、板幅方向走査型のX線板厚計2台を入れ子構造とし、さらにセンター板厚計のフレーム内に幅・蛇行計を入れる一体構造とし、狭いスペース内に設置できるようにした (Fig. 5)。

また、幅計についてはカメラと測定対象 (鋼板) との間隔が狭く、幅アジャスト機構などを入れるスペースがないため、Fig. 6に示すように、狭幅用カメラ4台、広幅用カメラ4台の計8台のカメラを使用する方式を採用した。

3.2.2 環境対策

仕上ミルのスタンド間は、熱・水・スケール・振動などの劣悪な環境にあるため、環境対策が重要となる。振動対策については、架台をミルハウジングと縁を切った自立型とした。鋼板上の水乗り対策に関しては、水とエアーによる2段階水切り方式とした。また、測定空間内の蒸気などの対策として、幅方向全域に渡るエアバージを行っている。

3.2.3 保全環境

繊細な計器を保全するため、スタンド間センサ全体をモーターームまで移動可能として、良好な雰囲気下で保全作業ができるよう

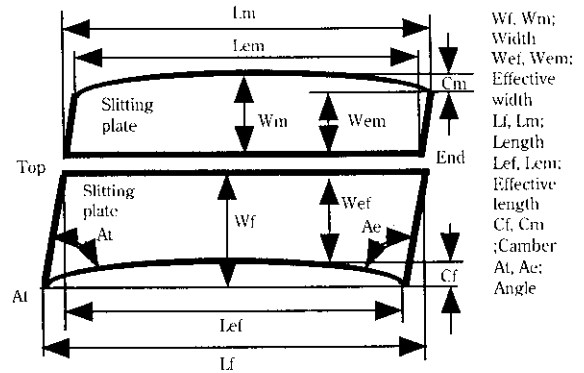


Fig. 7 Measurement items of plate shape meter

にした。この結果、厚さに関してはフルレンジの $\pm 0.2\%$ で、また幅に関しては $\pm 1\text{ mm}$ の精度で、圧延中の熱延鋼板の寸法測定が可能になり、寸法精度の向上に大きく寄与している。

4 形状測定技術

4.1 平面形状測定技術

平面形状測定の実施例として、水島製鉄所厚板工場剪断ラインの平面形状計を紹介する。本形状計は、汎用の2次元レーザ距離計とレーザドップラー速度計、および画像処理装置を組み合わせた安価かつ高性能な測定装置であり、以下の特徴を有する。

- (1) 厚さ以外の寸法形状保証項目を全数自動検査化した。平面形状計の測定項目を Fig. 7 に示す。
- (2) 走査型2次元レーザ距離計を応用することで、並列搬送鋼板の幅形状の一括測定を可能とした。
- (3) 環境対策を適切に行うことにより、市販のレーザドップラー速度計を用いて、高精度長さ測定を安価に実現した。
- (4) 汎用画像処理装置を利用して、直角度測定と耳残り検出の走査測定を実現した。

これにより、並列搬送時を含めて厚鋼板に関する全寸法品質保証項目のインライン測定が可能になった。なお、長さ測定に関しては、フルスケールの $\pm 0.2\%$ 以下の精度で測長できている。

4.2 断面形状測定技術

Fig. 8に示す通り、水島製鉄所大形形鋼工場には断面寸法・形状を測定する装置が数多く設置されている。ここではその代表例として、熱間寸法計と冷間寸法計をとりあげる。

4.2.1 ブレークダウンミル熱間寸法計⁹⁾

ブレークダウンミル出側熱間寸法計は、ブレークダウン圧延後のトング鋸断中の静止状態を利用して材料の断面形状を測定するものであり、構造を Fig. 9 に示す。本装置は以下の特徴を有している。

- (1) 回転機構に距離計を取り付けたCフレームを往復走行させることで、2台という最少の距離計台数でH形鋼の断面プロフィールを測定する技術を初めて確立した
- (2) Fig. 10に示すように、測定ごとにオンライン校正片の測定を行い、校正片の測定情報上下往復時の4つの測定結果を合成する方法とした。校正片を用いることにより、走行レベル変化・回転角度・距離計のドリフトなどの誤差をキャンセルでき、高精度測定を実現した。

測定に要する時間は18sであり、熱間材での合成処理を含めた

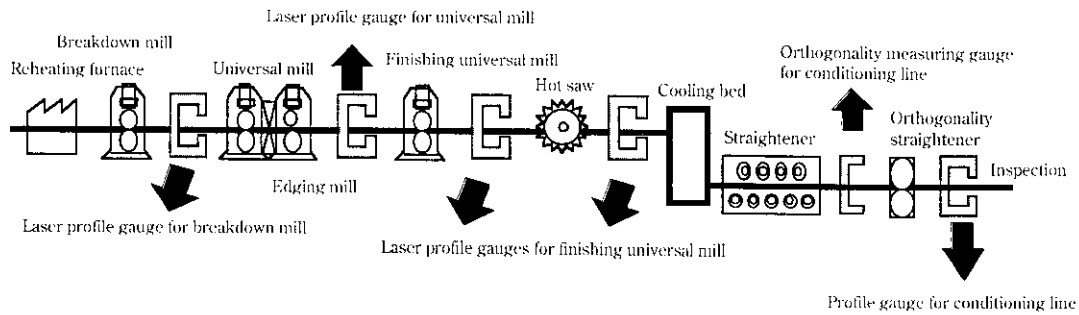


Fig. 8 Layout of continuous on-line H-shapes measurement gauges

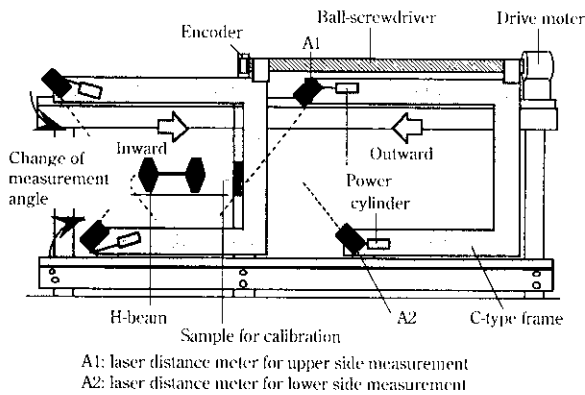


Fig. 9 Laser profile gauge for breakdown mill

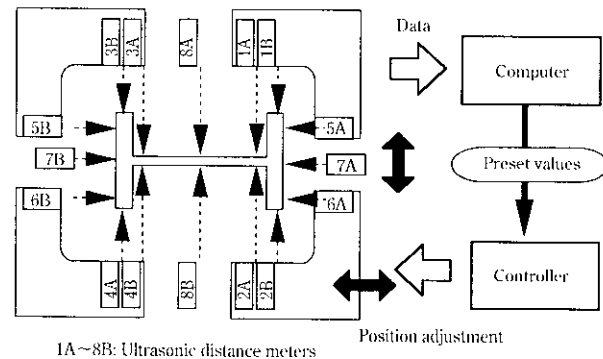


Fig. 11 Configuration of profile gauge

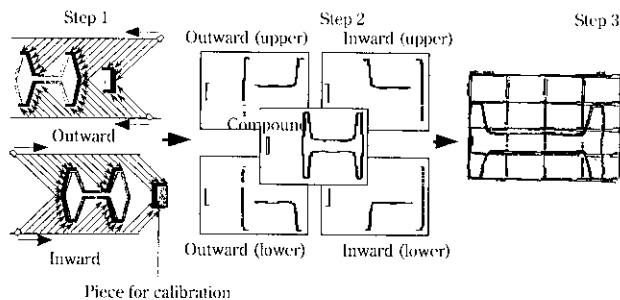


Fig. 10 Measurement block diagram

総合測定精度は 2σ で 0.5 mm 以下である。

4.2.2 冷間寸法計⁹⁾

冷間寸法計は大形工場精整ラインの矯正機出側に設置され、走行中の材料の断面寸法・形状を連続的に測定する装置である。本寸法計の特徴は、超音波距離計を用いることにより、超音波の空間的広がりを利用して、従来困難であった H 形鋼のフランジ幅測定を安価に実現したことである。本装置は、16 台の超音波距離計とそれらの測定値に基づいてフランジ幅・中心偏り・直角度などの項目を

算出するコンピュータおよび材料サイズに応じて距離計位置を設定するコントローラから構成され (Fig. 11)、サイズ変更ごとにテストピースを用いて校正後、オンライン測定を開始する。

オンライン測定精度としては、フランジ幅で $1\sigma = 0.25 \text{ mm}$ 以下を達成しており、従来の 2 次元レーザ距離計などを用いた場合とは同等の測定精度を実現している。

5 結 言

川崎製鉄が独自に開発してきた寸法・形状測定技術の概要を述べた。要点は以下に示す通りであるが、これらの測定技術の開発は、製品寸法精度の向上や生産性の向上、および製品の高品質化に大きく寄与している。

- (1) オンライン・オフライン校正技術および耐環境技術の組合せにより、鉄鋼製造プロセスの過酷な測定環境においても、長期間に渡って安定した測定が可能な計測装置を開発した。
- (2) 寸法測定技術の代表例として、厚鋼板シャーライン測長計と熱間圧延仕上げミルのスタンド間センサを紹介した。
- (3) 形状測定技術として、厚板平面形状計および大形形鋼用熱間・冷間断面形状測定装置を紹介した。

参 考 文 献

- 1) 福高善己、藤本洋二：SICE 予稿集、(1989)、365-36
- 2) 馬場和史、福高善己、藤本洋二、黒田泰徳：第 35 回自動制御連合講演会予稿集、(1992)、579-580
- 3) 片山二郎、山崎順次郎、馬場和史、岡村 勇、小川隆生、井上正敏：材料とプロセス、1(1988)、512
- 4) 後藤義人、吉村宏之：材料とプロセス、9(1996)、945
- 5) 川崎製鉄(株)：特開平 10-153483
- 6) 片山二郎、穴吹善範、折田朝之、宮本一徳：材料とプロセス、10(1997)、1032
- 7) 片山二郎、穴吹善範、山本達雄、折田朝之、小見山義高：計測自動制御学会予稿集、(1997)、514
- 8) 松本 安、片山二郎、穴吹善範、林 安之：材料とプロセス、9(1998)、945
- 9) 福高善己、長谷旅思、片山 進：材料とプロセス、3(1990)、495