

技術報告

光切断式熱間鋼板平坦形状測定装置の開発

川口 清彦*・稲田 清崇*・川畑 友明*²Development of Plate Flatness Meter Based on
Light Section Method on Hot Rolling

Kiyohiko KAWAGUCHI, Kiyotaka INADA and Tomoaki KAWABATA

Synopsis:

The hot plate flatness meter has been developed in order to improve yield ratio and quality of products in the plate mill. It consists of an Ar laser, a rotating mirror with eight facets, a TV camera and an image processor, and the principle of measurement is based on the light section method. The plate flatness meter can measure the elongation rate of hot plates even if the temperature is around 1 000°C within an average error of 0.04% by using an image processing technique.

1. 緒 言

近年の圧延工程における歩留り向上及び製品の高品質高精度化への要求は強く、圧延機本体及び付帯設備などのハードウェアと、計測制御などのソフトウェアとの効果的な結合が必要である。

厚板では、剛性度の高い圧延機と高性能 AGC などにより、形状制御性の高い厚板圧延機が出現している。圧延機の形状制御能力を最大限に生かすためには、圧延中または圧延直後の熱間鋼板の形状を定量的に把握することが不可欠となつてきている。

圧延過程で発生する平坦度不良は、下工程での冷間矯正、更に再加熱矯正を必要とするものがあり、製造コスト、ならびに納期に影響をあたえている。また、厳しい断面形状制御を行うさいには、平坦度不良の発生率も高くなり、圧延中の熱間鋼板の平坦形状を常時監視する必要がある。

熱間圧延における平坦形状測定方法としては、中空多分割ロール法¹⁾、水柱抵抗法¹⁾、棒状光源法¹⁾、渦電流法²⁾、レーザ光源法³⁾⁴⁾と各種提案されているが、板幅方向の 1 断面の線状形状を鋼板の走行に従い連続的に測定し、長手方向の平坦形状を求める方式では、走行による鋼板の振動と平坦形状とを分離できない問題、またモアレ法では厚板のように大寸法なものに対して、実用的な格子の製作などに問題があつた。

本報では、この問題を解決するため、画像処理技術を

適用し、撮像した一画面ごと平坦形状を得ることが出来る厚板の平坦形状測定装置（平坦度計）を開発したので報告する。

2. 撮像系の検討

画像処理計測法を熱間鋼板の形状測定に適用する場合には、照明及び撮像条件の最適化により、画像処理の容易なコントラストの強い画像を撮ることが重要である。赤熱放射光の影響を調査するため、CIE 視感度特性を持った照度計を用いて鋼板温度に対する照度を測定した。その結果を Fig. 1 に示す。図中の計算結果には、PLANCK の黒体放射の式⁵⁾と、熱間鋼板の放射率として 0.6 とを用いた。

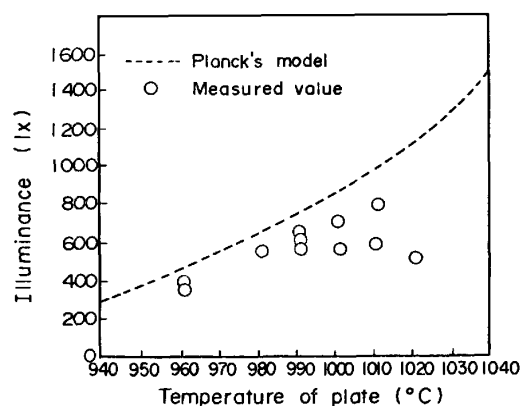


Fig. 1. Influence of temperature upon illuminance of hot plates.

昭和 58 年 11 月 16 日受付 (Received Nov. 16, 1983)

* 住友金属工業(株)制御技術センタ (Instrumentation and Control Technology Center, Sumitomo Metal Industries, Ltd. 1-3 Nishinagashondori Amagasaki 660)

*² 住友金属工業(株)和歌山製鉄所 (Wakayama Steel Works, Sumitomo Metal Industries, Ltd.)

撮像面上での、赤熱放射光強度と、画像処理の信号として用いる補助光源の入射強度比 ($S(T)$) は、下記の(1)式で得られるので、PLANCKの式より赤熱放射光強度の弱い短波長域を使用するのが良い。

$$S(T) = \frac{\int D(\lambda) \cdot M(\lambda) \cdot R(\theta, \omega, \lambda, T) \cdot I(\lambda) d\lambda}{\int D(\lambda) \cdot M(\lambda) \cdot \varepsilon(T) \cdot J(\lambda, T) d\lambda} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 T は絶対温度、 λ は光波長、 θ は入射角度、 ω は反射角度、 $D(\lambda)$ は撮像系分光感度分布、 $M(\lambda)$ は光学系分光透過率分布、 R は鋼板の表面反射率分布、 $I(\lambda)$ は光源分光強度分布、 $\varepsilon(T)$ は鋼板表面放射率、 $J(\lambda, T)$ はPLANCKの黒体放射式をあらわす。

本装置では、アルゴンイオンレーザ (波長 4880 Å) を補助光源に用い、レーザと同波長に透過ピークを有し、透過率分布半値幅が 200 Å 以下の狭帯域単波長干渉フィルタと赤外域カットフィルタを使用することで赤熱放射光の影響を排除している。撮像系には、5000 Å 近くに感度ピークを持ち、残像特性のすぐれているプランビコン管をピックアップに使用した高解像度 TV カメラを用いた。以上の撮像系により 1000°C の熱間鋼板に対しても画像処理可能な画像が得られている。

3. 測定方法

3.1 測定原理

レーザビームを用いた光切断法を原理としている。Fig. 2 に光切断法原理を示すが、光切断面と鋼板面との交差線の基準位置からの水平方向のずれより、(2)式で鋼板表面高さが得られる。

板長手方向の平坦形状の表現として、(3)式で得られる伸び率を近似的に使用する。本装置では、8本の光切断面を鋼板上に投照し、鋼板長手方向で8点の3次元座標を求め折れ線近似で伸び率を算出する。

$$Z = D \cdot \tan \theta \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\varepsilon = \frac{\sum_{i=1}^7 ((X_i - X_{i+1})^2 + (Z_i - Z_{i+1})^2)^{1/2} - L_0}{L_0} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 Z は鋼板高さ、 D は基準位置からのずれ、 θ

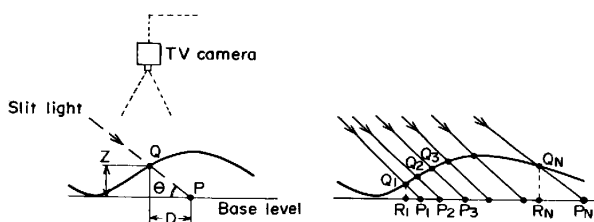


Fig. 2. Principle of light section method.

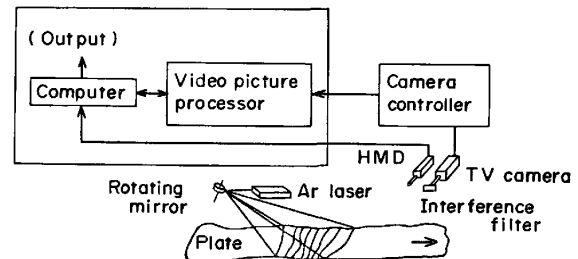


Fig. 3. Diagram of plate flatness meter.

Table 1. Specifications of plate flatness meter.

Item	Content
Argon ion laser	Total power 2.5 W Wavelength 4880 Å
Rotating mirror	8 facets, 1 800~3 800 rpm
TV camera	1" tube Hor. resolution 800 TV line
Image memory	512×512×8 bit, 1 024×512×1 bit

は光切断投影角、 X_i は測定点 i の板幅方向を示す X 座標、 Z_i は測定点 i の板長手方向を示す Y 座標、 $L_0 = |X_1 - X_8|$ をあらわす。

この伸び率を板幅方向で 3~5 点計算し比較することにより、鋼板の平坦度の定量化及び種類の評価ができる。

3.2 測定装置

和歌山製鉄所厚板工場において実ラインテストを行つた装置の概念図を Fig. 3 に示す。構成装置の仕様を Table 1 に示す。

アルゴンイオンレーザから発光されるビームを、傾き角が異なる 8 面回転ミラーで振らせ、8 面の光切断面を形成する。8 本の鋼板面上のレーザ輝線は、フィルタを通して TV カメラの同一画面で撮像される。アルゴンイオンレーザと回転ミラーは、圧延ライン側方の冷却容器中に設置されている。レーザ走査ビームが鋼板の走行方向に対し直交し、照射角が 6~15° になるよう光学系は調整されている。TV カメラはライン側方約 8 m、高さ 4.4 m の位置に設置され、一画面で 2 m の長さの形状が測定できる。

TV カメラからのビデオ信号は、高周波ノイズ除去のためローパスフィルタを通し、オートレベルスライサにより撮像面上の輝線位置信号に変換される。二値化後のビデオ信号は位置情報として、画像メモリに記録され、マイクロコンピュータによつて画像処理を行い、板両端、中央、四分の一点でそれぞれ伸び率が算出される。画像処理の手順を Fig. 4 に示す。輝線の本数により鋼板端部を認識し、板幅方向伸び率測定位置を決める。輝線の連続性をトレースし、欠落した場所は補間を行う。

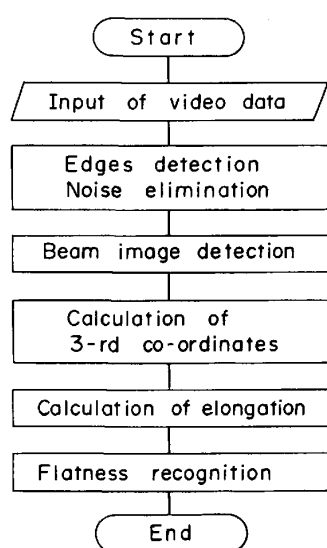


Fig. 4. Flow chart of calculating flatness.

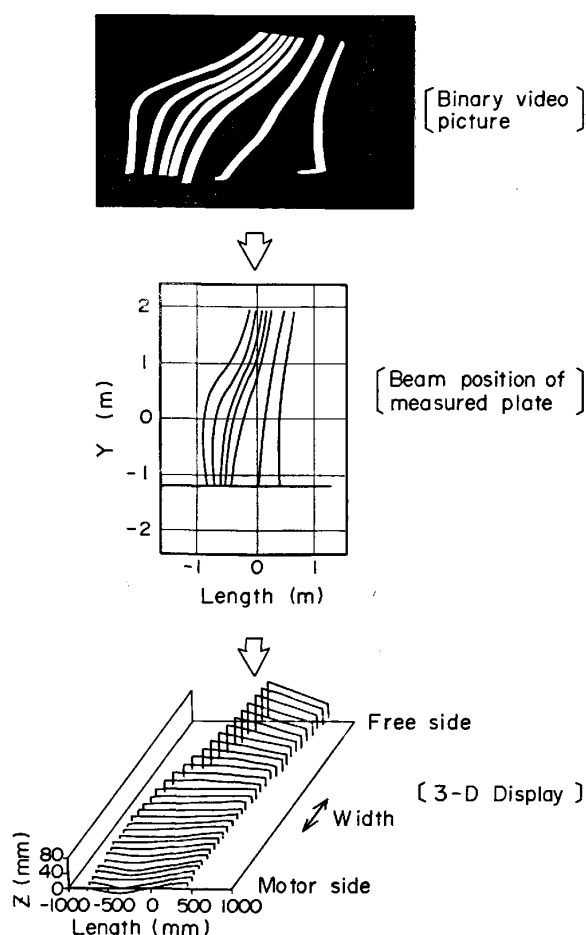


Fig. 5. Flow of image processing.

撮像面上の輝線位置座標値を、光学倍率及び奥行き補正を行い実空間座標に変換する。較正用基準平板であらかじめ記憶されている輝線の基準位置からの偏差を求め、(2)式より3次元座標を求め、(3)式より伸び率を得

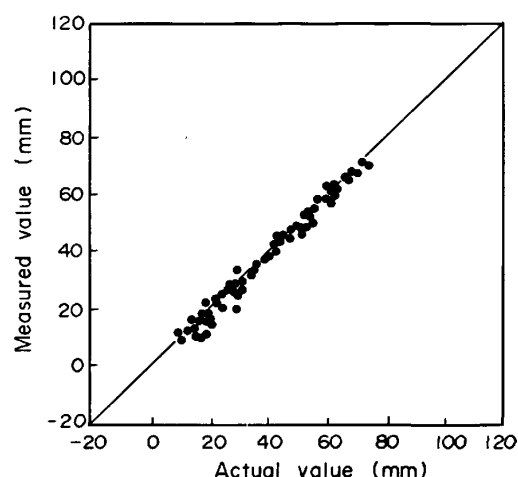


Fig. 6. Comparison between measured height by plate flatness meter and actual value of cold plates.

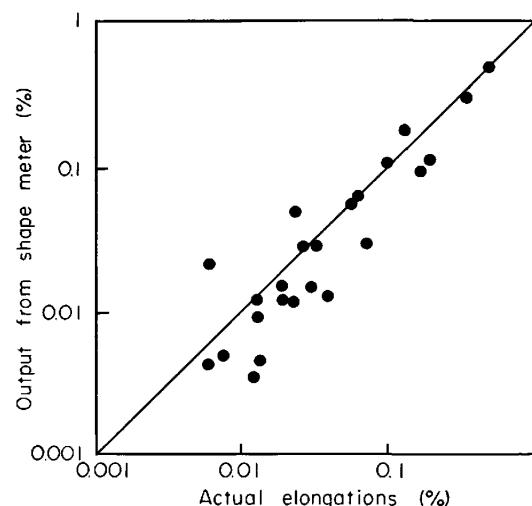


Fig. 7. Comparison between output from flatness meter and actual elongations.

る。

両端及び中央の伸び率の比較により、中伸び、耳波など平坦評価ができる。Fig. 5 に画像処理経過を示す。

4. テスト結果

4.1 冷間テスト材での精度調査

意図的に耳波、中伸びに圧延した形状の悪い2枚のテスト用鋼板を用い、実測値との対応を調査し、測定精度を評価した。

平坦度計は、テストモードで板幅方向100 mm ピッチで3次元座標及び伸び率を出力させた。実測方法としては、平坦度計測定時にライン上に鋼板を停止させ、レーザ輝線上の板幅方向500 mm ピッチの位置に、検尺棒をたてレーザセオドライトで直読し波高値を求めた。伸び率は、厚板工場の定盤上で実測した。

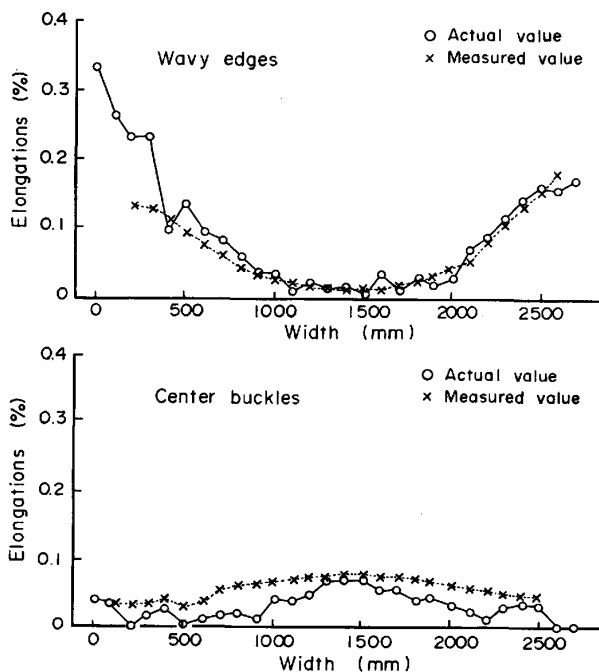


Fig. 8. Comparison between average elongations by actual value and measured one for total length.

Fig. 6 に波高値, Fig. 7 に伸び率の実測値との対応を示す。波高値で ± 4 mm, 伸び率で $\pm 0.04\%$ (2σ) の冷間精度が得られた。これは、実測時の測定誤差を考慮しても、十分実用装置として使用できる。次に鋼板を走行させ、連続的に全長を測定するテストを行い、耳波テスト材では 7 画面、中伸びテスト材では 9 画面の測定結果の平均伸び率と、実測値とを比較した結果を Fig. 8 に示す。搬送テーブル上と定盤上とのちがいはあるが、良好な対応を示しており、走間測定も問題ないことが確

認された。

4.2 オンライン熱間鋼板測定結果

和歌山製鉄所厚板工場の圧延機出側約 20m に設置し、オンラインテストを実施した。

圧延直後の熱間鋼板を測定した結果を, Fig. 9 に示す。鋼板温度, $700\sim 1000^{\circ}\text{C}$, 搬送スピード $1.5\sim 2\text{m/s}$ の範囲で十分測定できることを確認した。

鋼板上の水のりや水蒸気等の外乱に対しては、本設置場所においては、ほとんどその影響がみられず、圧延機近くの環境下でも使用可能と判明した。

搬送スピードを上げた場合にも、平坦形状の極度に悪くない鋼板に対しては良好な結果が得られる。しかし、形状の悪い鋼板では、レーザ輝線幅が広がり、画像のコントラストが劣化し画像処理ができなくなる。鋼板形状に依存する搬送スピードの上限が存在することがわかった。より高速に移動する鋼板の平坦形状測定を可能にする方法としては、テレビカメラの走査周波数をあげ、レーザ強度を増すことがあげられる。

5. 結 言

圧延中、圧延直後の熱間鋼板の平坦形状をオンラインで測定するため、光切断法を原理とするアルゴンイオンレーザを回転ミラーで複数本走査し、画像処理により波高値、伸び率を得る平坦形状測定装置を開発した。

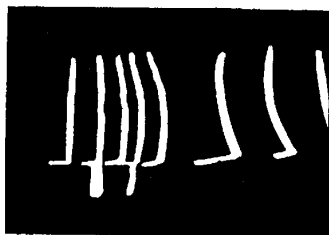
和歌山製鉄所厚板工場に設置し、精度調査、及びオンラインテストを行い実用の見通しを得た。

本装置の特長は以下のとおりである。

- ① 一画面ごと伸び率を算出するため、搬送による鋼

Plate size $2094^{\text{W}} \times 29010 \times 15.72^{\text{t}}$

Temperature		781 ($^{\circ}\text{C}$)
Elongations	Free side	0.043 (%)
	Center	0.013 (%)
	Motor side	0.043 (%)
Evaluation of shape		Wavy edges



Video display of light section images changed by bi-level signal

Plate size $2299^{\text{W}} \times 30680 \times 12.32^{\text{t}}$

Elongations	Free side	0.039 (%)
	Center	0.123 (%)
	Motor side	0.006 (%)
Evaluation of shape		Center buckles



Video display of light section images changed by bi-level signal

Fig. 9. Measured results of hot plates running at 1.5 m/s.

板上下振動の影響を受けない。

② 高出力アルゴンイオンレーザと干渉フィルタを用いており、1000°C 程度の鋼板についても測定可能である。

文 献

- 1) 藤井國一: 塑性と加工, 20 (1979), p. 217, p. 89
- 2) 堀内健文, 鶴谷三郎, 河島貞夫, 瀧沢謙三郎, 児山佑二, 上田長生: 神戸製鋼技報, 30 (1980) 4, p. 75
- 3) 佐野和夫, 渡部勝治郎, 山田健夫: 鉄と鋼, 66 (1980), S 283
- 4) 北村公一, 川島捷宏, 曾我 弘, 渡辺準之, 大坪誠: 鉄と鋼, 68 (1982), S 1146
- 5) 光学技術ハンドブック (久保田広, 浮田祐吉, 會田軍太夫編) (1968), p. 961 [朝倉書店]

統 計

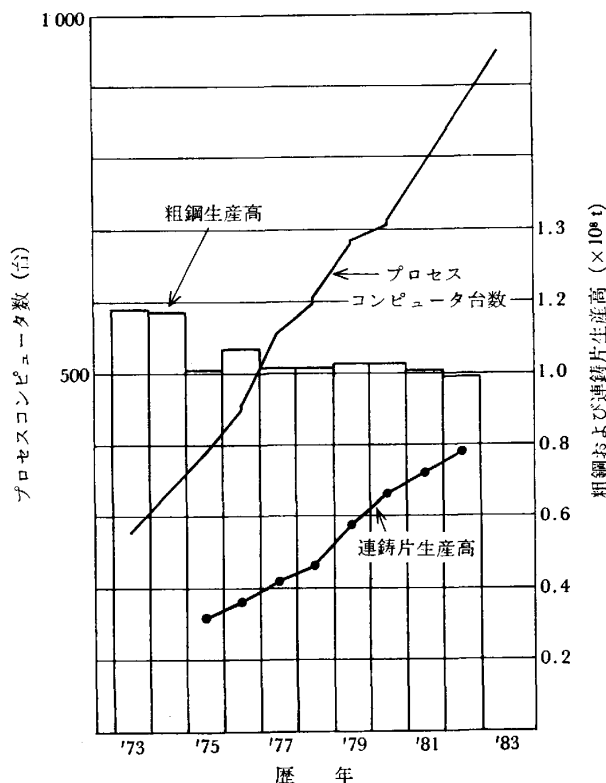
わが国におけるプロセスコンピュータ設置台数の推移

日本鉄鋼業においては、プロセスコンピュータを用いた制御が、あらゆるプロセスで行われている。

過去 10 年間、粗鋼生産量は、横ばい、または漸減気味である。しかし、プロセスコンピュータの設置台数は 280 台から 948 台へと目覚ましい伸びである。プロセスコンピュータの活用は、歩留り向上、品質改善、省エネルギーという各種合理化に向けられ、このような飛躍的な伸びにつながってきた。これを裏づけるように、合理化の代表とされる連铸片生産は、粗鋼生産量が頭うちにもかかわらず、順調にのび、過去 10 年間で 4 倍となり、昭和 57 年には連铸比率が 78% をこえた。当然のことながら、連铸用プロセスコンピュータも 33 台から 135 台へと増加している。

((株)神戸製鋼所電子技術センター 小西正躬)

* 鉄鋼統計要覧 p. 10 第I-3表; p. 56 第I-17表; p. 234 第IV-7表
鉄鋼統計委員会 ('83 日本鉄鋼連盟) 編



わが国におけるプロセスコンピュータ数と、粗鋼および連铸片生産高の推移