

技術報告

UDC 531.717.1 : 531.715 : 669.14-122

鋼材の幅と太さ測定機器*

泉 正雄**・川瀬 彰**・清野満夫**・酒井明雄**

Measuring Instruments of Width and Diameter of Steel Products

Masao IZUMI, Akira KAWASE, Mitsuo SEINO, and Akio SAKAI

Synopsis:

Problems of on-line width and diameter gauges are their accuracy and reliability, due to the severe environments of steel plants.

Three types of instruments reported here are based on the principles similar to those of the currently available instruments.

By the use of new photo-electronic devices and a digital technique the accuracy and reliability have been improved, and reliable on-line measurements have been accomplished.

In this paper, the performances of the cold slab width, cold strip width, and hot bar diameter gauges are presented.

(Received Sept. 27, 1972)

1. ま え が き

近年、各種圧延ラインにおいて計算機を使用した幅および太さ管理の自動化が進み、連続測定ならびに自動制御を可能にして省力化、歩どまり向上、品質管理などに効果をあげている。

板幅管理のセンサーとしては連続熱延工場での光電幅計が最初に実用化された。被測定物から放射される赤外線を利用するものと、下部光源を用いて被測定物の影を捕えるものと2通りの方法があり、それぞれ設置される場所におけるストリップ温度により使い分けられている。

最近ではさらに分塊圧延機後、加熱炉挿入前、巻戻しライン、酸洗ライン、スキンパスラインなどでの幅管理が重要になってきた。また形鋼や鋼管、線材の寸法計測も実用化の段階にきている。

本文では現在、開発ならびに実用化されている計測器のうち、光電変換技術を応用した冷間スラブ幅計、冷間ストリップ幅計および熱間光電太さ計の三機種について紹介する。

2. 冷間スラブ幅計

幅管理の目的は、フィードバック機能をもたせた制御用、選別機能をもたせた検定用、予測機能をもたせたコ

ンピュータによるトレーサ用とがある。目的に応じてメモリット計算ができるわけで、それぞれに適した測定精度、測定時間、外部出力信号が決定される。

ここで紹介するのは、スラブヤードでコンピュータによるトレーサ用に開発したもので、精度よりも安価に重点を置いて開発されたものである。スラブ温度は300°C以下で非接触、任意時刻一回測定である。

検出器をミルテーブル上約1200 mmに設置し、スラブ下側に光源を置き、スラブを影として検出する光電変換方式を採用している。

スラブが測定位置を通過するとき、光源スイッチによる測定開始信号が与えられると、約1 sec間で幅を自動走査して測定を終わり、スラブ幅をデジタル表示するとともに外部に測定信号を出す。

2.1 動作原理

Fig. 1に示すように、スラブのエッジを検出する光電検出器が左右に各1個あり、エアシリンダで幅方向に移動する。検出素子には光電子増倍管を用いている。

測定開始信号が与えられると光電検出器は内側から外側へ向かって移動する。その途中に設けた基準位置にきたとき、それぞれの原点幅(a, c)を加算カウンタにプリセットする。同時に単位パルスが光電検出器の移動

* 昭和47年9月27日受付

** 東京芝浦電気(株)玉川工場

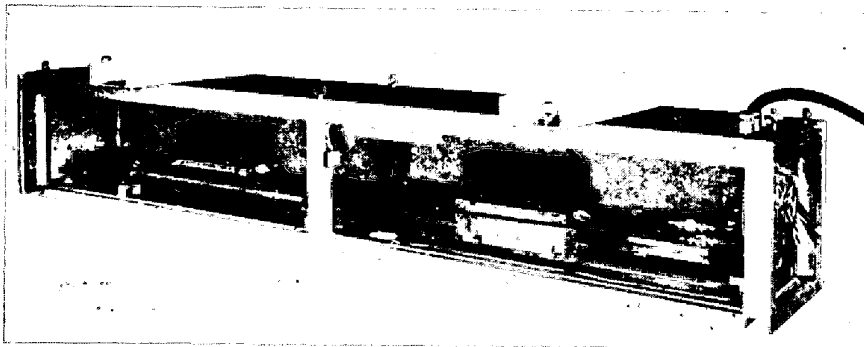


Photo. 1. Width gage for cold slab.

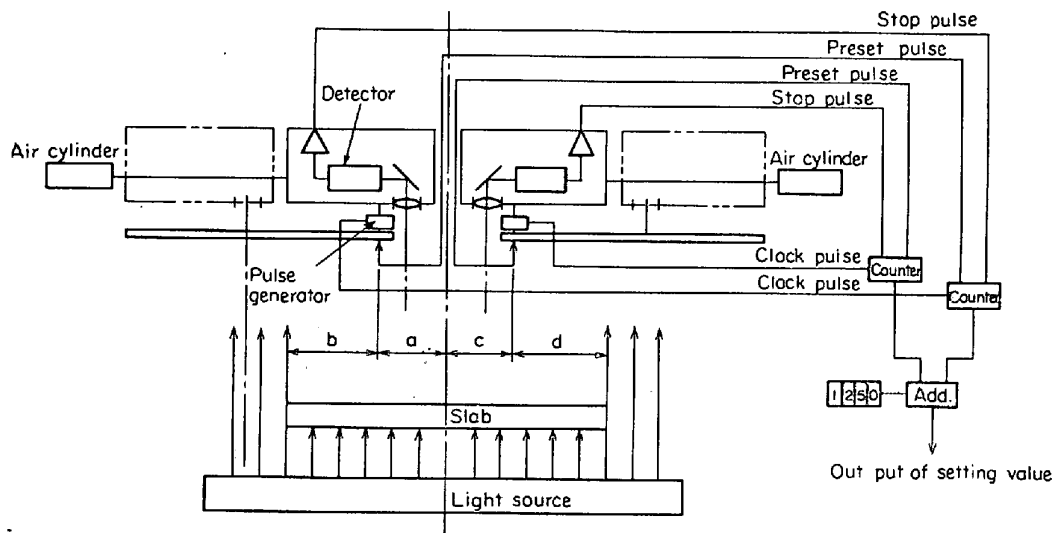
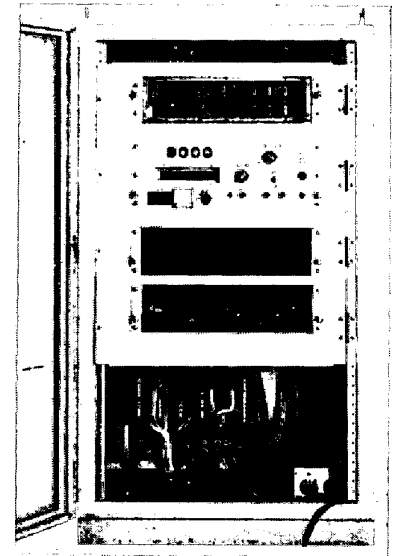


Fig. 1. Operation principle.

距離に比例して加算カウンタにインプットされる。

光電検出器がスラブのエッジ部分にさしかかると、ストップパルスが発生し、左右の加算カウンタをストップさせる。これで左右の加算カウンタの値は、別のカウンタで加算され、加算結果を幅測定値として外部へ発信または表示をする。

Fig. 1において、aは左の原点プリセット値、bは左の原点からストップパルスが出るまでの単位パルス量、cは右の原点プリセット値、dは右の原点からストップパルスが出るまでの単位パルス量とすると、幅測定値は $a + b + c + d$ となる。

2.2 おもな性能、仕様

この装置の主な性能と仕様は次のとおりである。

- 2.2.1 測定方式 光電式一回走査
- 2.2.2 精 度 ± 15 mm

- 2.2.3 測定時間 約 1 sec
- 2.2.4 測定範囲 500~1700 mm
- 2.2.5 スラブ速度 150m/min
- 2.2.6 スラブ横振 300 mm 以下
- 2.2.7 出力 BCD 4桁リレー接点信号, 最小 1 mm
- 2.2.8 入力
 - (1) 測定開始信号 測定開始にてメークする接点 1 a (スラブが通り抜けるまで ON)
 - (2) 測定開始用光電検出器の電源 ON 接点 1 a
- 2.2.9 表示
 - (1) 測定結果 数字表示管にデジタル表示する
 - (2) 電源表示 電源表示灯にて表示

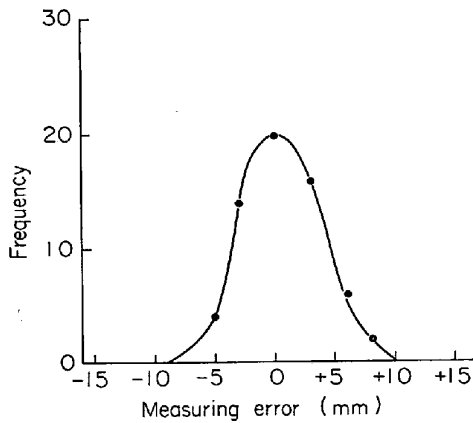


Fig. 2. Distribution chart of an error.

2.2.10 周囲条件

- (1) 温度 0~40°C
 (2) 湿度 50~80% RH

2.2.11 電源

- (1) 計装用電源 AC 100V±10% 1φ 1kVA
 (2) 雑電源 AC 200/220V±10% 3φ 5kVA

- 2.2.12 空気源 5~7 kg/cm² G の清浄空気,
 約 4Nm³/min

2.3 実測値

Fig. 2 に測定誤差の分布を示す。これは寸法がわかっている 1000 mm のスラブを測定位置におき、静止状態で 60 回くり返し測定した結果をグラフに表わしたものである。

2.4 予想される問題点

2.4.1 スラブ傾斜による誤差

検出器はライン中心から左右方向に直角に走査する。スラブがライン中心に対し θ° の傾斜があるとき生ずる誤差を ΔL_1 とすれば

$$\Delta L_1 = L \left(\frac{1}{\cos \theta} - 1 \right) \quad \text{ただし、} L \text{ はスラブ幅}$$

また、ライン中心から左側および右側の走査器が、スラブのエッジを検出する時間に差があり、かつスラブが θ° の傾斜をもちながら v m/sec で移動しているときに生ずる誤差を ΔL_2 とすれば、

$$\Delta L_2 = (T_1 - T_2) \cdot v \tan \theta$$

ただし $(T_1 - T_2)$ は左右の走査器のエッジ検出時間差。すなわち、スラブ傾斜による総誤差は、 $\Delta L_1 + \Delta L_2$ となる。

2.4.2 形状不均一による誤差

スラブエッジの形状に凹凸があるとき、一回測定のため測定位置により測定値が異なる。

3. 冷間ストリップ幅計

冷間ストリップ工場での板幅管理は従来、ラインを停

止または低速にして、作業員が任意時間に一点測定していた。最近生産量の拡大から、ライン速度を低下することは不可能になり、この種の計器が開発され、実用化している。

冷間ストリップの幅を測定する場合、幅計のセンサーとなる検出器に、熱間のそれのように、熱、水、蒸気の対策を施す必要がほとんどなく、ストリップに近接して設置できるので設置面の精度や周囲条件による影響は少ないし、ストリップの変動はロールやサイドガイドなどにより比較的容易に押えることができ、測定精度を上げることができる。

しかし、一般にはラインスピードが高速化しているので高応答のセンサーと演算装置が必要になってくる。

そして、ラインによつてはコイルを次々と溶接して、板切れがなく連続している場合があるので、当然のことながら長期間安定して動作するものでなければならない。

ここで紹介する装置は電子サーボによりストリップの両エッジに非接触で常時追従して、エッジ検出器の変位量を直線型パルス発信器で発信させ、連続して測定信号を出すもので、測定精度は後述のごとく、各種の誤差を自乗平均した形で表わし、 ± 0.5 mm である。

酸洗ライン、ホットスキンパスライン、各種メッキラインおよび冷間圧延ラインなど常温ストリップを扱うラインにはほとんど設置できるが、冷延ラインの場合、圧延機付近では圧延油がかかるので受光部分のオイルパーズを考慮する必要がある。

3.1 測定原理

Fig. 3 に示すように電子サーボと精密な磁気スケールでストリップの両エッジ間隔を測定する。

光電変換素子 (cds) を備えた左右のエッジ検出器を電子サーボで板の辺縁に非接触自動追従させる。このエッジ検出器は 1 対 (2 個) の cds がブリッジ回路の 2 辺に入っていて 1 個は測定用、他の 1 個は比較用に使用している。またエッジ検出器には磁気スケールの検出へ

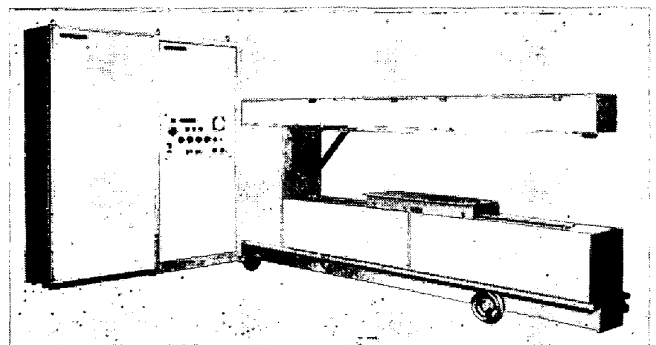


Photo 2. Width gage for cold strip.

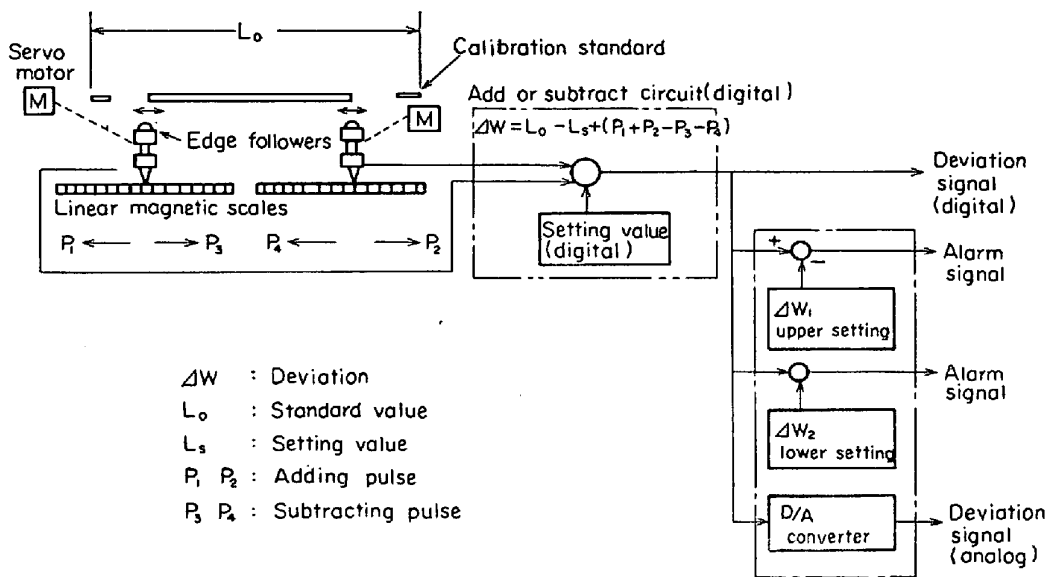


Fig. 3. Operation principle.

ッドがとりつけてあり、固定されている磁気スケール本体に対する変位量を電気パルス数に変換している。

この磁気スケールは、スケール本体に対して検出ヘッドが単位距離移動するごとに（本装置では1パルス/0.1 mmの割合で）移動の向きを判別できるパルスを送信する。したがって幅校正値を基準値としてプリセットした可逆カウンターを用いて両エッジ検出器の幅方向変位に対応する電気パルス数をその移動の向きにより極性を区別して加減算すれば、板幅がデジタル測定できる。

3.2 おもな性能、仕様

この装置のおもな性能と仕様は次のとおりである。

- 3.2.1 測定範囲：340～1350 mm（標準形）
 ：340～1750 mm（広幅形）

3.2.2 板の上下変動：±10 mm 以下

3.2.3 周囲温度：0～45°C

3.2.4 エッジフォロワー追従速度：100 mm/sec（不平衡時）以上

片振幅 5 mm の変化に対する周波数応答3Hz

3.2.5 総合精度 ±0.5 mm

3.2.6 校正 タイマーや板切れ時または随時、校正ボタンを押したとき自動校正する。

3.2.7 板幅設定 デジタル4桁（0～±1999 mm）

3.2.8 幅偏差 デジタル3桁（0～±19.9 mm）

3.2.9 オフゲージ判定

設定 デジタル2桁（0～±19 mm）上下限

表示 ランプ、ブザーにて表示

以上のほか下記の機能を付加することができる。

3.2.10 板幅の遠隔設定 BCD 4桁の桁並列無電圧接点

3.2.11 幅偏差のデジタル出力 BCD 3桁の桁並列無電圧接点 1組

3.2.12 幅偏差のアナログ出力、記録計および指示計用

3.3 誤差要因と実測値

3.3.1 誤差要因

本装置の測定誤差の要因を列挙すると下記のようなになる。

- (1) サーボ系の不感帯（再現性） ±0.2 mm
- (2) 光源20%減光によるドリフト ±0.2 mm
- (3) パスライン変動による誤差（±10 mm変動にて） ±0.3 mm
- (4) 温度ドリフト（0～45°C） ±0.2 mm

(注) 1. 上記の誤差は実測データによる。

2. 誤差はすべて校正した後の残誤差を示す。これ以外に長時間運転による磁気スケールの累積誤差があるが校正時にキャンセルされる。

総合精度は二乗平均をとると

$$\delta = \sqrt{0.2^2 + 0.2^2 + 0.3^2 + 0.2^2} = \pm 0.46 \text{ mm}$$

3.3.2 実測値

ここでは次の2点についてのデータを示す。

(1) 誤差分布

Fig. 4に測定誤差の分布を示す。これは正確に寸法がわかっている1000.0 mmの基準サンプル板を静止状態で60回くり返し測定した結果をグラフに表わしたものの

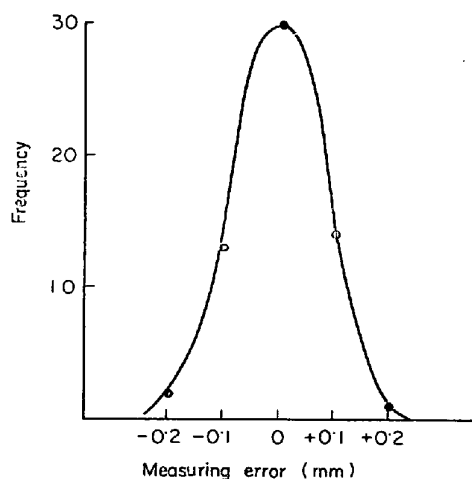


Fig. 4. Distribution chart of an error.

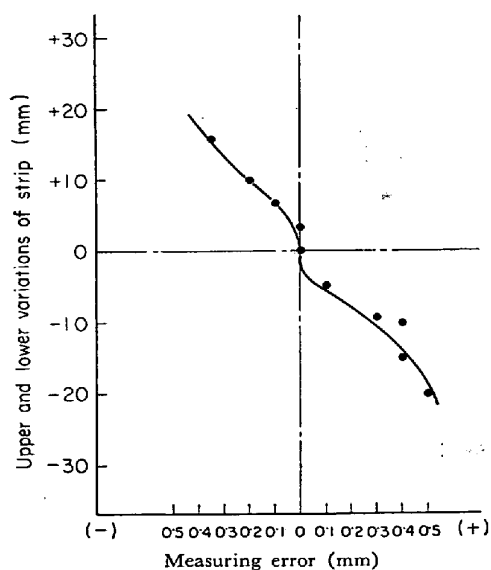


Fig. 5. An error for variation of strip.

で、ほぼ正規分布となる。

(2) パスライン変動特性

Fig. 5 に本装置の性能に大きな比重を占めるパスライン変動特性を示す。これも 1000・0 mm の基準サンプル板を平行に上下させて静止状態で測定したときの誤差である。

3.4 今後の課題

前項で示したようにパスライン変動による測定誤差が誤差の大きな要素を占める。これは光学系のピンボケによりエッジ検出器の不感帯が大きくなるためである。これについては今後、光源の照度を約2倍に上げ、しぼりの径を小さくし、より平行光線に近いところを利用する、またレンズの球面収差、色収差をなくすことにより改善できる見込みである。

4. 光電太さ計

圧延作業の能率化と製品の均一化は、熱延工場や冷間ストリップ工場と同様、棒鋼、線材工場においても重要なことである。

棒鋼および線材の径を測定する場合は、その方式ならびに測定原理は従来のホットストリップ幅計の下部光源型に用いているスリットスキニング方式をそのまま利用できるものの、おもに次のような条件を加味しなければならない。

- (1) 圧延工程中の棒鋼、線材はかなり振動がはげしい。
- (2) 棒鋼、線材工場においてはスペース的に制約があり小型のものが要求される。
- (3) 最終圧延機出側で測定する場合、被測定物の捻転が起こる。

これらの条件を克服しないと高精度の測定は困難であ

る。

ここに紹介する太さ計は、(1)については、被測定物の背面に非常に明るい光源を置き、特殊な光学系を用いることにより平行光線を作り、振れによる誤差をなくしている。

(2)については、レンズ筒を除くと、高さ 520 mm × 幅 300 mm × 奥行 215 mm の大きさとした。

これは数社の製鉄所で設置しているがスペース的に問題となっていない。

(3)については、太さ計の指示値と冷間におけるマイクロメータ測定値とを比較検定する場合、なかなか一致しない。この対策として、圧延機出口直後に太さ計を据付ければよい。ほかに、捻転の程度が常に一定になるようにできれば、太さ計をそれに応じて傾けて据付ける方法もある。

このほか、走査時間および AGC 応答時間の短縮、非直線性走査の光学的補正を行ない、光源波長の適正な選択により被測定物の温度が変わっても支障がないなどを特長としている。

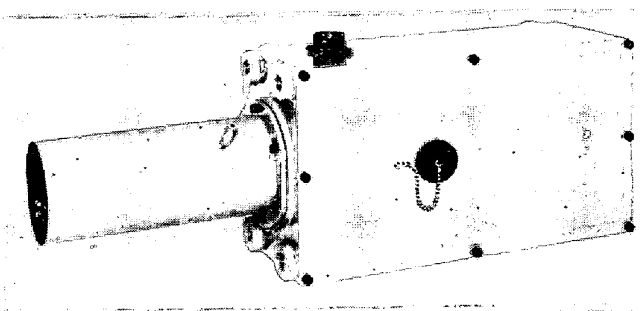


Photo. 3. Detecting head of photo-electric diameter gauge.

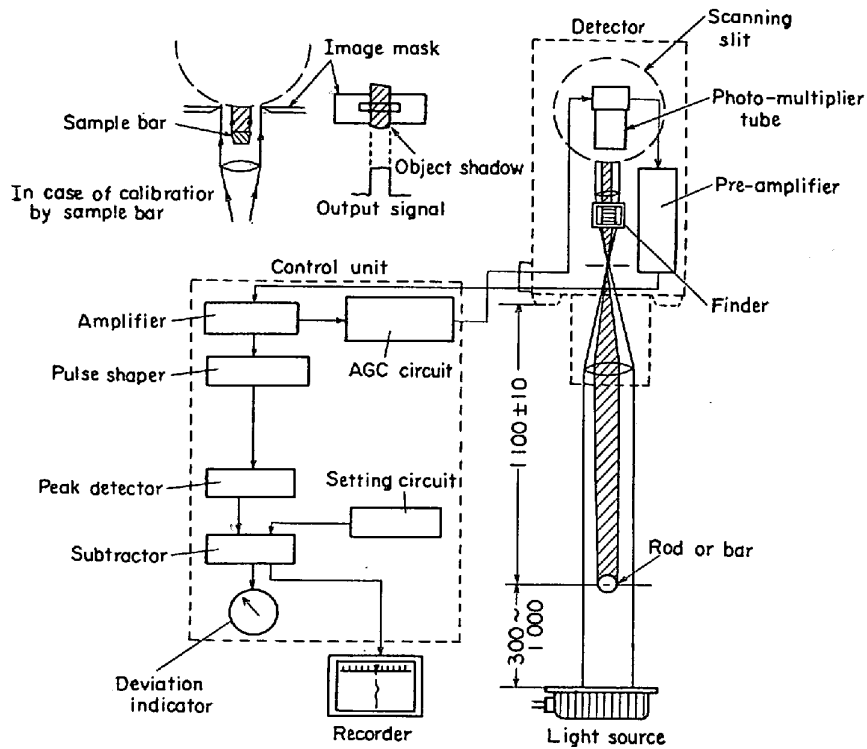


Fig. 6. Operation principle.

4.1 測定原理

Fig. 6 に示す基本原理につき説明する。被測定物の背面から明るい光源で照射し、被測定物を影として捕えこの影像を回転スリット面上に結像させる。回転スリット内部には光電子増倍管が収納されスリットが影像面を走査することにより、光電子増倍管に矩形波出力を生じる。この矩形波のパルス幅が被測定物の太さに比例する。このパルス幅に比例した直流電流に変換し出力としている。さらに偏差指示とするため、基準電圧をデジタル設定により与え、基準太さ設定値よりの偏差太さとしている。光源はよう素電球を使用し、明るさむらを除くためよう素電球の囲りを拡散ガラスで囲み、均一な照度を得ている。被測定物自身の発光（たとえば線材が 1100°C に赤熱されている状態）と光源の発光エネルギー比は近紫外用光電子増倍管を使用することによりほとんど無視でき、被測定物が振動することによる誤差は内部に絞りを挿入することによって平行光線のみを用いる光学系（テレ・セントリック系）を採用し被測定物が光軸方向に移動しても像の大きさが変わらない。しかし像はボケるが波形整形する際に、クリップレベルを全波高値の $1/2$ にすれば、実用上の振動範囲では、ほとんど無視できる程度のものである被測定物が光軸直角方向の振動による誤差は、第1レンズの球面収差による像の倍率変化による誤差と、回転スリットによる走査がドラムの円

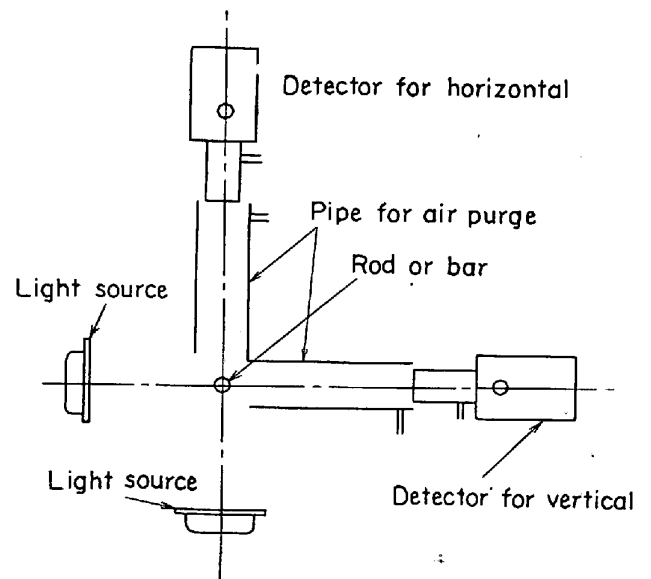


Fig. 7. Measuring method.

周上を通る非直線走査であることによる誤差と2種類ある。本太さ計ではこの2つの誤差を相打ち消させるようにレンズ系を設計している。測定回路はICを中心とし、その動作機能により ① Pre-amplifier ② Amplifier ③ Pulse shaper ④ Peak detector ⑤ Subtractor ⑥ Automatic gain control のブロックに分類されている。校正は、校正用サンプル棒にて行なうが、検出部内部に内蔵サンプルが取り付けられてあり、スイッチ操作で簡単に

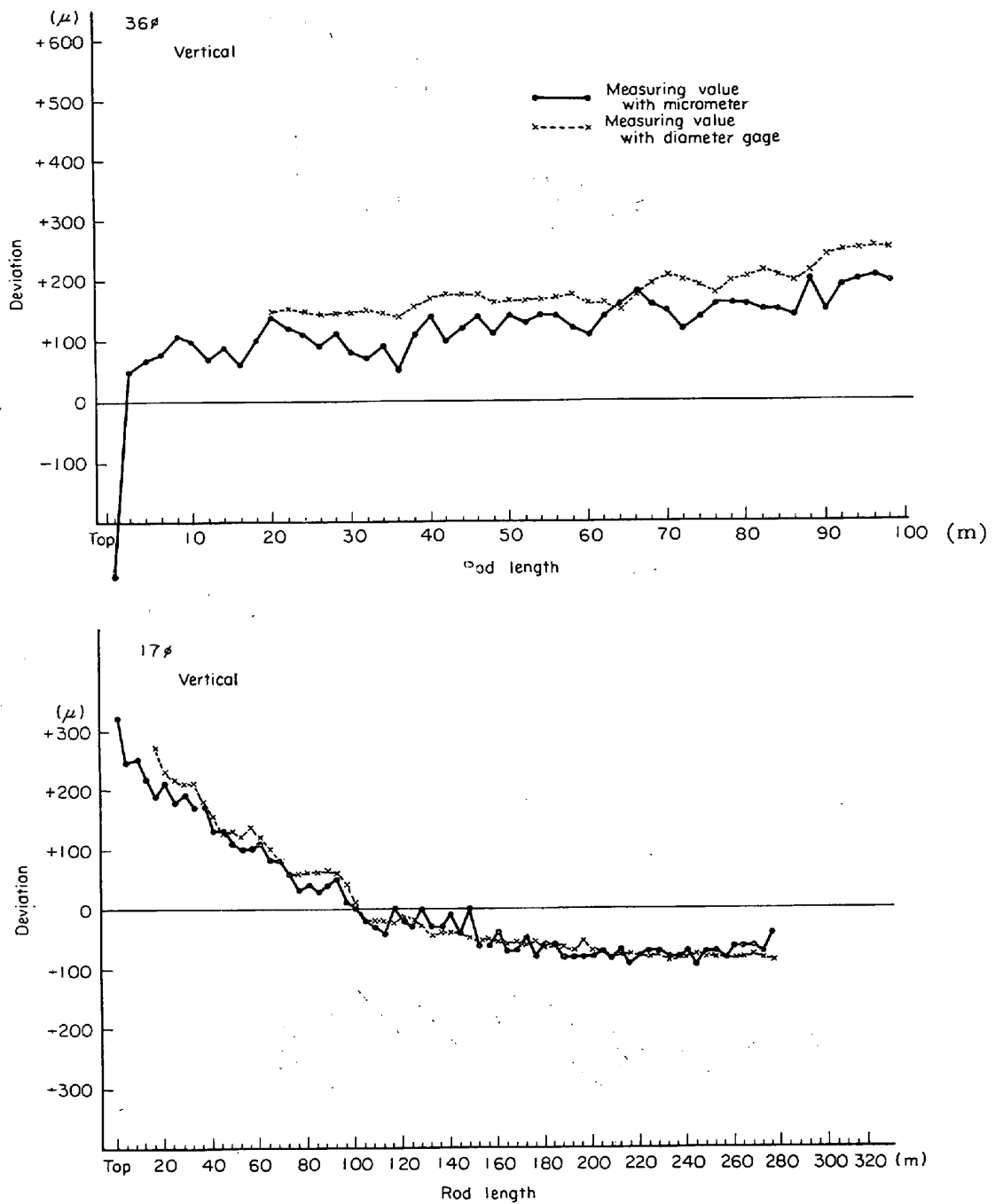


Fig. 8. Comparative chart with micrometer and diameter gage.

正常であるかどうかチェックできるようになっている。

4.2 おもな性能、仕様

光電太さ計の性能と標準仕様を記載する。

- 4.2.1 測定範囲 QG207A 形 5~16 mm φ
QG207B 形 10~40 mm φ
- 4.2.2 偏差指示範囲 ±1 mm
- 4.2.3 設定方式 デジタル設定 最小桁 0.1 mm
- 4.2.4 出力 ±20mA/±1 mm (負荷抵抗 50Ω 以下)

4.2.5 精度

- (1) 設定精度 $\pm 0.1\% \times D \pm 10 \mu\text{m}$ 以下
- (2) 雑音 $\pm 10 \mu\text{m}$ 以下
- (3) ドリフト $\pm 20 \mu\text{m}/8\text{H}$ 以下
- (4) 光軸直角方向振誤差 $\pm 0.1\% \cdot D / \pm 5 \text{mm}$ 以下
- (5) 光軸方向振誤差 $\pm 0.1\% \cdot D / \pm 30 \text{mm}$ 以下
- 4.2.6 時定数 0.2 sec 63% 応答
- 4.2.7 被測定物温度 100°C 以下
- 4.2.8 周囲温度 制御部 0~40°C
検出部 0~50°C

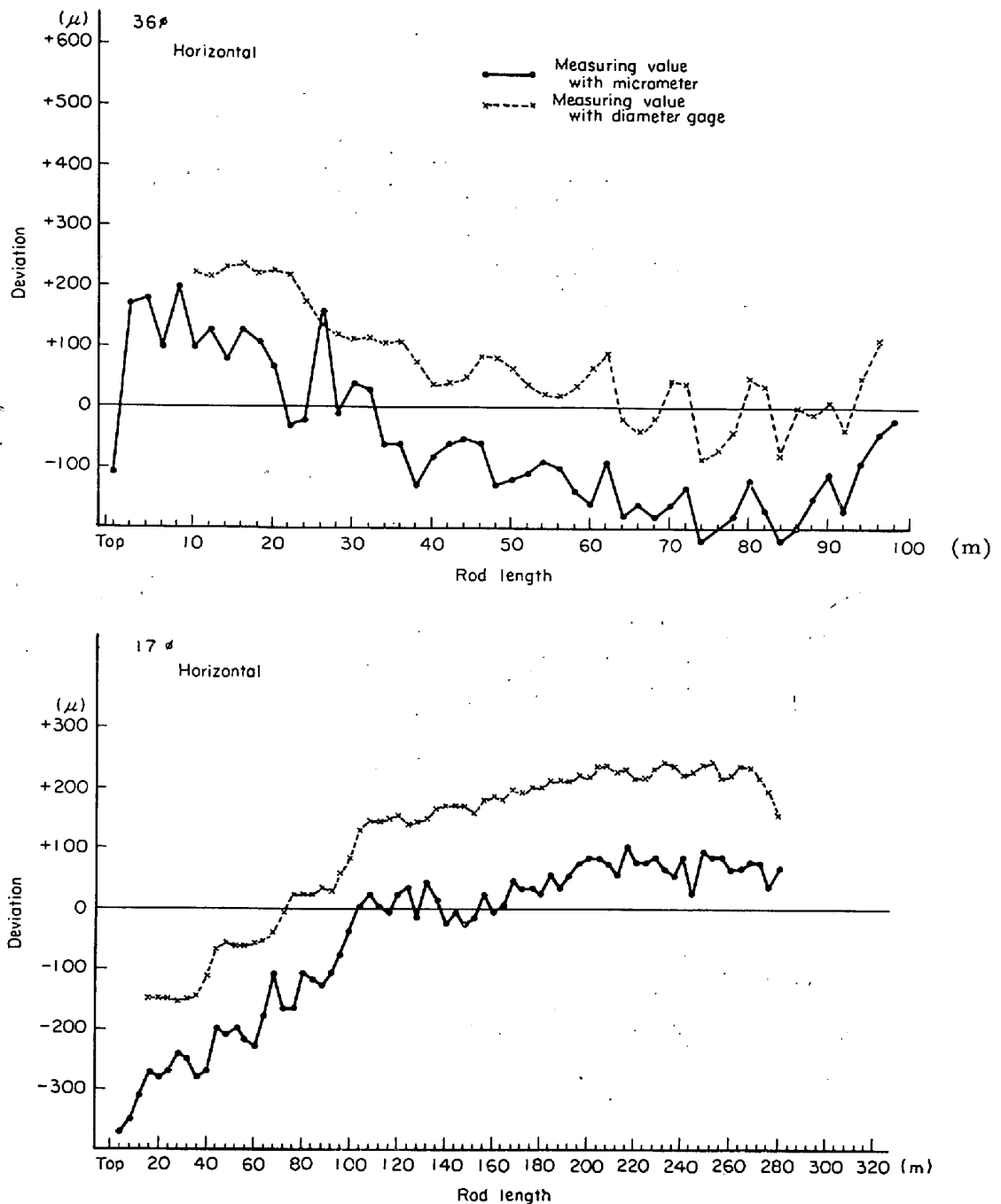


Fig. 9. Comparative chart with micrometer and diameter gage.

4.2.9 電 源 制御部 100V 50/60 Hz

検出部 200V 50/60 Hz
1kVA/1台

4.2.10 据付位置 被測定物中心よりレンズ面まで
900 mm ± 10 mm

4.3 測定方法

圧延中の線材、棒鋼の径を測定する場合について、注意すべき点を以下に述べる。

線材や棒鋼の圧延ば、捻転させながら行なっているた

め、測定場所を選ばないと、どの方向の径を測定しているか、はつきりせず、マイクロメータの実測値と太さ計の計測値との対応がつけ難い。ゆえに圧延機出側直後で測定し、捻転の生じないうちに測定すれば良いが、圧延機に近づけることにより、水切りなどが難しくなり、測定条件が悪くなる。測定位置は断面形状を知るために Fig. 8, Fig. 9 のように上下方向、横方向より、左右径(オーバー)、天地径の測定を行なう。

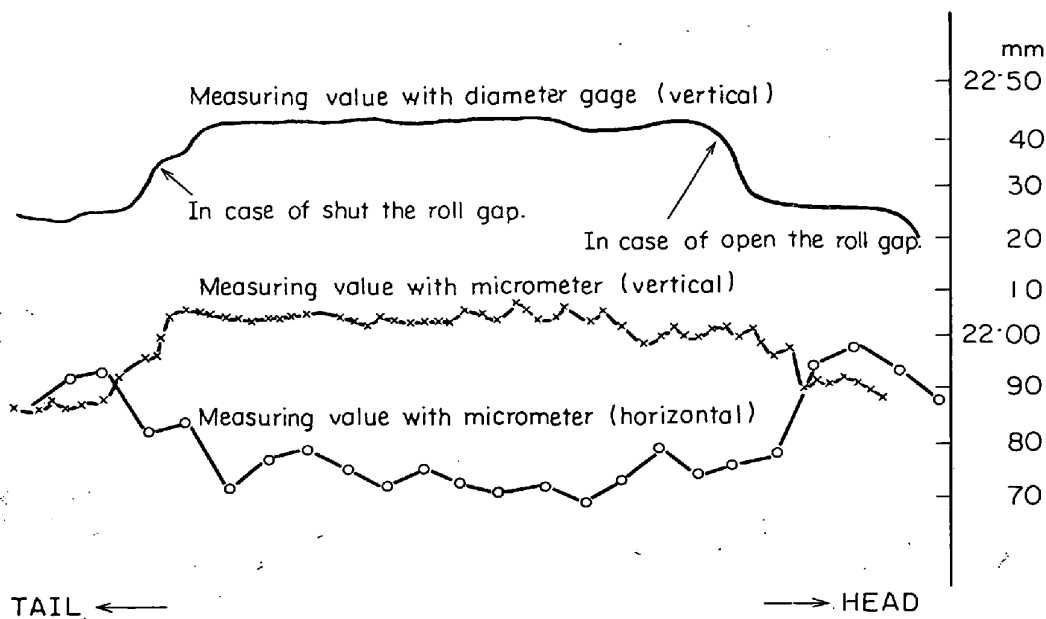


Fig. 10. Response to the variation of roll gap. (22φ rod).

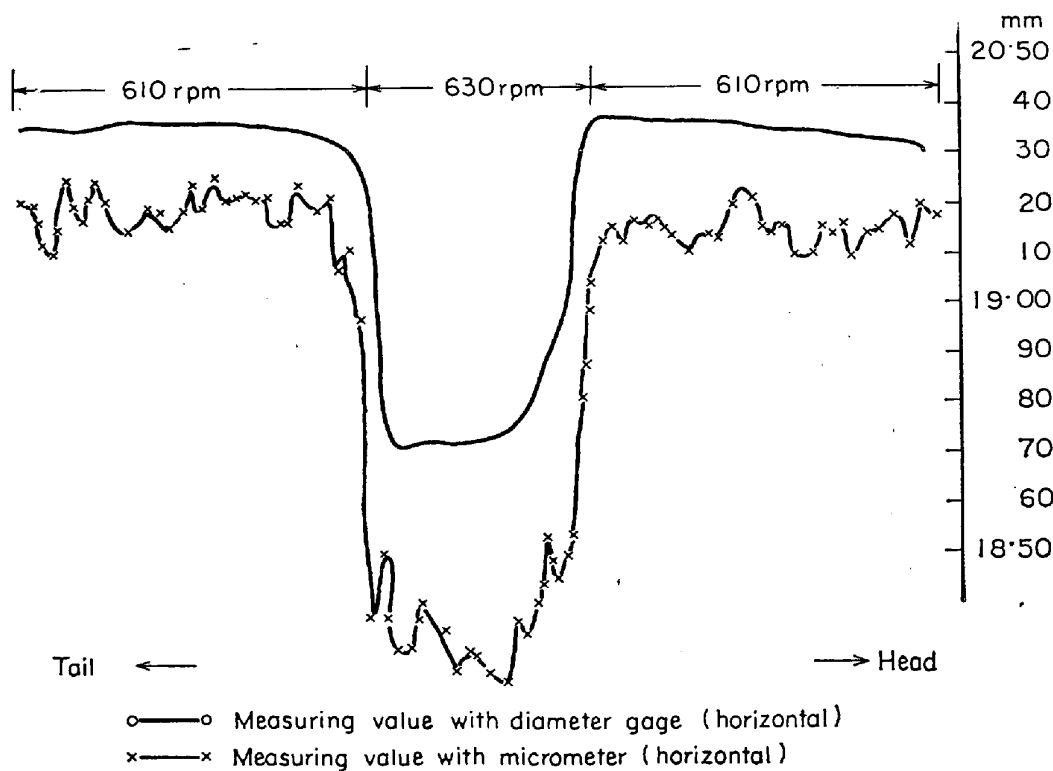


Fig. 11. Response to the variation of roll speed. (19φ rod).

4.4 実測結果の例

過去、数社の製鉄所で棒鋼，線材，継目無鋼管の径の測定を行なったが，その代表的なデータについて検討する。

4.4.1 天地径については太さ計の精度は十分得られている。とくにサイズの細いものがよい(Fig. 8)。

4.4.2 左右径は太さ計とマイクロメータ実測値との

間に相関関係はあるが，その間に差がある (Fig. 9)。

4.4.3 ロールギャップ変動に対する応答性(Fig. 10)。
 圧延の前半でロールギャップを開き，後半で閉めて元に戻した場合の太さ計の応答と冷却後の実測値との対応である。ロールギャップ変動の影響は明りように出ている。

4.4.4 ロール回転数変動に対する応答性 (Fig. 11)。

圧延途中において最終スタンドのロール回転数を増速し後半で元の回転数の変動すなわち、スタンド間張力の変動に対する左右径の応答性はきわめて良好である。

回転数変化前後の収縮代に差異が認められるのは測定位置における材料のねじれの変化に起因する。

5. 結 言

以上、冷間におけるスラブ、ストリップ幅および熱間における棒鋼、線材の外径測定法と計測機器の概要を紹介した。これらは、ともに実用化の緒についたばかりであるが、On-line 機器として一応の成果はあげている。

今後の進むべき方向としては、前述のように、制御ま

たは検定用と、トレーサ用は自ら要求精度と投資価格が違っているので製品開発の面でも2本立てになる。

また熱間太さ計は、まずは制御用で、圧延機の圧下率調整などを行なうための高精度化と大口径管の測定器の開発であろうと考えている。

本文で紹介したのは鋼材の幅および太さ測定機器の中では一例にすぎず、このほかにもいろいろな機器が開発されつつある。

鉄鋼業界における生産の合理化、高能率化にともなう高精度の計測機器の開発が望まれている。今後ともさらに改良を加え、これらの要求にこたえる所存である。