
ホットストリップのプロフィールのオンライン測定

An On-line Measurement of Hot Strip Profile

田宮 稔士(Toshio Tamiya) 御厨 尚(Takashi Mikuriya) 峰松 隆嗣(Takashi Minematsu) 片山 宏平(Kohei Katayama) 伊藤 康道(Yasumichi Ito) 田中 富夫(Tomio Tanaka) 真田 利明(Toshiaki Sanada)

要旨：

当社千葉製鉄所では昭和 54 年 3 月第 2 熱間圧延設備，昭和 55 年 3 月第 1 熱間圧延設備にオンラインプロフィールメータを導入した。これによりクラウン，ハイスポット(異常突起)，ウエッジなどのプロフィールを高精度でオンライン測定することが可能となった。オンライン化のために種々のテストを実施し下記の結果を得た。(1) ハイスポットの検出限界は，オフラインで 5mm 幅，4 μ m 高さ，オンラインでは 10mm 幅，5 μ m 高さである。(2) クラウンやウエッジのオンライン検出精度は $\pm 10\mu$ m である。(3) プロフィールメータは圧延中の板のプロフィール変化を正確に測定していることが下工程の γ 線厚さ計との照合で判明した。

Synopsis：

Profile measuring systems (Profilemeters), employing two high-precision X-ray thickness gages, were installed at two hot strip mills in Chiba Works: the first for No.2 mill in March, 1979, and the second for No.1 in March, 1980. The profilemeters have since been operation smoothly and the high-precision measuring system of strip crown and 'high spots' has been established. The results of various tests made for this technical development are summarized as follows: (1) The profilemeter can detect 'high spots' of more than 4 μ m in height and 5 mm in width in off-line tests and those of more than 5 μ m in height and 10mm in width during rolling. (2) It can measure the strip crown and wedge at an accuracy of within $\pm 10\mu$ m. (3) Regardless of strip profile changes during scanning, the profilemeter output shows good correspondence to the value measured by the γ -ray thickness gage in the subsequent line.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

ホットストリップのプロフィールのオンライン測定

An On-line Measurement of Hot Strip Profile

田宮 稔士*
Toshio Tamiya

御厨 尚**
Takashi Mikuriya

峰松 隆嗣**
Takashi Minematsu

片山 宏平***
Kohei Katayama

伊藤 康道****
Yasumichi Ito

田中 富夫*****
Tomio Tanaka

真田 利明*****
Toshiaki Sanada

Synopsis:

Profile measuring systems (Profilemeters), employing two high-precision X-ray thickness gages, were installed at two hot strip mills in Chiba Works: the first for No. 2 mill in March, 1979, and the second for No. 1 in March, 1980.

The profilemeters have since been operating smoothly and the high-precision measuring system of strip crown and 'high spots' has been established.

The results of various tests made for this technical development are summarized as follows:

- (1) The profilemeter can detect 'high spots' of more than 4 μm in height and 5 mm in width in off-line tests and those of more than 5 μm in height and 10 mm in width during rolling.
- (2) It can measure the strip crown and wedge at an accuracy of within $\pm 10 \mu\text{m}$.
- (3) Regardless of strip profile changes during scanning, the profilemeter output shows good correspondence to the value measured by the γ -ray thickness gage in the subsequent line.

1. 緒 言

当社千葉製鉄所では第2熱間圧延設備に昭和54年3月、第1熱間圧延設備に昭和55年3月プロフィールメータを導入した。本装置はホットストリップの厚みを測定するとともにプロフィールも同時に測定するオンラインプロフィールメータである。プロフィールメータは導入以来、重要なオン

ライン品質管理計測器として使用している。

本報では

- (1) X線厚み計とプロフィールメータ仕様
- (2) 厚み計の精度
- (3) オフライン、オンラインでのストリップクラウンおよびハイスポット（異常突起）検出能力の調査結果
- (4) プロフィールメータの使用法

* 千葉製鉄所設備部設備技術室主任(課長待遇)

*** 千葉製鉄所設備部設備技術室

***** 千葉製鉄所熱間圧延部第1熱圧課

(昭和56年3月31日原稿受付)

** 千葉製鉄所設備部設備技術室主任(掛長待遇)

**** 千葉製鉄所熱間圧延部熱延技術室主任(課長待遇)

***** 阪神製造所西宮製造部製造技術室

について報告する。

2-1 プロフィールメータのシステム構成

2. X線厚み計とプロフィールメータの様

2-1-1 プロフィールメータの構成

プロフィールメータの配置を Fig. 1 に、システム構成を Fig. 2 に示す。

プロフィールメータは板の中央部分を測定する

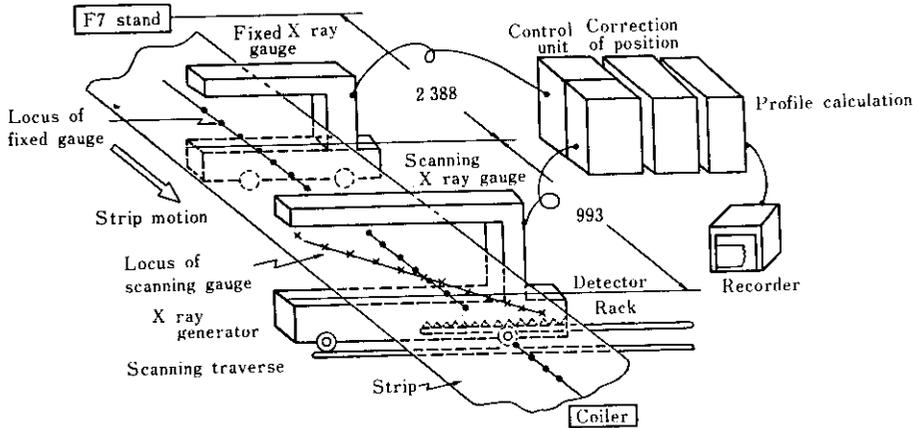


Fig. 1 Outline of profilemeter

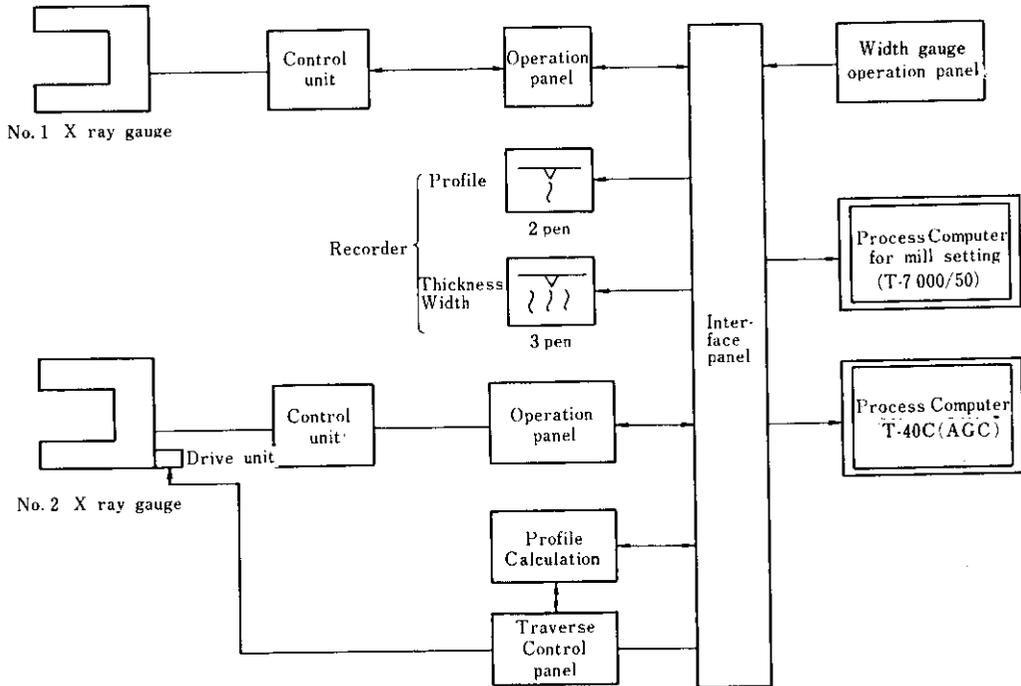


Fig. 2 Constitution of Profilemeter at No. 2 hot strip mill

固定形厚み計と板幅方向に移動しながら測定する走査形厚み計およびプロフィール演算器から構成される。固定形厚み計と走査形厚み計の測定値の差をプロフィール演算器で演算し、記録計や計算機に出力する。

2・1・2 プロフィールメータ構成上の特徴

本構成の特徴は次のようなものである。

- (1) プロフィール演算用に専用のマイクロコンピュータを備えている。リアルタイムでプロフィール演算を行い、記録計に出力し、クラウン、ウエッジの演算結果を表示するとともに上位計算機に出力する機能を持っている。
- (2) 固定形厚み計 (No.1 検出部) と走査形厚み計 (No. 2 検出部) の設置位置は同一場所ではない。したがって固定形厚み計で測定した測定点が走査形厚み計の直下まで移動してきた時点で走査形厚み計が測定するというようにストリップ長手方向の測定点を合わせる装置を備えている (以後測定位置の補正と記す)。測定位置補正の精度は厚さ計の測定出力間隔とからみハイスポット検出能力に大きな影響をおよぼす。本装置では16段のシフトレジスタを使用し、第1熱間圧延では56.3mm/段、第2熱間圧延では61.9mm/段の精度で測定位置の補正を行っている。
- (3) 台車の走査速度は
 - (a) プロフィール検出精度
 - (b) 往復の走査回数
 により変更するようにしている。

プロフィール検出精度を向上させる面から、板端から100mmまでは台車速度を30~50mm/sとし、中央部は50~150mm/sの範囲にしている。台車速度を150mm/s以上にあげると厚さ測定信号の雑音が多く、プロフィール検出精度が悪い。

通板中のストリップに対する走査回数を多くする時は中央部の走査速度を変更するものとし、両板端部の走査速度は前記範囲内としている。

2・2 プロフィールメータの主要仕様

Table 1 に X 線厚み計, Table 2 にプロフィールメータ制御部仕様を記す。

スリット装着時パスライン上での X 線の測定ビーム寸法はコイル長手方向で30mm, コイル幅方向

で6mmとなる。走査形厚み計にスリットを装着することにより板幅方向の板厚測定視野を狭くしている目的は次のようなことにある。

- (1) 板端から中央部分へ40~50mm入ったところまでの板厚の変化が大きく、この部分の厚み変化の状態をできるかぎり詳しく測定する。
- (2) 板幅方向でハイスポットの幅の小さいものでも正確に検出が可能となる。

2・3 プロフィールの測定方法

Fig. 3 に第2熱間圧延設備におけるプロフィール走査方法について示す。上位計算機からの板端待期指令により走査形厚み計はストリップの板端より100mm地点へ移動し、待期する。ストリップ通板とともに自動的にC点よりD, E, F点へ前進し、1秒停止後反転してG, H, I, Jへ後退して1回の走査を終了する。この時点でプロフィール演算装置からクラウン、ウエッジの値を出力する。

2・4 クラウン、ウエッジの演算方法

固定形厚み計の測定値と走査形厚み計の測定値を用いてクラウン、ウエッジの演算を次の手順で実施する。

- (1) 固定形厚み計と走査形厚み計の測定値差 (プロフィール) の演算

測定位置補正のため固定形測定値をシフトレジスタを使用し時間補正 (Δt) して、偏差 (Δx) を求める。

$$\Delta x(t) = x_S(t) - x_F(t - \Delta t) \dots \dots \dots (1)$$

Δx : 固定形と走査形厚み計の測定値の差 (μm)

x_S : 走査形厚み計の板厚測定値 (μm)

x_F : 固定形厚み計の板厚測定値 (μm)

t : 現在時間 (s)

Δt : 固定形と走査形厚み計の測定時間差 (s)

- (2) Δx の変化

Δx の時間経過に伴う変化状況を Fig. 4 に示す。

Fig. 4 中の記号は下記のとおりである。

Δx_{d1} : 往路のドライブ側板端部 Δx

Δx_{e1} : " センタ部 Δx

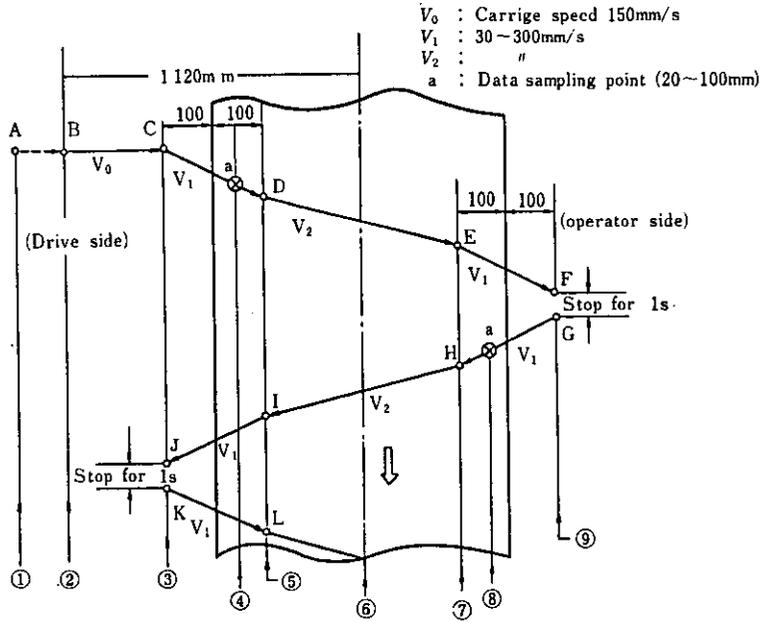
Δx_{o1} : " オペレータ側板端部 Δx

Table 1 Main specification of X ray thickness gauge¹⁾
(Common to fixed and scanning gauge)

Item	Specification		
Thickness range	With slit	1~13.00mm	
	Without slit	1~25.99mm	
Alloy Compensation range	± 0 ~ 9.99% (0.01% step) of setting thickness		
Setting accuracy	Slit	Setting thickness	Setting accuracy
	On	1~10.00mm 10.00~13.00 "	± 0.1% of setting thickness ± 10 μ m
	Off	1~10.00mm 10.01~15.99 " 16.00~25.99 "	± 0.1% of setting thickness ± 10 μ m ± 0.1% of setting thickness
Noise	Slit	Setting thickness	Noise for setting thickness
	On	1~ 9.99mm 10.00~13.00 "	± 0.07% ± 0.12%
	Off	1~ 9.99mm 10.00~15.99 " 16.00~19.99 " 20.00~25.99 "	± 0.05% ± 0.08% ± 0.10% ± 0.12%
Deviation range	± 500 μ m/± 100 μ m (No. 1 hot strip mill), ± 250 μ m (No. 2 hot strip mill)		
Effective beam diameter	At pass line 30mm ϕ (Without slit) 6×30mm (With slit)		
Carrige traverse Motor Drive Traverse speed	Fixed gauge		Scanning gauge
	AC motor Wheel drive Constant speed of 9m/min		DC motor with variable speed Rack and pinion Variable speed of 1.8~18m/min

Table 2 Main specification of carrige traversing and profile calculation

Item	Specification
Traverse speed mode	(1) Selection from 4 speeds according to strip width (2) Direct setting by dial switch
Traverse speed range	30mm/s~300mm/s 1mm/s step (set by operator)
Start timing	Mode 1: Xray on, Mode 2: Coiler on Mode 3: Manual, Mode 4: Computer
Position detection	Pulse generator Resolution: 0.1mm, Display unit: 1mm
Correction of distance between two gauges	Correction by 16 bit-shift register
Profile calculation	(1) Real-time profile calculation (2) Calculation of crown and Wedge value
Record of strip profile	Synchronizing with carrige position
Stand-by position of carrige	Stand-by at the drive side of the line



①	Backward limit	⑥	Line center
②	Stand-by point	⑦	Speed alteration point
③	Stop point	⑧	Operator side data sampling point
④	Drive side data sampling point	⑨	Operator side stop point (Turn point)
⑤	Speed alteration point		

Fig. 3 Traversing method for scanning gauge

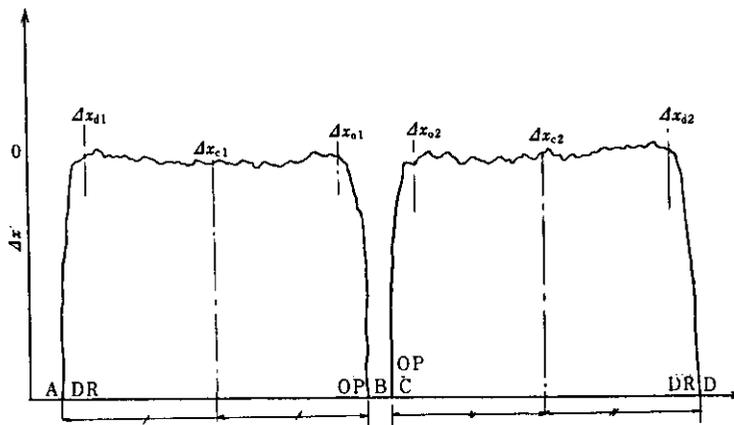


Fig. 4 Profile chart and calculation point

- Δx_{o2} : 復路のオペレータ側板端部 Δx
- Δx_{c2} : " センタ部 Δx
- Δx_{d2} : " ドライブ側板端部 Δx

(3) クラウンの計算

Fig. 4 の Δx_{d1} , Δx_{c1} , Δx_{o2} を用いて(2)式でクラウン C を求める。

$$C = \Delta x_{c1} - \frac{\Delta x_{d1} + \Delta x_{o2}}{2} \quad (\mu\text{m}) \dots\dots\dots(2)$$

プロセス計算機を備えたプロフィールメータであれば通常(2)式は

$$C = \Delta x_{c1} - \frac{\Delta x_{d1} + \Delta x_{o1}}{2} \quad \dots\dots\dots(3)$$

または

$$C = \Delta x_{c2} - \frac{\Delta x_{d2} + \Delta x_{o2}}{2} \quad \dots\dots\dots(4)$$

となるものと考えられる。

本装置ではこの方法を採用していない。これは次のような理由による。

プロセス計算機を備えている場合は板の全幅を走査する時に、測定タイミングごとに板の横振れ量を同時にサンプリングし、測定終了後に測定点ごとの板の横振れ量の補正を加えた測定位置と厚み測定結果の対応を取ることができる。その結果から板端より $x(20\sim 40)\text{mm}$ だけ中央側の点の測定値が引き出せる。したがって(3)式または(4)式によってクラウンを演算することが可能である。

本装置はプロセス計算機を備えていないため次のようにして測定している。

走査開始側 (Fig. 4 の A 点) の板端を検出してから $x(20\sim 40)\text{mm}$ の点の測定値を Δx_{d1} として求める。反対側の Δx_{o1} は板幅が明確につかめないためこの通過点が Fig. 4 の B 点- $x\text{mm}$ 点であるのか判らない。したがって B 点を通り約 100mm 点で停止し、戻ってくる時再度板端 (C 点) を検出し、C 点より $x\text{mm}$ 中央部に走査した点を Δx_{o2} として取り込んでいる。 Δx_{d1} を使用する関係上、時間的に近い Δx_{c1} を使用して(2)式でクラウンを求めているのはこのためである。

(4) ウエッジの計算

Fig. 4 の Δx_{d1} , Δx_{o2} を用いて(5)式でウエッジを求める。

$$w = \Delta x_{d1} - \Delta x_{o2} \quad \dots\dots\dots(5)$$

w : ウエッジ (μm)

2.5 厚み偏差とプロフィールの出力

(1) 記録出力

Fig. 2 に示したように X 線厚み計からの厚み偏差、幅計からの幅偏差および板の横振れ信号の記録用に 3 ペン記録計 1 台、板のプロフィールと板両端部からの指定位置を記録する 2 ペン記録計 1 台 (第 1 熱間圧延設備には X-Y レコーダ) を備えている。コイルのどの部分のプロフィールを測定、記録したものはこれら 2 台の記録計からわかるようになっている。

(2) 表示と計算機への出力

クラウン、ウエッジの測定値出力は走査厚み計が 1 往復の走査を完了した時点で表示器と上位計算機に出力する。

3. オフライン精度

3.1 厚み計の精度

(1) 設定誤差

Fig. 5 に設定誤差とその再現性のデータを示す設定誤差を求める基準値は当社の 1 次標準板を用いて決定したものである。メーカ保証値内にあり再現性も問題ない。

(2) 雑音

Fig. 6 に雑音データを記す。

メーカ保証値内にあり仕様精度を満足している

3.2 ハイスポット検出能力

母板 (厚さ 3.14mm) 上に 4.0~11.5 μm 高さ、5~10mm 幅のハイスポットをつくり台車速度 100mm/s で走らせたデータの一例を Fig. 7 に示す。台車の走査速度、サンプルスポットの幅、走査方向により同一厚さの母板に対しても検出能力が異なってくる。その理由は次のように説明できる。

(1) 台車の走査速度と検出能力の関係

- (a) X 線厚み計の応答性と雑音の影響の問題であり、走査速度を遅くすると正しく検出する。
- (b) 台車の振動が雑音となる。走査速度を遅くすると雑音が少ない。

(2) サンプルスポットの幅と検出能力の関係

走査形厚み計はスリットによって X 線透過量を

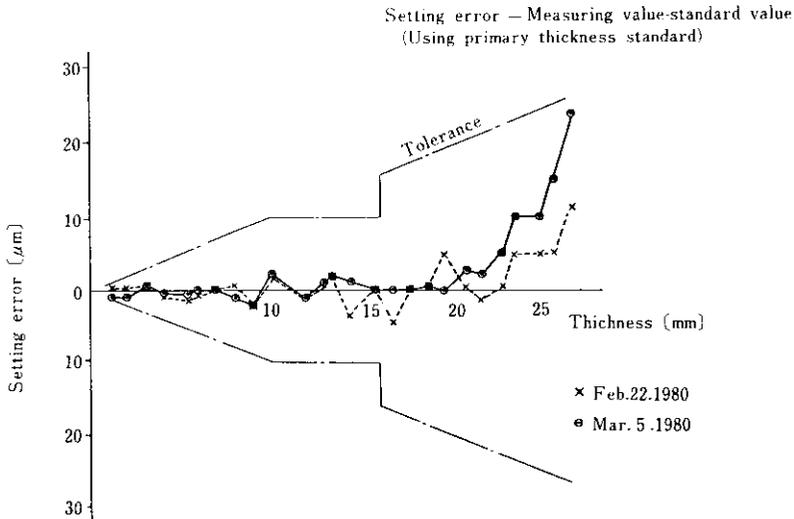


Fig. 5 Setting accuracy and reproducibility of scanning X ray thickness gauge at No. 1 hot strip mill

$$\text{Noise level}(\%) = \frac{\text{Noise (mm)}}{\text{Setting thickness(mm)}} \times 100$$

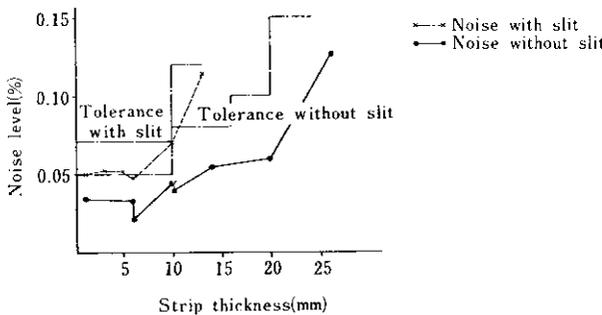


Fig. 6 Noise test data of scanning X ray thickness gauge at No. 1 hot strip Mill

制限しているため、同一高さのハイスポットでもハイスポット幅がスリット内でしめる割合によってX線透過量が異なる。結果として厚み検出精度が異なるためハイスポット検出精度に影響することになる。

(3) 走査方向と検出能力の関係

前記(2)項と同じ考え方である。X線厚み計はスリット幅内の平均板厚を検出しており、走査方向によって同一場所のハイスポットでもハイスポットの手前または前方の板厚の影響を受ける。

Fig. 7 やその他のテスト結果から筆者らは、台車速度 100mm/s 以下では (2 μm 高×16mm 幅)、(4 μm 高×5 mm 幅) が正確に検出できると判断した。Fig. 8 にこれらの測定結果をまとめて示す。

4. オンライン精度

4.1 2 台の厚み計の測定誤差

オンラインでプロフィールを測定する場合はX線厚み計自体の雑音や厚み計 2 台の位置補正精度さらに 2 台の厚み計の測定環境の差などによる雑音加わる。このうち位置補正精度と測定環境については改善が可能である。Fig. 9 に固定形、走査形厚み計を 2 台ともラインセンタに固定した時の雑音データを記す。本例は固定形厚み計で測定した厚みを位置補正し、走査形厚み計で測定した同一点の厚みと比較し差を求めて出力したものである。±2.5μm の雑音が認められる。本データは測定位置補正用のシフトレジスタが 8 段の時のデータである。これをさらに改善し、16 段のシフトレジスタとしたときのオンラインでの位置補正精度を向上させた結果を Fig. 10 に示す。下 2 コイルは位置補正精度がシフトレジスタ 8 段 (124mm ピッチ

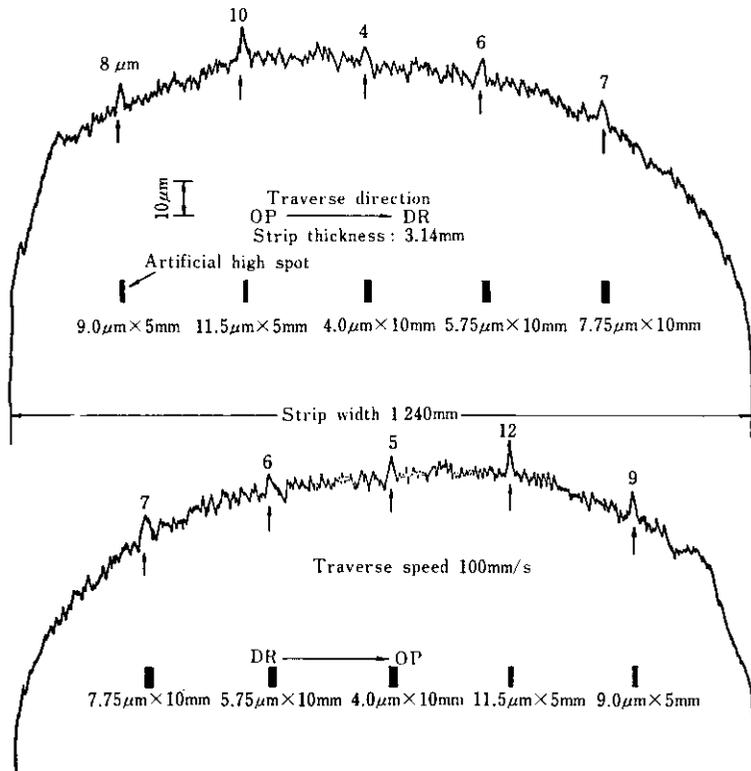


Fig. 7 Off-line detectability of high spot

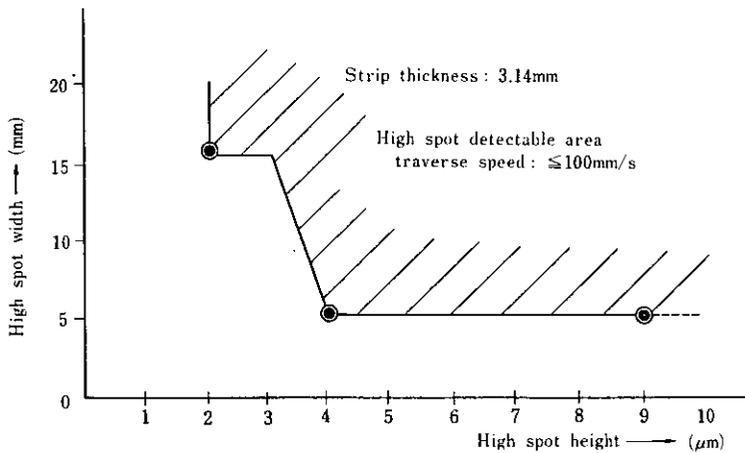


Fig. 8 Detectability of strip high spot by the off-line test

チ), 上2コイルは16段(61.9mmピッチ)のデータである。上下の鋼板厚みはほとんど変わらないにもかかわらず位置補正精度の改善前後を比べる

とプロフィール記録上の凸凹に大差がでている。このことから位置補正精度としては50~60mm以上の分解能力が当所では必要であることがわかる。

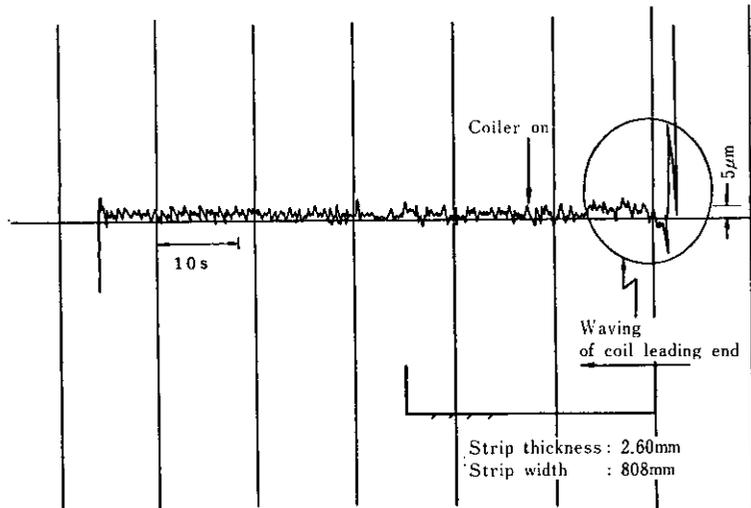


Fig. 9 Accuracy of position correction of two thickness gauge

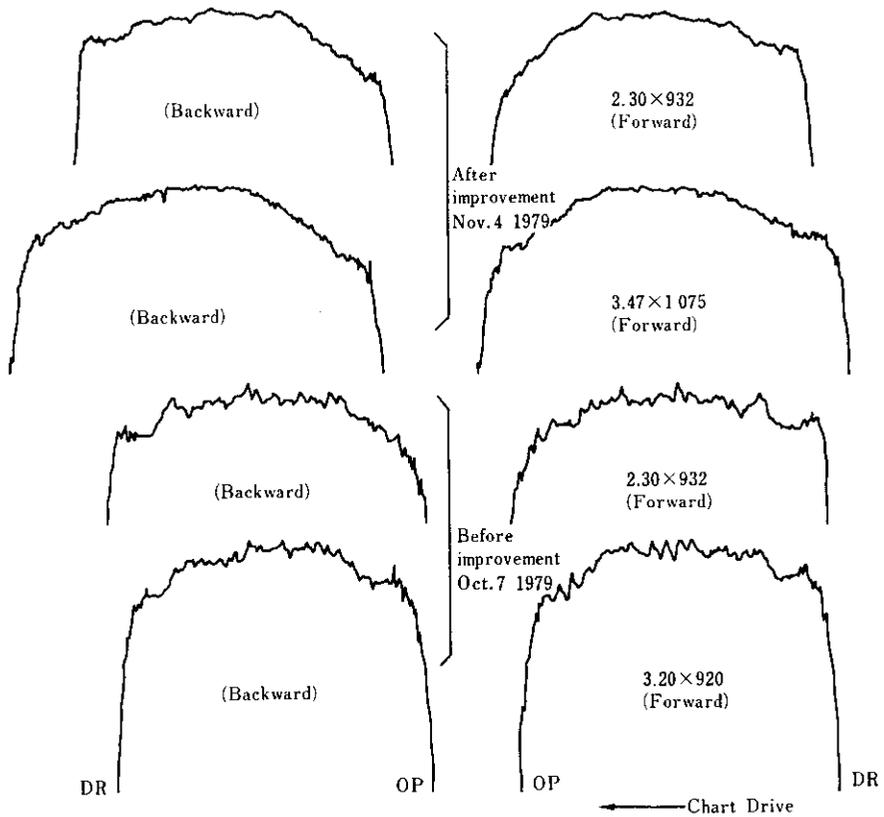


Fig. 10 Improvement of gauge position correction
(Data from No.2 hot strip mill)

4.2 ハイスポット検出精度

Fig. 11 にオンラインでのハイスポット検出精度を示す。

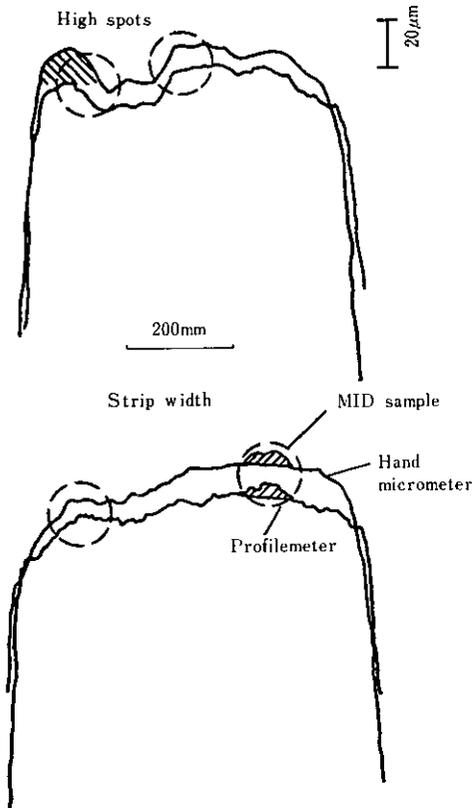


Fig. 11 Examples of detectability of strip high spots during rolling

本データはコイル中央部よりサンプル板を切り出し、ハンドマイクロメータで測定したデータとプロフィール記録チャートを比べたものである。結果を見やすくするためにハンドマイクロメータの測定値をY軸方向にずらしてプロットしている。5 μ m高さ、10mm幅は確認できる。

4.3 クラウン検出精度 (No. 1 熱間圧延設備の例)

4.2と同じようにサンプル板を切り取りハンドマイクロメータの測定値とプロフィール記録チャ

ートを比較した。結果を Fig. 12 に示す。本例は板端から20, 30, 40mmを基準としてハンドマイクロメータとプロフィール記録チャートより各々クラウンを求めてプロットしたデータである。90 μ m以内のクラウンの時は、板端からの距離にかかわらず $\pm 10\mu$ mの精度で合っており、チャートからの読取り精度が $\pm 10\mu$ mはあることが確認できる。板端から20mm点を基準として求めたクラウン100 μ m以上のデータのバラツキが大きいのは

- (1) 板端の厚み変化が大きく、チャートの読取り精度が悪い。
- (2) ハンドマイクロメータの測定精度が悪い(板端部の厚み変化が急激でハンドマイクロメータをどこにあてて測定したかによって大きな誤差が生じる)。

4.4 プロフィール測定精度

Fig. 13 にプロフィールメータとハンドマイクロメータによるプロフィールの測定例を示す。実線はプロフィールメータの記録したチャートで、破線はハンドマイクロメータによる測定値をプロットしたものであり往復の走査結果を示している。プロフィールメータは結果として板の斜め長手方向に走査するのでハンドマイクロメータによる測定サンプルはプロフィール測定箇所に対応する部分の1箇所を切り取って測定した。ほとんどのコイルは2.80mm \times 988mm(厚 \times 幅)のサンプルのように非常によく合っているが、ときどき2.60mm \times 1067mmのようにエッジ部分が合わないコイルがある。この原因としては

- (1) プロフィールメータが走査している過程でコイルのクラウン、ウエッジが変化している。
- (2) プロフィール記録計の立上り応答の差がある、などが考えられる。(1)、(2)のうち(2)項はいずれの記録チャート上にも出ているはずであり、Fig. 13の例にあるような大きな違いが出るとは考えにくい。したがって(1)項について調査した。調査方法としてはストリップ上に走査形厚み計の走査軌跡を推定し、下工程の γ 線厚み計でプロフィールを測定する方法を採った。測定結果を Fig. 14 に示す。コイル先端から810m経過した部分(⑧)で γ 線厚み計でプロフィールを測定し、次に830m経過部分(⑦)で同じように測定し、945mの部分(①)

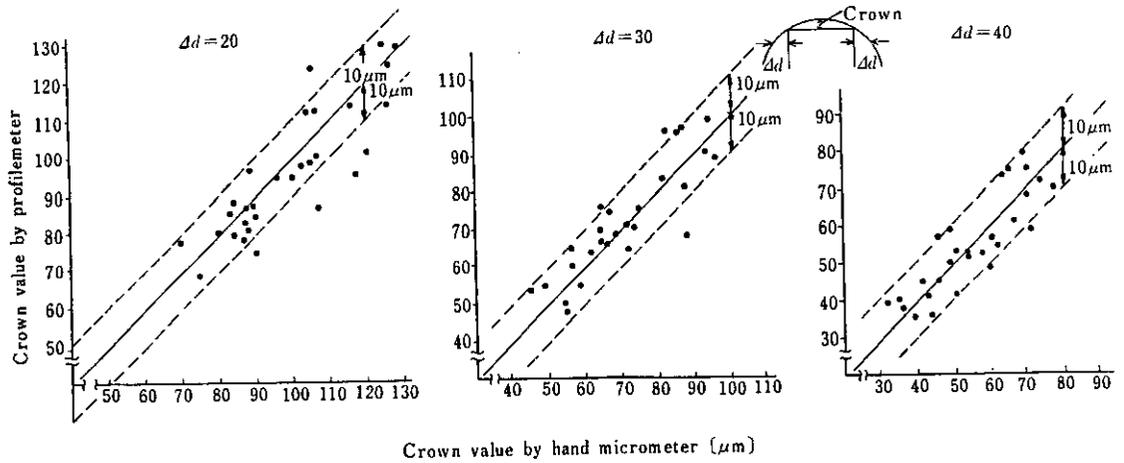


Fig. 12 On-line crown measuring accuracy of profilemeter by comparing crown value measured by hand micrometer at No.1 hot strip mill

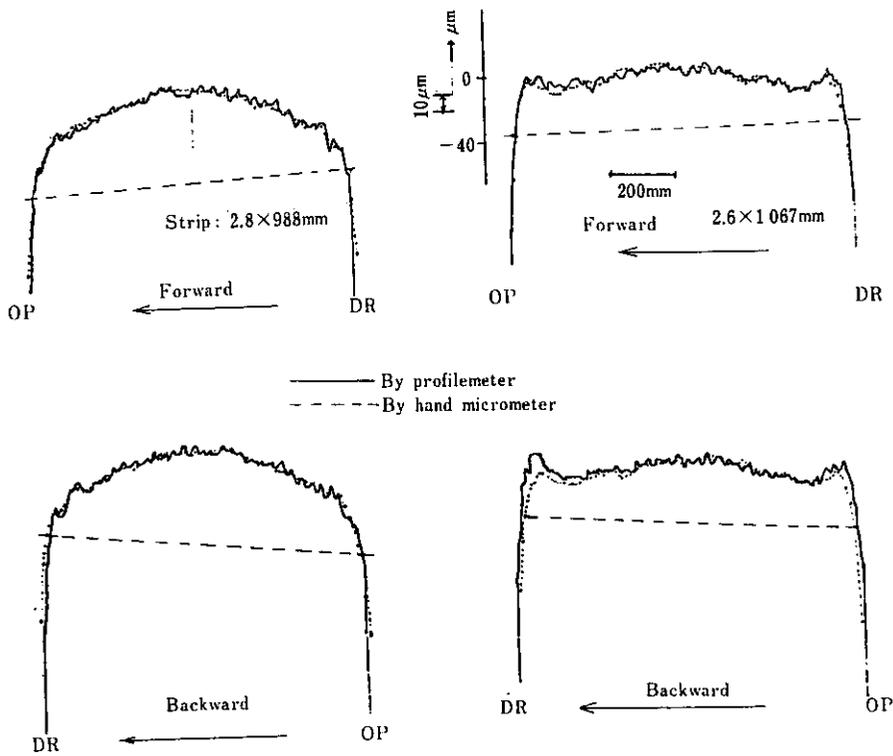


Fig. 13 Comparison between profiles measured by profilemeter and by hand micrometer.

までを測定した。さらにこのγ線厚み計によるプロフィール測定値の中のX線厚み計の走査点(γ線厚み計のプロフィール記録と左下り斜線の交点)をX線厚み計によるプロフィールチャート上にプ

ロットした。プロフィールメータが走査している間にクラウン、ウェッジが変化しているがプロフィールメータの記録とγ線厚み計による測定値は非常によく合っている。このことからプロフィー

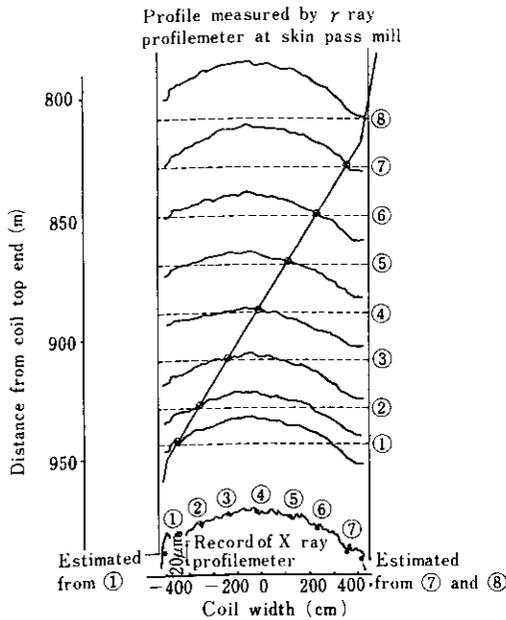


Fig. 14 Profile change during rolling and measured results by profilemeter

ルメータの測定には特に問題がなく、(1)の原因による不一致と結論づけた。

5. プロフィールメータの利用

5.1 プロフィールメータの使用基準

プロフィールメータの使用基準については熱間圧延技術標準書に規定しており、使用対象材と使用方法、管理限界を定めている。

(1) チェック対象材

一般外販材、冷延材、縞板に区分してチェックしている。用途その他により別途管理するものもある。

(2) 管理基準目標

一般材の代表例について **Table 3** に示す。

5.2 クラウン、ハイスポットの管理

(1) 異常修正

前記管理基準を超えた異常プロフィールが発生した場合、次のような対策を実施する。

a. ウエッジ異常

- (a) 粗前段スタンドのレベリング
- (b) 仕上スタンドのレベリング

Table 3 Aimed value for profile control of hot rolled strip

Item		Aimed value
Wedge		0 μm
Hot band as a finished product	High spot	Less than 15 μm
	Edge build-up	Less than 5 μm
Hot coil supplied to cold rolling	Crown	0 ~ 120 μm
	High spot	Less than 10 μm
	Edge build-up	Less than 20 μm

b. ハイスポット発生

仕上後段スタンド (F3 ~ F7) ロール替を実施する。取替スタンド数は異常の程度および圧延サイクル内の圧延残り本数によって区分している。

c. エッジビルドアップ

(a) 圧下配分変更

(b) 圧延ピッチ変更

(c) 前記(a)(b)実施でも修正不能の場合は仕上ワークロール替を行う。

d. クラウンコントロール

(a) 圧下配分変更

(b) 圧延ピッチ変更

(2) プロフィールのレベル管理

プロフィールの実体を常に正しく把握しておくことは、単にユーザに対して高品質を保証するのみでなく、さらにプロフィールメータの活用によって安定した品質を維持し、向上させるうえで大切である。これらの観点から次に記す管理を行い、安定した製品と情報を提供する体制をとっている。

(a) プロフィールレベルの管理

チェック対象材の区分に従ってデータ収集を行い解析する。

(b) 異常情報

次工程へ異常情報を提供し、不良コイルの早期発見に努力する。

7. 結 言

千葉製鉄所に導入したホットストリップのオンラインプロフィールメータについて記した。

- (1) プロフィールメータはプロフィール演算用のマイクロコンピュータと厚み計の測定供置補正用ハードウェアロジックを備えている。信号処理専用のプロセス計算機はない。
- (2) オフラインでの異常突起検出精度は走査速度100mm/sの時(2 μ m高 \times 16mm幅), (4 μ m高 \times 5mm幅)である。
- (3) オンラインでの検出精度はクラウンが $\pm 10\mu$ m,

異常突起は5 μ m高 \times 10mm幅である。

- (4) プロフィールメータの使用基準は熱間圧延技術標準に規定し, 使用対象機と使用方法, 管理限界を定めてきめ細かい管理を行っている。

以上, プロフィールメータは検出精度の面で所期の目標を十分に達成した。今後プロフィールメータを利用した圧延技術の開発に邁進していきたい。

参 考 文 献

- 1) Takeo NISHIMURA, Tatsuo TSUJII : Proceedings of International Conference on Steel Rolling, 1 (Sep., 1980) Tokyo, 659