

## 技術報告

## 赤熱鋼板用光学的幅計の開発

中井 康秀\*・吉井 賢太\*<sup>2</sup>・中田 隆正\*<sup>2</sup>・高橋出雲男\*<sup>2</sup>

## Optical Width Gauge for Hot Radiant Plates

Yasuhide NAKAI, Kenta YOSHII, Takamasa NAKADA and Itsuo TAKAHASHI

## Synopsis:

An optical width gauge for hot plates has been developed, which can be installed near the rolling mill without backlight equipment. The device consists of solid state linear image sensors, a signal processor and a microcomputer. Edge points of plates are detected by finding the steepest points in the video signals of the radiant images. Furthermore, highly resolved edge data can be derived from the discrete differential signals by calculating the quadratically interpolated peak points of the signals. The edge data are stable and accurate even if the temperatures of the objects are varied.

This paper describes the method of detection for plate edges and experimental data concerned with the high resolving power. An application of the equipment is given for the camber display system which has been installed near the finishing mill in the plate shop and which displays the camber shape of plates immediately after finish rolling and gives useful information to mill operators.

## 1. 緒 言

鋼板圧延工程において、幅精度の向上、および幅異形、キャンバの減少は現在残されている歩留り向上対策の中で大きな課題の1つである。そのため、あらかじめ最終幅形状を予測し制御する圧延法などが実施されてきているが、圧延中あるいは圧延前後において幅や平面形状を精度よく計測できれば、オンラインで高精度の幅、キャンバ制御が可能となり、より大きな効果が期待できる。

しかし、従来圧延工程で用いられているバックライト方式の幅計は、設置場所、保全性の点で、圧延機直近用としては適さず、悪環境下で使える高精度の幅・形状計の開発が望まれていた。そこで、従来精度があまり良くなかつた放射光方式<sup>2)</sup>を見なおし、イメージセンサを用いた高分解能幅計を開発した。当社、厚板工場において、厚板キャンバ表示装置として適用した結果、良好な性能を確認したので、測定原理および装置の概要、実験結果について報告する。

## 2. エッジの検出方法

## 2.1 原理

物体より放射されるエネルギーは、絶対温度の4乗に比例するが、イメージセンサを用いて撮像した場合、分光感度が約  $0.5 \sim 1.1 \mu\text{m}$  に限られることから、その出力は温度のさらに高次に比例する<sup>3)</sup>。Photo. 1(a) は、

仕上げ圧延直後の厚板を撮像した時の映像信号で、エッジ付近のわずかな温度低下であっても、大きく映像レベルが下がっている。Fig. 1 は、種々の温度の厚板を撮像した時、その映像レベルが一定になるような走査周期と温度の関係を示したものである。それぞれ、対数の目盛にすると、ほぼ直線になり、この付近の温度の板に対するイメージセンサの出力が絶対温度の約 13 乗に比例していることがわかる。Fig. 2 は、この結果から、各温

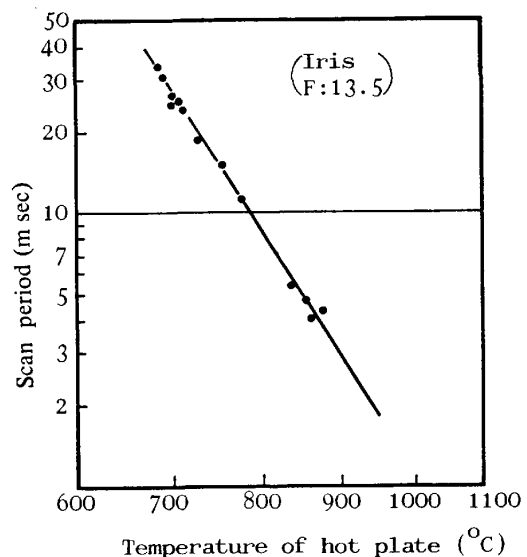
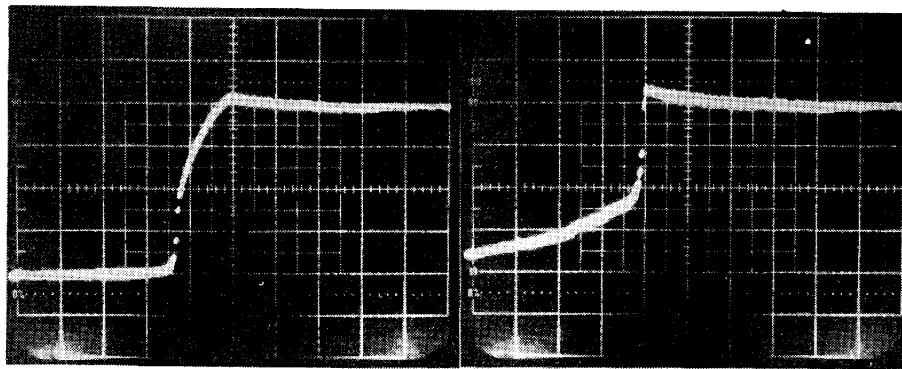


Fig. 1. Scan period of solid image sensor vs. temperature of objects when the video signal levels are constant.

昭和 58 年 11 月 14 日受付 (Received Nov. 14, 1983)

\* (株)神戸製鋼所電子技術センター (Electronics Technology Center, Kobe Steel, Ltd., 53-3 Aza-Maruyama Gomo Nada-ku Kobe 657)

\*<sup>2</sup> (株)神戸製鋼所加古川製鉄所 (Kakogawa Works, Kobe Steel, Ltd.)



(a) normal exposure (b) overexposure  
Photo. 1. Video signals of hot plates.

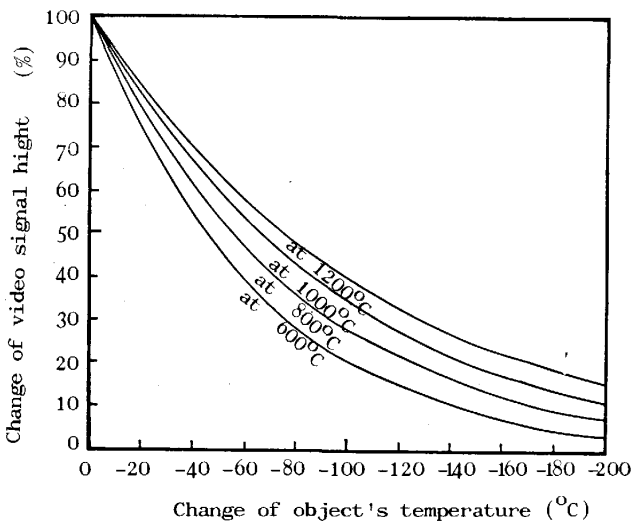


Fig. 2. Change of video signal height vs. change of object's temperature at each temperature.

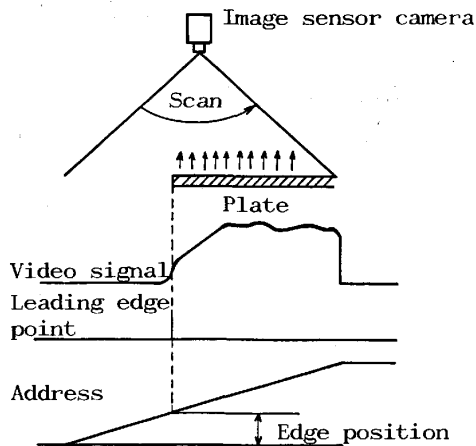


Fig. 3. Method of hot plate edge detection.

度の板を撮像した時の、温度変化に対する出力変化を計算したものである。例えば、800°Cの板で、エッジ部の温度が約120°C低下すると、エッジ部の映像レベルが、800°Cの所の約1/5になることを示している。また、露光量を多くすると、イメージセンサの場合 Photo. 1 (b) に示すように、エッジの外まで映像レベルが上がる

現象がある。したがって、従来のスレショールド法では、正確なエッジ位置検出が困難になる。

しかし、板のない所から約900°C前後の板のある所へ走査した時、明らかにエッジ部の温度変化が一番大きく、イメージセンサの感度を適当にコントロールすれば、映像信号の最も急峻に立ち上がる点を見つけることによつてエッジ位置を検出できることが予測される。

Fig. 3は、この原理を示したもので、イメージセンサの映像信号の差分をとり、そのピークアドレスからエッジ位置を検出できる。

さらに、離散的なアドレスより細かい分解能の情報を得るため、ピークアドレス付近の差分信号レベルから内挿によつて真のピーク位置を推定した。一般に、イメージセンサの出力は、ステップ状の明るさ変化をあたえても、その立ち上がりの前後で、明部に対応する画素から暗部に対応する画素へ信号のじみが生じ、結果としてあたかも低域通過フィルタを通したようになる。また、焦点のボケやレンズの収差などによつても映像信号から高周波成分が除去される。しかし最も急峻に立ち上がる点、すなわち変曲点が明部と暗部の境界を表すと考えられ、離散的にしか得られない映像信号であっても、そのレベルから最急峻点の位置を内挿することが可能である。内挿の方法としては、Fig. 4に示すように、差分信号のピークとその前後の信号レベルを通る放物線を考え、その頂点の座標を真のピーク位置とした。この場合、元のアドレスからのずれ  $\Delta m$  は、

$$\Delta m = \frac{L_{m+1} - L_{m-1}}{2(L_m - (L_{m+1} + L_{m-1})))} \dots \dots \dots (1)$$

ただし、 $L_{m+1} = V_{m+1} - V_m$

$$L_m = V_m - V_{m-1}$$

$$L_{m-1} = V_{m-1} - V_{m-2}$$

$m$  : 差分信号ピーク発生アドレス

$V_{m+1}, V_m, V_{m-1}, V_{m-2}$  : 映像信号レベル

である。 $\Delta m$  は -0.5 から 0.5 の間にあり、

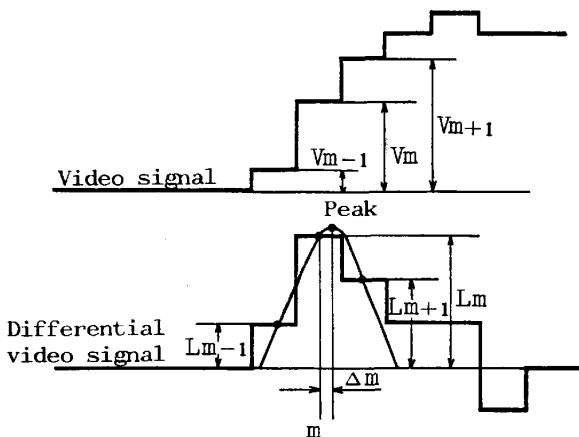


Fig. 4. Method of detecting high resolved edge position using quadratical interpolation of differential video signal peak.

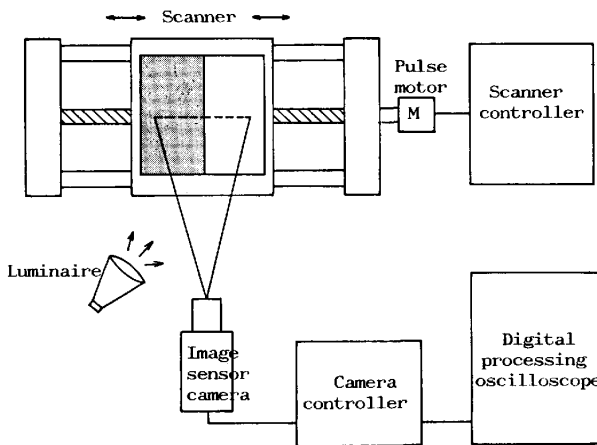


Fig. 5. Experimental apparatus for detecting high resolved edge position.

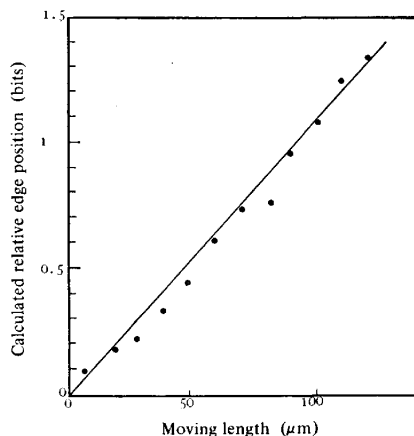


Fig. 6. Experimental results of detection of highly resolved edge position.

$$x = P \cdot (m + \Delta m) \dots\dots\dots (2)$$

ただし,

$P$ : 撮像面上での 1 画素あたりの長さ

( $P = d/m$   $d$ : イメージセンサ画素ピッチ

$m$ : 光学倍率)

によつて, エッジ位置  $x$  が計算できる.

### 2.2 確認実験

(1), (2)式によつて求まる高分解能のエッジ位置と, 実際のエッジ位置の相対的な変化を調べるため, Fig. 5 で示す構成の装置を用いて実験した. 模擬的なエッジをデジタルコントロール可能なスキャナで動かす, その時のイメージセンサの映像信号を, メモリ付オシロスコープを使つて計算機にとり込み, (1), (2)式の計算を行つた. Fig. 6 は, その結果である. 横軸は, スキャナで動かした模擬エッジの位置で, 縦軸は, それぞれの位置における映像信号から(1), (2)式によつて求めたエッジ位置である. ただし,  $P$  は 1 とした. 従来, イメージセンサの映像信号が時間的に不連続であつたため, 1 画素より小さい位置情報は得ることができなかつたが, 図に示すように, 計算で求めたエッジ位置は, 模擬エッジの位置とはほぼ連続的に対応している. 図のばらつきから推定すると, 1 画素の約 1/10 の精度で, エッジ位置を内挿できると言える. また, 絞りや照明を変化させ, エッジ位置の明るさに対する計算値の変動を調べたが, 1 画素の 1/3 程度までは十分, 分解できることがわかつた.

### 3. 厚板キャンバ表示装置

#### 3.1 構成

本装置は, 仕上げ圧延直後の厚板キャンバ形状を CRT ディスプレイに拡大表示するもので, イメージセンサカメラ 2 台, 信号処理装置, PLG (Pulse Generator), PLG 分周器, 表示用マイクロコンピュータ, CRT ディスプレイ, グラフィックプリンタから構成される. Fig. 7

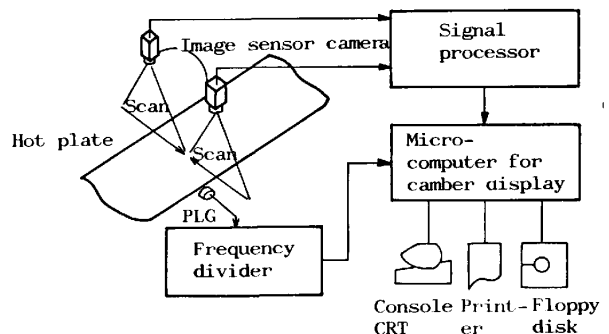


Fig. 7. Configuration of the equipment for camber display.

に, 全体のブロック図を示す.

イメージセンサカメラは, 仕上げ圧延機出側の搬送テーブル上に設置した. Table 1 にセンサの仕様を示す. 信号処理装置は, カメラ駆動用信号を作るカメラ制御

Table 1. Characteristics of sensor.

Device	MOS type image sensor
Number of elements	1 024
Lens	f 50 mm (Macro)
Range of vision	about 2 000 mm/camera
Distance between two cameras	about 2 700 mm
Resolution	about 0.5 mm
Size of object	700~4 700 mm
Scan period	3~40 ms
Sampling pitch	300 mm
Temperature range of objects	700~900°C

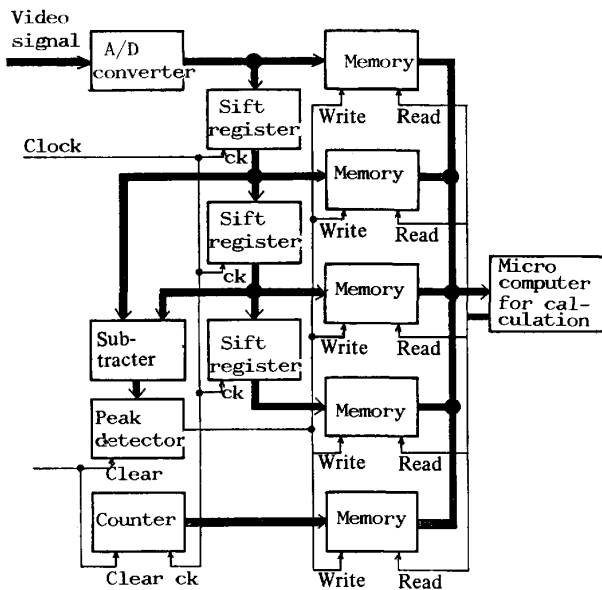


Fig. 8. Block-diagram of signal processing for differential signal peak detection.

部、エッジ検出に適切な映像信号レベルを得るように走査周期をコントロールする AGC (Automatic Gain Control) 部、映像信号を A/D 変換して差分ピークを検出するエッジ検出部、高分解能のエッジ位置を計算する CPU 演算部からなる。

測定原理で示したエッジ検出法は、高速の映像信号を扱うため、差分ピーク位置のアドレス (m) を検出するところまでをハードウェアで処理し、前述の(1)、(2)式の計算は、ソフトウェアで処理した。そのため、Fig. 8 のような回路を構成した。

PLG 分周器は、搬送テーブル駆動用モータに直結した PLG のパルスを分周することによつて、厚板が一定長さ通過するごとに表示用マイクロコンピュータに割り込みをかける。

表示用マイクロコンピュータでは、上記割り込みに従つて、信号処理部の高精度の両エッジ位置データを読み、板通過後、厚板キャンバ形状の表示と平均幅の計算などを行う。また、オペレータの要求に応じて、CRT 画面のハードコピーをとれるようにした。

### 3.2 キャンバ形状表示ソフトウェア

厚板のサイズは、幅約 1.0~4.6 m、長さ約 5~45 m

Edge deviation from reference edge line

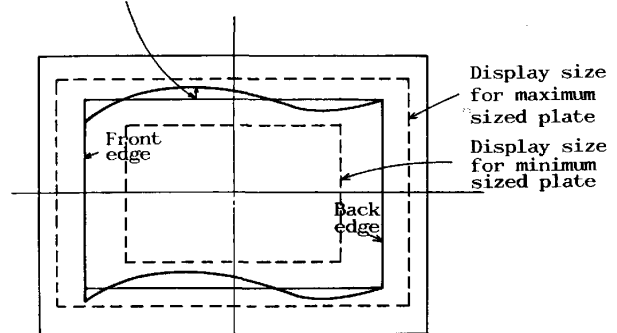


Fig. 9. Format of camber display.

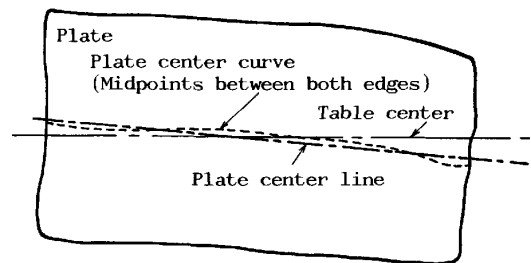


Fig. 10. Plate center line calculated by regression of midpoints between both edges.

と広範囲にわたる。一方、キャンバ量は、10~40 mm のオーダーである。したがつて、一定の縮尺で表示すると、表示画面上でキャンバがほとんど表現されず、また小さいサイズの板の表示も小さくなりすぎる。例えば、4.6 m x 45 m の板を 200 mm x 250 mm の画面いつばいに表示できるようにすると 1 m x 5 m の板は、43 mm x 28 mm に表示され、20 mm のキャンバは、約 1 mm になる。そこで、Fig. 9 に示すように最大サイズの板の表示寸法を画面はばいつばいにとり、最小サイズの板の表示寸法を画面の縦、横それぞれ 1/2 程度になるように定め、その間、板幅、長さに応じてそれぞれ表示寸法を変えるようにした。また、板の中心線が搬送テーブルの方向に対して傾いたまま、板が移動する場合を考慮して、Fig. 10 に示すように、両エッジの中心群の回帰直線を板の中心線とし、中心線からのエッジ位置を求めなおした。エッジ位置の表現は、平均幅の長方形の板を基準とし、それからのずれを拡大表示した。Fig. 11 に、表示例を示す。

### 4. キャンバ測定精度の確認

厚板キャンバ形状表示装置のオンライン測定精度を確認するため、同装置の出力と、冷間における実測値との対応実験をした。冷間における実測方法としては、エッジから約 100 mm のところに、水糸を用いて基準線を作

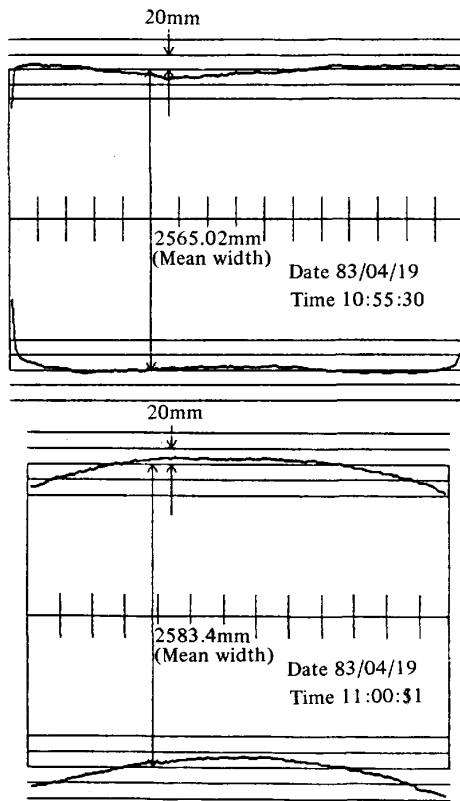


Fig. 11. Examples of camber display.

り 2 m ごとに基準線からエッジまでの距離を測定することによって、キャンバ形状を把握した。次に、冷間のデータを前述のマイクロコンピュータにインプットし、フロッピディスクに記憶させたオンラインデータと合わせてキャンバ形状表示画面を再現した。冷間のデータを重ね書きする時、先後端からそれぞれ 2 番目の冷間実測点をキャンバ表示の出力に合わせ、計算した水糸ラインを基準として他の冷間実測点をプロットした。また、精度を確認するため、それぞれの点におけるオンラインデータとの差、それらの誤差平均、偏り、標準偏差を求めた。

Fig. 12 に結果の一例を示す。また、Fig. 13 に誤差分布を示す。先後端から 2 点目の所で誤差があれば、その誤差が全体に加算されるので、あまり良い対応のとり方ではないが、標準偏差 2.5mm という結果を得た。冷間実測の精度、板の蛇行、上ぞりなどを考慮すれば十分小さな値であり、キャンバ表示装置としては満足のいく性能と言える。

### 5. 結 言

放射光式の幅計において、映像信号の差分のピーク位置を見つけることによって、対象物体の温度変化に対して安定で、高精度なエッジ位置が検出できることがわか

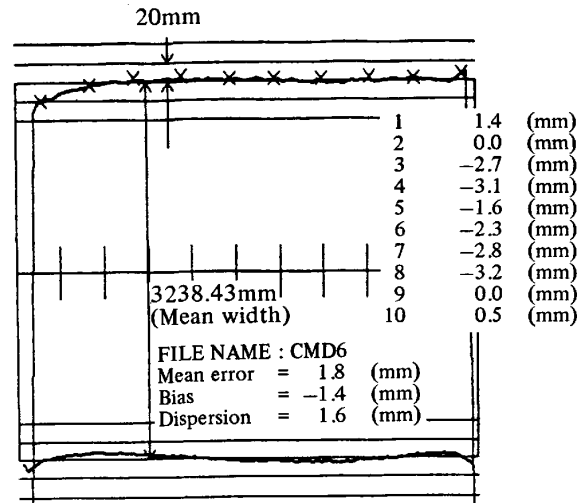


Fig. 12. Example of experimental data.

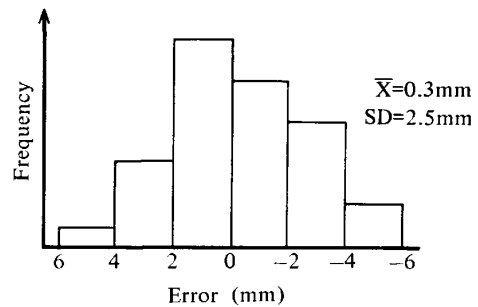


Fig. 13. Error distribution.

つた。さらに、差分信号のピーク付近の値を演算することにより、イメージセンサの分解能以上の情報が得られることが確認できた。応用の 1 つとして、厚板のキャンバ形状表示装置を開発したが、従来目視困難な微小キャンバや、スキッドによる幅異形などが仕上げ圧延直後に把握できるようになり、オペレータガイダンスとして有効に利用されている。

この方式は

- (1) バックライトがないので、構造がシンプルとなる。
- (2) 固体イメージセンサを使用するので、走査幅に対する分解能が高い。
- (3) センサが小形であり、寿命も長い。

などの特徴を持っており、今後、圧延機直近用として、利用されると考えられる。

### 文 献

- 1) 水田篤男: 第 92・93 回西山記念技術講座 (日本鉄鋼協会編)
- 2) 第 3 版鉄鋼便覧 I 基礎 (日本鉄鋼協会編) (1981), p. 758 [丸善]
- 3) 豊田弘道: 放射温度測定と放射率, 第 46 回温度計測部会資料 (計測自動制御学会) (1981), p. 1