

## 論 文

リアルタイム画像処理を用いた赤熱分塊  
スラブの自動探傷装置

岩崎 全良\*・中井 康秀\*・西元 善郎\*  
辻 邦夫\*<sup>2</sup>・広瀬 勇\*<sup>3</sup>・小林 章\*<sup>3</sup>

Automatic Surface Inspection System for Hot Rolled Slabs  
by Real Time Image Processing Method

Masayoshi IWASAKI, Yasuhide NAKAI, Yoshiro NISHIMOTO,  
Kunio TSUJI, Isamu HIROSE and Akira KOBAYASHI

## Synopsis :

An automatic surface inspection system for grading hot slabs during the direct rolling process is described. The system, based on an optical method, employs CCD (Charge Coupled Device) line-scan cameras and real-time signal processors. CCDs can take hot radiant images of the moving slabs with high resolution. The signal processors, which use advanced image processing techniques, can perform the following functions. Firstly, the background level of the image of the slab can be correctly detected. Secondly, ill-defined signals caused by harmful defects can be discriminated with high signal-to-noise ratio. Thirdly, two-dimensional patterns associated with defects can be recognized.

The effects obtained when the system is applied to operation are discussed. The ability of the system to detect dark and gray defects is comparable with that of human visual inspection. The system is now in successful operation in the direct rolling process.

## 1. 結 言

省エネルギー、工程の連続化を目的に実施されてきた熱間直送圧延 (HDR : Hot Direct Rolling), 熱片装入 (HCR : Hot Charged Rolling) では、従来の半成品検査に代わつて、赤熱状態の鋼片を探傷し、直送可否の判定を下す必要がある。HDR, HCR が始まった当初、熱間で使用できる適当な探傷装置がなかつたため、操業オペレータまたは専門の検査員が、目視によつてその判断をしていた。しかし、検出性能や安全衛生上の問題、さらには歩留り向上を目的とした熱間部分手入れの可能性などの点からは、自動的に探傷することが望ましい。そのため、これまでに種々の熱間探傷法が提案、実施されているが、筆者らは、ホットスカーフ後の分塊スラブを対象に、HDR, HCR の直送可否判定用の赤熱表面自動探傷装置を開発した。以下、その探傷方法と実操業への適用結果について報告する。

## 2. 熱 間 探 傷 法

赤熱鋼材表面の探傷法としては、これまでに渦電流方

式及び光学方式が提案実施されている。渦電流方式<sup>1)~3)</sup>は鋼材に対向設置されたプローブコイルのインピーダンスが、鋼材表面の疵の有無により変化することを利用する。この場合1個のコイルを用いて広い鋼材表面を走査するか、多数個のコイルを固定配置して全面をカバーするか、あるいは単一の周波数を用いるか、複数の周波数を用いるかなどによつて種々の考案がなされている。渦電流方式は微細な欠陥に対して優れた感度をもっているが、コイルを検査面に接近させる必要があり、プローブの追従機構およびその耐熱性が構造上の問題となる。また磁気変態点付近の温度では透磁率の急激な変化が大きな信号変化をもたらす、探傷ができなくなるなどの問題も含んでいる。

渦流探傷方式に対して光学方式は疵深さの情報を直接得られない不利な点はあるが、十分離れた位置から情報が得られること、対象材の寸法に余り依存せず、広い面積を容易に走査できることが大きな特徴であり筆者らは光学方式を採用した。

光学方式には<sup>4)~7)</sup>、赤熱鋼材の自発光を利用する放射光方式と、照明光を用いてその反射光のみを選択的に捕

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

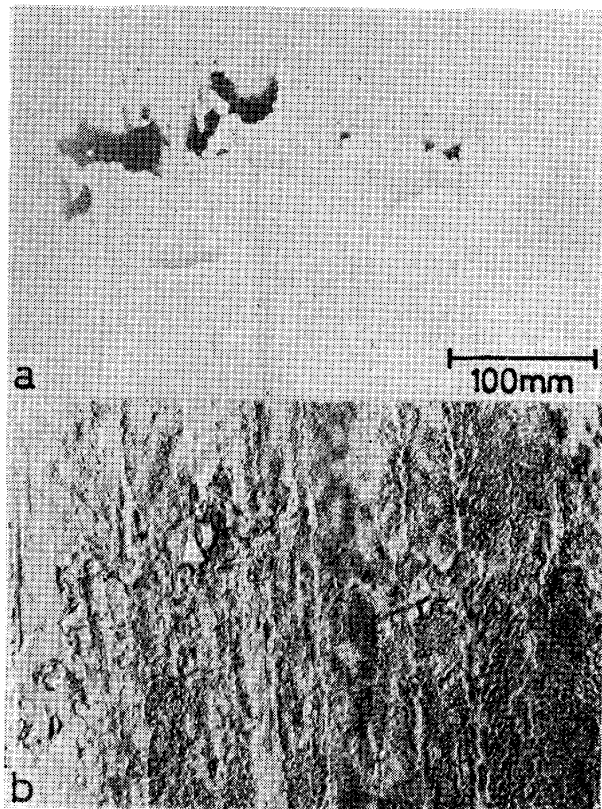
\* (株)神戸製鋼所電子技術センター (Electronics Technology Center, Kobe Steel, Ltd., 53-3 Aza-Maruyama Gomo Nada-ku Kobe 657)

\*<sup>2</sup> (株)神戸製鋼所技術開発本部 工博 (Technical Development Group, Kobe Steel, Ltd.)

\*<sup>3</sup> (株)神戸製鋼所加古川製鉄所 (Kakogawa Works, Kobe Steel, Ltd.)

える放射光方式とがある。前者には、赤熱鋼材の保有している熱による放射光を利用する受動的な方式と、外部加熱により疵部での発光状態の変化を捕える能動的な方式とがある。受光器には工業用テレビカメラが良く利用されるがその他赤外線カメラや固体撮像器も用いられる。移動中の鋼材を静止画像として撮影するため、ミラーを用いて視野を鋼材の移動に同期させたり、機械式シャッターを用いて瞬時像を得るくふうがなされている。鋼材表面像から疵部を認識する方法では、単にモニタ上に像を表示してオペレータの観察を容易にするものが大部分であるが、欠陥部を抽出し、プリンタに出力するものもある<sup>9)</sup>。

Photo. 1 (a) は、分塊スラブの赤熱画像の写真で、Photo. 1 (b) は、同じ部分をストロボで照射し、フィルタによって放射光を除いて撮影した反射光画像の写真である。反射光画像は、冷間の表面と同様に見えるため、見やすく感じるが、欠陥でない表面の微少な凹凸が明暗となつて表現されるため、濃淡情報から欠陥を自動判定することはかなり困難である。Photo. 1 (b) 中のへげ疵や割れも、人間はその陰影から表面の立体形状を想像することによって認識しているものと考えられ



a) Surface image of radiated light  
b) Surface image of reflected light

Photo. 1. Comparison of image of radiated light with that of reflected light.

る。このような人間の判断を機械でリアルタイム処理することは容易なことでない。分塊スラブの場合 Photo. 1(a) に示したように、明らかに赤熱画像の方が、S-N比よく欠陥検出ができそうである。筆者らはこのような観点から、放射光方式を選定し、この画像の中から疵部を自動的に検出する方法を考案した。

### 3. 検出原理

赤熱状態のスラブが自然冷却される時、表面はほぼ均一に冷却される。しかし Photo. 1(a) に示すように、母材から剝離したへげ疵の部分では、母材からの熱エネルギーの供給が遮断されるため、周囲の正常な表面より冷やされやすく黒く見える（放射光方式の探傷を行う上での分類として、これを暗部欠陥と呼ぶ）。一方、母材に深く食い込んだへげ疵や、き裂が表面に対し斜めになつた横割れなどは、その遮断される熱エネルギーが少なく、より有害にもかかわらず、あまり黒くならない（これを灰色部欠陥と呼ぶ）。また、開口部のある割れは、内部の高温部が観察されるため、線状に明るく見える（これを明部欠陥と呼ぶ）。これらの欠陥の部分而走査した時得られる映像信号を、Fig. 1 に模式的に示すが、これらの映像信号の一次元的な処理のみでは欠陥を検出することは困難であり、二次元的な画像処理が必要となる。そこで Photo. 1(a) のような画像から疵部の図形を抽出することを目的として画像処理技術の各種の手法を検討した。このような場合の画像処理では、画像の中の必要な部分を明瞭にする強調の段階と、個々の画像の存在する特徴空間を明確にして、この中での閾値を定義し、対象画像がこの閾値の内側にあるか、外側にあるかによって必要な画像を抽出する段階を繰り返し適用することが行われる<sup>9)</sup>。

	Dark defect	Gray defect	Bright defect
Profile of Section			
Video Signal			

Fig. 1. Schematic profile of section and video signals of defects.

3.1 背景信号の除去 (画像の強調)

Photo. 1 (a) に示した画像の中で, 材面温度むらの信号をまず除去し, 対象とする画像を明瞭にする必要がある. これに対する古典的な手法には 2 次元空間周波領域の中での帯域フィルタを作用させる<sup>10)</sup>か, 平滑化した画像を原画像から引き去る方法<sup>11)</sup>がある. 平滑化の方法には局所平均法があり, これの変形に選択的局所平均法<sup>12)</sup>がある. 筆者らは後者の手法を拡張して用いた.

画像上の画素の座標を  $(i, j)$ , 画像の明るさ (信号の強度) を  $f(i, j)$  として, 画像を  $\Delta m \times \Delta n$  の長方形の区画に区切り, その中での最大値をその区画の値とした画像を求める. この最大値  $\hat{f}(i, j)$  は以下のように表現できる.

$$\hat{f}(i, j) = \text{Max}\{f(i', j'), f(i'+1, j'), \dots, f(i'+\Delta m-1, j'), f(i', j'+1), f(i'+1, j'+1), \dots, f(i', j'+\Delta n-1), \dots, f(i'+\Delta m-1, j'+\Delta n-1)\} \dots \dots \dots (1)$$

ただし,  $i' = \Delta m \cdot \text{Int}(i/\Delta m)$ ,  $j' = \Delta n \cdot \text{Int}(j/\Delta n)$

その後, この画像に局所平均法を適用するが, その時平均値に算入すべき値  $\hat{f}(i, j)$  がその前の平均値に比べて大きく変化している場合には, 長手方向直前の区画の値  $\hat{f}(i, j-\Delta n)$  を用いる. 比較対象となる平均値は, それ自身を求める際,  $\hat{f}(i, j)$  を含んでいない長手方向至近の平均値を用いる. この過程は局所平均の領域の大きさを  $(2M_1+1) \times (2N_1+1)$  として,

$$g(i, j) = \frac{\sum_{k=-M_1}^{M_1} \sum_{l=-N_1}^{N_1} \hat{f}(i+\Delta m \cdot k, j+\Delta n \cdot l)}{(2M_1+1)(2N_1+1)} \dots \dots \dots (2)$$

ただし,  $\hat{f}(i, j) > g\{i, j-\Delta n(N_1+1)\} + \epsilon_1$

あるいは,  $\hat{f}(i, j) < g\{i, j-\Delta n(N_1+1)\} - \epsilon_2$

のとき  $\hat{f}(i, j) = \hat{f}(i, j-\Delta n)$

と表すことができる.  $\epsilon_1, \epsilon_2$  は変化の程度を決める定数である. この平滑化画像を原画像から引くことにより, 画像の中の明部, 暗部が強調された画像  $h(i, j) = f(i, j) - g(i, j)$  が得られる.

3.2 画像の抽出 (2 値化)

3.2.1 暗部欠陥の検出

$h(i, j)$  上の暗黒斑は比較的面積のあるへげ疵によるものに 2 次スケールによる小面積のものが混在している. そこでまず  $h_{D0}$  を閾値として  $h(i, j)$  を 2 値化した画像  $h_D(i, j)$  を作り,  $h_D(i, j)$  に対して  $M_2 \times M_2$  画素のテンプレートをを用いた画像縮小法を 2 回適用して小斑点を消去し必要な大きさの暗黒部を抽出して暗部欠

陥とする. すなわち 2 値化画像  $h_D(i, j)$  に対して定数  $K_1, K_2$  を定め,

$$\left\{ \begin{matrix} \sum_{m=i}^{i+M_2-1} \sum_{n=j}^{j+M_2-1} h_D(m, n) \geq K_1 \\ < K_2 \end{matrix} \right\}$$

のとき  $h_D'(i, j) = \begin{cases} 1 & \dots \dots \dots (3) \\ 0 \end{cases}$

さらに  $\left\{ \begin{matrix} \sum_{m=i}^{i+M_2-1} \sum_{n=j}^{j+M_2-1} h_D'(m, n) \geq K_2 \\ < K_2 \end{matrix} \right\}$

のとき  $h_D''(i, j) = \begin{cases} 1 & \dots \dots \dots (4) \\ 0 \end{cases}$

として暗部欠陥のみの画像  $h_D''(i, j)$  が得られる.

3.2.2 灰色部欠陥の検出

Fig. 1 (a) に示したように灰色部欠陥は, 信号振幅が小さいため単純な閾値処理では抽出困難であるが, 信号の幅と振幅を 2 つのパラメータとする特徴空間の中では, Fig. 2 に示すように分離されている. そこで  $i_1 < i \leq i_2$  において  $|h(i, j)| > h_{G0}$  (閾値) が成りたつとき  $W = i_2 - i_1$ ,  $H = \text{Max}\{|h(i, j)|\}$ ;  $i = i_1 + 1 \sim i_2$  とおいて,  $(H, W) \in EG$  (ただし  $G$  は Fig. 2 の □ 印の領域) ならば  $h_G(i, j) = 1$ , それ以外ならば  $h_G(i, j) = 0$  として  $h(i, j)$  を 2 値化する. しかし, この結果は, 微少なスケールによるノイズを含む可能性がある. そこで

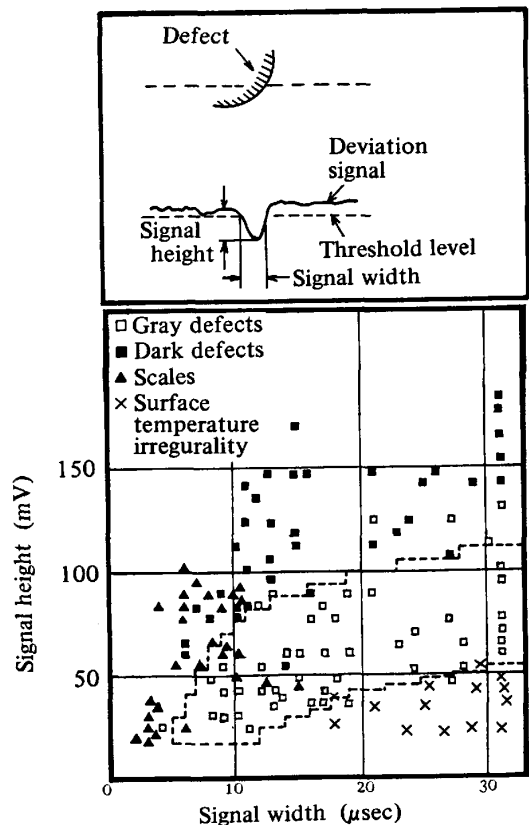


Fig. 2. Distribution of width and height of subsiding signal portions in deviation signals.

対象とする欠陥画像に一定以上の平面的つながりがあるという特徴を利用して、この欠陥を抽出する。具体的には、まずつながり方向のあいまいさを補い情報量を圧縮するため  $M_3 \times M_3$  の区画ごとの論理和をとつた後、4方向の線分テンプレートとの相関を調べる。すなわち、

$$\begin{aligned} h'_G(i, j) = & h_G(i', j') V h_G(i'+1, j') V \dots \dots \dots \\ & V h_G(i'+\Delta m-1, j') \\ & V h_G(i', j'+1) V h_G(i'+1, j'+1) V \dots \dots \dots \\ & \dots \dots \dots V h_G(i'+\Delta m-1, j'+\Delta n-1) \dots \dots \dots \end{aligned} \quad (5)$$

ただし、 $i' = \Delta m \cdot \text{Int}(i/\Delta m)$ ,  $j' = \Delta n \cdot \text{Int}(j/\Delta n)$ ,

$V$  : 理論和として、

$$\left. \begin{aligned} \sum_{l=-L_0}^{L_0} h'_G(i+M_3 \cdot l, j) &> L_1, \\ \sum_{l=-L_0}^{L_0} h'_G(i, j+M_3 \cdot l) &> L_2 \\ \sum_{l=-L_0}^{L_0} h'_G(i+M_3 \cdot l, j+M_3 \cdot l) &> L_3, \\ \sum_{l=-L_0}^{L_0} h'_G(i+M_3 \cdot l, j-M_3 \cdot l) &> L_4 \end{aligned} \right\} \dots (6)$$

ただし  $2L_0+1$  はテンプレートの大きさ、 $L_1, L_2, L_3, L_4$  は定数。

のいずれかが成り立つときのみ  $h_G''(i, j) = 1$  として、灰色部欠陥を抽出した画像  $h''_G(i, j)$  を得る。

### 3.2.3 明部欠陥の検出

明部欠陥は線状の明部として観察される。そこで  $h_{BO}$  を閾値として  $h(i, j)$  を2値化した後、灰色部欠陥検出と同様に一定区画ごとの論理和と4方向の線分テンプレートとの相関をとる。しかし、線分テンプレートとの相関のみでは、材面の凹部を示す明部、すなわち面積のある明部を過検出する。そこで、暗部欠陥と同様な正方形のテンプレートを用いて面積のある明部を抽出し、上記線分のテンプレートを用いた結果からこれを除いて明部欠陥を抽出する。

以上、各種の処理におけるテンプレートの大きさや定数は、実際の画像を用いてシミュレーションした結果決定した。

## 4. 探傷装置

本探傷装置は、赤熱スラブの画像をとらえるセンサ、前述の原理に基づいて欠陥を検出する画像処理装置、HDR, HCRにおける直送可否を判定する計算機からなる。以下に、センサの選定法、画像処理装置の具体的構成、直送可否判定法について述べる。

### 4.1 センサ

センサを選定する場合、温度分解能および空間分解能

についての検討を要する。温度分解能は、対象物体の放射エネルギーとそのスペクトルおよびセンサの感度、分光特性、ダイナミックレンジによつてきまる。今、対象とする  $1000^\circ\text{C}$  付近のスラブを黒体と仮定し、波長  $0 \sim \lambda_{\max}$  の一様な分光感度をもつセンサでその放射光物体を見たとする、センサに入射するエネルギー  $E$  は、

$$E = \frac{R}{4F^2} \int_0^{\lambda_{\max}} \frac{C_1}{\lambda^5 (\exp\{C_2/\lambda T\} - 1)} d\lambda \quad \dots \dots \dots (7)$$

ただし、 $C_1 = 3.74 \times 10^4 (\text{W} \cdot \mu\text{m}^5 / \text{cm}^2 \cdot \mu\text{m})$ ,  $C_2 = 1.44 \times 10^4 (\mu\text{m} \cdot \text{deg})$ ,  $R$ : レンズの透過率,  $F$ : レンズのFナンバー,  $T$ : 対象物体の温度

となる。 $F=4$   $R=0.6$  として上式をグラフに書くと Fig. 3 のようになり、絶対的な感度さえあれば、短波長の分光感度のセンサを用いるほうが、温度変化に対する出力変化が大きくなるのがわかる。空間分解能は、レンズの焦点距離を変えることによつて、任意に選ぶことができるが、センサ1台あたりの視野を大きくし、空間分解能を上げるには、高分解能の画像センサを使う以外にない。また移動物体を撮像すると移動方向にぼけを生じる。例えば、蓄積型面走査である工業用テレビカメラをそのまま使用すると、約17msの間物体が移動する距離だけぼけが生じ、移動方向の空間分解能が低下する。したがつて、移動物体の撮像には非蓄積型線走査の画像センサが望ましい。

対象物体が約  $1000^\circ\text{C}$  のとき、Fig. 2 において縦軸の  $10 \text{ mV}$  は約  $5^\circ\text{C}$  の温度変化に相当しており、前述の原理を用いて直径数 mm 以上の欠陥を検出するには、約  $1^\circ\text{C}$  の温度分解能と約  $1 \text{ mm}$  の空間分解能が必要と考えられる。そこで、上記検討の結果1次元の CCD (Charge Coupled Device) イメージセンサカメラを採

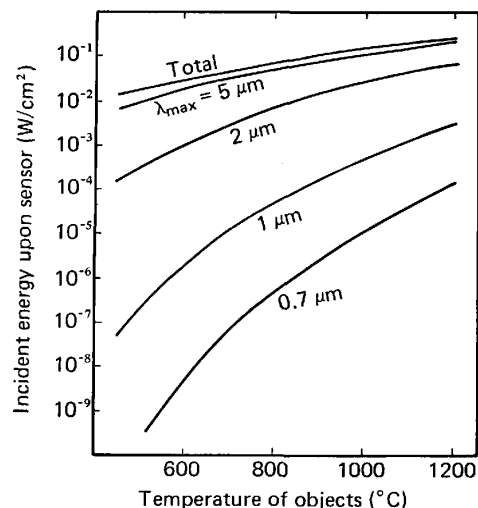


Fig. 3. Incident energy upon sensor.



暗部欠陥と他の欠陥が共存した場合→暗部欠陥

明部欠陥と灰色部欠陥のみが共存した場合→明部欠陥

#### 4.3 直送可否判定

HDR, HCR の直送可否を自動判定する際、欠陥の種類、個数、位置、密集の程度、さらにはスラブの鋼種や用途などを考慮する必要がある。そこで、専用ハードウェアで検出した欠陥を種類別に一定区画ごとの個数として扱い、計算機を用いて各面の評価値

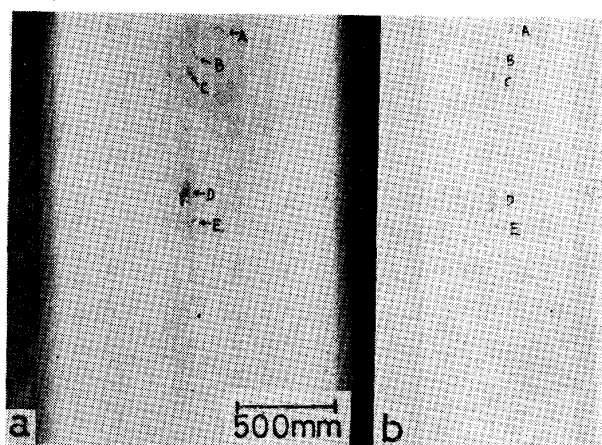
$$F(s) = \sum_{f, I, J} g_{s, f, p} \cdot d(N) \cdot N(s, f, I, J) \dots\dots\dots (8)$$

ただし、 $N(s, f, I, J)$  : 探傷面 ( $s$ ) の区画位置 ( $I, J$ ) における種類 ( $f$ ) の欠陥個数

$g_{s, f, p}$  : 探傷面 ( $s$ )、種類 ( $f$ )、位置区分 ( $p(I, J)$ ) における重みづけ係数

$d(N)$  : 密集の程度 ( $N$ ) によつて変える係数

を計算し、いずれかの面の評価値があらかじめきめた基準値を越えた場合に直送不可とした。なお、各係数と基準値は、対象の鋼種別、用途別に定めた。



(a) Original hot radiant image (b) Output of system

Photo. 2. Example of inspection.

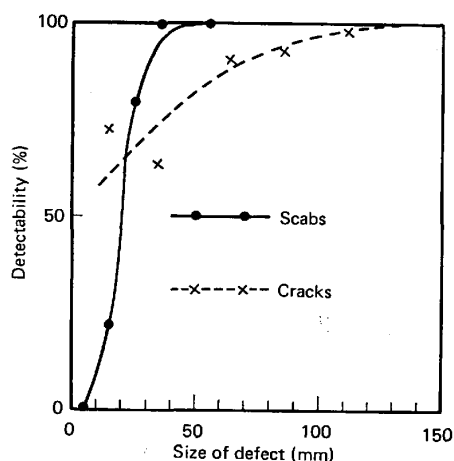


Fig. 8. Detectability for scabs and cracks.

## 5. 検出性能

Photo. 2 に検出結果の一例を示す。大きなへげ症 (D) だけでなく、小さなへげ疵 (B, C, E) やコントラストの低い横割れ (A) も精度よく検出している。

実際の自然欠陥に対する本装置の検出性能を調べるため、探傷後のスラブを冷却した後目視検査を行い探傷装置の抽出結果との対応をとつた。対象としたものは  $\phi 5$  mm 以上の欠陥約 400 個である。すべての疵をへげ疵と割れに分類し、大きさに対する検出率を Fig. 8 に示す。へげ疵については、 $\phi 30$  mm ではほぼ 100%、割れについては 50 mm の長さで約 80% 検出することがわかつた。この結果は、同時に行つた熱間目視検査の性能とほぼ同程度であつた。また、欠陥の種類認識性能については、へげ疵は暗部欠陥または灰色部欠陥、割れは灰色部欠陥または明部欠陥として検出されており、灰色部欠陥と明部欠陥を重欠陥とすると、へげ疵の約 20% が重欠陥として認識されることがわかつた。

## 6. 実作業への適用と効果

本装置は、HDR, HCR におけるスラブ直送可否判定用として、'82 年 2 月から本移動に入り、ほぼ 100% 適用している。また、本装置の稼働による副次的な効果としては、従来行つていなかったスラブの裏面探傷が可能になつたこと、スラブごとに欠陥の有無、種類、個数、位置、分布など各種品質情報が上位計算機に蓄積されることによつて定量的な品質把握ができるようになったこと、さらに、リアルタイムで得られた分塊スラブの画像を製鋼工程のオペレータに迅速にフィードバックすることによつて製鋼技術の向上が期待できるようになつたことなどがあげられる。

## 7. 考 察

与えられた画像の中から所望のものを抽出し、分類することは画像処理技術の大きな目的の一つで各種の基本的な処理法が考えられている。しかし任意の画像に画一的に適用できる標準的な方法はいまだなく、個々の対象によつて、その特徴を明確にした上でそれを捕えるアルゴリズムを、基本的手法を組み合わせたり、拡張したりして、実現しなければならない。ここでは実用上の必要性からハードウェアで処理可能な比較的簡単なアルゴリズムを考案した。以下にその代表的なものについての妥当性を検討する。

### 7.1 背景信号の生成

理想的な背景信号とは、仮に欠陥がないと想定した場

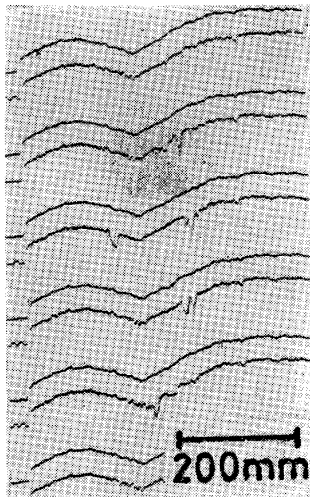


Photo. 3. Video signal and background signal.  
Upper of each pair is background signal waveform.

合に得られる信号であり、これを実際には欠陥がある場合の映像信号から創り出さねばならない。赤熱スラブに現れる黒斑には、種々の大きさや濃度のものがあり、これらの画像の空間周波数は背景のそれに近い低域成分をかなり含む。したがって、単純に従来よく用いられる低域フィルタや局所平均法などを作用させても、これらの黒斑を除いた背景信号を創り出すことはできない。そこで、筆者らは、対象画像から黒斑や輝点を除いた画像を考え、これを平滑化することにより背景画像を創り出した。Photo. 3 は、本装置によつて得られた実際の信号で、下が側面用映像信号、上がその背景信号である。黒斑の有無に関係なく緩やかな材面温度レベルに追従する信号が得られており、理想的な背景信号が生成されている。この方法で用いた(2)式の条件の $\varepsilon$ は、生成する背景信号の材面温度変化に対する追従性を決めるパラメータとしての意味を持つており、十分大きな値の場合背景信号は従来の局所平均法と同一のものとなり、十分小さな値の場合背景信号は全く追従せず一定値となる。その選定の指針を、映像信号が局所区間で直線的に変化している場合に対して検討すると、 $g(i, j) = \hat{f}(i, j)$  であり、明るさ変化の急峻の程度を表す値  $S(i, j)$  は

$$\begin{aligned} S(i, j) &= \hat{f}(i, j) - g(i, j - \Delta n \cdot (N+1)) \\ &= (\hat{f}(i, j) - \hat{f}(i, j - \Delta n)) \cdot (N+1) \\ &= (f(i, j) - f(i, j-1)) \cdot \Delta n(N+1) \dots \dots (9) \end{aligned}$$

となる。 $f(i, j) - f(i, j-1)$  は、映像信号の長手方向の変化率を表してあり、明部欠陥のそれを  $G_f$ 、暗部欠陥のそれを  $G_f'$  とすると、

$$\varepsilon_1 < G_f \cdot \Delta n(N+1), \quad \varepsilon_2 < -G_f' \cdot \Delta n(N+1)$$

に選べばよいことがわかる。また、大きな欠陥を走査した後、背景信号が元の材面レベルにもどる条件として

は、 $G_s, G_s'$  をそれぞれ明方向、暗方向への材面温度レベルの変化率としたとき、明部、暗部の長さをそれぞれ  $L, L'$  として、

$$\varepsilon_1 > G_s \cdot L, \quad \varepsilon_2 > -G_s' \cdot L'$$

である。 $G_s \cdot L > G_f \cdot \Delta n(N+1)$ 、または  $G_s' \cdot L' < G_f \cdot \Delta n(N+1)$  になると背景信号が材面温度レベルに追従しなくなる可能性があるが、対象としたスラブでは問題は起こらず、本アルゴリズムが背景信号の生成に適当なものであつたことが確認できた。

## 7.2 暗部欠陥における面積判別

暗部欠陥検出において、スケールの部分を除去するため、 $8 \times 8$  画素のテンプレートを2回適用する面積判別法を採用したが、これ以外にも例えば個々の斑点に対応するカウンタを置き、その部分を走査している間該当するカウンタに1を加え続ける方法もある。しかし1走査線上に現れる斑点の最大個数のカウンタを用意する方法は膨大な個数のスケールの発生があることを考えると適当な方法と言えない。1回のテンプレートマッチングを適用することによつても面積判別が可能であるが、1つの斑点の面積を計算するとき、接近した隣接斑点の面積を算入してしまう。そのためには第1回目の縮小法を省くことができない。また小さいテンプレートマッチングを繰り返せば、個々の微小斑点の分離は確実に行われるが、一方へげ疵自身が完全な黒斑でなく、部分的に欠けていることもあり、大形のへげ疵でも消滅してしまう場合がある。したがって対象画像の特性に応じてテンプレートの大きさ、その適用回数を定めねばならない。筆者らは種々のモデル画像に対する計算機シミュレーションと多くの実画像に対する計算機処理を実施し既述の方法を採用したが、この方法はスケールの除去に最も妥当な方法と考えられる。

## 7.3 灰色部欠陥の分離

灰色部欠陥は既述のように信号強度が小さいが有害の程度は大であり、検出が最も困難なものであつた。これの特徴として、面積と濃度あるいは濃度勾配なども検討したがハードウェアでリアルタイム処理を容易に行うことができることから信号の幅と振幅を用いた2次元特徴空間による抽出法を採用した。これに平面的なつながり判定を併用した結果所望の欠陥を S-N 比よく分離検出することができたと考えられる。

## 7.4 各種欠陥の検出性能

Fig. 8 の検出率カーブを見るとへげ疵に関しては約  $\phi 20$  mm のところで急峻に立ち上がつており、設定した大きさ以上の欠陥はほぼ検出していると言える。これは、へげ疵の大半が、輝度変化の大きい暗部欠陥であ

り、その検出アルゴリズムとして、暗部の2値化と面積判定を用いたことが妥当であったことを示している。また、母材に深くくい込んだへげ疵も、灰色部欠陥として精度よく検出していることがうかがえる。

割れについては、検出率カーブの立ち上がり方がゆるやかで、かなり大きな欠陥でも見落とす場合があると言える。しかし、これは、輝度変化のほとんどない割れがあるためであり、多数の材面写真と検出結果の対比で確認した結果材面写真に現れる割れは、ほとんど明部欠陥、灰色部欠陥として検出されていることが分かった。この装置の欠陥検出アルゴリズムでは、明部欠陥と灰色部欠陥を暗部欠陥と分離検出することができ、ある程度欠陥の有害性が判断可能と言える。ただ、輝度変化のない欠陥は全く検出することができず、ここに光学的探傷法の限界がある。

### 7.5 ハードウェアによる処理

多量の情報を高速処理する必要性から、専用ハードウェアを構成し、従来、ほとんど不可能であった高速のリアルタイム画像処理を行つた。しかし、あまり複雑なアルゴリズムを適用することができない、パラメータ以外の変更が困難であり柔軟性に欠けるなどの欠点も否定できない。実際の欠陥の見え方は、非常に多様であり、簡潔に定義できず、学習によつて築かれた人間の欠陥検出アルゴリズムは、複雑をきわめる。また、欠陥の見え方は、ホットスカーフの状態に左右される。さらに、長期的に見ると、前工程の技術の進歩によつて出現する欠陥そのものが変化したり、用途によつても許容水準が変わる。今後さらに高度な判断機能をもたせるためには、複雑で柔軟性のあるアルゴリズムを高速で処理できる画像処理システムとそのアルゴリズム自身を開発するためのツールの出現が望まれる。

## 8. 結 言

赤熱状態の分塊スラブの表面疵を検出する光学的探傷装置を開発した。材面の放射光画像から欠陥の特徴を抽

出して、高速で疵判別を行うため、専用ハードウェアで構成された高速画像処理を実現した。疵の存在する画像から疵のない仮想の画像を生成する方法、明るさや平面的なパターンから各種欠陥を弁別する方法を考案し、そのアルゴリズムの妥当性を確認した。特に灰色部欠陥検出において、映像信号波形を特徴づける2つのパラメータによつて作られる2次元的な特徴空間の中での領域判定が有効に利用されることがわかつた。本装置は、現在、HDR、HCRの際のスラブの品質判定用として有効に利用されており、今後、各欠陥の種類と位置を出力できることを利用し、熱間部分疵取りへの適用を検討していく計画である。

## 文 献

- 1) 白岩俊男, 広島龍夫, 坂本隆秀, 久保幸雄, 尾崎孝三郎, 高橋昭夫: 鉄と鋼, 65 (1979), S 825
- 2) B. HEDLUND: Iron and Steel Inter. (1980) Aug., p. 193
- 3) 岩崎全良, 西元善郎, 安国弘晃, 広瀬 勇, 林真司: 熱間渦流探傷に関するシンポジウムテキスト (1983), p. 47
- 4) 平川紀夫, 儀間真一, 豊田利夫, 松原俊郎: 鉄と鋼, 67 (1981), S 137
- 5) 北川 猛, 藤井 晃, 三宅 苞, 栗田邦夫: 鉄と鋼, 64 (1978), S 743
- 6) 上杉満昭, 山田健夫, 堀内好浩, 吉野正人, 山下元, 小森重喜, 宮野治夫: 鉄と鋼, 67 (1981), S 138
- 7) 田麿競則, 大橋徹郎, 福山 勝, 江頭武二: 鉄と鋼, 66 (1980), S 844
- 8) B. R. SURESH, R. A. FUNDAKOWSKI, T. S. LEVITT and J. E. OVERLAND: IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, PAMI-5 (1983) 6, p. 563
- 9) J. L. MUNDY: Proceedings IEEE Computer Society International, Computer Software and Applications Conference, Vol. 3 (1979), p. 256
- 10) L. R. BAKER and B. J. BIDDLES: Optical Engineering, 15 (1976) 3, p. 244
- 11) L. Norton WAYNE, W. J. HILL and R. A. BROOK: Brit. J. NDT, 19 (1977) Sep., p. 242
- 12) A. ROSENFELD and A. C. KAK: Digital Picture Processing (1976), p. 197 [Academic Press]