

冷延鋼板の表面欠陥検査システム

相澤 均*・福高 善己*・増野 豊彦*²・三宅 秀和*²

Automatic Surface Inspection Systems for Cold Strip

Hitoshi AIZAWA, Yoshimi FUKUTAKA, Yasuhiko MASHINO and Hidekazu MIYAKE

Synopsis : In steel industry, customers' request for better quality of product surface has recently become very keen, which inevitably requires more strict inspections of the products before shipping.

Though human eyes, which have been widely used for in-process product visual inspections, are an excellent sensor, organoleptic visual tests have drawbacks. A human inspector may overlook flaws in case of even momentary distraction. In addition, today's demands for better performance and higher throughput on production and inspection far exceed the ability of human visual tests, in most cases.

Consequently, visual tests are being replaced by ASIs (Automatic Surface Inspectors) using optical apparatuses. There still remain, however, some flaws ASIs are not able to detect because of their low signal level. We have, therefore, kept trying to detect those flaws by developing and improving signal and image processing techniques for ASIs.

In this paper, described are some of the new technologies of this kind, which have been developed or tested in Kawasaki Steel Corporation; a floating-threshold-level signal processing method, a high precise definition TV monitor system, an on-line ASI performance test system, and Fractal analysis for the scanning waveform of ASIs.

Key words : colds; surface inspection; human visual inspection; image processing; quality assurance; optical sensor; laser beam; diffraction pattern; spatial filter; solid-state imaging device.

1. 緒言

人間の“目”は何ものにも優る優秀なセンサであり、瞬時に形や色彩などを知覚する能力やパターン認識力、経験や学習による推論能力を持っている。その一方では人間は精神的な悩みや身体的な苦痛に起因する疵の見逃しという弱点を持っている¹⁾²⁾(Fig. 1 参照)。このような背景から、目視検査が光学機器に置き換えられて、自動化が進められるようになった。さらに、最近では、(1)検査員の老齢化、(2)若い人の目視検査作業離れ、(3)生産ラインの高速化、(4)ユーザの表面品質要求の厳格化などの理由によって検査装置にはますます高性能が要求され、さらに高速検査や完全自動化(無人化)のニーズも高まっている。

当社でも以上のような状況に対応するため、1970年代でのブリキへの検査装置の導入に続き、現在に至るまで冷延鋼板や電磁鋼板、ステンレス鋼板に導入してきた。その過程で以下に報告する浮動弁別などの信号処理技術や、高精細度カメラと高精細度ディスプレイによる検査員への欠陥情報の提供システム、膨大な負荷を必要としていたオンライン確性の短縮化を目的としたレーザマーカによる確性シ

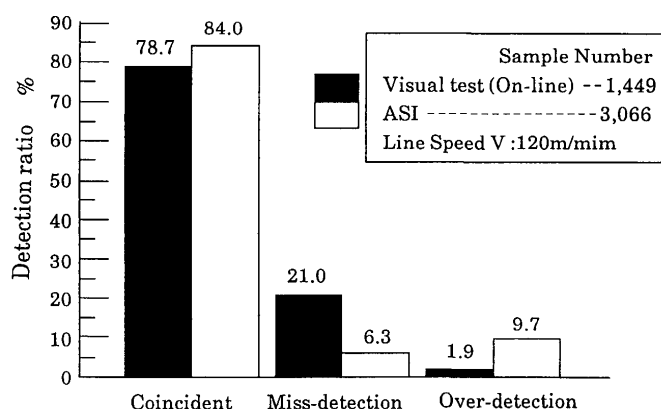


Fig. 1. Example of the ability of detecting flaws by Visual test and Automatic Surface Inspector (ASI).

ステムなどの開発を進めそれぞれのニーズに応えてきた。また、一層の高精度化のために走査波形に時系列データへのフラクタル解析手法の適用を試みている。

以下に、当社の開発経緯とそれぞれの技術的内容を報告する。

平成 4 年 11 月 26 日受付 平成 5 年 4 月 9 日受理 (Received on Nov. 26, 1992; Accepted on Apr. 9, 1993)

* 川崎製鉄(株)水島製鉄所 (Mizushima Works, Kawasaki Steel Corp., 1 Kawasaki-dori Mizushima Kurashiki 712)

* 2 川崎製鉄(株)千葉製鉄所 (Chiba Works, Kawasaki Steel Corp.)

2. 当社における開発経緯

各工程および分野別のセンサの開発ニーズは、材質測定テーマもさることながら表面検査、特に探傷に関するテーマの多いことが挙げられる。

2・1 表面欠陥検査装置の導入状況

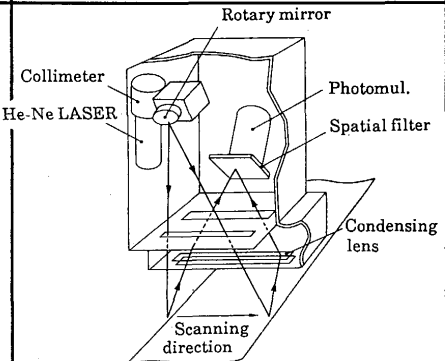
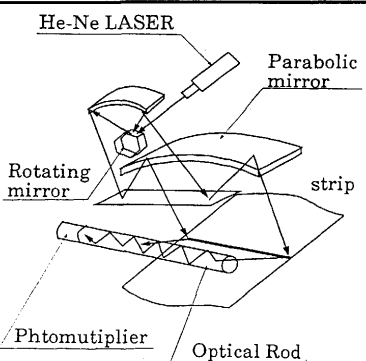
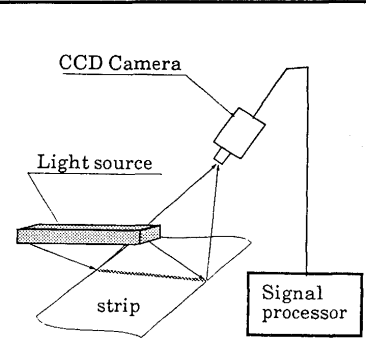
当社では、千葉製鉄所におけるブリキへの検査装置の導入を始めとして、現在に至るまで冷延鋼板や電磁鋼板、ステンレス鋼板の表面検査に20数台を導入してきた。

2・2 技術トレンドと開発の経緯

現在使用されている光学系の基本原理³⁾⁴⁾については、1975年までにはほぼ開発が完了しており、これらの導入が相次いだ。Table 1 に代表的な光学系を示す。1980年代に信号処理技術が相次いで開発され、計算機の性能向上とともに画像

処理技術の採用が可能となった^{6)~8)}。これにより、ハードウェアのみでは限界のあった疵種判定³⁾が可能となり、飛躍的に検査精度が向上した。1980年後半以降は疵種判定機能を持つ大規模システムの機種が主流となった。一方、信号処理・画像処理技術の開発と並行して、特定欠陥を対象とした専用のセンサ、または特殊な信号処理回路の開発も進められ、相互に補完する形で、性能の向上を図ってきた⁵⁾。反面、こうした画像処理や信号処理の開発による高性能化は価格の上昇を招き、これが導入を妨げる要因となるにつれて、簡易疵判別法などによる低価格化をも指向してきた。また、疵種判定の判別ロジックの確性に膨大な人と期間を要することから、負荷の軽減対策も重要な開発テーマとして取り上げるに至った⁹⁾。さらに、完全な検査装置を作り得ない現状では、検査員の省力に固執せずに、対象欠

Table 1. Examples of optical systems of surface flaw inspection for cold rolled sheets.

Item	Flying-spot method		Flying-image method
	Oblique scanning system	Parallel scanning system	
1. Structure			
2. Light source	Halogen lamp ·LASER beam(ex. He-Ne)	·LASER beam(ex. He-Ne)	·Rod-typed light source (ex. fluorescent lamp)
3. Optical sensor system	·Si-semiconductor ·Spatial filter + Photomultiplier	·Optical rod + Photomultiplier	Solid imaging device(ex. CCD, ITV)
4. Characteristics	1. To detect minute flaws 2. Limitation of moving velocity by using polygonal mirror 3. Complicated optical system	1. To detect minute flaws 2. Limitation of moving velocity by using polygonal mirror 3. High sensitivity by uniformity of scanning directional reflected intensity 4. More simple signal processing but complicated optical system	1. Without moving parts by the electrical scanning, so detectable at high speed 2. Simple constitution 3. Limitation of a kind of flaws to be detected using scattering light

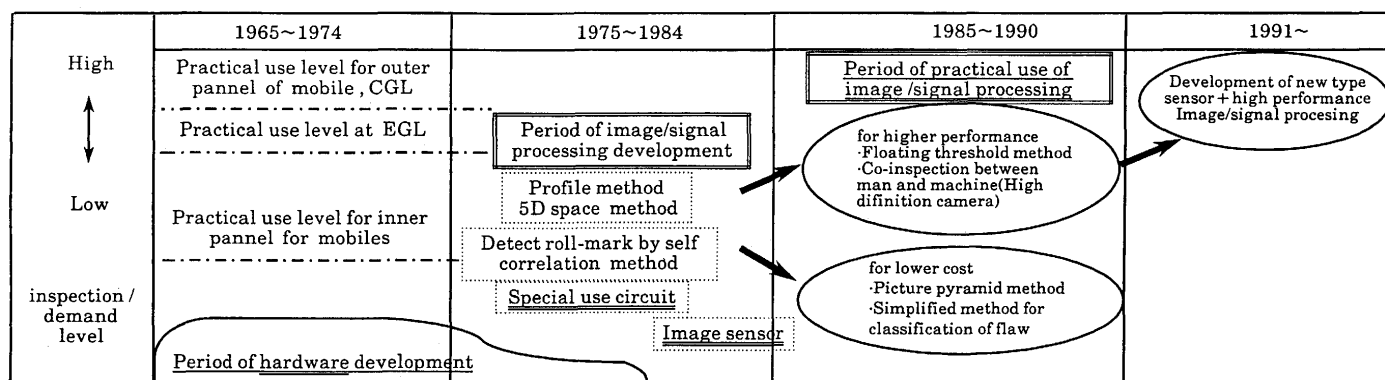


Fig. 2. Technical trend of development about automatic surface inspector in Kawasaki Steel.

陥の限定化や検査員との相互補間検査システム¹⁰⁾を構成するなど、導入のさいのコンセプトを明確にすることも重要である。以上、技術トレンドと当社における開発経緯とをまとめたものをFig. 2に示す。

3. 周期性欠陥検出器における浮動弁別技術の開発

3・1 開発の目的

周期性がある表面欠陥(ロールマーク、押し疵 他)を効率よく検出するために開発された方式の一つに自己相関式欠陥検出法がある。Fig. 3に原理の概要を示す。この自己相関式周期性欠陥検出法は、検出した欠陥信号の長さ方向間隔の自己相関関数を求めることによって、周期性欠陥を検出するものであり、次の特徴がある⁵⁾。

(1) 複数の周期性欠陥が存在しても、その検出が可能。

(2) 自己相関のモニター画面を目視観察することで、欠陥信号レベルの小さい軽度な周期性欠陥の検出が可能。

しかし、後者については、板面や装置のコンディションによってノイズレベルが大きく変動するため、軽度な周期性欠陥を確実に検出するためには、弁別レベルをノイズの大きさに応じて設定する必要がある。

そこで、軽度な周期性欠陥の安定的検出のために、周期性欠陥検出器に好適な浮動弁別技術を実用化した。

3・2 開発内容

低S/Nの欠陥信号を確実に検出するためには、ノイズレベルを測定し、弁別レベルをノイズレベルに可能な限り接近させる必要がある。今回、実用化したノイズレベルの測定方法は、2値化された欠陥データを用いる方法であり、ノイズの周波数特性の影響を受けず安定したノイズレベル

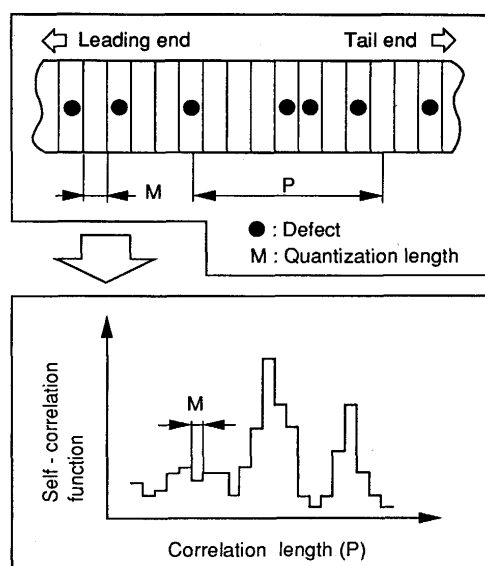


Fig. 3. Outline of self-correlation type periodicity defect detector.

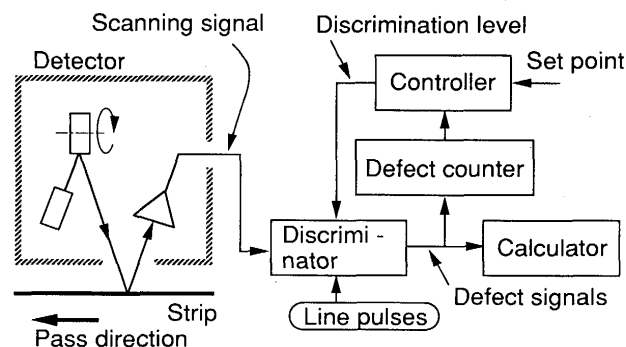


Fig. 4. Schematic of measurement method of noise level.

の測定が可能である。Fig. 4にノイズレベル測定方法の概要を示す。

ノイズレベル測定用の弁別レベルを越える欠陥信号の有無を、量子化単位長さ(実施例では10mm)毎に、設定区間長(実施例では10m)計数する。この設定区間長における、弁別レベルを越える欠陥信号の発生率が、設定値(実施例では1%)になるよう弁別レベルを制御する。この制御された弁別レベルは、弁別レベルを越える欠陥信号の発生率が0%に近づくに従い、ノイズレベルに近い値となる。

ところで、自己相関方式は、ノイズを欠陥信号として誤検出しても、その頻度が少なければノイズの持つ非周期性により、影響を受けにくい。このため、実施例ではノイズレベルを欠陥検出用の弁別レベルとした。

3・3 成果

Fig. 5にノイズレベルの測定結果の一例を示す。Fig. 5は、

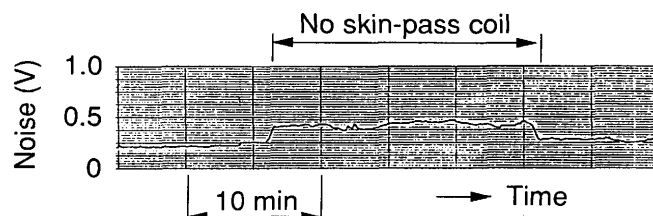


Fig. 5. Example of noise level.

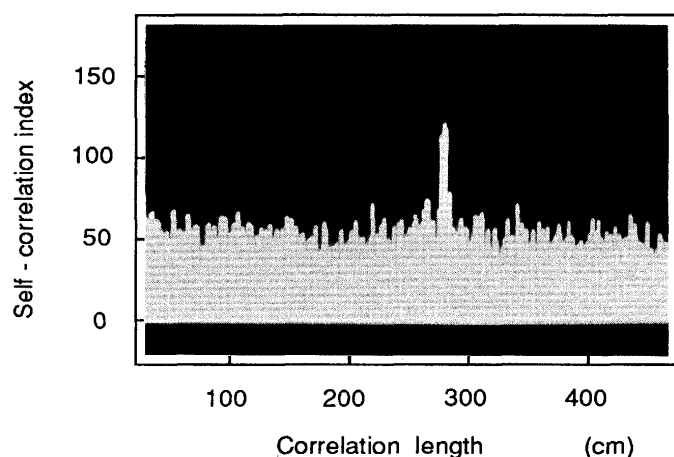


Photo. 1. Example of self-correlation function.

調質圧延をしないコイルのノイズが、増加している様子を
示している。このように、ノイズレベルは作業条件によっ
て大きく変動するが、実用化した技術では、この影響を受
けることなく軽度な周期疵の安定した検出が可能になった。
また、Photo. 1 にピッチが2800mm、大きさが約φ 1 mmの
軽度なロールマークの自己相関図を示す。

4. 高精細度カメラを用いた
検査システムの開発

4・1 開発の必要性

ユーザからの要求の厳格化に伴い、従来特に問題となら
なかった小さな欠陥についても検出を行い、さらに適切な
評価を行う必要性が出てきた。そこで、レーザ方式の表面
欠陥検査装置と高精細度カメラを組み合わせることにより、
欠陥らしき部位の静止画像を検査員に提供して、目視にて
判定を行うシステムを開発した。

4・2 開発内容

検査システムの全体構成をFig. 6 に、高精細度カメラを利
用した欠陥検査装置仕様をTable 2 に示す。本システムはレ
ーザタイプの欠陥検査装置の後方に高精細度カメラ、スト
ロボなどからなる撮像部を設置することにより、検出した
欠陥らしき部位のトラッキング、高精細度カメラでの撮像、
高精細度ディスプレイへの表示を行い、検査員がその部位
を判定するものである。以下、本システムの検討項目を示
す。

(1) 撮像視野

撮像視野は欠陥画像倍率の関係から□180mmとした。

(2) 撮像方向

欠陥の撮像方向性、角度依存性の点から、撮像部はクロ
ス方向でストロボとカメラの挟角を40度とした。

(3) ハレーション対策

画面に明暗が表れる影響を軽減するために、面積の大き

Table 2. Specifications of camera type surface-flaw
inspector.

Item	Specifications
High definition camera	Pickup tube : 1 inch Scanning line : 1536 lines
High definition display	1440dots×1440dots 20inches
Stroboscope	Discharge tube : Xe tube
Image input-output device	Image memory : 1440×1440×8bits/frame 16frames
Image processor	Image memory : 1440×1440×8bits/frame 2frames
Control computer	Multi 16-IV RAM : 512Kbytes
Measurement mode	(1) Manual mode (2) Auto mode fixed time cycle mode fixed length cycle mode (3) Full auto mode

い線光源(棒状ストロボ) 2 灯を採用した。

(4) 撮像対象の選択

撮像する対象を欠陥種類、欠陥等級により、選択可能な
ように設計した。

4・3 成果

欠陥程度を3ランクに分類し、従来の欠陥検査装置の判
別手法によるシミュレーション結果と高精細度ディスプレ
イに表示した欠陥の目視判定結果を比較したものをTable 3
に示す。高精細度ディスプレイでの目視判定では95%の識
別率が得られた。

本システムをオンラインに適用した結果をTable 4 に示す。
この結果は、オンラインで欠陥もしくは欠陥らしき部位を
検出して撮像した後、高精細度ディスプレイに表示し、検
査員の目視判定を行ったものであり、識別率94%を得た。

本システムを適用することにより、表面品質の厳格化に
対応が可能となった。また、レーザ方式の表面欠陥検査装

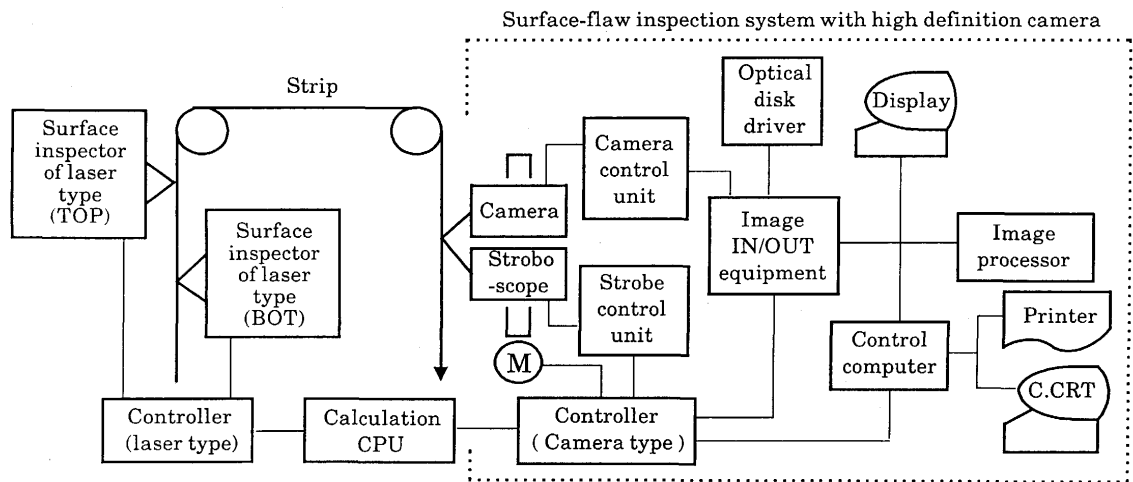


Fig. 6. Schematic diagram of surface-flaw inspection system.

Table 3. Results of sample test.

Flaw grade	Number of sample	Visual inspection on high definition display			Judgment of laser type inspector	
		Easy	Possible	Difficult	Possible	Impossible
Light	4	1	3	0	1	3
Middle	8	3	4	1	4	4
Heavy	10	10	0	0	10	0
Total	22	21			15	7

Table 4. Results of on-line test.

Harmless flaw	Harmful flaw			Invisible
	Light	Middle	Heavy	
8	12	20	5	3

置の確性テストにも使用でき、そのレベルアップが図れることを確認した。

5. 冷延鋼板表面欠陥検査装置のオンライン確性システム

5・1 開発の必要性

連続焼鈍ライン (CAL) 等の連続ラインに設置される、冷延鋼板用自動表面欠陥検査装置 (ASI) は実使用前に、検査性能の確性テストが実施される。従来から行われている「精整ラインでの目視検査結果との突き合わせによる方法」(Fig. 7)は、以下に示す問題があり、ASIの早期工程化の大きな障害であった。

(1) 冷延鋼板では、性能評価に必要な目視検証データが、500個程度が必要であり、多くのマンパワー(12~14人月)が必要。

(2) 正確な目視判定結果を得るためには、検査速度を停止もしくは30~40mpmの低速に抑える必要があり、精整ラインの生産性が非常に低くなる。

(3) 疵が多い場合や目視検査が見逃した場合、ASIの検査結果との対応がつかなくなり、評価が不正確になる。

(4) 長時間にわたる集中力が必要で、かつライン内での作業であり危険性が高い。

このようなことから、従来法に比べて、短期間でかつ少ないマンパワーで実施可能な「オンライン確性システム」を開発した¹⁰⁾。

5・2 開発内容

(1) 基本的コンセプト

ASIが検出した疵の目視検査による検証を同時に行い、目視検証された疵データの採集作業を大幅に効率化する。Fig. 8に開発した「オンライン確性システム」を示す。

(2) 開発した技術

① ASIが検出した疵(評価対象疵)を約10m下流の目視検査位置(運転室)に停止させた後に、レーザビームを応用し

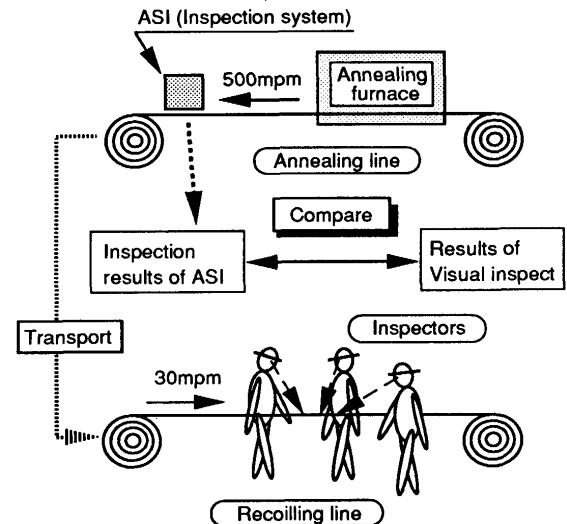


Fig. 7. Example of conventional method.

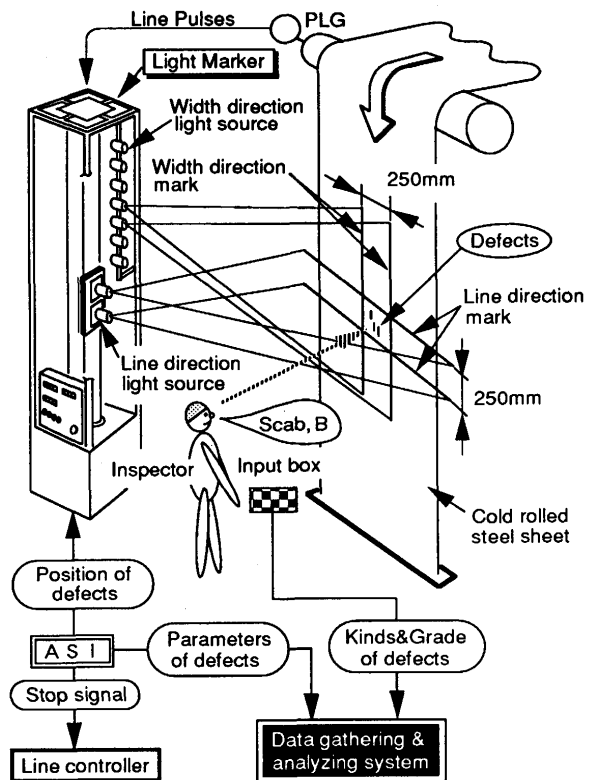


Fig. 8. On line ASI evaluation system.

た疵位置表示装置にて検査員に疵位置を教える、疵位置教示システム

②目視検査によって検証された疵データを採集し、その疵データに基づいて、疵種、等級判定ロジックのチューニングアップができる疵データ採集、解析システム
以上が開発した技術であり目視検査以外は全て自動化した。

5・3 成果

「オンライン確性システム」を当所No.2 CALのASIに適用した結果、以下に示すように検査性能の確性テストを短期間でかつ少ない、マンパワーで行うことができ、早期工程化を達成した。

- (1)確性データ数：569データ（目標：500）
- (2)確性期間：2ヶ月（実質：17日）
- (3)人員配置：2人（検査員：1人、運転：1人）

＊マンパワー：3人月（従来法の1/4～1/5）

また本システムの開発によって、表面欠陥検査装置の確性テストが大変容易なものとなり、判定ロジックの日常的見直しも可能になった。

6. 信号処理へのフラクタル解析手法の適用

近年、探傷分野では対象とする欠陥が微細化ないしは低S/N化しており、さまざまな信号処理・画像処理技術の開発、ニューラルネットワークなどの適用がなされている。本報告では探傷信号の波形がフラクタル的性質¹¹⁾¹²⁾を持つと仮定し、その解析にフラクタルの考え方を適用したものである。

6・1 時系列データのフラクタル解析

時系列データのフラクタル解析とは、特徴的な周期変動を持たない時系列のグラフに対して、パターンの複雑さをフラクタル次元で定量化するもので、(1)式に示す時系列のグラフ全体の長さ $L(\Delta t)$ を用いる。時系列データを粗視化する方法は樋口氏の提案する(2)式を用いる(以下、Higuchi法と称す)¹³⁾。この時系列データ $X_m(k)$ と $L(\Delta t)$ の対数表示の曲線の勾配よりフラクタル次元 D と相関係数 r を算出し、これらのパラメータを用いて欠陥検出の可能性を考察した。

$$L(\Delta t) = \sum_{i=1}^{N-1} |F_v(X_{i+1} - X_i)| / F_t(\Delta t) \dots\dots\dots (1)$$

$$X_m(k) : X(m), X(m+k), X(m+2k), \dots X(m + [(N-M)/k] \cdot k) (m=1, 2, \dots, k) \dots\dots\dots (2)$$

6・2 解析結果と考察

代表的な波形データはPhoto. 2に示すような走査波形であり、これらの解析の結果次の知見を得た。

(1)Higuchi法に先だって試行した線対線関数 (Fractal Brown関数) を用いたフラクタル解析ではデータの差系列が正規性を持つという仮定が必要である。 χ^2 検定により走査波形データの正規性を検定したところ、原波形は正規分布でも差系列は正規分布ではなく、線対線関数による解析法を適用できないことが判った (Table 5)。

(2)以上のようにHiguchi法を適用するには正規性の検定

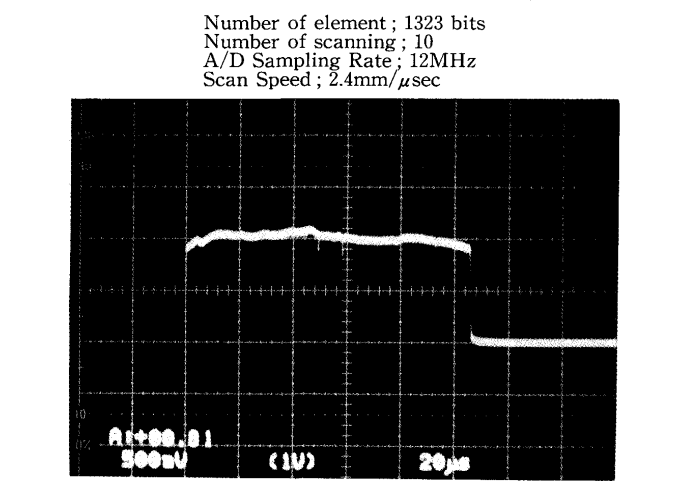


Photo. 2. An example of scanning data name of defects: "Slip".

Table 5. Significance test of normalization of time series.

No	Time series	D	χ^2 Test ; 5%	Judge.
1	F-B function Difference of F-B function	1.5	$81.9 \gg \chi^2 = 14.0$ $4.06 \leq \chi^2 = 14.0$	○ ×
2	F-B function Difference of F-B function	2.0	$5.73 \leq \chi^2 = 12.5$ $9.65 \leq \chi^2 = 14.0$	×
3	Scanning data Difference of scanning data	about 1.8	$6.79 \leq \chi^2 = 9.4$ $24.9 \gg \chi^2 = 9.4$	×

などの手順が必要であり、一連の手順および解析条件を明らかにした。

(3)Higuchi法による模擬欠陥信号の時系列解析
無欠陥部のみからなる走査波形の中央部に64bits幅でノイズ振幅の10%～80%相当の信号レベルを負側へシフトさせた模擬欠陥(凹凸or模様欠陥相当)を作成し、解析能力のシミュレーションを行った (Fig. 9)。原波形では識別できない欠陥も、フラクタル次元 D により認識が可能であり、低S/Nの欠陥を検出できる可能性を見いだした。

(4)Higuchi法による実測波形の時系列解析
模擬欠陥信号と同様に光学式表面検査装置の走査波形による実測時系列データをHiguchi法により解析した (Fig.10)。この結果、従来の検査装置と同様に本解析法でも十分な検出能力のあることや、波形1、3と波形2のフラクタル次元の平均値 D_{AVE} の比較から、表面仕上げの状態を識別できる可能性のあることが判った¹⁴⁾ (Table 6)。

7. 今後の課題

現在使用中の表面欠陥検査装置は以上記述したような開発技術を適用しても、目視検査と併用する必要がある。

今後、表面欠陥に対する要求レベルは、より厳しい方向に進むであろう。目視による外観検査は、走行中の判定に

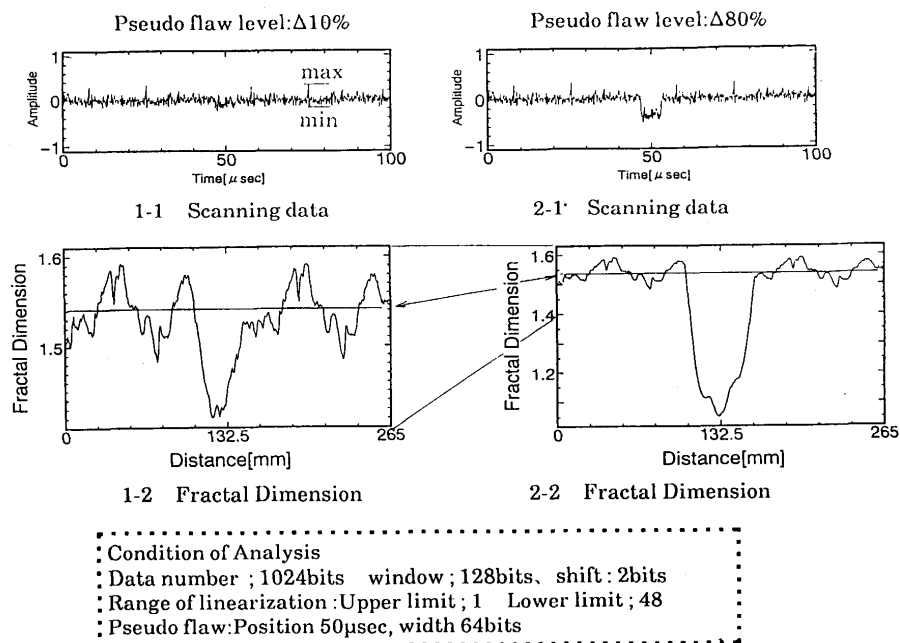


Fig. 9. Analysis of time series by simulation data.

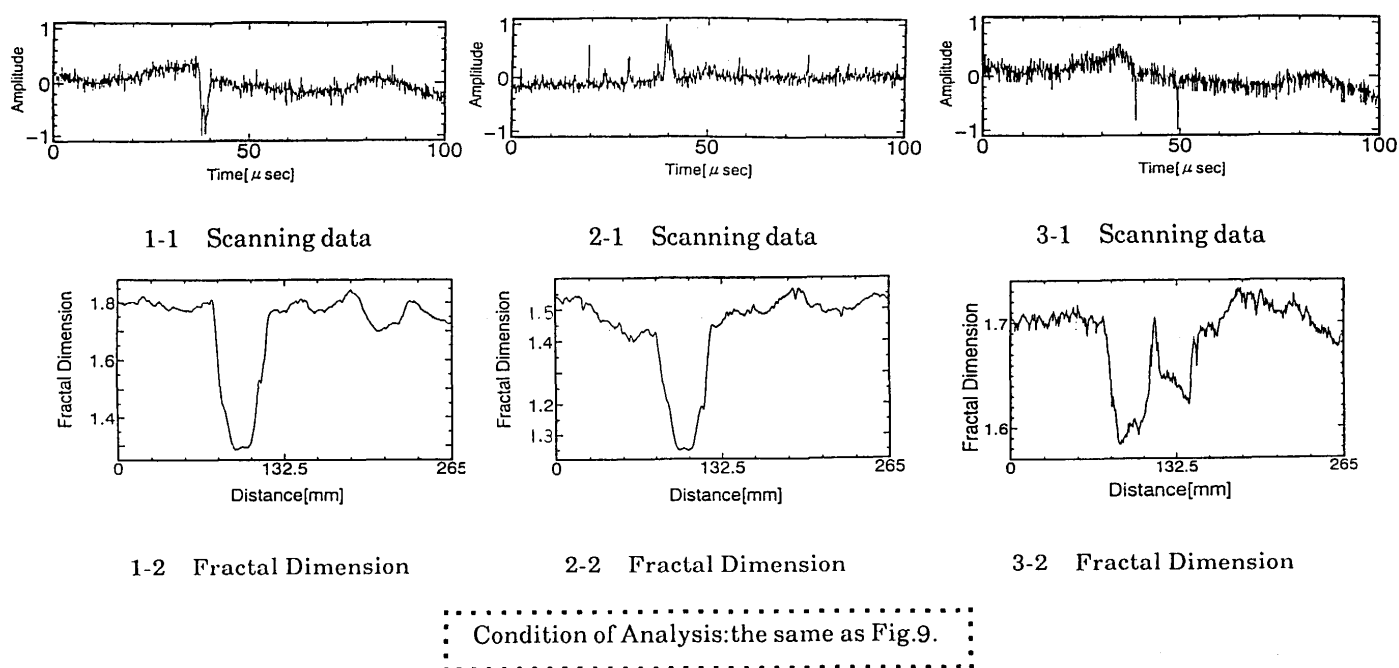


Fig. 10. Analysis for time series of scanning data by Higuchi method.

Table 6. Analysis for time series of scanning data by Higuchi method.

Items	Wave form 1 (Fig.10 1-1)	Wave form 2 (Fig.10 2-1)	Wave form 3 (Fig.10 3-1)
Correlation : r_{AVE} Fractal dimension : D_{AVE} Difference of Fractal : D	0.987 1.78 Slip ; 0.49	<u>0.924</u> <u>1.47</u> Slip ; 0.22	0.969 1.70 Slip 1 ; 0.11 Slip 2 ; 0.08
Possibility of detection by Automatic Surface Inspector	Slip ; Possible	Slip ; Possible	Slip 1 ; Possible Slip 2 ; Possible
Surface Treatment	Polished	Sandpapered	Polished

対して、検出精度に限界があることや、長時間にわたって鋼板を監視し続けることによる肉体的(目)、精神的疲労があるなどの問題に加えて、労働生産性の観点からも将来的には完全自動検査化が課題になると考えられる。

完全自動検査へ向けて、以下の技術課題への取り組みを進めていく。

(1) 高速画像処理技術

完全自動検査システムでは、現在の装置以上の検査精度が必要となる。レーザ回折を利用した装置が能力限界近くまで調整されている状況を考慮すれば、他のアイデアを取り入れた装置の開発導入を図らなければならない。高精細度カメラは、静止画像を見ることにより検査性能の向上には寄与するが、目視検査との併用という点で課題を残した。画像処理に基づく自動判定機能の開発・実機化へ進む可能性についての検討が必要である。今のところ高速画像処理に関する技術報告は少ないが、計算機技術の進歩はめざましく、近い将来可能になるものと思われる。既に、1次元CCDカメラと組み合わせて、高速で画像処理を実行できるシステムも商品化されている¹⁵⁾。

(2) 異なる原理に基づく検査装置の開拓

レーザ回折方式は、かなりのレベルまで研究・開発が進められてきた。軽度のロールマークや輪郭のはっきりしない汚れなどの欠陥に関する検出感度は低いなど、欠陥の種類と検出性能との関係はほぼ明らかとなっている。それは、レーザ光を鋼板に照射して板幅方向に走査し、反射光を捕らえる原理に起因するものであり、これを補うために、信号処理の段階でニューラルネットワークを用いるなどの開発が進められ、成果も得られてきている¹⁶⁾¹⁷⁾。しかしながら、検査対象材との関係で、異なる原理の適用も検討し、開拓する余地が残っている。

例えば、CCDカメラ方式の利用である。高速スキャンが可能であれば、分解能を上げることができ、検出性能の向上にも期待ができる。

8. 結言

冷延鋼板の表面欠陥検査に関し、当社における開発の状況を開発事例を含めて紹介し、併せて、今後の課題について触れた。

(1) 低S/Nの欠陥信号を確実に検出させるために、一定

区間長さにおける弁別レベルを越す信号の発生率が一定になるように弁別レベルを制御することによってノイズレベルを測定する技術を開発した。この結果、軽度な周期性欠陥が安定して検出可能になった。

(2) 表面欠陥検査装置で検出した軽微な信号部位(欠陥らしい部位)をトラッキングし、下流に設けた高精細度カメラでその部位を撮像し、高精細度ディスプレイに静止画像として表示し、検査員に目視判定させる。オンラインにおけるテストで、欠陥認識率95%を達成した。

(3) 表面欠陥検査装置で検出した欠陥を目視検査で確認する作業で、レーザビームを板面に照射して、欠陥位置を示すライトマークを用いたオンライン確性システムにより、表面欠陥検査装置の確性試験の作業負荷が従来に比較して非常に軽減され、従来の1/4~1/5に低減できた。

(4) 表面欠陥検査装置の信号波形の画像処理技術として、フラクタル解析手法を用いることにより、ノイズに埋もれた欠陥情報を抽出できる可能性を見いだした。

(5) 今後の最大の課題は、完全自動検査システムへの取り組みである。そのためには、高速画像処理技術の開発、ニューラルネットワークなどのパターン認識手法の導入およびCCDカメラや漏洩磁束法など原理の異なる欠陥手法との組合せを考えていく必要がある。

文 献

- 1) 岡本久人：鉄鋼のIE, **16** (1978) 5, p.38
- 2) 本橋昭男：照明学会雑誌, **43** (1959) 7, p.286
- 3) 深沢千秋, 藤井正司：塑性と加工, **26** (1988), p.809
- 4) 亀井光仁：センサ技術, **6** (1986) 3, p.91
- 5) 福高善己, 望月 栄, 西邑誠吉, 深沢千秋：材料とプロセス, **3** (1990), p.1268
- 6) 相澤 均, 高德芳忠, 小野弘路：鉄と鋼, **70** (1984), S1088
- 7) 相澤 均, 沢田幸雄, 森岡義久：電子通信学会パターン認識・理解研究会, (1986), p.29
- 8) 浅野一哉：画像ラボ, (1990), p.14
- 9) 福高善己, 望月 栄：材料とプロセス, **5** (1992), p.1416
- 10) 三宅秀和, 増野豊彦, 女鹿節男, 貝原利一, 古川九州男, 銭場 敬, 吉田 守：材料とプロセス, **3** (1990), p.1266
- 11) B.マンデルブロ著, 広中訳：フラクタル幾何学, (1986), p.25 [日経サイエンス社]
- 12) J.フェダー著, 松下訳：フラクタル, (1991), p.224 [啓学出版]
- 13) 樋口知之：統計数理, **37** (1989) 2, p.209
- 14) D.L.Jaggard and Xiaogunang：Journal of the Optical Society of America A, **7** (1990) 6, p.1131
- 15) 山田吉郎：計装, **33** (1990) 3, p.37
- 16) 中野公明, 福谷和彦, 瀬野 聡, 白川芳幸, 田中宏幸：T.IEEE Japan, **111-D** (1991) 1, p.29
- 17) 深沢千秋, 渡辺利克, 相沢健治：東芝レビュー, **44** (1989) 5, p.413