
表面欠陥自動検査装置

Automatic Surface Defect Inspection System

若林 浩一(Koichi Wakabayashi) 伊藤 実(Minoru Ito) 阿久津 昭司(Shoji Akutsu)
増野 豊彦(Yasuhiko Mashino) 藤田 正和(Masakazu Fujita) 茶木 智広(Tomohiro
Chaki)

要旨：

検査精度の向上，検査員の省力化および生産能力の向上を目的として冷延鋼板用表面欠陥自動検査装置を開発した。この装置は工学的検出方法で，走査方式検出器と非走査方式検出器からなり，多種多様の表面欠陥を判別し，管能検査と同等の検査精度を有する。この装置の特徴は，表面欠陥の態様を認識し，検査基準を任意に設定することにより，経済的な検査ができることである。

Synopsis：

An automatic surface defect inspection system for cold-rolled strip has been developed to improve inspection accuracy and efficiency as well as to save manpower. This system consisting of a light spot scanning type detector and a light fixed type detector, is capable of detecting various kinds of surface defects with its superior inspection accuracy equivalent to naked-eye inspection. The features of this system are as follows: 1) Capability of discriminating various type and sizes of surface defects. 2) Capability of economical inspection by selecting a proper inspectSion level required. 3) Capability of getting realtime information on strip surface quality.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

表面欠陥自動検査装置

Automatic Surface Defect Inspection System

若 林 浩 一*

Koichi Wakabayashi

伊 藤 実**

Minoru Ito

阿久津 昭 司***

Shoji Akutsu

増 野 豊 彦****

Yasuhiko Mashino

藤 田 正 和*****

Masakazu Fujita

茶 木 智 広*****

Tomohiro Chaki

Synopsis:

An automatic surface defect inspection system for cold-rolled strip has been developed to improve inspection accuracy and efficiency as well as to save manpower. This system consisting of a light spot scanning type detector and a light fixed type detector, is capable of detecting various kinds of surface defects with its superior inspection accuracy equivalent to naked-eye inspection. The features of this system are as follows:

- 1) Capability of discriminating various types and sizes of surface defects.
- 2) Capability of economical inspection by selecting a proper inspection level required.
- 3) Capability of getting realtime information on strip surface quality.

1. ま え が き

当社千葉製鉄所では、生産工程の自動化と併行して製品検査の自動化が進められてきた。冷延鋼板のピンホールを検出するピンホール検出器や、移動中のストリップの厚さを測定する放射線厚さ計などのように、人間の能力を越えた性能を持つ計測機器については早くから研究開発が進められ、その結果、現在ではオンライン機器として安定したものが作られている。

しかし、錫メッキ鋼板や冷間圧延鋼板の表面欠

陥検査は、人間の視覚、経験、勘などに頼る官能検査でおこなっていたために検査の自動化が遅れていた。昭和42年第9回官能検査大会（日科技連）において、各分野17社のアンケートをとった結果をみると、表面欠陥検査の機械化は第2位にランクされている。これは検査精度の向上、省力化による人件費の削減、データ収集の迅速化、生産能力の向上等の理由によるものである。

当社千葉製鉄所においてもまったく同様であり、機器開発の重要性が唱えられていた。これらの背景をもとに、昭和42年より表面欠陥自動検査装置の開発にとり組み、昭和45年末には、千葉製

* 千葉製鉄所管理部検査課課長
 *** 千葉製鉄所管理部検査課
 ***** 東英電子工業(株)専務取締役

** 千葉製鉄所動力部計測課課長
 ***** 千葉製鉄所動力部計測課
 ***** 東英電子工業(株)技術部長

鉄所電気錫メッキ鋼板シャーラインに第1号機を設置した¹⁾。その後さらに研究開発をすすめ、昭和48年には欠陥態様認識機能を備えた冷間圧延鋼板用の表面欠陥自動検査装置を導入するに至った。

本報告は当製鉄所に設置した冷間圧延鋼板用表面欠陥自動検査装置について、これまでに完成した技術と、各種の実験結果を中心にまとめたものである。

2. 装置の仕様および構成

2.1 装置の仕様

装置の仕様は次のとおりである。

検出能力：冷間圧延鋼板の標準仕上面上につくった幅 0.3mm、深さ 0.1mmの人工線状欠陥の欠陥検出信号が S (欠陥信号)/ N (地合ノイズ) ≥ 8 。また欠陥態様認識可能

検査面：表裏面とも検査可能

検査幅：最大 1 270mm

検査速度：最大 144m/min

検査方式：走査方式（飛点走査方式）と非走査方式の併用

板端部不感帯：板端部より 5mm以内（ただし 5～10mmは通常検出能力の $\frac{1}{2}$ 以内）

弁別レベル：3クラスに仕分け可能（ただし板端部は2クラス）弁別レベルの設定は可変

検出信号出力：クラシファイヤー用信号、プリンター用信号および警報用信号

2.2 装置の構成

本装置の構成を大別すると、検出部、制御部および記録部に分けられる。制御部は検出部から送られてきた検出信号を各論理回路により表面欠陥の態様認識をおこない、欠陥検出信号とするか否かの判断を下し、ほかの装置との連絡をとる機能を有する。

記録部は制御部の出力信号により検査記録を作成する機能を有する。検出部は飛点走査方式検出器と非走査方式検出器から構成されている。飛点走査方式検出器の構造を図1に、非走査方式検出器の構造を図2に、ユニットの配列を図3に示す。

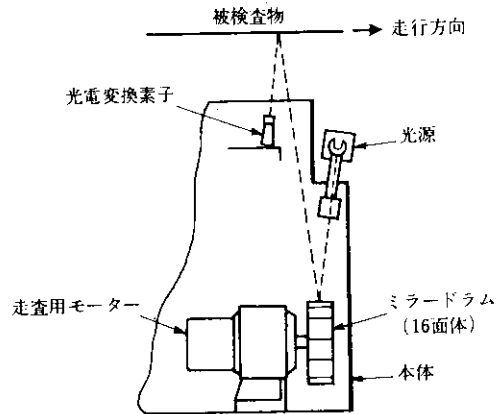


図1 飛点走査方式検出器の構造

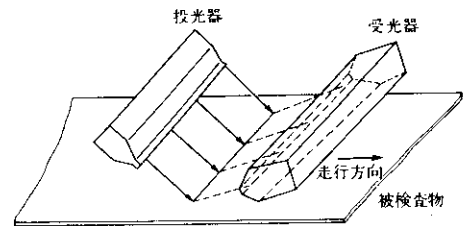


図2 非走査方式検出器の構造

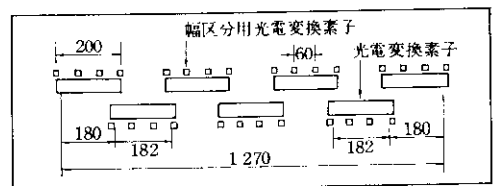


図3 ユニットの配列

飛点走査方式検出器1ユニットの走査幅（検査幅） L は多面体回転ミラーの面数を n ，回転ミラーと検査面との距離を l_1 (mm) とすると， $L=2l_1 \tan 360^\circ/n$ の関係がある。本検出器の場合 $n=16$ (面)， $l_1=600$ (mm) であるから， $L=500$ となるが，最大角度時の光量ロスによる感度低下

を防止するため、有効検査幅として中央部200mmを使用し、各ユニット間のオーバーラップを考慮して7ユニット配列している。

検査速度 V (m/min) はモーターミラーの回転数 R (rpm), 回転ミラーの面数 n (面), 検査面上の光スポットの長さ l_2 (mm) とすると, $V=R \times n \times l_2 \times 10^{-3}$ となる。本検出器の場合 $R=1500$ (rpm), $n=16$ (面), $l_2=6$ (mm) としているために、最大検査速度は 144 m/min である。非走査方式検出器の配列は表裏面で異なり、表面は冷間圧延鋼板の両端部(片板端部180mm)に、裏面は中央部(160 mm)に配置している。

飛点走査方式検出器の幅区分用光電変換素子は、表面欠陥発生位置判別をおこなうもので、1ユニットを3区分することにより、冷間圧延鋼板を幅方向60mm単位に座標区分するものである。また冷間圧延鋼板のバタツキ(上下動)を防止するタッチロール、走間中の蛇行に追従するための自動追縁装置(E. P. C)等が設置されている。

3. 作動原理

飛点走査方式検出器は表面欠陥を光スポットで走査し、検査視野内にある表面欠陥による反射光量の変化を光電変換素子により、起電力の変化に

変換する。この光電変換素子出力を増幅し、板端部信号を消去(エッジブランキング回路)して、欠陥信号のみ取出す。この欠陥信号を欠陥態様因子判定回路(欠陥幅判定回路、欠陥レベル判定回路等)により、欠陥幅、欠陥レベル、欠陥個数および欠陥長さの因子別に計測し、因子別に3ランク(大, 中, 小)に分類する。この分類された信号を総合判定回路に入れ、欠陥態様因子を組み合わせ、欠陥態様認識および等級判定する。

非走査方式検出器は、冷間圧延鋼板が検査視野内を通過する際、表面欠陥による反射光量の変化を光電変換素子により、起電力の変化に変換する。この光電変換素子出力を増幅し、欠陥レベル判定回路に入れ等級判定する。欠陥位置判定は幅区分用光電変換素子出力を欠陥幅位置判定回路に入れ、この出力信号とライン同期信号(冷間圧延方向)との組み合わせにより判定する。図4にブロック図を示す。

4. 装置の特長

4-1 検出能力の向上

検出能力を決定する因子は、光量、光スポットの大きさ、投受光角度、光電変換素子特性などで

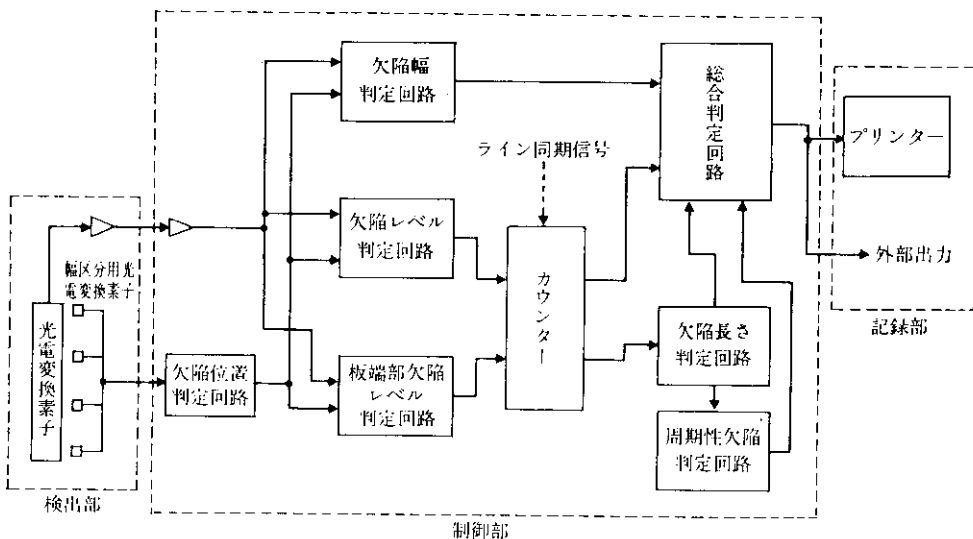


図4 ブロック図

あるといわれている。電気錫メッキ銅板のように表面が鏡面仕上げの場合は、受光器前面に乳白ガラスを使用するのが良いといわれているが、冷間圧延鋼板のようにダル仕上げの場合は、乱反射光成分が強く、光量減が大きいので透明ガラスが適している。図5にランプ電圧と光電変換素子出力の関係を示す。

光スポットの大きさは幅×長さによって表わされる。一般的には、光スポットの幅が狭いほど検出能力が高いといわれているが、光スポット幅が狭くなると地合ノイズが高くなるので適当ではなくなる。図6に光スポット幅と S/N の関係を示す。長さは光電変換素子の幅によって決まる。

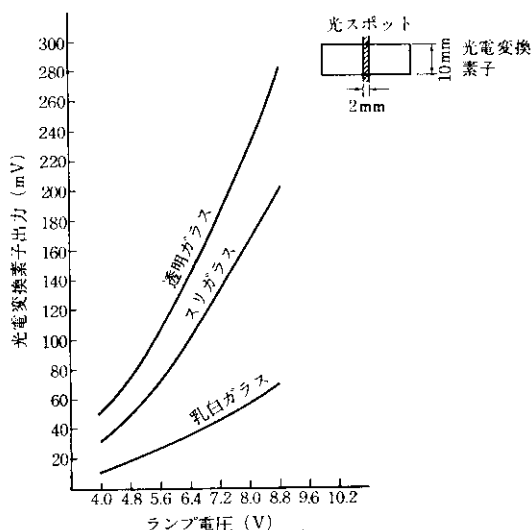


図5 ランプ電圧と光電変換素子出力

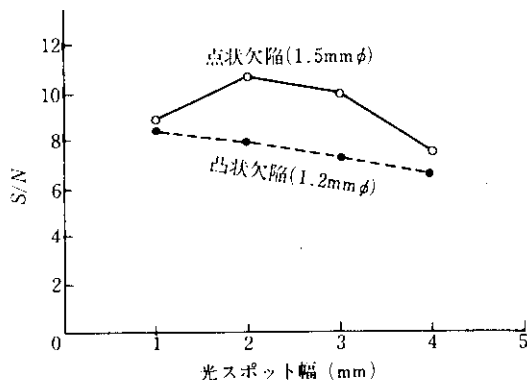


図6 光スポット幅と S/N (欠陥信号)/ N (地合ノイズ)

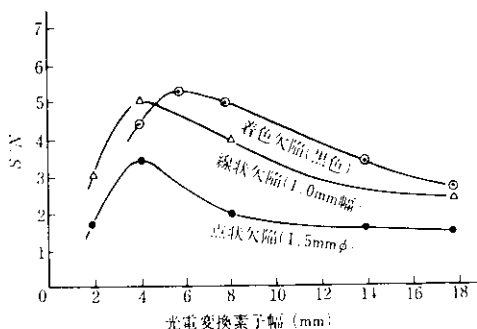


図7 光電変換素子幅と S/N

図7に光電変換素子の幅と S/N の関係を示す。これらの結果から、最適光スポットの大きさは幅1～2mm、長さ4～6mmとした。

投受光角度が大きいと、被検査物のバタツキ(上下動)に影響されやすくなり、精度の良い受光ができないので、投受光角度はあまり大きくとれない。投光角度は構造上変えることができないので、一定とし、受光角を変化させ、検出能力を調べた結果を図8に示す。冷間圧延鋼板のように表面が粗い場合、乱反射光成分が強いために投光角度より3～8度大きい受光角を有する非正反射法が適当である。

光電変換素子特性は光電変換率が高く、しかも応答速度の速いことが重要である。従来使用していた光電変換素子特性と、今回新たに入手した特

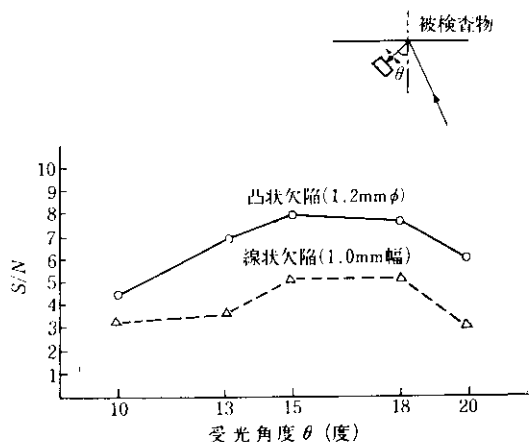


図8 受光角度変化に対する S/N

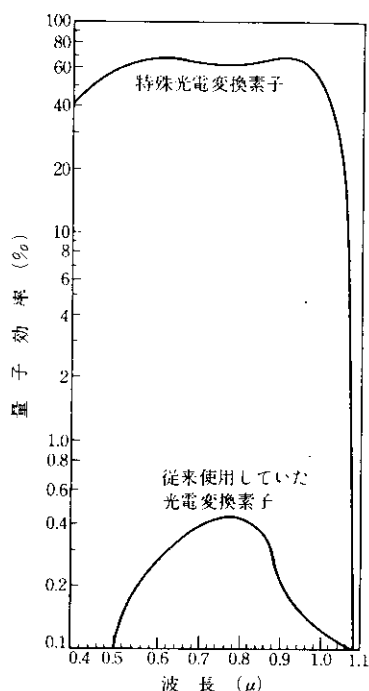


図9 光電変換素子特性

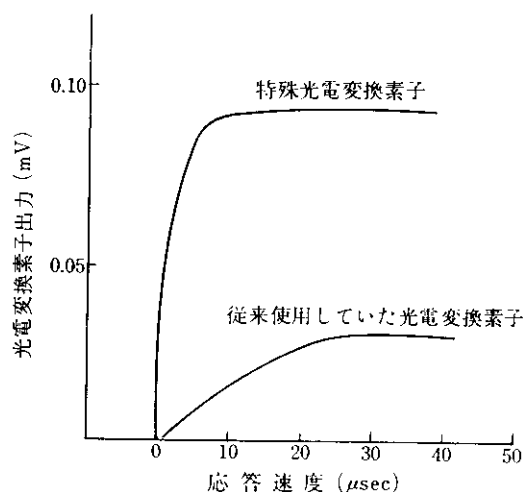


図10 光電変換素子応答速度

特殊光電変換素子特性を図9に示す。応答速度の比較を図10に示す。

4.2 表面欠陥の態様認識

表面欠陥の態様認識が可能である。判定因子は

欠陥の幅、長さ、個数および波高値（欠陥レベル）である。さらに個々の判定因子を3分類（幅の場合、広い、中、狭いとする）する。この4因子3分類の組み合わせにより欠陥の態様を判別し、認識する。この欠陥態様認識により精度の良い等級判定が可能になった。

4.3 微小密集欠陥検出

特殊な光電変換素子の採用により、表面欠陥による信号と地合ノイズとの判別を明確にすることができるので、微小密集欠陥を検出可能にした。判定因子は検査面積、欠陥波高値および欠陥個数である。

4.4 表面欠陥位置の認識

表面欠陥の分布の認識が可能である。冷間圧延鋼板の幅方向、長さ方向を区分し、この組み合わせにより、欠陥位置が判定、認識される。

4.5 ブランキング素子の採用

ブランキング素子の採用により、板端部信号消去量を少なく、しかも安定したブランキングが可能である。

4.6 経済的な検査

板端部欠陥と中央部欠陥とに、等級判定基準に差がある場合は、これに対応できる板端部欠陥弁別レベルをもっているので、それに応じて任意に設定が可能である。また非正反射法の採用により、防錆油による誤検出を最少にしている。

4.7 表面欠陥自動検査装置の標準化

本装置は機能別に標準化、ユニット化されている。このユニット化によって装置の製造コストが下がり、保守点検が容易になる。また小型化したことにより、ライン長手方向500mmの長さで設置可能であり、既設ラインへの適用も容易になった。ユニット化された検出器を写真1に、これを組み込んだ検出部を写真2に示す。標準ユニットを表1に示す。

表 1 表面欠陥自動検査装置標準機種

標準ユニット種別	形 式	構 成 品 名	形 式
走査方式 検出器ユニット	L-18-100	投光装置	L-18-110
		光走査装置	L-18-120
		光電変換素子	L-18-130
		フリアンプ	L-18-140
		ブランキング回路	L-18-150
非走査方式 検出器ユニット	F-20-100	投光装置	F-20-110
		光電変換素子	F-20-130
		フリアンプ	F-20-140
		ランプ断線検出回路	F-20-160
走査方式 増幅ユニット	L-18-200	ユニットアンプ	L-18-210
		弁別レベル設定部	L-18-220
		検出部異常部判定回路	L-18-230
非走査方式 増幅ユニット	F-20-200	ユニットアンプ	F-20-210
		弁別レベル設定部	F-20-220
		反射光量変化検出回路	F-20-250
走査方式 信号弁別回路ユ ニット	L-18-300	波高検別出力回路	L-18-311
		欠陥長さ判定回路	L-18-312
		欠陥個数判定回路	L-18-313
		欠陥幅判定回路	L-18-314
		周期性欠陥判定回路	L-18-315
出 力 装 置 ユニット	L-18-400	警報ランプ	L-18-411
		ブザー	L-18-412
		動作記録計	L-18-421
		ラインプリンター	L-18-422
		電動タイフライター	L-18-423
		クラシファイヤー駆動装置	L-18-430
電 源 ユ ニ ャ ッ ト	L-18-600		

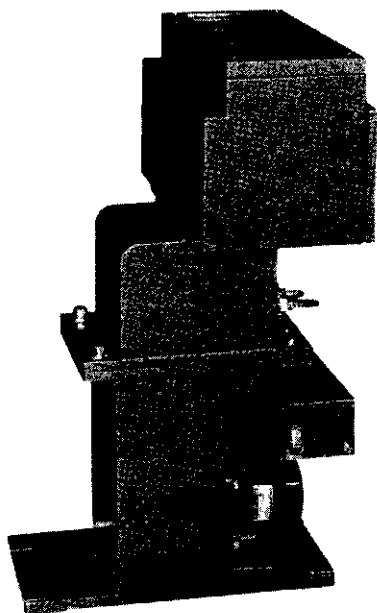


写真 1 飛点走査方式検出器ユニット

5. 検査精度および信頼性

検査精度は冷間圧延鋼板の無塗油板，塗油板について調査し，信頼性については塗油板で調査した。

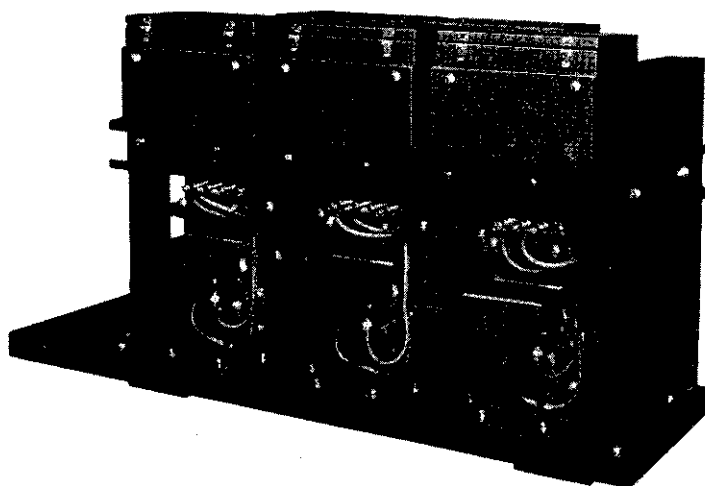


写真 2 飛点走査方式検出器

5.1 無塗油板における検査精度

剪断ラインスピード 100m/min で、冷間圧延コイル5コイルを剪断中に、表面欠陥自動検査装置で検査した。弁別レベルを6.0～9.0の範囲でコイル単位に変化させ、自動選別された合格、不合格品を静止目視検査で再検査し、検査精度を確認した結果を表2に示す。これより判定一致率は95%以上あり、ミス率（過検出および検出不足）は5%未満である。このミス率と官能検査ミス率（ラインスピード100m/minで通常検査時のコイルを抜きとり、再検査した結果）を比較した結果を図11に示す。これより表面欠陥自動検査装置の最適弁別レベルは7.0～8.0で、官能検査の検査精度よりすぐれていることがわかる。

表2 無塗油板における検査精度

検出性能 弁別レベル	（％）		
	判定一致率	過 検 出	検 出 不 足
6.0	95.2	4.8	0
7.0	98.1	1.7	0.2
7.5	98.0	1.6	0.4
8.0	99.0	0.9	0.1
9.0	97.4	0.3	2.3

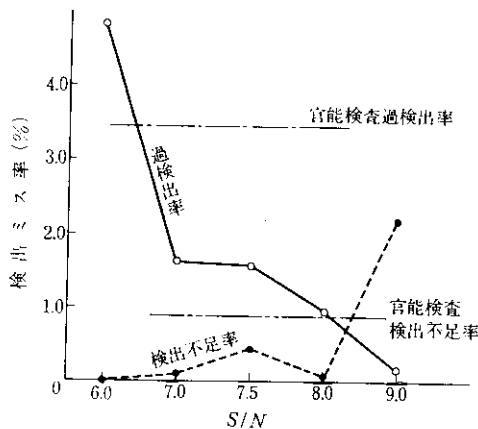


図11 官能検査と自動検査装置による検出ミス率の比較

5.2 塗油板における検査精度

ラインスピード 80m/min で、表面欠陥自動検査装置と同時に官能検査をおこない、官能検査の検査結果を押ボタンで表面欠陥自動検査装置のデジタルプリンターに入力させ、記録紙にプリントアウトされた欠陥長さや欠陥位置により、検査精度を調査した。弁別レベルは 6.0（欠陥出力信号を無塗油板と塗油板で比較すると10～20%低下する）とし、塗油状態は1～5まで変化させ、1→5にしたがって軽塗油になるよう調整している（1は過塗油で油盛りが発生している状態であり、5は軽塗油で塗油面と無塗油面が共存している状態である）。

検査精度調査結果を表3に示す。これより塗油状態2～4であれば、無塗油材の検査精度と同等の検査精度が得られることが判明した。塗油状態1、5はいずれも誤信号となり、1は特に重欠陥信号（弁別レベル12）となることが多いが、通常の塗油作業において発生しない程度のものであり、したがって通常の塗油状態では精度上問題ないことが判明した。

表3 塗油板における検査精度

検出性能 塗油状態	（％）		
	判定一致率	過 検 出	検 出 不 足
1 (過塗油)	96.3	3.1	0.6
2	98.8	0.7	0.5
3	99.5	0.4	0.1
4	98.9	0.6	0.5
5 (軽塗油)	89.6	10.0	0.4

注 1) 弁別レベル6.0セット

2) ラインスピード 80m/min

5.3 表面欠陥態様判別

表面欠陥自動検査装置で選別した不合格板について、表面欠陥自動検査装置による態様分類と実測による態様分類を比較すると、前者が4分類、後者が5分類となった。この差を判定因子別に見ると、表面欠陥自動検査装置による欠陥幅は実測

値に比較して広く、個数はプラス目に、長さはマイナス目である。表面欠陥自動検査装置で欠陥幅が広く判定される原因は、基準値セットの問題である。また個数と長さの差は連続欠陥のものに差がでているので、欠陥態様判別レベルの問題である。これらの問題点は最適セット値をみつけることにより解決できることが判明している。

5.4 信頼性

同一塗油コイルを同一条件で3回検査し、同一場所に同一信号が出た割合で判定した。この結果を表4に示す。塗油の影響は欠陥信号長さ比で約10%弱である（最初の検査時に塗油して、2回目、3回目には塗油しなかったために、弁別レベル近くにあった欠陥信号が、3回目に欠陥検出信号となった）。コイル全長比で約2%弱で、非常に高い信頼性を示している。

表4のコイルNo. 3を切板に剪断し、静止検査をし、実欠陥長さとの対応をとった結果を表5に示す。検査速度が官能検査の限界をこえているの

表5 塗油板における実欠陥対応比較

(%)

信号発生回数	表面欠陥自動検査装置	官能検査
2回以上	$\frac{271}{266} \times 100 = 101.9$	$\frac{219}{266} \times 100 = 82.3$
1回のみ	$\frac{18}{266} \times 100 = 6.8$	$\frac{114}{266} \times 100 = 42.9$

注 1) コイル全長 1080m

2) 静止検査による実欠陥長さ 266m（欠陥1個を1mとする）

3) 検出信号1個を1mとする

4) 欠陥検出信号長さ/実欠陥長さ×100とした

5) ラインスピード 130m/min

6) 弁別レベル 5.5

で、官能検査における誤信号が多くなっているが、表面欠陥自動検査装置ではよく一致している。（ $271+18$ ）-266=23 が表面欠陥自動検査装置の誤信号（弁別レベル 5.5 なので、合格判定欠陥を不合格判定した）であるが、欠陥があるのに欠陥信号を発していないものはなかった。

表4 塗油板における検査精度の信頼性
（検出信号1個を1mとする） (%)

コイル No.	弁別 レベル	欠陥信号		全長	
		2回以上	1回	2回以上	1回
1	6.0	88.0	12.0	9.2	1.2
2	6.0	93.0	7.0	20.0	1.5
3	5.5	93.8	6.2	28.3	2.0
4	5.5	94.3	5.7	16.7	1.0

注 1) ラインスピード 130m/min

6. あとがき

以上述べたとおり新たに開発した冷延鋼板用表面欠陥自動検査装置はほぼ初期の目的を達成することができた。すでに稼動中の電気錫メッキ鋼板用の表面欠陥自動検査装置は昭和48年11月に全面不良検出器の追加改造をし、現在稼動率 95~99%（重量比）、検査精度 97~98%（一般用途材）と安定している。今後は検査速度の高速化、酸洗コイルの検出器などが注目されるであろう。

参考文献

- 1) 清水, 阿久津, 渡辺: 川崎製鉄技報, 3 (1971) 2, 162