技術資料

Technical Paper

金属業界における光学式表面欠陥検査技術

高橋哲生^{*}，田代慎太郎^{*}

Optical Inspection System for Surface Defects in Metal Industries

Tetsuo Takahashi and Sintaro Tashiro

Synopsis

In recent years, many companies tend to introduce surface inspection systems into their factories, for purposes of quality control and cost reduction by labor saving. Moreover, some companies are asked by their customers to introduce such systems.

Mitsubishi Rayon Co., Ltd. has developed and sold in-line surface inspection systems for sheets manufactured by continuous production, for about 10 years.

In this paper, we give an outline of our surface inspection system with CCD (Charge Coupled Device) camera, LSC-300.

1．はじめに

コストダウンのための省力化，クレームに対する製品の品質管理の手段として表面欠陥検査装置を導入する企業が増えている。また，受け入れユーザーから表面欠陥検査装置の導入を求められる企業も出てきている。

当社では，約 10 年前から主として連続的に生産されるシート状物を対象としたインライン表面欠陥検査装置の開発・販売を行っている。本稿では，当社のライン CCD (Charge Coupled Device：電荷転送素子) カメラを用いた欠陥検査装置 LSC-300 について述べる。

2．検出方法

光学式欠陥検査の検出原理は，投光器により検査対象物に光を照射し，反射光，あるいは透過光を受光器により受光し，正常部と欠陥部で反射率変化，あるいは透過率変化を検出することを利用している。

一般的に光学式表面欠陥検査装置は，投光器にレーザー，受光器にフォトマルを利用したレーザー方式と，投光器に可視光，受光器にライン CCD カメラを利用したライン CCD 方式の 2 つに大別することができる。

金属業界では，1980 年代はレーザー方式による欠陥検査装置が主流であったが，1990 年代に入るとライン CCD 方式への移行が始まった。その理由は，表 1 に示す通り，CCD 方式の高速化，低価格化，あるいはポリゴンミラー等の可動部を持つレーザ方式の信頼性，高ランニングコストの問題等が挙げられる。更に，1990 年代後半からは，相次ぐレーザー方式の欠陥検査装置メーカーの市場からの撤退により，完全にライン CCD 方式が主流となった。

表 1 レーザー VS ライン CCD

項目	レーザー	ライン CCD
速度		(~ 5000scan/sec) (~ 20000scan/sec)
装置価格		
ランニングコスト		
信頼性		

3．ライン CCD 方式の装置構成

図 1 に三菱レイヨン㈱製の表面欠陥検査装置 LSC-300 の標準的な装置構成例，図 2 に制御部の外観を示す。

3.1 投光器

投光器には，連続して流れる検査対象を幅方向に均一に

照明するためのライン状の照明装置が必要となる。

照明装置としては、標準的には蛍光灯照明やロッド照明が使用されるが、検査幅、必要光量、検出光学系により最適なものを選択することになる。照明装置の選択方法については後で述べる。

図1 システム構成図

図2 外観図

3.2 受光器

受光器には、照明された検査対象の表面を撮像するためのライン CCD カメラを使用する。一般的に、1 システムで複数のライン CCD カメラが使用されるが、カメラの機種と使用台数は、検査対象の幅、ライン速度、検出すべき欠陥のサイズ等の条件により適宜選択する。ライン CCD カメラの選択方法については後で述べる。

3.3 画像処理装置

画像処理装置は、ライン CCD カメラからのビデオ信号を処理し、リアルタイムに欠陥を検出し、検出された欠陥の特徴抽出を行う装置である。検出結果は、ホストコンピュータへ転送される。主な画像処理機能については後で述べる。

3.4 画像表示装置

画像表示装置は、検出された欠陥部の周辺画像をリアルタイムに2次元の濃淡静止画像としてモニターに表示する装置である。この装置により検出された欠陥の内容を視覚

的に確認することができる。主な画像表示装置機能については後で述べる。

4. 照明装置と照明方法の選択

4.1 照明装置の選択

照明装置としては、蛍光灯照明とロッド照明がある。表2は、2つの照明装置を比較したものである。

表2 蛍光灯照明 VS ロッド照明

項目	蛍光灯照明	ロッド照明
調光範囲	(~ 5 倍)	(~ 100 倍)
光量		
設置スペース		
装置価格		
ランニングコスト		

蛍光灯照明は、市販の 20W ~ 110W のタイプ（蛍光管長 580mm ~ 2398mm）の蛍光管を約 30KHz の高周波で点灯する。蛍光灯照明は、安価で長寿命という特長があり、最も良く使用される照明装置である。

ロッド照明は、導光棒である石英ロッドの両端にハロゲンランプを配置したものであり、ロッド長 350mm ~ 2000mm のラインナップを揃えている。ロッド照明は、蛍光灯と比較して高輝度で調光範囲が広いという特長があり、反射率の低い検査対象や、例えばカラー鋼板のように大きく反射率の異なる多品種に対応することができる。

4.2 照明方法の選択

検査対象と検出すべき欠陥の内容により最適な照明方法を選択する必要がある。照明装置は、透過方式と反射方式に大別できる。

通常、穴（ピンホール）に対しては透過方式、疵や異物や汚れ等には反射方式が用いられる。更に、反射方式は、正反射方式と散乱反射方式に分別できる。

一般的に、金属板の検査では正反射方式が最も多く用いられ、へげ疵等の表面凹凸のある欠陥を高感度で検出できる。但し、正反射方式では、カラー鋼板の色斑等の検出感度が低く、このような場合には散乱反射方式が使用される。また、潤滑油の付いた鋼板の検査でも、潤滑油の影響を受けにくい散乱反射方式が用いられる。図3に、各照明方法を示す。

図3 照明方法

以上の3方式が照明方法の基本であるが、実際にはこれ以外にも、目的の欠陥が最もコントラスト良く画像に現れる光学系の検討が必要となる。この部分は、表面欠陥検査装置メーカーのノウハウとなり、カタログ値では見えない特徴である。

5. ライン CCD カメラの選択

5.1 欠陥サイズとカメラ分解能

ライン CCD カメラの分解能は、検出したい欠陥サイズによって決定する。ライン CCD カメラの分解能には、幅分解能と流れ分解能の2種類がある。これらについては、後で説明するが、一般的に分解能は、検出したい欠陥サイズの $1/2$ (面積では $1/4$) 以下に設定するのが安全といえる。但し、目的とする欠陥の濃度によっては、分解能を欠陥サイズと同等あるいは欠陥サイズより大きく設定しても検出できる場合もある。例えば黒点の検出、あるいは、ピンホールの検出では、分解能が欠陥サイズより粗くても検出は可能である。実際には、欠陥サンプルの検出テストを行って最適な分解能を決定することが必要である。

5.2 カメラの機種と台数

分解能を決定したら、次にカメラの機種とカメラ台数を決定する。

カメラの機種とカメラ台数を決定するためのパラメータには、検査対象の検査幅 (mm)、ライン速度 (m/分)、流れ分解能 (mm/スキャン)、幅分解能 (mm/画素) がある。

カメラの種類は、CCD の画素数により、1024 画素、2048 画素、5000 画素、7450 画素等がある。一般的には、画素数が小さなカメラほど高速走査が可能であり、流れ分解能を上げることができるが、カメラ 1 台当たりの視野幅が狭くなってしまう。従って、目的のライン速度と流れ分解能を得られるカメラで、できるだけ画素数の大きなカメラを選択することになる。

以下の式で検査対象のライン速度と最高走査周期から各カメラで実現可能な流れ分解能の限界値を求めることができる。例えば、300m/分のライン速度、最高走査周期 0.1msec の場合は、0.5mm/スキャンの流れ分解能となる。

$$(\text{流れ分解能の限界値 (mm/スキャン)}) = (\text{走行速度 (mm/msec)}) \times (\text{最高走査周期 (msec)})$$

カメラの画素数が決定したら、目的の幅分解能 (mm/画素) よりカメラ 1 台当たりの視野幅が求まり、目的の検査幅に必要なカメラ台数を求めることができる。例えば、検査幅 1800mm で、幅分解能 0.5mm/画素で 2048 画素の力

メラを用いた場合は、カメラ 1 台当たりの検査幅が約 1000mm となり、2 台のカメラが必要となる。

$$(\text{カメラ 1 台当たりの検査幅 (mm)}) = (\text{幅分解能 (mm/画素)}) \times (\text{カメラ画素数 (画素)})$$

$$(\text{カメラ台数}) = (\text{視野 (mm)}) \div (\text{カメラ 1 台当たりの検査幅 (mm)}) \times \text{切り上げ}$$

6. 主な検査機能

表面欠陥検査装置 LSC-300 の機能について説明する。

6.1 リアルタイム補正 2 値化方式による安定した欠陥検出

当社の欠陥検出処理の基本コンセプトは、原画像つまりカメラ波形にできる限り手を加えないことである。一般的に、原画像に空間フィルタ処理や微分処理を施すことで、欠陥の検出性能が向上することは良く知られている。しかしながら、空間フィルタ処理や微分処理を通すことで、原画像の特徴量 (欠陥の大きさ、濃度) が失われてしまうという弊害が生じる。

これに対して、当社のリアルタイム補正 2 値化方式では、ライン CCD カメラからの原波形と加工された閾値波形 (スライスレベル) とを比較することでこの問題を解決している。

リアルタイム補正 2 値化方式では、検査と並行してリアルタイムに閾値波形を補正することができ、常に最新の閾値で検査を実行することができる。この機能により、例えば照明の光量変動、あるいは正常な範囲での鋼板の板肌の変化等による正常部の波形変動に追従することができ、より高い精度での検査を実現している。図 4 は、正常部波形が変動した場合の明暗の閾値波形の追従状態を示す。

図4 閾値波形の追従

閾値は、検出したい欠陥画像の、正常部に対する相対透過率 (あるいは反射率) で指定される。例えば、正常部と比較して 30% 以上透過率が低下する部分を検出したい場

合には閾値 70%を指定することになる。数値の次元が良くわからないスライスレベル設定やボリュームによる感度調整と異なり、直感的に理解しやすい、検出性能の再現性が極めて高い、ということでユーザーから高い評価をいただいている。

この方式によると、欠陥の大きさ(面積,幅,長さ)が正確に測定できることから、目視検査の判定基準をほとんどそのまま検査装置の判定基準に流用可能である。

6.2 2次元フィルタ

一般的に上記方式で数%の濃度差の欠陥まで安定して検出可能であるが、さらに淡い斑欠陥あるいは、非常に細いストリーク欠陥の検出に関しては2次元の空間フィルタ処理を行うことで、1%未満の濃度差の欠陥まで安定して検出可能になる。

6.3 膨張処理

欠陥の種類によっては、比較的大きな欠陥がいくつかの小さな欠陥に分裂して検出されてしまい、欠陥の面積が正確に評価できなくなってしまう場合がある。このことを避けるためにLSCシリーズでは膨張処理を行っている。

欠陥の膨張係数として、縦横それぞれ0~255画素の膨張係数を持つことができ、この指定された範囲内の欠陥は全て同一の欠陥とみなし、連結処理させることにより、欠陥本来の面積を正確に求めることができる。

6.4 蛇行追従機能

リアルタイム補正2値化処理は、検査中にもカメラ波形を多値画像で認識しており、この多値画像から検査対象のエッジ位置を検出することができる。従って、閾値補正の間隔でエッジ位置を認識し、蛇行によるエッジ位置の変動に応じて検査範囲を追従させることが可能となる。エッジ検出による蛇行の追従範囲に、カメラ間の跨りや画素数の制限は無く、カメラの視野内であれば、どんなに大きな蛇行にも追従可能である。

但し、この機能を有効にできるのは、検査対象のエッジが波形として充分認識できる場合に限られる。

6.5 速度追従機能

外部より流れ方向分解能に等しいエンコードパルスを入力することにより、1スキャン毎の画像処理を入力パルスに同期させることができ、ほぼ停止状態から最高速の生産速度まで一定の検出精度で検査が可能となる。

7. 検査ソフトウェア

検査ソフトウェアは、長年の実績とノウハウの蓄積を基に、多彩な機能を包括した標準ソフトを用意しており、

ユーザー要望によるカスタマイズのソフトウェアの対応は、このソフトをベースに行っている。

以下、標準ソフトについて説明する。

7.1 操作性

オペレーターによる通常の操作は、外部信号による自動運転か、装置盤面の押しボタンスイッチによるマニュアル運転の2種類であり、操作は極めて簡単である。

各種の検査条件設定については、コンピュータのキーボードにより入力することになるが、使用するキーを、数値キー、矢印キー、ファンクションキーに限定させることにより、誰でも簡単に入力、選択の操作ができる。

7.2 検査画面(図5)

検査中の表示画面については、使用目的や状況に合わせて、欠陥リスト+欠陥マップ、詳細リスト、欠陥マップの3種類を切り替えることができる。

図5 検査画面

マップ画面(図6)

欠陥マップ画面では、リアルタイムに欠陥の発生分布状況(X軸:幅,Y軸:長さ)を正確にマッピングすることができる。マップ上の欠陥マークの色、形で欠陥の種類や大きさが一目で判断できる。さらに、検査対象の移動に同期して欠陥マークがスクロールする機能を備えている。

図6 マップ画面

リスト画面 (図7)

欠陥リスト画面では、欠陥、欠陥位置の Y 座標 (mm)、欠陥位置の X 座標 (mm)、欠陥の面積 (mm²)、欠陥の幅 (mm)、欠陥の長さ (mm)、ランク (小中大密集)、欠陥種類を検査中にリアルタイムに表示することができる。

No.	Y座標	X座標	面積	幅	長さ	ランク	種類
12	30.8	258.1	24.52	1.35	178.03	大	欠陥
13	27.2	258.0	24.45	1.32	178.03	大	欠陥
14	27.8	258.0	24.52	1.35	178.03	大	欠陥
15	28.1	258.1	24.52	1.35	178.03	大	欠陥
16	28.5	258.1	24.52	1.35	178.03	大	欠陥
17	28.9	258.1	24.52	1.35	178.03	大	欠陥
18	29.4	258.1	24.52	1.35	178.03	大	欠陥
19	29.4	258.1	24.52	1.35	178.03	大	欠陥
20	29.4	258.1	24.52	1.35	178.03	大	欠陥
21	29.4	258.1	24.52	1.35	178.03	大	欠陥

図7 リスト画面

本装置の特長の一つである高速リアルタイム連結性処理機能により正確な欠陥の位置座標を表示することができる。一般的なゾーン分割に例えれば、カメラ画素数 = 分割数になり、数千～数万のゾーン分割の検査が可能ということになる。

7.3 検査条件

すべての検査処理は、各種検査条件に従って実行される。

個別欠陥検出条件

欠陥の検出感度は、欠陥の濃度と大きさによって指定される。検査装置は、指定された相対濃度 (%) を超え、かつ指定された大きさ (mm) 以上の欠陥を検出することになる。欠陥の大きさについては、面積 (mm²)、幅 (mm)、長さ (mm) の3つが指定でき、3つの内のどれか一つでも満たされたら検出する OR 検出と、3つの全てが満たされた場合に検出する AND 検出の2種類が選択可能である。検出された欠陥は、欠陥の大きさにより小、中、大の3ランクに分類される。

密集欠陥検出条件

密集欠陥は、指定された領域内の欠陥個数で判定される。この判定領域は、幅方向、流れ方向共に 1/2 ずつ重複しながら移動していくので、密集欠陥が2つの領域に跨って未検出となることを避けることができる。密集欠陥としてカウントする欠陥の大きさ (最小面積～最大面積, mm²) は、個別欠陥とは全く独立して指定可能である。

検査結果出力

検査欠陥の出力方法には、外部への NG 信号出力、ディ

スプレイ表示、ディスク保存、プリント出力、欠陥画像表示がある。これらの出力は、検査グループ別、欠陥種類別、欠陥サイズ別にすべて独立して指定可能である。

NG 出力に関しては、指定長さ当たりの欠陥サイズ別の指定個数で判定可能である。

検査条件管理

検査条件は、例えば生産品種に対応して作成することができ、特に数に制限無く、条件ファイルとして登録することができる。

あらかじめ登録した検査条件ファイルは、条件ファイルのリスト表示画面で簡単に選択することができる。

8. 画像表示装置

画像表示装置とは、検査中に検出した欠陥をリアルタイムに2次元の濃淡静止画像としてモニターの中心位置に表示する装置である。

検査装置が検出した欠陥が、検出したい欠陥であるか否かの判断には、欠陥の面積、幅、長さ等の数値データだけでは困難で、人間の目視に頼ることが少なくない。

そのため画像表示装置を一度導入されたユーザーからは、欠陥の確認と解析の補助装置として不可欠なものとして高い評価を得ている。さらに、欠陥画像は、欠陥情報データとともに貴重な製品の品質管理情報として活用されている。

以下、本画像表示装置の特長を述べる。

本装置では、非圧縮の生画像を使用するため鮮明な画像をモニターに映し出すことができ、設定により～8倍まで拡大表示、画像コントラスト調整も可能である。

モニターには、欠陥画像の他に欠陥情報として欠陥、X座標、Y座標、面積、幅、長さ、欠陥の種類等も表示される。

欠陥画像は、表示とともにハードディスクに順次保存される。本画像表示装置は、高速なマルチタスク処理により、同一走査線上に複数の欠陥が発生しても、欠陥画像を保存することができる。さらに、検査中に過去の保存画像の検索、表示等の作業中であっても、新たに検出した欠陥画像をバッグランド動作にて保存することができる。

保存された欠陥画像は、品種、ロット、日時等の検索名により簡単に呼び出すことが可能である。しかも、呼び出された欠陥画像は、プロファイル表示機能により欠陥の濃淡波形を観測することができるので、最適な検出感度の設定に大変便利である。

また、保存された欠陥画像は、光磁気ディスク等の外部記憶装置への複写、移動等ができ、汎用の Windows マシンにおいても表示可能である。図8に、画像の表示の一例

を示す。また、市販のグラフィクスソフト、画像管理ソフトウェア等でも利用できる BMP 形式へのファイルコンバートも可能である。

図8 Windows マシンでの欠陥画像表示

9. おわりに

今回、紹介した表面欠陥検査装置 LSC-300 は、金属業界において鋼板（CPL、CGL、EGL、CCL、CAL 等）、ステンレス鋼板、銅板、銅合金板、アルミ板等の検査で実績を上げてきた。大同特殊鋼(株)知多帯鋼工場においては、冷延工程の鋼板の表面検査に導入していただき、効果を発揮していると伺っている。

今後も、要望やアドバイス等をいただき、金属業界での表面検査に最適な欠陥検査装置として反映させていきたい。

（文 献）

- 1) 斉藤, 布施, 戸田, 渋谷: コンバーテック 8月号(1991)
- 2) 田代: コンバーテック 6月号(1996)
- 3) 田代, 高橋: コンバーテック 9月号(1999)
- 4) 三菱レイヨン(株): カタログ, 表面欠陥検査装置LSCシリーズ
- 5) 三菱レイヨン(株): カタログ, 表面欠陥検査装置LSC-3100