
OPCドラム外観検査方法

Visual Inspection Method for OPC Drum

崎田 隆二*
Ryuji SAKITA

中山 攻*
Osamu NAKAYAMA

鎌田 照己*
Teruki KAMADA

小沼 洋介*
Yosuke KONUMA

要 旨

OPC (Organic Photoconductor) ドラムは画像品質に大きな影響を与える重要な機能部品である。その検査は通常、目視による外観検査で行われる。人による検査のため、判定結果がばらつく等、多くの問題を抱えており、自動化に対する要求が非常に高い。外観検査工程を自動化するためには、高感度な欠陥検出と良品過検出の低減、という相反する課題を両立させる必要がある。そのために、ドラム回転時の位置変動にカメラ位置を追従させる高感度かつロバストな欠陥画像入力技術（輝線追従制御技術）と、発生する多様な欠陥種に対応した画像処理方法を開発した。両手法により、不良品の検出率100%、良品の過検出率1.3%という実験結果が得られ、高感度な欠陥検出と良品過検出の低減、という相反する課題を両立させることができた。

ABSTRACT

OPC (Organic Photoconductor) drum is one of the important parts which have a significant influence on image quality of copying machines and laser printers. Generally, the quality of drum surface is inspected by human. Because human check has a lot of problem such as variation of results, automatic inspection system has been strongly expected. In order to realize the automatic inspection system, it is required to achieve competing two problems between high sensitive detection for defects and low false detection rate for good products. In this paper a robust and sensitive inspection method is reported, which consists of image acquisition and processing technique. The image acquisition technique is called reflection line tracking control, where a line sensor position is controlled to capture the surface image of the drum with high sensitivity against large movement of the target. The image processing technique is composed of multiple algorithms to detect various kinds of defects expected for the OPC drum. The experiments to evaluate proposed technique show detection rate for NG drum is 100% and false detection rate for good drums is 1.3%.

* 研究開発本部 基盤技術研究所
Core Technology Research Center, Research and Development Group

1. 背景と目的

1-1 背景

OPC (Organic Photoconductor) ドラムは複写機、プリンター等の画像品質に大きな影響を及ぼす重要な部品である。その検査は通常、目視による外観検査で行われる。しかし人による検査のため、検査基準のばらつき、検査員確保と育成、人件費等、様々な問題を抱えており、自動化に対する要望が強い。

1-2 OPCドラムの構造と欠陥の種類

OPCドラムの構造をFig.1に示す。円筒状のアルミ素缶上に下引層 (UL : Under Coat Layer) が塗工され、さらに電荷発生層 (CGL : Carrier Generation Layer) , 電荷輸送層 (CTL : Charge Transport Layer) が塗工された3層構造が一般的である。近年では、さらにフィラーを含有した保護層 (OCL : Over Coat Layer) を加えた高耐久 FR-OPC (Filler Reinforced Organic Photo Conductor) ドラムも製品に搭載されている⁽¹⁾。

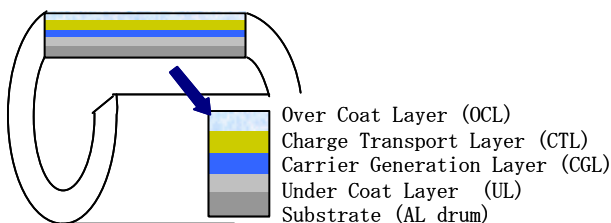


Fig.1 Structure of FR-OPC drum.

欠陥の種類はTable 1に示すように、最上層に凹凸が浮き出ている表面欠陥と、そうでない内部欠陥に大きく分類される。表面欠陥は、ドラム表面層での接触によるキズや汚れ、付着した異物、塗工液のハネ等に起因する欠陥、あるいはCTL層の厚みが正常部と異なる場合に発生する欠陥等である。内部欠陥は、層構造の内部に発生した気泡、塗膜の途中で付着した異物に起因するものや、塗工の不均一による濃淡ムラ等である。 Fig.2に代表的な欠陥種の画像を示す。最も小さな欠陥でφ0.2mm程度である。

Table 1 Classification of defects.

| | 表面欠陥 | 内部欠陥 |
|------------|--------------------|-------------------|
| 点状 | 異物, 凹, 凸傷, 核有黒ポチ | 白ポチ, 白斑点, 黒ポチ, 異物 |
| ムラ状 or スジ状 | CTL膜厚ムラ, 汚れ (切削スジ) | 塗工ムラ, 切削スジ |

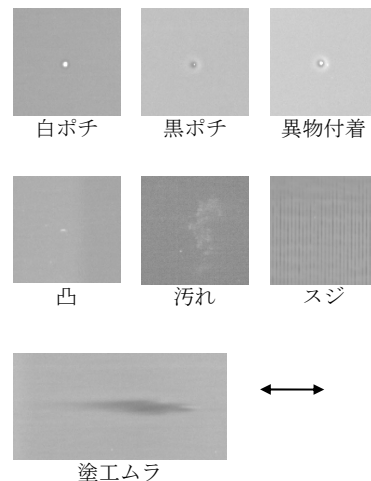


Fig.2 Images of defects.

1-3 従来技術の課題

従来検査方法⁽²⁾の概要及び問題点に関して説明する。 Fig.3にその光学系を示す。

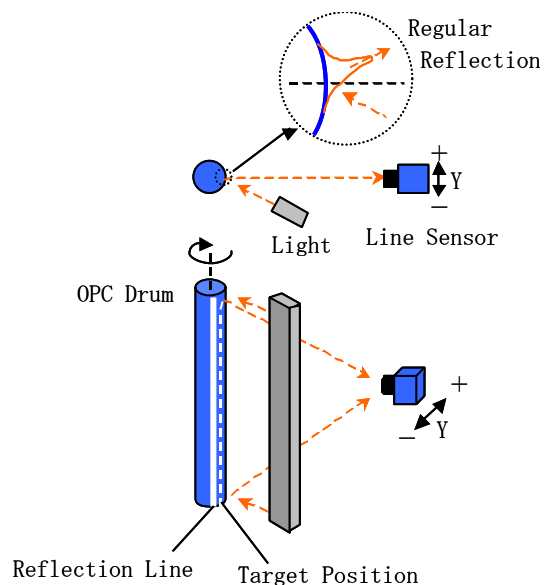


Fig.3 Conventional optical system.

ドラム表面をライン状の光源で照射し、ドラムを回転させながら、ラインセンサでその表面を撮像する。このような光学系では、正反射光による直線状の明るい線（輝線：Reflection line）にラインセンサ視野位置を近づけた方が、表面欠陥による散乱光を捕らえ易くなるため検出感度が高くなる。微小な点状欠陥を例にその違いを説明する（Fig.4, 5）。各画像の下に表記した数値は、ラインセンサ視野位置（Line Sensor Position）Yと検出感度（Detection sensitivity）を表す評価値 σ_s である。位置Yの値が小さい程、輝線の近くを狙っていることを表す。評価値 σ_s は欠陥画像のコントラストに相当する標準偏差を示している。Fig.4, 5よりラインセンサ位置を輝線に近づけた方が、欠陥部での陰影がはっきり写り、評価値 σ_s が大きくなっていることがわかる。これは、表面凹凸による散乱光を捕らえ易くなるためである。

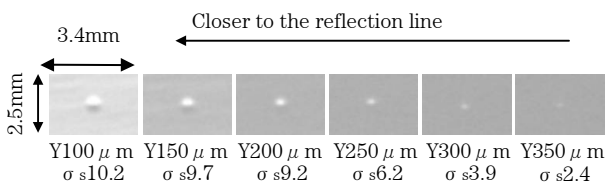


Fig.4 Detection sensitivity.

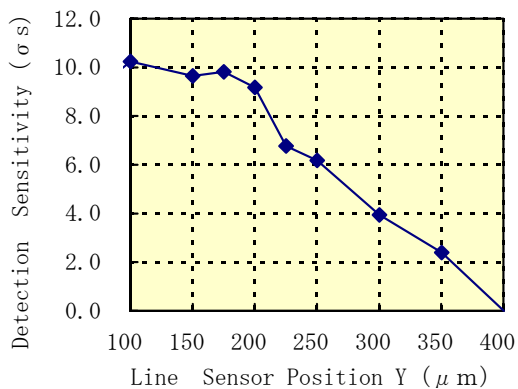


Fig.5 Detection sensitivity for concave defect.

しかし、欠陥に対する検出感度が高くなると同時に、ドラム回転振れによる輝線位置変動が画像ノイズとなって現れやすくなる。その様子を画像で示したのがFig.6である。画像としては全周で均一な明るさになることが

望ましいが、輝線に近い程、大きな明暗変化が観察される。この明暗変化を画像ノイズと考え、その大きさを示す標準偏差 σ_n をFig.6の下段に示す。ここでは標準偏差 σ_n は小さい方が望ましい。輝線に近い部分はFig.3でわかるように光量変化が急激なため、回転振れによる輝線位置変動が画像ノイズとなって現れ易くなる。Fig.7では以上の関係をグラフで示している。Fig.5の検出感度 σ_s を画像ノイズ評価値 σ_n で割った値を検出感度比（ σ_s/σ_n ）と定義し、Fig.7の右縦軸に示している。従来の検査方法では、この画像ノイズをムラ状欠陥として過検出しないために、画像ノイズが立ち上がる手前（Y=350 μm）の位置に設定せざるを得ず、十分な検出感度を有していなかった（検出感度比0.73=2.4/3.3）。

以上のように従来方法では、微小な点状欠陥に対する検出感度を高くするために、ラインセンサ視野位置を輝線に近づけた場合、画像ノイズが増加し良品を過検出してしまうという課題があった。

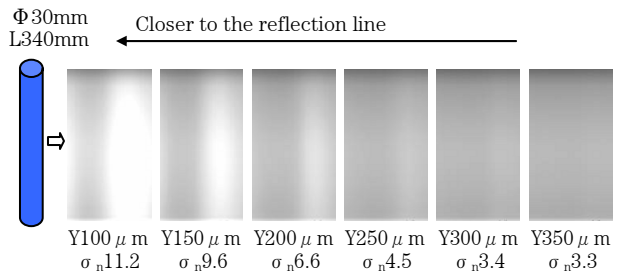


Fig.6 Image noise.

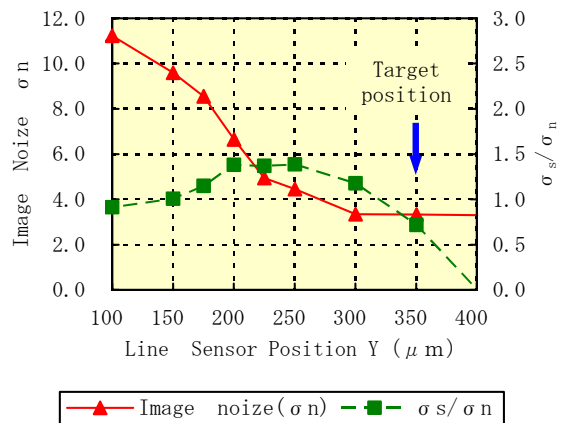


Fig.7 Image noise, σ_s/σ_n .

1-4 目的

高感度な欠陥検出と良品過検出の低減という相反する課題を両立させるために、高感度かつロバストな欠陥画像入力方法、及び多様な欠陥種に対応した画像処理方法を開発することを目的とする。不良品の検出率100%、良品の過検出率1.8%以下を目標とする。

2. 技術

2-1 輝線追従制御による画像入力方法^{(3), (4)}

2-1-1 方法概要

ドラム回転中の輝線位置を計測し、その動きに合わせてラインセンサ位置を制御することにより、ラインセンサ視野位置と輝線間の距離を常に一定に保つ。その結果、輝線位置変動による画像ノイズを低減させつつ、ラインセンサ視野位置を輝線に近付け高感度な欠陥画像入力が可能となる。

2-1-2 装置構成

装置構成をFig.8に示す。ドラム装着後、エリアセンサによる画像から輝線の位置及び角度の計測を行い、その結果に応じてラインセンサの視野位置をリニアステージで、傾きをゴニオステージで初期調整する。ドラム回転時は、ラインセンサ視野位置と輝線間の距離を常に一定に保つように、リニアステージでラインセンサの位置を制御する。また、ラインセンサに対してエリアセンサをドラム回転上流に配置することにより、輝線の動きを先に検出し、制御遅れを吸収している。

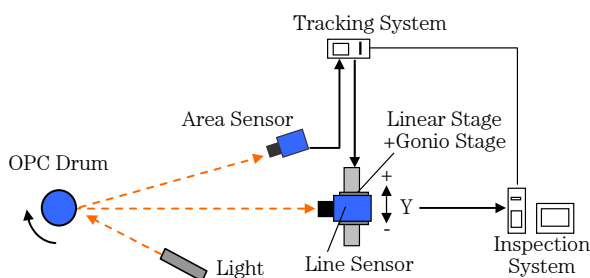


Fig.8 Reflection line tracking control system.

2-1-3 制御目標値

不良品の検出率100%、良品の過検出率1.8%以下を達成させるために、検出感度比の目標値を1.5以上とした。さらにその目標値から、輝線追従制御の制御偏差（目標位置からのずれ量）を $35\mu\text{m}$ 以下とした。なお、ドラムの回転速度及びドラム位置変動の最大値は、それぞれ1s/round、 $100\mu\text{m}$ の条件下で設計を行った。

2-1-4 制御方法

追従時の制御性能および停止時の定常偏差を低減させるために、PD制御とPI制御を行っている。エリアセンサの画像入力は60fpsで行うが、ローパスフィルタで帯域制限した輝線位置を目標値として与え、振動や画像処理誤差の影響を低減させている。

2-1-5 制御性能及び検出感度の向上

エリアセンサで検出した輝線位置と、その結果に応じて追従制御されているラインセンサ位置の様子をFig.9に示す。評価実験の結果、制御偏差は $28\mu\text{m}$ となり、目標値（ $35\mu\text{m}$ 以下）を満足させることができた。

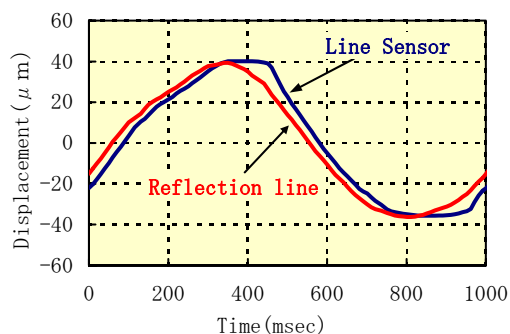


Fig.9 Effect of the tracking control.

次に、このように追従制御を行いながら撮像された画像の例をFig.10に示す。制御を行っていないFig.6の画像と比べると、ラインセンサ視野位置を輝線に近付けても画像ノイズが抑制されていることがわかる。画像ノイズを評価値 σ_n で定量化し、さらにFig.4, 5の欠陥に対して検出感度比（ σ_s/σ_n ）を算出した結果をFig.11に示す。ここで、ラインセンサ視野位置を $Y=225\mu\text{m}$ に設定して

追従制御を行うと検出感度比が2.0 (6.8/3.4) となり、制御導入前の検出感度比0.73に対して、2倍以上の検出感度を得ることができる。制御導入前後の欠陥画像の違いをFig.12に示す。

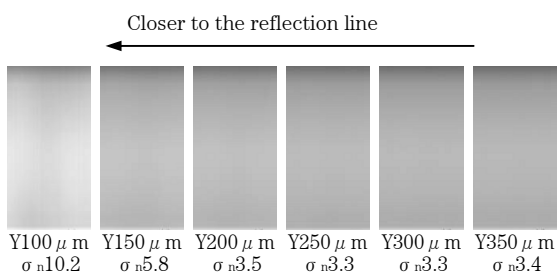


Fig.10 Images with control.

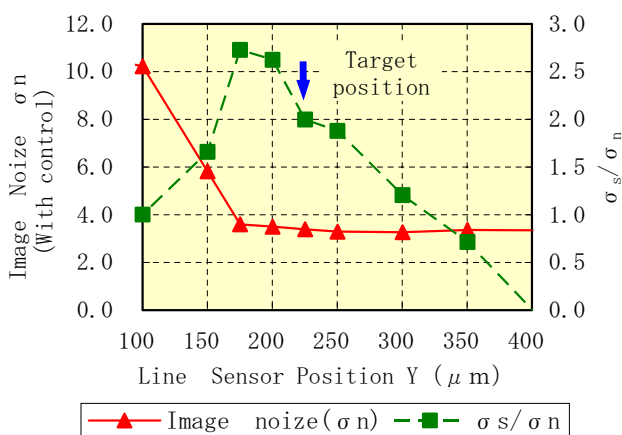


Fig.11 Image noise, σ_s / σ_n (With Control)

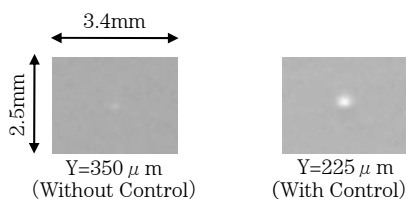


Fig.12 Defect image with or without control.

2-2 画像処理方法⁽²⁾

次に、得られた画像から欠陥部を検出する画像処理方法を、様々な欠陥種を含んだ模式的な原画像 (Fig.13) を例に説明する。画像上での大きさ (空間周波数) やコントラストに応じて複数の処理を搭載している。点状欠陥には高周波欠陥検出処理、ムラ状欠陥には

低周波欠陥検出処理、スジ状欠陥にはスジ欠陥検出処理を備えている。

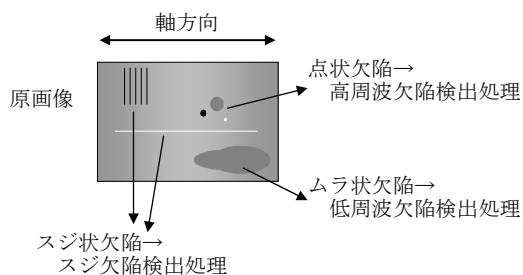


Fig.13 Original Image.

2-2-1 高周波欠陥検出処理

Fig.14に処理の概要を示す。この処理では、画像上で急峻な明るさ変化を伴う小さな欠陥、例えば異物や凸等の欠陥 (高周波欠陥) を対象としている。処理手順としては、縮小処理、エッジ強調フィルタ処理の後、2値化処理、ラベリング処理により欠陥候補領域を抽出する。それ以降の欠陥特徴量の算出には元の多値画像 (10bit) を用いる。抽出された各候補領域において、所定の閾値を超えた画素をカウントすることにより欠陥面積を算出し、その大きさに基づき良否判定する。検出すべき欠陥の大きさやコントラストに応じて、縮小比、閾値等のパラメータを調整する。1系統の処理で全欠陥種を検出できない場合は、Fig.14のように複数の処理系統を設ける。

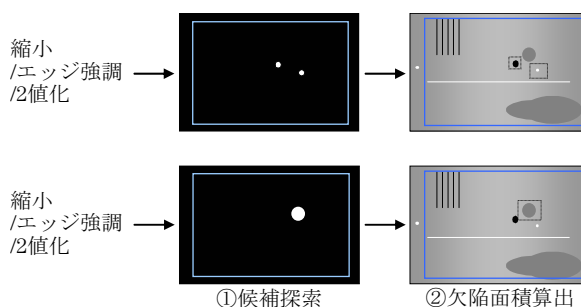


Fig.14 Image processing for High-frequency defects.

2-2-2 低周波欠陥検出処理

Fig.15に処理の概要を示す。この処理では塗工ムラや

汚れ等の比較的大きく且つ輝度変化が小さな欠陥（低周波欠陥）を対象としている。このような空間的に周波数が低い欠陥に対しては、欠陥形状そのものを求めずに、検査画像をいくつかの矩形領域に分割して、その矩形領域毎に特徴量を算出する。具体的には、原画像を縮小した後、所定の矩形領域に分割し、各領域で画像データの標準偏差 σ を算出し、その大きさを良否判定する。このような処理により、輝度変化の少ない低周波欠陥を定量化できる。

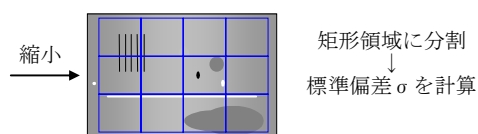


Fig.15 Image processing for Low-frequency defects.

2-2-3 スジ検出処理

アルミ素缶の切削不良に起因する切削スジ（Fig.13の縦スジ）やスジ状に現れる塗工ムラ（Fig.13の横スジ）を対象にしているスジ欠陥欠陥処理では、エッジ強調フィルタ処理により欠陥部を検出する。

3. 実験結果

実際の量産ドラムを用いて行ったテスト結果（ $n : 2,582$ 本）をTable 2に示す。良品をNGと判定してしまう過検出率は1.3%（33本/2,565本）となった。目標値である不良品の検出率100%、良品の過検出率1.8%以下を達成できた。

Table 2 Experimental result ($n : 2,582$)

| | | 良品 | 不良品 |
|----------|----|-------|-----|
| 本手法による判定 | OK | 2,532 | 0 |
| | NG | 33 | 17 |

4. 結論

輝線追従制御技術を用いた画像入力方法を開発し、欠陥に対する検出感度比を、従来の0.73から2.0（目標値1.5以上）に向上することができた。

この画像入力方法に、多様な欠陥種に対応した画像処理方法を組み合わせることで、不良品の検出率100%（目標値100%）、良品の過検出率1.3%（目標値1.8%以下）を達成し、高感度な欠陥検出と良品過検出の低減、という相反する課題を両立させることができた。

5. 今後の展開

OPCドラム以外の他のローラ状部品やベルト状部品等へ外観検査技術を水平展開していく。

参考文献

- 1) 納所伸二, その他: 保護層積層型高耐久 OPC の開発, Ricoh Technical Report, No.31, (2005), pp.33-38.
- 2) 小林慎司, その他: OPC 外観検査方法の開発, 第9回産業における画像センシング技術シンポジウム講演論文集, (1994), pp.105-109.
- 3) 鎌田照己, 崎田隆二, 中山攻: 日本機械学会, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集 (CD-ROM), Vol.2003, (2003), Page2 P1.2F.E7 (1) -2P1.2F.E7 (2)
- 4) R. Sakita, O. Nakayama, T. Kamada: Union of Eco Designers, Ecodesign 2003 Abstract, (2003), pp.125-126.