

# 画像処理技術を活用した鑄造シャフト検査装置の研究

## Study of Casting Shaft Inspection Device using Image Processing Technology

福留祐太・増田 健\*・永見武司\*

Yuta Fukudome, Takeshi Masuda and Takeshi Nagami

電子・有機素材研究所 応用電子科、\*独立行政法人 産業技術総合研究所

製造業において、高品質な製品を安定生産するためには外観検査が不可欠であるが、その検査は検査員による目視で行われているケースが多い。しかし、目視検査では各検査員の個人差や疲れによる見逃し等が生じるため、検査の自動化が望まれている。そこで、本研究では、鑄造品の外観検査を自動化するための照明条件と画像処理方法について検討を行った。その結果、鑄造シャフトの外観検査に適した照明条件を明らかにするとともに、画像処理方法を開発し、誤検出なく不良箇所の特定が可能であることを確認した。

In order to manufacture high-quality products consistently, visual inspection is essential. Most visual inspection is performed by human inspectors. However, defects can be overlooked due to fatigue or individual variations in skill, so automation of visual examination is desired. In this study, we investigate illumination demands and image processing methods for automated visual inspection of castings, clarifying the illumination conditions suitable for visual inspection of the casting shafts and confirming that the developed image processing method can detect defects reliably.

## 1. はじめに

近年、品質に対する消費者意識の高まりとともに、部品製造に対する品質基準は年々高まっている。その中で、鑄造品の製造においては、様々な欠陥が発生するため、外観検査の実施は必要不可欠である。しかし、そのほとんどは検査員による目視検査に頼っているため、各検査員の個人差や疲れによる見逃し等が生じるなどの問題がある。また、中小企業製造業の現場では、従来の少品種大量生産から多品種少量生産への移行により、生産性向上のためのタクトタイム削減が求められており、検査工程のさらなる効率化のため、検査の自動化が求められている。

そこで本研究では、画像処理を利用した鑄造品の外観検査の自動化を目標に、鑄造シャフトの外観検査に適した照明条件と画像処理方法について、実験に基づき検討したので報告する。

## 2. 実験方法

### 2.1 照明条件

#### 2.1.1 検査対象

検査対象は図1に示すような円柱形の鑄造シャフトとする。このような旋盤加工の工程を経た鑄造シャフトの不良品検査では、図2に示すような鑄巣欠陥の有無が判断基準となる。



図1 検査対象



図2 鑄巣欠陥の例

この検査対象は、次に示すような理由により、画像処理による外観検査が困難である。

- ① 表面には旋盤加工の跡があるため、欠陥部と正

常部の区別が難しい。

- ② 円柱形の金属素材であるため、照明光が反射しやすい。
- ③ 欠陥の大きさや形状にばらつきがある。

### 2.1.2 照明の配置

LED バー照明を使用し、直接照明、間接照明の各方式により、検査対象の照明条件の検討を行った。検査対象の側面全体を撮像するために、LED バー照明は固定し、検査対象を 5° 刻みで一回転させ、撮像を行った。図 3、図 4 に直接照明、間接照明それぞれの方式の配置概略図を示す。

直接照明方式では、検査対象は黒色の箱の中に配置し、壁面反射の影響を低減し、直接光のみ照射される環境とした。

一方、間接照明方式では、半円状に曲げたスチレンボード、または白色のスチロール製の半球で LED バー照明の光を反射させ、均一な拡散光が照射される環境とした。また、床面は白色ボードと黒色ボードの 2 種類で比較を行った。

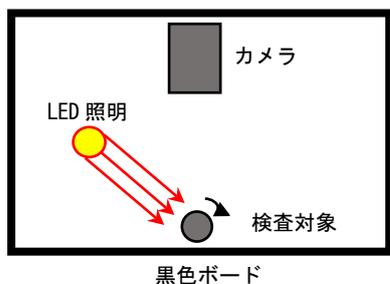


図3 直接照明方式の配置概略図

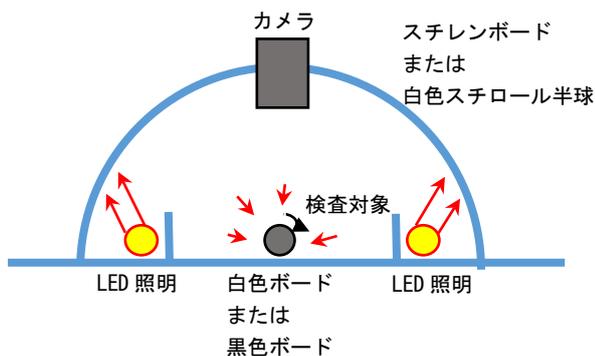
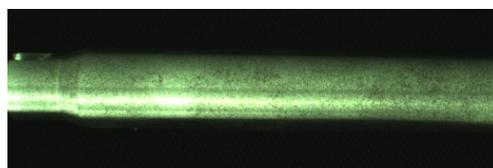


図4 間接照明方式の配置概略図

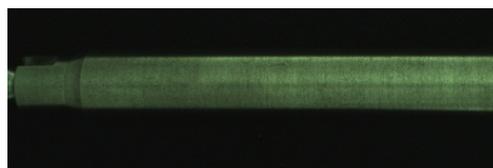
### 2.1.3 照明条件

図5に不良品サンプルに対し、直接照明方式と2種類の間接照明方式で撮像した画像を示す。

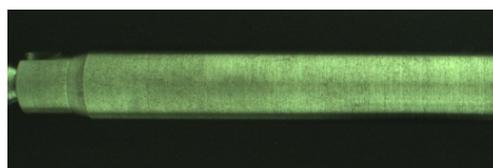
直接照明方式では、欠陥箇所のコントラストが高いものの、検査対象からの反射光により、サチュレーションを起こしている。一方、間接照明方式では、両方でサチュレーションを起こすことなく撮像されている。また、スチレンボードを用いた照明に比べ、スチロール半球を用いた手法は検査対象の写る面積が大きく、側面のより広い範囲が撮像可能であることがわかった。



直接照明方式



間接照明方式（スチレンボード）

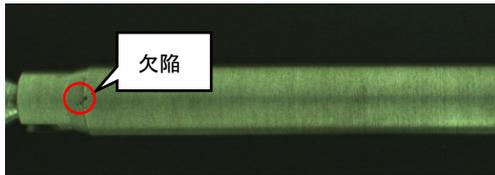


間接照明方式（スチロール半球）

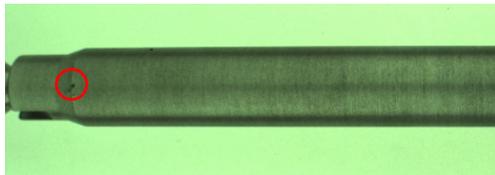
図5 直接、間接照明によるカメラ画像

次に、スチロール半球を用いた間接照明で、床面を変えて撮像した画像を図6に示す。白背景の方が黒背景に比べて検査対象の写る面積が大きいことがわかる。これは黒背景では検査対象の側面に当たるべき光が床面の黒色ボードで吸収され、かつ低輝度部位が背景に埋もれてしまうためであると推測される。

以上の結果から、铸造シャフトには白背景でのスチロール半球を利用した間接照明方式が、より広範囲の側面の撮像が可能であることがわかった。



間接照明方式 (スチロール半球・黒背景)



間接照明方式 (スチロール半球・白背景)

図 6 背景の異なるカメラ画像

## 2.2 欠陥検出方法

### 2.2.1 欠陥の絞込み方法

検査対象は旋盤加工の跡があるため、製品ごとに表面状態が微妙に異なり、正常部と欠陥の区別が難しい。そこで、検査比画像<sup>1)</sup>を計算することにより、欠陥の疑いのある箇所の絞込みを行った。図 7 に検査比画像作成のアルゴリズムを示す。この検査比画像により、各画素の標準偏差を考慮した画像が得られる。本研究では、良品サンプル 10 個( $n=10$ )から平均と標準偏差を求めた。

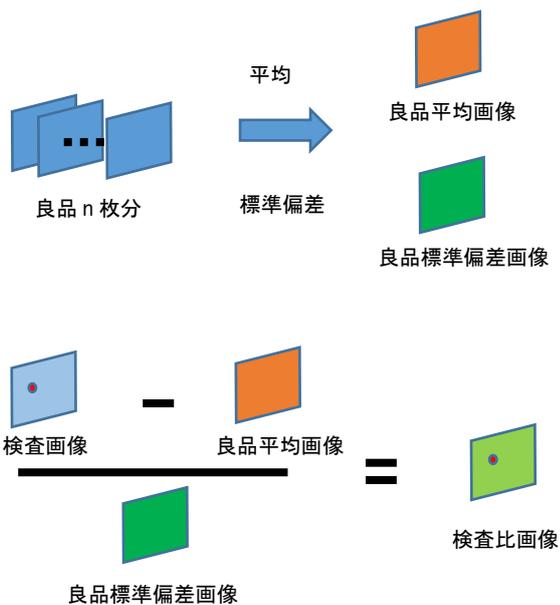


図 7 検査比画像作成アルゴリズム

### 2.2.2 欠陥の特定方法

検査対象を一回転させながら撮像した画像中に表示される欠陥箇所は一定の軌跡を描くことに着目した特定手法について検討を行った。そこで、欠陥箇所の軌跡をモデル化し、任意の角度で撮像された欠陥箇所と、その $\pm \frac{\pi}{2}$ 移動後の欠陥箇所の位置が描く軌跡を求めた。

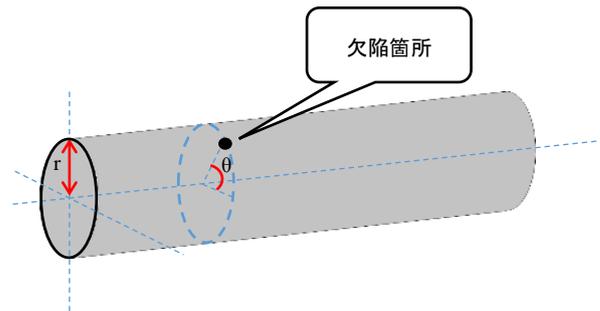


図 8 検査対象のモデル図

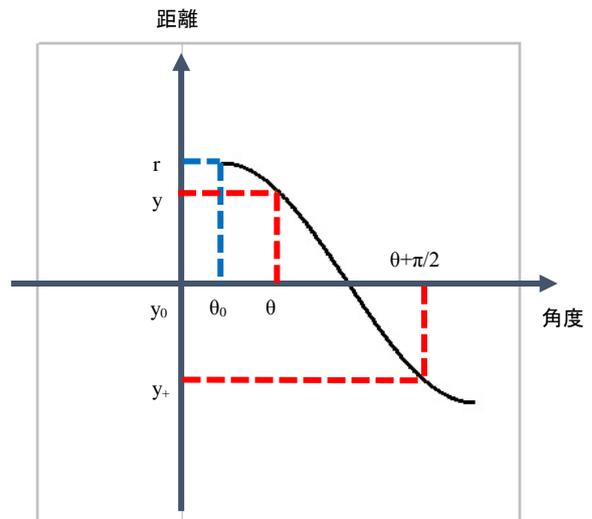


図 9 欠陥箇所のモデル図

図 8 に示すように、検査対象の半径を $r$ 、欠陥箇所の角度を $\theta$ とおくと、検査対象を回転させる間に、欠陥箇所は図 9 のような軌跡を描く。ここで、任意の欠陥箇所の点を $(\theta, y)$ と置き、 $y$ を $\theta \pm \frac{\pi}{2}$ 移動した点を $y_{\pm}$ とすると、 $y$ および $y_{\pm}$ は次のように表せる。

$$y = y_0 + r \cos(\theta - \theta_0) \quad \dots \textcircled{1}$$

$$y_{\pm} = y_0 + r \cos\left(\theta \pm \frac{\pi}{2} - \theta_0\right)$$

$$= y_0 \mp r \sin(\theta - \theta_0) \quad \dots \textcircled{2}$$

式①、②より、

$$(y - y_0)^2 + (y_{\pm} - y_0)^2 = r^2$$

したがって、点 $(y, y_{\pm})$ は点 $(y_0, y_0)$ を中心とする半径 $r$ の円の軌跡を描く。

以上の計算より、 $\pm \frac{\pi}{2}$ 移動後の点が、点 $(y_0, y_0)$ を中心とする半径 $r$ の円の軌跡を描く点を探すことで欠陥を特定できる。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 欠陥の絞り込み

欠陥のあるサンプルから検査比画像を作成し、 $\pm 2.5\sigma$ 、 $\pm 3\sigma$ 外の輝度値の画素を黒で元画像（グレースケール）上にプロットした結果を図10に示す。なお、 $\sigma$ は標準偏差とする。欠陥の疑いのある箇所が黒画素で示されているが、どちらの閾値でも欠陥を確実に含み、不良箇所を適切に絞り込めていることが分かる。

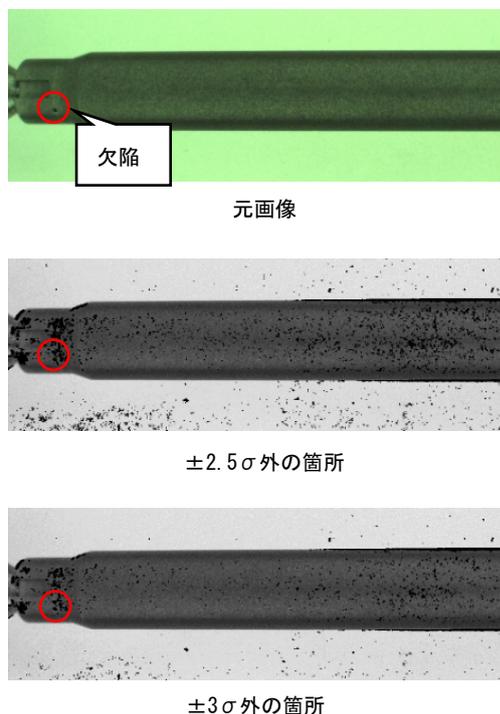


図10 欠陥箇所の絞り込み

これを発見した欠陥の疑いのある箇所数（黒画素の数）と元画像の画素数の比（減少率）で表すと表1となる。元画像は $2560 \times 500$ ピクセルで撮像したものである。 $3.0\sigma$ の場合であれば計算する画素数を

$2.6\%$ 程度まで減少させることができた。考慮する箇所を大きく絞り込むことで誤検出を減少させることができ、処理の高速化にもつながる。

表1 欠陥の疑いのある箇所の減少率

閾値	欠陥の疑いのある箇所 一回転（72画像）平均	減少率
$3.0\sigma$	32839.7	97.4%
$2.5\sigma$	58199.5	95.5%
$2.0\sigma$	115574.1	91.0%

#### 3.2 欠陥の特定

3.1で求められた欠陥の疑いのある箇所（ $\pm 3\sigma$ 外）に対し、それぞれ一回転する間の軌跡を求め、2.2.2に示した方法により不良箇所の特定を行った。

図11に不良品サンプルの元画像（左側）と処理後画像（右側）を示す。処理後画像の赤い箇所が欠陥であると特定した箇所の軌跡をプロットした点である。中心部分で軌跡が途切れているのは、 $\pm \frac{\pi}{2}$ 移動後の点が側面に移動し、見えなくなったためであると推察される。両方の不良サンプルに対し、誤検出なく、欠陥の軌跡のみ検出することができた。

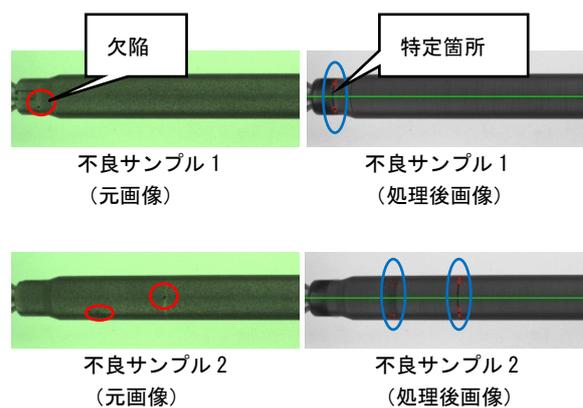


図11 特定した欠陥箇所

### 5. おわりに

本研究では、鋳造シャフトを対象に、画像処理を用いた品質検査のための最適な照明条件と画像処理方法について検討を行った。

その結果、間接照明方式による最適な照明条件を見出すことができた。また、確認済みの合格製品の

画像群と検査対象画像から検査比画像を作成して欠陥箇所を絞込みを行い、その後欠陥の疑いのある箇所の軌跡を求める処理方法を開発し、欠陥の特定が可能であることを確認した。

## 参考文献

- 1) 勝部展生; 特開平 10-123064, 外観検査方法.
- 2) Te-Hsiu Sun, Chun-Chieh Tseng, Min-Sheng Chen; Electric contacts inspection using machine vision, *Image and Vision Computing*, 28, p.890-901(2010).
- 3) S.J. Swillo, M. Perzyk; Automatic inspection of surface defects in die castings after machining, *ARCHIVES of FOUNDRY ENGINEERING*, Volume 11, p.231-236(2011).
- 4) D. Mery, Th. Jaeger, D. Filbert; A Review of Methods for Automated Recognition of Casting Defects, *Insight*, 44(7), p.428-436(2002).
- 5) H.Zheng, L.X. Kong, S. Nahavandi; Automatic inspection of metallic surface defects using genetic algorithms, *Journal of Materials Processing Technology*, 125-126, p.427-423(2002).
- 6) Gary Bradski, Adrian Kaehler(著), 松田晃一(訳); 詳解 OpenCV, オライリー・ジャパン.