

## テレセントリックレンズを用いた 多視点画像による工業部品の傷検出

鶏内 朋也<sup>†</sup> 森 尚平<sup>†</sup> 齋藤 英雄<sup>†</sup> 菅野 純一<sup>‡</sup> 足立 秀之<sup>‡</sup>  
慶應義塾大学 理工学部<sup>†</sup> ヴィスコ・テクノロジーズ 株式会社<sup>‡</sup>

### 1. はじめに

工業部品を生産する際に生じる不良品は検知され取り除かれる必要がある。しかし目視による検査は検査基準の一般化が難しく、精度を維持することも困難なため外観検査の自動化が望まれている。画像処理による外観検査の研究はこれまでに多数なされている[1]。多くの既存手法では1枚の画像から傷検出を行っているため、光の当たる角度によっては傷が浮き出ず傷を見逃してしまうという問題点があった[2]。また光源の位置を変えながら撮影した複数の画像を用いて欠陥検出をする従来研究[3]にも、検査物体のひとつの面しか検査対象にできないという問題点がある。

本研究では回転台により検査物体を回転させながら撮像した多視点画像を用いることで物体正面の画像だけでは検出が難しかった傷の検出を可能にし、底面以外のすべての面に対する検査を可能にすることを目的とする。この際、カメラと検査対象との距離に依存せず同様の画像を取得できることから工業製品の外観検査に一般的に使用されているテレセントリックレンズ付カメラの利用を想定する。また、提案手法では様々な工業部品の傷検出に利用できるように、

一般的な方法について考える。

### 2. 提案手法

提案手法では、1° 毎に回転させながら撮像した360枚の画像から、検査物体の表面上の点をトラッキングし各点の画素値の遷移からその点が傷上の点であるかの判定を行う。

#### 2.1 カメラキャリブレーション

提案手法での光学構成はあらかじめ大まかに決まっているが(図1)、回転台に対する正確なカメラ位置姿勢を推定するために Dong らの手法[4]を用いてテレセントリックレンズを使用したカメラのキャリブレーションを行う。テレセントリックレンズは正投影モデルを適用できるので、チェッカーパターンを回転台により回転させながら撮像した360枚の画像から、チェッカーパターンの各コーナー点が描く楕円の中心をとることで回転台の中心位置を求める。

#### 2.2 検査物体の初期位置推定

検査物体はロボットアームで回転台に置かれることを想定しており、毎回の検査で物体が置かれる位置が多少異なる。検査物体の表面上の点をトラッキングするためには物体の初期位置を求める必要がある。提案手法ではまず任意の検査画像1枚に対して二値化処理を行い、検査物体のシルエットを抽出する。その画像に対し Harris のコーナー検出を行うことで検査物体の角の画像座標  $\mathbf{p}_i$  を求める。その点と、あらかじめ与えられた検査物体の3次元モデルにおける  $\mathbf{p}_i$  と対応する角の点の投影点  $\mathbf{q}_i$  に関して、以下の誤差関数  $E$  を最小化する  $x, y, \theta$  を求める[5]。  $x, y$  は回転台上の検査物体の2次元位置、  $\theta$  は回転台平面から垂直な直線を軸とした回転角である。

$$E(x, y, \theta) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N (\mathbf{p}_i - \mathbf{q}_i)^2$$

$$\tilde{\mathbf{q}}_i = \mathbf{M} \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & x \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tilde{\mathbf{X}}_i$$

$\mathbf{M}$  は 2.1 節で求めた投影行列、  $\tilde{\mathbf{X}}_i$  は 3 次元モデルの各点の座標ベクトルである。

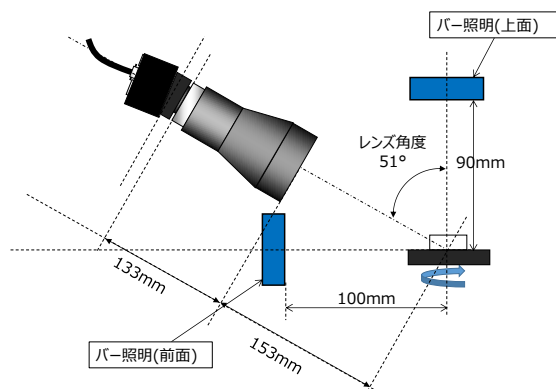


図1 光学構成

Surface inspection of industrial parts using multiple viewpoint images of telecentric lens camera

Tomoya Kaichi<sup>†</sup>, Shohei Mori<sup>†</sup>, Hideo Saito<sup>†</sup>, Junichi Sugano<sup>‡</sup>, and Hideyuki Adachi<sup>‡</sup>,

<sup>†</sup>Keio University <sup>‡</sup>Visco Technologies

### 3. 評価実験

#### 3.1 評価方法及び光学構成

実験では事前に検査部品の CAD モデルが与えられている。図 1 に示す光学構成のもと撮像された画像に対して提案手法を実行し、検査物体の任意の点をトラッキングできていることを目視で確認する。さらに傷上の点とその付近の傷のない平面上の点に関して画素値の推移を示し、それを傷検出に適用するための考察に発展させる。

#### 3.2 結果と考察

提案手法を実行する過程を図 2 に示す。検査物体のシルエット画像に対して Harris のコーナー検出処理を行うことで物体の角にあたる点が赤点で示される位置に検出されている。検出された 6 点をもとに最適化処理を行い、CAD モデルが物体に重なるように重畳された。

検査物体の複数点をトラッキングしたときの画素値の推移を図 3 に示す。グラフの画素値は指定した点を中心とした 7×7 のパッチの中の最大値を表している。図 3 の点(a)だけが傷上の点で、その他の点は傷の周囲の点を表す。物体を回転させて光の当たり方が変化すると傷上の点だけが白く反射し画素値が大きく変化する部分がある。周囲の点が比較的画素値の変化が少ないことと比べると顕著な差が現れた。以上により、提案手法によって検査物体の任意点のトラッキングを可能にし、傷上の点の周囲との明確な差を示したと言える。

提案手法は検査物体の上面だけでなく側面にも適用可能で、全面の点の傷上かどうかの判定が可能である。その判定方法としては画素値の推移の分散から判定する方法や機械学習の利用などが考えられる。

#### 4. むすび

本稿では、テレセントリックレンズを用いたカメラで工業部品を回転させながら撮影した画

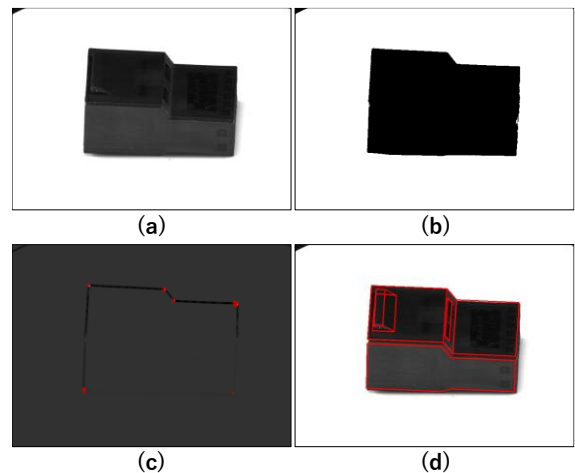


図 2 物体の初期位置推定 (a)検査物体, (b)二値化処理後, (c) Harris のコーナー検出後, (d)推定した物体位置に CAD モデルの辺の一部を重畳

像を用いて、検査物体表面の点をトラッキングし画素値の推移を比較することを傷検出の手法として提案した。また実画像を用いた実験により傷上の点と傷のない点との差を示した。

#### 参考文献

- [1]. T. S. Newman and A. K. Jain, "A survey of automated visual inspection," CVIU, Vol. 61, Issue 2, pp. 231-262, 1995.
- [2]. Z. Cui, *et al.*, "Real-time industrial vision system for automatic product surface inspection," Proc. ICIME, pp. 93-97, 2016.
- [3]. Yann Armand, *et al.*, "Detecting and measuring bent pins on electronic components," SPIE Newsroom, 2009.
- [4]. D. Li and J. Tian, "An accurate calibration method for a camera with telecentric lenses," Opt. Lasers Eng., Vol. 51, Issue 5, pp. 538-541, 2013.
- [5]. J. J. Moré, "The Levenberg-Marquardt algorithm: Implementation and theory," In *Numerical Analysis*, G. A. Watson ed., Lecture Notes in Mathematics 630, Springer-Verlag, pp.105-116, 1978.

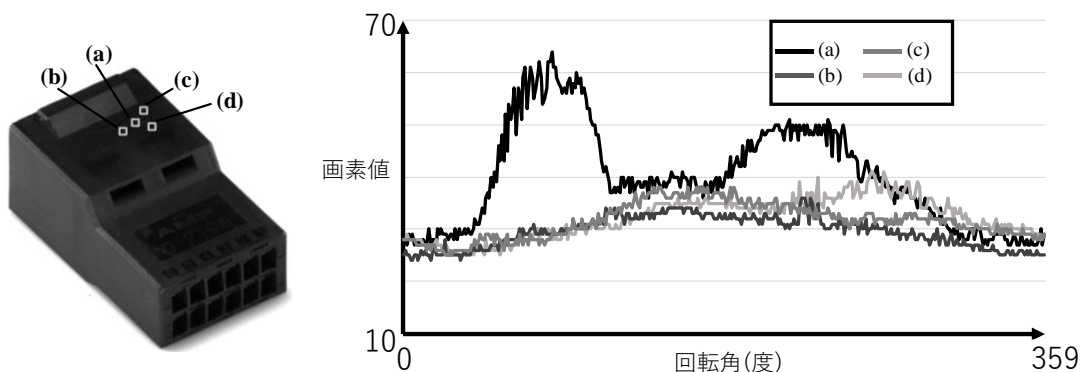


図 3 画素値の推移