



# ステレオカメラを用いた三次元皮膚変形計測装置の開発

田中 叡<sup>1)</sup>, 金子 征太郎<sup>2)</sup>, 梶本 裕之<sup>2)</sup>

1) 電気通信大学 情報理工学部 (〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, tanaka@kaji-lab.jp)

2) 電気通信大学 情報理工学研究科 (〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, {kaneko, kajimoto}@kaji-lab.jp)

**概要:** テクスチャを触った際の皮膚変形を計測することは、触覚ディスプレイの開発において重要である。この課題に対して同一屈折率のオイルに浸すことでテクスチャを透明化してカメラで皮膚変形を計測する研究が存在するが、テクスチャ面に対して垂直方向の皮膚変形は計測されていない。そこで本研究ではステレオカメラを用いて皮膚変形の水平・垂直成分を同時に計測可能とする装置を提案する。

**キーワード:** 皮膚変形計測, 触覚ディスプレイ, 三次元計測, テクスチャ面

## 1. はじめに

人間に対して感覚を提示する装置は、バーチャルリアリティにおいて不可欠な構成要素の一つである。そのうち視覚を提示する場合はヘッドマウントディスプレイ、聴覚に対してはヘッドホン等が一般的に用いられているが、触覚を提示する装置(触覚ディスプレイ)に関する研究も盛んに行われている。

触覚ディスプレイには様々な方式が存在するが、その多くは物体に触れた際の皮膚変形を再現することで触覚を再現している。たとえば、多数のピンを移動させる方式の触覚ディスプレイ[1]は、皮膚上の多数の点に局所的な移動を発生させているといえる。

この観点において、写実的かつ多様な触覚を再現可能な触覚ディスプレイを構築するためには、実際に物体を触ったときの皮膚変形と、それによって生起する触覚の関係性を解明することが重要である。たとえば、皮膚変形のうちのどのような成分が触覚に強く寄与しているのかを知ることができれば、その成分の再現に重点を置くことで、効率的に触覚ディスプレイを設計することができる。また、提示する触覚情報を合成する用途においても有用である。

皮膚変形と触覚の関係に関する探求の一環として、物体に触った際の皮膚変形を実際に計測する研究が行われて

いる。たとえば Hauser ら[2]は柔軟な物体を触った際に生じる指先の皮膚変形を計測しており、2台のカメラを使ったステレオカメラによって3次元的な計測を実現している。栗田ら[3]は、板と指の接触面をカメラで観察することにより、重量や摩擦を定量的に提示可能なデバイスを開発している。

このような取り組みの一つとして我々は、凹凸のあるテクスチャ面をなぞった際に生じる指先の皮膚変形を、カメラを用いて計測する手法を開発してきた[4]。この手法はテクスチャとして透明の亚克力板を使用し、それを屈折率の近いオイルに沈めることで、テクスチャを光学的に無視して皮膚を観察できるようにしたものである。

しかしながら、この手法はカメラで撮影された2次元画像を利用しているため、皮膚変形の水平成分を計測することは可能であるが、垂直成分の計測は実現されていない。Biggs ら[5]によれば指先の皮膚は垂直方向の変位よりも水平方向の変位に敏感であるとされている。しかし実際のテクスチャ知覚において垂直方向変位と水平方向変位それぞれがどのように関係するかを明らかにする観点からも、垂直方向の皮膚変形計測が必要である。

本稿では、テクスチャ面をなぞった際の皮膚変形を、オイルを用いて計測する手法[4]をもとに、Hauser らの研究[2]で使用されているステレオカメラを組み合わせた皮膚変形計測装置を提案する。これによって、テクスチャ面に

対する皮膚変形を3次元的に計測することが可能となる。

## 2. 提案手法

### 2.1 計測装置

提案する計測装置の構成を図1に示す。また試作した装置の写真を図2および図3に示す。この装置の基本原理は先行研究[4]と同じく、テクスチャを屈折率の近いオイルに浸すことで光学的な透明化をはかるものである。したがってテクスチャはアクリル樹脂製であり、アクリル樹脂とほぼ同一の屈折率を持つシリコンオイル(信越シリコン, KF-53)に沈められている。また、水槽の材質もアクリル樹脂である。これらの屈折率が一致することによ

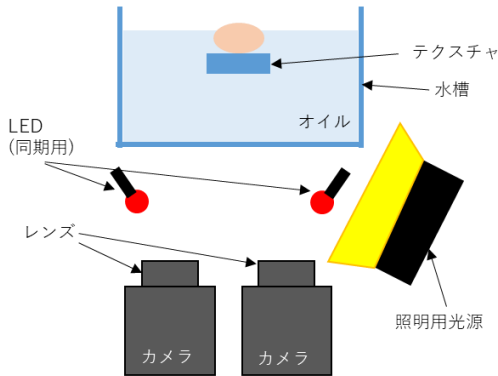


図1: 計測装置の構成

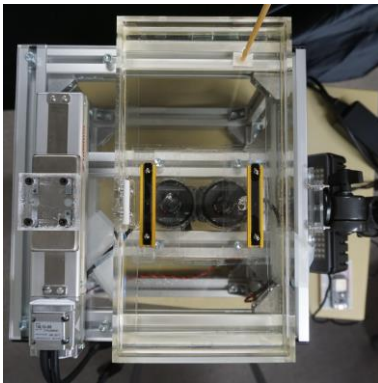


図2: 計測装置写真(上面)

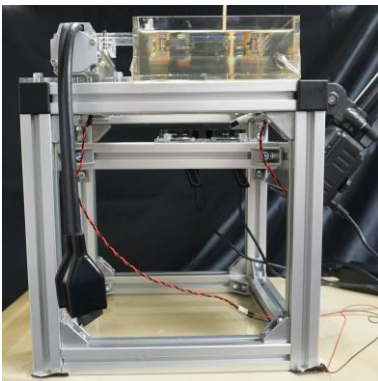


図3: 計測装置写真(前面)

り、光学的には、空気中に浮かんだオイルの中に指が置かれているような状態として扱うことができる。

皮膚の観察は2台のデジタルカメラ(SONY, DSC-RX0)を組み合わせたステレオカメラによって行う。このカメラは高フレームレート(960fps)での撮影が可能であり、スマートフォンから2台同時に制御することができる。また短い距離にピントを合わせるため、各カメラにはクローズアップレンズ(Kenko, MC No.10)を装着する。

2台のカメラはスマートフォンから同時に制御されているが、撮影が開始・終了するタイミングはわずかに異なっている。これを補正するため、各カメラの視界内にLEDを設置し、同時に点滅させることで時刻の基準とする。

皮膚変形を追跡する際は、Hauserらの手法[2]にない、チェッカーボード状のパターンを指に付与してマーカとする。パターンの付与はスタンプを指に押し当てることで行う。

本稿の段階では使用していないが、テクスチャをなぞった状態で計測を行う場合は、先行研究[4]と同様にリニアアクチュエータ(YAMAHA, T4L)を用いてテクスチャを移動させることができる。

### 2.2 画像処理

2台のカメラで撮影された動画は画像処理プログラムによって処理され、動画のフレームごとに皮膚変形の値を物理的な座標として算出する。プログラムは画像処理ライブラリOpenCV(<https://opencv.org/>)を用いて実装されている。

なお、各カメラの特性やカメラ間の位置関係を利用して被写体の物理的な座標を求め、さらにレンズ等による画像の歪みを補正するため、OpenCVの関数(calibrateCamera, stereoCalibrate)を用いてカメラキャリブレーションを行う。その際にはチェッカーボードの印刷された紙にラミネートを施したマーカ(図4)を用いる。テクスチャやそれを支持する器具をすべて取り外した状態でキャリブレーション用マーカをオイルに入れ、様々な姿勢のマーカを撮影した画像をキャリブレーションに用いる。

画像処理プログラムでは最初に、各カメラの画像上でチェッカーボードマーカの交点座標を検出する。この処理にはOpenCVのチェッカーボード検出機能を用いる。さらに、前述のカメラキャリブレーションで得た情報を用いてレンズ歪みの影響を補正する。補正にはOpenCVの

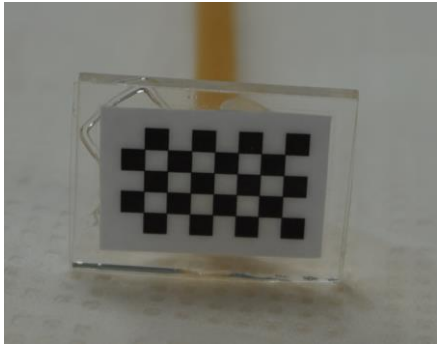


図 4: キャリブレーション用マーカ

undistortPoints 関数を使用する。

次に、左右カメラ双方の画像における同一点の座標から、ステレオ計測の方法 (OpenCV の triangulatePoints 関数) で点の物理的な座標を算出する。ここで求められる値は三次元的な物理量である。

### 3. 予備実験

実際に皮膚変形を計測する前の予備実験として、指に見立てた物体の形状を凹凸ともに約 1mm 幅のテクスチャ

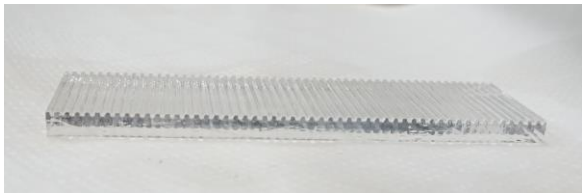


図 5: 予備実験に使用したテクスチャ

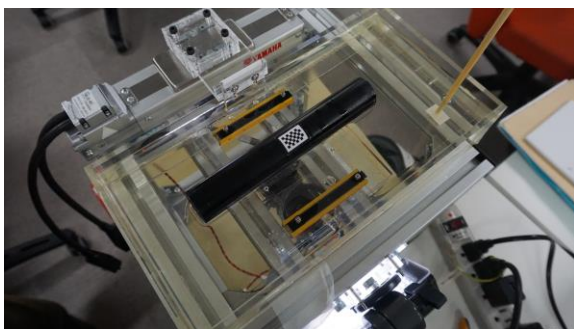


図 6: 予備実験用円筒の配置



図 7: 予備実験に使用した円筒

(図 5) 越しに計測した (図 6)。指に見立てた物体はチェッカーボードパターンを貼り付けた円筒である (図 7)。円筒の直径はパターンの貼られていない部分で 27.6mm であった。パターンはキャリブレーション用のものと同様にラミネートされた紙を使用し、瞬間接着剤で円筒に固定した。

本装置の撮影結果は動画像として得られるが、その中のあるフレームにおいて計測結果から 1 列の 4 点を取り出し、X-Z 平面上にプロットしたものを図 8 に示す。また、その時の各カメラの画像を図 9 と図 10 に示す。この計測結果は円筒の真値から少し異なっているが、円筒下部の湾曲した形状が結果に反映されていることが確認できる。

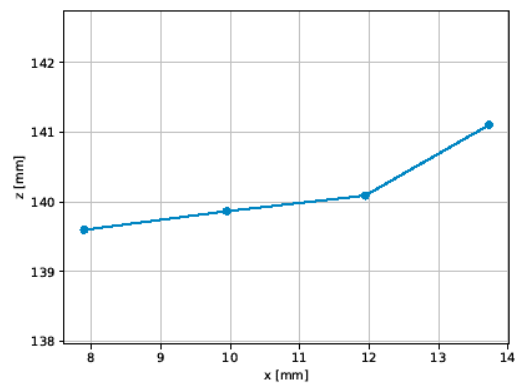


図 8: 計測結果



図 9: 左カメラの画像



図 10: 右カメラの画像

#### 4. おわりに

本稿では、皮膚変形と触覚の関係を調査する方法の一環として、テクスチャ面をなぞった際に生じる指先の皮膚変形を、ステレオカメラを用いて三次元的に計測する装置を提案した。また予備実験として指に見立てた円筒の形状をテクスチャ面越しに計測し、その形状が計測結果に反映されていることを示した。

しかしながら、上記の予備実験では物体の形状が計測結果に反映されることを定性的に確認したのみであり、計測結果と実際の形状を比較した考察は行っていない。また、単純な形状の物体ではなく実際の指を用いた計測は、現時点では完成に至っていない。

したがって、今後は実際にテクスチャを指でなぞった際の皮膚変形を計測することを第一の目標とする。また、本装置の計測精度を定量的に評価するための実験や、それを踏まえた性能向上のための改良を行う予定である。

**謝辞** 本研究は JSPS 科研費 JP15H05923 の助成を受けたものです。

#### 参考文献

- [1] Qi Wang and Vincent Hayward: Compact, Portable, Modular, High-performance, Distributed Tactile Transducer Device Based on Lateral Skin Deformation, *2006 14th Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, pp. 67-72, 2006.
- [2] Steven C. Hauser and Gregory J. Gerling: Imaging the 3-D deformation of the finger pad when interacting with compliant materials, *2018 IEEE Haptics Symposium (HAPTICS)*, San Francisco, CA, pp. 7-13, 2018.
- [3] 栗田雄一, 米澤智, 池田篤俊, 小笠原司: 指先接触面の滑り量制御による重量・摩擦呈示デバイス, *日本ロボット学会誌*, Vol. 3, No. 2, pp. 205-212, 2012.
- [4] 金子征太郎, 梶本裕之: テクスチャ面に対する指表面挙動の観察に関する諸考察, *日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017*, 2017.
- [5] James Biggs and Mandayam A. Srinivasan: Tangential versus normal displacements of skin: relative effectiveness for producing tactile sensations, *Proceedings 10th Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems. HAPTICS 2002*, Orlando, FL, pp. 121-128, 2002.