

物体の表面特性の違いによる 弾性体接触面の変化に関する考察

荒川 剛^{1,a)} 中原 昭² 鎌水 清隆² 高橋 雅人² 辻 敏夫³ 栗田 雄一³

概要：人は指先の滑りにより物体の表面特性を知覚しているともいわれる。本研究では、人の指先の滑りを測定する前段階として、人に近い弾性率を持つ半球状の人肌ゲルを用いて、ゲルを平板に押し付け接線方向の外力を印加したときに発生する接触面の変化を計測した。また平板表面の特性を変化させ、接触面の振る舞いと物体の表面特性の関係について検証した。

キーワード：触覚，接触面，偏心率

1. はじめに

ペットボトルや缶飲料などの製品において、その製品の持ちやすさは製品の付加価値を決める重要な要素の一つである。そのため製品を開発する上で持ちやすい製品設計を考える必要があるが、その際に製品の持ちやすさを評価する手法が必要になる。従来より、製品の持ちやすさ評価に関する研究は数多く行なわれている。その方法の一つとして、生体信号を用いた手法の研究が行なわれている。高野らは円筒物体把持時の筋電と手指掌の把持形態を測定し、円筒の直径と重量変化時の握り感覚を明らかにした [1]。松木らはペットボトル把持時の身体負担度を筋電計測を行なうことによって評価している [2]。これらは実物体を把持した際に持ちやすさの評価を行なう手法となるが、一方で人の生体力学構造を模したモデルを用いたシミュレーションを行ない、コンピュータ上で持ちやすさを評価する手法が提案されている。池田らは筋骨格モデルを作成し腱張力の推定により持ちやすさを評価する方法を提案している [3]。遠藤らは仮想空間上に人間の手指と製品のモデルを構築し評価を行なっている [4]。ここでモデルを用いた製品の持ちやすさ評価には物体と手の接触状態のモデル化が不可欠であるが、これらの研究の多くは剛体同士の接触から算出された摩擦係数を滑りやすさとしてモデルに用いている。しかし、人の指は骨、皮下組織、皮膚などから構成される複雑な弾性体であり、摩擦係数により滑りやすさを厳密に評

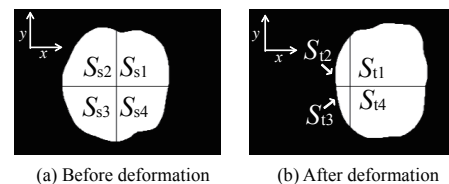


図 1 接触面変化

Fig. 1 Change in the contact area

価することは難しい。

指を複雑な弾性体であることを考慮した持ちやすさ評価を行なうために多田らの研究に着目した。多田らは、物体の表面特性によって変化する指先の滑り度合いを知覚して、人は物体把持を実現していることを示唆している [5]。この研究より、指の接触面の変化の度合は持ちやすさと密な関係があることが伺える。このことより、接触面画像を撮影することで、製品の持ちやすさを定量的に評価し、製品設計に応用できる可能性がある。そこで本稿では、さまざまな素材特性を持つ平板に対して理想的な弾性体である人肌ゲルを押し当て、強制変位を加えた時に発生する接触面の変化により、素材特性が弾性体変形に与える影響を考察する。

2. 接触面評価指標

接触面変化を表す指標として、Kurita らが提案した偏心率を用いる [6]。偏心率とは、接触面の移り具合を示す指標である。例えば、接触面が図 1 の (a) から (b) の状態へと変化したとき、 x 方向における偏心率 e_x は図 1 に示される面積 S を用いて次式で定義される。

$$e_x = \left(\frac{S_{t1} + S_{t4}}{S_t} - \frac{S_{t2} + S_{t3}}{S_t} \right) - \left(\frac{S_{s1} + S_{s4}}{S_s} - \frac{S_{s2} + S_{s3}}{S_s} \right) \quad (1)$$

¹ 広島大学大学院工学研究科

² DIC 株式会社

³ 広島大学大学院工学研究院

^{a)} arakawa@bsys.hiroshima-u.ac.jp

また、偏心度は指先変形に伴う接触面の重心の微小変位と比例関係にあることが分かっており [6]、偏心度により指先接触面変化の度合いを評価することができる。

3. 偏心度測定システム

3.1 装置概要

弾性体に一定の外力を印加した時に起こる接触面の変化を測定するため、図2に示す装置を作成した。測定装置は、透明アクリルプレート、力センサ (Leptrino, CFS080CA501U)、接触面計測用カメラ (ViewPlus, Firefly MV)、アクリル板に押し付ける測定対象の力の大きさを一定に調節するための手動ステージ (MiSUMi, ZEFS60) ならびにアクリルプレートを動かすための電動ステージ (シグマ光機製, SGAM26-150) から構成される。装置の使用方法としては、図2のようにアクリルプレート上に測定対象を押し当て、手動ステージによりアクリル板に押し当てる力の大きさを調節する。装置には力センサが取り付けられており、実験時には力の大きさを記録している。この状態においてアクリル板を電動ステージにより移動させ、測定対象に接線方向の外力を印加する。その時の接触面の変化を内側に設置したカメラにより撮影する。接触面のみを撮影するために、アクリル板に赤外線光を入射し、赤外線透過フィルタを取り付けたカメラで撮影する FTIR 方式を用いた [7]。さらに、撮影した画像に画像処理を施すことにより偏心度を算出した。ここでアクリル板の表面には微小なビーズを処方したニス塗布したフィルムの張り付けを行っており、フィルムに塗布されるビーズの大きさ、硬さを変更することにより異なる素材特性をもつ接触面を創出することを可能とした。

3.2 画像処理部

ここでは、偏心度を算出するために必要な画像処理について説明を行なう。本研究では、画像処理に OpenCV を用いた。撮影された接触面画像に対し、二値化、ラベリング処理を用いて接触面のみを抽出する。その指先接触面画像に対し、重心の算出を行ない、重心を中心に領域を上下左右に四分割し、それぞれの領域の面積の算出することにより偏心度を求める。画像処理過程を図3に示す。図3では左からカメラにより撮影された画像、接触面のみを抽出した画像、接触面画像に対し重心を中心に上下左右に4分割した画像を示す。

4. 偏心度検証実験

4.1 実験条件

実験条件として、測定対象を理想的な弾性体である人肌ゲルとした。人肌ゲルは超軟質ウレタン樹脂を原料としたシリコンゲルであり、人肌の柔らかさを再現した物質である。人肌ゲルをアクリル板に押し付ける力の大きさを5

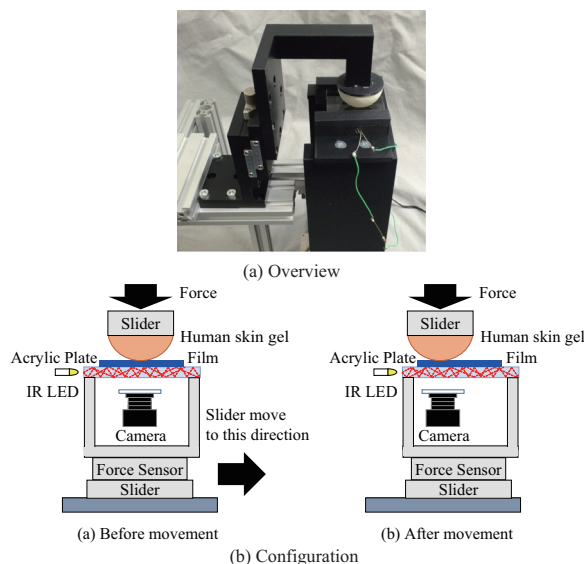


図2 実験装置

Fig. 2 Experimental equipment



図3 画像処理過程

Fig. 3 Image processing

[N] に調節した状態で、スライダを移動速度 2.5 [mm/s]、移動距離 10 [mm] で移動させ、偏心度の計測を行なった。カメラは 30 [fps] で撮影を行ない、力センサのサンプリング周波数は 1200 [Hz] とした。またアクリル板に張り付けるフィルムは表面に塗布されるビーズの硬さと大きさが異なり、ビーズの大きさは 6 [μm] から 92 [μm] までの 7 種類が存在し、ビーズの硬さは軟らかいものから順に S (ソフト), M (ミディアム), H (ハード), SH (スーパーハード) の 4 種類が存在する。また、ビーズの塗布されていないフィルム「STD」を実験に使用した。接触表面の素材特性はビーズの大きさと硬さの異なる 11 種類のフィルムにより変化させた。以上の条件においてすべてのフィルムに対して各 4 回ずつ計測を行なった。

4.2 実験結果

図4にスライダ変化に対する偏心度と力の変化の一例を示す。横軸はスライダ移動量、縦軸は偏心度、力の大きさを示している。図4よりスライダ移動に伴い偏心度が増加していることが確認できる。また、スライダ移動に対し垂直方向の力は一定に保たれており、接線方向の力はスライダ移動に伴い増加していることが確認できる。本稿では、滑りを偏心度の傾きを用いて評価を行なう。スライダ移動距離 1 [mm] 以降の偏心度の変化に対し、近似直線を取りその傾きを算出した。スライダ移動距離 1 [mm] 以降の偏心度を用いる理由としては偏心度の立上り部分による影響を

除くためである．近似直線を加えたグラフを図5に示す．

図6に接触表面に用いたフィルムの摩擦係数，算術平均粗さと偏心率の近似直線の傾きの関係を表したグラフを示す．横軸に静摩擦係数，算術平均粗さ，縦軸に偏心率の傾きをとっている．このグラフより摩擦係数が大きいほど偏心率の傾きが小さく，人肌ゲルの滑りが小さくなっていることが確認できる．しかし，接触表面の算術平均粗さと偏心率の関係は見られなかった．偏心率の傾きに対する摩擦係数と算術平均粗さの相関係数と p 値を表1に示す．

4.3 考察

図6よりフィルムの摩擦係数の大きいほど偏心率が小さくなる傾向が確認できた．この傾向の原因の考察を図7を用いて説明する．図7は人肌ゲルの変形の様子を示している．左の変形前から平板が移動し右の変形後へと変化する．この時，人肌ゲルの平板移動方向の接触面積の増加の度合いは平板の摩擦係数の大小にかかわらずほぼ同量であった．しかし，平板移動方向と反対側では平板の摩擦係数が小さくなるほど人肌ゲルと平板の固着が弱くなるため接触面積が小さくなる傾向が確認された．以上のことが摩擦係数が大きいほど偏心率が小さくなる原因であると考えられる．今回の実験の結果からは算術平均粗さと偏心率の関係性は確認できなかったが摩擦係数の違いにより偏心率に影響が出ることが確認できる．

5. まとめと今後の課題

本稿では，指先の接触面の変化を示す偏心率という指標に着目し，人肌ゲルの滑りの度合いと接触表面の素材特性の関係について考察を行なった．実験結果からは理想的な弾性体においては偏心率と摩擦係数の関係を確認でき，偏心率により素材特性が評価できることを確認した．

今後は人肌ゲルではなく人の示指を用いた素材特性と偏心率の関係の検証を行なっていきたい．

参考文献

- [1] 高野 剛, 山本 仁, 原 利招; 円筒物体の握り感覚の解明, 日本機械学会論文集 (C 編), vol.63-607, pp.941-951(1997).
- [2] 松木 孝憲, 小竹 元基: 2L ペットボトル使用時の身体負担評価法, 設計工学・システム部門講演会講演論文集, No19, pp.270-274(2009).
- [3] 池田 篤俊, 栗田 雄一, 小笠原 司: 腱骨格モデルを用いたつまみやすさの評価, 日本ロボット学会誌, vol.28-2, pp.191-199(2010).
- [4] 遠藤 維, 金井 理, 岸浪 建史, 宮田 なつき, 河内 まき子: デジタルハンドとプロダクトモデルとの統合によるエルゴノミック評価システムの開発, 精密工学会誌, vol.74-2, pp.182-187(2008).
- [5] Tada, M., Kanade, T.: *An imaging system of incipient slip for modeling how human perceives slip of a fingertip*, the 26th Annual International Conference of the IEEE EMBS, vol.1, pp.2045-2048 (2004).
- [6] Kurita, Y., Ikeda, A., Ueda, J. and Ogasawara, T.: *fin-*

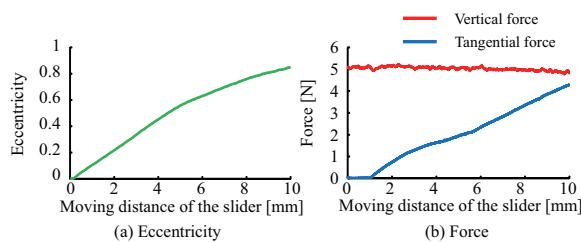


図4 スライダ移動距離に対する偏心率と力変化
 Fig. 4 The relationship among eccentricity, force and moving distance

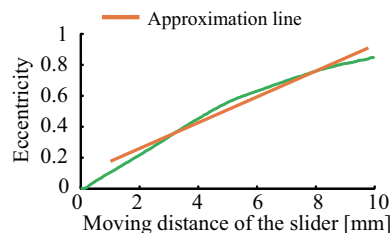


図5 近似直線
 Fig. 5 Approximation line

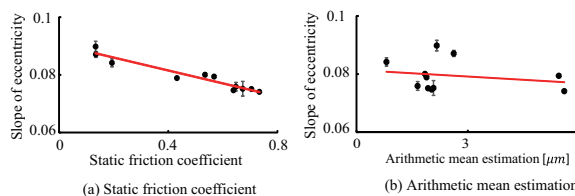


図6 実験結果
 Fig. 6 The Experimental results

表1 偏心率の傾きと素材特性

Table 1 The relationship between slope of eccentricity and surface characteristics

	Correlation coefficient	p value
Static friction coefficient	-0.93	1.9×10^{-6}
Arithmetic mean estimation	-0.21	0.52

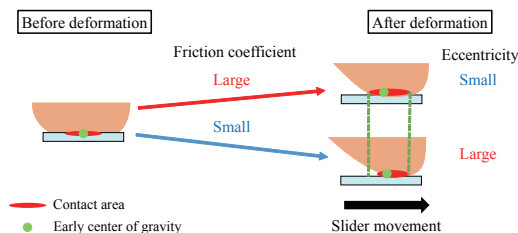


図7 偏心率と摩擦係数
 Fig. 7 Eccentricity and friction

gerprint pointing device utilizing the deformation of the fingertip during the incipient slip, IEEE TRANSACTIONS ON ROBOTICS, vol.21-5, pp.801-811 (2005).

- [7] Han, J. Y.: *Low-cost multi-touch sensing through frustrated total internal reflection*, In ACM UIST, pp.115-118 (2005).