

彫込取っ手の使いやすさ予測のための指先変形挙動解析法

Fingertip Deformation Analysis for Predicting Ease of Use of Recessed Handle

齊藤 公昭* · 小川 哲史** · 阿部 圭子**
Masaaki Saito Tetsushi Ogawa Keiko Abe

システムキッチンや洗面化粧台などに用いられている彫込取っ手の使いやすさの評価において、指先を3次元有限要素モデルとして表皮、真皮、皮下組織、骨に分割し、骨以外は超弾性体（OGDEN体）と考えることで、その解析結果から得られた指先と取っ手の接触面積の関係が使いやすさの官能評価結果とよく一致することが確認できた。

これにより、使いやすさの評価に関しては、従来の試作品による官能評価から製品の3次元データによる評価が可能となり、開発期間の短縮や設計品質の向上を実現できる。

In the course of evaluating the ease of use of a recessed handle used in system kitchens and vanities, concurrence has been confirmed between the sensory evaluation results and the contact area of a fingertip and handle surface. The latter was analyzed with a 3D finite element model by dividing a fingertip into the epidermis, dermis, hypodermis and bone and treating each element as a superelastic (Ogden) body (except for the bone).

These findings enables the evaluation of ease-of-use by means of the product's 3-dimensional data instead of a conventional sensory test on a prototype. The end result is a reduction in the development lead-time and improvement of the design quality.

1. ま え が き

システムキッチン、洗面化粧台などに採用されている彫込取っ手は図1(b)に示すように取っ手の凹凸が少ないため小さな子供が頭をぶつける心配がなく、かつ、シンプルなデザインが可能であるため、近年ニーズが高まりつつある。しかし、取っ手形状に寸法の制約があるため、指が掛かりにくくて使いにくいなどの問題を生じる可能性がある。したがって、取っ手の使いやすさに関して十分な検討が必要である。

一方、使いやすさの評価としては官能評価手法が一般的であり、実施のしやすさや総合評価が容易といった長所がある反面、個人差が大きいことと同一人でも自己の評価基準を維持することが困難であることが問題点として挙げられる¹⁾。

そこで、評価順序をランダムにしたり、被験者数を多くするなどして問題を解決しようとしているが、そうした場合には評価期間が長くなってしまふ。また、物理量と官能評価値との相関を調べることにより、前記の問題を解決す



(a) 通常の取っ手



(b) 彫込取っ手

図1 取っ手の種類

* 先行技術開発研究所 Advanced Technologies Development Laboratory

** (株)松下電工解析センター Matsushita Electric Works Analysis Center Co., Ltd.

る手法も提案されている²⁾。その場合においても、試作品による検証が必要である。

筆者らは設計段階において、迅速に取っ手の使いやすさの評価が可能な指先変形挙動解析法を開発した。解析プロセスはまず、指先の変形挙動を有限要素解析で予測し、次にこれから得られた取っ手と指先の接触面積のデータから取っ手の使いやすさを予測している。

本稿では、①使いやすさの因子抽出（官能評価）、②官能評価値と物理量の相関確認、③相関のある物理量の解析手法の構築の三つのステップで実施したので報告する。

2. 使いやすさの因子抽出（官能評価試験）

2.1 被験者

被験者は男性 10 名、女性 10 名の計 20 名とする（31 歳～74 歳）。

2.2 評価サンプル

評価に用いたサンプルは 14 種類で、材料はアルミニウムを使用する。サンプルの断面図を図 2 に示す。

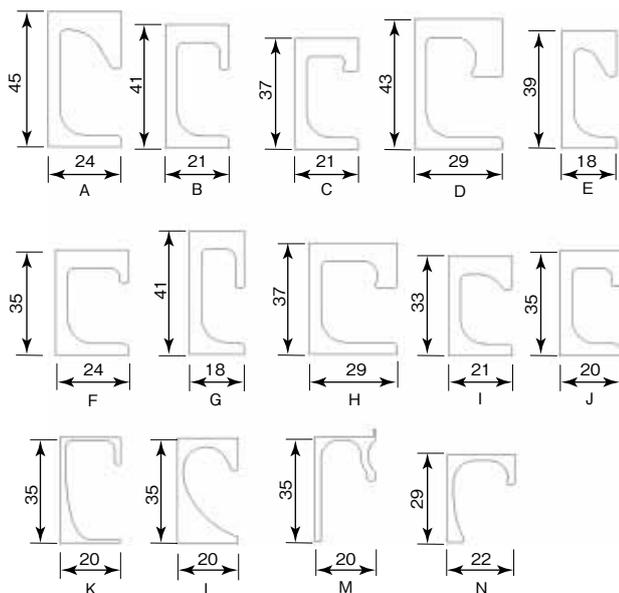


図2 彫込取っ手の評価サンプル

2.3 評価手順

被験者にすべてのサンプルを提示した後、順序効果を除くためランダムな順序で個別サンプルの評価を実施する。まず、引出しに評価する取っ手を固定し、次に約 20 kg の重りを入れた引出しを開閉して使いやすさを 5 段階で評価する。使いやすさの評価は、使いやすいを 5 点、使いにくいを 1 点とする。この官能評価の様子を図 3 に示す。

2.4 官能評価の結果

各サンプルの評価結果を図 4 に示す。この結果から使いやすいサンプルから使いにくいサンプルまで含まれてい



図3 官能評価の風景

ることが確認できる。使いやすいサンプル（A, L）は指先にフィットする形状であり、使いにくいサンプル（G）はフィットしない形状である。このことから、取っ手の使いやすさは取っ手と指先の接触状態に依存するものと考えられる。そこで、取っ手の使いやすさと取っ手と指先の接触面積（以下、接触面積と記す）に相関があるとの仮説を立てて、検証する。

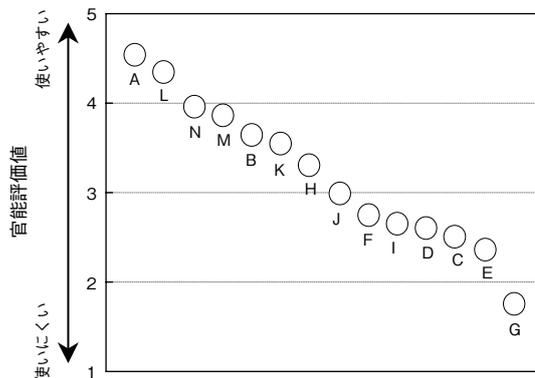


図4 官能評価の結果

3. 使いやすさと接触面積の相関

3.1 指先と取っ手の接触面積の計測

この仮説を検証するため、接触面積の計測を行い、官能評価値との相関の確認を行う。接触面積の計測には I-SCAN（ニッタ（株）製）を用いる。I-SCAN は厚み約 0.1 mm の圧力センサシートで、曲面である彫込取っ手に密着させることが可能である。I-SCAN の仕様を表 1 に示す。また、計測のばらつきを減らすため、被験者は人差指 1 本で取っ手を操作し、接触面積を計測する。

表1 I-SCANの仕様

シート厚み (mm)	約0.1
シートサイズ (mm)	56×56
分解能 (mm)	1.27
測定圧力範囲 (kPa)	20~250

3.2 官能評価と接触面積の相関

使いやすさの評価（官能評価値）と接触面積の関係を図5に示す。この図から接触面積と官能評価値との間には非常に高い相関関係がみられ、使いやすさと接触面積には相関があるという仮説が検証できる。また、彫込取っ手では接触面積が大きいほど使いやすさの評価が高くなることわかる。さらに同図から、官能評価値が4以上であるためには接触面積が170 mm²以上必要であることもわかる。

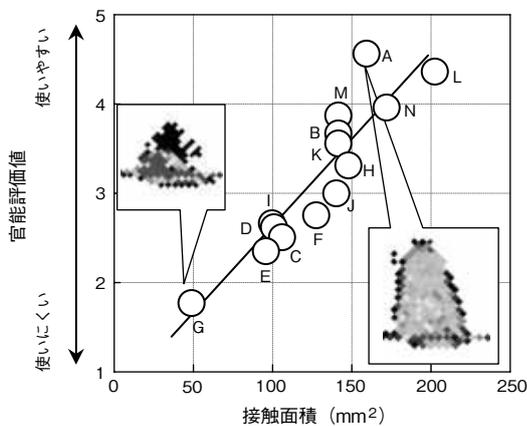


図5 官能評価値と接触面積の関係

4. 接触面積の解析手法

4.1 有限要素モデル

接触面積を設計段階で解析的に得ることができれば、実物での官能評価を行うことなく取っ手の使いやすさが評価できる。そこで、筆者らは指先の変形挙動が再現でき、接触面積の導出が可能な有限要素解析手法の開発を行う。

有限要素モデルとしては、人差指の指先を対象とし、表皮、真皮、皮下組織、骨部に分けて3次元6面体要素で要素分割を行う。また、指先は左右対称であると仮定し、1/2モデルとする。有限要素モデルを図6に示す。指の大きさは当社保有のデータベース（20～64歳）における平均値を用い、骨格形状については骨格モデルA40/1R（株）アヴィス製を参考に行っている。また、骨と取っ手はほかの材料に比べ十分硬いので剛体とする。有限要素解析には汎用有限要素法ソルバABAQUS^{*1)}を使用し、幾何学的非線形を考慮する。

表皮、真皮と皮下組織の材料物性として超弾性体（OGDEN体）を採用する。これらを非圧縮性と仮定した

場合、ABAQUSで定義されたOGDEN体の歪エネルギーUは次式で表される。

$$U = \sum_{i=1}^N \frac{2\mu_i}{a_i^2} \left(\lambda_1^{a_i} + \lambda_2^{a_i} + \lambda_3^{a_i} - 3 \right) \quad (1)$$

ここで、 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ は各軸の主伸長比であり、 a_i と μ_i は材料パラメータである。

有限要素解析で接触面積を正確に求めるためには材料物性が重要であり、 a_i と μ_i を可能なかぎり正確に求める必要がある。既稿^{3), 4)}では指先の圧縮試験から荷重と変位を計測し、その試験をモデル化した有限要素解析を行うことにより人の表皮、真皮および皮下組織の縦弾性率を求めている。その際の表皮、真皮の厚みはそれぞれ約1.0 mm, 0.75 mmである。

筆者らは前記の方法と同様に、圧縮試験を想定した有限要素モデル（図7）を作成し、解析結果が圧縮試験の結果と一致するように表皮、真皮および皮下組織の a_i と μ_i をそれぞれ決定している。

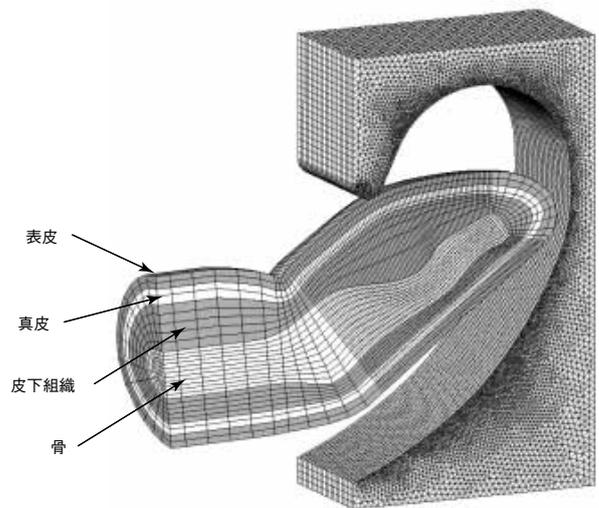


図6 指先の有限要素モデル

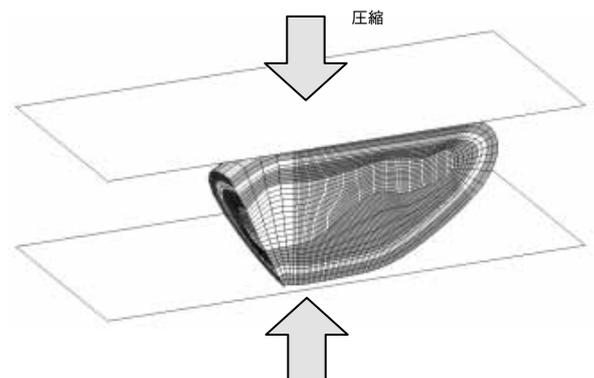


図7 指先の圧縮試験の有限要素モデル

4.2 境界条件の設定

有限要素モデルの境界条件は接触面積を求めようとして材料物性と同等に大変重要である。通常であれば取っ手操作時の荷重を測定し、その値を境界条件として有限要素モデルに適用する。しかし、実際の指先の挙動を観察すると指は回転しながら取っ手に接触しているため、単純に荷重の値を適用するだけでは実際の接触状態と一致しない。

そこで、正確に接触面積を得るために、実際の指の挙動と一致するように解析の境界条件を決定する。まず、引出し操作時の指の変形状態をカメラで撮影し、その画像から指の輪郭を切り出す。その輪郭と有限要素解析による指の変形が目視で一致するように境界条件を決定する。実際の指の撮影画像と有限要素解析結果の変形状態を図8に示す。このように境界条件を与えることにより、解析と実際の指先の変形挙動がほぼ一致することが確認できる。

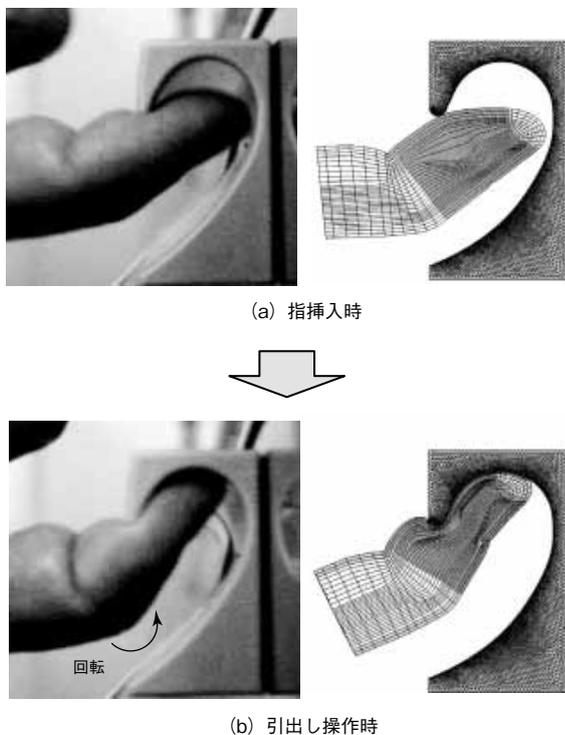


図8 指先の変形挙動

4.3 有限要素解析結果

指先の接触圧力分布について解析と実験から得られた結果を図9に示す。本稿で使用した圧力センサシートの空間分解能は約1mmのため、実験結果の分布が粗くなっているが、接触の領域はほぼ一致していることが目視で確認できる。有限要素解析から得られた各サンプルに対する指先の変形状態を図10に示す。官能評価で使いにくいとの結果であったC、D、E、Gのサンプルは有限要素解析結果においても接触面積が少ないことが明らかである。

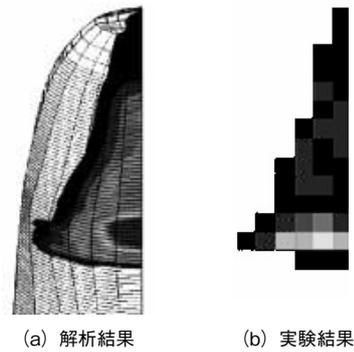


図9 接触圧力分布比較例

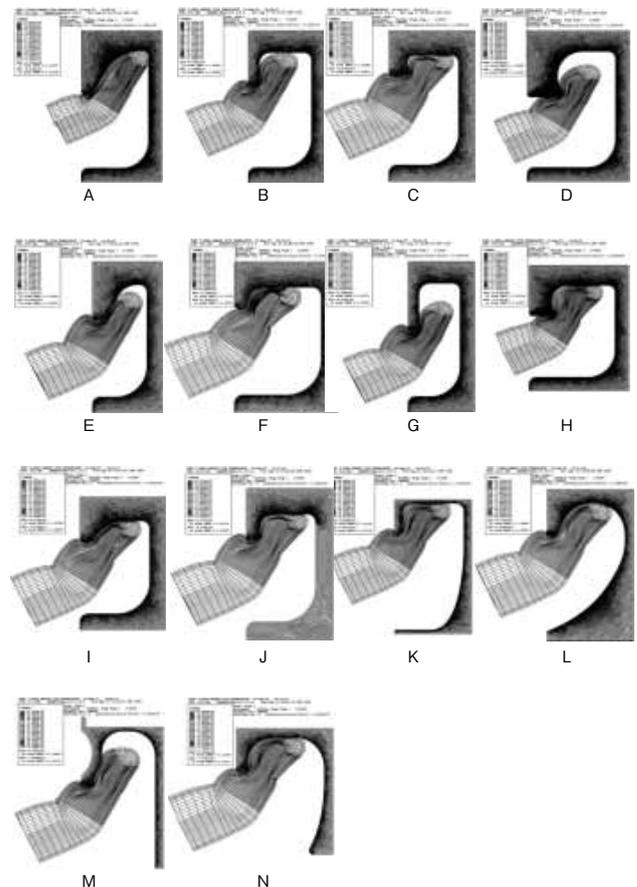


図10 指先の変形挙動結果

4.4 解析結果と官能評価値の比較

図5に示したように官能評価値と接触面積の相関関係が明らかであるが、確認のため有限要素解析結果から得られた接触面積と官能評価値の相関分析を行う。その結果、図11に示すように両者間にも相関関係があることが確認できる。

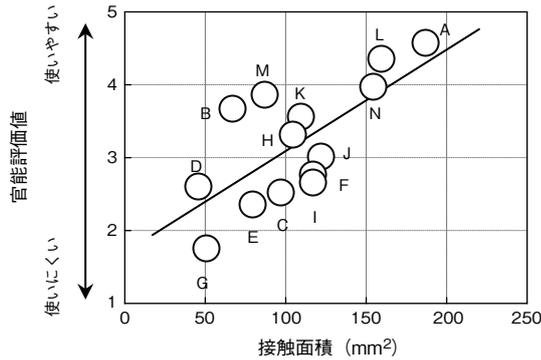


図11 解析から得られた接触面積と官能評価値(主観評価)

以上、本解析手法は、実験結果をほぼ再現しており、彫込取っ手の使いやすさの予測が可能である。

5. あとがき

システムキッチンや洗面化粧台などに用いられている彫込取っ手の使いやすさの評価において、指先を3次元有限要素モデルとして表皮、真皮、皮下組織、骨に分割し、骨以外は超弾性体(OGDEN体)と考えることで、その解析結果から得られた接触面積が使いやすさの官能評価結果とよく一致することが確認できた。

これにより、使いやすさの評価に関しては、従来の試作品による官能評価から製品の3次元データによる評価が可能となり、開発期間の短縮や設計品質の向上を実現できる。

●注

* 1) ABAQUS：米国 HKS 社の登録商標

*参考文献

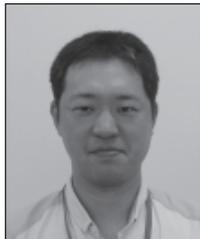
- 1) 水野 康文：ヒューマンセンシング，YAMAHA MOTOR TECHNICAL REVIEW, No. 39 (2005)
- 2) 小川 哲史，三原 泉，湯川 隆志，西澤 剛：電気シェーバの握り性の定量評価法，松下電工技報，Vol. 52, No. 3, p. 24-29, (2004)
- 3) 前野 隆司，小林 一三，山崎 信寿：ヒト指腹部構造と触覚受容器位置の力学的関係，日本機械学会論文集 C 編，63 巻，607 号，p. 881-888 (1997)
- 4) 前野 隆司，山田 大介，佐藤 英成：ヒト指紋形状の力学的意味，日本機械学会論文集 C 編，71 巻，701 号 (2005)

◆執筆者紹介



斉藤 公昭

先行技術開発研究所



小川 哲史

(株) 松下電工解析センター
人間工学会認定
人間工学専門家



阿部 圭子

(株) 松下電工解析センター