

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 24 日現在

機関番号：14101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23650351

研究課題名(和文)使いやすい福祉用具開発を目的としたユニバーサルデザインの概念の数理モデル化

研究課題名(英文)Development of Mathematical Models for Welfare Devices Considering Universal Design

研究代表者

川中 普晴(Kawanaka, Hiroharu)

三重大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：30437115

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円、(間接経費) 900,000円

研究成果の概要(和文)：本課題では、工学系・医学系研究者が相互に連携することにより、工学・医学的なアプローチから、ユニバーサルデザインの基本コンセプトを数理的なモデルとして記述することについて研究した。ここでは、印象材が塗布された把持体を握ることにより得られた把持形状を、三次元計測によりポリゴンデータ化した。得られたポリゴンデータから把持に対するユニバーサルデザイン(握りやすさ)を記述する数理モデルを構築するため、(1)ポリゴンデータからの把持特徴量の抽出法、(2)抽出された特徴量の傾向分析とその可視化、(3)研究成果を活用した把持体をデザインするための方法について検討し、試作品製作のためのシステム開発を行った。

研究成果の概要(英文)：Recently, many methodologies for industrial designing considering usability have been widely studied. For example, Banzai Factory Inc. has developed a tailor-made cup with curves just fitted to each person's grip form. This cup is called Waga-Hai. In the manufacturing process of Waga-Hai, the person's grip form is converted to 3D polygon data. We believe that these data have some important information to make mathematical models for determining a comfortable grip form. In this research project, we discussed feature extraction methods from the 3D polygon data and tendency analysis and visualization methods using them. By using the proposed method, positions/directions of fingers and relationships among them could be extracted from the 3D polygon data and visualized to design the cup considering a comfortable grip form. This project also developed the designing system to manufacture cups considering research outcome.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：ユニバーサルデザイン 福祉工学 リハビリテーション工学 把持体 握りやすさ

1. 研究開始当初の背景

日本は他国と比較して急速に高齢化が進みつつあるとともに、国際化や個人の価値観の多様化も顕著になりつつある。そのため、ものづくり産業においては、老若男女に限らず、障害者にも利用しやすい製品の設計・製造コンセプトが重要なテーマとなる。

このような社会情勢の中、近年ではユニバーサルデザインが注目を集めている。ユニバーサルデザインのコンセプトは、米国ノースカロライナ州立大学により「ユニバーサルデザインの7原則」として以下のように提唱されている。

- ・ Equitable use
(公平な利用)
- ・ Flexibility in use
(利用における柔軟性)
- ・ Simple and intuitive use
(単純で直感的な利用)
- ・ Perceptible Information
(認知できる情報)
- ・ Tolerance for Error
(失敗に対する寛大さ)
- ・ Low Physical Effort
(少ない身体的な努力)
- ・ Size and Space for Approach and Use
(接近や利用のためのサイズと空間)

しかしながら、この7原則には具体的な数値指標は存在しない。すなわち、日本工業規格(JIS)や国際標準化機構(ISO)のように、科学的・工学的な根拠に基づいた数値を基準としたガイドラインではない。そのため現在、製造された製品が「ユニバーサルデザイン」であるかどうかは各企業に強く依存しており、その根拠は統一的ではない。福祉用具とはじめとする様々な製品製造においてユニバーサルデザインの概念を導入するには、その概念を工学的・医学的に分析し、数理的なモデルとして記述する必要がある。

2. 研究の目的

研究では、工学系・医学系研究者が相互に連携することにより、工学・医学的なアプローチから、ユニバーサルデザインの基本コンセプトを数理的なモデルとして記述することを目的とする。特に本課題では、把持体の三次元ポリゴンデータを分析することにより、把持に対するユニバーサルデザイン(握りやすさ)を記述する数理モデル構築のための研究を進める。具体的には以下の3点に焦点を絞り、研究を進めた。

- (1) 印象材が塗布された物体を握ることにより、得られた把持形状(各ユーザにとって最も握りやすい形状)を三次元データ化する。そこから把持力とその方向、指の向きや間隔等といった把持に関する特徴を抽出するための方法について検討する。

- (2) 抽出された特徴量を分析し、得られた把持体の把持特徴の傾向について明らかにする。またさらに、得られた特徴量の数理モデル構築に関する有用性について検討する。

- (3) 抽出された特徴量を可視化する方法について検討し、これらを用いて把持体をデザインするための方法について検討する。

3. 研究の方法

本研究では、株式会社バンザイ・ファクトリーの協力のもと、握り型の象り(かたどり)と三次元データ化を実施した。ここでは、図1(a)に示すようなバーベル状のコップに化学粘土とオイル、水等を混合した特殊な印象材を巻き付けたものを使用した。ユーザは、図1(b)に示すようなコップを(c)のように把持することにより、各ユーザにとって最も握りやすい形状を象ることが出来る。採取された把持体は、(d)のような三次元レーザスキャナを用いて、(e)に示すような3次元ポリゴンデータ(空間分解0.2mm)に変換される。得られた三次元ポリゴンデータは、スキャン時に発生するポリゴンの欠落等の修正、平滑化等の処理が施された後、実験用データとして用いた。なお、本研究ではバンザイ・ファクトリーに蓄積されている把持体データについても実験材料として用いることとした。



図1 象りと把持体の3次元計測

(1) 把持に関する特徴の抽出

得られた把持体の三次元ポリゴンデータはSTL形式である。STLは、三次元オブジェクトを形成するポリゴンの各頂点の座標、法線ベクトルの値のみを記したものである。そのため、STLファイルには各ポリゴン間の位置関係といった情報は存在しない。本研究では、処理対象の把持体が円筒形であることに着目し、対象となる把持体を二次元画像に展開した。図2に展開方法の概要を示す。提案法ではまず、対象となる3次元オブジェクト

を微小領域に分割する．各領域は，展開した後得られる二次元画像の各ピクセルとなる．次に，各ピクセルの値を各領域に含まれるポリゴンから算出する．ここでは，各領域内に複数のポリゴンが含まれていた場合，それらの z 軸からの距離 r の平均値を求めることにより輝度値を算出する．また，領域内にポリゴンが存在しない場合は，レイトレーシング法を用いて三次元オブジェクトと中心軸の距離を算出する．図3に，レイトレーシング法を用いた輝度値算出方法の概要を示す．図において， z 軸上の点 $s = (0\ 0\ z_1)^T$ を通る直線 l が任意のポリゴンと交差する点を $p = (x\ y\ z)^T$ とすると，点 p は直線 l の方向ベクトル $d = (\cos\theta\ \sin\theta\ 0)^T$ とパラメータ t を用いて

$$p = s + td = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ z_1 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} \cos\theta \\ \sin\theta \\ 0 \end{pmatrix}$$

と書くことができる．したがって，パラメータ t は，ポリゴンの法線ベクトル n を用いて

$$t = \frac{n \cdot d}{(a - s) \cdot n} \quad (t > 0)$$

のように求められる．上式を用いて三次元オブジェクトと直線の交点 p の位置を求め， z 軸からの距離を計算することにより，輝度値を算出した．

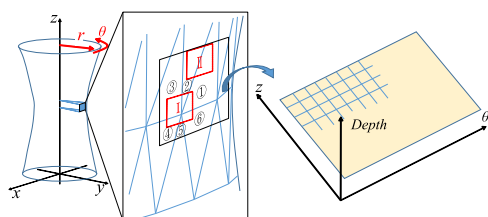


図2 二次元画像への展開

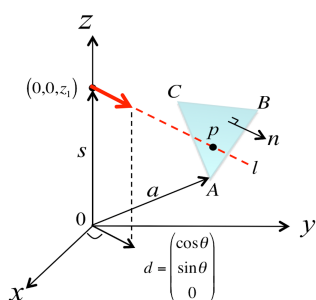


図3 レイトレーシング法による輝度値算出

次に，得られた二次元画像から各指の節領域を抽出する．ここでは，得られた二次元画像から把持により粘土が変化していない部分を用いて被把持体の（把持前の）形状を推定し，その値との差分を取ることで，把持より生成された窪みのみを反映した画像（深度画像）を作成した．

さらに，この画像から各指の節部分を抽出する．ここでは，指の各節の部分（基節・中

節・末節）を抽出する．本手法では，各節の領域を楕円オブジェクトで近似することとした．図4に，楕円オブジェクトを用いて各指の各節を近似した例を示す．図において黄色の楕円は各節の領域を，また各オブジェクトの中に書かれている番号は，指番号-節番号である．例えば，図において「2-1」は第2指（人指し指）の末節領域を，「2-2」は第2指の中節領域を意味している．本研究では，前述の方法により展開された画像に対して図のような楕円オブジェクトを設定すると，その部分に対応しているポリゴンデータが抽出されるようなソフトウェアを開発し，各節の近似作業に用いることとした．なお，本課題では各指の末節領域を自動で抽出する方法についても同時に検討を行ってきたが，把持力が弱いユーザに対する抽出精度が十分でないため手作業での修正が必要となる場合があること，検討を進めるにつれて末節以外の領域も分析に必要となったため，各節を楕円オブジェクトで近似することとした．

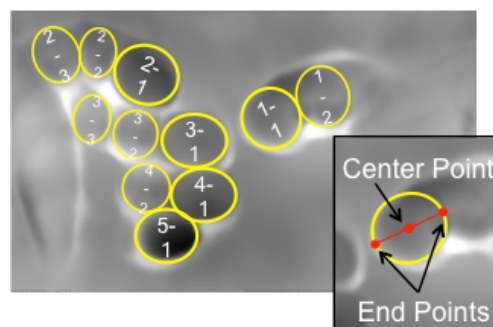


図4 各節領域の楕円による近似

(2) 把持特徴量の傾向に関する分析

(1)の方法により抽出された各節領域の情報を用いて，特徴ベクトルを作成してクラスタ分析を行うことにより，各に握り型の傾向について分析する．ここでは，下記の6点を把持の特徴を分析するために使用することとした．

- ① 各指の把持力の大きさ
- ② 各指の把持力の向き
- ③ 各指の先端の向き
- ④ 親指と各指の距離
- ⑤ 各指の骨格線
- ⑥ 各関節の位置

上記において，①は各楕円オブジェクト内の深度値の平均値を，②はオブジェクト内に含まれるポリゴンの法線ベクトルの平均ベクトルを用いることとした．また，③～⑥については楕円オブジェクトにおける長軸を利用した．例えば，③は第1指の末節領域における長軸線と各指末節領域における長軸のなす角度とした．④については，各指の先端部分（長軸の端点）と第1指末節領域にお

ける長軸端点との距離を用いた。骨格線や各関節の位置についても、各楕円オブジェクトの長軸を結んだ線と各オブジェクトの接する部分を関節の位置とした。

次に、これら三次元ポリゴンデータから算出された数値を用いて、クラスタ分析用のベクトルを作成した。本研究では、把持体を握る際の各指の位置関係や方向が各ユーザーによって特徴的であることに注目し、各指の距離と角度を用いて特徴ベクトルと作成し、クラスタ分析を行った。また、算出された把持力と骨格線については、各指の把持力ベクトルの大きさや方向、骨格線の分布等を視覚化した。

(3) 把持体デザインのためのシステム開発

提案法を用いることにより3次元把持体データを2次元画像に展開し、そこから様々な把持に関する特徴分析が可能となる。すなわち、本研究によって分析した結果を用いて後述する図6のような深度画像を作成できれば、その画像を用いて把持体をデザインすることが可能となる。そこで本研究課題では、深度画像から把持体切削用の三次元ポリゴンデータを生成するためのシステムを作成した。作成したシステムを用いて、深度画像から実際に把持体データを生成・切削し、実証実験に向けた試作品製作のための環境構築を行った。ここではまず、三次元グラフィックスにおいて用いられているテクスチャマッピング法を用いて、生成された深度画像を切削対象となる三次元オブジェクトに貼付ける。その後、ディスプレイメントマッピング法により、深度値に合わせてオブジェクトを変形させて切削用の三次元データを作成した。

4. 研究成果

図5に提案法を用いて三次元把持体データを二次元画像に展開した結果を示す。図からも分かるように、把持した際に象られる握り型が窪み(画像中において紫の部分)として表示されているとともに、各指の各節領域も確認することができる。また図6に、これらの展開画像から得られる深度画像の一例を示す。

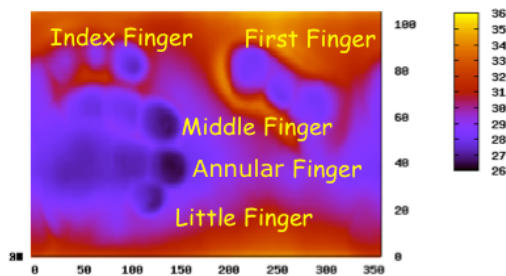


図5 展開3次元オブジェクト

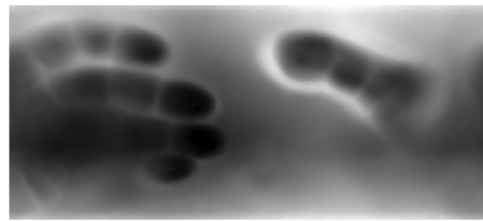


図6 得られた深度画像の例

次に、図6のような深度画像40枚に対して、図4のように各節領域を楕円オブジェクトで近似し、得られた特徴量を用いてクラスタ分析を行った。図7に結果を示す。図はWard法を用いた階層型クラスタリングの結果である。得られたデンドログラムから、把持の方法が大きく5種類に分類されていることが分かる。また、図8は各クラス内に属している深度画像の例である。例えば、図中のクラスAでは親指と他の指の距離が大きく開いているのに対し、クラスBやEに分類された深度画像については、第1指と他の指が接近しているのが分かる。またAの場合、第1指が大きく上方向に向いているのに対し、クラスBの場合は下方向にむいており、さらに第1指に大きな力(把持のための力)がかかっていることも見てとれる。各クラス内の深度画像について検討した結果、他の把持体データについても同様の傾向が見られていることから、把持の傾向は5種類程度に大別された。

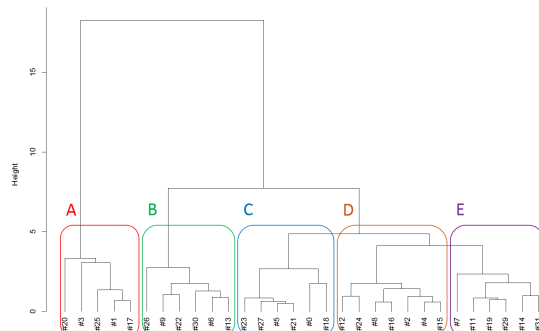


図7 クラスタリング結果

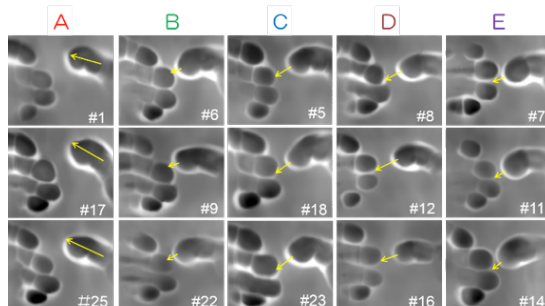


図8 各クラスに分類された深度画像例

またこれらの深度画像から各指の把持力をデータ化し、把持力割合を求めた。検討の結果、把持体を握る際に、第1指(親指)や第2指(人差し指)、第5指(小指)に力がかかっていることが分かった。またこれらの力は

被把持体の中心方向に向かっていた。

図9に、把持体製作のための作成したシステムの写真を示す。写真左側にある装置は切削機であり、三次元ポリゴンデータから把持体を削りだすための装置である。図10に、作成したシステムを用いて実際に切削した把持体の例(写真)を示す。図は、あるユーザにより象られた把持体の深度画像を別のコップ状の物体に転写し、切削したものである。本システムを用いることにより、深度画像から把持体を自由に作成することが可能となった。今後は、分析により得られたデータから深度画像を生成できれば把持体が切削することが可能である。なお、分析結果から切削に使用する深度画像を生成する方法については研究を進めている段階であり、平成26年度中に対外発表を予定している。

以上の研究成果から、本研究の成果を活用することにより、各ユーザの性別や年齢、利き手、手のサイズや各指の長さといった基本情報を入力すれば、そのユーザにとって最も握りやすい把持体の概形を決定することが可能となると思われる。本課題により得られた成果は、福祉機器やスポーツ用具といったオーダーメイドの必要性が高い器具や家具等の製造分野において、把持部の大まかな形状を決定するための基本概念として、様々な分野で用いられることが期待される。

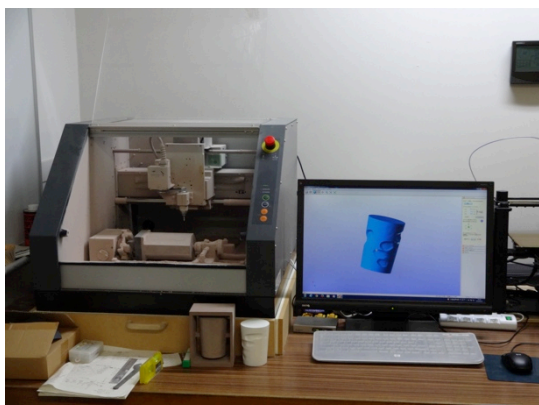


図9 試作品製作のために開発したシステム

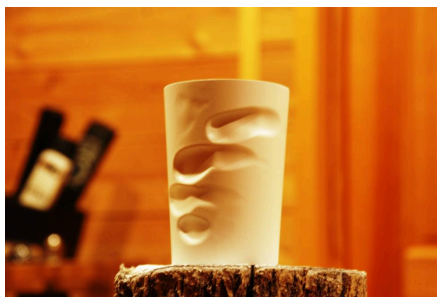


図10 製作した試作品の一例

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

- ① Yuji Sasano, Kazuyoshi Takahashi, Hiroharu Kawanaka, Koji Yamamoto, Haruhiko Takase and Shinji Tsuruoka, Feature Analysis and Visualization of Grip Forms for Comfortable Form Designing, Proc. of International Conf. on New Trends in Information and Communication Tech. (ICTT 2014), 査読有, pp.235-240, 2013
- ② Yuji Sasano, Hiroharu Kawanaka, Kazuyoshi Takahashi, Koji Yamamoto, Haruhiko Takase and Shinji Tsuruoka, Analysis of 3D Polygon Data for Comfortable Grip Form Design, Proc. of the 14th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS2014), 査読有, 2013, F5C-1
- ③ Yuji Sasano, Kazuyoshi Takahashi, Hiroharu Kawanaka, Koji Yamamoto, Haruhiko Takase and Shinji Tsuruoka, A Study on Trend Analysis of Grip Form for Comfortable Grip Form Designing, Proc. of the fifth International Conf. on Regional Innovation Studies, 査読有, 2013, pp.22-25
- ④ Tomoya Hirata, Kazuyoshi Takahashi, Hiroharu Kawanaka, Koji Yamamoto, Haruhiko Takase and Shinji Tsuruoka, A Study on Extraction Method of Distal Phalanx Regions from 3D Polygon Data for Determining a More Comfortable Grip Form, Proc. of the 12th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS2011), 査読有, 2011, pp. 184-187,

[学会発表] (計10件)

- ① 笹野祐嗣, 高橋和良, 川中普晴, 山本皓三, 高瀬治彦, 鶴岡信治, ユニバーサルデザインのための把持特徴量の抽出とクラスタ分析に関する一検討, 日本人間工学会東海支部 2013年研究大会, 2013年11月2日, 椋山女学園大学(愛知県名古屋市)
- ② 笹野祐嗣, 高橋和良, 川中普晴, 山本皓三, 高瀬治彦, 鶴岡信治, 握りやすいデザインのための把持姿勢抽出に関する一検討, 平成25年度日本生体医工学会東海支部学術集会, 2013年10月19日, スズケン本社(愛知県名古屋市)

- ③ 笹野祐嗣, 高橋和良, 川中普晴, 山本皓二, 高瀬治彦, 鶴岡信治, 握りやすさを考慮した把持帯デザインへの応用を目的とした3次元把持体データ分析法に関する一考察, 平成25年度電気関係学会東海支部連合大会, 2013年9月9日, 静岡大学(静岡県浜松市)
- ④ 笹野祐嗣, 川中普晴, 高橋和良, 山本皓二, 高瀬治彦, 鶴岡信治, 握りやすさを考慮したデザインのための3次元把持体データ分析～指の形状に含まれる特徴量について～, 平成24年三重地区計測自動制御研究講演会, 2012年12月14日, 三重大学(三重県津市)
- ⑤ 太田諒, 山本皓二, 川中普晴, 高橋和良, 握り手の3次元イメージからの指の1の特定～ユニバーサルデザインの公式化に向けて～, 日本人間工学科委東海支部2012研究大会, 2012年10月27日, 名城大学(愛知県名古屋市)
- ⑥ 川中普晴, 笹野祐嗣, 高橋和良, 山本皓二, 高瀬治彦, 鶴岡信治, ユニバーサルデザインのための把持特徴に関する一検討, 日本人間工学科委東海支部2012研究大会, 2012年10月27日, 名城大学(愛知県名古屋市)
- ⑦ 高橋和良, 川中普晴, 平田知也, 鈴木清詞, 山本皓二, 高瀬治彦, 鶴岡信治, 把持体形状を決定するための指針構築を目的とした3次元把持体データ分析・モデリング法に関する検討, 日本人間工学会第53回大会, 2012年6月9日～10日, 九州大学(福岡県福岡市)
- ⑧ 平田知也, 高橋和良, 川中普晴, 山本皓二, 高瀬治彦, 鶴岡信治, 三次元把持帯データからの握り型抽出とCADデザイン応用への一試み, 平成23年度日本生体医工学会東海支部学術集会, 2011年10月25日, スズケン本社(愛知県名古屋市)
- ⑨ 高橋和良, 平田知也, 川中普晴, 山本皓二, 高瀬治彦, 鶴岡信治, 多人数の3次元把持体データを用いた把持傾向分析に関する一考察～把持体形状設計のための指針構築を目指して～, 日本人間工学会東海支部2011年研究大会, 2011年10月29日, 三重県立看護大学(三重県津市)
- ⑩ 平田知也, 高橋和良, 川中普晴, 山本皓二, 高瀬治彦, 鶴岡信治, 「握り易さ」の定量化を目的とした三次元把持体データと把持特徴量の関係に関する一考察, 平成23年度電気関係学会東海支部連合大会, 2011年9月26日, 三重大学(三重県津市)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川中 普晴 (KAWANAKA, Hiroharu)
三重大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号: 30437115

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

山本 皓二 (YAMAMOTO, Koji)
鈴鹿医療科学大学・教授
研究者番号: 00112269