

令和 2 年 6 月 17 日現在

機関番号：84510

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00745

研究課題名（和文）デジタルハンドシミュレータを用いたグリップデザインシステム

研究課題名（英文）Grip Design System using a Digital Hand Simulator

研究代表者

平田 一郎（Hirata, Ichiro）

兵庫県立工業技術センター・その他部局等・主任研究員

研究者番号：80470243

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：作業工具などの持ち手は多様な持ち方や握り方を考慮してデザインする必要がある。そこで本研究は、複数の手のサイズを用いて多様な持ち方や握り方のシミュレーションを行いながら製品設計を行うための設計プロセスについて研究した。その方法として、デジタルハンドモデルをコンピュータ上に作成し、デジタルハンドモデルと製品のモデルを用いて製品モデルの把持状況をシミュレーションすることについて検討した。コンピュータ上で製品の把持姿勢をシミュレーションすることにより、製品開発の上流工程で握りやすさについて評価することを目指した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究での成果は、多様な手のサイズに対応した「持ちやすさ」の分析を行う方法として、スマートフォンで計測した個人の手寸法データをもとにデジタルハンドをコンピュータ上に作成し、握りやすさについてシミュレーション評価することである。このシステムを構築することにより、個々のユーザに対応したデザイン提案だけでなく、多様なユーザに最適な形状を導き出すことも期待できる。本研究内で制作したスマートフォン用アプリケーションにより手の寸法データを容易に計測して収集可能となり、多人数の寸法データを収集したデータベース構築が期待でき、将来的には様々なサイズのデジタルハンドを用いた操作シミュレーションが可能となる。

研究成果の概要（英文）：The handles of work tools need to be designed for a variety of holding and gripping styles. Therefore, this study simulates a variety of holding and gripping styles using multiple hand sizes and We studied the design process for designing products while The way to do this is to create a digital hand model on a computer, and then to create a digital hand model and Simulating the grasping situation of a product model using a product model was investigated. By simulating the grasping posture of the product on the computer, we can simulate the gripping posture of the product in the upstream process of the product development. The aim was to evaluate the ease of grip.

研究分野：工業デザイン

キーワード：デザイン支援 デザイン評価 人間工学

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

製品のグリップ部は、多様な持ち方や握り方を考慮してデザインする必要がある。さらに製品使用時の「持ち方の動的な変化」を考慮した分析が必要である。これまでの研究で、製品を握った際の製品側に加わる圧力分布をリアルタイムに計測して可視化する圧力分布計測システムを開発した。この方法により、製品側に加わる圧力の時間的な変化を可視化することができるようになり、製品を使用する際に持ち方が動的に変化することを確認した。さらに、被験者にできるだけ負担をかけない評価方法が重要であることを認識し、製品側に圧力センサを付ける当該手法は、被験者側にセンサを取り付ける場合と比較すると被験者側の負担が少なくなることがわかった。また別の研究では「手の寸法」と「製品に加わる圧力」との関係を分析し、手幅と指のサイズの違いにより、グリップの握り方が異なることを確認した。一方、個人の足形状に基づいたオーダーメイドシューズ設計を行う方法として、スマートフォンを利用した足測定アプリケーションを開発した。このアプリケーションを用いることにより、スマートフォンのカメラを利用して足寸法を計測することが可能となり、測定した足寸法データから足のデジタルモデルを作成する方法について検討した。

2. 研究の目的

本研究は、持ち手の形状やサイズをユーザに最適化させるための「グリップデザインシステム」を提案することである。多様な手のサイズに対応した「持ちやすさ」の分析を行う方法として、スマートフォンで計測・収集した個人の手寸法データをもとにデジタルハンドをコンピュータ上に作成し、握りやすさについてシミュレーション評価する方法について研究した。目的を達成するため、次の3項目をサブテーマとして設定した。

1つ目は、ユーザの手の寸法計測方法の検討である。持ち手の形状やサイズを最適化し、対象ユーザに提案するためにはユーザの手の寸法を参照する必要がある。本研究のデザインシステムでは、ユーザの手寸法がわかると、そのユーザに最適な形状あるいは最適サイズのグリップを提案することを想定している。それを実現するためには、ユーザの手寸法を簡易に計測する方法が重要である。2つ目は、ユーザのデジタルハンドを作成する方法の検討である。ユーザの寸法データをもとにデジタルハンドを生成することにより、3D-CADで設計した製品モデルとサイズ比較することが可能となる。3つ目は、デジタルハンドによる把持姿勢の再現方法の検討である。デジタルハンドを用いて実際と同じ把持姿勢を再現させることにより、モックアップを作成する前の検討段階において、コンピュータ上で評価・検証することが可能となる。また、コンピュータ上でシミュレーションすることにより定量的なデータも取得しやすい利点がある。

3. 研究の方法

グリップデザインシステムを構築するため、研究目的で挙げた3項目について相互に検討を繰り返した。

1) ユーザの手寸法計測の検討

評価に用いるデジタルハンドモデルは、それぞれのユーザの手の寸法データをもとに生成することを想定して研究を進めた。方法として、これまでの研究で開発した「足寸法計測アプリケーション」で用いた計測技術を応用した。この足寸法計測アプリケーションは、ランニングシューズをオーダーメイド設計することを目的に開発したものである。計測方法は、専用のA3用紙の上に足を置いて撮影し、「用紙に描かれたマーカー寸法」と「足の輪郭画像」から足の2寸法（足長、足幅）を自動で算出する。さらに、撮影画像をもとに母指およびカカトの傾きを計測する方法として、画面上にテンプレートを表示させ、そのテンプレートを手動で動かすことにより傾きを算出する。以上の計測技術を活用し、手の寸法計測方法について検討した。計測箇所についてはサブテーマ2)、3)の内容を考慮しながら検討した。

2) ユーザのデジタルハンド作成方法の検討

手の3次元デジタルモデルを生成する方法として、国立研究開発法人産業技術総合研究所（以降、産総研）が開発した相同モデル化技術を活用し、少数の計測項目からユーザのハンドモデルを再現する方法について検討した。検討結果をサブテーマ1)で開発したスマートフォン用アプリケーションの計測項目に反映した。

3) デジタルハンドによる把持姿勢の再現方法の検討

デジタルハンドと把持姿勢とのマッチング方法について検討し、デジタルハンドによる姿勢シミュレーションを行った。これまで方法は、試作品の把持姿勢を光学式のモーションキャプチャ（以降、MoCAP）で計測し、計測した姿勢データをデジタルハンドモデルに反映させる必要があった。しかし、上記方法で計測するためには「赤外線反射型マーカーの貼り付け」や「赤外線カメラの位置・角度調整」などに時間がかかった。そこで、従来よりも簡易に計測可能な装置を用いて仮想的に把持姿勢を再現する方法について検討した。

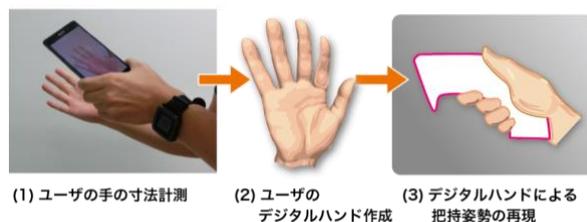


図1 本研究のサブテーマ

4. 研究成果

1) ユーザの手の寸法計測の検討

これまでに開発した足寸法計測アプリケーションの計測技術を応用し、手の寸法計測アプリケーションを開発した。計測方法は、ユーザの掌をスマートフォンのカメラで撮影し、撮影画像から指の関節寸法を算出する。寸法の測定方法は、四隅にマーカを付けた A4 サイズの用紙の上に手を乗せて同時に撮影する仕様とした。この方法は、足の寸法測定アプリケーションと同様の撮影方法である。足寸法計測アプリケーションでは、撮影画像から足の輪郭を抽出し、マーカとの対比で寸法算出を行った。足モデルの場合は、ランニングシューズとのフィット性を考慮するため「足モデルの表面形状」の再現性が重要であった。それに対し今回の手モデルでは、把持姿勢の再現性が重要であった。そこで、手の表面形状を再現する方法ではなく、指の関節寸法を測定することとした。方法は、足寸法計測アプリケーションの「画像処理による足幅測定」と「手動による母指の傾き測定」で実施した手法を融合した。手動で関節位置を指定すると「指定された関節位置」と「A4 のマーカ寸法」との対比により関節寸法が算出される仕様にした。アプリケーションでは下記の流れで手の関節寸法が測定できる（図 2）。

1. 撮影する手（左，右）を選択し、カメラ撮影モードに入る。
2. 画面上に薄く表示されるイラストに手を合わせて写真撮影（四隅のマーカも撮影）。
3. 画面に表示された「指関節リンク」を手動で動かし、撮影画像の関節位置に合わせる。
4. 指の関節位置を全て調整後、寸法データを保存。

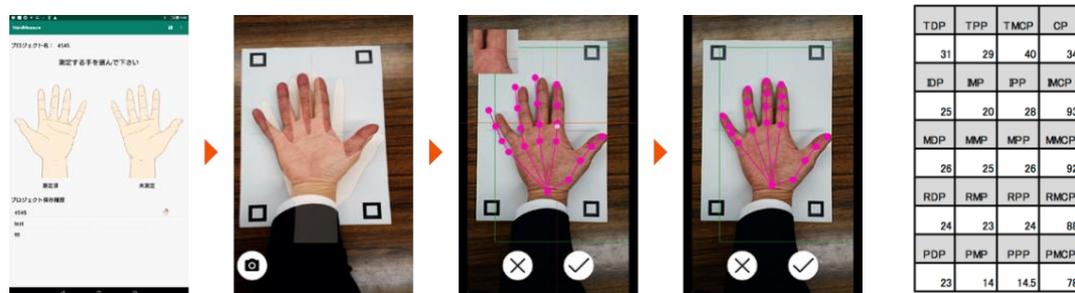


図 2 指関節計測スマートフォンアプリケーションの開発

スマートフォンで計測した各指関節の名称を図 3 に示す。

計測精度の検証するため、「ノギスで計測した寸法値（実測）」と上記のアプリケーションで 3 回測定した寸法平均値（平均）を比較した（表 1）。

寸法誤差は、指先から MP 関節までの寸法誤差は 3mm 以内に収まり、中手骨（IMCP、MMCP、RMCP、PMCP）の誤差が大きく出ていることがわかった。考えられる要因として、関節の根元となっている「手首位置の指定方法」が明確になっていなかったことにより、バラツキが生じてしまったことが考えられる。それに対し、MP 関節の位置はわかりやすいため、指定しやすかったと考えられる。



図 3 指関節の寸法名

表 1 寸法検証結果

	第1指				第2指				第3指				第4指				第5指			
	TDP	TPP	TMCP	CP	IDP	IMP	IPP	IMCP	MDP	MMP	MPP	MMCP	RDP	RMP	RPP	RMCP	PDP	PMP	PPP	PMCP
実測	31	29	40	34	25	20	28	93	26	25	26	92	24	23	24	88	23	14	14.5	78
平均	33.333	31.333	40.667	36.333	23.333	21.333	30.667	103.33	23.333	28	29	106.33	23.333	21.667	27	107.67	19.667	13.333	17.667	101
誤差	-2.333	-2.333	-0.667	-2.333	1.6667	-1.333	-2.667	-10.33	2.6667	-3	-3	-14.33	0.6667	1.3333	-3	-19.67	3.3333	0.6667	-3.167	-23

2) ユーザのデジタルハンド作成方法の検討

本研究で活用するデジタルハンドモデルとして、産総研で開発されたデジタルヒューマンモデルソフトウェア“Dhaiba Works”で生成されるハンドモデルを用いた。Dhaiba Works で生成するハンドモデルは、図 2 に示した 20 個の指関節のリンク構造で構成されている。そこで、サブテーマ 1) で開発したアプリケーションでは指の各関節リンクの長さをユーザの指関節寸法に適合させる方法や、産総研が開発した「少数の計測した寸法から個人別 3 次元足形状モデルの作成に必要なすべての寸法を推定する技術」を活用し、ユーザのデジタルハンドモデルを生成する方法について検討した。

3) デジタルハンドによる把持姿勢の再現方法の検討

把持姿勢を計測する装置として、比較的安価な装置である小型モーションコントローラ：Leap Motion Controller (以降、Leap) を活用した。Leap は 2 個の赤外線カメラと赤外線照射 LED で構成された装置で非常にコンパクト (W80×D30×H11mm) な上、キャリブレーションも短時間で行うことができるためセッティングが容易であった。コンピュータに接続した Leap の上に手をかざすことにより、手と指の動きを容易に計測することが可能となった (図 4)。仮想的な把持姿勢について精度検証するため、Leap を用いた「仮想的な把持姿勢データ」と「実際の製品の把持姿勢」との姿勢の比較を行った。製品の把持姿勢は MoCAP (OptiTrack 社製 Flex13、赤外線カメラ 8 台) で計測した。



図 4 Leap による把持姿勢の再現

MoCAP で計測する際は、DhaibaWorks 上に被験者と同じサイズのハンドモデルを生成し、そのハンドモデルに予め設定された特徴点 (26 箇所) と同じ位置に赤外線反射型マーカを張り付けた状態で計測し (図 5 左)、DhaibaWorks 上でハンドモデルの特徴点同士をフィッティングさせることにより把持姿勢を再現した。Leap による仮想的な姿勢計測では、同製品の SDK で算出される関節位置情報を DhaibaWorks 上で関節角度に変換し、MoCAP データの処理で用いた被験者のハンドモデルに与えた。画面上に表示した CAD モデルをハンドモデルが把持する姿勢になるように Leap 上で手を動かし仮想的に把持姿勢を生成した。第三指と第五指がモデルに設定したエリア内に収まり、母指球がモデルと接触する姿勢になる状態を最適姿勢として採用した (図 5 右)。MoCAP による計測時間は、赤外線カメラの設置およびキャリブレーションと赤外線反射型マーカの貼り付けを含めて約 5 時間を要した。Leap による計測は、モデルの設定を含めて約 1 時間で実施した。



図 5 MoCAP (左) と Leap (右)

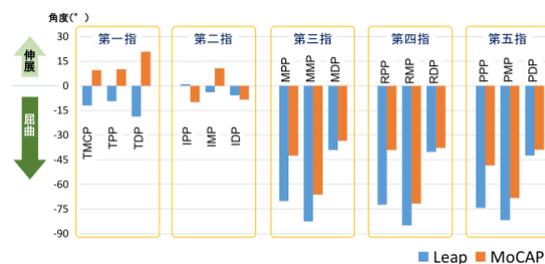


図 6 x 軸周りの角度差

姿勢データの比較として、ハンドモデルのリンク構造の x 軸周りの回転角度を比較した。x 軸周りは「指の屈曲/伸展角」である。それぞれ 3 回ずつ計測した角度データの平均値を比較に用いた。把持姿勢データの比較結果を図 6 に示す。

第一指と第二指は、MoCAP で計測した場合と Leap で計測した場合で角度が反対方向に曲がっていることがわかった。第三指から第五指に関しては、MoCAP で計測した姿勢より Leap で計測した方が屈曲は大きくなる傾向にあることがわかった。また、MP 関節 (第三指では MPP) および PIP 関節 (第三指では MMP) の誤差が大きいことがわかった。第一指に大きな誤差が生じている原因として、計測中に Leap から第一指が隠れてしまうことが考えられる。この問題は、計測方向を変えた場合でも同じ現象になるか今後検討する必要がある。第三指から第五指についての誤差は、Leap による計測において、屈曲/伸展および内旋/外転のみを同定しており、内旋/外旋が反映されていないことが原因として考えられる。また、計測中に指同士が重なり合う現象が生じていることを確認しており今後の課題であるが、本研究で開発したシステムにより短時間で簡単に把持姿勢のシミュレーションできるようになり、デジタルハンドによる把持姿勢の再現が可能となった。

以上のように、本研究では個々のユーザに対応したグリップのデザインを提案するシステム構築のための研究を推進し、その中で、指寸法計測のためのアプリケーション開発およびデジタルハンドによる把持姿勢の再現方法を実現した。これらの成果は、工具や手持ちカバンなどの製品開発の分野で持ちやすさの定量評価が求められている業界への実用が期待できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 平田一郎
2. 発表標題 スマートフォンを用いた指関節の寸法計測
3. 学会等名 第6回デジタルヒューマン技術協議会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 平田一郎
2. 発表標題 グリップデザインシステムのための指寸法計測アプリケーション
3. 学会等名 日本デザイン学会第66回 春季研究発表大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平田一郎
2. 発表標題 デジタルハンドモデルを活用したグリップデザインの取り組み
3. 学会等名 デザイン人間工学報告会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平田一郎
2. 発表標題 スマートフォンアプリを用いた指の関節寸法計測
3. 学会等名 第21回日本感性工学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平田一郎
2. 発表標題 価値共創によるプロダクトデザインシステム
3. 学会等名 日本デザイン学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 平田一郎, 宮田なつき, 多田充徳, 後藤泰徳
2. 発表標題 デジタルヒューマン技術による製品の把持シミュレーション
3. 学会等名 日本人間工学会関西支部大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考