

# 身体動作シミュレーションを活用したプロダクト開発に関する研究

## (第2報)

—作業動作に適した器具の検討開発—

鈴木文晃・佐藤博紀・串田賢一

## Study on Product Developments Utilization of Physical Movement Simulation

### (2nd Report)

-Examination Development of Tools Suitable for Work Movement-

Fumiaki SUZUKI, Hiroki SATO and Ken'ichi KUSHIDA

#### 要 約

作業者の身体や動作に合わせた器具の設計に DhaibaWorks による身体動作シミュレーション技術を活用する手法の開発について検討した。宝飾品製造にも用いられるインチャスリを対象器具とし、シミュレーションでの把持姿勢の予測と 3 次元 CAD での設計を連携しながら身体適合性を考慮した器具の形状提案を行った。提案形状のシミュレーションによる身体適合性評価と被験者による主観評価を調査した結果、接触領域とフィット感などに一致する傾向が見られた。このことからシミュレーションを活用した製品設計手法が、身体適合性を考慮した器具の設計において有効であると考えられた。

#### 1. 緒 言

ものづくりにおいては作業者が様々な器具を用いて製品の加工を行う工程がある。その際、作業者の身体や動作に合わせた器具を使用することは、製造作業の高度化や負担軽減などを図ることができる。そのため、作業者の身体や動作に適した器具の開発は重要である。本県の宝飾業に従事する作業人も、使用する器具のグリップの形状を自身の手に馴染むように調整し、使いやすさの向上を図ることがあるが、経験を基にした形状の考案と、実際にその器具を製作し使用することによる検証で行われる場合が多い。これには経験が必要であったり、形状の検討と試作を繰り返すコストがかかるといった点に課題があるが、近年コンピュータによるシミュレーション技術を活用することで効果的に設計を行う手法が検討されている。

本研究は、身体動作シミュレーション技術を用いることによる器具と使用者との身体適合性の評価について検討し、この技術を活用した製品設計手法の開発を目指し実施した。前報の研究<sup>1)</sup>で、宝飾品製造器具のインチャスリを対象器具とし、身体動作シミュレーションソフトウェア「DhaibaWorks」を用いた把持シミュレーションについて検討し、作業者の手指の大きさや器具の持ち方、器具の形状を考慮した把持安定性評価の予測が可能であ

ることがわかった。これによりシミュレーションを対象器具の設計に活用可能であると考えられたので、本報ではシミュレーションを活用し、身体適合性を考慮して行う製品設計手法の確立を目指し研究を行った。

#### 2. 予備調査

##### 2-1 要因の調査

デザインした器具をシミュレーション上で把持させ、その状態の把持安定性や接触領域といった把持クオリティを評価し、それらを比較することが可能になったことから、適合性を高くするような器具設計について検討した。そのために、評価に影響する要因の調査、及びシミュレーション結果と実際の使用感との関係を調査した。

##### 2-2 調査方法と結果

まず、調査のための試験用グリップの形状を 3 次元 CAD で設計し、これらについてシミュレーションで把持安定性を評価した。試験用グリップは直径 27mm の単純な円柱形状を基準とし、それぞれ断面や側面の形状に条件を設定した 6 種類を用いた (図 1)。把持シミュレーションはそれぞれのグリップ形状について 2 種類の把持方法 (図 2) で、平均的な大きさの手 (average) と小さい大きさの手 (small) の 2 つのサイズのハンドモデルで把持する条件で行った。それぞれのハンドモデル

の主な寸法は表 1 のとおりである。DhaibaWorks で算出される把持安定性のメトリックからは、その把持姿勢でのトルク対抗性の大きさが評価できるが、ここでは図 3 で示す空間内の X,Y,Z の 3 軸を回転軸とするトルク対抗性の大きさを相対比較した (図 4) 。グラフの色はイラストの矢印の方向と対応する。この結果からはグリップ形状ごとに評価の違いが見られた。

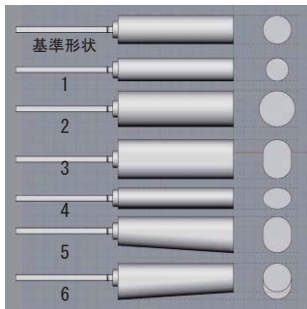


図 1 試験用グリップ

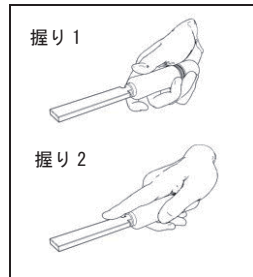


図 2 把持方法

表 1 デジタルハンドモデルの主な寸法

ハンドモデル	手長 (手首のしわより)	手掌長第3指	手幅 (mm)
average	174	97	82
small	153	76	87

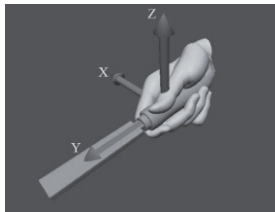


図 3 シミュレーション空間の 3 軸設定

次に実際の使用感との関係を調べるため、試験用グリップを 3D プリンターで実体化し被験者 (成人男性 6 名) に把持させ、[安定する-安定しない]を 5 段階で回答する主観評価を行った。主観評価の結果は被験者ごとに評価が分かれたが、その中でも、握った際に手がカバーできない領域がある形状はその方向の安定感が低い、運動方向対して手指が接触する面が設定されている形状は評価が高いといった傾向が見られた。これはシミュレーションの結果と一致するものであった。

この予備調査から得られた考察をもとに、身体適合性が高くなるようなグリップ形状の設計を行い、その提案形状を用いてシミュレーションを活用した設計手法の有効性について調査するための実験を行った。

### 3. 実験方法

#### 3-1 形状の設計提案

器具の形状設計は身体動作シミュレーションソフト DhaibaWorks と 3 次元 CAD ソフト Rhinoceros との間でハンドモデルの形状データを連携させながらデザインを進めた (図 5) 。ここでは図 2 の 2 種類の把持方法と、平均的な手の大きさの使用者を想定した。握った際の手の姿勢や指の置かれる場所を予測しながら、使用者との適合性に考慮した形状を設計し、最終的の図 6 のような 2 種類のグリップ形状を提案した。

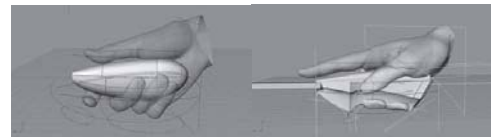


図 5 形状の設計

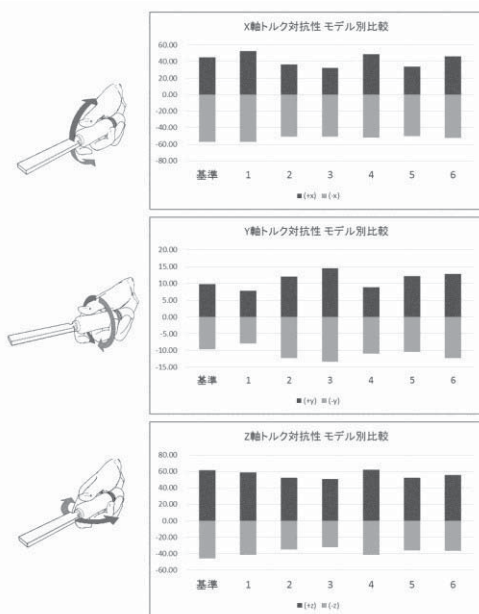


図 4 シミュレーション結果 (握り 1、average の条件)

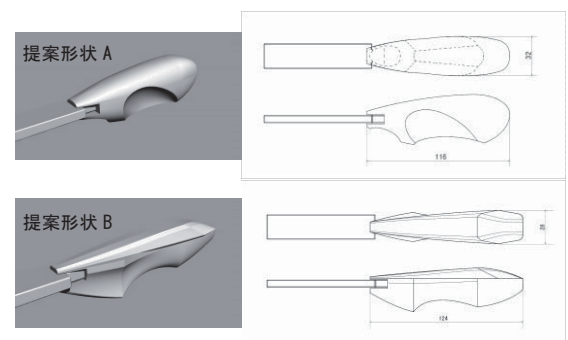


図 6 提案形状

#### 3-2 シミュレーションによる評価

これらの提案形状についてシミュレーションを行い、把持クオリティの評価を行った。提案形状 A, B それぞれについて図 2 の 2 種類の把持方法と、average ハンドモデルで把持する条件で行った。把持安定性は予備調査

と同じく3軸方向のトルク対抗性を調査した。これに加えての評価指標として、器具とハンドモデルとの接触領域を調査した。これには DhaibaWorks で算出される器具の CAD データとハンドモデルとの接触する範囲の点群データを3次元メッシュ化し Rhinoceros で面積を測定した。

### 3-3 主観評価調査

次に提案形状を把持した際の主観評価を調査した。主観評価には山梨県立宝石美術専門学校の学生6名(男性5名, 女性1名, 年齢19~22歳)と教員1名(男性1名, 年齢50歳代)を被験者とした。被験者は日ごろからインチャスリを用いた宝飾品製造を行っており, 提案形状を既存の器具のグリップに置き換える想定とその評価が可能と考え選考した。ここでは2つの提案形状を3Dプリンターで実体化したモデル及び, 既存のグリップ形状を3Dプリンターで作成したモデル(図7)を用いて, 被験者がこれらのモデルを把持した際の使用感を調査した。調査項目は図8の調査票の3項目とし, それぞれ5段階で評価した。評価結果は, 既存のグリップ形状を基準として, 評価が高い場合は[+1, +2]とし, 低い場合は[-1, -2]と数値化し集計した。また, 被験者の手の大きさを併せて調査した。被験者の手長の大きさは最小170mm, 最大200mm, 平均184mmであった。



図7 実験用グリップモデル

(上: 基準形状 中: 提案形状 A 下: 提案形状 B)

親指をたてる持ち方をした場合

●手にフィットすると感じるか?

とてもフィットしない | ややフィットしない | かわらない | ややフィットする | とてもフィットする

●持って安定すると感じるか?

とても安定しない | やや安定しない | かわらない | やや安定する | とても安定する

●使って作業すると想定したとき, 使いやすい器具であると思うか?

とても使いにくい | やや使いにくい | かわらない | やや使いやすい | とても使いやすい

図8 主観評価調査票(一部)

## 4. 結果

### 4-1 シミュレーションの結果

シミュレーションによる接触領域の結果を図9に示す。

提案形状 A、Bともに, 握り1, 握り2の把持方法において基準としたグリップ形状よりも接触領域が向上する結果となった。

把持安定性評価の結果を図10に示す。提案形状は基準形状と比較して同等かそれより高い評価結果となった。特に, 提案形状 A は Y 軸トルク対抗性において, 提案形状 B は X 軸トルク対抗性において基準形状より高い評価が見られた。

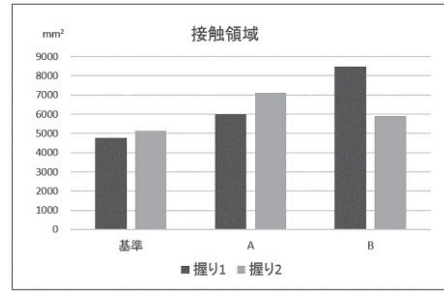


図9 シミュレーションによる接触領域

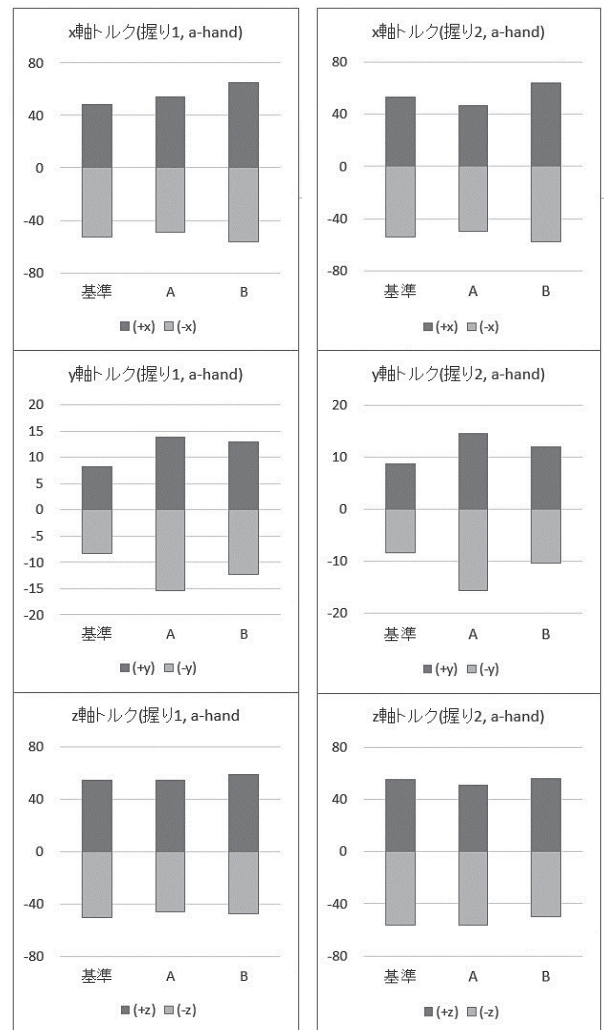


図10 シミュレーションによる把持安定性評価

#### 4-2 主観評価の結果

主観評価の調査結果を図 11 に示す。評価項目 1（フィット感）では、提案形状 A、B ともに基準の形状よりも評価が向上した結果となった。評価項目 2（安定感）では、提案形状 A で基準形状と同等かそれより低い評価であったが、提案形状 B では評価が向上する結果となった。評価項目 3（使いやすさ）では、提案形状 B の握り 2 において向上する評価が得られたが、それ以外は基準形状と同等かそれより低い評価となった。

また、今回の主観評価調査では 3 つの調査項目のほかにそれぞれの提案形状について被験者の感想を自由回答で調査した。そこでは「提案形状 A、B のカドが指に当たって持ちにくいと感じた」「提案形状 A はグリップ自体が重く感じた」といった意見があった。

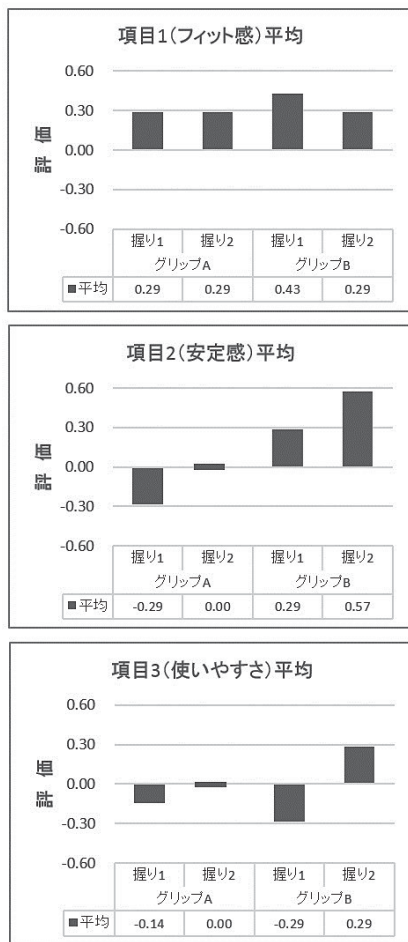


図 11 主観評価結果

#### 5. 考察

シミュレーションによる接触領域の評価は、主観評価の項目 1（フィット感）と関係すると考えられる。結果を比較すると、両者とも基準の形状から向上する評価となった。特にシミュレーションにおける提案形状 B が

握り 1 で評価が高い結果は、主観評価の結果と対応する傾向が見られた。

シミュレーションの把持安定性評価は、主観評価の項目 2（安定感）と関係すると考えられる。主観評価において提案形状の A の評価が低く、B の評価が高いという傾向は、シミュレーションの X 軸トルク対抗性の評価と傾向が一致すると見ることができた。

主観評価の項目 3（使いやすさ）は、インチャスリのグリップとしての総合的な適合性と考えることができる。今回の主観評価では提案形状 B の握り 2 以外の条件で基準形状を下回る評価となったが、これは今回の主観評価調査の自由回答にあった「提案形状のカドが指に当たって持ちにくいと感じた」「提案形状 A は重く感じた」といった要因が作業を行うにあたり「使いにくい」という評価に影響したものと考えられる。しかしこの器具の重さや指への感覚の要素は、今回の把持シミュレーションでは直接的に評価として現れないものであった。

#### 6. 結言

身体動作シミュレーションを活用した宝飾品製造器具の設計を行うことで、作業者の握った姿勢の予測を行うことができ、既存の器具形状と比較してフィット感の向上を図ることができた。また、提案形状 B においては安定性向上の主観評価を得ることができ、これはシミュレーションの予測と対応する結果であった。このことから、シミュレーションで評価を予測しつつ製品設計を行う今回の手法が、身体適合性を考慮した器具の設計において有効であると考えられた。しかし、使いやすさの主観評価に関しては今回の身体動作シミュレーションで直接的に予測できない要因の影響により低い評価となるところがあったが、器具の重さやカドに関しては 3 次元 CAD での設計でモデルの体積や形状について意識することで対処可能と考えられる。そのため器具の形状設計を行う際には、シミュレーションと併せてこのような点に留意するとともに、適度な試作・試験を交えフィードバックを行うことで、より適合性の高い器具の開発が可能と考える。

今回確立したシミュレーション技術を活用した設計手法は、宝飾品製造器具の設計だけでなく、手指の把持に関する器具の適合性を考慮した設計開発に応用可能と考えられるので、得られた考察をもとに手法の改善と活用を図りたい。

#### 謝辞

本研究にあたり、身体動作シミュレーションソフト DhaibaWorks の提供及び助言をいただいた国立研究開発

法人 産業技術総合研究所 デジタルヒューマン工学研究グループの宮田様並びに研究室の皆様，主観評価調査にご協力いただいた山梨県立宝石美術専門学校の教員と学生の皆様に感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 鈴木文晃，佐藤博紀，串田賢一：身体動作シミュレーションを活用したプロダクト開発に関する研究－作業動作に適した器具の検討開発－，山梨県工業技術センター研究報告，No.30，pp.101-104（2016）
- 2) 産業技術総合研究所，人間情報研究部門，デジタルヒューマン研究グループ：AIST 日本人の手の寸法データ:<  
<https://www.dh.aist.go.jp/database/hand/data/list.html>>  
（2017-3-1 参照）
- 3) 遠藤 維，金井 理，岸浪 建史，宮田 なつき，河内 まき子，持丸 正明：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，No.75(4)，pp.548-553（2009）