

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

ー作業動作に適した器具の検討開発ー

鈴木文晃・佐藤博紀・串田賢一

Study on Product Developments Utilization of Physical Movement Simulation

-Examination Development of Tools Suitable for Work Movement-

Fumiaki SUZUKI, Hiroki SATO and Ken'ichi KUSHIDA

要 約

作業者の身体に合わせた器具の開発では試作と検証を繰り返す方法により行われる場合が多いが、これには試作コストや試験の期間を要する。そこで身体と器具と関係を定量的に観察できるコンピュータシミュレーション技術を活用することにより、身体適合性の高い器具を開発する手法の検討を行った。今回は宝飾品製造に用いられるインチャヤスリを対象器具とし、身体動作シミュレーションソフト「DhaibaWorks」による把持姿勢のシミュレーションと検討を行った結果、作業者の身体や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った。これにより、シミュレーションを活用した設計手法が有効であるとわかった。

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。そのような工程では作業者の身体に合わせた器具を使用することで、製造作業の高度化や負荷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対して適合性の高い器具の開発は重要である。

本県宝飾業に従事する作業者も、使用する器具のグリップの形状を自身の手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。しかしこれは経験をもとに考えられた試作と、実際にその器具を使用することによる検証を行った結果である場合が多い。しかし若年作業者は身体や手指が華奢な傾向があるため、既存の器具との不適合の問題が起りやすいが、経験が浅いため改善が難しい状況がある。

器具の身体適合性に関して、近年はコンピュータシミュレーション技術を活用する手法が検討されている。この手法では作業者の身体と製品との関係を定量的に観察でき、身体適合性を考慮した設計開発に用いることで効果的な開発が行える。また、シミュレーション上で検討を行うため、製品開発における試作や試験のコスト削減を図ることも可能となる。

そこで本研究では、身体動作シミュレーション技術を用いた宝飾製造器具の身体適合性の評価について検討し、これを活用した製品設計手法の開発を目指す。

2. シミュレーション

2-1 ソフトウェア

本研究で実施するコンピュータシミュレーションには、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研究グループ（以下、産総研 DHRG）が開発を進めている身体動作シミュレーションソフトウェア「DhaibaWorks」を用いた（図 1）。これは手指や全身のデジタルヒューマンモデルを用いて、人と製品との関係をシミュレートすることで姿勢や動作を明らかにし、身体との適合性を考慮した製品設計を支援するソフトウェアである。

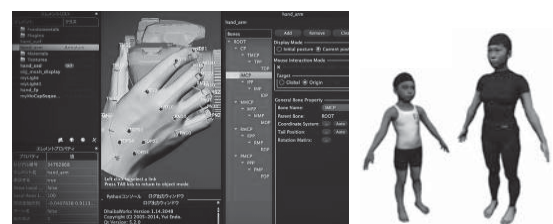


図 1 DhaibaWorks の画面（左）とデジタルヒューマンモデル（右）

2-2 検討するシミュレーション

今回は宝飾品製造で用いられるインチャヤスリ（図 2-a）のグリップを握る状態について検討する。シミュレーションを製品設計に活用するためには、DhaibaWorks上で以下の想定と評価を行うことが必要と考えられる。

- ・器具を使用する状態の再現

- ・異なる手指サイズの作業者が使用する場合の想定
- ・異なる使用方法をする場合の想定
- ・器具の形状を変更する場合の想定
- ・それぞれの状態における把持安定性の評価

そのため、これらの要件を組み合わせることでシミュレーションと検討を行った。ちなみに図 2-b で示す握り方は、ヤスリ面の安定を出すために宝飾品製造でよく用いられる握り方であるが、これを握り 1 と呼ぶこととする。

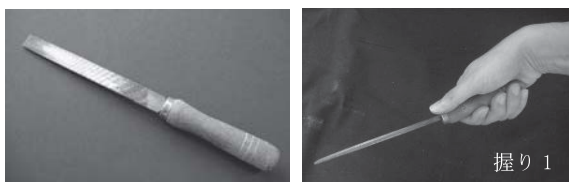


図 2-a インチャヤスリ 図 2-b 器具の使用状態

3. 方法

3-1 使用状態の再現

まず DhaibaWorks 上でインチャヤスリを把持する姿勢の生成を行った。これにはモーションキャプチャー装置 (図 3) を使用し、実際に被験者が握り 1 でインチャヤスリを握る姿勢のデータを取得した。また、使用したインチャヤスリと同形状の 3 次元 CAD モデルを作成した (図 4)。これらの姿勢データとインチャヤスリの CAD データ、それと被験者の手指の計測から得られたデジタルハンドモデルを DhaibaWorks 上で統合し把持姿勢の生成を行った。



図 3 モーションキャプチャー

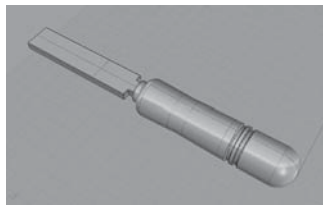


図 4 CAD モデル

3-2 ユーザの想定

異なる手指サイズの使用者 (ユーザ) が使用する場合の想定は、把持姿勢に用いるデジタルハンドモデルを変更することでシミュレーションした。これに使用するデジタルハンドモデルは、産総研 DHRG が保有しているデータベース¹⁾から得られた成人の平均的な大きさのモデル (average)、大きい手の代表的モデル (large)、

小さい手の代表的モデル (small) の提供を受け (図 5)、これらのデジタルハンドモデルを把持姿勢に適用した。

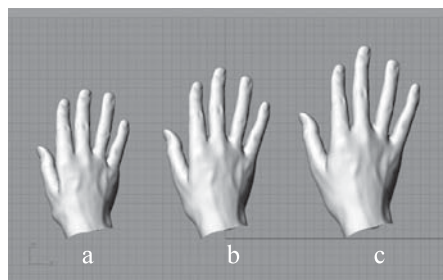


図 5 ユーザの代表的ハンドモデル (a : small, b : average, c : large サイズ)

3-3 把持姿勢の想定

インチャヤスリの使用方法の違いは、器具を把持する姿勢の違いとなる。この展開として宝飾品製造の際に用いられるヤスリの握り方 2 パターンを追加で想定した (図 6)。握り 2 はヤスリの先端でヤスリ加工を行う際に用いられる握り方、また握り 3 は広い範囲のヤスリ加工を行う際に用いられる握り方である。これらの握り方について、DhaibaWorks 上でその把持姿勢の生成を行った。ここではモーションキャプチャー装置を用いず、デジタルハンドモデルのリンク構造を直接操作し姿勢の生成を行った。

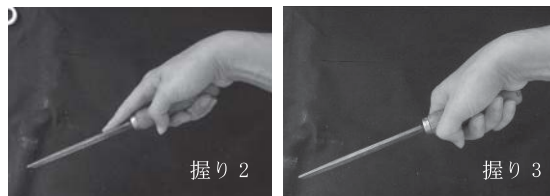


図 6 追加する握りのパターン

3-4 製品形状の想定

器具の形状を変更した場合のシミュレーションのため、3-1 で使用した CAD モデルのグリップ形状を変化させた器具データを作成した (図 7)。このグリップの形状は、握った際にグリップエンドが手の形状沿うような想定のカーブを持たせた。この CAD データを用いて器具の形状を変更させた場合の把持姿勢の生成を行った。

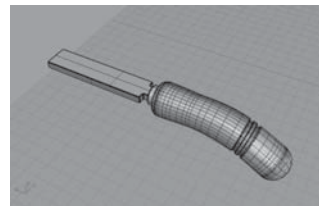


図 7 形状を変更したモデル

また、ここまでに生成した各把持姿勢に対して、DhaibaWorks の機能による把持安定性評価を行った。

4. 結果と考察

4-1 把持姿勢の生成

DhaibaWorks 上でのデータの統合による把持姿勢の生成を行ったところ、図 8 のような姿勢が生成できた。これにより把持安定性について評価を行うための把持姿勢の再現ができた。なお、ここでは DhaibaWorks 空間内の原点を器具のグリップエンドに設定し、器具の長さ方向が y 方向、ヤスリ面が z 方向となる配置を行った。

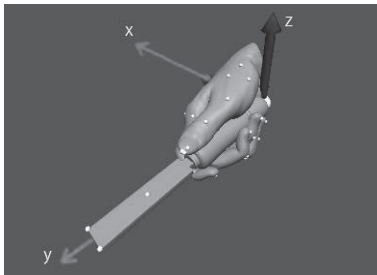


図 8 生成した把持姿勢

生成した姿勢に対して把持安定性の評価を行った。DhaibaWorks による把持安定性評価は、製品モデルとハンドモデルとの接触領域と方向から摩擦円錐を用いた凸包から計算される²⁾。生成した姿勢にこの処理を行ったところ図 9 のような結果となった。原点周辺に表示される 3 次元形状（凸包メッシュ）は、この姿勢における回転トルクに関する対抗性を示しており、原点から評価方向に伸ばした半直線と凸包メッシュ面との交点をもとめ、その半直線の距離が大きいほど与えた半直線周りのトルク対抗性があることを示す。この凸包メッシュは CAD データとして出力して、検討することが可能であった。これを見ると、今回の結果は y 軸方向により与えられるトルクに対して安定性が低いとの評価がわかる。現実でもこの握り方では、製品の長さ方向を軸とする回転には弱いことが想像できるため、この評価はこの姿勢での使用状況を予測すると考えることができた。

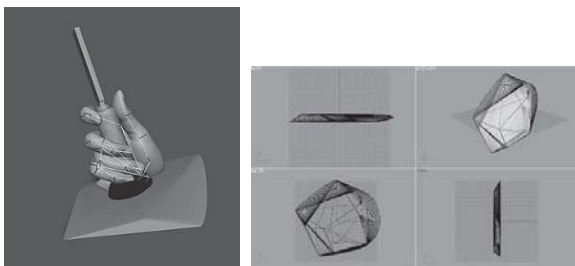


図 9 評価結果の凸包メッシュ（左）と凸包メッシュの CAD への出力（右）

4-2 ユーザの想定

ユーザの展開では、4-1 で生成した把持姿勢のハンドモデルを 3 つの代表的ハンドモデルに置き換え、そのハ

ンドモデルが製品モデルと接触するまで握りこむ処理を実行することにより、想定される把持姿勢の生成を行った。その結果を図 10 に示す。生成された姿勢は、それぞれのユーザが製品を使用する際に想定される把持姿勢となった。これにより手の大きさが異なるユーザが使用した際の製品把持姿勢の予測が可能であると考えられた。

この生成した 3 つの把持姿勢に対して把持安定性評価を行ったところ、結果は図 11 のようになった。図はトルク対抗性の凸包モデルを CAD に読み込んだ際の xz 平面ビューである。それぞれの評価結果には違いが見られ、ユーザの手の大きさの違いによる製品の把持安定性評価の変化の予測ができると考えられた。

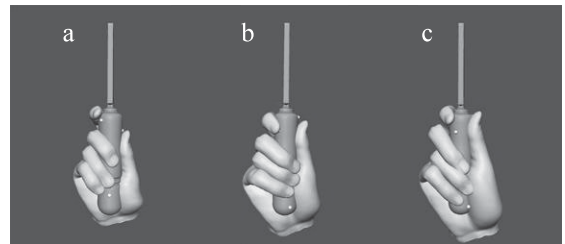


図 10 異なるハンドモデルにより生成した把持姿勢 (a : small, b : average, c : large のハンドモデル)

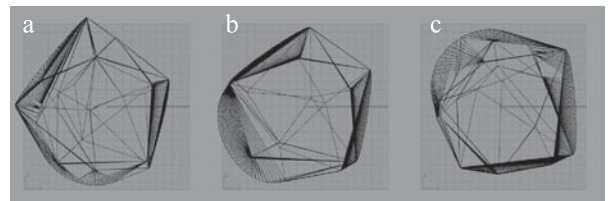


図 11 ハンドモデルの違いによる把持安定性評価の結果

4-3 把持姿勢の想定

4-1 の把持姿勢をベースとし、ハンドモデルのリンク構造を操作することにより異なる握り方による姿勢の生成を行った。その結果は図 12 のように握りを再現することができた。生成した異なる把持姿勢の把持安定性評価を行ったところ、結果は図 13 のようになり、新たに生成した把持姿勢についても評価を行うことができた。このことから、把持姿勢を展開させた場合の想定と、その際の製品把持安定性の予測が可能と考えられた。

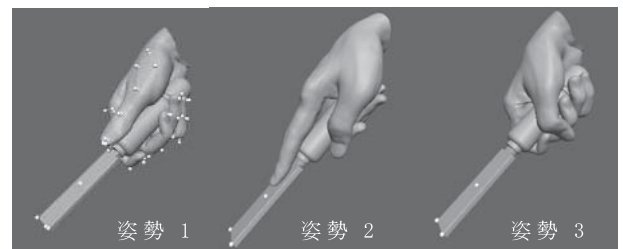


図 12 生成した把持姿勢

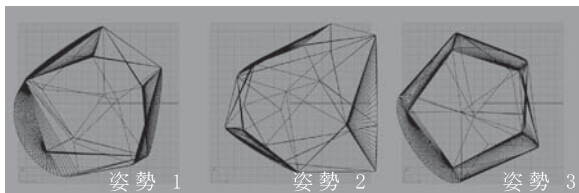


図 13 把持姿勢の違いによる把持安定性評価の結果

4-4 製品形状の想定

形状を変化させた器具を把持する場合の姿勢の生成を行ったところ、結果は図 14 のようになり、変更前と把持姿勢に変化が生じることが確認できた。これにより、製品形状の変化に伴う把持姿勢の変化を予測することができることがわかった。

製品形状の変更前と変更後の把持姿勢における把持安定性評価の結果は図 15 のようになった。上図が xy 平面、下図が xz 平面からの凸包メッシュを示す。これを比較すると、変更後では y 軸方向への凸包モデルの形状増加が見られた。これは変更後のグリップの把持では、変更前と比較して製品の長さ方向を軸としたトルクに対する対抗性が増すという予測を示している。これにより製品形状の変化に伴う把持安定性評価の比較検討が可能であることがわかった。

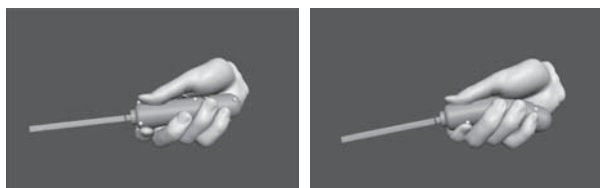


図 14 把持姿勢の生成 (左：変更前、右：変更後)

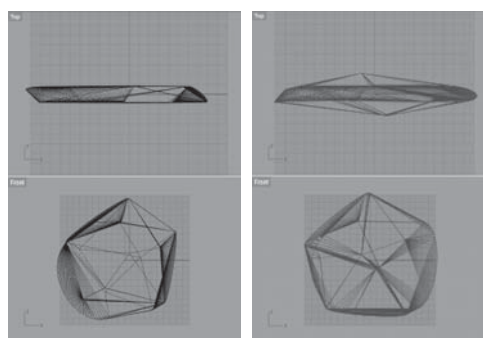


図 15 製品形状の変化に伴う把持安定性評価
(左：変更前、右：変更後)

また別の評価指標として、把持安定性評価の計算に用いられる製品と手指との接触領域を抽出したところ、結果は図 16 のハンドモデル上の着色で示すような領域となった。これからは変更後のグリップと手指との接触領域が、変更前と比較して手のひらや指先に増えていることが見られた。これにより、形状の変更によってグリップ

と手指との接触面積の増加が予測でき、製品と手指とのフィット感について検討可能であることが考えられた。

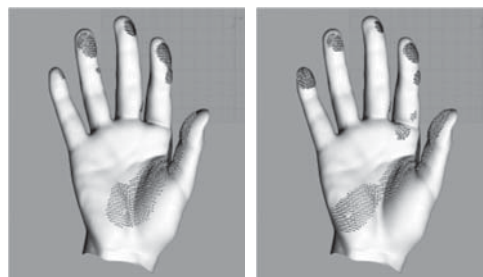


図 16 接触領域 (左：変更前、右：変更後)

5. 結 言

今回の研究により DhaibaWorks 上で宝飾品製造器具を使用する状態の手指姿勢のシミュレーションと、その状態での把持安定性評価が行えた。また、手指のサイズが異なるユーザの使用についての想定、製品の異なる使用方法の想定、製品形状を変更した場合についての想定をシミュレーションし、それぞれの把持安定性を評価するに至った。これによりシミュレーションを活用することで、新たにデザインした製品についてユーザの身体や道具の使用状態を考慮した把持安定性が予測でき、これをもとに使用感の良い製品形状のための設計が可能になると考えられる。今後はシミュレーションの評価結果から適合性の良い製品デザインについて検討を進め、その確認を行う予定である。

謝 辞

本研究を進めるにあたりご指導を頂きました産総研 DHRG の宮田なつき博士をはじめ、研究員の皆様に感謝致します。

参考文献

- 1) 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：手の寸法に基づくデジタルハンドファミリー
<<http://www.dh.aist.go.jp/jp/research/centered/2004HandDim/>> (2016-6-10 参照)
- 2) 遠藤維 他，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)