

## RGB-D カメラを用いたデジタルヒューマンモデルに対するインタラクティブ教示システム(第2報) —製品モデルに対する物理シミュレーションに基づく姿勢フィット手法—

北海道大学 ○久澤 大輝, 金井 理, 伊達 宏昭  
産業技術総合研究所 多田 充徳, 宮田 なつき, 遠藤 維

### 要旨

本研究は, RGB-D カメラを用いた製品評価のためのデジタルヒューマンモデルに対する効率的でインタラクティブな姿勢教示システムの開発を目的とする。本報では, 前報で提案した RGB-D カメラによって推定した人体の製品利用近似姿勢から, 物理シミュレーションを利用して製品モデル表面にフィットする人体姿勢を求める機能の一部を実装し, その動作の検証実験を行ったので報告する。

### 1. はじめに

近年, CAD システム等の普及により, 人間の構造や機能等をコンピュータ上に再現した「デジタルヒューマンモデル(DHM)」によって, 製品と利用者の相互作用や親和性を仮想評価し, ユーザの個人差などに配慮した製品設計を支援するデジタルヒューマン(DH)技術が注目を集めている[1]。DHMで製品評価を行うためには, その製品の利用動作を仮想空間上のDHMに行わせる必要があるが, 人体の構造や動作は非常に複雑であり, 製品利用時の自然な姿勢や動作を全て手で指定するには多くの手間と時間を要する。これを解決するため, Motion Capture でユーザの実利用姿勢を直接的に教示する手法[2]や, 物理的な人形の姿勢を変更して教示する手法[3]もあるが, 高価で大規模な設備や特殊な装置が必要であった。

そこで本研究では, 近年低価格化している RGB-D カメラと AR 技術を用いて, DHM へ迅速で高効率な教示を行うインタラクティブシステムを提案する。

前報までは, RGB-D カメラ画像からの DHM の製品利用時の初期姿勢推定[4] (図1の A,B), 及び物理シミュレーションエンジンを活用した CAD モデル表面との接触を満たすような初期姿勢の自動調整の基本機能 (図1の C) を提案した[5]。

本報では, DHM と同一関節構造を持つマルチボディを用い, 接触拘束を満たす姿勢調整を安定して行える物理シミュレーションのパラメータ設定を実験的に明らかにし, この手法の実現可能性を検証する。

### 2. 提案システム

本研究の提案システム全体の概要を図1に示す。システムは, 製品の近似形状をもつ代替物を使いながらユーザが提示した製品の近似的な利用姿勢を RGB-D カメラによって推定し(A), 推定姿勢と同じ DHM の姿勢を生成する(B)ことで, DHM へインタラクティブに初期の製品利用姿勢を教示する。その後, DHM の姿勢が製品利用姿勢にある程度近づいた状態で製品表面と DHM 表面間に接触拘束を与えることで CAD モデルへ DHM 表面を自動的にフィットさせ, より正確な利用姿勢へ近づける(C)。加えて, RGB 画像上の代替物位置に CAD モデルを重畳表示することでユーザへ視覚的なフィードバックを行い, より自然な姿勢教示を支援する(D)。

本報では, このうち(C)の接触拘束を満たす姿勢調整を, DHM をマルチボディ化したモデルを用い物理シミュレーションによって実現する姿勢フィット機能を開発し, 安定したフィットが行えるパラメータ設定を実験的に調査した。

### 3. 物理シミュレーションによる DHM の姿勢フィット

#### 3.1 概要

図1(B)で与えられる DHM の初期利用姿勢は製品表面部位と利用時に接触する DHM 表面上の部位が互いに近接した状態の姿勢である。次にこの初期姿勢から, 20箇所ある DHM の関

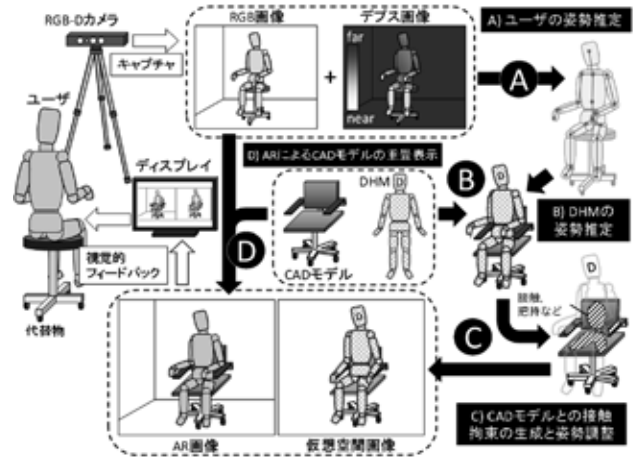


図1 提案システムの概要

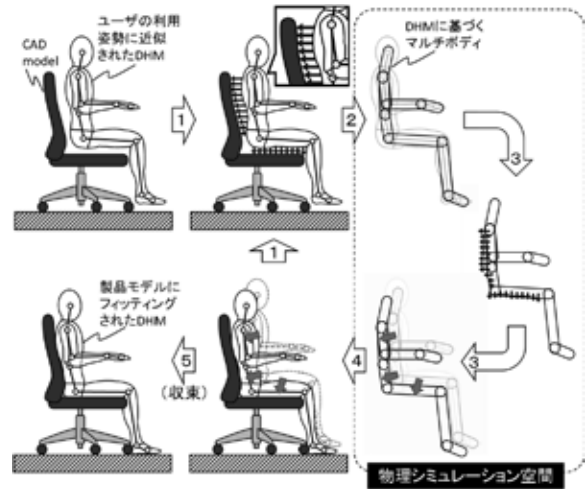


図2 フィット処理概要

節を運動させ, DHM 表面と CAD モデル表面の近接部位同士が適切にフィット (接触) する拘束条件を満たす DHM の解姿勢を導出する必要がある。しかし解姿勢の導出時には, 関節変数が多いため接触部位不足で解姿勢が一意に定まらない場合や, 拘束過多で一部の接触を解除しなければならない場合が多く発生し, その修正のため DHM 上での拘束追加や, 解姿勢の微調整を対話的に操作することが必要となる。また関節ごとの運動容易性の差異を, 解姿勢に反映させたい場合もある。このような対話操作との親和性がよく, DHM の解姿勢を比較的容易な実装で安定に導出でき, なおかつ導出課程が物理的に理解しやすい手法として, 本研究では CAD モデルとの接触拘束を力場として表現した空間内に DHM と同一関節構造を持つマルチボディモデルを配置し, その運動を物理シミュレーシ

ンで推定することにより、接触拘束を満たす解姿勢の導出（フィッティング）を行った。本研究では、DHMとしてDhaiba[6]を、物理シミュレーションライブラリとして、Bullet[7]を用いる。

### 3.2 物理シミュレーションによる姿勢フィット

フィッティング処理の概要を図2に示す。この処理は、以下の手順で行われる。

1. 処理(B)で得られた DHM 近似利用姿勢を反映し、その表皮頂点と接触すべき CAD モデル表面間の距離を計算する。
2. 物理シミュレーション空間上に、DHM のリンク構造と同一寸法の構造で、ジョイントにバネとダンパを持つ、マルチボディモデルを生成する。
3. 1 で求めた DHM-CAD モデル間距離に応じた引力または斥力を各マルチボディに作用させ、運動させる。この力は、任意の DHM 表皮頂点*i*と、これに対応する CAD モデルの接触面との距離ベクトルを $d_i$ とすると、頂点*i*に対応するボディに作用する力 $F_i$ を式(1)で定める。

$$F_i = \frac{1}{N}(kd_i + cd_i) \quad (1)$$

$N$  : ボディ上の作用点数

$k$  : 任意の比例係数,  $c$  : 任意の減衰係数

4. 3 の力により運動したマルチボディの現在姿勢を DHM へ適用する。
  5. 1 ~ 4 をマルチボディの運動がほぼ収束するまで反復する。
- 以上により、フィッティングされた DHM 姿勢を得る。

## 4. 姿勢フィット実験

### 4.1 実験概要

物理シミュレーションによる姿勢フィット手法の実現可能性を調査するため、以下のような椅子への着座を想定した姿勢フィット実験を行った。

図3(a)に示す、予め着座姿勢に近い状態の DHM から生成された DHM と同一構造のマルチボディに対し、椅子の背面・座面及び地面に見立てた3面からの距離に応じた式(1)の力を、接触対象となるボディに作用させ、姿勢をフィッティングする。また、各ボディを DHM のリンクを中心軸としたカプセル形状として生成し、DHM の表皮の代替頂点として、そのカプセルの表面点を DHM 表皮頂点とした。図3(b)はマルチボディの初期姿勢である。次いで、ボディとフィット面の接触拘束の関係を表1に、ボディ上に設定した力作用のための頂点位置を図4にそれぞれ示す。加えて物理シミュレーション時の各パラメータとシミュレーション結果の関係性を調査するため、式(1)の $k$ 及びジョイントのバネ係数をそれぞれ変化させ、マルチボディの動作を確認した。なお、今回は式(1)の $c$ をゼロ、ジョイントのダンパ係数を0.02とした。

### 4.2 実験結果

図5に運動収束時の姿勢を示す。関節のバネ係数が高いほど初期姿勢の保持性が高いが、関節バネ係数が高い状態で作用力が大きくなる Case F のような場合では振動・発散し、フィット動作が収束しなかった。逆に、 $k$ が高いほど面へのボディ表面と面との距離が近づく一方で、初期姿勢の保持性が低下したことが確認できた。

## 5. まとめ

物理シミュレーションを用いた DHM の CAD モデルに対する姿勢フィット機能を提案し、その実現可能性を確認した。またマルチボディ化した DHM が安定して製品にフィットするパラメータには範囲があることを明らかにした。今後は DHM の表皮形状を考慮した自動的な姿勢調整機能の実装を行う。

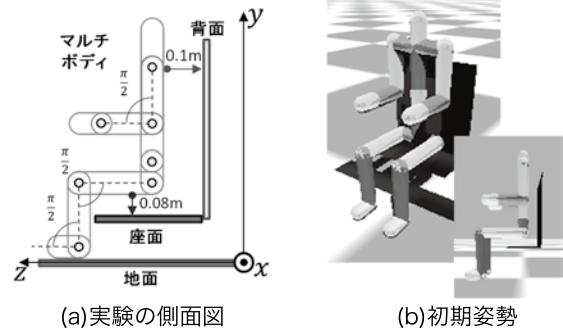


図3 姿勢フィット実験概要

表1 ボディとフィット面間の

接触拘束	
ボディ(カプセル)	対応面
背骨(胸椎, 腰椎), 右鎖骨, 左鎖骨	背面
左大腿, 右大腿, 左骨盤, 右骨盤	座面
左足, 右足	地面
左右腕部, 左右脛, 頭部	なし

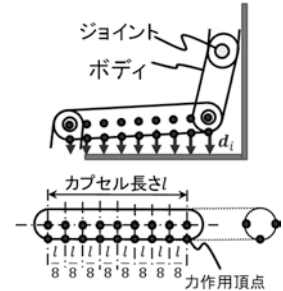


図4 力作用頂点

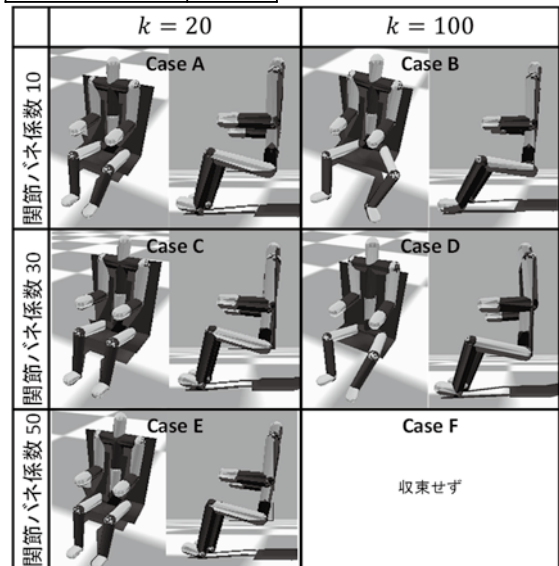


図5 運動収束時の姿勢

### 参考文献

- [1] 持丸正明：デジタルヒューマンによる人間中心設計支援, 情報処理学会, Vol.54, No.2, pp.86-91, (2013).
- [2] X. Wang et al.: From Motion Capture to Motion Simulation: An In-vehicle Reach Motion Database for Car Design, SAE 2006 Digital Human Modeling for Design and Engineering Conference, Paper#2006-01-2362, (2006).
- [3] W. Yoshizaki et al. :An Actuated Physical Puppet as an Input Device for Controlling a Digital Manikin, Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.637-646,(2011).
- [4] 久澤他：デプスカメラを用いたデジタルヒューマンモデルの実時間教示システム, 精密工学会北海道支部学術講演会講演論文集, pp.61-62, (2014)
- [5] 久澤他：RGB-D カメラを用いたデジタルヒューマンモデルに対するインタラクティブ教示システム(第一報)-距離場と物理シミュレーションを用いた製品モデルに対する姿勢フィット手法, 精密工学会春季大会講演会講演論文集, pp.469-470,(2015)
- [6] Y. Endo, M. Tada, M. Mochimaru: Dhaiba: Development of Virtual Ergonomic Assessment System with Human Models, Proc. DHM2014, Paper #58, (2014).
- [7] Bullet Physics Library <http://bulletphysics.org/wordpress/>