

仮想人間モデルを用いた製品シミュレーションに関する研究

—ITとVRに基づく次世代設計環境の研究—

藤井 勝敏

Research on Virtual Human Modeling for Products Simulation ～ Research on the Neo-Generation Design Environment based on Information and Virtual Reality Technology ～

Katsutoshi FUJII

あらまし 製品開発や評価を支援することを目的に、コンピュータ上で仮想的な人間のモデルを構築する技術に注目し、動作シミュレーションができる仮想環境構築に向けた仮想人間モデルや拘束条件の構築法について検討した。今回導入した仮想人間モデルは親子関係のない剛体リンクモデルとし、設計対象製品として介護支援用装置を想定した動作シミュレーションに用途を限定することで、リアルタイム処理が可能な程度に簡略化した。そして、その仮想人体モデルを構築および操作できるソフトウェアを試作し、従来のCGシステムにおける同様な操作との使用感の違いについて検討した。

キーワード 仮想人間モデル, 設計支援, バーチャルリアリティ(VR)

1. はじめに

工業製品の設計段階において、VR技術を使って製品を評価することは、一般的に、試作レスとすることによるコストメリットが期待できる。そこで本研究所では、没入型6面VRディスプレイCOSMOSを用いてデジタルモックアップ技術に関する研究を行ってきた^[1]。しかし、福祉介護機器のような製品分野を対象にする場合、外観だけではなく人が使う状況での評価が必要になる。これを人が実際に使用して評価する方法では、評価に先立って試作品を作る必要があり、コスト面、安全面、開発サイクルの面でメリットを十分に享受することができなかった。

そこで本研究では、この製品分野に対してもVR技術を導入することによって、より競争力の高い製品を短期間に低コストで開発するための、次世代の設計環境の構築を目指す。そのために、従来のデジタルモックアップ技術をベースにして設計された仮想的な試作品を、仮想的な人間モデルに試用させるという発想に基づき、計算機シミュレーションの実現と可視化を中心とした技術開発を推し進めている。

本年度は、昨年度の研究^[2]に引き続き仮想人間モデルの構築方法と拘束条件についての検討と実装を行い、振り付け操作方法に関して考察した。次章以降でそれらの内容について述べる。

2. 仮想人間モデル

本章では、本研究の基盤技術となる仮想人間モデルの構築について述べる。仮想人間モデルとは、人間の構造、挙動、性質等をパラメータとアルゴリズムによって記述し、計算機上で挙動のシミュレーションが行えるようにしたものである。

そのような仮想のモデルを構築するためには、現実の人間の形体、機能、行動などの特性を計測、観測することが必要で、工業分野に限らず様々な分野で研究が進められている。特に、直接人間に関わる医学の分野では先進的であると言えるが、医療機器による計測は、極めて高い精度が追求された結果、高価で取り扱いが専門的になっており、また被測定者の肉体的負担が増すことがある。本研究のねらいは、VRによる試作レスによって低コストの設計環境を構築することであるため、できる限り簡単に導入でき、容易に取り扱いができるような単純化したモデルを構築する方向で検討する。

2. 1 介護支援時の身体動作

そこで設計対象として、患者(要介護者)の起立や車椅子等への移乗を介助する機械装置(ロボット)を想定する。このような介助は、現在は介助者が行っており肉体への負担が懸念される作業の一つであり、機械による補助が望まれている。その一方で患者の安全面への配慮や機械の信頼性の低さなどから、当分の間は製品化が難しいと予想される設計対象である。

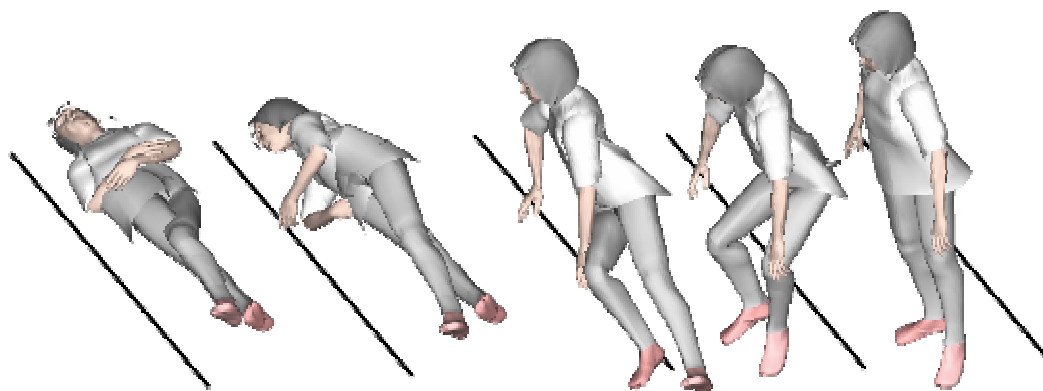


図1 ベッドからの起立動作

まず、一般的なベッドからの起立介助時の動作について検討する(図1)^[3]。基本的にはベッド上に仰向けに寝ている患者の、患側(麻痺している側)の手足を健側(力が入る側)に掛け、半身横向きに寝かせる。次に両足をベッドから外に垂らし腰を軸にして肩を持ち上げて上半身を起こす。最後に患者の腰部をベッドの外に引き出しつつ介助者が上体を起こすことで起立が完了する。この手順では、患者の体重はベッドから床に預けられ、梃子(てこ)や振り子の原理を巧みに用いるため、障害の程度や体格にもよるが、介助者、患者ともに大きな負担をかけずに安全に起立を介助するような工夫が指導されている。

このことを踏まえて次に、この手順をVR技術によってシミュレーションすることを考える。患者のモデルは、四肢を重ね、梃子を使う必要があることから、単純な体重相当分の分布モデルでは不十分であるが、指の一本一本や顔の目鼻立ちまでを正確にモデル化する必要はない。従って、今回の仮想人間モデルは、頭部、四肢および胴体等の部位に分かれており、物理的な諸法則に従うモデルを考えることにする。

2. 2 剛体リンクモデル

本年度は仮想人間モデルの基本構造として、人間を頭、胴体、腕、大腿、脛、足等のブロックに分解して剛体モデルとしたものを、関節により結合させる拘束条件を追

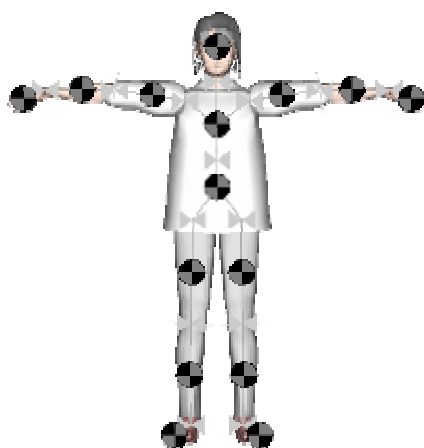


図2 剛体リンクモデル

表1 仮想人間モデルの主要データ構造

剛体ブロック(PARTS)		
Vector	標準姿勢での重心位置	S_B
Vector	運動中の重心位置	P_B
Quart.	運動中の回転	Q_B
Solid	干渉判定用のソリッド形状群	

関節(JOINT)		
PARTS*	参照する剛体ブロック(2個)	
Vector	標準姿勢での回転中心位置	S_J
Vector	標準姿勢での回転軸	A_S
float	回転角度制限 θ_{min} , θ_{max}	

仮想人間モデル(HUMAN)		
PARTS[]	剛体ブロック集合	
JOINT[]	関節集合	
Shape	3D形状データ	

加した、剛体リンクモデルを導入した(図2)。この形式のモデルは、既製のCGシステムやモーションキャプチャシステムなどでも一般的に採用されている実績があり、通常想定される人体の挙動(歩行、ダンス等)を記述する上で、曲がるべき関節は曲がるけれども分離することなく制御できるなど、理にかなった利点がある。

一般的なCGソフトでは腰をルート(原点ノード)にし、下半身、上半身を樹木の枝のように階層構造で定義することが多く、前報でもその方式を採用していた。しかし介護の場面では、動作の支点を腰以外にも肩や肘、膝など変えながら回転させることが多いため、ルートを自由に変更できるようにするか、もしくは特定ノードを特別扱いしない方が、計算処理や管理上都合が良いと考えられる。そこで今年度の仮想人体モデルでは、階層構造を持たない剛体ブロック集合と、その任意の2個の組み合わせの相対位置関係を拘束する関節群で構築した。今年度の人体モデルの構成を、表1に示す。

2. 3 関節モデル

次に、剛体の間をつなぐ関節モデルについて検討する。前述の剛体リンクモデルを構築するには、基本的に関節

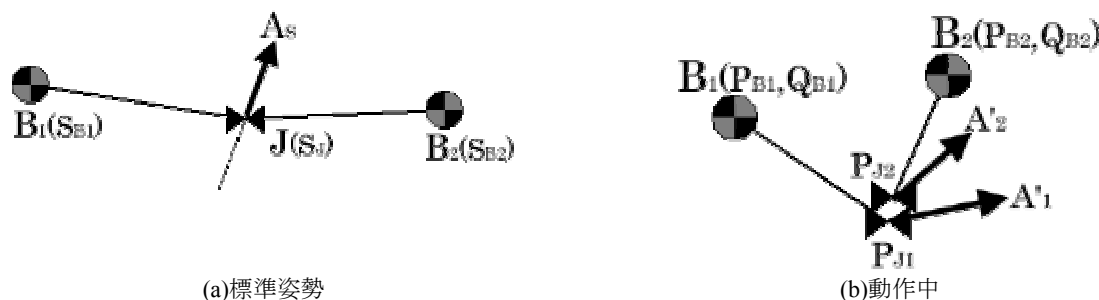


図3 関節の拘束条件

ごとに2つの剛体を参照し、それぞれの剛体における特定の点の位置が常に一致するように拘束する必要がある。また、肘や膝の関節に見られるように、関節の参照する二つの剛体間の位置関係がほぼ一定の回転軸周りに限定される場合や、さらに一定角度以上には屈伸しない場合の拘束条件について、次のようにモデル化する。

まず、図2のように、不自然な分離や歪みが全くないことが保証されている剛体の配置状態を「標準姿勢」とする。この姿勢における、ある関節 J と、 J に関する2つの剛体 B_1, B_2 について考える(図3-a)。 J, B_1, B_2 の標準姿勢における位置ベクトルを S_J, S_{B1}, S_{B2} とする。また肘のように蝶番状の動作をさせるなら関節 J の回転軸ベクトル A_S を定義する。姿勢が変化し、剛体が運動した結果、 B_1, B_2 の位置ベクトルおよび回転クォータニオンが $(P_{B1}, Q_{B1}), (P_{B2}, Q_{B2})$ となった時、剛体 B_1 から見た関節の位置 P_{J1} と回転軸ベクトル $A'1$ は、

$$P_{J1} = Q(S_J - S_{B1}) + P_{B1} \quad \dots \dots (1)$$

$$A'1 = QA_S \quad \dots \dots (2)$$

で、剛体 B_2 からの位置 P_{J2} と回転軸 $A'2$ も同様にして計算する。今、関節で剛体が分離しない拘束条件から P_{J1} と P_{J2} が一致することが必要条件として導かれ、一定の回転軸周りの移動に限定される場合は $A'1$ と $A'2$ が一致することが必要条件になる(図3-b)。

次に、一定の角度以上に屈伸しない拘束条件を定義するために、現在の関節角度歪みクォータニオン ΔQ_J と回転角度 θ_J を次式で定義する。

$$\Delta Q_J = Q_J Q_J^{-1} \quad \dots \dots (3)$$

$$\theta_J = \begin{cases} +2\cos^{-1} W_J (A'1 \bullet V_J \geq 0) \\ -2\cos^{-1} W_J (A'1 \bullet V_J < 0) \end{cases} \quad \dots \dots (4)$$

但し、 W_J は ΔQ_J の実数成分、 V_J は ΔQ_J の虚数部ベクトル、 A' は一致させた $A'1$ と $A'2$ もしくは回転軸を設定しない場合はゼロベクトルとする。回転角度 θ_J は、剛体が標準姿勢の時にゼロで、関節が曲がるにつれて絶対値が大きくなるため、ゼロをまたぐ適切な範囲で制限することによって拘束条件が定義できる。

3. 仮想人間モデル

前章で定義した仮想人間モデルを実際にコンピュータ上に構築するために、仮想人間モデルを開発した。このプログラムはMicrosoft®Windowsの動作するPC上で実行し、主にマウスを使用して必要なモデリング操作を行う。主要な作業手順は、

- (1) 素体(標準姿勢で作成した3次元人体形状)モデルを読み込む
- (2) 適当な位置に剛体ブロックの重心を配置する
- (3) 適当な位置に関節を配置し剛体2つと関連付ける
- (4) 剛体ごとに体積のある交差判定用形状を配置する
- (5) 必要なら関節に回転軸を設定する
- (6) 関節ごとに可動範囲を設定する

となっている(図4)。(1)における素体データは、CGソフトなどで流通に利用されるOBJ形式やRIB形式などが利用できる。本稿の素体データは、文献[4]より引用した。(2),(3)の骨格データは素体データにあわせてGUIで微調整する他に、人体寸法データベース^[5]を参考に数値入力することや、モーションキャプチャシステムで利用されているBVH形式からの読み込みができる。(4)の交差判定形状は、剛体ブロック間の干渉を回避するための判定に用いるソリッド形状である。素体形状が閉じた多面体等で定義されていれば、それを直接利用することも考えられる。しかしこのモデルでは、リアルタイム性確保のためには厳密さを損なっても交差干渉計算を省力化したいため、球や円柱などの基本形状の組み合わせで大まかな人体の体積を設定するようにしている。

現在のところ、作成した仮想人体モデルを操作して図3あるいは図1のような一連の振り付けを設定することができる。その際、関節の可動範囲が適切に設定できていれば不自然な姿勢をとることがなく、また関節がどの程度屈曲しているかをスライダーによって定量的に観測することができる。

また図5の様に、任意の剛体から別の剛体に辿る関節の経路が一意に定まれば、目標位置に末端が届くように途中の剛体の位置・回転を計算する逆運動学のアルゴリズム(CCD法^[6])が適用できるため、一般的なCGシステムと同等な操作感が得られる。一方で、任意の関節を曲げ

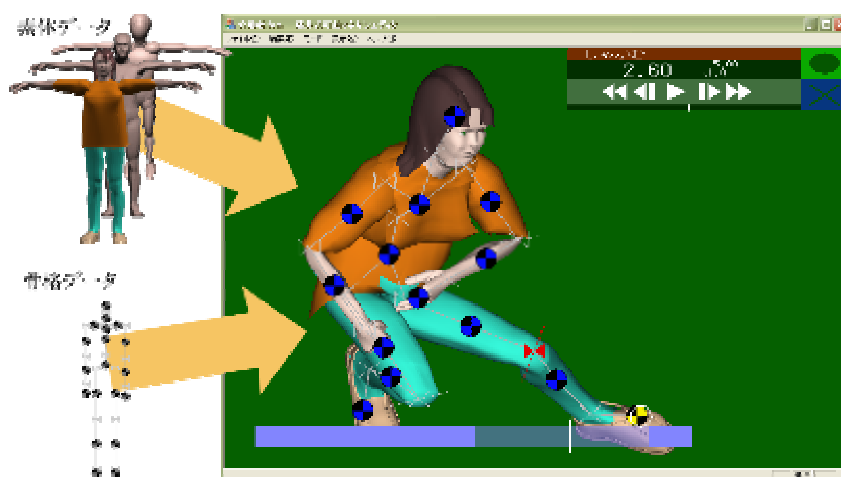


図4 仮想人間モデル

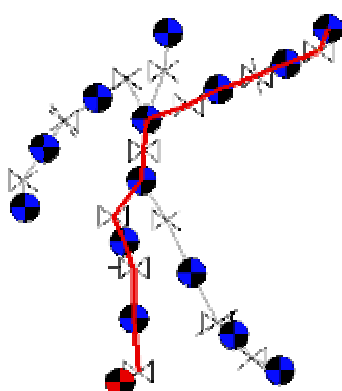


図5 CCD法の遡上経路

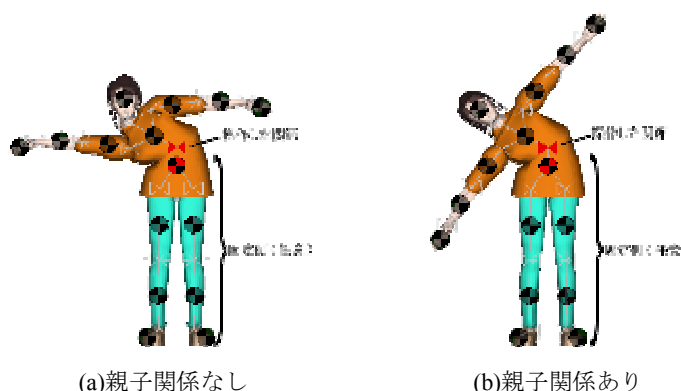


図6 関節の回転操作の影響範囲

たときの影響は、関節を越えるにつれて収束する(図6-a)。
親子関係がある場合は親の移動は末端まで影響を受ける
ため、この点においては若干操作感が異なる(図6-b)。
しかし、これらの違いは内部計算で吸収できるため、目
的に応じて使いやすい操作方法に切り替えられるように
している。

4. まとめと今後の予定

VR環境で製品を仮想的に設計するデジタルモックア
ップの応用の一つとして、人間が介在する福祉介護支援
機器の製品設計および評価を支援するための仮想人体モ
デルについて検討した結果、親子関係のない剛体リンク
モデルを採用することにし、関節の拘束条件と屈伸角度
の評価式を導いた。その仮想人間モデルを容易に構築す
るためのモデラを試作し、モデリングの方法やモデルの
操作感について、CGソフトで一般的な親子関係方式と比
較した。

現在のところ、マウス操作で振り付けができ、関節ご
とに屈曲の程度を観測できるところまで実装できている
が、今後の課題(および目標)として、

- 重量、慣性モーメント、ばね定数等の物理的性質に
基づく挙動計算(負荷評価や事故検証)

- 設計対象製品と仮想人体モデルの間の相互作用シ
ミュレーション(介護支援機器や装具類の仮想的な
試用・試着)
 - 能動的な機械・人体のモデル化とシミュレーション
(移動補助・リハビリ支援ロボットの設計支援)
- を実現し、最終的に、介護支援用製品の設計から試用実
験までを仮想空間内で一貫して行える次世代設計環境を
実現する予定である。

文 献

- [1] 浅野良直ほか，“バーチャルモックアップによる製
品評価システムの開発”，岐阜研生産情報技術研究所
研究報告第3号，pp.29-32, 2002.
- [2] 藤井勝敏，“福祉機器設計のためのVRシミュレー
ション提示技術に関する研究”，岐阜研生産情報技術研
究所研究報告第4号，pp.57-60, 2003.
- [3] “在宅介護の基礎と実践②体を動かす介助”，サクセ
スエンタープライズ，2001.
- [4] エクスツールズ，“人の森”，Shade実用3Dデータ集
- [5] 河内まき子ほか，“日本人人体寸法データベース
1997-1998”，工業技術院くらしとJISセンター，2000.
- [6] 久保田裕一郎，“Enter the 3D Programming 第10回”，C
MAGAZINE 2001.7, pp.110-115, 2001