

人間と調和した生活環境設計のためのシミュレーション

An intensive simulation method for design of living environments assisting human behaviors.

瓜井治郎(CAS リサーチ) ○正 柿崎隆夫(NTT アイティ)

Jiro Urii (CAS Research) Takao Kakizaki (NTTIT)

Key Words ; 3D-simulation, human-body model, design, robotics, motion, multi-agent, living environment

Abstract

An intensive 3D-simulation method for designing living environment assisting human behaviors has been developed. Basic motions necessary for daily life such as “arm-reaching, stand-up and sit-down, go up/down the stairs, etc” may be one of the most important factors for efficient design scheme. In this study, a rich human-body model with 44-DOF has been utilized in formulating basic daily-motion modules of human. Using multi-agent simulation technique with those modules, suitable living as well as housing environments can be designed with less efforts comparing to the mock-up type designing method widely used in industry.

1. はじめに

今日、高齢者や障害者にも優しい住環境の整備が必須とされているが、その実態は未だ十分ではない。この主な要因としてはコスト負担が大なることがあげられるが、産業基盤としての環境設計技術やノウハウの蓄積も十分とは言えない。特に人間と住空間との調和関係をきめ細かく簡易に扱える手法はないようである。

本研究では、高齢者などの生活に優しく調和する住環境を効率よく設計するために便利な3D ツールの整備を目指した。このため、3次元の精密人間モデルを導入、洗面や浴室等を持つ生活空間、そして設置された住宅設備機器を使用しながらの生活動作群を住環境設計モジュールとして作成した。幾つかのシミュレーションにより、本手法が人間と調和した住環境のためのシミュレーションに有効であることを確認した。

2. 生活基本動作の導入

以下では3Dシミュレーションツール^{(1),(2)}上でのマルチエージェント手法を用いた⁽³⁾。一般的な住環境の中で必要となる主要動作を、ここでは「生活基本動作」と呼ぶこととする。本論文では、「手を伸ばして物を掴む」、「座る、立つ」、「手摺りを掴み立つ、座る」などについて扱う。なおここでは扱わないが、介護・被介護に伴う「複数の人間の協調動作」、また、車椅子、リフト、室内エレベータなど「各種設備との協調動作」も重要な生活基本動作となる。さらに、「歩く」(直線や曲線歩行、階段昇降)、空間内での導線確保、大人子供などの身体相違の考慮なども本シミュレーションで扱うことができる⁽⁴⁾。住環境モデルに生活基本動作モジュールを導入することにより、バリアフリーな住環境設計のシミュレーションも比較的簡単化できると思われる。

3. 対象とする住環境のモデル

図1に想定する住環境の例を示す。これは平均的な家族が居住する一般的なマンションであり、まずはその中で人間のモデルが移動動作する状況を考えることとする。

次にモデルと空間座標の関係について示す。全体の座標系 Σ_g に対し、人間モデルはそれぞれの原点にローカル座標系 Σ_i をもつ。3次元であるから、位置 x,y,z 、軸まわりの回転 $yaw,pitch,roll$ の成分を持ち、演算は同次変換マトリクス $T_i \in R^{4 \times 4}$ の形で行う。モデルの動作にはそれぞれ着目する部位へ空間座標の目標値が必要である。このため住環境の空間モデル内には目標値として任意の局所座標系を設定する。

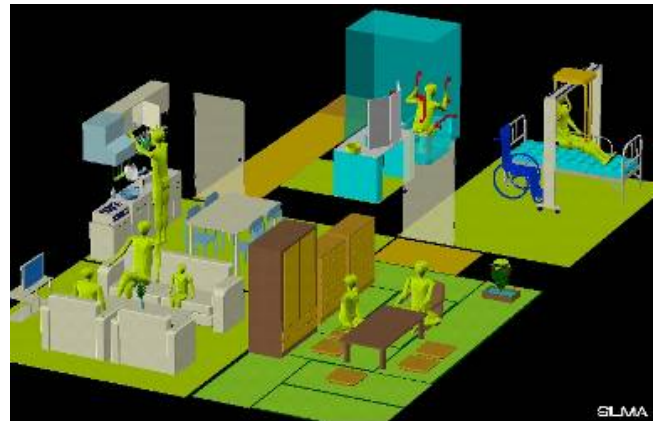


Fig.1 Schematic of a living environment model

4. 精密人間モデルの導入

人間モデルは、デジタルヒューマン、VR・CGのキャラクタなど種々の目的に合わせ導入されてきた。生活基本動作では一般住環境で遭遇する動作への対応できるリッチなモデルが必要であるが、住環境設計の分野への導入は進んでいない。

図2に、導入する精密人間モデルの関節数および胴部の関節フレーム配置を示す。モデルの詳細は省略するが、人間モデル全体の座標系として胴部(腰)原点を $\Sigma_{HumanBase}$ とし、腕上部や脚上部等にも各部原点を座標系 $\Sigma_{RightArmBase}$ や $\Sigma_{RightLegBase}$ として与えている。右の手先や足先には $\Sigma_{RightHandPoint}$ および $\Sigma_{RightFootPoint}$ として座標原点を与える。これらはいわゆるエンドエフェクタの基準座標であり、左腕左足も同様としている。精密人間モデルは全44自由度を持つことになり、一つの基準座標系と8つの局所座標系で構成される。以上のモデルに所定の拘束条件を与え、前述の生活基本動作モジュールとして導入する。

5. 動作シミュレーション

5-1 座位で物をつかむ

例えば、車椅子での洗面を想定すると、手が蛇口まで届くか否か、そして脚がシンク部分に当たるか否か等が確認対象とすべき設計ポイントとなる。

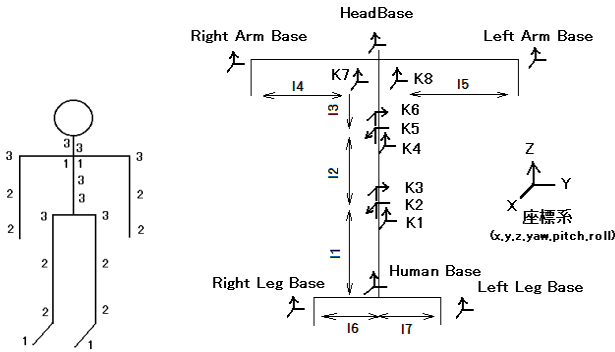


Fig2 Precise human model

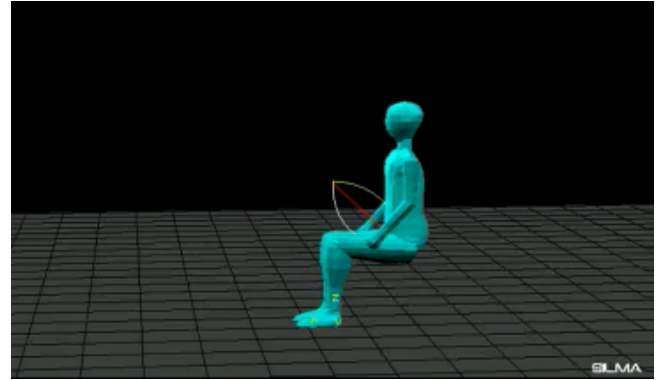
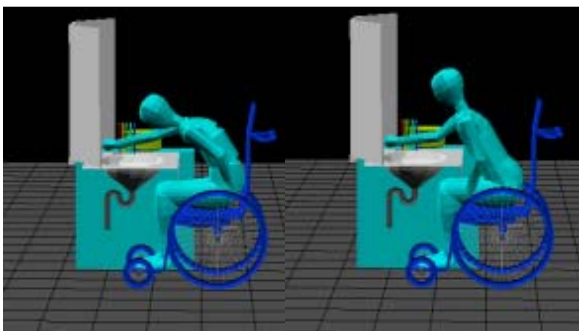


Fig.4 Schematic of stand-up / sit-down model

腕のみ伸ばすだけで手先が届く場合は、単純なインバース演算で対処できる。届かない場合、一つの解は胴部基準座標を固定のまま背中を丸めて手を伸ばすことである。これは、胴部と腕部が連動していると考え、図3-aのように掴む姿勢を得る。ただし、この場合は胴部と腕部の複合、すなわち14-DOFモデルとなり単純インバースでは解けない。よって、胴部の関節に適当な値を与え、腕部に逐次インバース演算を施し、自然な形での到達解を求めることになる。

もう一つの解は、胴部全体を前へ傾斜し(腰を折る)手を伸ばす方法である(図3-b)。ここで両足は床上で同じ位置姿勢を保つこととする。このため傾斜に応じて膝を曲げる動作をインバース演算で求めていく。つまりこの基本動作は片腕、胴部、両脚を総合したキネマティクスである。なお、キッチン等にて立位(立った状態)で掴む場合、一般には半歩ないしは1歩前進して手を伸ばすことになる前へ進んだ後のプロセスは前項と同様である。



(a) (b)
Fig.3 Schematic of wheelchair arm-reaching model

5-2 座る、立つ動作

座る動作や立つ動作モデルは、椅子やソファなどの高さや奥行き、さらにテーブル配置等の空間・形状設計に必要となる。

立位から座位への遷移、すなわち座る動作の基本は、両姿勢間の補間軌道を与えることである。実際の座る動作はかなり複雑だが、ここで胴部姿勢は変化しないとしている。具体的には足先を固定したまま胴部基準座標系(いわゆる腰位置)に適切な軌道を与え、インバース演算で脚関節位置を求める。これにより膝の曲がりなどが自然な形で再現される。

図4は座った姿勢であり、図中の曲線は腰位置の軌道を表す。黄色(外側)は足先固定として単純関節補間した場合、赤色(中側)は腰部に直線経路を与えた場合、白色(下側)は重心移動などを考慮した曲線経路を与えた場合である。

5-3 手摺りを掴みながら立つ、座る

トイレや浴槽において手すりの最適位置を検討する場合に必要となる。これは、手を伸ばす、立つ・座る動作の応用となる。

図5は立つ場合の例であり、まず手すりを掴み(洗面の応用)、ついで腰を浮かし立つ動作へと遷移する。掴んだ状態で手先および足先(ここでは右足)の位置姿勢を決め、「立位から座位」とは逆の手順で腰部の自然な軌道を与え、対応する脚部および腕部等その他の部位の基準座標からインバース演算により各部位の軌道を計算していく。胴部を前傾させつつ膝も自然に曲げていく姿勢となる。ただし胴部の関節の変化はない(背中丸めない)としている。



Fig. 5 Schematic of constraint-arm motion model

6. おわりに

高齢者や障害者へも調和する住環境設計には、さまざまな動作パターンに対応できる人間モデルが必要となる。それにはまず実際の歩行に必須な自律的移動が前提となる。その上で直線歩行、曲線歩行の他、階段昇降など上下左右の移動動作、さらにはこれらを連続した動作として、種類や大きさの異なる住環境に対応していく必要がある。本研究における生活基本動作はこうした動きにきめ細かいバリエーションを与えるものでもある。

文献

- 1) SilTools developer's guide, 三井造船システム技研(株)
- 2) HumanDesign, <http://www.cas.fussa.tokyo.jp/>
- 3) Kayoko HASHIMOTO, Tatsuo OHMACHI, Shusaku INOUE, Jiro URII, Behavioral characteristics of group evacuation learned from evacuation drill and its simulation, JAEE 12th symposium, pp1390-1393, 2006.
- 4) 瓜井ほか, 精密人間モデルの導入による3次元集団避難シミュレーションの高精度化, 機論投稿中.