

## 論文の内容の要旨

### BALANCE MAINTENANCE FOR HUMAN-LIKE MODELS WITH WHOLE BODY MOTION

(人型モデルのための全身動作を用いたバランス保持動作の生成)

工藤 俊亮

近年、力学的に正しい人型モデルの動作を生成することに対する需要が高まってきている。コンピュータ・グラフィックスの分野ではリアルな三次元アニメーションへの需要の高まりから、正しい人間の動作を簡単に生成する手法の開発への取り組みがなされている。ロボティクスの分野では、ヒューマノイド・ロボットを動作させるために、厳密に力学的整合性のとれた動きを生成することは必要不可欠なものとなっている。我々は、人間動作の観察・分析に基づいてできるだけ簡単なモデルで人のような動きを生成できるメカニズムの研究を行う。

人型モデルの動作生成に関する研究の中で、バランスの保持に関する研究はもっとも重要なトピックの内の1つである。2本足で体を支える人型モデルは、支持面の面積が小さく重心が高いためにバランスを崩しやすく、適切な制御手法なしでは安定的に動作することは不可能だからである。そのためロボティクスやコンピュータ・グラフィックスの分野などを中心に、バランスのとれた動きを生成する手法に関する研究が数多くなされてきた。

中でも外力の作用などによる外乱に対してのバランス保持は、人型モデルの動作生成にとって避けることのできない課題といえる。なぜなら、外部環境とのインタラクションを上手く取り扱うことができないとしたら、生成可能な動作の幅が著しく狭められることになるからである。本論文では、比較的簡単な制御メカニズムと簡単なモデルでもって、人型モデルの外乱に対するバランス保持動作、それも突発的で大きな外乱に対するバランス保持動作が生成できることを示す。

突発的な外乱に対して最も柔軟かつ有効なバランス保持を実現しているのは、他ならぬ人間自身であると言える。実際、人間は突発的な外乱に対して、腰を大きく屈める、腕をぐるぐる回す、足を踏み出すなどの大きな全身動作を自発的に用いて、きわめて質の高いバランス保持動作を実現している。ところが人型モデルのバランス保持に関する研究において、これらの「人間らしい」バランス制御の手法はほとんど取り上げられてこなかった。ここでは、上に挙げたような人間のバランス保持動作を観察、基本的なパラメータを抽出し、これを用いて比較的単純なモデルを構築することで、様々な大きさの外乱に対して適切な全身動作を用いてバランスを保持する動作を生成する。

まず外乱が加えられたときの人間のバランス保持動作を、モーションキャプチャやフォースプレートを用いて複数の被験者に対して計測した。その結果を重心、ゼロモーメント・ポイント (ZMP) などのマクロな物理量に注目して解析・抽象化し、それに基づいてバランス保持モデルを構築した。また、踏み出した脚をばねに見立てた時のばね定数など個人差のあるパラメータも同時に抽出した。これらのモデルとパラメータを用いて最適化計算を行うことにより、人間が行うような全身動作によるバランス保持動作が生成される。この際、脚を踏み出さないで踏ん張るモデルと、より大きな外乱に対処するため脚を踏み出すモデルの2つのモードを構築した。

このようにして生成された動作を人間の動作と比較した結果、人間のバランス保持動作に見られる特徴がよく再現されていることが分かった。また手法の定量的な評価として、足を踏み出すことなくバランスを保持できる外乱の大きさに関して、提案手法と実際の人間に外乱を加えた結果とで定量的な比較を行った。その結果、本手法が単に人間の動きの特徴を再現しているだけでなく、定量的な側面からも人間のバランス保持動作を再現していることが示された。特に、どの程度までの外乱なら脚を踏み出さないモードをとるかなどの閾値に関して、制御モデルと人間の行動に一致が見られた。

以上これを要するに、人間から得た各種の基本的なパラメータ量と比較的単純なモデルと最適化計算のみよって、人間が行う複雑な全身動作を伴うバランス保持の2つのモードについて特徴を再現できることを示すことができ、これらのモードを分けるパラメータもこのモデルで表現できることが分かり、これを用いて各種の人間らしい人型モデルの動きが生成できたという点に本論文の寄与があると考えられる。