

# 可変柔軟構造を持つ人間型ロボットのシミュレーション環境

東京大学機械情報工学科

水内 郁夫 稲葉 雅幸 井上 博允

## Simulation environment of humanoid robot which has variable soft structure.

University of Tokyo

\*Ikuro MIZUUCHI Masayuki INABA Hirochika INOUE

**Abstract :** We have developed a humanoid robot which has a variable flexible torso. This paper describes the development of simulation environment in which the magnitude of shock in various parts of the robot body can be inspected. Parallel GA environment and the application to the brachiation motion generation of developed humanoid robot in this environment are also presented.

**Keywords :** Mechanically Variable Flexibility, Flexible Torso, Simulation, Whole-Body Humanoid Robot

### 1 はじめに

ロボットが人の生活の場で安全に多様で複雑な作業をこなすためには脊椎のような柔軟性を持つ機構が有効であり、なおかつ状況に応じて柔軟さを能動的に調節できる事が求められる。こうした視点に立ち、人間型ロボットの体幹部に可変な柔軟構造を組み込むことに取り組んできた<sup>1, 2)</sup>。状況に応じて柔軟性を変更しながらブラキエーション動作の実験を行い、可変柔軟性の利点を確認したが<sup>1)</sup>、その調節のタイミングや調節量は試行錯誤によっていた。

様々な動作中の適切な柔軟性のシーケンスを求めるための方法論が求められる。そのためには、様々な条件で動作を行った際の各部に加わる衝撃力を計測できる必要がある。衝撃力の計測にあたり、実機にセンサを埋め込むのでは限られた部位しか計測できないので、理論的にはどの部位でも計測できるシミュレーション環境が有効である。ロボットが壊れるほどの衝撃のある着地などの動作においても、弾性・粘性がどの程度衝撃を吸収するかを検証することもできる。さらに、衝撃に強い構造の設計にも利用できる。

本稿では、衝撃力の計測とその情報を利用し動作の生成を行うことのできる環境の構築について述べる。

### 2 可変な柔軟構造を持つ人間型ロボット

ロボットが柔軟性を持つことにより、以下のような利点が考えられる。

衝撃吸収 ブラキエーション、転倒など。人間との接触時の衝撃緩衝など。

多様な体勢の活用 狭所での作業・移動や、体幹部の変形で障害物をよけて希望の位置・姿勢をとるなど。

弾性要素を利用したエネルギーの蓄積の利用 投球動作や、ブラキエーションや鉄棒における励振動作など

脊椎構造を組み込んだロボットとしては、メモリーフォームによる粘弾性を持つ体幹を備えた人間型ロボットの試作例<sup>3)</sup>がある。また、長手方向の柔軟性を可変にする構造としては、コイルばねと円盤を利用した剛性可変バネの試作例<sup>4)</sup>などがある。こうした構造を利用することにより、多自由度に対する可変な柔軟性が実現できると考えられる。筆者らは、体幹部に柔軟性を能動的に調節可能な構造を組み込みブラキエーション動作を行った<sup>1)</sup>。

柔軟性の違いによって同じ動作をしたときに、衝撃力がどのくらい異なるかを検証できるシステムを構築すれば、動作によって最適な柔軟性の変化を求めることがで

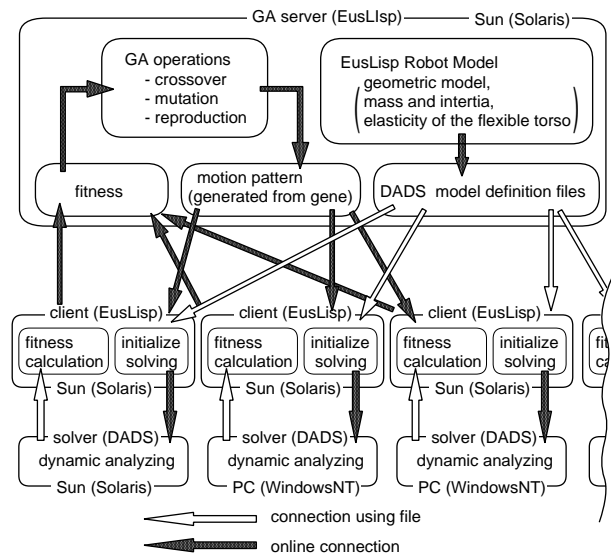


Fig. 1: ソフトウェア構成

けると同時に、設計にも利用可能である。こうした視点から、柔軟構造を含むロボットの動作の生成及び衝撃力の検証を行うことのできるシミュレーション環境を構築した。動作生成部はシミュレーションとGA(遺伝的アルゴリズム)をオンラインで結び、並列に自動的に探索を行うシステムを構築した。

### 3 ソフトウェア構成

ソフトウェア構成は Fig.1に示すように構築した。

ロボットの幾何モデルを EusLisp<sup>5)</sup>上に構築するソフトウェア環境<sup>6)</sup>を拡張し、ロボットの形状・質量・慣性モーメントの他に、縦弾性係数やポアソン比といった柔軟構造の部分のパラメータを含む幾何モデルを、動力学解析シミュレーションソフトである DADS のモデルに変換するモジュールを追加し、柔軟構造を含む EusLisp 上のモデルを DADS の定義ファイルに変換する。

動作生成には GA を利用できるようにした。DADS の解析及び解析結果の解釈を EusLisp からオンラインで行うモジュールを作成した。EusLisp 上の GA の遺伝子から生成される動作パターンを自動的に DADS で解析し、結果を EusLisp 上で解釈し適応度の計算を行う。Solaris 及び WindowsNT で走る多数の DADS のソルバに、並列に解析を割り当てる並列 GA 環境を構築し、プラットフォームの異なる多数のマシンを計算エンジンとして、高速な探索を行うことが出来るようにした。

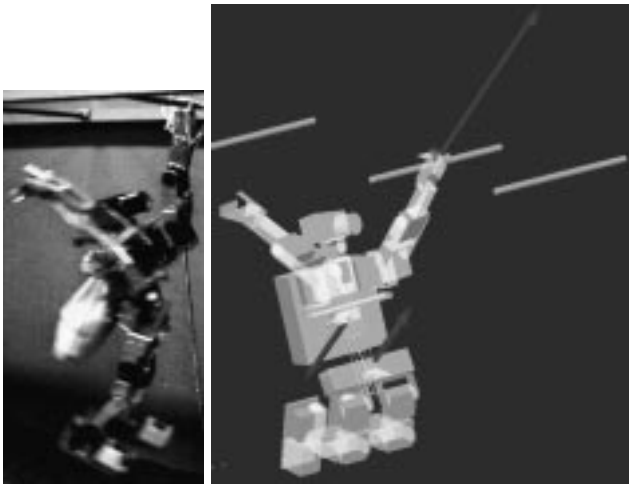


Fig. 2: ブラキエーション動作 (実機とシミュレーション)

#### 4 シミュレータ上におけるブラキエーション動作の生成

構築したソフトウェア環境を用いて、GAによりシミュレーション上のブラキエーション動作を生成した。

##### 4.1 GAの設定

実機のブラキエーション動作実験<sup>1)</sup>の際のシーケンスを初期姿勢列として、各姿勢の関節の調整量と姿勢間の遷移時間を遺伝子として<sup>7)</sup>GAを行った。

適応度は以下の評価基準の重みつき和を用いた。

- 運動中の体幹部の鉛直方向の位置(高さ)の平均が大きいほど良い。
- 右手の接触反力がある。
- 両手の接触反力の変動が小さい方が良い。
- 体が前に進んだ距離が多いほど良い。

調節する関節としては、両手の肩・肘、片手のグリップ関節、両足の股関節・膝関節の計9関節とし、初期姿勢列は8個の姿勢からなる列をスプライン補間したものとしたので、

$(9\text{関節の調節量} + \text{時間ステップの調節量}) \times 7\text{ステップ}$ となり、計70の長さの遺伝子を用いた。その他GAのパラメータは、個体数105、交差率0.2、突然変異率0.02、淘汰率0.4とした。

##### 4.2 実機とシミュレーションのブラキエーション動作

Fig.2に、実機とシミュレーションによるブラキエーション動作を示す。実機を完全にモデル化できてはいないので、実機の動作とシミュレーション上の動作と若干の違いがあるが、柔軟性を変えた時の衝撃力の違いを見ることが出来る。

Fig.3は、体幹部が硬い場合と柔らかい場合の、体幹部の根元に生じる内力の大きさをシミュレーションで計測したグラフを示す。硬い場合の方がピークの値が大きいことがわかる。数値の大きさの正確性はモデル化の精度に依存するが、剛と柔の両方の場合での比較の意味では、その差が検証できることが重要である。

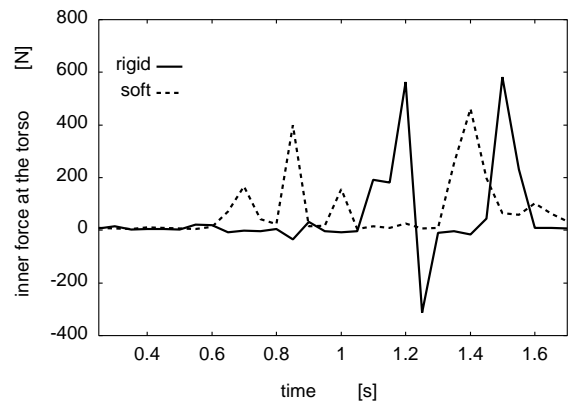


Fig. 3: 体幹部における内力

## 5 おわりに

柔軟性可変な構造を持つロボットにおいて、適切な柔軟性と動作の組合わせを導出することと、衝撃吸収を考慮した設計を可能にすることを目的とし、動作中の衝撃力を検証できるシミュレーション環境を構築した。マルチプラットフォームの複数マシン上で並列に動力学解析を実行し、解析結果を取り込むソフトウェア環境を構築し、並列化されたGAにより動作の生成を行う環境を実現した。この環境を利用して、実機によるブラキエーション動作シーケンスをもとに、GAによりシミュレーション上でのブラキエーション動作を生成し、動作中の衝撃力の検証を行った。

今後の課題は、衝撃吸収を考慮した設計への利用、シミュレーション上で生成した動作を実機で再現するためのパラメータ調整法の確立、柔軟性を適切に変更しながらの動作の実現、体幹部の能動的変形の自由度の増加などが挙げられる。

なお、本研究は日本学術振興会 未来開拓推進事業「マイクロ・ソフトメカニクス統合体による高度生体機能機械の研究(研究プロジェクト番号 JSPS-RFTF 96P00801)」の助成を受けて行なわれている。

## 参考文献

- 1) 水内, 松木, 加賀美, 稲葉, 井上. “可変な柔軟構造の体幹部を持つ人間型ロボットへの取り組み”. 第16回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 第2巻, pp. 825-826, 1998.
- 2) 水内, 松木, 稲葉, 井上. “柔軟構造を含む人間型ロボットのシミュレーション環境と実ロボットの動作生成への適用”. 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'99講演論文集, pp. 2A1-47-085, 1999.
- 3) 小屋迫, 金広, 水内, 稲葉, 井上. “脊椎構造を持つ人間型ロボットシステムの開発”. 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'98予稿集, pp. 1C11-6, 1998.
- 4) 尾田, 王, 松本. “剛性可変ばねの試作とその変位制御問題への応用”. 日本機械学会論文集(C編), Vol. 59, No. 564, pp. 262-267, 1993.
- 5) T. Matsui and M. Inaba. “EusLisp: an Object-Based Implementation of Lisp”. *Journal of Information Processing*, Vol. 13, No. 3, pp. 327-338, 1990.
- 6) 金広, 稲葉, 井上. “幾何モデルを中核とした人間型全身ロボットのソフトウェア環境”. 第15回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 1013-1014, 1997.
- 7) 金広, 服部, 稲葉, 井上. “概略記述の適応化による人間型ロボットの運動獲得”. 第16回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 829-830, 1998.