

# 人間型ロボットに対するインタラクションシステム 小型実モデルの設計・製作

## An Interaction System for a Humanoid Robot – Design and Prototyping for a Small-Size Robot –

多羅尾進, 橋本将樹

Susumu Tarao, Masaki Hashimoto

一関工業高等専門学校

Ichinoseki National College of Technology

キーワード: 小型ヒューマノイドロボット (small-size humanoid robot), インタラクション (interaction), マンマシンインタフェース (man-machine interface), 動力学 (dynamics), 組み込みシステム (embedded system)

連絡先: 〒021-8511 岩手県一関市萩荘字高梨 一関工業高等専門学校 制御情報工学科  
多羅尾進, Tel.: (0191)24-4754, Fax.: (0191)24-2146, E-mail: tarao@ichinoseki.ac.jp

### 1. はじめに

従来の産業用ロボットの用途とは異なった, 人間の生活環境におけるロボットの利用が注目されるようになってきている. 人間の生活環境は, 人間の体の構造や身体能力に適するように整備されている. このような環境の中で, 人間と共存して行動するロボットは, 人間を模倣した人間型のロボットであることが望ましい場合が多い. このような環境に対応する新たなロボットの応用分野に向けて, 実際に, 人間型ロボット(ヒューマノイドロボット)の研究開発が活発に行われている<sup>1)</sup>.

人間型ロボットには, 基本的に自律して行動できる機能を備えることが期待されているが, 一方で, 人間との様々な形でのやりとりによって生じる人間とロボット間の相互作用(インタラクション)を含む行動に十分対応できる能力も要求され

る. 一般に, 人間と同程度の運動性能を有することが望まれる人間型ロボットは, 従来から産業用ロボットとして活用されてきたアーム型ロボットに比べ, 遙に, 多自由度であることに加え, 地面に固定されたベースを持たず, 二足歩行等によってロボット自身が自由に移動を行うロコモーション能力を備えること等が, その機能の特徴として挙げられる.

このように複雑な機能を有する人間型ロボットを, 自在に操作することは, 非常に難度が高く, 主に, 産業用ロボットを対象として実用化されてきた従来のものとは別に, 人間と人間型ロボット間の効果的なインタラクションを確立するための新たなインタラクション手法を提供することが必要である. 人間と共存するロボットとのインタラクション手法は, これまでにも, いくつか提案されている. 例えば, 村嶋らは, 人間が行うジェスチャを

認識し、ロボットの行動に反映させるシステムを報告しており<sup>2)</sup>、菅野らは、音声会話や握手などを通じてコミュニケーションを行うことが可能なヒューマノイドロボット Hadaly-2を開発した<sup>3)</sup>。また、経済産業省の人間協調・共存型ロボットシステムプロジェクト(HRP)では、トレイグジスタンス技術を用いた遠隔操作システムを開発している<sup>4)</sup>。

しかし、ジェスチャによる手法では伝えられる情報量が限られており、人間側からの指示動作が曖昧になる場合も考えられ、情報の信頼性が低くなる場合がある。また、音声による手法は、単純な動作の指示には有効だが、柔軟性に富んだ複雑な動作を指示するには困難が伴い、また、周囲からの環境音などの影響で、音声認識率が変化するという問題がある。一方、マスタスレーブ方式を基にしたトレイグジスタンスによる手法は、ロボットの直感的な指示が可能な反面、その操作システムは比較的大規模なものとなり、日常で使う用途には適さない場合が考えられる。

そこで、本稿では、人間と人間型ロボット間のインタラクション手法のひとつとして、直感的かつ単純な操作によって、人間が、ロボットの行動に介入するインタラクション手法を提案する。この手法に基づくインタラクションシステムの概念を述べ、さらに、これらのシステム構築の第一ステップとして、試作した本システムの核のひとつとなるスモールサイズ人間型ロボットプロトタイプに関して述べる。

## 2. インタラクション手法

多くの自由度を持つ複雑な機構の人間型ロボットは、動作の多様性が増す分、人間が介入してその全身動作に効果的なインタラクションを付加することは、難しくなる。また、あらかじめ計画された基本動作の組み合わせを指示する介入法は、

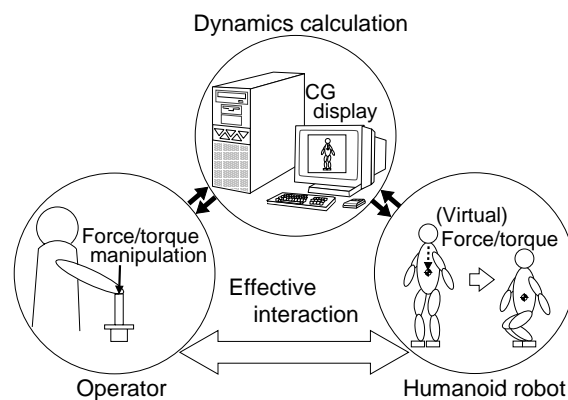


Fig. 1 Concept.

比較的容易だが、得られる動作の柔軟性は劣化する。これらを考慮して、我々は、人間が、押す、引く、ひねるといった単純な操作によって、直感的かつ柔軟に人間型ロボットの行動に介入するインタラクション手法を提案する。

本システムは、人間型ロボットの本体、および人間型ロボットの動力学計算を実時間で処理するリアルタイムモーションミュレーションをシステムの核とし、動特性を考慮した自然な行動介入を実現することを目指すものである。この概念を Fig. 1 に示す。本稿では、本システムの内、人間型ロボットの実機本体である実モデルの構築に関して主に述べるが、これに加えて以下の要素(数値モデル、実モデルと数値モデルのインタフェース、マンマシンインタフェース)でシステムを構成する。

- 人間型ロボットの数値モデルは、計算負荷の大きい人間型ロボットの動力学計算に対して、これを実時間で処理するべく、計算効率の良いアルゴリズムを採用し、リアルタイムモーションシミュレーションを行う一連をデジタル計算機上に構築する。
- 人間型ロボットの実モデルと数値モデルの結合を行うインタフェースは、これらの同期を取り、かつ、実モデルのセンサ値、数値モデルの計算値等双方の運動に関する情報を、ネットワークを介して共有する。共有する運

動データは、それぞれの次ステップの運動に反映させる。

- 人間型ロボットに対するマンマシンインタフェースは、ユーザが指定した着目部分に単純に任意の力/トルクを与える直感的な動作の指示を行い、数値モデルを通じて有効な運動情報を生成して、人間型ロボット実機の行動に介入する。

なお、山根らは、運動学的なアプローチによって、人間型ロボットの動作を直感的かつ柔軟に指示できるピン/ドラッグインタフェースを用いた手法を提案している<sup>5)</sup>。本手法は、実時間動力学計算に基づく数値モデルと実モデルとを結合した動学的なアプローチによって、ユーザの操作負荷を軽減すべく、単純かつ直感的な操作で、人間型ロボットへの動特性を考慮した高度な動作介入を狙う。

### 3. 実モデルプロトタイプ

近年、活発に開発が行われている人間型ロボットの内のひとつのカテゴリとして存在するスマートサイズの人間型ロボット<sup>6)~8)</sup>は、比較的 low コストで製作が可能である。極力短時間で、容易にかつ、確実に実現できることを念頭に置き、モータ、減速機、モータドライバ、角度センサ等がコンパクトに内蔵されたラジコン用サーボモータをアクチュエータとして利用し、かつ、規格材に単純な加工を施す程度の部品を介して各アクチュエータ間を結合してリンク機構を構成し、これにいくつかの汎用マイクロコンピュータを組み込む設計思想で本システムの実モデルとして用いる人間型ロボット本体のプロトタイプを構築する。

本プロトタイプの脚部分には、片脚 6 自由度 × 2 の全 12 自由度を持つように、近藤科学(株)製ラジコン用サーボモータ PDS-2144FET を 12 個配置し、腕部分には、片腕 4 自由度 × 2 の全 8 自由度を持つように、双葉電子工業(株)製ラジコ

ン用サーボモータ S3101 を 8 個配置した。また脚部の足底には、ニッタ(株)製 FrexiForce SSB-T A101-1 を触覚センサとして片脚 4 × 2 の計 8 個配置した。脚部分に関して、モータの配置と各ボディ間の結合状態を Fig. 2 に示す。Fig. 2 において、Joint 1 ~ 12 が、モータの回転軸に対応する。

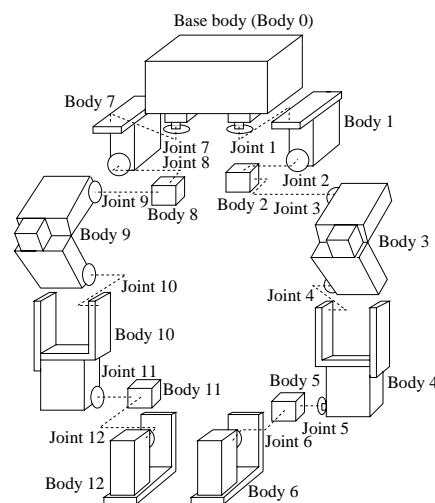


Fig. 2 Biped mechanism (arrangement of motors).

これらを考慮して、設計を行った際の組立図を Fig. 3 に示す。脚、腕部分の各モータ取り付け用部

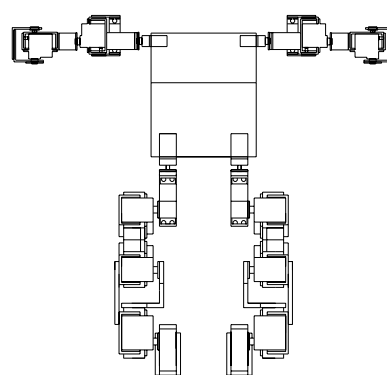


Fig. 3 Assembly drawing of the hardware.

品、モータの回転軸結合用のフランジ等は、アルミ製角パイプ、アングル、チャンネル等の規格材を一般的な卓上ボール盤、立てフライス盤等の工作

機械で、容易に加工できるようにした。このような加工によって製作した部品の一部を Fig. 4 に示す。二つのモータの回転軸が直交する部分 ( Fig. 2

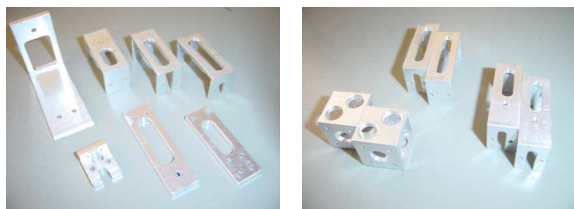


Fig. 4 Sections of the robot.

の Joint 2 と Joint 3 間, Joint 5 と Joint 6 間等) は, 比較的機構が複雑になるが, 本プロトタイプでは, この部分を取って片持ち支持にして, 角パイプに穴開け等の加工を施したもので, 二つの回転軸を結合する構造とし, 製作の容易さと可動範囲の確保を優先した。Joint 5 と Joint 6 間の結合部分を Fig. 5 に示す。

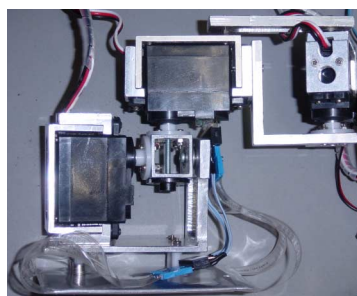


Fig. 5 Binding module.

実際に製作したプロトタイプの写真を Fig. 6 に示す。なお, バッテリを含んだ全質量は, 2.2 [kg] であり, また, 直立時の全高さは, 0.42 [m] である。

#### 4. 実モデル制御システム

実モデルの制御システムは, 数値モデルとの通信, およびロボット内部システムの統括等, 上位レベルの処理を行う主制御ユニットと, 各アクチュエータ, センサに直結され, これらに密接した

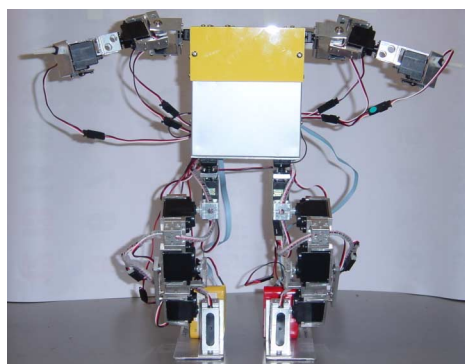


Fig. 6 Photograph of the prototype.

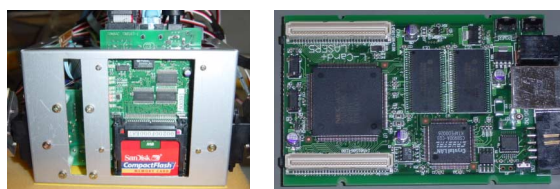


Fig. 7 Linux-based control unit.

下位レベルの処理を行う副制御ユニットからなる。

各モータ, センサとのインタフェースの役割を担う副制御ユニットには, I/O ポート, A/D 変換器等が多く用意されたワンボードマイコンを用いる。一方, 主制御ユニットには, ネットワークの機能が充実し, かつ開発が効果的に行えるシステムとなることを重視し, OS として, Linux を搭載した小型のサーバを利用する。

Linux ベースの主制御ユニットには, レーザーファイブ (株) 製の L-Card+2M を用いる。これは, 日本電気 (株) 製の RISC 型マイクロプロセッサ VR4181-66(66MHz) を CPU として搭載し, これに加えて, 16M バイトの SDRAM, 2M バイトのフラッシュ ROM, 10BASE-T インタフェース, RS232C シリアルインタフェース, コンパクトフラッシュインタフェース, 拡張バス等が非常に小さいスペースに用意されたボードコンピュータである。主制御ユニットは, プロトタイプ胴体上部に搭載するが, これを, 実際に搭載している状態を Fig. 7 に示す。一方, 副制御ユニットには (株) 日

立製作所製マイクロコントローラ H8/3048F を搭載した(株)秋月電子通商製マイコンボード AKI-H8/3048F を用いる。

主制御ユニットと副制御ユニットは、自製のパラレルインタフェースボードを介して接続する。L-Card+2M 側は、その拡張バスに含まれる汎用入出力端子 GPIO の内、ユーザが使用できる 11 本の端子をマイコンボードとの通信に用いる。これら端子の内、8 本がデータ送受信用、1 本がパラレルインタフェースボード上の二つの IC (74ALS573, 74LCX245) の切り替え用、2 本がマイコンボードとのハンドシェイク用に割り振られている。ここで用いる GPIO は、3.3[V] レベルであるのに対して、マイコンボードの I/O ポートは、5[V] TTL レベルで使用するため、レベル変換機能を備えたインタフェース IC である 74LCX245 を介して、マイコンボード側から L-Card+2M へのデータ入力を行う。これらの概要を Fig. 8 に示す。

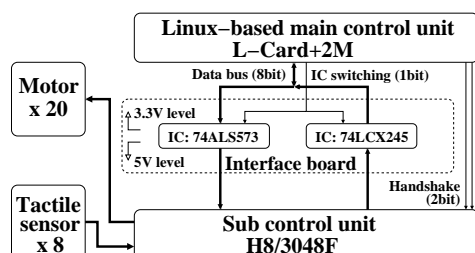


Fig. 8 Control system.

PC/AT 互換機 ( OS: Linux ) 上に L-Card+2M の CPU (VR4181-66) , および H8/3048F それぞれに対応した GNU のクロス開発環境を構築し、各々のソフトウェアは、この環境の下で作成する。L-Card+2M にインストールされた Linux は、リアルタイム処理に対応したものではないが、上記環境の C コンパイラ gcc に用意された usleep 関数によるスリープ時間の設定により、約 20 [msec] の周期で本プロトタイプの制御を行っている。この周期内に、前述した接続により、L-Card+2M は、

マイコンボードから 8 個の各センサデータ ( 1 バイト ) を受信した後、20 個の各モータ角度データ ( 1 バイト ) をマイコンボードに送信する。ここで使用する L-Card+2M の汎用入出力端子 GPIO へのアクセスは、前述の gcc に用意された mmap 関数を利用して得られた各端子に対応付けられたポインタを介して行う。

マイコンボードは、角度データを受け取るとタイマ割り込みによってモータ制御用のパルス波形を生成してモータに出力する。Fig. 8 に示すように、マイコンボード側は、入力用、出力用各々に 8 ビットの信号線を用意しているのに対し、L-Card+2M 側は、GPIO の 8 ビットを入出力兼用に用いている。このような接続で、確実にデータ通信が行えるように、L-Card+2M 側から、ハンドシェイク用 2 ビットの信号線を用い、入力 / 出力のモード、あるいは、エラーの有無等の情報を直接、マイコンボードに入力して、通信の信頼性を確保している。

## 5. 動作実験

ここまで述べてきた、実モデルの動作試験として、歩行の動作を試みた。ただし、本実験では、事前に歩行パターンを各関節角度データとして用意し、主制御ユニットは、副制御ユニットを経由して各関節のモータに対して、オープンループで歩行パターンに従った目標角度の指令を行う。歩行パターンは、要所となる点を決めていき、それら各点の間の適当な所要時間を与え、補間を施して経験的に生成したものである。なお、各モータ内部では、関節角の位置制御が行われる。この手法で、実現できた二足歩行の動作例を Fig. 9 に示す。

## 6. おわりに

人間と人間型ロボット間のインタラクション手法のひとつとして、直感的かつ単純な操作によっ

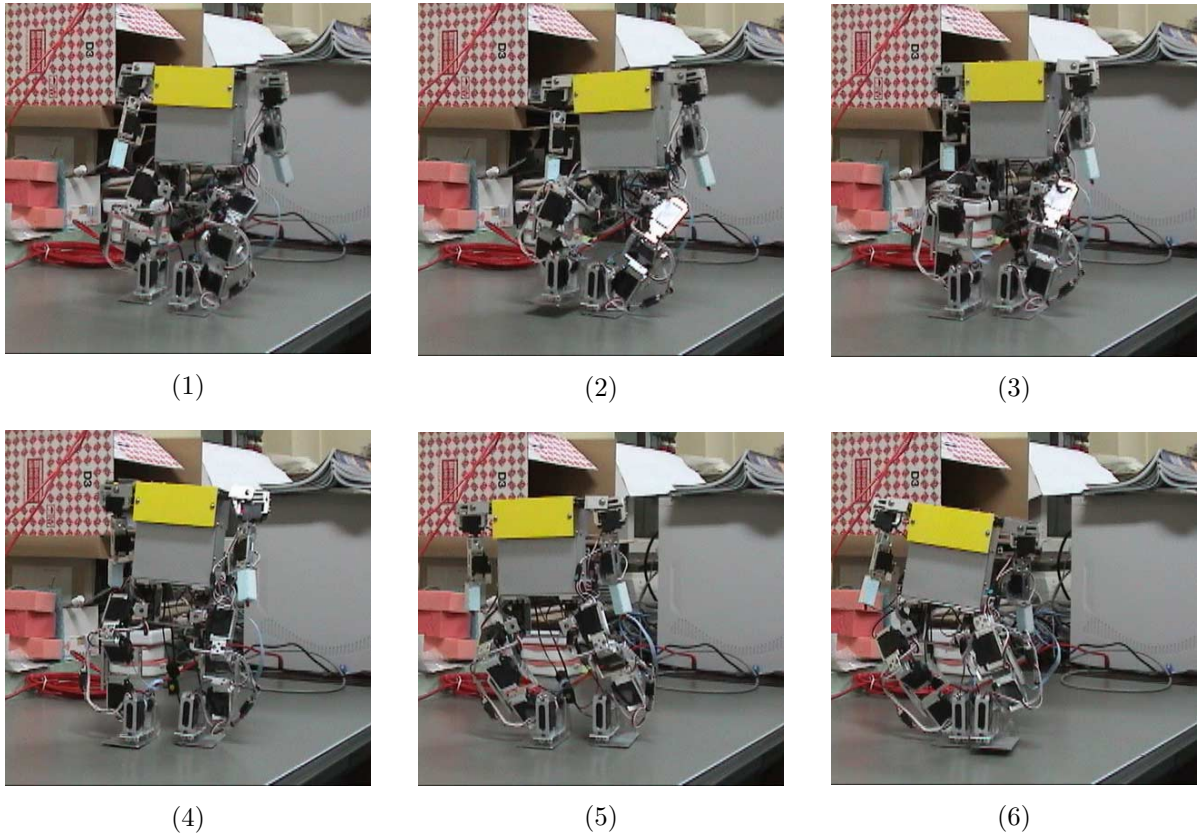


Fig. 9 Trial of bipedal walking.

て、人間が、ロボットの行動に介入するインタラク  
ション手法を提案した。これを実現するシステム  
構築の第一ステップとして、本システムの核のひ  
とつとなるスモールサイズ人間型ロボットプロ  
トタイプ(両脚,両腕,胴体部分)を試作した。ハ  
ードウェアは、極力簡単な部品によって構築し、こ  
れに、制御システムを実装した。これは、上位レ  
ベルの処理を行う主制御ユニットと下位レベルの  
処理を行う副制御ユニットからなる構成とし、主  
制御ユニットには、開発が効果的に行えるシステ  
ムとなることを重視し、Linux ベースのボードコ  
ンピュータを利用した。

今後は、Linux ベース制御システムのメリット  
を活かし、その充実化を図り、自律した歩行制御  
等の機能を実装することを試みる。さらに、数値  
モデルの構築、外部ネットワークを利用した各モ  
デルの結合等インタラクションシステムの他の部  
分の構築等を試みる計画である。

## 参考文献

- 1) 特集ヒューマノイド, 日本ロボット学会誌, 15-7, 961/992 (1997)
- 2) 村嶋照久, 久野義徳, 島田伸敬, 白井良明: 人間と機械のインタラクションを通じたジェスチャの理解と学習, 日本ロボット学会誌, 18-4, 590/599 (2000)
- 3) 菅野重樹, 渋谷恒司: 非言語コミュニケーションのための人間形ロボット, 日本ロボット学会誌, 15-7, 975/978 (1997)
- 4) 館 暉, 小森谷清, 澤田一哉, 井床利之, 井上幸三: HRP 遠隔操作プラットフォーム, 日本ロボット学会誌, 19-1, 16/27 (2001)
- 5) 山根克, 中村仁彦: ヒューマンフィギュアの全身運動生成のための協応構造化インタフェース, 日本ロボット学会誌, 20-3, 335/343 (2002)
- 6) 稲葉雅幸, 金広文男, 井上博允: 脳を持ち歩かない2足2腕ロボットの開発, 第11回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 623/624 (1993)
- 7) 古田貴之, 奥村悠, 富山健: 階層制御系実装のための小型ヒューマノイド Mk.5 とそのプラットフォームシステムの開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会論文集, 2P1-79-128 (2000)
- 8) 山崎文敬, 松井龍哉, 宮下敬宏, 北野宏明: ヒューマノイド PINO - ヒューマノイドプラットフォームとしての外装と構造 -, 第18回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 921/922 (2000)