

ヒューマノイドの実環境行動実現システムの研究

井上博允 稲葉雅幸

情報理工学系研究科 知能機械情報学専攻

概要

本研究では、生活環境で人間と共存できるヒューマノイドの構成法をテーマとし、ハードウェア、ソフトウェアの両面から要素機能と機能統合が可能な環境を構築しつつ行動応用によりそれらの要素と統合を検証してゆく研究を行っている。その際、実世界での行動実現のためのヒューマノイドボディとして、等身大実環境行動ヒューマノイド、小型遠隔頭脳ヒューマノイド、全身腱駆動ヒューマノイドなどを中核とした研究用プラットフォームを設け、それぞれの実身体の特徴を活かして中長期の多様な方向性も視野に入れたヒューマノイド研究を行っている。以下ではそれぞれのプラットフォームでの研究の方向性と現状について述べる。

1 はじめに

ヒューマノイドは、企業や国のプロジェクトにおいても等身大二足歩行、エンターティメント応用、ロボット研究用ヒューマノイドが研究開発され、生活環境で人間と共存できることが期待されている知能ロボットの展開の対象となっている。これらのヒューマノイドの身体ハードウェアに関しては、人間の基本的運動構造を持つ形で、その実現技術はある程度のレベルに達していると見られている。今後はこれらを実世界でどのように人間が期待する行動へ展開できるかが焦点となっている。

本研究は、そのようなヒューマノイドにおける次のステップを目指し、ハードウェア、ソフトウェアの両面から要素機能と機能統合が可能な環境を構築しつつ、21世紀COEの融合型プロジェクトの枠組みの中で、さまざまな行動応用形態を探りながら将来を見据えた形の要素と統合を検証して

ゆくことでヒューマノイドの実環境行動実現システムの研究を行うことを目的としている。その基本的アプローチは、実世界での行動実現のためのヒューマノイドボディとして、等身大の実環境行動ヒューマノイド、小型卓上型のリモートブレインヒューマノイド、全身が腱駆動型のヒューマノイドを中核とした研究用プラットフォームを設け、それぞれの実身体の特長を活かして世界に類の無い感覚行動統合行動の実現から、中長期的に将来のヒューマノイドの新しいソフトウェアとハードウェアの両方を視野に入れた研究を行っている。以下ではそれぞれのプラットフォームでの研究の方向性と現状について述べる。

2 等身大実環境行動ヒューマノイド

人と同じ目線をもつ存在感とその等身大の行動実現により人が活動する実際の環境で人を支援してゆくヒューマノイド行動の実現研究を行うために、等身大のヒューマノイドプラットフォームを開発し、センサ、機構の開発、視覚に基づく環境認識機能、行動計画、歩行制御、全身動作制御等の研究を実環境行動の実現とその評価を進めながら行う形の研究を進めている。

人間と等身大の協調が可能なサイズのヒューマノイドプラットフォームとして、「JSK-H6」(全高1350[mm]、重量55[kg]、関節自由度32)、「JSK-H7」(全高1468[mm]、重量57[kg]、関節自由度30)を開発し、実用の等身大ヒューマノイドのために、制御システム構成、自由度構成、各関節のパワー(トルク・速度)配分等をいかに構成するかの研究開発を行い、新しい実用ヒューマノイド身体に必要な新規の機構・センサーハードウェアの開発とそれを利用した行動研究を行っている。これまでに、歩行能力・全身運動能力拡大のためのつま先自由度の開発、歩行時の床反力計測



図 1: 視覚情報に基づき移動対象物を追う二足歩行オンライン制御実験

に適した，3軸力計，6軸力計の開発等を行い評価してきた。また，多様な物体の把持を行うためのヒューマノイドに適したハンドの開発を行っている。

歩行制御の機能は立作業におけるバランス制御，踏み替えなども含めた二足による移動機能はヒューマノイドの最も重要な能力の1つである。ヒューマノイドの歩行は，動力学，運動性能，ロボットの幾何形状等に起因する変化しない制約条件と，目的，環境に応じたその時々々の制約とを満たす通常は冗長な解空間から適当な解を見つける問題である。その際に動力学等時間方向への関係が強いこと，モデル化誤差の存在等を考慮して，明示的な目標のみを考慮しただけでは多数の解が存在する中で，どのような解を最適とするかを研究している。これまでに，実時間両眼視覚システムにより得られた環境モデル中で様々な制約を満たす運動を生成するために，モーションプランニング手法により周囲に障害物のある環境下でのバランスを考慮した全身運動軌道計画生成，障害物の多い環境下での足跡の計画生成などを行い，床反力センサ，姿勢角センサを用いた歩行の安定化，動力学や形状のモデルを有するシミュレーション環境を用いた，オンラインでの目標に従う実現可能な歩行運動の生成の研究を行っている。(図1)

また，人間型の特長を生かした全身運動機能の実現研究として，しゃがむ，這って歩く，様々な姿勢で物をつかむといった動作の実現を主に力学的安定性を考慮して行っている。(図2) さらに多様な運動を実現するとともに，目的のある動作に積み上げていくための，運動の遷移，目標状態を



図 2: 全身の自由度を活用した運動生成実験

記述できる動作記述とその記述を実現できる運動制御法の研究を進めている。

さらに，これらを統合して自律的な移動機能として構成してゆく研究として，オンラインでの環境形状認識，運動計画，歩行制御機能を統合できる環境をベースに，変化する環境や未知の障害物のある環境での行動生成システムへ対応させ，モデル化誤差を含む変化する環境で頑健に機能するシステム，経路上の信頼度の低い部分を見直す戦略，経路計画に対する慎重な歩行や高速な歩行形態の決定等の様々な付随する機能など，多くの判断材料に基づく総合的な動作制御システムの構築など将来必要となるヒューマノイドの行動知能ソフトウェアの構成法を最重要課題とした研究を進めている。

3 遠隔頭脳小型ヒューマノイド

転倒時の動作生成など等身大ヒューマノイドでは試行が難しい全身行動の研究や卓上において視聴触覚対話を通じた能動的なインターネット情報端末としての応用研究などのプラットフォームとして，小型サイズのヒューマノイドを構成する方法としてリモートブレイン型ヒューマノイドの開発研究を進めている。(図3) 身体は小型であるが大規模な計算環境を利用するために，ハードウェアとソフトウェア切り離すリモートブレイン型システムの中で，多種多量のセンサを取り付け可能な体内 LAN 型のインテリジェントデバイスシステムや，外部ブレインとの連携と切り離しが可能な体内ブレイン機能をもつシステム構成法などの



図 3: 小型遠隔頭脳ヒューマノイドによる実験

研究を行っている。

要素機能のソフトウェアとしては、環境・人間認識のための実時間三次元視覚を中心に研究を進めている。環境認識ではステレオ視覚により環境の三次元形状を取得し、その中からロボットの行動に必要となる、より高次の情報抽出法の研究が重要になる。局所相関演算を基本処理として、両眼視覚デプスマップ、オプティカルフロー、時間変化、ハフ変換による三次元平面や時空間対応点探索による三次元動き情報の抽出機能を開発し、平面抽出による床面や卓上の認識や、三次元動きによる予測を用いた障害物回避を実現している。人間認識としては統計的処理による領域の三次元方向認識による人間のポインティング動作の認識等を実現した。

要素機能を統合するソフトウェアとして、幾何モデリング機能を有する対話的プログラミング環境において、ロボットの幾何モデルを中核にして、機構学、運動学や、学習ライブラリ、経路探索ライブラリ、行動記述ライブラリを統合した環境を利用している。生活環境で人間と共存するためには、人間との対話が欠かせないが、この環境に音声発話・認識機能や視覚処理機能を組み込みこむことでロボットの知識、環境認識結果、人間との会話を相補的に利用しながら共存するロボットの知能を構築できる環境になっている。(図4)

行動応用としては車輪型ロボットを移動手段としたオフィス案内型ヒューマノイド、携帯電話により操作可能な家庭内待機型ヒューマノイド、インターネット情報にアクセスすることで人間の情

報支援を行うヒューマノイド、PDAによりヒューマノイドの視覚情報を通じてタスクを指示できるインターフェースシステムを実際に構築し、実環境で利用しながら評価してゆくアプローチで提案型の研究を行っている。

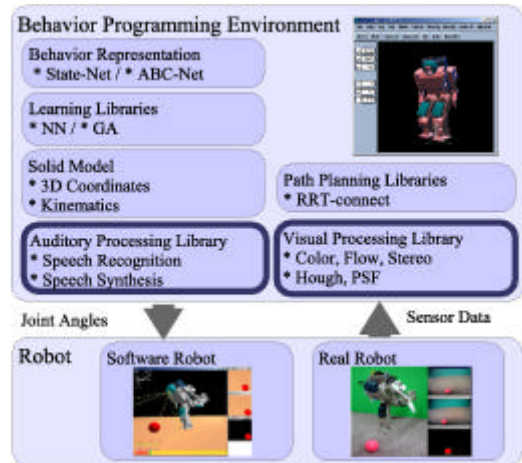


図 4: 統合型ロボットソフトウェア環境

4 全身腱駆動ヒューマノイド

人間の生活の場で人間や環境を傷つけないための安全性を伴う形で複雑な環境で多様な作業を行う汎用性をもつヒューマノイドの実現を考えた場合、ヒューマノイドの身体の作り方を根本的に見直す方向の研究も必要と考えている。全身腱駆動ヒューマノイドでは、全身の身体自由度を人間に近い規模にまで拡大し、それらの多自由度で柔軟な身体構造をどのように統合すれば通常のヒューマノイドのレベルの行動実現を行えるかということテーマに新しい身体構成法とそのシステム構成法を追求し、低次から高次までの各レベルにおける人間のセンサとアクチュエータの情報処理のモデル化を探りながら、実際に人間のように脊椎を持ち全身が腱駆動される多自由度のヒューマノイドロボット「腱太」を実装し、行動実現の研究を行っている。

腱太は全身で96のアクチュエータを有し、うち94が筋駆動である。10節の柔軟性を有する脊椎部分は、合計40の筋により駆動される。各筋の張力制御により柔軟性の調節が可能である。センサは、アクチュエータ変位センサ・電流センサ、

筋張力センサ，両眼，両耳，全身分布アナログ触覚，分散配置された8個の3軸加速度センサなどで，合計400個以上を有する．これらのセンサ・アクチュエータは，全身に分布配置された43個の小型制御器に接続され，体内LANを介して遠隔の計算機と接続されている．



図5: 人と接触しながら行動する腱太

複雑な身体構造を持ち全身が腱駆動されるヒューマノイドでは，人間が身体モデルをあらかじめ与えてそれが変化しないとして行動をプログラミングするという従来のスタイルでは無理がある．ヒューマノイドが，自己の身体の状態をいかに獲得してゆくか，その身体状態の変化に対してどのように調節を行って目的とする行動を行ってゆけるようになるかというプロセスを自律的に解決する機構が内部に必要となり，その部分がここでの研究の重要なテーマとなっている．

ここでは，ロボットが自己身体の運動可能空間を覚えながらそれに基づいて運動生成も行うという仕組みを，人から与えられる目的，環境から受ける制約に対する埋め込みされた反射機構，それらの組み合わせから最終的に身体が注意を向けて行動を形づくってゆく総合的な注意行動実現システムの構成法を研究している．

具体的には，人間が直接ロボットに触って教示・指示する行為に対して，全身分布触覚などにより注意を向け，姿勢や動作の記憶を行いながら，かつ記憶のある動作に対しては類推に基づく反応動作を引き出すという応答行動の構成研究や(図5)，人の動作を模倣するという意図を持った場合に，実際の間人動作観察に対して注意を向け，自分の

身体で動きを導きだしてゆけるようにする中で身体モデルや動作方法のレベルまで含めた行為獲得のための模倣研究などを進めることにより多様な機構を埋め込み可能な自律システムの構成を行っている．

そのシステムにおいては，常に働いているべき機能として反射を位置づけ，フェイルセーフや省エネルギーから人間追跡・姿勢反射など，様々な反射を組み込む形での自律システム構成とし，先天的に持つ反射として作りこむもの，学習により得られる反射，ある程度の随意意思を含めることができる反射のように，多レベルの反射系を組み合わせる形としている．

また，ヒューマノイドとしての目的行動に関するソフトウェアについては，他のヒューマノイドとの透過性を保った開発環境を構築することにより，ソフトウェア継承が可能な形をとっている．他と同様に，人の動きや行動のキャプチャデータに基づいて行動の安定化を行うフィルタ型の行動生成機構や，実環境との互換な身体インタフェースを備える仮想環境も構築し，そこで生成される行動ソフトウェアを腱太にも適用可能となっている．たとえば，小型遠隔頭脳ヒューマノイドで行われたブランコ行動などの行動生成と実験が腱太でもなされている．

5 おわりに

本研究においては，ヒューマノイドの身体ハードウェアの特徴に応じた研究を行っているが，ソフトウェアに関しては，共通のソフトウェアシステムを用いることができることを目指した環境を構成している．運動系に関しては身体形状・構造の立体モデルに基づいて身体運動計算・制御用プログラムやシミュレーション用モデルの生成，感覚系に関しても身体モデルに基づく身体イメージ計算プログラムや両眼立体視覚による空間・運動・平面構造等の検出・再構成などのプログラム環境は共有して用いることができ，ハードウェアに依存しないレベルのソフトウェアの継承を行いながら行動実現研究を行っている．

21世紀COEにおいては，これらの環境において人とのさまざまな対話形態を受け入れられる環境を実現し，生活空間での人の活動を支援してゆく行動システムの実現に取り組む計画である．