

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：基盤研究（S）
 研究期間：2004～2008
 課題番号：16100002
 研究課題名（和文） 等身大ヒューマノイドにおける知能ロボットカーネルの統合と
 対人行動創成への展開
 研究課題名（英文） Integration of Intelligent Robot Kernels and its Development for
 Interpersonal Behaviors in Life-size Humanoids
 研究代表者
 稲葉 雅幸（INABA MASAYUKI）
 東京大学・大学院情報理工学系研究科・教授
 研究者番号 50184726

研究成果の概要：本研究は、等身大ヒューマノイドプラットフォームに対して、視聴覚・全身触覚・動的全身反応行動などの高位の情報処理技術を搭載した知能ロボットカーネルを統合し、人からの多様な働きかけに対して対応するための行動を実現するために必要な機能とシステム構成を明らかにした。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2004 年度	16,700,000	5,010,000	21,710,000
2005 年度	17,300,000	5,190,000	22,490,000
2006 年度	18,400,000	5,520,000	23,920,000
2007 年度	17,500,000	5,250,000	22,750,000
2008 年度	13,300,000	3,990,000	17,290,000
総計	83,200,000	24,960,000	108,160,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学 / 知能情報処理・知能ロボティクス

キーワード：ヒューマノイド，知能ロボット，対人行動，ロボットソフトウェア

1. 研究開始当初の背景

近年のロボット研究において、人の代わりに働く産業用ロボットから人の傍らで人の生活を支援するパーソナル型ロボットへ進展しつつある。さらにわが国では、人のように二脚二腕をもつヒューマノイドロボットの研究が世界を先んじて進んでいる。旧通産省プロジェクトでも人間協調共存型ロボットとしてヒューマノイドのプラットフォームが開発され、平成 15 年度より大学・研究機関における利用が可能となった。

2. 研究の目的

本研究は、そのプラットフォームに対して、

申請者のグループにおいてこれまで培ってきた、視覚・全身触覚・動的全身反応行動などの高位の情報処理技術を搭載した知能ロボットカーネルを統合し、等身大サイズヒューマノイドの対人行動への新展開を目指すために必要な機能とシステム構成を明らかにすることを目的とする。

具体的には、(1)人の存在を知覚しその行為の意図仮説を確認しながら行為生成判断する機能、(2)人と直接触れ合った状態での人からの働きかけに答えられる協調反応と安全な自己身体の身のこなし行動、(3)人が操作している対象物を仲立ちにして人の行為を支援できる行動立案と支援行為の実現、というように、人を中心にして、(1)人との距離が離

れていても,(2)密着していても,(3)物が仲立ちして共同行為を求められていても,その場の状況から適切に行動を導いてゆくヒューマノイドの感覚行動知能の実現原理を実証実験により明らかにする.

本研究の特色は,これまで当研究グループで行ってきた知能ロボット研究を新しい等身大ヒューマノイドプラットフォームのシステムカーネルとして再現し,人との多様な接し方へいつでも対応できるようにするための構成法を学術的に明らかにしてゆく点にある.

我々のその統合化基盤は,研究代表者が20年来培ってきているロボット用統合化プログラミング環境で,並列処理実行と動的メモリ管理機構を備え,プロセスをデータ化する第一級オブジェクト操作が可能な拡張性の高いプログラミング環境となっており,ヒューマノイドにその高度な情報処理システムを適用しているところは世界には無い.これまでロボティクス分野において数多くの評価を得てきている我々の個々の研究成果実験はすべてそれを用いて行ってきたものである.本研究はそのプログラミング環境から利用可能な形に継承されてきている環境をこれから人の生活空間での行動支援が期待されている新しいロボットである等身大ヒューマノイドのカーネルとして構築する点が他に無い独創的なものとなっている.

本研究では,等身大ヒューマノイドに期待されている人を物理的に支援して研究を行動実験により有効性を実証しつつ進めることによって,これまでの知能ロボット成果を世界のプラットフォームの共通基盤として展開し,日本の知能ロボット研究の成果を世界の共通の財産として活用できる道を開くことを目指すものである.

3. 研究の方法

等身大サイズヒューマノイドにおける対人行動の創成のための知能カーネルの統合システムに必要な,記憶主導型対話行動系,高密着型対人行動系,人の知覚と行為解釈系,即応的行動誘導制御系,注意と観察制御行動系の5つの基本機能の研究を行い,これに並行して身体ハードウェア改造,基本実時間ソフトウェア構築の研究を行う.

(1) 記憶主導型対話行動の実現

確率的記憶管理システムと視聴覚統合システムを用いて,経験からの行動予測機構,曖昧な状況におけるロボットの質問や提案の対話行動制御,個人に適応した対話行動を実現する.

(2) 高密着型対人行動の実現

ハンドを含めた全身の行動,および多数のセンサ情報から人と密着した状態を検出し,触れあいや対象物の共同運搬など力学的相互作用を行う場合の対人行動を実現する.

(3) 人の存在知覚と行為解釈システムの統合
視聴覚統合システムに基づき,人間の存在の知覚に基づく行為解釈システムを構築し,さらに記憶に基づく人間の行為や,環境の状況の推定に基づいて適切な対人行動を実現する.

(4) 即応的行動誘導制御の実現

ロボットに接触してくる人間から外力や,人間が扱う対象物への積極的な物理操作などを考慮して,リアルタイムに運動を設計し制御するための行動誘導制御システムを実現する.

(5) 予測と記憶に基づく注意機構と観察制御行動の実現

人間の意図をリアルタイムに推測するため,常に注意を払わずとも,予測した行動と空間モデルの記憶に基づいて注意を実現する機構を開発しこれに基づく観測行動の制御および行動計画を実現する.

(6) ヒューマノイドのハードウェア改造設計・開発

視聴覚情報処理で得られた知見を基にヘッドにおけるマイクアレイの最適化配置設計,つま先の自由度設計,尻腰肩などの環境や人間との接触が考えられる部位の設計などを順次行い,対人行動の最終統合実験を的確に進められるようなハードウェアの開発を行う.

(7) 実時間基本ソフトウェア構築

ロボットのバランス制御に利用可能な実時間性能を有し,かつ,上位の知能表現や推論を扱えるヒューマノイド用の実時間基本ソフトウェアを構築する.

(8) 知能カーネルモジュールの統合と全身型ヒューマノイドロボットによる対人行動実験

知能ロボットカーネルモジュールを統合したシステムで等身大ヒューマノイドのシミュレーション環境を構築し,そのシミュレーション環境と等身大ヒューマノイドを接続可能とし実世界での対人行動を実行できるシステムとする.シミュレーションでは困難な対人行動の実験を実体により行い,行動実験におけるシステムの評価において必要となるハードウェアの改良を行いソフトウェアの検証を進める.

4. 研究成果

(1) 知能ロボットカーネル用行動シミュレーションシステムの構成法

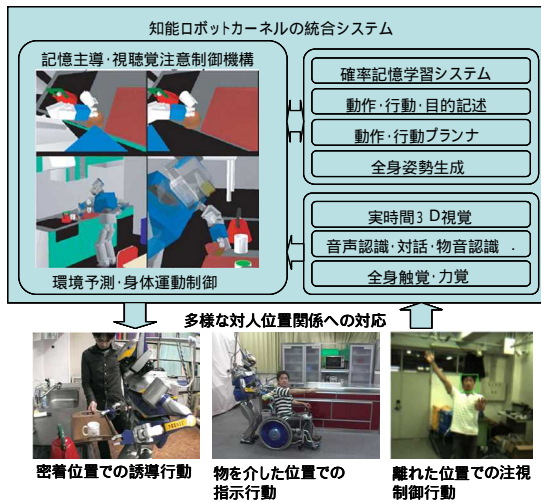


図1：知能ロボット機能を統合したシステム構成

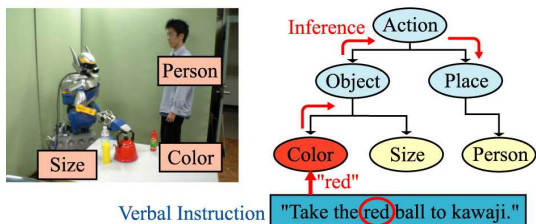


図2：確率的の情報処理による曖昧性の解釈と質問が可能な対話行動システム

等身大ヒューマノイドにおいて知能ロボットカーネルとして機能モジュールを統合するために、等身大ヒューマノイド内部の計算機資源とオフボディ計算環境の連携を考慮した環境を実現した。このシステムを図1に示す。

これは、知能ロボットカーネルの基本機能部を高性能モバイル計算機上で分散並行開発でき、感覚処理、行動計画、記憶利用、対話推論、運動予測等の処理を個別の高性能モバイル計算機上で独立させ集中的に開発が可能なシステム構成法である。また実ロボットと同等のインターフェースをもつ仮想ロボットをシミュレーション上に構築し、実ロボット適用前の動作検証だけでなく、シミュレーションを用いた動作、副作用、センサの予測に基づく行動を実現できるようになっている。本研究における研究成果はすべてこのシステムに基づき実現されたものである。

(2) 確率的記憶と視聴覚統合を用いた記憶主導型対話行動法

確率的に空間記憶、物体記憶、時間経験データを管理する確率的記憶管理システムと、実世界の物体・対人認識が可能な視聴覚統合



図3：全身負荷分散による重量物の受け渡し



図4：身体を直接触った行動の教示学習実験

システムを結合し、曖昧さの度合いに基づいてロボットが質問内容を判断する機構を特徴とする、対話における人からの質問や命令の解釈手法を構築した。この対話行動システムの概念図を図2に示す。ここでは、“赤いボールをとって”という言葉から、注意すべき対象と実現すべき行動がベイズ確率ネットワークにより推論されている。これにより、対象や行動の信頼度が低い場合は適した質問を発することができる。これにより、従来のような固定的な人とロボットの対話システムではなく、指差しや対話などのジェスチャから解釈と推論に基づいてユーザに適応的に振舞う対話行動を実現した。

(3) 高密着型対人行動の実現

ロボットと人や物体が密着している場合において、ロボットの全身の関節負荷を分散する機能を構築した、さらに関節負荷情報と皮膚センサに基づいた、人からの直接的な働きかけの認識手法を実現した。皮膚センサは発砲ウレタン内に3つの光反射型センサを埋め込むことでせん断力がわかるような仕組みになっている。負荷分散機能を利用することで、たとえば図3に示すような重量物の受け渡し動作において、自身の関節に負荷をかけない動作が可能になる。また、直接、かつ安全に触ることができるよ

うなロボット身体では、図4に示すような人がロボットの身体を直接触って操作、誘導することで行動が実現できる。ここから、この行動をロボットが記憶し再生する教示システム、さらには身体や環境が異なっても再現できる教示学習システムを構築した。ここでは、人が教示したロボットの動作を、物体中心の座標系と、センサ情報を含んだ記述に変換することで、身体や環境の違いに対応している。

(4) 人の存在知覚と状況推論システムの統合による適切な行動選択手法

マイクアレイ,ステレオ視覚,高精度視覚,広角視覚を取り付けるよう改造したヒューマノイドヘッドを搭載し,これらの情報を統合することで人の存在を知覚するシステムを構築した。図5にその様子を示す。

人の存在場所とそこでの物音情報から現在の人の状況を判断する動的確率ネットワークを構築した。動的ネットワークを用いることで過去の状況情報を利用することができるため,文脈に基づいて頑強に人の状況を推論することが可能になっている。これによりロボットは人の振る舞いを観察し,その状況の推論から適切な行動を選択,実行することができるようになった。図6は人が皿を洗っている状況の推論から,テーブルの上の皿をシンクに運ぶ行動を選択・実行している様子である。

また行動実行時には空間レベルの動作計画と,シンボルレベルの行動計画との統合手法を構築し,これと視聴覚物体認識システムを組み合わせることで,プランされた結果を実世界で実現できているかを,観察による動作検証を通じて評価し,外乱は人からの制止に対して気がつき動作行動を再計画する手法を構築した。

(5) ZMP 外乱予見制御を用いた未知物体接触時の即応的動作制御法の実現

ロボットに接触してくる人間から外力や,人間が扱う対象物への積極的な物理操作などを考慮して,リアルタイムに運動を設計し制御するための行動誘導制御システムを実現した。具体的には,人とロボットが物体を介して接続関係にある際の全身バランス保持制御手法として,ZMPの外乱予見を用いた全身の身構え行動制御手法を構築した。シミュレーションを用いることで外乱予見に必要な動力学情報の時系列予測を行い,外乱が未知の場合においても学習獲得が可能であることを確認した。

(6) 予測と記憶に基づく注意機構と観察制御

の実現

人間の意図をリアルタイムに推測するため,常に注意を払わずとも,予測した行動と空間モデルの記憶に基づいて注意を実現する機構を開発しこれに基づく観測行動の制御を目指した。図7はロボットが人を見ている場面で,人の目線から動作とその対象を観

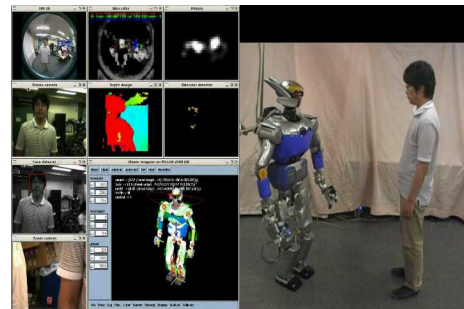


図5：複数センサ統合による人の存在の認識

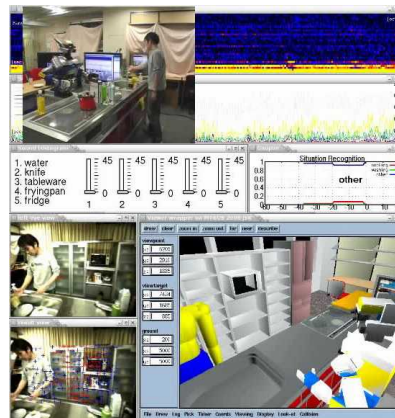


図6：状況推論に基づく行動選択例

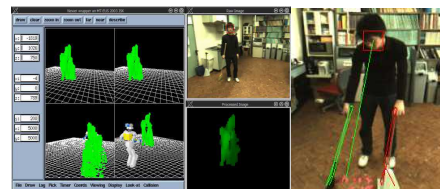


図7：予測と解釈に基づく注意制御と人動作観察



図8：等身大ヒューマノイドによる
車椅子介助支援行動の様子

察し、その移動方向から次の注意先を予測するような観察制御機構を実現したものである。これにより、人の動作の観察獲得を実現した。

(7) 知能ロボットカーネルの統合検証実験

図8に示すような車椅子介護支援行動は車椅子に近づいてくる人間の認識行動(人との距離が離れている場合)、車椅子に座っている人間の指示理解(人と密着している場合)、全身を用いた車椅子押し動作(人と対象物を介して相互作用する場合)のそれぞれの場面における感覚行動統合が必要となる。このように場面が連続的に変化する状況において、各知能カーネルが機能し、その統合がなされていることを実証した。

(8) 本研究で得られた研究成果の学術的価値、関連分野への波及性

等身大ヒューマノイドにおいて各知能カーネルの構築と統合を目指した本研究成果は学術面において国際的に高く評価され、それぞれ権威ある国際学会における論文賞の受賞につながっている(学会発表文献(1)でIEEE/RSJ 2008 International Conference on Intelligent Robots and Systems, Best Robocup Paperを、学会発表文献(4)で2006 6th IEEE RAS International Conference on Humanoid Robots, Best Paper Awardを受賞した)。

また、これらの評価から2008年ドイツで開かれたROBOTIK、2009年日独シンポジウムRobotics 2009年生活支援ロボットDagstuhl Seminarなどの招待講演を受けている。とくに、本知能ロボットカーネルは、対人行動創成への展開のみならず、身体モデルのプログラミングが可能のため、異なるサイズや構造をもつヒューマノイドへも展開できる構成となっていることに関して高い評価を得ている。

さらに、東京大学では文部科学省の先端融合領域イノベーション創出拠点の形成「少子高齢社会と人を支えるIRT基盤の創出」プロジェクトによって、本研究成果をベースに生活支援ロボットの実用化を目指す動きにつながり、新産業創成分野への波及効果まである。

また、皇太子殿下御行啓を始め、フランス、スウェーデンなどの大臣、国会議員の見学訪問を受け、その様子は多くのメディアに取り上げられ、世界に類の無い等身大ヒューマノイドを通じた知能ロボット先端研究の成果

を国内外に提示することができた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 5件)

(1) T. Inamura, K. Okada, S. Tokutsu, N. Hatao, M. Inaba, Hirochika Inoue: "HRP-2W: A humanoid platform for research on support behavior in daily life environments", Robotics and Autonomous System, Vol.57, No.2, pp.145 -154, 2009. (査読有り)

(2) 岡田 慧, 小島 光晴, 稲葉 雅幸: "認識行動共有知識ベースシステムにおける複数視覚特徴統合による物体認識", 日本ロボット学会誌, Vol. 26, No. 6, pp. 537-545, 2008. (査読有り)

(3) 稲邑 哲也, 古城直樹, 畑尾直孝, 得津 覚, 藤本純也, 園田朋之, 岡田 慧, 稲葉 雅幸: "飲料缶・ボトル類を目と手と耳で分別廃棄するヒューマノイド行動の実現", 日本ロボット学会誌, Vol.25, No.6, pp.15-23, 2007. (査読有り)

(4) 神崎秀, 岡田 慧, 稲葉 雅幸: 予測可能な衝撃力に対する予見制御に基づくヒューマノイドの身構え行動制御, 日本ロボット学会誌, Vol.25, No.7, pp.46-51, 2007. (査読有り)

(5) 稲葉 雅幸, 岡田 慧, 水内 郁夫, 稲邑 哲也: ヒューマノイドロボットのシステム実現 - ロボットシステム記述言語 EusLispによる実装, コンピュータソフトウェア, vol.23, no.2, pp.45-61, 2006. (査読無し)

[学会発表](計 6件)

(1) K. Okada, M. Kojima, S. Tokutsu, Y. Mori, T. Maki, M. Inaba: "Task Guided Attention Control and Visual Verification in Tea Serving by the Daily Assistive Humanoid HRP2JSK", Proceedings of The 2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp 1551-1557, フランス, 2008年9月24日.

(2) S. Nozawa, T. Maki, M. Kojima, S. Kanzaki, K. Okada, M. Inaba: "Wheelchair Support by a Humanoid Through Integrating Environment Recognition", Proceedings of The 2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp 1558-1563, フランス, 2008年9月24日.

(3) 稲邑 哲也, 園田 朋之, 川路 友博, 岡田 慧, 稲葉 雅幸, 人間ロボット間の対話に

基づく協調的タスク遂行のための確率的空間記憶モデル, 第 12 回ロボティクスシンポジウム, pp.46 -51, 新潟県, 2007 年 3 月 15 日.

(4) Kei Okada, Mitsuharu Kojima, Yuichi Sagawa, Toshiyuki Ichino, Kenji Sato, Masayuki Inaba : "Vision based behavior verification system of humanoid robot for daily environment tasks", 2006 6th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots (Humanoids 2006), pp.7 -12, イタリア, 2006 年 12 月 15 日.

(5) N. Kojo, T. Inamura, K. Okada, M. Inaba : "Gesture Recognition for Humanoids using Proto-symbol Space", 2006 6th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots (Humanoids 2006), pp 76 -81, イタリア, 2006 年 12 月 15 日.

(6) T. Ogura, A. Haneda, K. Okada, M. Inaba : "On-site Humanoid Navigation Through Hand-in-Hand Interface", 2005 International Conference on Humanoid Robots, pp 175 -180, つくば, 2005 年 12 月 6 日.

〔図書〕(計 1 件)

(1) 稲葉 雅幸, 加賀美聡, 西脇光一: 岩波講座 ロボット学 7 ロボットアナトミー, 岩波書店, 2005 総 369 頁(1p -87p, 157p -219p, 299p -360p).

〔その他〕

・ 新聞報道
 2009 年 4 月 2 日
 朝日小学生新聞
 「人にやさしいロボット開発中」
 2008 年 6 月 16 日
 読売新聞
 「ヒューマノイド開発中」
 2006 年 10 月 24 日
 日刊工業新聞
 「アルミと鉄 たたいて識別」
 2006 年 5 月 1 日
 読売新聞
 「人間に近づく知能ロボット」
 2005 年 2 月 21 日
 日経産業新聞
 「進化する人工知能」

・ テレビニュース
 2008 年 12 月 18 日
 NHK BS hi アトムの世紀
 ~ 夢のロボット開発に挑む科学者たち ~

2007 年 7 月 16 日
 テレビ東京 カンブリア宮殿
 ゲスト: 小宮山宏 (東京大学総長)
 2006 年 10 月 25 日
 NHK ニュースウォッチ 9
 「家事はまかせて」
 2006 年 10 月 21 日
 フジテレビ スーパーニュース
 2005 年 8 月 23 日
 NHK おはよう日本
 2005 年 8 月 18 日
 TBS, フジテレビ, 日本テレビ
 「皇太子殿下秋葉原行啓」

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

稲葉 雅幸 (INABA MASAYUKI)
 東京大学・大学院情報理工学系研究科・教授
 研究者番号: 5 0 1 8 4 7 2 6

(2) 研究分担者

水内 郁夫 (MIZUUCHI IKUO)
 東京農工大学・大学院工学府・准教授
 研究者番号: 6 0 3 5 9 6 5 1
 岡田 慧 (KEI OKADA)
 東京大学・大学院情報理工学系研究科・特任講師
 研究者番号: 7 0 3 5 9 6 5 2
 吉海 智晃 (YOSHIKAI TOMOAKI)
 東京大学・大学院情報理工学系研究科・特任講師
 研究者番号: 6 0 4 3 6 5 5 8
 花井 亮 (HANAI RYO)
 東京大学・大学院情報理工学系研究科・特任助教
 研究者番号: 1 0 5 2 1 2 5 5
 山崎 公俊 (YAMAZAKI KIMITOSHI)
 東京大学・大学院情報理工学系研究科・特任助教
 研究者番号: 0 0 5 2 1 2 5 4
 稲邑 哲也 (INAMURA TETSUNARI)
 国立情報学研究所・情報学プリンシプル研究系・助教授
 研究者番号: 2 0 3 6 1 5 4 5
 五十棲 隆勝 (ISOZUMI TAKAKATSU)
 川田工業・航空・機械事業部・課長
 研究者番号: (なし)

(3) 連携研究者

なし