

平成18年度 学術創成研究費 研究終了報告書（事後評価用）

平成18年 3月31日

| | | | | | | | | |
|---------------------|---|-----------|--|----------|--------------------------|-------|-------|-------|
| ふりがな | さとう ともまさ | | ②所属研究機関・ 部局・職 | | 東京大学・ 大学院情報理工学系研究科・教授 | | | |
| ①研究代表者 氏名 | 佐藤 知正 | | | | | | | |
| ③研究課題名 (英訳名) | 知能ロボットによる模倣の構成論的研究 Synthetic Study of Imitation on Humans and Intelligent Robots | | | | | | | |
| ④研究経費 (千円未満切捨) | 年度 | 研究経費(千円) | | 使用内訳(千円) | | | | |
| | | 交付額 | 支出額 | 設備備品費 | 消耗品費 | 旅費 | 謝金等 | その他 |
| | 平成13年度 | 80,200 | 80,207 | 40,253 | 36,997 | 1,499 | 980 | 476 |
| | 平成14年度 | 80,000 | 80,001 | 36,201 | 33,530 | 4,569 | 918 | 4,781 |
| | 平成15年度 | 80,000 | 80,000 | 30,523 | 32,490 | 6,686 | 1,515 | 8,784 |
| | 平成16年度 | 74,800 | 74,800 | 15,490 | 43,286 | 7,982 | 6,108 | 1,932 |
| | 平成17年度 | 65,000 | 65,000 | 10,723 | 37,317 | 9,713 | 3,526 | 3,718 |
| | 総計 | 380,000 | 380,008 | | | | | |
| ⑤研究組織(研究代表者及び研究分担者) | | | | | | | | |
| 氏名 | 所属研究機関・部局・職 | 現在の専門 | 役割分担(研究実施計画に対する分担事項) | | | | | |
| 佐藤 知正 | 東京大学・大学院情報理工学系研究科・教授 | 知能機械システム学 | 研究の統括・動作模倣学習システムの実現 | | | | | |
| 稲葉 雅幸 | 東京大学・大学院情報理工学系研究科・教授 | 知能情報システム学 | 全身ロボット模倣行動生成・修正システムの構築 | | | | | |
| 國吉 康夫 | 東京大学・大学院情報学環・教授 | 知能情報学 | 動作模倣および学習機能のモデル化とシステム化 | | | | | |
| 森 武俊 | 東京大学・大学院情報学環・助教授 | 知能システム情報学 | 動作行動観察・認識システムの構築 | | | | | |
| 田所 諭 | 東北大学・大学院情報科学研究科・教授 | ロボット工学 | 自己行動の認識と動作模倣システムの構築 | | | | | |
| 稲邑 哲也 | 東京大学・大学院情報理工学系研究科・講師 | 知能システム学 | 観察と対話に基づく目的レベル模倣の実現 | | | | | |
| 明和 政子 | 滋賀県立大学・人間文化学部・講師 | 人間文化学 | ヒトおよびチンパンジーの動作模倣に関する認知発達メカニズムの比較・解明・モデル化 | | | | | |
| 原田 達也 | 東京大学・大学院情報理工学系研究科・助手 | 知能システム学 | 動作模倣学習ソフトウェア構築 | | | | | |
| 岡田 慧 | 東京大学・大学院情報理工学系研究科・科学技術振興特任教員(常勤形態) | 知能システム学 | 動作模倣学習ソフトウェア構築 | | | | | |
| 中村 衛 | 東京大学・大学院情報理工学系研究科・助手 | 知能機械学 | 動作模倣学習ハードウェアシステムの構築 | | | | | |
| 徳田 献一 | 和歌山大学・システム工学部・助手 | ロボットシステム学 | 動作模倣実験のためのロボットシステムの構築 | | | | | |
| 計11名 | | | | | | | | |

⑥当初の研究目的：他者のふるまいを見て模倣することは知能の根源である。模倣の原理とメカニズムを構成論的に(作ることができるほどに)研究することは、脳の認知機能のシステム動作と実世界における相互作用に対して、総合的な理解を与える。本研究では、以下に示す4つの課題に分けて平行的に、単純動作の型真似から相手の意図を踏まえた高次模倣にいたる様々なレベルの模倣機能を対象として、構成論的に研究することをその目的とする。

- (1) **行動観察・認識システムの構築**：模倣の本質は、実世界における人間の多様な新規行動の観察学習であるから、強力な観察・認識能力を必要とする。そのため、人間の脳の視覚情報処理をモデル化したシステムの構築を行う。また、広汎な工学的応用や人間の模倣行動を総合的に計測するため多元的かつ精密な観察情報を収集するマルチセンサ型人間行動計測システムも構築する。
- (2) **行動生成・修正システムの構築**：行動の模倣と学習には、模倣した行動を試行錯誤と評価修正を通して自分のものにしていく過程が不可欠である。ロボット自身が試行を繰り返して学習・改善する手法、教示者が音声や手取り足取りも交えて修正する手法、それらの基礎となる行動レパートリの記憶と更新のメカニズムを解明し、それらを統合して実行するシステムを構築する。
- (3) **人間の模倣機能の解明とモデル化**：人間が模倣しているときの注視点や運動の計測に基づいて、相手の動きの何に着目し、どう再現しているかを解析する。また、模倣に関連する脳情報処理と乳幼児の模倣能力の発達過程に関して、脳科学や認知心理学の知見を整理し体系化する。これらに基づき、模倣の情報処理過程と学習過程のモデル化を行い、計算機上に構築する。
- (4) **行動模倣学習システムの実現**：上記各項目の結果を統合し、人間の様々な行為を模倣し学習する知能ロボットシステムを構築し、実験と評価を通して段階的にその機能を高度化する。

⑦研究成果の概要

研究目的に対する研究成果を必要に応じて図表等を用いながら、具体的に記入してください。

(1) 行動観察・認識システムの構築

1. 行動の観察と認識のためのマルチセンサ型人間行動計測システムの構築：日常動作に関してモーションキャプチャ情報を室内に分散させた圧力センサ等を利用して補完する頑健な計測システムを構築した。単に人間の動きだけでなくモノや環境との関わりを含めた計測を行うため、センサネットワーク機能を有する三次元姿勢推定デバイス(図1)および人体運動と物体情報等を統一的に扱えるデータ管理メカニズムを実現した。これにより行為と運動のデータベースを蓄積・構築でき、以後の研究の統計的手法確立の基礎をかためることができた。

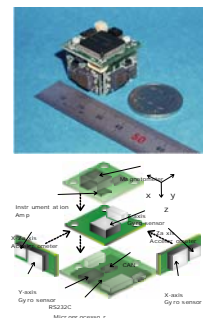


図1 姿勢推定デバイス

2. 人の認識機能に学んだ動作認識システムの構築：基本的全身動作について人に近い認識結果を出力するアルゴリズムを人の内観調査に基づき実現した。これは、人による動作認識における注目量・運動の特徴量を多数の人の主観的認識の結果を分析し記述化したアルゴリズムである。これを基にして、日常生活動作の認識において、同時認識性、曖昧性、経験的知識にもとづいた動作に対する条件記述の利用という特長に加え、柔軟な認識能力を獲得可能なサポートベクトルマシンを用いた認識・学習システムの構築を行った。

(2) 行動生成・修正システムの構築

1. ロボット自身が試行を繰り返して学習・改善する行動修正法：身体構造の違うロボットに対し、教示者の行動を学習者に習得させるために、隠れマルコフモデルにおけるモンテカルロ法や遺伝的アルゴリズムに基づく繰り返し動作生成・修正法を確立した。注意や反射等の自律反応系によって、絶えず模倣すべき動作を修正する枠組みを構築し、腱駆動ヒューマノイドのような複雑な身体を持つロボットにおいて自律的行動修正機能の有効性を確かめた(図2)。

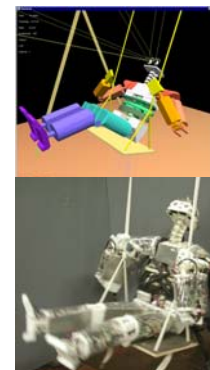


図2 自律行動修正システム

2. 音声や手取り足取りも交えて修正するオンサイト行動修正システム：ヒューマノイドの複雑な動作を、人間がその場の状況に応じて容易に教示するために、ジェスチャー指示のリアルタイム認識技術、ジョイスティック等の単純な入力と多次元制御パラメータのマッピング技術、手先にかかった外力になじむように動作を修正する技術、人間の動作をロボット身体にマッピングする技術等を開発した。

3. 行動レパートリの記憶と更新のメカニズムの解明：人間がロボットに対して動作を教示した経験を蓄積し、そのデータベースを活用して動作の想起・生成を行うための記憶レパートリの管理記憶モデルを構築した。姿勢やセンサの時系列パターンを保存し、それをニューラルネットワークや隠れマルコフモデルなどの手法を用いてモデル化し、断片的な動作の部分入力から過去に経験した動作を誘発して再現することのできる模倣基盤システムを構築した。

⑦研究成果の概要 つづき

4. 要素技術の統合実行システムの構築：等身大ヒューマノイドロボットにおいて、リアルタイムに行動を修正し模倣を行うための統合システムとして、空間プランナと動作プランナを統合させた。空間プランナはロボット単体の運動だけでなく、道具などの物体の操作やそれに伴う環境変化などの高次の行動も対象としたプランナで、それらの関係のシンボルベースの記号処理系で記述可能であるという特徴があり、目的行動レベルの模倣システムが実現された。

(3) 人間の模倣機能の解明とモデル化

1. 模倣の機能構成の解明とモデル化：認知心理学で、従来、「真の模倣」、「擬似模倣」として別個に扱われて来た模倣様の行動を構成論的立場から分析し、模倣に関連する各種の認知機能要素や脳機能を対応づけて、模倣の認知機能の全体構造のモデルを提案した（⑧の右上図）。

2. 人間の模倣原理の解明：全身動作の模倣に注目して、人間の運動計測や力学的解析に基づき、全身動作の成否を左右する「ツボ」に相当する力学状態を明らかにし（図 3）、心理実験に基づき、人間が動作を観察する際の時間的注視点がこの「ツボ」と一致することを明らかにした。また、等身大ヒューマノイドロボットによるダイナミック起き上がり動作の実験（図 4）により、これらがタスクの成否を左右することを検証した。

3. 模倣の脳型情報処理モデル：認識・行動・概念形成・文脈処理などの脳機能のモデルに基づく模倣機能要素として、形状基底空間に基づく手の認識（IT野）、体性感覚と運動の時空間パターン自己組織化による行動プリミティブ獲得（SI,MI）、異種感覚の時間的統合に基づく適応的身体像形成モデルと道具使用機能（頭頂葉）、時系列パターンの階層的自己組織化ニューラルネットによる行為文脈学習（前頭葉）、他者行動の観察に基づき、行動目的推定法を学習する原理的手法、などを構築、その機能を実証した。

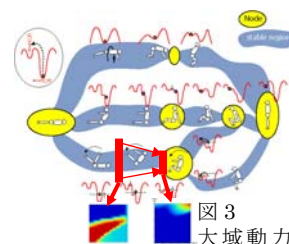


図 4 起き上がり動作

4. 模倣能力の創発・学習・発達モデル：胎児・新生児の筋骨格系と中枢神経系回路のモデルを構築し、身体性に呼応した動作パターンの発生や、その感覚運動表象の自己組織化が起こることを実験的に確認した。また、脳型の視覚・運動情報処理および記憶モデルを統合し、自己の腕の運動と視覚像とのクロスモーダル学習で形成されるアトラクタにより、原始的な模倣反応が発生することを示した。

5. 模倣時の着目点制御モデル：模倣時の人の注視点に含まれる画像特徴を抽出・解析するシステムを構築して計測を行い、人による動作認識における注目点・運動特徴の候補を得た。一方、人による動作模倣における動作困難度と必要情報量の関係について、必ずしも正の相関関係になるとは限らないことを確認した。人が持っている姿勢類似度評価機能を、姿勢の表現方法と各部位への注目度の二点に着目し解析し、人の直感と合う定量的類似度評価を可能とする手法を確立した。

(4) 行動模倣学習システムの実現

1. 生活支援ルームシステムの開発：家庭ごとに環境が複雑に異なるために実世界で動作することが困難であると考えられるテーブルや調理動作を対象として、移動台車や家電取り付け型アームといったアクチュエーションモジュールによる生活支援システムを構築した。具体的には調理動作、食事中の不注意発見と支援、片付け支援、配膳動作、調理支援を取り上げてそれぞれについて手法を考案した。この手法には、動作の抽象化による動作プリミティブの獲得、動作の上位概念の行動のモデル化、さらに抽象概念から柔軟に支援軌道を生成する軌道の抽象化が含まれる。このシステムと関連させ、模倣理論の解明について机上の物体操作に関わる行動の認識再生実験を行い、過去の学習事例に基づき観察事例の解釈や応答行動を変えるいわば文脈情報の利用例を構築した。獲得した典型的動作を利用し、人間の机上作業を認識して支援操作を予測することで、柔軟に手段を選択し目的や支援を実行可能なロボティック模倣機能の構築が可能であることを示した。

2. 等身大ヒューマノイドにおける行動模倣統合システム：他者の動作への引き込み的反応としてモデル化される反応促進、物体とそれに呼応する動作(使い方)の関連学習でモデル化される刺激強化など、模倣の機能構成マップの諸要素を分散並列認知モジュールとして実装し、人間とのインタラクションの中でそれらが動的に統合されることで、様々な模倣反応行動を発生させるシステムを実ロボット上に実現した。これは模倣機能の全体像をシステム化したものであり、単に模倣機能のモデルというにとどまらず、箒によるゴミの掃き掃除行動の模倣等、物体への働きかけを含む多様な適応的インタラクションを実現するシステム機能実現につながった（図 5）。



図 5 行動模倣統合システム

⑧特記事項

この研究において得られた、獨創性・新規性を格段に発展させる結果あるいは可能性、新たな知見、学問的・学術的なインパクト等特記すべき事項があれば記入してください。

・模倣機能要素の解明とそれによる構成マップの構築

動物行動学、心理学、脳科学の各分野における模倣関連の概念、知見を吟味し、相互関連を構成論的に解釈し、模倣の機能構成マップを仮説構築した(図1)。その各機能要素および要素間統合の工学実現のための情報処理機能を実際に構築、統合し、その知見を処理モードマップにまとめた(図2)。両者により、模倣機能の全体像の理解と実現法を提示した。

・等身大ヒューマノイドによる日常作業の模倣機能の実現

本研究開始時に目標として掲げた、箒を使った掃除のような実世界での日常作業に適用できる模倣システムを実機で実現し、検証した。これにより、模倣機能が単に手法や原理にとどまらず、現実の実世界作業に適用できる可能性を示した。

・型模倣、行動単位模倣、目的行為模倣の並行性の発見とその工学的実現

当初、三つの模倣機能が、単純な機能(型模倣)から高度な機能(目的行為模倣)まで、段階的に実現・高度化されるものとした。しかし、研究の進展に伴い、この序列は適切でなく、各機能は対等・並行とみなすべきことが明らかになった。状況ごとに着目点の違いに応じて各模倣機能が柔軟に切り替わり、動的に統合されるべきである。これは、チンパンジーとヒトの最近の比較認知心理学的知見からも支持されている。そのシステム構成は、身体動作プランナ、物体操作プランナ、環境状態プランナ、行動目的プランナの各並列モジュールから成り、着目点により切り替わるシステムとして実現した(図2)。

・観察データからの統計手法による行動モデルの自動獲得

構築した学習型の動作・行為認識アルゴリズムは、その性能最大化プロセスの副産物として、認識に有用な注目点、注目特徴量の絞込みが可能であることを実験により明らかにした。また、構築した動作・行為認識法は、人の動作に関する知識と動作概念間の構造を利用した拡張もシームレスに行うことが可能で、実際にこれをベースに排他性・同時性・階層性などの概念構造を導入した日常行為の認識手法を実現できたことも大きな成果である。

・道具の柔軟な使用とその学習機能

道具使用能力とその学習に関する研究成果は、本研究の特色の一つである。従来、ロボットが視覚を駆使し人間用の道具を学習的に扱う研究は稀であったが、日常作業の柔軟な模倣機能には不可欠である。ヒューマノイドで実際に箒を扱いゴミを掃くなどの行動の実現法、その場で手に入る物体を道具と見立てて使うための、形状と動作と機能の関係の模倣学習、脳科学の知見に基づく、道具を自己身体の延長として認識し利用する適応的身体像の認知モデルなど、世界的にも他に例を見ない成果を挙げた。

・行動のモデルに基づいたロボット模倣による人間支援の実現

ロボットによる支援では、いつ支援をするべきかの判断が重要となる。常に人と物体との動作を観察することで、人と物体との関係性を維持していなければならない部分、ルーズな関係性でよい部分を自動的に発見し、関係性を維持しなければならない部分で関係性が崩れる状況を検知した時を支援タイミングとする手法を考案した。これにより日常生活でロボットによるその人に適応した適切な支援を実現できた。

・タスクと状況が限定された学習的目的推定の実現

物体に関わる動作について、観測データの蓄積から学習的に目的推定を行う手法を、以下の3通りの場合について実現した。(1)日常場面での手作業について、行動単位ごとに達成すべき条件を学習し、行動認識と支援動作に利用する方法。(2)行動に伴う運動と物体関係の変化の時系列を学習・カテゴリ化し、行動識別に利用する方法。(3)目的到達行動について、目的と環境構造と動作の関係を観察学習し、行動認識時に、既知の候補からの目的推定を行う手法。

・身体性に基づく模倣機能の創発と発達原理の解明

模倣において抽出され再現される情報は、如何に発生するかを、認知発達論的観点から突き詰め、身体性から発生する記号的情報構造の定量化、既存プリミティブによらない行動探索・創発モデル、それらを踏まえた胎児・新生児の行動創発・発達と神経系自己組織化モデルを構築した。これらについて、模倣にとどまらず、不確実性のもとでのロバストな行動生成やプログラムに制約されない行動創発・発達、身体や行動の概念獲得などへの展開可能性も示した。

・工学と心理学・神経科学との相互作用による学術領域の創成

本研究の遂行過程では、まず、心理学的・神経科学的知見を工学的に再解釈・整理して模倣機能の全体構成を大まかに描き、同時に、その各構成要素を具体的に工学実現するための様々な理論、手法、技術の構築を進め、次に、それらの部分的統合を進め検証実験を行いつつ、心理学や神経科学の専門家からのフィードバックを受けて修正と新たな課題の洗い出しを行った。最後に、新たな課題の解決と、全体的システム統合と実験、体系化を行い、成果発表と学際的なフィードバックを受け、さらに残された重要課題を明確化した。この過程で、工学者と心理学者・神経学者が、模倣機能を焦点として、共通認識を踏まえて議論し、相互の知見を融合する場が創成された。

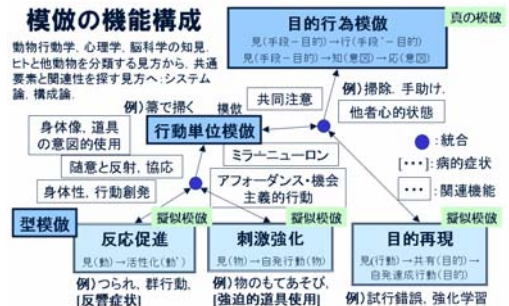


図1 模倣機能構成マップ

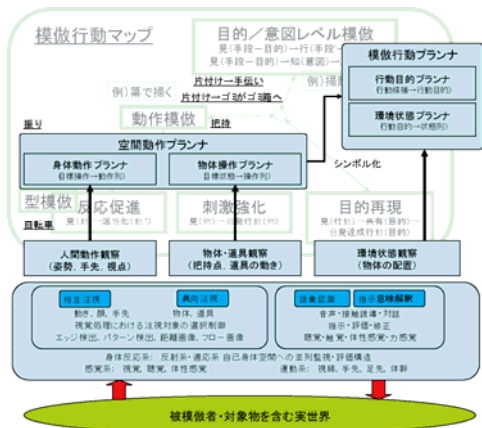


図2 模倣処理モードマップ

⑨研究成果の発表状況

この研究費による成果の発表に限り、学術誌等に発表した論文（投稿中の論文を記入する場合は、掲載が決定しているものに限ります。）の全著者名、論文名、学協会誌名、巻（号）、最初と最後のページ、発表年（西暦）、及び国際会議、学会等における発表状況について、3頁以内に収めて記入してください。

平成 13 年度

- [1] T. Mori, K. Tsujioka and T. Sato: Human-Like Action Recognition System on Whole Body Motion-Captured File. Proc. of the 2001 IEEE/RSJ Intl. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS'01), pp.2066-2073, 2001.
- [2] T. Mori, H. Noguchi and T. Sato: Construction of Sensor Network System for Human Behavior Measurement and Accumulation via Distributed Objects. Proc. of SPIE, vol.4571, pp.230-237, 2001.
- [3] K. Okada, S. Kagami, M. Inaba and H. Inoue: Walking Human Avoidance and Detection from a Mobile Robot Using 3D Depth Flow. Proc. of the 2001 IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation (ICRA'01), pp.2307-2312, 2001.
- [4] K. Okada, S. Kagami, M. Inaba and H. Inoue: Plane Segment Finder: Algorithm. Proc. ICRA'01, pp.2120-2125, 2001.
- [5] F. Kanehiro, M. Inaba, H. Inoue, H. Hirukawa and S. Hirai: Developmental Software Environment That is Applicable to Small-Size Humanoids and Life-Size Humanoids. Proc. IROS'01, pp. 4084-4089, 2001.
- [6] S. Kagami, K. Nishiwaki, T. Sugihara, J. J. Kuffner, M. Inaba and H. Inoue: Design and Implementation of Software Research Platform for Humanoid Robotics: H6. Proc. ICRA'01, pp. 2431-2436, 2001.
- [7] I. Mizuuchi, M. Inaba and H. Inoue: A Flexible Spine Human-Form Robot - Development and Control of the Posture of the Spine. Proc. IROS'01, pp.2099-2104, 2001.
- [8] Y. Kuniyoshi, G. Cheng and A. Nagakubo: ETL-Humanoid: A Research Vehicle for Open-Ended Action Imitation. Proc. of the 10th Intl. Symposium of Robotics Research (ISRR2001), vol.1, pp.42-49, 2001.
- [9] M. Asada, K. F. MacDorman, H. Ishiguro and Y. Kuniyoshi: Cognitive Developmental Robotics as a New Paradigm for the Design of Humanoid Robots. Robotics and Autonomous Systems, vol.37, issues 2-3, pp.185-193, 2001.
- [10] G. Cheng, A. Nagakubo and Y. Kuniyoshi: Continuous Humanoid Interaction: An Integrated Perspective - Gaining Adaptivity, Redundancy, Flexibility - In One. Robotics and Autonomous Systems, vol.37, issues 2-3, pp.163-183, 2001.
- [11] T. Yamamoto and Y. Kuniyoshi: Harnessing the Robot's Body Dynamics: a Global Dynamics Approach. Proc. IROS'01, pp.518-525, 2001.
- [12] A. Nagakubo, Y. Kuniyoshi and G. Cheng: ETL-Humanoid - A High-Performance Full Body Humanoid System for Versatile Actions. Proc. IROS'01, pp.1087-1092, 2001.
- [13] M. Konyo, S. Tadokoro, T. Takamori and K. Oguro: EAP Application to Artificial Tactile Feel Display of Virtual Reality. Proc. of SPIE, vol. 4329, pp.28-42, 2001.
- [14] 昆陽 雅司, 田所 諭, 高森 年, 小黒 啓介, 徳田 献一, 高分子ゲルアクチュエータを用いた布の手触り感覚を提示する触感ディスプレイ, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol. 6, no. 4, pp. 323-328, 2001.

平成 14 年度

- [15] H. Noguchi, T. Mori and T. Sato: Construction of Accumulation System for Human Behavior Information in Room. Proc. of the 2002 IEEE/RSJ Intl. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS'02), pp.1252-1258, 2002.
- [16] T. Mori, K. Tsujioka, M. Shimosaka and T. Sato: Human-Like Action Recognition System Using Features Extracted by Human. Proc. IROS'02, pp.1214-1220, 2002.
- [17] K. Nishiwaki, S. Kagami, J.J. Kuffner, K. Okada, Y. Kuniyoshi, M. Inaba and H. Inoue: Online Humanoid Locomotion Control by Using 3D Vision Information. Proc. of the 8th Intl. Symposium on Experimental Robotics (ISER'02), 2002.
- [18] K. Okada, Y. Kino, F. Kanehiro, Y. Kuniyoshi, M. Inaba and H. Inoue: Rapid Development System for Humanoid Vision-Based Behaviors with Real-Virtual Common Interface. Proc. IROS'02, pp.2515-2520, 2002.
- [19] I. Mizuuchi, R. Tajima, T. Yoshikai, D. Sato, K. Nagashima, M. Inaba, Y. Kuniyoshi and H. Inoue: The Design and Control of the Flexible Spine of a Fully Tendon-Driven Humanoid "Kenta". Proc. IROS'02, pp.2527-2532, 2002.
- [20] T. Yamamoto and Y. Kuniyoshi: Stability and Controllability in a Rising Motion: A Global Dynamics Approach. Proc. IROS'02, pp.2467-2472, 2002.
- [21] M. Konyo, S. Tadokoro, M. Hira and T. Takamori: Quantitative Evaluation of Artificial Tactile Feel Display Integrated with Visual Information. Proc. IROS'02, pp.3060-3065, 2002.

平成 15 年度

- [22] A. Nagakubo, Y. Kuniyoshi and G. Cheng: The ETL-Humanoid System -- A High-Performance Full Body Humanoid System for Versatile Real World Interaction. Advanced Robotics, vol.17, no.2, pp.149-164, 2003.
- [23] Y. Kuniyoshi and M. Shimosaki: A Self-Organizing Neural Model for Context-Based Action Recognition. Proc. of the 1st Intl. IEEE EMBS Conf. on Neural Engineering, pp.442-445, 2003.
- [24] T. Sato, Y. Genda, H. Kubotera, T. Mori and T. Harada: Robot Imitation of Human Motion based on Qualitative Description from Multiple Measurement of Human and Environmental Data. Proc. of the 2003 Intl. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS'03), pp.2377-2384, 2003.
- [25] T. Harada, H. Uchino, T. Sato and T. Mori: Portable Orientation Estimation Device Based on Accelerometers, Magnetometers and Gyroscope Sensors for Sensor Network. Proc. of the 2003 IEEE Intl. Conf. on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems (MFI2003), pp.191-196, 2003.
- [26] Y. Kuniyoshi, Y. Yorozu, M. Inaba and H. Inoue: From Visuo-Motor Self Learning to Early Imitation -- A Neural Architecture for Humanoid Learning. Proc. of the 2003 Intl. Conf on Robotics and Automation (ICRA'03), pp.3132-3139, 2003.
- [27] K. Terada, Y. Ohmura and Y. Kuniyoshi: Analysis and Control of Whole Body Dynamic Humanoid Motion -- Experiments on a Roll-and-Rise Motion. Proc. IROS'03, pp.1382-1387, 2003.
- [28] M. Shimosaki and Y. Kuniyoshi: Integration of Spatial and Temporal Contexts for Action Recognition by Self Organizing Neural Networks. Proc. IROS'03, pp.2385-2391, 2003.
- [29] Y. Ohmura, K. Terada and Y. Kuniyoshi: Analysis and Control of Whole Body Dynamic Humanoid Motion -- Experiments on a Roll-and-Rise Motion, CD-ROM Proc. of the 3rd IEEE/RAS Intl. Conf. on Humanoid Robotics (Humanoids2003), 2003.
- [30] 國吉 康夫: ロボットの知能-創発実体主義の挑戦-, 計測と制御, vol. 42, no. 6, pp. 497-503, 2003.
- [31] K. Tokuda, T. Toda, Y. Koji, M. Konyo, S. Tadokoro and P. Alain: Estimation of Fragile Ground by Foot Pressure Sensor of Legged Robot. Proc. of the 2003 IEEE/ASME Intl. Conf. on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM2003), pp.447-453, 2003.
- [32] Y. Koji, S. Tadokoro, T. Toda, A. Pujol, K. Tokuda, M. Konyo and T. Takamori: Flat-Distributed Network Architecture (FDNet) for Rescue Robots. Proc. IROS'03, pp.2392-2397, 2003.
- [33] M. Shimosaka, T. Mori, T. Harada and T. Sato: Recognition of Human Daily Life Action and Its Performance Adjustment Based on Support Vector Learning. Proc. Humanoids2003, 2003.
- [34] T. Sato, S. Itoh, S. Otani, T. Harada and T. Mori: Human Behavior Logging Support System Utilizing Pose / Position Sensors and Behavior Target Sensors. Proc. IROS'03, pp.1068-1073, 2003.
- [35] M. Inaba, I. Mizuuchi, R. Tajima, T. Yoshikai, K. Nagashima and H. Inoue: Building Spined Muscle-Tendon Humanoid. Proc. 10th Intl. Symposium of Robotics Research, pp.113-130, 2003.

⑨研究成果の発表状況

この研究費による成果の発表に限り、学術誌等に発表した論文（投稿中の論文を記入する場合は、掲載が決定しているものに限ります。）の全著者名、論文名、学協会誌名、巻（号）、最初と最後のページ、発表年（西暦）、及び国際会議、学会等における発表状況について、3頁以内に収めて記入してください。

平成 16 年度

- [36] T. Mori, M. Shimosaka and T. Sato: SVM-Based Human Action Recognition and Its Remarkable Motion Features Discovery Algorithm. CD-ROM Proc. of the 9th Intl. Symposium on Experimental Robotics (ISER2004), 01paper129, 2004.
- [37] T. Harada, T. Nagai, T. Mori and T. Sato: Realization of Bluetooth-Equipped Module for Wireless Sensor Network. 1st Intl. Workshop on Networked Sensing Systems (INSS2004), pp.24-27, 2004.
- [38] T. Mori, M. Shimosaka, T. Harada and T. Sato: Informative Motion Extractor for Action Recognition with Kernel Feature Alignment. Proc. of the 2004 Intl. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS'04), pp.2009-2014, 2004.
- [39] T. Sato, T. Harada and T. Mori: Environment-Type Robot System "Robotic Room" Featured by Behavior Media, Behavior Contents, and Behavior Adaptation. IEEE/ASME Trans. on Mechatronics, vol.9, issue 3, pp.529-534, 2004.
- [40] T. Mori, M. Shimosaka, T. Harada and T. Sato: Recognition of Actions in Daily Life and Its Performance Adjustment Based on Support Vector Learning. International Journal of Humanoid Robotics, vol.1 issue 4, pp.565-583, 2004.
- [41] Y. Kuniyoshi, Y. Ohmura, K. Terada, A. Nagakubo, S. Eitoku and T. Yamamoto: Embodied Basis of Invariant Features in Execution and Perception of Whole Body Dynamic Actions --- Knacks and Focuses of Roll-and-Rise Motion. Robotics and Autonomous Systems, vol.48, issue 4, pp.189-201, 2004.
- [42] Y. Kuniyoshi, Y. Ohmura, K. Terada and A. Nagakubo: Dynamic Roll-And-Rise Motion by an Adult-Size Humanoid Robot. International Journal of Humanoid Robotics, vol.1, no.3, pp.497-516, 2004.
- [43] T. Harada, H. Uchino, T. Mori and T. Sato: Portable Absolute Orientation Estimation Device with Wireless Network under Accelerated Situation. Proc. of the 2004 IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation (ICRA'04), pp.1412-1417, 2004.
- [44] T. Mori, Y. Segawa, M. Shimosaka and T. Sato: Hierarchical Recognition of Daily Human Actions Based on Continuous Hidden Markov Models. Proc. of the 6th IEEE Intl. Conf. on Automatic Face and Gesture Recognition (FGR'04), pp.779-784, 2004.
- [45] T. Sato, H. Kubotera, T. Harada and T. Mori: Primitive-Based Recognition of Object-Handling Motion. Proc. of the 2nd Intl. Workshop on Advances in Service Robotics (ASER2004), pp.45-50, 2004.
- [46] T. Mori, H. Noguchi, A. Takada and T. Sato: Sensing Room: Distributed Sensor Environment for Measurement of Human Daily Behavior. Proc. INSS2004, pp. 40-43, 2004.
- [47] T. Sato, Y. Kuniyoshi, M. Inaba and S. Tadokoro: Overview of Synthetic Study of Imitation on Human and Intelligent Robot. International Workshop on Robotics Imitation, pp.1-8, 2004.
- [48] T. Harada, T. Mori and T. Sato: Human Posture Probability Density Estimation Based on Actual Motion Measurement and Eigenpostures. Proc. of the 2004 IEEE Intl. Conf. on System, Man and Cybernetics (SMC'04), pp.1595-1600, 2004.
- [49] M. Shimosaka, T. Mori, T. Harada and T. Sato: Action Recognition Based on Kernel Machine Encoding Qualitative Prior Knowledge. Proc. SMC'04, pp.1569-1576, 2004.
- [50] T. Harada, S. Taoka T. Mori and T. Sato: Quantitative Evaluation Method for Pose and Motion Similarity Based on Human Perception. Proc. of the 4th IEEE/RAS Intl. Conf. on Humanoid Robots (Humanoids2004), pp.494-512, 2004.
- [51] T. Inamura, M. Inaba and H. Inoue: PEXIS: Probabilistic Experience Representation Based Adaptive Interaction System for Personal Robots: Systems and Computers in Japan, vol.35 no.6, pp.98-109, 2004.
- [52] I. Mizuuchi, Y. Nakanishi, T. Yoshikai, M. Inaba and H. Inoue: Body Information Acquisition System of Redundant Musculo-Skeletal Humanoid. Proc. ISER 2004, paper164, 2004.
- [53] T. Inamura, M. Inaba and H. Inoue: Dialogue Control for Task Achievement Based on Evaluation of Situational Vagueness and Stochastic Representation of Experience. Proc. IROS'04, pp. 2861-2866, 2004.
- [54] I. Mizuuchi, H. Waita, Y. Nakanishi, T. Yoshikai, M. Inaba and H. Inoue: Design and Implementation of Reinforceable Muscle Humanoid. Proc. IROS'04, pp.828-833, 2004.
- [55] K. Okada, A. Haneda, H. Nakai, M. Inaba and H. Inoue: Environment Manipulation Planner for Humanoid Robots Using Task Graph That Generates Action Sequence. Proc. IROS'04, pp.1174-1179, 2004.
- [56] T. Yoshikai, N. Otake, I. Mizuuchi, M. Inaba and H. Inoue: Development of an Imitation Behavior in Humanoid Kenta with Reinforcement Learning Algorithm Based on the Attention during Imitation. Proc. IROS'04, pp.1192-1197, 2004.
- [57] Y. Fukumoto, K. Nishiwaki, M. Inaba and H. Inoue: Hand-Centered Whole-Body Motion Control for a Humanoid Robot. Proc. IROS'04, pp.1186-1191, 2004.
- [58] Y. Ohkubo, K. Okada, T. Morishita M. Inaba and H. Inoue: Portable Situation-Reporting System by a Palmtop Humanoid Robot for Daily Life. Proc. IROS'04, pp.3553-3558, 2004.
- [59] M. Hayashi, T. Inamura, M. Inaba and H. Inoue: Acquisition of Behavior Modifier Based on Geometric Proto-Symbol Manipulation and Its Application to Motion Generation. Proc. IROS'04, pp.2036-2041, 2004.
- [60] S. Kanzaki, Y. Fukumoto, K. Nishiwaki, T. Inamura and M. Inaba: Development of Wearable Controller with Gloves and Voice Interface for Humanoids' Whole-Body Motion Generation. Proc. of the Intl. Conf. on Machine Automation 2004 (ICMA2004), pp.297-302, 2004.
- [61] A. Haneda, K. Okada, H. Nakai, T. Inamura, M. Inaba and H. Inoue: Humanoid Navigation System with Replanning Control of Manipulating Movable Obstacles. Proc. ICMA2004, pp. 291-296, 2004.
- [62] K. Okada, T. Ogura, A. Haneda, D. Kousaka, H. Nakai, M. Inaba and H. Inoue: Integrated System Software for HRP2 Humanoid. Proc. ICRA'04, pp.3207-3212, 2004.
- [63] Y. Kuniyoshi and S. Suzuki: Dynamic Emergence and Adaptation of Behavior through Embodiment as Coupled Chaotic Field. Proc. IROS'04, pp.2042-2049, 2004.
- [64] S. Yonekura and Y. Kuniyoshi: Emergence of Multiple Sensory-Motor Response Patterns from Cooperating Bursting Neurons. Proc. IROS'04, pp.1377-1382, 2004.
- [65] R. Fukano, Y. Kuniyoshi, T. Kobayashi, T. Otani and N. Otsu: Statistical Manipulation Learning of Unknown Objects by a Multi-Fingered Robot Hand. Proc. Humanoids2004, pp.726-740, 2004.
- [66] K. Tokuda, J. Jadoulle, N. Lambot A. Youssef., Y. Koji and S.Tadokoro: Dynamic Robot Programming by FNet: Design of FNet Programming Environment. Proc. IROS'04, pp.780-785, 2004.

⑨研究成果の発表状況

この研究費による成果の発表に限り、学術誌等に発表した論文（投稿中の論文を記入する場合は、掲載が決定しているものに限ります。）の全著者名、論文名、学協会誌名、巻（号）、最初と最後のページ、発表年（西暦）、及び国際会議、学会等における発表状況について、3頁以内に収めて記入してください。

平成 17 年度

- [67] T. Mori, H. Noguchi and T. Sato: Daily Life Experience Reservoir and Epitomization with Sensing Room, 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation Workshop on Network Robot Systems: Toward Intelligent Robotic Systems Integrated with Environments, pp.1-14, 2005.
- [68] T. Harada, T. Sato and T. Mori: Development of Tiny Orientation Estimation Device under Motion and Magnetic Disturbance. Proc of the 2005 IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation 2nd Workshop on Integration of Vision and Inertial Sensors (InerVis 2005), pp.1-6, 2005.
- [69] T. Harada, Y. Kawano, S. Otani, T. Mori and T. Sato: Realization of Portable Radio Device and Ad Hoc Wireless Network for Lifelog Based Physical and Informational Support System. Proc. of 2nd Intl. Workshop on Networked Sensing Systems (INSS2005), pp.6-11, 2005.
- [70] T. Mori, Y. Nejigane, M. Shimosaka, Y. Segawa, T. Harada and T. Sato: Online Recognition and Segmentation for Time-Series Motion with HMM and Conceptual Relation of Actions. Proc. IROS'05, pp.2568-2574, 2005.
- [71] 森 武俊, 瀬川 友史, 下坂 正倫, 佐藤 知正: 隠れマルコフモデルと動作の階層構造の木表現による日常動作認識. 日本ロボット学会誌, vol.23, no.8, pp.957-966, 2005.
- [72] T. Harada, T. Mori and T. Sato: Human Posture Probability Density Estimation Based on Actual Motion Measurement and Eigenpostures. Journal of Robotics and Mechatronics, vol.17, no.6, pp.664-671, 2005.
- [73] 森 武俊: センシングルームによる環境型人間計測・支援. 日本機械学会誌, vol.109, no.1048, pp.192-193, 2006. (解説論文)
- [74] T. Mori, M. Shimosaka, T. Harada and T. Sato: Time-Series Human Motion Analysis with Kernels Derived from Learned Switching Linear Dynamics. 人工知能学会論文誌, vol.20, no.3 (SP-C), pp.197-208, 2005.
- [75] 森 武俊, 野口 博史, 佐藤 知正: センシングルーム—部屋型日常行動計測蓄積環境第2世代ロボティックルーム. 日本ロボット学会誌, vol. 23, no.6, pp.25-29, 2005.
- [76] 原田 達也, 伊藤 寛, 森 武俊, 佐藤 知正: 室内三次元位置計測のための SS 無線と高精度時間計測 LSI を用いた距離計測デバイスの開発. 日本ロボット学会誌, vol.23, no.4, pp.114-123, 2005.
- [77] T. Mori, A. Takada, H. Noguchi, T. Harada and T. Sato: Behavior Prediction Based on Daily-Life Record Database in Distributed Sensing Space. Proc. IROS'05, pp.1833-1839, 2005.
- [78] T. Harada, Y. Kawano, S. Otani, T. Mori and T. Sato: Construction of Wireless Ad Hoc Network for Lifelog Based Physical & Informational Support System. Proc. IROS'05, pp.89-95, 2005.
- [79] T. Harada, T. Sato and T. Mori: Human Posture Reconstruction Based on Posture Probability Density. Proc. IROS'05, pp.2856-2863, 2005.
- [80] T. Mori, A. Takada, H. Noguchi and T. Sato: Behavior Prediction System Based on Environmental Sensor Records. Proc. INSS2005, pp.197-202, 2005.
- [81] M. Shimosaka, T. Mori, T. Harada and T. Sato: Marginalized Bags of Vectors Kernels on Switching Linear Dynamics for Online Action Recognition. Proc. of the 2005 IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation (ICRA'05), pp.3083-3088, 2005.
- [82] T. Inamura, M. Inaba and H. Inoue: A Dialogue Control Model Based on Ambiguity Evaluation of Users' Instructions and Stochastic Representation of Experiences. Journal of Robotics and Mechatronics, vol.17, no.6, pp.697-704, 2005.
- [83] K. Okada, M. Inaba and H. Inoue: Real-Time and Precise Self Collision Detection System for Humanoid Robots. Proc. ICRA'05, pp.1072-1077, 2005.
- [84] K. Okada, T. Ogura, A. Haneda, J. Fujimoto, F. Gravot and M. Inaba: Humanoid Motion Generation System on HRP2-JSK for Daily Life Environment. Proc. of the 2005 Intl. Conf. on Mechatronics and Automation (ICMA'05), pp.1772-1777, 2005.
- [85] T. Ogura, A. Haneda, K. Okada and M. Inaba: On-Site Humanoid Navigation through Hand-in-Hand Interface. Proc. of the 5th IEEE/RAS Intl. Conf. on Humanoid Robots (Humanoids2005), pp. 175-180, 2005.
- [86] T. Yoshikai, I. Mizuuchi and M. Inaba: A Humanoid Behavior Modification System by Monitoring and Evaluating Causality between Sensors and Actions. Proc. Humanoids2005, pp.202-207, 2005.
- [87] S. Kanzaki, K. Okada and M. Inaba: Bracing Behavior in Humanoid through Preview Control of Impact Disturbance. Proc. Humanoids2005, pp. 301-306, 2005.
- [88] T. Inamura, N. Kojo, T. Sonoda, K. Sakamoto, K. Okada and M. Inaba: Intent Imitation Using Wearable Motion Capturing System with On-Line Teaching of Task Attention. Proc. Humanoids2005, pp.469-474, 2005.
- [89] T. Inamura, K. Okada, M. Inaba and H. Inoue: HRP-2W: A Humanoid Platform for Research on Support Behavior in Daily life Environments. Proc. of the 9th Intl. Conf. on Intelligent Autonomous Systems (IAS-9), pp. 732-739, 2006.
- [90] T. Yoshikai, Y. Nakanishi, I. Mizuuchi and M. Inaba: Pedaling Motion of a Cycle by Musculo-Skeletal Humanoid with Adapting Ability Based on an Evaluation of the Muscle Loads. Proc. IAS-9, pp.767-775, 2006.
- [91] Y. Nakanishi, I. Mizuuchi, T. Yoshikai, T. Inamura and M. Inaba: Tendon Arrangement Based on Joint Torque Requirements for a Reinforceable Musculo-Skeletal Humanoid. Proc. IAS-9, pp.786-793, 2006.
- [92] R. Adachi, S. Kanzaki, K. Okada and M. Inaba: Load Distributed Whole-Body Motion Generation Method for Humanoids by Minimizing Average Joint Torque Ratio. Proc. IAS-9, pp. 804-811, 2006.
- [93] N. Kojo, T. Inamura and M. Inaba: Behavior Induction by Geometric Relation between Symbols of Multi-Sensory Pattern. Proc. IAS-9, pp.875-882, 2006.
- [94] Y. Kuniyoshi, R. Fukano, T. Otani, T. Kobayashi and N. Otsu: Haptic Detection of Object Affordances by a Multi-Fingered Robot Hand. International Journal of Humanoid Robotics, vol.2, no.4, pp.415-436, 2005.
- [95] A. Pitti, M. Lungarella and Y. Kuniyoshi: Quantification of Emergent Behaviors Induced by Feedback Resonance of Chaos. Recent Advances in Artificial Life: Advances in Natural Computation, vol.2, no.4, p.199-213, 2005.
- [96] R. Fukano, Y. Kuniyoshi, T. Otani, T. Kobayashi and N. Otsu: Acquisition of Unknown Object Property for Manipulation by a Compliant Multi-Fingered Hand. Journal of Robotics and Mechatronics, vol.17, no. 6, pp.645-654, 2005.
- [97] 國吉 康夫: ロボット模倣の創発・発達の構成論にむけて. バイオメカニズム学会誌, vol.29, no.1, pp.20-25, 2005. (解説論文)
- [98] M. Lungarella, K. Ishiguro, Y. Kuniyoshi and N. Otsu: Methods for Quantifying the Causal Structure of Bivariate Time Series. International Journal of Bifurcation and Chaos, 2006 (in press).
- [99] K. Terada, Y. Kuniyoshi: Automatic Motion Generation Exploiting the Global Structure of Non-Linear Dynamics Based on Finite Time Reachability. Robotics and Autonomous Systems, 2006 (in press).
- [100] K. Ishiguro, N. Otsu and Y. Kuniyoshi: Inter-Modal Learning and Object Concept Acquisition. Proc. of IAPR Conference on Machine Vision Applications (MVA2005), pp.148-151, 2005.
- [101] C. Nabeshima, M. Lungarella and Y. Kuniyoshi: Timing-Based Model of Body Schema Adaptation and Its Role in Perception and Tool Use: A Robot Case Study. Proc. of the 4th IEEE Intl. Conf. on Development and Learning (ICDL'05), pp.7-12, 2005.
- [102] S. Yonekura, M. Lungarella and Y. Kuniyoshi: Fear-Like Response Induced by Intentional Gap between Neural and Body-Environment Dynamics. Proc. ICDL'05, pp.31-36, 2005.
- [103] A. Pitti, M. Lungarella and Y. Kuniyoshi: Exploration of Natural Dynamics through Resonance and Chaos. Proc. IAS-9, pp.558-565, 2006.