

「脳を創る」  
平成10年度採択研究代表者

中村 仁彦

(東京大学大学院情報理工学系研究科 教授)

## 「自律行動単位の力学的結合による脳型情報処理機械の開発」

### 1. 研究実施の概要

ヒューマノイドにおける脳型情報処理を実現する場合、ロボットの手足や全身の動力学などの身体性情報を考慮する必要がある。そのため、自律行動単位の設計、フレキシブルな情報処理アーキテクチャに適切な行動機械の設計、というボトムアップのアプローチと、人間の行動計測解析や機械学習理論をベースにした脳型情報処理の開発というトップダウンのアプローチの双方から多面的に研究を実施した。

### 2. 研究実施内容

#### (1) 東京大学大学院工学系研究科

研究成果の最終目標である、ヒューマノイドにおける情報処理機構開発のため、以下の4点を中心に研究を実施した。

##### 1) ヒューマノイドの行動設計のための人間行動計測環境の開発

人間の形態的身体運動パターンを実データとしてヒューマノイドの行動設計を行うこと、またこれを用いて行動理解や行動生成システムを実現することが自律行動単位の生成に必要である。そのために「ビヘービアキャプチャーシステム」と呼ばれる全身行動の計測環境を完成させた。このシステムは、視線検出、瞳孔径計測、脳波・筋電計測をも同時実時間で行うことが出来るため、人間の注意のモデルや認知系の研究に計測データを供給することが出来る。

##### 2) ヒューマノイドの情報処理力学系と身体力学系の計算理論

情報処理力学系を非線形力学現象として設計する方法を検討している。この中で平成12年度には複数のアーノルド方程式系のシステムを結合し、同期や引込現象を解析し、それを用いる情報処理について考察した。また、複雑な多自由度リンク系としての人間やヒューマノイドの動力学を高速に計算するアルゴリズムを開発し、その並列処理について研究した。

##### 3) ヒューマノイドの他者行動理解と自己行動生成の同一性理論

いわゆる「ものまね(ミメシス)」において、この人間および大型霊長類のコミュニケーションや情報処理の基礎と考えられている能力が、他者行動理解と

自己行動生成からなることから、これらの間には密接な関連があり同一の情報処理系を構成しているのではないかという仮説を立てた。これに基づいて隠れマルコフモデルやニューラルネットワークを用いた情報処理について研究を行った。

#### 4) 状態遷移ネットワークの開発

基本動作遷移を行うステートネットとその動作実行エンジンシステムに目標動作や目標状態を記述するためのコンテキストネットシステムとそれを解釈実行するActionPlannerシステムを試作した。このシステムを用いて人がロボットの身体を直接触って誘導するなどの実験を行い評価を行った。いわゆるプログラム言語の形で記述するのではなく、感覚情報の解釈の仕方によってモジュールを分け、それぞれのモジュールの中で目標動作決定等の判断処理を行う形となっている。

#### (2) 東京大学大学院教育学研究科

今年度もリハビリテーション病院での観察と運動障害者の行為の解析を行った。とくに脳卒中者と健常学生の物を扱う行為の差を検討した。対象物は鱈でありそれを箸で解体し身を取り去る行為を分析した。健常者では配置換え等、対象の全体を扱う行為とローカルな身を扱う行為の両方が時系列上混在して出現したが、麻痺者では全体を扱う行為はほとんど出現しなかった。このような事実は脳卒中患者に微小な行為による選択（マイクロスリップ）が少ないという観察事実と符号している可能性がある。今後はこのような配置換え行為とマイクロスリップの関係を幼児や種々の障害者などを対象にして検討したいと考えている。

#### (3) 京都大学大学院工学研究科

平成12年度京都大学工学研究科土屋研究室では Central Pattern Generator (CPG) モデルを用いた四脚ロボットの歩行制御の研究を行った:各脚に非線形振動子を配置する。各振動子は、各振動子間の相互作用とともに、脚先の接地センサー信号からの入力を受け、その位相を調整する。構成された歩行制御系は変動する環境に対して適応的にその歩行パターンを変化させながら安定に歩行することを数値シミュレーション及びハードウェア実験で検証した。

#### (4) 大阪大学大学院工学研究科

本年度は、階層学習の継続と同時に、視覚注意制御の研究を実施した。従来、視覚情報処理から環境モデルを構築し、その後、行動計画を立ててきたのに対し、本研究では、意志決定が可能な限り観測を削減することで、迅速な行動遂行を実現する手法を提案し、小型4脚ロボットを用いて実証した。この過程で、情報量に基づき、観測範囲を規定する学習法を適用することで、注視窓が作り出され、注視制御が実現されたと見なせる結果が得られた。

(5) 大阪大学大学院基礎工学研究科

主に離散事象システムのスーパーバイザ制御を応用したロボットの行動計画法を開発した。故障も考慮した分散処理のための基礎理論として信頼性のある分散スーパーバイザの設計法とオンライン分散スーパーバイザ制御法を開発した。さらに、分散制御における重要な基礎概念である分離可能性の性質を調べた。また、知能情報処理へのカオスの応用のための基礎技術として予測に基づくカオス制御法、及び観測データから環境を動的にモデリングするためのモデル集合システム同定問題を考察した。

(6) 埼玉大学工学部

吉澤Gでは2つの研究テーマについて研究を行った。第一のテーマでは、2次元モーションキャプチャーデータからの3次元運動パラメータの推定という不良設定問題に対し、人体構造の制約条件を用いることにより、問題の解消を試みた。第二のテーマでは、昨年度提案のOLDAにつき、条件によっては判別行列が発散してしまうという問題の指摘と、その対策の提案を行った。実験を通じ、提案手法がクラスの追加などの変化や学習係数の設定に対して頑健であることが判った。

(7) 通産省電子技術総合研究所

昨年度開発した安定歩行アルゴリズムを小型ヒューマノイド(全26自由度、高さ50cm、重量9kg)に実装し、歩行実験を行った。一方、ヒューマノイドの制御方法とハードウェア性能を評価できるシミュレーション環境をめざして開発したヒューマノイドシミュレータ上で、自動的パラメータおよび制御アルゴリズムを用いた歩行シミュレーションを行った。実験結果とシミュレーション結果の比較により、ロボット実機の歩行とシミュレータでの歩行はほぼ一致していることが確認できた。

(8) 通産省機械技術研究所

汎用経路計画サーバとその実装を行った。この汎用経路計画サーバは探索問題を抽象化した抽象層と、個々の経路計画問題が備える様々な事象に従って探索過程を評価する評価層からなる。抽象層と評価層は明確に分離しており、評価層の評価ルールを変更することで様々な探索問題に適用可能である。また、探索中に実施された評価の結果を段階的に保存し再利用可能とすることで、複数回の探索の効率化を目指している。本サーバはCORBAに準拠した実装がなされており、分散オブジェクト環境下で利用可能である。また、本経路計画サーバの汎用性を示すため、ヒューマノイドの運動計画と室内移動経路計画を試み、適切な解を得た。今後は探索アルゴリズムの拡充を行い、より幅広い事象への適用を図る予定である。

### 3 . 主な研究成果の発表 (論文発表)

#### 研究グループ名：東京大学 大学院工学系研究科

中村仁彦、山根克、岡田昌史、小嶺徳晃、“加速度感覚提示機用パラレルマニピレータの並列実時間動力学計算とH 加速度フィードバック制御、”日本ロボット学会誌、Vol.18, No.3 , pp.426-434, 2000.

中村仁彦、山根克、“拘束条件が不連続に変化するリンク系の動力学 環境と接触しながら運動するヒューマンフィギュアへの応用 ”、”日本ロボット学会誌、Vol.18, No.3 , pp.435-443, 2000.

Y. Nakamura and K. Yamane, "Dynamics Computation of Structure-Varying Kinematic Chains and Its Application to Human Figures," IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol.16, No.2, pp.124-134, 2000.

岡田昌史、中村仁彦、“サイバネティック・ショルダの開発 人間の肩の動きを模倣した3自由度機構 ”、”日本ロボット学会誌、Vol.18, No.5 , pp.690-698, 2000.

M. Inaba , S. Kagami, F. Kanehiro, Y. Hoshino and H. Inoue, "A Platform for Robotics Research Based on the Remote-Brained Robot Approach," The International Journal of Robotics Research, Vol.19, No.10, pp.933-954, 2000.

#### 研究グループ名：東京大学 大学院教育学研究科

佐々木正人 (著)「知覚はおわらない - アフォーダンスへの招待」、青土社。

佐々木正人、三嶋博之 (編訳)「アフォーダンスの構想 - 知覚研究の生態心理学的デザイン」、東京大学出版会。

佐々木正人 (監修) 細田直哉 (訳)「アフォーダンスの心理学- 生態心理学への道」、新曜社。

岡田美智男、三嶋博之、佐々木正人 (編)「コンピュータと身体」、共立出版。

佐々木正人、「21世紀の体育・スポーツ科学の発展」、pp. 155-163 , 日本体育学会編集、杏林書院。

佐々木正人、「共通感覚論の可能性」、第3章、pp. 99-131 , 中村雄二郎、木村敏編、河合文化出版。

佐々木正人、“行為を持続させる仕組み、”北海道理学療法学会誌、17巻、pp. 3-29.

佐々木正人、“アフォーダンスと作業療法、”作業療法、19巻6号、pp. 520-524.

佐々木正人、“発達研究の現在 - 運動研究1990年代、”児童心理学の進歩、39巻2-26.

佐々木正人、“いちど起こること、”現代思想、28巻5号、pp. 118-126

佐々木正人、“ナビゲーションと遮蔽、”現代思想臨時増刊システム、pp.254-280 .

#### 研究グループ名：大阪大学 大学院基礎工学研究科

S. Takai and T. Ushio, "Reliable decentralized supervisory control of discrete

event systems," IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics-Part B, Vol. 30, No. 5, pp. 661-667, Oct. 2000.

S. Takai and T. Ushio, "Synthesis of reliable decentralized supervisors for discrete event systems," IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E83-A, No. 11, pp. 2212-2218, Nov. 2000.

S. Takai and T. Ushio, "On-line synthesis of decentralized supervisors for discrete event systems," IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E83-A, No. 11, pp. 2282-2285, Nov. 2000.

S. Takai, T. Ushio, and Y. Furukawa, "Separability of predicates and languages in large-scale discrete event systems," Discrete Event Systems Analysis and Control, Edited by R. Boel and G. Stremersch, Kluwer Academic Pub. pp. 337-344, August 2000.