

相互作用と賢さ 研究領域 領域活動 評価報告書

- 平成 15 年度終了研究課題 -

研究総括 原島 文雄

1. 研究領域の概要

本領域は、人間の知力と行動力を最大限に発揮させる人工生命体と呼ぶべきシステムを構築しようとするものです。人間と機械が相互作用としての物理的関係と情報交換によって、さらに賢くなる人工の空間形成に関して研究するものです。

例えば、情報の感知と命令の集積 融合化、スマートアクチュエータ、インタフェースなど構成要素のほか、知能ロボット、学習機能、微小機械、人工現実感、メカトロニクス、新システムの設計や構築に向けての研究などを含みます。

2. 研究課題 研究者名

別紙一覧表参照

3. 選考方針

(1) 選考は 相互作用と賢さ 領域に設けた領域アドバイザー 8名と研究総括で行う。

(2) 選考方法は、書類選考、面接選考および総合選考とする。

書類選考において、1 提案につき 3 名の領域アドバイザーに査読評価を依頼する。

選考委員の所属機関と応募者の所属機関が異なるように配慮する。

面接選考では、可能な限り多くの研究提案を直接聴取し、質疑応答する。

(3) 選考の基本的な考え方は次の通り。

相互作用と賢さのテーマに明快に適合していること。

従来にない独創的なアイデアが含まれていること。

独立した研究者であり、本研究に専念できる立場であること。

本研究が、他のプロジェクトのサブセットであるものは、除外する。

過去の業績は尊重するが、その中に独創的なものがあることをチェックすること。

年齢は特に問わないが、次世代の研究者と新しい研究分野の育成を目的とすることに十分留意すること。

現在、JSTあるいは同種の組織の主要メンバーになっていないこと。

テーマの設定が、予算と年限の範囲で実行できること。

社会にインパクトを与える新しい技術分野を創出する可能性のあるテーマを優先する。

4. 選考の経緯

1 応募課題につき領域アドバイザー 3 名が書類審査し、書類選考会議において面接選考の対象者を選定した。続いて、面接選考および総合選考により採用候補者を選定した。

選考	書類選考	面接選考	採用者数
対象者数	42 名	13 名	6 名

5. 研究実施期間

平成 12 年 10 月～平成 15 年 9 月

6. 領域の活動状況

領域会議 6 回

研究総括 (または技術参事) の研究実施場所訪問 : 研究開始に際し全研究者を訪問した。その後、実施場所を移った際に新実験場所を訪問、および適宜研究者を訪問し、研究環境の整備や研究進捗状況の確認、組織の責任者への協力依頼を行った。

7. 評価の手続き

研究総括が個人研究者からの報告・自己評価を基に領域アドバイザーの協力を得て行った。また、一般公開の研究報告会において産官学の参加者から研究成果に対する意見、評価を受け、それらを参考にした。

(評価の流れ)

平成 15 年 9 月	研究期間終了
平成 15 年 12 月	研究報告会を東京国際フォーラムで開催
平成 16 年 1 月	研究報告書および自己評価提出
平成 16 年 2 月	研究総括による評価

8. 評価項目

- (1) 外部発表(論文、口頭発表など)、特許、研究を通じての新たな知見の取得などの研究成果
- (2) 得られた研究成果の科学技術への貢献

9. 研究結果

第一期生は以下の 6 名であったが、それぞれが独自の研究を活発に展開し、下記の成果を得た。

新井 史人は、インテリジェント・バイオフィヨラボラトリーの研究で、マイクロツールの間接操作による細胞分離手法、熱ゲル化反応を利用した細胞分離手法、接触センサによる細胞分離手法の開発、および分離された微生物のオンチップ培養と観察評価方法を確立した。これらの手法は外国特許出願した。これにより大量の微生物の中から、任意に選択したものだけを選別して高速に取り出し、各種培養条件を与えて難培養性微生物に適した培養条件を、人間との相互作用により探し出すことが可能なインテリジェントバイオフィヨラボラトリーを世界で初めて構築したことは、大きな成果であり高く評価できる。この成果は学会の話題となり、国内外から数多くの招待講演を受け、また 2 件の国内特許出願、1 件の外国特許出願がある。

大矢 晃久は、人間が普通に暮らしている空間内で働き、人間の生活を支援する移動ロボットを開発することを目的に、人間の移動中、あるいは遠隔地の物体へのアクセス中に、人間とのインタラクション(相互作用)を通じて、人間の生活を肉体面、精神面、また情報面で支援できるようなロボットの実現を試みた。具体的な研究項目として、一つは、人間と共に移動することによって

人間をサポートする「インテリジェント・エスコート・ロボット」、もう一つは、遠隔地にある図書を開いて見るための「図書遠隔閲覧ロボットシステム」を取り上げ、夫々完成度の高いデモンストレーションを実現できたことは評価できる。この成果により学会賞(2002年度)を受賞している。

菅原 研は、生物システムが有する「個体が群れを形成して集団で行動する」特性に注目した群知能ロボットシステムの構築の研究で、単純な相互作用力の導入による群れのフォーメーション形成、集団の協調作業、ならびに新しい実験システムの開発に関して、シミュレーションと実ロボットシステムによる実験を通して基本的な概念を確立・検証することで成果を上げた。

高間 康史は、Web 上に膨大かつ多様に蓄積された情報源のより高度な活用を実現するための、知的インタフェースの開発の研究で、免疫ネットワークモデルに基づく話題分布情報の可視化、キーワードマップに基づく情報可視化システムの開発、既存ブラウザと連携可能なプロトタイプインタフェースの開発、また、画像情報源の発見などで顕著な成果を挙げた。この成果により4件の学会賞(2001年度1件、2002年度3件)を受賞し、また3件の国内特許出願がある。

橋本 秀紀は、今まで前提として与えられていた環境に知能を与えて、空間全体で高度な知能を実現しようとする試みに挑戦し、多数のセンサーを物理的に空間内に分散配置し情報的にネットワーク化し、空間内の事象を観測し適切な処理を行なって必要なサービス等を実現できたことは、高く評価できる。さらに、これらの成果を基に、今後の空間知能化に関する実現シナリオを作成し、産学連携によって研究を進めることを行ったことも評価に値する。この成果により学会賞(2002年度)を受賞している。

山口 亨は、意図でつながりアシストするための「オントロジー技術」を提案し、人間の動作やその意図を認識するためのインテリジェント・スペースソフトウェアの開発し、さらにIT(インフォメーション・テクノロジー)・RT(ロボット・テクノロジー)・AT(オートモーティブ・テクノロジー)の各分野のプロトタイプの実現により「オントロジー技術」の有効性を検証したことは、大きな成果であり、高く評価できる。その成果により4件の学会賞(2001年度1件、2002年度2件、2003年度1件)を受賞し、また、5件の国内特許出願がある。

これら第一期生は、42名の応募者から大変な難関を経て選ばれた6名であり、いずれも優秀な研究者であった。本プロジェクト採用後に、2名の助教授昇任者があったこと、4名が国内外の学会賞を受賞したこと、および10件の国内出願および1件の外国出願があることから明らかなごとく、国際的にも高い研究レベルを保っている。

10. 評価者

研究総括 原島 文雄 東京電機大学工学部 教授
(東京都立科学技術大学 学長)

領域アドバイザー氏名(五十音順)

石島 辰太郎 東京都立科学技術大学 教授
井上 恵太 (株)コンボン研究所 代表取締役所長
井深 丹 タマティエルオー(株) 代表取締役社長
河内 啓二 東京大学大学院工学研究科 教授
小菅 一弘 東北大学大学院工学研究科 教授
谷江 和雄 (独)産業技術総合研究所知能システム研究部門 部門長

福田 敏男 名古屋大学先端技術共同センター 教授

(参考)

(1) 外部発表件数

	国内	国際	計
論文	6	4	10
口頭	95	96	191
その他	10	2	12
合計	111	102	213

(2) 特許出願件数

国内	国際	計
10	1	11

(3) 受賞等

・大矢 晃久

計測自動制御学会第3回システムインテグレーション部門講演会

[SIS2002ベストセッション賞] 「自律移動マニピュレータによる遠隔図書閲覧システム
結合によるタスクの実現」(2002年12月)

高間 康史

2nd Int. Symposium on Advanced Intelligent System Conference (ISIS2001) [優秀論文
賞] 「Fast Iterative Solving Method of Fuzzy Relational Equation and its Application to
Image Compression / Reconstruction」(2001年8月)

日本ファジィ学会 [論文賞] 「A Calculation Model of Hierarchical Multiplex Structure
for Vehicle Routing, Scheduling, and Dispatching Problem with Single Depot」(2002年8
月)

ファジー学会 [奨励賞] 「免疫ネットワークモデルを用いたキーワード集合抽出の情報
可視化システムへの応用」(2002年8月)

SCIS&ISIS2002 [Excellent Presentation Award] 「A Time-Temperature-based Food
Quality Prediction using a Self-Organized Network Inspired by Immune Algorithm」
(2002年10月)

橋本 秀紀

AROB 8th '03 [AROB Achievement Award] 「The Eighth International Symposium on
Artificial Life and Robotics」(2003年1月)

山口 亨

Proc. of The 27th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society
(IECON '01) [Best paper & award] 「Intelligent Robot System Using "Model of
Knowledge, Emotion and Intention" And "Information Sharing Architecture"」(2001年
11月)

2nd Euro-International Symposium on Computational Intelligence[Best Paper Award]

「Human Centered Support System Using Intelligent Space and Ontological Neural Network」(2002年6月)

SCIS & ISIS 2002 (Joint 1st International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 3rd International Symposium on Advanced Intelligent Systems) [Excellent Presentation Award] 「Human Centered Robot System and Ontological Neural Network」(2002年10月)

The 4th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS2003) [The Certificate of Appreciation] 「ISIS2003 The Certificate of Appreciation in recognition of your outstanding contribution」(2003年9月)

別紙

相互作用と賢さ」領域 研究課題名および研究者氏名

研究者氏名 (参加形態)	研究課題名 (研究実施場所)	現職 (応募時所属)	研究費 (百万円)
新井 史人 (兼任)	インテリジェント・バイオマイクロラボラト リ (名古屋大学)	名古屋大学大学院工学研究科 助 教授 (同上)	45
大矢 晃久 (兼任)	人間と共に移動する生活支援ロボット (筑波大学)	筑波大学電子・情報工学系 助教授 (同上 講師)	44
菅原 研 (兼任)	非線形動力学的手法による群知能ロボ ット (電気通信大学)	電気通信大学大学院情報システム 学研究科 助手 (同上)	41
高間 康史 (兼任)	情報検索における対象知識獲得支援シ ステムの構築 (東京都立科学技術大学)	東京都立科学技術大学工学部 (東京工業大学大学院総合理工学 研究科 助手)	44
橋本 秀紀 (兼任)	分散配置されたデバイスと相互作用し 賢くなる知的空間 (東京大学)	東京大学生産技術研究所 (同上)	56
山口 亨 (兼任)	成長するネットワーク型知能と人間中心 システム (東京都立科学技術大学)	東京都立科学技術大学工学部 (同上)	50

研究課題別評価

1. 研究課題名 :インテリジェント・バイオマイクロラボラトリ

2. 研究者氏名 新井史人

3. 研究の狙い :

これまで知られている微生物の種はほんの一握りで、実在しているものはその数十倍あるいはそれ以上存在すると言われている。微生物は21世紀の有用生物資源として有望視されているが、一菌体の取り出しは極めて困難で、培養条件及び培養方法もよく分かっていない。従来の微生物研究では細胞集団の特性を大まかに捉えてその集団の特性を評価するのが主流である。しかし、個々の細胞に着目してみると、局所的には異なる環境におかれ、細胞の状態も均質ではない。細胞の特性を調査するためには個々の細胞に着目して実験を進めるための自由な空間構築が必要となる。そこで、これを実現するためのアプローチとして、オンチップで細胞集団から狙った細胞を分離し、選ばれた細胞の組み合わせや培養条件、反応条件を自由に設定し、オンチップでその場観察可能なシステム技術を開発することにした。オンチップ細胞分析、評価により、これまで未知であった細胞の特性(例えば、細胞の個体差、遺伝子の発現の様子、遺伝の仕組み、複合微生物系の仕組み、好培養条件の探索など)を解明できると考えた。

以上により、本研究では、人間と機械が相互作用することが可能なマイクロな人工空間において、1細胞レベルでの各種相互作用を自由自在に行うことが可能なインテリジェント・バイオマイクロラボラトリを実現することを目的とした。マイクロ領域で自由かつ効率的にバイオ実験を進めるための知的空間を構築するための基盤技術として、主に微生物を対象として、マイクロチップ内にある複数サンプルの蛍光観察に基づく目標サンプルの分離及び、分離されたサンプルのオンチップ培養とその場反応評価を行うための基盤技術にフォーカスを当てた。

蛍光観察に基づく目標サンプルの分離では、選別・分離をオンチップで高速かつ高純度で行うことが課題であった。これには光ピンセットによって操作されたマイクロツールによる分離手法と、温度変化によるゾルゲル相転移を利用した分離手法を提案した。分離された微生物のオンチップ培養とその場反応評価では、オンチップで培養環境を自由に設定し、その場観察が可能な新しい培養方法を提案した。また、光硬化性樹脂プレポリマーによる安定した固定方法や環境制御方法を提案した。

4. 研究結果 :

マイクロ領域で自由かつ効率的に単一細胞ベースのバイオ実験を進めるための知的空間を構築した。応用分野として新規微生物や、有用微生物の有効利用を目的として、特定の微生物の分離と並列培養をオンチップで行うデスクトップ型バイオマイクロラボを構築した。このための基盤技術として、(1)蛍光観察に基づく計測と目標対象物の分離及び、(2)分離された微生物のオンチップ培養と観察評価を行うための基盤技術を構築した。

(1) 蛍光観察に基づく計測と目標対象物の分離

これまで、対象物を空間的に広げた中から選択して分離する手法として(1-1)マイクロツールの間接操作による分離手法と、(1-2)熱ゲル化反応を利用した分離手法を提案して実験的に有

効性を確認した。また、(1-3)マイクロピペットによる接触式の分離手法に熱ゲル化反応を利用し、新たに考案した接触センサを利用した。本研究で対象とした手法は対象物を空間的に広げることの特徴としており、サンプル同士の同時比較が可能で、対象の位置情報が保存されるところに大きな利点がある。

(1-1) マイクロツールの間接操作による細胞分離手法

光ピンセットによる微生物の操作において、直接レーザー照射によるダメージが懸念されていた。そこで本研究では、これを低減するためにレーザー操作されたマイクロツールによる細胞の間接操作を目的として、マイクロツールの局所配列、局所投入に成功した。マイクロツールとしてはポリスチレンビーズや光硬化性樹脂の液滴を利用した。ポリスチレンビーズを用いた場合では、自己組織化による配列にも成功した。更に、マイクロツールがあらかじめ決められた軌道を通るようにレーザーの焦点をガルバノミラーで高速に走査することで、複数のマイクロツールを独立に軌道制御する方法(同期型レーザーマニピュレーション)を提案した。この手法における安定な軌道制御のための理論解析と実験による検討を行い、ハンドリングの基盤技術を整えた。

1 本のレーザーを高速にスキャンすることによって、複数のマイクロツールを独自の軌道に沿って制御することが可能となり、これらのマイクロツールによって細胞を押しつけて搬送することが可能となった。また、表面をアミノ基や水酸基で化学修飾した付着性ビーズを用いて、その表面に細胞を付着させて搬送することも可能となった。更に、付着性ビーズ同士を付着させて複数のビーズを組み立て、1本のレーザーの光トラップ点を適切に選定して姿勢を制御し、搬送することも可能となった。付着させて牽引する手法は、安定性、スピードの面から優れている。

(1-2) 熱ゲル化反応を利用した細胞分離手法

温度変化により粘性が変わる熱ゲルを利用したまったく新しい分離技術を確認した。熱ゲルには生体への安全性を考慮に入れてメチルセルロースとポリ(N-イソプロピルアクリルアミド)を用いて、ゲルによる対象物の固定化技術を確認した。

ゲル化手法に関しては透明マイクロ電極の加熱による方法と、レーザーをフォーカスして透明マイクロ電極を加熱することで、局所的にターゲットだけをゲルで固定する技術を開発した。また、ゾルゲル相転移のヒステリシス特性を活用して、複数のターゲットを連続的にゲルに固定する技術を開発し、実験的に有効性を示した。

(1-3) 接触センサによる細胞分離手法

微生物の採取は顕微鏡下で、マイクロピペットによる接触式操作によって行われることがあるが、光軸方向の距離感をつかむことが難しいため、採取には長い時間と高度な技術が必要とされる。そこで、より早く、確実かつ安全に微生物を採取するために、マイクロピペット先端に取り付ける接触センサを考えた。チタン製の円筒管の表面に水熱合成法によってPZT薄膜を成膜し、駆動用電極と計測用電極をパターンニングした。駆動用電極によって共振させ、ピペット先端が接触したときのインピーダンス変化を計測用電極の出力変化として読む。センサの固定法を改良したことで、操作性を改善した。また、振動解析によって検出感度が向上するように電極配置を最適化した。検出可能な接触力は1 mN以下、感度30 V/Nを達成した。更に、熱ゲル化による目標物の固定と開放を利用して目標物を孤立化し、本接触センサを併用することで作業性が大幅に改善された。

(2) 分離された微生物のオンチップ培養と観察評価

微生物の固定方法や環境制御方法を提案し、これに基づき(2-1)微生物を並列に培養できるマイクロチップを設計・製作した。また、蛍光像に基づきサンプルからターゲットを選択して分離し、(2-2)培養室での培養状況をモニタリングするシステムを構築した。

(2-1)マイクロチップの設計・製作

マイクロチップはPDMS (Poly DiMethyl Siloxane)を用いて製作した。また、熱ゲル化反応によって捕捉するために、ガラス基板上にITO 薄膜 (Indium Tin Oxide)による透明電極を用いた。このため、微生物を倒立型光学顕微鏡で観察しながら分離、培養、反応実験が可能となった。蛍光試薬を流すことで、蛍光観察をその場で行うことができる。固定、観察実験はイースト菌や走行性を有する大腸菌やピブリオ菌で行い、有効性を確認した。

(2-2)培養状況のモニタリング

単一細胞の特性を調査するためには、細胞1つを顕微観察領域に固定した状態で試薬を投入し反応をモニタリングする必要がある。そこで任意の細胞を光硬化性樹脂プレポリマーで固定し、単一細胞の増殖課程を観察することに成功した。熱ゲルに比べ、光硬化性樹脂による固定力は強く、イースト菌を固定した後、溶液をポンプで循環させたが466 mm/sの流速で流しても固定した菌は外れなかった。また、光硬化性樹脂プレポリマーを局所的に硬化させ、マイクロ流路の中にマイクロ構造物を製作して、局所的によどみ点を形成することができた。これによって、安定した連続培養観察がオンチップで可能となった。

本研究では、一細胞レベルで人間とマイクロシステムとの相互作用を実現する環境を構築できた。オンチップ細胞分析、評価により、これまで未知であった細胞の特性(例えば、細胞の個体差、遺伝子の発現の様子、遺伝の仕組み、複合微生物系の仕組み、好培養条件の探索など)を解明することが期待できる。

5.自己評価:

これまでマイクロ空間では対象物の観察はできても、人間が自由自在に直接手出しできない閉ざされた空間であった。本研究では、大量の微生物の中から、任意に選択したものだけを選別して高速に取り出し、各種培養条件を与えて難培養性微生物に適した培養条件を、人間との相互作用により探し出すことが可能なインテリジェントバイオマイクロラボラトリを世界で初めて構築した。

この研究のきっかけは、本研究をスタートする前に3年間行った地域コンソーシアム(NEDO)であった。プロジェクトリーダーをつとめ、狙った微生物を高速、高精度に分離するための基盤技術は整っていた。しかし、微生物を蛍光観察し、分離する技術や、チップ内で培養する技術に関しては未開拓であったため、単なる従来技術の延長研究ではなく、新たな課題を解決する必要があった。本研究で着眼した斬新な課題は以下の3点に集約できる。

(1)細胞の選別・分離・固定・培養・反応・観察を一箇所ですべて実施することに着眼したこと。

これまでの研究は細胞を分離した後に長距離搬送して反応を観察するものである。しかし、分離した対象を長距離搬送すると、対象を見失ったり、外乱によって失う可能性が極めて高い。本研究がユニークなのは、選別した場所でその後の全ての工程(分離・固定・培養・反応・観察)を実施できる点にある。これを実現することは、これまでの技術では不可能であった。本研究では熱ゲルを用いて温度制御(加熱と自然冷却)によって簡便に行うことに成功した。この手法は特許出願した。

(2)細胞の固定技術に着眼したこと.

チップ内の実験では、環境条件を安定に制御することが極めて重要となる。ちょっとした外乱(例えば気泡の混入)でも観察対象を見失うことになる。そこで、本研究では対象物の固定方法に着眼し、新たに光硬化性樹脂を用いる方法を提案した。これによって、細胞をしっかりと固定し、連続培養しながら長時間にわたって安定してその場観察することが可能となった。この手法は特許出願した。

(3)細胞の操作と固定をレーザーによって非接触方式で一貫し、システム化したこと.

微生物はサイズが小さいので、外乱の影響を受けやすいため、非接触方式で一貫したシステムを構築することが賢明である。本研究では蛍光観察の機能を実現しつつ、光ピンセット(波長1,064nm)による操作や光硬化(波長325nm)による造形を同一システムで行う必要があるため、光学系の設計を工夫した。また、細胞の個別操作を実現するために、1本のレーザーを高速にスキャンングすることで、複数の対象を同期させながら軌道制御することにも成功した。光ピンセットに軌道制御や協調制御の考えを導入したのは世界初である。

以上のように、細胞の選別・分離・固定・培養・反応・観察をオンチップで行うことにいち早く着眼したことにより、世界にさきがけて本質的な課題を明確化でき、それに対する対策を世界で初めて考案し、有効性を実証できた。

現状では難培養性微生物の培養条件を探し出すことは人手と時間がかかる。そこで、利用する人間の経験や蓄積された知識データを利用し、人間とシステムとの情報交換を通じて、適切な培養条件を自動的に導きだすことが可能な賢い自律型ラボラトリへと拡張する必要がある。この課題に関して本研究の中で取り組むことは可能であった。しかし、ここ数年でチップ内の細胞反応解析の研究が国内外で急激に活発化してきたため、知能化のテーマは後回しにしてより本質的なテーマ(上記の特に(1)、(2))に時間を費やした。結果的には基盤技術に関して世界をリードする成果を上げることができたため、この判断は今でも間違っていないと考えている。マイクロ空間との相互作用の基礎が確立できたので、今後は自立機能を向上することによって、人間がマイクロ領域で自由かつ効率的に実験を進めるためのマイクロ版“知的空間”を進化させていくべきであると考えている。

6.研究総括の見解:

本研究により、マイクロツールの間接操作による細胞分離手法、熱ゲル化反応を利用した細胞分離手法、接触センサによる細胞分離手法の開発、および分離された微生物のオンチップ培養と観察評価方法を確立した。これらの手法は外国特許出願した。これにより大量の微生物の中から、任意に選択したものだけを選別して高速に取り出し、各種培養条件を与えて難培養性微生物に適した培養条件を、人間との相互作用により探し出すことが可能なインテリジェントバイオマイクロラボラトリを世界で初めて構築したことは、大きな成果であり、高く評価できる。将来、オンチップ細胞分析、評価により、これまで未知であった細胞の特性(例えば、細胞の個体差、遺伝子の発現の様子、遺伝の仕組み、複合微生物系の仕組み、好培養条件の探索など)を解明することが期待できる。

7.主な論文等:

発表論文

1. Fumihito Arai, Akihiko Ichikawa, Toshio Fukuda, Koji Horio, and Kouichi Itoigawa, Separation of Target Microbe by Laser Manipulation and Flow Control, *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol.14, No.2, 2002, pp.133-139
2. Fumihito Arai, Hisataka Maruyama, Toshihiro Sakami, Akihiko Ichikawa, Toshio Fukuda, Pinpoint Injection of Microtools for Minimally Invasive Micromanipulation of Microbe by Laser Trap, *IEEE/ASME Trans. on Mechatronics*, Vol. 8, No. 1, pp.3-9, 2003
3. Fumihito Arai, Akihiko Ichikawa, Toshio Fukuda, and Tohoru Katsuragi, Isolation and extraction of target microbes using thermal sol-gel transformation, *Analyst*, 2003, 128, 547 - 551
4. Fumihito Arai, Toshihiro Sakami, Akihiko Ichikawa, Toshio Fukuda, Microchip Design and Experiment for Separation of Microbe from Continuous Sample Liquid Flow Using Optical Tweezers, *JSME International Journal*, (Accepted)
5. Fumihito Arai, Kouhei Motoo, Paul G.R. Kwon, Toshio Fukuda, Akihiko Ichikawa, and Tohoru Katsuragi, Cylindrical Micro Touch Sensor with Piezoelectric Thin Film for Microbial Separation, *Robotica*, (Accepted)
6. Fumihito Arai, Akihiko Ichikawa, Toshio Fukuda, and Tohoru Katsuragi, Separation of Single Microorganisms in Thermosensitive Hydrogel on a Chip, and Monitoring In Situ of Continuous Culture or Cell Reaction, *Electrophoresis*, (Submitted)

主な国際会議発表論文

1. Fumihito Arai, Akihiko Ichikawa, Toshio Fukuda, Koji Horio, and Kouichi Itoigawa, Flow Pattern Control by Flow Balancing in Microchannel for High Speed & High Purity Separation of Microbe in Microchip, *Fifth International Conference on Miniaturized Chemical and Biochemical Analysis Systems, μ TAS2001*, 2001
2. Fumihito Arai, Hisataka Maruyama, Toshihiro Sakami, Akihiko Ichikawa, Naoto Kouketsu, Lixin Dong, Toshio Fukuda, Pinpoint Injection of Micro Tools Using Dielectrophoresis and Hydrophobic Surface for Minimally Invasive Separation of Microbe, *The 15th IEEE Robotics and Automation Society Conference on Micro Electro Mechanical Systems, MEMS2002*, pp.48-51, 2001
3. Fumihito Arai, Akihiko Ichikawa, Toshio Fukuda, Toru Katsuragi, Fixation and Isolation of Microorganisms by Local Viscosity Control of Methyl Cellulose Solution, *The Sixth International Symposium on Micro Total Analysis System, μ TAS2002*, pp.928-930, 2002
4. Fumihito Arai, Hisataka Maruyama, Akihiko Ichikawa, Toshihiro Sakami and Toshio Fukuda, Pinpoint Injection and Dielectrophoretic Floating of Autonomously Aligned Microtools, *The Sixth International Symposium on Micro Total Analysis System, μ TAS2002*, pp. 548-550, 2002
5. Fumihito Arai, Akihiko Ichikawa, Hisataka Maruyama, Toshihiro Sakami, Toshio Fukuda, High Throughput Separation of Microorganisms by Pinpoint Gelation Controlled by Local Heating for Parallel Incubation on a Chip, *The 16th IEEE Robotics and Automation Society Conference on Micro Electro Mechanical Systems, MEMS2003*, pp.219-222, 2003
6. Fumihito Arai, Toshihiro Sakami, Toshio Fukuda, Synchronized Laser Micromanipulation by

- High-Speed Laser Scanning - Dancing Yeasts - , The 2003 IEEE International Conference on Robotics and Automation, ICRA2003, Video Proceedings, September 14-18, 2003 in Taipei, Taiwan
7. Fumihito Arai, Hisataka Maruyama, Toshio Fukuda, Toru Katsuragi, Fixation of Microorganisms for Investigation of Their Properties on a Chip, The 7th International Conference on Miniaturized Chemical and BioChemical Analysis Systems, μ TAS2003, October 5-9, pp.21-24, 2003, Squaw Valley, California USA
 8. Fumihito Arai, Akihiko Ichikawa, Toshio Fukuda, Toru Katsuragi, Continuous Culture and Monitoring of Selected and Isolated Microorganisms on a Chip by Thermal Gelation, The 7th International Conference on Miniaturized Chemical and BioChemical Analysis Systems, μ TAS2003, October 5-9, pp.757-760, 2003, Squaw Valley, California USA
 9. Fumihito Arai, Toshihiro Sakami, Keiichi Yoshikawa, Hisataka Maruyama, Toshio Fukuda, Synchronized Laser Micromanipulation of Microtools for Assembly of Microbeads and Indirect Manipulation of Microbe, 2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS2003, October 27-31, pp.2121-2126, 2003 in Las Vegas, USA

総説 解説

1. 新井史人 , ナノ・マイクロマニピュレーションの現状と課題 , システム制御情報学会誌 , Vol.46 , No.5(2002-5) , pp.244-251 (解説)
2. 新井史人 , マイクロ・ナノマニピュレーション技術の将来展望 , 精密工学会誌 , Vol.68 , No.11 , 2002 , pp.1389-1392 (展望)
3. 新井史人 , バイオマイクロシステムにおける静電気による微小物体操作 , 静電気学会誌 , 26 巻 , 6号 , pp.250-251 , 2002 (特集解説)

特許出願

1. 新井史人 , 市川明彦 , 福田敏男 , 桂樹徹 , 微小物体の回収方法及び装置 , 特願 2002-131656 , 平成 14 年 5 月 7 日
2. 国際出願番号 : PCT/JP03/00231 , 国際出願日 , 平成 15 年 1 月 3 日
3. 新井史人 , 丸山央峰 , 福田敏男 , 桂樹徹 , 微小物体の固定 , 反応 , 観察方法 , 特願 2003-326655 , 平成 15 年 9 月 18 日

主な招待講演

1. Manipulation Technologies of Micro-objects for BioMEMS, BioMEMS2002, April 26, 2002
2. 「マイクロメカトロニクス技術の現状と今後期待される技術」, 広域研究会 D , 中部科学技術センター , 平成 14 年 12 月 11 日
3. Mechatronics in Bio/Nano World, Research Group on Interaction and Intelligence, Invited lectures, KAIST, 2002.12.2 & 2002.12.3
4. 「マイクロロボットとバイオテクノロジー」, 産学連携技術開発研究会 , TAMA-TLO , 平成 15 年 2 月 19 日
5. 「微小物体のマニピュレーション技術とバイオ応用」, 大阪工業大学 , バイオベンチャーフォー

- ラム ,平成 15 年 3 月 14 日
6. 「マイクロマシン技術とナノテクノロジーが拓く次世代微細作業システム」, 鶴岡高専見学会 , 基調講演 ,平成 15 年 3 月 19 日
 7. 「MEMS技術を応用した細胞ハンドリング」, 未踏・ナノデバイステクノロジー第 151 委員会 , ナノ・バイオフィュージョン分科会 ,日本学術会議 ,平成 15 年 7 月 14 日
 8. 「オンチップ細胞分離・単一細胞反応解析技術」, バイオツール (医療・分析機器等) シーズ発表会 ,東海バイオファクトリー研究会 & SMS研究会合同シーズ発表会 ,平成 15 年 10 月 2 日
 9. Micro and Nano Robotics for Biotechnology, 2003 International Conference on Control, Automation, and Systems, ICCAS 2003, Gyeongju, Korea, Invited Talk, Oct. 24, 2003
 10. Non-contact Manipulation of Biological Cells (Indirect Laser Micromanipulation by Laser Trapped Microtools), 2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Workshop (Microrobotics for Biomanipulation), Oct. 27, 2003
 11. Manipulation Technologies of Micro-object for BioMEMS (Isolation, fixation and extraction of target microbes using thermal sol-gel transformation), 2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Workshop (Sensing and Manipulation of Micro and Nano Entities: Science, Engineering, and Applications), Oct. 31, 2003
 12. 「超微小物体のハンドリング技術」, 日本機械学会東海支部 ,第 22 回イブニングセミナー ,平成 15 年 11 月 14 日
 13. Micro/Nano Robotics in Biotechnology, 20th 横浜市大国際学術研究フォーラム ,平成 16 年 1 月 26 日

研究課題別評価

1. 研究課題名 : 人間と共に移動する生活支援ロボット

2. 研究者氏名 : 大矢晃久

3. 研究の狙い :

本研究の目的は、人間が普通に暮らしている空間内で働き、人間の生活を支援する移動ロボットを開発することである。本研究では、このロボットシステムの開発を通して、人間の生活空間で働くロボットが人間とインタラクションする際に必要な賢さ(知能)について探求することを目標とした。具体的な支援動作としては、以下の実現を目指した。

(1) 人間と共に移動走行し、道案内などの人間の誘導、伴走による精神的補助および情報提供、重量物を運搬して追従することによる肉体的補助などを行う。

(2) 遠隔地にある物体を操作することによって、物理的に離れた実物にアクセスする。

このように、本研究では人間の移動中、あるいは遠隔地の物体へのアクセス中に、人間とのインタラクション(相互作用)を通じて、人間の生活を肉体面、精神面、また情報面で支援できるようなロボットの実現を試みることにした。

来るべき高齢化社会では、高齢者の歩行に際し、重たいものを代わりに持って追走する移動機械があれば便利であろう。また、一人暮らしのお年寄りの外出に一緒についていき、話し相手になったり、危険を察知してそれを回避する同伴者(ロボット)があれば安心して散歩もできる。さらに、歩行ルートのガイドなどの情報提供支援も行えれば、その利用価値はさらに高まると予想される。一方で、実際に現地に行くことなく遠くにある物に希望の操作を加えることが可能となれば、お年寄りや体の不自由な人の手足として非常に有用なものとなるであろう。

移動ロボットの研究分野では、これまでなかなか実現することができなかった自律走行が、やっと実現に近づきつつある状況になり、いよいよ移動ロボットの応用を考える段となってきた。本研究では、「移動ロボットが「移動すること」と「実物に対して操作すること」で貢献ができることを考え、その答えを出そうとしている点に一つの特徴を有する。

4. 研究結果 :

本研究では、実際の移動ロボットを構築し、最終的に目的とするシステムのデモンストレーションを行うことを目指した。具体的な研究項目としては、以下の二つのシステムの実現を試みた。一つは、人間と共に移動することによって人間をサポートする「インテリジェント・エスコート・ロボット」、もう一つは、遠隔地にある図書を開いて見るための「図書遠隔閲覧ロボットシステム」である。

(1) インテリジェント・エスコート・ロボット

ロボットが人間と共に移動するためには、第一に対象とする人間の位置を認識することが必要である。人間の位置を認識するための方法としては各種考えられるが、本研究では、対象とする人間の識別、ロバスト性(環境変化や外乱などに対する頑強さ)、計測可能範囲などの観点から、人間に発光標識を持たせてそれをロボット上に搭載したカメラで検出する方法を採用した。発光標識には、点滅する赤外線 LED を二つ離して付けた細長い棒状のものを用了。人間は、この標識を地面に対して垂直になるように持つ。ロボットがカメラでその標識の画像を取り込むと、この画

像上での LED の左右方向の位置と二つの LED 間の画素数からロボットからみた標識の位置を求めることができる。

ロボットが人間と共に移動するために第二に必要なことは、人間と共に移動するための走行アルゴリズムの開発である。ロボットが人間と共に移動する形態としては、追従、伴走、誘導という三つの動作モードを考え、それぞれのモードにおける基本動作を実現した。

ロボットは、障害物等との衝突を未然に防ぐためにも、人間の通った軌跡上を追従走行することが望ましい。ロボットは、人間の通過した位置を一定距離間隔で履歴として記録する。この通過履歴を順次読み込み、その点を通過するように経路を決定する。また、ロボットの現在位置と人間の間にある通過履歴の数により、ロボットの速度を決定する。このようにして、ロボットは人間の通った軌跡とほぼ同じ経路上を、人間との間隔を一定に保つように走行し、結果としてスムーズな追従動作が実現できた。また、音声等を用いてロボットによる人間の位置認識状態を伝達することにより、先行する人間が非常に安心して歩行できるという実験結果も得られた。

ロボットが人間に伴走するとき、人間に遅れずに走行するには人間の将来行動を予測する必要がある。そこで、ロボットは人間の位置を順次記録し、その情報から人間が次の時間にいる位置と速度を推定する。人間の将来位置を推定したら、ロボットが次の時間にいるべき参照位置と経路を計算する。走行経路は、推定した人間の経路と平行で一定距離だけ離れた直線とし、走行速度はロボットが次の時間までに参照位置に到達できるように設定する。この処理を繰り返すことにより、ロボットは人間の横を並んで走行可能となった。また、障害物が存在する場合についても検討を行い、人間とロボットのインタラクティブな行動による回避アルゴリズムを構築した。

誘導は、目的地までの自律走行に加えて、人間との相対位置関係による加減速と走行経路の微調整を行うことで、その基本動作を実現した。ここでは、誘導すべき人間は一人とし、あらかじめ定めた経路上を、あらかじめ定めたスピードで目的地まで誘導することを目標とした。誘導時に人間が存在して欲しい位置の領域を設定し、この領域よりも人間が近くに存在する場合、ロボットは人間から離れる方向に回避する。この領域よりも人間が遠くに存在する場合は、人間に近づくように走行する。この方式をロボットシステム上に構築し、実験により誘導の基本動作を確認した。

(2) 図書遠隔閲覧ロボットシステム

人間の日常生活環境内で働く移動ロボットとして、遠隔操作型の移動ロボットを介して、離れた場所の図書館にある任意の本を閲覧するシステムの開発を行った。このシステムは、図書館の中に本を閲覧する機能を備えた自律移動ロボットを配置し、ユーザは他の場所からロボットを遠隔操作することで、ロボットの眼を通して本の内容を見ることができるシステムである。このシステムを使用することで、ユーザはどこにいても、あたかも自分自身が実際に図書館に出向いているかのような感覚で、好みの本を手にとり中身を見て目的の情報を探し出すことができるようになる。

まず、本の位置姿勢を測定するためにレーザ距離センサを使用した。センサで得られた形状から、視野にある本の冊数や位置、幅を測定し、元の画像に本の境界線を重ねた映像をユーザに提示する。次に、様々な種類・条件の本に対応するために、自律移動ロボットに7自由度のマニピュレータを搭載し、先端に本をつかむハンドを取り付けた。また、閲覧に必要な機能は、本を開いてページをめくり映像をユーザに提示することである。そこで、小型で簡単な構造からなる本の開閉装置と、ページめくり装置を開発した。

構築したシステムを使用して、離れた場所に置かれた本を閲覧する実験を行った。ロボットは指示された本を取り出し、その本を開いてページの映像をユーザに提示することが可能となった。こ

の実験では、オペレータはカテゴリの選択と本の選択というわずか2回の指示で、本にアクセスして情報を入手することができた。

5. 自己評価：

そもそも、この研究を開始しようとしたきっかけは、それまで難しいとされていた移動ロボットの自律走行が近年になって実現されつつある背景の中で、果たして移動ロボットは人間にとってどのような役に立つのであろうか？という疑問からであった。ここで、移動ロボットの持つ応用の可能性を示すことができなければ、この研究分野自体が縮退してしまうという危機感もあり、人間の普通に生活している空間の中で役立つ場面を考え、それが実現可能なことを示したいと思った。それまでの研究では移動ロボットの自律行動に主眼をおいていたため、人間との相互作用のある場面については自分にとっての新天地であったが、この点についていえば、ある程度目的は達成できたと言える。

しかし一方で、本研究を通して痛感したのは、「相互作用と賢さ」の難しさである。大学の研究室の学生を交えて週に一度のブレインストーミングを毎週行い、「対象としている動作における相互作用は何か？」、「その相互作用に必要なロボットの賢さは何か？」、「その相互作用から生まれてくる賢さは何か？」、「そもそも賢さとは何か？」といった疑問について議論を重ねた。その結果、賢さに対する定義は人によってさまざま、対象物や想定される環境によっても変化するものであり、一意に決められるものではないことがわかった。そこで、「この研究で対象とする賢さ」=「人間との相互作用を含む目的動作をスムーズに行うことができること」と決めて、その動作自体の実現を目指すこととした。

結果として、各研究項目に関しては、ほぼ目標としたものを実現することができた。人間と共に移動するロボットとしては、人間追従については追従可能なスピードやスムーズさで満足のいくシステムが構築できた。また、伴走、誘導は基本動作の実現にとどまったが、そこから後述するような新しい研究テーマに発展して可能性を広げることができた。図書閲覧ロボットは、ロボットの新たな可能性を探る試みとして動作の実現まで達成でき、いくつかのメディアの取材も受け、社会的にインパクトのあるものが構築できたと自負している。これについても、後述するような新しい研究課題に発展させることができつつある。このように、本研究では人間の生活空間で働き、人間の生活を支援するロボットシステムを開発し、その基本動作を実現してきた。しかし、人間とロボットの相互作用と賢さ(知能)の関係を探る段階までには至っておらず、その点についてはまだまだ検討、考察の余地がある。

なお、本研究で開発してきたシステムに加えて、それらを発展させた以下の3つの新しいテーマについても、すでに研究を開始している。

- (1) 遠隔地間散歩パートナーロボットシステム : 人間に伴走するロボットの発展形として、それぞれ自分の隣にいる移動ロボットを相手の人間だと想定して、遠隔地にいる人間同士と一緒に散歩を楽しむことができるシステム。
- (2) 複数台ロボットによる人間のグループの誘導 : 人間を誘導するロボットの発展形として、複数台の移動ロボットにより数人から十人程度の人間のグループを誘導する。
- (3) 遠隔買物サービスロボット : 図書遠隔閲覧ロボットシステムの技術を応用し、お年寄りや小さな子供を抱えた主婦など、毎日の買物が大変な人達が、品定めが必要な生鮮食料品を自宅に居ながらにして買物できるようにする。

これらの具体的な応用場면을想定したシステムを実現していくことで、移動ロボットの人間生活への普及を促していきたいと考えている。

以上総括すると、三年間という短い期間ではあったが、手探りながらも自分にとって新しい研究テーマを開始し、第一段階としての結果を得ることができた。そして、それらを発展させた形で、それぞれ新しい研究課題を開始することができたことも大きな収穫であった。ただし、「相互作用と賢さ」についての更なる検討が、今後に残された大きな課題である。

6. 研究総括の見解：

本研究の目的は、人間が普通に暮らしている空間内で働き、人間の生活を支援する移動ロボットを開発することである。本研究では人間の移動中、あるいは遠隔地の物体へのアクセス中に、人間とのインタラクション（相互作用）を通じて、人間の生活を肉体面、精神面、また情報面で支援できるようなロボットの実現を試みた。

具体的な研究項目として、一つは、人間と共に移動することによって人間をサポートする「インテリジェント・エスコート・ロボット」、もう一つは、遠隔地にある図書を開いて見るための「図書遠隔閲覧ロボットシステム」を取り上げ、夫々完成度の高いデモンストレーションを実現できたことは評価できる。

将来、遠隔買物サービスロボット、遠隔地間散歩パートナーロボットシステムなど具体的な応用場면을想定したシステムを実現していくことで、移動ロボットの人間生活への普及を促し、社会的にインパクトのあるものが構築できることが期待できる。

7. 主な論文等：

1. Yousuke Nagumo and Akihisa Ohya: "Human Following Behavior of an Autonomous Mobile Robot Using Light-Emitting Device", Proceedings 10th IEEE International Workshop on Robot and Human Communication, pp.225-230 (Sep. 2001)
2. Akihisa Ohya and Takumi Munekata: "Intelligent Escort Robot Moving together with Human -Interaction in Accompanying Behavior-", Proceedings 2002 FIRA Robot World Congress, pp.31-35 (May 2002)
3. Akihisa Ohya, Yousuke Nagumo and Motoki Takahata: "Intelligent Escort Robot Moving together with Human -Human Following Behavior-", 12th International Symposium on Measurement and Control in Robotics (Jun. 2002)
4. Akihisa Ohya: "Human Robot Interaction in Mobile Robot Applications", Proceedings ROMAN2002 11th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, pp.5-10 (Sep. 2002)
5. Seydou Soumare, Akihisa Ohya and Shin'ichi Yuta: "A Network-based Stationeries Rental Service Performed by an Autonomous Mobile Robot", Proceedings ROMAN2002 11th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, pp.152-157 (Sep. 2002)
6. Tetsuo Tomizawa, Akihisa Ohya and Shin'ichi Yuta: "Book Browsing System using an Autonomous Mobile Robot Teleoperated via the Internet", Proceedings IROS 2002 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.1284-1289 (Oct. 2002)

7. Akihisa Ohya, Yousuke Nagumo and Youhei Gibo: "Intelligent Escort Robot Moving together with Human -Methods for Human Position Recognition-", Joint 1st International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 3rd International Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS & ISIS 2002), 24B5-2 (Oct. 2002)
8. Takumi Munekata and Akihisa Ohya: "A Walk Support System for Two Distant Persons using Mobile Robots", Proceedings 2003 IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation, pp.45-49 (July 2003)
9. Edgar Martinez, Akihisa Ohya and Shin'ichi Yuta: "Recognition of People's Positioning by Cooperative Mobile Robots for Humans' Group Steering", Proceedings 2003 IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation, pp.758-763 (July 2003)
10. Tetsuo Tomizawa, Akihisa Ohya and Shin'ichi Yuta: "Remote Book Browsing System using a Mobile Manipulator", 2003 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Sep. 2003)
11. Tetsuo Tomizawa, Akihisa Ohya and Shin'ichi Yuta: "Motion Design of Behavior Components in Remote Book Browsing Robot System", FIRA Robot World Congress 2003 (Oct. 2003)
12. Tetsuo Tomizawa, Akihisa Ohya and Shin'ichi Yuta: "Object Posture Recognition for Remote Book Browsing Robot System", 2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (Oct. 2003)

研究課題別評価

1. 研究課題名 非線形動力学的手法による群知能ロボット

2. 研究者氏名 菅原 研

3. 研究の狙い：

複雑な人間社会において、効率的に適応し機能するロボットシステムの開発には、単体の機能向上のみならず、集団として協調的に機能する技術の確立も必要不可欠な要素となる。個々のロボットの知能レベルは低いが、多数集団になることによって初めて高度な機能を発現するタイプの群知能システムに関する研究はまだ発展途上にあり、多くの研究が進められてきているものの、個体間の相互作用により高次な機能を発現させるための一般的な方法論はまだ確立されていない。一方、多数集団による協調行動発現の好例として生物システムがあげられる。

本研究では生物システムが有する「個体が群れを形成して集団で行動する」特性に注目し「均質な要素の集団が簡素な相互作用により、効率的な機能や作業を自己組織的に発現する」群知能ロボットシステムの構築を行う。

生物システムは階層構造を有し、細胞内分子レベルから人間の社会システムに至るまで様々なスケールで多様な協調現象が見られるが、本研究では「形態」と「機能」の側面から、特に「魚や鳥の群れをモチーフとした集団の行動と構造」と「社会性昆虫をモチーフとした集団の協調作業と作業効率」を対象として、そのモデル化ならびに実機による検証実験を行うものとした。具体的な研究項目として「多様な行動とフォーメーション形成」、「協調行動と分化・分業アルゴリズムの探求」の2点を設定する。

研究項目「幾何学的な群れフォーメーション形成」についての方法論を探るものである。ここでは行進・迷走・蚊柱などの群行動を表現できる非線形動力学モデルをベースとし、それを拡張していくことで形状の設計を含めた行動の発現に関する方法を確立していく。特に個体間に設ける力学的相互作用に工夫を加えて群れの様々な形状を作り出すことを試み、任意のフォーメーションを形成するための法則もしくはルールとはいかなるものか詳細を検討していく。そしてシミュレーションで確認できた群れパターンを実環境下でのロボット実験により検証していくものとする。

研究項目「単純な相互作用を有する個体に何らかの作業を与えた時に適応的な協調行動を引き起こすための方法論」について探求するものである。具体的には単一作業における協調の効果と分業における協調の効果を探求していくが、後者については特に最適比率の自律調整、つまり各作業に対する個体数比率を状況に合わせて安定に保つ機能、について研究を進める。何らかの原因によりある作業に従事する個体数に変動が生じた場合、他の作業に従事している個体が作業を切り替えることで全体としての比率を調整し、かつ、その比率も環境の変化に応じて柔軟に変わるダイナミクスは分業を行う群ロボットシステムには欠かせない機能であると考えられる。このような側面を重視した分業モデルを確立すると共に、実際にそのダイナミクスを群ロボットシステムに組み込むことで、その有効性を分かりやすく示していく。

4. 研究結果：

本研究の成果は大別して3つに分類できる。単純な相互作用力の導入による群れのフォーメー

ション形成、集団の協調作業、ならびに新しい実験システムの開発である。

4 - 1 群れロボットによる構造形成

(1) 動力学モデルによるフォーメーション形成

相互作用を有する移動体において、内部状態として、ある時定数で速度ベクトルの向きに合わせるような緩和ダイナミクスを有する頭軸ベクトル (個体の向きを表すベクトル) を導入し、かつ個体間に適当な引斥力を導入することで、格子状の配列を持つ秩序状態から、特定の配列を有さない蚊柱状のカオス状態まで様々な行動形態を発現できる動力学モデルを元に、ポテンシャルに感度方向依存性を持たせるなどの拡張により基本的な幾何構造の形成を目指した。また、検証用の実験ロボットを試作し、その基本特性を確認した。

(2) 仮想非線形バネと結合数を用いたフォーメーション形成

有限のセンシング半径と、それに依存する仮想的な非線形バネをロボット間の引斥力として導入することにより、幾何学的なフォーメーションを形成するためのアルゴリズムについて研究を行った。結合数に関する情報と、デッドロック回避のための確率的な不安定性を導入することで目的の基本幾何形状 (三角形、六角形、梯子型など) を構築することができた。

4 - 2 群れロボットの適応型分化 分業アルゴリズムの探求

ここでは2つのサブテーマを設けた。ひとつは社会性昆虫が示す探索収集行動を例にして集団の効率を計るものであり、もうひとつは、高度な社会性動物がもつ特性である分業のための自律的な比率制御に関する基礎的な研究である。

(1) 単純な相互作用を有するロボット群の探索収集問題

社会性昆虫の餌集め行動をモチーフとした探索収集作業を通して、単純な相互作用を有する群れロボットの作業効率に関する研究を行った。個体間の相互作用のみならず、環境との相互作用も含めた形で行動が現れる例として、収集基地から等距離、等間隔で分散した資源の回収作業を設定したとき、個体間の相互作用力が弱い時と強い時とで、その振る舞いは大きく変化する。相互作用力が弱いときは並列的な処理を行い、相互作用力が強いときは直列的な処理をするが、このとき時計回りあるいは反時計回りに処理されていくという一種の秩序構造が現れることを明らかにするとともに、この現象が生じる頻度は相互作用時間、相互作用距離、ロボット数、ならびに餌場の数に依存する現象であることを明らかにした。

(2) 最適比率制御モデル

社会性昆虫の世界では、各個体は比較的単純な振る舞いを見せるが、コロニーをうまく機能するために、集団として分業を行い、かつその分業に関する比率制御を巧みにしていることが知られている。本研究では分業を行うロボットシステムへの応用を念頭において、その基礎となる動的な比率制御を行うことが可能なモデルについて考察した。ここでは主に、年齢に大きく依存する分業形態である齢差分業も表現しうる仮想ポテンシャルモデルを提案し解析を行った。

また、40台のロボットからなる群ロボットシステムを製作し、このモデルの検証実験を行った。

4 - 3 小型ロボット実験用動的仮想空間の開発

個体同士がコミュニケーションをとる際、その手段は物理的手段と化学的手段に大別できる。化学的手段の特長として「個体の有無に関わらず情報が環境にとどまる」増強されないと拡散し

て消える」などがあげられ、環境も含めた興味深いコミュニケーション手段であると考えられる。化学的コミュニケーション手段を有する群ロボットシステムには、これまでの群ロボットシステムには見られない高度な振る舞いが期待できるが、化学物質の扱いやセンサーの関係で、現時点での実現は容易ではない。また、実現できても、その化学物質の可視化は難しく現象理解の大きな妨げになる。

本研究ではテーマの一環として、仮想的な化学物質場を表現できるようなシミュレーション空間の開発をおこなった。ロボット実験用動的仮想空間 V-DEAR (Virtual Dynamic Environment for Autonomous Robots)は CCD カメラと液晶プロジェクタから構成され、カメラでフィールド内のロボットをトラッキングしながら、その位置に合わせてCGのフェロモンを投影するシステムである。ロボットは自身が有する光センサーを用いて「場の濃度」を検出し、その行動を決定するシステムになっている。このシステムでは、化学物質の拡散速度や揮発性、風向きなどを任意にコントロールでき、かつ、その振る舞いが可視化できるという特長を有している。

5. 自己評価：

本研究では生物を規範とした群ロボット作りを目指したものであり、シミュレーションと実ロボットシステムによる実験を通して基本的な概念を確立・検証することに主眼を置いてきた。研究計画において当初狙っていた目標への達成度という点では残念ながらあまり高い評価はできず、特に実証用の実験システムについては極めてプリミティブなレベルでの検証しか行うことができなかったところが大きな反省点となっている。完全な個人研究において群ロボットの実験的側面まで扱う場合、実験対象が多数の移動ロボットにより構成されるシステムであるという点を考慮して、テーマを充分絞り込むべきであったと考えている。

群の多様な行動とフォーメーション形成については、ベースとなる力学モデルを拡張していくことで多様な行動と形状を生み出すための手法の確立を目指したが、形状の制御は研究期間終了時点では極めて限定された形状のみの表現にとどまった。しかし一方で期間中に仮想バネモデルによるフォーメーション形成という新たな枠組みも提案し、この手法によりいくつかの基本的な幾何形状を表現することはできた。この研究は局所的な結合情報に基づいてグローバルな構造を形成していくための基礎として十分な意義があると考えている。今後はこれらのモデルを組み合わせることで、移動する群ロボットが状況に合わせて行動と構造の形態を変化させていくための方法論を確立させたいと考えている。また、本研究で製作した群ロボットシステムを用いて積極的に実験を行っていく予定である。

比率制御に関する研究については、これまでもいくつかモデルが提唱されてきたが、本研究で示した仮想ポテンシャルモデルは社会性昆虫の齢差分業を表現し得るという興味深いモデルになっていると考えている。今後は生物学的知見とも照らし合わせ、その妥当性を詳細に検討していくとともに、工学的な応用を視野に入れた群ロボットシステムへの組み込みにも取り組んでいきたいと思っている。

小型ロボット実験用動的仮想空間 V-DEAR の開発は、当初の計画には入っておらず、この3年間に新たに着想し開発したシステムとなっている。その仕組みはいたって単純であるが、化学物質によるコミュニケーション手段が持つ大きな可能性をコンピュータグラフィックスという制御可能な光刺激に置き換えることでシミュレートできるという点でたいへん興味深いシステムになると考えている。特にロボットの持つ「身体性」とヴァーチャルな化学物質の組み合わせは単なる化学物

質の可視化にとどまらず、実世界でのロボットシステムを構築する上で純粋なシミュレーションにはないリアリティーがあると考えることができ、この点が大きな特徴であると考えている。

なお、計画当初は基礎を念頭に置きつつ、生産現場などへの応用も検討していきたいと考えていたが、本研究で得られた知見からエンターテイメントの方向への応用もあり得るといふ別の方向性も見えてきている。特に V-DEAR は単なる研究手段にとどまらず、科学館などでの展示システムとしても活用可能ではないかと考えている。

以上、反省点は多くあるものの、これから研究を進めるべき方向が多方面に渡って具体的に見えてきたこと、70 台を超えるいくつかのタイプの実験用群ロボットシステムを製作できたことなどから、与えていただいた研究期間にこれからの展開の基礎が十分に出来たと考えている。これまで得られた知見や技術をベースとして、群知能ロボットシステムに関するより大きな枠組みの理解・応用を目指していきたい。

6. 研究総括の見解：

本研究は、生物システムが有する「個体が群れを形成して集団で行動する」特性に注目した群知能ロボットシステムの構築を目指すものである。

単純な相互作用力の導入による群れのフォーメーション形成、集団の協調作業、ならびに新しい実験システムの開発に関して、シミュレーションと実ロボットシステムによる実験を通して基本的な概念を確立・検証することで成果を上げた。

これまで得られた知見や技術をベースとして、群知能ロボットシステムに関するより大きな枠組みの理解・応用を目指していくなど今後の研究発展が大いに期待できる。

7. 主な論文等：

1. K. Sugawara, M. Sano and T. Watanabe, "A Study on a Foraging Behavior of Interacting Simple Robots", Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics Vol.7, No.2 (2003) pp.108-114.
2. K. Fujibayashi, S. Murata, K. Sugawara, and M. Yamamura, "Self-Organizing Formation Algorithm for Active Elements", FORMA, Vol.18, No.2 (2003) pp.83-95.
3. K. Sugawara and T. Watanabe, "A Study on Biologically Inspired Flocking Robots," Proc. Of the 2003 IEEE Int. Conf. On Robotics, Intelligent Systems and Signal Processing (RISSP2003) pp. 324-330.
4. K. Sugawara and T. Watanabe, "A Study on Foraging Behavior of Simple Multi-robot System", Proc. of The 28th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON '02) pp.3085-3090.
5. K. Sugawara and T. Watanabe, "Swarming Robots - Foraging Behavior of Simple Multi-robot System"; Proc. of 2002 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2002) pp.2702-2707.
6. K. Fujibayashi, S. Murata, K. Sugawara, and M. Yamamura, "Self-Organizing Formation Algorithm for Active Elements", Int. Workshop on Self-Repairing and Self-Configurable Distributed Systems (2002) pp.416-421.
7. K. Sugawara and M. Sano, "Cooperative Behavior of Interacting Simple Robots in a Clock-face

- Arranged Field", Distributed Autonomous Robotic System (2002) pp.36-40.
8. K. Sugawara, R. Arai, M. Sano, Y. Hayakawa, T. Mizuguchi, and T. Watanabe, "Collective Motion of Interacting Simple Robots", Proc. of the 27th Annual Conf. of the IEEE Industrial Electronics Society(IECON'01)(2001) pp.428-432.
 9. K. Sugawara, Y. Hayakawa, M. Sano, and T. Watanabe, "Collective Motion of Interacting Robots", 2001 Int. Symp. on Nonlinear Theory and its Applications(NOLTA2001) (2001) pp.569-572.
 10. K. Sugawara, M. Sano, I. Yoshihara, K. Abe and T. Watanabe, "Cooperative Behavior of Multi Robot System with Simple Interaction", Proc. Artificial Life and Robotics, (2001) pp.109-112.

研究課題別評価

1.研究課題名 情報検索における対象知識獲得支援システムの構築

2.研究者氏名 高間 康史

3.研究の狙い：

本研究の狙いは、Web 上に膨大かつ多様に蓄積された情報源のより高度な活用を実現するための、知的インタフェースの開発である。現在の Web への一般的アクセス手段である情報検索を、(インタフェースを介した)情報空間とユーザとの対話(インタラクション)の観点からとらえ、話題豊富な人との対話「感覚を与える知的インタフェース実現のための要素技術として、話題分布情報などのメタ情報の抽出・可視化手法について研究し、プロトタイプシステムとして実装する。

本研究で目指す「対話感覚」とは、「システムの擬人化ではなく、「人間同士の対話では主題だけでなく、付帯する多様なメタ情報も同時にやりとりすることにより、豊かかつ広がりのあるものになっている」ことを指している。

従来の Web 情報検索システムは、データベース検索や文献検索システムの研究の延長として研究・開発が進められてきた経緯があるため、その主眼は「HTML 文書(ページ)=文書」をやりとりの最小単位として、インデキシング(索引付け:キーワードなどの特徴量を文書に付与し管理すること)の効率化や大規模データの処理方法などにあった。しかし Web 上で公開されている文書は教科書や辞書の様な(ある程度)客観的・常識的に整理・体系化されたものではなく、情報発信者の解釈により構成された単位として公開されており、その様な性質も踏まえてユーザに情報を提供することができれば、本研究で目的とする「対話感覚」の実現につながると考える。

本研究課題における主な研究項目は次の通りである。

- ・ ユーザが多様な観点・粒度で情報空間・検索結果を眺めることを可能とする情報可視化システム及び知的インタフェースの開発
- ・ 情報空間・検索結果文書集合から多様な話題を抽出する手法の開発
- ・ 情報源(文書,サイトなど)の持つ、各種メタ情報の提示

4.研究成果

(1)免疫ネットワークモデルに基づく話題分布情報の可視化

検索結果やオンラインニュース記事集合など、Web から入手可能な文書集合を対象とした従来の Web 情報可視化システムでは、効率よいブラウジングを支援するために文書クラスタリングを適用する事が多い。一方、発想支援システムやテキストマイニングなどでよく利用されているキーワードマップは、関連するキーワード同士が近くに配置されるようにしたものであり、文書間の関係や文書集合中の話題の分布、流行といった、単独の文書からでは得られない情報を得るのに有効であることが知られている。

本研究では、Web から得られる話題分布情報をユーザが容易に把握するためには、キーワードマップと文書クラスタリングの両方を同時に考慮することが重要と考え、これらを両立するために、キーワードマップ上で話題を構成するキーワードの塊を把握する手がかりとなるキーワード(ランドマーク)を抽出する。本研究では免疫ネットワークモデルの活性伝播機構により、この様な条件

を満たすキーワードの抽出を試みた。

評価実験は定性的・定量的両観点から行い、定量的観点からはオーバーラップのない文書クラスターを高速(90文書で30秒以内)で生成可能であり、クラスター間のサイズのばらつきも少ないことを確認した。定性的観点からは、提案手法により抽出されたランドマークおよび対応する文書クラスターについて、代表的なクラスタリング手法である k-means との比較を、被験者へのアンケートにより行い、良好な結果を得た。

また、免疫記憶細胞の機構を取り入れることにより、コンテキストを考慮したランドマーク抽出を行い、時系列文書集合族からの話題ストリーム抽出にも応用可能であることを示した。

(2) キーワードマップに基づく情報可視化システムの開発

通常反応時の免疫ネットワークでは、侵入抗原を認識可能な抗体が高活性化し、抗原を抑制すると同時に関連抗体も抑制する様に、ランドマークは関連の強いキーワードを抑制する。従って、強接続キーワードを近傍に配置した場合、ランドマークとその周囲に存在する、抑制されたキーワードの塊が、文書集合中の話題の一つに対応する事になるため、これらの関係を強調してキーワードマップ上に表現することにより、可読性の向上が期待できる。また、ランドマーク・関連キーワード間の関係を強調、優先してキーワード配置を行うことにより、実行の度に安定した配置を得ることもつながる。

以上の考えに基づき、ばねモデルを改良したアルゴリズムによりキーワードマップを生成する情報可視化システムを開発した。また、摩擦力の導入により、上述の話題ストリームを可視化する用途へも拡張可能であることを示した。

(3) 既存ブラウザと連携可能なプロトタイプインタフェースの開発

上述の研究成果をもとに、知的な Web インタクションを実現するプロトタイプインタフェース TAIWA-01(Topic Analyzer for Intelligent Web Assistane)を、サーバサイドプログラミングにより開発した。TAIWA-01 は通常のブラウザからアクセスでき、ブラウジング、検索エンジンなどを利用して収集したページ集合を解析し、話題分布情報などのメタ情報をユーザに提示する。この時、キーワードマップに基づく情報可視化システムとも連動して使用可能である。

(4) 画像情報源の発見

趣味のサイトや企業などにおいて、類似画像のコレクションを公開しているサイトが多いとの分析に基づき、サイト単位で類似画像集合を発見し、ユーザに提示するシステムに関する研究を行った。具体的には、サイト単位で画像収集する Web ロボットの開発、画像内容に基づく汎用的画像検索モデルとして LSP(Local Similarity Pattern)の提案、サイト内に存在する画像に共通する特徴の把握を容易にするための共通特徴を強調したサイト集約画像について研究を行った。

結果として、LSP は従来の画像内容に基づく検索方法よりも高精度な検索が可能であること、および抽出された特徴モデルを用いて、サイトに共通する画像特徴を強調したサイト集約画像が生成可能であることを示した。

(5) 情報発信者の主観的評価を推定するための特徴量についての考察

主観的評価推定のためには、形容詞・副詞といった、従来情報検索では利用されることの少な

かった特徴が有効であるとの仮説に基づき、映画批評サイトを用いて予備実験を行った結果、良好な結果を得た。本研究については予備的な知見を得たに過ぎず、この成果に基づく新たな情報検索モデルを提案すべく継続して研究中である。

5.自己評価：

本研究課題を始める上で重点を置いたのは、システムの見かけやモダリティ(視覚や聴覚などの感覚を用いて外界を知覚したり情報伝達を行うやり方)ではなく、やりとりする情報を豊かにすることであった。特に、従来の情報検索技術による Web インタラクションでは、名詞句を中心としたキーワードを入力し、関係するページを得る事を目的として設計されており、検索精度の向上が主目的であった。これに対し本研究では、名詞句では表せない情報や、個々のページからは得られない情報をユーザに提供することを目的とした点で大きく異なる。また、HTML で記述されたテキスト情報の収集が主であり、画像などは大量に存在する割にはその収集・利用手段は十分に研究されていない事を踏まえ、画像を効率よく収集するために画像情報源のコンセプトを提案し、効率よい収集・閲覧を可能とする技術についても研究を行った。

3年間の研究期間を通じて、主観的評価推定技術については予備的な知見を得るにとどまるなど達成度は研究項目により異なるが、全般として Web からユーザに提供可能な情報の多様化には貢献できたと考える。

本研究課題では、Web からユーザへの向き(多様な情報の提供)に主眼を置いているが、ユーザが本当に必要な情報を必要なときに入手できるためには、ユーザから Web (システム)への向き、すなわちユーザ意図などのフィードバックの獲得も重要である。この点に関しては、相互作用と賢さ領域の他の研究者との交流を通じて、かなりの知見を得、理解を深めることができた。これは、今後研究をさらに発展させていく上で、形には残らないが研究者にとって非常におおきな財産であると考えられる。

6.研究総括の見解：

Web 上に膨大かつ多様に蓄積された情報源のより高度な活用を実現するための、知的インタフェースの開発を目指し、挑戦的な取り組みとたゆまぬ努力により、顕著な成果を挙げた。具体的には、免疫ネットワークモデルに基づく話題分布情報の可視化、キーワードマップに基づく情報可視化システムの開発、既存ブラウザと連携可能なプロトタイプインタフェースの開発、また、画像情報源の発見などである。また、外部に対する成果の発表にも積極的であった。

本研究の成果の発展に一層努力すれば、情報検索における対象知識獲得支援システムの構築に向けて、将来の大きな貢献が期待できる。

7.主な論文等：

発表論文

1. Z. Stejic, Y. Takama, K. Hirota, "Modified hierarchical genetic algorithm for relevance feedback in image retrieval," Intelligent Data Analysis, Vol. 8, No. 4, 2004(in Press).
2. Z. Stejic, Y. Takama, and K. Hirota, "Relevance Feedback-Based Image Retrieval Interface Incorporating Region and Feature Saliency Patterns as Visualizable Image Similarity Criteria," IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol. 50, No. 5, 2003 (Accepted).

3. Z. Stejic, Y. Takama, and K. Hirota, "Genetic algorithms for a family of image similarity models incorporated in the relevance feedback mechanism," *Applied Soft Computing*, Vol. 2, No. 4, pp. 306-327, 2003.
4. Z. Stejic, Y. Takama, and K. Hirota, "Mathematical aggregation operators in image retrieval: effect on retrieval performance and role in relevance feedback," *Signal Processing, Special Issue on Content-Based Visual Information Retrieval*, 2003. (accepted).
5. Z. Stejic, Y. Takama, and K. Hirota, "Weighted local similarity pattern as image similarity model incorporated in GA-based relevance feedback mechanism," *Intelligent Data Analysis*, Vol. 7, No. 5, 2003 (in press).
6. Y. Takama, K. Hirota, "Web Information Visualization Method Employing Immune Network Model for Finding Topic Stream from Document-Set Sequence," *J. of New Generation Computing*, Vol. 21, No. 1, pp. 49-59, 2003.
7. 高間 康史, 廣田 薫, "免疫ネットワーク・メタファに基づくWeb 情報可視化手法," *日本ファジィ学会誌*, Vol. 14, No. 5, pp.472-481, 2002.
8. Z. Stejic, Y. Takama, K. Hirota, "Genetic Algorithm-based Relevance Feedback for Image Retrieval Using Local Similarity Patterns," *J. of Information Processing and Management*, Vol. 39, No.1, pp. 1-23, 2002.
9. K. Hirota, N. Iwamatsu, Y. Takama, "A Proposal of an Internal-state Inference System Based on Multi-modal Sensory Fusion Method," *IEEE Transactions of Instrumentation and Measurement*, Vol. 51, No. 2, pp. 347-352, 2002.
10. Y. Takama, K. Hirota, "Topic-based Intelligent Support System for Information Retrieval," *Journal of Advanced Computational Intelligence*, Vol. 4, No. 6, pp. 457-463, 2000.

総説・解説

1. 高間 康史, "Web 情報ストリーム," *情報処理学会誌*, Vol. 44, No. 7, pp. 720-725, 2003.
2. 高間 康史, "SOFT におけるチャンス発見 - 投稿論文データの情報可視化から -," *知能情報ファジィ学会誌*, Vol. 15, No. 3, pp. 270-274, 2003.
3. 大澤 幸生, 高間 康史, "WWW に潜む創造的意思決定のチャンス," *人工知能学会誌*, Vol. 16, No.4, pp. 530-534, 2001.
4. 松下 光範, 高間 康史, "ネット上の情報を可視化する技術," *日本知能情報ファジィ学会誌*, Vol. 15, No. 5, pp. 506-514, 2003.

著書

1. 高間 康史, "1.3. 意思決定における人と環境の相互作用," 大澤 幸生 (監修) *知識マネジメント*, オーム社, pp. 9-20, 2003.
2. Y. Takama, "Part 3: Interaction with Environment for Awareness of Chances," in Y. Osawa and P. McBurney, Eds., *Chance Discovery? Foundations and Applications -*, pp. 170-183, Springer, 2003.
3. Z. Stejic, E. M. Iyoda, Y. Takama, K. Hirota, "Improving Image Database Summarization by Automatic Image Feature Selection Using GA," in L. Rutkowski, J. Kacprzyk, Eds., *Neural*

Networks and Soft Computing, Advances in Soft Computing, Physica-Verlag, pp. 674-679, 2003.

4. 高間 康史, 「Web エージェント」, 土屋 俊, 中島 秀之, 中川 裕志, 橋田 浩一, 松原 仁, 大澤 幸生, 高間 康史 (編集), AI 事典, 共立出版, pp.116-117, 2003.
5. 高間 康史, 「情報可視化」, 土屋 俊, 中島 秀之, 中川 裕志, 橋田 浩一, 松原 仁, 大澤 幸生, 高間 康史 (編集), AI 事典, 共立出版, pp.76-77, 2003.
6. Y. Takama, K. Hirota, "Immune Network-based Clustering for WWW Information Gathering/Visualization," in H. Motoda Ed., ACTIVE MINING, New Directions of Data Mining, IOS Press, pp. 21-29, 2002.
7. Y. Takama, K. Hirota, "Visualization of Topic Distribution from Document Sequence on Web," in P. Sincak et al. Ed., Intelligent Technologies ? Theory and Applications ? New Trends in Intelligent Technologies, IOS Press, pp. 189-195, 2002.

口頭発表

・国際会議 : 25 件 (招待講演 1 件)

・国内会議 : 17 件

特許出願

アイコンタクトによるコミュニケーション方式 (2 件)

防災ネットワーク方式

その他

SCIS&ISIS2002 Excellent Presentation Award, 2002.10.

日本ファジィ学会奨励賞 ,2002.8.

日本ファジィ学会論文賞 ,2002.8.

2nd Int. Symposium on Advanced Intelligent System Conference (ISIS2001) 優秀論文賞 ,2001.8.

研究課題別評価

1.研究課題名 分散配置されたデバイスと相互作用し賢くなる知的空間

2.研究者名 橋本秀紀

3.研究の狙い：

本研究は、今まで前提として与えられていた環境に知能を与えて、空間全体で高度な知能を実現しようとする試みである。これは、従来の方向である機械の高度な知能化が大変難しく、限界が見えてきたことが根底にある。

空間知能化は、知能は空間全体に分散し、人間の高度な知能の働きを支援する方向でトータルな意味でタスクを実現するのである。人間の知性が前提となったシステムの構成を取る。機械はツールであり、その機能を人間が最大限に引き出せるように空間が支援するということである。また、このためには人間・人工物（機械）環境の相互作用を考えなければならない。

もちろん空間知能化を考えるとときに時間軸を考えなければならない。上記の空間知能化は高度な段階のものであり、現在進めている研究はそこへ向かう途中にあるものである。具体的には、多数のセンサーを物理的に空間内に分散配置し、情報的にネットワーク化し、空間内の事象を観測し適切な処理を行い必要なサービス等を実現する。このときに前述した「安全」「安心」「快適性（利便性）」がデザインの指標になる。

本研究では、空間知能化のコア技術となる空間に配置されたセンサーを研究開発するとともに、具体的なシステムを構築し、知的空間（インテリジェント・スペース）の研究シナリオも提案した。

4.研究結果：

(1) DIND(Distributed Intelligent Network Devices)

DIND のコンセプト

インテリジェント・スペースでは、DIND が空間内の事象を把握し、ロボットやディスプレイ、スピーカなどを用いて人間に適切なサービスを提供する。DIND は、主に情報を得るセンサー部、その情報を処理する演算部、情報をやり取りするネットワーク部及び電源部から構成され、コストを押さえた超小型なものとなる。また、ネットワーク化が前提であるため高いセキュリティ、自己状態の把握機能、お互いの機能を共有する機能などが必要となる。センサー部、演算部、ネットワーク部及び電源部から構成され、小型化の技術には MEMS(Micro Electro Mechanical System)やナノテクノロジーが必要となる。

本研究では、DIND の基本機能をディスクリートシステム（パソコン等の部品を用いて構成されたシステム）で実現した。

DIND 機能の実現

本研究では、DIND として視覚センサーを用いた。これらの分散された視覚センサーが互いに協調し、人間・物理エージェントを認識してロバスト環境変化や外乱などに対する頑健さにトラッキング位置認識を行うシステムをベースとした空間知能化システムを構成した。認識した位置情報に応じて空間内に埋め込まれた各物理エージェント（メカトロニクス/ロボティクス機器）の制御を担当する分散知能デバイスを自動決定し、各物理エージェントに固有の制御方法を分散知能デ

バイスが自律的に獲得することによって、人間支援を実現するための分散センサ - 物理エージェントの協調を実現した。

これは空間知能化のコアとなるものであり、この分散視覚システムをベースとして様々なモジュールを実現した。

ビジョン基本モジュールの実現

- ? オブジェクト判別 (人間・人工物) 色情報の利用
- ? 位置推定
- ? トラッキング
- ? カメラ最適配置
- ? オクルージョン (障害物等によって隠れてしまうこと) の解決 (人間モデルの構築)

制御基本モジュールの実現

- ? 制御命令の送信
- ? 状態の受信
- ? 軌道生成 (障害物回避)
- ? ハンドオーバ
- ? ダイナミック・コントロール
- ? ハプティック・インタフェース

② 知的空間(Intelligent Space: ISpace)

知的空間の構成

研究室の幅 5m、奥行き 5m のスペースを ISpace として確保している。内部には人間追従エージェントとなる移動ロボット、空間状態のセンシングのための複数の DIND、空間内の人間への情報提示のためのプロジェクタとスクリーンなどを設置しており、それぞれネットワークで接続している。

DIND は、現在合計 6 台設置されている。今回は移動ロボットを認識して処理を行なうために 4 台、また人間位置認識用の DIND を 2 台というように役割を分担し配置した。

人間位置認識用の 2 台の DIND は、画像認識の性能を向上させるため、カメラの視界内での対象物体のピクセル数や視界の広さ等が考慮され、それぞれのパラメータが最適化されるように配置されている。

人間の 3 次元位置は、背景差分と肌色の抽出結果を用いて、あらかじめ求めておいたカメラパラメータに基づいて、2 台の DIND でステレオ視を行うことで算出される。

移動ロボットにはカラーバーコードが設置される。人間位置認識のときと同様に移動ロボットが背景から切り出され、カラーバーコードの色情報が認識される。移動ロボットは高さ情報が既知であるとして、DIND1 台で位置が算出できる。複数の移動ロボットが存在する場合であっても、それぞれの移動ロボットに設置するカラーパターンを変化させ、あらかじめ各ロボットについての情報を格納しておいた ISpace のデータベースと照合することによって、各ロボットの区別をすることが可能である。

知的空間シミュレータ

知的空間の設計支援にシミュレータを開発した。

- ? Open GL(3次元グラフィックスソフト)によるモデリング
 - ? 移動ロボットのシミュレーション
- の機能を持つ。

知的空間内の物理エージェント

空間内にあるシステムを操作するために人間がそのシステムが置かれている場所を事前に察知し、その場所まで移動するというのが今までの現状であった。本さがけ研究ではマルチモードインタフェース機能を持つロボットが ISpace 内の物理エージェントとなり、常に人間を追尾することで人間が人工システムなどを操作する際に移動と場所の事前学習の必要がなくなる。勿論、ISpace はセンサをもって内部の人間を監視するが、特定の人間と正確なインタラクションをとるために本システムを提案・製作した。

(3)各種アプリケーション

DIND の基本モジュールを用いて各種のシステムを知的空間に実現した。

人間追従ロボット

DIND によって人間及び移動ロボットの空間内の位置を測定し、DIND が移動ロボットに対して適切な命令を与える。移動ロボットはセンサーや知能を全く持たず全ての行動が環境側から制御される。

基本アプリケーション

その他のアプリケーションとして以下のものを実現した。

- ? 人間及び移動ロボットの認識と位置情報の収集
- ? 移動ロボットの制御
- ? 複数のカメラによる移動ロボットの制御と衝突防止及び障害物回避
- ? 複数移動ロボットの制御と衝突防止及び障害物回避
- ? 人間の追従
- ? 移動ロボットの人間追従
- ? カメラの最適配置
- ? シミュレータとのリンク(事前評価)

(4)シナリオ

以上の成果を基に、今後の空間知能化に関する実現シナリオを作成し、産学連携によって研究を進めることを行なった。

5.自己評価

最近のユビキタスコンピューティングの研究が活発になるにつれ、いつでもどこでもコンピュータリソースにアクセスできるということのみでなく、人間とのインタフェースの必要性が注目されている。その中でも物理的な相互作用に関する重要性が指摘されている。本研究は、まさに物理的な相互作用を研究の中心に置き、人間・人工物(機械)環境の相互作用を取り扱った。研究課題の設定としては丁度良いタイミングであり、最近の類似研究のさがけの一つであると判断する。

また、社会科学系の研究者との物理的な人間・人工物（機械）環境の相互作用に関する議論を基に、知的空間を実現するための基本的な枠組みを提案しプロトタイプを作り上げたことは、メカトロニクス・ロボティクス分野に対して新たな研究領域を示すことができた。同時に、空間を実際に作る建築系とのコラボレーションも始まり生活空間への応用へも踏み出すことができた。これに関しては、産業界との連携が始まり、知的空間（インテリジェント・スペース）を実社会に実現できる可能性がある。

研究成果自体はコア技術とプロトタイプを作成し、研究シナリオを示した。コア技術の達成レベルは高くこれらの成果を基にアプリケーションに応じたインテグレーションを進めている。また、シナリオに基づき更に深化した知見を得る方法論を確立したので今後の進展が期待できると判断する。

6. 研究総括の見解：

本研究により、今まで前提として与えられていた環境に知能を与えて、空間全体で高度な知能を実現しようとする試みに挑戦し、多数のセンサーを物理的に空間内に分散配置し、情動的にネットワーク化し、空間内の事象を観測して適切な処理を行なうことにより必要なサービス等を実現できたことは、高く評価できる。

さらに、これらの成果を基に、今後の空間知能化に関する実現シナリオを作成し、産学連携によって研究を進めることを行ったことも評価に値する。

シナリオに基づき更に深化した知見を得る方法論を確立したので、今後の研究進展が大いに期待できる。

7. 主な論文等：

論文

1. 橋本 秀紀, "空間知能化に関する研究動向", 電気学会論文誌 D 産業応用部門誌, 社団法人電気学会, Vol.121, No.9, pp.917-922, 2001.09
2. 山口亨, 平山 健一郎, 橋本 秀紀, "分散感覚知能アーキテクチャに基づく情報の再構成とITSへの応用", 電気学会論文誌 D 産業応用部門誌, 社団法人電気学会, Vol.121, No.9, pp.956-963, 2001.09
3. Noriaki Ando, Peter Korondi, Hideki Hashimoto, "Development of Micromanipulator and Haptic Interface for Networked Micromanipulation", IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol.6, No.4, pp.417-427, 2001.12
4. Noriaki Ando, Masahiro Ohta, Kouhei Gonda, Hideki Hashimoto, "Workspace Analysis of Parallel Manipulator for Tele-Micromanipulation Systems", Journal of Robotics and Mechatronics, Fuji Technology Press, Vol.3, No.5, pp.488-496, 2001.12
5. Joo-Ho Lee, Hideki Hashimoto, "Intelligent Space - concept and contents", Advanced Robotics, Vol.16, No.3, pp.265-280, 2002

他 7 件

国際会議発表論文

1. Noriaki Ando, Masahiro Ohta, Hideki Hashimoto, "Micro Teleoperation with Parallel

- Manipulator", Proceedings of the 2000 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robotics and Systems (IROS2000), Vol.1, pp.677-682, 2000.11
2. Joo-Ho Lee, Hideki Hashimoto, "Intelligent Space", Proceedings of the 2000 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robotics and Systems (IROS2000), Vol.2, pp.1358-1363, 2000.11
 3. Joo-Ho Lee, Hideki Hashimoto, "Mobile Robot Control by Distributed Sensors", IFAC workshop on Mobile Robot Technology, pp.85-90, 2001.5
 4. Joo-Ho Lee, Noriaki Ando, Hideki Hashimoto, Teruhisa Yakushi, Katsunori Nakajima, Tohru Kagoshima, "Applying Intelligent Space to Warehouse - The First Step of Intelligent Space Project -", 2001 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, pp.290-295, 2001.7
 5. Noriaki Ando, Masahiro Ohta, Kouhei Gonda, Hideki Hashimoto, "Micro Teleoperation with Parallel Manipulator", 2001 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, pp.63-68, 2001.7

他 25 件

国内会議発表論文

1. 秋山 尊志, 李 周浩, 橋本 秀紀, "インテリジェント・スペースにおける人間位置同定に関する研究", 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会'01, p.2P2-E6, 2001.06
2. 森岡 一幸, 李 周浩, 橋本 秀紀, "ロボットを介した新しいコミュニケーションに関する研究", 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会'01, p.2P2-E5, 2001.06
3. 権田 晃平, 安藤 慶昭, 橋本 秀紀, "ハプティックインターフェースを用いた遠隔微細作業システム", 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会'01, p.2P2-C3, 2001.06
4. 橋本 秀紀, "空間知能化 - DIND によるインテリジェント・スペースの構成", 第 40 回計測自動制御学会学術講演会予稿集, 社団法人計測自動制御学会, p.109-A4, 2001.07
5. 森岡 一幸, Joo-Ho Lee, 橋本 秀紀, "インテリジェントスペースにおける人間歩行追尾ロボットの制御", 第 19 回 日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.811-812, 2001.09

他 30 件

著書

2 件

総説・解説

7 件

受賞

"AROB Achievement Award", The Eighth International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 8th '03), 2003.1

研究課題別評価

1. 研究課題名 :成長するネットワーク型知能と人間中心システム

2. 研究者氏名 :山口 亨

3. 研究の狙い :

IT のインフラ整備が進む今日、IT になじめない IT 格差の問題が表面化している。一方、AT (オートモーティブ・テクノロジー) や RT (ロボット・テクノロジー) の分野では人間の個性にいたる人間指向の新たな進展や、個別システムからコミュニティ化への進展がみられる。そこで、ネットワーク・インテリジェンスの考えを IT・AT・RT に用いることで、人間中心的な共通視点からの基盤ネットワーク技術を提案し、上述の問題に対応する。すなわち、この共通の基盤ネットワーク技術を用いることで、ジェスチャーなどの対話による IT 格差の問題解決と AT・RT における個性や人間指向の問題・コミュニティ化の問題などを同時に解決することが可能である。次世代の人間中心システムの新たなアーキテクチャであるオントロジー (意図でつながりアシストする) 技術が、このブレークスルーとなる。このオントロジー技術とそのプロトタイプ実現までの研究ステップとして、1) 人間の動作観測と意図認識、2) ネットワーク・インテリジェンスの共通基盤としてのオントロジーの獲得、3) プロトタイプによるオントロジー・ネットワークの構築 の3つの手順をとり、着実にネットワーク・インテリジェンスにおける共通基盤「オントロジー」を現実のものとしていく。

4. 研究結果 :

意図でつながりアシストする技術として、哲学用語に起源をもつ「オントロジー」を提案し、人間 - 機械 (コンピュータやロボット、IS 系の意図の伝達や、機械 - 機械系のコミュニケーション、コミュニティ形成) に用いた。以下の3つの研究ステップを着実に進め、プロトタイプにより、その有効性を実証した。

(1) 人間の動作やその意図を認識するためのインテリジェント・スペースソフトウェア iSpace の開発
iSpace ソフトウェアをオープンソースアーキテクチャで開発した。人間動作の認識に利用することを目的に、アルゴリズムの改善を図る課程で、オープンソースアーキテクチャの手法、すなわち、多方面へプログラムソースを配り多くの適用を図り、その適用で新たに開発された有効なアルゴリズムを集約していく手法を用いた。その結果、コマンドなどの動作認識率で98%以上の性能を得ることができた。

さらに、ISなどを意識し、ドライバーの意図認識実験を行ったが、動作認識率90%以上を示した。前述のオープンソースアーキテクチャで開発した iSpace ソフトを用いて、人間の動作「テキスト」とそのときの状況「コンテキスト」を観察し、次の2)で説明するオントロジーの獲得を実施した。

(2) 意図でつながりアシストするための「オントロジー技術」の提案

ニューラルネットの連想メモリにより、人間の動作「テキスト」とそのときの状況「コンテキスト」を観察し、状況依存型の情報をボトムアップ的に獲得する、オントロジーの構築手法を示した。また、人間の脳に実在するミラーニューロンと、提案のボトムアップ型オントロジーの関連を提案した。

さらに、3)のプロトタイプで利用する人間の意図認識機構へ、提案するオントロジーを適応し、個性・個人差のモデルを示し、そのオントロジーによる個性情報のネットワークと情報再構成機構(すなわち、オントロジー・ネットワーク)を提案した。

(3)「オントロジー技術」の有効性を示すプロトタイプをIT・RT・ATの各分野で実現

以下に示すように、IT・RT・ATの各分野のプロトタイプを実現し有効性を検証した。

・人間とのジェスチャー対話や連携したアシスト:

知的ロボット群(Chair, iTable)とサイバー美術館の連携

・オントロジーによるパーソナルユースからコミュニティへの進展:

遠隔ロボットもオントロジー・ネットワークによりユーザをアシスト

オントロジー・ネットワークによる防災ネットワークシステム(板橋区との連携)

5.自己評価:

人間中心指向からの「オントロジー(意図でつながりアシストする)技術」の研究をネットワーク・インテリジェンスの基礎と位置づけたことで、前述に示すような3つの研究ステップに分け着実に研究を完結できた。研究成果も、論文・特許・受賞など、7.に示すように多くのアウトプットを出すことができた。(これらの成果に結びつくうえで、総括・領域アドバイザーらとの研究会における意見交換の意義は大きい)

以上の研究成果の学会発表を通し、IT・AT・RTに共通して重要となるネットワーク・インテリジェンスの産業波及が芽生えていることを、産業界からの意見より自覚できた。

この研究分野の進展は目覚しく、今後の日本の産業活性化に役立つと思われる。ますます個人志向化・高付加価値化へ流れているIT・AT・RTの産業分野において、個性・個人差などの高付加価値を、従来のビジネスモデル(欧米型の高付加価値は高コストのモデル)と異なった、新たなビジネスモデル(高付加価値でしかも低コストのモデル)を用いて実現できる可能性を示した点は評価できると考える。

本研究で提案した人間中心指向からの「オントロジー(意図でつながりアシストする)技術」によるブレークスルーも、その中心的な手法に育つと期待できる。生産技術により高性能・低コストを実現したわが国の産業界に合致した新たなビジネスモデルの発展へ、提案のオントロジー・ネットワークが寄与できると期待する。また、さらに、「相互作用と賢さ」領域・高間研究者の「Webインテリジェンス」との融合により、さらなるオントロジー・ネットワークへの進展が期待できる。

6.研究総括の見解:

意図でつながりアシストするための「オントロジー技術」を提案し、人間の動作やその意図を認識するためのインテリジェント・スペースソフトウェアを開発し、さらにIT(インフォメーション・テクノロジー)・RT(ロボット・テクノロジー)・AT(オートモーティブ・テクノロジー)の各分野のプロトタイプを実現することにより、「オントロジー技術」の有効性を検証したことは、大きな成果であり、高く評価できる。また、外部に対する成果の発表にも積極的であった。

提案のオントロジー・ネットワークは、IT・RT・ATの産業分野において、個性・個人差などの高付加価値を、新たなビジネスモデル(高付加価値でしかも低コストのモデル)を用いて実現できる可能性があり、それに向けての発展が大いに期待できる。

7.主な論文等：

論文

1. 高木友博, 西達也, 山口亨, 新田洋志, 田野俊, 和田文雄, 鎌田実: バリアフリーカーにおける人間中心型運転支援システムの構成法, 電気学会論文誌 C, 121 巻 7号, pp.1227-1236 (2001)
2. 山口亨, 高秀誠, 中村吉寿, 木幡直樹: カオス進化を用いた強化学習の高速化と運転支援表示システムへの適用, 電気学会論文誌 D, 121 巻 9 号, pp.948-955 (2001)
3. 山口亨, 平山健一郎, 橋本秀紀: 分散感覚知能アーキテクチャに基づく情報の再構成とITSへの応用, 電気学会論文誌 D, 121 巻 9 号, pp.956-963 (2001)
4. 山口亨, 庵美香, 山王彰, 村越英樹: サイバーユニバーシティにおける人間支援エージェントの対話的進化手法 日本ディスタンスラーニング学会誌, Vol4, pp.28-34 (2003)
5. 梅田大雄, 山口亨, 村越英樹, 石島唇太郎: インテリジェント・スペースを用いた遠隔教育コンテンツ作成システム 日本ディスタンスラーニング学会誌, Vol4, pp.35-42 (2003)
6. Toru Yamaguchi, Eri Sato, Yasufumi Takama: Intelligent Space and Human Centered Robotics, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.50, NO.5 pp.881-889 (2003)
7. Hideki Murakoshi, Maiji Saito, Toru Yamaguchi: A picture Reference system with Visual Interface for Cyber Art Gallery, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.50, NO.5 pp.853-859 (2003)
8. 山口亨, 増田俊輔, 村上洋: 人工オントロジーを用いた人間中心型自律移動エージェントシステム 日本知能情報ファジィ学会誌 (accepted) (印刷中)

著書

1. 向殿政男 編、4-9 編 (一部) 山口 亨 執筆 :エンサイクロペディア 電子情報通信ハンドブック, オーム社 (2000)
2. T.Yamaguchi, E.Sato, M.Watanabe :Human Centered Intelligent Robots Using Ontological Neural Network (Chapter 1) T.Yamaguchi, A.Sannoh, M.Iori : ‘Evolutionary Human Support Agents and Applications’ (Chapter4) INTELLIGENT TECHNOLOGIES-THEORY AND APPLICATIONS, Ohmsha(2002)
3. GA.ニューロを用いた学習法とその応用調査専門委員会 編、第3章山口 亨 執筆、学習とそのアルゴリズム、森北出版株式会社、(2002)
4. 人間計測ハンドブック, 山口 亨 執筆、非言語コミュニケーション、朝倉書店 印刷中
5. [5]パターン 記号統合の基礎と応用 ペットロボットのペットらしさをめざしてー, 山口 亨 執筆、人間中心インターフェイス技術 人の意図の理解 印刷中

受賞

1. T. Yamaguchi, N. Ando: Best paper & award, Intelligent Robot System Using ‘Model of Knowledge, Emotion and Intention’, And ‘Information Sharing Architecture’, Proc. of The 27th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON '01), Denver, Colorado (2001)

2. T. Yamaguchi, E. Sato, S. Watanabe: Best paper & award, Human centered Intelligent Robots Using "Ontological Neural Network"; Euro Symposium on CI, Proc. INTELLIGENT TECHNOLOGIES-THEORY AND APPLICATIONS (2002)
3. T. Yamaguchi, E. Sato, H. Murakami: Excellent Presentation Award, Human Centered Robot System and Ontological Neural Network, SCIS & ISIS 2002 (2002)
4. T. Yamaguchi: The Certificate of Appreciation, The 4th International Symposium on Intelligent Systems, ISIS 2003 (2003)

特許出願 (申請中)

1. アイコンタクトによるコミュニケーション方式 (2件)
2. 人間支援システムにおける人間の状態推定機構
3. ネットワーク機能による人間支援運転機構
4. 防災ネットワーク方式

解説等

1. 山口 亨 :ソフトコンピューティングのネットワーク技術への応用 ,電気学会論文誌 C , Vol.121-C, No.2 , pp308-310 (2001)
2. 山口 亨 :ニューロ・ファジィ制御とネットワーク・インテリジェンス, 計測と制御 4, Vol42, pp321-323 (2003)
3. 山口 亨、佐藤 英理, 人間中心システムとオントロジー技術, 日本知能情報ファジィ学会誌 Vol.15, No4, pp.366-371 (2003)
4. Toru Yamaguchi, Yasufumi Takama, Tomohiro Takagi: Guest Editorial on the Special Section "Interaction and Intelligent and Systems" IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL.50, NO.5, (2003)
5. 山口 亨 都市災害時の新しい情報システム -大都市危機管理のための IS と IT-総合年研究 第80号 pp.140-150 (2003)
6. 山口 亨 :ネットワーク型ロボットの最新技術動向、日刊工業新聞 (第2部)6面 (2003-11-19)

口頭発表

国際会議

1. Tomomi Hashimoto, Toru Yamaguchi: A Proposed Emotion-driven Alife Model for Robot Assisted Activity, Artificial Life 7 Workshop Proceedings, pp.177-180 (2000)
2. T. Yamaguchi, H. Nitta, T. Takagi, H. Hashimoto: Human Centered Sensory Intelligence Architecture for ITS, Proc. of 3rd IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems, pp.446-451 (2000)
3. T. Yamaguchi, H. Nitta, J. Miyamichi, T. Takagi: Distributed Sensory Intelligence Architecture for Human Centered ITS, Proc. of 2000 IEEE International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation (IECON-2000), pp.509-514 (2000)
4. N. Kohata, T. Yamaguchi, T. Baba, H. Hashimoto: Diversity Oriented Evolutionary Parallel Computation on Intelligent Agents, Proc. of 2000 IEEE International Conference on Industrial

- Electronics, Control and Instrumentation (IECON-2000), pp.521-526 (2000)
5. T. Yamaguchi, D. Chen, H. Nitta, F. Harashima: Distributed Sensory Intelligence Architecture for Human Centered System, Proc. of Network Based Human Friendly Mechatronics and Systems, pp.78-84 (2000)
 6. Kenichi Abe, Toru Yamaguchi: Fuzzy and Neural Networks, IROS2000, pp.82 (2000)
 7. M. Iori, T. Yamaguchi, N. Kohata: Knowledge Generation for Intelligent Agent Using Evolutionary Chaotic Retrieval, Proc. of 2001 IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation (CIRA-2001), pp.502-507 (2001)
 8. K. Ono, J. Miyamichi, T. Yamaguchi: Intelligent Robot System Using "Model of Knowledge, Emotion and Intention" and "Information Sharing Architecture", Proc. of 2001 IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation (CIRA-2001), pp.498-501 (2001)
 9. T. Yamaguchi, T. Kumazawa, H. Nitta: Cooperative Agent System Using Ontological Neural Network, Proc. of 2001 IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation (CIRA-2001), pp.508-510 (2001)
 10. N. Ando, S. Watanabe, T. Yamaguchi: Human centered architecture by means of Q-Learning algorithm and the K.E.I (Knowledge, Emotion, and Intention) model, Proc. of 2001 IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation (CIRA-2001), pp.189-193 (2001)
 11. T. Yamaguchi, D. Chen, H. Nitta: Distributed Sensory Intelligence Architecture For Human Centered System, Proc. of 2001 IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation (CIRA-2001), pp.194-199 (2001)
 12. T. Yamaguchi, S. Masuda, F. Harashima: Cooperative Intelligent System Using Ontological Neural Network, Proc. of 2001 IEEE International Conference on Intelligent Engineering Systems (INES-2001), pp.125-128 (2001)
 13. T. Yamaguchi, N. Ando: Intelligent Robot System Using "Model of Knowledge, Emotion and Intention" and "Information Sharing Architecture", Proc. of The 27th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON '01), pp.2121-2125 (2001)
 14. T. Yamaguchi, T. Yoshifuji, F. Harashima: Human Centered Interface at Cyber-agent system, Proc. of The 7th International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 7th '02), pp 320-323 (vol.1) (2002)
 15. T. Yamaguchi, H. Hashimoto, S. Masuda, E. Sato: Intelligent Space and Networked Robotics, Proc. Of The 2002 FIRA Robot World Congress, pp 51-56 (2002)
 16. T. Yamaguchi, H. Murakami, D. Chen: Human Centered Support System Using Intelligent Space and Ontological Network, Proc. Of Euro Symposium on CI (2002)
 17. T. Yamaguchi, N. Ando: Intelligent Space and Human Centered Robotics Proc. Of Euro Symposium on CI (2002)
 18. T. Yamaguchi, T. Saito, N. Ando: The K.E.I (Knowledge, Emotion and Intention) based robot using Human Motion Recognition, Euro Symposium on CI (2002)
 19. T. Yamaguchi, E. Sato, S. Watanabe: Human centered Intelligent Robots Using "Ontological

- Neural Network”, Euro Symposium on CI, Proc. of INTELLIGENT TECHNOLOGIES-THEORY AND APPLICATIONS, pp 34-39 (2002)
20. T. Yamaguchi, A. Sannoh, M. Iori: Evolutionary Human Support Agents and Application, Euro Symposium on CI, Proc. of INTELLIGENT TECHNOLOGIES-THEORY AND APPLICATIONS, pp 255-261 (2003)
 21. T. Yamaguchi: Intelligent Space and New IT Systems, The 1st Pan-Pacific Symposium on Information Technology, pp 99-112 (2002)
 22. T. Yamaguchi Human Robot Interaction via Evolutionary Network Intelligence, ICCA 2002 International Conference on Control, Automation and Systems, TE04-2 (2002)
 23. T. Yamaguchi, E. Sato, H. Murakami: Human Centered Robot System and Ontological Neural Network, SCIS & ISIS 2002, (2002)
 24. Toru Yamaguchi , Chen Dayong: Driver Intention Recognition Using Case Base Learning For Human Centered System, Proceedings of The Eighth International Symposium on ARTIFICIAL LIF AND ROBOTICS (AROB 8th 03) Vol.2 pp419-422 (2003)
 25. Toru Yamaguchi, Eri Sato, Katsutaka Higuchi: Ontological Communication Robot System 2003 IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation CIRA2003 (2003)
 26. Toru Yamaguchi, Eri Sato, Katsutaka Higuchi: Ontological Neural Network 2003 IEEE Advanced Intelligent Mechatronics AIM2003 (2003)
 27. H. Umeda, T. Yamaguchi: The Distance Communication System by using Intelligent Space ISIS 2003, pp62-65 (2003)
 28. T. Yamaguchi, D. Chen, Y. Takeda, J. Jing: Intention Recognition Using Case-base Learning in Human Vehicle, ISIS 2003, pp110-113 (2003)
 29. T. Yamaguchi, J. Jing, J. Kawakatsu: Vehicle Warehousing Support System Based on Safe Human Cooperation Mobility System in Collaboration with Cyber City, ISIS 2003, pp114-117 (2003)
 30. T. Yamaguchi, H. Murakami, R. Kurosaki: Autonomic human support agent system used artificial ontology ISIS 2003, pp118-121 (2003)
 31. T. Yamaguchi, T. Yoshifuji, K. ohashi, M. Ayama: Eye-Contact Communication in human vehicle, ISIS 2003, pp122-125 (2003)
 32. T. Yamaguchi, E. Sato, H. Murakami: Intelligent Space and Ontological Network System, ISIS 2003, pp126-129 (2003)
 33. T. Yamaguchi, E. Sato, K. Higuchi: Ontological Robot System for Communication, ISIS 2003, pp130-133 (2003)
 34. M. Saito, T. Yamaguchi: Conceptual Fuzzy Sets for picture Reference System with Visual User Interface And Command Recognition System without Keyboard and Mouse, ISIS 2003, pp138-141 (2003)

国内学会

1. 安藤信裕 ,山口 亨 ,木幡直樹 :Q-Learning を用いた知情意モデルロボット, 第 10 回インテリ

- ジェント・システム シンポジウム ,pp.129-132 (2000)
2. 小野康嗣 ,宮道壽一 ,山口 亨 :知情意モデルと情報共有機能を用いた知的ロボットシステム, 第 10 回インテリジェント・システム シンポジウム ,pp.133-136 (2000)
 3. 庵美香 ,山口 亨 ,木幡直樹 :カオスの想起による福祉指向ドライバー支援エージェントの実現, 第 10 回インテリジェント・システム シンポジウム ,pp.193-196 (2000)
 4. 熊澤俊光 ,山口 亨 ,新田洋志 :意図認識を行うエージェントシステムとその情報共有, 第 10 回インテリジェント・システム シンポジウム ,pp.233-234 (2000)
 5. 熊澤俊光 ,山口 亨 ,新田洋志 :教育ヒューマンインターフェース, 第 2 回 JDLA 学術講演会 , pp.1-2 (2000)
 6. 山口 亨 ,安藤信裕 ,木幡直樹 :強化学習と知情意モデルを用いたロボットエージェントシステム, 産業システム情報化研究会 ,pp.7-12 (2000)
 7. 山口 亨 , 増田俊輔 :空間型知能とインテリジェントスペース, 第 28 回 知能システムシンポジウム, pp.291-296 (2001)
 8. 山口 亨 :オントロジーとナチュラルインターフェイス, 産業システム情報化研究会, pp.1-6 (2001)
 9. 山口 亨 :成長するネットワーク型知能と人間中心システム, 第 40 回 計測自動制御学会学術講演会, 109 A-5
 10. 山口 亨 :オントロジーの本質はファジィか?, 第 17 回 ファジィ・システム シンポジウム, pp.39-42 (2001)
 11. 吉藤隆文, 山口 亨 :ITSシミュレータの開発とヒューマンビークル, 第 17 回 ファジィ・システム シンポジウム, pp.235-238 (2001)
 12. D. Chen, T. Yamaguchi, H. Nitta : Motion Recognition by Architecture of Recomposed Information, 第 17 回 ファジィ・システム シンポジウム, pp.249-252 (2001)
 13. 渡辺聖, 熊澤俊充, 山口 亨 :機能発現機構による人間支援システム, 第 17 回 ファジィ・システム シンポジウム, pp.261-264 (2001)
 14. 山口 亨, 増田俊輔, 熊澤俊充 :ナチュラルインターフェイスと情報共有, 第 17 回 ファジィ・システム シンポジウム, pp.265-268 (2001)
 15. 山口 亨, 尾原浩一, 増田俊輔 :ネットワーク知能に基づく人間中心型インターフェイス第 11 回 インテリジェント・システム シンポジウム, pp.539-542 (2001)
 16. 山口 亨 :インテリジェントスペースとその「人間 - 機械」系システムへの応用, 第 44 回 自動制御連合講演会 ,pp.174-177 (2001)
 17. 山口 亨, 斎藤 岳央: 人間中心型インターフェイスとそのサイバーユニバーシティへの応用, 電気学会産業応用部門大会、講演論文集[1] JIASC 2002 pp45-46 (2002)
 18. 山口 亨, 山本 正邦, 村越 英樹: 3D グラフィックと人間動作のモニタリングで表現された暗黙知の遠隔教育への応用, 電気学会産業応用部門大会、講演論文集[1] JIASC 2002 pp51-52 (2002)
 19. 山王 彰, 山口 亨, 庵 美香: サイバーユニバーシティにおける人間支援エージェントの対話的カオス進化手法, ファジィシステムシンポジウム講演論文集 pp363-364 (2002)
 20. 村上 洋, 山口 亨, 増田 俊輔, 人間中心型システムにおける意図認識機構, ファジィシステムシンポジウム講演論文集 pp491-492 (2002)

21. 齊藤 岳央、山口 亨、松原 浩輔, カオス進化型 Q-learning による知情意モデルロボットシステム, 第 12回インテリジェントシステムシンポジウム講演論文集, FAN Symposium '02, pp233-234 (2002)