

パーソナルロボットとそのインタフェースについて

安西 祐一郎

慶應義塾大学理工学部 電気工学科 / 計算機科学専攻

我々の研究室では、複数台の小型自律移動ロボット（パーソナルロボット）を含む開放型分散計算環境およびそのインタフェースの設計に関する研究プロジェクト（PRIME と呼ぶ）を行なっている。このプロジェクトの目的は、多様で動的な目標を持った複数の人間とロボットと計算機が共存するコミュニティにおいて生じる種々のインタラクションに関するさまざまな問題を考察すること、およびそうしたコミュニティにおける分散処理システムの設計原理を確立することである。本稿ではこれまでの研究結果の概要を述べる。

Personal Robots and Their Interfaces

Yuichiro Anzai

Department of Computer Science, Keio University

E-Mail: anzai@aa.cs.keio.ac.jp

We are working on **PRIME** Project, a research project for the design of open and distributed computing environments with multiple personal robots and computers, and the design of their interfaces. Its goals are to study essential problems on interaction possibly raised in communities that involve interacting multiple humans, robots and computers, and to establish design principles of distributed information-processing systems for such communities. This short article summarizes the results up to the present.

1 はじめに

多様で動的な目標を持った複数の人間とロボットと計算機が共存しているコミュニティを想定したとき、そこではどのようなインタラクションが起ころうか？ また、そういうコミュニティに生きる人間にとって有用な分散処理システムがあるとすれば、その設計原理はいかなるものであろうか？ 我々は、これらの問題を考察するために、人間・ロボット・計算機間のインタラクションに関する研究プロジェクト PRIME をスタートさせている。また特に、その中で新しいヒューマンインタフェースのあり方を模索している。

PRIME で扱っているロボットは、パーソナルロボットと呼ぶ種類のロボットである。「パーソナルロボット」という言葉は少なくとも 1980 年代初めには公に使われている [4]。しかし、パーソナルロボットが用をなせるような高機能を実現する技術とコストが追いつかず、あまり顧みられなくなった。このような歴史を持つパーソナルロボット（以下「パソロボ」）を PRIME で取り上げているのは、発展しつつある自律移動ロボット技術だけでなく、分散計算システム、通信ネットワーク、ヒューマンインタフェースの諸技術を統合することにより、新たな研究として、人間・ロボット・計算機の総合的なインタラクションを重視した研究が展開できると考えているからである。なお現時点では、PRIME でいうパソロボとは汎用小型自律移動ロボットのことだと考えてよい。

また上述のアプローチは、今後の計算機科学やヒューマンインタフェースの研究に対しても本質的に重要なテーマを提供してくれるものと考えている。たとえば、人間に対してアクティブに作用しうる機械の典型としてパソロボを取り上げることにより、アクティブなシステムと人間とのインタラクションを研究する基盤が得られる。また、パソロボをパソコンの延長線上に捉えることによって、現在のヒューマンインタフェース研究に新たな問題を見い出せる可能性もある。一方、パソ

ロボをインテリジェントなハードウェア機器と考えれば、種々のハードウェア機器とコンピュータを含むリアルタイム分散ヒューマンインタフェースの基礎研究を行なうことができる。一方、複数のアクティブシステムを含む新しいタイプの分散環境の研究や、記号的情報と非記号的情報の動的関連性に関する研究が行なえるし、ヒューマンコミュニケーション研究の新しい方法論を提供できる可能性もある。

もちろん問題点も考えられる。特にロボット技術や通信関係のさまざまな問題はよく指摘される場所である。ロボットと建築構造の関係の問題もある。しかしながら、これからの技術の進歩を考慮するとともに、扱っている問題の深さ、包容力の大きさを考えると、総合的な研究を開始する時期としては早過ぎはしないというのが筆者の考えである。以下では、PRIME で行なっている研究のいくつかについてその概要を述べる。なお 1992 年夏の時点における総論は [3] にある。

2 基本システム

2.1 ロボットハードウェア

PRIME では、状況の変化に敏速に対応でき（リアクティブ性）、しかも機能の交換が容易な（機能ブロック性）ロボットハードウェアを主に計算機ハードウェアアーキテクチャの面から設計している。具体的には、リアクティブ性と機能ブロック性を重視して割り込み処理を強化したパソロボ用分散処理アーキテクチャ *Aspire* を現在実装中である [29]。

なお、以下の諸研究で実装の中心となっているロボットは、一昨年 4 台試作した *Einstein I* と呼ばれるパソロボで、*Aspire* とは異なる。

2.2 オペレーティングシステム

PRIME では、パソロボ用 *OSPULSER* を開発、実装している [27]。PULSER の特徴は、割

り込み処理の優先度決定をユーザに開放していること、ハードウェア割り込みとソフトウェア割り込みを統合したダイレクトインタラプト機構と呼ぶ機構を導入してリアクティブ性を強化していることなどである。PULSER のプログラミング支援ツールも開発されている [11]。現在、PULSER のリアクティブ性をさらに強化するとともにマイクロカーネル化したバージョンとして μ -PULSER を実装している [21]。

2.3 通信システム

複数の人間、ロボット、計算機の散在するコミュニティにおける重要な通信手段は無線通信である。特に PRIME では、多数のロボット間のブロードキャスト通信においてパケット衝突を防止するための無線通信システム MACS [26] の研究を行っている。また、居場所が固定されていないロボットが動的な中継局となってマルチホップの通信を行なうための動的な中継局選択方式 [1] も報告している。

3 ヒューマンインタフェース

3.1 アクティブインタフェース

ロボットはアクティブな情報収集機械と考えられるから、ユーザが積極的に入力する情報以外の情報をも収集、利用するインタフェースを備えれば、ユーザにとって適切な行動を取れる可能性がある。このようなインタフェースを我々はアクティブインタフェースと呼んでいる [19]。PRIME では特に、複数の超音波センサ、赤外センサおよびマイクロフォンからのデータを処理してロボットの行動を決定するアクティブインタフェース SONIC を開発し、ロボットに実装した。SONIC によって、話者の方向を識別してそちらを向くとともに、騒音レベルが上がると話者に近づく機能をロボットに持たせることができる [19]。

3.2 機能獲得インタフェース

ロボットを、ある物体に新たな機能を付加する機能を持ったシステムとみなすこともできる。我々は、このようないわば「メタ機能」を、ロボットによる機能獲得機能と呼び、機能獲得機能を持ったロボット（シールロボットと呼ぶ）の概念を提案、試作している [12]。

3.3 分散インタフェース

従来提案されてきたグループウェアは、一般に物理的な対象を直接扱うことができない。我々は、物理的な対象の処理を含む協同作業の支援を人間・ロボット・計算機分散環境のもとで行なうための同期／非同期統合・分散型グループウェア RT-Michele/P を開発、実装している [15]。このシステムは、マルチエージェントフレームワークに基づく非同期分散型グループウェア Michele [13] を同期的インタラクションができるように拡張したグループウェア RT-Michele [14] をさらに拡張して、分散環境において複数のパンロボを複数の協同作業者が利用するための支援環境を提供したものである。

3.4 音声対話インタフェース

PRIME では、音声認識、音声合成、自然言語処理、無線通信システムを組み合わせた人間・ロボット間日本語対話システム Linta を開発、実装している [20]。このシステムの特徴は、音声・言語情報だけでなく、ロボットに搭載されたセンサ情報を文の意味の曖昧性解消に利用しているところにある。音声・言語以外の情報（たとえば色や形）を用いて意味の曖昧性解消を行なう自然言語対話システムとしてはたとえば SHRDLU [22] があるが、Linta の特徴は、状況によって変化する動的な情報を用いることにより、状況の変化と文の意味の変化の関係を直接扱っているところにある。

なお、多くのセンサ情報のどれに注目すれば十

分かという問題は Linta では扱っていなかったが、この問題に対処するために、注意機構と呼ぶ機構を新たに導入した Linta-II を実装中である [8]。

一方、分散インタフェース環境のもとで、ロボットがいわゆるフェイル状態になったとき、音声情報を利用して人間に援助を求めるインタフェースシステム FRECS も開発している [16]。

4 インテリジェンス

4.1 分散プランニング

複数のロボットが協調して何かの仕事を行なうためには、タスクアロケーションや分散プランニングのアルゴリズムが必要である。そのために PRIME では、複数のロボットへのタスクアロケーションアルゴリズム [18] や複数のロボットによる分散プランニングのアルゴリズム [10] を開発、実装している。また別に、2 台のロボットの協調によって環境地図の生成を行なうシステム Marsha も開発している [9]。

4.2 タスクスケジューリング

複数の人間、ロボット、計算機が散在するコミュニティでは、あるロボットが仕事をしているときに別の緊急の仕事が割り込んできたり、仕事の途中で他の仕事も一緒に行なったりすることがありうる。PRIME では、このいわゆるリアクティブプランニングの問題に対して、インクリメンタルな制約満足化によるタスクスケジューリングのアルゴリズムを開発している [17]。

4.3 シンボルグラウンディングと学習

動的環境のもとで適切な行動のとれる知的システムを構成するには、推論に用いられる記号的情報と、知覚や行動に関わる非記号的情報の動的関係に関する研究が必要である。我々はずっと以前からこの問題に興味を持ち、いくつかの研究を行

なってきた [2], [5], [6]。現在よく言われるようになった symbol grounding という言葉は、我々の行なってきた研究に密接に関連している。

PRIME では特に、ロボットへの自然言語コマンド (記号的情報) とセンサ・アクチュエータ情報 (非記号的情報) の間の関係を、記号的推論に直接使えるような制約不等式として学習するシステム Acorn-II を開発、実装している [7]。Acorn-II では、machine learning の分野で最近研究が行なわれている feature construction の考え方に基づいた、複数のセンサ・アクチュエータ情報の間の関係を発見するアルゴリズムを用いている。

5 基礎的問題

5.1 物理世界計算

PRIME の思想の一つとして、計算機や通信ネットワーク内の情報を扱っているだけの現在の計算機科学やヒューマンコンピュータインタフェース研究の土俵を、ロボットが扱う対象のような物理的対象まで拡張して扱う研究分野を確立したい、ということがある。しかし、このような観点に立った概念的、理論的研究はこれまでほとんど見られない。

我々はこのための研究、特に計算機科学の立場からの研究を総称して物理世界計算の研究と呼び、その第一歩として、物理的対象の所有権問題 Physical Ownership Problem を考察して所有権の取り扱いに関するプロトコルを提案した [23], [25]。このプロトコルは、PULSER を搭載した Einstein I 上に実装されている [24]。さらに、ロボットの動作制約に関するマナーモジュールの概念を提案し、実装している [25]。

5.2 インタフェースと信頼感

興味深い基本的問題の一つとして、人間にアクティブに反応し、話しかけるロボットやアクティブインタフェースの挙動を信頼してよいかどうかと

いう問題がある。この信頼感の問題は社会心理学や法学にも関わる基本的問題であり、今後研究する価値が十分あると考えている。PRIMEでは、このような研究の第一歩としてリライアンスインタフェースの実験的考察を行なっている [28]。

6 おわりに

PRIMEは総合プロジェクトであり、目的は単一ではない。また、ここには挙げなかったが、計算機科学、ヒューマンインタフェース、ロボット工学、通信工学等における先行研究からの示唆も大きい。現在はまだ研究の基盤を構築しているところであるが、本稿ではこれまでの研究における主な結果の概要を述べた。なお、本稿に挙げた研究結果は、PRIMEに関わっている(いた)多くの人々によって得られたものである。中でも特に開一夫、中内靖、矢向高弘、山本吉伸、梶浦正浩の皆さんに感謝したい。

References

- [1] 秋庭・矢向・安西：無線により通信する自律移動ロボットの動的中継局選択法，情処第44回全国大会予稿集，1992。
- [2] Anzai, Y.: Cognitive control of real-time event-driven systems, *Cognitive Science*, Vol.8, 221-254, 1984.
- [3] Anzai, Y.: Towards a new paradigm of human-robot-computer interaction, *Proc. of IEEE International Workshop on Robot and Human Communication*, 11-17, Tokyo, 1991.
- [4] Engelberger, J.: *ROBOTICS in Service*, Kogan Page, pp.218, 1989.
- [5] Hiraki, K., Gennari, J., Yamamoto, Y. and Anzai, Y.: Learning spatial relations from images, *Proc. of the Eighth International Machine Learning Workshop*, Chicago, 407-411, 1991.
- [6] 開・西沢・安西：空間的知識に関する制約表現の獲得とその利用について，コンピュータソフトウェア，Vol.8, 30-44, 1992。
- [7] 開・岡田(豊)・安西：知能ロボットのための学習アーキテクチャ — feature construction による symbol grounding, 情処人工知能研資, 1992。
- [8] 開・佐藤(倫)・安西：パーソナルロボットのための音声対話インタフェース, 情処 HI 研資, 1993年3月。
- [9] 石岡・開・安西：複数の自律移動ロボットによる地図生成システムの設計と実装, 日本機械学会ロボティクス/メカトロニクス講演会論文集, 85-90, 1992。
- [10] 伊藤・安西：自律移動ロボットのための協調タスクプランニング, 電子情報通信学会論文誌 J75-D-II, Vol.J75-D-II, 2038-2048, 1992。
- [11] 紺田・矢向・安西：マルチスレッドプログラム構成支援ツール MTP の設計と実装, 情処第44回全国大会予稿集, 1992。
- [12] 熊野・山本・小野・安西：機能獲得ロボットの研究, 情処 HI 研資, 1993年5月発表予定。
- [13] Nakauchi, Y., Itoh, Y., Sato, M. and Anzai, Y.: Modelling and implementation of multiagent interface system for computer-supported cooperative work, *Ergonomics*, Vol.35, 565-576, 1992.
- [14] 中内・三由・岡田(豊)・安西：エージェントモデルに基づく協調作業支援環境について, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J75-D-II, 1874-1883, 1992。
- [15] Nakauchi, Y., Okada, T., Yamasaki, N. and Anzai, Y.: A multi-agent interface ar-

- chitecture for human-robot cooperation, *Proc. of 1992 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Nice, 2786-2788, 1992.
- [16] 中内・佐藤(充)・山本・安西: FRECS: 自律移動ロボットのフェイル復帰のためのヒューマンロボット・インタフェースシステム, 日本ソフトウェア科学会第9回大会論文集, 1992.
- [17] Naya,F., Hiraki,K. and Anzai,Y.: Incremental constraint satisfaction for robot task scheduling, *Proc. of the Second International Conference on Automation, Robotics and Computer Vision*, Singapore, RO-9-3-1/5, 1992.
- [18] Ohmori,Y., Nakauchi,Y, Itoh,Y and Anzai,Y.: A task allocation algorithm for multiple mobile robot environments, *Proc. of the Second International Conference on Automation, Robotics and Computer Vision*, RO-12-7-1/5, Singapore, 1992.
- [19] 岡田(孝)・山本・安西: アクティブインタフェースの研究, 情処HI研資, 93-HI-46, 1-8, 1993年1月.
- [20] 佐藤(倫)・開・安西: ロボットとの対話: センサ情報を用いた音声対話システム Linta の設計と実装, 人工知能学会研資, SIG-SLUD-9202-3, 19-26, 1992.
- [21] 菅原・矢向・安西: 自律移動ロボットのためのオペレーティングシステム μ -PULSER の設計と実装, 日本ソフトウェア科学会第9回大会論文集, 1992.
- [22] Winograd, T.: *Understanding Natural Language*, Academic Press, 1972.
- [23] 矢向・安西: 物理的な共有資源のオーナーシップ問題に関する考察, 日本ソフトウェア科学会第8回論文集, 1991.
- [24] 矢向・紺田・飯田・菅原・安西: パーソナルスペースに基づくオーナーシップモデルのマルチロボットへの実装, 日本ソフトウェア科学会第9回論文集, 1992.
- [25] Yakoh,T. and Anzai,Y.: Physical ownership and task reallocation for Multiple Robots with Heterogeneous Goals, To appear in *Proc. of the First International Conference on Intelligent and Cooperative Information Systems*, Amsterdam, 1993.
- [26] Yakoh,T., Iwasawa,T. and Anzai,Y.: MACS: An efficient multicast mechanism for radiopacket communication among multiple mobile robots, To appear in *Proc. of IEEE Pacific Rim Conference on Communication, Computers and Signal Processing*, Victoria, 1993.
- [27] Yakoh,T., Sugawara,T., Akiba,T., Iwasawa,T. and Anzai,Y.: PULSER: A sensitive operating system for open and distributed human-robot-computer interactive systems, *Proc. of IEEE International Workshop on Robot and Human Communication*, 404-409, Tokyo, 1992.
- [28] Yamamoto,Y., Sato,M.T., Hiraki,K., Yamasaki,N. and Anzai,Y.: A request of the robot: An experiment with the human-robot interactive system HuRIS, *Proc. of IEEE International Workshop on Robot and Human Communication*, Tokyo, 1992.
- [29] 山崎・安西: パーソナルロボットのためのアーキテクチャの提案, 日本機械学会ロボティクス/メカトロニクス講演会論文集, 51-56, 1992.