

# 論文の内容の要旨

論文題目 対話行動により成長可能な  
日常生活ロボットのシステム研究

氏名 星野由紀子

本研究では、日常生活ロボットにとって対話行動を通して周囲の環境・人に合わせて成長する機能が重要であるという観点からのシステム構築を行うことを目的としている。この、対話を通じた成長機能を持たせるために日常生活における場面の考察からロボットボディの構成法、インタラクションシステムの構築法、インタラクションプロトコルまで含めた広い意味でのシステム構築を種々のロボットでの実現による実例を伴いながら考察研究を行う。

第1章「序論」では、この観点から日常生活ロボットのシステムを構築するための背景、目的と本論文の全体構成とを述べている。

## 1 日常生活で近くにいるロボット

第2章「日常生活におけるロボットの存在形」では、ロボットのいる日常生活の一コマを題材にとり、人とロボットが日常生活で繰り広げるインタラクションの種類やプロトコルについての考察、ロボットボディを通して気軽に教えるインタラクティブラーニングにおける人とロボットのインタラクションとそのプロトコル、教示する対象の種類のカテゴリ分けを行った。また、必要とする能力をコミュニケーション能力、知識獲得能力、タスク能力のそれぞれを分類を行った。

第3章「対話行動により成長可能なロボット行動システムのデザイン」では、第2章のインタラクションに関する考察を元に、日常生活で一緒にいるロボットに必要な機能をロボットシステムとして実現するためのアプローチ法について述べた。

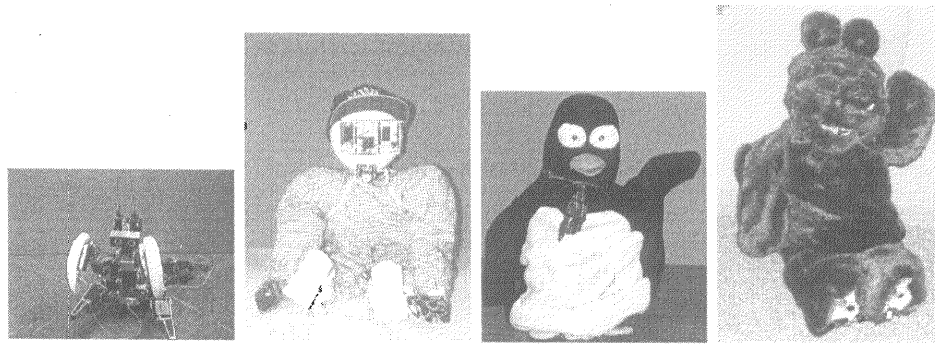


図 1: 開発したロボット群 (左から Premium Igoid Penguin KUMA)

第 2 章であげたインタラクション可能なロボットシステムに必要な機能は、1) 視聴触覚入力を持ちかつ十分な運動能力を有するボディ、2) 多種多様なセンサ処理が可能なロボットシステム、3) 場のコンテキストに基づくインタラクションシステム、4) 拡張可能なロボットの行動記述方式、5) 自然な対話型行動獲得のためのプロトコル、6) センサ情報からの必要なデータ抽出と自分の構造の自己再構築、である。

これを実現するために、まず状況考慮型インタラクションシステムとして 1) 多種多様なセンサ入力デバイスとよく動くボディ、2) 多様な場で適用可能なネットワーク分散型センサ初期処理システム、3) 拡張が容易なモジュール化した行動記述、4) 人とロボットのインタラクションプロトコルの記述法、5) 対話を通して人になじむ機能、を構築し、特に最後の対話を通して人になじむ機能として、1) 人とロボットのインタラクションからの必要情報の収集、2) 必要データの抽出、3) 行動モジュールとインタラクションモジュールへの変換と適したネットワークへの付加、4) 教えられた動きの再利用、ができる自然な対話を通じた行動獲得システムを構築する。

この方針に従い日常生活ロボットのシステムを構築していく。

## 2 多種多様なセンサ入力デバイスと十分な運動性能を有するボディ

人とロボットのインタラクションを実現するためには、まず、人からの働きかけをロボットが知り、かつ、ロボットが反応することができなくてはならない。

第 4 章「多様な対話行動が可能なロボットボディの機能設計と実現」では、多種多様なセンサを持ち、インタラクションの出力も行うことのできるロボットボディを、場面に合わせて 1) 子供と遊べるロボット Premium、2) 全身分布型触覚による密着型インタラクションロボット Igoid、3) 人の存在が認識しこの受け答えができるフレンドリアーティファクト Penguin、4) 視聴触覚を用いたインタラクションと対話を通じた行動獲得を行える KUMA、の 4 種類の複雑度を持つボディとして実現し

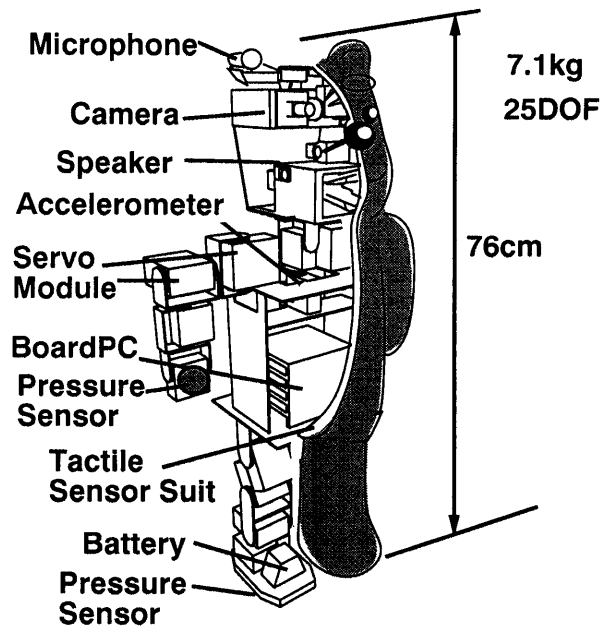


図 2: 全身型ロボット KUMA のハードウェア構成図

た. 図 1 にロボットボディの概観を図 2 に KUMA のハードウェア構成を示す.

脳とボディを分離し, 頭脳部には PC クラスタを, ボディは軽快に動く形で実現するというリモートブレイン方式をどのロボットも採用している.

また, 人の近くにいる時に重要になる全身分布触覚については, ロボットの全身に分布させることのできるセンサデバイスがなかったため, 独自の柔らかいセンサスーツを開発した. 導電性の布を積層することでスイッチ構造を作り, 柔らかく自由な形に成形できるタッチセンサを実現した.

これと体内 LAN を導入し大容量のセンサ情報を取り扱えるようにしたことにより, 視聴触覚や, 体勢感覚といった多くのセンサ入力を得て, 多自由度関節, 音声出力といったロボットの出力を制御することができ, インタラクションに適したロボットボディプロトタイプを実現することができた.

### 3 多様な場に適用できるネットワーク分散型センサ初期処理システム

第 5 章「拡張可能な並列分散型マルチモーダル感覚処理システム」において, ネットワーク分散アーキテクチャである CORBA とモジュール型自律ロボット情報システム BeNet とを併せた BeNet/CORBA というシステムを構築した. このシステムは, Plugin アーキテクチャを適用し, 必要な計算処理を BeNet/CORBA モジュールで実装して必要なモジュールを必要なだけ立ち上げて接続することで, データ構造

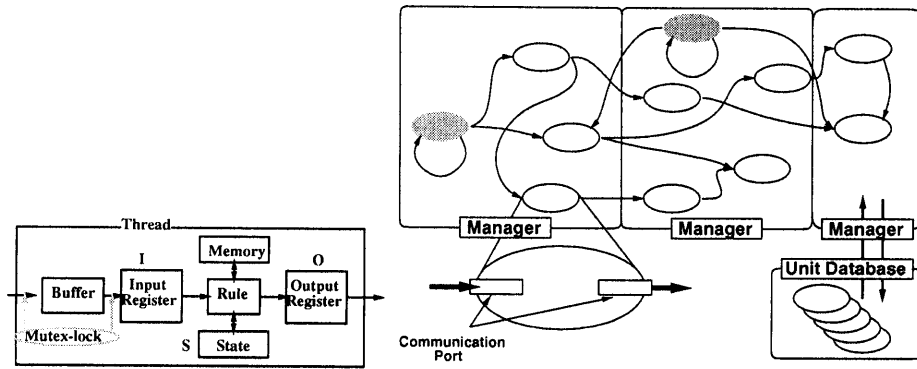


図 3: BeNet/CORBA のユニットと分散ネットワーク概念図

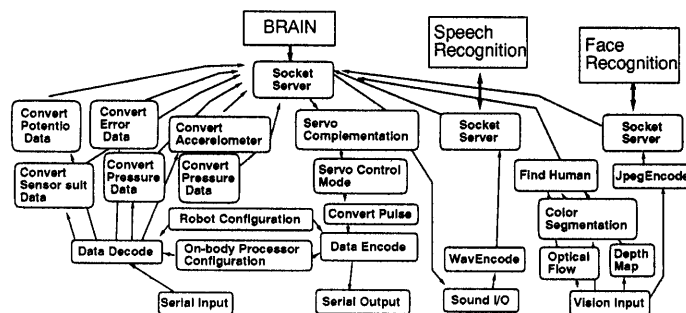


図 4: 全身型ロボット KUMA のセンサ初期処理システム

も周期も異なるデータを一括して取り扱うことのできるシステムとなっている。

これにより多くの計算機パワーを必要とする第4章で述べたロボットの多種類センサ情報を処理することができ、データをネットワークごとにシームレスにやりとりできる機構が実現できる。さらに、バリエーション豊かなロボットボディに対応できるセンサ処理システムとなった。

図3に BeNet/CORBA のモジュールと分散ネットワーク図を図4に BeNet/CORBA を用いた KUMA の初期処理システムをそれぞれ示す。

#### 4 拡張が容易なモジュール化した行動記述と人とロボットのインタラクションプロトコルの記述法

第6章「対話行動記述のためのコンテキスト導入と行動表現」では、モジュール構造をインタラクションプロトコルの記述法とロボットの行動記述法を決め、それぞれ記述法に基づくネットワーク型データベースを活用する行動選択及び行動生成システムを構築した。図5, 6に行動選択・生成プロセスの流れ図を示す。

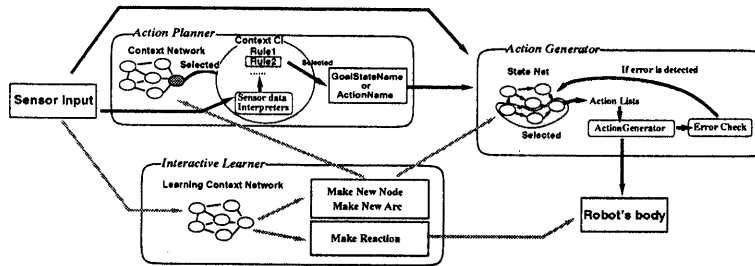


図 5: 状況を考慮した行動選択・生成プロセス

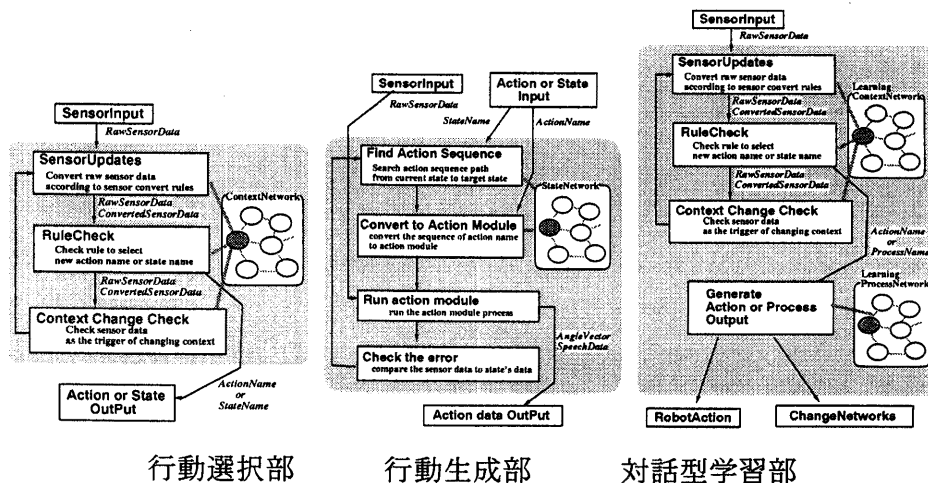


図 6: 各プロセスの流れ図

ContextNet の名付けたインタラクションプロトコルネットワークは、センサ解釈法、行動選択ルール、モジュール遷移ルールの 3 種類のデータを持つモジュールによるネットワーク型データベースとなっている。これにより、場によってセンサ解釈や行動判断基準を変えることができる。

また StateNet と名付けた行動記述は、ロボットの内界センサ情報をノード、ノードとノードをつなぐロボットの行動をアークとするネットワークであり、ロボットのとりうる状態とその状態間を行動として結ぶというデータベースとなっている。

この 2 つのネットワークを持つことにより、場の状況によってセンサ解釈や行動基準がかわることができ、両ネットワークともにモジュール構造であることから次章で述べるインタラクションを通じた行動レパートリを容易に獲得できる。

また、前章と同じく、様々な種類のロボットシステムに対して適用できるように汎用性を高めた。図 7 に KUMA の場合の ContextNet と StateNet とを示す。

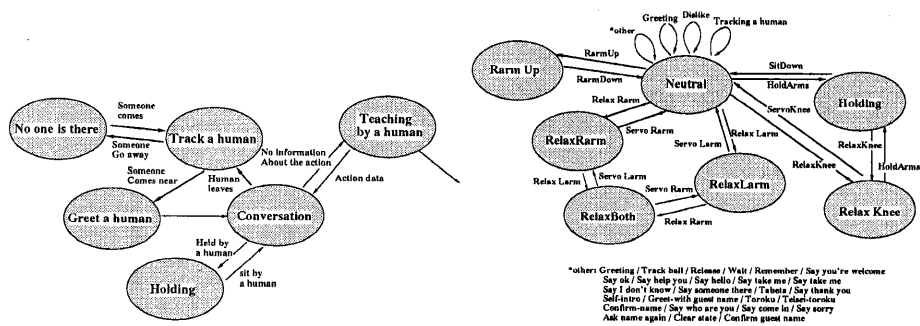


図 7: 全身型ロボット KUMA の対話プロトコルと行動記述ネットワーク

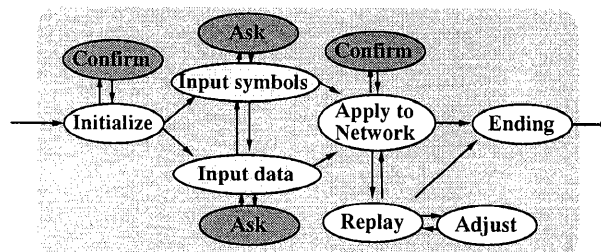


図 8: 対話を通じた行動獲得プロトコル

## 5 対話を通じた行動・情報知識獲得

第 7 章「対話型学習行動の発生機構と対話のプロトコル」において、インタラクションを通して行動獲得するために必要な機能について考察し、それをモジュールに分類すると同時に行動獲得のためのインタラクションプロトコルを組み立て、実際にモジュールとインタラクションプロトコルを実装した。その際、第 6 章で述べたインタラクションプロトコル記述法に即して LearningContextNet を実装し、対話をしながらロボットの行動記述ネットワーク及びインタラクションプロトコルに新しい行動データを付け加えるシステムを実現した。

この章で、人からの自然な感覚チャネルを通じた対話を通じた行動獲得の際のインタラクションプロトコルの代表例を取り出し、必要なセンサデータの抽出法、データのネットワークへの追加法を述べ、テーブルルックアップ方式ではなく、ロボットが自分の行動を組み立てるのに使える形で行動を増やしていくことを実現した。触ったり音声で伝えることによって直感的にわかりやすい形で人から指示を与えられるようにし、また、ロボット側からの情報収集や確認もジェスチャや言葉を通して行う。そして、得られたセンサデータは、人から与えられた言葉によって行動を起こすルールモジュールを現在の ContextNet モジュールに書き加える形でレパートリとして増やし、データ自体は StateNet 上のセンサ空間距離の近い位置に加えられてい

く、図 8 に対話による行動獲得の状態遷移を示す。

これにより、もしロボット自身に全てを作りこまなくても人が望んだときに手軽に新しい動きを追加していくことができるようになった。

## 6 人とロボットのインタラクション実験による実証

第 8 章「日常生活ロボットの対話行動実験とシステム表現」では、第 4 章から 7 章までで述べてきたロボットのハードウェア、基本システム、インタラクション記述及び行動記述を用いて、ハードウェアのところでも述べた 4 種類のロボットに 1 種類システムを加えて 5 種類の違った場でのインタラクションシステムを実際に構成し、人とロボットのインタラクション実験を行うことでシステムの有用性を検証した。

まず、子供と遊ぶという場面をかまきり型ロボット Premium で実現した。ゲーム、操縦、自律の 3 つのモードに関して多彩な動きをすることができる。

次に密着型インタラクションを全身分布型触覚を搭載した子供サイズのロボット Igoid を用いて行った。抱きかかえや、触ることによる注意喚起をすることができた。

さらに卓上型フレンドリアーティファクト Penguin を用いて部屋の定位置から人を観察し特定の人をいた時間と伝言なども届けられる留守番という場面を実現した。視聴触覚を用いて複数の状況にまたがるインタラクションが可能になった。図 9 に実験の様子を示す。

また、視覚と聴覚を持つ受け付けシステムでは、ドアの入り口に設置し、メンバーかどうかによって対応を変える。

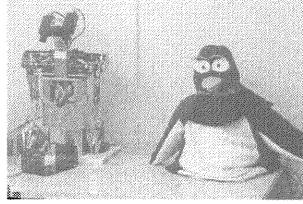
さらに、視聴触覚を持つ全身型ロボット KUMA を用いて、他のロボットで行ってきた視聴触覚対話行動に加えて、対話を通じた行動獲得実験を行った。人からの依頼を聞いた時に自分の知らない行動であった時に対話的行動獲得状態へと移り、プロトコルにそってインタラクションが展開される。図 10 に実験の様子を示す。これにより、対話を通してロボットが新しい行動を獲得したことを示せた。

この 5 例により、2 章であげた日常生活での行動のうち、コミュニケーションは人がわかり、人からの働きかけを理解しロボット側も適切な反応を返し、さらにアクションに経験を使えることが示せた。また、行動・情報知識獲得に関しては、その場だけの教示からトリガを持った行動として記憶、インデクスを持った情報として記憶できることが示せた。

これにより、自然なインタラクションを行うためのシステム、また、さらに行動を獲得するシステムとして、人と視聴触覚を通して直接的な意思疎通を行い、行動・動作も直接的な対話によって増やすことができることが示せた。

そして第 9 章 結論と考察で実システムで日常生活ロボットの対話による成長可能性がどこまで実現できたのか、ということの評価し、本システムの有効性とさらに日常生活ロボットの発展に向けた今後の課題について考察を行った。

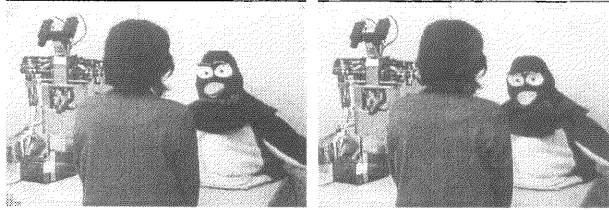
no human: 誰もいないとき



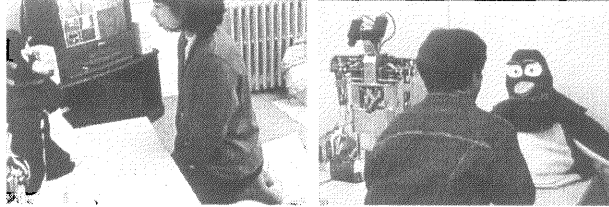
far human: 遠くに人がいるとき



first contact: 近くに人がやってきたとき



conversation: 挨拶, 往來を覚えて誰がいついたかを答える



conversation: おじぎをしてもらう conversation: 自己紹介の依頼

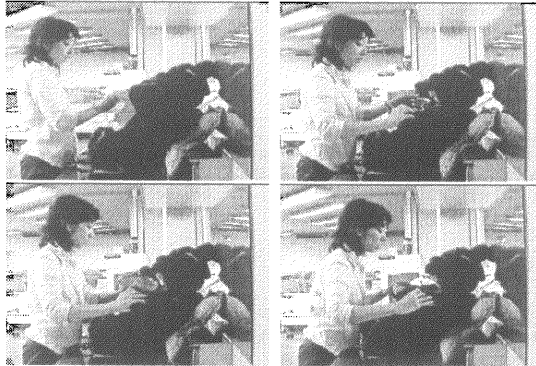


図 9: Penguin におけるインタラクション実験





「粉ふるいしてくれるかな.」 『それってなに?』  
「知らないんだ……これから教えるね.」 『はい.』



手で KUMA の腕を持つとくまが動きに追従する



手で KUMA の腕を持つとくまが動きに追従する



「こうやって」「こうやって」と覚えてほしい姿勢ポイントを声で指示



「これをくりかえして」というと粉ふるいの動作を行う

図 10: KUMA における対話による行動獲得実験