

実世界情報システムプロジェクト～ヒューマンロボット研究グループ～ 環境型物理支援を目指したロボットルームの構築

佐藤 知正、森 武俊

情報理工学系研究科知能機械情報学専攻

概要

本報告では、人をさりげなく見守っており、必要な時に物理的支援を与えることができる環境型の物理支援環境として構築しているロボットルームについて、その基本的考え方と年次計画について述べる。また平成 15年度に提案した環境要素統合のためのハイパーロボットの考え方と、環境型の物理支援環境の要素として構築された天井ロボット、および、能動的に高さを調整できるロボティックキッチンの個人/行動適合機能について報告する。

1 はじめに

本研究の目的は、人をさりげなく見守っており、必要な時に物理的支援を与えることができる環境型物理支援ロボットルームの構築を通じ、人間と知能機械システムの新しいインタラクションと、それを可能にする科学・技術を明らかにすることにある。本年度は、環境型ロボットシステムについてその特徴を活かした物理的支援を可能とするロボットルームの位置付けと、その要素を統合するハイパーロボットという考え方を提案する。また、その基本的なロボット要素として天井ロボットを構築したのでそれを紹介する。さらに、環境型物理支援ロボットルームが具備すべき機能として個人/行動適合機能の実現にとりこんでいるが、その具体例として実現されたロボティックキッチンの高さを個人あるいはその人の行動に応じて調節するアルゴリズムを報告する。

2. 環境型ロボットシステム

2-1 基本概念

人にサービスを提供するシステムとして、人間をとりまく環境がロボットとなっている環境型ロボットシステムの構築をめざし、その具体例としてさりげなく人をみまもり、必要な時に適切な支援をする部屋である環

境型ロボットシステム“ロボットルーム”の研究にとりこんでいる。このロボットルームは、1992,3 年頃に構想され現在にいたるまで筆者らの研究室で研究が進められている新しい人間ロボット共棲システムの試みである。環境型ロボットシステムにおいて、その特徴は、1) 空間システムである、2) 人間共棲システムである、3) 分散システムである点に整理される。また、部屋をロボット化するアプローチのメリットは以下の点にある。1) 部屋は本来的に人間中心の場であり、人間中心技術が求められる。2) 部屋は人がサービスを受ける場であり、研究開発のニーズが明快である。3) 部屋は 3次元空間であるが人は基本的には2次元にしか利用しておらずその間にシステムを作りこみが容易である。4) 部屋は全方位から人とインタラクション可能であり、人に向かうシステム構築に適している。5) 部屋では人とシステムの空間共有が可能であり、人とロボットを同時に計測したり、人とロボットに対し同時インタラクションが可能である。

とくに、物理支援をロボットに実施させようとする、アクチュエーションデバイスを空間に分散配置しておき、支援内容に応じて適切なセンシングおよびアクチュエーションデバイスを選択して利用することが有効であるとの考え方にたって、これまで、部屋という空間にマッチングのとれる様々なアクチュエーションデバイスの構築を試みてきた。また、人が必要とする支援内容は、その人によって、また同じ人においても時期によって変化するとの考え方から、アクチュエーションデバイスの個人・行動適合機能の実現研究を進めてきた。

2-2 年次展開

本研究プロジェクトの年次展開を整理すると以下

のようになる。

平成 14 年度:実世界情報学研究のプラットフォームとして利用可能なロボットデバイスの構築。具体的には、人の必要に応じて明るさや位置を調節できる照明、また食事の状況に応じて動いてくれるお皿の実現をめざして、ロボティク照明、ロボティクソーサのハードウェアを構築した。

平成 15 年度:利用可能なロボット要素の拡大、個人行動適合機能の実現。実世界情報システムを構成する要素である人とロボット要素およびエージェントに対応した情報環境の仮想実現。

平成 16 年度:利用可能なロボット要素の拡大、その個人行動適合機能の強化。環境埋め込み型人間・エージェント統合情報処理モデルの構築。

平成 17 年度:ユビキタス情報システムとヒューマノイドおよび人間の融合システム化。人間計測と理解に基づく環境埋込型対話知能情報処理モデル構築。

平成 18 年度:実世界情報環境の完成。工学部2号館等の建物内研究インフラとしての設置と実証実験。

3. ハイパーロボットの提案

5-2 ハイパーロボット

様々な人間支援ロボット要素であるロボットデバイスが人を取り囲んでおり、人に支援を与える状況が整ってきて、多数のデバイスが人に対して個別に対応することになると、その結果複数のデバイスが、お互いに矛盾をふくむ対応のある人に実施してくるという問題の発生が考えられる。このような問題を解決するために、ハイパーロボットの概念を提案する。ハイパーロボットは、ある人に常に付き添いその人に統一的な対応をするようにロボットルームのロボット要素の働きを調節するソフトウェアエージェントである。ハイパーロボットは、ロボットにタグをつけるロボットという役割をもつ。その具体的な姿は、例えば次のようになる。例えば、ハイパーロボット

はある人の携帯電話の中などに存在し、その人と常に行動をともしている。そして、その人がどのようなサービスを求めているのかと、その人の周囲にあるその人にサービス提供可能なロボットやロボット要素をみはっている。この2つの整合性をとりつつ、その人が必要としているサービスを最適なロボットデバイスによって実現するように命令する。結果として、ハイパーロボットは、ある時は秘書として、ある時は召使として、ある時は友人として、ある時はペットとしてその人にサービスすることになる。その際に、そのようなサービスを実際に実施する主体としては、ヒューマノイドロボットや環境型ロボット、情報家電や VR システムなどの中からその時の状況に応じて利用可能なもの、複数ある場合には最適なものに命令を発することを将来的には考える。

4. 天井ロボットの構築

本章では、第3章で提案したハイパーロボットの働き手となる環境型ロボットルームのアクチュエータ（ロボット要素）の一つとなる天井ロボットについて、その概要を述べる。

4.1 天井ロボットプラットフォームのコンセプト
目標とするプラットフォームのイメージを Fig.1 に示す。

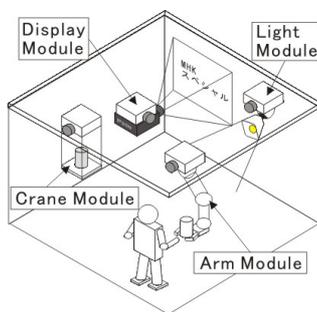


Fig. 1 プラットフォームのコンセプトスケッチ

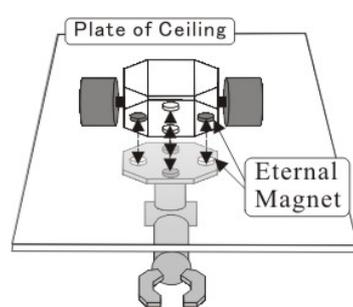


Fig. 2 永久磁石誘導型吸着法

この図では、天井面を多種の動作ロボットが共

存・移動し、必要時に天井下面よりアクチュエータを伸ばすことで支援を行うということが示されている。実際には、天井上面を走行する移動ロボットと、これと電磁的に結合されて天井下で人とインタラクションする部分をもつロボットとして実現される。このようなロボットを実現するためには、以下で説明する「天井吸着方法」と「複数ロボットの同時位置制御」が重要となる。

4.2 天井吸着手法

まず天井吸着方法の必要条件を示す。

- ロボットが天井を移動するのに実装面・安全面から十分な吸着力を出せること
 - ロボットが2次元的に自由に動作可能なこと
 - 天井材料は鉄材など特別なものでなく、また天井の加工・施工も比較的容易であること
 - エネルギー供給なしでも吸着を持続できること
- 以上の4条件を満たす手法として”永久磁石誘導型吸着法”を考案した。Fig.2 にその概要を示す。

この方法は天井面を挟んで2つの永久磁石を対向させ、上側の磁石を移動ロボットによって移動させると磁路を保持しようとする下の磁石およびそれに吊り下がるアクチュエーションロボットが誘導されるというものである。

4.3 複数ロボットの同時位置制御

今回は各ロボット行動範囲拡張の容易さと自律性を優先して、各ロボットがセンサを実装し自分の位置を自律的に手に入れるスレーブ自律方式を採用した。そしてロボット位置計測の目的で、座標データを書き込んだバーコードを動作領域中に散在させることとした。

4.3 プラットフォームの全体構成

本プラットフォームは、(1)ロボットが天井面に吸着するための**吸着ユニット**、(2)天井上面で2次元的に走行する**移動ユニット**、(3)天井下面で吸着ユニットに吊り下がり、下部に様々なアクチュエータを連結させる**リンクアップユニット**、(4)天井

下面にて人間にアクセスし支援を行う**アクチュエーションユニット**、(5)全体の情報統合・制御を行う**コントロールネットワーク**、(6)**ロボット動作用天井**から構成される。以降でそれぞれの必要機能とその実装について述べる。

4.3 プラットフォームの実装

4.3.1 吸着ユニットの実装

吸着ユニットは永久磁石が内蔵された複数の磁石モジュールのペアから構成される。実装は基本機能およびシミュレータの精度を確認する1号機、実際にロボットへの搭載を考えた2号機の2フェーズで行われた。

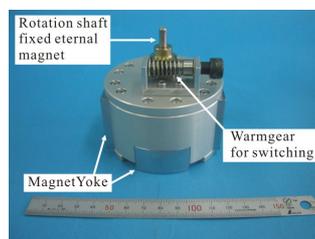


Fig. 3 磁石モジュール1号機

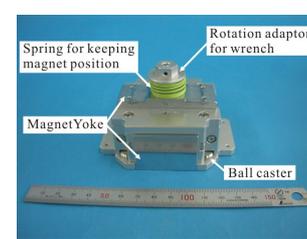


Fig. 4 磁石モジュール2号機

1号機を Fig.3 に示す。永久磁石はネオジウム鉄ボロン系の磁石を用いた。また一般のマグネットチャックと同様に磁石を回転させて磁路のループ・非ループを切り替えて吸着の ON-OFF がスイッチングできるようになっている。1号機ではこの回転を補助するために上面にウォームギアが実装されている。測定の結果 10(mm)のギャップで 4.2(kgf)ほどの吸着力を示すことが判明し、シミュレータの誤差は 30%程度であることが分かった。次に2号機の作成へと移行した。まず吸着力の仕様および機能を次のように規定した。(1)10(mm)のギャップで 7.5(kgf)の吸着力、(2)「吸着—保持—脱着」の3段階の切替機構、(3)天井面と一定の間隔を保持し、摩擦を小さくする。吸着力は4つのモジュールで 30(kg)の荷重を支えられるということから設定した。この仕様に沿うように設計・製作した磁石モジュール2号機の外観を Fig.4 に、また吸着力測定の結

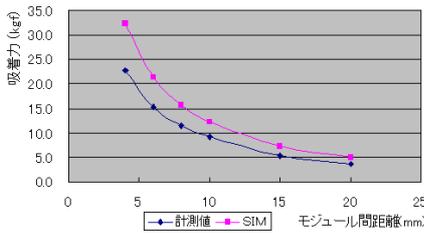


Fig. 5 磁石モジュール2号機の吸着力とギャップの関係

果を Fig.5 に示す。シミュレーションと実測値との差は1号機の時とほぼ同じ30%程度であるが、要求される吸着力を満たしていることが判明した。

4.3.2 移動ユニットの実装



Fig. 6 移動ユニットの外観

移動ユニットは"移動機能"と"自己位置認識機能"を備えている。移動機能は2駆動輪2キャスタ式機構により実現し、自己位置認識機能はマーカとして2次元バーコードマトリクスを動作平面に敷き詰め、リーダを車体に搭載することによって実現した。作成した移動ユニットを Fig.6 に示す。なお移動ユニットの車体サイズは340×320×150 (mm)、重量は10 (kg)、最大速度は125(mm/sec)となっている。

移動ユニットは2駆動輪2キャスタ式機構により実現し、自己位置認識機能はマーカとして2次元バーコードマトリクスを動作平面に敷き詰め、リーダを車体に搭載することによって実現した。作成した移動ユニットを Fig.6 に示す。なお移動ユニットの車体サイズは340×320×150 (mm)、重量は10 (kg)、最大速度は125(mm/sec)となっている。

4.3.3 リンクアップユニットの実装

Fig. 7 リンクアップユニットの外観



リンクアップユニットはアクチュエーションユニットとの"連結機能"と吸着ユニットへの"過負荷防止機能"を備える。連結機能は規定サイズの平板をスライダに挿入しプランジャで固定するスライド機構により実現し、過負荷防止機能はスライド機構部を定荷重バネの下に吊り下げることによって、過負荷が加わった場合にはバネが下方に伸びて吸着ユニ

ットへの負荷が一定以下になるぶら下がり機構



によって実現した。実装したリンクアップユニットの様子を Fig.7 に示す。

4.3.4 アクチュエーションユニットの実装

Fig. 8 クレーンユニットの外観

今回はアクチュエーションユニットとして一番シンプルなクレーンユニットを実装することとした。このクレーンユニットには天井面より下降し人間にアクセスするための"伸縮機能"と周囲の状態をモニタリングするための"環境認識機能"で構成される。伸縮機能はスチールベルトとプーリによる巻上げの巻上げ部を薄肉のステンレスパイプで覆ったタケノコ型伸縮機構により実現し、環境認識機能は超音波距離センサによって実現した。実装したクレーンユニットを Fig.8 に示す。

4.3.5 コントロールネットワークの実装

コントロールネットワークの全体構成を Fig.9 に示す。今回実装したコンポーネントは移動ユニット用モータコントローラ、クレーンユニットコントローラおよび移動ユニット上の統合PC用ソフトウェアである。

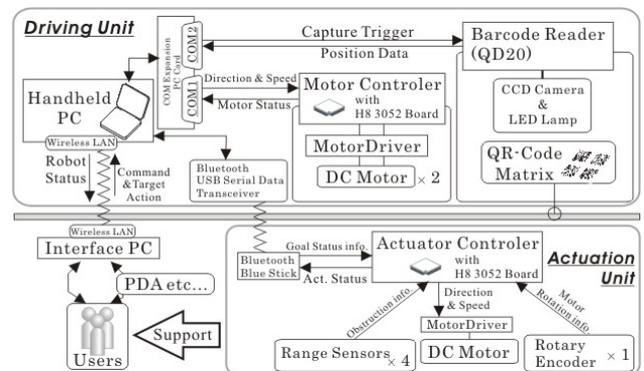


Fig. 9 コントロールネットワークの全体構成

4.3.6 ロボット動作用天井の実装

ロボット動作用天井は強化ガラス、2次元コードの印刷されたシート、表面保護用ポリカーボネートの3層の板を並べ 2m×2m の実験用動作領域を作成した。

4.4 プラットフォームの性能評価実験と考察

4.4.1 吸着ユニットの基本性能確認

リンクアップユニットの下方に荷重を加えたところ全荷重が 31(kg)で落下が起こった、これは磁石モジュールの吸着力総和 40(kg)より 2×3 割小さいが、吸着ユニット想定荷重である 30(kg)を満たしている。過負荷防止機能も設計通り動作し吸着ユニットへの過負荷が防げることが確認された。

4.4.2 永久磁石誘導法の誘導誤差評価

天井上面を移動ユニットを走行させ、リンクアップユニットを誘導させると振幅 1(mm)以内のスティックスリップ現象による動的誤差はあるも、静的な位置のずれはほとんど確認されなかった。

4.4.3 2次元コードマトリクスの自己位置認識性能評価

移動ロボットをある地点で停止させその位置での推定位置・角度のばらつきを調べたところ、X方向、Y方向の標準偏差が 0.011(mm),0.035(mm)、角度の標準偏差が 0.11(度)であった。CCDの解像度の都合上、潜在的には 0.055(mm)の誤差が含まれているので本機能が十分ロバストであることが確認された。

4.4.4 クレーンユニットの動作確認

クレーンユニットは設計仕様通り 2,000(mm)のストロークを?(sec)ほどで伸縮を行えることを確認した。また高さの位置決め誤差は 2(mm)ほどであった。

5. ロボティックキッチンの個人行動適合機能の実現

ロボットルームにおける、個人の行動情報に基づいて物理的な人間支援を行う機能「個人行動適合機能」の一例として、「ロボティックキッチン」を実現した。以下にその概要を述べる。

5-1 ロボティックキッチンが行う個人行動適合

本システム「ロボティックキッチン」は、キッチンで調理を行っているユーザが「使いやすい」と感じるような作業面高さを与えることで、調理行動における個人行動適合の実現を目指した。システムの概要を Fig.10に示す。

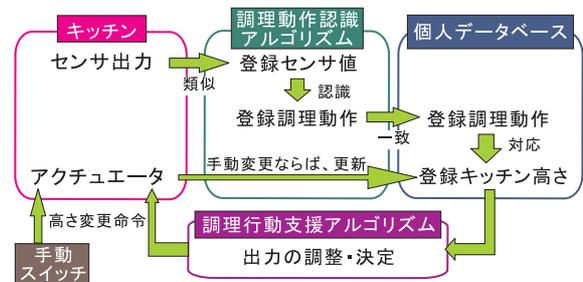


Fig.10:ロボティックキッチンシステムフロー

システム内には個人行動適合を実現するためのアルゴリズムが組み込まれており、それは調理動作認識アルゴリズムと調理行動支援アルゴリズムから成っている。また、あらかじめ収集しておいた調理者のデータを元に、「洗う」「炒める」といった調理行動における代表的な作業(調理動作)と、各動作について調理者がもっとも「使いやすい」と感じる調理台高さとを関連付けた個人データベースが組み入れられている。

調理者が調理を開始すると、まず調理動作認識アルゴリズムがキッチンに設置されたセンサの出力から、使用者の行動が当てはまっているか否かを認識する。そしてあらかじめ使用者ごとに作成しておいた個人データベースから、認識された調理動作に対応したキッチン高さが引き出される。その上で調理行動支援アルゴリズムが最終的な調整を加え、支援内容(与える作業面高さ)を決定する。各アルゴリズムの詳細

については、後で述べる。

ここでもし、使用者が自動で変更された高さを気に入らない場合は、キッチンに付属したスイッチの操作により手動で作業面高さを変更することができる。その更新内容はデータベースに保存され、後の行動支援に反映される。

5-2 個人行動適合実現のためのハードウェア

ロボティックキッチンのハードウェア部は、市販のシステムキッチンに数々のセンサ、および作業面高さを変更するためのアクチュエータを装備することにより作成した。ハードウェアの外観を Fig.11 に、備え付けたセンサ・アクチュエータの一覧を Fig.12 に示す。



Fig.11 ロボティックキッチンハードウェア部外観

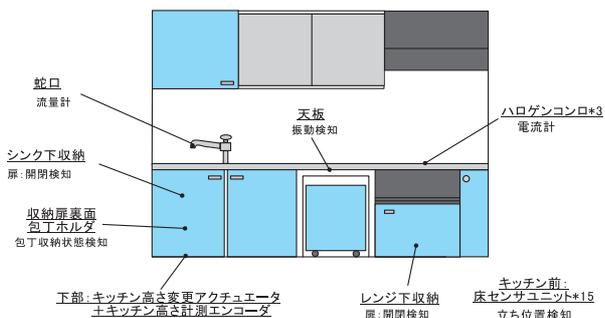


Fig.12:センサ・アクチュエータ一覧

これらの機器が獲得した情報は、通信インターフェース、もしくはサーバPCを介し、LAN経由で外部PCに送信される。アルゴリズムおよびデータベースの処理は、この外部PCで行われることになる。

5-3 個人行動適合アルゴリズム

個人行動適合機能を実現するために構築したアルゴリズム、調理動作認識アルゴリズムおよび調理行

動支援アルゴリズムについて説明する。

調理動作認識アルゴリズムの内部では、各調理動作について作成された固有の認識器が並列に動いている。一つ一つの認識器は、センサ、そのセンサが示す認識条件、重み値という三種のパラメータを、その調理動作に関連するセンサの数だけ持っている。そしてセンサデータが認識条件を満たすような値を示していれば対応した重み値、そうでなければ0を返し、その総和が100を超えた時点でその動作を「認識」する。例として「洗う」動作認識器のパラメータを Table 1に、「洗う」動作の認識過程をFig.13に示す。

Table 1:「洗う」動作認識器のパラメータ

センサ	認識条件	重み値
水道（現在）	放水	40
水道（一周前）	放水	40
立ち位置検知（現在）	シンク前	30
立ち位置検知（一周前）	シンク前	30

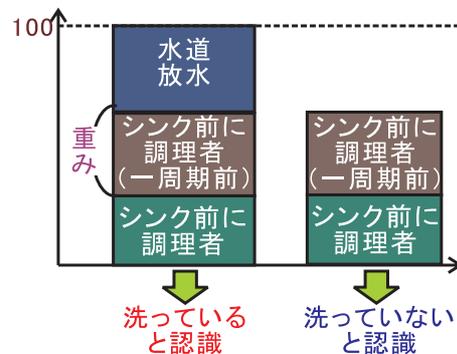


Fig.13:「洗う」動作の認識過程

各認識器は、このような振る舞いを周期ごとに行う。ただしここでは、「調理行動」という限られた枠の中では1sec周期で見ても人の動作変化を十分計測できるという予想に基づき、一周期をおおよそ1secと設定している。

一方の調理行動支援アルゴリズムは、二つの役割を担っている。

一つは認識された調理動作から支援対象となる動作の一つを選択する、という役割である。これは認識動

作の中から、人が最も支援を要求するであろう「人が直接携わっている動作」を見つけることで実現した。

もう一つの役割は、過剰なアクチュエーションの調整である。アルゴリズムは特定の状況が発生した場合、その時点におけるアクチュエーションは過剰であると判断し、アクチュエーションを行わない。これは「作業面高さの変更」という支援形態において、過剰なアクチュエーションは使用者の「使いやすさ」を奪い、システムの安全性を低下させる可能性があるためである。

5-4 システム評価実験

何人かの被験者に構築した「ロボティックキッチンシステム」を使用して実際に調理作業を行ってもらい、システムの評価を行った。

その結果、まだ改善の余地は残っているものの、センサの出力データを用いることで人の調理動作認識が可能となること、また個人データベースに基づいた作業面高さの自動変更により、使用者に合わせて「使いやすさ」を与えられることが分かった。Table 2に各調理動作の認識におけるシステムの正答率、Fig.14に被験者に対して行った評価アンケートの結果の一部を示す。

Table 2 各調理動作に対する認識正答率

調理動作	認識正答率 (%)	標準偏差
洗う	97	3.3
切る	34	16
炒める	97	3.0
煮る	94	4.6
天板作業	93	4.0
まな板作業	91	4.3
盛り付け	54	29
棚から取り出す	97	6.6
移動	93	7.8

「通常のキッチンと比較して使いやすさは？」

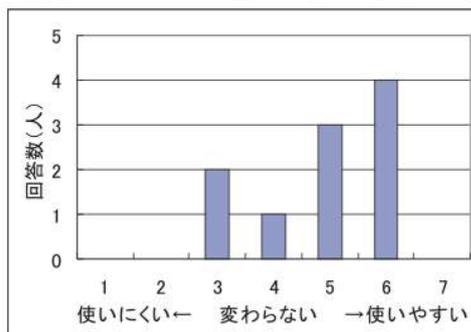


Fig.9:被験者より得られたアンケート結果(一部)

5. おわりに

人をさりげなく見守って必要な時に物理支援を与える環境型物理支援ロボットルームの構築について、その基本的な考え方と統合概念としてのハイパーロボットを年次展開とともに示した。また、本年度にロボット要素として構築された天井ロボットについてその基本的な考え方、必要機能と実現機構とシステムを述べ、また高さを調節できるロボティックキッチンで実現された個人行動適合機能について述べた。ロボット要素の強化とともに、ハイパーロボットとしての統合、それを通じた、新しいロボットと人間とのかかわりの追求がこれからの課題である。