

情報通信技術の急展開を背景に研究が進められている,人の日常生活を支援するヒューマンフレンドリーな機械システムについて,その在り方と将来展開を述べる。具体例として,東京大学で実現された“ロボティックルーム”を紹介しながら,この試みが従来の人間機械系の限界を乗り越える個人機械系技術を目指したものであること,更に,この個人に適合した機械を作り出す行動蓄積とその活用技術はこれからの製品の差別化に重要な役割を果たすだけでなく,パーソナルコンテンツ産業とでも呼べる産業を創成する可能性のあることを述べる。

This paper presents the state of the art and future directions of a human-friendly intelligent machine system that supports people's daily life based on information technology. The "robotic room" research trials conducted by the University of Tokyo are introduced, the aims of which are to create new technology based on behavior accumulation and its utilization, and to realize a "personal-machine" system instead of the conventional human-machine system. This technology will enable not only the realization of personally customized machines but also the generation of new applications fields in the "personal contents industry."

1 まえがき

“体験とその内省”は,人間社会において重要な役割を果たしている。年寄りは,様々な経験行動を体験として蓄積しそれを内省することで,この種の経験のない若者には考えもつかない戦略的な行動が計画できる。もし,人の体験行動を計算機によって記録し,検索することができるになれば,人のそれまでの経験を提示することでその人の判断を支援する,人の行動履歴に沿った形のその人に適合した物理支援サービスが提供できる,行動する人間のデータベース化やモデリングなど人間科学に貢献できる,など幅広い応用が開ける。

一方,昨今の情報通信技術の革命的とも言える急展開は,大多数の人をネットワークで結合することを可能としつつある。携帯電話やマネーカードが人の行動のセンサであると位置づけると,多くの人の行動を常時計測し蓄積することが可能になりつつある。また,メモリ容量の増大並びに安価化は,相当膨大な情報量であっても,これを蓄積することを可能にしている。

ここでは,このような情報処理の高度化とネットワーク技術の急展開を背景に,生活空間で人の行動を蓄積し,人の日常生活を支援するヒューマンフレンドリーな機械システムを取り上げ,その在り方と将来展開について述べる。具体的には,まず,そのような機械システムの具体例として,東京大学の佐藤・森研究室で実現された人間共棲(きょうせい)ロボットシステムである“ロボティックルーム1(ロボティック病室)”と“ロボティックルーム2(ワンルームマンション型)”を取

り上げ,そのねらいと実現形を紹介する。更に,その延長線上で構想されている“ロボティックルーム3”を展望し,これらで目指しているパーソナルコンテンツに基づいた個人適合技術が,これからの製品の差別化に重要な役割を果たすこと,また,それが従来の人間機械系を超える個人機械系技術として展開すること,更にそれは,ロボティクスから見た場合は,経験ベースロボティクスとして位置づけられることを述べる。

2 ロボティックルーム1(ロボティック病室)

2.1 ねらいとイメージ(環境型ロボット)

ロボティックルーム1は,人にできないことをするロボットを念頭に,例えば,病室で落としたりリモコンを拾って持ってきてくれるといった,看護さんをお願いするにはあまりに簡単すぎて申しわけないたくいの下支え作業を,不満を言わずに実施してくれるロボットシステムとして,また一晩中の寝ずのモニタリングなどのような24時間作業を実施してくれるロボットシステムとして構想された⁽¹⁾。

ロボティックルームのイメージを図1に示す。ロボティックルームでは,ロボットシステムの実現形態として,部屋そのものがロボットであり,その部屋の中で人がいつも見守られて必要な支援を受ける環境型のシステムを採用している。

部屋をロボットにしようと考えた理由は,部屋は人がサービスを受けるための空間であり,人間中心の技術開発の方向性が明確に見え,かつ,確実なニーズがそこに存在すること,人の全方位方向からの観察が可能であること,

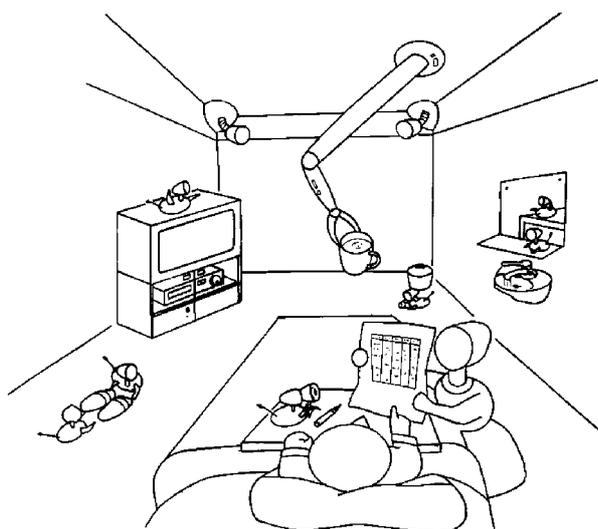


図1. ロボティックルームのイメージ 部屋全体が人を見守り、必要ときに支援する。
Conceptual image of robotic room

テレビ(TV)カメラやアームなどのセンサ、アクチュエータを人を妨害しない空間に埋め込んだり、配線を壁などの背後を利用して引き回せるなど実現が容易であること、などであった。これは、機械は機械らしく、ロボットの役割は人とのインタフェースであるとの基本的スタンスからの帰結である。

2.2 研究課題のポイント(行動メディア)

ロボティックルーム1における研究の中心は、患者とシステムの意思疎通にキーボードやマウスを使うのではなく、行動を介してこれを実現する点(行動メディアの研究)に置かれた。人の行動からその意図を理解する“行動理解の研究”、システムの状態をロボット行動によって表現する“行動表現の研究”、それらの相互作用である“行動相互作用の研究”が実施された。それまでのロボット研究においては、行動は作業のための行動が研究されてきており、意思疎通のための行動、行動メディアという新しい領域を開拓することを目指したのである。

2.3 実現された機能

1997年11月に実現されたロボティックルーム1の写真を図2に示す。行動理解の研究では、TVカメラでベッドに寝ている患者の呼吸をオプティカルフロー処理によってモニタリングしたり²⁾、床センサや視覚センサの協調によって人を追跡したり³⁾、行動相互作用の研究として、指でさされたコーヒー缶を推定しそれをロングリーチマニピュレータが持ってきてくれたり⁴⁾、行動表現の研究においては、システムの正常な作動状況を表示するためのペットロボット⁵⁾などが実現された。

2.4 ロボティックルーム1の結論

ロボティックルーム1の実現を通じて、部屋そのものをロボットにするというアイデアは、一見実際の応用とはかけ離



図2. 実現されたロボティックルーム1(ロボティック病室) 患者を支援してくれる病室としてロボティックルームが実現された。
Realized robotic room 1

れたとついな考えのように思えたが、実はそうではないことがわかった。例えば、ベッドユニットとかキッチンユニットのように、ロボティックルームを構成する要素をユニットとして実用化することは近い将来可能であるし、また、地方自治体がブレハブあるいはトレーラ様式のロボティック病室を用意しておき、農家のお年寄りが必要となった時点でそれをレンタルしたりできるようにすれば、実際に社会に入る可能性が高いと考えるに至った。また、病院の近くに存在するホテルを改造した簡易病室としてのロボティック病室は、医療費を安くするうえで重要な方向性であるとの認識を持った。

3 ロボティックルーム2

3.1 ねらい(行動蓄積)

ロボティックルーム1で実現できたことは、部屋の中の様々なもの(家具や置物)にセンサやアクチュエータを組み込むことによって環境型のネットワークロボットシステムが作れ、それによれば呼吸の監視や物を取ってくる作業などのようにその場の支援が可能になるということであった。しかしながら、実際の病院では、看護婦さんや付添いの人は、その場の判断に基づいた支援だけでなく、患者の過去の履歴をも勘案した支援も実施している。このように、時間軸をも含めた支援が求められており、そのような支援を実現するために、行動蓄積機能を備えたロボティックルーム2の研究に取りかかることにした。

行動蓄積：伊勢丹デパートが紳士物の売れ方を、伊勢丹カードによって調査したら、ある紳士物の次に特定の紳士物が売れることを見だし、これまで異なったフロアで売られていたそれらの商品を同じ階に集めたら、売上げが伸びたという記事があった。ここで留意すべき点は、伊勢丹カ

ードが人間の行動計測センサに使えること、人間の行動履歴を蓄積すれば、それをしかるべき人に見せるだけで、後で役にたつことを示している点である。人において体験と内省の重要性は、1章でも述べた。このように、人の行動を見ていてその行動を覚え、記憶した行動情報を用いてその人が必要とするときに必要な情報支援を提供する機械システムとして、ロボティックルーム2が構想された。

3.2 実現されたもの(センシングルームによる生活要約)

ロボティックルーム2は、図3に示すようにワンルームマンションタイプの環境型センシングシステムとして実現された。この部屋においては、ベッドやいす、テーブルや家具などに圧力センサやスイッチセンサが埋め込まれ、天井に設置されたTVカメラからの映像とともに、その中で生活する人の日常行動情報を計測・記録できるようになっている。現在のところ、最長で5日間の日常生活行動計測とデータの蓄積が実現されている。

人間計測： 人間は、生理的存在であるとともに、物理的



図3. 実現されたロボティックルーム2 ワンルームマンションタイプの多数のセンサを分散配置した、シームレスなセンシング空間としてロボティックルーム2が実現された。

Realized robotic room 2

かつ心理的存在である。ロボティックルーム2では、人間の生理、物理、心理計測を出発点として研究が進められた。

人間の生理計測では、圧力センサを敷き詰めたベッドによって、寝ている人の体のねじれぐあいや手足のあげた状況なども推測できるようになるとともに、その人の呼吸や脈拍も同時に計測できるようになった⁽⁶⁾。人間の心理計測では、ペットロボットの表現行動が人の心理に与える影響が計測・評価され、その結果、ロボットの喜怒哀楽を表現する踊りに含まれる要素が、バレエダンスの領域で提唱されてきたラバンやランプのシェーブやエフォートと呼ばれる六つのパラメータ群により、直行性よく分解されることがわかった⁽⁷⁾。これらのパラメータにより、感情を表現できるロボット動作を合成することが今後の研究課題である。人間の物理計測に関しては、ベッドや床や家具に埋め込まれた多数のセンサによる長期間にわたる計測システムが実現された。また、オブジェクトの概念に基いたネットワークを備え、長期間にわたる膨大な情報量の蓄積を可能とするデータベースシステムも実現された⁽⁸⁾。

図4は、このようにしてロボティックルーム2で記録されたある人の日常生活の一部の要約表示結果である⁽⁹⁾。この図は、例えば、床センサから得られる人が部屋に入ってきたとか、歩き始めたなどのように、ロボティックルーム2を構成するセンサから検出(計算)されるイベントの変化のあった時点での部屋のグラフィクスと写真をその人の生活の要約として表示したもので、手短かにその人の生活の状況を把握できる。

3.3 展開(人間機械から個人機械系へ)

要約表示の展開： このように個人の生活記録が蓄積され要約表示ができるようになれば、例えば、治療の基礎情報として、あるいは介護を受ける前にヘルパーさんに提供する事前情報として、医療や福祉への応用が可能となる。また、要約機能を発展させていけば、ふだんの(平常な)生活が導出できるようになり、その逆の事象として異常の検知や

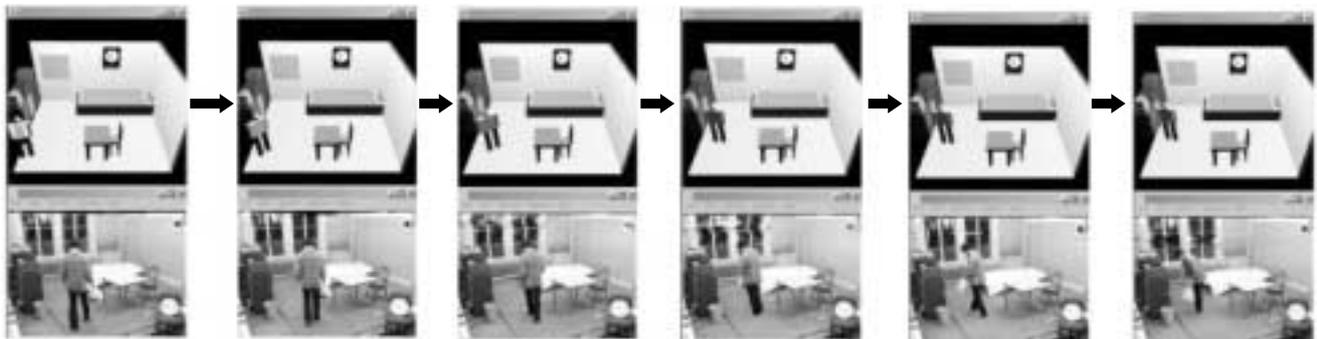


図4. ロボティックルーム2における日常生活長期記録の要約表示結果 その要約内容がコマ送り映像として表示できるようになっている。

Display of summarized all day life behaviors by robotic room 2

ロボティックルーム2では、長期間にわたる日常生活行動記録が残され、

アラームが可能になると考えている。また、寝ている患者のトイレの時間などが推定されるようになれば、尊厳を守る技術として重用されよう。一方、あればよい機能として、ロボティックルーム2に生活する孫が食卓につき、ほぼ笑んだ瞬間の写真が自動的にホームページに掲げられれば、遠方に住む祖父母にとって、無上の喜びとなる。

個人適合への展開： このように、個人の行動情報を蓄積し、特定の個人に適合した機械システムを実現していく試みは、真にパーソナルフィットした機械システムを実現する技術として、今後重要になると考えている。というのは、製品を差別化する場合、例えば、ある特定の年齢に焦点を当てるといった手法がとられることがあるが、ある特定の個人に適合できる手法が究極の差別化技術として重要であると考えられている。

人間機械系から個人機械系へ： これまでの技術は、人間を標準人間としてとらえ、標準人間に適した製品を大量生産により送り出してきた。誤解を恐れずに表現するならば、8割方の人が満足していたらその製品は良しとされてきた。これがマスマンプロダクションを可能とした本質といえ、欲しいものが存在していた時代ならばそれでよかった。しかし、物余りの時代を迎え、また個人の多様化、嗜好(しこう)の先鋭化している時代を迎え、標準人間ではなく個性を持った個人個人に適合した製品を実現しようとする、これまでのアプローチでは、非常に打ち破るのに困難な壁に突き当たる。機械システムが個人の生活や活動パターンを把握しないと、その嗜好にあったものづくりができなくなっていると言える。

4 ロボティックルーム3

4.1 ねらい(人への物理支援機械環境の構築を目指して)

ロボティックルーム2では日常の生活行動情報を蓄積し、それに基いた情報支援を目指した。一方、われわれの日常生活では、単に情報支援だけではなく、物を取ってきてくれたり、ちょっと押さえていてくれたりといった物理支援を必要とする場面も多い。そこで、このような人への物理支援環境の実現をロボティックルーム3の研究としてロボティックルーム2の研究と並行して実施している。

4.2 実現しつつあるもの(たくさんの個人適合支援機械)

人により身長が違うし、また、同じ人でも食物を切っているのか、フライパンでいためようとしているのか、食器を洗おうとしているのかによって、最適なキッチンの高さが異なる。このように、個人やその調理動作に適合して高さを調節する機能を実現するために、高さが変えられるキッチンが設計、実現された。このほかに、現在、ジュースを取り出してくれる冷蔵庫の腕や、様々な日常物を運んでくれる移動ロボットの設計と製作がロボティックルーム3のアクチュエータ群として進められている。

4.3 研究のポイント(経験ベースロボティクス)

ロボティックルーム3における人間支援のイメージを図5に示す。エンジン模型を組み上げる人を、多くの機械群が協力して支援する姿である。このように、ロボティックルーム3は、個人適合支援機械がいっぱいある部屋として、それらの機械がネットワーク結合され協調して人を支援する部屋としてイメージされている。

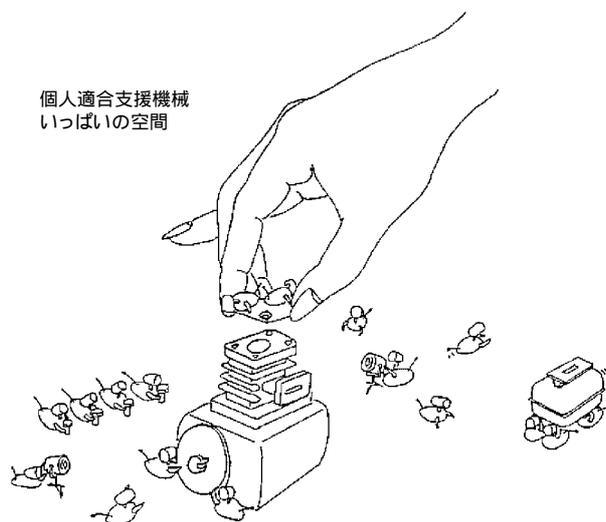


図5. ロボティックルーム3のイメージ 個人適合支援機械がたくさん存在し、協調して人を支援する部屋として、ロボティックルーム3が構想されている。
Conceptual image of robotic room 3

ロボティックルーム3における機械の制御の特徴は、緩い繰返し制御にあると考えている。日常生活は、繰返される行動である。しかし、工場のように正確な繰返しではない。毎日微妙に変化するが、基本的には繰返しの作業支援が求められる。このようなロボット制御の実現を念頭に、われわれの研究室では外部の研究機関と協力して、“経験ベースロボティクス”を構築することを試みようとしている。

経験ベースロボティクスでは、ロボットは日常生活で生じる支援を最初は人間の指示によって実施するが、その実施状況を蓄積することで、過去の事例を引き出しそれに修正を加えることで、様々な種類の支援行動を体得してくれることを実現しようとする試みである。

人がさりげなく日常生活で実施しているマニピュレーション作業は、これをロボットで実現しようすると極めて困難性の高い課題である。これまで、モデルベースロボティクスでは、作業環境を幾何モデルという形でロボットに与え、幾何計算に基づいて手が対象物と衝突しない軌道を計画したり、物と物との接触関係を分析することにより作業手順を導出する研究がなされてきた。しかしながら、実際の世界にある対象物は、幾何モデルで表現するにはあまりに多様

であり、また、常時その配置や形を変えるなど流動的である。そのため、計画にとどまるものが多く、実際の作業にまで結びついている場合でも固定された環境での組立て作業に限定されていた。

一方、このようなモデルベースロボティクスのアンチテーゼとして、ブルックスにより、感覚と行動系を一体とした複数の行動群（例えば、障害物を回避する行動、探索をする行動、地図を作成する行動）を、低レベルのものから高レベルのものまで階層的に積み上げ、上位の行動が発現している場合には下位の行動を抑制するロボットの制御アーキテクチャ（サブサンクションアーキテクチャ）が提唱され、複雑な環境下で動き続けることのできる移動ロボットが実現されてきた。このアプローチはその後、ビヘービオベースアプローチとして、多くの研究がなされ、反射行動的なタスクを遂行するロボットとして有効であることが示されてきた。しかしながら、論理判断を含むマニピュレーションにおいては、それが反射行動的なタスクでないことから、有効な作業手法となり得ていない。

これらのアプローチに対して、経験ベースロボティクス研究は、ロボットの作業を、微妙な変化を伴いながら日常繰り返される作業と位置づけ、これまで実施してきた作業情報を蓄え、これを微修正して再利用することで、実際に働き役にたつロボットを実現しようとする試みである。更に個人の行動を蓄えることで、その個人にジャストフィットした支援を実現しようとする試みである。協力して研究開発にあたってくれる機関を募集中である。

5 あとがき

ここでは、情報処理の高度化とネットワーク技術の進展を基盤として実現される人の生活を支援するヒューマンフレンドリーな機械システムの例として、われわれの研究室で実現したロボティック病室（ロボティックルーム1）とワンルームマンション型のロボティックルーム2を紹介し、更にその延長線上に実現を目指しているロボティックルーム3を展望した。

個人の室内での行動を蓄積し、蓄積情報を利用することで人を支援しようとする試みは、別の見方をすると、人の日常生活の中における生理情報や医療情報、活動情報などの個人情報（パーソナルコンテンツ）を蓄積し、これを活用する試みとも位置づけられる。人の財産には、土地や金銀など様々なものがあるが、パーソナルコンテンツは、これらに勝るとも劣らぬ貴重な財産になると考えている。例えば、ある病気にかかったときの診療情報や治療経過の情報などが、病院を超えて個人の手元に残しておけるならば、次に病気にかかったときの基礎情報として、また、現在の診断の評価を第三者に求める場合の情報として貴重なものとなる。現時点では、個人情報というと機密の漏洩といったネガティ

ブな側面で語られることが多いが、セキュリティの確保が可能となり、拘束感のない長期にわたる情報蓄積が可能となれば、安全や健康、医療や福祉、安心を支援する基礎データとして、大きなメリットを個人にもたらす財産となる。

パーソナルコンテンツの内容としてどのようなものがあるのか、それらを統合的に収集し蓄積する枠となるフレームワークを提供する技術とはどのようなものなのか、そのようにして蓄積したパーソナルコンテンツの活用先はどのようなものがあるのか、そのセキュリティ対策にはどのようなものが求められるのか、など基本的なことから明確化していけば、そこには豊かな応用分野が開けると考えている。

この点に関して、現在のIT（情報技術）は、個人をみることを可能としつつあると位置づけられる。つまり、携帯電話とそれにつながる周辺機器は、個人の居場所によらず、ネットワーク化されたセンサによって人間の行動をセンシングすることを可能とし、記憶容量の大容量化はセンシングされた情報を蓄積する機能を安価に可能にしつつある。このような情勢を考えると、現在は、パーソナルコンテンツ産業とも呼べるような新しい産業が開ける時代の準備が十分整っていると結論される。この方向での将来展開を期待するものである。

文献

- (1) Sato, T., et al. "Robotic Room: Symbiosis with human through behavior media", Robotics and Autonomous Systems 18 International Workshop on Biorobotics: Human-Robot Symbiosis, ELSEVIER, 1996, p.185-194.
- (2) 西田佳史, ほか. "視覚情報による睡眠時無呼吸症候群診断手法". 日本ロボット学会誌, 16, 2, 1998, p.274-282.
- (3) 中村芳晃. "床センサと天井センサの協調による人の追跡". 第14回日本ロボット学会学術講演会, 1996.
- (4) 横川峰志. "色抽出による発見とステレオ追従に基づく人の指示行為の理解". 第14回日本ロボット学会学術講演会, 1996.
- (5) 中田 亨. "ロボットの行動による人間への感情表現". 第14回日本ロボット学会学術講演会, 1996.
- (6) Harada, T., et al. "Human Motion Tracking System Based on Skeleton and Surface Integration Model Using Pressure Sensors Distribution Bed". IEEE Computer Society Workshop on Human Motion, Dec.2000.
- (7) 中田 亨, ほか. "ロボットの身体動作表現と生成される印象とのラバン特徴量を介した定量的相関分析". 日本ロボット学会誌, 19, 2, 2001, p.104-111.
- (8) 森 武俊, ほか. "分散オブジェクトを用いてセンサ間協調を行うセンシングルーム" (社)電子情報通信学会, 電子情報通信学会技術研究報告 (PRMU2000). 100, 443, HIP2000, p.13-20.
- (9) MORI, T., et al. "Accumulation and Summarization of Human Daily Action Data in One-Room-Type Sensing System". IROS2001, Oct. 2001.



佐藤 知正 SATO Tomomasa, D.Eng.
東京大学 情報理工学研究所 知能機械情報学専攻教授, 工学博。人間共棲(きょうせい)ロボットの研究に従事。日本機械学会, 日本ロボット学会, IEEEなどの会員。
The University of Tokyo