

# ロボティックルームとその実用性

## -医療福祉の世界とロボット関連技術の関わり-

佐藤知正（東大・機械情報）\*

\*東京大学工学系研究科機械情報，〒113-8656 文京区本郷 7-3-1

介護ロボット、行動メディア、行動理解、行動表現、行動相互作用、

介護機器、介護モジュール、介護環境

### 1. 緒論

超高齢化社会においても豊かな生活を維持していくために、我々の日々の生活基盤を支える様々な作業や労働を機械化あるいはロボット化してゆくことが強く求められている。

このような人間支援ロボット特に介護を対象とするロボットにおいては、対象は人間の患者であり、対象が部品やものである産業用ロボットとは、非常に異なる技術体系が求められる。現場で何が求められているのかをよく把握し（要求把握）、それを的確に表現すること（要求機能表現）、そのうえで、それらの機能を実現することが求められる（要求機能実現）。

このようなロボットを実現する方法には、2種類の方法が考えられる。一つは、ヒューマノイドロボットのような一機体としてのロボットとして実現する方法であり、今一つは環境にロボット要素を埋め込んで総体として人を見ていて必要な時に支援を与える環境、つまり環境型介護ロボットシステムとして実現する方法である。本稿では後者の実現方法をとりあげる。

以下、第2章で介護ロボットについてそのニーズ、必要機能を整理し、環境型として介護ロボットを実現する理由を述べる。第3章では東京大学で実現された環境型介護ロボットであるロボティック病室をその具体的研究例としてその現状を紹介する。最後に第4章で実用の観点から環境型介護ロボットの将来を展望する。

### 2. 環境型介護ロボット

#### 2-1 介護におけるニーズ

作業ニーズ： 介護の典型的な場として、病室を考えてみよう。病室にはロボットにぜひやって欲しい作業がある。それは、ティッシュペー

パや、コップ、リモコンをとってきてくれる作業である。これらの作業は、看護婦や友人に頼むにはあまりにささいすぎて、わざわざ呼んでお願いするのは申し訳ないと躊躇を感じてしまう作業だからである。身動きが自由にならない患者にとっては切実な問題であり、病室は24時間いつでも不満をいわずにこのような仕事をやってくれるロボットが欲しい場といえる。

モニターのニーズ： 病室でももっとシビアな状況のICUなどは、次のようなニーズのあることを、医者から耳鼻科の医者が指摘している。

第1は、「手術後の痛みを鎮静する目的で、トランクライザーなどの鎮痛剤を投与するが、それには鎮痛作用とともに呼吸を抑制するという副作用がある。そこで鎮痛剤を投与しすぎたと感じた時には、呼吸を常時みにいくことになるので、これをロボットが目でみてくれるとありがたい」とのニーズである。ロボットが目で見たい理由は、「ICUなどではコードを人体につけるがそれは、患者にとって負担になるし、高価なものにつく」ということである。第2番目は、「手術後にまく包帯の出血をモニタして欲しい」というニーズである。術後の出血は重大な事態を意味するそうである。3番目は、「患者の顔色や痛みの表情を見て欲しい」というものである。痛みは診療をすすめるうえでの重要な手がかりとなるものである。最後の4番目は、耳鼻科の医者特有の問題かもしれないが、「喉の手術後には患者は声が出なくなるし、ボタンを押す力もなくなる。そんな時に部屋の天井の片隅を4～5秒、うらめしそうにながめっているとナースコールボタンが押されるようにして欲しい」というニーズである。

以上の要求は、その一例にすぎないが、人には些細過ぎるものから、24時間のモニタのように人には過酷過ぎるものまで、介護にはロボットに支援して欲しいさまざまな下支え作業がある。

#### 2-2 介護ロボットの必要機能

情報媒体としての行動： 病室での介護ということになると、ロボットに命令するのにキーボードを利用するというのは、ふさわしくない。

身振り手振りなどの人の自然な行動を人間とロボットとの情報交換をする手段として利用することが重要となる。つまり行動をロボットと人間のコミュニケーション（意思疎通）の媒体として利用する機能が求められる。情報媒体としての行動という意味で、本稿では以降この機能を行動メディア機能と呼ぶ事にする。以下に具体例をあげながら、行動メディア機能を構成する機能として求められる要素機能を説明する。

**ロボティックの病室シナリオと要求機能：**病室内で寝ている動きの自由でない患者を支援することを考えてみる。その患者がコップをとってくれと指差し行動を行うと、ロボットがその患者の行動をみていて、「あのコップをとって欲しいのだな」とその人の意図を推定する機能が第1番目の要素機能である（行動理解機能、あるいは、意図理解機能）。意図が理解されたからといって、人間の身の丈もあるようなロボットが急に動いたのでは患者は恐怖感を覚える。またいきなり目の前に紙コップをつき出されたのでは、人はロボットに親しみがもてない。大きく動く前にすこし揺れてみて患者に紙コップをもっていくことを伝えてから動き出すとか、いったんベッドサイドの脇道をたどって患者近くに移動からしずつと患者の脇からコップをさし出すなどの配慮がある（行動表現機能）。最後に紙コップを手渡すときも力の入れ具合や抜き具合をよく考えて優しく渡してもらいたい（行動相互作用機能）。このように介護ロボットにおいては、情報媒体としての行動にまつわる機能、つまり行動によってロボットと機械とが情報をやりとりする機能が重要となる。つまり（1）行動理解機能、（2）行動表現機能、（3）行動相互作用機能などから構成される行動メディア機能が介護ロボットには備わっていないなければならないといえる。介護ロボットには、介護をこのような機能とともに実現すること、つまり行動を情報媒体として利用しながら介護をすすめる技術が求められている。

### 2-3 環境型介護ロボット

『人間と交流し、人間と対抗する「人間」としてではなく、人間の安全のために働き、人間の意志だけを実行するためにつくられた人工物としてロボットをとらえるべきであるというのがアシモフの提唱であり、その概念の展開に単体としてのロボットや個体として独立したロボットから求める機能をアウトプットできるシステムとしてのロボットがあること、さらにこの概念の移動の行き着く先に、社会インフラにちり

ばめられた人工物の機能集積系としてのロボットが展望される』というのが、村上陽一郎氏の主張[1]であり、筆者も強く同意する。

介護ロボットを環境として実現するメリットは次のようなものであろう。環境型ロボットにおいては、1) ロボットの活動する場を特定の環境に限定することになる（環境限定）。病室は闘病する場であり、このような機能限定は研究ターゲットを明確にし、研究を促進する効果をもたらす。また、2) 例えば病室という部屋環境にその要素を分散させるロボットの形態は、人は部屋という3次元空間を2次元的に利用しているにすぎないため、ロボット要素の配置に大きな自由度が可能となる（実現自由度）。具体的にいうならば、機械や配線敷設の自由度があるため、人を妨害することなくルーム中に機械を分散することで求める機能を有するロボットの実現を容易にする効果がある。3) 単純な機能をもつ要素の統合として求められる機能が実現できるため、実現すべき要素機器は比較的単純な機能のもので許容され、それだけ実現可能性が高くなる（単純機能の集積）。

### 3. 環境型介護ロボットの研究例：

#### ロボティック病室

東京大学では、病室環境をロボット化する研究、ロボティック病室の研究をすすめている[2]。ロボティック病室は部屋全体がロボットとして働き、病室全体でさりげなく患者をみまもっており必要な時に患者を支援するシステムである。部屋がロボット[1]という形態をとる理由を次のように整理している。1) 部屋は人間のための空間であり、人間中心技術への挑戦の場として格好である（人間中心技術への挑戦の場）。2) 部屋は人間が種々のサービスを受ける空間単位であり、限定された機能のロボットでも支援を提供する必然性があること（支援の必要性）。3) 部屋は3次元空間であるが、人はそれを基本的には2次元的にしか利用していないため、人の邪魔にならないようにロボット要素を配置したり、その配線をしたりできる（配

置の容易性)。4) 部屋は人を取りまいて存在しており、人間の意思の発現である行動を計測し人間に働きかけるのに適した環境となっている(行動メディア処理に適した環境システム)。

以下に、ロボティック病室で実現された機能を、行動理解機能、行動表現機能、行動相互作用機能にわけて紹介する。

### 3-1 行動理解機能の研究

#### A-1) 視覚を用いた無呼吸症候群診断機能[2]:

呼吸に伴う胸や腹の動きのオプティカルフローを測定することで、無呼吸症候群診断機能が実現された。図1はこのような処理によって胸の小さな動き(図中、毛布上の白抜きの線で示されている)をモニタしている時の様子で、右上の写真がモニタしている時の患者の様子である。見られている抵抗感を少しでの和らげる配慮のもとに、胸や腹を観察するためのカメラは天井に埋め込まれている。患者は物理的に拘束されることなく、呼吸モニタが可能になっている。またこの機能を応用した睡眠時無呼吸症候群の診断について、その可能性が実患者を対象とした臨床実験によって確認されつつある。

#### A-2) ベッドによる寝返りモニタ機能[3]:

図2は、荷重がかかると抵抗値が変化する圧力センサ(FSR)を患者が寝ている布団の下に221枚配置したベッドであり、それによって患者の寝ている間の無意識な状態を認識するロボティック病室の家具である。このベッドでは、横隔膜が動くことに応じた信号の変化による患者の呼吸の計測や、圧力画像の処理によって、仰向け、左向き、右向き、うつ伏せなどの体位を計測する機能が実現できている。

#### A-3) 天井・床センサによる人発見追跡機能[4]:

人の意識的な行動の結果としての部屋に入ってきた人の発見および追跡の機能は、天井に据え付けられたテレビカメラ群(天井センサ)と床部分に埋められている圧力センサ群(床センサ)を用いることで実現されている。天井センサであるカメラからの映像は、色・形・動きなどの情報を用いて、人の顔の部分のみが抽出さ

れ、人が追跡される。また、図3のように、床には圧力センサ(FSR)が格子状に並べられおり、人が歩くことによるこれらセンサの抵抗値の変化によって人の場所を知ることができる。天井と床の両方にあるセンサから2重に人を追跡することによってどちらかのセンサが人を見失っても人を追跡し続けられるようになっている。

#### A-4) 指さし認識と被指示物の推定[5]:

天井に埋め込まれたTVカメラからの情報を用いて患者の髪の毛、顔、両手を見つけ、両眼ステレオ視による追従で3次元位置を監視する。そしてあるとき手が動いて何らかのジェスチャーを行ったら手の形状を拡大カメラでとらえてその時の指の本数とその行為が何であったのかを認識する機能が実現された(図4)。さらに、指さし行為であったと認識されたらその指し示している方向を計算して何を取ってほしいのかを判断することができる。

### 3-2 行動表現機能の研究

#### B-1) ペットロボットによる雰囲気作り[6]:

部屋の顔の役として部屋の気持ちや状態をロボットの行動で表現するペットロボットとして図5のロボットが実現された。高さ30cm、幅25cm長さ35cmの大きさの小動物に似せたペットロボットである。左右の車輪を持ち自由に走り回れ、それに左右の腕と首の動きを加えて、表情豊かな踊りを含む表現動作を見せることができる。表現内容としては、例えばロボティック病室が正常に稼働している時は、ペットロボットは首を楽しげに振っていて、患者はそれを見れば病室が故障で止まっているのではないことが確認出来る。また患者が物を指さして取って来てと指示する時も、この生き物らしいペットロボットを見つめながら指示する方が依頼の行動として自然であり、ロボティック病室が指さした対象物を認識すると、ペットロボットは「分かったよ」という意味で手を挙げて、応答を患者に返すことで、コミュニケーションの行き来を成立させる。

### 3-3 行動相互作用機能の研究

#### C-1) ロングリーチマニピュレータ[7,8]:

人への働きかけ要素として、ロングリーチマニピュレータが実現された(図6)。この腕は、コップ、ティッシュペーパーやTVのリモコンといった『軽い物』をとってくる簡単な作業を行なうことを目的としている。病室の中のどこに置かれていてもとってくるように、2.6mリーチの長い腕となっている点、壁面に設置されたレール上を走行できるようになっている点に特徴がある。またこの長さをもつにも拘わらず、患者に与える印象を悪くしないために細いパイプを多用し、またマニピュレータを通して向こう側がみえるシースルー構造をとっている。安全性にも注意がはらわれており患者側から過大な力が加わると、腕の根元部分のクラッチが働き、からまわりすることで人を傷付けることがないように設計された。さらに、2本の指には物体との接触を検出するための接触センサが10個分布してつけられている。天井カメラからの映像情報と物体との接触情報とを用いて、ものをとってくる作業を実施する。ただし対象物体の位置や姿勢をまえもって教えるのではなく、その場で手先と物体をみながら自動校正しながらこれらの作業をこなす(図7)。

このようにロボティック病室においては、視覚、触覚の行動メディア情報を統合的に処理して人の意図を理解し必要な支援を与える機能が実現された。

#### 4. 結論

本稿では、システムが人間をみまもっており必要な時に介護を支援する環境システム(環境型介護ロボット)のあるべき姿を考察し、その研究の現状を紹介した。具体的には、行動を介して人間と環境システムとが意思疎通をはかることの重要性を指摘し、それを実現するための行動メディアの研究例としてルーム自体がロボットでありその中にいる病人をいつもみまもっており必要な時に支援するロボティック病室における行動理解、行動表現、行動相互作用の

研究結果を紹介した。

筆者は、このようなシステムを構築し実演でみることで以下の知見を得た。1) ルーム自体がロボットで、その中にいる人間を支援するという環境型ロボットシステム構築法は、支援を必然性が存在すること、実現に容易な形態であることなど、有効であることが実感された。2) ルームのベッドや床に圧力センサーを分散配置する試みは、人は常に部屋の何かに接しているわけであり、その頑健性と見られている感覚からの自由さとして、非常に有効であると結論される。

将来的課題としては、1) 視覚処理が弱い、2) 音声などを含む様々な行動理解ルーチンを準備しそれらの要素の組み合わせで様々な人間の機能に応じられるようにすることが必要である。

人の意を理解し、それに基づいて人間を支援する観点からいえば、今回実現されたロボティック病室のパフォーマンスは、実用までにはまだまだ距離のある初歩的な段階にしかないが、病人を介護する人を補助する機械の将来的なありかたを提示していると考えている。実用という観点からは、様々なレベルに応じた応用がそれぞれの時間を経て可能になると考えている。

1) 要素レベル: 例えば、圧力センサをもった床などの環境型介護ロボットの各要素は、比較的早期に実用に入っていくと予想している。

2) モジュールレベル: 一方、例えば寝返りをモニタできるベッドのように、環境型介護ロボットの一部であるサブシステムをモジュールとして実用化し、このモジュールを市町村から貸し出すことも、実用上も社会的にも有効であろう。中期的課題である。

3) 環境(部屋)レベル: さらに、部屋という環境そのものも、病室に收容されるほどではない病人を一時的に看護するホテルのような目的に、将来的に利用されよう。

このように環境型介護ロボットに関連した技術は、今後の超高齢化とともに小児化・女性の社会進出が同時進行する社会において、ケアの

ための労働インフラを支える技術として、病院はもとより、家庭においても実用上重要な役割を果たすことになると考えている。

#### 参考文献

- [1]村上陽一郎、“ ”、日本ロボット学会誌、Vol.16, No.1, pp-, (1998)
- [2]T. SATO、Y. Nishida、H. Mizoguchi、“Robotic Room: Symbiosis with human through behavior media”、Robotics and Autonomous Systems 18 International Workshop on Biorobotics: Human-Robot Symbiosis、ELSEVIER、pp185--194 (1996)
- [2] 西田佳史、森武俊、溝口博、佐藤知正：“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、Vol.16, No.2, pp274-281 (1998)
- [3]西田佳史、武田正資、森武俊、溝口博、佐藤知正、“圧力センサによる睡眠中の呼吸・体位の無侵襲・無拘束な計測”、日本ロボット学会誌、Vol.16, No.5, pp705-711(1998)
- [4]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、pp. (1996).
- [5] 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、pp. (1996).
- [6]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、pp. (1996).
- [7]森下広、名須川治、佐藤知正：患者支援ロングリーチマニピュレータの実現、第14回日本ロボット学会学術講演会予稿集、pp.381-382(1996).
- [8]多田充徳「ロボティックルームにおける人間支援作業－視覚と触覚を用いた指示物体」、第14回日本ロボット学会学術講演会、pp. (1996).

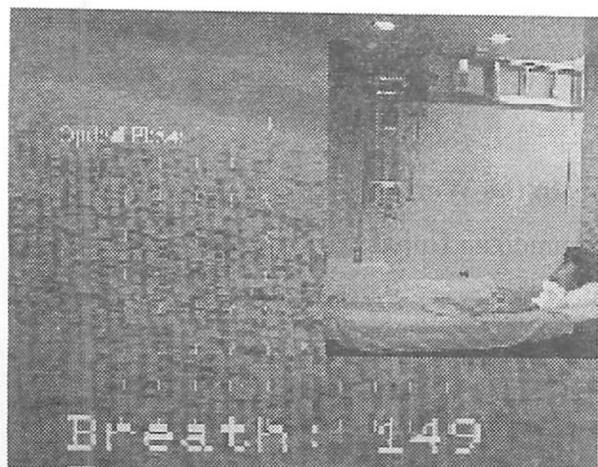


図1 天井からの呼吸モニタ

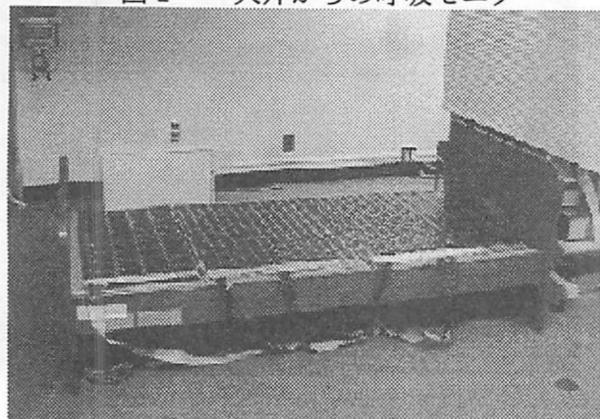


図2 ベッドによる寝返りモニタ

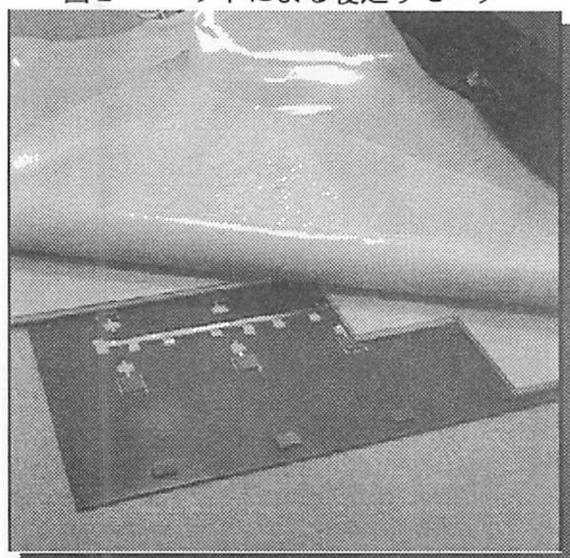


図3 床にうめこまれた圧力センサ群



図4 指差しの認識

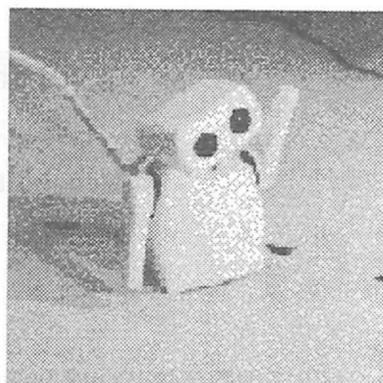


図5 ロボットベット

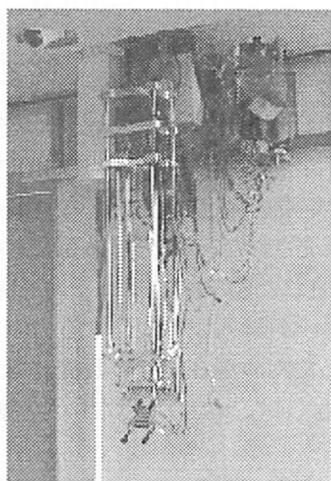


図6 ロングリーチマニピュレータ

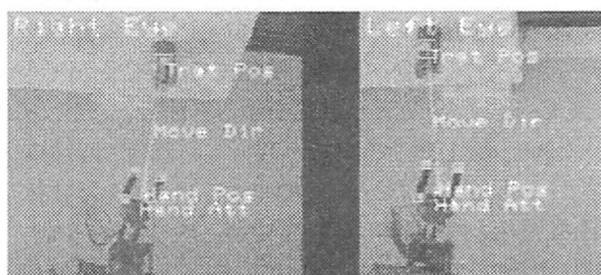


図7 ハンドのビジュアルフィードバック

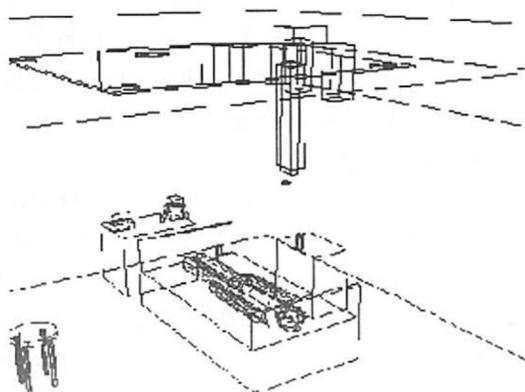


図8 モデル管理モジュールの出力