

[特別寄稿]

# 空間知能化ロボティクスとその応用産業市場

## Intelligent Spatial Robotics and Its New Industrial Application Markets

佐藤 知正

■ SATO Tomomasa

空間を知能化することによって実現されるロボットシステムが発表されている。例えば、空間システムの持つ空間機能性を活(い)かしたロボット病室や日用品へのアクセス支援ロボット、また、空間システムの持つ人への低干渉性を活かして異常を検知するモニタリングシステムなどである。このようなロボットシステムは、空間システムや分散システムの特徴を活かした“空間知能化ロボティクス”とも呼べる学術領域を形成している。

空間知能化ロボットシステムには、ロボットテクノロジー(RT)を埋め込んだ自動車及び家の空間市場や、従来分野にロボットやロボットインフラによる付加価値を付けた市場、更に様々なロボットやロボット要素によるサービスを統合した市場の創出が期待されている。

また、空間知能化ロボットシステムの分散性は、家庭や自動車などの交通機関、更に職場や商用施設をまたいで活動する人の広い行動範囲をカバーし支援する社会システムとして、長期的展開ができる。

Various robot systems embodying an intelligent spatial approach have been constructed so far, such as a robotic room and an object access assistance system, both utilizing spatial functionality; and an abnormality detection system taking advantage of the feature of low interference in daily life activities. This research field, referred to as spatially intelligent robotics, makes full use of the features of spatial systems and distributed systems.

Regarding future industrial applications of such systems, the near-future market will be formed not only by robot technology (RT)-embedded products such as intelligent home spaces and automobile spaces, but also convenient service areas into which robots and robot infrastructure are introduced for value-added purposes. The far-future application market will be realized by platform robots on which a variety of robot services can be integrated utilizing various robots and robot components.

In addition, the features of distributed systems will enable such systems to cover a wide range of human activity areas—in the home, the car, the workplace, and common spaces—thereby expanding the use of robots throughout society.

## 1 まえがき

ロボットと人間、それに環境空間から構成されるロボットシステムにおいて、空間を知能化するアプローチをとるロボティクスが、空間知能化ロボティクスである。ロボティクスにおいて、空間知能化のアプローチは比較的歴史が浅い。したがって、役に立つ技術に育つまでにはまだ時間が掛かるのではないかと、ロボットの高度化という側面から考えると回り道ではないかとか、あるいは、ロボットの高度化を回避する単なる方便なのではないか、と危惧(きぐ)する人も多いと想像する。

そこで、ここでは空間知能化のアプローチを、まず、空間にセンサやアクチュエータ<sup>(注1)</sup>などのロボット要素を埋め込むことで、人間や生物の持つ機能の一部あるいはすべてを実現するシステムへの試みと広義にとらえて、それが実際に役だっていることを述べる。次に、空間を知能化するアプローチの意義を、空間システムと分散システムの観点から明確にした後、これまでの研究事例を述べる。そのうえで、空間知能化のアプローチは、将来においても、ロボット本体を高度化するアプ

ローチと同様の重要な研究領域を成すことについて、その方向性を示しつつ述べる。最後に、ロボットにはキラアプ리케이션<sup>(注2)</sup>がないといわれて久しいが、空間知能化のアプローチは、これまでどのような市場を開いてきたのか、また、近い将来又は遠い将来に拓(ひら)くのかを展望する。

## 2 役にたっている空間知能化アプローチ

ロボットを、人や生物の機能の一部あるいは全部を実現した機械と定義する。このように、ロボットを、センサやアクチュエータ、そしてコンピューティングの機能の一部あるいはすべてを備えた機械として定義すると、空間知能化のアプローチは、空間に、センサやアクチュエータ、そして、コンピューティングの機能の一部あるいはすべてを装備する機械システムを実現する試みととらえることができる。

最近のオフィスビルでは、人が廊下やトイレに入ると、その

(注1) 入力されたエネルギーを物理的な運動へ変換する機構。

(注2) 普及に大きく貢献したソフトウェアやコンテンツ。

照明が点灯する機能が普及している。これは、人がいないときに消灯することで省エネ効果を得るものである。たとえ、人感センサ情報に基づいて自動消灯するシステムやその設置及び運営費が掛かっても、この省エネ効果によって、その初期コストは数年で回収できるため、オフィスビルで普及している。つまり、空間にセンサを設置するという初期の余分な投資が許されるオフィスビルにおいては、その費用は省エネ効果により後に回収できるため、普及が加速しつつあるのである。このような消灯機能を備えたオフィスビルは、センサを空間配置した空間知能化アプローチの成功例であるが、今後、非常に高い普及率になると予想している。

### 3 空間知能化アプローチの意義

この章では、空間知能化アプローチの意義を、ロボティクスの観点から整理してみる。

#### 3.1 空間知能化ロボティクス

人はロボットに、労働、秘書、召し使い、友達、あるいはペットとしての役割を求める。これを実現する手段としては、そのロボットを、個体として実現する場合（個体ロボット）と、ロボットそのものや、その要素を環境に分散配置したシステムとして実現する場合（空間システム、空間ロボット）とがありうる。更に、このようなロボットを知能化する学問領域には、その実現形態に応じて、つまり作業場（ロボットがサービスを提供する場）がロボットの外にある場合とロボット内にある場合に応じて、個体知能化ロボティクスと空間知能化ロボティクスの2種に分類される。

空間知能化ロボティクスでは、①ロボットがサービスを提供する場がロボット内にあり直接ロボット内にある対象物に作業を行う“直接作業システム”としてばかりでなく、②サービスを提供する場の中にある個体型のロボットを助ける働きをする“ロボットインフラシステム”のシナリオが描ける。つまり、空間知能化ロボットシステムには、①については直接サービスを提供する役割を、②については中のロボットへのインフラとしての役割を果たせることがその特徴の一つである。

個体ロボティクスの一方で、空間ロボティクスあるいは空間知能化ロボティクスが研究される必然性を、自動車交通における自動車の発達と交通インフラの発達のアナロジーで見てみる。

自動車の研究開発の歴史は古く、知能ロボット研究が人工知能の一環として開始された約100年前の1860年代にその研究が開始された。具体的にいうと、1859年に内燃機関エンジンが発明され、その後約50年掛けて、ガソリン自動車や、空気式タイヤ、変速ギアなど、現在の自動車にはなくてはならない基礎技術が確立された（自動車の基礎技術開発の時代）。その後、1907年にT型フォードが開発されて、いわゆる大量生産の時代に入った。1914年からの第一次世界大戦は、自動

車に信頼性などの厳しいスペックを突きつけたが、技術はこれをクリアし、第一次大戦後、自動車は便利な道具として普及が始まった（自動車の基礎技術開発の時代）。

これを受け、1923年に米国で最初的高速道路が建設され、高速道路網の整備がなされた。つまり、基礎技術開発に続く25年は、自動車交通のインフラに関する進展があった時代であった（自動車の社会技術開発の時代）。

第二次世界大戦後は、日本が民生品として信頼性の高い優れた自動車を世界に提供した時代であった（自動車の民生技術開発の時代）。

このように、自動車交通をより高度なものにする手段として、自動車そのものを高度化する研究開発とともに、道路をよくする研究開発が実施され、現在の自動車交通の隆盛をもたらした。ロボットでも、これと同じことが起きると考えている。つまり、個体ロボットの研究開発に続き、空間ロボットの研究開発が行われ、それらの協調する姿としてロボットサービスの社会浸透が現実のものになると考えている。

#### 3.2 空間知能化ロボットシステムの意義

空間知能化ロボティクスでは、機械システムやロボットシステムを、空間として実現するアプローチをとる。そのようなアプローチで実現される空間機械システムあるいは、空間ロボットでは、システムが作業対象を取り巻く空間システムとしての実現形態となる（空間システム）。このような対象物を遠方から取り巻く構成である空間システムであることが、空間知能化ロボットシステムの第1の特徴である。また、空間が広い場合には、その空間システムは必然的に、多くの要素をちりばめたシステムとなる（分散システム）。これが第2の特徴である。

このような二つの特徴を活かした空間システム、つまり、空間システム及び分散システムについて、そのメリットを以下のように整理した。

- (1) 空間システムのメリットは、干渉することなく、あるいは低干渉で、中にいる人やロボットに直接サービスできたり、インフラ機能を提供できることにある。

これは、サービス対象となる人間やロボットから離れた天井や壁などに付けたセンサやアクチュエータが利用できるためであり、そのために、じゃまにならずに常時、自然な状況で、必要であれば長期間にわたって、人やロボットを計測し、その制御を実施することが可能になる。干渉性が低いこと、常時、自然に、長期間にわたってサービスできることが空間システムから得られるメリットである。また、移動空間や、収納空間といった空間の持つ機能を活かしたシステムを構成できることもメリットである。

- (2) 分散システムであるメリットを、ユビキタスシステムにおけるメリットとして考えてみる。

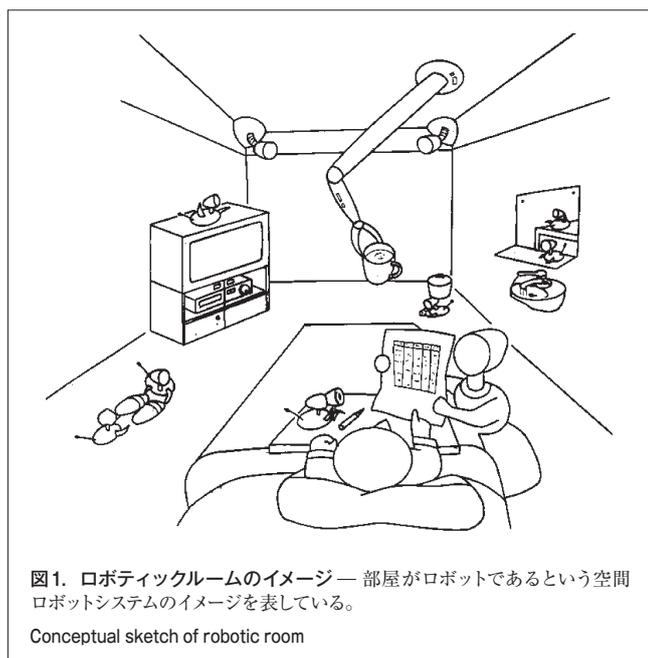
計算機の歴史を振り返ってみると、かつて米国国防省に1台しかなかった計算機が、各国の研究室や家庭に普

及する時代を経て、現在では各人が数個から数十個持ち運び、それによって人間活動がサポートされる時代に至っている。これと同様のことがロボット、厳密にいうとロボットテクノロジー(RT)にも起こると考えている。つまり、われわれや、われわれが生活し活動する環境そのものに多くの計算機とセンサやアクチュエータが多数、分散的に組み込まれ、すなわち、われわれや、われわれの身の回りがロボット化されることでわれわれ人間の生活や活動が支援される時代になることが必然的方向性であると考えている。情報システムの最後の1mは、ロボットになると考えている。前者は、サイボーグの時代であり、後者は、ユビキタスロボット社会の時代である。このように分散システムのメリットは、室内ばかりでなく、街中やひいては社会にまで広がりのあるシステムと成りうることにある。

## 4 ロボティックルームの研究

筆者らはこの15年間、人間にサービスするロボットを、日常環境として、つまり日常空間として実現する、空間知能化ロボットシステム“ロボティックルーム”の研究を進めてきた。このような空間知能化アプローチによる人間共棲(きょうせい)空間知能化ロボットシステムの研究には、スマートルーム<sup>(1)</sup>や、インテリジェントルーム<sup>(2)</sup>、イージリビング<sup>(3)</sup>、SELF (Sensorized Environment for Life)<sup>(4)</sup>、アウェアハウス(よく気がつく家)<sup>(5)</sup>、ニューロハウス<sup>(6)</sup>、インテリジェントスペース<sup>(7)</sup>など、筆者らが取り組んでいるロボティックルーム<sup>(8)</sup>以外にも数多く存在する。

図1は、1992～1993年ころに描いたロボティックルームのイメージである。ロボティックルームは、さりげなく人を見守り、



必要なときに適切な支援をしてくれる部屋である環境型ロボットとして構想された。そして、現在に至るまで筆者の研究室で研究が進められている。

### 4.1 物理支援空間知能化ロボットシステム

#### 4.1.1 ロボティックルーム1(1992～1997年)

ロボティックルームのように環境空間が人を見守り、人を支援するシステムを考える場合、じろじろ見つめられる部屋やおせっかいな手出しをしてくれる部屋に入りたくないと思えるのは、健康な人にとっては正常な反応である。ところが、病人や高齢者となるとどうであろうか。そこでロボティックルームの最初のバージョンは、ロボティック病室として実現された(図2)<sup>(8)</sup>。

具体的には、センサ化された天井や、アクチュエータを備えた家具や壁が、空間機能化の例として実現された。天井にはテレビカメラが装備され、患者の胸の辺りを見ていて呼吸をモニタする機能を実現された<sup>(9)</sup>。また、患者の指さし行動を認識し指さされたものを壁のマニピュレータ<sup>(注3)</sup>が取ってきてくれる機能の研究なども行われた。



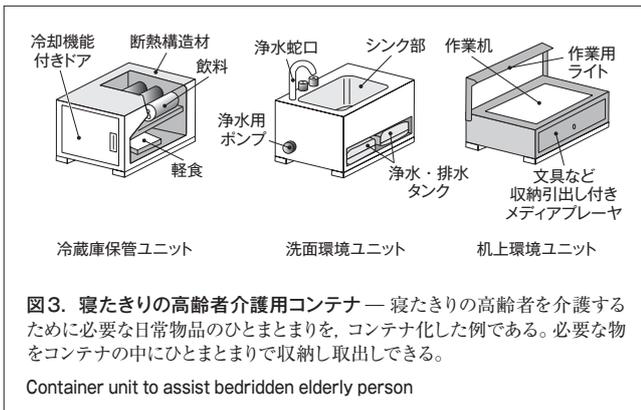
4.1.2 日用品へのアクセス支援システム 最近では、空間の物品収納機能を活かした、日用品へのアクセス支援システムが、ロボティックルーム3として実現された。これは、モノや情報に溢(あふ)れる現代の生活環境における日用品の管理や、取出しを支援するロボットシステムである。具体的には、日用品に取り付けられることでその情報を読み取れるRFID(Radio Frequency Identification)タグ、日用品のロボットによるロバストなハンドリングを可能にする“インテリ

(注3) 人間の手や上肢と同等の機能を持たせ、人間の作業を代替させる機能やロボット。

ジェントコンテナ (iコンテナ)”, 及び物品の収納と保管, 取出しを可能とする棚型収納庫と天井ロボットによるシステムである<sup>(10), (11)</sup>。

産業用ロボットが様々な部品や製品などの物品の着実な取扱いに成功している理由の一つに, 物品をパレット単位で扱う手法が挙げられる。iコンテナは, この考えを家庭に取り入れたもので, 個々の物品をロボットに直接ハンドリングさせるのではなく, 必要物品が収容されたiコンテナを操作単位とすることで, ロボットによる物体ハンドリングタスク (操作手作業) のロバスト性を向上させようとする試みとなっている。

更に直近の応用例を念頭に, 図3のような寝たきりの高齢者介護用コンテナ (飲み物を保管する冷蔵庫コンテナ, 洗面所の役割を手元で果たせる洗面環境コンテナなど) も開発された。これらは, 飲み物を冷蔵庫ごと, また, 洗面台をコンテナという形でロボットが持ってきてくれることで, 寝たきりの患者支援の実現を狙ったものである。



## 4.2 情報支援システム

### 4.2.1 居住空間ロボットシステム (センシングルーム)

前述したロボティックルーム1の研究を通じて, 看護婦のように, 患者の過去の情報までを踏まえた深みのある支援を可能としたいと考えるようになった。そのヒントとなったのが, 人間における体験と内省機能であった。人は, 年寄りが大きな顔をする事が多い生物界では珍しい存在であるが, これは年寄りが豊かな体験 (経験) を持っており, それを内省することによってその経験を持たない若い人には可能でない戦略的な判断ができるからであると考えた。

この観点から人間の脳を見ると, それは情報処理装置であるとともに, 経験蓄積装置となっている。しかしながら, 現在の計算機にはその能力 (経験蓄積能力) がない。人の体験や経験の基本要素である行動を蓄積し, それに基づいて個別適合できるロボットの実現を1998年からの研究課題として設定された。

まず, 行動蓄積を可能とする環境としてロボティックルーム2

では, 人間の生活行動を可能な限り詳しく計測し蓄積することを目的とし, センシングルームを実現することとした。そしてその蓄積された行動情報を人への情報支援に応用する研究を推進している。人間から発生する情報は, 生理情報, 物理情報, 心理情報があるが, それぞれについて, これまで以下のような研究がなされた。

- (1) 生理情報 人間の生理情報については, センサベッドによる人間計測の研究が実施され, ベッドの下に敷かれた2次元の圧力パタン情報から, 人間の寝返りなどの3次元姿勢情報を得たり, 呼吸や脈拍の情報が計測できるようになっている。枕による簡易な実現も追求された<sup>(12), (13)</sup>。
- (2) 物理情報 人間の物理情報に関する研究では, これまでに以下の情報インフラが構築されている。一つは, 人の生活行動をセンシングできるルームのセンサネットワークシステムが構築された<sup>(14), (15)</sup>。もう一つは, このセンシングルームで生活する人の行動情報を蓄積する生活行動データベースシステムである<sup>(16)</sup>。また, この膨大な情報を短く人に見せる要約機能の研究も進められた<sup>(17)</sup>。
- (3) 心理情報 人間の心理情報に関する研究では, ペットロボットの喜びや悲しみの踊りが, なぜうれしさや悲しさとして人の心理に訴えるのかを, 舞踏家であるラバンの表現行動理論を用いて分析する研究などに成果が得られている<sup>(18), (19), (20)</sup>。

**4.2.2 個別適合ヘルスケアシステム** 最近では, 個人の生活パターンを, 独居高齢者宅の各居室に設定された焦電センサにより計測及び把握をし, そこから典型的な生活パターンをデータマイニングの手法で抽出し, その典型的な生活パターンと, ある日の生活情報とを比較することによって, その日の異常を検知するシステムの構築を進めている<sup>(21)</sup>。この研究では, 個別適合サービスのある特定の個人や個別状況だけに適合させるのではなく, 一般的な枠組みのもとでこれを実現する点に特徴がある。

## 5 空間ロボットシステムとその市場

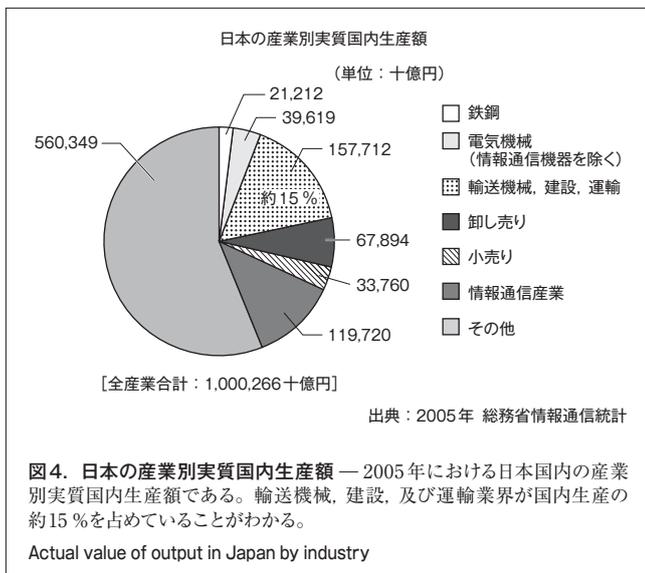
ロボットに産業用ロボット以外のキラーアプリケーションがないといわれて久しい。確かに, サービスロボットとして, 大企業が事業部として存続していけるためのロボット単体での年間売上げが100億円を超えるものは, 現時点では存在しない。しかしながら, そのような市場は, RTが埋め込まれた製品市場の時代や, 従来ある事業分野にロボットを付加して形成する市場の時代を経て, プラットフォームロボットに様々なサービスコンテンツが載せられるようになる時代になってから実現すると考えている。

この章では, このような三つの市場と空間知能化ロボットシステムの関係について述べる。

## 5.1 RT埋込み製品市場

RTが埋め込まれた製品の市場は、民生品や自動車、更に建物にRTが埋め込まれた製品群が作り出す市場である。現時点の製品例を挙げると、例えば、人の顔の表情を認識するRTがデジタルカメラという民生品に応用されたスマイルシャッターデジタルカメラや、人感センサが建物の廊下に装備された省エネオフィスビルなどがその好例である。

将来的には、自動車事故を予防するために、自動車や道路に様々なRTが装備されると考えている。建物や自動車、道路にRTが応用される場合、その実現形態は、必然的に建物や自動車、道路の空間を知能化することになる。図4の日本の産業別国内生産額のグラフに示すように、建物や自動車（運輸）産業が、国内生産に占める割合は約15%と大きい。そういった意味では、空間知能化のアプローチは、建設や自動車産業という、大きな市場を高度化する重要な手段を提供するようになると考えている。



## 5.2 従来ある事業分野にロボットを付加する市場

生ごみを一時保管するための冷蔵庫や、焼却装置などを主製品とする環境事業部において、ごみ収集の仕事にロボットを導入することで、たとえ、そのような仕事に従事する高齢者の引継ぎ手がいなくなっても大丈夫であるという、付加価値を付けて形成する市場が、従来ある事業分野にロボットを付加する市場の好例である。

このような例としては、ほかに、道路や空港などの交通インフラ、及び原子力発電に関連したメンテナンス事業が考えられる。この際にも、単体のロボットよりは、空間知能化のアプローチを併用したほうがより有効なシステム構築が可能になる。

## 5.3 サービスコンテンツを備えているロボット市場

インターネットの世界では、Webブラウザという共通のビュー

アのうえで、書店 (Amazon.co.jpなどがその例) や、旅行代理店、オークション会社などがビジネスを展開している。このWebブラウザのような、様々なサービスを統合できるプラットフォームロボットが現実のものとなり、それに多様なロボットサービスが統合される状況になれば、サービスコンテンツを備えているロボットの市場、つまり、プラットフォームロボット応用市場、あるいは系列Web型ロボットサービス分野 (プラットフォームロボットがWebブラウザ的な役割を果たし、そのうえで多様なサービスが展開されるようなロボットサービス分野) とでも呼びうる市場が出現する。

この市場は、様々なサービスが可能となることが、ポイントであり、RT埋込みロボットやプラットフォームロボットが、サービスを受ける人が存在する空間に配置されたセンサやアクチュエータのロボットインフラと協調することで実現される。知能空間が不可欠の要素になると考えている。

これらの市場を可能にする要件として空間知能化は不可欠である。更に、いずれの市場においても、サービス内容が重要な役割を果たす。つまり、ロボットサービスコンテンツが今後のロボット市場形成のうえで、重要になってくると考えている。

## 6 今後の課題

この章では、前述した市場を実現するロボティクスの将来課題について述べる。

空間知能化ロボティクスにおいては、いつも人のそばにいて人を見守っており、必要なときに手を差し伸べてくれる空間知能化ロボットシステムの実現と、それによる人間行動及び社会行動の解明が最終目標である。これまでに、直接人にサービスをする空間知能化ロボティクスとして、分散センシングや、センシングネットワーク、データベース、データマイニングなどの学問技術領域が育ちつつある。しかし、ロボットインフラとしての空間知能化ロボティクスや、分散知能化ロボットシステムに不可欠のコア技術はロボットサービス統合技術であるが、残念ながらまだ、確たる成果が得られている状況にはない。これからの課題である。更に、社会の隅々にまで遍在するロボット要素が人の動きをはじめ社会活動をモニタリングし、定量的に社会をマネージしていける科学技術を目指すべきであるが、まだまだ取り組まれていない課題が多い。

研究分野の広さという観点でいうと、空間知能化ロボティクスは、個体知能ロボティクスと同様の広さと深さを持った研究分野であると考えている。

## 7 あとがき

ここでは、空間を知能化することによってロボットシステムを実現する“空間知能化ロボティクス”が、既に実用され人の役

になっていること、そして近い将来、更に遠い将来において大きな市場の産業となることを述べた。

空間知能化ロボティクスによって実現されるロボットシステムが、空間知能化ロボットシステムである。その特徴は、空間システムであることと、分散システムであることである。つまり、空間システムは、空間が機能を持ったシステムであること（空間機能性）と、そのシステムの中にいる人への干渉が少ないこと（人への低干渉性）が、応用面において重要な意味を持つ。

空間機能性を活かした応用例としては、階段や天井の持つ移動空間機能を空間機械で実現したエスカレータやパイプ輸送システムが、既に公共空間や病院において活躍している。研究例としては、ロボティックルーム1のロボット病室があり、ここでは、床や、壁、天井という空間機能性を活かした床センサ及び、壁マニピュレータ、天井カメラを備えたロボット病室が実現された。また、空間の倉庫としての保管機能に着目した日用品へのアクセス支援ロボットシステムも実験的試みとして述べた。人への低干渉性を活かした応用例としては、人を長期、常時及び自然にモニタできる特性を活かして、オフィスビルにおける省エネのための照明の自動点灯消灯システムとして実用しており、今後おおいに普及することを述べた。研究としては、その部屋の中にいる人の行動を観察しており情報支援をしたり、長期の生活情報を蓄積しておき異常を検知するモニタリングシステムの試みがなされていることを述べた。

以上のことを考えると、今後は、適応分野に関して、オフィスビルや公共空間という特殊分野だけでなく、家庭空間や自動車内空間、自動車交通空間に拡大していく方向性が見えてくる。建設産業や自動車産業は、現在でも大きな市場を持つ産業であるため、これを高度化する意味は大きい。

一方で、空間知能化ロボットシステムが、分散システムであることは、更にその後で開花する新しい産業を考えるうえで重要な特徴であると考えている。人は、家庭から出て、自動車や電車などの交通機関に乗り、職場や病院や商用施設に行く。分散システムであれば、人間のこのような広い行動範囲をカバーすることができる。このような、社会システムとしての広がりを持つ分野への展開が、より長期の方向性である。

## 文 献

- (1) Alex Pentland. Smart Rooms. Scientific American. 274, 4, 1996, p.68 - 76.
- (2) Mark C. Torrance. "Advanced in human computer interaction: The intelligent room". In Working Notes of CHI 95 Research Symposium. Denver Colorado, 1995-05, SIGCHI.
- (3) Barry Brumitt, et al. "EasyLiving : Technologies for Intelligent Environments". Proc. of International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing. Karlsruhe, Germany, 1999-09, University of Karlsruhe, Telecooperation Office. 2000, p.12 - 29.
- (4) Nishida, Y., et al. "Sensorized environment for self-communication based on observation of daily human behavior". Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Takamatsu, 2000-10, IEEE and RSJ. p.1364 - 1372.
- (5) I. A. Essa. "Ubiquitous sensing for smart and aware environments: technologies towards the building of an aware home". Position Paper for the DARPA/NSF/NIST workshop on Smart Environment. Georgia, USA, 1999-07, DARPA, NST, and NIST.
- (6) M. C. Mozer. "The Neural Network House: An Environment that Adapts to Its Inhabitants". Proc. AAAI Spring Symp. Intelligent Environments, M.Coen ed., AAAI Press, Menlo Park, CA, USA, 1998, p.110 - 114.
- (7) Joo-Ho Lee, et al. "Design Policy for Intelligent Space". IEEE Systems, Man, and Cybernetics Conference. Tokyo, 1999, IEEE. Vol.3, p.1077 - 1082.
- (8) Sato, T., et al. "Robotic Room: Symbiosis with human through behavior media". Robotics and Autonomous Systems. 18. Amsterdam, Elsevier, 1996, p.185 - 194.
- (9) Nishida, Y., et al. "Monitoring Patient Respiration and Posture using Human Symbiosis System". Int. Conf. On Intelligent Robot (IROS). Grenoble, France, 1997-09, IEEE. p.632 - 639.
- (10) 福井 類, ほか. "家庭用コンテナケース内物品認識用RFIDアンテナの試作". 第25回日本ロボット学会学術講演会予稿集. 津田沼, 2007-09, 日本ロボット学会. 論文番号1L23.
- (11) 福井 類, ほか. "家庭内物流支援用インテリジェントコンテナの開発". 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会07講演論文集. 津田沼, 2007-09, 日本ロボット学会. 論文番号2P1-002.
- (12) 原田達也, ほか. "圧力分布画像による体動計測機能の実現". 第16回日本ロボット学会学術講演会予稿集, Vol.3. 札幌, 1998-09, 日本ロボット学会. p.1035 - 1036.
- (13) 原田達也, ほか. "圧力センサ枕による睡眠時呼吸・体動計測システムの実現. 計測自動制御学会論文誌. 37, 7, 2001, p.593 - 601.
- (14) Mori, T., et al. "Construction of Sensor Network System for Human Behavior Measurement and Accumulation via Distributed Objects". Proc. of SPIE, volume4571. Munich, Germany, 2001-10, International Society of Optical Engineering (SPIE). p.230 - 237.
- (15) Mori, T., et al. "One-Room-Type Sensing System for Recognition and Accumulation of Human Behavior". Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Takamatsu, 2000-10, IEEE and RSJ. p.345 - 350.
- (16) 朝木克利, ほか. "人間行動のモニタリング・要約提示・蓄積のためのワンルーム型センシングシステム". 第一回計測自動制御学会システムインテグレーション部門学術講演会, SI2000. 名古屋, 2000-12, 計測自動制御学会. p.187 - 188.
- (17) 佐藤知正, ほか. "住居センサ空間から得られる長期行動情報に基づく人間の生活状況要約支援システム". 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'02講演論文集. 松江, 2002-06, 日本機械学会. 論文番号1A1-J12.
- (18) 中田 亨, ほか. ロボットの対人行動による親和感の演出. 日本ロボット学会誌. 15, 7, 1997, p.1068 - 1074.
- (19) Nakata, T., et al. "Expression of Emotion and Intention by Robot Body Movement". Intelligent Autonomous Systems 5. IOS Press, 1998, p.352 - 359.
- (20) 中田 亨, ほか. 人とロボットのインタラクションにおける生成印象と情報伝達の相関分析. 日本ロボット学会誌. 19, 5, 2001, p.667 - 675.
- (21) 森 武俊, ほか. "日常部屋生活支援システムの開発 : 第3報". 第26回日本ロボット学会学術講演会予稿集, RSJ2008. 神戸, 2008-09, 日本ロボット学会. 論文番号2F01.



佐藤 知正 SATO Tomomasa, D.Eng.

東京大学大学院 情報理工学系研究科 知能機械情報学専攻教授, 工博。人間共棲ロボットの研究に従事。日本機械学会, IEEE 会員。日本ロボット学会会長。  
The University of Tokyo