

特 集

第99回日本外科学会記念 マルチメディアと外科学の展開

各論

III. ロボティクス

1. ロボティクスの現状と将来*

館

樟**

〔要旨〕ネットワークとロボティクスを融合させ真の意味での人間中心のテレイグジスタンス社会を目指すアールキューブ構想(Real-time Remote Robotics: 実時間遠隔制御ロボット技術構想)が策定され、その一環として「人間協調共存型ロボット: HRP」の国家プロジェクトが1998年から開始された。本解説ではテレイグジスタンス、アールキューブおよび人間型ロボットを中心にロボティクスの現状と将来について概観する。

はじめに

ロボットという名称はカレル・チャペックの戯曲RURに由来し、したがって1920年と比較的最近であるが、人間に代わり様々な仕事をしてくれる忠実な下僕を持ちたいという夢は太古から綿々と連なっており、古くは紀元前8世紀のホメロスの叙事詩「イリアス」にも見られる。しかし、神話や物語あるいは見世物での存在であった時代はさておき、ロボットが実際に人間の労働を代行するようになったのは、所謂、産業用ロボットと呼ばれるプレイバックロボットの出現した1960年からである。

実際に使われるロボットが市場に現れ、しかもそれが、今まで物語りの世界で語られていたものと似ても似つかぬ機能と形状を持っていたが故

に、それらを世代で区分し理想と現実のギャップを明らかにしつつ混乱を防ぎ、その成長を見守るとともに進むべき方向を明らかにする必要が生じ、ロボットを世代で区分することが行われた¹⁾。その結果、第3世代ロボットの概念が生まれ、それに基づいて極限作業ロボットの研究開発が1983年から8年間、国家プロジェクトとして推進されるに及びロボティクスが飛躍的に進展した。

第3世代の提唱から15年以上の歳月が流れた現在、新たなロボティクスの進展がネットワークとロボティクスそしてバーチャルリアリティ(VR)の三者を融合するかたちで進展しつつある。その源流は、テレイグジスタンスの概念であり、それを万人が使えるようにとの願いから生まれた、複数のロボットとコックピットを高速ネットワークで結ぶアールキューブ構想である。アールキューブ構想は1995年に通産省と東京大学が中心となって策定され1996年1月に公表された²⁾。その構想の一環として1998年からは「人間協調共存型ロボット」通称HRP(Humanoid Robotics Project)が国家プロジェクトとして開始されている。

ロボットの応用分野も、第1世代と第2世代が塗装、溶接、組み立てなど工場内の生産現場であったのに対し、第3世代では、プラントやコンビナートなどに拡大した。アールキューブで代表される第4世代のロボットは、さらに身近な人間と共に

キーワード：テレイグジスタンス、アールキューブ、人間型ロボット

* Robotics : Its Present Status and Future Prospect

** S. Tachi (教授) : 東京大学大学院工学系研究科。

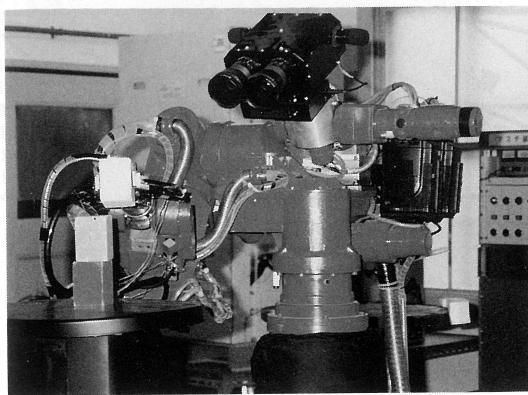


図1. テレイグジスタンス実験用
ロボットTELESARによる作業風景（東京大学
館研究室）。

する環境での利用を目指しており、外科など医療分野での応用も多く含まれる。

本解説では、ロボティクスの現状と将来をテレイグジスタンス、アールキューブ、人間型ロボットを中心に概観する。

I. テレイグジスタンス

テレイグジスタンス (telexistence) とは、人間がその場にいなくとも、遠隔で働くロボットを、自分がそのロボットと一緒にいたような高度の臨場感を有して活用し、その場を体験し観察しつつ自分の分身のように自在に操って作業を遂行する技術である。ロボットの有する赤外線センサーやコンピュータデータベースの情報を可視化してVR環境を構成し、その中にテレイグジスタンスしたり、あるいはVR世界を現実世界に立体的に重畳して示し利用することも可能で、後者を拡張型テレイグジスタンス (Augmented Telexistence) と呼んでいる。

テレイグジスタンスは1980年に筆者により提唱され、我が国で育った技術であり、大型プロジェクト「極限作業ロボット」研究開発の大きな柱の役割を担った。現在では、その工学的実現可能性が理論的にも、また実際のハードウェアシステムによる実験からも実証され、基本システムの設計法が明確になっている。さらに、プロジェクトの成果は海洋作業の実証機にも組込まれ実用に近づ

いている。なお、最初の学会報告は、1982年に計測自動制御学会で行われ³⁾、特許は1981年に出願されている。図1にテレイグジスタンスロボットの作業風景を示す。

II. アールキューブ

図2に第4世代ロボットの位置づけを示す。ロボットとその使い手である人間をネットワークで高度に結合したロボット技術が第4世代の特徴である。このシステムによりロボットを人間と共に存する環境で利用することが可能となる。

第4世代を代表するアールキューブ構想では、あらゆる種類のロボットや、ロボット機器と、それを利用する人間のためのコックピットやブースあるいはVRパソコンを高速ネットワークで結ぶ。この構想が実現すれば例えば、現在の家庭のパソコンがVR入出力付のVRパソコンになり、それを用いてB-ISDN等の高速ネットワークを介して世界中のサイトにテレイグジスタンスすることが可能となる。家庭内のパソコンにはパーソナルロボットがコンピュータの端末機器のように接続され、コンピュータの指令で制御されたり、テレイグジスタンスマードでは使用者の目となり耳となって環境を認識し、使用者の意のままに分身のように行動する。

家庭だけではなく、オフィスや工場、病院、学校、図書館、美術館、公園、競技場、アミューズメントパークなどあらゆるところに、テレイグジスタンスロボットが配置されており、人は家庭からでもオフィスからでも、あるいは公衆電話のような公衆アールキューブブースやコックピットから世界中のアールキューブロボットを自分の分身のように利用できる。これを用いれば例えば、病院に長く入院していて外にでられない子供たちやお年寄りが、ほかの子供たちと一緒に遊んだり、自分の家族の住む家に戻ったりすることが、等価的に可能となるのである。スペースシャトルのアールキューブロボットにテレイグジスタンスすれば、所謂「宇宙からみた地球の平和」を宇宙飛行士でなくとも体感できるようになるであろう。

アールキューブでは、家庭内に適したロボット

	1960	1970	1980	1990	2000	2010
普及レベル						
実用レベル	第1世代 オートーション機器 マニューフェクション	第2世代 適応ロボット		第3世代 管制制御型自律ロボット		第4世代 アールキューブ
研究レベル						
	第1世代	第2世代	第3世代	第4世代		
大脳機能 (小脳)	知能 知識	先天的プレイバック データ	適応・順応 データベース	推論・問題解決 知識ベース	後天的 学習 学習型知識ベース ニューラルネットワーク	
感覚認識機能	内界情報 外界情報 コミュニケーション	あり なしあるいは点 一方方向(ティーチング, NCテープ)	あり 一次元・二次元 整った環境 インタラクティブ (ロボット用言語)	あり 三次元 構造化された自然環境 双方向コミュニケーション (管理制御, テレイグジスタンス)	あり 三次元 自律的双方向コミュニケーション (自然言語理解, ロボット間コミュニケーション)	
作業機能	マニピュレーション 移動	静的位置制御 一次元・軌道	動的位置制御 二次元・無軌道	動的力制御 整った三次元	動的強調制御 三次元	
応用範囲		第2次産業製造業の一部 (マテリアルハンドリング・塗装・スポット溶接)	第2次産業製造業 (アーケ溶接・組立)	第2次産業非製造業 第1次産業, 第3次産業の一部 (点検, 保守)	第2次産業非製造業 第1次産業 第3次産業	
技術の特徴	内界センサ + サーボ技術	外界センサ + マイクロプロセッサ システム技術	知識処理 マンマシーン インターフェース技術	人工現実感 + ネットワーク技術		

図2. ロボットの世代とアールキューブの位置付け

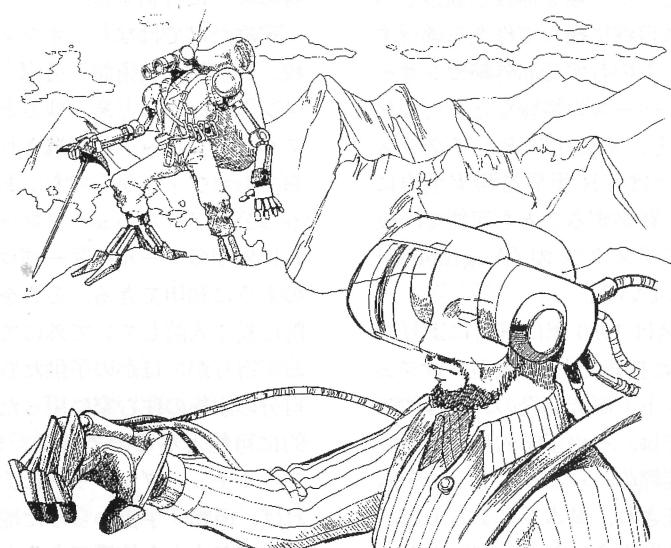


図3. アールキューブを用いた登山のイメージ図

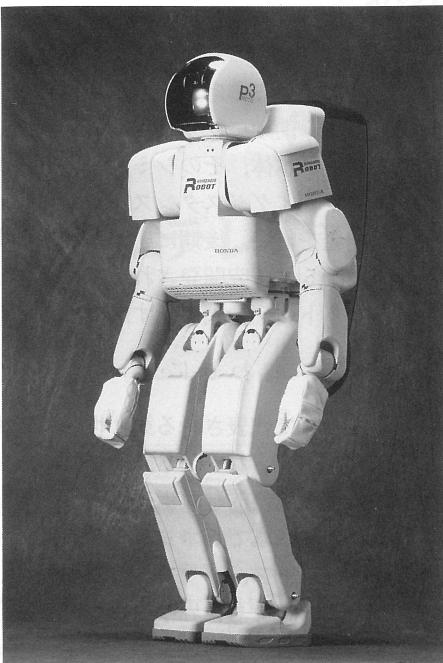


図4. 人間型ロボットP3（本田技研工業）

と各種作業に適したロボットという形で多くの種類のロボットが作られる。それはちょうど自動車とのアナロジーで捕らえられよう。というのは高速道路を走るビークルが自動車であるように情報ハイウェイを行き交うビークルはアールキューブであるからである。家庭用のパーソナルロボットは自転車を運転するように無免許で利用でき、災害救助用の大型ロボットは特殊免許、通常の利用は普通免許といった運用形態が可能となる。

そしてここで最も重要な技術が安全知能である。今までややもすればロボットや機械の知能は人間の高度の大局的な判断や思考を置き換えるとして失敗してきた。しかし、アールキューブにおいてはロボットの知能は人間の最高級の判断や意思を置き換える必要はない。むしろ、それこそが人間の最も重要な部分であり、人間はその部分こそ自分で行いたいのである。そして自動車を運転するようにアールキューブロボットを操縦する。しかし、自動車とは異なりアールキューブロボットは知能も有して人間が見逃した危険を回避するのである。これが安全知能である。

安全知能の原則はアシモフのロボット3原則と同一である。すなわち、人に決して危害を加えてはならない、危険を看過することで人間に危害を与えてはいけない、危険を与えない範囲で人間の命令に従い、そして、前記の2項に反しない限りロボット自らの安全を守らなければならない。つまり、人が自らの責任と判断でアールキューブロボットをテレイグジスタンスで操りながら、人間の見逃した危険をロボットの側でも二重にチェックする安全知能は今後のロボット技術におけるキーテクノロジーの一つとなろう。図3は障害のある人や寝たきりの人でも、例えば仲間と一緒に登山をすることが可能となるというアールキューブの未来像の1例を示している。

現在、その記述言語であるRCML（アールキューブ操作言語）と通信制御プロトコールのRCTP（アールキューブ伝送プロトコール）の研究開発が始まっている⁴⁾。

III. 人間型ロボット

ロボットが人間型である必然性がないことは無論のことである。むしろ、捕らわれずに工学的にみて合目的かつ最適の設計をすべきである。しかし一方、人類の夢として人間型を追求することを排除する理由がないこともまた明白である。しかも、完成すれば人間と共に存する環境には最も適している。というのは、人間が作り出す人工物は人間に合わせて設計されていることが常であるからである。

このようなことから、過去様々な人間型のロボットが研究されてきたが、形状と機能の面で最も難問とされていたものに2足歩行があった。2足歩行は、1960年代から早稲田大学を中心に研究され、1970年代後半からは、所謂、現代制御を研究する理論家の多数の参入をみて1980年代前半に多いに盛り上がった。しかし、1985年の「つくば万博」に出品された2足ロボットあたりから、金と人さえかけばできる技術ではないことが誰の目にも明らかになり、その限界が語られ始め、電源ケーブルなしに独立して歩き回る2足歩行ロボットは不可能とさえ言われ急速に研究

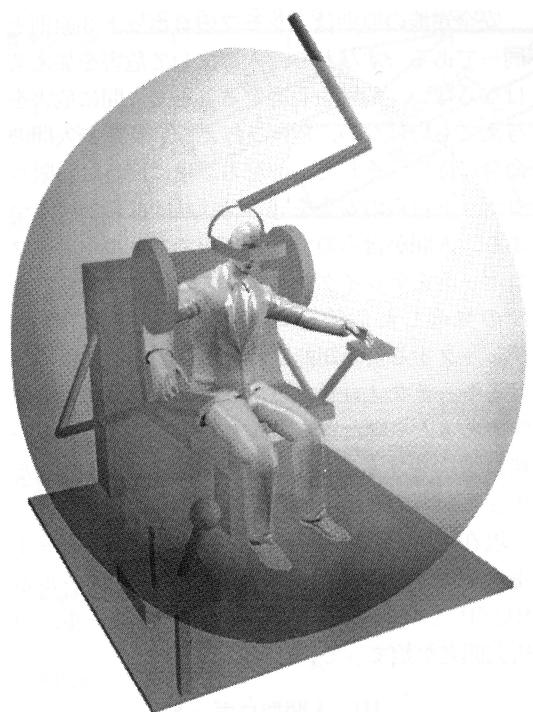


図5. アールキューブ・コックピットの概念図

が途絶えて行った。

ところが、アールキューブ構想が公表された1年後の1997年に(株)本田技研工業が完全自立で階段を昇降し自由に歩き回る2足歩行ロボットP2を突然発表するや、ロボットの世界に衝撃が走った⁵⁾。一時期不可能ではとさえ思われていた完全自立の2足歩行が可能であることの「存在証明」が急転直下なされたからである。図4には、その後に再度改良を加えられたP3を示す。

通産省では、人間型ロボットのもつ技術的なインパクトをいち早く認め、人間型ロボットをプラットフォームとしてアールキューブ構想を発展

させるべく、人間協調共存型ロボットの研究開発の国家プロジェクトを1998年からの5年計画で開始したのである。この応用産業技術研究開発プロジェクトでは、前期にプラットフォームとしての人間型ロボット本体、そのシミュレータ、およびロボットにテライグジスタンスするためのコックピットの開発を行い、後期に応用のための実装研究を行う。図5に研究開発されるアールキューブ・コックピットの想像図を示す。

おわりに

アールキューブで代表される第4世代のロボットの研究開発が進められている。それは、人間型ロボットのような本格的なロボットからパーソナルなペットロボットまでをネットワークで結び、コックピット、ベース、パソコンなどをを利用して何処からでも、いつでも世界中のロボットを自在に利用することを目指す。応用は、第2次産業の製造業に止まらず、むしろ第1次産業や医療やサービス業などの第3次産業に広がっており、今後の進展が期待される。

◆◆◆文献◆◆◆

- 1) 館 嘉洋、小森谷清：第3世代ロボット。計測と制御 21-12 : 1140, 1982
- 2) 通産省アールキューブ研究会：アールキューブ、日刊工業新聞社、1996
- 3) 館 嘉洋ほか：テライグジスタンスの研究第1報、第21回SICE学術講演会前刷, p167, 1982
- 4) Tachi S : Projects in VR. IEEE Computer Graphics and Applications 18 (6) : 6, 1998
- 5) 本田技研工業：人間型ロボット。日本ロボット学会誌 15 (1) : 表紙写真, 1997