

人間と共存できるロボットの形態と機能

早稲田大学理工学部教授 菅野重樹

1. 21世紀のロボット

ロボットの概念は、紀元前のギリシャ神話にも人間に似た機械であるアンドロイドとして登場するが、「ロボット」という言葉が創られたのは、20世紀に入った1920年のことである。

その後、1947年にロボット初期の姿である原子力施設用マニピュレータ（ロボットの手・腕）がアメリカのアルゴンヌ研究所で試作された。手塚治虫が鉄腕アトムを発表したのは1951年である。

1954年にアメリカのデボルが産業用ロボットの特許を取得した。本格的な産業用ロボットであるユニメートとパーサトランが売り出されたのは、デボルの特許から8年後の1962年であった。

1980年は、産業用ロボットが急速に普及した年としてロボット元年と呼ばれている。産業用ロボットは特に日本で広く普及し、国連などの調査では、1998年度における世界の地域別年間市場規模は、日本が約3～4万台、ヨーロッパが2万台（ドイツが約半分）、アメリカが1万台となっている。

20世紀の終わりに近づいたここ2～3年になって、ロボット開発は新たな展開を迎えている。産業用ロボット市場が頭打ちとなり、超高齢化社会の到来を支える福祉ロボット、人間の生活に潤いをもたらすエンタテインメントロボットや情報端末としてのロボット（図1）などが新たに研究・開発されるようになり、市販が開始されたロボットもある。これらは人間協調・共存という新しいパラダイムでのロボットである¹⁾。

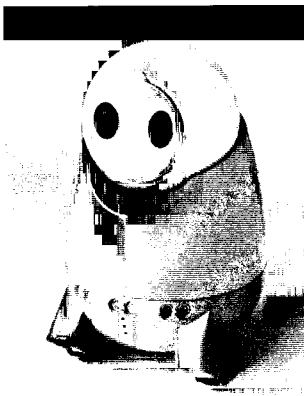


図1 家庭用情報端末ロボット
(提供：日本電気株式会社)

人間共存型ロボットとは、人間と行動空間および

情報空間を共有するロボットと定義できる。共有の意味するところは、物理的なインタラクションと心理的なインタラクションが人間とロボットの間で生じることである。

物理的なインタラクションとは、人間とロボットとがすぐ傍にいて一緒に協調して作業をする際に必ず生じる人間とロボットとの接触である。接触したときに人間に適応した力加減と動きの制御がロボットには要求される。特に重要な機能は人を傷付けないための安全機能である。

また、心理的なインタラクションとは、ロボットが人間とのコミュニケーションを通して、人間に対して喜び・満足などの心的な変化をもたらすことである。ロボットには、人間の状態や意図を認識する機能、ジェスチャーや表情などの非言語情報を出力する機能が必要となる。

本稿では、21世紀において大きく発展するであろう人間共存型ロボットに焦点をあてる。まず、人間共存型ロボットの形態について検討し、次に人間共存であるがゆえに重要となる機能について考える。

2. 形態と人間親和性

2.1 人間共存とヒューマノイド

人間共存のための機能は、形態とかなり密接な関係があり、人間に似た形態が最も機能を発揮しやすい。社会に存在する人工物・人工環境は、人間のために、人間に使い易いように、人間が産み出したものである。ロボットが人間と同様にこれらの物・環境の全てに適応するためには、外界とのインタフェースとなる身体の形態が、人間に似ている方が有利である。さらに、人間に似たロボットは人間との協調にも適している。

次に、人間親和性は環境適応性以上に形態と関連してくる。犬猫のペットと同様にかわいらしい意匠であれば、まずは親和性の最低限の条件は確保できよう。人間親和性はコミュニケーションの結果もたらされるものであるが、コミュニケーションの多様

性はロボットの形態に依存するところが大きい。

首に自由度があれば頭を動かすことができ、コミュニケーション相手へ同意や拒絶のメッセージを伝えることができる。指が独立に3本以上あれば、指の形で方向指示や作業内容手順などを伝えることもできる。人間同士のコミュニケーションでは、会話以外に、目や手の動きといった体によるジェスチャーをはじめとするノンバーバル（非言語）コミュニケーションが大きな役割を担っている^[2]。人間とロボットとの間の自然な情報交換のためには、ロボットにも人間と同様のノンバーバル情報伝達メディアとしての顔や目、そして手が必要になってくる。さらに、それらが人間と同等に配置されていなければ、いわゆる場の共有、すなわち相互に情報を交換する際のメディアの一致が図れないのである。

2.2 社会文化と人間共存型ロボット

早稲田大学生物工学研究グループ（現ヒューマノイド研究所）は、1973年に人間共存を目指した世界初の人間形ロボットWABOT-1（図2）を完成させた^[3]。それ以来、このプロジェクトでは人間共存ヒューマノイドロボットを開発研究してきた。1980年代、ロボット研究が世界的に広がり始めた頃、研究室を訪ねてきた多くの外国人研究者は、必ずや次の台詞を発した。

「なぜ人間形なのか？ なぜ2足なのか？ ロボットは機械である。目的の作業に適した機能と形態をもっていれば十分である。人間に近づける必要はない」と。

人間の形態に近い人間共存型ロボットの研究は特に日本で盛んである。この背景には、東北アジアにおける儒教の影響を受けたアニミズムの存在が指摘できよう（アニミズムについては文献[4][5]などを参照されたい）。日本は、八百万の神の多神教であり、万物に魂の存在を見失ってしまう。機械を含めてあらゆる物に生命を感じるのである。

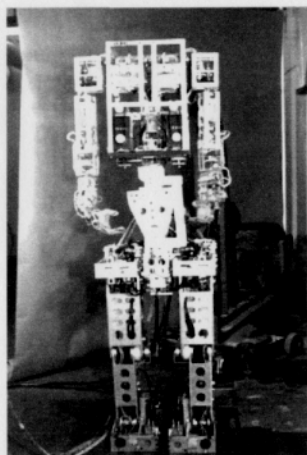


図2 人間形ロボットWABOT-1
（早稲田大学ヒューマノイド研究所）

特に、人間や動物の姿に近い物には、人間と同様の魂を入れ込んでしまう。それに対して欧米は一神教であり、人工物に対して魂の存在は認め難い。人工物は人間の道具でしかないのである。

欧米では、SF映画からも分かるように、エンターテインメントのための高い人間親和性を人間型の形態で実現することは受け入れられる。しかし、人間共存型ロボットのための人間親和性では、形態よりも機能でのアプローチが重視されることになる。実際に欧米で研究開発が進められている人間共存型ロボットのデザインは機能優先である。欧米でのヒューマノイド研究の目的は、いわゆるイメージネーションの世界すなわちアミューズメントマシン実現であり、あるいは身体性を意識した知能創出研究（知能は身体の形態と機能に依存して発現するという考え方）の実験台である。

人間共存型ロボットとして受け入れられるロボットの形態の設計には、技術的な問題だけでなく文化の違いを考慮する必要がある。

3. 人間共存型ロボットの機能

人間共存型ロボットを特徴づける主要な機能として、

- 1) ノンバーバルコミュニケーション機能
- 2) 安全機能

の2つがあげられる。以下、これらについて詳しく述べる。

3.1 ノンバーバルコミュニケーション

人間同士のコミュニケーションでは、言語情報および非言語情報の組み合わせで情報が伝達されている。特に非言語情報は、交換される情報量全体の6割～7割を占めるとも言われており^[6]、非言語情報がコミュニケーションにおいて大きな意味を持っている。当然のことながら、論理的な情報の伝達は主として言語が司っており、その伝達だけを対象とするならば非言語情報は不要である。しかし、コミュニケーションにおける雰囲気、場、感性、情緒といった人間に心的作用をもたらす要因は主として非言語情報にあり、その情報が論理的情報に付加する意味はかなり大きい。このことは人間同士だけでなく、人間とロボットの場合においても同様である。

非言語情報は、その代表的なジェスチャーなどを考えても容易にわかるように、身体構造と密接な関

係がある。人間の身体は形態的に多様性をもたすことができるが、人間と同等な非言語情報をロボットで扱うためには、ロボットにも人間並みの形態を与えることが必要となろう。この意味から、豊富な非言語情報の生成能力を備えた人間共存型ロボットは必然的に人間の形態に似てくることになる。

しかし、ロボットにおけるジェスチャー生成にはまだ多くの技術課題がある。例えば、場面にあったジェスチャーの選択や生成のタイミングという問題がある。どのようなジェスチャーでも意味をもっている。そのため、場面とタイミングに適したジェスチャーを行わないと人間がその意図を理解できず、コミュニケーションを阻害することになる。ロボットにおけるノンバーバルコミュニケーションは、ますます盛んになりつつある研究テーマである。

3.2 安全性

3.2.1 衝突前提

産業用ロボットは、作業領域を柵で囲み人間が近づけないように設置しなければならない。もしも人間がロボットの動作範囲に入りそうになった場合には、停止する安全制御が必要である。ロボットと人間が衝突し、人間に危害が加わらないようにするためには、ロボットは止まらなければならない。

これに対して人間共存型ロボットは、常に人間と行動空間を共有するため、停止しては何か作業ができない。すなわち、人間とロボットとは必ず衝突を起こすことを前提にした上で、ロボットの動作と安全を考えなければならないことになる。

人間同士が作業をしているときでも、衝突は頻繁に起こる。しかし通常は、双方共ゲガをするようなことはない。これは、人間の身体が衝突に対して柔軟に適応できることと、作業プロセスのコンテキストから、衝突が起きたときの状況とその後回避方を素早く決定できるからである。

人間共存型ロボットには、このような人間と同等の安全機能が必要となる。

3.2.2 衝撃吸収カバーと受動的力制御

人間と最も衝突を起こす可能性が高いロボットの部位は腕である。衝突では、慣性による衝撃力の吸収と衝突後の運動制御を考えなければならない。

衝撃力を吸収するためには、人間の柔らかい皮膚と同様、ロボットの表面を柔らかい素材で作られた衝撃吸収カバーで覆うことが効果的である。カバー

の設計については、ロボットが人間の頭部と衝突したときに脳震盪を起こさないための、カバー素材選定とカバー厚み計算方法などが研究されている¹⁸⁾。

衝突後にロボットがとるべき運動を導出する軌道制御については、腕の柔らかさを制御する方法が有効である。衝突後に人間からロボットに加わる力を関節や手首に取り付けた力センサにより計測し、その力をキャンセルするようにインピーダンス制御、コンプライアンス制御を適用してロボットを受動的に動かせば、人間に対して無理な力を発生し続けることを避けることができる。

3.2.3 安全性と作業性

ロボットの安全性を作業性と両立して実現するためには、ロボットが作業のコンテキストを理解しなければならない。

熱いお湯が入ったコップをロボットが運んでいるときに、人間が不意に衝突してきたことを想定してみよう。もしもその衝突による力の発生を完全に和らげようとロボットが腕を動かすと、コップの熱湯がこぼれて人間に火傷を負わせるかもしれない。これでは安全制御の意味が無い。

人間とロボットが行動空間を共有している以上、ロボットは人間との共同作業のシナリオを十分に理解しておき、常に安全性と作業性のバランスがとれるように準備しなければならない。

3.2.3 移動機構と安全性

人間共存型ロボットは人間に近い形態を有するが、人間の特徴である2足(脚)のロボット化には、人間共存型ロボットの条件である安全性の点からきわめて難しい課題が存在する。

2足はもともと不安定なシステムであるがゆえに、学問的には興味ある課題となっているが、ロボットに応用したときに人間への安全を保証することはほとんどできない。もし転倒すれば、周囲の人間を傷付けることは避けられないからである。

2足は環境適応性に優れていることが特徴であるが、これからの福祉の時代ではバリアフリーが当たり前となることから、安全性だけでなく制御性、経済性にも優れる車輪式で十分であると考えられる。前述した文化の違いも考え合わせると、人間共存型ロボットの移動に関する形態は、当面は車輪式が主流となるだろう。

4. 人間共存型ロボットのモデル

図3に、人間共存型ロボットの機能について、早稲田大学ヒューマノイド研究所が開発した人間共存型ロボット Hadaly-2 (アダリー2号, フランスの作家リラダンによる「未来のイブ」に登場する美女ロボット^[8]) をモデルとしてまとめてみた^[9]。



図3 人間共存型ロボットの機能 (Hadaly-2)
(早稲田大学ヒューマノイド研究所)

5. おわりに

人間共存型ロボットの必要条件であるコミュニケーションと安全は、今まさに多数の研究が展開され成果をあげつつある。

現状の研究の進捗状況から予測すると、真に知的

とは言えなくても、知的に振る舞え、人間と共同作業が可能な人間共存型ロボットが家庭や福祉施設などにまもなく導入されることになろう。また同時に、家庭電気製品の知能化・ロボット化も進むであろう。

21世紀の半ばには、人間共存型ロボット産業が、自動車、コンピュータ並みの基幹産業に発展してゆくかもしれない。

参考文献

- [1] 日本ロボット工業会, “平成9年度通商産業省工業技術院委託 パーソナルロボットの標準化に関する調査研究成果報告書”, 日本ロボット工業会, 1998
- [2] 菅野重樹, 渋谷恒司, “非言語コミュニケーションのための人間形ロボット”, 日本ロボット学会誌, 第15巻第7号, pp.975~978, 1997
- [3] 加藤一郎 他, “WABOT-1の開発”, バイオメカニズム2, 東大出版会, pp.173~214, 1973
- [4] 岩田慶治, “アニメイズム時代”, 法蔵館, 1993
- [5] 大橋力, 小田晋, 日高敏隆, 村上陽一郎, “情緒ロボットの世界”, 講談社, 1985
- [6] 黒川隆夫: ノンバーバルインタフェース, オーム社, 1994
- [7] 森田寿郎, 鈴木雄一郎, 川崎毅彦, 菅野重樹, “人間共存ロボットマニピュレータの衝突安全設計と制御”, 日本ロボット学会誌, 第16巻第1号, pp.102~109, 1998
- [8] 松島皓三, “リラダン「未来のイブ」におけるアダリーのメカニズム”, 日本ロボット学会誌, 第4巻第3号, pp.84~88, 1986
- [9] 橋本周司, 菅野重樹, 他, “ヒューマノイド-人間形高度情報処理ロボット”, 情報処理, 第38巻第11号, 1997

サイエンスネット第9号

平成12年9月発行 (年3回発行予定)

150406

頒価 100円

発行所 数研出版株式会社

東京 〒102-0073 東京都千代田区九段北1-12-11
TEL (03) 3265-0811 (代表)

京都 〒604-0867 京都市中京区烏丸九丸太町西入ル
TEL (075) 231-0161 (代表)