解説

人間共存型ロボットシステムにおける技術課題

Technical Targets of Human Friendly Robots

人間共存型ロボット研究専門委員会* *日本ロボット学会

Research Committee on Human Friendly Robot* *The Robotics Society of Japan

1. はじめに

我が国においては、平均寿命の伸長と少子化の進行により、21世紀半ばには、国民の約3人に1人が65歳以上という、超高齢化社会が到来することが予測されている。それに伴いいくつかの深刻な課題が指摘されている。その一つは、例えば高齢者など、健康ではあるものの、体力が弱まることにより、豊かな日常生活を営む上で、何らかの支援を必要とする人の数が増大することである。また、若年層を中心に生産年齢人口は減少に転じることが見込まれているが、出生率の低下（1997年の合計特殊出生率は史上最低の1.42）が21世紀初頭以降の生産年齢人口の減少を加速し、労働力供給面での制約要因になることも懸念される。就業人口の減少は、広範囲の産業分野に人手不足を深刻化させると予測される。こうした状況を解決する手段の一つとして、人と共に働き、人に種々のサービスを提供し得る人間共存型ロボットシステム技術が注目を浴びはじめている。人間共存型ロボットシステムは、これまで意欲が有りながら社会的・家庭的・体力的制約によって社会進出が困難であった人々の社会進出を支援し、また、日常生活のなかで魅力と尊厳のある人生の構築を支援することにより、本人と社会の双方が利益を享受するシステムである。本会においても、「人間共存型ロボット研究専門委員会（委員長野崎武敏（機械技術研究所ロボット工学部長）」）が、1996年7月に発足し、1998年12月までの予定で調査研究を進めている。

人が生活する空間で人と共存し、仕事や生活などのいわば人間の自己実現を支援する人間共存型ロボットシステムには、安全性、操作性、機能性の各面から、溶接、塗装、組立などの各種用途の産業用ロボットとは異なる性能が求められる。これまで使われてきた産業用ロボットは、人の労働を支援するものではあるが、安全対策上、稼働中は人

がその作業空間に立ち入らないことを前提として、作業を遂行するものであり、人と共存できるシステムではなかった。一方、人間共存型ロボットシステムは、人間とロボットが同じ生活・作業空間に共存することが大前提である。

本報では、人間共存型ロボット研究専門委員会の調査研究内容を基に、人間社会のロボティクスによる支援を目標として、人とロボットを共存させるための技術課題を明らかにする。まず第2章で、本報で扱う人間共存型ロボットシステム技術の定義を明確にする。次に第3章では、人とロボットを共存させる際に鍵となる「人とロボットの親和性」に注目して、「物理的」、「情動的」、「情緒的」、「環境・経済的」といった四つの側面から、人間共存型ロボットシステムの技術課題を明らかにする。最後に、人間共存型ロボットシステム技術の今後について触れ、本報のまとめとする。

2. 人間共存型ロボットシステムとは何か

本報では、「人と同時に多様な環境に存在し、人との物理的、情動的、情緒的などのインタラクションを重視したロボットシステム」を、「人間共存型ロボットシステム」と呼ぶことにしたい。

これについて若干のコメントを付す。第一に「人と同時に多様な環境に存在する」とした点である。人と同じ環境で稼働できるロボットは、これまでもいくつか開発されている。それらは、人がいない時間に稼働することを前提としたものと、人がいる時間に稼働することを前提としたものに分類できる。前者は、確かに人間が活動するのと同じ環境で活動してはいるが、操作者を除き人とのインタラクションがないため、無人化工場内で活動するロボットと同類であると考えられる。そのため本報では、前者を除外し、後者のみを対象とした。

また、「多様な環境」と、特に環境を生活環境に限定していない点も強調したい。これまで人間共存型ロボットというと、福祉ロボットと短絡的に結び付けられがちであった。しかし、生産活動や娯楽活動まで、その適用範囲は広がりを見せている。例えば、生産現場では近年の多品種少量生産の流れを受け、生産現場にも産業用ロボットと作業者とのインタフェースをもっとユーザフレンドリに、さら

原稿受付 1998年2月20日

キーワード: Human Friendly Robotics, Human-robot Collaboration, Human-robot Coexistence, Human Centered Robotics

〒113-0033 文京区本郷2-19-7ブルービルディング2F

*Bunkyo-ku, Tokyo

には産業用ロボットと作業者を共存させようという試みが始まっている。建設現場にしても同様である。また、アミューズメントパークをはじめ、多くの教育娯楽施設や展覧会場で、ロボットシステムが人々と共存し、人々を楽しませているのは御存じの通りである。

第二に「ロボットシステム」という表現にして「ロボット」のみとしなかった点である。近年の情報通信技術の革新により、ロボットシステムの頭脳である計算機システムと、感覚・運動機構を物理的に極近距離に設置する必要がなくなった。このことは、空間全体に各種センシングシステムや操作システムを分散させ、空間自体をロボットシステムとすることを可能とした。病室、オフィスなど、閉空間が対象で、かつ空間に手を加えることが許容できる環境では、有効な手法であろう。

また、VR技術の発展により、様々な感覚を人々に提示する機器が開発されている。これらにも、ロボット技術が多く活用されており、これらを含めるためにも「ロボットシステム」とした。

3. 人間共存型ロボットシステムの技術課題

ロボットに人との親和性を持たせることこそが、人間共存型ロボット技術の特徴だと考える。親和性は、物理的、情動的、情緒的、環境・経済的といった人とロボットのすべてのインタラクションのなかに存在する。例えば、従来、作業機能により規定されてきた、形態（大きさ、色、形）についても、人間共存型ロボットでは親和性により規定される。これは、自動車、家庭電化製品などのように、人と共存している工業製品を見れば明らかであろう。黄色が視認性が高いからといって、すべての車がイエローキャブのように黄色くなるわけではない。現在の産業用マニピュレータにとって、1[m]程度のアーム先端で1.5[m/s]以上の手先合成最大速度を発生することはさほど困難なことではない。しかし、動作速度が0.5[m/s]を超えると75%以上の人が「こわさ」を感じる[†]。計算機言語に堪能なプログラマは、ディスプレイに向いキーボードをたたくことにより、ロボットの動作をプログラムすることに違和感を感じないかも知れないが、一般人では使用できる言葉を限定すると自然言語による動作指令さえもままならない。人がロボットに合わせるのではなく、ロボットが人に合わせることで人間共存型ロボット技術と従来のロボット技術との大きな違いではなからうか。

本章では、以下、物理的、情動的、情緒的、環境・経済的といった四つの視点から人と親和性の高いロボットシステムを構築するために特に必要な技術課題を明確にしていきたい。無論、ロボット技術は総合技術であり、人間共存

型ロボットシステムを構築するのに必要な技術は、一般のロボットシステムを構築する技術と大きく重なり合う。したがって、本報で述べる技術課題以外にも、人間共存型ロボットシステムを構築する上で本質的に重要である「人間を知る」ことなど、多くの課題が残されていることを忘れてはならない。

3.1 物理的親和性を確保するための技術課題

本節では、人間と直接ロボットが接するような局面が想定される場合に、人間共存型ロボットシステムがどのような形態をとり、また、どのように振る舞うことが望ましいかという問題を取り上げ、その技術課題を追う。ここでは、安全性、協調性のさらに先に物理的親和性が位置づけられるという立場をとる。そして、人間共存型ロボットシステムの設計にあたり、人間側の特性を把握しこれを考慮に入れることが重要であることを指摘しつつ、ロボットのハードウェア、ソフトウェアを考えていく。

3.1.1 ハードウェア ～安全性を尊重して

ロボットのハードウェアは、まず、人間の安全性を最優先にして設計されるべきである。以下に述べるそれぞれの課題の対策は、必ずしもすべての人間共存型ロボットに要求されるものではないが、これらに適宜対処しておけば、信号処理段階の信頼性向上やロボットの動作環境を対象とした危険解析に払う努力が軽減できる。

さて、人間共存型ロボットシステムに求められる安全性をここでは、フェールセーフや機能安全等のいわゆるロボット単体の信頼性に関する議論とは分けて考え、「人間が許容し難い危険因子がひとつも存在しない状態」を求めるものであるとする。この場合、物理的接触のなかに求められる安全性は、「人間に身体的損害を与えないこと」と置き換えることができる。イギリスの安全規格では、動作中の機械に人間の身体が接触した場合に発生する障害事故のタイプを、(1) からまり、(2) 摩擦・磨耗、(3) 切断、(4) せん断、(5) 突き刺し・穴あけ、(6) 衝撃、(7) 押しつぶし、(8) 引っ張り込みの8種類に分類している。これらのうち(6)と(7)を除いたものは、ロボットからの危害を受けないようにその設計段階で考慮しなければならない機構的、形態的ファクタである。これに対し(6)および(7)は、ロボットが運動する段階で考慮しなければならないファクタである。ここに人間の安全のための規範が設けられるべきであり、これを「人間側に痛みを与えないこと」と定めるのは自然であろう。機械刺激に対する痛みとして、まず、表層痛覚すなわち皮膚表面の痛みを考える。これは、比較的個人差が少ないことから統計的な手法によって痛覚耐性値として評価されている^{††}。

[†]横井一仁、有隅仁、小森谷清：“ロボットアームのジェントルモーション”，第15回日本ロボット学会学術講演会予稿集，pp.391-392，1997。

^{††}山田陽滋、吹田和嗣、他：“ヒト・ロボット共存のための人間工学実験に基づく痛覚レベルの人体耐性値の解明”，日本機械学会論文集（C編），vol.63，no.612，pp.2814-2819，1997。

表層痛覚のほかには、深部痛覚すなわち関節部などへの過負荷による痛みが考えられる。しかし、これを規定するパラメータとして、外部からの負荷を評価対象とするのは、人間は筋力の個人差が大きいという理由から、早計であることが分かる。人間に迫ってくるロボットを自力で振り解こうとする場合にも、この筋力の個人差が大きいかかわってくる。格闘技の決め技のように、姿勢によっても発生できる力の大きさは極端に変わる。この問題は厄介であるが、ロボットのパワーをどこまでに制限すべきかという安全設計上の指標ともなる重要なファクタであることも事実である。この問題については、次項の協調性に要求される技術のところで、もう少し別の視点からさらに考察を進めることにする。

以上の安全性への配慮から、マニピュレータやロボット本体の質量の軽減を図ったり、柔軟な被覆をロボット表面に装着したりするための設計段階における詳細な検討が必要となる。まず、質量軽減化に関しては、従来制御性のみを重視してDC、ACサーボモータを用いてきた姿勢を再考し、さらにトルク重量比の高い空気圧や、水素吸蔵合金等の新しいエネルギー変換原理を導入したアクチュエータの開発、電気粘性流体やワイヤ＝プーリその他の遠隔駆動方式の適用、さらに剛性の低い関節機構等を積極的に考慮する必要がある。

次に、人間共存型ロボットに欠かせない要素が人間との力学的接触を検知するセンサである。特に、過度の接触によって人間が危害を受けることのないように、ロボットが衝撃や挟圧状態を自ら判断し回避する制御への利用を考えると、接触力も検出できることが必要となる。この意味では、ロボット表面に死角なく圧力センサを分布させたり、あるいは関節トルク覚センサを有効に利用する手段が考えられる。人間を対象とするので、軽量かつ堅牢でありながら検出範囲も広いという条件を満たすセンサの実現が望まれる。

さらに、人間が誤ってぶつかったり、ロボットが誤動作したりして上記の制御では対処できない状況も想定できることから、余分な恐怖感を取り除く意味も兼ねて、ロボット表面に柔軟な被覆を装着する姿勢も不可欠である。被覆の柔軟性を決定する際には、いかなる（粘）弾性特性が人間にとって馴染みよいかを判断すべく、人体の皮膚の機械インピーダンスや利用局面に応じた関節インピーダンスを調査し解析することも肝要である。

これまでの議論で、人間共存型ロボットシステムの設計段階では、安全性を重視すべきであることを強調したが、さらに協調性をも考慮に入れば、冗長自由度を付加した機構の検討や、広い検出範囲に加えて高い検出分解能を併せ持つ力覚、トルク覚センサ等の考案も重要な技術課題と言えよう。

3.1.2 ソフトウェア ～協調性に向けて

「協調」が発揮されるべき局面は様々であろうが、物理的親和性とかかわりの深いものとして、ロボットが人間の動力補助をする局面を想定しよう。

周知の通り、人間は動作の間に諸関節の剛性や粘性を時々刻々変化させていると解釈できる。ロボットは、これが逐次推定できれば、人間からの操作力、操作速度の変化にスムーズに追従する動作を実現することができる。ここで、人間の関節（あるいは手先）インピーダンスを推定する手法を考案する際に留意しなければならないことは、ロボットの動きに応じて自分のインピーダンスを再調整してしまうという人間側の生来的な問題である。すなわちこれは、人間がロボットの動力補助を受けながら動作しているその「場」に応じて目標運動状態が設定されていかなければならないことを意味する。人間は疲労によってもインピーダンスを変えるし、操作性にしても、ちょっとした運動の変化がもとで大きな違和感を伴うようになる。もっと言うならば、ある作業要件を満たすためとあれば、人間があらかじめ予想しない運動状態をロボット側から気づかせてくれるといった局面すら存在し得る。事前に目標とする運動状態を固定するという考え方には適応限界があり、これを補うべく、目標状態は人間/ロボットの相互作用のなかに発現してくるとする考え方が有効になる。人間とロボットが適宜、主導権を交替しながら動作を実行していくなかに、人間側のインピーダンスを推定するプロセスが含まれるというようなアプローチを考えたい。

それでは、人間のインピーダンスが推定できたら、これをどのような規範の下に利用すべきか？ という問題に対する答えのうち、なるほどと思われるものにインピーダンス整合や人間の関節トルク変化低減がある。これらのほかにどのような力学情報や生体信号が人間の疲労感や違和感を反映するか？ といった分析視点も今後は重要になってくるであろう。また、人間の操作性とか達成感というのは、必ずしも一律に議論できないという点も同時に指摘しておく必要がある。さらにこれらの延長上には、制御系の安定性をどのように議論すれば良いかという問題も横たわっている。ロボットの信頼性確保の観点からすれば、こちらも必要不可欠な検討事項である。

以上、人間共存型ロボットシステムのなかでも主にマニピュレータの設計と制御を念頭に、安全性確保および協調性向上に要求される技術課題について論じた。さらに物理的「親和性」となると、例えばロボットが人間と握手するとか人間の身体をもむ、さするといった動作を対象にして、柔らかみ、暖かみを議論することになろうか。いずれにしても、ここで示した安全性や協調性の議論が、ロボットが人間に親和感を与えるための礎になると考える。

3.2 情動的親和性を確保するための技術課題

人間共存環境でロボットが活動する、あるいは、ロボットが人間と共存するためには、人間がロボットを意のままにあやつねなければならない。そのためには、人とロボットの相互理解を深めることが必要である。以下では、このような人間共存型ロボットシステムに要求される事項を実現するための情動的側面について考える。

情動的親和性を確保するにはコミュニケーション技術が重要な課題となる。すなわち、親和性の高い手法で、動作指令だけでなく人も含む環境情報を獲得するためのコミュニケーションチャンネルを確保する必要がある。コミュニケーション技術は情報の認識、伝達、共有という三つに分類することができる。人間を認識し、お互いに情報を伝達し、その結果、情報が共有され相互理解が深められ、親和性が確保される。以下では、この三つの分類に基づいて技術課題を検討する。

3.2.1 認識技術

人とコミュニケーションする際にまず必要となるのが認識・理解技術である。従来の産業用ロボットでは、ロボットビジョンを中心に対象物の認識技術の研究が行われてきた。幾何モデルに基づく三次元形状認識、複数センサを用いるセンサフュージョン・分散センシング、より高度な作業モデル、モデルの獲得さらには学習などの研究が行われてきた。また、近年はビジョン処理の高速化が著しく、リアルタイムビジョンといったハードウェアの研究、それを用いたビジュアルフィードバックなどの行動制御手法の研究が盛んに行われている。

人間共存型ロボットシステムでは、従来の対象物の認識も重要であるが、それ以上に人間の検知・認識技術の確立が要求される。そのためには人間についてより深く解析することが必要となる。すなわち、人間の特性の測定、解析の研究が求められる。その測定は単なる動作のみにとどまらず、心の計測まで及ぶものである。この分野の解析が行われて初めて動作理解・意図理解といった人の認識技術の研究が進むものである。人間の認識のためには人間のモデリング技術も必須である。柔軟な複雑構造物のモデリング手法、曖昧性をもったモデルの表現手法など、モデリング技術の大幅な進歩が必要とされる。

3.2.2 情報伝達技術

認識情報に基づき、情報を意のままに伝達する技術はコミュニケーションチャンネル確保のために重要なテーマである。情報伝達には、ロボット側からの情報提示と人間からロボットへの情報指示の双方向の伝達機能が要求される。情報提示に関しては、従来より、情報の可視化技術、マルチメディアを用いたインタフェース技術、仮想環境技術、力覚情報などをメカニカルに提示する技術などの研究が行われている。また、情報指示の面では、いわゆる作業指示

手法の研究が行われており、そのための指示デバイスの研究、また、最近では Teaching by showing/demonstration といった手法の研究が盛んである。人間との自然なコミュニケーションが目標となるものであり、自然言語および非言語コミュニケーション技術の課題が考えられる。そこでは、当然ながらモデリング手法、特に、あいまいさの表現をいかにすべきかが大きな課題である。情報伝達は最終的には従来のプランニング研究に学習的側面を加味した意思決定のメカニズムにまで及ぶ大きな課題としてとらえなければならない。

3.2.3 情報共有技術

上で述べた情報認識および情報伝達技術を基に、人間とロボットの間の双方向情報共有技術の確立ができなければ、人間共存型ロボットシステムの普及はありえない。コンピュータサイエンスではグループウェアと呼ばれる情報共有技術に関する研究が盛んである。これをロボットの世界に拡張した共有技術が大きな課題である。ロボット研究の当初から遠隔操作あるいはシェアードオートノミーといった人間とロボットの共同作業に関する研究は行われてきた。これらは人と隔てられ、遠距離に置かれたロボットを人間が操縦する技術がターゲットであった。これに対して、人間共存型ロボットシステムでは、人と近距離にあるロボットと接しながら作業を行うものであり、その作業形態には大きな差がある。そこで必要となる要素技術は前述のとおりである。これらを統合した形の情報共有システムを作り上げ、協調作業を親和性高く行うことのできる枠組みの確立が課題となる。

以上、人間とロボットの間の情報のやりとりをいかに自然な形で実現することができるか、そのための技術課題について考えてみた。人間に対する安全性、情緒性を実現するには、情動的親和性が必要となってくる。ロボットはその機械的な冷たさ、つきつめれば存在を感じさせないようなものでなくてはならない。そして、そのシステムが人間社会に自然な形で存在するものとならなければならない。そのためのシステム化技術は、他の側面の親和性を確保するための技術課題との関連も深く、総合的に研究に取り組みなければならないものである。

3.3 情緒的親和性を確保するための技術課題

人間同士が円滑にコミュニケーションできるのは、互いに情緒を表す情報を発信し合い、それを理解し合っているからにほかならない。嬉しいか、興奮しているか、怒っているか、悲しんでいるか、不安であるかなどの自分の多様な心的状態が何らかの形で出力され、またコミュニケーションしている相手の同様な心的状態を認識することで、お互いのコミュニケーションの形態と内容は様々に変化していく。人間とロボットの間でもこういった情緒的親和性の実現できれば、コミュニケーションは充実したものとなる

ろう。そのためには、(1) ロボットがロボット自身の情緒を表出する方法、(2) ロボットが人間の情緒を認識する方法という二つの技術課題に取り組まなければならない。

また、情緒情報には、言語情報と非言語情報の2種類があるが、コミュニケーションで交わされる全情報量の約70%が非言語情報であり、特に情緒的な情報は非言語情報が担っているといってもよいであろう。ここでは、非言語情報を対象として、ロボットの情緒表出と人間の情緒の認識について技術の現状と課題をまとめておく[†]。

3.3.1 情緒的親和性とロボットの形態

人間とロボットとの情緒コミュニケーションを考える際にまず留意すべきことは、情緒表出が身体構造と密接な関係にあることである。人間の情緒の多様性は、顔、腕、指など複雑な動きができる身体構造がもたらしているとも言え、人間と同等な情緒表出をロボットで実現するためには、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、高い情緒的親和性を備えた人間共存型ロボットシステムは、必然的に人間の形態に似てくることになる。

ロボットを扱ったSFや玩具が多数あるが、二つの動く目をもつ顔、首、肘のある腕、複数の指など、人間に近い形態を有するロボットには何となく親近感をもつものである。人間、特に日本人は自分に近い形態をもつ人工物に感情移入しやすい特性がある。外国人（特に欧米）の場合は、一神教であり日本人ほど強いアニミズムがないため、機械であるロボットにどこまで親和性をもたせられるかは、日本人の場合と異なるであろう。情緒的親和性を考える上では、文化的背景にも配慮しなければならない。

3.3.2 ロボットの情緒表出

代表的な情緒表出の方法はジェスチャーである。ジェスチャーとは、手腕足の動き、顔の表情（顔色を含む）、目の動き（まばたき、眉毛の動き、凝視の方向と長さ、瞳孔の拡大）、姿勢の変化など、身体の内ずれかの部分を用いた動作あるいはその状態変化である。このなかで、顔の表情変化や目の動きは最も直接的に情緒を表出する手段であり、ロボット分野でも顔の表情を作り出す研究が活発に行われている^{††}。また、情緒と直接結びつくわけではないが、言語情報と協調した手腕の動きなどは、コミュニケーション相手との雰囲気や場の共有意識を高める効果があり、結果的に相手に心的な影響をかなり強く与えることができる。まったく動かないロボットが話をする姿を想像すれば、その違和感は理解していただけるであろう。

ジェスチャー生成における技術的課題としては、(1) 場

面にあったジェスチャーの選択、(2) タイミング、(3) 軌道、(4) 多様（ランダム）性などがあげられる。このなかで特に重要なポイントが、いかに多様な動作を生成するかである。画一的な動きでは、すぐに相手にそのパターンを読み取られ、相手に心的影響を持続して与えることはできなくなるからである。多様性をもたす方法として、人間と同等の情緒表出メカニズム（生物学的自律系）を基にロボットを構成している例もある^{†††}が、現状の技術では、ジェスチャーをロボットのなかにモデルとしてすべて作り込む方法がとられている。最近様々なペットロボットが試作されているが、それらはすべて数十種類の動作パターンをあらかじめプログラムされているものである。人間に心地良く、魅力的で面白いといった心的影響を与えるために、そのパターンは試行錯誤を繰り返して作られていく。代表的な例は、プロのデザイナーによるディズニーのオーディオアニマトロニクスである。しかし、人間による動作の作り込みには限界があることは明らかであり、高い親和性が得られるようにするためには、動作パターンの自動生成のメカニズムを検討する必要があるであろう。

3.3.3 人間の情緒の認識

前述した表出とここでの認識とは表裏の関係にある。すなわち、少なくとも、ロボットによる情緒表出と同等の表出を人間が行った場合に、ロボットがその表出行為を認識できればよいことになる。

まず考えられることは、人間の顔の表情認識である[‡]。次には、人間の手や腕の動きを音声認識および会話理解と合わせて認識することである。顔の表情認識も体の動きの認識も、視覚の性能に大きく依存する。現状では、顔の位置の認識あるいは手先の動きの認識などは可能であるものの、目の状態、眉毛や頬、口の動き、指の動きなどの認識は、特徴抽出が難しく今後の研究の進展を待たなければならない。

しかし、人間の情緒の認識については、視覚認識能力以上に困難な問題が実は存在している。それは「コンテキストをいかに理解するか」という問題である^{‡‡}。人間同士のコミュニケーションを想像してみれば容易に判ることであるが、人間の言葉も、顔の表情も、そのときの人間の情緒（心的状態）をそのまま正確に反映しているとは限らないのである。下等動物と異なり、人間は理性と知恵により行動を演出している。人間は演技が得意であり、自分のコンディションや場の状態、相手が誰であるかによって話も表情も変えているのである。自らの状態をそのまま外部に出力している、あるいは自然と出てしまうというのはまれで

[†]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，vol.15，no.7，1997。

^{††}小林宏、原文雄：“アクティブ・ヒューマン・インタフェースのための顔ロボットの研究”，日本ロボット学会誌，vol.12，no.1，1994。

^{†††}尾形哲也、菅野重樹：“自己保存に基づくロボットの行動生成”，日本ロボット学会誌，vol.15，no.5，1997。

[‡]小林宏、原文雄：“ニューラルネットによる人の基本表情認識”，計測自動制御学会論文集，vol.29，no.1，1993。

^{‡‡}土屋俊：心の科学は可能か。東京大学出版会，1986。

あろう。一連のコミュニケーションのコンテキストを理解してはじめて、相手の状態を認識できたことになる。

以上のように、人間の情緒の認識にはコンテキストの理解という技術的難題が存在しているため、実用化は容易ではない。まずは、ロボットによる情緒表出による親和性向上を図ることが先決となろう。

3.4 環境・経済的親和性を確保するための技術課題

21世紀は人々の価値感が「物」から「心」に戻る世紀と言われており、産業もルネッサンスの時代を迎えると言われる。一方では超高齢・少子化社会がそのピークを迎えることから、豊かで活力ある社会にするための人間共存型ロボットシステムが求められている。

「豊かで活力ある社会の実現を支援するロボット」を工業製品として成立させるためには、技術課題として環境・経済的親和性の視点が特に重要となる。これは、上述したような社会的背景と下記に示すロボットの特徴的使われ方に起因するものである。

3.4.1 対象者・用途

高齢者・障害者等の生活や娯楽の支援、スキルを持った職種の人のスキル支援、一般の人の日常生活や娯楽の支援（エンタテインメント/アミューズメントであってマニアック用ではない）。

3.4.2 機能の優劣に影響されない価格

上記「対象者・用途」の場合、機能・性能が優れていても個人が支払う単体コスト（イニシャル/ランニング）は限られる。すなわち、いくら機能・性能を向上させても市場的に受容される価格にはっきりと上限がある。したがって、ロボットの機能を低下させてもコストを低減する必要がある。社会インフラとしての環境コストでロボットシステムとしての機能の補完が重要となる。社会インフラとしてはハードウェアに限定することなく、リース・レンタルや保険・補助金といった制度面のソフトも有効と予測される。

3.4.3 大きさ・重さ・色・使用環境

上記「対象者・用途」の場合、人間および使用環境との物理的マッチング、人間との精神的マッチング・バランスから、使ってもらえるためには大きさ・重さ・色が重要なファクタとなる。

上記の3項目で述べた内容の環境との親和性・経済的親和性に関しては、従来ロボットの研究開発では「すでに人間が使っている機器・環境の機能を最大限に活用する」運用方法程度にしか捉えられておらず、技術開発項目ではないと見られがちであった。しかしながら、実際には限られたコスト・限られた大きさ・限られた重さで使いやすい機能・性能を満足させる、あるいは気持ち良く自然に使って貰える色や形の実現は工学的に大きな技術課題である。

資源・エネルギーの無駄使いをしない、という環境に優しい視点は今後の工学として当然考慮しなければならない。

4. 人間共存型ロボットシステムの今後

人間共存型ロボットシステムについては、最近多くの学会等でいろいろな形で取り上げられ、今やロボット研究の新たな潮流の一つになろうとしている。今後は、この流れをさらに活発なものにし、学術的には第3章で述べた技術課題に対して新たな手法を見出しながら、その技術体系を構築していくことが重要である。また社会的には、今まで以上にその実用化に向けた努力が不可欠である。

特に、後者の姿勢は重要である。それは、今後の超高齢化・少子化時代を迎えてより顕在化してくるであろう高齢者の介護支援問題や、多くの産業分野での人手不足問題等に対して、この人間共存型ロボットシステムにかかわる新技術は、それへの有効な解決策を提供するものと考えられるからである。

その有力な研究開発手法の一つは、プラットフォーム型研究方式である。これは、複数の研究主体にプラットフォームとしての共通のロボットモデルを提供し、各研究主体はそれを用いておのおののニーズに立脚した研究開発を行う方式である。その大きな特徴は、共通のロボットモデルを用いて研究開発を行うために、個別に開発された技術の統合化・総合化がやりやすく、実用化も効率的に進展すると考えられる点である。その具体的な取り組みの一つが、平成10年度より開始される通産省の産業技術応用研究開発プロジェクト「人間協調・共存型ロボットシステム研究開発」である。

人間共存型ロボットシステムにかかわる技術は、非常に広範である。今後は、各研究者の英知をうまく結びつける研究手法を組織的に採用することで、人間共存型ロボットシステムにかかわる研究は飛躍的に進展するであろう。そのことは、多くの新規産業の創造をもたらし、21世紀のより豊かな人間生活の幕開けにもなるであろう。

本稿は、人間共存型ロボット研究専門委員会での議論を踏まえ、同専門委員会の野崎委員長、横井幹事、山田委員、小笠原委員、菅野委員、藤江委員、松丸委員により分担執筆した。本稿をまとめるに当たり、議論に参加いただいた同専門委員会各委員に感謝する。最後に、人間共存型ロボットシステムを研究される上で、一読されたい文献を参考文献として示す。

参 考 文 献

- [1] 手塚治虫：鉄腕アトム（1～15）。光文社（光文社文庫）、1995。【「究極の目標とするロボットはアトムだ」と言う研究者は多い。もちろんあのハードウェアは究極の目標と言ってもいいが、アニメ版ではなく原作の漫画を読むと、人間とロボットの関係では、意外にベシミズムが漂う点に注目。】
- [2] アイザック・アシモフ（池田火訳）：心にかかけられたる者。E・L・ファーマン&バリー・N・マルツバーグ（編）：究極のSF-13の解

- 答一。東京創元社（創元推理文庫 SF-シ-2-1），1980。【有名な『ロボット工学の三原則』から，ロボットは誰の命令に従うか，をテーマにした短編 SF。途中で人間が恐れないためのロボットの形態についても言及。もちろん“私はロボット”，“聖者の行進”（いずれも創元推理文庫），“ロボットの時代”（ハヤカワ SF 文庫）は必読書？】
- [3] 加藤一郎（編）：ロボットは人間を変えるか ロボット-生命-人間のゆくえ。講談社（ブルーバックス B-536），1983。【早稲田大学創立 100 周年記念パネルディスカッションから再構成したもの。心理学，人工臓器，生命倫理などと話題が豊富で，バイオ系よりの議論。】
- [4] 斉藤正彦（編）：東京大学教養講座 12 ロボット社会と人間。東京大学出版会，1985。【様々な分野から講師を招いて講演してもらった教養学部の授業を採録したもの。特に社会学よりのいろいろな考え方が分かる。同じシリーズの“11 機械と人間”もおすすめ。】
- [5] 立川昭二（編）：遊びの百科全書 6 人形からくり。日本ブリタニカ，1980。【人間と機械のいい関係の例として，からくりの本を 1 冊。内外の人形からくりの図・写真が美しい。絶版のため入手困難な場合は，河出書房新社から 1987 年に出た文庫短縮版“新版-遊びの百科全書 1 からくり”をどうぞ。】
- [6] 第 2 回重点領域研究「知能ロボット」シンポジウム予稿集。重点領域研究「知能ロボット」総括班，1997。【平成 7 年度より 3 年間の計画で進んでいる文部省科学研究費重点領域研究「感覚と行動の統合による機械知能の発現機構に関する研究」（領域代表者：東京大学・井上博允教授）において，第 2 年度の研究成果を発表するシンポジウムの予稿集。特に C 班は「人間機械協調システム」として，人間支援システム，情緒交流のための機械知能，などが研究されている。】
- [7] 平成 8 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。（社）日本ロボット工業会，1997。【（社）日本ロボット工業会に設置されている「パーソナルロボット振興協議会」における報告書。平成 9 年度は，パーソナルロボット市場動向調査専門委員会，社会参加支援ロボット調査研究専門委員会，パーソナルロボット標準化調査研究専門委員会，の三つの専門委員会に分かれて議論が継続されている。】
- [8] 平成 8 年度先導研究報告書 NEDO-PR-9606 フレンドリネットワークロボティクス。新エネルギー・産業技術総合開発機構，（財）国際ロボット・エフ・エー技術センター，1997。【平成 8 年度より 2 年間の計画で進んでいる通商産業省工業技術院の先導研究の初年度の成果報告書。平成 9 年度も，（財）製造化学技術センター（旧（財）国際ロボット・エフ・エー技術センター）に設置され，二つの基盤技術の WG，四つの応用分野の WG，に分かれて予備的な調査・研究が継続されている。】

人間共存型ロボット研究専門委員会

（Research Committee on Human Friendly Robot）

1996 年 7 月発足。1998 年 12 月まで活動予定。

委員リスト

委員長	野崎武敏	機械技術研究所
幹事	横井一仁	機械技術研究所
委員	新井健生	大阪大学
委員	大隅 久	中央大学
委員	大築康生	川崎重工業（株）
委員	小笠原司	電子技術総合研究所
委員	川村貞夫	立命館大学
委員	河野寿之	（株）安川電機
委員	小森谷清	機械技術研究所
委員	佐藤知正	東京大学
委員	菅野重樹	早稲田大学
委員	橋本亮一	生命工学工業技術研究所
委員	平井成興	電子技術総合研究所
委員	藤江正克	（株）日立製作所
委員	松丸隆文	（株）東芝
委員	山田陽滋	豊田工業大学
委員	和田充雄	北海道大学