

超高齢社会でロボットを使うことで喜んでもらう為に

How to solve many problems for commercialization in elderly dominated

○ 藤江正克 (早大理工)

Masakatsu FUJIE, WASEDA Univ.

Key Words: Human Support Robot, Commercialization, Popularization, Clinical Validation, Safety, Ethics

1. 超高齢社会における支援ロボットの必要性

少子高齢化・人口減少といった社会的背景により、必要とされるロボットは、従来の産業用ロボットから人間作業の支援または代替が可能な知能ロボットへとシフトしており、在宅介護分野から生活におけるサービス分野に至るまで様々なロボットの研究がなされている。

しかし、それらのロボットは実際の社会・生活分野において普及できない状況が続いている。産業用ロボットは、ある整備された環境において、特性が既知で高い剛性を持つ対象に対する作業に特化することで成功を取めた。それと比較し、支援ロボットは、常に複雑に変化する環境において、個体差を有する対象に対する作業を行う。さらに、人との直接的なインタラクションが求められる機会が増加するために、ロボットと人の関係は状況に応じて、柔軟に接触すべき関係や接触を回避すべき関係になる。しかし、現在ロボットが実行可能な作業は限定的でパターン化できる簡易なものに留まっており、福祉分野から日常生活に至る分野に適応させるにはさらなるブレークスルーが必要となっている。

ロボットによる作業支援の適用範囲拡大を目的とし、対象物や環境の変化・個体差に適応しながら作業を行うことが可能な知能の開発は、少子高齢化問題を抱える先進国の最重要課題の一つであると言える。この課題を解決するために、高齢者・障害者とロボット、ロボットと実環境という直接的なインタラクションが求められる支援ロボットにおいて、高齢者・障害者とロボットの知的関係の確立が共通の技術課題としての取り組みが急がれる分野なのである。また、この分野で使われる知的機械システムとしてのロボットには、20世紀までのような人間が機械に合わせるというのではなく、機械が人間に合わせてくれることが必要不可欠となる。福祉の分野のロボットは、1960年代より障害者を対象とした義手、義足、車椅子を中心とした取り組みがなされてきたが、ロボットを動かすという基本機能の実現に精一杯であった。結果として、この分野で最も必要とされる人間が機械システムに自然に接するという核となる機能の研究が見送られてきており、現在その取り組みが見直されている。

本稿のタイトルにロボットとしたが、ここでは、「ロボット……」として表記されるものが対象で、「……」としては障害支援(義手、義足、車椅子)、介護支援、リハビリ支援、自立支援、介護予防支援、日常生活支援をその対象と考える。技術的な対象としては人間機械システムや知能ロボットシステムに対応するが、最近ではバイオロボティクス、メディカルロボティクスあるいはバイオメカトロニクスなどと呼ばれている学問分野に極めて近いともいえる。

2. 期待されるロボット像

福祉の分野としてのロボットは1960年代より障害者を

対象としての義手義足を中心とした取り組みがなされてきたが、基本機能の実現に精一杯であった。この分野で最も必要とされる人間が機械システムに自然に接するという機能の研究が見送られ、障害者だけを対象にすると普及が難しいという問題点があったのが、近年の少子高齢社会に向けての先進各国での大きな期待がロボットの今後の方向を決めようとしている。

高齢化が急速に進む先進各国の最大関心事は「肉体的・精神的健康」であり、その流れの中で、特に高齢者の健康生活維持の必要性は、多くの人々から指摘されている。高齢者の健康の確保には運動能力の維持が重要であることは古くから言われていることであり、中でも歩行能力の確保が大切であることは、日本の諺「老いは足から」にも有る通りである。このようなことを考慮し、歩行を支援するロボットとして「身体機能の維持」「移動性の拡張」と「歩行姿勢の表現」の3要件を満たすことをめざしたロボットの実用化への取り組みが国内外で盛んに行われている。高齢者の自立した日常生活を支援するロボットにおける最も大きな技術課題は、支援される人が自然に接することができ、しかも直感的な介入操作を出来るようにすることである。21世紀の技術の展開は、繊細性・巧緻性・優しさと言った日本に代表される東洋的価値観でドライブされていくことが期待されており、すでにそのための研究開発は多くの大学・研究機関・企業で着々と進められている。

3. ロボット普及のために解決すべき具体的内容

現在、人間社会に浸透した自動車や飛行機などの産業も、ライト兄弟の初飛行(1907)、BOAC(英国海外航空)の設立(1954)、ドイツの技術者カール・ベンツ(1886)、ゴットリーブ・ダイムラー(1926)、フォード(1903)の自動車会社の創設などの黎明期、そして数多くの事故、その原因究明を経て、多くの技術が標準化されることにより、急速な発展をすることができた。また、それらを使った場合の利便さや効能、また逆にそれを使ったときに起こる事故の確率などの負の側面を使う人々に定量的に認識して貰ってきたことが普及を進めてきたのである。前述のロボット像を実現するために解決すべき基本的な課題について、少し触れておく。

①操作が直感的に出来る：高齢者でも子供でも、或いは無論エンジニアでなくても、予想外の事態に直面しても使っている人が難なく乗り切れる機能が不可欠である。Fig. 1に示したのは歩行支援ロボット(トレッドウォーク)の1本ベルト試作機、Fig. 2に2本ベルト試作機を示す。これらのロボットでは歩行機能の衰えた高齢者がロボットに搭乘してほんの少しゆっくり歩くとロボットが適度な速度で使用者を運ぶことができる。(a)では操舵はハンドルで行うが、(b)では左右の足の運びの差で行い、立位で使うので通常の歩行感覚が確保できる。このようなアプローチを必要



Fig. 1 Tread Walk (Single Belt)



Fig. 2 Tread Walk (Double Belts)

とするものに「杖ナビ」ロボットがある。杖を握った人を引っ張る力の発生機構を備えたロボットシステムである。従来のロボットシステムと使用者のインタフェースが視覚や聴覚を使っていたことに対して、人間による手引きと同じ感覚で使用者に対することを目指した。

4. 21世紀ロボットチャレンジプログラムの概要

我が国に蓄積されているロボット技術を活用し、家庭、医療・福祉や災害対応などの新たな分野にロボットの適応範囲を広げることにより、新規市場・新産業創出を目指すとともに、少子高齢化社会による労働者不足や要介護者人口の増加、より安全な社会の構築などの課題に対応し、国民生活の質的向上を図るために、経済産業省および独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(以下、NEDO)が主導し、21世紀ロボットチャレンジプログラムが進められている。

このプログラムは、ロボット産業の活性化を加速させる要素技術領域のプロジェクトと、次世代ロボットの普及に向けて実際に人間と触れあうロボットを開発していくシステム化技術領域のプロジェクトから構成され、相互に連携をしながらプログラムを進めている。

具体的には、要素技術の領域では、ロボット用のソフトウェアの開発を進めた「ミドルウェアの開発(02~04)」,モータ、センサなどの要素部品を開発した「要素部品プロジェクト(03-05)」,そしてロボット用の制御用半導体チップの開発を行った「共通基盤開発プロジェクト(05~07)」というプロジェクトが進められてきた。一方、システム化技術の領域においては、まず特定の人間の近くで動作するロボットとして、掃除、警備などを対象とした「次世代ロボット実用化プロジェクト(04~05)」が行われ、大きな市場ニーズを有するものを対象とした「実用システム化推進事業」,産業界や大学等において取り組まれている新たなロボット技術に係る実用的なアイデアを発掘する「プロトタイプ開発支援事業」が取り組み、愛知万博にて数多くの観衆の前で多くのロボットが披露されることとなった。

上述したように21世紀に必要な次世代ロボットの研究開発は、潜在的ニーズが大きいため、国をあげて進められているが、必要な性能が明確になっていないこと、必要な要素技術、システム化技術等が未整備なことなどにより、その実用化は限定的なものに留まっている。これらの実現のためには技術としての体系化も重要であり、その打開を図るものとして大いに期待されるプロジェクトとして以下の2つがある。

(1) 人間支援型ロボット実用化プロジェクト(05~07)
人間支援ロボット実用化プロジェクトでは、特定の環境下において一定程度継続的に人と接触して動作するロボットの技術開発及び実証試験を行われた。技術開発の対象分野は、社会的ニーズがあり、市場拡大が期待でき、開発すべき技術が高水準かつ網羅的で、波及効果が大きいと予測される「福祉介護分野」としている。このプロジェクトの特徴は、ロボット技術を人間社会に適応できる水準まで高度化するために、介護施設、病院などのユーザーを開発初期段階から体制に入れ、ロボットに対するニーズや必要な機能を明確にしながら福祉介護分野で必要とされる技術開発、プロトタイプロボット製作、実証試験を行った点にある。特に、特定の人間に接触して動作するロボットを実用化するために不可欠な、以下の技術課題の解決を目指した。

- ・安全技術の確立(ロボットの設計段階においては、IEC/ISOのガイド51に掲げられるリスクアセスメント、リスク対策の実施から残留リスクの明確化までを行い、使用段階においては、リスク管理を徹底すること)

- ・ユーザーの動作に適応するカスタマイズ性の向上(フィードバック制御を可能とするリアルタイム人間状態計測技術、人間状態の計測結果に応じてロボットが合理的な動作を行うためのソフト・ハードに係る技術の開発等)

- ・ロボットの使用に関する操作性の向上(使用する上で煩

わしさがなくこと)

このプロジェクトでは、以上の将来の高度なロボットの実現に繋がる技術を開発することを目標とし、最終的には、プロジェクト終了後3年を目途に、各実施者がプロジェクトの成果を活用して、次世代ロボットを市場投入する。

また、上記目標を達成するために研究開発を実施した項目を、

- 1) リハビリ支援ロボット及び実用化技術開発
- 2) 自立動作支援ロボット及び実用化技術開発
- 3) 介護動作支援ロボット及び実用化技術開発

とし、NEDOが、企業、研究機関、大学及び介護施設や病院等の医療・福祉関係者などのロボットのユーザー等によって構成されるコンソーシアム（研究共同体であって法人格である必要はない）を公募によって選定の上、研究開発を開始した。ただし、コンソーシアムでは、開発の初期段階から開発するロボットの内容について企業等と介護施設や病院等の医療・福祉関係者などのユーザーが意見交換を行っている。また、プロジェクト後半に当該介護施設や病院等の現場（在宅を含む）にて開発したロボットの機能を評価するための人を対象とした実証試験を行うこととし、ユーザー意見を開発に取り込める体制とした。なお、実証試験の被験者は10名以上、評価期間は延べ180日以上を目標とした。従来のプロジェクトと比較して、実証試験に重点を置いた理由は、今後のロボットの普及展開を勘案すると、効果およびリスクの定量的な評価が医療の現場で今強く求められているからである。ただし、実証試験規模を変更する明確な根拠、あるいは医療福祉専門家・医師の判断は、これに優先するものとしている。さらにそれぞれの研究テーマの達成目標を実現すべくNEDOが指名する研究開発責任者（プロジェクトリーダー）の下にコンソーシアム毎に責任者（プロジェクトサブリーダー）を置き、科学技術基本計画に沿って経済産業省が纏めたロボット分野の技術戦略マップの先導を切った新たな取り組みでメンバー丸となって推進してきた。

（2）生活支援ロボット実用化プロジェクト（'09～'13）

「人間支援型ロボット実用化プロジェクト」では、開発したプロトタイプロボットに対して、体系だった長期間の実証実験を実施することで、安全技術の確立などの成果をある程度収めることができた。具体的には、人間支援型ロボットの全てのプロジェクトにおいて、ロボットを使った場合の効果、およびリスクの定量的な評価が、医療現場での3年間の実証実験により可能であることが明らかになった。しかし、実用化に向けて必要な本格的な技術確立の「兆し」を提示するに過ぎず、より一層の安全性の確保が必須である「対人安全技術」は未整備であった。このことも相まって、安全の基準やルールも未整備であり、そのため、民間企業からの支援ロボット業界へ参入はリスクが高く、技術開発も事業化もなかなか進まないという悪循環に陥る可能性がある。また、過度な安全基準や規制では、ロボットの実際の用途における有効性が阻害されるため、支援ロボットにとっての適切な安全基準の設定は非常に重要な問題となっている。

一方、海外（EU、米国、韓国など）では実用化のための開発、実証を急速に進展しており、ISO（国際標準機関）ではサービスロボットに関する国際標準化が進展している。これに対して、本邦では経済産業省の「生活支援ロボット実用化プロジェクト」において、「人間支援型ロボット実用化プロジェクト」で見えた「兆し」をより確固たるものにするため、具体的な対人安全技術が搭載された生活支援ロ

ボットを制作、開発し、その有効性を確認しながら、適切な安全基準と安全検証手法を開発している。また、これらの開発に加え、安全データの収集・分析を行い、国際標準化の一翼を担うべくプロジェクトを進めている。

具体的には、

- 1) 生活支援ロボットの安全性検証手法の研究開発
- 2) 安全技術を導入した移動作業型（操縦が中心）生活支援ロボットの開発
- 3) 安全技術を導入した移動作業型（自律が中心）生活支援ロボットの開発
- 4) 安全技術を導入した人間装着（密着）型生活支援ロボットの開発
- 5) 安全技術を導入した搭乗型生活支援ロボットの開発

という5つの研究項目から構成されており、パナソニック株式会社やトヨタ自動車株式会社など我が国が誇るべき多くの企業・大学が委託先となり、生活分野におけるロボット普及のために研究開発を進めている。

5. 展望

国内外におけるこれまでの多くの研究成果により、「福祉ロボット・人間支援ロボット・生活支援ロボット」と呼ばれるロボットは実用化、そして社会への浸透に向けて着実に進歩してきている。しかし、解決すべき課題が数多く残されていることは間違いない。この課題解決のために、福祉分野におけるロボットと同様に、人との接触が必要不可欠な分野である医療用、特に手術支援ロボットの発展は、支援ロボットの進むべき道標になる。

医療におけるロボットの臨床展開は、ロボットの進歩より、むしろ内視鏡手術の普及により道が切り開かれた。しかし、その展開によりロボットが得意なことや得意でないこと、あるいはロボットにもっと頑張ってもらいたいことなどについて臨床側からの理解が得られたことにより、解決すべき技術課題も明確になってきた。さらには、現場からの期待も強く感じられるようになってきた。つまり、ある程度の普及により、現場サイドがロボットに対する認識・理解を深め、その結果として、ロボットが本当にすべきことが明確になってくるのである。そのためには一刻も早く、「使える」、さらには「使いたくなる」支援ロボットの開発・実用化の一つでも多く進める必要がある。

ただし、病院内で使われる医療用ロボットと日常生活で使われる支援ロボットの大きな違いは、安全確保のレベルである。もちろん、手術ロボットにおける誤作動は死に直結するので、非常に高いレベルの安全性が求められる。しかし、医療用ロボットを実際に動かし、管理するのは医師などのスペシャリストであり、また、手術室などの限られた環境での使用となるので、管理の信頼性は非常に高い。一方、日常生活の支援ロボットは、限りなく多様な環境において使用者自身が管理者とならざるを得ない。

今後は、現在進行中のプロジェクトのように高い安全性の技術的な確保、安全を運用するための保険制度を確立し、さらに産業を立ち上げるための大きな意味でのビジネスモデルの構築が必要不可欠となる。具体的には、人間支援のロボットを誰もが使えるようにするために、まず大きなマーケットが見込まれる高齢者向けのビジネスにより、産業化による普及に向けた低価格・高度信頼性安全性を実現した後に、比較的マーケットが小さくさらに高度な機能が求められる障害者向けへの展開が期待されている。

高齢者とロボット、ロボットと実環境という直接的なインタラクションが求められる高齢者支援ロボット。また、

本稿では触れていないが、医師とロボット、ロボットと患者の身体という直接的なインタラクションが求められる手術支援ロボット、いずれも人間とロボットの知的関係の確立が共通の技術課題としての取り組みが急がれる分野であり、超高齢社会に希望を持てる社会にするためのものである。Fig. 3 に今後期待される、人間とロボットの付き合い方の概念を示す。

なお、本文中には NEDO の実施計画その他に既に公表されている文章を引用しており今回の原稿の表現がはじめての内容でないことをお断りしておく。

参考文献

- (1) 二瓶他：高齢者の心理概念モデルに基づく移動支援機器要件の抽出，日本機械学会論文集(C編)，73(725)，266-273，(2007-2)

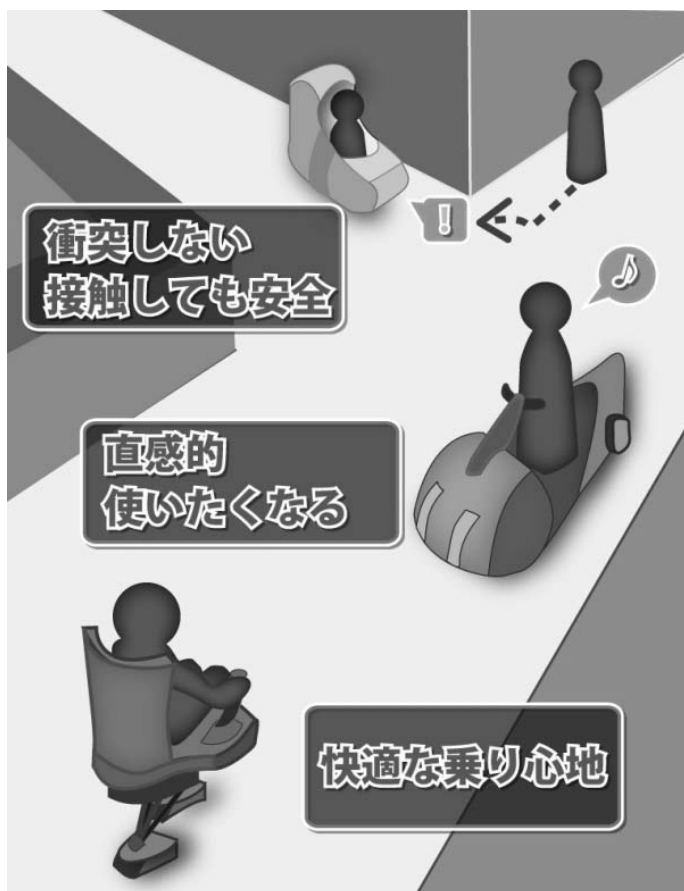


Fig. 3 Future Relationship between Robot and Human