



# 少子高齢化の 課題解決に向けて歩む 日本のロボット技術

東京大学IRT研究機構の研究成果。上段は左より、キッチンロボット、屋外用パーソナルモビリティ、思い出し支援・見守りロボット、屋内用パーソナルモビリティ。右下写真中央の人型は日用品を片付けるホームアシスタントロボット。

世界に先駆け、本格的な自律二足歩行ロボットを実現。また、産業用ロボットでも、日本は世界をリードする立場にある。今後、少子高齢化社会が進行していくなか、一般社会においても、ロボットおよびロボット技術が役立っていくことが期待されている。

## 「ロボット大国・日本」の基礎

少子高齢化が進む日本では、2055年には、総人口は1950年代の水準である8993万人に減少、高齢化率（65歳以上人口が総人口に占める割合）は41%に達すると予測されている。労働力人口が減る一方、各種のサポートを必要とする人口はますます増えていくことになる。

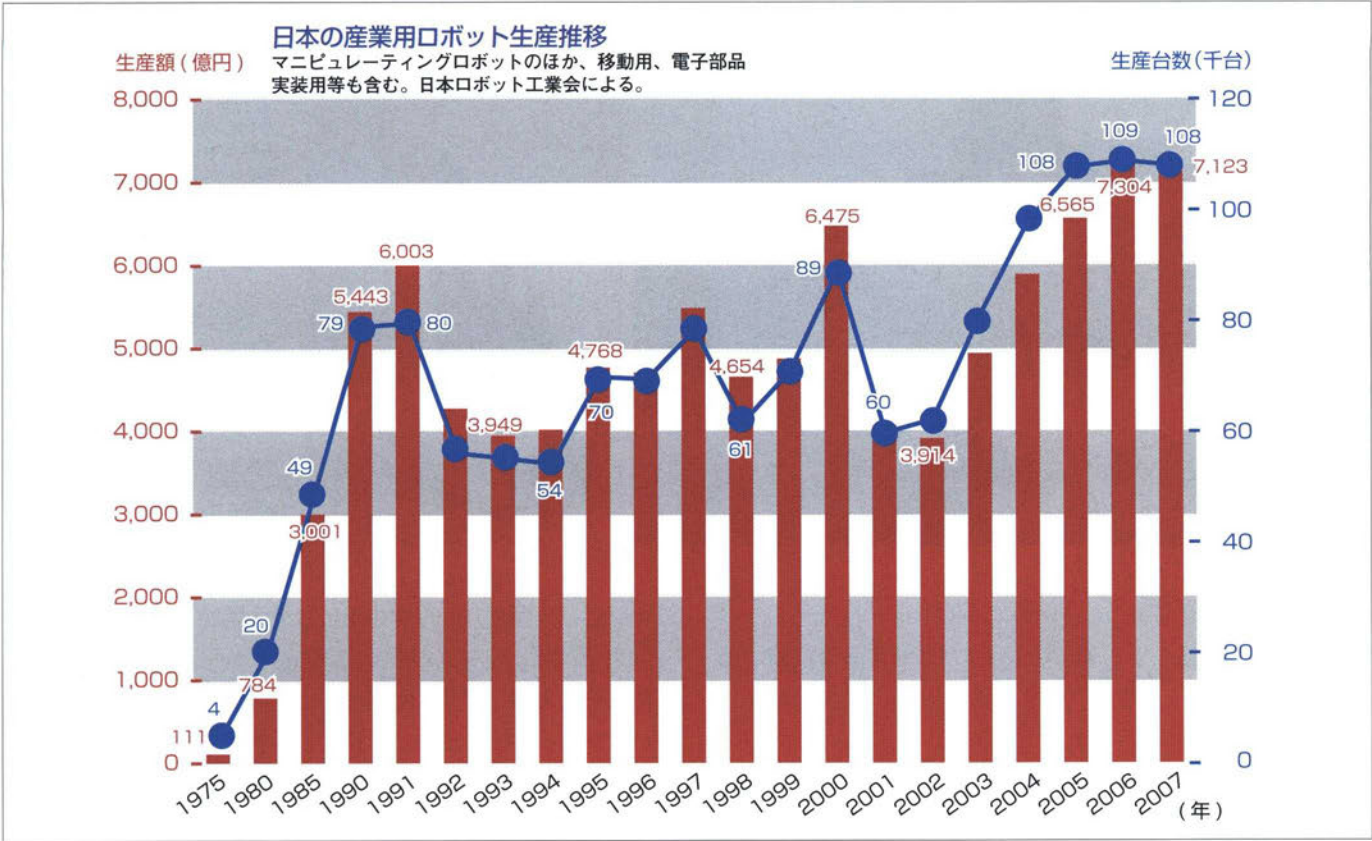
こうした大きな変化を迎えるなか、一般社会の生活においても、ロボットの必要性は高まっていくと考えられている。現在、多くの研究機関や企業でさまざまな用途の民生用ロボットや、ロボット技術を応用した民生用機器の研究開発が行われている。これらもほとんどが、少子高齢化社会の到来を見

据えたものである。

もとより日本は「産業用ロボット大国」と言われ、次世代の民生用ロボット開発においても、その技術が大いに活用可能であると考えられる。

日本で生産される産業用ロボットは、現在年間約11万台であり、生産額にして約7000億円に上る。これは世界で生産される産業用ロボットの7割に匹敵するという。さらに、全世界で稼働している産業用ロボットのうち、マニピュレーティングロボットのものに限っても、約95万台のうち約35万台が日本国内で使用されている。中国やNIES諸国の伸張に伴い、その比率は10年ほど前に比べれば落ちているものの、それでも、国別では最も高い数字となる。

特に人件費の高い日本では、生産ラインの自動化とその高効率化のニーズが高く、それが産業用ロボットの進化を牽引してきたと言える。組立や溶接、搬送、研磨、洗浄、検査など、産業用ロボットはさまざまな用途に使われ、それが組み合わされることによって高度なファクトリー・オートメーションを実現している。産業用ロボットは日本の生産力を支えるとともに、それ自体もまた、日本を代表する工業製品であり、技術であると言える。産業用ロボットの種類、用途、構造等については別項「鉄の点景」で詳しく述べる。



業務用・民生用へ、そしてRTへの拡大

一方で業務用・民生用ロボットは、近年市場が拡大中ではあるものの、国内市場規模は2005年時点で20億円程度に過ぎず(介護・福祉、家庭用サービス、教育、ホビー、アミューズメント、業務用サービス分野の計。日本ロボット工業会「RT(ロボットテクノロジー)による産業波及効果と市場分析に関する調査」による)、市場としては形成され始めたばかりの段階である。

業務用では、たとえば配管検査用ロボット、清掃ロボットやセキュリティロボットなど、人が入り込めない場所での作業、あるいはいわゆる3K作業の代替用を中心に、特定分野で実用が進んでいる。案内ロボットは、まだイベント等でのレンタルが主ではあるものの、一般社会にもそれなりになじんでいる。

そのほか有望な分野として、レスキューロボット、あるいは介護用等のパワーアシストスーツなどが、近い将来に市場が立ち上がってくると目されている。特にレスキューロボットは、要求される機能が床下点検用ロボット等に近く、製品化のハードルは低い。

一般家庭で使われる民生用ロボットに関しては、現在のところ、趣味的な分野での製品が主であり、市場としてはごく小さい。しかも、ある程度の機能をもたせたものは当然高価にならざるを得ず、たとえばSONYの愛玩用ロボット「AIBO」の撤退のように、苦戦を強いられることになる。しかし、HONDAのASIMO、産業技術総合研究所／川田工業ほかの

ロボット技術(RT)将来市場の分野

潜在ニーズの対象分野別によるロボット技術の将来市場と主な製品。RT家電は生活・サービス分野と一部重複するが、日本ロボット工業会による分類に従った。

|            |              |                                          |
|------------|--------------|------------------------------------------|
| ものづくり・RT製品 | 産業用ロボット      | 組立・溶接・塗装等用マニピュレーティングロボット、電子部品実装、ロボットセルなど |
|            | 無人搬送車 (AGV)  | 工場内での資材・製品運搬など                           |
|            | 組込み RT 家電    | エアコン、掃除ロボットなど                            |
|            | その他          | 組込み RT 自動車、RT 農業機械、RT 建設重機など             |
| 安心・安全公共    | 手術・診断用 RT    | 遠隔手術用マニピュレータ、遠隔診断装置、カプセル式ロボット内視鏡など       |
|            | 介護・福祉        | 移動支援、介護搬送用、リハビリ支援パワーアシストなど               |
|            | レスキュー        | 捜索、救出路地図作成、救出活動支援など                      |
|            | メンテナンス       | 管内検査、ビル・橋梁等検査・監視用ロボットなど                  |
| 生活・サービス    | 家庭用サービス      | 家事代行・支援、コミュニケーション、ヘルスケアなど                |
|            | ホビー、アミューズメント | ゲーム、癒しなど                                 |
|            | 業務用サービス      | 受付、案内、搬送、清掃用ロボットなど                       |

HRPシリーズなど、自律二足歩行が可能なヒューマノイド型ロボットをはじめ、高性能・高運動性能のロボット開発においては、日本は世界をリードする立場にある。今後、業務用・民生用ロボットにもそれらの技術が応用され、よりロボットの活躍分野は広がっていくものと考えられる。

さらに、これら「単体」のロボットのほか、ロボットを構成



#### ⇐高齢者支援用パーソナルモビリティ

東京大学IRT研究機構ほかが開発。屋外用(左)は高さ1,100mm(走行時)、重量160kg。時速6kmで10°の登坂、最大40mmの段差越え性能をもつ。右(屋内用)。660×640×1,300mm(幅×奥行き×高さ)、重量45kg。

#### ⇒食器洗い支援キッチンロボット

東京大学IRT研究機構とパナソニックが共同開発。産業用ロボットに近いマニピュレータ型でシンクに取り付けられる。食器の認識や大まかな位置の把握は外部カメラで行い、さらに手先のセンサで細部を確認、多様な食器を扱うことが可能。

する高度な技術を応用した、いわば「亜ロボット」とも言うべき機器の開発も盛んである。ロボットはさまざまな技術の集成だが、特にロボットを成立させる要件と言える技術は次の3つである。

- \* ロボットの高度な動きを実現する駆動(アクチュエータ)技術。
- \* 外界の情報を詳細に検知するセンサ技術。
- \* センサの情報をもとに自律的な動作を行わせる制御・知能化技術。

たとえば人が遠隔操作する移動装置やマニピュレータ、パワーアシスト装置など、それ自体を自律性をもつロボットとは呼びづらくとも、ロボット開発で培われた技術の応用が期待される分野は多い。ロボットそのものとの境界もますます曖昧になりつつあり、このため、現在ではその要素技術を含め、全体を「ロボット技術(RT)」と括することも多い。

現在、ロボットの市場はそのほとんどが産業用ロボットに占められるが、今後、少子高齢化の進展、技術の進化により、ロボットおよびロボット技術の用途は、別表(前ページ)に挙げたようにさまざまな分野へと広がっていくものと考えられる。

## 少子高齢化時代に、社会を支えるロボット

少子高齢化への直接的な対策のひとつとして考えられるのが、介護・福祉用ロボットや、ロボット技術を応用した各種機器である。これには、要介護者の移動や作業を助けるものと、介護にあたる人の作業を助けるものと2通りがある。いずれにせよ、介護が必要になる高齢者の増加、その一方で介護・福祉施設でいよいよ深刻化する人手不足や、介護にあたる人自身の高齢化に備えるものである。

現時点では、介護・福祉用ロボット／ロボット技術が広く実用化されるにはまだ時間を要すると考えられているが、メーカーや大学などの研究機関では、盛んに研究開発が行われている。それらのいくつかの例を以下に挙げる。

#### ▼高齢者支援用パーソナルモビリティほか(東京大学IRT)

東京大学とトヨタ自動車株式会社、オリンパス株式会社、株式会社セガ、凸版印刷株式会社、株式会社富士通研究所、パナソニック株式会社、三菱重工業株式会社は、2006年度から文部科学省の科学技術振興調整費「先端融合領域イノベーション創出拠点の形成」事業に参画・協働し、10～20年後を見据えた研究開発を進めている。

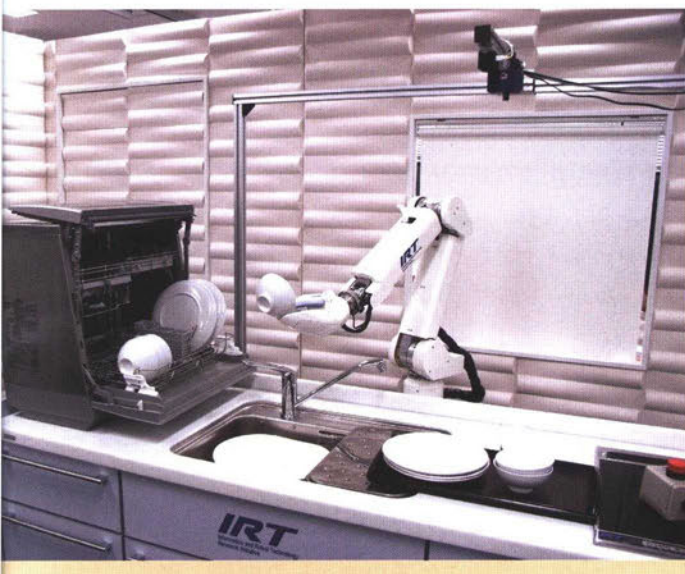
プロジェクトの実施主体として東京大学に設立された組織が、東京大学IRT研究機構である。少子高齢化社会の課題解決に貢献し、自動車、コンピュータに続く新たな日本の基幹産業として期待されるロボット産業の発展に寄与する、IRT(ITおよびRTの融合技術)の研究拠点と位置づけられている。

このIRT研究機構では、2008年、座ったまま移動できる「パーソナルモビリティ」(PMR)実験機を発表した。

発表された装置は屋外移動用、屋内移動用の2種類があり、(1)簡単な操作で操縦する技術、(2)外乱に対してロボットが自律的に運動を制御する技術、(3)複雑なマップを作成しなくても位置を測定する技術、(4)自律移動によってロボットを制御・帰庫させる技術、(5)パノラマ画像による屋外との臨場感通信技術の5つの要素技術を開発、これらをまとめる形で製作されている。高齢者や体の不自由な人が、家庭や屋外を安全に自由に移動し、自立した日常生活を送るための支援を行うことを主目的とする。

屋外用PMRは、トヨタの2輪倒立振子型移動ロボット「モビロ」をベースに開発されたもので、時速6km、1時間の充電で10kmの走行が可能となっている。

操縦は肘当て部の先に付けたノブ状のインタフェースを使い、片手の先でハンドリング、ブレーキ等の動きを操作できる。大まかな走行指示は搭乗者が行うが、3次元物理モデルを使い走行姿勢等を自律制御、路面に段差などがあっても安定した走行を行える。レーザーレンジファインダによって障害物や人を検知、これらを回避する機能ももっている。また、自律移動によって帰庫する技術も搭載する。車輪が2つしかない



倒立2輪形式で搭乗姿勢が高いのは、(1)狭い場所で、移動せずに旋回が可能であること、(2)立っている他の人を見上げることなく、同じ目線位置で会話できること、等を目指したため、仮に電源が落ちて補助輪が降りることで転倒を防ぐ。

屋内用PMRは、搭乗者の重心位置や座面との接触状況などをセンサで検出し、搭乗者の意図を推定して走行することができる。また、手招きをすると、その場で搭乗できるよう近付く機能ももつ。

またIRT研究機構では、少子高齢化社会での単身世帯や要介護者をもつ世帯の増加に備え、家事負担を軽減するための掃除・片づけを行う「ホームアシスタントロボット」(AR)も開発・発表している。これは車輪移動型だが人型に近いロボットで、腰軸と2本の腕をもつ。広角ステレオカメラ、望遠ステレオカメラ、超広角カメラ(全方位カメラ)のほか、機器操作の6軸力センサ、レーザーレンジファインダ、超音波センサをもち、人が日常的に使う道具をそのまま使った掃除や、その他さまざまな家電製品のボタン操作が可能となっている。

ARは主にレーザーレンジファインダの情報を元にSLAM(Simultaneous Localization and Mapping)で地図を生成し、自己位置推定を行いつつ行動、レーザーレンジファインダとステレオカメラによる画像データを組み合わせて家具や道具、洗濯物などを認識する。また、自分の作業が失敗しているか成功しているかを視覚で判断して操作機能と融合させる「失敗検知・動作やり直し機能」ももつ。

ほかにも、食器洗いを支援するキッチンロボットや、「人が扱った日用品やロボットが片付けた日用品を記憶し、収納場所などの思い出しを支援する」、「広視野多重解像度カメラを用いてロボットが人の行動を認識し、薬を飲んだことなどの思い出しを支援する」といった「思い出し支援技術」の開発も行われている。

#### ▼パワーアシストスーツ「HAL」(筑波大学、サイバーデザイン)

筑波大学・山海嘉之教授のチームが開発した「ロボットスーツHAL」は、人が筋肉を動かすときに皮膚表面に漏れ出る微弱な電気信号(生体信号)を読み取り、動作を介助する装着具である。「スーツ」の名の通り全身を覆うタイプのほか、下半身のみや、足、手、指先、各関節用など、部分だけを覆うタイプも開発されている。全身用の場合、40kgの重さの荷物でも、数kgの感覚で持ち上げることが可能であるという。スーツ自体の重さが全身一体型で24kgあるが、重さはHAL自身が支えるために装着者の負担とはならない。

生体信号と、それを元にしたHALの制御信号を記録しておく、使用者が「どう身体を動かしたか」を示す活動履歴を取ることができる。これは特に、リハビリテーションでの活用にも有効であると考えられる。実際に、リハビリへのHALの適用を目標に、医師などと共同での実証試験も行われており、その実験のなかで、

(1)2年間車イス生活を余儀なくされていた脊髄損傷患者がHALを利用して歩行訓練可能に。

(2)脳卒中で片半身麻痺となった患者が、HALのサポートにより脚の屈伸が可能に。

などの成果も見せているという。

こうした「パワーアシスト」形式の装着具は、もともとアメリカにおいて兵士の武器携行能力を高める軍事技術として研究が進められてきたものだが、日本においては、農作業の軽減、介護用などを主用途に研究が行われている。



#### ▼体重支持型歩行アシスト(ホンダ)

ホンダは、ASIMOで培った二足歩行技術を元に、2008年、歩行や階段昇降、中腰などの際、脚にかかる負担を軽減する「体重支持型歩行アシスト」の試作機を発表している。自律行動を取る「ロボット」ではないが、駆動、センサ技術、制御にロボット技術を大きく活用した機器である。

#### 歩行アシスト

ホンダが開発した「体重支持型歩行アシスト」試作機。重量 6.5kgで2個のモーターをもち、一充電稼働時間で約2時間の連続使用が可能。

歩行アシストは1999年頃から研究が開始されていたもので、自力での歩行は可能だが、さまざまな理由でそれに困難を抱える人への支援を主目的とする。使用者の体重の一部を機器が支えることで、脚の筋肉と関節(股関節、ひざ関節、足首関節)の負担を軽減する。

機器は使用者がまたがるシート部、脚にあたるフレーム、靴の3部分からなり、靴を履き、シートを持ち上げて腰を支えるだけで、手軽に装着が可能となっている。

アシスト中は、主に靴に内蔵したセンサなどの情報で2個のモーターを制御、使用者の脚の動きに合わせて力の左右配分を適宜変えることで、自然な歩行を実現する。また、ひざの屈伸に合わせてアシスト力を調整し、階段の昇降や中腰状態など、特にひざへの負担が大きな動作・姿勢でのアシスト効果を高めている。

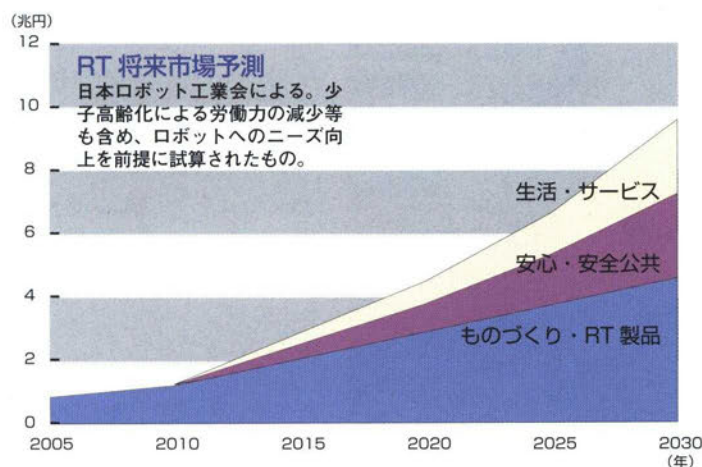
#### ▼イメージ読み取り

(ホンダ、国際電気通信基礎技術研究所など)

2009年、ホンダ、国際電気通信基礎技術研究所などが共同で、頭の中で動作をイメージしただけでASIMOの手足などが動く技術の発表を行っている。脳の特定の領域で変化する血流や脳波をヘルメット状の装置で読み取り、信号をロボットに伝える仕組みである。実験では、イメージ通りに手足を動かした動作の精度は90%に上ったという。

ただし、個人によるイメージのパターンをあらかじめ計測・登録しておく必要があるほか、読み取りから行動までに約7秒のタイムラグがある。また、読み取り装置も重さ300kgに達している。このように実用化にはまだ多くの時間を要するが、これが発展すれば、手足が動かせず音声での指令も出来ない人でも、ロボットのアシストを自分で受けることが可能になると考えられる。

経済産業省は、介護・福祉用ロボットの実用化に向け、支



援策に乗り出す方針を打ち出している。支援は、介護が必要な人が指示すればモノを運んで来るタイプや、人の移動を助ける車いすタイプなどが主な対象で、補助金制度を創設するほか、ロボットの安全性や衛生面の基準作り、ロボットが公共地域などで動くための法整備も検討している。ロボット工業会では、今後介護・福祉用ロボットが順調に普及すれば、産業用を合わせたロボット産業の国内市場規模が、2025年には6兆円台に拡大すると見込んでいる。

#### 少子高齢化で求められるロボットの機能、形態、材料

このように、さまざまなアプローチにより、少子高齢化社会を支えるためのロボット技術が研究開発の途上にある。

ただし、今後これらが実際に一般社会の中で広く使われるようになるには、なお解決すべき技術的課題も多い。

すでに産業用ロボットでは、さまざまな高度な作業をこなすものが登場しているが、一般社会で使われる場合は、産業用ロボット以上にさまざまな「予想外の事態」への対処能力が問われる。このため、概して産業用ロボットよりも高いセンサ能力、制御能力が要求される。

また高齢者や障害者自身が使うことを想定した場合、仮にロボットが故障しても誤作動することなく、また停止しても、使用者に突然その重量が掛かったり、転倒したりといった危険がないよう、より確実なフェイルセーフの機能を備えることが絶対条件となる。メンテナンスフリー、操作の簡便さも重要である。

材料面では、一般家庭で使われるものは、産業用ロボットよりも小型・軽量で、また人との接触時にも危険がなく、“柔らかさ”をもっている必要がある。特に高齢者の身近で使う場合、大重量であることは、それだけ危険性を大きくすることにもつながる。このため、特に外装は樹脂が多用されることになると思われる。しかし一方、荷重が掛かる構造材料には高強度の金属材料は重要で、コストの問題からも、鉄系素材の適材適所の利用は欠かせない。また、家電製品同様、クロムフリーや、ロボットそのもののリサイクルなど、環境負荷の低減も図らねばならない。確実に進展する少子高齢化社会のなか、生活を支援するロボットの実用化は切実に求められる一方で、今後の研究開発の課題はなお大きいと言える。

[取材・文＝川畑英毅]

取材協力・写真提供＝社団法人日本ロボット工業会、  
東京大学IRT研究機構、本田技研工業株式会社