

ロボット大国日本の新潮流

三森八重子（科学技術政策研究所）



スウェーデン・ガロリンスカ病院でアザラシ型ロボットのバコを抱く小児患者。

産業技術総合研究所

人と共存し、人の暮らしをサポートするロボットの開発が進んでいる。病人の心を癒すアザラシ型ロボットや、歩けない人を歩けるようにサポートするロボットスーツなど、最先端の研究現場取材した。

鉄腕アトムは世界のアニメ市場を制したが、日本の産業用ロボットは常に世界の最先端に君臨し、世界市場を制してきた。しかしこここのころ、ロボット業界に新たな潮流が生まれつつある。人と共存し、人をサポートする「サービスロボット」群だ。サービスロボットには、清掃ロボットや医療介護ロボット、セキュリティロボット、災害救助ロボット、軍事ロボットなど多種多様なロボットが含まれる。これらは1990年以降停滞が伝えられる産業用ロボットに代わる起爆剤となるかもしれない。

世界一の癒し効果、アザラシロボット

2006年11月下旬、韓国科学技術評価・企画院の若手の研究者13人が茨城県つ

くば市にある産業技術総合研究所を訪れた。日本の最先端科学技術を視察するのが目的だったが、そこで圧倒的な人気を集めたのが介護ロボット「パコ（paro）」だった。アザラシの赤ちゃんの格好をした癒し系ロボットだ。若い韓国研究者たちは次々にパコをのぞき込み、鳴き声に歓声をあげた。

パコを開発したのは、産業技術総合研究所知能システム部門主任研究員の柴田宗徳博士。柴田博士は「ロボットは通常、人を助ける作業をするためのもの。だが、仕事をしない代わりに人の心に働きかけ、人の心を豊かにする癒し系ロボットの開発をしよう」と決意したという。

パコは、人の身近にいない動物を模しているのが味噌だ。柴田博士は開発

にあたって4種のロボット候補を考えた。人型ロボット、ネコやイヌなど人間にとって身近な動物のロボット、アザラシなど身近でない動物のロボット、架空の動物だ。実際にネコ型やイヌ型ロボットを試作したが、これらは本物と比較しがちで、「反応が違う」「さわり心地が違う」など厳しい評価にさらされてしまった。一方、タテゴトアザラシの赤ちゃんを模したアザラシ型ロボットでは、最初から「かわいい」と評価が高く、触れ合うことによって好感度がさらに上がることを見いだした。

手にやさしい毛皮の手ざわり、澄んだパッチリとした黒い目、おしゃぶりを模した充電器。体長57cm、重量2.7kgのパコの姿形は、人を惹きつける要素を

十二分に兼ね備えている。もち主の愛撫を体中に埋め込まれた触覚センサーで感知し、「ウーウー」と愛くるしい声で鳴くが、苦手であるヒゲをさわられると、「ウーウー」と鳴きながら顔を背けるしぐさをする。顔の表情には瞬きをすることで変化があり、頭や手足が動くことで、驚いたり、喜んだり、あたかも心や感情があるように振る舞うことができる。名前を学習したり、あいさつやほめられる言葉などを理解したりすることも可能だ。そんなパロの内部には、2つの32ビットRISC（縮小命令コンピューター）チップや新型のユビキタス面触覚センサー、静穏型アクチュエーターなど最先端の技術が詰め込まれてあり、安全安心の観点からは、抗菌処理やペースメーカを装着している人のための電磁シールドを施してある。

パロは2005年3月から一般向けに販売が開始され、1台35万円（1年保証付き、3年間保障付きは42万円）という高値にもかかわらず、既に700台が売れたという。しかも、そのうちの70%が個人ユーザーだ。マンションなどに住んでいるため動物を飼いたくとも飼えない動物好きの家族や、1人住まい

で話し相手のいない高齢者など、購入者はさまざま。販売元の（株）知能システムによると、購入者の間でパロの評判はおおむねよく、アンケートで30%弱が「非常に満足している」、50%弱が「満足している」と応えているという¹。

柴田博士はパロを病気の症状を和らげたり、精神状態を安定させたり、不安感を取り除くといった癒し効果によるセラピーに利用したいと考えている。そのために、病院や施設で患者などにパロを実際に使ってもらうことで、その効果を科学的に立証してきた。例えば、2000年には筑波大学附属病院小児病棟にパロを導入し、「退院の意欲が向上した」「会話が多くなった」「夜泣きをしていた子がパロと一緒に寝ることで、安心して眠れるようになった」などの心理的效果を確認した²。また、つくば市の介護老人保健施設にパロを導入し、「車椅子や杖をついて、パロのいる場所に近づいてくる」「気分がよくなる」「うつが改善した」「尿検査でストレスの低下が計測された」などの介護効果がみられた³。これらの実証実験の成果が認められ、2002年、世界で最もセラピー効果のあるロボットとしてギネス世界記録に認定された。



介護老人施設のお年寄りたちもパロを気に入った。

柴田博士の夢はさらに広がる。日本だけで患者が200万人いるといわれる認知症患者をもターゲットとしようとしているのだ。現在、認知症患者の介護には、1人あたり年間400万円の費用が使われている。平均の残命期間を8年とすると、3200万円の介護費用がかかる。パロにより、認知症を予防したり、認知機能を改善したりすることで、この莫大な介護費用を減らすことができる。柴田博士は考える。木村クリニック、（株）脳機能研究所と共同で行った研究では、パロと触れ合った後、被験者14名の認知症患者のうち7人に、脳機能状態の改善がみられた。パロとの身体的な触れ合いによる連想記憶の想起が、脳を活性化するのである。

パロは既に海外デビューを果している。スウェーデン、英国、韓国、イタリア、ブルネイの5か国の科学博物館などでパロを展示し、印象についてアンケート調査を行ったところ、国ごとに文化や宗教はそれぞれ異なるにもかかわらず、どの国においても高く評価され、好意的に受け入れられた⁴。その理由を「アニマルセラピーが日本より海外のほうが発達していること、またペットの社会的な地位が海外のほうが高いせいではないか」と柴田博士は分析する。既に、10か国以上で、パロによるセラピーが実施され始めている。

世界初の歩行を助けるロボットスーツ

2006年11月オランダで開催された福祉関連の国際シンポジウムの会場で、小児麻痺患者が突然歩き始めた。この患者



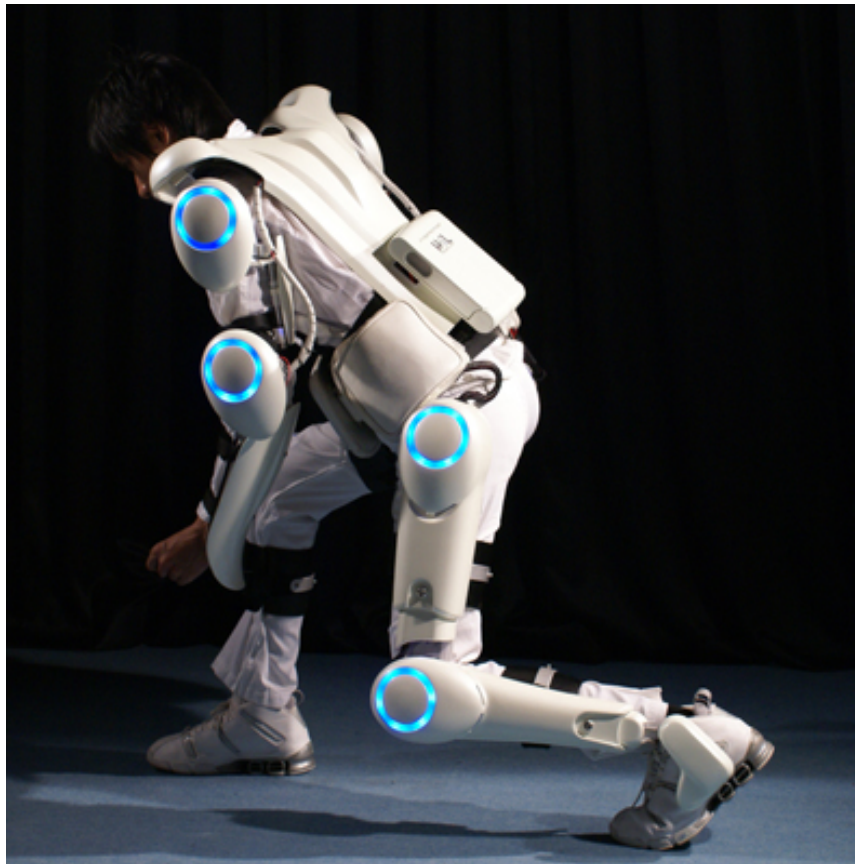
産業技術総合研究所の柴田宗徳主任研究員は、人の心に働きかける癒し系ロボットを作りたいとの思いから、パロを開発した。

は、生後11か月でポリオウイルスに感染し、それ以来、左側の足をまったく動かさなくなっていた。患者が歩行支援に使ったのは、筑波大学大学院システム情報工学研究科の山海嘉之教授が開発した「ロボットスーツ HAL-5」だ。HAL (Hybrid Assistive Limb) は、装着した人の身体機能を拡張、増幅、強化するロボットだ。足腰の弱った人の立ち座り、階段の上り下り、重たい荷物の持ち上げなどをはじめ、リハビリテーション、重作業の支援、災害現場でのレスキューなど広く応用が可能である。2005年に開催された愛知万博にも出品されたので、目にした人も多いかもしれない。

人間が足を動かそうとすると、脳から運動ニューロンを介して筋肉に神経信号が伝わり、筋骨格系が動作するが、その際に微弱な生体電位信号が皮膚表面に漏れ出してくる。HALは、装着者の皮膚表面に貼り付けられた電極でこの信号を読み取り、モーターを制御して、装着者の筋肉の動きと一体的に関節を動かす。人間が足を動かそうとするよりも、一瞬早く筋肉を動かして歩行を支援するため、装着者に負担がかからない。「信号をセンサーがキャッチしてから、モーターが動くまでの時間は、実際に筋骨格系が動くよりも速いため、動作の前に機械が人間を動かすことになる」と山海教授は説明する。全身一体型の重量は21kgあるが、HALのフレームに装着者が乗る形になるため、重たく感じることはない。

山海教授は1992年からHALの基礎研究を始め、1995年から試作機の開発に着手した。最新のHAL-5には、新たに「片足版」も開発されている。脳卒中で麻痺が残った患者の場合、両足麻痺より、片足だけの麻痺の人が圧倒的に多いためだ。脳卒中による片足麻痺の患者は、全国で約120万人にのぼる。

山海教授は「HALの実用化には'産・官・学・民'の4者の共同が欠かせない」との持論を唱える。「民」とは利用者のことで、障害をもった人や病人、あるいは重作業支援やレスキューで使



歩行を助けるロボットスーツ HAL-5。2006年グッドデザイン賞も獲得した。



2005年、首相官邸での総合科学技術本会議にて、HAL-5を披露した筑波大学の山海嘉之教授（写真中央）。

用する場合は健常者が相当する。山海教授は民の需要を把握し、民を巻き込んだ開発を進めるため、関係省庁、大学、企業、行政のみならず、医師や理学療法士、法律家、倫理学者、社会学者、経営学者などの専門家やユーザーからなるコンソーシアムを組んでいる。従来の義足と異なり、HALはアクティブに機能し、しかも「歩けなかった人を歩けるようにする」という治療行為が伴うため、新たなガイドラインの策定が必要だと考えているからだ。

山海教授は、HALを医療機器としても販売する予定だ。医療機器とするには厚生労働省の認可が必要で、前提条件として一連の臨床試験が必要とされる。そのため2006年12月から、筑波大学附属病院などいくつかの病院で実際にHALを患者に使ってもらい、申請に必要なデータを取り始めている。

一方、山海教授はHALの製造販売のためのベンチャー企業「CYBERDYNE（サイバードイン）株式会社」を既に立ち上げており、つくば市に研究開発センターと製造工場を新たに建設する予定だ。2007年秋には、年間400～

500台のロボット製造ラインを立ち上げ、1年以内に生産を軌道に乗せる。その後は、需要に応じて生産施設を拡大していく予定だ。事業計画に従って開発・生産を展開していくが「年間数万台にするにも現段階は重要だ」と山海教授はいう。価格は1台当たり100万～200万円ほどになるとみられている。海外市場も積極的に開拓していく計画で、2007年3月には福祉国家オランダに欧州拠点を開設する。2007年10月には北米拠点を開設する計画である。

山海教授はサイバードイン株式会社の株式公開（IPO）を視野に入れている。既に2006年9月に第1回の第三者割当て増資を行い、ベンチャーキャピタルや証券会社、保険会社などから無議決権株式のみで3億9000万円を調達した。第2回の第三者割当て増資を2006年12月から2007年2月に行う予定だ。今後は製造業などとの提携も考えている。現在、株式公開を目指して幹事会社を絞り込んでいるところだ。山海教授の生み出したロボットスーツは技術的に世界初のものだが、知の創造とその実用化の間に広がる「死

の谷」（注1）を乗り越え、支援ロボットをビジネス化するのも世界初の試みといえそうだ。山海氏の夢は広がる。

ヒューマノイドから家電ロボットまで

千葉工業大学未来ロボット技術研究センター（fuRo）の古田貴之所長は、科学技術振興事業団（現・科学技術振興機構）ERATO北野共生システムプロジェクトでつくったヒューマノイドロボット「morph（モルフ）」シリーズの開発で有名だ⁵。

morph 3は全長38cm、重量2.4kgの小型ヒューマノイドロボットで、ロボットらしくらぬ華麗な動きで注目を集めた。138個のセンサーと13個のコンピューターが埋め込まれ、分散制御により軟らかい動きを実現する。空手の突き、バック転、受身も可能だ。さらにmorphシリーズの人気を高めたのがその美しい身体デザインだ。ヒューマノイドロボットに通常ある外装カバーがなく、機械の筋肉ともいえるモーター・モジュールがむき出しになっている。骨格となるフレームはジュラルミン製で、胸部にあるメインCPUのほかにサテライトCPUが全身に配置されている。

しかし、古田博士は「ヒューマノイドロボットが私のロボット研究の最終目標ではない」ときっぱりいう。これらは、あくまで技術開発のプラットフォームであり、デバイスの評価のためのテストベッドだというのだ。古田博士は、2003年6月に千葉工業大学にfuRoが開設されると同時に、北野共生システムプロジェクトのメンバーを引き連れてやってきた。それは「国の研究機関ではできないことを'大学'でやってみたかったから」と説明する。

fuRoに移って最初に手がけたのが車型ロボット「ハルキゲニア」だ⁶。ハルキゲニアはプロダクトデザイナーの山中俊治氏と、日産自動車の子会社であるクリエイティブボックス社の3者による共同で開発されたもので、3つの機能（ステアリング、リフティング、スウィング）を兼ね備えた8本の足をもつ。8本のう



千葉工業大学未来ロボット技術研究センターの古田貴之所長。向かって左側がヒューマノイドロボットのmorph3で、右側が車ロボットのハルキゲニア。

ち4本で動き回り、残りの4本が触覚として働くため、例えば段差を乗り越えることができる。あるいは、その場でクルクルと回転したり、横にスーッと滑ったりすることもできる。「車が開発されてから100年たっているのに、車はちっとも進化していない。前後に動くことしかできない。その壁を破りたかった」と古田博士は開発の動機を話す。

古田博士のロボット作りのモットーは、「人の役に立つロボットを開発すること」だ。それを機軸にmorphやハルキゲニアのほかにも、これまで多くのプロジェクトを手がけてきた。例えば、ラジオメーカーのフタバと共同でホビー用ヒューマノイド、通称「チビモル」を開発した。チビモルは23cmの小型ヒューマノイドロボットだ。商品化はまだだが、2006年に静岡で開催された「ホビーショー」で発表したところ、20軸をフルに使った軟らかい動きで観客を魅了した。

また、J-Sip株式会社とはロボットやあらゆる家電製品を操作できるウェアラブルコントローラ「Windロボットシステム」を開発中だ。これは、ロボット制御用チップの開発を目指したプロジェクトである。ロボットを操作する人がこのチップ(WINDチップ)を複数個装着すると、WINDチップどうしが連携し、操作者の動きを検知。操作者は、身振り手振りで家電を操作することができるというものだ。既にフェーズI研究は終了し、現在はフェーズIIへと進んでいる。ほかにも、現在は、外部団体との共同開発プロジェクトが7つ同時進行だという。

さらに、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)が推進している「次世代ロボット共通基盤プロジェクト」にも参画している。このプロジェクトは、ロボットに不可欠な基礎技術(センサー、分散制御装置、モーター駆動装置など)の標準化を目指した活動である。古田博士は、産業技術総合研究所や慶応大学、J-Sip、大日本印刷、東芝などと「運動制御用モジュールの開発」グループのメンバーとなっている。

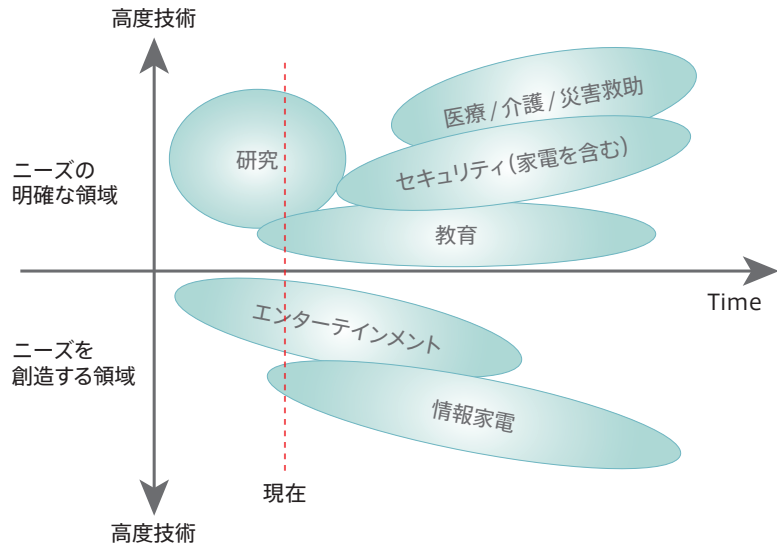


図1 古田博士の考えるロボット開発のロードマップ。今後は医療や介護、災害救助ロボットが伸びると考えられる。

このように、多くのロボット開発を手がける古田博士であるが、中学生のころ病に伏し、一時期車いすの生活を強いられた。幸いにも現在は完治しているが、当時、身の回りで多くの死に出会い、「生きているかぎり、やりたいことをやろう」と思うようになったという。大病を克服した古田博士のロボット開発への執念はものすごく、一旦ロボットの開発に入ると不眠不休で仕事を続ける。集中した作業のおかげでmorphはたった1か月、ハルキゲニアも3か月で完成した。

商品化への「死の谷」を乗り越えて

日本のロボット研究を率いるこれら3人は、異なるコンセプトをもち、異なる方向を目指す。しかし、従来の「製造現場で経済の進展に資するロボット」ではなく、人とのコミュニケーションや介護医療を助けるロボットという新局面を目指すロボット作りを志向するといった意味では軌を一にする。古田博士はロボット開発のロードマップを、ニーズの需要に応じて図1のように分析している。古田博士が現在力をいれているのは「家電ロボット」だが、今後は医療や介護、災害救助ロボットが伸びるとみている。

また古田博士は、ロボットには高度な技術が必要で、技術の商品化までには「死の谷」が存在するため、ベンチャー企業にとっては商品化がむずかしい分野であると指摘する。それもあって古田博士自身は起業するつもりはない。今は多くの業種・多くの企業と協業し、ロボット市場全体のパイを広げたいと考えているのだ。

世界を牽引してきた日本の産業用ロボットだが、安い途上国労働力の普及もあり正念場を迎えている。共生ロボット市場のテイクオフは、絶好のブレイクスルーとなるはずだ。ロボットをめぐる日本の第一人者たちのさまざまな試み。これらは、現安部政権が目指す「イノベーション国家」実現のための重要なマイルストーンとなるに違いない。新たなロボット大国日本の誕生も夢ではない。 ■

注1：研究開発の成果は、具体的な事業化・製品化に結びつかないことが多い。この研究開発と事業化の間にあるギャップを「死の谷」とよぶ。研究開発の内容もさることながら、事業化に結びつけるための施策検討が大きな課題となっている。

1. <http://paro.jp/owner.html>
2. http://www.aist.go.jp/aist_j/aistinfo/aist_today/vol03_06/vol03_06_p04_13.pdf
3. http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2004/pr20040917_2/pr20040917_2.html
4. <http://paro.jp/hyouka.html>
5. <http://www.lleedd.com/morph3/>
6. <http://www.lleedd.com/hallucigenia/concept.html>