

ロボティクス—人間型の最近の動向と温故知新

Robotics - Humanoid Trends and Perspectives from the Original Past

東京大学大学院情報理工学系研究科
Graduate School of Information Science and Technology
The University of Tokyo

教授
稲葉 雅幸
Masayuki INABA, Professor



1. はじめに

近年、海外のロボット分野では、人間型といえるロボットの話題が増えている。研究段階のものだけでなく、産業用ロボット分野にも人間型の新しい方向が進みつつある。今年東京で開かれた国際ロボット展 IREX2013 では、双腕ロボットによる実演を行う企業が格段に増えた。今後、この傾向は進むと見られている。IREX2013 に出ていた双腕ロボットは移動する機構はもたないものが多い。米国では低価格の産業用双腕ロボットとして発売された双腕ロボットも、移動せず、腕の関節にバネがあり、それにより人にぶつかっても安全で、人が手をもって作業を教示してゆくことが簡単にできることを売りにして昨年末に発表販売が開始された。

研究用では、モバイルマニピュレーションという車輪で移動する双腕のロボットが活発になっている。さらに、昨年米国の DARPA (Defence Advanced Research Projects Agency) によるチャレンジ (競技会) として、災害対応ロボット競技会 (Disaster Response Challenge: DRC) をスタートさせ、人間型の油圧駆動ヒューマノイドプラットフォームを提供するプログラムとなっている。これは、建屋に車を運転して近づき、ガレキの上を移動でき、ドアの前のガレキをどかし、ドアを開けて建屋に入り、壁があれば人が日頃使う穴あけ道具を用いて穴を開け、梯子を上り、蒸気の漏れを見つけ、バルブを閉め、ホースをつなぐ、という福島原発事故時のような初期対応状況を想定し、一台のロボットがこれらの行動を達成できることを目標とする競技会となっている。DARPA は、自動運転の自動車を作るチャレンジを 2005 年ごろに行い、今回はロボットが普通の自動車を運転し、人間用の道具を扱えるようにというように、ロボットの形態は人間型の方が実現しやすいものとなっている。日本の若い研究者も職を賭してそれに挑戦している。

このように人間型のロボットが、産業用、研究用、災害対応などで活躍する兆しが見え始めている。本稿で

は、人間型ロボットに関連する最近の動向を紹介するが、最近の動向は研究者から見るとすでに古い研究でなされたものが産業用になりそうなことになっているという気がするものもあり、温故知新ということで記したいと思う。産業用ロボットの誕生から人工の手の計算機制御という 1969 年 (昭和 44 年) の井上博允東京大学名誉教授 (現カワダロボティクス取締役技師長) の博士論文研究について少し詳しく説明し、今後の人間型ロボットに見えている可能性について述べたい。

2. ロボティクスとは

1960 年代初頭は、Teaching と Playback の考えに基づき、産業用ロボットが製造販売され始めたころであった。テープレコーダのように教示した時の信号を覚えておき再生するという仕組みで、教示内容を変えれば異なる作業ができる汎用性がそれまでの機械には無かった。しかし、教示した動作の途中で環境に変化があるとそれに対応できないものであった。他方、原子炉などで人が近づけず、人が操縦する形のロボットでは予定できない環境に応じた動作が可能であった。そこでは、**図 1**¹⁾ のように、双動型サーボ機構が用いられていた。人が主動側を操作し、従動側のロボットが環境に触れると、従動側が受けた力が主動側を通して人へ伝わり、人は環境とロボットがどのような状況になっているかを知ることができるようになる。人はその戻ってくる力に応じて主

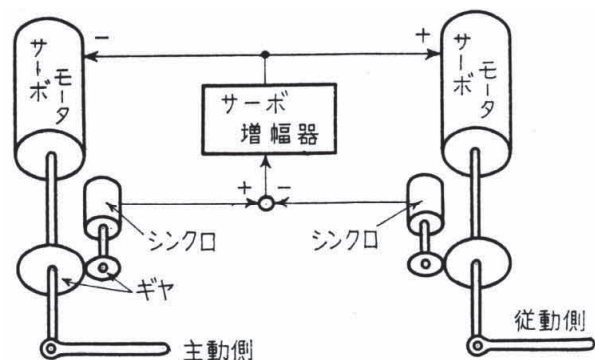


図 1 双動型サーボ機構

動側を扱い、ロボットに環境に沿った動きをさせることができる仕組みのものである。教示した固定動作ではなく、その場で動作を変更することも可能となるものであった。

井上先生は、この双動型のサーボ機構において、人が操縦する主動側を計算機で置き換えることで環境に応じて目標値を変更し、操作内容も異なる動作も繰り出してゆける従動部を作ることができると考え、**図2**のシステムを実現した。計算機が送る目標値に対して、ロボットが環境から受ける拘束によって、位置偏差が生じ、その位置偏差を計算機が読んで目標位置を変更してゆくということで環境になじむ動作が可能となる機構となっている。さらに、関節の偏差信号だけでなく、**図3**のように、ハンドに接触感覚として28個の接点を設け、15ビットの接触情報を得られるようにして、**図4**のように、物を倒さずアプローチを修正し、対象物を探し、対象物を動かさずに把持するという繊細な動作が可能となっていた。これらを含む、基本動作命令は、**表1**のようになっていた。基本動作命令には、動いている最中に物に触れると止まる、動いている時に触れるとはなす、拘束軌道に沿って動かす、物がなかったら修正する、対象を動かさないように動く、物がなかったら探す、など、動いている最中に物に触れて力を受けた場合にどのようにするかという付帯条件のある基本命令も用意されていた。計画予定動作だけでなく、その計画動作中に想定外の状況や対象になじんでの動作が可能となる仕組みが基本動作命令として準備されていた。

これらの基本動作命令の組合せによって、井上先生のロボットは、高さのわからない積木を積み重ねる、途中で人が手で受け取ろうとしていることがわかる。棒を穴から抜いて抜けたことを確認できる。別の穴に棒を入れるために、**図5**のように棒の先端が穴にひっかかるところを探して棒を立てる動作ができる。**図6**のように、軸の位置を知らなくても次の目標位置Bを定めて動き始めると双動性によりクランクを壊さずに回すことができる。ということを実演して見せた。これらは手の触覚、腕が受ける力情報から状況を判断して動きを創り出す、プログラマブルな仕組みがなければできないものであった。

この研究は、固定の目標信号で動作制御がなされるプレイバックロボットあるいは人が常に操作する操縦型ロボットであったものに対して、計算機プログラムによって感覚情報を読み取り、環境に応じて動作目標を変更修正してゆく今日の知能ロボットの概念を最初に示したものとなっている。その成果は日本機械学会の論文賞を受

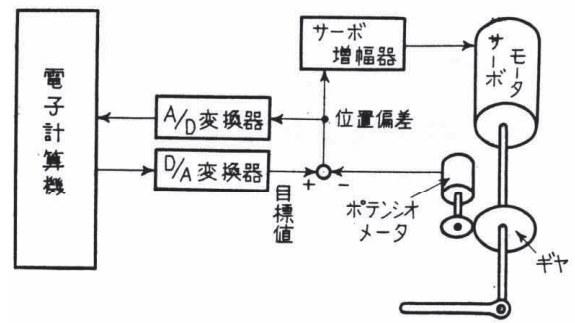


図2 双動性を実現するための基本構成

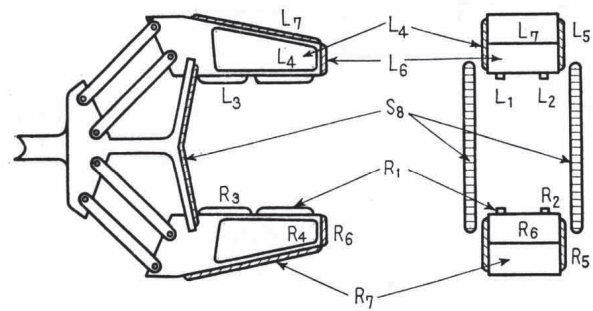


図3 人工の手の接触感覚

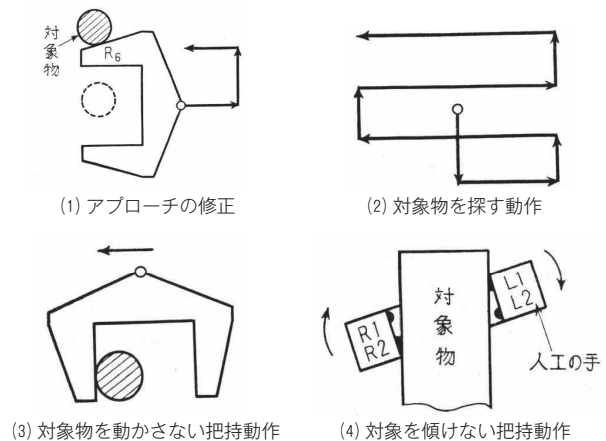


図4 ハンドの接触感覚を利用する動作

表1 基本動作命令

手を動かす動作	TH	指定された点へ移動
	TS	目標点へ移動する途中で手が物に触れたら停止
	TT	拘束軌道に沿って手を動かす
	CRK	クランクの回転
つかむ動作	GSP	その場でつかむ
	G	前進してつかむ
	GR	手のひらに相手する部分が触れるようにつかみなおす
探してつかむ	GT	指先でつかむ
	SG	付近を探してつかむ
	GSG	前進してつかむ、物がなかったら付近をさがしてつかむ
手放し動作	R	無条件で手ばなす
	RC	つかんでいる物に上向きの力が加わったら手ばなす
	RCP	指定された点へ運んで手ばなす。他の物に触れた時は手ばなす。
結合動作	E	ピンを穴にさしこむ。ただし、試行は1回だけ。
	ER	ピンを穴にさしこむ。データを変更して計6回までやりなおす。
分離動作	D,DF	ピンを引き抜く
識別動作	TST	つかんでいる物の重さまたは大きさを識別する

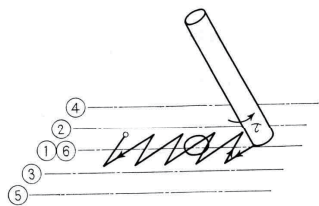


図5 挿んだ棒で穴を探す動作

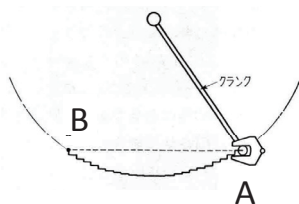
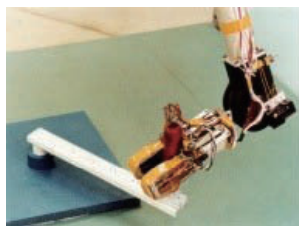


図6 クランク回し動作

け、米国機械学会への論文は、米国での知能ロボット研究者の先導研究となった。1973年のスタンフォード大学のR.Paulの博士論文には井上先生の研究を見て自分もロボットの研究を始めようと考えたと記されている。井上先生は、この後1973年にMIT人工知能研究所で指先に力センサを備えたロボットで模型エンジンを分解組立する研究、1974年に白井良明大阪大学名誉教授とビジュアルフィードバックによる積木の組合せ動作の研究を行い、計画動作を行っている最中にも対象の状況に併せて動作を適切に修正してゆく知能ロボットの本質的特長が示された。井上先生の紫綬褒章ではこれらの世界初のロボット学での貢献が高く評価された。

1983年には日本で日本ロボット学会が発足した。世界では、第一回国際ロボティクス研究シンポジウムが開かれ、ロボティクスとは、知覚から行動へ知的に連携させることを研究する学問である (Robotics is the study of the intelligent connection from perception to action.) とMIT人工知能研究所の教授らにより示され、井上教授が博士論文研究で示した概念が継承されたものとなっている。

3. 人間型のプラットフォーム

井上先生は、1978年より東大に戻り、情報システム工学研究室での研究、文科省科研費知能ロボット重点領域研究「知能ロボット」、日本学術振興会未来開拓研究、経済産業省人間協調共存ヒューマノイドプロジェクト等を主管された。知能ロボットはシステムの研究であり、研究室において、マニピュレーション、ビジョン、ソフトウェア、知能、統合システムのそれぞれにおいて新しい概念と実システムを構築する研究を進め、文科省科研

費重点領域研究において最初のロボット研究領域「知能ロボット」では、視覚と4脚移動ロボットのそれぞれをプラットフォームとして全国の研究者が共有できることの重要性を示した。未来開拓研究推進事業では、等身大のヒューマノイド開発を行い、大学研究室での開発を進めたH1からH5ではなく、川田工業によるH6,H7のハードウェア開発によって研究者がソフトウェアに集中できるヒューマノイドができあがった。

1998年からの5年間経済産業省人間協調共存ロボットプロジェクトにおいて、人が使う環境や建設機械等を操作するにはヒューマノイドがよいということで、働けるヒューマノイドをプラットフォームとして世に出すプロジェクトが井上先生をプロジェクトリーダーとして始まった。その成果としてHRP-2が2003年よりプラットフォームとして大学研究機関で利用可能となった。それまでの国のプロジェクトでは、極限作業ロボットなどがなされてきたが、できあがった成果を継続的に次に利用可能となるような形に企業がその開発を継続できるものがなく、プロジェクトの成果であるプラットフォームを研究教育機関が利用できるようにする仕組みは日本の人間型の知能ロボット研究、ヒューマノイド研究を大きく進展させることにつながった。川田工業によってHRP-2を継続的に提供可能とする体制が維持されているということは、日本の知能ロボット・ヒューマノイド研究者にとって世界に類の無い得難い環境が早くから提供されたことになっており画期的なことである。今年で10歳になるHRP-2は今も現役で活躍をしており、最近までに海外で起こってきている人間型ロボットの様々な開発やプロジェクトを先導した形のものとなった。

4. 東大 機械情報工学科 情報システム工学研究室

1990年、東京大学工学部機械系三学科では、船用機械工学科を改組し、機械情報工学科という現在も続く学科を創設した。井上先生がその新しい学科の講座構成、基本カリキュラムをデザインされ1991年より学生を迎えることとなった。機械情報工学科の英語名称は、Ruzena Bajcsy教授(現UC Berkeley校)とのランチの時に、Mechano-Informaticsがいい、となって出来上がった。現在まで、機械工学と情報工学の両方の基礎と実践を教育するカリキュラムを進め、情報システム工学研究室へ進学をしてくる時には、ロボットの基礎となる科目を履修できる体制となった。2003年にはHRP-2を導入し、この学科の学生実験、大学院の学生演習のカリキュラムに組み込むことができた。学生は嬉々として、ロボットを思い通りに動かす動作を実行させる。ロボッ

トが自分の動きで自分の身体を壊さないように、自己身体衝突回避プラグインなどの開発が進むことになった。

2004年以降、井上先生が定年退官された以降、東京大学情報システム工学研究室では、HRP-2は知能ロボット研究の中核のプラットフォームとなっている。ヒューマノイドは、物体操作、移動、認識、計画、判断、学習などの知能ロボットに必要な機能が一体となって含まれることになり、それ1台で様々な研究テーマの実験装置となりうる。大学は、学生が数年で入れ替わる場であり、学生が必要に応じて個別のロボットを創っての機能研究を行うとその機能研究以外ではそれが使われなくなってゆく。ヒューマノイドのように1体にすべてが入っていて、人が扱う道具を使ってロボットの能力を拡張できるため、新しいロボット機能を研究テーマにしたいという学生にも答えてゆくことができるようになる。プラットフォームの利点は、ソフトウェアが散逸せず、改良される機能を組み込み進化させることが可能で、他の機能を実現するソフトウェアともすぐに連携できる点である。学生の研究において他の機能も必要になった時にはすぐにそれを適用できるようになっているところが機能1体統合型のヒューマノイドの大きな利点となる。

他方、産業応用を考えた場合には、脚型のヒューマノイドはまだ必要無い、見守りのように首だけあればいい

い、食器洗い機を使うアームをキッチン専用にしておきたいというような要望がある。その場合にも、ヒューマノイド1体にソフトウェアが統合されているものから、必要となる要素機能を抜き出して組み合わせる、新しいロボットハードウェアへ対応させることができる。また、そこでその個別機能を掘り下げる研究を行った後は、その成果をヒューマノイドのソフトウェアプラットフォームへ戻してゆくことで、要素機能が高まってゆくヒューマノイド研究が可能となる。

5. マザー環境の研究、作る研究と使う研究

研究室では、個々のロボットは何ができるか、どういう可能性をもつロボットができあがったかということだけでなく、どのようにしておけばロボットをよりうまく発展させられるかということテーマにしてきている。この研究はマザー環境の研究と呼んでいる。マザー環境というのはロボットを産み出す環境のことを指す。大学で生まれてくるロボットやタスク、研究テーマは時代とともに変わるが、次に新たな挑戦に向けてのロボット、タスク、テーマを受け止めるのはそのマザー環境がどれだけ進んでいるかということになる。

図7は、研究室でのマザー環境にかかわる要素の流れを示しているものである。1993年に小型のヒューマノ

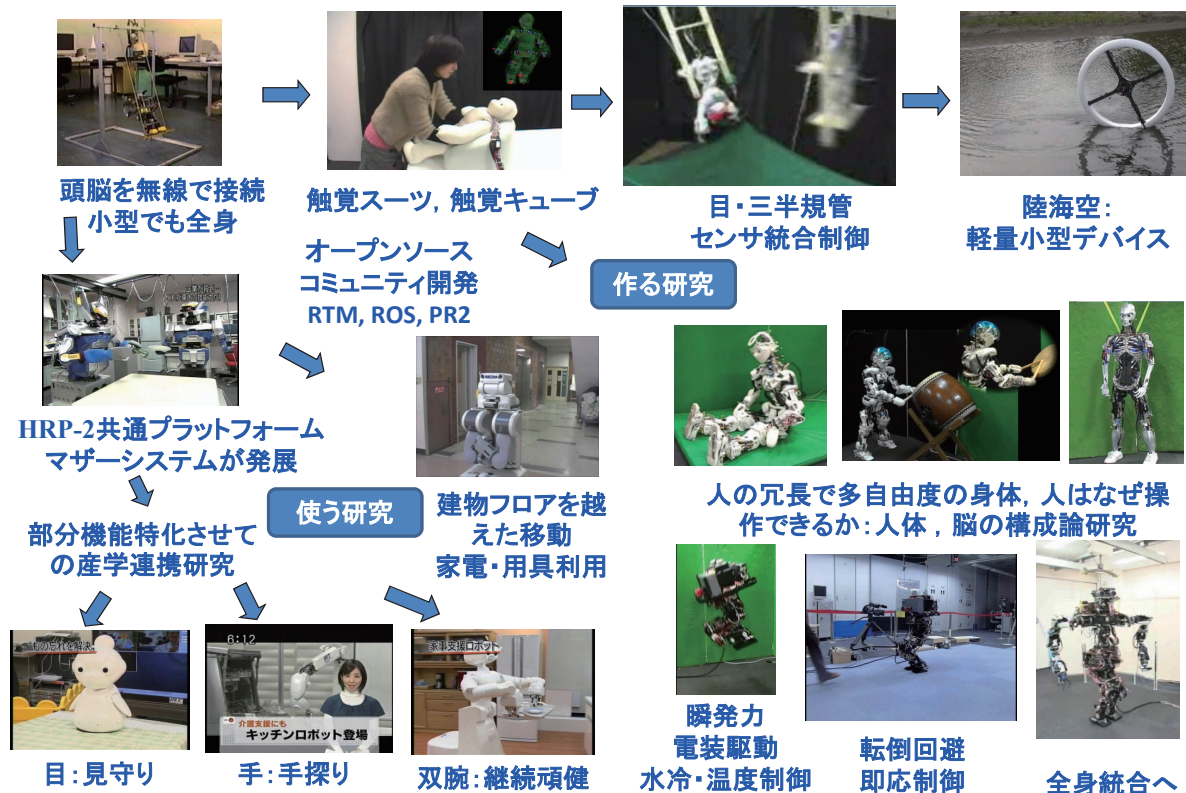


図7 情報システム工学研究室での研究

イドを無線で扱えるようにしたりモートブレイン研究から等身大ヒューマノイドプラットフォーム HRP-2での統合環境の研究を経て、目、手、双腕などの要素機能の産学連携研究への流れが左側の縦の流れである。ヒューマノイドに統合されている要素機能はマザー環境の重要な要素となる。左上から右への流れは要素デバイスの流れである。全身を覆うセンサスーツ、触覚キューブ、追跡3D視覚、軽量高性能IMUなどのデバイスを小型ヒューマノイドや専用ロボットのために試作実装することを行ってきている。

図左のHRP-2の右にあるオープンソースコミュニティ開発というのは、世界中の研究者が共有できる計算機やロボット用のプログラムを活用してゆく流れである。マザー環境にそのコミュニティの成果も含まれる形になる。研究室の中で開発したものと外にあるものとの比較ができるようになり、中にあるべきソフトウェアを吟味できる。外にあるソフトウェアは非同期にいつでも変更されたり消えることや商品化されることもある。そのような変化を想定しての利用と、個々のソフトウェアの変更気づくためのテストを自動化するための環境が不可欠となる。このソフトウェアのテストを自動的に行うサーバのことをテストサーバと呼ぶ。ロボットの行動実行を行いながらのテストサーバを実現するにはそれ専用のロボットを確保する必要があるがオープンソースを利用するマザー環境には不可欠となる。

図右半分は、作る研究の例である。マザー環境の研究では、ロボットを使う研究と作る研究の両方を併行させておくことが大切である。使う研究においては改造すべき点に気づく。作る研究の成果が見えていれば改造はすぐに検討できるようになる。逆に、ハードウェアを作る研究は開発に時間がとられる。上位のタスク行動のソフトは使う研究からのソフトウェアをすぐ利用でき、形ができあがったロボットはすぐに動き始める。

作る研究では、2種類のヒューマノイドを試作している。一つは、人体のような複雑な身体をどのように制御できるか、また、その複雑性から自分の身体の状態自体を自分で認識学習できる機能が必要となる筋骨格ヒューマノイドの研究である。もう一つは、人を抱き起すなど瞬発力が必要な電動ヒューマノイドロボットのための研究である。これは、水冷で大出力を発生可能な小型モータドライバを実装し、HRP-2と同等の体重で30cm程度跳躍したり、強い横衝撃力を受けても転倒回避できる足さばきが可能な実験をし、等身大のヒューマノイドとして実装してきている。この2種類のヒューマノイドハードウェアは、それではできない次の新しい

行動研究を進める土台となっている。

6. 海外の動向

ロボット用のオープンソースコミュニティの活動は日本、海外で急激に盛んになってきた。この進展によって、ロボットのハードウェアを造れば、ある程度の認識、行動プログラムをロボットの蓄積が無いところでも容易に開発できる時代になりつつある。そのため、米国を中心にテレプレゼンスロボットなどの比較的容易に作れるロボットのベンチャ企業が急速に増えてきている。テレプレゼンスロボットとは、遠隔からいろいろなところへ移動操縦できるテレビ会議装置のようなものである。腕が無いものも多く、まだドアを開けて移動してゆくことができないものとなっている。

オープンソースロボット用OSであるROSとそのハードウェアプラットフォームPR2を2009年より世界展開を始めたWillowGarage社は、今年、同じ創業者が作り、テレプレゼンスロボットの商品化をしたSuitableTechnology社に統合された。その間、OSRF (Open Source Robotics Foundation) 社、UnBounded Robotics (UBR) 社など数社をSpinOutさせてきた。UBR社は、PR2を片腕にしたようなロボットで、価格が350万円程度ということでその価格が目ざされている。

他方、双腕ロボットについて掃除機ロボットのiRobot社を作ったRodney Brooks (MIT名誉教授) のRethinkRobotics社がROSを用いて動く250万円程度の双腕ロボットBaxterを販売した。Baxterは、関節にバネを入れて人につかっても安全なハードウェアとし、ハードウェアをできる限り安く作り、ハードウェアの欠点や制約をソフトウェアでカバーすべく、バックラッシュ、ヒステリシス等のあるハードウェアに対する高度な制御、自動キャリブレーション、フレキシブル教示インタフェースを段階的に発展させてゆく構想の製品となっている。

PR2は、欧州の知能ロボット研究者に協力的なツールを提供することになった。ドイツ (Freiburg大学、Munich大学、Bremen大学) や、フランス (LAAS ; Laboratory for Analysis and Architecture of Systems) などでは、それまでの認識、モーションプランナ、Web知能活用などのそれぞれの研究をこのPR2をプラットフォームとして活用してきている。この車輪で移動する双腕ロボットの研究は、ヒューマノイド研究ではなく、モバイルマニピュレーション研究と呼ばれて多くのワークショップが開かれるようになった。このモバイルマニ

ピュレーション研究は、日本ではそれほど研究者が多いことにはなっていなかった。日本では脚型のヒューマノイド研究が早くから研究されてはいたが、車輪型ロボットとアーム型ロボットに別れての研究が多かった。車輪型の強みは、倒れる心配が少ない、搭載エネルギーも比較的大きいということで、時間の長いタスクを行わないといけない知能研究にはこちらが好まれる。

ヨーロッパのロボットコンパニオンを目指した提案は、10年1000億円のフラッグシッププログラムの採択にはならなかったが、Human Brain Projectという人間の脳の研究のプログラムが採択された。この脳の研究は実は、3分の1はICTのプログラムで、全体が12に別れ、その1つがMunich工科大学のA.Knoll教授が代表のロボット研究となっている。姿形だけでなく知能も人間型にしようというプロジェクトと言える。これ以外にも、欧州プロジェクトのFP7の次のHorizon2020の準備が始まっており、人間が作ったWeb上の知識を活用する新しい知能ロボットやクラウドロボティクスなど、欧州のロボット研究者は様々な研究提案を準備しようとしている。

こういった大学等での研究がどのように産業に結びつくかということがこれからは重要となる。欧州には大学等の基礎研究と企業をつなぐ公立の研究所・センターが多い。ドイツでは、DFKI (Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz) という9割が欧州などからの公共予算で運営される人工知能研究所がありその中に、ロボット部門があり、10人ほどで、宇宙、水中、地上自動運転自動車、多脚ロボットのプロジェクトを実際にロボットを創りながら行っている。宇宙ステーションの中で人に代わって働ける人間型のロボットを創っている。同じく、ドイツのFraunhofer研究機構も大学と連携し企業との間を埋める研究開発を行う役割を担うことで有名であるが、その運営費用は6割以上が欧州プロジェクトなどの公共予算となっている。公共プロジェクトの予算ではなく、本来に製品の改良・新製品展開などを考えている企業からのプロジェクト委託予算をもとに大学と企業との間を埋める研究センターの役割の企業がスペイン北部バスク地方に数年前に生まれたTecnaliaという会社である。Non-Profit企業で大学と企業との間をつなぐ研究開発を行い、バスク地方の多くの企業がアドバイザーを務めて運営がなされている。公共費用は1割程度で、9割が企業からのプロジェクト予算で運営がされている。ロボットのチームはエンジニアが15名で26の異なるプロジェクトを行っていると話をしてきた。川田工業の双

腕ロボット (HIRO ; NEXTEGEの研究開発用プラットフォームバージョン) を海外で最初に導入したのがこのTecnaliaである。エアバスからの委託で、飛行機の筐体をリベットづけするためには両腕をもつロボットが必要ということで、HIROに着目し、その導入を行っている。ROSを用いてHIROを扱いたいということで、筆者らの研究室へ半年ほど滞在をして、ROSや動作プランナのオープンソースの機能を用いる開発を進めている。それと時を同じくして、研究室の岡田准教授は文科省のプロジェクトとしてオープンイノベーションというプロジェクトを行い、産業用ロボットでオープンソースロボットソフトウェアがどれくらい利用可能かの支援を行う協会を、東京ロボットオープンソースロボット協会 (Tokyo Robotics Kyokai Association : TORK) を発足させ、NEXTAGEのOpen化もそこで進んでいる。

他方、米国のDARPAロボティクスチャレンジで人間型ロボットでないと困難なミッションを掲げたチャレンジ (DARPA Robotics Challenge:DRC) は、2013年12月にトライアル、2014年12月にはファイナルの大会が開かれる。研究室からは、腿駆動ヒューマノイドと大出力ヒューマノイドの作るロボット研究を行っていた2名の助教がこの挑戦に参加したいと大学を辞めて会社を設立した。ハードウェアを製作するグラントを得て、12月にこのトライアルに臨む。他にハードウェアを作るチームは米国から5チームで、7チームはBostonDynamics社が開発したAtlasという人間型ロボットを共通プラットフォームとして、各チームのソフトウェアで競技に参加する。

このチャレンジには、韓国のKAIST大学で開発されてきているHUBOという人間型ロボットがDrexel大学のチームに提供され、米国の他の多くの大学を巻き込んで連合チームを作り、米国のヒューマノイド研究のすそ野を広げる体制づくりを行っている。また、韓国のロボット用サーボモジュールや小型ヒューマノイドDarwinを開発販売しているRobotis社もDarwinのソフトウェアをオープンソースとし、VirginiaTech大学のチームに入って参加をする。Atlasロボットは2億円強の価格で販売されている。それを香港大学、エジンバラ大学が大学の学科・学部レベルの共通新プロジェクトとして購入し、DRCへ挑戦し、学内における新しい理工系科学技術研究の起爆剤として人間型ロボット研究の拠点作りを始めようとしている。日本はヒューマノイド研究を早くから始めてきてはいるが、海外は、オープンソースを活用し低価格でプラットフォームのデファクト製品を売り出すとする米国ベンチャー企業、米国等身大ヒュー

マノイドのDRCチャレンジ、知能研究の歴史を活かしたモバイル双腕マニピュレーションロボット研究ということで人間型ロボット研究への加速が日本以上に急速に進んでいるといえる。

7. おわりに

すでに40年以上前になる井上先生の研究は、手への触覚センサの配置のさせ方、偏差を利用する低コストの実装など、見習う点が多い。当時4K語の計算機で実装されていたということは今ならば数百円もしないプロセッサでそれが実現でき、力センサやバネ要素も必要なく6軸のアームを環境になじませている。当時はまだキーボードなどが無い計算機であり、プログラムの起動は指の触覚センサを利用して。普通の環境では絶対に起こらない組合せの触覚センサを同時に押すことで起動するなどの工夫がなされていた。井上先生のロボットのハンドについて28個15bitの触覚センサは、最近のTVゲームパッドと同じように教示用・手の誘導用にそのまま利用できる操作盤とも言える。人がロボットに手を触れるだけで順番にいろいろな作業へロボットを誘導できる仕組みがここに実現されていたことになる。双腕ロボットBaxterでは、手首を持って教示を行うなどがなされているが、井上先生のロボットではそれはすでになされていたことである。

これまでも多関節アームは人間型と呼べるものであったが、これからは双腕で人が作業を行うと同じような場面にロボットを適用できることになる。そういったロボットの基本動作として何があり、人がロボットのその機能をその場でどのように引き出せるようになっているかという問題をスマートに解決できていなければ、誰にもわかりやすく使いやすいものにはならない。よく言われるのは、左手で対象を抑えて、右手で道具を扱って作業を行うという双腕協調に対する、基本動作命令を簡単に教えることができ、それらの組み合わせ方自体も覚えさせたり、順次呼び出せるようにすること、教示ペンダントではなく、ロボットのハンドや身体を通してできるようになれば、井上先生のロボットに近づいたともいえる。

基本動作命令として何を準備するか、基本的に常時働いているべき条件反応動作と特別に用意する基本動作命令との違いはどうするかなどの議論はあるが、条件付き基本動作も手を通して教示できるようにしてゆこうというのがBaxterの狙っているところでもある。結局はどういう基本動作が必要かというその作業に関して深く知っている人によって、センサを利用しながらの動作基

本命令が準備できるようにしてゆき、それを必要に応じて呼び出せるようにしておけば、ロボットはそれらの機能の専用機械のように作業を手助けしてくれる役立つ存在になりそうである。

人が人から作業を教わる時もそのような形であろう。誘導してもらい、自分で試しながら覚えてゆく。こういうサイクルを人との間でもできるようになったロボットは、姿かたちだけでなく、人のように覚えて人のようにそれを行ってゆくというロボットになってゆくことになる。40数年前の井上先生の研究をあらためて振り返るとこれからの人間型双腕作業ロボットに必要なことが見えてくるといえる。

参考文献

- 1) 井上博允, 人工の手の計算機制御, 日本機械学会誌, Vol.73, No.618, pp. 30 - 38, 1970.
- 2) 東京大学 情報システム工学研究室ホームページ, <http://www.jsk.t.u-tokyo.ac.jp/index-j.html>
- 3) モバイルマニピュレーションロボットPR2, Willow Garage ホームページ, <http://www.willowgarage.com/>
- 4) 東京オープンソースロボティクス協会 <http://www.opensource-robotics.tokyo.jp/>
- 5) 双腕ロボットBaxter, Rethink Robotics ホームページ, <http://www.rethinkrobotics.com/products/baxter/>