

人型ロボットへの道を拓く

人生の道

みちしるべ

知能ロボット開発
井上博允いのうえ ひろちか
(東大名誉教授)

①

—東大大学院時代に取り組んだ「機械の手」の研究が、日本の知能ロボット研究の草分けとなりました

1965年に工学系研究科産業機械工学専攻に進学し、自動制御や振動学が専門の藤井澄二教授に師事しました。藤井教授に「機械の手を作ってクラシックを回してみないかい」と言われ、聞き覚えのない「機械の手」という言葉に引かれて取り組み始めたのです。当時はまだ「ロボット」という学術用語がなかったのですね。



居室にて (撮影・小田切悠紀)

もほとんどなく、情報など入ってきません。結局、修士・博士の5年をかけて機械の手による器用な動作に成功し、博士論文にまとめました。この論文をスタンフォード大学やMITの研究者に見出され、後に渡米したとき、この分野の開拓者として皆が私のことを知っているのに驚くことになりました。

電子技術総合研究所(現・産業技術総合研究所)を経て大学に戻ってから、藤井教授に「君がロボットの分野を拓くほどの成果を出して良かった。当時は本当に研究分野として成り立つか分からなかった」と打ち明けられ、驚いたのを覚えています。「もう少しまくいかなかったら、学生の一生を台無しにするところだった」—学生にテーマを与えるときは、博士論文を出す5年後にその分野のトップになれる研究テーマを与えなくてはならない、ということをおわった思いでした。先行者のいない未知の分野に踏み込ませるのですから、躊躇(ちゅうちゅう)もあったのでしよう。

教授にやりたい研究がたくさんあっても、その研究をやりたい学生がいなければ仕方ないのが大学。次代を担う学生を育てる意味では、大学では競争のよきな研究は望ましくありません。今まさに世界中がしのぎを削る研究というものもあります。学生には新たな分野の先駆者となるような研究テーマを与えるべき。その考えを受け継いで、私も東大在職中はそうするよう努めていました。

—08年秋には、知能ロボットシステムなどの研究功績で、紫綬褒章を受章しています

先月12日には専門学会であるIEEE(米国電気電子学会)からも、リアルタイムビジョンとヒューマノイドロボット(人型ロボット)への貢献で名誉ある賞をいただきました。ここでの評価

内容を見ていただくのが、私の業績を振り返る上で良いと思います。

博士課程で完成させた「機械の手」では、機械に触覚を与え、手探りで物をつかんだり、丸い棒を穴に挿し込んだりする実験に成功しました。その後に、カメラで得た画像をリアルタイムで処理して機械の手を動かすハンド・アイ・システムに取り組み、ヒューマノイドへの道を拓けたと思います。ロボットの黎明から現在の新発展期に至るまで、機構、制御、知能、視覚、運動など多面的に取り組んできました。

世界的に見て、ロボットは電気系の研究者が取り組んでいますが、日本では私たち機械系の研究者が先導することになったため、機械工学のものとイメージが作られました。

—日本はヒューマノイドの研究では一日の長があると言われ、井上先生も多くのヒューマノイドを開発してきました

情報システム工学研究室(JRSK)で上平身人型ロボットの研究をしていたころ、ホンダから二足歩行ロボットが発表され、学生たちの熱意が掻き立てられました。「大学だって自分で1年ほどで作れることを実証しよう」とH5を開発、Hシリウスとして開発を続けていくことになりました。経済産業省のプロジェクトでは、ヒューマノイドの研究開発を行うためのプラットフォームとして、HRPシリーズ開発に取り組みました。

ヒューマノイドには、知能ロボットの到達点の一つ、最先端技術の統合を示す具体的な対象という意味合いが強くなります。日本は現時点では先頭にあります。日本は現時点では先頭にあります。アメリカやドイツ、フランスなどがヒューマノイドの研究を急速に発展させており、安閑とはしてられません。(聞き手・森友亮) 〓つづく

1942年生まれ。65年東大工学部卒、70年工学系研究科博士課程修了。70年より電総研で研究官を務める。78年工学系研究科情報システム工学講座の助教として転任、84年に同教授。04年の退官後も東京大学R1研究拠点特別顧問などを歴任。04年に東大名誉教授。日本学術振興会監事を経て、現在、産業技術総合研究所研究顧問。08年秋には紫綬褒章を受章。

器用な手作業、機械で実現

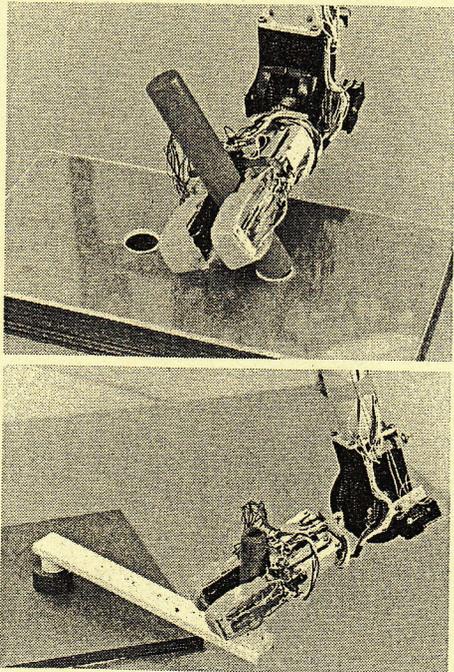
人生の みちしるべ

知能ロボット開発

井上博允

(東大名誉教授)

②



機械の手で、ピンを穴から別の穴へ差し替える。クランクをへし折らないよう、無理なく動く方向を自分で探る。(写真は共に井上名誉教授提供)

—知能ロボットの研究に取り組み始めたのは大学院からですが、大学時代までどのような道を志していたのでしょうか

小学校のころから理科や工作が好きで、機械とみれば何でも分解したくなる性分でした。買って来たばかりの模型飛行機などをよく作っていました。

—その目覚まし時計をこっそり分解して怒られたりね。模型雑誌がバイブルで、部品や模型のカタログを見るのが何よりの楽しみ。戦後の混乱期で、お金がなくて買えないのだから、身の回りのもので工夫して、模型飛行機などをよく作っていました。

—そんなわけで、工学部に進学するつもりで理工に入学したのですが、電気系にするか機械系にするかで迷いました。エレクトロニクスはまさに花形、自動車はこれからの時代。両方が必要だと感じ、動くものが好きなので機械を選んだのです。電子についても授業科目や雑誌などで常に最新の知識を仕入れるようにしていましたね。

—後に機械と電子を融合した「メカトロニクス」(メカニクスとエレクトロニクスを合わせた造語)の立ち上げに深く関わることになるのですが、今思えば自分の感覚とうまく合っていたのでしょうか。

—大学院で藤井教授に師事したことが、大きな転機となりました。白衣とチョークの箱だけで教室に

来る藤井教授は自動制御と振動学の専門。資料も何も見ずに、振動の式

をひたすら黒板に書き付けていく姿が印象的でした。ときどき間違えがあり、写すのに注意が必要なのですが、あまりにも泰然としているため「わざとではないか」と学生は噂していましたね。

卒業論文は菊池庸平教授の下で「パーツフィタ(流れ作業などで部品を自動的に供給する装置)の機構」に取り組み、大学院から藤井研に入りました。定員2人のところ、自動制御分野と振動分野で一つずつ研究のアイデアが用意されていたのです。振動分野をやったつもりでしたが、提示されたのは学部4年のとき五月祭でやったのと似た内容で、つまらないと分かっていました(笑)。ここで自動制御分野を選んだことが、知能ロボットの道に入るきっかけです。

与えられたのは、「機械の手でクランクを回す」という課題。クランク(リールやペダルのような機構)を回すには、手の位置をクランクの回転軌道に従わせつつ、クランクを回転させるように動かなくてはなりません。人の手が行う器用な動作をロボットに実行させるときの基本的な機能をどうやって実現させるのがテーマだったので。修士・博士の5年間研究に取り組み、実質的には最後の1年でマニピュレーター

(手先に相当する部分)を造り、触覚をセンサーで再現して、コンピュータでの制御を実現しました(写真)。制御のために日立製のミニコンピュータを注文していたのですが、示された納期が学位論文の締切後で大慌て。藤井教授が他のコンピュータを借りてきてくださったお陰で、無事に論文を仕上げ、日本機械学会の論文賞をもらうことができました。

このように藤井教授には大変お世話になったのですが、後に「君は藤井教授にこんなでもないことを言ったらいいじゃないか」とある人に言われたことがあります。「プログラムを書き方を教えてくれ」と藤井教授に言われ、「先生にはプログラムなど書かずにコンピュータを分かっているほいほい、お断りします」と答えたとか。自分ではまったく覚えていませんでしたが(笑)。

12月に博士論文を出し、合格。就活をはじめたのはそれからです。機械の手のコンピュータ制御の手ほどきをした日立に行こうか、今から他を探るか……。迷っていたとき、電総研でパタニオン認識の研究に取り組んでいた先輩と偶然再開し、これがかきつけて電総研での研究を始めることになりました。

(聞き手・森友亮) 11つづく

世界で50人の最先端研究

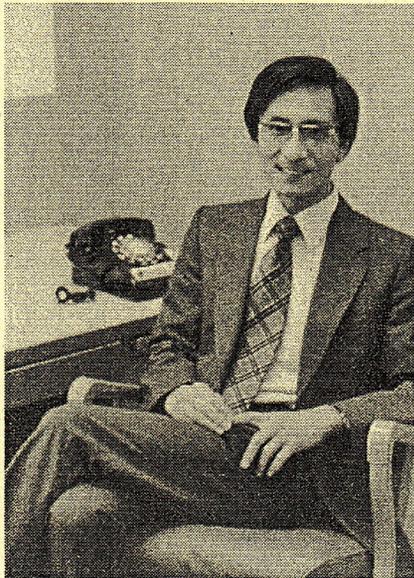
人生の みちしるべ

知能ロボット開発

井上博允

(東大名誉教授)

③



MIT人工知能研究所に滞在し、世界最高水準の計算機に触れた(写真は井上名誉教授提供)

東大院修了後、研究の場を電総研に移すことになりました
私が電総研に入ったのは1970

年のこと。全国の大学は学生紛争で荒廃し、就職先としての魅力はありませんでした。就職先に迷っていた

とき、大学院の先輩である白井良明さん(大阪大学名誉教授)にたまたま再会し、彼が電総研で充実した研究生活を送っていることを知りま

す。「うちに来ないか」という誘いに二つ返事で乗っかり、なんと翌日にはOKの電話がありました。

4月の入所後、一週間の初任研修が終わってすぐに「9月に公開するから、研究を始めて」と、所内特別研究である知能ロボットに取り組みることになったのです。ハンド・アイ・システムと呼ばれ、直方体、円柱、三角柱などの積み木をカメラで写し、画像から種類と位置を認識し

た8年間はこの上ない貴重な体験で、ロボットの眼と手を造るわけです。私は油圧制御の精密なロボットアームに作業をさせるシステムを担当しました。

米欧と競い、機械情報産業への波及効果を及ぼすことが求められた一大プロジェクト。ロボットアームと画像処理、全部で15人のメンバーが、首相官邸の下の老朽化した建物で日夜研究に取り組みました。公開直前には、箱の中に同じサイズの積み木を位置誤差を目で見て修正しながらびったり入れる高度な課題に、白井さんと2人で挑戦。1週間ほぼ徹夜続きで公開当日の未明に完成したのは、忘れられない思い出です。

電気・機械・情報・制御・数学などの異分野出身の研究仲間がおり、若い研究者が集まる梁山泊の雰囲気。予算の8割はコンピュータのレンタル料に消えましたが、年間200万円だった大学の予算に対し、年間9000万円と資金も潤沢。自由に知能ロボットの研究に集中でき

た8年間はこの上ない貴重な体験で、ロボットの眼と手を造るわけです。私は油圧制御の精密なロボットアームに作業をさせるシステムを担当しました。

73年9月からは、米マサチューセッツ工科大学(MIT)の人工知能研究所に1年間滞在し、人工知能の勉強をしながら、精密なロボット組み立ての研究をしました。ペーシングを使った7個ほどの部品からなる軸受けを組み立てる作業で、最も狭い隙間は0.001インチしかありません。学位論文の応用でしたが、私には簡単だったので、人工知能などソフトウェアが専門の研究には驚きだったようです。逆に私は、当時のMITの世界最高水準の計算機環境が驚きで、知能ロボットの研究開発を競う上で、これとどう対抗していくかが課題だと感じました。

当時は知能ロボットの研究者が世界でも50人程度しかいませんでしたから、どこで誰がどんな研究をしているのか、全部把握できています。まさに最先端の研究を進めていることを肌で実感できる、良い時代だったと思います。

その環境を投げ打ってまで東大に戻ったのはどうしてでしょう

電総研で十分な予算を運用してロボットの開発ができ、多くの異分野の研究者とも交流できました。次は、自分を超える若手を鍛える番だと思ったのです。お金が無くなることは覚悟の上でした。それでも、プリンター一つ買えないというには閉口しましたが。

1978年、情報工学専攻の情報システム工学講座の助教授に転任しました。講座担当の渡辺茂教授には「君の思うシステム工学をやりたい」と言われ、かつての指導教官である藤井教授には「俊英を集めて凡人を作ることなかれ」と厳しい言葉をいただきました。これは定年退職までの私の課題で、両先生ともに既に他界されましたが、私の出した結果には及第点を貰えるのではないかと思っています。

(聞き手・森友亮) 11つづく

時代に沿った新学科を作る

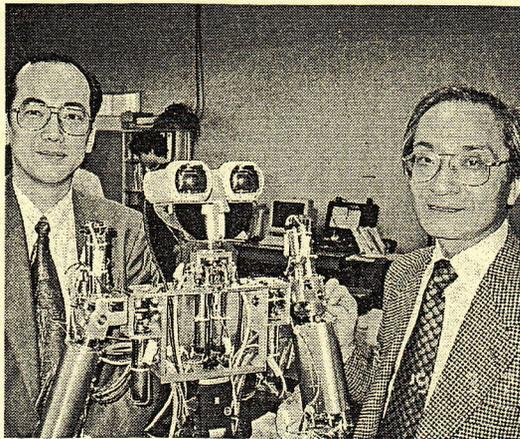
人生のついでに

知能ロボット開発

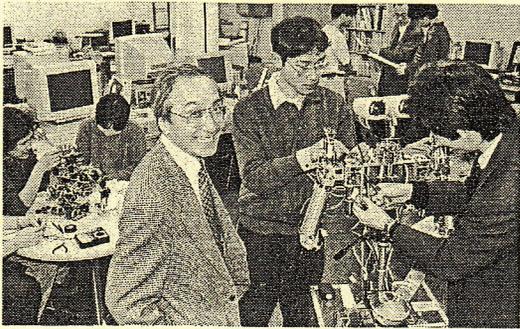
井上博允

(東大名誉教授)

④



1997年、研究室で学生達とロボットを作っている様子(下)。同日、稲葉助教授(当時)と上半身人型ロボット「H2 (Saika)」を挟んで(写真は井上名誉教授提供)



情報システム工学講座では「情報システム工学研究室」を率い、現在も一線活躍する多くの研究者を輩出した。研究したいと思うことはいろいろあったのですが、やはりそれに取り組みたい学生や研究者がいることが、大学で研究する

初めの博士だった奈良先端大の小笠原司先生はじめ、多くの優秀な学生に恵まれました。今、全国で活躍しています。知能ロボットシステムは、研究室のテーマとしてこれ以上ない、広く深い学術を扱える最高の題材だと思っています。感覚認識、動作制御、知能、対話とインターフェイス、これらを統合したシステムが知能ロボットですから、異なる分野の研究者たちが一緒に研究参加できるのです。

また電総研で主任研究官をしていた頃のこと、通商産業省(現・経済産業省)が80年代に推進すべき産業の一つとして「メカトロニクス」(メカトロ)を打ち出しました。電子回路を組み込み、機械の複雑な動きを実現するものです。私も調査研究の主旨として参加し、メカトロの定義を定めるレポートを出すなど深く関わりました。

そして、ヒューマノイドロボットには集大成の意味を含めました。それ以前から頭、双腕、胴体からなる上半身の人型ロボットの開発には取り組んでいたのですが、96年にホンダがP2という人間型自律二足歩行ロボットを発表したのです。「いくらか知能ロボットと言っても、歩けないロボットには知能を感じにくいよね」とそんな学生たちの熱意に背中を押され、JSKでも歩けるロボットを1年で実現しました。素直に考えて、人間並みの知能と巧みに動ける人型のロボットを作るのはクラウンチャレンジだと思えます。

し、学生の、そして時代の要請に沿っている手応えが得られました。そこで30年の歴史を経て使命を終えた船用機械を改組し、その機構と定員を使った新学科を設立することを、機械系3学科の教授会で決断しました。研究分野は時代によって変わるもので、社会の要請に対応しなくてはなりません。やるべきことをやったら内容を整理して、新しく面白いことを取り入れられる隙間を空けるのです。新学科を機械情報工学科と名付け、6講座を設置しました。講座名は機構制御学とか算法設計工学などとし、ロボットやメカトロなどの用語は敢えて使いませんでした。学科全体でロボットやメカトロを目指していましたが、この新しい学科は東大が世界に先駆けて作ったものですし、英語の名前には頭を捻りました。丁度、客員教授として滞在中の米ペンシルバニア大の友人に相談したところ、「メカノ(機械の)インフォマティクス(情報学)ではどうか」とアドバイスをくれたのです。こうして、今年で20周年を迎える「機械情報工学科」を立ち上げました。

(聞き手・森友亮) 〓つづく

報工学科を中心となって設立しています

機械系の人気はすくなく回復

挑戦の継続が扉を開く

人生のついでに みちしるべ

知能ロボット開発

井上博允

(東大名誉教授)

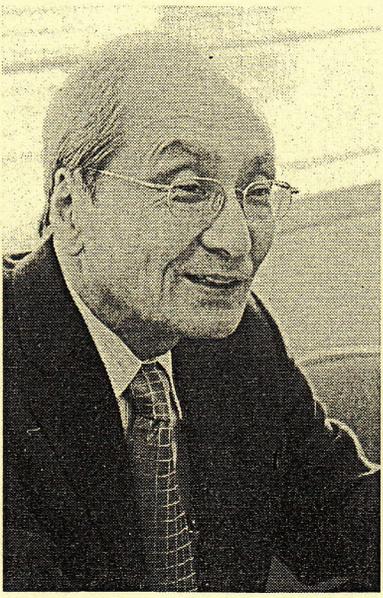
⑤

井上さんたちが基盤を作った日本のロボット研究、教育は国内外で大きな評価を受けてきました

——井上さんたちが基盤を作った日本のロボット研究、教育は国内外で大きな評価を受けてきました。関連技術の進展と時代の要請を取り入れて、常に進化していつてほしいと願っています。

世界の潮流に先んじた「メカトロニクス」は英語にもなりませんでしたし、私たちが手探りで世界を先導してきた機械情報工学の教育は、今ではごく普通のも

私自身の研究に立ち戻ってみれば、コンピュータで制御する機械の手作り、視覚により環境に合わせた誘導を可能にし、さらに足を与えたヒューマノイドが安定に歩行するシステムを開発したことが挙げられます。これらを統合する概念として「知能ロボット」を提案し、HRP-2など基盤となるロボ



居室にて(撮影・小田切悠紀)

3月の大震災に伴う原子力発電所の事故では、国産ロボットに先駆け海外製ロボットが投入され、国内のロボット研究に厳しい目が向けられています

ロボットにはいろいろな役割が期待されています。今回の事故によって、視野があまりにも原発ばかりに向くのは好ましく

ありません。これまで日本の研究者たちが進めてきた部分を無視するのは怖いことです。

日本は原発のためのロボットを用意していなかったのだから、原発事故に対応できなかったのは仕方ないこと。それを反省すること、これまでのロボット研究すべてを否定することは別問題なのです。

若い頃に米MITで行った研究についても、10年後に国際会議で出会った若い研究者や大学院生が、みんな私の仕事を知っていて、「Dr. Inoueがこんな

あの事故の後、ロボットの研究者たちは、人間が近寄れない環境での復旧作業に何とかしてロボット技術で貢献したいと真剣に考えています。福島

に、しっかりとした方針を持ち、挑戦を続けることのできる技術者が求められているように思えてなりません。

ノイドを送ろう」と毛利衛さん(日本科学未来館館長・宇宙飛行士)が提案し、私も政府の懇談会でがんばったけど、ヒュー

に若い人だとは思わなかった」と驚いていたのには感激でした。外国では、出身母体や名前

真剣に考えています。福島事故とその対応の問題点を整理して、点検や事故対応のロボット開発だけでなく、それを常時運用する体制を含めて、現在保有

は大きいと思います。原発や、宇宙や、想定を超えたシビアな事故現場など、人間が近寄れない過酷な現場環境で、人間並みに動き回り人間並みに作業をするロボットの必要性が今ほど求められたことはなかったと思

現在には産総研のデジタルヒューマン工学研究センターで顧問を務めています。今後の研究目標は

は意味をもたないの、自分の仕事をしっかりとすることが重要です。認められる条件だと思

用している原発の安全性を可能な限り高め、軽微な不具合や事故が大事に至る前に迅速に対応できるシステムを作り上げることが大事だと思

登壇する身代わりロボット)のように先進的なインスターフェースで人が遠隔操作するもの。このようなロボットを開発するのはとても大変で時間もかかるけど、ぜひ挑戦すべきです。ロボ

役の若い人のやるべきこと。私は国の内外を問わないアドバイザーに徹したい。求められれば国や研究グループの利害を超え、若い研究者たちの支援をしていきたいと思っています。

良い仕事をすればその影響は10年以上たっても滞在先の歴史に残るのです。

現在保有しているロボットやヒューマノイドが安定に歩行するシステムを開発したことが挙げられます。これらを統合する概念として「知能ロボット」を提案し、HRP-2など基盤となるロボ

ロボット)のユーザーとして、どんな機能を持たせるかなどをあれこれ考えています。早く市場に投入するためのお手伝いしたい。子供の頃の、模型についてあれこれ考えたのと同じようなことを、今度はロボットについて考えるわけだから、また昔に戻るわけですね。

井上さん(聞き手・森友亮)におわり