ロボティクスの研究と手法*

福田敏男**

Research Trends and Methodologies in Robotics /
Toshio FUKUDA

Key words: robotics, research trends, multiple robotics, micro integration, intelligent system, human interface, virtual robotics, robotic application, evolutionary system, research paradigm

1. ロボット研究の流れ

ロボットは1960年代の産業用ロボットの発明から、30年代の歴史をもっている。1960年代の油圧駆動のマニピュレータから、1970年代の電動モータ駆動化、1980年代の実用化時代を迎え、比較的容易に産業用ロボットを応用できるところは、自動化のツールとして用いられてきた。一方、研究面では、1980年代は1台のロボットにセンサをつけて、センサベースのインテリジェント化の研究の時代であった。そのために、センサ技術、その情報処理はセンサフュージョンへと発展し、現在もその研究は進んでいる。

また、制御の面でも、従来のロボットマニピュレータのPID制御から、コンピューティドトルク制御方法の提案とインプリメンテーションの研究が盛んであった。さらに、学習制御や適応制御も研究され、制御研究に対して恰好の研究対象としてもはやされてきた。制御理論を単に応用したり、いたずらに、制御問題を難しくして解いている例もなきにしもあらずであるが、一応、制御対象として一目置かれてきたことは事実である。また、理論と実際のギャップを知る時代でもあった。

日本では、1983年の「極限作業ロボット」の大型プロジェクトが8年間続いたこともあり、一時期、あまり研究

されなかったテレオペレーションの研究が見事に大きく再び活性化された。他方、諸外国をみると、米国では、ロボットの研究が下降したり、ドイツでも、実用化研究一辺倒で行われてきており、一部研究者のロボット研究からの離脱が続いてきた。ただ米国では、ロボット産業自体は衰退し始めたのに対し、研究者が続々と参入し、NSFを始めとする研究資金に窮するところがあり、ロボット研究が一部の「実用と密接な研究に」との声とは裏腹に、ますます理論に傾倒することになった。逆に言うと、ロボット研究をハードウェアとソフトウェアの両面からできる優れた研究機関は10指にもならないのが事実であり、いたずらに、問題を難しく設定して、コンピュータシミュレーションで解くことがロボット研究と誤解され、ますます産業界と乖離していった。このようなロボット研究を「サイエンス」としてとらえることは、実用化研究の多かった日本の研究者にとっては考え直す点で良かったかも知れない。

この1980年代の研究は、80年代末ころから、(1)「1台のロボットから複数台のロボットへ」、(2)「高度化、マイクロ化」、(3)「ヒューマンインタフェース」の研究が次第に盛んになってきた。これらの新しい研究テーマは、更に、研究者に研究の意義と勇気を与えることになってきた。従来のロボット研究がまま制御応用研究の面があったが、ロボットのもつメカニズムそのものを深く研究したり、ロボットと人間とのコミュニケーション等の研究が次第に重みをもちはじめた。(1)は「自律分散型のロボット研究」へ、(2)は「マイクロセンサやマイクロマシン応用のマイクロロボットの要素とシステム研究」へ、(3)は「バーチャルリアリティ等を含むロボットテレオペレーション等の研究」に発展していったのは衆知の事実であろう。いつの時代にも、研究が行きづまると、次の新しいエ

* 原稿受付 平成5年11月26日

** 名古屋大学工学部(名古屋市千種区不老町) 1977年東京大学大学院博士課程修了、工学博士。ニューラルネットワーク、ファジィ等を用いた高度知識情報処理によるロボットの知的制御、自己組織化ロボットの研究、マイクロロボットの研究等に従事。著書「極限作業用知能ロボット」(マグローヒル社、1986年)

ブックが次々と生まれてくるものである。

2. 研究論文とテーマ

研究論文作成の極意は、何といっても新しい、独自の将来性のあるテーマの発掘であろう。ガリレオの地動説と同様、新しい研究テーマは、研究仲間にショックと感動と同時に、軽蔑の目で見られることがままあろう。ロボティクスの研究でも例外ではない。しかしながら、そのようなプロセスを経ない限り、次の世代の新しい独創性のある、かつ世界にうったえることのできるロボティクスのテーマが出てこないものである。なにしろ、一大学の一研究室の小さな研究が、10年後に大きな研究になるプロセスを見つけることは難しいことであろう。このために、「縦」の深みある研究と、「横」の横断的研究を行いながら、新しいテーマを発掘して行くことが肝要であり、ほとんどの研究は、「低空飛行」を続けて、「悪夢」の時代を生きていく「楽しさ」を我々は身につけるべきである。

研究を行う際に重要なことは次の点であろう。

(1) 今後10年間の研究の核となる「理論」と「応用性」を兼ねそなえたトピックスの選定。決して、他の真似をしたり、重箱の隅をつつくような研究はしない。このようなものは、長続きしないから。すなわち、研究テーマの選定にあたっては、必ずしもその時代にマッチしなくても、次の世代に生きることを考えることである。頭の中で充分考えても、運悪く、次の世代でも「ダメ」になる研究になるかも知れないが、万一、幸運にも、大きな潮流を作りうるテーマかも知れない。その見極めは「運」にもよるが、そのテーマに、実用一辺倒だけでなく、「実用性（と思えるところ）」と「基礎性（長続きするところ）」が大切である。よく、企業の方々から、ロボットの研究開発を頼まれることがあろうが、1台作って「終わり」ではなく、それから、その問題点を見出し、整理し、体系化することが重要なのである。このような「広がり」を有する研究姿勢が一番重要である。特に、このような点は、米国の研究者に親友をもてよくわかることである。彼らのNSFへの申請の仕方は、一つ一つステップを追って頭の中でシミュレーションを行った思考実験が基礎となって書かれている。こんなところは、隣国の友人に助けてもらって、我々が勉強すべきところであろう。

(2) 自分の研究に「自信」をもつこと。

特に若い人は、自分の研究がどのように評価されるかが気にかかるところであろう。自分の研究に「自信」をもち、それを内外に「どんどん発表」すること

をおすすめする。先に述べたように、日本人の場合、お互いに論理的に批判しないで、ままた、人間性の批判をしているようにとられることがある。その点、外国（特に、米国）に友人をもち、気楽に、若い人と批判しあえることが重要である。これにより、自分の研究に「メリハリ」をつけたり、発表の際の発表場所に応じた「ジョーク」と「緩急の間合い」を国際感覚で身につけることができる。発表の仕方が悪ければ、発表しない方が「まし」である。相手を納得させることのできる発表をした後、質問が飛びかい、発表後も、質問者が来て討議し、次の論文招待等のおさそいを受ける程、用意周到に準備することが次の「自信」をつけるポジティブフィードバックとなりうる。質問の来ないような発表は行わないことが肝要である。

(3) 研究にボーダ（境界）はない。

よく、「私は、電気工学科卒だから『機械』はわからない」、あるいは「私は、機械工学卒だから『電気』はわからない」。そのようなことを聞くと、私はガクゼンとしてしまう。我々は、何もそのような枠にはめられることも、自分自身を小さな領域に閉じこめることもないのである。他人の研究領域がおもしろそうであれば、それらを自分の領域に取り込めばよい。これにより、自分の研究に新しい「香料」と新しい「素材」を入れることができる。言ってみれば、自分の領域に固守せず、他の良いところは進取の精神でのぞむべきであろう。

(4) 「温故知新」の精神

古めかしい話になるかも知れないが、昔の先達が行った研究を、現代の立場から見直し、最先端技術で行うとどうなるかを研究することは大変重要なこととなりうる。例えば、1950年代の遠隔操作技術の論文を勉強したところ、アナログ技術の時代であるから実現できなかったところが多数ある。一度はだれも目をくれなかった技術であろう。これを現代のデジタル技術の時代で見直したのが、1980年代の「極限作業ロボット」の遠隔操作ロボットであり、NASA/JPLの「テレロボット」であり、1990年代のドイツのスペースロボット“ROTEX”であり、華々しく時代の最先端技術として脚光を浴びている。このように、一度セットバックして、物事を見直すことは、ロボットの研究だけでなく、すべての研究にあてはまることであろう。「温故知新」とは、けだし名言であろう。

3. 今後の研究の方向

ロボティクスの研究は、非常に若い研究分野であり、ま

た、コンピュータサイエンスから機械工学まで幅広い裾野をもっているため、一つの総合科学とも言えよう。すなわち、最近のロボットの分野では、経営工学的観点からの研究や教育工学的観点、経済・社会工学的観点、心理工学的観点、環境工学的観点からの研究が進められつつある。まさに、大きな潮流を作り出そうとしているところであり、研究テーマがありすぎて皆選択に苦しむところである。

とは言っても、従来の工学的基礎技術をベースにしたロボティクスの研究方向は次のようなものが例として挙げできる。

(1) ハードウェアの研究

マイクロモータ、マイクロセンサ等の技術的にジャンプが必要なもの。

(2) ソフトウェアの研究

強力な計算機に裏打ちされたロボットのCADや各種シミュレーションパッケージ、ロボット用の新しい言語とOS等。

(3) 制御方式の研究

より人間的論理判断を有し、学習と適応能力のある制御方式、従来のニューロ、ファジィ、GA、カオスを用いた制御方式を超えるフレキシブルな、自己組織型制御方式等、及びそれらのチップ化、ハードウェア化。

(4) ヒューマンインタフェース

人間とロボットとの新しい制御系構築に伴うロボットとのコミュニケーション方法、VR技術の応用、適応型のインタフェース、マルチメディアを活用した使いやすいインタフェース、感性や心理的效果を考えたロボットとの付き合い方等。

(5) 環境応用ロボット技術（応用）

既に、各種の産業応用ロボットが研究開発されてきたが、これからは、環境フレンドリー生産システムにおけるロボット技術についても考える必要がある。

(6) サービスロボット技術（応用）

既にサービスロボットは、警備ロボット、点検修理ロボット、福祉ロボット、医用ロボット等多数開発されているが、コンシューマ（消費者）志向ロボット等について本格的に考える必要がある。ただし、単なるロボットの試作例にならず、技術の体系化の一環と考えることが必要である。

(7) マルチロボットシステム及びセルフエボリューション・ロボットシステム（基礎と応用）

上記の項目とオーバーラップするが、群ロボットシス

テムは、その基礎としてのSwarm Intelligence, Collective Intelligenceやタスクの分解方法、コミュニケーションの問題、協調システムの問題、制御システムアーキテクチャ、ハードウェア化の問題、さらに、その実現化、マイクロロボット化等、多数の問題を抱えている。また、エボリューションするロボットとは何かについても考える必要がある。最近のA-Life（人工生命）もこの範ちゅうに入る。これらの経済社会システムへの応用も興味深い。セルラーロボットシステムもこの例に入る。

これらの研究において重要なことは、我々が新しいロボットのパラダイムを作る気概を持つことであろう。AIやニューラルネットワーク、ファジィ、GA（Genetic Algorithm）、GP（Genetic Programming）、AL（Artificial Life）等すべて外国が発祥の地になっている。これらを越える新しいパラダイムの作成は、国際感覚のある若い気概のある研究者の肩にかかっているのである。

4. 終わりに

ロボティクスの研究の流れと今後の方向、及び研究とはいかにあるべきものかについて述べた。精密工学会の編集委員会からは、「研究論文の極意」「発想のポイント」「論文の書き方のポイント」「人に訴える論文」「人を引きつける論文の作成上のポイント」についても執筆せよとのことであるが、浅学非才の筆者には大変大それたことで、筆者自身が教えていただきたい事項である。

参考文献

- 1) 福田敏男, 新井史人: ロボティクス・メカトロニクスの現状と将来, 機械の研究, 45, 6 (1993) 627.
- 2) 福田敏男, 柴田崇徳: インテリジェントシステムのためのニューロ・ファジィ・GAの統合・融合化技術の展望, 日本機械学会論文集(C編), 59, 564 (1993) 2282.
- 3) 福田敏男, 新井史人: マイクロ・アクチュエータの最近の動向, 日本機械学会誌, 96, 899 (1993) 868.
- 4) 福田敏男, 植山 剛, 柴田崇徳: 人工生命と自律分散システム——AL研究動向と展望, Artificial Life (人工生命) 講習会資料, 日本ファジィ学会, (1993.11) 1.
- 5) セルフ・エボリューション型ロボット研究専門委員会報告書 (1989-1991), 日本ロボット学会, (1991.11).
- 6) T. Fukuda and T. Ueyama: Self-Evolutionary Robotic System - Sociobiology and Social Robotics -, J. Robotics & Mechatronics, 4, 2, (1992) 96.