

15. ロボティクス・メカトロニクス： その展開と今後の飛躍

15.1 分野と部門の10年

おおよそこの10年は日本社会にとって激動の時代であった。バブル崩壊の痛手を長く引きずり、社会も産業界も大きな変革を迫られた。高度成長を支えた自動化と省力化による大量生産の効力に限界がみえ、単なるロボット自動化技術の導入だけではアジア新興工業経済地域との価格競争には勝てないことが明白となった。生産拠点の海外流出は国内産業技術空洞化をもたらした。日本が誇る最先端技術と高度技能の存続が危ぶまれた。このような潮流に呼応し、シーズの活性化による新規産業の創出や、人と機械の調和に基づくシステムの模索など、研究開発分野でも新たな価値観への変革がもたらされた10年であったと思える。当部門は1988年の創設以来、アクチュエーション、センシング、知能化技術の各要素技術の高度化とシステム化研究開発を積極的に支える学術活動の中心的役割を果たしてきた。特にこの10年は、新分野のロボットシステム研究開発、産業応用、メカトロニクス教育に力を入れ当該分野の発展に大きく貢献してきた。ここで、いくつかの話題を振り返ってみる。

1996年はロボット分野にとって画期的な年であった。年末のホンダによるヒューマノイドP2の発表は衝撃的であり、(当時としては)スマートな2脚2腕の自立人間型ロボットが階段歩行や手押し作業のデモを安定かつ滑らかな動作でこなしたのである。この発表が契機となり、その後のヒューマノイド研究開発を一気に加速し、日本を一大ヒューマノイド開発国へと推し進めたことは周知である。また、前年1月には近年未曾有の大災害をもたらした阪神・淡路大震災が発生し、被害を目の当たりにした地元の大学メンバを中心とするロボット研究者グループはその翌年に救助ロボット機器に関する研究会を学会内に立ち上げた。ここにレスキューロボット研究開発の活動が始まったのである。この研究会活動がベースとなり、2002

年には文部科学省の大都市大震災軽減化特別プロジェクトが採択され、さまざまなレスキューロボットの研究開発が活発となった。時を同じくして、地雷処理や不発弾などの危険物処理にロボット・メカトロニクス技術を応用する研究開発も盛んになった。地雷処理に関しては、2002年より科学技術振興事業団の「人道的対人地雷探知・処理研究開発推進事業」として探査ロボットの研究開発が活発に行われている。

2005年の愛知万博はロボットが主要なテーマとなった。NEDOがスポンサーとなり、主に企業が開発した清掃、案内、セキュリティを目的とした実用サービスロボットと、2020年の人とロボットが暮らす街をテーマとして大学や研究機関が試作した60数台のプロトタイプロボットの実演デモと展示が行われ、多くの参加者に好評を博しロボットブームを再燃させた。これを契機に、2006年からはNEDO戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクトが始まった。将来の市場・社会ニーズに導かれたロボットシステムと要素技術を開発することを目的に、「次世代産業用ロボット」、「サービスロボット」、「特殊環境用ロボット」の分野で7種類のロボットシステムの開発が行われている。各システムの開発は当初数グループで行われ、3年後の評価では1グループに絞るというステージゲート方式が初めて採用された興味深い研究開発である。

このほか、RFIDを利用した環境知能化・構造化、マイクロ・ナノデバイスやシステムとそのバイオ応用、医工連携に基づく医療ロボットや福祉ロボットなどが新しい潮流となっている。

このような当該分野の状況のなか、部門講演会では関連するテーマを積極的に取り上げタイムリーなセッション企画を行ってきた。そして、部門講演会がプロジェクト成果の単なる発表の場にとどまらず、各種議論や情報交換を通じて新たなプロジェクト企画や提案、さらには国の科学技術政策形成に対して大きな貢献を果たしている。また、他学会や他部門との協力も活発である。1996年より厳選した質の高い論文発表の場として、フルペーパー投稿と査読を条件とするロボティクスシン

ボジアを関連学会（日本ロボット学会、計測自動制御学会）と共同主催している。泊まり込み形式で、発表件数は60～70件程度と常に数が絞られ、より質の高い論文が維持されている。参加人数は百数十名程度であるが、泊まり込み形式の利点を活かし、研究内容に限らず研究環境や今後の分野動向などが幅広く議論され、なかにはプロジェクト提案や実現につながる例も数あるといわれる。さらに、生産システム、情報知能精密機器の2部門との協力により、「環境知能化による安心・安全技術」分科会が2006年発足し、当部門の主導により生活環境内に潜在するリスクの低減と、ゆとりと安心を提供するロボット自動化の課題が議論されている。

当該分野成果の国際的公表と普及を速やかに図ることを目的に、ロボティクス・メカトロニクスに関する英文論文集が1989年より（株）富士技術出版からJournal of Robotics and Mechatronicsとして発行されている。1999年からはTechnically Co-sponsored by Robotics and Mechatronics Division of JSMEとして部門英文論文誌に位置づけられた。部門欧文誌委員会が出版社側の編集委員と共同して論文特集号の企画、論文募集、校閲、採否の決定などの編集作業を行い、部門管理のもと編集業務をこなす体制が整えられ、現在年6号の発行を行っている。特集論文としてアクティブに研究が進展している分野が適宜取り上げられるとともに、学術講演会での優秀発表の評価に基づいて投稿された論文で構成する特集号も2号発行されている。

分野研究者間の情報交換を活発かつ密に行うため、部門独自に用意したホームページを活用し情報発信も行われてきた。2005年には部門独自のサーバーが用意され、将来的な部門の発展に伴いますます活発化する部門活動を確実にサポートし、拡充される多種多様な企画と活動内容を一元的に情報発信・管理できる体制が確立され、部門登録者へのサービス向上が図られた。また、市民参加型のロボットグランプリは当初学会の100周年行事として始められたが、その後、部門が引き継ぎ、1997年以来毎年開催し、青少年や一般社会人への

ロボティクスメカトロニクス教育啓蒙と地域への貢献の一助となっている。

[新井健生（大阪大学）]

15.2 部門講演会の変遷

この10年間のロボティクスメカトロニクス部門講演会はすべて、全講演をポスター講演とする完全ポスターセッション形式で実施されている。ロボティクス関連の学術講演会で完全ポスターセッション形式を実施しているのは本部門講演会のみであり、ディスカッション、情報交換の行いやすさなどの点で、多くの研究者の支持を得るに至っている。発表件数をみると、この10年間基本的には増加し続け、1997年には533件だった講演件数が2006年には862件にまで増加している。この増加率は国内のロボット関連他学会に比べても大変に高く、現在ではロボティクス関連で国内最大規模の学術講演会となっている。講演会場も、関東地区で3回開催したほかは、北海道、東北、東海、近畿、山陰、四国、九州で各1回と、日本全国でくまなく実施し、地区の活性化にも大いに貢献している。

プログラムは2005年度まではすべてオーガナイズドセッションとして企画され、基本的には前年のセッションの見直しと追加で編成されてきた。具体的な研究対象の変化をみると、ヒューマノイドロボット研究が1997年の4件から2006年に28件に増加している。また、医療・福祉をはじめとする人間の支援を対象とした研究の件数が増加している。医療・福祉分野に限っても同じく23件から59件に増加している。この進展は医工連携の成果も大きく、ロボットを実用化するうえで応用分野の専門家との連携が決定的に重要であることを示している。このほか、ウェアラブルタイプのパワーアシストや（2件から11件）、地震やテロによる災害現場を想定したレスキューロボット（4件から36件）、世相を反映し安心・安全ロボティクスなどが興りつつある。これら講演内容の変化は、インターネットや無線などネットワーク・通信技術の進展と整備、GPSシステムの普及、組み込み

型ワンチップマイコンの汎用化、そして計算機やハードウェアの進歩によりビジョンの実用的応用が急速に進んだことが技術的な背景となっている。さらに、各種の国家プロジェクトが立ち上がり、ロボットの実用化、市場の開拓を目指して、いくつかの特定分野への予算が増額された結果も大きく影響しているものと思われる。

このように、人間社会で特定作業の実用化を目指す研究開発が盛んになる一方で、技術的シーズを提供する研究が減少傾向にあるように見える。これは、同じ内容をもつ研究の位置づけが実用化の観点から応用を主とした研究にシフトしたためと考えられる。

医療・福祉や掃除、留守番ロボットなどは、いよいよ実用化が始まった。次の10年では応用分野の飛躍的な拡大が予想され、部門講演会のさらなる発展も期待できる。

[大隅 久 (中央大学)]

15.3 部門表彰にみる変遷

部門のなかでの表彰は大きく分けて、部門賞、部門一般表彰に分けられる。部門賞は研究者個人もしくは団体を対象とし、功績賞、学術業績賞、技術業績賞の3つから成り立っている。部門一般表彰は、機械学会主催の講演会における講演論文およびその発表を対象としたROBOMECH表彰、ベストプレゼンテーション表彰、および部門に対して顕著な貢献をした個人、団体に対して贈られる部門貢献表彰で成り立っている。ロボティクス・メカトロニクス分野のその時々の研究の流れを反映するものは、ROBOMECH表彰、ベストプレゼンテーション表彰であるといえる。

1990年度から始まった、通商産業省（現、経済産業省）の国家プロジェクトである通称「マイクロマシンプロジェクト」の10年プロジェクトが終盤にさしかかるところ、微小環境でのアプリケーションを目的としたシステムがいくつかノミネートされている。これらの分野はプロジェクトが終了したあとも、マイクロからナノといった領域に広がり、ロボティクスの新しい応用分野として活発

に研究されている。

マイクロ・ナノの分野は、従来の機械工学だけでなく、化学や生物学といった横断的な学術領域を理解しなくては進めることができず、幅広い横断的研究が進められてきている。近年の活発な横断的研究の一つに医療用ロボット技術が挙げられる。このなかではマイクロ・ナノ分野で培われた技術も使われており、とりわけ、医学と工学の連携（医工連携）が活発に進められている。これらの分野についても多くの優秀な論文がノミネートされてきている。

一方、要素技術を中心とした論文から、近年はシステム全体の論文が多くノミネートされてきている。代表的なものにヒューマノイドが挙げられる。1996年のホンダのヒューマノイドの発表から、夢のように思われていたヒューマノイドが現実的なものとなり、各大学、研究機関でヒューマノイド研究が積極的に進められることになった。以降、講演会で多くのヒューマノイドセッションが組まれるようになるにつれ、ヒューマノイドに関する論文がノミネートされてきている。

ホンダのヒューマノイドが出現すると、さまざまな研究機関からヒューマノイドの発表が行われるようになった。その背景には、ロボット要素部品の発達、コンピュータの低価格化などの要因が無視できない。すなわち、複雑なロボットシステムが作りやすい開発環境が整備されてきているといえる。そのため、このごろは、ヒューマノイドに限らず、多くの複雑なシステムが論文として発表されてきた。特に阪神・淡路大震災以降から活発に研究活動が始まったレスキュー関連のロボットシステムは、2002年には文部科学省の大都市大震災軽減化特別プロジェクトの後押しもあり、大きく飛躍した分野であるといえる。これらの研究分野に関する論文も多くノミネートされている。

さらにロボットシステムとしての応用分野は人間環境により深く入り込み、近年では、愛知万博での次世代ロボットの実証試験およびプロトタイプロボットの展示など、より身近なロボットシステムの提案が発表され、優秀な論文としてノミネ

ートされている。

全体的にロボティクス・メカトロニクスの分野は要素技術に関しても、より実用性を重視した論文が評価されてきており、その流れは加速していくと思われる。これらの成果が産業分野でもより広く利用されていき、産学官の大きな流れをつくっていけるよう期待したい。

[谷川民生（産業技術総合研究所）]

15.4 今後の飛躍

15.4.1 ロボティクスにおける知の探求

生物や人間のもつ知能を理解し、それを実現する方法論を構築することこそ、ロボティクス研究の一つの究極の目標である。サイエンティフィックなロボット研究については、日本が優位性を有しているヒューマノイドロボット研究がさらに進むであろう。ただし、ヒューマノイドロボット研究と呼んでいるのは、単に人間型ロボットを開発することではない。それは人間がもつ知覚、認知、記憶、学習、思考、コミュニケーション、運動などの知的機能を、人間型ロボットで実現することによって理解する研究である。ヒューマノイドロボットは、将来われわれの生活を支援するサービスロボットとしても期待されているが、ヒューマノイドロボット研究は、そのようなロボットの実用化・製品化においてより、むしろ上記のような人間を理解することに大きな貢献を果たすであろう。

そのような生物や人間のもつ知能を理解する研究として、注目されているのが2005年度より始まった文部科学省科学技術研究補助金特定領域研究「移動知」¹⁾である。ここでは、人間や動物、昆虫などが適応的に行動する機能に焦点をあて、それが能動的に移動することで生じる身体、脳、環境の相互作用のなかから創発されるという作業仮説に基づき、それを生工融合による構成論的アプローチによって明らかにしようとしている。従来のBiomimetics, Bio-inspired Roboticsなどのアプローチとは異なり、生物学的にも解明されていない、適応的な行動を生成するメカニズムを、工学（主

にロボティクスやシステム工学）の研究者と生物学（脳神経生理学、医学、認知科学、人類学などを広く含む）の研究者とが密に協力しながら明らかにし、さらにそこから適応的に行動するシステムの設計原理を導き出そうという試みである。このような研究分野は、国内のみならず、国際的にも注目を集めており、このプロジェクトに限らず、さらに活発化するであろう。サイエンスの研究にロボティクスの技術（機構系や制御系、環境とのインタラクションなどのモデリング・エンジニアリング技術）を役立てるということも、ロボット技術の重要な応用（出口）である。

今後、これらの研究もきっかけとなり、認識、学習、進化、創発、共創といった分野において、知の探求の研究はさらに活発化するであろう。また、ロボット単体の知だけでなく、集団における知（自律分散、自己組織、群知能）に関する研究もさらに発展することが予想される。空間知能や社会的な知の研究も、ネットワーク、ユビキタスシステム、マルチエージェントなどの技術を適用することで、今後急速に発展することが予想される。

15.4.2 先端メカトロ要素技術開発とその応用

ロボティクス・メカトロニクス技術を支えるのが、先端的な要素技術である。アクチュエータ、センサに関しても、ロボットやメカトロニクスシステムのための、より小型・高出力のアクチュエータ、より高速・高精度・高信頼なセンサデバイスが求められ続け、それらの開発は持続的に進められるであろう。先端基礎研究としては、ナノ・マイクロ技術の進歩が著しく、極限的なセンシングやマニピュレーションへの適用、バイオ・医療分野などへの応用が加速度的に進展するであろう。アクチュエータに関しては、回転型、直動型の電動アクチュエータのみならず、さまざまな原理に基づくアクチュエータの研究開発が進められており、これらのキラーアプリケーションが見つかれば、大きな波及効果が期待できる。センサに関しては、ビジョンやレンジファインダに関するセンシングデバイスにおいて、大きな進歩があった。

これらは移動技術や空間知能化の発展に大きく寄与した。力センサなどに関しても、安価で使いやすいデバイスが開発されつつある。機能とコストはトレードオフの関係にあり、求められる機能に応じたコストダウンが実用化の鍵となるであろう。デバイスレベルだけでなく、アクチュエータユニット、センサシステムなど、ドライバ、コントローラ、データ処理なども含めた要素技術と、それらを容易に統合可能にするミドルウェアの開発の重要性が高まっており、それらが数年後には、研究開発レベルから実用化レベルに達するであろう。また、バッテリーなどのエネルギーソースや材料に関しても、ロボットにとっては本質的な要素技術であるが、いわゆるロボティクス・メカトロニクス分野の開発のみならず、学際的な技術開発によってブレークスルーはもたらされるであろう。また、人とのインタフェース技術として、視覚・触覚などの提示技術も、さらに開発が活発化すると考えられる。

15.4.3 システムシンセシスとRT応用

RT (Robot Technology) という言葉は、ロボットという機械のみならず、物理法則に支配されている実世界での検知・計測・認識・制御・動作・作業などを含めた総合技術を表す。上記の要素技術開発と同時に、システムシンセシス、インテグレーションがロボティクス・メカトロニクス技術の大きな柱である。そこでは、ニーズに応じてシステムを設計する、ソリューション型研究開発の方法論が重要となる。これまで、さまざまなRT応用システムが開発されてきたが、要素技術の高度化のみならず、システムシンセシス、インテグレーション技術の高度化によって、その応用分野が加速度的に拡大していくであろう。これまで、個々のニーズに応じたシステムシンセシス、インテグレーション技術であったが、これからは、その体系化についての議論も行っていく必要がある。

具体的RT応用分野としては、産業用ロボットとさまざまなサービスロボットとに分けることができる。産業用ロボットに関しては、現時点でのロボットの投入は、導入が容易な作業や工程に限定

されており、まだ今後導入の余地は多く残されている。さまざまなロボットの知能化技術の開発・実用化に伴い、さらに産業用ロボットの需要も伸びるであろう。サービスロボットに関しては、いわゆる家庭内や施設・公共空間でのさまざまなサービス（医療、介護、セラピー、警備、掃除、搬送、エンターテインメント、屋内メンテナンス、情報提供など）、屋外環境でのさまざまなサービス（建設、土木、災害対策、事故対策、屋外メンテナンス、宇宙など）において、RTの導入が急速に進展するであろう。

サービスロボットの場合、人と接する機会の増加に伴い、安全性の確保が本質的な問題となる。安全に関するリスクを過大に評価すると、それが実用化の大きな阻害要因となる。実用化を促進するためには、リスクアセスメントをはじめ、安全性に関する議論を深めつつ、制度面においても、ロボット特区では効果が得られなかった規制緩和に対して、国は思い切った施策をとる必要がある。総合科学技術会議による第3期科学技術基本計画や、経済産業省の新産業創造戦略において、ロボットが重点課題として取り上げられている今こそ、制度面をはじめ、産学だけでは取り組めない問題を解決すべく、国は継続的に支援を行うべきである。

15.4.4 ロボット・メカトロ教育の充実と社会貢献

現在、ロボット・メカトロ教育に関する取り組みが活発化し、ロボットキットなど、さまざまなロボットの教材も開発され、新たな市場が生まれつつある。ロボコン、ロボカップ、ロボワン、ロボットグランプリなど、日本発ロボット競技会が多数設立され、優秀な技術をもつ若手の育成に大きな役割を果たしている。RTは、機械工学、電気工学、情報工学、計算機科学、人工知能など、きわめて学際的な技術であり、RT教育の充実は、特異的な技術を有する人材（スペシャリスト）の育成より、未来を担う若手技術者の基礎技術力のレベルアップに対して大きな貢献を果たしているといえよう。今後RTは、技術の基盤、インフラと位

位置づけられるようになるかもしれない。また、他分野との連携によって、新しい学術分野も次々と創成されることが期待される。最後に、2006年度に安倍政権は、「イノベーション25」「新健康フロンティア戦略」などを掲げ、これから取り組むべき科学技術についての検討を始めている。そのなかにおいても、ロボティクス・メカトロニクスは、重要な科学技術として位置づけられるであろう。

[浅間 一 (東京大学)]

〈参考文献〉

- 1) 移動知ホームページ：<http://www.arai.pe.u-tokyo.ac.jp/mobiligence/>