

随 想

# 共存工学のための分散適応ロボティクス

Distributed Adaptive Robotics for Co-sustainable Engineering

浅 間 一\* \*理化学研究所

Hajime Asama\* \*RIKEN (The Institute of Physical and Chemical Research)

## 1. はじめに

1982年秋に国内の学会の学術講演会で初めて発表をしてからもう20年経ったかと思うと、まさに光陰矢のごとである。しかし、自分が行ってきた研究を振り返れば、様々なことを考え、悩み、様々な研究に取り組んだ結果、長い道のりを経て今日までたどり着いたのだと思う。そのプロセスを振り返りながらこれから私が取り組もうと考えている課題などについて述べたい。

## 2. 保全、自律分散、創発ロボティクスへ

卒業研究で保有用ロボットに関する研究を始めたのがすべての始まりであった。人間が行えない、行いたくない原子力プラントの保守をロボット化したいということが動機であった。これは今でも変わっていない。

当時、産業用ロボット元年といわれた1980年から数年がたち、産業用ロボットとその知能化技術の開発が加速する一方で、ロボット技術の非製造業への応用の検討も活発化しつつあった。その一つが原子力である。しかし、保守という作業は、プラント内でいつでもどのような作業を行えばよいかは予め定義できないという特徴を有している。すなわち、明確に決定できない要求仕様のもとで、ロボットを設計・開発しなければならないという難問があった。そこで求められるのは、事前には完全に知ることができない環境やタスクを行うための柔軟性であり、それを実現するための戦略として、構造的冗長性と、それを状況に応じて選択的に動作させる知的動作計画・制御技術(構造可変型と呼んだ)の開発を行った。

その後、これを発展させたのが、自律分散型ロボットシステムである。すなわち、複数のモジュール、ロボットなどの自律的要素に機能を分散化させ、状況に応じて要素間でインタラクションさせたり、結合を変化させ、協調的に

動作させながら、多様な作業や環境の変化に柔軟に対応させるという概念である。もちろん、頑健性、拡張性、耐故障性、並列動作による効率などの効果も考慮した。その後、IT技術の急速な発展、とくに半導体技術の進歩と計算機ネットワークの普及もあって、自律分散型ロボットシステム技術は飛躍的に開発が進んだ。今のロボットシステムのほとんどは、何らかの自律分散の構造を有している。複数台のロボットの協調に関する研究や、自己組織機能を持つモジュール型ロボット、分散制御機構を有する歩行ロボットなどの研究は、現在非常に活発である。

その一方で、ロボットのハードウェアやセンシング技術の技術的限界はなかなか打破されず、ロボットシステムの知能化だけで、どれだけ実際の環境で使えるようになるのか、現実的ニーズに対応できるのかという疑問が湧いてきた。そこで新たに、ロボットシステムが動作する環境自体も整備、さらには知能化し、ロボットシステムと環境とを協調させることによって、さらに実現性を高めようという考えに到った。環境はロボットシステムが動作する上でのインフラでもある。そこで開発したのが知的データキャリア IDC (Intelligent Data Carrier) である。これは、マイクロプロセッサ、不揮発性のメモリ、非接触通信機構などを有する小型デバイスであり、これを環境のあらゆる場所(床、壁など)や、もの(搬送物や障害物)、さらには人に付けることにより、それらの中に情報処理機構を持たせることができる。ロボットシステムは、これらと非接触で通信を行いながら、その場所、もの、人に依存した情報を書き込んだり、読み出したり、あるいはそれらと協調して作業を行うことができる。また、これらを媒体として、ロボット間の情報伝達を行わせることもできる。

このような、環境も含めた自律分散的ロボットシステムが、情報構造をいかに自律的に組織化しながら頑健にかつ効率よく動作することができるかという問題を議論するために、「創発」の概念に基づくシステム技術の研究を開始した。これにはもう一つの動機があった。それは、ロボカップ等で、複数の自律型移動ロボットでサッカー競技を行う場合、様々な状態において自分がいかに行動するかを記述することが非常に困難だという問題に気づいたからである。

原稿受付 2002年7月4日  
キーワード: Co-sustainable engineering, Distributed autonomous robotic systems, Intelligent data carrier, Adaptivity, Emergence  
\*〒351-0198 和光市広沢2-1  
\*Wako-shi, Saitama

ロボットの状態は、莫大な時系列データとして得られるセンサ情報、他のロボットから受信したメッセージ、自分の状態などで決まるが、その状態空間において、自分の取るべき行動を実時間でどのように決定するかを、設計者がすべてコーディング（プログラミング）することは不可能である。これはまさに、保全作業のみならず、レスキュー、福祉など、不確定な動作条件で、かつ実環境で動作が求められるロボットシステムを開発する場合の共通の問題である。そこで我々が取り組み始めたのが、適応機能を有するロボットシステム技術の開発である。ロボットが、経験したことのない状況でも、過去の経験を生かし、学習をしながら対処できるようにするための技術である。

### 3. ロボティクス研究のパラダイムシフト

私は、ロボットとロボティクスを別の言葉として使うようにしている。その一つの理由は、「ロボット」には明らかな定義がされておらず、「ロボットの研究をしている」といっても、誤解されることが多いからである。ロボットは、人工的な機械のイメージが強いが、産業用ロボット、娯楽用ロボット、ヒューマノイドなど、すでに存在する様々な固有のロボットが連想されてしまうことが多い。また、計算機科学や人工生命などでも「ロボットの研究」をしている人が多いが、分野によってロボットの考え方や前提も大きく異なる。もう一つの理由は、自分の開発しているシステムが、個体としての「ロボット」より、ロボット群、環境も含めたシステム、人間も含めたシステムへと研究対象が広がったためである。実際、我々が行っているのは、ある特定のロボットの開発ではなく、求められている動作機能を実現するために必要な要素技術の開発と、要素を統合し、機械システムの設計・開発を行う方法論、すなわち工学研究である。その意味でも私の研究は、ロボットの研究ではなく、ロボティクスの研究である。

従来のロボティクスは、人間の生活をより便利に、豊かにするための物作り、生産技術としてのロボティクスであり、ロボットとしては、精度、可搬重量、速度、効率、生産性などの機能が重要であった。しかし、少品種大量生産から多品種少量生産へのパラダイムシフトにより、ロボットに求められる機能も変化した。そして、なによりも今、我々が開発した技術によって新たに生じた課題（吉川弘之先生曰く現代の邪悪）に対応するための技術、例えば原子力プラントのメンテナンス、都市災害時のレスキュー、人道的地雷探知・除去などのためのロボット技術が求められている。これは、むしろ人間が生存する環境を持続するための技術としてのロボティクスである。ここでは重要となる機能こそが適応性である。私は、まさに人間と人工物が共存するためのシステム・シンセシス、すなわち共存工学を追求したいと考えている。

### 4. 学術と実用

共存工学において重要なことは、具体的に役立つシステムをいかに設計するかということである。これまで、ベンチャー企業を設立し、理研で開発してきた技術の実用化も議論してきたが、論文を書くための研究開発と、実用化のための開発は全く異なる。研究開発では1回動作すれば、データが取れ、論文が書けるが、実用においては、実際の環境においていかに確実に動くかが重要である。ユーザの立場にたった、耐久性、保守性、PL、さらには製品としての市場性、コストなどをクリアする必要がある。もちろん、研究者には、これらの知識や経験はないので、産官学の連携が重要になる。ただし、その際研究者は、どのような技術が求められているのか、技術開発によってどのような問題が解決でき、それによって何が実現でき、どのように役立つのかを強く意識して研究開発に取り組む必要がある。

一方、共存工学のための基礎的研究も疎かにしてはならないと考えている。共存工学を議論する場合、ロボットシステムが利用される場面では、未知要因が非常に多い。外乱、ノイズのみならず、環境自体が無限定で複雑である。要求されるタスクも多様である。そのような状況で、ロボットシステムを適応的に動作できるようにするための方法論が必要となる。多くの未知要因が存在しても、経験から内部モデルを生成し、それを利用しながら動作原理を獲得する研究が重要であり、これについても議論したいと考えている。

### 5. 最後 に

自分がこれまでに行ってきた研究を振り返りながら、ロボティクスに関する自分なりの考えを述べてきたが、最後にもう一つ重要なことを指摘したい。資源のない日本がこれから生きていく上で、日本が保有する人材こそが財産だ。特に、日本がロボティクスにおいて世界に対し優位性を保っているのは、要素技術開発のみならずシステムインテグレーションのための横断的知識・技術を有する有能な技術者・研究者がいるためである。これからの日本のためにも、このような人材を維持・育成することが極めて重要である。



浅間 一 (Hajime Asama)

1959年1月18日生。1984年東京大学大学院工学系研究科修士課程修了。1986年理化学研究所化学工学研究室研究員補。現在同研究所工学基盤研究部技術開発促進室長。1999年埼玉大学大学院理工学研究科客員助教授。2001年日本機械学会ロボメカ部門学術業績賞等受賞。自律分散型ロボットシステム、知的データキャリア等の研究開発に従事。工学博士。（日本ロボット学会正会員）