

記 録

文書番号	S C J 第 2 1 期-230921-21560500-024
委員会等名	日本学術会議機械工学委員会 ロボット学分科会
標題	ロボット学の将来 ー新しい日本の発展に向けた革新と知の統合ー
作成日	平成 2 3 年 (2 0 1 1 年) 9 月 2 1 日

※ 本資料は、日本学術会議会則第二条に定める意思の表出ではない。掲載されたデータ等には、確認を要するものが含まれる可能性がある。

2011年6月30日

1. 経緯

本記録は、第三部機械工学委員会ロボット学分科会第21期における議論をまとめたものである。議論は、下記の分科会ならびにメールで行われた。

- 第1回会議平成21年4月
- 第2回会議平成21年7月
- 第3回会議平成21年12月
- 第4回会議平成22年4月
- 第5回会議平成22年8月
- 第6回会議平成22年12月
- 第7回会議平成23年5月
- 第8回会議平成23年6月

議論に参加した委員名を以下に記す。記録の取りまとめは委員長と幹事が担当した。

委員長：佐藤知正（連携会員，東京大学教授）

幹事：國吉康夫（連携会員，東京大学教授）

第3部会員：柘植綾夫（芝浦工業大学学長），福田敏男（名古屋大学教授）

連携会員：池内克史（東京大学教授），井上博允（東京大学名誉教授），内山隆（（株）富士通研究所顧問），金子真（大阪大学教授），川村貞夫（立命館大学総長特別補佐），木村英紀（理化学研究所チームリーダー），白井良明（立命館大学教授），中島尚正（海陽学園海陽中等教育学校校長），西田豊明（京都大学教授），萩田紀博（ATR 知能ロボティクス研究所長），広瀬茂男（東京工業大学教授）

2. 要旨

東日本大震災後の新生日本に向けて、被災地の復興・再生と福島原発事故処理、そして社会全体を安心安全で持続可能な仕組みに転換することが急務となっている。

今回の震災で、過酷災害対策へのロボット活用の重要性と準備態勢の不足が明確に認識された。同根の問題はより広く、社会の課題解決のための多面的なロボット技術活用についても存在する。我が国の未来と国際貢献のために、ロボット技術を真に有効活用する恒常的な方策が強く求められる。（3-(1)参照）。

一方で、ロボット技術自体、実世界の多様な状況とニーズに応えるには未だ完成の域に達してはいない。想定外の状況でただちに有効に機能する汎用性や、人間の作業能力を相当程度代替する高機能性など、理想の姿に近づけるには、より一層の研究開発による技術進化が不可欠である。（3-(2)参照）。

国際的に、我が国のロボット学研究は過去20年にわたって、数々のテーマに関して

先駆的な成果をあげ、世界をリードしてきた。しかし、重要基盤技術では、我が国で弱かった長期一貫的研究開発体制を維持した欧米に大きく先行を許したものもある。さらに近年、欧米およびアジア諸国で極めて迅速かつ大規模な強化策が実施され、急激な発展を遂げており、もはや我が国の優位は急速に失われつつある。産業用ロボット技術も例外ではない。このまま看過すれば、我が国のロボット学研究、ロボット技術は諸外国に大きく遅れをとり、回復不能となる恐れもある。技術の萌芽期に独創的先駆的成果を上げながら、成熟期に達して広く活用される段階で諸外国に先行を許し市場を明け渡した例は、過去に情報通信技術でも見られた。(3-(3)参照)。

これからの学術の在り方として、社会の課題を解決し、望ましい未来をつくるために最先端の知を総合して設計解を与え、それを通してさらに新たな知を創出する「知の統合」[1]による「社会のための科学」[1]の構築と、それに基づく、イノベーション、研究、人材育成の三位一体による改革推進が喫緊の課題となっている[2,3]。ロボット学は、機械、電子、情報、物理、数学、生物、心理、医学、社会、芸術など様々な知を統合して設計解を与えると同時に、統合、構成によって新たな課題を発見し知の創出に結びつけるものである。まさに、ロボット学は「知の細分化へのアンチテーゼ」として、学際的・統合的・俯瞰的な学術体系の構築、および認識科学と設計科学の連携の促進による『知の統合』[2:p.18]を具現化するものであり、その焦点がロボットという具体物として明確化されている。(3-(4)参照)。

以上の諸課題と危機的状況に対応して、技術の運用、活用体制から最先端研究、人材育成までを統合し有機的に連携した仕組みを構築することで(4.参照)、我が国が有する貴重な知的資源であるロボティクスを真に社会のために活用するとともに、日本発の次世代統合科学として世界に学術的貢献をなすことが強く望まれる。

3. 課題と対策

(1) 対災害ロボット技術の課題と解決策

日本学術会議は、東日本大震災に対応した緊急提言において[4]、ロボット技術を真に有効活用するために、現場運用と研究開発を一体化した恒常的体制の構築を提言している。

今回の震災被災地および福島原発事故において、日本のロボット技術は大きな期待を受けつつもごくわずかしか活用されていない。その直接的理由は、政府や原発事業者が即応的ロボット活用に不可欠な恒常的運用・開発体制を構築してこなかったためである。またこれに加えて、想定内状況にしか有効でない現状のロボット技術の限界も克服すべき問題である。

対応にあたる人間の生命が危険にさらされるような過酷災害は、原子力災害、大震災以外にも、生物化学テロ、爆破テロ、化学プラント事故、大規模火災等様々なものがありうる。対策として、過酷災害対応ロボット技術の恒常的運用・開発機構を早急に創設すべきである。この機構は、ロボティクス専門家、自衛隊、消防、警察、プラント事業者、災害専門家が緊密に協力し準備・訓練と機材の保守・改良・

研究開発を常時継続的に実施する組織で、国内外の災害発生に即応可能な出動準備態勢を維持し、各種災害対策と復旧・復興・再生に必要なロボットの開発と投入を行い、大学・研究機関・企業・海外との共同研究を実施する。また、このような多様な分野の専門家と協働して問題解決や技術開発にあたることのできるロボット技術者・研究者の育成も急務である。さらに、上記の関連各機関相互の直接的な連携・協力関係も現状では不十分であり、平時より緊密かつ実効的な協働関係の構築を推進すべきである。

一方で、想定外事態に対応可能な革新的ロボットシステム研究開発も推進しなければならない。現場状況や対策作業が事前に想定できない事態への対処を、人命を危機にさらすことなく即応的かつ臨機応変に行うための技術で、宇宙開発・海洋開発等にも応用が考えられ、サービスシステムにも展開がありうる。環境条件とタスクを事前に固定する従来型設計開発から脱却し、高度な適応性と汎用性を実現する技術体系を開発する長期的な先端研究開発が必要である。最終目標の例としては、人間の多様な行動能力全般を再現可能な、遠隔操作＋部分自律ヒューマノイドロボットや、想定外事態への的確な対応を案出し組織化する知能情報システムなどがありうる。

以上の検討に基づくアクションプラン試案を以下に添付する。

「過酷災害に対する社会の安全性向上に向けたロボット技術高度利活用の推進」

1. 対象範囲：「復興・再生並びに災害に対する安全性向上」とそれらを支える「基礎研究及び人材育成」
2. 実現が期待される社会像：高度ロボット技術活用により想定外過酷事態への臨機応変な対処が常に準備され、国際社会にも貢献する、安心安全で尊敬される社会。
3. 背景：今回の福島原発事故は、想定外の事故が起こりうる事、人間がアクセスできない過酷事故対策の準備の欠如を明らかにした。この種の想定外過酷事故・災害への対応を人間に代わって行うロボットが不可欠である。10年後、20年後の将来、起こるかもしれない危機に対応する人間代行のシステムについて、今すぐに、国際協力のもとで取り組む必要がある。
4. 重点化課題：
 - A) 過酷災害対応ロボット技術の恒常的運用・開発機構の創設。
目的：過酷災害発生に即応してロボットを投入・活用。対象は、特殊過酷災害（原子力災害、生物化学テロ、爆破テロ、化学プラント事故、大規模火災等）と自然災害の初動対策から避難所ケア、復旧・復興、生活と産業の再生まで。
方法：ロボティクス専門家、自衛隊、消防、警察、プラント事業者、災害専門家が緊密に協力し準備・訓練と機材の保守・改良・開発を常時継続的に実施。国内外の災害発生に即応可能な出動準備態勢を維持。各種災害対策と復旧・復興・再生に必要なロボットの開発と投入。大学・研究機関・企業・海外との共同研究。
措置：専用施設、人員雇用、運用・開発の恒常的予算。専任職員と関連組織からの出向等による中立的組織。関係省庁の連携体制。対象現場事業者にも訓練受入と機

構維持費用の一部負担を義務付け。

時期：福島原発事故対策を焦点とし創設（1年以内）、同廃炉作業およびテロ・各種災害・復興再生等へ対象拡充（1～5年以内）、長期恒常活動（～50年以上）。

B)ハイリスク施設と社会インフラへのロボット活用安全システム導入

目的：突発事態に迅速かつ臨機応変に対応し被害を最小限に食い止める。

方法：原子力、化学、遺伝子改変、爆発物等の危険施設に、ロボット技術を活用した安全システムを導入し、状況把握と多様な対策作業に活用。社会インフラにも導入し、突発事態から市民を守る先進安全社会システムも目指す。

措置：ロボット活用安全システム導入の義務付けと促進税制・補助金等。専門技術者養成と配置義務付け。安全システム研究開発予算。

時期：原発に導入（2年以内、以後高度化継続）、各ハイリスクプラントへの導入（5年以内、以後高度化継続）、社会インフラへの導入（5年以内に被災地向け開始、以後各地に展開）、研究開発・人材養成（1年以内～長期）。

C)想定外事態に対応可能な革新的ロボットシステム研究開発

目的：現場状況や対策作業が事前に想定できない事態への対処を、人命を危機にさらすことなく即応的かつ臨機応変に行う。宇宙開発・海洋開発等にも応用。サービスシステムにも展開。

方法：環境条件とタスクを事前に固定する従来型設計開発からの脱却。高度な適応性と汎用性を実現する技術体系を開発。最終目標の例：人間の多様な行動能力全般を再現可能な、遠隔操作と自律制御を融合した部分自律ヒューマノイドロボット。想定外事態への的確な対応を案出し組織化する知能情報システム。

措置：長期継続的研究開発予算と研究人材育成。過去の短期的措置（災害直後のみの予算等）では実効なし。基礎から実証まで並行連携により段階的目標達成。国際共同研究により世界の英知を結集。

時期：事故原発廃炉作業ロボット（1～5年以内）、高機能汎用作業ロボットと想定外事態対応システム（5年～20年以内、機能段階ごと）。

D)ロボット応用技術者および研究開発人材育成

目的：多様な現場ニーズに合わせ、異分野専門家と協働してロボット活用ソリューションを実現できる応用技術者と、多様な最先端技術の研究開発人材の充実。

方法：幅広く、若者に魅力あるキャリアパスの確立。実践力を身に着ける体系的教育。世界最先端の研究・教育の推進。

措置：過酷災害対応ロボット技術運用・開発機構およびロボット活用安全システム導入企業等でのロボット技術者・研究者の雇用確保および大学・研究機関との環流人事制度。大学等での実践的教育プログラムおよび最先端研究教育拠点プログラムの継続的予算措置。

期間：教育・研究プログラム（1年以内開始～10年以上継続）、雇用確保・環流人事（3年以内実現、以後継続的に拡充）。

(2) 社会の課題を解決し未来を創成するためのロボット技術活用

我が国の喫緊の課題は、前述の災害対策に加え、震災からの復興・再生、そして、社会全体を安心安全かつ持続可能な仕組みに転換し、厳しい環境・資源制約と急速な少子高齢化のもとでも人々の幸福を守ることである。

震災後の科学技術政策の重要検討課題として、「復興・再生並びに災害からの安全性の向上に向けた重点化」[6]が挙げられ、これを科学技術の活用により達成することは緊急重要なイノベーションと考えられる。また、政府の新成長戦略[5]において「ライフイノベーション」と「グリーンイノベーション」が成長分野として取り上げられ、後者については震災後に「エネルギー利用の高効率化及びスマート化並びに社会インフラのグリーン化」[6]のイノベーションが重要課題の一つとされている。

震災からの復興・再生の中で、東北地方の製造業の再生、進化は重要である。震災後外国人労働者が激減したこともあり、生産に支障が出ている。ロボットを活用した生産システム刷新により、問題解決と同時に競争力増強を図るべきである。

少子高齢化と低炭素化の流れの中で持続的な成長と豊かな社会を実現するためには、多様な人間の状況と営みに合わせたきめ細かな知的支援と、都市や社会という単位でそれらを有機的に連携させて効率と豊かさを高いレベルで臨機応変に達成する技術が待望される。これらはすべて情報技術と実世界の物理現象や人間の振る舞いを、観測と働きかけを通して相互結合し、システムとして知的に機能させることを要する。これはまさにロボットのシステムと等価であり、ロボット技術がこの多様な局面に活用されることが期待される。

ライフイノベーションに向けて、高齢者の安心な暮らしを支えるパーソナルモビリティ[5:p.18]、介護ロボット、生活支援ロボット[5:p.60]、メンタルケアロボット、情報弱者や障害者に合わせて情報通信技術の利便を提供するインタフェースロボット、勤労世代の生活を効率化し家庭や余暇の時間を確保させるための家事ロボット、減少する労働力の高度活用のための作業支援ロボットやテレワーク（遠隔就業）ロボット、都市インフラ保守や廃棄物処理等を黙々とこなすインフラロボット、物流ロボット、作業安全や災害対応のための遠隔操作および自律作業ロボット、巡視ロボットなどにより、あらゆる市民の生産性を高め、ディーセントワークを実現し、消費行動を活性化すると共に、安心安全で豊かな社会の実現が期待される。

グリーンイノベーションの中で、都市全体のネットワーク化と制御によるエネルギーマネジメント[5:p.39]が検討されているが、これをさらに推し進め、人や物の状態や動きのセンシングも含め、上述の多様なロボットの連携と統合調整を行うことで、エネルギー消費だけでなく、全体の生産性向上と効率化、サービス向上、安全確保、などの達成が期待される。

国際貢献の観点から、前述の災害対応ロボットを活用する救助隊の海外被災地派遣は重要であり、同時に我が国の運用経験蓄積とシステム改良に資するであろう。また、アジア経済戦略の観点からも、少子高齢化と低炭素化の課題解決に向けた上述のような新世代の情報通信—ロボット技術体系は、我が国に引き続いてこれら諸問題に直面するアジア諸国にも極めて有用なものとなるだろう。例えば中国は60歳以上が1.6億人を超え、我が国以上に高齢者・障害者の問題が顕在化し、人工抑制策の影響で少子化も激しい。上述の技術は、将来の我が国の輸出の主力を担う可能性があり、その経済牽引効果およびアジア諸国への貢献は計り知れない。

ロボットは社会のあらゆる構成員に、各々のニーズに合わせた支援を提供することでその社会活動を活性化しイノベーションをもたらす。その高度技術体系を世界に供給することが持続的な経済成長をもたらす、高度知識社会としての我が国の未来を形作る。

(3) ロボットをとりまく国際的潮流における危機的状況

我が国におけるロボット学研究は米国とほぼ並行して 1960 年代に始まり、個々の研究者の努力や公的プロジェクト、企業の開発努力などにより、数々のテーマに関して先駆的な成果をあげ、1990 年代以後は世界をリードしてきたといっても過言でない。

しかし、重要基盤技術では、我が国で弱かった長期一貫的研究開発体制を維持した欧米に大きく先行を許したものもある。さらに最近数年間で、欧米およびアジア諸国で極めて迅速かつ大規模な強化策が実施され、急激な発展を遂げており、もはや我が国の優位は急速に失われつつある。産業用ロボット技術も例外ではない。このまま看過すれば、我が国のロボット学研究、ロボット技術は諸外国に大きく遅れをとり、回復不能となる恐れもある。

米国は最近まで民生用ロボット研究や基礎研究の予算は極めてわずかで、主に軍事用無人機等の開発に注力してきたと言われるが、最近、重点的に予算配分する戦略的研究開発分野として「ロボット」を取り上げるとともに、様々な啓蒙活動を通して市民の関心も急激に強まっている[8]。具体的には、NSF が NASA, NIH(国立衛生研究所), DoA(農務省)と協力して実施する局横断的新規プログラム NRI (米国ロボット工学イニシアティブ: National Robotics Initiative) では、総額 7,000 万ドル (2012 年度予算で 3,000 万ドル) を、人間と密に協力して働く次世代型ロボットの研究開発と教育に投資し、米国がリーダーシップを発揮できるよう取り組むとしている[10]。これはオバマ大統領が 2011 年 6 月 24 日に発表した米国の新たな政策 AMP (Advanced Manufacturing Partnership, 産学官共同で、良質の製造業雇用を創出し、国際競争力を高める国家政策) [11, 12]の一環である。

欧州では、ロボットの認知機能や対人機能に重点をおいて 90 年代から継続的に支援し、現行の FP7 (第 7 次研究開発枠組計画) では「認知システムとロボット」分野を強化し年間約 2 億ユーロ (2007-2010 は 4 億ユーロ [13]) を予算措置している。

韓国では 2003 年以後、毎年 130 億円以上もの予算を関連施策に投入してロボット研究開発を重点的に推進し、2008 年には「知能型ロボット開発および普及促進法」を制定し、国を挙げてロボット開発、普及を推進している (2011 年度予算 346 億ウォン)。

中国は、国家長期的科学技術開発計画 (2006~2026 年) において、2011 年度から 5 年間でロボットと ICT (特にクラウドコンピューティング) を関連づけて、高齢者・

障害者対応ロボットシステム，高度教育/エンタテインメントロボットの研究開発などに注力することを計画している．また，2013年にロボットによる月面探査を実現し，2017年にはサンプルリターンミッションを実現するとしている．

政府の予算措置だけでなく，世界標準を目した組織的取り組みでも，諸外国で先行した動きがある．例えばある米国企業(Willow Garage)は無償ロボット OS(ROS)を配布し，急速に世界中の研究者，技術者に広まり利用されている．また，米国 NSF を中心として，韓国のヒューマノイドロボットハードウェアの配布によるコンソーシアムが設立されている．これらロボット研究プラットフォームの共通化，標準化とその上での研究者のネットワーク化の動きが急速に進んでいる．

産業用ロボット技術でさえ，安泰とは言えない．ドイツ KUKA 社のライトウェイトロボット(LWR)という産業用マニピュレータは，全軸力制御や軽量設計により，人間協調作業など，従来より適用範囲が広く，現状の日本の製品群の次の世代の製品といえる．EU はすでに，このロボットを含む欧州ロボット製品の応用作業を開発するプロジェクトを遂行し，またいくつかのロボット関連プロジェクトでこれら製品の利用を義務づけるなど，次世代の産業用ロボット市場開拓に向けた体系的な戦略を実施している．

かつて，パーソナルコンピュータ(PC)の黎明期、我が国には極めて優れたハードウェア，ソフトウェアの技術があったが，国内のみの普及に留まり，最終的には米国マイクロソフト社のソフトウェアが世界標準となり，駆逐された歴史がある．各個要素技術のみでは世界標準はとれない．プラットフォームの共通化とその上での研究者間のネットワークが必須であり，ロボットの分野でもこの方向を強力に推進するオールジャパンの総力をあげたロボットプロジェクトがまたれる状況である．

以上のように，ごく最近，欧米およびアジアで，国を挙げての極めて強力な推進策が展開され始めており，我が国の予算措置や組織的展開を遥かに超えつつある．この状況が数年続けば，我が国のロボット研究開発の優位性が失われ，長期に渡って回復不能となる恐れがある．

(4) 知の統合と創出を社会と連関させつつ推進するロボット学

ロボット学は，機械，電子，情報，物理，数学，生物，心理，医学，社会，芸術などにまたがる極めて多様な知を一個のシステムの上で具体的に統合し，目的に対する設計解を与えると共に，統合，構成によって新たな課題を発見し知の創出に結びつけるものであるから，まさに「知の統合」を具現化するに最適な分野である．

例えば，ロボット学の先端課題の一つであるヒューマノイドロボティクスは，人間に近いロボットの構築を目指し，人間に関わるあらゆる学の知見を統合する．身体や感覚器の解剖学，生理学，物理学，生体力学，生化学，認知・行動に関する脳神経科学，心理学，行動学，言語学，社会学などの知見と，材料，機械，電子，情報，制御，システム，知能，などの工学を統合し，全てが有機的に連携し動作するシステムやモデルを構築する．それと同時に，統合，連携により，個々の知見に新

たな理解が提示され、また従来認識されていなかった新たな課題が発見される。

応用対象は、生活、生産、サービス、医療、福祉、スポーツ、芸術、宇宙、災害対応などあらゆる人間活動にわたり、各々についての知見がシステム設計に反映されると同時に、ロボットによる実現を前提とした対象分析により新たな理解が得られ、さらに、新たな実現法、表現形態の着想や新ニーズ創出も促す。具体的応用を通して、システム構成要素である個別の知見にも新たな意味づけが付与される。さらに、構築されたロボットの意味や影響に関して、哲学、社会学、経済学による検討も要請され、これら諸学への新たな問題提起となると同時に、その知見はロボットの設計指針にも反映される。

上記以外の研究領域においてもロボット学と諸分野との連携の広がり近年急速に拡大しており、上述の状況を裏付けている。

まさに、ロボット学は「知の細分化へのアンチテーゼとして、学際的・統合的・俯瞰的な学術体系の構築、および認識科学と設計科学の連携の促進による『知の統合』」[1, 2:p.18]を具現化するものであり、その焦点がロボットという具体物として明確化されている。

この方向性を強力に推進し、新しい知の統合のあり方を具体的に構築し、世界に示すことは極めて意義深い。

(5) 教育と人材育成

我が国の青少年の理科離れ、実践力低下は憂慮すべき状況にあるが、ロボットを題材とした教育を通してこれを改善できる可能性がある。具体性、好奇心、イメージネーション、多様性、統合、創造などを促進し強い学習意欲を喚起するので、初等から高等までのあらゆる教育に効果が期待され、将来の科学技術を担う人材育成に重要な役割を果たす。

ロボットは、様々な要素的知識を相互に関連付け統合し、目に見える動きと機能という具体的な意味付けを与える教育題材となる。初等中等教育の範囲では、力と運動、電気と磁気、センサを通した光や熱や音、形や機構の幾何学、運動や位置関係の数学（速さと距離、座標、三角関数、微積分、行列など）、仕組みや目的達成法の論理思考、認識・判断の情報処理や確率・統計、生物の仕組みとの対比、工作など、算数（数学）、理科（物理、生物）、情報、図画工作、技術の科目内容が関連する。これに加え、製作物の説明・プレゼンテーションやアイデア討論などでの国語、部品の生産・物流やロボット応用の調べ学習での社会、など多くの科目の学習を関連付け、実践的に総合できる。より高度化し、また理論的に掘り下げれば理工系高等教育前半にも広く適用可能で、特に数学、物理、情報、機械、電子の学習の動機付けともものづくり教育に有効である。さらに、一つの機能を実現する形態や機構に自由度があり、また外観デザインも工夫できるので、発想力、独創性、表現力を実践的に訓練できる。グループごとに製作すれば、チームワークやコミュニケーションの育成にも効果がある。成果が目に見え、対象が具体的なため、明確な目的意識と動機づけが与えられ、高い集中力と能動性が維持できる。

ロボットコンテストは、上述に加え、所定の課題、条件に対する最適な戦略と設計解を求める徹底した分析的、論理的思考とディベート、あらゆるトラブルに備える危機管理などの要素が加わり、大学等での学生団体ではさらに、チームのマンパ

ワーと資源を最大効率で活用して結果に結び付ける組織運営，世代交代に対応する技術やノウハウ継承，書類審査等でのアピール力，資金や物資の援助獲得等のための対外交渉，など実践的人間力の育成にも大きな効果がある。

現在，全国の小学校から大学まで，多くの教育機関で有志の教員等によりロボット教育の取り組みが展開され，報道機関や各種団体によるロボットコンテストも盛んに開催されている。ただし，ロボットを各教科，各学年の学習に本格的に役立てるための高品質な体系的カリキュラムと教材，バランスのとれた教育効果を十分に考慮したロボットコンテストの課題設定や運営，ロボット学の正しい体系的な知識と技能を有する教育者の不足，といった点では改善の余地が大きく，専門家による見識ある検討を踏まえて本格的にこれらを充実することが強く望まれている。

ロボット活用によるイノベーションに向けては，先端研究開発と幅広い社会環流のための大幅な専門家増強が必要であり，そのための高度先端教育の拡充も急務である。上述のより広い人材育成と連携することで，高いピークと広い裾野を有する厚い人材資源が，将来の我が国のイノベーションを強力に推進していくだろう。

4. 未来創成に向けたロボティクスイノベーションの枠組み

上述の課題解決と提案実現のためには，ロボットの社会や産業での活用，研究開発，学術的貢献，教育と人材育成，の全てを有機的に統合しつつ体系的かつ恒常的に推進していかなければならない。その体系を，「ロボットフロンティア研究機構」という仮想的な組織の形で記述してみる。

機構は，ロボット技術オープンイノベーション部門，先端ロボット創成部門，ロボティクスサイエンス研究部門，未来ロボットプラザなどの部門からなる。往年の **Bell Laboratories**，複雑系科学を学際融合で育てた **Santa Fe Institute**，ベルギーの半導体オープンイノベーション研究施設 **IMEC** と科学未来館を合わせたものを理想とする。

ロボット技術オープンイノベーション部門には，対災害ロボット運用開発チーム，産業応用運用開発チーム，社会活用運用開発チーム，などを設ける。いずれも，2-(1)節で論じたような，応用先現場の専門家とロボット技術者，研究者が一体となって，常時運用，保守，改良，開発を統合して，2-(1)，(2)で述べた社会課題解決の実践とそのための技術開発を恒常的に進める体制をとる。運用から浮上した技術課題についてはチームや部門を超え，研究者，技術者が協力して解決する。

同部門ではまた，国内外の企業，大学，研究機関等の活力利用と成果還元のため，これらが参加するオープンイノベーションモデルを採用する。各外部組織は応分の知財ないし資金の拠出と引き換えに，コンソーシアムへの参加資格と共有資産の利用権を得る。参加に伴う研究成果は原則として集大成に統合される。多様な知財（特許，ソフトウェア，設計，プロトタイプ，ノウハウ，ビジネスモデル，調査結果）が蓄積され，その集大成を活用して研究展開し，その成果はさらに集大成を拡充する。参加しない者は技術の潮流から取り残される状況となる。集大成維持拡充のため，優秀な弁理士とサイエンスライターを研究会等にも常時参加させ，また定期巡回インタビュー

一も行う。これにより、基本アイデア段階から優れた特許文書を作成し基本特許を取得する。また、知財以外のさまざまなアイデア、発想、発言を、発案者名と日時と共に記録、集約、共有する。

さらに、ロボット活用社会の実現に向けて、ロボット活用生活モデル、ビジネスモデル、産業システム、社会・経済システム構築に関する設計論の研究と産学官協働コンソーシアム、法・社会制度改革、標準化推進にも取り組む。

先端ロボット創成部門は、世界最強のロボット開発チームを擁し、2-(3)で述べた危機的状況を克服すべくロボット技術の高度化を推進する。前述の各運用開発チームやコンソーシアム参加企業等から提起された困難な課題を解決する新型ロボットや、後述のロボティックサイエンスの研究成果と前述の集大成を斬新なアイデアの実現に活用し具現化する先進的プロトタイプの開発を行う。

この部門は、ロボットシステム統合、ソフトウェア、デバイス、などの指導的研究者のもとに、企業、大学、研究機関から派遣された流動研究員と技術者集団、および学生インターンシップを含め、課題ごとの臨機応変なチーム編成を行う。新型ロボットに必要な新規要素技術開発に関してはコンソーシアム会員企業が協力する。

開発施設には、世界随一の高度先端共有設備を常備する。一機関では構築や保有が困難な高度先端設備やプロトタイプを国費と民間共同出資により構築・維持する。利用資格は上記のコンソーシアム参加資格に含む。設備の例：マイクロ・ナノファブ、スパコン、超高性能ロボット、ウェットラボ、総合人間計測、医療福祉実験施設、宇宙実験施設、海洋実験施設など。可動設備（ロボットプラットフォームなど）はコンソーシアム参加組織への貸与による共同利用可。

成果はオープンイノベーション部門とコンソーシアム参加企業を通して事業化につなげる。

ロボティックサイエンス研究部門は、2-(4)で述べた、知の統合としてのロボット学の世界最高峰の総合学術研究拠点となる。学際的・統合的・俯瞰的な学術体系の構築、および分析論と構成論の連携により、無限に新しい学術的フロンティアを開拓し、既存学問領域に新風を吹き込む。この試みに賛同する幅広い分野のトップ研究者を、極めて高い水準の審査を経て、常勤および流動研究者として世界中から集約し、個別に世界最高の研究を進めると同時に、常に臨機応変に融合研究を行う。幅広い分野の若手研究者にとっての憧れの研究施設となる。

未来ロボットプラザは、2-(5)で述べた教育と人材育成、および社会全体への情報発信を行う。未来ロボット・ショールームを科学未来館と連携して設置し、最新の研究成果と未来の方向性を常時動態展示し、一般の人々に体感してもらう。また、日本全国および海外の各地で、公開イベントや教育イベントを定期的で開催する。小中高、大学と連携した教育プログラムの構築と展開を推進する。また、日本ロボット学会と連携してロボット技術資格認定試験を実施し、技術者の水準の保証と人材流動性を実現する。見識と権威のあるロボットコンテストを定期開催（放送局、報道機関と連携）し、青少年の育成に寄与する。機構の広報・社会文化活動として、研究成果の公表タイミングや形態を戦略的に計画・実施し、また、ロボット活用社会に向けた世論の喚

起と新たなライフスタイルや倫理概念の提言・議論・普及も推進する。優秀なサイエンスコミュニケーター、サイエンスイベントプランナー、ロボット活用教育者、等の育成の場としても機能する。

以上の取り組み全てを国が実施することには困難もある。一部は国際的ビジネスとして展開することも有効であろう。また、ベンチャービジネスで人を育て、還流していくことも重要である。そのために、オープンイノベーションとしてグローバルに資金および人材・技術を受け入れて展開していくことが望まれる。

上述の研究機構は、人材育成の観点からもオープンとするのが重要である。固定的な人員は最小限として、大多数を流動的 personnel とすることで常に活力と柔軟性を高く維持する。また、国内外の大学、研究機関、企業との人材環流・交流を恒常的に行うことで、多彩で優秀な専門家による後進の指導、若い人材のステップアップ機会、社会人教育、優秀な人材の供給・紹介機能などが実現される。

5. おわりに

社会課題解決のためのロボット技術活用が今ほど強く求められている時はない。一方で、最近の諸外国の徹底した大規模なロボット振興策により、我が国のロボット学、ロボット技術の優位は風前の灯となっている。

本稿では、これらについての現状分析と対応策をできるだけ具体的に記述する努力をした。これらの対応策が直ちに国の主導と学界および企業の努力により実行されることが強く望まれる。

参考文献

- [1] 「提言：知の統合－社会のための科学に向けて－」, 科学者コミュニテイと知の統合委員会, 日本学術会議, 2007年3月22日.
- [2] 「日本の展望－学術からの提言」, 日本学術会議, 2010年4月5日.
- [3] 「日本の展望－理学・工学からの提言」, 日本学術会議, 2010年4月5日.
- [4] 「福島第一原子力発電所事故対策等へのロボット技術の活用について」, 東日本大震災に対応する第五次緊急提言, 日本学術会議, 2011年4月13日.
- [5] 「新成長戦略 ～「元気な日本復活」のシナリオ～」, 閣議決定, 2010年6月18日.
- [6] 「当面の科学技術政策の運営」, 総合科学技術会議, 2011年5月2日.
- [7] 「総合科学技術会議 科学技術連携施策群 次世代ロボット連携群『ロボット創造教育』シンポジウム」実施報告書, NPO 国際ロボフェスタ協会, 2007年3月.
- [8] 「ロボットの世界的リーダー目指す米国」, ウォール・ストリート・ジャーナル日本版, 2010年11月5日.
- [9] NASA Fiscal Year 2011 Budget Estimates, NASA, Feb.1, 2010.
- [10] NEDO 海外レポート NO.1072, 2011.3.30
- [11] ホワイトハウス発表, 2011.6.24,
<http://www.whitehouse.gov/the-press-office/2011/06/24/president-obama-launches-a-advanced-manufacturing-partnership>

[12] GetRobo, 2011.6.25

http://www.getrobo.com/getrobo_blog/2011/06/obama-launches-advanced-manufacturing-partnership.html

[13] 欧州委員会 FP7 ICT 研究 Web ページ

http://cordis.europa.eu/fp7/ict/cognition/automatica08_en.html

[14] ロボット創造教育シンポジウム実施報告書, NPO 国際ロボフェスタ協会, 2007.

<http://www.robofesta.org/download/20070419.pdf>

以上