

技術展望

TECHNICAL OVERVIEW

技術展望

我が国における建設用ロボットの発展経緯

THE DEVELOPMENT OF CONSTRUCTION ROBOTS IN JAPAN

齋藤喜代子*・大林成行**

Kiyoko SAITO and Shigeyuki OHBAYASHI

*学生会員 東京理科大学大学院 理工学研究科 土木工学
専攻 (〒278 東京都野田市山崎 2641)

**正会員 工博 東京理科大学教授 理工学部土木工学科

Keywords : construction robots, systematization
automation, robotization

1. ま え が き

我が国の建設分野は世界の中でも卓越した実績と超一流の技術を有していると言われている。これは、国土の立地条件に負うところが大きい、一方では、「産・学・官」の協調した努力の積み重ねの結果であることは言うまでもない。最近では、単機能を対象とした技術的な問題だけではなく、「建設マネジメント」全般にわたっての総合的な建設技術のシステム化が行われようとしている。建設省が中心になって、「建設施工現場の技術向上に関する基本方針」の基に進められている施工新技術の研究・開発（建設作業の自動化・無人化、プレハブ化、新材料の利用）がその傾向をよく現している。なかでも、メカトロニクス技術を導入した建設作業の自動化・無人化・ロボット化についての研究課題は最も注目を浴びているものの1つである。ここでは、長い年月にわたって現場を中心に考えられてきた「施工」を、新たな構造物を建設する場合だけでなく、維持管理における補修・修繕さらには更新（廃棄）のための作業を含むトータルな建設作業全体として考えている点に特徴がある。本文は、我が国における建設用ロボットについての研究・開発の発展過程を取り纏めたものである。

2. 「建設用ロボット」の揺籃期

建設分野においては、古くから、省力化・合理化を図る目的で数多くの創意工夫が行われてきた。その結果として、人的作業に代わる機械が開発・導入されて効果を発揮してきたことは周知の事柄である。すなわち、建設機械の発展経緯がそれである。しかし、それが「建設用ロボット」と言う言葉の下に具体的な研究テーマとして取り上げられるようになるのは1980年代に入ってからである^{27),30),31)}。

建設技術の自動化を目指して具体的な形で研究委員会を発足させる組織は運輸省港湾技術研究所と(社)日本産業用ロボット工業会が最初のものである。前者は、海洋という特殊な現場環境を想定した上で音波探査技術や施工検査技術のシステム化に関する研究開発について1981年から着手している^{42),63)}。また、後者では、1977年頃より、建設分野（特に建築技術の自動システム化）に注目した策定研究委員会が発足し、多くの研究成果を残している^{42)~47)}。しかし、これらの組織共に、システム化や自動化システムを目指したものであり、ロボット化が意識されるのは1983~84年以降になる。実際の研究作業を伴って、施工現場のロボット化技術を指向した最初の研究委員会は(社)日本建設機械化協会建設機械化研究所が実施した「建設機械のロボット技術応用による安全性対策に関する調査研究（1982年4月~1983年3月）」である³⁰⁾。この調査研究委員会では、山岳用トンネルを対象に、実際の工事現場を想定した上でトンネル掘削作業のプロセスについて詳細な分析を実行するとともに、作業プロセスに沿った自動化・省力化のための検討が行われている。この研究が、その後の数多くのロボット化技術の検討に少なからず影響を与えている。その前年（1981年）に、(社)日本建設機械化協会では、「産業用ロボットの現状と今後の利用分野について」、「建設業で期待するロボット技術」、「建設工事のメカトロニクス化の現状と将来」と言う名目で講演会、アンケート調査、懇談会を企画して実施している。時代のニーズを先取りしたものとして高く評価出来る。

(社)土木学会においても、常置委員会の1つである土木情報システム委員会（当時は電算機利用委員会と称する）の中に、「建設用ロボット懇談会」が生まれたのが1981年である。建設現場の安全性・省力化・合理化といったテーマについて年間数編の研究報告が散見され

た時代である。さらに、「失業対策事業の性格を持つ建設作業の自動化や建設現場へのロボットの導入は時期早尚である」、「ロボットは土木技術者が取り扱う範疇ではない」と言った概念が効力を有していた時代でもある。

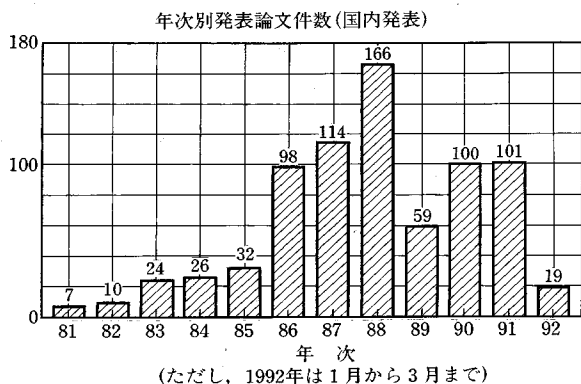
当時、真摯な技術開発への取り組みによって、「産業用ロボット」が製造業分野において急速に普及するとともに、スポット溶接、アーク溶接、塗装作業から始まって組み立てや搬送等にアプリケーションが拡大し、さらにより高度な技術を必要とする領域への取り組みを活性化させている。すなわち、産業用ロボットが製造業から非製造業に普及し始めるとともに、危険作業や苦労作業を代替することによって労働環境改善に貢献出来ることが認識されるようになった時代である。連日、マスコミが「産業用ロボット」の効用を取り上げるとともに、新聞や専門誌が産業用ロボットの特集を組み、「産業用ロボット」を冠した講演会、セミナー、展示会等に沢山の人が集まったのもこの時代である。1981年は世界的に「産業用ロボット元年」が宣告された年でもある^{(40),(41)}。

このような時代背景のもとに生まれた「建設用ロボット懇談会」は「建設用ロボット特別小委員会」を経て、1985年に「建設用ロボット委員会」として独立する。土木学会建設用ロボット委員会の最近の資料の中に、「産業隆盛と言う大きな時代の流れに支えられたとはいえ、土木学会の中で正式の研究委員会として独立・設立するために多くの困難があったことは、現在の隆盛を見るとき、大変感慨深いものがある。」と言った文章が見られる²⁷⁾。いつの時代にも、最初に道をひらくには多くの困難を伴うようである。

この時代には、「建設用ロボットの定義」、「今、何故ロボット化が必要なのか?」、「ロボット化後の雇用形態はどのように変化するのか?」、「建設業は他の製造業と何処が異なるのか?」、「ロボット化によって建設業はどのように変化するのか?」、と言ったテーマが熱心に討議されている²⁷⁾。

同じ頃、(社)日本建築学会においても、関東支部研究委員会材料施工部会の中に「施工技術のロボット化研修会(1983年10月)」が開催され、翌年(1984年)4月に同じ材料施工部会の中に「施工技術のロボット化に関する研究ワーキンググループ」が設置されている³²⁾。この時代には、「建築生産に関するロボット技術導入をめぐる諸問題」が論議され、1985年5月に(社)日本建築学会材料施工委員会作業能率分科会の中に「建築生産におけるロボット技術に関する小委員会」が設立され、「建築施工ロボットシンポジウム」を企画し、現在までに6回のシンポジウムを開催している³³⁾。

建設用ロボット委員会((社)土木学会)として活動を開始して8年、あるいは建築生産におけるロボット技術に関する小委員会((社)日本建築学会)が設置され



調査対象：基礎工¹⁾、建設機械²⁾、建設の機械化³⁾、土木技術⁴⁾、土木施工⁵⁾、トンネルと地下⁶⁾、建築技術⁷⁾、施工⁸⁾、ロボット⁹⁾
 (出)土木学会建設用ロボット委員会の資料³⁰⁾、³¹⁾に筆者らが追加・加筆して作成した。

図一 建設用ロボットに関する研究論文の年次別発表件数

て8年を経た現在、両学会ともに、後述の建設用ロボット研究連絡協議会の下で、建設用ロボットに関する国際および国内シンポジウムの企画・実行機関として、また、施工技術のシステム開発に関する研究機関としてますますその存在意義を大きくしている。

建設用ロボットは産業用ロボットと異なり、自然環境下の厳しい条件や建設技術あるいは建設作業手順の多様性のため、技術的・経済的に克服すべき課題は大変多い。あらゆる分野の総合科学として発展を始めた「施工新技術」の研究開発に関する中立的な学術研究組織として、(社)土木学会および(社)日本建築学会の両委員会は活発に研究活動を続けている。表一～表五は(社)日本建設機械化協会⁵⁷⁾、(社)土木学会^{27)~31)}、(社)日本建築学会³²⁾、³³⁾、運輸省港湾技術研究所⁶²⁾、⁶³⁾および(社)日本産業用ロボット工業会^{38)~53)}における建設用ロボットについての揺籃期から現在までの年次別活動記録である。

3. 建設用ロボットの発展期

現場でのニーズが先行すると言われ続けてきた「建設現場の安全性、省力化、施工技術のシステム化」は「建設業の生産性向上」を目指した新しい流れ(概念)の中で大きく進展することになる。ここでも、建設用ロボットの研究開発がその中心にあることは言うまでもない。図一に、我が国の学会誌や専門雑誌に発表された建設用ロボットに関する研究論文(土木系の建設用ロボットに限定)の年次別件数を示す。1980年代の中頃から急速にその数が多くなっていることが判る。すなわち、1983年にスタートした建設省総合技術開発プロジェクト(総プロ)の「エレクトロニクス利用による建設技術高度化システムの開発」(1983~1987年)の研究成果お

表一 (社) 日本建設機械化協会における建設用ロボットに関する研究活動の経緯

年 月	活動主体 (部会, 委員会)	活 動 の 内 容
S. 56. 8	・業種別部会 製造業部会・建設業部会	・講演会「産業用ロボットの現状と今後の利用分野について」開催
S. 56. 10	・業種別部会 建設業部会	・「建設業で期待するロボット技術」について部会員を対象にアンケート実施
S. 56. 11	・業種別部会 製造業部会・建設業部会	・懇談会「建設工事のメカトロニクス化の現状と将来」開催
S. 57. 4	・建設機械化研究所 (建設機械のロボット化研究委員会)	・「建設機械のロボット技術応用による安全性対策に関する調査研究 (機械工業振興補助事業)」実施
~S. 58. 3		
S. 57. 11	・施工技術部会 運営連絡会	・建設施工の自動化に関する講演会開催
S. 59. 1	・業種別部会 建設業部会	・「施工の自動化, ロボット化に関する調査」アンケートを部会員を対象に実施
~S. 59. 7		
S. 59. 4	・技術部会 自動化委員会	・新設
S. 59. 7	・業種別部会 建設業部会, リース・レンタル業部会	・懇談会「建設工事における自動化・ロボット化の現状と見通し」開催
S. 60. 1~	・技術部会 自動化委員会	・建設省総プロ「エレクトロニクス利用による建設技術高度化システムの開発」の一環として「エレクトロニクスを利用した建設機械に関するアンケート調査」を(財)国土開発技術センターより受託, 実施
S. 60. 3	・業種別部会 建設業部会, 製造業部会	・講演会開催: ①建設省における「先端技術の活用懇談会」について ②建設事業へのエレクトロニクス活用に関する研究
S. 60. 4	・技術部会 自動化委員会	・「建設機械用語」の自動化関係分について原案作成
~63. 3		・建設機械自動化関連規格の作成
S. 60. 6	・技術部会 自動化委員会	・講演会開催: ①鹿島建設のロボット開発 ②最近のセンサ技術について
S. 60. 8	・専門部会 建設機械自動化安全対策委員会	・労働省より「建設機械の自動化・ロボット化に伴う安全対策について調査研究」を受託, 同研究実施のために新設
~S. 61. 3		
S. 60. 10	・業種別部会 建設業部会	・セグメント自動組み立てロボットの見学実施
S. 60. 12	・専門部会 橋梁補修塗装自動化研究委員会	・首都高速道路公団より「橋梁塗装の自動化に関する調査研究」を受託, 実施するために新設
S. 61. 6	・技術部会 自動化委員会	・技術報告会開催: ①竹中工務店の自動化技術 ②自動制御式プレッシングクレーンシステム
S. 61. 8	・技術部会 自動化委員会 専門部会 建設機械自動化安全対策委員会	・見学会実施: 東荒川ダムの「コンクリートプラント~打設現場の生コンクリート輸送システムの無人化」
S. 61. 11	・業種別部会 製造業部会, 建設業部会	・講演会「建設の機械化, ハイテクの現状」開催
S. 62. 9	・技術部会 自動化委員会	・技術報告会開催: ①大成建設における最近の建築用ロボット ②清水建設の左官ロボット
S. 62. 12~	・技術部会 自動化委員会	・自動化建設機械のアンケート調査実施
S. 63. 3	・技術部会 自動化委員会	・自動土工機械開発の見学会実施 (建設省総プロ「エレクトロニクス利用による建設技術高度化システム」開発の一環として)
S. 63. 4	・業種別部会 製造業部会	・研究会「将来の建設ロボット開発について」開催
S. 63. 7	・業種別部会 製造業部会	・幹事会の議題として「建設工事のロボット化について」取り上げる
S. 63. 9	・技術部会 運営連絡会	・見学会実施: 宮ヶ瀬ダムの「振動ローラの自動運行システム」
H. 1. 2	・技術部会 運営連絡会, 業種別部会 製造業部会, 建設業部会	・建設ロボット講習会開催
H. 1. 12	・技術部会 自動化委員会	・見学会実施: 十王ダムの「自昇式型枠, 無人コンクリート運搬システム」
H. 1. 4	・建設機械化研究所	・本州四国連絡橋公団第一建設局垂水工事事務所より「明石海峡大橋主塔点検用ロボットの検討」を受託, 実施
H. 2. 4	・技術部会 自動化委員会	・調査, 用語, 使用環境, 試験方法の4小委員会設置 ・自動化検討会を開催
H. 2. 4	・技術部会 自動化委員会 調査小委員会	・建設機械自動化実態調査実施
H. 2. 4	・技術部会 大深度空間施工研究委員会	・新設
H. 2. 4	・建設機械化研究所	・本州四国連絡橋公団第一建設局垂水工事事務所より「明石海峡大橋主塔点検用ロボットの計画設計」を受託, 実施 ・建設省近畿地方建設局近畿地方技術事務所より「構造用塗装ロボットの開発に関する調査業務」を受託, 実施
H. 4. 3	・技術部会 自動化委員会	・試験方法, 使用環境についてのアンケート調査実施
H. 4. 7	・技術部会 自動化委員会	・技術発表会開催: 「建設ロボットの新しい視点」

表一 2 (社) 土木学会における建設用ロボットに関する研究活動の経緯

年月	委員会組織	活動状況
S. 56. 10	・第6回電算機利用シンポジウム(電算機利用委員会主催)において建設分野におけるロボット導入ニーズに関する議論が行れる	
S. 57. 5	・電算機利用委員会企画小委員会の中に建設用ロボット懇談会を設置(～S. 58. 3)	
S. 58. 4	・土木情報システム委員会の中に建設用ロボット特別小委員会を設置(～S. 59. 12)	・第1回建設用ロボットに関する技術講習会開催: 電算機利用委員会主催
S. 59. 4		・第2回建設用ロボットに関する技術講習会(山岳トンネル工事編)開催: 土木情報システム委員会主催
S. 60. 7	・建設用ロボット委員会として独立(～現在)	
S. 60. 10		・第3回建設用ロボットに関する技術講習会(都市トンネル工事編)開催: 建設用ロボット委員会主催, 以下同様
S. 60. 11	・建設用ロボット委員会の活動グループとして①土工, ②水中施工, ③躯体, の3グループを設置	
S. 61. 5		・第4回建設用ロボットに関する技術講習会(情報化施工とロボット化への展望—土工編)開催
S. 61. 11		・第5回建設用ロボットに関する技術講習会(情報化施工とロボット化への展望—水中施工編)開催
S. 62. 4		・第6回建設用ロボットに関する技術講習会(情報化施工とロボット化への展望—躯体編)開催
S. 62. 9		・「自動化・ロボット化の現状と今後の課題」報告書発行
S. 63. 4		・第7回建設用ロボットに関する技術講習会(ウォーターフロントの建設とロボット化技術)開催
H. 1. 6	・建設用ロボット委員会内に調査分科会を設置	
H. 1. 11	・活動グループとしてライフライングループを追加	
H. 2. 2		・第8回建設用ロボットに関する技術講習会(宇宙空間における建設技術の展望)開催
H. 3. 11	・活動グループを①土工, ②躯体, ③海洋, ④ライフラインの4小委員会に改組	・「建設用ロボット(自動化・ロボット化)に関する調査報告—発注者側に対するアンケート結果」報告書発行
H. 4. 1		・第9回建設用ロボットに関する技術講習会(計測の自動化技術の現状と展望)開催
		・第10回建設用ロボットに関する技術講習会(建設ロボットの現状と今後の展望)開催

よび建設大臣の諮問機関として設置された先端技術の活用懇談会(メカトロニクス懇談会)の答申(1984年, 建設省大臣官房技術調査室)に基づいた数々の施策の実施が建設分野の自動化・無人化・ロボット化の概念を大きく変えていく時代に符号している。なかでも, 先端建設技術懇談会の答申に沿って実施された, 共同研究制度の充実, 技術開発に対する税制上の優遇処置, パイロット事業の推進, (財)先端建設技術センターの設立を始めとする数々のメカトロニクス活用の推進方策は我が国における建設用ロボットの発展に大きな支えとなっている。

もちろんその間, (社)土木学会や(社)日本建築学会の委員会を始め, (社)日本建設機械化協会の「自動化委員会(技術部会)」, (社)日本産業用ロボット工業

会の「建設メカトロ化調査研究専門委員会」, (社)日本土木工業協会の「土木工事技術委員会」, 建設用ロボット研究連絡協議会, 等々の学協会においても建設作業や施工手順の省力化・合理化を目的にした数多くの研究開発やシンポジウムが実施され, 多くの影響を与えてきたことは言うまでもない。表一6, 表一7は建設省における建設用ロボットに関する研究活動の経緯を取り纏めたものである^{54)～58)}。表一8は(社)日本土木工業協会の活動記録である^{34)～36)}。

この時期はそれまでの建設現場における作業工程を単に自動化・システム化するだけのものから先端技術を導入した新しい自動化機械や施工システムを指向するといった幅広い展開が見られるようになった過渡期と位置づけることが出来る。

表-3 (社) 日本建築学会における建設用ロボットに関する研究活動の経緯

年月	委員会組織	活動情況
S. 58. 10	・関東支部研究委員会材料施工部会が「施工技術のロボット化研修会」を開催	
S. 59. 4	・関東支部研究委員会材料施工部会に施工技術のロボット化に関する研究WGを設置(～S. 60. 3)	
S. 59. 10	・日本建築学会大会研究協議会の材料施工部門テーマとして「建築生産におけるロボット技術導入をめぐる諸問題」がとりあげられる	
S. 60. 5	・日本建築学会材料施工委員会作業能率分科会に建築生産におけるロボット技術に関する小委員会を設置(～現在)	
S. 62. 2		・第1回建築施工ロボットシンポジウム開催
S. 62. 9	・建築生産におけるロボット技術に関する小委員会にロボット要素技術WG, 建築施工ロボットの適用に関するWGを設置(～H. 1. 3)	
S. 63. 2		・第2回建築施工ロボットシンポジウム(建築生産とロボット技術)開催
H. 1. 2		・第3回建築施工ロボットシンポジウム(建築生産とロボット技術)開催
H. 2. 2		・第4回建築施工ロボットシンポジウム(現場の自動化と建築施工ロボットの役割)開催
H. 3. 2		・第5回建築施工ロボットシンポジウム(コンストラクションオートメーションへのアプローチ)開催
H. 3. 4	・建築生産におけるロボット技術に関する小委員会にコンストラクションオートメーションのための建築技術に関するWG, 建築用ロボットに要求される自動化技術に関するWGを設置(～現在)	
H. 4. 1		・第6回建築施工ロボットシンポジウム(コンストラクションオートメーションと技術開発)開催

4. 建設用ロボットの更なる発展に向けて

1988年6月、数多くの困難を克服して開催された第5回建設用ロボット国際シンポジウム東京大会の冒頭において「建設用ロボット元年」が宣告されるとともに世界に向けて日本国の建設用ロボットの研究成果が公表され大変な反響を呼ぶことになる。世界における建設用ロボットの研究開発に対する新しい歩みの出発点である。第5回建設用ロボット国際シンポジウム東京大会の様子は、大会終了後に取り纏められた資料の中に詳細に記述されている¹⁹⁾。

建設用ロボット国際シンポジウムは東京大会を契機に組織化が行われ、各実共に国際シンポジウムとして確立していくことになる。また、国際建設用ロボット学会の設立に向けての活動が芽生えたのもこの時が最初である。

国際建設用ロボット学会は3年間の準備期間を経て、1991年6月、第8回大会(ドイツ)の期間中に設立・発足するとともに、それまで毎年開催されてきた建設用ロボット国際シンポジウムは国際建設用ロボット学会の下に企画・開催されることが申し合わされている。建設

用ロボットに関する研究開発の更なる新しい出発点になるものとして大きな期待がかけられている。

一方日本国内にあっては、この東京大会の成功により(社)土木学会、(社)日本建築学会、(社)日本ロボット学会、(社)日本産業用ロボット工業会と言った建設用ロボット関連団体が合同して常設の「建設用ロボット研究連絡協議会」を組織して、第1回の建設用ロボットに関する国内シンポジウムを開催したことは画期的な成果である。この研究連絡協議会は以降の建設用ロボットに関する日本国内における学術的なイベントを統一した形で毎年1回開催することを申し合わせている²⁰⁾。その後、(財)先端建設技術センター、そしてさらに1年後に(社)日本建設機械化協会が加わり6団体共催による文字どおり日本の建設用ロボットを統一した形で第2回の建設用ロボットシンポジウム(国内大会)が1991年6月東京において開催された。第1回、第2回共に大変な成功を取めたことはシンポジウムのために作成された論文集が示している^{19), 24), 25)}。そして、この建設用ロボット研究連絡協議会は1992年6月再び東京において第9回建設用ロボット国際シンポジウムを開催している。第5回の東京大会に劣らない大規模な国際シンポジウムを

表—4 運輸省港湾技術研究所における建設用ロボットに関する研究活動の経緯

研 究 項 目	実施年度
音波探査技術に関する研究	海底沈埋異常物探査に関する実験 S. 56～S. 58 海底探査システム化に関する検討 S. 59～S. 61 覆土工法における砂層探査システムの開発 S. 62～S. 63 表層軟泥土質の測定法と判定基準確立のための検討 S. 63～S. 63 超音波式潮流測定装置の開発 H. 1
施工検査技術に関する研究	水中監視技術に関する基礎実験 S. 57～S. 59 施工検査システム化に関する研究 S. 58～S. 61 水中監視装置の濁水透視に関する実験 S. 60～S. 62
構造物用作業機械および施工技術に関する研究	水中を落下する捨石群の挙動 S. 57～S. 60 水中施工機械のロボット化に関する技術的調査 S. 57～S. 58
水中調査ロボットに関する研究	六脚歩行装置の開発 S. 59～S. 60 歩行制御プログラムの開発 S. 59～S. 60 水中 TV 用マニピュレータの開発 S. 60 防水型六脚歩行装置の開発 S. 61～S. 62 歩行制御プログラムの改良開発 S. 61～S. 62 防水型水中調査ロボット実験機の改良および現地実験 S. 63～H. 2 軽量型水中調査ロボット実験機の試作 S. 63～H. 2 面走査歩行プログラムの開発 S. 63～H. 2
捨石マウンド築造の効率化に関する研究	底開式バージによる最適捨石投下プログラムの開発 S. 60～S. 63
施工管理システムに関する研究	測量における船体動揺補正システムの開発 S. 61～S. 62
施工管理用計測技術に関する研究	底開式バージによる最適捨石投下プログラムの開発 S. 63 海底掘削断面形状検測に関する実験 S. 63～H. 1 杭打施工管理システムの実験 S. 63～H. 2 海底地質調査機の開発 H. 1～ 小型水中施工計測機の開発 H. 1～ 波動を利用した地盤調査 H. 1～ 施工管理システム化調査 H. 1～
調査観測機器のロボット化に関する研究	画像処理による消波ブロック据え付け状況計測の研究 H. 1～

成功させるとともに、世界 15 ケ国から 99 編の論文を集めて膨大な論文集を残している²²⁾。図—2 は建設用ロボット研究連絡協議会の組織図である²⁶⁾。表—9 は第 1 回および第 2 回の国内建設用ロボットシンポジウムのセッション別の論文数を纏めたものである^{24), 25)}。また、表—10、表—11 は国際建設用ロボットシンポジウムの概要である。世界の動向が良く判る^{9)～18)}。

時期を同じくして、建設省でも総合技術開発プロジェクトの 1 つである「建設事業における施工新技術の開発 (1989～1994 年)」、建設技術開発会議 (建設省) の常設部会の 1 つである「施工合理化部会」の下に設けられた 3 つの専門部会、「施工合理化技術開発専門部会 (1988 年)」、「技術力向上に関する専門部会 (1989 年)」、「エキスパート育成専門部会 (1990 年)」、あるいは「機械化施工改善調査研究委員会 [建設省、(財) 先端建設技術センター] (1989 年～現在)」や「未来型建設機械開発検討委員会 [建設省、(社) 日本建設機械化協会] (1990 年～現在)」等の研究活動を通して、民間活力主導型で進められてきた研究開発を強力に支援し続けている^{56)～59)}。なかでも、建設省関東地方建設局が実施した“親

しみ易い建設機械”を目指した「チャーミー建設機械研究会 (1989～1990 年)」は建設機械の新しい方向性をすものとして多くの注目を浴びた研究会である⁶⁴⁾。

5. 世界の中の我が国の位置付け

アメリカを中心に 1950 年代から始まった産業界におけるオートメーションの時代は 1980 年代に入って FMS 時代、FA 時代といった新しいオートメーションの時代 (多様生産を目指した自動化時代) に移行していった。これらの時代において重要な役割を演じてきたの産業用ロボットである。アメリカで生まれ、日本で育たと言われる産業用ロボットは、現在、日本国がそのメカである。正式には、産業用ロボットの一部として分される建設用ロボットもその稼働例において例外ではない^{9), 40)}。

現在、建設用ロボットの実施例が日本国に集中していることから、建設用ロボットの開発は日本に源がある言われている。事実、建設用ロボットと呼ばれるもの日本で生まれ、日本で成長しつつある先端技術の 1 分であると言っても過言ではない。

表一5 (社)日本産業用ロボット工業会における建設用ロボットに関する研究活動の経緯

年 度	建設用ロボットに関する研究委員会名称	建設関連分野におけるロボットに関する研究委員会名称
昭和52年度	・中高層建築内外装組立自動化システム策定研究 専門委員会	
昭和53年度	・橋梁塗装自動化システム策定研究専門委員会 ・住宅用壁パネル製造ライン自動化モデル策定研 究専門委員会	・原子炉蒸気ドラム探傷自動化システム策定専門委員会 ・船体塗装安全自動化システム策定研究専門委員会
昭和54年度	・鉄筋組立作業労働安全システム策定研究専門委 員会	・船底の水中保守点検清掃自動化システム策定研究専門委員会 ・高圧送電線碍子清掃自動化システム策定研究専門委員会 ・炉の煉瓦張り替え作業安全自動化システム策定研究専門委員会
昭和55年度	・建築用コンクリート打込型枠のハンドリング組 立自動化モデル策定研究専門委員会	・配送物自動配転送システム策定研究専門委員会 ・配電線活線引下げ作業安全自動化システム策定研究専門委員会 ・木材エネルギー開発安全自動化システム策定研究専門委員会
昭和56年度		・採鉱切羽安全自動化システム策定研究専門委員会 ・人命救助用ロボットシステム研究開発専門委員会
昭和57年度		・消火ロボットシステム策定研究専門委員会 ・炭鉱支保建込用ロボットシステム策定研究専門委員会
昭和58年度		・採鉱ロボット・システム策定研究専門委員会 ・海上油流出防災ロボットシステム策定研究専門委員会
昭和59年度	・建設メカトロ化調査研究専門委員会	・林野火災対策ロボットシステム策定研究専門委員会 ・細脈採鉱自動システム策定研究専門委員会
昭和60年度		・海洋底熱水性鉱床採取ロボットシステム策定研究専門委員会 ・同時多発・大規模災害対策ロボットシステム策定研究専門委員 会
昭和61年度	・鉄筋コンクリート構造物老朽化診断作業安全自 動化モデル策定研究専門委員会	・防災・警備兼用多機能オフィスロボットシステム策定研究専門 委員会 ・ロボット高度知能化研究課題調査研究専門委員会
昭和62年度	・土質・地質調査自動化ロボットシステム策定研 究専門委員会	・地下街・洞道災害対策ロボットシステム策定研究専門委員会 ・下水道・自走・ごみ収集作業安全自動化モデル策定研究専門委 員会
昭和63年度	・地中構造物解体自動化システム策定研究専門委 員会	・次世代ロボット高度知能化調査研究専門委員会 ・石油貯蔵タンク消火ロボット・システム策定研究専門委員会
平成元年度	・潜地型地下空間作業自動化システム策定研究專 門委員会	・次世代ロボット調査研究専門委員会 ・先端ロボット調査研究専門委員会 ・災害弱者救済ロボットシステム策定研究専門委員会 ・マイクロロボット開発調査専門委員会 ・パーソナルロボットシステム策定研究専門委員会
平成2年度	・斜面災害救助ロボットシステム策定研究専門委 員会	・先端ロボット研究専門委員会 ・大深度地下空間災害対策ロボットシステム策定研究専門委員会 ・高層ビル火災対応用ハイブリットロボットシステム開発委員会 ・マイクロロボット研究開発動向調査専門委員会 ・パーソナルロボット長期需要予測調査専門委員会
平成3年度	・山岳地地質調査ロボットシステム策定研究専門 委員会 ・建設ロボットの技術予測専門委員会 ・建設ロボット特性機能表示測定法調査研究専門 委員会	・高層ビル火災対応用ハイブリットロボットシステム開発委員会 ・災害対応ハイパワーロボットシステム研究開発調査専門委員会
平成4年度	・建設残土処理ロボットシステム策定研究専門委 員会	

1984年アメリカにおいてスタートした建設用ロボットの国際シンポジウムも1988年6月に日本において第5回東京大会を開催することにより大きく成長し、それ以降、1989年(アメリカ)、1990年(イギリス)、1991年(ドイツ)、1982年(東京)と盛大に行われ、現在、1993年5月の第10回大会(アメリカ)に向けて準備が

進められている。

新たに設立発足した国際建設用ロボット学会の初代会長には日本の長谷川幸男氏(早稲田大学システム科学研究所教授)が選出されたことも、建設用ロボットにおける日本国のリーダーシップに期待されている1つの表れである。

表一六 建設省における建設用ロボットに関する研究活動の経緯（その1）

年度	会議、制度等	建設ロボットに関する研究開発				
		建設技術開発会議	総合技術開発プロジェクト	建設技術評価制度	官民連帯共同研究制度	その他
S. 26	・建設技術研究補助金交付制度（～S. 52）					
S. 30	・建設技術研究協議会設置					
S. 44						・無人潜函掘削機の開発（中部地建）
S. 45	・建設技術開発懇談会設置	・創設 ・省力化部会開催				・自動路面たわみ量測定車の開発（土木研究所）
S. 46	・「建設技術研究開発5箇年計画（S. 47～51）」策定	・省力化部会が「省力化に関する当面の推進項目」をとりまとめ ・企画部開催				・道路特会建設機械開発調査費新設、テーマとしてブルドーザの自動運転に関する調査試験、無人潜函工法の開発がとりあげられる
S. 47	・建設技術開発懇談会を建設技術開発会議と改称 ・総合技術開発プロジェクトの創設		創設			・治水特会建設機械開発調査費新設、テーマとしてケーブルクレーン運転の自動化がとりあげられる
S. 48	・勘国土開発技術研究センターの設立					・遠隔操作方式海底掘削機の開発（土木研究所）
S. 50		・省力化部会を施工合理化部会に改称				
S. 52	・「建設技術研究開発5箇年計画（S. 52～56）」策定 ①建設技術の合理化と省力化に関する研究開発 ②先導的基盤的科学技术の育成のための研究開発					
S. 53	・建設技術評価制度の制定			・創設		
S. 55	・共同研究制度の制定					
S. 57	・「建設技術研究開発の長期的方向」策定 ①建設業の生産性向上に関する研究開発				・省力型自記雨量計の開発	
S. 58			・エレクトロニクス利用による建設技術高度化システムの開発（～S. 62） ①土木高度化システム開発部会 ・土木要素システム分科会 ・土木要素技術分科会 ②建築高度化システム開発部会 ・建築情報処理技術開発分科会 ・建築施工自動化技術開発分科会			
S. 59	・先端技術の活用懇談会開催（S. 59. 4～59. 12） ①ニューメディア個別技術懇談会 ②メカトロニクス個別技術懇談会 ③レーザー個別技術懇談会 ④バイオテクノロジー個別技術懇談会 ⑤新素材個別技術懇談会 ⑥施工技術個別技術懇談会 ・先端技術の活用懇談会が「建設分野における先端技術活用の基本的考え型」策定				・土石流発生監視装置の開発 ・路面性状自動測定装置の開発	

表一 建設省における建設用ロボットに関する研究活動の経緯 (その2)

年度	会議, 制度等	建設ロボットに関する研究開発				
		建設技術開発会議	総合技術開発プロジェクト	建設技術評価制度	官民連帯共同研究制度	その他
S. 60	・共同研究制度実施規定の改正			・エアレーションタンク制御用溶存酸素自動計測器の開発		
S. 61	・官民連帯共同研究制度の制定 ・ニューフロンティア懇談会開催 (S. 61.9~62.5) ①宇宙専門懇談会 ②海洋専門懇談会 ③地中専門懇談会	・重点研究課題調査部会開催	・海洋利用空間の創成・保全技術の開発 (~H. 2) ①海域制御構造物開発部会 ②保全利用技術開発部会	・下水管内検査用モニター装置の開発 ・工事用車両感応式可変標識システムの開発	・創設 ・路車間情報システムの開発 (~S. 63)	
S. 62	・ニューフロンティア懇談会が「ニューフロンティア開発の展望-宇宙・海洋・地中での新たな展開」策定 ・技術活用パイロット事業創設			・ダム用自動型砕の開発 ・地すべり自動観測システムの開発		
S. 63		・地中開発専門部会設置 ・施工合理化部会に施工合理化技術開発専門部会設置 ・施工合理化技術開発専門部会が「施工合理化技術開発の基本方針」を提示	・地下空間利用技術の開発 (~H. 3) ①地下空間利用部会 ②地下空間建設技術開発部会 (土木部会) ③地下空間建設技術開発部会 (建築部会) ④地中国土情報部会		・小口径管渠掘進制御システムの開発 (~H. 2) ・衛星測量システムの建設事業への応用技術の開発 (~H. 2)	
H. 1	・最先端建設技術センターの設立	・施工合理化部会に技術力向上に関する専門部会およびエキスパート育成専門部会を設置 ・施工合理化技術開発専門部会が「施工合理化技術開発のビジョン」を提示 対策範囲: ①山岳トンネル ②シールド ③ダム ④道路舗装工 ⑤建築 ⑥土工 ⑦基礎工 ⑧コンクリート工 ⑨水中作業 ⑩掘え付け工		・加熱アスファルトプラントにおける混合物の自動粒度管理装置の開発 ・脱水汚泥用自動水分測定装置の開発	・先端技術センターに建設ロボット研究会設置	
H. 2	・特定技術活用パイロット事業創設	・施工合理化部会に建設機械のユーザー仕様高度化推進専門部会を設置 ①建設機械操作方式分科会 ②トンネル工事機械排出ガス検討分科会 ③ダム機械高度化分科会 ・技術力向上に関する専門部会が「建設工事現場の技術力向上に関する基本方針」を提示 ・エキスパート育成専門部会が「エキスパート育成の要領」を提示	・建設事業における施工新技術の開発 (~H. 6) ①建築部会 ②土木部会 ・自動化分科会: トンネル WG 基礎 WG 土工 WG ダム WG 舗装 WG ・合理化分科会: 2次製品 WG プレキャスト型枠 WG ・標準化分科会: 鉄筋コンクリート WG	・降雪量, 雪質自動計測器の開発 ・シールドトンネル掘削機の姿勢制御システムの開発		
H. 3					・地図情報の自動認識システムの開発 (~H. 5) ①自動認識分科会 ②簡易更新分科会	

表—8 (社)日本土木工業協会における建設用ロボットに関する研究活動の経緯

年 月	活 動 状 況
S. 60. 5	・土木工事技術委員会に建設ロボット検討 W. G. を設置、建設ロボットへの取組みについて検討を開始する。
S. 60. 6	・土工協の建設ロボットへの取組みについて合意がなされる。
S. 60. 8	・土木工事技術委員会に危険・苦渋作業ロボット専門部会および建設工事ロボット化ビジョン専門部会を設置し、活動を開始する。
S. 63. 3	①危険・苦渋作業ロボット専門部会が「山岳トンネル工事の自動化・ロボット化」を対象に検討を開始する。
	②建設工事ロボット化ビジョン専門部会が「大深度シールド工法のロボット化」を対象に検討を開始する。
	・危険・苦渋作業ロボット専門部会が報告書の取りまとめを行い、専門部会としての活動を終了する。
	・建設工事ロボット化ビジョン専門部会が報告書の取りまとめを行う。建設工事ロボット化ビジョン専門部会は引き続き「大深度・超大断面シールド工法の技術開発の検討」をテーマに活動を行う（平成4年3月現在活動継続中）。

表—9 建設ロボットシンポジウムのセッション別発表論文件数

回 数	セ ッ シ ョ ン 名		論文数
第1回 1990年 6月25日～27日	1	建設ロボット開発の現状と環境整備&ロボット化のアプローチ	5
	2	建設ロボットの要素技術	11
	3	工事管理技術	8
	4	建設工事のためのロボット開発と事例（建築施工）	5
	5	建設工事のためのロボット開発と事例（シールドトンネル）	7
	6	建設工事のためのロボット開発と事例（山岳トンネル、コンクリート施工、水中施工、等）	5
	7	建設工事のためのロボット開発と事例（その他）	6
第2回 1991年 6月2～4日	1	建設ロボットの要素技術	6
	2	工事計測・管理技術	5
	3	建設ロボットの開発と施工のシステム化	4
	4	建設工事のためのロボット開発と事例（建築施工）	4
	5	建設工事のためのロボット開発と事例（シールドトンネル）	5
	6	建設工事のためのロボット開発と事例（山岳トンネル、推進工法）	6
	7	建設工事のためのロボット開発と事例（大型地下構造物）	4
	8	建設工事のためのロボット開発と事例（建設機械）	4
	9	建設工事のためのロボット開発と事例（水中施工）	6
	10	建設工事のためのロボット開発と事例（土木施工）	5

国際建設用ロボットシンポジウムに参加した国、論文数、テクニカルセッション、等の内容（表—10、表—11参照）を見るまでもなく、建設用ロボットについては、実用機はもとより試作機においても、日本以外の国（企業や大学の研究室）で実際に建設作業を目的として作られた例は非常に少ない。

建設用ロボットに関する技術研究開発の報告や研究論文は日本国と日本国以外の国々ではその基本的な方向に微妙な違いが見られる。具体的には、日本国からの報告や研究論文は殆どが試作システムの試験結果や新しい建設用ロボットのメカトロニクスについて言及したものであるのに対し、日本以外の国からは建設用ロボットの必然性に関する社会的立場からの検討や人工知能等の先進技術を総合して建設生産システムの向上を図ろうとする

立場からの主張や研究事例が主流を占めている。この違いは建設用ロボットの研究開発が始まった時からの傾向である^{9)～18)}。そして、この傾向は今後もしばらくは継続していくであろうと言われている。

6. 今後の課題

世界に先がけて先端技術を導入した新しい自動化機械や施工システムを積極的に指向している日本国の技術動向が世界の多くの国々に波及していくであろうことは想像に難くない。世界的視野に立った建設用ロボットの当面の課題には、大別して、技術開発成果の水平展開と要素技術についての研究開発の2つがある。

前者は、日本国内で開発され、効果の実証された自動化機械や施工システムが日本国以外の建設現場におい

表一10 国際建設用ロボットシンポジウム概要 (第1回~第6回)

国際会議名称	開催場所	開催日程	発表論文数	参加人数	主なプログラム主題 ()内は論文数
Robotics in Construction Conference 建設ロボットの国際会議	アメリカ, ピッツバーグ, カーネギーメロン大学	1984年 6月18~20日	13編 アメリカ 8 日本 3 フィンランド 1 スウェーデン 1	69+a (学生, 他) 名 アメリカ 58 日本 7 西ドイツ 1 カナダ 1 フィンランド 1 スウェーデン 1	1. 建設ロボット用センシングと移動制御(2) 2. 劣悪環境下作業用ロボット(2) 3. 建築用ロボット(3) 4. 土木用ロボット(4) 5. 建設ロボット化におけるエキスパートシステムの役割(2)
2th Robotics in Construction Conference 第2回建設ロボットの国際会議	アメリカ, ピッツバーグ, カーネギーメロン大学	1985年 6月24~26日	19編 アメリカ 15 日本 2 西ドイツ 2	55+a (学生, 他) 名 アメリカ 48 西ドイツ 3 日本 2 フランス 1 ノルウェー 1	1. 採掘, 移動, 資材搬送作業用ロボット(4) 2. ロボット用センシング, マニピュレーションと制御(5) 3. ロボットシステム計画とロボット動作シミュレーション(5) 4. 建設システム分析(5)
International Joint Conference on CAD and Robotics in Architecture and Construction CAD, 建築施工ロボット合同国際会議	フランス, マルセイユ, 国立国際ロボット人工知能研究センター	1986年 6月26~27日	22編 アメリカ 7 日本 5 フランス 5 西ドイツ 2 イギリス 2 シンガポール 1 (他にCAD関係26)	約250名 (ロボット関係約110) (CAD関係約140) フランス 169 アメリカ 9 イギリス 7 日本 6 イタリア 5 スペイン 4 ベルギー 3 西ドイツ 2 アルジェリア 2 フィンランド 1 イスラエル 1 カナダ 1 ノルウェー 1	1. 建設ロボットの仕様設定に伴う問題(10) 2. ロボットの適用環境モデル(3) 3. 移動ロボット(3) 4. 建築ロボットの適用事例(7) (CAD関係は省略)
4th International Symposium on Robotics and Artificial Intelligence in Building Construction 第4回建築用ロボットおよびAI国際シンポジウム	イスラエル, ハイファ, ダン・パノラマホテル	1987年 6月23~25日	55編 アメリカ 22 イスラエル 9 イギリス 5 フランス 5 フィンランド 4 日本 2 西ドイツ 2 ニュージーランド 2 ハンガリー 1 オランダ 1 ポーランド 1 フランス+イギリス 1 (他にCAD関係26)	約250名 (ロボット関係約110) (CAD関係約140) フランス 169 アメリカ 9 イギリス 7 日本 6 イタリア 5 スペイン 4 ベルギー 3 西ドイツ 2 アルジェリア 2 フィンランド 1 イスラエル 1 カナダ 1 ノルウェー 1	1. 建設ロボットの研究開発(13) 2. 建築施工に適用可能なロボットシステム(5) 3. ロボット化施工のための計画(4) 4. 自動建設施工システム(8) 5. 施工計画のためのエキスパートシステム(10) 6. 建設施工における知識ベース技術(5) 7. 建築土木工事におけるエキスパートシステムの問題点(10) (CAD関係は省略)
5th International Symposium on Robotics in Construction (ISRC) 第5回国際建設ロボットシンポジウム	日本, 東京, 京王プラザホテル	1988年 6月6~8日	110編 日本 65 アメリカ 17 イギリス 7 フランス 7 西ドイツ 3 イスラエル 2 フィンランド 2 スウェーデン 1 オーストラリア 1 カナダ 1 中国 1 デンマーク 1	468名 日本 387 アメリカ 21 スウェーデン 16 フランス 12 フィンランド 8 デンマーク 7 西ドイツ 4 シンガポール 4 イギリス 3 リヒテンシュタイン 2 イスラエル 1 カナダ 1 中国 1 パプアニューギニア 1	1. 建設ロボットのニーズと可能性(5) 2. ロボット化施工のための設計技術(5) 3. 建設工事におけるロボット技術(15) 4. 建設ロボットの調査および動向(4) 5. 移動ロボットおよびナビゲーションシステム(10) 6. 工事管理システム(4) 7. 建設におけるエキスパートシステム(7) 8. ロボット制御システム(10) 9. ロボット技術 ①コンクリート工事(4) ②マテリアルハンドリング(5) ③土工事および基礎工事(4) ④検査およびメンテナンス(10) ⑤トンネル工事(9)
6th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC) 第6回国際建設自動化ロボット化シンポジウム	アメリカ, サンフランシスコ, ハイアットホテル〜リージェンシー〜バーリガム	1989年 6月6~8日	72編 アメリカ 29 日本 22 (アメリカとの共同1編を含む) イギリス 5 フランス 4 フィンランド 3 (ノルウェーとの共同1編を含む) 西ドイツ 3 カナダ 2 イスラエル 2 オランダ 1 シンガポール 1	約300名(15ヶ国) 日本からは約50名が参加	1. 建設工事自動化の概念(4) 2. システム評価に関する理論的研究(8) 3. 工事管理に関する理論的研究(10) 4. シミュレーションを用いた理論的研究(5) 5. ロボットのための周辺環境およびAI(5) 6. 自動化のための設計(5) 7. ロボットのハードウェアおよび制御(5) 8. 適用例 ①土木工事およびトンネル工事(5) ②配管工事(5) ③危険な環境下工事(5) ④コンクリート工事(5) ⑤一般建設作業(5) ⑥誘導および位置決め自動化(5)

表—11 国際建設用ロボットシンポジウム概要（第7回～第9回）

国際会議名称	開催場所	開催日程	発表論文数	参加人数	主なプログラム主題 ()内は論文数
7th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC) 第7回国際建設自動化ロボット化シンポジウム	イギリス, ブリストル, ブリストル工科大学	1990年 6月5～7日	81編 イギリス 25 アメリカ 18 日本 17 フランス 7 ソ連 4 フィンランド 2 シンガポール 2 オランダ 1 西ドイツ 1 オーストラリア 1 イスラエル 1 カナダ 1 ナイジェリア 1	約190名(18ヶ国) 日本からは46名が参加	1. 自動化・ロボット化の建設現場への適用(11) 2. 建築施工システムのための工業製品およびプレファブリケーション(8) 3. ロボット化の適用(8) ①トンネル工事 ②マテリアルハンドリング ③資材搬送 ④原子力発電所作業 ⑤配管工事 ⑥海中作業 4. ロボット化のための設計およびCAD/CAM(7) 5. 工事計画・管理のためのエキスパートシステム(10) 6. AI, シミュレーション, および建設ロボットの制御(12) 7. 労働者, 管理者間の管理を含んだ工事管理および将来の傾向(14) 8. 建設ロボットの市場および経済性(11)
8th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC) 第8回国際建設ロボットシンポジウム	ドイツ, シュツットガルト, メッセシュツットガルト会場	1991年 6月3～5日	100編 ドイツ 34 日本 22 アメリカ 6 イギリス 4 ポーランド 4 フィンランド 3 フランス 3 ソ連 2 オーストラリア 2 イスラエル 2 カナダ 2 スイス 1 ハンガリー 1 ベルギー 1 デンマーク 1 オランダ 1	約400名(24ヶ国) 日本からは52名が参加	1. コンクリートおよび鉄筋鉄骨工事への適用(3) 2. 土工事における自動化(6) 3. 道路建設工事への適用(3) 4. ウォータージェットの適用(4) 5. トンネル工事における自動化(9) 6. 石工の自動化(6) 7. 建設ロボットの市場および経済性(4) 8. 建設ロボットに対する公的資金援助(3) 9. 建設ロボットの社会的側面(3) 10. エキスパートシステム(6) 11. 品質管理(3) 12. コンピュータシミュレーション(3) 13. ロボットの指令および制御(3) 14. ハンドリングおよびハンドリングシステム(11) 15. 建設ロボットの要素技術(10) 16. 建設関連分野における自動化(9)
9th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC) 第9回国際建設ロボットシンポジウム	日本, 東京, 経団連会館	1992年 6月3～5日	99編 日本 58 (アメリカとの共同4編を含む) アメリカ 16 (イスラエルとの共同1編を含む) イギリス 10 ドイツ 2 ロシア 2 イスラエル 1 イタリア 1 フランス 2 ハンガリー 1 オーストラリア 1 チェコスロバキア 1 デンマーク 1 オランダ 1 スウェーデン 1 中国 1	約500名 海外 約60名 国内 約440名	1. ロボット化施工における計画・管理技術(32) ①ロボット化の方向と展望(7) ②ロボット化のための条件(5) ③ロボットシステムの評価(5) ④建設をめぐる情報(4) ⑤工事の計画・管理(6) ⑥システムシミュレーション(5) 2. 建設ロボットの要素技術(24) ①マン・マシン(4) ②センシング技術(3) ③マニピュレータ(4) ④ロボットの制御(5) ⑤移動機械(8) 3. 工事現場における建設ロボットの適用例(43) ①道路等(5) ②山岳トンネル工事(4) ③都市トンネル工事(10) ④掘削工事(5) ⑤地下・水中工事(5) ⑥橋体工事(6) ⑦仕上げ工事(4) ⑧検査・メンテナンス等(4)

て、工期の短縮、施工精度の向上、安全性の確保を図る目的で導入されていくことである。これまでも、民間の建設会社を中心に、自らの建設現場を導入する形で行われてきた。しかし、これらの技術やシステムは、あくまで我が国の施工現場を対象に開発されたものが多く、施工環境が異なる場所での適用には解決していかなければならない問題が数多く報告されている。国際協調による研究開発も含めて早急に対応していかなければな

らない課題の1つである。

一方後者は、さらに高度で多機能な建設用ロボットの開発に向けて先端技術の導入あるいは要素技術の積極的な開発を行っていくとするものである。建設用ロボットが目指すものは自らの環境認識が出来る知能ロボットであり、実現するまでには極めて多くの、そして難度の高い要素技術の開発が必要である。知能ロボットの実現には、多くの国々を通じて、建設分野の人達だけでなく、

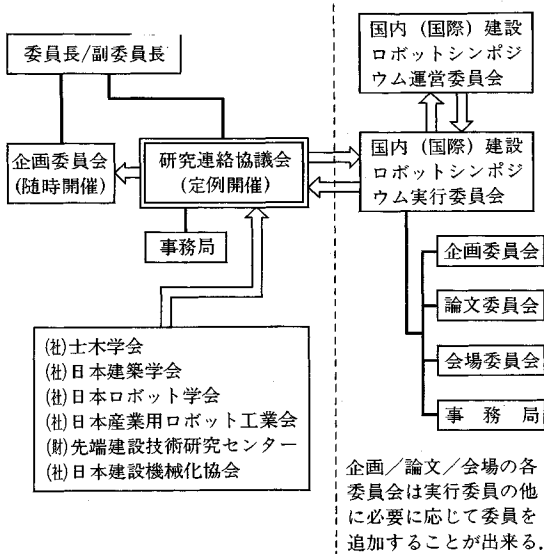


図-2 建設用ロボット研究連絡協議会組織図²⁶⁾

広く学際的な技術情報の交流が不可欠になってくる。言うまでもなく、建設用ロボットの研究開発には多額の投資が必要となる。(社)土木学会のニーズ調査の結果を見るまでもなく、実際の開発業務を担当している者たちが一様に頭を悩ませているものが開発投資額の回収である。重複した研究開発を出来るだけ避け、効率の良い成果が得られるような体制作りについて関係者が英知を出し合う時代に直面している^{30),31)}。

あらゆるものが地球的規模で展開するようになってきた現在、施工技術の国際化についても避けて通れない時代になってきた。これまでに蓄積された技術力でもって世界に貢献出来る絶好の機会であるとともに、建設産業が社会基盤を整備する重要な産業分野であることを多くの国民が理解してくれるとともに若者が好んで指向する新しい建設分野をアピール出来る千載一遇の機会でもある。

7. あとがき

建設用ロボットの名を冠した講演会や展示会に多くの人達が押し寄せた1980年代初期のトピックス的な熱気はすでに無い。しかし、現在は多くの試行錯誤を経て、現実のニーズに立脚した研究開発が幅広く行われるようになってきた。

上述したように、建設用ロボットに関して社会的環境や研究開発の成果については10年前とは質・量ともに比較にならないまでに成長している。僅か10年に満たない技術の発展がこれほどまでに進展した例はあまり多くない。建設作業が対象とする領域も地中(大深度地下空間)、海中、宇宙と果てし無く広がろうとしている。好むと好まざるにかかわらず建設作業のロボット化の実

現は建設産業が生き残っていくための条件になるのかも知れない。

現在、「建設用ロボット」という言葉の表現法に定まった方式はない。本文中では(社)土木学会で用いている「建設用ロボット」で統一することとし、参考文献や図表では原著で用いられている言葉を尊重することとした。

最後に、本文は列挙した数多くの文献を参考に作成した。膨大な内容を制限された字数の中に纏めたことから誤解を招く箇所があるかも知れない。記述違いや説明不足の部分があれば、それらは著者らの浅学の故であります。参考文献をご提供いただいた多くの方々へ感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 基礎工, Vol. 9, No.1~Vol.20, No.3, 1981.1~1992.3.
- 2) 建設機械, Vol. 18, No.1~Vol.29, No.3, 1981.1~1992.3.
- 3) 建設の機械化, No.370~No.505, 1981.1~1992.3.
- 4) 土木技術, Vol. 35, No.1~Vol.46, No.3, 1981.1~1992.3.
- 5) 土木施工, Vol. 22, No.1~Vol.33, No.3, 1981.1~1992.3.
- 6) トンネルと地下, Vol.12, No.1~Vol.23, No.3, 1981.1~1992.3.
- 7) 建築技術, No.345~No.480, 1981.1~1992.3.
- 8) 施工, No.170~No.305, 1981.1~1992.3.
- 9) ロボット, No.30~No.85, 1981.1~1992.3.
- 10) The Robotics Institute Carnegie-Mellon University: Proceedings of a Workshop Conference "Robotics in Construction", 1984.6.
- 11) The Robotics Institute Carnegie-Mellon University: Proceedings of the Second Conference on Robotics in Construction, 1985.6.
- 12) IIRIAM: Proceedings of the International Joint Conference "CAD and Robotics in Architecture and Construction", 1986.6.
- 13) Technion-Israel Institute of Technology: Proceedings of the Fourth Symposium on Robotics and Artificial Intelligence in Building Construction, 1987.6.
- 14) JSCE, AIJ, RSJ, JIRA: Proceedings of the 5th International Symposium on Robotics in Construction, 1988.6.
- 15) The Construction Industry Institute: Proceedings of the 6th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 1989.6.
- 16) Bristol Polytechnic: Proceedings of the 7th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 1990.6.
- 17) IAARC: Proceedings of the 8th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 1991.6.
- 18) IAARC: Proceedings of the 9th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 1992.6.
- 19) 建設ロボット研究連絡協議会: 第5回国際建設ロボットシンポジウム結果報告書, 1988.7.
- 20) (社)日本産業用ロボット工業会: 訪英建設ロボット技術調査団調査報告書, 1990.9.
- 21) (社)日本産業用ロボット工業会: 第2次訪欧建設ロボ

- ト技術調査団調査報告書（第8回国際建設ロボットシンポジウム），1991.9.
- 22) (社) 日本産業用ロボット工業会：第9回国際建設ロボットシンポジウム結果報告書，1992.7.
- 23) 大林成行，吉田哲二：特集 建設工事のロボット化—海外の現状と動向，JACIC 情報第15号，Vol.4，No.3，pp.42～45，1989.7.
- 24) 建設ロボット研究連絡協議会：第1回建設ロボットシンポジウム論文集，1990.6.
- 25) 建設ロボット研究連絡協議会：第2回建設ロボットシンポジウム論文集，1991.7.
- 26) 建設ロボット研究連絡協議会：建設ロボット研究連絡協議会規約，1988.2（1992.7一部改定）.
- 27) (社) 土木学会建設用ロボット委員会：第1回～第10回建設用ロボットに関する技術講習会テキスト，1983.3～1992.1.
- 28) (社) 土木学会建設用ロボット委員会：土木学会建設用ロボット委員会議事記録，1990.7.
- 29) (社) 土木学会：学会記事—各種委員会報告・行事等報告，土木学会誌，Vol.66，No.4～Vol.77，No.3，1981.4～1992.3.
- 30) (社) 土木学会建設用ロボット委員会：自動化・ロボット化の現状と今後の課題，1987.9.
- 31) (社) 土木学会建設用ロボット委員会：建設用ロボット（自動化・ロボット化）に関する調査報告，1989.7.
- 32) (社) 日本建築学会：本会記事—委員会報告，建築雑誌，Vol.98～107，1983.4～1992.7.
- 33) (社) 日本建築学会材料施工委員会：建築施工ロボットシンポジウム資料（第1回～第6回），1987.2～1992.1.
- 34) (社) 日本土木工業協会：協会の動き，建設業界，Vol.34，No.4～Vol.41，No.3，1985.4～1992.6.
- 35) 佐川嘉胤：大深度シールド工法のロボット化について（土工協土木工事技術委員会報告書を中心に），第7回建設用ロボットに関する技術講習会テキスト，（社）土木学会建設用ロボット委員会，pp.9～19，1988.4.
- 36) (社) 日本土木工業協会土木工事技術委員会：危険・苦渋作業のロボット化（山岳トンネル工事の自動化・ロボット化）報告書，1988.3.
- 37) (社) 日本建設機械化協会：（社）日本建設機械化協会の事業活動—各部会・専門部会・建設機械化協会の動き，各年5月号，1981.5～1992.5.
- 38) (社) 日本産業用ロボット工業会：特集—事業報告，ロボット，（各年1回），1978～1992.
- 39) (社) 日本産業用ロボット工業会：10年のあゆみ，1982.10.
- 40) (社) 日本産業用ロボット工業会：20年のあゆみ，1992.10.
- 41) (財) 日本経済教育センター：産業グラフ，No.151（わが国のロボット），1990.
- 42) (社) 日本産業用ロボット工業会：中高層建築内外装組立自動化システム策定研究報告書，1978.3.
- 43) (社) 日本産業用ロボット工業会：橋梁塗装自動化システム策定研究報告書，1978.3.
- 44) (社) 日本産業用ロボット工業会：住宅用壁パネル製造安全自動化策定研究報告書，1979.3.
- 45) (社) 日本産業用ロボット工業会：鉄筋組立作業労働安全システム策定研究報告書，1980.3.
- 46) (社) 日本産業用ロボット工業会：建築用コンクリート打ち込み型枠のハンドリング組立自動化モデル策定研究報告書，1981.3.
- 47) (社) 日本産業用ロボット工業会：建設メカトロ化調査研究報告書，1985.6.
- 48) (社) 日本産業用ロボット工業会：鉄筋コンクリート構造物老朽化診断作業安全自動化モデル策定研究報告書，1987.6.
- 49) (社) 日本産業用ロボット工業会：土質・地質調査（地表）自動化ロボットシステム策定研究報告書，1988.3.
- 50) (社) 日本産業用ロボット工業会：地中構造物解体自動化システム策定研究報告書，1989.3.
- 51) (社) 日本産業用ロボット工業会：潜地型地下空間作業自動化ロボットシステム策定研究報告書，1990.3.
- 52) (社) 日本産業用ロボット工業会：斜面災害救助ロボットシステム策定研究報告書，1991.3.
- 53) (社) 日本産業用ロボット工業会：山岳地質調査ロボットシステム策定研究報告書，1992.5.
- 54) 建設省：建設白書，昭和51年度版～平成4年度版，1976.7～1992.8.
- 55) 建設省土木研究所：土木研究所年報（昭和55年度版～平成2年度版），1981～1991.
- 56) 建設省大臣官房技術調査室：建設省における研究開発制度，JACIC 情報第2号，Vol.1，No.2，pp.40～44，1986.4.
- 57) 増岡康治，北野 章，岩井國臣，豊田高志：鼎談—建設省の技術開発を振り返って，JACIC 情報第6号，Vol.2，No.2，pp.2～20，1987.4.
- 58) 後藤勇：特集 建設工事のロボット化—建設技術開発会議施工合理化部会専門部会の設置と今後の活動について，JACIC 情報第15号，Vol.4，No.3，pp.18～21，1989.7.
- 59) 塚田幸広：特集 建設工事のロボット化—建設省総合技術開発プロジェクト—産・官・学の技術結集による施工合理化の研究開発，JACIC 情報第15号，Vol.4，No.3，pp.46～49，1989.7.
- 60) 小宮山克治：特集 建設工事のロボット化—先端建設技術センター，JACIC 情報第15号，Vol.4，No.3，pp.50～53，1989.7.
- 61) (社) 日本産業用ロボット工業会：資料編8—ロボットのナショナルプロジェクト，産業用ロボット・ハンドブック（1992年版），pp.961～970，1993.10.
- 62) 運輸省港湾技術研究所：運輸省港湾技術研究所二十年史，1982.4.
- 63) 運輸省港湾技術研究所：港湾技術研究所年報（昭和55年～平成2年度），1981～1993.
- 64) 建設省関東地方建設局，（財）先端建設技術センター：建設機械の高度化検討業務委託報告書，1990.3.
（1993.1.18受付）