



ロボット技術 特集

建設分野へのロボット導入の課題と将来展望

嘉納 成男

産業用ロボットが実用化されるまでには50年を要している。建設ロボットについては、その研究開始から約25年が経過し全面的な実用化まであと少しの忍耐が必要なときに来ている。建設ロボットに関する研究・開発は、日本における建設技術のブレイクスルーとして期待されているものの、建設需要の低迷によってややもすると活発な開発が滞る状況にある。

本報文では、建設ロボット研究の起こりと現状を紹介し、建設ロボットが今後果たす役割を述べ、その新しい可能性を見出し、建設需要の活性化へ繋がる期待を示した。さらに、建設ロボット研究連絡協議会が開催している建設シンポジウムについて内容を紹介している。

キーワード：建設ロボット、建設産業、将来展望、建設ロボット研究連絡協議会

1. はじめに

日本において、建設ロボットの研究・開発が活発化したのは、1980年に入った頃である。当時は、まだ、建設産業は需要が伸び悩んでいた時代ではあったが、建設ロボットを将来の建設産業における基盤技術として位置付け、研究開発が積極的に進められるようになった。その後、バブル経済による急激な建設需要の増大に遭遇し、労働力不足への対応と更なる生産性の向上が緊急な課題となり、盛んに建設ロボット開発が行われた。

この時代に建設ロボット開発の最前線で研究・開発・試行などを推進してきたのは、総合工事業や建設機械メーカーであったが、現在その研究開発の活動はややもすると停滞し勝ちである。建設産業における需要の低迷は、労働力不足の緩和や労働賃金の低下によって、建設ロボットの導入の必要性が薄れて来たことと、採算面に対する優位性が崩れて来たことに原因する。このような背景から、現在、建設ロボットに係わる研究開発への積極性が損なわれつつある。

しかし、この技術開発の遅れは、今後の建設産業の国際化や市場ボーダレス時代において、日本が建設生産における生産技術の面で大きな遅れを取る危険性は極めて高いと言わざるを得ない。建設産業は、日本の経済・社会の基盤を構築する重要な産業ではあるものの、その野外作業の多さや、重量物の搬送・取り付け、

高所作業など安全上の問題、更には就業の不安定さなどの多くの課題を抱えている。

日本の人口が減少に向かう2000年代において、上記の建設産業が抱える問題は建設産業への就業の魅力が低減させ、建設産業における労働力の絶対的不足を誘発することは明らかであり、建設ロボットの技術開発は長期的な視点を持って当たることが必要である。

2. 建設ロボットへの道

(1) 産業用ロボットの研究開発と実用化

ロボットと言う単語は、1920年にカレル・チャペックが名付けたと言われ、その後1950年にアイザック・アシモフは、有名なロボットの三原則を提唱し、人間社会において将来ロボットが果たす役割の大きさと開発における課題について明確に提示している。

産業用ロボットとしての開発の動きは、米国のGeorge C. Devolが1954年に出したProgrammed Article Transferの特許である。この特許に基づいて1950年代後半から米国の各社がプレイバック方式の産業用ロボットを開発し、その実用面についての可能性を見出している。さらに、その後も積極的に開発及び実用化が進められ、1970年代には産業用ロボットとしての不動の地位を築くまでになっている。

カレル・チャペックがロボットの名付け親になって50年後の1970年には、産業におけるロボットの実用化の目処が付いたと言える。そして、更なる30年後

の今日、ロボットは産業上重要な働き手にまで成長し、ロボットの存在なしには日本の製造業は成立しないところまで来ている。ボーダレス経済の国際社会において、日本の製造業は労働者の技能とロボットを融合させ、高度な製品を高精度、高生産性、高品質で生産し国際的な価格競争に打ち勝って来た。

(2) 建設ロボットの研究開発と実用化

建設ロボットに対する研究の芽生えは、産業用ロボットの実用化の動きが本格化した1970年代の後半である。

日本産業用ロボット工業会（現、日本ロボット工業会）では、建設ロボットの研究がまだ広く進められていなかった1977年から1980年代の間において、学術関係者、建設関係者や建設機械メーカーの人々を中心に研究会を構成し、表一に示すごとく、内外装塗装、住宅用壁パネル、鉄筋組立、型枠組立などについての先進的な研究プロジェクトを数多く立ち上げている。

これらの研究に携わった人々は、その後、企業や学会における建設ロボット研究の中心的役割を果たし、研究開発の推進に大きな影響を与えた。また、日本産業用ロボット工業会はその後、建設ロボットシンポジウムの事務局となるなど、建設ロボットの研究・普及に大きな役割を果たしている。

表一 日本産業用ロボット工業会における建設に関連するロボット研究（1977年度から1981年度まで）

年度	研究 題 目
1977	・橋梁鉄塔塗装自動化システム策定研究 ・中高層建築の内外装組立の自動化システム作成研究 ・高層外壁面の清掃自動化システムの策定研究
1978	・住宅用壁パネル製造ライン自動化モデルの作成研究
1979	・鉄筋組立作業労働安全システム策定研究
1980	・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
1981	・大型タンク類自動組立・溶接・塗装システム策定研究

1980年代からは、総合工事業や建設機械メーカーを中心に建設ロボットに対する研究開発が本格的に開始され、積極的な研究が続けられるようになる。1982年には建設企業や建設機械メーカーの賛同を得て、早稲田大学においてWASCOR研究プロジェクトが長谷川幸男教授によって立上げられている。

また、1983年には、建設省総プロ事業として、「エレクトロニクスを利用した建設技術高度化システムの開発」の研究プロジェクトが立ち上がり、国レベルの研究テーマとしての取り組みが始まった。そして、数多くの技術者、研究者が、建設ロボットに関わる研究、

開発、試験、適用に携わるようになった。

この流れは、バブル経済による労働者不足の状況に後押しされる形で、多くの工事現場で積極的に建設ロボットが採用され、その実用化に向けた研究が加速された。この間に多くの建設ロボットが開発され、建設ロボットの実用化の可能性を検証するに十分な成果を上げている。

さらに、この間、日本建築学会及び土木学会において、建設ロボットの研究促進を目的として委員会が設立されている。これらの委員会においてシンポジウム、研究会、講習会が積極的に進められ、日本における建設ロボット研究の促進に大きな弾みが付くことになった。また、これらの組織は、他の諸団体を含めて、1988年には後節で示す建設ロボット研究連絡協議会を共同で発足させ、関連機関の交流を続けている。

1980年から今日までの20年間において、どのような建設ロボットが開発されて来たかを見ると興味深い。

建築分野においては、労働者不足を背景として、ブームを利用したコンクリート打設ロボット、床ならしロボット、鉄筋の配筋ロボットなど躯体工事に関わるものが多く開発された。また、高所作業における労働災害の撲滅に対応して、外装取り付けロボット、鉄骨建て方ロボットが開発された。

さらに、内装工事において、天井仕上げロボット、左官ロボット、タイル張りロボットなど、仕上工程へのロボット化の試みも多くなされた。また、ビル全体をロボット化の対象としたビル自動化施工のシステムも生まれ、建設各社が建物上部に自動建設装置を載せて施工する自動化施工システムを挙げて実用化している。

建物の維持メンテナンスに関わる分野として、検査ロボットとして、外壁タイル検査ロボット、クリーンルーム検査ロボット、外壁塗装ロボット、外壁塗装はつりロボット、外装清掃ロボットなども開発された。

土木分野においては、トンネルの分野では既に機械化が果たされていたため、そのセグメントの取り付けや掘削の制御に関するロボットの開発がさらに進められた。また、広大な敷地造成における掘削重機の制御をロボット化するなど、またGPSを使用した精度管理などへのロボット化が積極的に進められている。さらに、橋梁塗装ロボット、検査ロボット、などの開発も行われた。

さらに、雲仙・普賢岳における火砕流の災害発生に対応して、無人化施工の重要性の認識が高まり、重機の遠隔操作や自動認識など、重機のロボット化に関する開発ならびにその適用が雲仙・普賢岳において行わ

れ、大きな成果を上げている。

3. 建設産業の課題

建設ロボット開発の華々しい歴史は、建設不況期からの日本経済の急速な発展に支えられて来た側面が大きい。このため、今日のごとく、建設需要が長期間低迷し、さらに将来展望がいまだ見えない段階において、建設産業が、建設ロボットの技術開発とその展開について消極的にならざるを得ない状況にある。

しかし、建設産業の今日の問題を解決するためにも、建設ロボット技術の開発は是非とも必要である。

建設産業が抱える問題は、社会のニーズと建設活動の遊離による需要の減少である。人々から新しく建設物を造る意欲が沸いてこない現状にある。いわゆる、ストック社会の到来である。なぜ、建設がストック社会に到達してしまったのは、非常に興味深いものがある。

建設活動をめぐる社会の目は変わってきた。戦後一貫して、建設産業は、経済成長を支えるインフラストラクチャの改善、住生活・都市活動の改善に大きく貢献し、人々もこれを謳歌して今日を迎えている。しかし、この間に、建設活動と社会ニーズとの温度差は大きくなってきたと言える。建設需要の低迷は、日本経済の停滞によってより顕在化しているものの、その本質は社会ニーズの変化が引き起こしている結果であると言える。

以下に、社会の建設産業に対する意識の変化として現れている主な事象を示す。

- ① 環境問題、資源問題、廃棄物問題から派生する建設物の安易な解体、建て替えに対する問題意識
- ② 少子化、人口の低減傾向に起因する諸施設の余り現象
- ③ 日本経済の低迷に起因する将来指向型の先行投資に対する消極的姿勢
- ④ 建設産業における供給能力過剰による買い手市場への移行
- ⑤ 建設技術の成熟と到達感
- ⑥ 日本経済・社会が成熟期を迎え、低成長時代に向けた投資姿勢と出費姿勢への転換
- ⑦ 質や機能の向上指向から、価値（質/コスト、機能/コスト）の向上指向への転換

以上に示す現象は複雑に絡み合い、建設産業において、「ストック社会」、「成熟社会」の到来を予測する大きな根拠となっている。このストック社会への移行は、経済の不況、少子化、環境問題、技術的到達感な

ど多くの要因が時を同じくして日本の建設産業を直撃したことによる。

以上に示した、建設に対する消極的姿勢は、建設生産における技術開発に対する社会の不満を表しているとも言える。労働災害においても全産業における就業者比率が1割の建設産業であるにもかかわらず、労働災害の約1/3を占めるなど、安全上の大きな問題を解決し得ないまま今日に至っている。

また、建設における公衆災害に対する問題は今なお大きな社会的関心事であり、長期間工事、騒音、近隣公害など、近隣住民や企業に多大の影響を与えている現状にある。

さらに、建設物価は消費者物価デフレーターに連動するなど、工業製品のごとく技術開発による価格低減の効果を十分に果たしていない現状にある。建設活動が他の工業製品の製造に比較して、割高感になっていることは否めない。

これらの諸問題は建設産業における技術開発によって、部分的には改善されて来たものの、今なお多くの課題が残されたままになっている。また、課題によっては、建設関係者が技術的には解決が難しいと諦めている面も否定できない。

これらの現状は、社会から見た場合、建設産業における技術進歩の限界と見られ、建設技術の成熟と到達感を感じさせるものとなっている。この結果、社会が新しい建設活動に対してその未来を見出せない現状にある。

現状の建設産業は、これらの諸問題について「技術的解決策」を提示することが求められている。建設産業は国の基幹産業であるにもかかわらず、古くから労働集約的であり失業対策の対象として考えられて来たとともに、地場産業を育成する余地、建設技術の高度化について消極的な姿勢が見られた。

建設ロボットには、これらの建設技術発展の閉塞感に対する解決策を与える機会になることが期待される。新しい建設産業を再構築していくには、これまでの労働集約的な産業体質から脱皮し、高度なロボット技術を生産体制の基盤とした「装置化産業」としての側面も有していかなければならない。

将来、建設需要の低減を上回る建設就業者人数の激減が予想されており、それまでの間に、日本の建設需要を担うに十分な供給能力を建設産業が具備しなければならない。建設ロボットの技術はその基幹的役割が期待される。

4. 建設ロボットへの期待

(1) 建設活動におけるロボットの役割

建設ロボットが将来果たす役割は、非常に多いと言える。前章で示したごとく、

- ・環境問題
- ・資源問題
- ・廃棄物問題
- ・労働災害の抜本的な解決
- ・新しい機能や性能を有した建設物の提供
- ・価値（質/コスト、機能/コスト）の向上

など、日本の経済、社会のインフラストラクチャ整備をさらに高度に進める基盤技術となることが期待されている。

建設ロボットが建設分野で果たす役割は、以下の事項に要約される。

① より良い建設物を社会に

社会が望む建設物を達成する。より安い価格で、高い品質で提供するとともに、従来では提供できなかった建設物（例えば、大深度地下空間、超々高層建築）を社会に提供する。

② より良い建設活動を社会に

社会が望む建設プロセスを達成する。労働環境の整備、苦渋作業の回避、労働災害の撲滅、労働生産性向上による労働者の就業環境の改善、賃金向上を果たす。

③ より良い建設環境を社会に

近隣社会に建設活動における悪影響を与えない。交通問題、騒音、振動、粉塵など近隣への公衆災害の撲滅、短工期の達成による近隣環境への影響の最小限化を果たす。

④ より良い自然環境を社会に

建設活動において派生する自然環境への影響を最小限に抑える。建設廃棄物のリサイクル、リユース、自然環境を乱さない建設工法の開発によって、より良い自然環境を達成する。

これらを達成する技術的課題の多くは、建設ロボットの技術を展開することによって為し得ると考えられる。

建設における「もの造り」の技術の進歩によって、造られる建設物の品質、精度、機能はさらに向上し、社会の新しいニーズを生み出すことになる。建設ロボットに関わる技術シーズを高めることによって、新しい建設活動を可能にし、それに対応した形で社会の建設に対するニーズも増大する。このシーズとニーズの好

循環を引き起こすことが建設ロボットに期待されており、それは新しい建設需要を生み出すことになる。

(2) ロボット技術と情報技術の融合

現在、ロボット技術とともに、情報技術の発展が目覚ましい。元来、ロボット技術と情報技術とは異なる分野から建設への展開を果たして来たが、今日これらは融合しようとしている。

建設活動では、「ものを造り出す」とともに、「協業する」と言う重要な要素がある。

建設活動は、多様な材料、部品、部材を使用して複雑な生産プロセスが必要であるとともに、必要となる技能、技術は多くの分野、組織に分かれて存在する。このため、建設活動では、多くの人々、組織が、効率よく、かつ適正に協業して初めて、よいものを造り出すことが出来る。

建設ロボットをさらに展開していくうえでは、建設産業の構造を視野に入れて、以下の二つ技術を融合して展開していくことが期待される。

① ものを造り出す技術としての建設ロボット技術 (RT: Robot Technology)

② 協業して建設活動をする技術としての建設情報技術 (IT: Information Technology)

すなわち、建設 RT& 建設 IT として、展開していく姿勢が必要である。

IT 技術としては、CALS（生産・調達・運用支援情報システム；Continuous Acquisition and Lifecycle Support）が建設ロボットとは別の方面から展開されている。建設におけるロボット化が必要とする、綿密な資材調達・搬入や工程進捗を達成するには、産業界全体におけるこれらの情報化が不可欠である。

さらに、建設ロボットが建設現場において自由に動き回るには、建設現場の3次元的情報が必要となり3次元 CAD や VR (Virtual Reality) の技術が展開されて行かねばならない。さらに、建設関係者に対する密なる情報交流を図るためには、工事現場の各種情報を可視化する技術も必要になる。

5. 建設ロボット研究連絡協議会の活動

(1) 組織

建設ロボット研究連絡協議会は、現在、社団法人土木学会、社団法人日本建築学会、社団法人日本ロボット学会、社団法人日本建設機械化協会、財団法人先端建設技術センター、社団法人日本ロボット工業会の6団体から構成されている組織である。各団体から建設

ロボットに関連する部署及び委員会から委員が選任されて本協議会を構成している。

建設ロボット研究連絡協議会の起こりは、1988年に開催した日本における国際建設ロボットシンポジウムの運営委員会において、今後の建設ロボットの研究開発の促進、国際研究協力の推進等を目的として設立することが提案され、今日に至っている。

建設ロボット研究連絡協議会の特徴は、建設ロボットに関連する学会、協会、業界が一つになるとともに、建築分野、土木分野、建設機械分野、ロボット分野からのメンバーで構成している点である。それぞれの委員は所属や専門が異なるが、建設ロボットの研究、開発と言う接点で結ばれており、建設ロボットシンポジウムやフォーラムなどの開催とともに、関連分野の方々が建設ロボットに関連する話題の交流の場となっている。

(2) 建設ロボットシンポジウム

建設ロボットシンポジウムは、今年度に第10回を迎える。

第1回シンポジウムは1990年に開催され、その後毎年開催され、建設ロボットの研究開発についての多くの研究発表がなされた。その後、建設産業の不況期に入り2000年から隔年開催として今日に至っている。

今年度の建設ロボットシンポジウム（開催日：2004年9月2日～3日）のテーマは、「建設産業をリードするロボット技術（RT）& 情報技術（IT）」と題して、建設分野における幅広い、ロボット技術とともに、情報技術までも含めた展開を目指している。シンポジウムでは、毎年40編程度の論文応募があり、下記に示すテーマについて、研究発表が行われている。

(a) 建設生産についての将来展望：

- ① 建設現場におけるロボット、ITのニーズ
- ② 建設ロボット開発をめぐる状況
- ③ 設計・施工情報の活用
- ④ ロボット化施工と設計の課題
- ⑤ ロボットをめぐる計画・管理技術

(b) 計画・管理技術：

- ① 建設ロボットの経済性分析
- ② 工事計画・管理手法
- ③ IT利用技術
- ④ 情報化施工
- ⑤ 知識工学、AI利用
- ⑥ バーチャルリアリティ技術
- ⑦ ロジスティクス、CALS
- ⑧ ロボット化施工の品質と生産性

(c) 要素技術：

- ① センサ、画像処理
- ② エンドエフェクタ
- ③ 教示方法
- ④ 遠隔制御・自律分散制御
- ⑤ 移動ロボット
- ⑥ マンマシンインタフェース
- ⑦ 計測、診断
- ⑧ 情報システム

(d) 新領域分野：

- ① 環境関連のIT・ロボット技術
- ② 防災関連のIT・ロボット技術
- ③ 安全回復（地雷除去、不発弾処理）
- ④ リニューアル（維持、補修）
- ⑤ 急速施工（立体交差技術）

(e) 適用事例：

- ① 地下壁・基礎工事の自動化、IT化、ロボット化
- ② トンネル工事の自動化・IT化・ロボット化
- ③ 構造体構築の自動化、IT化、ロボット化
- ④ 建設機械の無人化施工
- ⑤ 海洋工事の自動化・IT化・ロボット化
- ⑥ 加工・組立・仕上設備工事の自動化、IT化ロボット化
- ⑦ 搬送・揚重の自動化、IT化、ロボット化
- ⑧ 検査（計測・探査・診断）の自動化、IT化ロボット化、
- ⑨ 補修・解体の自動化、IT化、ロボット化

(3) International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC)

建設ロボットにおける国際シンポジウムの開催は、1984年に遡る。

米国のPittsburgh, Carnegie Mellon大学で、最初の建設ロボットに関するシンポジウムが開催された。規模的には小さなものであったが、日本を含む各国からの参加者を得て開催された。正式には国際とは謳ってはいなかったものの実質的には国際シンポジウムであった。現在ある国際建設ロボットシンポジウムの第1回となっている。

その後、米国、フランス、イスラエル、日本、イギリス、ドイツ、ポーランド、スペイン、台湾、オランダの各国（開催国順）でシンポジウムが開催され、日本ではこれまでに3回開催されている。

次回国際建設ロボットシンポジウムは、2004年9月21～25日、韓国で開催される予定である。

6. おわりに

建設ロボットの研究・開発が始まって、ほぼ25年が経過した。産業用ロボットは今日の姿で活躍するまでに50年を要している。その間、工場に設置したものの人手に比べてその価値を見出せなく撤去されたロボットも多くあったと聞く。現在の建設ロボットは、その実用化に対する技術的な目処が確認出来た初步の段階であろう。目先の利益にかかわらずじっくり時間を掛けて試行錯誤を積み重ね改善していく時期である。

時悪く、建設産業の停滞の時代に遭遇した。建設ロボット技術によって、社会の建設に対する新しいニーズを生み出すことを目指して、研究開発を進めていく

べきである。

《参考文献》

- 1) 建設省：建設省総合技術開発プロジェクト・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，1988.12
- 2) 長谷川幸男（編者）：建設作業のロボット化，工業調査会，1999.1
- 3) 建設作業ロボット化共同研究プロジェクト：建築のロボット化をめざしてこの10年，早稲田大学システム科学研究所，1992.11

【筆者紹介】

嘉納 成男（かのう なるお）
早稲田大学理工学部
建築学科
教授
工学博士
kano@waseda.jp



建設工事に伴う 騒音振動対策ハンドブック

「特定建設作業に伴って発生する騒音の規制に関する基準」（環境庁告示）が平成8年度に改正され、平成11年6月からは環境影響評価法が施行されている。環境騒音については、その評価手法に等価騒音レベルが採用されることになった等、騒音振動に関する法制度・基準が大幅に変更されている。さらに、建設機械の低騒音化・低振動化技術の進展も著しく、建設工事に伴う騒音振動等に関する周辺環境が大きく変わってきている。建設工事における環境の保全と、円滑な工事の施工が図られることを念頭に各界の専門家委員の方々により編纂し出版した。本書は環境問題に携わる建設技術者にとっては必携の書です。

■掲載内容：

- 総論（建設工事と公害，現行法令，調査・予測と対策の基本，現地調査）
- 各論（土木，コンクリート工，シールド・推進工，運搬工，塗装工，地盤処理工，岩石掘削工，鋼構造物工，仮設工，基礎工，構造物とりこわし工，定置機械（空気圧縮機，動発電機），土留工，トンネル工）
- 付録 低騒音型・低振動型建設機械の指定に関する規程，建設機械の騒音及び振動の測定値の測定方法，建設機械の騒音及び振動の測定値の測定方法の解説，環境騒音の表示・測定方法（JIS Z 8731），振動レベル測定方法（JIS Z 8735）

■体 裁：B5判，340頁，表紙上製

■定 価：会 員 5,880円（本体5,600円） 送料 600円

非会員 6,300円（本体6,000円） 送料 600円

・「会員」本協会の本部，支部全員及び官公庁，学校等公的機関

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8（機械振興会館） Tel. 03(3433)1501 Fax. 03(3432)0289