

建築生産における自動化技術の変遷と最新技術動向

池田 雄一 浜田 耕史

History and State-of-the-Art for Automated Building Construction Technologies

Yuichi Ikeda Koji Hamada

Abstract

In recent years, there has been a lack of workers owing to the aging population and the declining number of young people joining the construction industry. Therefore, construction companies have been actively developing construction robots in recent years. However, because each company develops its own robots, reducing and recovering their development costs is difficult, and the only benefit is labor savings. With this background, the RX Consortium was established in 2021, and collaborative activities began. The organization aims to accelerate the spread of the developed technology by reducing its price and encouraging its adoption. This paper describes the state-of-the-art and future of automated building construction technology.

概要

近年、建設労働者の高齢化および若年層の入職率の低下により、近い将来の労働者不足は明らかである。そこで建設各社は、数年前から建築の自動化技術の開発をより一層積極的に進めている。しかし、各社が個別かつ独自にロボットを開発・導入しているため、量産化による製造コストの低減や他社への供給による開発コストの回収などが進まず、建設労働者の省人化以外のメリットは少ない。そこで2021年、建設RXコンソーシアムが設立され、業界連携の活動が開始された。それにより、開発した自動化技術の価格帯を下げることで協力会社による導入を促進するなど、その普及を加速させる狙いがある。本論文では、各社の自動化技術の開発状況や将来の自動化技術の方向性について述べる。

1. はじめに

建設業では若年層の入職率の低下や技能労働者不足が顕著である。一方、2024年度からは労働時間の上限規制が適用され、生産性の向上が不可欠となっている。解決策として、工事の自動化やロボット化の技術（以下、自動化技術）の開発が建設会社を中心に積極的に進められている。土木分野では、同一作業の繰返しが多いなどの理由により広く普及展開が進みつつあるが、建築工事の自動化技術の適用は遅々として進んでいない。

1980年代には、バブル経済による建設需要の急激な増加に伴う作業員不足へ対応するため、自動化技術の開発が進められた。しかし、この当時開発された技術は、今日までほとんど適用されていない。長谷川は自動化技術の普及展開を進めるにはロボット指向の構工法への転換やロボット開発に必要な定量的な生産情報の収集が必要と指摘している¹⁾。現在でも当てはまり、今後の技術開発や普及展開を進める上で留意する必要がある。

本論文では、1980年代に始まった建築生産における自動化技術の取組みを振り返り、普及を阻んだ原因²⁾に触れる。また、近年の自動化技術の開発状況や、普及展開を進める建設業界の取組み事例を紹介する。さらに、要素技術の進展が著しい最新の自動化技術の開発動向を概観し、今後の技術開発の方向性についてまとめる。

2. 自動化技術開発の変遷

2.1 自動化技術開発のあけぼの

建築分野の自動化技術開発が始まったのは、1970年代後半である。3K（危険、汚い、きつい）の代表的な作業環境である建設業へ若者の新規入職が減少し、将来への不安が生じていた。これを打開すべく、自動化技術を基盤とした建築生産システムの研究開発が産官学協同で積極的に進められた。長谷川が主導した早稲田大学のWASCOR（WASSeda COnstruction Robot）プロジェクトでは、建設各社9社と建設機械メーカー2社の若手・中堅技術者が集まり、ロボット施工システム開発のための体系的な方法論の構築に取組んだ³⁾。このプロジェクトでは、自動化技術の設計、技術者の教育、自動化に必要なとなる手法の研究等を広く実践し、我が国の自動化技術の開発を先導した。システム設計では、中規模事務所ビルをモデルとして、①プッシュアップシステム（複数ロボットを装備した地上プラントで建物の最上階から施工する案）⁴⁾、②新在来システム（在来工法をベースとして建設機械を多用する案）⁵⁾、の2案をシステム設計した。こうした活動を経て、経験を積んだ技術者が、建設各社の自社内で建築ロボット開発に主導的に取り組んだ。

2.2 自動化技術開発の変遷

2.2.1 単体ロボットの開発 建設各社が開発した自動化技術の変遷をFig. 1に示す。1980年頃から、コンクリート打込み・床面の直仕上げや鉄筋工事の加工・組立等の苦渋作業や重労働作業の代替を目的として、自動機械やロボットが開発され始めた。さらに、品質の安定を求めて内装工事の仕上げロボットや外装塗装ロボットなどが数多く開発された⁶⁾。こうした単独作業の自動化を目指した単体ロボットはこれまでに約160機種が開発されたが、普及して現在も適用されている機種はほとんどない。産業用ロボットは、工場内の安定した環境の下、作業対象物(ワーク)が移動する生産形態であり、自らが移動する機能は求められない。この点、建設分野での自動化技術には工事の進捗に伴って作業場所が変わっていくことへの対応が不可欠となるため、位置検出や悪路での走行という高度な技術が求められた。

ほとんどの自動化技術は、建設会社が開発の主体となつて、自社の工事現場でのみ使用する差別化技術として導入された。このため、同様の作業を行うロボットが多機種開発され、重複した多額の技術開発投資がなされた。ロボットを製造する機械メーカーは、建設会社ごとに仕様様が若干異なる複数のロボットを開発することとなり、プロトタイプのみを試作するに留まった。専門工事は、特定の建設会社の工事現場のみで試験的にロボットを使用するため、その費用負担を踏まえた新たな施工単価を設定するまでには至らなかった。

こうした状況から、日本総研が主体となり「建設ロボットコンソーシアム」を1991年に立ち上げ、複数のロボ

ットの開発・販売主体(機械メーカー13社)と複数のユーザー(建設会社29社、専門工事会社、リース会社)とのマッチングを図った⁷⁾。ユーザー企業群から必要となる複数種類の建設ロボットの仕様や価格帯を提示し、それらをメーカー企業群の1社が開発・販売を担当する取組みである。自動化レベルを落として専門工事会社が受け入れやすい、簡便かつ安価な機械の開発を進めた。しかし、バブル崩壊によりこの取組みは広く普及しなかった。

2.2.2 単体ロボットから自動化施工システム 1980年代後半頃から、部材の組立を中心とした自動化やロボット化に適する施工法の開発が進められた。全天候型の昇降する仮設施工工場内に設置した自動化技術を使用して、建物を建設する生産システムの提案が相次いで行われ、実工事に適用された。自動化技術が装備された仮設施工工場の中で、昼夜休むことなく無人でのビル構築を目指したものであり、ビル自動化施工システムと称した。つまり、製造業における無人化工場の考え方の建築版を目指したものである。こうしたシステムは類似の方式ながらも建設各社の特徴を活かし、1980年代後半から2000年代にかけて、8社9システムの開発が行われた。ビル自動化施工システムは仮設設備への投資額が大きく、複数工事への適用を前提にその採算性を検討する必要があった。実際のシステムの開発事例では、システムの汎用性や経済性を求めて、約10年間に渡る現場適用と改善・改良を繰り返しながら仮設設備の簡素化、自動化レベルの適正化、工程の並列化、適正な工法選択などにより、工期短縮、設備費用の低減を進めている。その後、バブル経済の崩壊とともに建設労務単価が落込んだ。その結果、

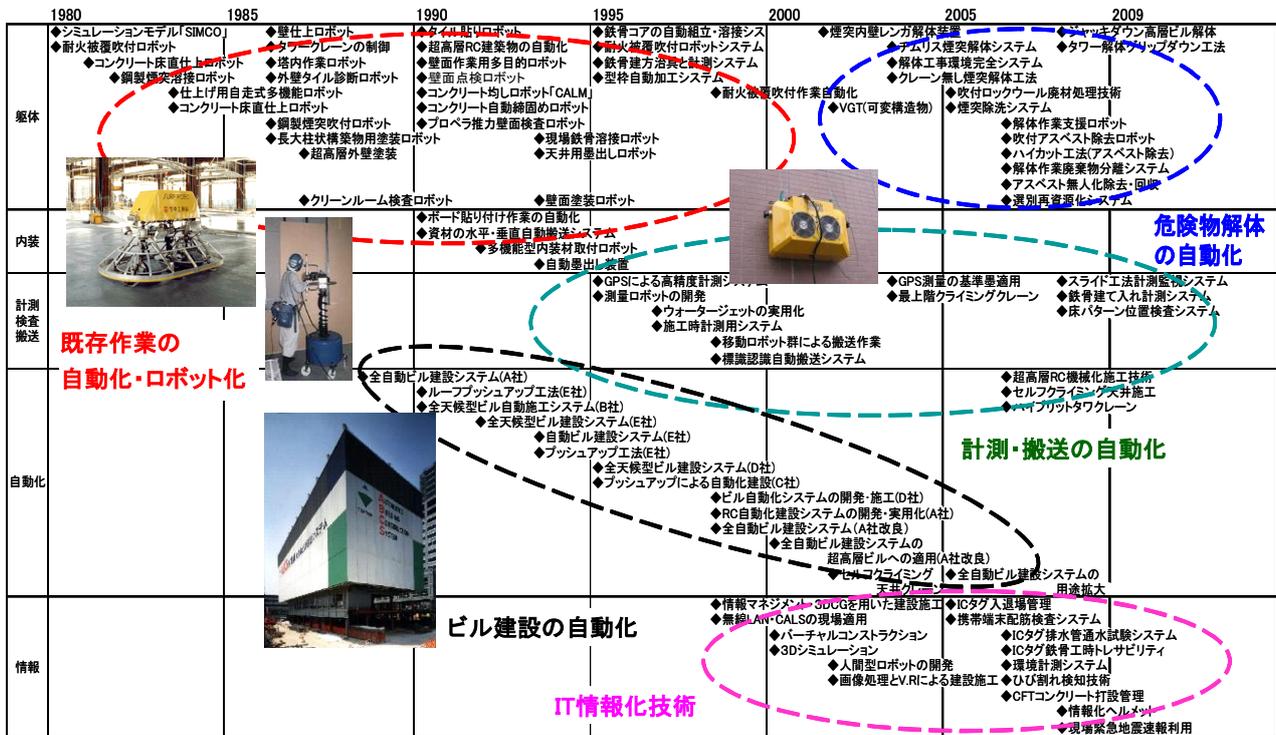


Fig. 1 建設各社の自動化技術の変遷⁶⁾

Development History of Automation Technology by Construction Companies

ビル自動化建設システムを導入することによる費用対効果が下がり、各社はこれらの展開を中止した。

2.3 開発の効果と問題点

工事現場に普及・展開できた個別の作業を対象としたロボットは少ない。わずかな成功事例は、比較的単純な作業を対象とし、作業としてまとまりがあり、単独で機能し、装置も単体として扱うことのできるものがほとんどであった。一方、ビル自動化施工システムは、作業環境や安全性の向上、工期短縮、品質の安定性の確保という点では大きく貢献した。しかし、コストを抑えるために、必要最小限の機能構成とするとともに汎用化による転用回数を増やす必要があった。

- 自動化・ロボット化の定着を阻んだ要因を以下に示す。
- ①自動化に適した設計内容の変更および構工法や作業手順の改善が進まなかった
 - ②建材等生産工場の自動化は多品種少量生産のため、大幅なコスト削減効果までは得られなかった
 - ③市場性に乏しく、個々に自動化設備を開発したため、開発/製造コストが割高になった
 - ④自社内での適用に限定していたため、自動化設備の転用が少なく減価償却が効率的に進まなかった
 - ⑤自動化技術が未熟で期待通り省人化が進まなかった

3. 直近の建設労務状況と最新の開発状況

3.1 直近の建設労務状況と建設各社の取組み状況

前述のように、2000年代初めには建設各社での自動化技術開発の機運は下火となった。さらに、2008年9月にはリーマン・ブラザーズが破綻し、世界的な不況が巻き起こり、建設投資も一気に冷え込んだ。この不況は、零細な専門工事会社を破綻に追いやり、60万社以上あった許可業者数も47万社を割り込むに至った。その後、東日本大震災復興や五輪特需等により旺盛な建設需要が喚起されたものの、不況下で疲弊した建設労務状況では十分な対応ができずに労務費の高騰をもたらした。1990年頃のいわゆるバブル経済時の労務費高騰とは異なり、作業員の絶対数が不足したことに他ならない。今後の我が国の人口減少を鑑みても、建設労務事情が好転する可能性は極めて低い。さらに、2024年4月から労働基準法改正による時間外労働に対して罰則付きの上限規制が設けられ、労働生産性の向上は喫緊の課題となっている。

大林組では溶接ロボット等の一部のロボットは継続的に技術開発を進めてきたが、上記の労働生産性向上への対応策の一つとして、約10年前から再び建築工事自動化の開発を推し進めている。特に自動化ニーズの高い工事を優先して建築作業用ロボットの開発に着手した。前章で述べたロボット開発当時と比べ、位置認識・自律移動技術の高度化や動力源の軽量化等、要素技術レベルが格段に向上している。さらに、他産業や海外においても、これらの要素技術を保有するスタートアップ企業が、建

築ロボット開発に取り組みつつある。大林組では、2017年10月に米国にシリコンバレー・ベンチャーズ&ラボラトリを開設した⁸⁾。自社の保有技術とIoT・AI、ロボティクスなどの革新的技術を有機的に結び付けることで、オープンイノベーションを加速させている。

3.2 大林組の開発状況

3.2.1 溶接ロボット 元々は自動化施工システムの要素技術として開発が始まった。近年の溶接技能者不足に対応するため、適用部材、溶接姿勢の適用範囲を拡大して、ロボット溶接技術の開発を進めている。2016年に下フランジの現場上向ロボット溶接技術を開発した。現場ロボット溶接技術のさらなる適用拡大を目指し、2017年にコラム柱の継手をロボットで自動溶接する現場横向ロボット溶接技術を開発した(Photo 1)⁹⁾。これにより、梁の上下フランジと柱(円形鋼管、BOX、コラム)の現場ロボット溶接を実用化した。同ロボットは、すでに12工事へ適用している。

3.2.2 耐火被覆吹付けロボット 耐火被覆工事は作業環境が悪いため、新規就業者が少ない。慢性的に労働者が不足しており、特に省人化のニーズが高い。そこで、耐火被覆吹付け作業を自動化する耐火被覆吹付けロボットのプロトタイプを2018年に開発した¹⁰⁾。開発したロボットをPhoto 2に示す。主に事務所ビル基準階の梁を施工対象にしている。プロトタイプは2019年以降、4工事へ適用し、施工実績は9,000m²を超えた。4工事への適用で1時間耐火(規定厚さ25mm)、2時間耐火(同45mm)、3時間耐火(同60mm)の梁を吹付け、いずれの厚さに対しても生産性は技能工と同等レベルを達成している。

3.2.3 自律搬送ロボット 建築工事現場内での資機材の搬送作業は単純繰返し作業であり、建設工事全体の中でも多くの工数を占めるため、機械化による省力化効果が大きい。そこで、搬送作業の省人化を目的として、工事用エレベーターとも連携可能な複数の資材搬送システムを開発した。AGV(無人搬送車: Automatic Guided Vehicle)の型式は、フォークリフト型と低床式型の二種類あり、制御方式は自律移動式と無線遠隔操作式の二種類ある。このうち、低床型のAGVをPhoto 3に示す。開発したシステムから、工事現場の規模や搬送資材など様々

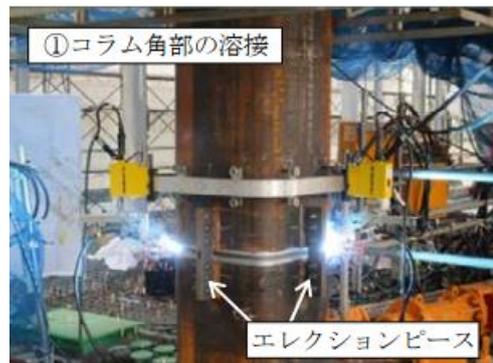


Photo 1 溶接ロボット
Welding Robots

な条件を考慮し、最適なシステムを選択可能である¹¹⁾。

さらに、大林組では自律作業ロボットや既存搬送設備を連携して動かす統合制御プラットフォームを核とした自律化・省力化ソリューションを提供する「PLiBOT」を設立し、2022年9月から事業を開始している¹²⁾。

3.2.4 外壁点検ロボット 外壁検査の検査員不足を解決するため、2016年に外壁点検ロボットを開発した¹³⁾。同ロボットは、打診検査機能、目視検査機能および検査報告書作成機能を搭載している。屋上に設置し、吊り下げて上下方向に移動させる。検査幅は約3.2mであり、検査機能が横方向に移動して、打診および目視検査を行う。点検には足場の架設が不要であり、看板等を避けた点検が可能である。開発したロボットをPhoto 4に示す。

3.3 各社の開発状況

公開された情報^{14), 15), 16), 17)}を基に、同業大手各社の建築作業用ロボットの開発状況を概観する。溶接および搬送ロボットは多くの会社が開発しており、各社共通のニーズの高さが伺える。また、開発された多くのロボットが技能工の置換えを想定した本作業を行うロボットであるが、技能工の補助作業を支援するロボットも開発されている。主体作業のみを遂行する建築ロボットは、汎用機械と比べて市場は大きくない。一方、清掃・墨出し・運搬や位置決め等の補助作業を行うロボットは、複数工種で導入されるため、波及範囲も広がるが、多数の技能工が使用可能な操作性が求められる。

今後は、開発・実用化された複数の主体作業ロボットと補助作業ロボットを技能工やオペレータも含めて効果的に運用するノウハウやマネジメントシステムが競争領域となっていくと考えられる。同業大手各社は、このような複数ロボットによる全体システムの構想を公表してきている。建築ロボットの開発は、建設各社が主体で取り組んでいるが、実用化段階になっている事例は少ない。数少ない実用化事例は、機械メーカーや建設機械レンタル会社と連携しての開発がほとんどである。また、専門工事会社やスタートアップ企業が主体となった開発事例も増加しており、今後注目したい。

4. 普及展開に向けた建設業界の取組み

4.1 日建連の建築ロボット専門部会の取組み¹⁸⁾

4.1.1 設立の経緯 一般社団法人日本建設業連合会（以下、日建連）では、ロボットの普及を阻害する要因を整理するため、2019年に会員企業17社22名の技術者（開発担当者、施工計画者）に対してアンケート調査を実施した（Table 1）。工事現場へのロボット適用に当たっては、技術的な要因以外に安全性・法規・運用といった多岐に渡る制約が生じていた。これらの課題や制約に関する関係者の問題意識の主なもの次は次の5項目となった。

- ①各社が個別に開発しているが、情報集約がない。
- ②他産業の安全ルールが建設業に当てはめられない。

- ③AI等の新技術に法令や制度が追いついていない。
- ④協調領域が不明瞭で、共同開発の素地がない。
- ⑤ロボット開発・運用に向けた仕組みがない。



Photo 2 耐火被覆吹付けロボット
Fireproof Coating Spraying Robot



Photo 3 低床式AGV
Autonomous Low-Flatbet AGV



Photo 4 外壁点検ロボット
Outer Wall Inspection Robot

Table 1 ロボット導入の制約
Constraints of Introducing Robots

制約・問題	発生時点		代表的回答（1例）
	現在	将来	
法令	19	16	ロボットの事故発生時の責任と保険制度
基準・資格	10	17	ロボットとの近接作業でのルール不在
業界外現状	6	3	高価なロボット、コンサル料など初期費用大
業界・社内	4	10	ロボットの所有の帰属（元請/専門業者）
技術の性格	7	10	故障時・誤作動のリスク回避（緊急停止等）
現技術の基準	13	4	仕上がり・精度の品質不十分、監理者の合意
現場での運用	5	8	予測不可能な事態への対応

これらのうち個社では解決できない事項（ロボットの安全ルール策定等）に着目し、業界全体として取り組むべき課題解決を目指し、2020年に専門部会が発足した。

4.1.2 3年間の活動状況 アンケート調査結果から強く指摘されていた、ロボットを現場導入する上での安全基準の策定を第一に検討が進められた。ロボット導入時の労働基準監督署への相談が、その都度の対応となっており、業界としてガイドラインや事例集の作成が求められた。このガイドライン策定に向けて、関連法令を集めて情報共有し、他分野での現状なども調査した。さらに、ロボット導入に先立ち労働基準監督署と相談した各社の事例やリスクアセスメント書式等も収集して整理した。さらに、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）からの委託事業として、建設ロボットに関する各種調査を行った^{19), 20)}。学識者・専門工事会社・レンタル会社や建設会社からなる委員会を組成し意見交換を行い、主に以下に示す意見が得られた。

- ① 高度な自律ロボットはコスト高となり、その費用負担先の確保、他現場への展開が困難になる
- ② 技能者の補助機械や多工種が利用可能な資材搬送・清掃等の付帯作業ロボットが費用対効果は高い
- ③ 専門工事会社が安価にロボットを利用しやすいようなリース/レンタルや訓練の体制整備が必要である

ロボット化推進のための共創に向けた課題をFig.2に示す。ロボットの運用主体（CRSP：Construction Robot Service Provider）の役割が大きいことを確認した。

4.2 建設RXコンソーシアムの取組み

4.2.1 設立の経緯 建設各社がそれぞれの仕様で個別かつ独自にロボットを開発すると、量産効果による製造コスト低減が期待できない。そればかりではなく、元

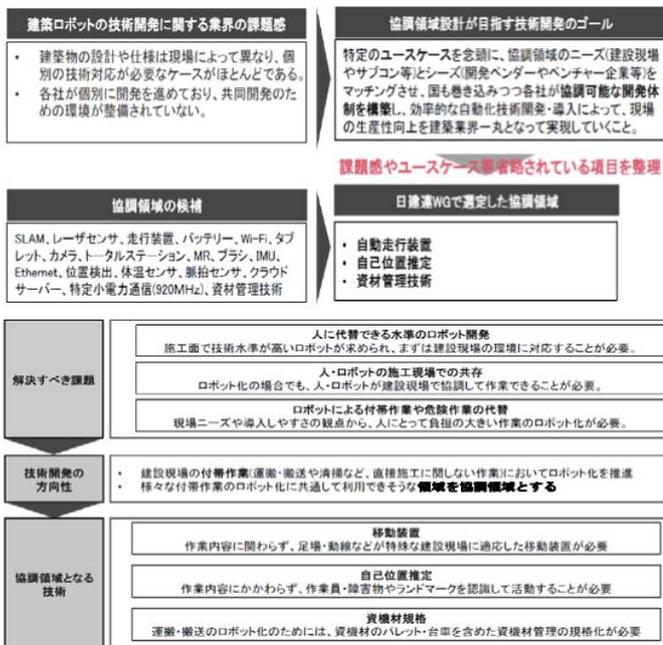


Fig. 2 建築作業用ロボットの課題
Challenges of Construction Robots

請けが異なれば、現場ごとに自動化技術の操作の習熟が必要になり、本来の省人化や高効率化の効果が薄れてしまうことにもなりかねない。建設業界として、このような状況の打開に向けて、2021年9月、我が国の建設業界を担う法人及びこれに協力・支援する法人が中心となって、自動化技術の開発と利用に係るロボティクストランスフォーメーション（RX：ロボット変革）の推進について協業し、建設RXコンソーシアム（以下、RXコンソ）が設立された²¹⁾。

4.2.2 目標 RXコンソ設立の狙いは、技術開発コスト削減及び開発期間の短縮を図り、自動化技術の価格帯を下げることである。これにより、協力会社がロボット導入を促進して若年層に魅力のある労働環境を創出して、社会の持続的発展及び国民生活の安定・向上に貢献して行くという高い理想を目標としている。なお、RXコンソでは、健全な競争を阻害しないように、協調領域と競争領域を明確に区別して取組んでいる。すなわち、誰もが共通で使用する施工のための道具は協調して作るが、それを使ってどのような建物を造るかは競争領域である。

4.2.3 組織と活動 RXコンソは自社に研究開発組織を有する一定規模以上の建設会社である正会員と、協会員で構成されている。Fig. 3に示すように、組織は総会、役員会である幹事会、日々の活動を推進支援する運営委員会、ならびに実際の共同開発や相互利用を行う各分科会で構成されている。分科会で取り組むテーマは、運営委員会で協議し、幹事会で決定される。原則として各会員の自由意思に基づいて、参加を希望すれば分科会に入ることができるが、分科会での役割分担や費用負担などは分科会で協議を行い、それらを共同研究開発契約として定め活動を行う。さらに分科会では、費用を負担して開発を行うメンバーだけではなく、開発費を負担せずに各社での現場試行の結果を分科会にフィードバックすることで、成果に貢献するメンバーの参加も認めている。

4.3 今後の建築作業用ロボットの開発

RXコンソの分科会では、個社で開発したロボットを持ち寄って複数の工事現場で相互利用して改善や共通化を進める活動が主体となっている。分科会も増加しており、

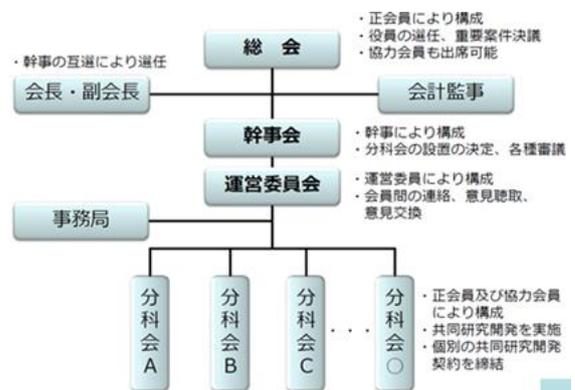


Fig. 3 RXコンソーシアムの組織体制
Organizational Structure of the RX Consortium

ロボット開発・改良の分業化や共通化が進み、開発期間の短縮、開発コストの低減が期待できる。したがって、同業各社が開発しているロボットであれば、分科会を設立して、協働でロボットを改良・相互利用する流れになっていくと考えられる。今後、自社で開発すべきか、他社のロボットを利用する側になるか、の選択や注力する分野の集中などが重要になると考えられる。

ロボット開発が順調に進んで、実用化段階に至り、他社への供給を意識した場合、建設機械レンタル会社の動向が重要になる。RXコンソにも多数の建設機械レンタル会社が参加しているため、より実用化に向けた環境が整ったと言える。また、前述のように、建設会社以外の参画会社にとっても、建設会社のニーズに合致したロボットを開発すれば、RXコンソの枠組みを利用してその普及を図ることが可能となった。

5. おわりに

本論文では、大林組および建設各社の自動化技術開発の変遷と最新状況についてまとめた。さらに、2つの組織による業界を挙げた自動化技術の普及展開の取組み例を紹介した。特筆すべき点を以下に示す。

- 1) 開発・実用化された複数の主体作業ロボットと補助作業ロボットを技能工やオペレータも含めて効果的に運用するノウハウやマネジメントシステムが今後の競争領域となっていくと考えられる。
- 2) ロボットが実用化に近づいた後、建設機械レンタル会社などと連携してロボットを開発すると、その後の水平展開が早い。
- 3) RXコンソの発足により、各社が個別かつ独自に開発せずに協業できれば、ロボットプラットフォームの共通化、開発スピードの加速化、製造コストの低減が進むと考えられる。

今後、建設業界内での各種連携により自動化技術が進展すると、建設各社は上市されたロボット群を効率的に稼働させるための仕組みやその体制づくりが重要になっていくと考える。さらに、スタートアップ企業との関わり方、ロボットの運用や保守に関わる教育訓練や元請と協力会社間の関係のあり方など、建設業界の構造改革を含めた新たな生産体制が求められるようになると思う。

参考文献

- 1) 長谷川幸男:建設作業ロボット開発の現状と問題点, 建築雑誌, Vol.101, No.1249, pp.36-39, 1986.8
- 2) 浜田耕史:ロボット化・自動化の変遷, 第11回自動化技術ワークショップ, 日本建築学会, 2018.3
- 3) 田村恭, 他:建築作業ロボット化に関する研究 その1 建築工事へのロボット導入の基本的アプローチについて, 日本建築学会大会学術梗概集, 1986.8
- 4) 森正人, 他:建築作業ロボット化に関する研究 その

- 5) 松下祐輔, 他:建築作業ロボット化に関する研究 その6 新在来システムの概念設計, 日本建築学会大会学術梗概集, 1987.10
- 6) 汐川孝:建築生産における自動化技術の変遷と今後の期待, 第18回建築の自動化技術シンポジウム論文集, 日本建築学会, pp.1-4, 2010.1
- 7) 筒見憲三, 他:建築工事における作業員の労務環境改善を目指すロボットの開発(その1~11), 建築学会大会学術梗概集, 1993.9
- 8) 大林組プレスリリース記事:オープンイノベーションにより次世代型の自動品質検査システムを開発しました, https://www.obayashi.co.jp/news/detail/news/20180720_1.html, 2018.7.20
- 9) 浅井英克, 他:ロボットを活用した現場溶接技術の開発, 大林組技術研究所報, No.81, 2017.12
- 10) 池田雄一, 他:点群データを用いた耐火被覆工事のロボット化における目標厚さの設定, 日本建築学会構造系論文集, Vol.88, No.809, pp.1072-1081, 2023.7
- 11) 井田慎太郎, 他:大林組ロジスティクスの開発, 大林組技術研究所報, No.83, 2019.12
- 12) 大林組プレスリリース記事:「新たな事業会社PLiBOTを設立」, https://www.obayashi.co.jp/news/detail/news/20220905_1.html, 参照 2023.5.16
- 13) 土井暁, 他:外壁検査システム「ウォールチェッカー」の開発, 大林組技術研究所報, No.83, 2019.12
- 14) 真下英邦, 他:鹿島DXが創る次世代建設生産システム—スマート生産—, 建築コスト研究, No.113, pp.21-26, 2021.7
- 15) 坂本眞一:次世代建築生産システム~シミズ・スマート・サイト~, 日本溶接協会溶接情報センターWE-COMマガジン, 第30号, pp.1-9, 2018.10
- 16) 大成建設技術トピックス T-iROBO シリーズ: https://www.taisei-techsolu.jp/tech_center/topics/t-irobo/, 参照 2023.5.16
- 17) ロボット施工・IoT分野における技術提携: https://www.takenaka.co.jp/solution/kensetsu_dx/dx-sheet/01/index.html, 参照 2023.5.16
- 18) 浜田耕史:日本建設業連合会における建築ロボットの普及展開に向けた調査研究, 第13回建築ロボットセミナー資料集, 日本建築学会, 2023.3
- 19) NEDO:規制の精緻化に向けたデジタル技術の開発/インフラ状態モニタリングシステム・建設施工自動化に関する動向調査, NEDO成果報告書, 2021.3
- 20) NEDO:インフラ状態モニタリングシステム・建設施工自動化技術の利用拡大に向けた技術開発及び環境構築に関する調査, NEDO成果報告書, 2022.3
- 21) 菅田昌宏, 他:ロボット等の技術提携による建設業界魅力向上の取組み, コンクリート工学誌, Vol.60, No.5, pp.389-391, 2022.5