

建設ロボット概説

要覧編集委員会 第19章編集委員会

我が国では、1977年建築内装組立自動化システムの研究を皮切りに、1982年に本格的なロボットとして耐火被覆の吹付ロボットが開発され、以降総合建設業や建設機械メーカーを中心とした建設作業のロボット化の研究開発が進められた。バブルが崩壊すると、研究開発が停滞し、建設産業は他の産業に比べ、労働生産性や収益率において大きく水をあけられることとなった。しかしながら2000年代に入り、IT技術と連動した新たな建設ロボットが登場してきた。

本報文は「日本建設機械要覧2007 19.1 建設ロボット」の概説を紹介するものであり、表1に、2004年以降に主な関連学会誌、機関誌、論文予稿集に掲載された開発事例を示した。建設ロボットは、建設産業が抱える課題を解決する手段として、今後の開発・普及促進が期待されている。

キーワード：建設ロボット、自動化システム、吹付ロボット、土工機械、労働力不足、省人・省力化、診断・点検システム、無人化施工機械、ビル建設自動化、労働生産性、マニピュレーション機能、プログラム制御、ICタグ、RT、IT

1. 概説

我が国における「建設ロボット」の研究開発の着手は、1970年代後半とされている。1980年代に入り、民間の設備投資の伸びが堅調に推移したことに支えられ、総合建設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た。

土木分野では、国内の大型プロジェクト（青函トンネル・本州四国連絡橋など）が多数あり、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に携わっていた。

建築分野では、バブル経済による労働力不足が顕著となり、省人・省力化を目指した研究開発がピークを迎えた。

開発された建設ロボットの事例は、まず土木分野では土工機械の自動制御や遠隔操縦から始まり、シールド掘進機やNATM用コンクリート吹付機、災害復旧工事によって開発が促進された無人化施工機械などが挙げられる。

一方建築分野では、耐火材吹付ロボット、クレーン関連の自動化装置、コンクリートの打設および均し装置、外壁塗装装置、外壁診断装置、資材搬送システムなどが開発された。さらに、ビルの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が開発された。

ここで記述する「建設ロボット」とは、①建設工事に関連する施工または二次製品、資材の製作、加工、搬送を行う機械・装置であること、②「マニピュレーション機能または移動機能」、「プログラム制御」、「自由度の高い動作」、「条件変更に対する柔軟性」を有すること、③自動化のレベルは、全自動に限定せず、半自動、遠隔操作を含む、という条件に当てはまる技術とした。

2. 建設ロボットの現状

1990年代に入り、バブルが崩壊すると、労働力不足の緩和や労働賃金の低下により、建設ロボットの導入の有効性が低下してきたため、それまで活発に研究開発を推進してきた総合建設業や建設機械メーカーの研究開発活動が停滞した。この結果、建設産業は他の産業に比べ、労働生産性や収益率において大きく水をあけられることとなった。

しかしながら2000年代に入り、IT技術と連動した新たな建設ロボットが登場してきた。

2004年以降に主な関連学会誌、機関誌、論文予稿集に掲載された開発例を表1に示す。ここでは、開発済みで技術的に実用性が確認され、かつ実際の工事に対応できるものとした。また情報化施工に関するものは除いている。

表1 建設ロボットの開発（2004年以降）

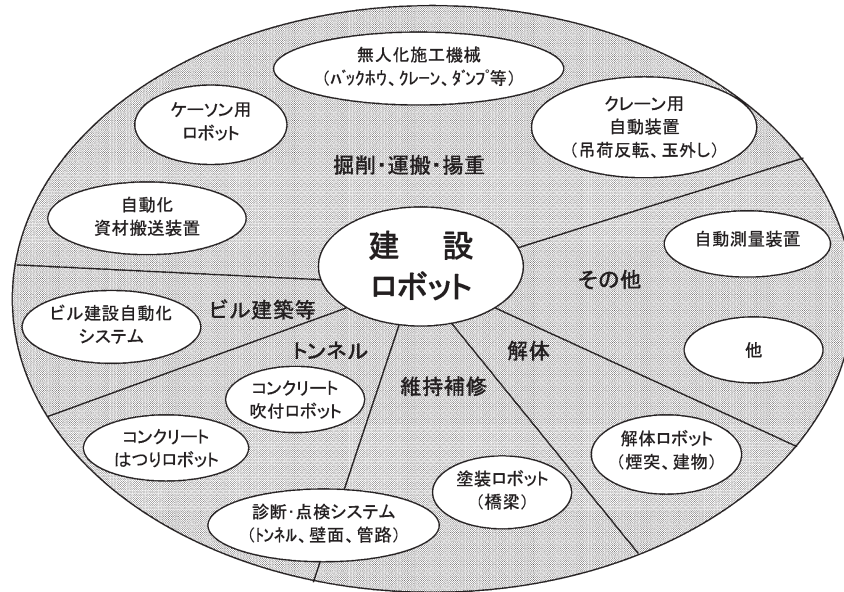
分類	機械名	開発会社	自動化の内容
〔掘削、運搬、揚重〕	鋼製スリット砂防堰堤工事用無人化施工機械	フジタ	無人ダンプトラック、無人ブルドーザ、無人振動ローラ、無人散水車、無人打設面清掃車、無人測量システム、無人バックホウ把持装置および通信システムからなる無人化施工機械群
	ブルドーザ用遠隔操縦ロボット	国土交通省九州地方整備局 九州技術事務所 フジタ	災害現場で調達が容易で、一般工事に使用している建設機械に、有人にかわってロボットを運転席に装着して遠隔操縦を可能とする
	無人ラフテレーンクレーン	国土交通省北陸地方整備局 先端建設技術センター コマツ	クレーン作業だけではなく、走行及びアウトリガ張り出しも完全に無人で遠隔操作ができる
	水中バックホウ遠隔操作システム	(独)港湾空港技術研究所	視覚情報が不十分な水中作業の遠隔操作において、作業機械から得られる接触情報（接触時に作用する反力、接触点の位置情報等）をバイラテラル操作系によってオペレータにフィードバックする
	ニューマチックケーソン（New Dream）工法における遠隔地耐力試験装置	大豊建設	大気圧下で遠隔操作無人機に地耐力試験装置を取り付け、遠隔操作により支持地盤の任意の位置へ移動させて、試験装置を設置し遠隔操作で地耐力試験を実施する一連のシステム
	ロボット浚渫船「カミザウルス」	国土交通省関東地方整備局 霞ヶ浦河川事務所 三菱重工業 エムイーシーエンジニアリングサービス	浚渫作業の実績をふまえて浚渫効率の向上、高含泥率浚渫、施工精度向上及び省力化を進めるため各種改良を加えた
	複数の遠隔操縦ロボットによる一連土工作业	国土交通省九州地方整備局 九州技術事務所	簡易遠隔操縦装置をバックホウと整地運搬台車に搭載し、掘削・積込・運搬の一連土工作业を実施
	遠隔操縦ロボット（ロボQ）	国土交通省九州地方整備局 九州技術事務所	必要な時、必要な場所で汎用のバックホウの運転席に取り付けることにより、遠隔操縦を可能にし、安全な場所から作業できるロボット
	天井走行式掘削機（ケーソン函内作業の無人化）	国土交通省北陸地方整備局 伏木富山港湾事務所 五洋建設	沈下掘削において、作業員の高気圧障害防止のため、0.18 MPa 以上において3台の天井走行式掘削機（0.25 m ³ ）を遠隔操縦による無人掘削を実施
	ケーソンロボットシステム	白石	ケーソン函内のショベルや監視カメラ等の設備を組立・解体・メンテナンスを行う「すーぱーくん」と運搬を行なう「りふとくん」と呼ばれる2種類のケーソンロボットによりケーソン完全無人化施工を実現
ケーソン無人化据付システム	五洋建設	ケーソンの動態監視、ウインチ操作、注排水監視、操作等の作業をシステム化し、無線LANを用いて遠隔から一元的に集中監視・操作する	
遠隔操縦ロボット（ロボQ）による災害復旧	国土交通省九州地方整備局 九州技術事務所	遠隔操縦ロボット（ロボQ）をバックホウ用、ブルドーザ用、不整地運搬車用に順次開発を行い、九州地方整備局において合計5回の災害復旧作業を行った	
油圧ショベルのIT化と遠隔操作技術	日立建機	汎用の油圧ショベルにIT機能が搭載され、油圧機器の稼働状況や位置情報がデータ通信により遠隔地から把握でき、機械を遠隔操縦する。遠隔操縦には、実機を目視で把握し操作する場合とモニター画像を見ながら操作する方法がある	
無線操作式反転装置「まん転」	東京アールアイ	無線操作によりPC板、PC柱の反転、梁の傾斜吊りが可能な装置	
無線操作式自動玉外し装置「パワーシャックル」	東京アールアイ	バッテリーを内蔵し、無線操作により玉外しが行える装置。マイティシャックルエースを基に、さらに省力化と安全性を高め、故障絶滅を図った	
内装資材搬送システム	清水建設	コントロールセンターからの指示により、内装資材の揚重から各階の資材の使用場所までの水平移動を自動的に行う	

分類	機械名	開発会社	自動化の内容
	資材新揚重システム	大成建設	1階の狭い積込みスペースで、スムーズで安全に積載し、取卸し階は作業員不在でも取卸し作業の出来るシステム
	資材搬送自動化システム	竹中工務店	揚重サイクルタイムの短縮と効率的運搬を目的とする。リフトへの積込み荷卸し作業の自動化、揚重管理システムによる管理を実施
	自動仕上げ搬送システム	戸田建設	事前に揚重予約したデータを元に、ボタン1つで自動的に資材を1階で移載機受け取り、リフトに乗せ、指定階に置いてくるシステム
	資材自動搬送システム	フジタ	各階の作業に必要な資材を自動で垂直搬送する。工場～現場所定位置までの資材荷姿標準化
〔トンネル〕	トンネル覆工打音点検システム	国土交通省関東地方整備局 関東技術事務所 (社)日本建設機械化協会	打音点検を自動化して判定の個人差を排除し点検の高効率化を目標とする。対象とするコンクリート構造物に対して表面の脆弱部分を研掃時の打撃音を分析して内部欠陥を探查する
	PVM システム	古河金属 日本道路公団 清水建設	覆工及びその背面を小孔径で高速穿孔しながら、精度よく覆工背面の空洞規模や正常を調査できる
	セグメントストックシステム	戸田建設	セグメントの搬入からストック、搬出、坑内運搬から切羽までの輸送を自動で行うシステム
	吹付けロボット	清水建設	TBM メインビーム上の作業床に設置された走行用レール上を走行し、吹付け位置まで移動した後、本体を90度回転させて吹付けノズルをガイドリングに沿って移動させ、トンネル内全周を吹付けする
	シールドトンネル曲線施工部の遠隔測量システム「FRS III」	フジタ	測量器に設置した位置出しカメラにより測量用基準点を画像認識する事で、測量器自身の位置を解析可能とした新位置出しシステムを開発。これにより、測量時にのみ、測量台車を基準点まで自走させて測量を行うことを可能とした
	トンネル覆工打音診断システム	熊谷組	機械化した打撃装置による打撃音を解析し、劣化の有無を定量的に判定できる
	自動打音調査システム「易打天」	間組 ダイヤコンサルタント ウォールナット	自動打音装置、トンネル天端から肩部・側壁まで調査可能な保持ユニット、デジタルデータとして記録・保存できる打音分析ユニットから構成されるトンネル覆工調査用の自動打音調査システム
	シールドトンネル点検システム	国土交通省関東技術事務所 国土交通省江戸川河川事務所 (社)日本建設機械化協会	シールドトンネルにおいて、飛行船を用い無人にてトンネル坑内の概略状況を撮影し、リアルタイムに地上に画像を伝送するための初動点検システム
	無人化施工技術（吹付けロボット）	(社)日本建設機械化協会 施工技術総合研究所	吹付け装置、距離測定装置、画像処理装置から構成され、ベースマシンと吹付け装置の連動制御により、レバー1本で吹付け作業が行える
	コンクリートはつりロボット工法（TSL工法）	鉄建建設	既設覆工の劣化部分をはつりロボットで切削しながら、同時にベルト式移動型枠を装備したTSLロボットにより特殊コンクリートを連続打設していく工法
	コンクリートはつり機の遠隔操縦	フジタ	バックホウに遠隔操縦装置（ロボQ）を搭載し、遠隔操縦によりトンネルの覆工コンクリートのチッピング作業を実施
	トンネル検査車	東京地下鉄 三菱重工業	加熱車、動力車、撮影車の3両編成で構成される。撮影車にはトンネル断面形状に対応する自動制御装置を設けている
	トンネラス	東海旅客鉄道 (財)鉄道総合技術研究所 JFE 電制	トンネル覆工壁面を撮影する車上システムと画像処理する地上システムにて構成される。高精度 CCD ライセンスカメラにより走行しながら連続撮影し、撮影データの高速処理が可能

分類	機械名	開発会社	自動化の内容
	ソニックマイスター	大成建設 (財)道路保全技術センター	トンネル覆工コンクリートを自走移動しながら打音診断する装置。産業用アームロボットの先端には、打撃ユニットを5個装備し作業性の向上を図っている
	トンネル覆工打音点検システム	国土交通省関東地方整備局 (社)日本建設機械化協会 施工技術総合研究所	トンネル覆工コンクリートを自走移動しながら打音点検する装置。剥離や内部空洞を検知し、剥離部を除去できる
	走行式コンクリート点検システム	竹中土木	走行台車に搭載したハイビジョンカメラ撮影により、トンネル覆工コンクリートのひび割れを検知し、サーモグラフィにより表面の浮き・剥離の危険性を確認するシステム
	コンクリート構造物ひび割れ検出システム	計測検査	撮影点検車に搭載した3CCD デジタルビデオカメラを用いて、トンネル覆工コンクリートを撮影し、ひび割れ情報を画像と数値で示すシステム
〔ビル建築等〕	全自動ビル建設システム (超高層事務所)	大林組	床デッキプレートおよびノンブラケット鉄骨材を用いた全自動ビル建設システム
	全自動ビル建設システム (在来工法併用)	大林組	既存の全自動ビル建設システムのビル建設工場を建物全体ではなく、部分的に架設する在来工法併用型のシステム。工期内及び関連労務の低減を図る
〔維持補修〕	吊橋の主塔用塗装ロボット	本州四国連絡橋公団	塔壁に吸着して揺れを防ぐ磁石車輪 Gondola とロール塗装装置による塗替塗装ロボット
	海峡部橋梁塗替塗装ロボット	本州四国連絡橋公団	円柱状の回転ブラシ、塗装ロール、これらを支持する他関節アームと台車から構成され、本州四国連絡橋の箱桁橋梁を塗装する
	タイル外壁診断装置	東急建設	診断時の映像、打音・擦過音、位置情報を再現性のあるデータとして記録し、コンピュータによる診断音の解析を行うことで定量的な診断を行う外壁タイル一次診断システム
	CFT コンクリート打設管理システム	戸田建設	落とし込み工法による CFT 柱のコンクリート充填において、コンクリートの上昇スピードをコントロールし、充填品質を上げるためのシステム
	函渠・側溝等における清掃機械	国土交通省四国地方整備局 四国技術事務所	比較的の内空断面図の大きい函渠・側溝における清掃作業について、有線遠隔操作を可能とする側溝清掃車に取付可能なアタッチメント機械
	壁面吸着式はくりロボット (サーフ・ジェットⅡ)	スギノマシン	真空吸盤により処理面に強く吸着し、吸着した表面に沿って自在に走行しながらウォータージェット施工を行う壁面吸着式はくりロボット
	アンカー穿孔ロボット (クリーンドリル)	戸田建設	2台の粉塵吸収ハンマドリルで設置したピッチ、深さで自動的に穿孔できる穿孔ロボット
	外壁打診調査ロボット (ウォールバグ)	ニッケンレジテック	内蔵しているフレックスハンマーで壁面を擦り、発生した擦過音を音圧レベルの変化また減衰音を含んだ音かどうかを解析して記録紙、地上のモニターに出力することにより浮きを判別
	タイル剥離検知システム (吊下げ型システム)	鹿島建設	地上からの遠隔操作でタイル剥離の有無・深さを判定し、検査結果を壁面図としてモニタ画面出力と記録ができる
	外壁タイル診断ロボット (点検虫)	大林組	ビル屋上から吊り下げられたワイヤを巻き取り昇降する。地上から遠隔操作で、人手による打診と同様の打音判別方式により、迅速安全に診断ができる
	壁面タイル自動診断システム	熊谷組	タイル仕上げ壁面に打音診断装置を装着した診断台車を走行させることにより剥離診断を行う。診断結果は、診断台車から無線で送られたデータをパソコンで解析処理、リアルタイムに診断結果を表示し、記録する
	外壁タイル診断ロボット	大成建設	正確に、スピーディーに外壁タイルの貼着状態を診断する事が出来、診断結果により効果的な補修を行い、建物を健全に保つことが可能である

分類	機械名	開発会社	自動化の内容
	外壁自動調査機	竹中工務店	地上からの遠隔操作により、建物外壁を上下に移動しながらタイルを連続加振動し、その反応を7つの周波数帯に分けてパソコンで分析し、剥離の有無、剥離部の位置・深さを判定する
	建築補修ロボット「ガリバー」	MSK	ビルのメンテナンス等に高所作業用足場を使用せず遠隔操作により作業を行う建築補修用ロボット。建物の上部・下部に設置されたガイドレールに沿って直立マストが壁面に対し水平に移動する
	大口径下水道管きょ調査診断システム	日立製作所 鹿島建設 リテックエンジニアリング	管きょの劣化状況を定量的に捉え、劣化の将来予測を可能としたシステム。地上のコントロールユニットから計測装置を操作して調査を行う
	衝撃弾性波法による管路調査・診断システム	積水化学工業	下水道管路を衝撃弾性波法により調査・診断するシステム。管内を調査する検査ロボットには、牽引式と複合型がある。複合型は管路内を自走しながら調査可能
	メトロビーバーシステム	東京都下水道局 管清工業 足立建設工業 東京設計事務所	大口径管きょを調査するシステム。調査機は浮体に調査カメラを搭載した船型タイプであり、モニタおよび制御器搭載車により調査機を操作する
	管内調査用ロボット	JFE エンジニアリング JFE 工建	テレビカメラを搭載し、管内を調査する装置。自走式で走行距離は最大 400 m。カメラ動作制御はリモートコントロールにより実施
	くもロボット	東京ガス 日立製作所	球形ガスホルダー上を自由に移動し、稼動状態でその外面より検査できるホルダー検査ロボット。溶接部の縦割れおよび横割れの検出が可能
	自走型 MS マイケル装置	JFE エンジニアリング JFE 工建	埋設鋼管と大地間に交流電圧 (M 系列信号) を印加し、塗覆装の損傷位置を舗装面上からリアルタイムかつ高精度に検知する装置
	オフライン検査装置	東京ガス	超音波センサを使用し、高圧ガス導管内より管外面の検査を行う装置。走行装置には粗探傷、精密探傷、清掃、媒質回収ユニットを搭載可能
	管きょ周辺空洞調査システム	東京都下水道局 鹿島建設 リテックエンジニアリング	電磁波レーダ法を利用し、管きょ内に搬入した自走式調査機を地上より遠隔操作し、管きょ周辺の空洞を非開削で調査できるシステム
	ミラー方式 TV カメラシステム	東京都下水道サービス 日本工営 東京電子工業	TV カメラを使用して管きょ内面の劣化調査を行う。TV 方式は NTSC 方式準拠。41 万画素 CCD。全方位パノラマセンサ射影方式
〔解体〕	吸塵式煙突除染システム	銭高組 新東サープラスト	除染ヘッドのフード内に構成した研磨ブラシで汚染物を掻き落とし、それらを吸塵・密閉輸送してプレダスターで汚染物を袋詰するもの。小型 CCD カメラを搭載しており、管理区域外から作業工程を確認しながら安全にシステムを制御できる
	煙突解体・自動昇降足場装置 (ENTOS)	安藤建設	鉄筋コンクリート造煙突解体工事において、内筒洗浄、解体作業を遠隔操作による自動装置により行う。また、足場の自動昇降、外筒解体装置により、人力施工の省力化を図る
	煙突内壁レンガ解体装置	東急建設	焼却施設解体工事において、ダイオキシン類の暴露防止のため、解体作業を半無人とした装置。高速回転するチェーンによりレンガを打撃する解体ユニット、装置を煙突中心にセットする心出ユニット、解体状況を監視する監視ユニットから構成されている
	煙突分別解体工法	奥村組	解体機に設置されたテレビカメラの映像情報が無線 LAN 伝送により地上のモニターに映し出され、オペレータはその映像を見ながら遠隔操作を行う

分類	機械名	開発会社	自動化の内容
	チムリス煙突解体システム	戸田建設	昇降式構台、無人化除染・耐火煉瓦解体ロボット、無人化コンクリート解体機械等で構成される。鉄筋コンクリート造の100m級の煙突をターゲットとし、安全に確実にダイオキシン類を除去し、解体する
	煙突自動除染れんが解体ロボット(スウィンパーロボ)	戸田建設	噴射ノズルが煙突内径の変化に追従できる構造とし、噴射距離を一定に保ち、煙突の構造や汚染状況に応じて下降速度や旋回速度を自動制御する。また、解体用アタッチメントを装着し、遠隔操作により内部レンガを解体する
	Brokk 遠隔解体装置	ビージーイー	ハンドブレーカに替わる解体装置として開発された小型モデルから10tクラスの重機に相当するまで4つのモデルを標準化。電動駆動、クローラ走行、有線/無線による制御を行う
	無人化施工 (解体工事における汚染土壌の掘削除去)	五洋建設 ビージーイー	人体に悪影響を及ぼす環境下での解体作業を無人化で行うもので、機器の構成は電動油圧ショベルとその操作機器、電源、車載カメラ、固定カメラ、映像伝送用無線LANからなる
	NOCC 工法	奥村組 新日本製鐵	専用圧碎機をクレーン先端に吊り下げて煙突上部より解体する工法で、解体片は煙突内に落下させる
	煙突除染ロボット(ペンタクロス)	五洋建設	粉塵等の付着の可能性が高い煙突の耐火レンガやコンクリート内壁を遠隔操作により無人で削り落とすロボット
〔その他〕	IC タグを利用した配水管通水試験システム	大林組	IC タグを水とともに配管に流し、下流でデータを読み取ることにより、排水時間の測定と試験結果の判定を行う。試験体の自動回収装置も備えている
	自立運行型除雪ロボット (ゆき太郎)	技術開発研究所	除雪した雪を4本のスクリューで圧縮形成し、高密なブロックとし、本体後方にストックできる。(6ブロック100kg) 全方位カメラGPSを搭載し、自己位置の測定結果により自立運行する
	自動車及び船舶による自動測量システム	東亜建設工業	機動性に富むバギー車をベースにしたUGV測量システムと小型船舶をベースとしたUMV測量システム。測量にはBeluga.Netシステムを適用し、計測データを瞬時に処理し、3次元データを生成する
	パノラマ映像無線伝送・認識システム	コマツ アイデン サイヴァース	遠隔操縦性の改善のため、操縦者があたかも運転席にいるような感覚で操縦出来る、パノラマ映像無線伝送・認識システム
	吹付ロボット	国土交通省富士砂防事務所 (社)日本建設機械化協会	設計勾配、吹付厚さ、断面図形状等の情報を提供するシステムを導入するとともに、複雑な動きを制御しなければならないアーム操作を簡便化し操作レバー一本での操作を可能とした
	コンクリート打設自動運転システム	(独)水資源機構 鹿島建設	コンクリート製造設備から打設現場にいたるコンクリート運搬設備のすべてを把握した総合的な自動化システム
	無人測量システム	フジタ	自動追尾式光波測距儀を用いてリアルタイムに位置を計測しながら、マーキング機構を搭載したラジコンバックホウを目標点まで誘導するシステム
	光ファイバーケーブル敷設システム	東京都下水道サービス 日本ヒューム	専用ロボットを用いて、人の入ることのできない下水道管きょ内において光ファイバーケーブルが敷設可能なシステム
	足掛金物自動付替えシステム	東京都下水道局 東京都下水道サービス 日本ヒューム 三山工業	マンホール足掛金物を地上から自動的に撤去・取り付けできる施工ロボット。CCDカメラによりロボットの作動状況を地上でモニタ確認しながら施工可能



図一 建設ロボットの開発事例分類 (2004 年以降)

表一を基に建設ロボットの事例を分類すると図一のように考えると考えられる。

なお 2003 年以前の開発例については、「日本建設機械要覧 2004 19.1 建設ロボット」を参照されたい。

3. 建設ロボットの今後

2006 年の人口統計によると既に我が国は人口減少の時代に突入している。今後建設産業が抱える最も大きな課題の一つとして労働力の不足があり、これを解決する一つの手段としての建設ロボットの開発・普及促進に喫緊の課題として取り組まなければならない。

また、建設産業が社会的責任として取り組まなければならない課題としては、①安全・品質確保、②環境対策および③建設コスト低減などが挙げられている。

これらに対し、建設ロボットにより技術的な解決を図り、さらに建設ロボット技術 (RT: Robot Technology) と建設情報技術 (IT: Information Technology) との融合により、建設の基幹技術としての役割の一端を担うことが期待されている。

《参考文献》

- 1) 建設ロボット・自動化技術要覧, 財団法人先端建設技術センター (1995)
- 2) 建設作業のロボット化に関する調査研究報告書 (その 8), 社団法人建築業協会 (2001)
- 3) 建設作業のロボット化に関する調査研究報告書 (その 12), 社団法人建築業協会 (2005)
- 4) 嘉納成男: 建設分野へのロボット導入の課題と将来展望, 建設の機械化 1 号 (2004)
- 5) ライフライン地下構造物の維持管理, 土木学会 (2006)
- 6) 建設の施工企画, 社団法人日本建設機械化協会 (2004.1 ~ 2006.11)
- 7) 建設機械, 日本工業出版 (2004.1 ~ 2006.11)
- 8) 第 10 回建設ロボットシンポジウム論文集, 社団法人日本建設機械化協会他 (2004)
- 9) 平成 16 年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集, 社団法人日本建設機械化協会 (2005)
- 10) 平成 17 年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集, 社団法人日本建設機械化協会 (2005)
- 11) 平成 18 年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集, 社団法人日本建設機械化協会 (2006)
- 12) 第 15 回建築施工ロボットシンポジウム予稿集, 日本建築学会 (2004)
- 13) 第 16 回建築施工ロボットシンポジウム予稿集, 日本建築学会 (2006)

【筆者紹介】

光永 純一 (みつなが じゅんいち)
 東急建設(株)
 技術本部
 機械技術部
 専任部長