

特集：建築分野におけるアークロボット溶接の最新情報

次世代建築生産システム
～シミズ・スマート・サイト～

清水建設株式会社
坂本 眞一

1. はじめに

建設に携わる労働者不足は深刻なものとなっている。日本建設業連合会が公表した「再生と進化に向けて～建設業の長期ビジョン」¹⁾の中では、2014年度の建設技能労働者数は341万人に対して、10年後の2025年度には216万人に減少してしまうという予測が示されている。また、国土交通省が算出した建設業就業者の高齢化の進行を示す資料²⁾(図1)では、2014年時点で、29歳以下は1割、約3割が55歳以上となっており、今後、より高齢化が進行することが予測されている。

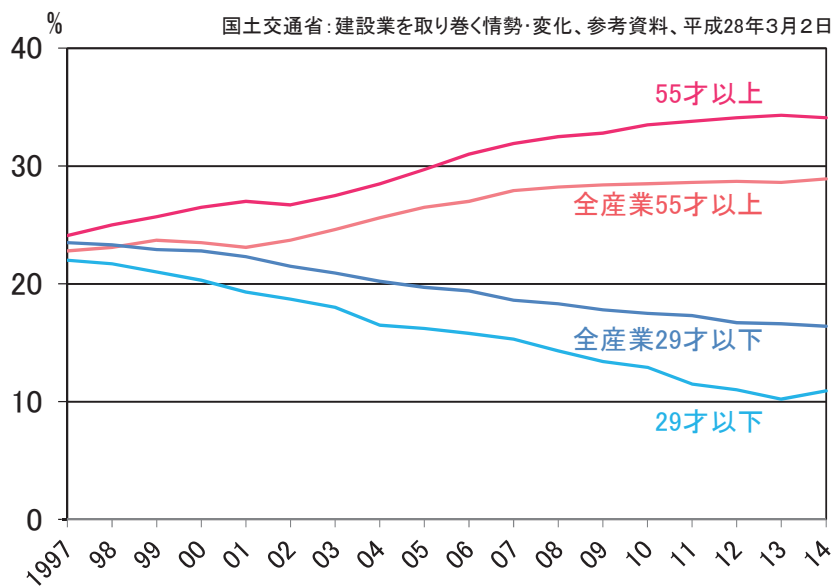


図1 建設業を取り巻く情勢・変化

人手不足は建設業界に限ったことではなく、運送、介護、農業などにおいても深刻な問題となっており、これらの業種の共通点として、作業がきつい、休みが取れない、給与が安いなどが指摘されている。特に建築現場においては、きつい作業の繰り返しが一日中続くような作業が多い。例えば現場溶接工は、真夏の直射日光の下、デッキプレートの照り返しも受けながら40℃を超える暑気環境下で全身を防災素材の作業服で覆い、マスクを着けて溶接をしなければならない。若者にとっては耐え難い職種かもしれない。

前述の日本建設業連合会の長期ビジョンの中では、10年後の技能労働者数不足の対策として、総合的な処遇改善や働き方改革による若者の確保と併せて、生産性向上技術の導入による省人化を業界一体となって進めることが提案されている。また、国レベルにおいても2016年の第1回未来投資会議において、安倍内閣総理大臣から、「建設現場の生産性を国土交通省が推進する

i-Constructionにより2025年までに20%向上させる」という方針が出され、土木分野を中心とした活動が活発となっている。建築分野においても、生産性の向上と魅力ある現場の実現に向けた活動は待ったなしの状況であり、具体的な施策の提案と実証・導入が不可欠である。

2. シミズ・スマート・サイト

若者が働いてみたいと感じるような魅力ある現場とはどういうものなのか。熱い寒いがなく快適である、汚くない、安全である、最先端のICT（Information and Communication Technology）機器やロボットが使える、給料が良い、休みが取れる、残業が少ないなど、改善のイメージはあるものの具体的な策は提示されていないのが現状である。

魅力ある現場を目指すための第1歩として、2017年7月にシミズ・スマート・サイトのコンセプトを提案した（図2）。筆者らが提案する新時代の建築現場は、最先端の自律型ロボットやICT

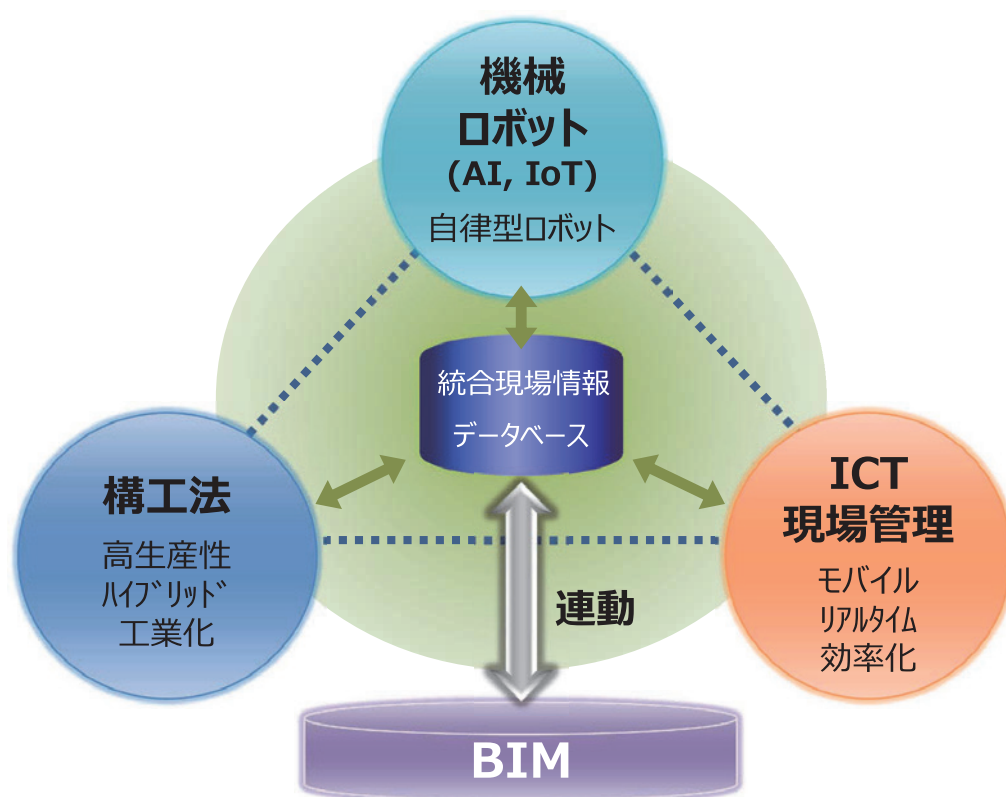


図2 シミズ・スマート・サイト【コンセプト】

を導入することによって、苦渋作業や繰り返し作業をできる限り軽減し生産性を向上させることにある。

図3は、シミズ・スマート・サイトを導入した建築現場のイメージを示したものである。雨風や熱い寒いを軽減できる全天候カバーを設置し、その内部空間では自在に稼働できる水平伸縮式のクレーン Exter によって鉄骨建方や外装材の取り付けが行われ、溶接ロボット Robo-Welder が柱を溶接しながら躯体工事を進める。下層階からは作業ロボット Robo-Buddy が最終工程となる天井、床を仕上げていく。現場に搬入された資材は、夜間に、水平搬送ロボット Robo-Carrier を核とする搬送ロボットによって所定の作業階に搬送・仮置きされる。

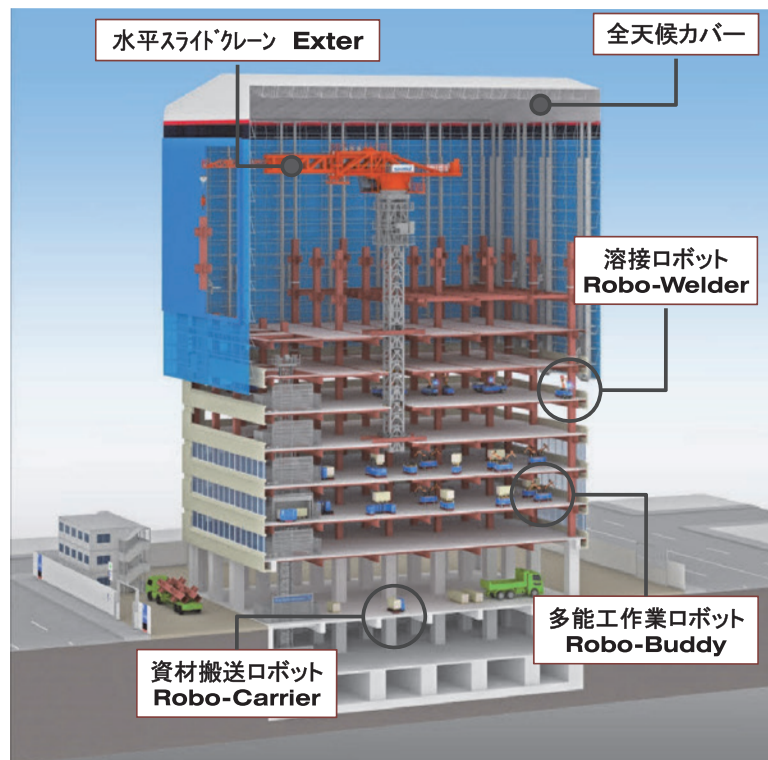


図3 シミズ・スマート・サイト 【現場のイメージ】

3. 過去の反省

3.1 1980～2000年代初めのロボット開発

1980年代初頭から、製造業で成功を収めたロボット技術を建築生産の分野に導入して生産性を向上させたいとの機運が盛り上がり、多種多様な建築用ロボットや自動化システムが開発されてきた。当時開発された建築関連のロボットは、150機種に上るといわれている。図4～7に示すような耐火被覆吹付けロボット、鉄骨柱溶接ロボット、コンクリート床仕上げロボット、天井ボード貼りロボットなどが開発された。当時の建設会社は、このようなロボット技術は今後の建設生産に不可欠なものであるとの認識があり、積極的な取り組みが続けられた。



図4 コンクリート床仕上げロボット

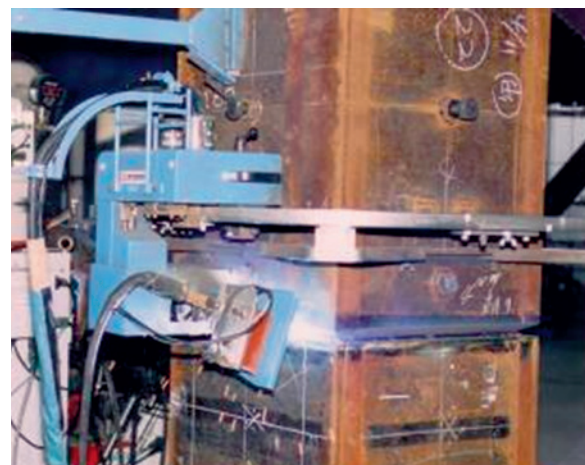


図5 鉄骨溶接ロボット



図6 耐火被覆吹付ロボット



図7 天井ボード貼ロボット

1990年前後からは、ビル工事の全体を対象とした自動施工システムを開発する動きが始まった。「現場を工場のように」というキャッチフレーズの下、部材の自動垂直水平搬送や組立・接合の自動化システムを中核とする技術に、全天候化技術やプレハブ化・ユニット化などの工業化技術を組み合わせ、さらにコンピュータによる現場情報管理システムを積極的に導入した。図8に、清水建設が取り組んだビル自動施工システム「スマートシステム」の実工事への適用事例を示す。このシステムでは、図4～7に示すようなロボットの他に、図9～10に示すような搬送技術やユニット化・プレファブ化技術が導入された。



図8 スマートシステム

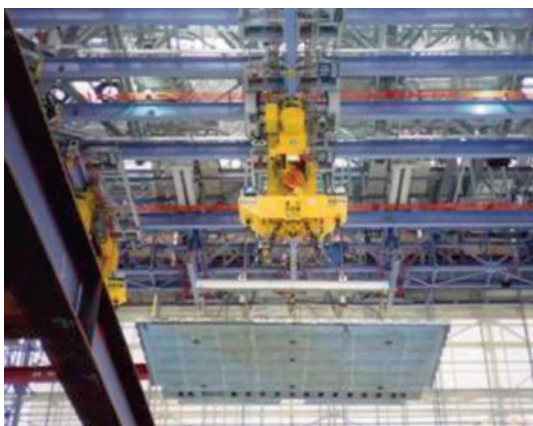


図9 自動搬送システム



図10 プレハブ化された床スラブ

労務削減や作業時間の短縮の面で一定の成果を上げることができたが、その後、2000年代に入り、経済の長期的な低迷が続く中で建設需要も伸び悩み、建設各社の受注競争は一段と厳しさを増していく中で、本システムは使われなくなった。個々のロボットに関しても、人が行う作業に比べて品質やスピードが遅かったことや、必ず人がロボットの傍で補助をする必要があったこと、さらに、ロボット導入のコスト効果が厳しく問われるようになり、徐々に使われなくなってしまった。

4. 各種自律型ロボットの概要

筆者らは、AI、IoT、センシング技術が急速に進化している現在において、過去の反省を踏まえ、「人と協業できる新しいロボット、自分で考え働ける知恵と感覚を持つロボットを開発する」というコンセプトのもと2016年4月から開発に着手した。

ロボットが建築現場を移動しながら自律的に作業を行うというコンセプトはかなり難度が高い。筆者らはゼネコンの開発者であり、自律型ロボットに必要な対象物認識技術や対象物までの距離計測技術、さらに、ロボットアーム制御技術など全く知見がない。そこで、これらの技術に関しては他分野で開発が進められている最先端の技術を導入し、筆者らが得意とする「ものづくり」のノウハウでこれらの技術を繋げ、新たなシステムとして構築した。

4.1 溶接ロボット Robo-Welder

図11に溶接ロボットの概要を示す。鉄骨製作工場では、全自動溶接ロボットが導入されているが、建築現場では開先精度の確保が工場の場合に比べて難しいため、導入の実績はほとんどない状況にある。特に柱の溶接に関しては、横向き溶接となるために、重力の影響を受けやすく、ビード形状に乱れが生じやすくなる。

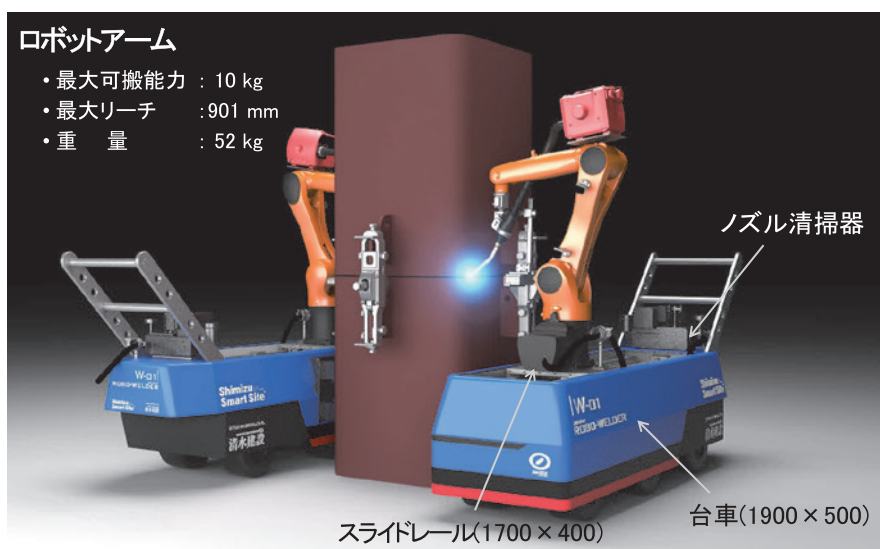


図11 溶接ロボットの概要

開発中のロボットは、柱を挟むように2台の6自由度のロボットアームをセットし、さらに1軸のレールでロボットアームを稼働させることによって、幅1000mmまでの柱の溶接を可能としている。タブレットで柱の幅、板厚、床面からの開先（溶接される箇所）の高さを入力してスタートボタンを押せば、後は建方用の冶具を回避しながら溶接終了まで自動で稼働するものである。パス毎にレーザーセンサでビードの形状を計測し、次パスの狙い位置や溶接条件を計画パスに近くなるよ

う修正をかける。次パスの溶接条件の決定には、大阪大学大学院工学研究科の浅井知教授の積層シミュレーションの知見³⁾を組み込んでいる。また、ノズルの清掃は自動清掃機を設置し、数パス毎に清掃を実施する。スラッグの除去に関しては、MAG 溶接を採用することによってその動作を省略している。これらの技術の採用によって、全自動溶接を実現している。

4.2 多能作業ロボット Robo-Buddy

図 12 に、多能作業ロボットの概要を示す。レーザーセンサで取得した躯体等の位置情報と BIM 情報の照合により自分の所在位置を認識し、指示された作業場所まで自動で移動する。作業を行う 2 台のロボットアームは 6 自由度の 30 kg 可搬の性能を有するものであり、自動走行台車の昇降式台座上で稼働する。図 13 に示すように、画像センサとレーザーセンサで施工部位を認識した上で、2 本のロボットアームを駆使しながら天井吊ボルトのインサートへの挿入、天井ボードの取り付け・ビス留め、天井パネルの設置、OA フロアの施工などを行う。ロボットアーム先端の手先部（エンドエフェクタ）を取り換えることで多能な機能を発揮する。

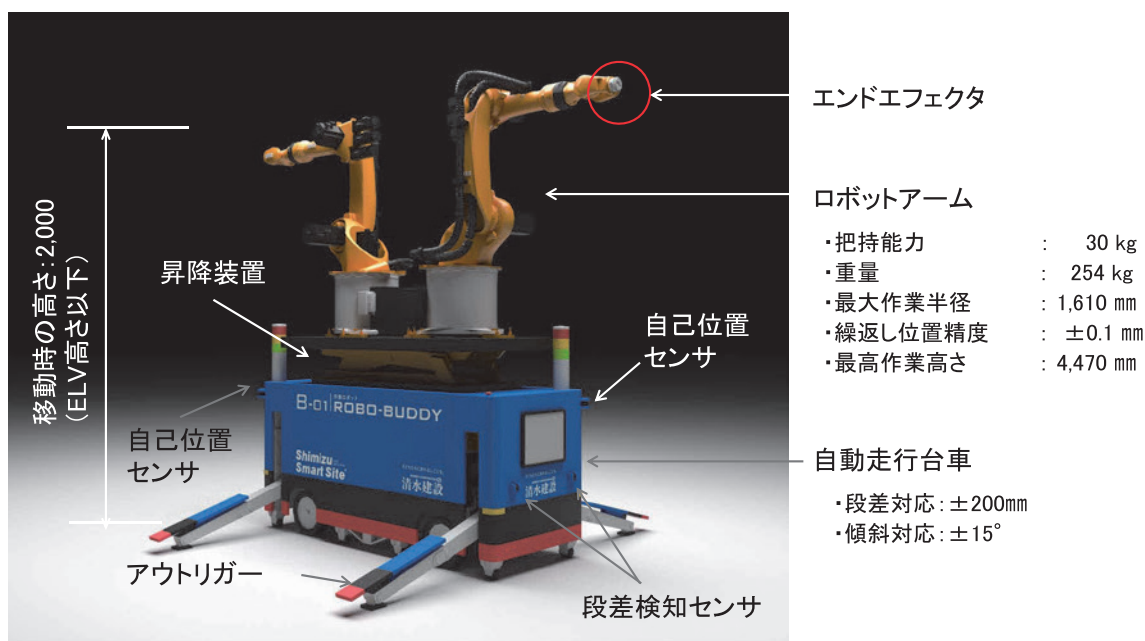
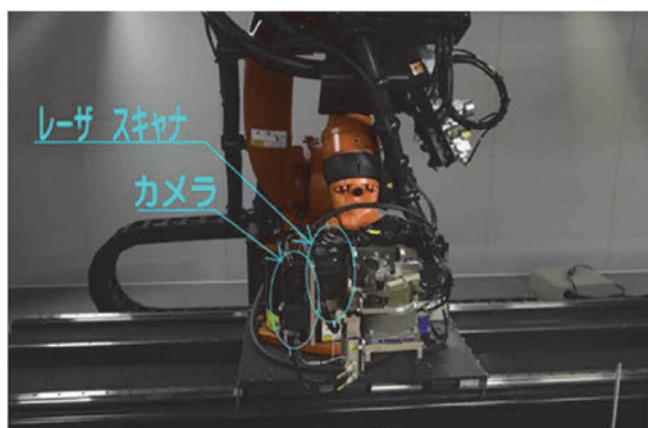
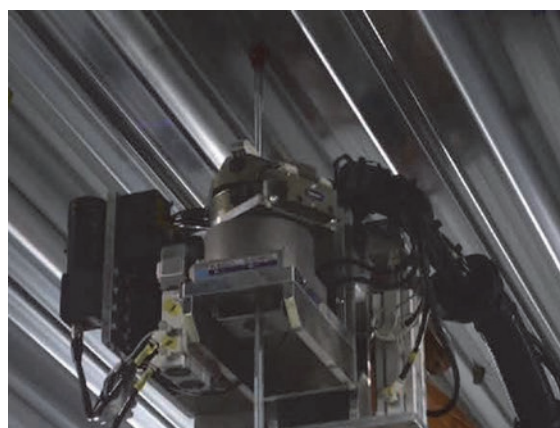


図 12 多能作業ロボットの概要



対象物認識用センサ



吊ボルト挿入



天井ボード把持



ビス打ち

図 13 各種作業の学習状況

4.3 自動搬送システム

図 14 に、自動搬送ロボット Robo-Carrier の概要を示す。レーザーセンサで取得した躯体等の位置情報と BIM 情報の照合により自分の所在位置を認識し、指示された作業場所まで資材を自動搬送する。この自己位置認識機能によって、磁気テープやマーカー等の設置が不要となり、搬送ルートの変更にも容易に対応可能となっている。また、パレットを自動で荷積み・荷卸しするために、2 眼カメラシステムによって、パレットに設置したマーカーを見ながら角度の補正と水平距離を補正する機能を持たせている。さらに、安全対策として、人がある一定距離以内に入ったときに停止する機能や段差を検知するセンサなども搭載している。



③レーザーキャナ
(障害物検知用)

②正対用2眼カメラ
(2眼距離測定システム)

図 14 自動搬送ロボットの概要

5. 統合管理システム

シミズ・スマート・サイトの開発が進んでいくと、十年後の建築現場では、数十台のロボットが稼働している状況となる。このような状況下において、一つに指示に対して、各ロボットが互いに通信し合って作業を進めるよりも、現状の現場のように職長が数人から数十人を束ねることが作業を効率的に管理できる。本システムでは、数十人を束ねる職長の代わりに、複数台のロボットを制御できるクラウド型の統合管理システムを導入している。図 15 にその概要を示す。職長あるいは係員が、作業をタブレット上で入力することによって、各ロボットが連動して作業を進めることができる。また、進捗状況や各ロボットの稼働状況もタブレット画面でリアルタイムに確認することができる。

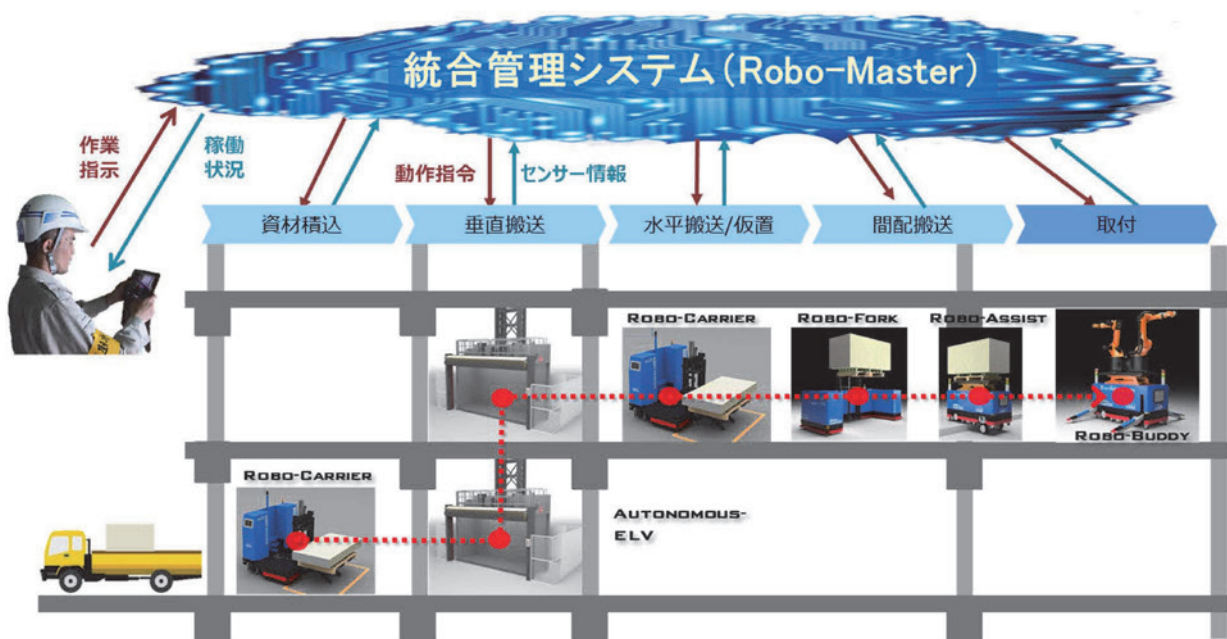


図 15 統合管理システム

6. おわりに

シミズ・スマート・サイトを 30 階建て、基準床面積 3,000 m²クラスのビルに適用した場合の省人化の効果は、揚重・搬送作業で 75% (2,700 人)、天井・床施工で 78% (2,100 人)、柱溶接作業で 79% (1,150 人)、計 6,000 人近くになるという試算結果を得ている。ただし、この規模の現場になると、延べ 54 万人工の作業員が関わっており、ロボット導入による省人化の効果は約 1.1%に過ぎない。

建築現場では何千何万の作業プロセスによって工事が進められる。現在開発中のロボットは、溶接、天井、搬送といった 3 つの作業を対象としたものであり、今後、この開発の見聞を踏まえ、ロボットで作業可能な領域を拡大する予定である。

参考文献

- 1) (一社) 日本建設業連合会：再生と進化に向けてー建設業の長期ビジョンー，2015年3月
- 2) 国土交通省：建設業を取り巻く情勢・変化，参考資料，平成28年3月2日
- 3) 荻野陽輔，高部義浩，平田好則，浅井知：“継手形状・溶接姿勢を考慮した3次元溶融池モデル”，溶接学会論文集，35(2017),No.1,pp.13-20

<略歴>

坂本真一（さかもと しんいち）

1987年 神戸大学 大学院 工学研究科 卒業
1987年 清水建設株式会社 入社 技術研究所 配属
1994年 博士（工学）取得
2015年 生産技術本部 副本部長
現在に至る