



次世代建築生産システム

シミズ・スマート・サイト

印 藤 正 裕・坂 本 眞 一

将来、労働者が不足すると予測されている建設分野において、生産性向上に向けた活動および将来の担い手確保は喫緊の課題である。筆者らは、個別作業で50%以上の生産性向上、苦渋作業の低減、管理業務の効率化を狙いとした新時代の生産システム「シミズ スマート サイト」を提案した。シミズ・スマート・サイトの現場では、最先端技術を搭載した自律型ロボットが活躍する。30年前にブームとなったロボット開発の失敗を分析するとともに、急速に進展を遂げている AI, IoT 技術と建設業の“ものづくりのノウハウ”を融合させることによって、作業員や係員が仲間と感じられる新たな建設ロボットを目指す。本論では、それらの自律型ロボットの概要を示す。

キーワード：新時代の建築生産システム Shimz Smart Site, 自律型ロボット, AI, IoT, 労働者不足, 生産性向上, 省人化効果

1. はじめに

労働者不足は、建設業だけではなく、運送、介護、農業などにおいても深刻な問題となっている。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ものも多く、若者の入職者数は年々減少傾向にある。

日本建設業連合会が公表した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、

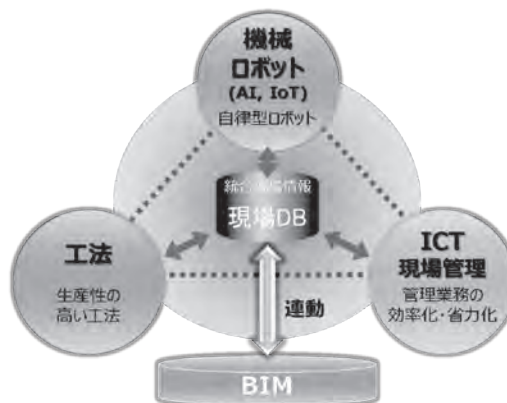
安倍総理大臣から、「建設現場の生産性を i-Construction により2025年までに20%向上させる」という方針が出され、土木分野を中心とした活動が活発となっている。建築分野においても、生産性の向上と魅力ある現場の実現に向けた活動は待ったなしの状況であり、具体的な施策の提案と実証・導入が不可欠である。

2. シミズ・スマート・サイト

図一1は、BIMとAIを搭載した自律型ロボットが連携するシミズ・スマート・サイトのコンセプトを示したものである。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技術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

新時代の建築生産システム

- ① 長時間労働削減、4週6閉所の実現
生産性向上（個別作業で50%以上）
- ② 危険作業、繰返し/苦渋作業の低減
- ③ AI/IoT技術による業務効率化



図一1 シミズ・スマート・サイト 【コンセプト】

軽減し生産性を向上させるとともに、若者が働いてみたいと感じるような魅力ある現場を実現することにある。

図-2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。全天候カバーの内部空間では、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

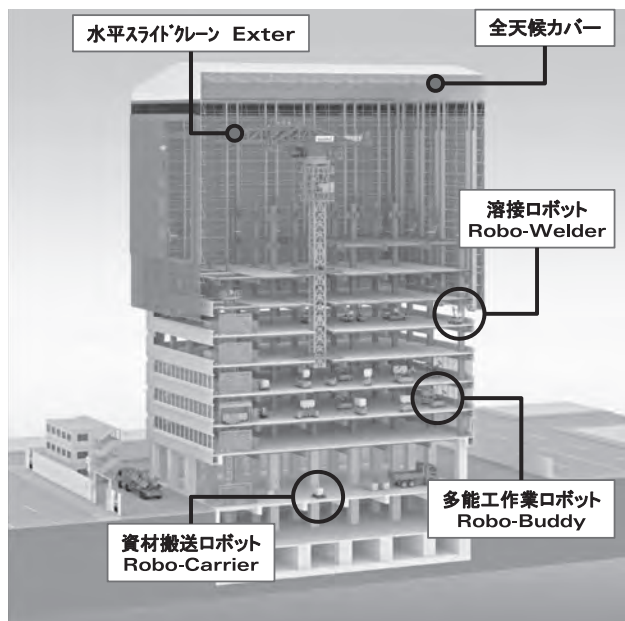


図-2 シミズ・スマート・サイト 【現場のイメージ】

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。

3. 過去の反省

清水建設では、1990年代に「スマート工法」という全天候型の自動施工システムを提案している。現場を工場のようにというコンセプトを掲げ、写真-1に示すような十数種類のロボットを開発した。これらのロボットを2件の新築現場に適用したが、その後使われることはなかった。理由は、ロボットを動かすために人が介在することが必要であり、施工品質も低く手直しが多かったことである。「人がやったほうが早くて手直しも少ない」といった声が多くなり、開発されたロボットは放置され現在1台も残っていない。

4. 各種ロボットの概要

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、「人と共存できる新しいロボット、自分で考え働ける知恵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。



'82 耐火被覆吹付ロボット



'89 天井ボード貼りロボット



'93 中荷重バランサー
(グレージングロボ)



'87 左官仕上ロボット



'92 耐火被覆吹付ロボット
(ウェットポニー)



'92 鉄骨柱溶接ロボット



'85 外壁自動吹付装置
(SBマルチコーター)

写真-1 スマート工法 (1980年代～2000年)

(1) 溶接ロボット Robo-Welder

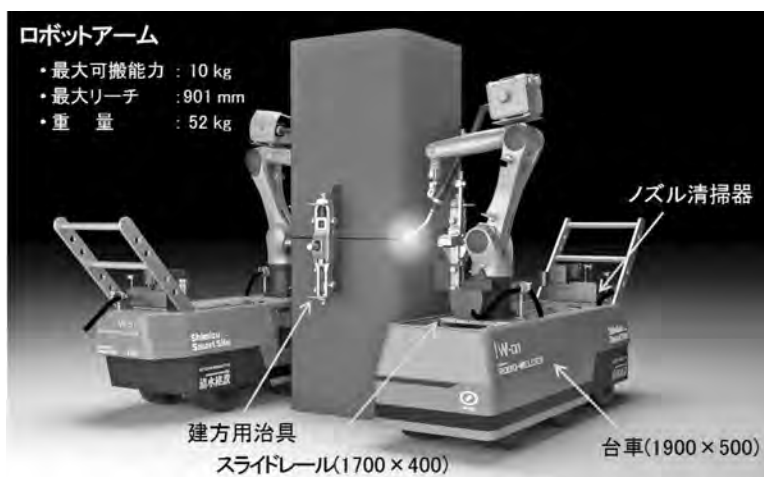
図一3に溶接ロボットの概要を示す。鉄骨製作工場では、全自動溶接ロボットが導入されているが、建築現場では精度の確保が工場の場合に比べて難しいため、導入の実績はほとんどない状況にある。

開発中のロボットは、柱を挟むように2台のロボットをセットし、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、後は建方用の治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。溶接部のレー

ザーセンシングとデジタル型の溶接機を採用し、次パスの溶接条件を最適化できるように、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を組み込んでいる。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。

(2) 多能工作業ロボット Robo-Buddy

図一4に、多能工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



図一3 溶接ロボットの概要



図一4 多能工作業ロボットの概要



吊ボルト挿入



天井ボード貼(ボード把持+ビス打ち)



写真一2 各種作業の学習状況

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。写真―2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、下地材の組み立て、天井ボードの取り付け、ビス留め、OAフロアの台座やパネルの設置などを行う。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様な機能を発揮する。

(3) 自動搬送システム

図―5に、自動搬送ロボット Robo-Carrier の概要を示す。搭載した機能を下記に示す。



図―5 自動搬送ロボットの概要

①自己位置認識機能

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。

②パレット正対機能

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を見ながら角度の補正と水平距離の補正機能を有する。

③リルート機能

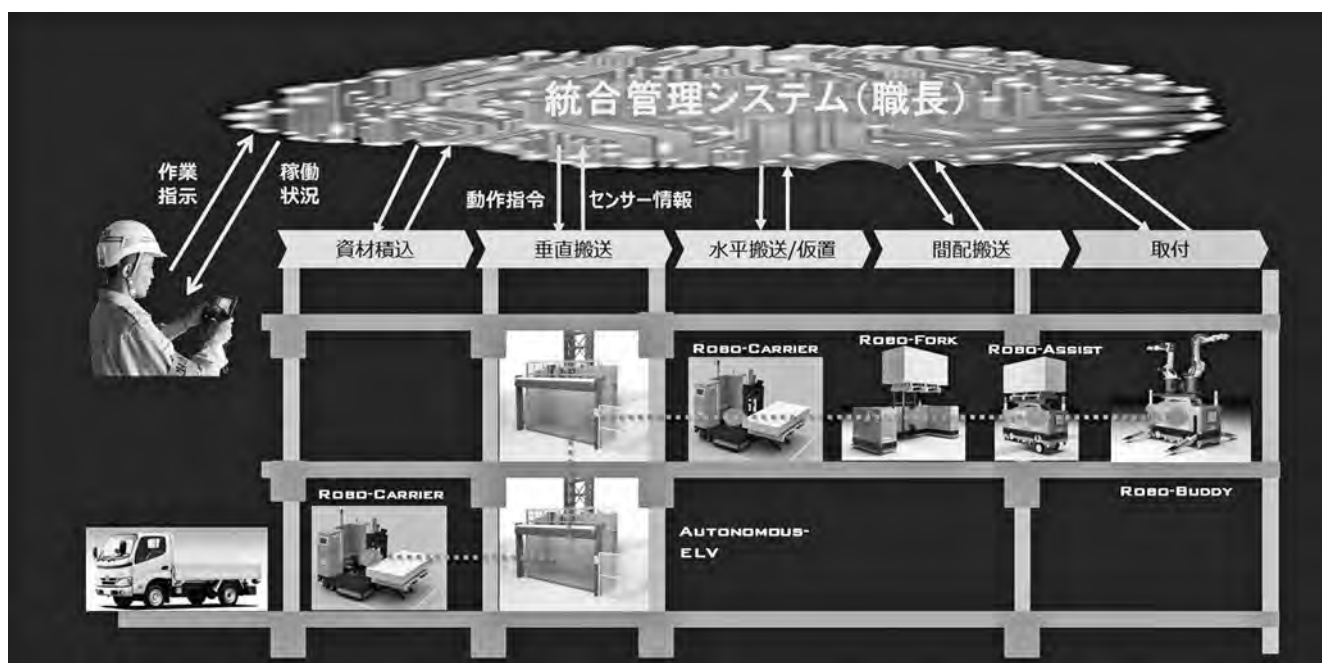
レーザースキャナによって、障害物を検知すると搬送ルートを自動的に再検索・修正する機能も付加している。

④安全対策

人が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。

5. 統合管理システム

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。一つの指示に対して、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進捗の観点から有効である。シミズ・スマート・サイトでは、各ロボットをクラウド型で制御可能な統合管理システムを導入している。図―6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



図―6 統合管理システムによる各ロボットの連携

レット画面でリアルタイムに確認することができる。

6. 省人化効果

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。今後、他の作業ロボットにも適用していく予定である。

7. おわりに

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3つの作業（溶接、天井、搬送）を対象としたものであり、

他の多くの作業のプラットフォームと考えている。各ロボットから得られる情報はデータベース（DB）として保存され、そのDBをもとにロボット自身が学習を行い、さらに進化させる仕組みが必要である。

なお、各種ロボットは順次現場に投入し実証を重ね、2018年に関西の超高層ビルでシミズ・スマート・サイトを本格的に導入予定である。

J C M A

【筆者紹介】

印藤 正裕（いんどう まさひろ）
清水建設㈱
生産技術本部
常務執行役員 生産技術本部長



坂本 眞一（さかもと しんいち）
清水建設㈱
生産技術本部
副本部長

