

施工ロボットは 建設現場の 夢を見るか？

『アンドロイドは 電気羊の夢を見るか？』

これは第三次世界大戦後の病んだ地球、アメリカ・サンフランシスコを舞台に、火星での過酷な危険労働から逃亡してきた人間に酷似する人造人間（アンドロイド）と、これを追う賞金稼ぎの攻防を描いたフィリップ・K・ディックのSF小説だ。あらゆる生命体が厳重に管理されるなか、賞金稼ぎである主人公のリックは、熱望しながらも経済的な理由から本物の羊を飼うことができない。「電気羊」はその代替品の人造動物だ。

物語の伏線には「人間とロボット、アンドロイドとの境界はどこにあるのか」、そもそも「人間とは何か」という根源的な問いかけがある。

現在、建設業界においても、現場へのロボットの導入が進んでいる。背景にあるのは建設業界における就業者数減少の懸念。働き方改革、生産性向上を目指して多様な取り組みがなされているが、これと関連して加速しているのが施工ロボットの研究開発だ。

鉄腕アトム、マジンガーZ、機動戦士ガンダム……子ども心に深く刻まれた数々のロボット。コンピューター、携帯電話、ICTなど、かつての空想が常識となった現在、そうしたロボットが想像を超え、建設業界、施工現場においても日常のものとなる日も遠くはない。

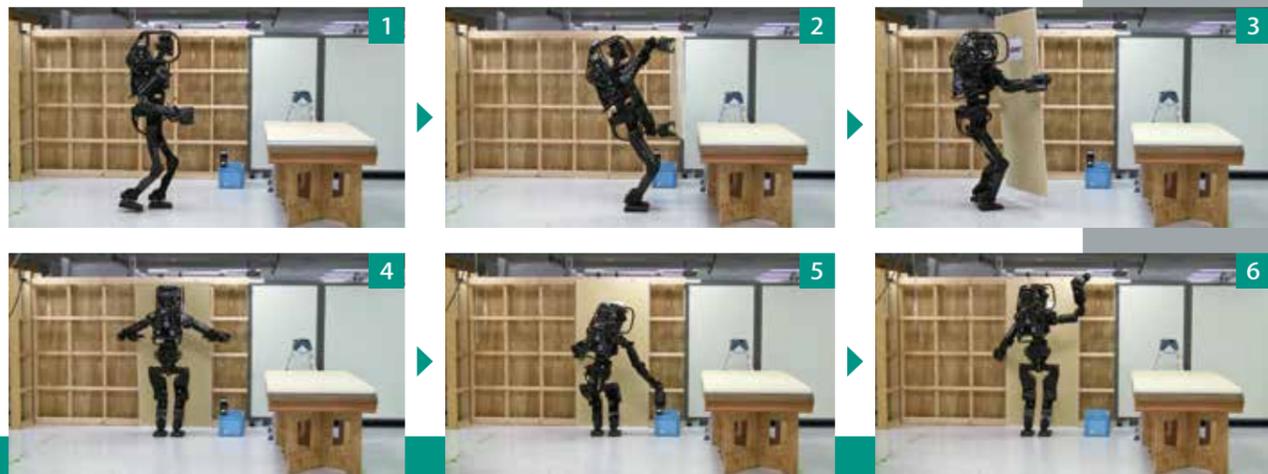
人間とロボットの合理的、理想的な関わり方とは。その問いを建設業界に投影し、ロボット開発の意義と未来地図について研究者から示唆を得ながら、現場実装に向かう現在地と可能性を探る。

©手塚プロダクション

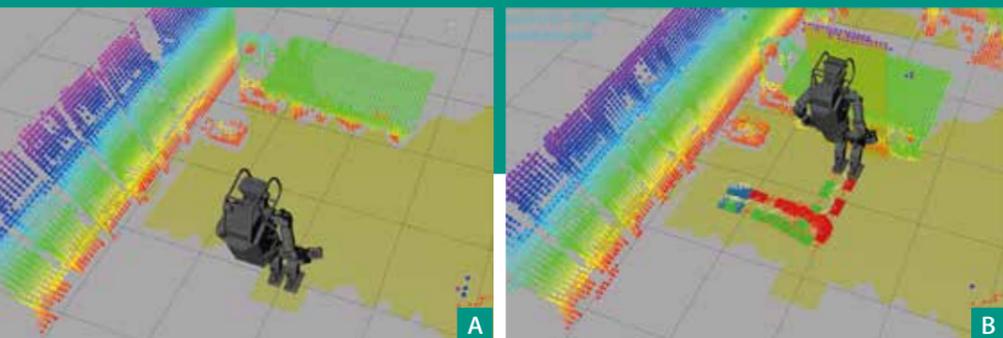
ROBOTICS

@ Architecture & Civil Engineering

HRP-5Pによる自律的な石膏ボード壁面施工の様子



YouTubeチャンネル「産総研広報」では、HRP-5Pが実際に作業をする様子を動画で紹介している。右のQRコードより「[HRP-5P]重量のある実物の資材で建設作業に成功【産総研公式】」をご覧ください。



HRP-5Pは、周辺環境の3次元地図生成と物体検出を行うと作業台に近付き、作業台に寄りかかりながら平積みされた石膏ボードを1枚ずらし、持ち上げ、所定の場所に取り付ける。左の画像2点は、周辺地図作成(A)と視野が限定される状況下での歩行計画(B)。(いずれも提供：産業技術総合研究所)



人型ロボットで 未来の現場を創る

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
阪口健 主任研究員

ボード施工を一人で行なす 人型ロボット

人のカタチをした黒い機械が重さ一〇キログラムを超える石膏ボードを持ち上げ、二足歩行で運び、腕で道具を掴んでビス止めをする。国立研究開発法人産業技術総合研究所(産総研)が二〇一八年九月に発表した人型ロボット(ヒューマノイド)「HRP-5P」の映像だ。ロボットが人間の動きを忠実に再現し、実際の建築施工を行う様子は大きな注目を集め、投稿された動画の再生回数はすぐに二〇〇万回を超えた。「国の研究機関である産総研の研究の目的は、人の役に立つものをつくり、経済振興に寄与することです。このHRP-5Pは担い手の確保・育成、重労働の軽減が課題となっている建設業界で、『役に立つこと』を目的として開発された施工ロボットです」と語るのは、同研究所の阪口健主任研究員だ。腰の高さほどに平積みされた石膏ボードを見つめるHRP-5P。頭部のカメラでボードを認識すると二足歩行でボードに接近し、

太ももをボードが載った作業台に押し当てて体を支える。同時に前傾姿勢をとり、ボードを引き寄せて持ち上げた。ボードを縦方向に持ち替え、施工場所である壁に移動。ボードを壁に設置して左手で押さえ、右手でビス打ち機を掴み上げると、まず腰に近い位置に一発仮留めした。続いて頭上から足元まで狙いすましてように次々とビスを打ち、ボードを固定した。滑らかな動きは人間の動作と違わない。

ボードを縦に持ち替えると前方が全く見えなくなるが、HRP-5Pは周辺の空間を三次元のマップデータとして蓄積しており、そこに自らの位置データを照らして自機の現在地を把握する。そのため前方が視認できなくても自律的な移動が可能になる。

ビス打ち機にはマーカーが貼付されており、HRP-5Pは手のひらに組み込まれたカメラでこのマーカーを正確に認識し、複数の道具の中から必要なビス打ち機を自ら選択して掴むこともできる。

二足で自立し、ほぼ自律的に動作を連続する。ここまで来ると二〇年以上かかったと阪口氏は笑う。

国際ロボット競技会に 「二足歩行」で挑む

産総研は複数の民間企業と共同で人型ロボットの基礎研究・基盤開発に取り組んできた。二〇〇二年に開発したHRP-2は二足歩行、横臥からの起き上がり動作、あい路歩行などを達成した。その五年後には遠隔操作によるボルト締め作業を可能とする。二〇一一年からは災害対応の人型ロボットの開発に注力。背景には東日本大震災があった。HRP-2をベースに手足の長さや可動範囲を向上させ、不整地での歩行やバルブのハンドルを回す動作を半自律的に行うことができるHRP-2改を発表した。

二〇一五年、産総研はこのHRP-2改を携え、アメリカ国防総省の研究機関が主催する国際的なロボット競技会に挑んだ。自動車の運転、降車、バルブのハンドルを回す、瓦礫を走破するなど、八項目の課題をクリアする時間を競う競技会だった。「福島第一原子力発電所の事故をきっかけに開催された国際的な競技会です。結果は一〇位。

人間サイズの環境で 役に立つ

産総研が人型ロボットの開発に力を尽くすのには確固たる理念がある。その根拠について阪口氏はこう説明する。「人間の生活環境はす

マジンガーZ



©ダイナミック企画・東映アニメーション

下/マジンガーZのエンドロールの頭部透視図(©ダイナミック企画・東映アニメーション)



「マジンガーZ」は、架空のロボットがヒーローとして活躍するスーパーロボットアニメの金字塔。漫画家・永井豪の代表作で、本人曰く「自分自身の夢の結晶」。1972年から1974年にテレビアニメ化され、その雄姿や、ジェットスクランダーなどのメカ、そして主人公の兜甲児(かぶとこうじ)などに当時の子どもたちが熱狂し、「超合金マジンガーZ」などのおもちゃも大流行した。

物語は、地下帝国を支配する狂気の科学者ドクター・ヘルが、恐るべき機械獣軍団を従えて、世界征服に乗り出すところから始まる。この野望を阻止するため、兜十蔵博士は戦闘用巨大ロボット・マジンガーZを密かに開発していたが、ヘルに仕えるあしゅら男爵らの急襲を受け、命を落とす。死の間際、十蔵は孫の甲児にマジンガーZを託す。マジンガーZには、飛行メカのホバー・パイルダーを使って乗り込むのだが、甲児は類まれなる運動神経で見事これを操り、マジンガーZの頭部に合体(パイルダー・オン)。甲児は祖父の遺志を継ぎ、ヘルの機械獣軍団と戦うことを決意する。

小学生の頃、テレビで見たアニメ番組「マジンガーZ」のエンドロールの絵に阪口少年は驚愕した。「正面を向いたマジンガーZには、内部の機構、透視図が描かれていたのです。ロボットの中身はこうなっているのかと驚きました。それまでは、『鉄人28号』でも『ジャイアントロボ』でも描かれているのは外観だったので、その雄姿にしか興味がないで、いなかったのですね。なるほど、こうした仕組みを考えればロボットはつくれる、動かすことができる」と、新しい視点を得た気がしまし

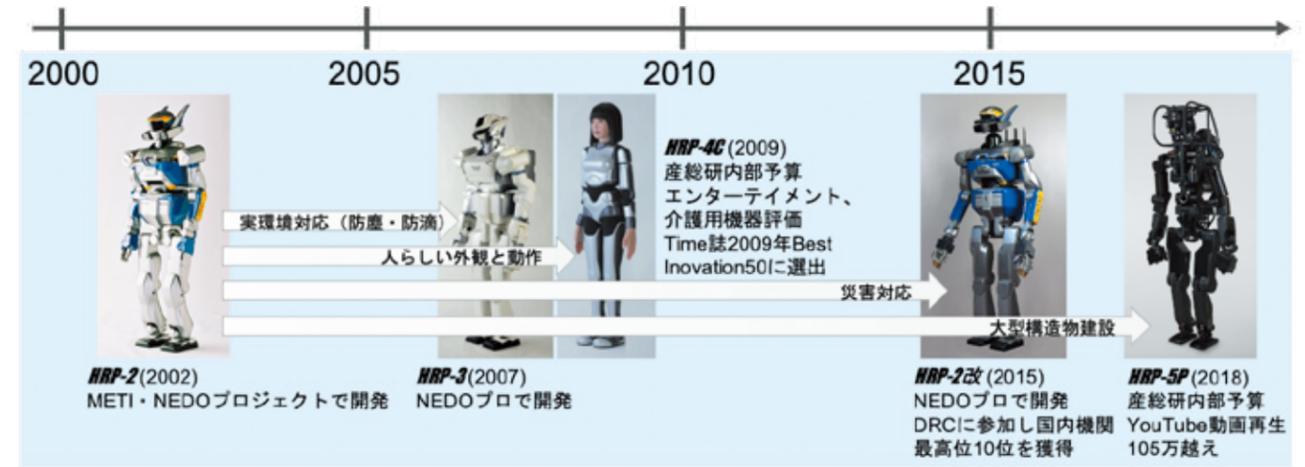
ロボットの中身には機構がある

ロボット開発は特許取得やビジネスとしての成否、論文の本数といった成果とは距離をおいた次元で進められているように感じた。その基礎研究から生まれた技術が市場に開放され、ライバル企業間でその技術が磨かれることになれば、進歩の速度は二倍、三倍ではなく二乗、三乗でスピードアップするはずだと阪口氏は期待している。

た。とは言うものの、自分で分解した目覚まし時計を組み立て直すことができなかったクチですが」と阪口氏は笑いながらこう言葉を継いだ。「建設会社の技術者の皆さんには『楽しい』というモチベーションを大切にしながら研究開発に挑んでいた方がいいと常々思っています。民間企業ですから、予算がつかなくなったり、異動があったりもするでしょう。我々も同様です。かつてそんなことをばやく私に、先輩が『高く飛ぶためには一度しゃがまないといけないだろう?』と声をかけてくれました。そのために全社的な理解や協力体制が不可欠なのは言うまでもありません」。阪口氏は、技術を止めてしまつてはいけない、捨てずに継続してほしいと強い口調で語ってくれた。

産総研は、引き続き人間の行動空間としての建設現場に着目する。今後は建設業界との対話から派生した新しいテーマ、鉄筋や梁が縦横に走る床下部や、垂直方向にたわんで安定しない足場などでの歩行に挑むという。阪口氏とともにHRP-5Pも覚悟を決めている。

HRP-5Pの開発史



これまでの人型ロボットの研究開発の歴史。その進捗は、2004年に策定したロードマップにはほぼ則しているという。(提供：産業技術総合研究所)

べて人間が使いやすいようにデザインされています。自動販売機はコインの挿入口から低い位置にあるジュースの取り出し口まで、人間のスケールに合わせてつくられているのです。棚の上の物の上げ下げなど、人間と同じサイズのロボットであれば広範な動作を達成しやすい。建設現場も同様です。自ら歩いて行った先の環境に対応できるのが人型ロボット、ヒューマノイドの優位性です。この汎用性の思想を捨てることはできません。

特定の環境において特化した作業をこなすのであれば、人型ではなく、車輪やクローラーで移動し、特定のツールを搭載したロボットがあれば十分だ。開発コストも低減できるだろう。「限定的な環境下であれば異形のロボットでも目的は達成できます。でも環境の変化に対応、追従することは困難です。障害物をまたいで歩行する。あい路をカニ歩きで通り抜ける。更にその先で作業をする。我々が暮らす環境下で多様な作業をさせようとするヒューマノイドが有利だと言えます」。阪口氏はそう確信している。

技術の横展開で加速させたい

産総研には「テクノブリッジ」という官民の連携促進を目的としたプラットフォームがある。研究者からなる個別企業専属の「連携営業チーム」を結成し、各企業を頻繁に訪問しているという。企業サイドの研究ニーズを掘り起こし、技術的なコンサルティングや共同研究、設備・施設の提供から事業化支援まで、多彩なサポートを行っている。その名の通り、官民の技術的な橋渡し戦略だ。「産総研は現実のマーケットからは大きな距離があります。商品化しようとしても市場やユーザーからのダイレクトな反応を得る機会がとて少ないのです。民間の企業と協働することにより、実効的な技術の進歩が期待できます。私たちの技術を現場で加速してほしいという願いから始まった取組みです」と阪口氏は話す。

テクノブリッジの活動の一つである、地域企業とのコミュニケーションをより一層深化させようとする連携協議体「テクノブリッジ

クラブ」に参画する企業は、全国で二〇〇社を超えた。産総研の技術と企業ニーズのマッチングを目的とした「テクノブリッジフェア」も全国各地で随時開催している。

「言葉は良くないかもしれませんが『技術の切り売り』とも言えます。HRP-5Pに搭載された部屋全体、周辺の状況をデータ化する『SLAM』というテクノロジーは、自動車の自動運転でも使える技術です。人型ロボットに搭載された技術のなからその一部を切り出し、市場やニーズに合わせて高度化させる。基礎研究から生まれた技術を民間に提供し、各企業が切磋琢磨することで進化は飛躍的に加速すると考えています」。産総研の



国立研究開発法人 産業技術総合研究所
情報・人間工学領域 研究戦略部
連携推進室 連携主幹

阪口 健 Takeshi Sakaguchi

※SLAM：Simultaneous Localization and Mappingの略で自己位置推定と環境地図作成を同時に行うこと。

原発対応版Quince



る。東日本大震災に伴い大きな被害を受けた福島第一原子力発電所、この建屋の状況調査と解体に至る経緯だ。fuRoは震災以前からNEDOのプロジェクトに参画し、地下空間や建造物内での事故を想定したレスキューロボット「Quince」を開発していた。機体の全面にクローラーを装備し、階段や障害物をもとめせず前進、空間内の探査や応急措置を行う。fuRoは震災直後からこれをベースとして線量計や通信ケーブルの巻取り装

置を搭載した「原発対応版Quince」を製作した。瓦礫が散乱する建屋内を五階まで走破して、放射線量の測定や燃料プール周辺の撮影に成功。更に、屋内の構造をマップ化し、人間でもアクセス可能な放射線量の低いルートを見つけ出したことにより、損傷を免れたスプレー管を復旧して注水を再開することができた。マップデータは建屋の解体作業にも大きく貢献した。キャンパス内に建屋を再現し、



文系の科学者が考える統合工学

千葉工業大学 未来ロボット技術研究センター
古田貴之 所長

勝手に鉄筋を結束する
施工ロボット

建設現場を想定した人型ロボットHRP-5Pに先んじて現場に実装された専用ロボットがある。二〇一七年に千葉工業大学と大成建設(株)が共同開発した自律型鉄筋結束ロボット「TiiROBOR ebar」だ。交差する鉄筋を針金などで留める鉄筋結束作業を、交点を移動しながら自動で反復する。これを縦横に走る鉄筋の上に設置すると、レーザーセンサーで鉄筋の交点とその周辺の障害物を検出し、搭載された結束機で交差する鉄筋を針金で締め、固定していく。本体はテーパー車輪で鉄筋上に設置されているため安定を保ち、鉄筋を辿りながら交点から交点へと移動し、作業を繰り返す。

開発を主導した千葉工業大学未来ロボット技術研究センター(fuRo)の古田貴之所長に現時点におけるTiiROBOR ebarの稼働状況を聞いた。「実証試験を兼ねてはいますが、現在も大成建設の現場でバリバリ働いて

います。開発して終わりではありません。耐久性や費用対効果の検証、また機体の量産に向けた体制整備の検討などに数年はかかります。ロボット開発は完成した時がスタートなのです」。

信頼関係を築くことから始まる

現場への導入に向けた数多ある検証事項に加え、最も重要なのは実際に機体に触れる技能者の声に耳を傾けることだと、古田氏はこう話す。「このロボットが導入されることを前提とした工数、工程の立案と施工管理、更に現場担当者や技能者さんの『使ってみよう』という意欲の醸成がなければ、実践投入は難しい。ロボットの導入で職が失われるという誤解があることも事実です。ひざ詰めで徹底的に議論することが必要です。完璧な機能を有していても、現場で使えないようでは意味がありません」。

そうした現場との信頼関係の深耕によって、ロボット導入が大きな成果を上げた象徴的な事例がある

東京電力の社員とシミュレーションを繰り返した。その回数は二〇〇回を超えたという。「誰もが容易に使用こそロボットです。我々は原発の敷地内に入場することはできないので、社員たちにゼロから操縦法を指導しました。一方で、ロボットに対する懐疑があったことも事実です。『本当に機械で大丈夫なのか?』と。『人間の手で処置することを優先して検討すべきではないか』といった空気もありました。これを払しょくするには、強固な信頼関係の構築しかないと考えました」と古田氏は話す。

市場投入に向けた覚悟を

設現場に向けてロボットを導入しようとする時も、この信頼関係の醸成がキーポイントになると古田氏は繰り返した。

模範の過程で社員から要望が聞こえてきた。「『前進だけではなく、このポイントで少し後退できればいいんだけどな』というつぶやきが漏れてきました。我々はその場でソフトウェアを修正し、二時間ほどで後戻りをできるようにしました。そうした対応や議論を繰り返すことで、開発者である我々とユーザーである東京電力サイドに強い信頼感が生まれました。要は、実物の実力と誠意を見せることが大切なのです」。原発の事故対応に限らず、建

二〇二〇年、パナソニック(株)はfuRoと共同開発した次世代型ロボット掃除機を発売した。世界最高水準の「SLAM」の技術を搭載しており、レーザーセンサーで間取りや障害物を認識して部屋全体のマップを作成、このマップに沿ってくまなく走行する。正面の3Dセン

鉄筋結束ロボット

自動で鉄筋を結束する自律型のロボット。幅40cm、奥行50cm、高さ30cmの機体の重量は約20kg。技能者一人でも十分持ち運びが可能だ。



※NEDO：国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構。持続可能な社会の実現に必要な技術開発の推進を通じて、イノベーションを創出することを目指している。



千葉工業大学
常任理事
未来ロボット技術研究センター
(fuRo: Future Robotics Technology Center)
所長
古田 貴之 Takayuki Furuta

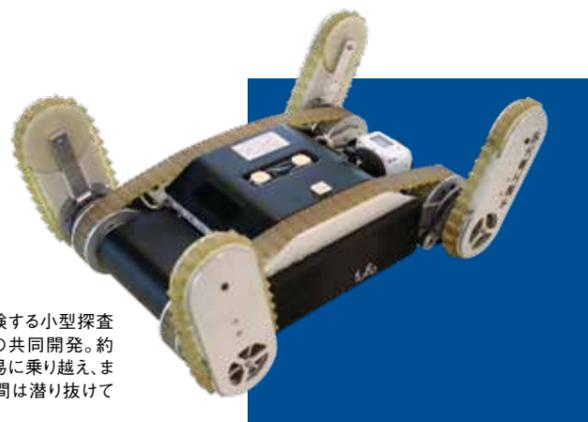
サーでカーペットの段差を検知すると、本体をリフトアップして乗り越える機能も付与された。この掃除機の開発にプロジェクトリーダーとして携わった古田氏は「従来のロボット掃除機とはあらゆる面で一線を画しています。マスプロダクトの開発に外部の研究者がリーダーとして関与することも、かつてはなかったことです」と自負する。製品の機体にはfuRoの銘まで刻印されている。産学の連携が理想的に結実した稀有な事例だ。

更に、新技術を導入しようとする企業や業界の姿勢について、こう指摘した。「パナソニックが開発した掃除機がデビューを果たしたのは、社長直轄のプロジェクトだったからです。多くの研究費を投入し、膨大な時間とマンパワーを費やしました。経営者、リーダーには五年後、一〇年後の未来を見据える覚悟が問われています。日本の技術の進化、ひいては経済発展がそこに懸かっていると思います」。

ロボット工学は統合学問

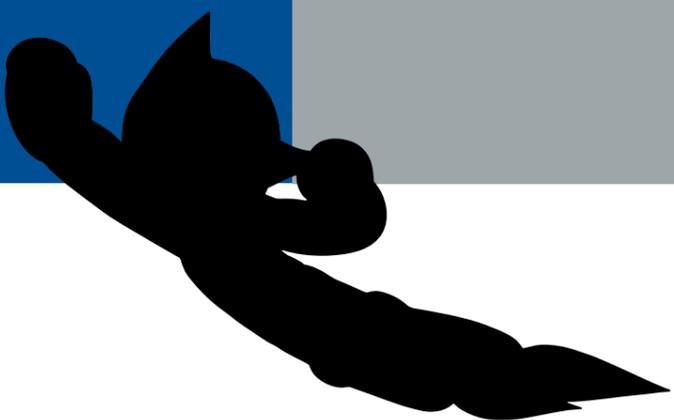
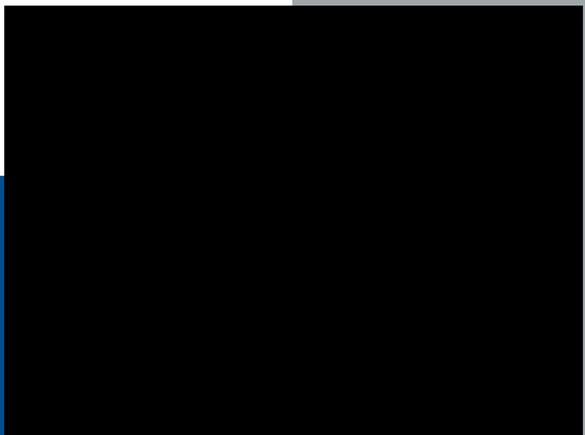
現在、建設現場を見据え、産総研では人型ロボット、fuRoでは単体の専用ロボットを研究開発の軸に据えている。この両者がどのように進化していくのかと、古田氏に質問すると、「その質問自体がナンセンスです。どんな形態であろうと現場で役に立つかどうか、ロボットの開発は目的志向型で進めるべきです。クローラー型と二足歩行型、どちらが有利かという議論は不毛です」と、古田氏は愚問を一蹴した。人間が活動する空間において、汎用性が求められる分野では人型ロボットが相応しい。しかし、不整地の移動に関しては、コスト面からもクローラーや車輪を活用した方が有利なのは自明だ。「技術が未成熟な現時点においては、専門の機械のほうか万能の機械に勝るという評価はできるでしょう。しかし、ロボット工学は統合学問です。与えられたミッションに対し、万能型と専門型の優位性を統合して、最適解を導き出します。技術と環境が成熟するに伴い、腕部に鉄筋結束ロボットを搭載した

ヒューマノイドが登場することだって考えられます」と古田氏は説く。かつて、「ガラケー」と言われる携帯電話でインターネットにアクセスするユーザーは稀だった。機能と環境は整っていたが、パソコンのほうが圧倒的に便利だったからだ。ところがスマートフォンが常識となった今、携帯電話は大型化し、コンパクト化するタブレットやパソコンとの



天井裏点検ロボット

遠隔操作で天井裏を点検する小型探査ロボット。大成建設との共同開発。約65mm程度の段差を容易に乗り越え、また約100mm以上の隙間は潜り抜けて点検することができる。



鉄腕アトム

『鉄腕アトム』は、21世紀の未来を舞台に、10万馬力のロボット少年「アトム」が活躍するSFヒーローマンガ。漫画家・手塚治虫の代表作の一つで、1963年に国産初の30分連続テレビアニメシリーズとして放送され、当時の子どもたちを大いに魅了する。幼少期に鉄腕アトムに触れたことが、ロボット技術者を目指すきっかけとなった人も多く、現在の日本のロボット技術力が高い理由の一つとも言われている。

物語は、科学省長官の天馬博士が亡き息子飛雄(とびお)の身代わりとしてつくったアトムが主人公。社会が「人間」対「ロボット」で対立しているなか、両方の環境で生活することで互いの立場に理解を深めていく。時には怒り、涙を流し、嘆き悲しみながら成長していくアトムは、人間とロボット双方にとっての理想的な世界を築き上げようと奮闘する。

境界が曖昧になっている。「単体の専用ロボットは今後、人型ロボットにながっていくでしょう。その統合の道筋をつくるのが我々の仕事です。両者は合体していきます。ブレないのは、建設業界の高度化、建設現場における作業の効率化という目的だけです」と古田氏は断言する。

何をするためにロボットをつくるのか

幼少の頃、古田氏はご多分に洩れずロボットアニメに夢中になった。好きだったのは『鉄腕アトム』。しかし、古田氏のヒーローは主人公のアトムではなく、アトムをつくった天馬博士だったという。「お茶の水博士はアトムの育ての親です。後にアトムをモデルに妹のウランや弟のコバルトをつくりましたが、アトムをゼロから生み出したのは天馬博士。ロボット博士になりたいと思ったのはその頃です」。古田氏のヒーロー像は一般とはいささか異なるようだ。マジンガーZにしても憧れたのは主人公よりも機体をつくった兜十藏博士ら科学者たちだった。「マジ

ンガーZはスーパーロボットです。誰が操縦してもそれは変わりません。評価されるべきは、悪者を撃退するためにこれをつくった技術者たち。幼心に何をするためにロボットをつくるのか、その頃から考え始めていました」。

一方で、自身は物理と数学を得意とするが、間違いなく文系の人間だと断言する。高校生の頃はシュールレアリスムの画家ルネ・マグリットや、詩人・小説家・画家としてボードレールに革命的な表現活動を展開したジャン・コクトーに心酔し、小論文や小説のコンクールで表彰されたこともあったという。「文学や芸術に興味を持ちながらも、趣味はデザイン家電や家具の収集でした。初めてのアルバイトで得た給料で買ったのはル・コルビュジエの椅子です。科学は生もので、一〇年後にはローテクになってしまいます。でも、芸術は永遠で無敵です。うらやましいですね。きっと重要なのは、そうしたことも含めた多様性だと思うのです」。その独自の志向、姿勢をもってロボット開発の最先端を走る科学者の言葉は、多くの示唆を含んでいる。

来るべき ロボット施工時代に向けて

現場におけるロボットの導入。建設業界はその出発点に立っている。
日建連でスターターピストルを握る
土木、建築両部門の推進役が忌憚なく語り合った。



日建連
土木工事技術委員会
土木情報技術部会 副部会長
兼 情報利用技術専門部会 部会長
(所属：戸田建設株式会社)
佐藤 郁 Iku Sato

日建連
建築技術開発委員会
技術研究部会
建築ロボット専門部会 主査
(所属：株式会社大林組)
浜田 耕史 Koji Hamada

ロボット導入の黎明期

浜田 私が学生として建築を学び始めた四〇年ほど前は、建築分野のロボットの研究・開発が始まろうとしていた頃でした。既に自動車産業などが先行してロボットを導入し、生産性を飛躍的に向上させていた時代です。減少傾向にあるマンパワーを補うという背景もあり、建築現場でもロボットを活用できないかと可能性を探り始めていたのです。

バブル期を迎え、各社から百数十機種という建築ロボットが発売されるようになります。左官職人の仕事をロボットに置き換えるという発想が主流でした。しかし、それだけでは生産性を上げることは難しい。各社のイメージ戦略、PRといった側面もあったのだと思います。バブルの終焉とともに研究はトーンダウンしていきました。その点、土木分野では以前から実質的な姿勢で取り組まれていた印象がありますが、いかがですか。

佐藤 土木分野では自動化施工という視点で随分前から進んでいましたが、大きく注目を集めたのは、場合、仕上げ段階では人の手に頼らざるを得ない工程が連続します。多様な工種を一手に担う、鉄腕アトムのようなロボットの登場にはまだ時間がかかるでしょう。

佐藤 アトムならどんな作業でも人間よりはるかに高い精度で完結できるでしょうね。ちなみに私は若い頃ドラえもんと呼ばれていたのです。四次元ポケットのように、かばんから様々な道具が出てくるので(笑)。

浜田 ドラえもんはのび太など人と喧嘩したり協力したりしていますよね。建設業界でもようやくロボットや精巧な工具が人と協働するシーンが増えてきました。そこで課題になるのが安全基準をはじめとするルールづくりです。

佐藤 法整備も含めた業界共通の基準づくりが急務ですね。現在、建設業界のロボットには法的な規制や基準がありません。

浜田 自動車工場のライン上で稼働する産業用ロボットの周辺には、柵を設けることが厳格に義務化されていますよね。人とロボットが協働する段階の建設業界で、人が接近することができないとなると、そもそも

一九九〇年に大規模噴火した長崎県の雲仙普賢岳での災害対応でした。人が立ち入ることのできないエリアで復旧作業をする必要があり、パワーショベル等の重機を遠隔操作するという開発が加速しました。いわゆる鉄人28号のような、外から操作するタイプの建設機械です。それが土木ロボットの嚆矢と言えるかもしれませんね。

浜田 建築分野でも遠隔操作型で、カーテンウォールやガラスといった重量物の資材を運搬・組立するベースマシンが登場しました。腕部のアタッチメントを変更することで、多様な資材に一台で対応できます。これは多くの職種の工事業者さんに数百台単位で売れました。数人がかりの重労働を代替する機械はビジネスになるという証左になりました。

佐藤 マンパワーに依存して大きな負荷のかかる作業を自動化することの重要性が顕在化していますよね。国土交通省は人の動作を補助する装置、パワーアシストスーツの導入を模索していて、日建連も検討ワーキンググループに参画しています。かつての駆動系から、今はゴムの力

右/国土交通省では、他産業で実用化が進むパワーアシストスーツについて、建設現場への円滑な導入に向けた検討を進めている。写真は、国土交通省の職員が実験で装着した際の様子。(提供:国土交通省総合政策局公共事業企画調整課施工安全企画室)

左/雲仙普賢岳の災害復旧にあたっては、遠隔操作によって施工機械を動かし施工をする無人化施工技術が導入された。写真は、重機の遠隔操作室の様子。(提供:国土交通省長崎河川国道事務所雲仙砂防管理センター)

でサポートするものも登場するなど進化していて、大きな可能性を感じました。誰もが気軽に扱うことができ、更に熟練の技能者と同様の仕上がりが可能になる。パワーショベル上のモニターに投影されるGPS情報を基に、測量に頼ることなく正確な掘削ができるといった、土木における情報化施工の高度化にもそうした背景があります。

業界を横断する基準を模索する

浜田 建築分野では、現場で使う遠隔操作の機械からロボットまでを一般的に建築ロボットと位置付けています。今後、日建連としても定義を更に明確にする必要があると考えていますが、土木分野ではいかがですか。

佐藤 概念が曖昧だと「ベルトコンベアはロボットか」といった話になってしましますが、専門部会では「自動かつ自律可能な機械」をロボットと定義しています。自分で考え自分で動くのがロボットです。人が遠隔で動くのがロボットです。人が遠隔操作した雲仙普賢岳の重機は厳密な意味ではロボットとは言えませんが。周辺の状況を認識し、判断して鉄筋を結束したり、資材を自動搬送したりする建築ロボットが本来のロボットと言えるでしょう。

建築の現場は雨や泥土に阻まれることは少ないので、ロボットの導入には有利だと思うのですが…。
浜田 私は逆に、土木は土工機械のロボット化で建築より先行しているように感じています。高い精度が要求される掘削位置の見極めなどはGPSを有効に活用していますよね。建築の現場でGPSの信号を捉えることは難しいものです。更に建築の

安全基準をはじめとする ルールづくりが課題



業界全体が同じ地平に立って 推進していくことが必要

仕事になりません。産業用ロボットとは全く異なる視点で基準を検討することが必要です。

佐藤 土木の現場には重機との接触、転落など危険因子が数多く潜んでいます。自動で動く機械からどうやって人を守るのか、これは大きな課題です。私は洋上風力発電事業にも携わっていますが、人が潜れない一〇〇メートルの海底では無人施工を前提として資機材から工法までを検討する必要があります。ロボットに關しても同様で、そもそも危険な作業に人は一切関わらず、ロボットが自律的に施工することを前提としたほうが技術革新は加速するかもしれません。

例えば自動車の自動運転にしても、公道を走ることができる技術が登場して初めて、危険要素を想定して法律が整備されます。法整備は技術の普及の後です。これは致し方ありません。

例えは自動車の自動運転にしても、公道を走ることができる技術が登場して初めて、危険要素を想定して法律が整備されます。法整備は技術の普及の後です。これは致し方ありません。

業界連携の先に見える 未来の現場

佐藤 昨年、情報利用技術専門部会でも「建設業のためのロボットに関する調査」を実施しました。目的は「現状把握」です。

新技術が製品化されてビジネスに移行する過程では、「研究段階」と「実証段階」を経て、最終的に産業化を見据えた「商用段階」という道

いことではありません。

浜田 建築ロボット専門部会でも、安全基準の策定が急務として、検討を行っています。業界を横断する独自のガイドラインをつくらうと。そのために課題の抽出を進めているところです。

NEDOは二〇二〇年度、産学官が連携した「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」を行いました。これに日建連も全面的に協力して、その結果を踏まえ提言として取りまとめられたところです。そのなかでも運用の改善、安全基準の策定が喫緊の課題として挙げられています。人材の開発や教育にリンクさせた普及促進も考えられます。そして、ロボット業界が開発した新技術を現場に導入し、その結果ビジネスとして健全に成立するエコシステムの構築も視野に入れています。

筋を踏みます。調査の結果から見てきたのは、建設業界は未だ「研究段階」にあるということです。この研究段階の次に何が登場するのかを精査することは重要だと考えています。

浜田 いずれにしても現場で使われないことにはデータも取れませんし、有効性も実証できません。道半ばだとしても、現場の技能者に喜んで使ってもらえるようなロボットの

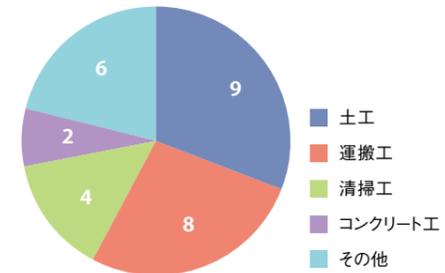
ロボットに関する技術連携のイメージ



建設業界では、ロボット施工やICT分野での技術連携が進む。共同開発や相互利用で開発費や生産コストを低減させ、施工ロボットの普及加速を業界全体で目指す。最先端技術の利活用は、技能者の生産性向上や処遇改善、若年層の入職促進などにも寄与し、業界の魅力向上も期待される。(提供:鹿島建設(株)、清水建設(株)、(株)竹中工務店)

建設業のためのロボットに関する調査

調査した範囲で全29件のロボット技術が存在した。工種別の結果は下記のとおり。



(日建連「建設業のためのロボットに関する調査報告書」より)

建築ロボット導入の阻害要因

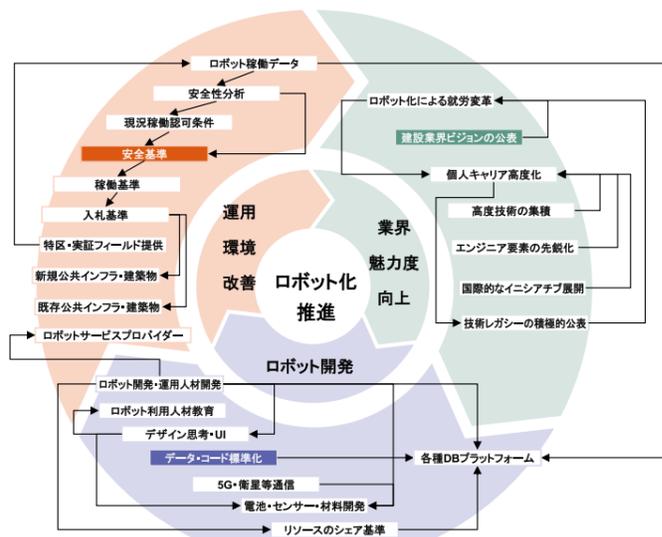
調査サンプル数は17社22名。(参加各社の回答コメント数：複数回答含む)

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におけるルール不在
業界外現状	6	3	高価なロボット、コンサル料のため初期投資大
業界・社内	4	10	ロボット等装置の所有の帰属(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(緊急停止措置可能など)
現技術の水準	13	4	仕上がり・精度の品質不十分、監視者の合意得られない
現場での運用	5	8	予測不可能な事態への対応

(日建連「2019年度アンケート調査」より)

ロボット化推進のための共創に向けた課題

NEDO調査報告書(委託先:三菱UFJコンサルティング(株))より。外枠は「共有可能な要素」。実現の優先順位を検討していくことが肝要である。



NEDOは2020年度調査事業「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」において、建築ロボット普及の阻害要因を抽出し、その解決に向けた方策を調査した。この調査において、日建連は、学識経験者、専門工事業やレンタル会社等の関連団体とともに、建築ロボット専門部会から7名が委員として有識者会議に参加し、アンケートやヒアリング調査へ対応する等、全面的に協力した。

開発や導入を促していかなければなりませんね。

佐藤 そのためには建設業界全体が同じ地平に立って推進していくことが大切です。現在は各企業が独自に開発を進めています。それだと市場規模も小さいまま大きなうねりにつながらないと思います。大学と協力して基礎研究を進めるなど、新機軸も必要になるでしょう。複数の大手ゼネコンがコンソーシアムを設立して、共同研究を加速させようとする動向にも期待できます。

浜田 ロボットの導入を前提とした作業の標準化も、建設業界全体で取り組む必要がありますよね。例えば、ビールを搬送するパレットは酒造メーカーで横断的に統一されていますが、建設業界では、資材を運搬するパレットがバラバラです。建設は一品生産なのでやむを得ない部分もありますが、他産業に学ぶべき点も多いでしょう。個社の取組みだけでは実現困難なテーマに対し、協働して標準化を模索することは重要だと思えます。

佐藤 ロボット導入を促す業界の共通認識として、先ほど浜田さんが指

摘された人材の育成や、ロボット産業のビジネス化に加え、「安全」が一つのキーワードになるかもしれません。安全は目標として共有しやすいものです。危険な作業をロボットに任せ、建設災害を減らす。そのためにロボットの導入促進は必須だと考えます。

浜田 バブル期の建築現場におけるロボット化は、個社ごとのPRが先行してしまい、実効的な生産性の向上につながりませんでした。建設業界にはそうした反省がありますし、いまや状況が全く違います。その轍を二度と踏まない覚悟で取り組んでいきたいですね。

佐藤 失敗を恐れずどんどん挑戦していきたいですね。何かを製品化する時には、失敗の数のほうが圧倒的に多いのです。そうした事実を理解して、いかにリスクを減らしながら実証していくか。建設業界全体で挑むべきテーマです。今本気になって始めないと間に合わなくなってしまう。

ロボットはもはや夢物語ではありません。建設業界の未来を占う現実的な課題として目前に迫っています。