

1. ロボットと群管理

土木作業には、調査、掘削、削孔、運搬、転圧、設置、仕上げ、調整等、多くの作業要素が含まれており、異なった工種の作業者が様々な機械や技能を持ち合い、協力して行われる。

作業には、ロボット化が容易な単純な繰り返し作業と熟練者が対応する複雑作業が混在している。土木作業のロボット化は、一連の作業の中から比較的単純な作業要素を抽出し、その作業に限定して行われている。

作業全体のロボット化には、単純化された作業要素毎に開発されたロボットの組み合わせが必要である。トンネル施工機械を除き、全作業を1台の機械で行えるロボット機械は存在しない。

機能の異なる複数のロボットの協調を実現する鍵がロボットの群管理である。ロボと群管理が実現すれば、個々の作業要素毎にロボットを開発すれば、それを組み合わせて施工全体のロボット化が実現する。今回は、災害時の救援作業用に開発が進められているロボットの群管理の事例と、作業要素毎にロボット化を実現するために、移動装置として使えるような、履帯やタイヤの走行体を紹介する。

こんな作業はロボット化できそうと思った時に現場に合わせた「マイ・ロボット」を創って見て

欲しい。様々な作業に適合したロボットを創り出し、それらを組み合わせた「ロボット施工」を実現したい。

2. 群管理ロボット

(1) 消防活動支援ロボットシステム (小型クローラロボット)

複数のロボットが協調して作業を行うためのロボット群管理の事例として、消防活動支援ロボットシステムがある。コンセプトレベルではあるが、複雑な建設現場の作業支援への展開が想定されている。

総務省消防庁消防大学校消防研究センターでは、「かるがも」の子供のように消防士について



有線機・無線機2台連結による階段昇降
写真1 複数のロボット連結での階段昇降

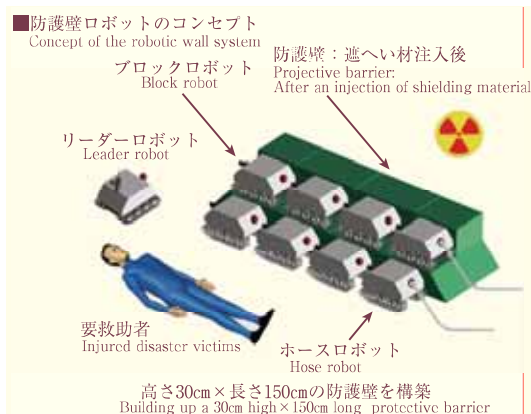


図1 火災現場等での人命救助ロボット



図2 小型ロボットが協調して人命救助

記事 4

歩き補助作業を行い、防護壁と放水で要救助者を守り救出する事を目的とした、蟻のように協調する小型クローラロボットの研究を行っている。2台連結すれば階段の昇降、3台が連結すれば不陸のある急峻な斜面も乗越えられる。

ベースマシンを共通化する事で連結や協調が容易となり、作業機やセンサを交換すれば異なった機能のロボットにも変身できる。部品の共通化により廉価化と保守の容易化が実現する。土木ロボットにおいても追従すべき素晴らしいコンセプトである。

(2) 作業者との協調からロボット間協調へ

1台であっても、作業者と協調して作業の支援や作業助手の働きをするロボットの導入は、土木作業においても作業の補助や長尺物を2人で運ぶ、搭載センサが作業空間の安全管理を行う等の局面で役に立ちそうだ。

ロボットが賢くなり作業者から独立し、協調相手がロボットとなれば、群管理が実現する。複数ロボットが協調して一つの仕事を効率的に行うためには、ロボット群を構成する個々のロボットが、土木の設計内容を熟知している事が前提となるので、高度な情報化施工の導入、現場監督者に代わり現場を管理するロボットの出現も望まれる。

表1に、群管理を前提とした、ロボット開発の事例を示す。何れもコンセプトレベルではあるが、土木作業のロボット化実現には、この分野での研究がもっと闊達に行われるべきである。

(3) 自己組織化

機能の異なる複数ロボットが人間の細胞の様に目的に向かって協調して作業を行う方式は「自己組織化」と呼称されている。ロボット群が蟻のように協調して仕事を成し遂げる事ができれば、大きなロボットの入り込めない場所、1台では対応できない大きさや力が必要な作業、要求された作

業を遂行するために様々に機能が求められる作業への対処が容易となる。

各ロボットに異なった機能を付与し、現場に応じて調査、作業、搬送、牽引、群の指揮（リーダーロボット）、伝令等を行う。ベースマシンとして同一の走行体を用いれば、低コストで各現場に応じた機能付与が可能となる。1台のロボットに必要な全ての機能を求めずに機能分散を行うことによりロボット化はより現実的なものとなる。

「自己組織化」の道程としては作業者と協調して作業を行う「助手ロボット」が想定される。

長尺物の運搬では作業者とロボットが両端を持って運ぶ。ロボットは荷の動きを通じて作業者の意図を把握して補完的な働きをする。建設作業支援や資材運搬にも同様な手法が活用できる。

消防ロボットの事例では、「散水」「火災や熱遮蔽を行う」「被災者を搬送する」「全体を統合し最適な協調を行う（リーダーロボット）」が協力して災害に対処することを想定している。

消防手は、リーダーロボットのみ指示を与えれば良い。

3. 作業に合ったマイロボットを創ろう

建設作業はロボット化が先行している工場や倉庫等のように移動現場や作業の対象、作業の内容が画一的ではないことなどがロボット化の進まない理由とされている。

しかし、トラックの資材の積み下ろしを始め、資材を仮置き場から作業場に運ぶ、掘削する、埋め戻す、敷き均す、転圧する、設置するなどの作業を細かく観察すると、同一作業が繰り返される局面が多々存在する。

個々の作業を支援する小型、廉価で操縦し易いロボットが開発されれば、作業者の負担が軽減される。測量、くい打ち、長尺物の搬送などでは助手ロボットの出番かも知れない。

最近の前号でもご紹介したクローラ型のロボッ

表1 ロボット群管理の研究例

	開発主体	開発項目・名称	内容	備考
1	総務省消防庁消防大学校 消防研究センター	「かるがもロボット」 (消防隊員に追従して走行し経路を記憶する)	複数台が協調して資材運搬や人の救出を行うロボットへの展開	三菱電機特機システム(株)
2	国土交通省関東地方整備局宮ヶ瀬ダム工事事務所	無人転圧機械	5台の転圧機械が協調して、最も効率良く指定エリアの転圧を行う	三菱重工業(株)
3	(株)間組 筑波大学	ダンプトラック群の無人走行	走行の無人化と群としての最適走行	注
4	ロボテック研究所	ミリ波を利用した大型土工現場での無人化施工	施工機械全体の最適配置、最効率作業の研究	

注：ダンプトラック群の最適走行には「フリート（艦隊）プロダクション・シミュレーション」等、群として最も効率の良い（生産性が高い）、全作業での燃料消費量が少ない（燃料生産性が高い）走行方法を決定するためのソフトウェアが開発されている。

ト開発用のプラットフォームも市販されている。これらに現場に必要な機能を追加した助手ロボットを創る事は不可能ではない。

地中探査ロボット「てんとう虫」、グリーンカットロボット「アライグマ」、自走式コンクリート打設面処理機「KAME」など、愉快的な名前のついた土木ロボットはこんな発想から生まれたのではないだろうか。

とりあえず、前号でご紹介した、運ぶ、支えるから始めて欲しい。



写真2 ロボットモジュール (T-01型)

(1) 移動型ロボットプラットフォーム：トピー工業(株)

① 汎用ロボットのベースマシン

現場で使えそうなロボットの母体に東京工業大学広瀬教授の協力を得て、トピー工業(株)が製作した「クローラロボットモジュール」がある。産学協同プロジェクトの成果で質量4kgの小型から45kgの中型までのバリエーションがある(写真2, 表2)。



写真3 汎用移動ロボット

用化した、小型クローラロボットのプラットフォームである。

(2) クローラロボット：三菱電機特機システム(株)

表3は、図1及び2に示した消防活動支援ロボットシステムをベースとし、総務省消防庁消防大学校消防研究センターとの共同研究によって実

(3) 汎用移動ロボット

写真3のような、ユーザが自由に組み立てられる無人搬送車もある。走路に磁気テープ等を貼付

表2 クローラロボットモジュール

項目	仕様	仕様	仕様	仕様	仕様
1 寸法L×W×H (mm)	1025×480×280	802×480×252	570×510×202	482×364×130	380×158×130
2 本体質量	45kg	40kg	20kg	15kg	4kg
3 乗越可能段差	最大180mm	最大122mm	最大122mm	最大84.5mm	最大84.5mm
4 可載質量	最大20kg	最大20kg	最大20kg	最大10kg	最大3kg
5 走行速度	最高3km/h平地	最高3km/h平地	最高3km/h平地	最高0.7km/h平地	最高0.7km/h平地
6 登攀勾配	最大45°	最大35°			
製造者型式	T-01	G-03	H-80	S-90LW	S-90

表3 小型クローラロボット開発のプラットフォーム

項目	外観	仕様		
1 寸法 (mm)	L455×W350×H165	L710×W405×H450	L870×W555×H300	
2 本体質量	14kg	18kg	25kg	
3 乗越可能段差	最大90mm程度	最大200mm程度	最大250mm程度	
4 可載質量	最大30kg	最大30kg		
5 走行速度	最大5km/h	最大5km/h	最大4km/h	
6 連続走行可能時間	平地1.5h以上	平地1.0h以上	平地1.0h以上	
7 登攀勾配	最大45°	最大45°	最大45°	
8 耐環境性	防塵・防水性：IP65相当, 使用可能温度範囲：-10~40℃			

表4 汎用移動ロボットの仕様

		標準型	高速型	高荷重型
誘導方式		磁気誘導	磁気誘導	磁気誘導
定格荷重		250kg	250kg	500kg
走行速度		30m/min	60m/min	30m/min
停止精度		±30mm	±30mm	±30mm
登坂能力 (連続5m)	定格荷重時	2%	2%	2%
	70%荷重時	3%	3%	3%
路面条件	段差/15m/min時	6mm以内	6mm以内	6mm以内
	うねり	10mm以内	10mm以内	10mm以内
環境条件	温度	0～40℃	0～40℃	0～40℃
	湿度	20～80%	20～80%	20～80%
価格		35万円	38万円	39万円

<http://agv.meidensha.co.jp/mcat/about-mcat.html>

することにより現場の特定経路を無人で走り回り搬送や牽引を行うロボットである。

このロボットをベースマシンにすれば難しい制御の部分を省いて、効率的にロボットが実現する。ユーザは作業機能と必要なセンサを追加すれば良い。

ロボットの機能や大きさで、利用可能な作業は限定されるが、作業機の改善、センサの追加、ロボット導入のための現場条件の確認、ロボット作業への適合性等、ロボット導入への基盤的な研究を容易に行う事ができる。

写真3のロボットは、部品棚や工具室から組立ラインまでの間を、ボックスパレットや平パレットを牽引して保管倉庫まで自動搬送したり、パレットの牽引車などとして活用されている。自動倉庫内の部品の搬送、病院内で薬品、器材、カルテなどを搬送こと等への展開も想定される。

写真3のロボットは屋内専用であるが、土木施工現場への移動ロボット導入のためのロボット導入への基盤的な研究を行うには十分な機能を有している。測量作業の相棒として、材料や工具の搬送、図面や指示書の持ち運び、現場清掃など、知恵を絞って欲しい。

② お掃除ロボット

平面な場所なら自由に動き回れるロボットの機能を活用している作業として清掃作業がある。道



写真4 清掃ロボット

路の補修や開削を行った後や、資機材の撤収を行っている間に、お掃除ロボットが工事跡をきれいに清掃してくれる。建物の中ではエレベータを使って複数階の清掃作業もこなす優れ者である。

家庭用にも、部屋の中を自由に動き回り掃除を行い、電池が消耗したらコンセントを捜して自分で充電する清掃ロボットが家電店でも販売されている時代になった。囲われた平らな空間を自在に走行することのみを想定し、必要な機能のみを装備した廉価なロボットで、一般の家庭でも使用されている。

③ てんとう虫

現場指向で開発したと思われる土木ロボットに地中探査ロボット「てんとう虫」がある。移動機能と探査センサを装備したもので、「マイロボット」的な可愛らしい土木ロボットである。コンクリート継ぎ目部分の清掃を行うグリーンカットロボットの「あらいぐま」「KAME」「コテキング」なども現場からの発注で開発されている。

可愛らしい名前の付いた土木ロボットが次々と実現する事を期待したい。




写真5 てんとう虫

④ 未来のクレーン

土木ロボットの未来を想起できる施工機械に、“未来のクレーン” ROBOTOPS (ロボットプス) “がある。” ROBOTOPS “は、クレーン専門メーカーの(株)タダノが、創立60周年を記念して開発した未来指向の機械である。構造物(クレーン機構)・

表5 未来型クレーン

 <p>“未来のクレーン” ROBOTOPS</p>	◇寸法・重量
	全高 2.1m (格納時)
	全幅 2.1m (格納時)
	全長 3.84m (格納時)
	重量 2.7 t
	◇動作自由度 計29自由度 (手6, 腕6, 肩旋回2, 腰旋回1, 足12, 走行2)
	◇把持重量 100kg×2 (両掴み手)
◇撮影機能 CCDカメラ3台 (両手&機体中央)	
◇操作方式 遠隔操作 ジョイスティック方式	

油圧（シリンダ）・電子制御（動作・負荷制御）等、同社の総合技術を結集して開発されたコンセプトロボット建機である。

ロボットの「移動制御システム」の開発は、岡山大学との共同研究で、歩行機能を具備している。

商品化はされないが、開発過程での要素技術が今後のロボット化展開に大いに寄与すると期待される。

4. おわりに

土木施工のロボット化には、工程や作業内容毎に変化するロボットへの機能要求を1台のロボットの多機能化で対応するより、作業要素毎に開発された単機能のロボットの群管理で対応する方式が現実的である。全作業要素毎のロボットが開発されれば、それらを組み合わせたロボット群が協調して作業を遂行する。作業要求に対し、力不足の場合には、消防ロボットのように複数のロボットが合体や協調をすれば良い。

移動機構が同一であればロボット群の制御が容易である。作業装置の載せ替えによる移動機構の兼用で、少数の機械で複雑な土木作業に対処できる。開発者間の制御ソフトウェアの流通で重複

した開発を排除できる、上階層の群制御システムが単純化される等のメリットもある。

写真2のロボットモジュールは、シリーズ⑥で紹介した「床下点検ロボット」や蛇型レスキューロボット「蒼龍」などの走行体に利用されている。1台で点検や小型機材の運搬を行い、縦に合体して段差を踏破し、縦横に合体して重量物の搬送を行うなど、移動部の共通化のメリットは大きい。複雑な構造をした走行機能に既製品を用いる事でロボット創りはより身近なものとなって来た。

まずは、既成の移動体に必要な機能を載せて、作業者の助手や単純作業の任せられるロボットを創ってみよう。地中探査、清掃、コンクリート表層仕上げ等、広いエリアでの単純作業用のロボット化により不整地でも活用可能な履帯走行型にする等の開発が実効的ではないだろうか。

表5の「未来型クレーン」は、企業や大学が取り組んだロボットである。同社の創業60年の節目に、60年間に蓄積された技術の集大成として開発された双腕の歩行クレーンである。土木ロボットの実現にはタダノの開発事例のように、現状の作業手法に捕われない近未来的な発想が必要である。

次号では、災害救援や復旧現場で採用されている「無人化施工」の現状と近未来への展望を紹介したい。

【出典】

図1, 2	http://www.fri.go.jp/cgi-bin/hp/index.cgi?ac1=JRR1&ac2=21&ac3=495&Page=hpd_view	消防庁
表3	http://www.melos.co.jp/products/crawler.html	三菱電機
表5	http://www.tadano.co.jp/company/newsrelease/2009/090609.html	タダノ
写真2	http://www.topy.co.jp/dept/bdp/BG002_001.html	トピー工業
写真3	http://agv.meidensha.co.jp/mcat/about-mcat.html	明電舎
写真4	http://www.fhi-clean-robot.jp/seihin.htm	富士重工業
写真5	東急建設㈱メカトロニクス開発室 カタログ	東急建設