

搬送ロボットの拡張機能開発

瀬戸 悠介 盛合 湧志
金浪 由宇

概 要

建設現場における就業者数は減少傾向にあり、国土交通省の調査によると生産年齢人口は2040年には2割減少することが予想されている。そのため建設業では、労働人口の減少に対応すべく、現場の自動化や省人化が強く求められており、自動化に向けた取り組み、施工作業をアシストするツールの開発などが行われている。これらの取り組みによって省人化のみでは無く生産性の向上も期待できる。自動化に向けた取り組みの1つとして自動搬送システムの開発が行われている。自動搬送システムを含めた多くのロボットは1つの作業のみに特化しているため適用範囲が狭く、導入に対して十分なコストメリットを創出できていない状態にある。

そこで我々は自動搬送ロボットに拡張機能を持たせることができる作業アタッチメントを提案している。この提案によって、自動搬送ロボットが掃除や測定などの搬送以外の作業にも対応可能になり、費用対効果の向上が期待できる。我々は様々考えられる作業の中で現場の水たまり除去作業（以下、水替え作業）に注目し、水替えアタッチメントを開発した。開発した水替えアタッチメントで現場実証を行い、5.38時間の稼働で1437L、748㎡の水替え作業を行った。

Development of Add-on Modules for Autonomous Transport Robots

Abstract

The number of workers employed at construction sites has been on a declining trend. According to a survey conducted by the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT), Japan's working-age population is projected to decrease by approximately 20% by 2040. To address this issue, the construction industry is being encouraged to accelerate the automation of on-site processes, with the development of autonomous transport systems being one such initiative. However, many robots, including autonomous transport systems, are designed to perform only a single specialized task, which limits their applicability and prevents them from delivering sufficient cost benefits.

Add-on modules have therefore been proposed to extend the functionality of autonomous transport robots. This allows autonomous transport robots to perform non-transport tasks such as cleaning, measurement, and security, thereby improving cost-effectiveness. Among various potential tasks, attention was focused on water removal at construction sites, leading to the development of a drainage module. Field validation using the developed drainage module demonstrated its effectiveness: during 5.38 hours of operation, the system successfully removed 1,437 liters of water across an area of 748 m².

キーワード：水替え、自動搬送システム、AGV、自動化
施工

§1. はじめに

建設現場における就業者数は減少傾向にあり、国土交通省の調査によると生産年齢人口は2040年には2割減少することが予想されている。そのため建設業では、労働人口の減少に対応すべく、現場の自動化や省人化が強く求められている。

自動化に向けた取り組みの一つに、AGV（Automatic Guided Vehicle）やAMR（Autonomous Mobile Robot）を用いた資材搬送の自動化が挙げられる。例えばフジタでは荷台の下に潜り込んで持ち上げ搬送を行うクローラ式のロボットを¹⁾、東急建設では台車を牽引して走行するタイヤ式のロボットを開発している²⁾。

上記のような自動化システムの共通の課題として、費用対効果の低さが挙げられる。具体的には、建設現場には段差や不整地、環境変化のためロボットの導入に伴い多額の費用をかけて段差の解消や走路の確保を行う必要がある。また、各企業が独自に研究開発を進めているため、各ロボットの開発費用も大きな負担となっている。ロボットの単価が高額で作業者の労務費と比べて時にコストメリットが出ない点も課題である。それに対し、多くのロボットは1つの作業のみに特化しているため適用範囲が狭く、導入に対して十分なコストメリットを創出できていない状態にある。

そこで我々は、自動搬送ロボットの拡張機能として、1つのロボットで複数の作業ができるようにする作業アタッチメントを提唱している。このアイデアによって、ロボットの導入コストを抑えたまま、作業自動化の適用範囲を広げることで、ロボットの現場導入時の費用対効果を向上させる。

その一例として現場の水たまり除去作業アタッチメント（以下、水替えアタッチメント）を開発している³⁾。この水替えアタッチメントの現場実証において、作業効率の水たまり深さの影響を受けることなどが明らかになっている。

本稿では、今まで議論されていなかったアタッチメントと自動搬送ロボットとの制御信号を介した連携方法について論じ、現場実証の結果を報告する。

§2. 拡張機能について

図1に拡張機能のコンセプトを示す。アタッチメントが取り付けられた自動搬送ロボットを移動装置として利用し、アタッチメント側を作業部とすることで、自動搬送ロボットが搬送以外の作業を行うことができるようになる。より多くの種類の自動搬送ロボットに汎用的に取り付けられるようにするため、アタッチメ

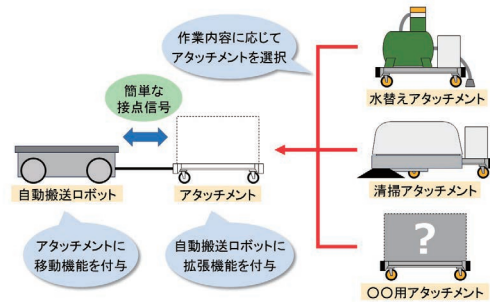


図1 拡張機能のコンセプト図

ントは台車を用いて構成し、作業装置はその台車に積載可能なサイズと質量にすることをコンセプトとした。自動搬送ロボットは任意のセンサを持って自律的に走行する機能を有していることを前提とし、システムのインテリジェンスの部分の大半を自動搬送ロボット側が行うことを想定している。

§3. 水替えアタッチメント

3.1 雨水による影響と水替え作業

建設現場の生産性は天候の影響を受けやすく、特に雨水は多くの作業の妨げとなる。具体的には、表面硬化剤の塗布や墨出しが行えなくなる他、カビや貫い錆による建築物の品質低下^{4) 5)}、水たまりによる床上に配線されたケーブルからの漏電や作業者の転倒などの危険性が挙げられる。また、現場の監督者へヒアリングを行ったところ、水没具合によっては、資材が床上に置けなくなり作業が中断されるという意見も得られた。そのため作業の前に、床上の水たまりの除去（以下、水替え作業）が必要不可欠となる。図2は水替え作業の様子で、水切りワイパーと呼ばれる道具を用いて水替え作業を行っている。水替え作業は専門工事業者の付帯作業として行われることが多く、本来の作業時間が減少してしまうことも雨による生産性低下の一因となっている。

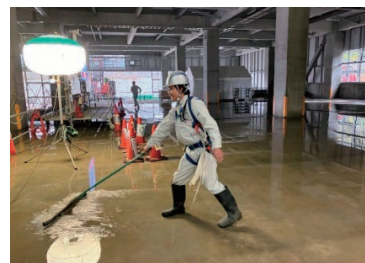


図2 人による水替え作業の様子

以上の背景を踏まえ、筆者らは水替え作業を自動搬送ロボットの拡張機能の1つに指定した。具体的には、バキュームでタンクに水を汲み取り、タンクが満杯に

なれば排水場所で排水する動作を繰り返し行う水替えアタッチメントを構想した。

3.2 開発した水替えアタッチメント

図3に今回開発した水替えアタッチメント、表1にそのスペックを示す。掃除機のような吸引口（吸引ノズル）が床面に接しており、バキュームを介して150Lのタンクに水を溜めることができる。タンクには水位を検出するセンサがついており、タンク内の満水を検知して吸水を停止することができる。また、満水になった場合は電磁弁から自然流水による排水を行うことができ、水位センサによってタンクの排水完了

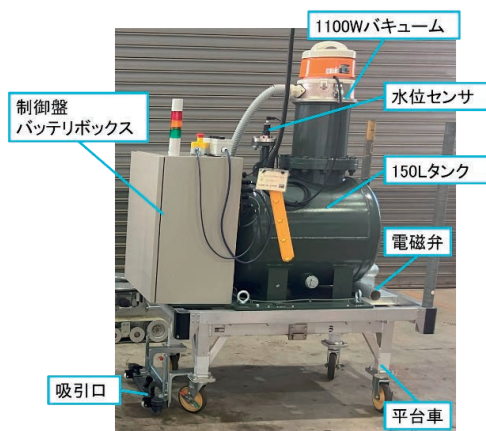


図3 開発した水替えアタッチメント

表1 アタッチメントの仕様

大きさ	816mm×1419mm×1828mm
台車可搬重量	1t
バキューム	スイデン SGV-110 ALN
バキューム消費電力	1100w
バッテリー	Jackery ポータブル電源3000 Pro
バッテリー容量	3024 Wh
連続稼働時間	2.5時間（実力値）
タンク	圧力容器
タンク容量	150L



図4 各社のロボットに取りつけた様子

を検知して、電磁弁を自動で閉めることができる。

水替えアタッチメントを東急建設、フジタの各ロボットに取りつけた様子を図4に示す。各社の自動搬送ロボットの特徴として、フジタのロボットは台車を積載して自動搬送を行い、東急建設のロボットは台車を牽引して自動搬送を行う点がある。アタッチメントは台車に搭載できるよう設計されているため、特徴の異なる搬送ロボットに対して汎用的に取り付け可能である。

複雑な情報をやり取りすれば、複雑な作業に対応可能になるが、アタッチメントとロボットの連携も複雑化し、最悪の場合はアタッチメントと連携可能なロボットが絞られる。そこで本アタッチメントは図5のような簡単な接点信号のみで様々な移動ロボットと連携できることを特徴としている。具体的にはバキュームのON/OFF、タンクの満空、排水弁の開閉（排水の完了）の3つの信号のやり取りのみで、“タンクへの吸水→タンクからの排水”を繰り返すことで水替え作業を行うことができる。

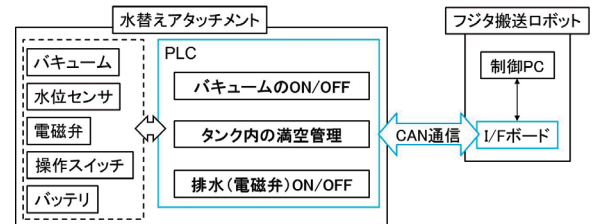


図5 ロボットとアタッチメントの接続

3.3 バキュームの吸引効率

バキュームの吸引効率は現場の水たまりが浅くなれば低下することが分かっている³⁾。これは単純に水替え作業が進み、吸い込む水が地面から少なくなることである。そこで図6のような現場の水たまり深さの影響が無い理想的な状態での吸引効率を計測した。水替えアタッチメントから吸引ノズルを伸ばし、ポリタンクに充分溜めた水を吸引させ0.8L/secという結果が得られた。



図6 測定の様子



図7 風量調節穴

図7のようなノズルの途中に風量調節穴があり、これを閉状態にすると吸引効率が1.9L/secに向上することも確認した。バキュームの取り扱い説明書には水槽などの水を吸わせる場合、空気と一緒に吸わせないとオーバーフローする恐れがあることが記載されている。

以上の結果からバキュームとしての定格能力は0.8L/sec程度であり、吸引能力はノズル先端から水と一緒に吸引する空気の量によって上下することが分かった。

3.4 歩掛り

現場での実測および現場へのヒアリング結果では作業員1名が水切りワイパを用いて水替え作業を行った場合の作業効率は96㎡/hであった^{3) 6)}。

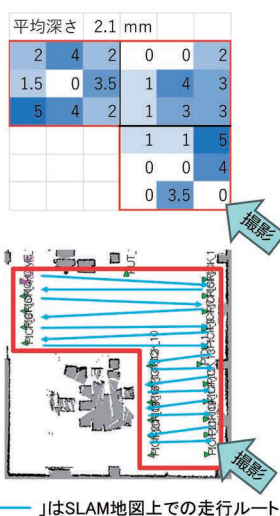
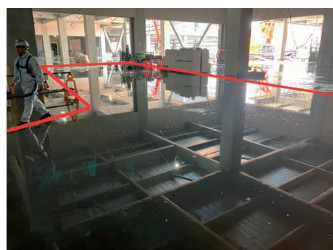


図8 第1区画の様子、測定した水たまり深さ、設定した走行ルート

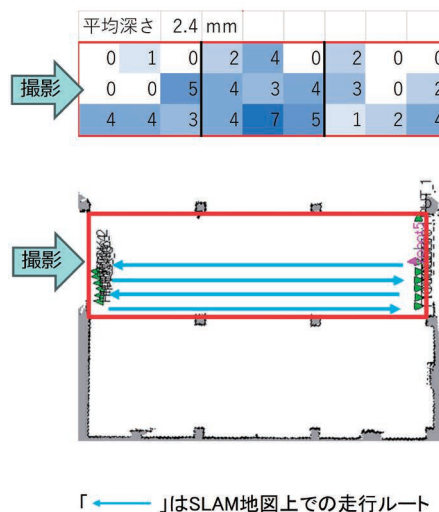
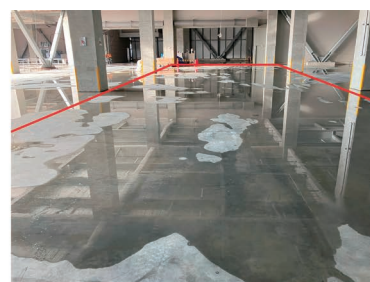


図9 第2区画の様子、測定した水たまり深さ、設定した走行ルート

基本的にロボットによる水替え作業中は人による作業は発生しない。水替え作業前に走行ルートの設定などの準備作業が必要であり、準備作業時間と人による水切りワイパの作業時間を比較することで歩掛り評価できると考えた。

§4. 現場実証

物流倉庫の現場にて実証を行った。図8、図9の合計2区画の水替えを行った。4本の柱に囲まれている1面に対して計9箇所水たまり深さの計測を行った。

図8の第1区画はフィールドを塗り潰すような走行を行い、図9の第2区画は水たまり深さが高い部分を重点的に走行するようにルート設定を行った。ロボッ

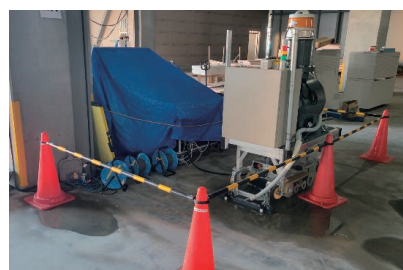


図10 スタート地点に設置した充電場所



図 11 水替え作業、排水釜場への排水の様子



図 12 水替え前後の様子

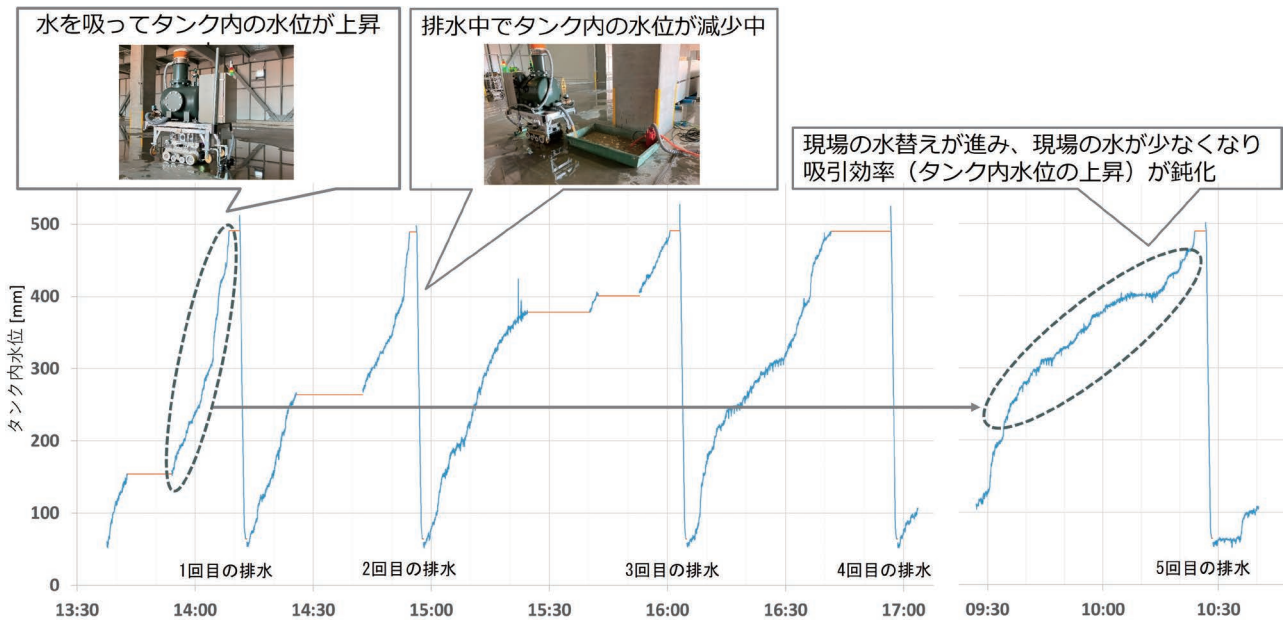


図 13 水替え作業時のタンク内水位の変化

トは走行をスタートさせ、2～3時間程度走行させてスタート位置まで戻るようなルート設定を行った。

スタート位置には図10の充電場所を用意しており、コンセントを挿すことで充電を行うことができる。このことで走行開始から終了まで人の手が介在しないような運用を目指した。

第1区画、第2区画それぞれのすぐ近くには図11の排水釜場の設置を行った。この排水釜場には排水ポンプが設置されており、サニーホースを通して排水釜場から建物外の地面まで排水を行うことができる。タンクが満水になり吸水できなくなったロボットが遠方の排水地点まで行く時間を削減できるので、この排水釜場によって作業の効率化を図ることもできる。さらに

上階から1階までサニーホースを配線することで上階での運用も可能になる。

§5. 現場実証結果

フジタの新築物流倉庫の現場にて行った現場実証の結果を表2に示す。第1区画は2日に分けて水替えを

表2 現場実証結果

	区画	稼働時間[h]	面積[m ²]	排水量[L]	効率[L/h]
7/17 PM	第1区画	2.22	371.85	588	265.30
7/18 AM	第1区画	1.27	371.85	147	115.82
7/18 PM	第2区画	1.90	376.29	702	370.18
総稼働時間		5.38	748.14	1437	

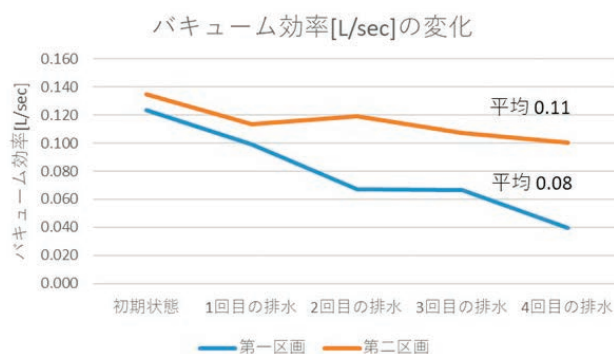


図14 排水回数とバキューム効率の変化

行った。図12が第1区画の水替え前と水替え後の現場の様子である。水たまりが深い所を重点的に走行させた第2区画の方が第1区画よりも効率値 [L/h] が高い結果になった。

5.1. 吸引効率の変化

図13是水替え中のタンク内部の水位の変化を表している。吸水中はタンク内の水位が上昇し、排水中は急激にタンク内水位が低下している。このタンク内水位の上昇中の傾きはバキュームの吸引効率を表している。水替えが進み排水回数が増えるとバキューム効率が低下することが確認できる。

図14は第1区画と第2区画のバキューム効率の比較である。両区画で排水回数が増えるごとにバキューム効率が低下する傾向が見られた。4回の排水で第1区画のバキューム効率は半分以下になったが、第2区画のバキューム効率は2割程度の減少に留まった。これは第2区画では水たまりが深い箇所を重点的に走行しているからである。

また章3.3で述べた定格出力0.8L/secに対して第2区画の平均効率0.11L/sec、第1区画の平均効率0.08L/secという結果であり、バキュームの出力を活かしきれていないことが分かった。水をかき集めながら吸引するなど、水たまりの深さが低い場合でも効率的に吸引可能なスキージの開発が今後の課題である。

5.2. 歩掛りの測定

ロボットを走行させるための準備作業時間を測定した結果を表3に示す。いわゆるルート設定のようなPC作業の他に地這配線の除去作業などに時間を要した。排水釜場や充電場所にも地這配線が必要であり、吸引口が地面に接していなければならない都合上、ロボットは地這配線を乗り越えることができない。地這配線がロボットの走行に支障がでないようにエリアの外側に配線を迂回させた。表3の測定結果は第1区画

表3 準備作業時間の測定結果

作業内容	人工	作業人数×時間 [時間]
ルート設定と調整、SLAM地図作り、シナリオ設定	0.17	1.4
地這配線の除去と設置、排水釜場と充電場所のセット	0.14	1.1



図15 作業時間削減率の試算

の作業時間であるが、第2区画でのルート設定などのPC作業時間は半分程度になった。これは第1区画でのルート設定を第2区画にある程度引き継いだからである。また充電のためコンセントに挿す作業時間なども含まれた測定結果である。

第1区画での準備作業時間の測定結果から作業時間削減率の試算を行った結果を図15に示す。第1区画の371㎡を人が水切りワイパーを使用して水替えを行うと約3.8時間という試算結果となる。これは章3.4で述べた人での作業効率96㎡/hからの試算である。ロボットが走行している間は基本的に人の手が介在しないようにルート設定を行っているので人の作業時間は0時間となる。また第1区画に再度水が溜まった際は同じルート設定で走行できるので、ロボット準備作業が低減し、更なる作業時間の削減が期待できる。

§6. まとめ

本稿では水替えアタッチメントと自動搬送ロボットを連携させた自動排水機能、開発した水替えアタッチメントでの現場実証を報告した。

水替えの走行ルート設定において、水たまりが深い箇所を重点的に走行させた時のバキューム効率0.11L/secに対し、塗りつぶし走行時のバキューム効率が0.08L/secであった。これは定格バキューム効率0.8L/secには及ばないという結果であり、吸引の効率化は今後の課題である。

歩掛りの測定において地這配線の撤去作業時間が支障的になることを指摘した。

謝辞

本研究は東急建設株式会社と共同で行った物である。

参考文献

- 1) 盛合、瀬戸、相馬、金浪、“自動搬送システムの開発”、フジタ技術研究報告 第60号、pp. 14-19、2024
- 2) 高橋、中村、“ランドマークとジャイロドメトリを融合した自動走行ロボット”、第22回建設ロボットシンポジウム予稿集、O3-4、2024
- 3) 瀬戸、高橋、盛合、金浪、中村、“搬送ロボットの拡張機能開発 -水替えアタッチメントの試作と現場検証-” 第24回建設ロボットシンポジウム予稿集、O-02、2025
- 4) 仕入、地濃、“コンクリート表面の汚れとその対策”、コンクリート工学、24巻、7号、pp. 52-58、1986
- 5) 堀、“建築材料からみた劣化評価と信頼性”、マテリアルライフ、2巻、4号、pp. 221-231、1990
- 6) 高橋、中村、“多機能移動ロボットを活用した現場作業の効率化”、月刊 建設機械、第60巻、第12号（通巻718号）、pp. 45-49、2024

ひとこと



瀬戸 悠介

建設現場にロボットがある未来を作りたい。その為には分野を横断した専門知識、軽快な試作力、頻繁な現場検証、周囲を巻き込むマネジメント力などが必要。ロボット開発は技術の総合格闘技と言える。