

自動搬送システムの開発

盛合 湧志 瀬戸 悠介
相馬 祐樹 金浪 由宇

概 要

搬送作業の生産性向上を目的として、段差の乗り越えと狭路の走行、そして工事用エレベータと連携した垂直移動が可能な自動搬送システムを開発した。本システムは、AGVである自動搬送ロボットと、資材を積載する専用荷台、フロア移動のための工事用エレベータおよびシャッタの自動化装置、そしてシステム全体を管理する統括PCから構成される。搬送ロボットによる水平搬送と、工事用エレベータと連携したフロア移動の実験を行い、それぞれの作業時間からシステム全体のサイクルタイムを推定した結果、自動搬送システムの導入によって、搬送作業に必要な人工数の削減が期待できることがわかった。

Auto-Transportation System Development

Abstract

To improve the productivity of transportation work, we developed an Auto-Transportation System capable of overcoming steps, navigating narrow paths, and moving floors in coordination with construction elevators. This system comprises Automatic Guided Vehicles (AGVs), dedicated carriers for loading materials, automated devices for controlling construction elevators and shutters, and a central management PC overseeing the entire system. We conducted experiments on horizontal transportation using AGVs and floor movement coordinated with construction elevators. By estimating the cycle time of the whole system based on individual task durations, we found that introducing the system is expected to reduce the number of workers required for transportation tasks significantly.

キーワード：自動化、ロボット、生産性向上、自動搬送、
AGV、ライントレース

§1. はじめに

建設工事において、内装工事では楊重業者による内装用石膏ボードをはじめとした重量物の搬送が行われている。資材搬送にかかる時間は工事の作業効率に直接影響を与えるため、搬送作業の効率化は現場から強く求められている¹⁾。また、昨今の建設業界では、少子高齢化における労働人口の減少、そして建設業への時間外労働上限規制の適用による労働時間の減少に対応するため、現場の生産性向上が喫緊の課題となっている²⁾。

搬送作業の省力化を目的とした Automatic Guided Vehicle（以下、AGV）は、今までにも数多く開発されている³⁾。AGVの走行環境としての建設現場には、床面の随所に段差が存在するほか、数多くの資機材が搬入および保管されるため十分な通路が確保できないといった特徴がある⁴⁾。また、建設現場における資機材の垂直移動には、工事用エレベータなどが使用されている⁵⁾。

これらの課題を解決するため、筆者らは段差の乗り越えと狭路の走行、そして工事用エレベータと連携した垂直移動が可能な自動搬送システムを開発した。

§2. 自動搬送システムの概要

2.1 システムの構成

本システムは図1に示すように、AGVである自動搬送ロボットと、資材を積載する専用荷台、フロア移動のための工事用エレベータおよびシャッタの自動化装置、そしてシステム全体を管理する統括PCから構成される。

統括PCは、各機器と特小無線またはWi-Fiを介して接続されている。また、統括PCには資材の大きさや配置といった搬送方法についての情報が記録されて

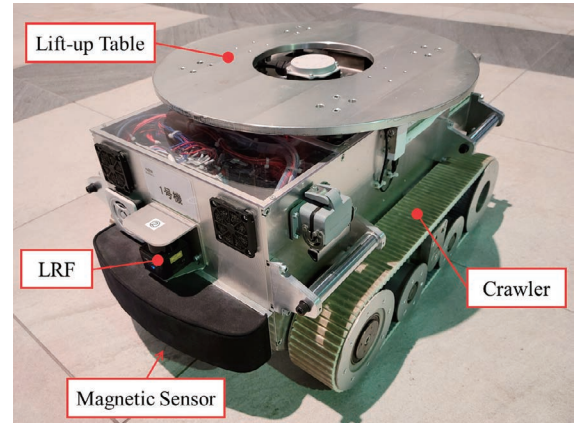


写真1 搬送ロボットの構成

いる。その情報を基に動作命令を各機器へ送信する。各機器の動作状態の確認と、ユーザへの確認結果の提示を行う。

2.2 搬送ロボット

搬送ロボットの構成を写真1に示す。最高速度は0.2m/s、重量は120kgである。走行にはSimultaneous Localization and Mapping（以下、SLAM）方式およびライントレース方式を採用しており、SLAM走行時にはロボットの前後左右に搭載されているLaser Range Finder（以下、LRF）で環境の認識を、ライントレース走行時にはロボットの下部に搭載されている磁気センサーでラインの認識を行う。また、ロボット上部のテーブルは、4本の電動アクチュエータによって上下する。テーブルのストローク長は100mm、最大持上重量は540kgである。ロボットは、540kgの荷を持ち上げたまま10degのスロープ昇降、段差12mmの乗り越えを行うことができる。電源にはリチウムイオンバッテリーを採用しており、540kgの荷を持ち上げたまま9時間走行を行うことができる。充電時間は3時間である。

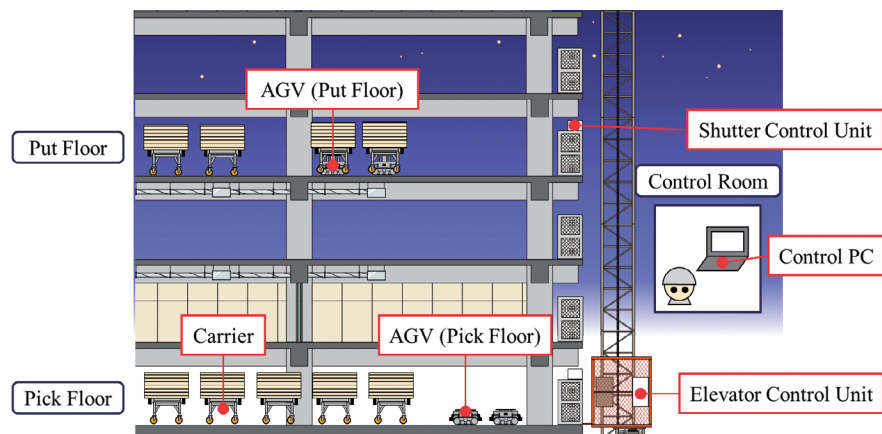


図1 自動搬送システムの構成

2.3 専用荷台

専用荷台の構成を写真 2 に示す。荷台本体の重量は37kg、最大積載量は500kgである。荷台の脚には再帰反射テープが設置されており、ロボットはLRFでこの反射テープを認識することで精度よく荷台の下に潜り込むことが出来る。また、搬送ロボットは荷台の下で超信地旋回を行うことで向きの変更が行えるため、写真 3 に示すようにフォークリフトが走行できないような狭隘な現場においても資材を搬送することができる。

2.4 エレベータおよびシャッタ自動化装置

エレベータ自動化装置の構成を写真 4、シャッタ自動化装置の構成を図 2 に示す。エレベータ自動化装置は工事用エレベータの制御盤に接続し、統括PCの命令に従いエレベータの操作を行う。シャッタ自動化装置は既存のシャッタに後付けで設置する装置であり、モータでタイミングベルトを回転させることによってシャッタの自動開閉を行う。シャッタ自動化装置は約 1 時間で別の階に盛替えることが出来るため、フロア数の多い超高層の現場においても、搬送計画に合わせて盛替えを行うことで設置する装置の数を削減することが出来る。

2.5 自動搬送の流れ

本システムにおける自動搬送の流れを図 3 に示す。

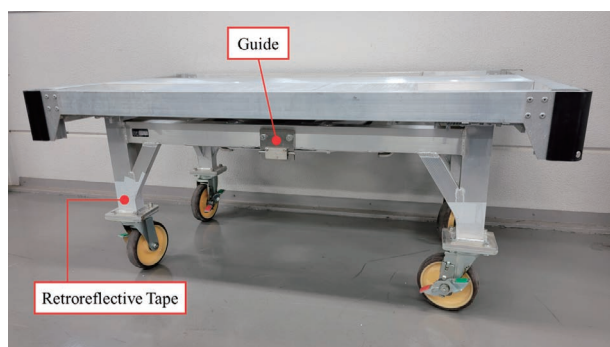


写真 2 専用荷台の構成

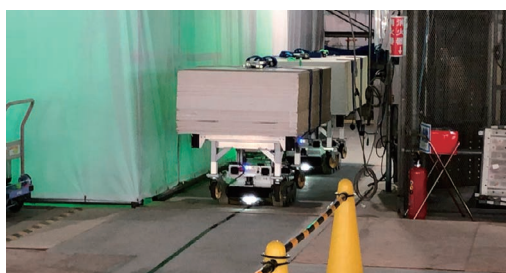


写真 3 狭路を走行する搬送ロボット

詳細は以下の通りである。

- ・ユーザは、統括PCから作業を開始させる。
- ・荷取階の搬送ロボットは、荷台をエレベータの前まで搬送する。エレベータが到着している場合、エレベータの中に荷台を置いて走行開始地点まで戻る。
- ・エレベータは、荷台を置いたロボットがエレベータを降りた後、荷取階から荷置階へ移動する。
- ・荷置階の搬送ロボットは、エレベータ内にある荷台を目的地まで搬送する。搬送完了後は、走行開始地点まで戻る。
- ・エレベータは、積載されている荷台がエレベータから搬出され次第、荷置階から荷取階へ移動する。
- ・シャッタは、エレベータの動作に応じて開閉動作を行う。
- ・各装置にエラーが発生した場合、統括PCはユーザに異常を通知する。通知を受けたユーザは現地に赴き、状況の確認および不具合の原因の除去を行う。不具合の除去が完了した後、ユーザは統括PCから復旧命令を出す。

§3. 実証実験の実施

3.1 目的

本システムによる資機材の搬送手段には、搬送ロボットと工事用エレベータが用いられている。そのため、搬送ロボットと工事用エレベータそれぞれの作業



写真 4 エレベータ自動化装置の構成

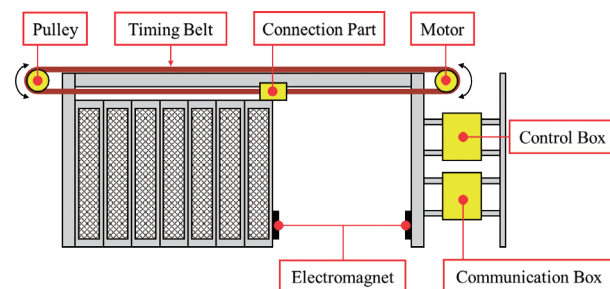


図 2 シャッタ自動化装置の構成

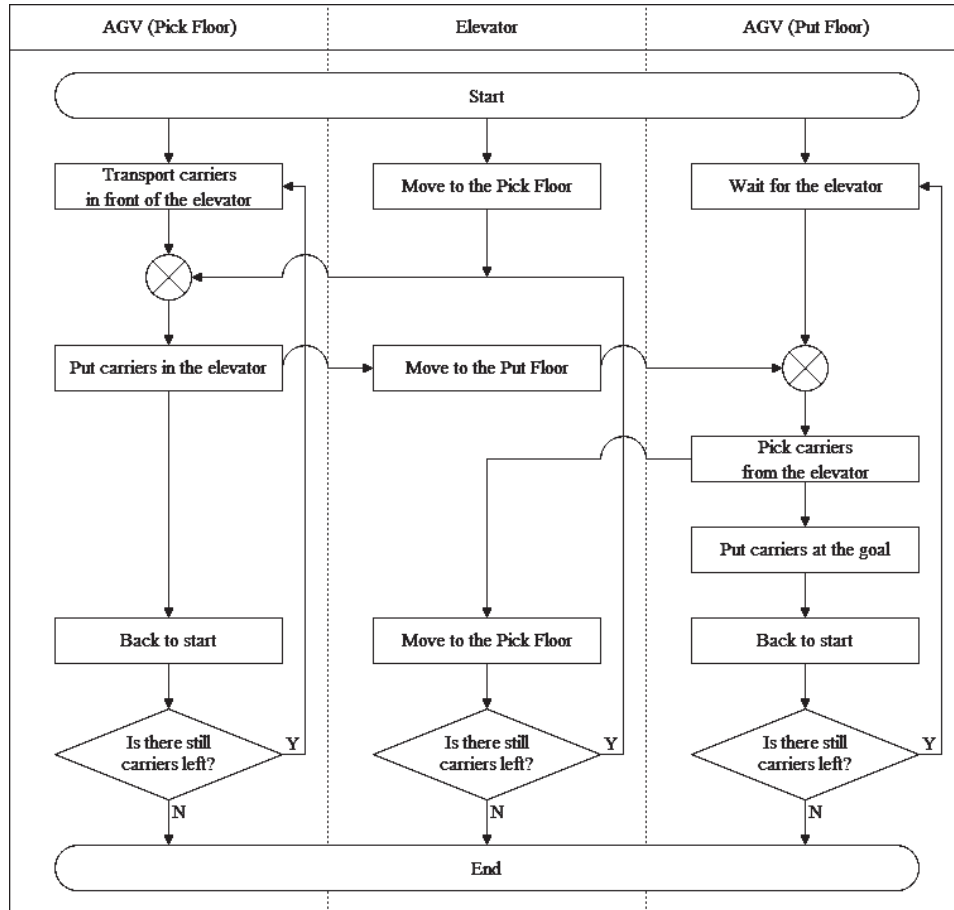


図3 自動搬送の流れ

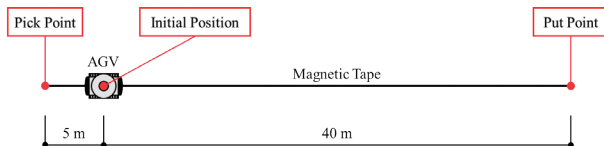


図4 搬送ロボット走行試験の実施条件

時間を計測することにより、自動搬送システム全体のサイクルタイムを把握する。

3.2 搬送ロボット走行試験

搬送ロボット1台を用いて、ラインレース走行で空の荷台35台の連続搬送を行った。実験環境について図4に示す。搬送ロボットは荷取地点で荷台を持ち上げ、荷置地点まで搬送して荷台を降ろす。荷取地点の荷台については、ロボットが1台搬送するたびに新たに人の手で再配置する。荷置地点の荷台については、実現場での搬送を想定し、写真5に示すように45cmの間隔を空けて並べて配置した。荷台の奥行寸法は75cmであるため、搬送ロボットは1回搬送を行うごとに走行距離が片道1.2mずつ短くなる。作業時間については、搬送ロボットが全ての荷台を搬送し開

始位置に戻ってくるまでの時間を計測した。

3.3 フロア移動試験

自動搬送システムの導入候補とされている、高層住宅の建設現場の工事用エレベータを用いて、1階から5階へ石膏ボードの垂直搬送を行った。実験の様子について写真6に示す。実験条件について、1階と5階の高低差は20m、エレベータの昇降速度は0.86m/sである。作業時間については、1階の資材を持った搬送ロボットがエレベータへの乗り込みを開始する瞬間

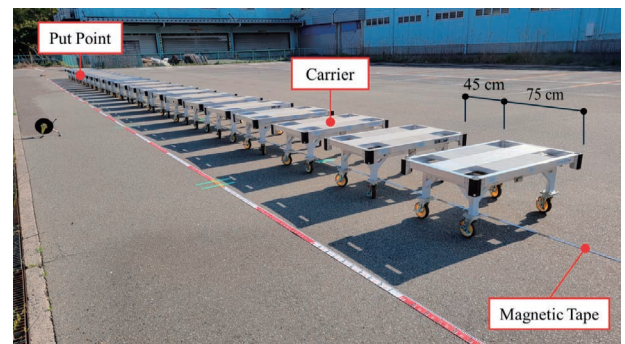


写真5 搬送ロボット走行試験の荷置時の配置



写真6 フロア移動試験の様子

から、5階で搬送ロボットが資材を持ってエレベータを降りるまでの時間を計測した。

§4. 実証実験の結果

4.1 搬送ロボット走行試験

実験結果を表1に示す。搬送ロボットの平均走行速度は0.174m/s、搬送ロボットのテーブルの1動作（上げるあるいは下げる）にかかる時間は30秒であった。

4.2 フロア移動試験

実験結果を表2に示す。1階の搬送ロボットがエレベータ内に荷台を置く時間は143秒、シャッタの1動作（開けるあるいは閉める）にかかる時間は29秒、エレベータの扉の1動作（開けるあるいは閉める）にかかる時間は11秒、エレベータの平均移動速度は0.526m/s、5階の搬送ロボットがエレベータ内の荷台を搬出する時間は86秒であった。

表1 搬送ロボット走行試験の結果

Item	Value
Total mileage (theoretical value) [m]	1,710
Total mileage (actual value) [m]	1,732
Duration of driving [sec]	9,982
Duration of lifting and lowering [sec]	2,100
Duration of communication [sec]	155
Total duration [sec]	12,237
Average velocity of AGV [m/s]	0.174

表2 フロア移動試験の結果

Item	Value
Duration of putting carriers [sec]	143
Duration of picking carriers [sec]	86
Duration of driving the elevator [sec]	38
Duration of opening and closing elevator [sec]	22
Duration of opening and closing shutter [sec]	58
Duration of communication [sec]	72
Total duration [sec]	419
Average velocity of the elevator [m/s]	0.526

§5. ロボット導入効果の考察

5.1 実現場導入時のサイクルタイムのシミュレート

実証実験で得られた結果を基に、自動搬送システムの導入が予定されている現場をモデルとして、石膏ボード30tを搬送した場合のサイクルタイムを算出した。荷取階と荷置階の高低差は、フロア移動試験と同じく20mとする。荷取階の走路を図5、荷置階の走路を図6に示す。搬送ロボットは荷取階に2台、荷置階に2台の計4台使用する、荷台は500kgまで積載可能であるため、必要な荷台搬送数は60台となる。シミュレートの結果得られた搬送ロボットとエレベータのタイムスケジュールを図7に示す。今回の環境の場合、7時間以内に荷台60台の搬送が完了することがわかった。

5.2 楊重業者による人力搬送との比較

サイクルタイムのシミュレートを行った環境下において、楊重業者が人力で搬送作業を行った場合と、自動搬送システムで搬送作業を行った場合の人工を比較することで、自動搬送システムの導入効果を検討した。

実際に同現場を担当している楊重業者の責任者にヒアリングを行ったところ、人力による搬送作業の場合、作業効率は0.15人工/tであり、追加でエレベータのオペレータが1名必要となると回答が得られた。そのた

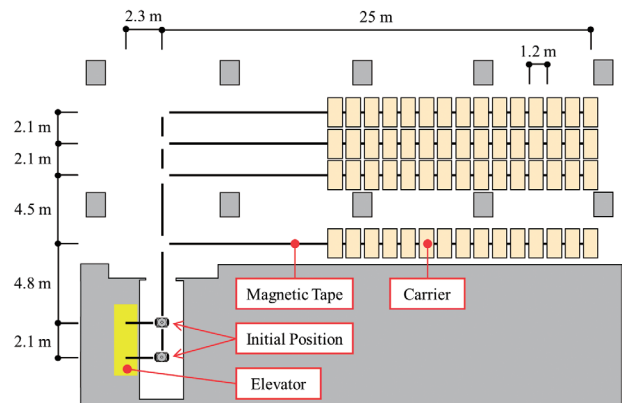


図5 走路（1階）

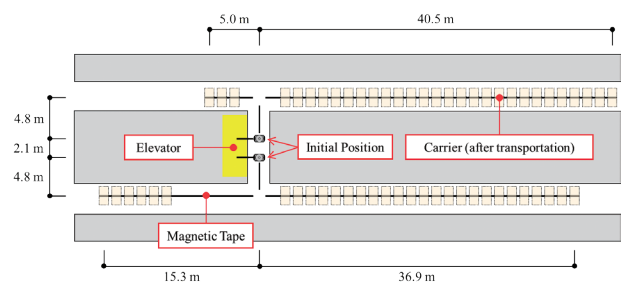


図6 走路（5階）

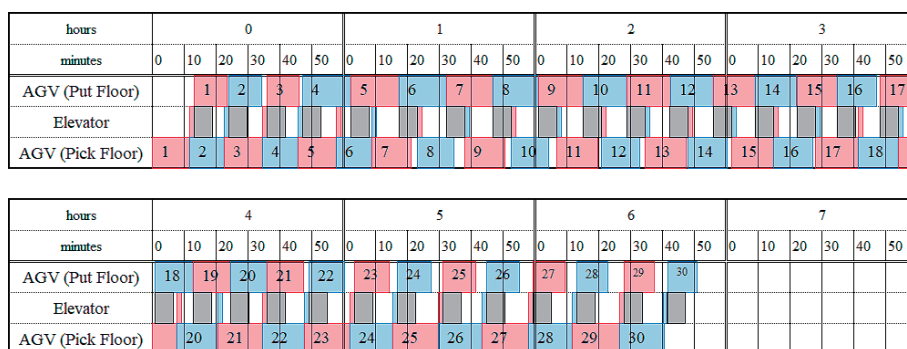


図7 現場導入時のサイクルタイムのシミュレート

め、石膏ボード30tの搬送を行う場合、必要な人工数は5.5人工となる。

自動搬送システムを用いて搬送作業を行う場合、夜間搬送だけでなく、日中の準備作業が必要となる。これらを含めた作業の工数一覧を表3に示す。1日に必要な工数は31人時間、すなわち必要な人工数はおよそ4人工となる。

以上の結果より、自動搬送システムの導入によって、搬送作業に必要な人工数の削減が期待できることがわかった。

§6. まとめ

本報告では、搬送作業の省力化を目的とした自動搬送システムの開発について述べ、以下にそのまとめを記す。

- 1) 段差の乗り越えと狭路の走行、そして工事用エレベータと連携した垂直移動が可能な自動搬送システムを開発した。
- 2) 走行試験の結果を基に、現場導入時の作業効率を推定した。従来の人力による搬送と比較すると、必要人工数が減少するため作業効率は向上すると考えられる。
- 3) 今後は、今回シミュレートを行った現場に自動搬送システムを導入し、実際に走行させた場合の作業効率の測定およびシステムの評価を行う。

参考文献

- 1) 奥畑一男、猪野真吾、溝淵宣誠、岡村甫、王碩玉、楊光: “建設現場に適応する内装資材自動搬送ロボットの構造提案”、日本ロボット学会誌、vol. 39、no. 7、pp. 661-664、2021.
- 2) 齋藤孝信、関健太郎、山口悟司: “建設産業における生産性指標に関する一提案”、建設マネジメント問題に関する研究発表・討論会講演集、vol. 37、pp. 1-4、2019.

表3 自動搬送時の人工内訳

Item	Headcount	Duration [hours]	Total [hours]
Monitoring the system	2	7	14
Daily maintenance	2	2	4
Carrying boards in the site	3	3	9
Replacing shutter control units	2	1	2
Handover	4	0.5	2
Total	-	-	31

- 3) Jianqi Zhang, Xu Yang, Wei Wang, Jinchao Guan, Ling Ding, Vincent C.S. Lee: “Automated guided vehicles and autonomous mobile robots for recognition and tracking in civil engineering”, Automation in Construction, vol. 146, pp. 1-24, 2023.
- 4) 南場明夫: “建設業における転倒・転落災害防止に向けた安全管理”、日本転倒予防学会誌、vol. 6、no. 3、pp. 15-19、2020.
- 5) 田中昭臣、羽根田健: “建設現場における垂直搬送装置の実証実験報告”、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 889-890、2020.

ひとこと

フォークリフトが進入できない環境においても走行できるのが本システムの強みである。今後は実現場導入を進め、効果を実証していきたい。



盛合 湧志