

## 低床式AGVの開発

大本 絵利 土井 暁  
金子 智 弥

### Development of Low-Flatbed Automated Guided Vehicles

Eri Ohmoto Satoru Doi  
Tomoya Kaneko

#### Abstract

In recent years, with the labor shortage in the construction field, alternative machinery has been required. In particular, the conveyance of the equipment occupies much time in the entire construction. If the process is mechanized labor cost will be reduced. Hence, we have developed the conveying system with the aim of saving labor involved in conveying work of interior materials. It is referred to as the “diving-type AGV (automated guided vehicle)” and we confirmed its labor-saving effect. However, the AGV cannot fit in the construction elevator. Hence, new challenges, such as manpower, are required to be met for transfer operations. Therefore, we developed a “low-flatbed AGV.” Compared to the conventional carrier system, conveyance work could be economized to approximately 1/3, and safety is checked for accident prevention of work personnel in the conveyance system.

#### 概 要

近年、建設作業の労務不足に伴い、機械化・自動化への期待が高まっている。特に、建設現場内での資機材の搬送作業は単純繰返し作業であり、建設工事全体の中でも多くの時間を占めるため、機械化による省力化効果が大きい。そこで、筆者らはこれまでに、内装資材の搬送作業の省力化を目指した搬送システム「潜込み式AGV(Automated Guided Vehicle)」等を開発・現場適用し、それらの省力化効果を確認した。しかし、AGVが仮設の工事用エレベータに乗降できないため、移載作業に人手が必要となる等の新たな課題も抽出された。これらの課題を解決するために「低床式AGV」を開発し、実際の施工現場で試験適用を行った。試験の結果、搬送要員が従来の3分の1程度に削減できる可能性が示された。また、搬送中の作業要員の事故防止に対する安全性の向上も期待できることが分かった。

#### 1. はじめに

近年、建設作業員の高齢化と新規就業者の減少による労務不足が課題になっている。今後、工事の省力化は必須であり、その方策のひとつとして単純・重筋作業の工事機械への代替が求められている。

資機材の搬送作業は、建設工事全体の中でも多くの時間を占める単純な繰返し作業であり、機械化による省力化のメリットが大きい。そこで、資材搬送のための低床式AGVを開発した。本稿ではその機能概要と適用試験の結果について報告する。

#### 2. 開発の背景

筆者らはこれまでに、資材搬送の省力化を目指して、超高層建物の新築工事を対象として、磁気テープで設定した軌道上を自動走行する「潜込み式AGV」を開発した。開発したシステムの基本仕様をTable 1に、外観をPhoto 1に示す。この潜込み式AGVは、床上に設置された磁気

テープによる走行経路上を、行先の指示に従い、搬送作業を行う仕組みで、資材の搬送・仕分け作業を自動化できることを示した<sup>1)</sup>。

また、適用にあたり、新たな課題が抽出された。仮設の工事用エレベータ（以下、工事用EV）で資機材を揚重する場合は、潜込み式AGVは、工事用EVに乗り込めないため、人手による移載作業が必要である。また、AGVの操作は、本体に設置されたタッチパネルによる制御である。さらに、潜込み式AGVやパレットトラックには、狭隘な場所での資機材の取り回しの難しさという課題もあった。特に、集合住宅等のように廊下が多く、工事用EVの前に十分なスペースが確保できない場合は、運搬用の小型台車への乗せ換え作業が必要になる。

前述の課題解決をはかり、次のようなねらいで低床式AGVを開発した。

- 1) 資機材を積載した状態で、工事用EVに乗降できる。
- 2) 資機材を積載した状態で、全方向移動ができる。
- 3) 簡易な遠隔操作ができる。

Table 1 潜込み式AGV仕様  
Specification of Diving Typed AGV

サイズ (mm)	L2,030×W1,250×H1,600
最高速度 (m/min)	30
積載荷重 (kN)	9
本体重量 (kg)	350

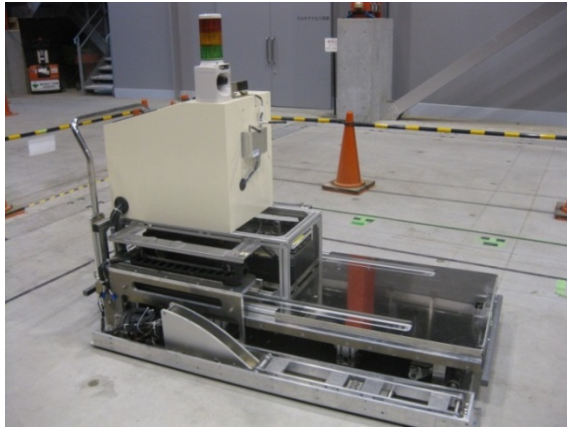


Photo 1 潜込み式 AGV の外観  
View of Diving Typed AGV

Table 2 低床式AGV仕様  
Specification of Low-FlatBed AGV

サイズ (mm)	L1100 × W1100 × H180
最高速度 (m/min)	35
積載荷重 (kN)	10
本体重量 (kg)	220

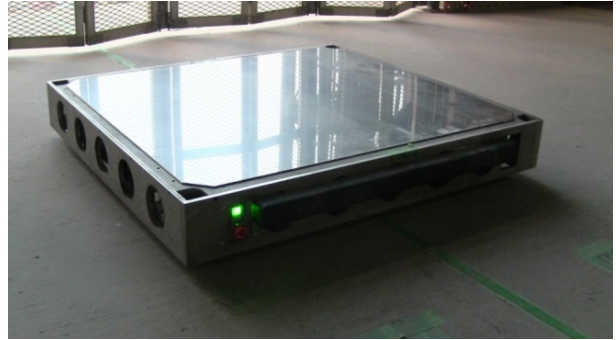


Photo 2 低床式 AGV の外観  
View of Low-Flatbed AGV

### 3. 低床式AGVの概要

低床式 AGV の基本仕様を Table 2 に、外観を Photo 2 に示す。輪木の上に仮置きした資材の下に入り込めるように、車体のサイズは 1100mm 四方に、全高は H180mm に抑えた設計をした。また、積載荷重は潜込み式 AGV とほぼ同等の 10kN を維持したまま、本体重量を 100kg 程度軽くした。これにより、小型化、軽量化を図ることもできた。

#### 3.1 メカナムホイールによる移動機構

移動機構には、Photo 3 に示すメカナムホイールを採用した。メカナムホイールは、車輪（以下、ホイール）円周上の接地面に、小型ローラ（以下、バレル）を複数配置した構造になっている。各バレルはホイールに対して独立して自由に回転し、バレルの回転軸はホイール軸に対して 45° 傾いている。各ホイールは個別のモータで回転し、4 つのモータの回転方向と速度を制御することで、Fig. 1 に示すように低床式 AGV のその場回転や全方向移動の動きを可能にする。

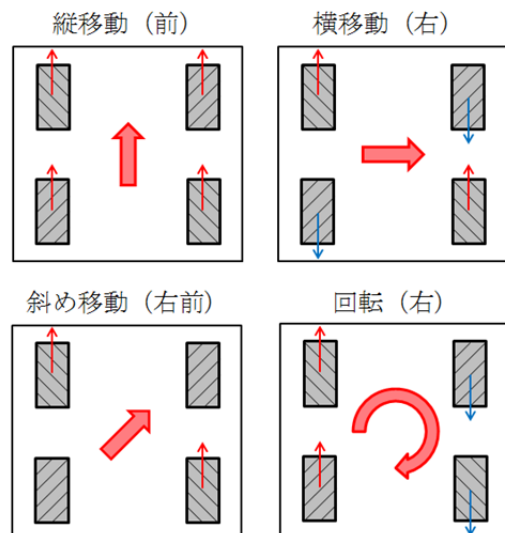
また、工事用 EV への乗降を実現するため、ホイール径は潜込み式 AGV の車輪径よりも大きい 6 インチ (0.15m) とした。

#### 3.2 油圧ジャッキによる積載機構

上の資材を積載する機構には、小型で 50 mm 程度のストロークを可能にするために、油圧式ジャッキを採用した。シリンダ1本の理論推力は20kNである。



Photo 3 メカナムホイール  
Mecanum Wheel



■ メカナムホイール ↑ 正転方向 ↓ 逆転方向

Fig. 1 低床式 AGV 動作原理  
Moving Mechanism

低床式 AGV の積載動作における、ジャッキ上昇時や下降時の資材の安定性を考慮して、シリンダは各辺に 1 本ずつ 4 本配置した。

### 3.3 遠隔操作機能

パレットトラックの代替として使用できるように、到達距離 10m 程度の無線コントローラによる遠隔操作を可能とした。無線コントローラでは、

- 1) 移動速度 (1~5 速)
- 2) 前後左右斜めへの移動
- 3) 右/左回転
- 4) ジャッキの上昇/下降
- 5) モータのブレーキ解除 ON/OFF

を制御できる。

### 3.4 自動運転機能

ストックヤード階から作業階までの資材搬送の自動運転プロセスを Fig. 2 に示す。低床式 AGV は、あらかじめ設定した軌道上を自動走行する機能を持つ。軌道は、走行経路を示す磁気テープと、停止・回転・ジャッキの上昇/下降などの動作指示用の磁気マーカーで構成される。そのため、本 AGV は、進行方向に 2 個、横方向に 2 個、動作指示用マーカー読み取り用に 1 個の磁気センサーを備える。

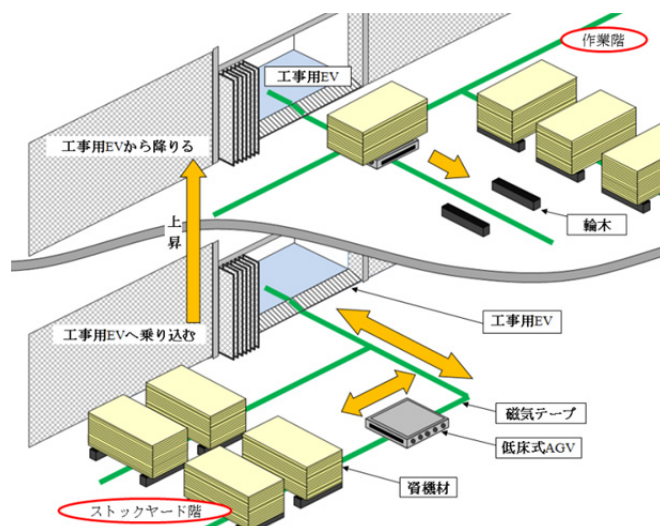


Fig. 2 自動運転プロセス  
Automatic Operation

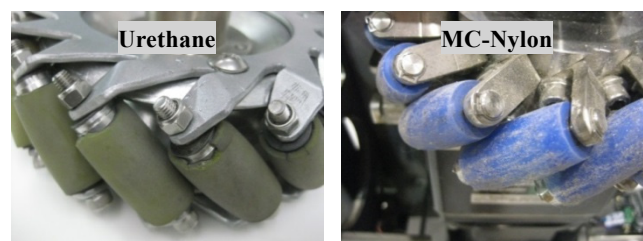


Photo 4 ホイールの改良  
Improved Wheel

## 4. 機能検証

開発した低床式 AGV について、実際の工事現場で検証実験を行った。

### 4.1 バレルの耐久性

メカナムホイールのバレルには、当初、ウレタン素材を採用していた。しかし、現場での走行状況を確認したところ、空荷状態の際にはスムーズな走行であったが、資材積載時には、様々な不具合が発生し、走行不可となった。そこで、素材をナイロン系のものへ変更し、バレル自体の強度を上げ、割れや亀裂の発生を防いだ。また、既製品のバレルフレームは、薄板を曲げた構造になっていたため、SUS304 を加工し、フレーム構造も強化させ、ホイール全体の耐久性を向上させた (Photo 4)。

### 4.2 工事用 EV への乗降り

第一のねらいであった工事用 EV への乗降りについて検証を行うため、現場検証の前に、Fig. 3 に示すようなモックアップを製作し、実験を行った。通常の工事用 EV で想定される 20 mm 程度までの段差を越えられる仕様としたため、モックアップは問題なく越えられることができた。実現場においては、着床レベル差が、最大で約 50 mm となっている場所があったため、コンパネを敷くことで、対応した。(Fig. 4)。また、無負荷の状態から 10kN の積載荷重までの乗降りが可能なことを確認した。

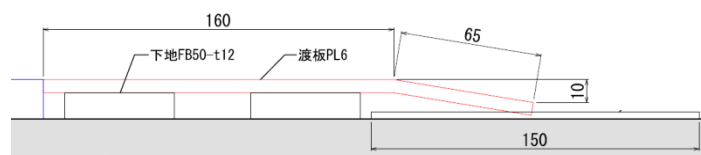


Fig. 3 工事用 EV モックアップ  
Construction Elevator Mock-up

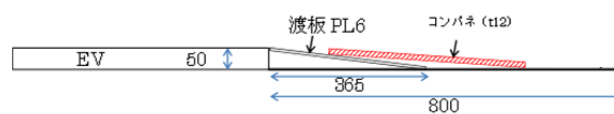


Fig. 4 現場内工事用仮設 EV  
Real Construction Elevator



Photo 5 工事用 EV への乗込み状況  
Getting into the Elevator



### 4.3 スロープでの走行

施工現場において、資材の搬送経路では、段差部分を車輪系の台車で乗り越えるために、Photo 6 に示すようにスロープを設置している。現場での様々な勾配のスロープでの低床式 AGV の走行の可否を確認するため、Table 3 に示すように 4 箇所において検証を行った。これより、10%以下の勾配であれば、4 速（時速 7.2 km）以上で走行可能であることが確認できた。

Table 3 スロープ走行検証  
Driving Slope Verification

	勾配 %	走行状況
①	4.4	4 速以上で可能
②	10.0	4 速以上で可能
③	12.2	5 速で作業員補助が必要
④	12.8	5 速で作業員補助が必要

## 5. 現場における適用試験

低床式 AGV を超高層建物の施工現場に適用し、機能検証を行った。適用した現場では、低層部が事務所、高層部が住宅となっており、工事用 EV が分離されていた。そこで、乗換階に資材のストックヤードを設置し、ストックヤード内では、既開発の潜込み式 AGV を採用し、乗換階から高層部の作業階への搬送作業に低床式 AGV を適用 (Fig. 5) し、各機能の検証を行った。また、機械としての安全性の検証も行った。各作業工程を Fig. 5 に①～⑧で表す。対象資材は石膏ボードである。以下に、低床式 AGV の適用結果を示す。



Photo 6 スロープ走行状況  
Driving Slope Situation

### 5.1 遠隔操作

まず、AGV のオペレータへの操作指導期間について、以前の潜込み式 AGV の場合は AGV の調整作業も含め、1 週間程度を要したが、低床式 AGV では数十分の指導で済んだ。これは、タッチパネルでの各種設定やマニュアルを覚える必要があったことに対し、簡易な無線コントローラにより、使用者が、感覚的に操作が可能だったためであると考えられる (Photo 7)。

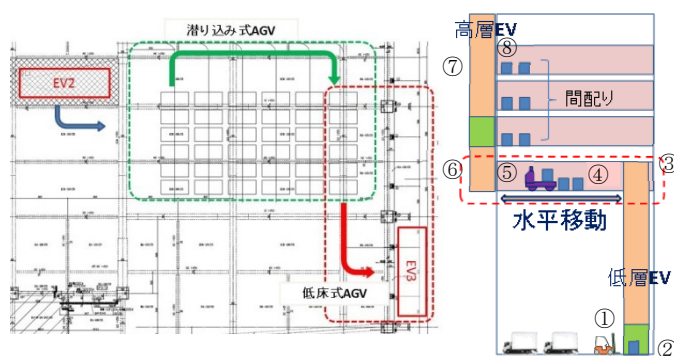


Fig. 5 資材の揚重条件とヤード計画  
Condition of Material Lifting and Stockyard Arrangement Plan

次に、従来方法と低床式 AGV を用いた場合とで比較した結果を示す。従来方法の場合、上層階の住宅部では狭い場所が多いため、繰り返し操作が必要となるパレットトラックはほとんど活用できない。そこで、乗換階での工事用 EV 積込みの際に、上層階で運搬可能な小型台車に載せ替え、揚重する必要がある。資材の載せ替え後の工事用 EV への積込み、および、荷下ろしには 3 名程度の要員が必要となっている (Photo 8)。それに対し、低床式 AGV では、工事用 EV のオペレータが 1 人で無線コントローラを操作するのみで EV への積込みから、荷下ろしまで可能となった (Photo 9)。



Photo 7 タッチパネルと無線コントローラ  
Touch Panel and Wireless Controller

工事用 EV への積込み

工事用 EV からの荷下ろし



Photo 8 従来方法  
Traditional Form

工事用 EV への積込み

工事用 EV からの荷下ろし



Photo 9 低床式 AGV 遠隔操作  
Low-Flatbed AGV Remote Control

以上の結果から、低床式 AGV を適用することで、搬送要員を 3 分の 1 程度に削減可能であることが実証された。また、乗換階から上層階の搬送のみでなく、搬入から作業階までの現場内全ての資材搬送を低床式 AGV で行った場合の搬送タクトを確認するため、Fig. 5 に示す各工程での資材 1 山を搬送する作業時間を計測し、従来方法と低床式 AGV で比較した。その結果を Table 4 に示すが、全工程での合計作業時間はあまり差が見られなかった。しかし、作業員については、従来方法では、フォークリフトのオペレータ、相番者、載せ替えの作業員等、常に 2~3 人の作業員が必要なのに対し、低床式 AGV の場合は操作オペレータ 1 名で作業可能であるため、省力化可能なことが確認できた。

Table 4 に示す①-②工程では、搬入時にすぐに揚重する場合は Photo 10 のように、フォークリフトで搬入車両から降ろした資材をそのまま、工事用 EV へ積み入れる。そのため、低床式 AGV よりも従来方法の方が効率が良いが、搬入時はヤードが狭い場合は、搬入車両を捌くことが最優先されるため、一度、資材を工事用 EV 周りに仮置する。このような搬入ヤードが狭隘な場合には、低床式 AGV が有効に利用できると考えられる。

Table 4 作業時間計測  
Operating Time Measurement

搬送工程	従来方法		低床式 AGV	
	作業方法	作業時間	作業方法	作業時間
①-②	フォークリフト	0 : 41	AGV	0 : 28
②-③	EV による揚重	3 : 43	EV	3 : 43
③-④	電動パレット	0 : 14	AGV	0 : 10
④-⑤	電動パレット	0 : 34	AGV	1 : 03
⑤-⑥	小型台車	0 : 40	AGV	0 : 10
⑥-⑦	EV による揚重	1 : 17	EV	1 : 17
⑦-⑧	小型台車	0 : 13	AGV	0 : 10
計		7 : 22		7 : 01



Photo 10 搬入状況  
Carrying Materials into site

## 5.2 自動運転

自動運転は、Fig. 2 に示すワークプロセスで、乗換階に設置したストックヤードから高層用 EV に乗り込み、作業階の EV 前までの経路を、実験的に試行した。フローを以下に示す。

- 1) スtockヤード階にて、待機位置より自動運転をスタートする (Photo 11①)
- 2) スtockヤードで資材の下に入り込み、ジャッキを作動させ、資材を積載する (Photo 11②)

- 3) 工事用 EV 前へ移動し、90° 回転する (Photo 11③)
- 4) EV オペレータの許可指示により、工事用 EV へ乗入れる (Photo 11④)
- 5) 作業階へ揚重後、工事用 EV から降り荷下ろしを行う (Photo 11⑤)
- 6) EV オペレータの許可指示により、工事用 EV へ乗り込み、ストックヤード階へ降りる (Photo 11⑥)

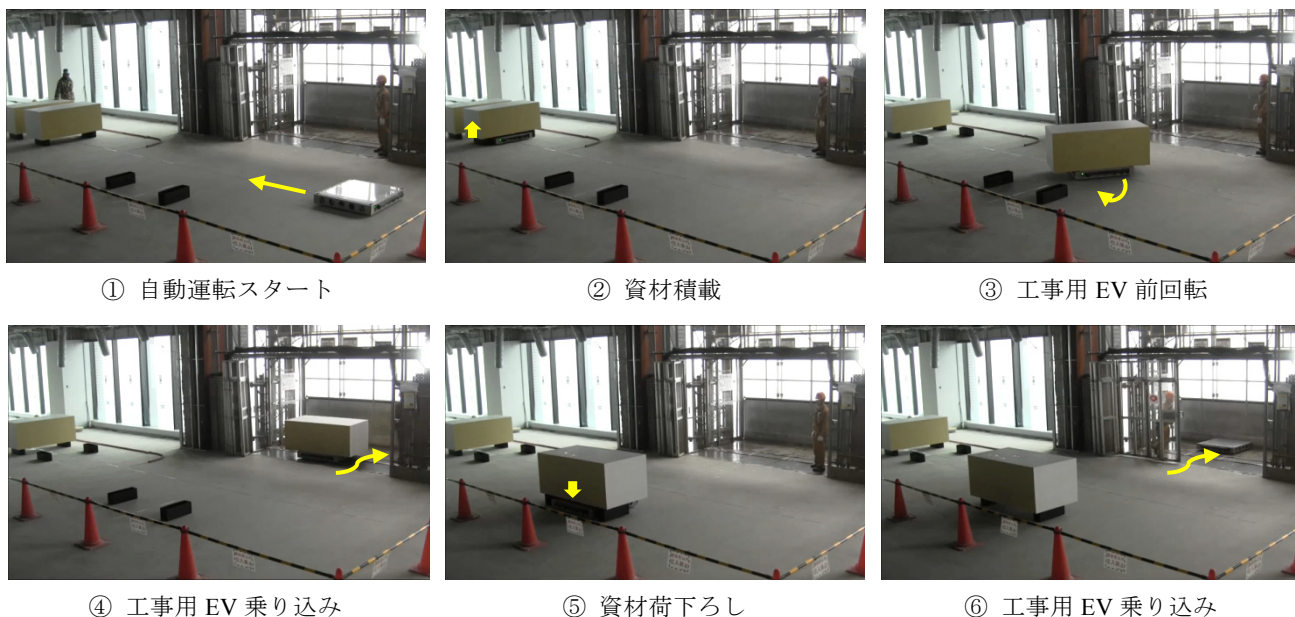


Photo 11 自動運転状況  
Automatic Operation

実験時の状況を Photo 11 に示す。工事用 EV への乗降は、安全を考慮し、オペレータが扉を開閉し、周囲を確認後に、動作許可を無線で指示する仕組みとした。この試行により、現場に磁気テープを施工し、EV オペレータが指示を出すのみで、自動運転による搬送が可能であることを確認した。

### 5.3 安全性

従来方法による搬送では、パレットトラックや小型台車を使用し、機器や資材に直接触れて搬送作業を行う。そのため、搬送中に荷崩れが発生した場合、巻き込まれ事故となる危険性があった。これに対し、低床式 AGV は無線コントローラによる遠隔操作が可能であるため、資材が崩れた場合でも安全な距離を保ったままで、巻き込まれ事故を回避できることが確認できた。

## 6. おわりに

資材搬送の省力化を目的として、これまでに開発した潜込み式 AGV の課題を解決するために、新たに、低床式 AGV を開発し、施工現場で適用試験を行った。その

結果、以下の知見を得た。

- 1) 最大 1000kg の資材を積載したまま工事用 EV に乗降できる。また、メカナムホイールの採用により、その場回転と全方向移動が可能で、狭隘な場所でも切替し操作なしで走行できる。
- 2) スtockヤードから施工箇所までの一連の資材搬送を 1 台で行える。通常の方法に比べて搬送時間は同等以下で、通常は 3 名を要する搬送作業を 1 名で行える。
- 3) 施工現場で広く使用されているパレットトラックの代替として利用できる。

今後はこれを踏まえて、実用化を目指した改良機を製作し、現場内の資材搬送の効率化に資する研究開発を進めていく。

### 参考文献

- 1) 大本絵利, 他: フレキシブル水平搬送システムの開発, 大林組技術研究所報, No.77, 2013.12
- 2) 大本絵利, 他: 牽引型水平搬送システム, 大林組技術研究所報, No.79, 2015.12