

# 大林組ロジスティックスの開発

井田 慎太郎      金子 智 弥      大本 絵 利  
 笹原 大 介      柏 友 仁      土屋 貴 史  
(ホブティクス生産本部)      (東日本ホブティクスセンター)      (ホブティクスインノベーション推進室)

## Development of Automated Logistics Systems

Shintaro Ida      Tomoya Kaneko      Eri Omoto  
 Daisuke Sasahara      Tomohito Kashiwa      Takashi Tsuchiya

### Abstract

In recent years, expectations for mechanization and automation of construction are increasing due to the labor shortage of construction work. Obayashi developed autonomous material logistic systems for construction sites which can be connected to an elevator system at the site to reduce material handling works. Site managers can choose the best system for their construction site, given its size and materials in it. Connection to the elevator of each system enables autonomous transportation to destinations far from the material stockyard. We are testing each system at the construction site to evaluate its effectiveness.

### 概 要

近年、建設業の労務不足に伴い、建設作業の機械化・自動化への期待が高まっている。特に工事現場内での資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工数を占めるため、機械化による省力化効果が大きい。そこで大林組では搬送作業の省人化を目的として、工事現場内のエレベーターとも連携可能な複数の資材自律搬送システムを開発した。開発したシステムから、工事現場の規模や搬送する資材など様々な条件を考慮し、最適なシステムを選択することが可能である。いずれのシステムにおいても、工事現場内のエレベーターと連携した搬送を行うため、資材ヤードから遠く離れた目的地までの無人搬送が可能となっている。各システムについて、工事現場内における実証を行い、有効性について確認中である。

### 1. はじめに

建設現場における資材の搬送作業は、様々な工種に共通する作業である。搬送作業の効率化は、熟練を要する作業に作業員を集中させ、工事全体としての生産性向上につながる。

一方、建設作業員の不足と高齢化から工事の生産性向上は喫緊の課題であり、その解決策として ICT やロボティクスを使用した施工の自動化が期待されている。危険作業や苦渋作業、あるいは技能や熟練を要する作業のロボットへの代替が期待される中で、資材搬送作業も自動化への期待が大きい。

資材搬送作業を自動化する場合、システムに求められる機能は工事の建物用途と規模によって異なる。大規模高層ビル工事では、オペレーターにより操作されている仮設エレベーターの無人化と無人搬送車(Automatic Guided Vehicle, 以下 AGV)を統合した大規模な資材搬送システムが求められる。一方、中小規模の工事では、ロボット専門の管理者を必要としない、簡単な教育で作業員が即座に利用できる、操作性の高い資材搬送システムが求められる。

大林組は 2020 年 2 月に資材搬送を自律化する大林組ロジスティックスを発表した<sup>1)</sup>(Fig.1)。大林組ロジ

スティックスには、自動化レベルの異なる 3 種類の利用形態があり、工事の建物用途と規模に応じて最適な利用形態を選択できる。本報では 3 つの利用形態について、技術的な特徴を紹介する。



Fig.1 大林組ロジスティックスの概要  
 Overview of Logistics System

Table 1 資材搬送システムの比較  
Comparison of Automated Material Handling Systems

		自律ロジスティックスシステム	複数台協調型搬送システム	低床式自律搬送台車
対象条件	現場の規模	大規模	中大規模	中規模
	利用者	揚重会社	揚重会社	揚重会社/ 専門工事業者
	自動化レベル	高	中	低
	同時稼働台数	複数台	複数台	1台
	エレベーターの自動化	必要	不要 / 自動操縦にも対応	不要
自律機能	環境マップ	CAD 図面から作成	不要	事前の手動走行で作成
	マーカ設置	反射型を要所に設置	AR マーカーを要所に設置	AR マーカーを資材に設置
	エレベーターへの乗車	資材なしで可能	資材を積載したまま可能	資材を積載したまま可能
	搭載するセンサー	LiDAR	ステレオカメラ・LiDAR・IMU・ToF	LiDAR・単眼カメラ
AGV	形式	フォークリフト型	低床型	低床型
	狭隘部の走行	△	○	○
	積載可能資材	大	中	中
	資材設置精度の誤差対応	×	△	○
	走行可能方向	前後進・回転	前後進・横行・回転	前後進・横行・回転

## 2. 大林組ロジスティックスの概要

### 2.1 開発の変遷

建設現場の資機材搬送作業は、同一階での水平搬送と、階を跨ぐ垂直搬送（以下、揚重）に分けられる。前者については、手動のリフターやキャスター付きの台車を用いるほか、車両の乗り入れが可能な階ではフォークリフトを用いる場合もある。後者については、工事用の仮設エレベーターを用いることが多いが、クレーンを利用する場合や、竣工間際には本設のエレベーターを用いることもある。工事に必要な資機材は一般に、水平搬送→揚重→水平搬送の流れによって施工場所に届けられる。高層ビルの工事では揚重作業がボトルネックになるため、仮設エレベーターの稼働率向上が、搬送作業の合理化には不可欠である。

そこで、大林組では搬送作業の専従化および自動化により、その合理化を目指してきた。搬送作業の専従化については、1996年に搬送作業を集中管理する専門チーム（以下、物流班）を発足させた。物流班は、専門工事会社が個々に実施していた資機材の搬出入や産業廃棄物の集積業務等を、工事現場全体で集約して合理化し、現場内搬送業務の効率化に大きな効果を挙げた<sup>2)</sup>。

さらに、資材搬送の自動化についても1990年代から取り組んできた<sup>3)</sup>。資材搬送を自動化することで、作業員不足へ対処することを可能とする。さらに夜間においても自動で搬送することで、従来作業でボトルネックとなっている揚重の作業時間帯が広がり、ボトルネックを解消する。当初は当時最新鋭の自動倉庫に倣って<sup>4)</sup>、自動フォークリフトを採用した。自動フォークリフトは、床スラブ中に埋設した誘導線による軌道上を走行する。したがって、システム導入に際しては工事の初期段階から誘導線の埋め込みを計画する必要があり、また軌道の

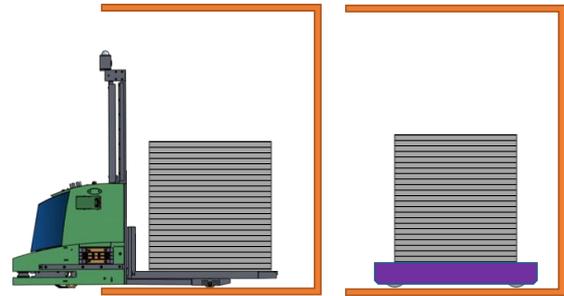


Fig. 2 AGVにより異なるエレベーターへの積載方法  
Methods of Loading into Elevator

変更が困難であるという課題があった。そこで、2013年に開発したフレキシブル水平搬送システム<sup>5)</sup>では、床スラブ面に磁気テープを敷設して軌道を構成する方法を採用した。これによって、システム導入と軌道の変更が容易になったが、施工現場のレイアウト変更に伴う磁気テープの貼り替え作業と、磁気テープの耐久性が課題として残った。そこで現在は、AGVにセンサーを搭載し事前構築したマップと参照して自己位置推定し、そのマップ上に構成した軌道上を走行する方法を採用している。これによって、軌道の変更が容易になり、また軌道上に障害物がある場合は迂回する等の対応が可能になった。

一方、資材を搬送するハードウェアについては、車両やフォークリフト等の乗り入れを想定していない一般のフロアで使用するために、軽量化を図る必要があった。そこで前述のフレキシブル水平搬送システムでは、カウンターウェイトを必要としない潜り込み式AGVを独自開発した。これによって軽量化を実現したが、狭隘な場所での走行と、段差に弱く仮設エレベーターに乗り込めないという課題が残った。そこで、小回りが利き段差に強い走行機構を備え、更なる軽量化・小型化を実現した低床式AGV<sup>6)</sup>を独自開発した。後述する3つの資材搬送

システムのうち、比較的規模が小さい現場で使用可能な2つで低床式AGVを採用し、大きな現場ではフォーク型を採用する形で使い分けを図っている。

さらに、現場に搬入された資材に関しては、パレットと呼ばれる専用の台に積載することにより下部の形状を統一し、搬送機械に適した荷姿への統一化している。

## 2.2 大林組ロジスティックスの開発

現在大林組では、3つの異なる自律的な資材搬送システムを保有している。各システムの特徴をTable 1にまとめる。いずれのシステムも、工事現場内のエレベーターと連携することにより複数階にわたる資材搬送の自律化を実現している。また、Webブラウザからアクセス可能なユーザーインターフェイス(UI)を採用しているため、システムの管理者は工事現場内の至る所から操作できる。そのため、広域な工事現場内における資材搬送を1人で管理できる。一方で、システムごとに走行可能な範囲や積載重量、資材を積載した状態でのエレベーターへの乗車可否といった諸条件は異なる。Fig. 2の左図に示すように、自律ロジスティックスシステムのAGVはエレベーター外部から資材を積載し、エレベーターには乗り込まない。一方、低床式AGVはFig. 2の右図のように資材を積載した状態でエレベーターに乗り込み、別の階へ移動する。そこで、大林組ロジスティックスでは工事現場の規模や自動化の達成度、想定する利用者など、工事現場の状況にあわせて適切なシステムを選択している。

以下、3つの自律的な資材搬送システムを詳説する。

## 3. 自律ロジスティックスシステム

### 3.1 システムの特徴

高層オフィスビル等の大規模工事を対象としたシステムで、仮設エレベーターの自動運転を含め資材搬送の無人化を図るシステムである。自動倉庫等に用いる市販のAGVと制御システムに、工事現場で必要となる機能を加えた。また、安全対策として天井等に俯瞰カメラを設置し、AGVの走行範囲に作業員が立入ると、AGVを停止する等の措置を取る。

### 3.2 AGVと自動エレベーター

AGVには、フォークリフト型を採用した。最大積載重量は1,200kgである。床面からの高さ1,900mm, 900mm, 140mmの位置にそれぞれ2D LiDAR(Light Detection and Ranging)を搭載する(Fig.3)。図中の上段2D LiDARは周囲の壁面に添付した再帰反射テープを検知して自己位置検出に使用する。下段2D LiDARは周囲の障害物を検知する。障害物の周囲500mm以内に接近すると速度を0.3m/s以下に減速し、周囲300mm以内に接近すると停止する。中段の2D LiDARは積載中の資材の幅を計測する。資材の最大幅は1,800mmである。

仮設エレベーターは、エレベーター側と各階側の

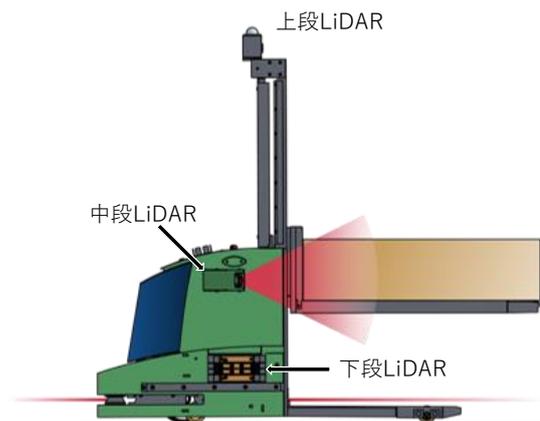


Fig. 3 自律ロジスティックスシステムのAGV概要  
Overview of Robot for Autonomous Logistics System

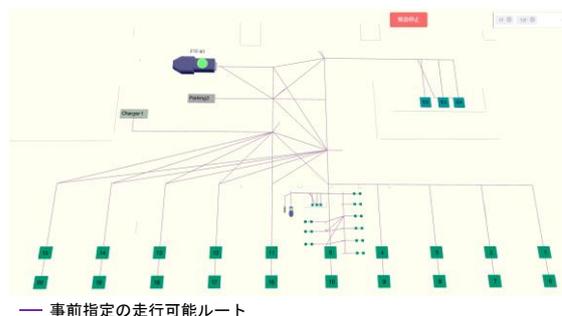


Fig. 4 自律ロジスティックスシステムの操作画面  
UI for Autonomous Logistics System



Photo 1 自律ロジスティックスシステム現場実証状況  
Evaluation in Construction Site

シャッターが自動で開閉し、無人で運行できる。

### 3.3 自律走行機能

AGVの制御は、Webブラウザからアクセス可能なUIであるAGV Fleet Management Systemが行う(Fig. 4)。AGVは前節で示した上部の2D LiDARで自己位置を検知して、UIにより指定された走行経路に沿って自律走行する。

### 3.4 資材の積載と配置

AGVは基本的に水平搬送に用いる。すなわち、ストックヤード階のAGVは、ストックヤードから仮設エレベーター

ター内まで資材を搬送し、施工階では別の AGV が仮設エレベーター内から施工場所まで資材を搬送する。なお、資材を積載していない状態ではエレベーターへの乗車が可能であり、自動で別の階へ移動できる。

### 3.5 搬送計画と管理

搬送計画は、ストックヤード階の搬送元の位置と、施工階の搬送先の位置を指定し、揚重予約として入力する。これらの操作は、タブレット端末の Web ブラウザーからアクセス可能な UI を通して行える。

### 3.6 現場実証と効果目標

工事現場における本システムの実証実験の状況を Photo 1 に示す。現在、3 箇所の工事現場で適用を行い、実用性の検証を行っている。システムの適用によって揚重労務の 30%削減と、夜間揚重による出来高の 20%改善で、1 日あたりの揚重量の 70%向上を目指している。

## 4. 複数台協調型搬送システム

### 4.1 システムの特徴

複数台協調型搬送システムは、中層から高層オフィスビル等の中大規模工事を対象としたシステムで、夜間搬送など資材搬送の省人化を図るシステムである。低床型 AGV を採用することにより狭隘な箇所の走行が可能であり、導入可能な工事現場規模の範囲が広い。複数台の AGV を連携させた搬送に対応しており、システムを統括するサーバー（以下、コーディネーションサーバーと呼ぶ）により、オペレーターが操作するエレベーターと合わせて管理が行われる（Fig. 5）。

### 4.2 AGV とエレベーター

AGV は低床式を採用した。最大積載重量は 700kg である。AGV 前方に高さ 1,000mm のポールを設け、ステレオカメラと慣性センサー(IMU)によるセンサーユニットおよび自律移動のための演算部を搭載し、自己位置検出を行う。また、4 角のうち対角となる 2 角に、床面から 140mm の高さに 2D LiDAR を搭載し、自己位置検出の補助および障害物検知に使用する（Fig. 5）。

エレベーターとの通信は、コーディネーションサーバーを介して行い、オペレーターはそのための専用アプリケーションを組み込んだ端末を使用する。本端末は、AGV がエレベーターへの乗車のため待機していることをオペレーターに伝達する。オペレーターは、AGV に対してエレベーターへの乗車、降車のタイミングの指示に本端末を用いる。なお、本システムは、エレベーターを無人化することで、オペレーターを含めたシステム全体の無人化にも対応する。

### 4.3 自律走行機能

事前に UI によって座標を指定した AR（Augmented



Fig. 5 複数台協調型搬送システムの AGV とマーカー  
AGV for Collaborated Multi-AGVs Logistic System & Marker

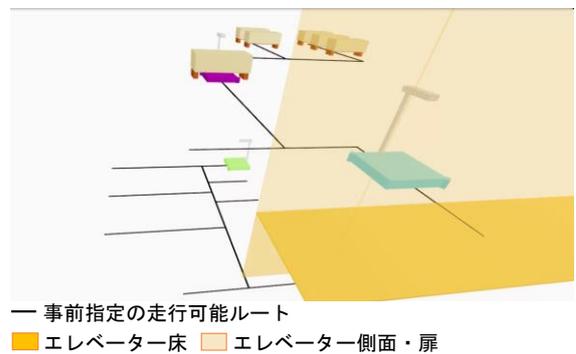


Fig. 6 複数台協調型搬送システム操作画面  
UI for Collaborated Multi-AGVs Logistic System



Photo 2 複数台協調型搬送システム 現場実証状況  
Evaluation in Construction Site

Reality：拡張現実）マーカーをカメラで認識することによって、AGV の自己位置を算出する。一度自己位置を算出したあとは、ステレオカメラと IMU、2D LiDAR の各センサーを複合的に利用して移動量を把握し、その積算により自己位置を推定する。移動量の積算のみでは誤差が蓄積されるため、工事現場内の要所に AR マーカーを配置することにより、誤差の修正を行う。

この手法により、事前の環境マップの構築は不要となる。一方で、環境マップがないため、壁や障害物等の情報がない状態で最適な資材搬送ルートを生成する必要がある。そのため、UI を通して走行可能な場所を事前に指定し、コーディネーションサーバーはその中から最適な

ルートを選択して走行するよう AGV に指示する。走行中に障害物を検知した場合は、それを回避し、元のルートに戻る。

衝突することなく他の AGV とのすれ違いを実現するために、AGV のすれ違い場所をエレベーター前に限定する。具体的には、エレベーターに進入予定の AGV はエレベーター前に待機し、エレベーターから降りた AGV とすれ違った後、オペレーターの許可を得てエレベーターへ進入する。

#### 4.4 資材の積載と配置

積載する資材は、UI を通して図面の座標系で位置を指定する。障害物の回避に必要な資材の大きさの情報についても UI を通して指定する。

搬送する資材の配置位置は 300mm 程度の誤差を許容している。AGV は指定された座標の手前に到着後ジャックダウンを行い、2D LiDAR を利用してパレットの中央へと潜り込む。また、奥行きがある資材を積載する場合、近接センサーを利用し、ポールに衝突しないように停止する。パレット脚の大きさおよび間隔に関しても、資材と同様に UI より登録する。

#### 4.5 搬送計画と管理

搬送計画は、Web ブラウザーからアクセス可能な UI を用いて、コーディネーションサーバーに入力される。PDF ファイル形式で取り込んだ図面上に、AGV の走行可能場所やエレベーター、ストックヤードや搬送先、待機場所、AR マーカーを配置する。そして、資材やパレット脚の情報を入力し、搬送元や搬送先と合わせて搬送タスク情報を構成する。コーディネーションサーバーは搬送タスク情報を指定された順で各 AGV に分配し、効率的な搬送の制御を行う。搬送状況は、UI より管理できる (Fig. 6)。

#### 4.6 現場実証と効果目標

工事現場における本システムの実証実験の状況を Photo 2 に示す。現在、3 箇所の工事現場で適用を行い、実用性の検証を行っている。システムの適用によって、エレベーターのオペレーター 1 人による搬送の実現を目指している。

### 5. 低床式自律搬送台車

#### 5.1 搬送台車の特徴

低床式自律搬送台車は、中層オフィスビル等の中規模工事を対象とし、従来は複数人で搬送を行っていた資材搬送の省人化を図る<sup>7)</sup>。搬送台車のオペレーターは AGV 1 台の管理を行い、作業員の搬送作業を直接代替する。低床型 AGV を採用したことで狭隘な箇所の走行が可能となり、導入可能な工事現場が多い。さらに、台車の左右幅が小さいため仮設エレベーターのみではなく、本設のエレベーターの利用も可能となっている。



Fig. 7 低床式自律搬送台車  
Overview of Autonomous Low-Flatbet AGV

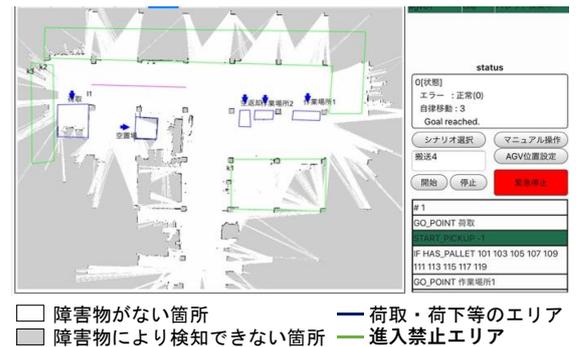


Fig. 8 低床式自律搬送台車操作画面  
UI for Autonomous Low-Flatbet AGV

#### 5.2 AGV とエレベーター

AGV は複数台協調型搬送システムと同じく低床式を採用した (Fig. 7)。一方で、低床式自律資材搬送台車においては AGV 正面の床面から高さ 140mm の位置に 2D LiDAR を搭載し、自己位置検出および障害物検知に使用する。障害物を検知した場合は、衝突しないよう回避する。また、前方にカメラを設置し、搬送物に貼付された AR マーカーを認識することにより、搬送すべき資材の探索を行う。

工事現場の資材搬送では、仮設エレベーターを撤去する工事の終盤には、本設エレベーターを仮設利用する場合がある。一般に本設エレベーターは間口が狭く、AGV の乗降には高精度の制御が求められる。そこで、専用パレットの下に潜り込む際と同様に、2D LiDAR によってエレベーター開口を認識し、エレベーター中央を検出して進入・停止するように制御する。

また、複数台協調型搬送システムと同じく、エレベーターのオペレーターは端末を通して AGV と通信して乗降の許可を行う。ただし本搬送台車においては、端末と AGV の通信はサーバーを経由せず直接行われている。

#### 5.3 自律走行機能

工事現場のレイアウト変更に対応する、誘導線や磁気テープに代わる搬送経路の設定方法として、Fig. 7 の UI に表示される環境マップを用いた。環境マップは 2D LiDAR のセンサー情報を用いて、AGV を遠隔操作で

走行させながら作成する。これにより、環境マップと2D LiDARの情報を照合することで、自己位置を算出し無軌道走行を実現する。

資材のストックヤードと搬送先の領域を指定し、その間の搬送経路を自動計算する。環境マップ上で最短となる経路を自動で探索する。AR マーカーには資材のサイズ情報が登録されており、資材サイズが大きい場合は、環境マップで壁となっている箇所を走行経路側に拡張し、走行可能な範囲を狭くする。2D LiDARにより自己位置を算出し、障害物を検知した場合には迂回路を生成して、再び搬送先までの最短経路を探索する。

#### 5.4 資材の積載と配置

一般のAGVでは、搬送する資材を設定された軌道の上に配置するが、本AGVは無軌道であるため資材の位置を正確に規定できない。そこで、指定した範囲内から資材を探索する機能を開発した。資材の探索を実現するため、脚部の形状を統一した専用パレットを製作した。専用パレットは、AGVが進入可能な方向を色で認識するため、前面と背面を黄緑色に、進入できない側面を青色に彩色した。さらに、専用パレットを識別するために、脚部の前面と側面にそれぞれ異なるARマーカーを貼付した。これは2次元コードでIDを読み取ると同時に、画像処理で搬送台車の相対位置を検出できる。

AGVは、環境マップ上のストックヤードに移動後、Fig. 8の図中に示すカメラ①を立て、その場で回転して専用パレットを探索する。専用パレットを発見すると接近し、カメラ②を利用してARマーカーを照合し、目的のパレットであるかを確認する。その後、2D LiDARを利用してパレットの下部へ潜り込む。

さらに搬送先の近傍に空パレット・空のかご台車の集積場所を設け、資材搬送の帰りにそれらを積載し、ストックヤードの近傍に戻す運用としている。これらの認識・積載と自律走行は資材搬送時と同様である。

#### 5.5 搬送計画と管理

搬送計画は、WebベースのUIを用いて、AGVに直接指示を行う。まず、AGVを手動で操作し、2D LiDARによる事前の環境マップを構築する。そして、タブレット端末を利用し、UIよりストックヤードおよび搬送先、パレット回収先、エレベーターなどのエリアを設置する。

搬送開始の指示後、AGVはストックヤードにて検知した資材から順に処理を開始し、目的地に到着したあとは、搬送先エリアの奥から資材を配置していく。

#### 5.6 現場実証と効果目標

工事現場における自律搬送台車の実証実験の状況を



Photo 3 低床式自律搬送台車実証状況  
Evaluation in Construction-Like Site

Photo 3に示す。実証実験は3箇所の工事現場にて行った。開発した搬送台車の適用によって、従来複数人が必要であった資材搬送を1人もしくは無人で行うことを目指す。

#### 6. おわりに

工事現場における資材搬送の省力化を目的として、対象となる建築物の規模や用途に合わせて選択可能な3つの資材自律搬送システムを開発し、複数の現場において実証実験を行った。

今後はシステムの普及に向けて、運用上の実績データを蓄積することで運用方法の最適化を進め、さらなる生産性の向上を目指していく。

#### 参考文献

- 1) 株式会社大林組，“建設現場の資材搬送を自律化するロジスティックスシステムを開発しました”，株式会社大林組，2020-02-19，[https://www.obayashi.co.jp/news/detail/news20200219\\_1.html](https://www.obayashi.co.jp/news/detail/news20200219_1.html)，(参照 202-09-17)
- 2) 滝沢平一郎：建築現場におけるサイト物流の取り組みについて，建築コスト研究 No.66, 2009.7
- 3) 浜田耕史，他：超高層建物における仕上資材自動搬送システムの開発，大林組技術研究所報，No. 52, 1996.12
- 4) 浜田耕史，他：建築仕上・設備資材の自動化搬送システムの開発，大林組技術研究所報，No. 64, 2002.12
- 5) 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
- 6) 大本絵利，他：低床式AGVの開発，大林組技術研究所報，No. 80, 2016.12
- 7) 大本絵利，他：低床式自律搬送台車の開発，大林組技術研究所報，No. 84, 2020.12