

# 物流現場向け自動搬送システムの開発

Development of Automatic Transport System for Logistics Site

大山 貴司  
Takashi Ooyama

福嶋 正造  
Shozo Fukushima

今仲 隆晃  
Takaaki Imanaka

森田 英夫  
Hideo Morita

## 要 旨

荷物の集荷・仕分け・配送を行う物流施設の現場では、トラックから物流拠点への搬入作業、荷物を行き先のトラックに仕分ける作業、物流拠点からトラックへの搬出作業場において、カゴ車と呼ぶ運搬用台車が使用され、これを人力で移動させることが多い。また、重いカゴ車を急いで搬送する際に手足を挟み込むなどの労働災害が頻発している。カゴ車での運搬は物流施設の現場だけでなく製造業の現場でも行われており、人手不足、労働災害は、共通の課題である。今回、筆者らは既存のカゴ車の搬送を自動化するシステムを開発した。本稿では、この自動搬送システムの中核となる既存のカゴ台車の底スペースに進入可能で自律移動が可能な低床型の搬送ロボットや最大100台の搬送ロボットを運行管理する群制御システムソフトについて述べる。

## Abstract

A cart is the most popular tool in the logistics industry, where workers use the cart to carry goods from the truck berth to the distribution area, sort them by destination and deliver from the distribution area to the truck berth. As the cart is usually fully loaded, there is a big risk for the workers to suffer severe occupational injuries while handling the cart. Workers in the manufacturing industry have the same risk as the cart is also used popularly in the manufacturing industry. We have developed an automatic transport system that automatically transports carts which are currently used on site. Herewith, we introduce fleet management system software as the core of the system that controls low profile transfer robots, up to 100 units at the same time, and which can autonomously recognize a target cart and move to open space under the cart.

## 1. はじめに

少子化により若年労働者人口は今後継続して減少する。近年ではアルバイト・パート労働者の応募が募集人数に満たず、慢性的な人手不足に見舞われている現場が増えている。このことが平均時給の上昇につながり、労働コストが大きく上昇している。

一方、Eコマース市場の拡大により物流量が右肩上がりに増加し、物流業界においては人海戦術で対応している。物流施設の現場では仕分け場の一時保管やトラックへの積み込み搬送にカゴ車と呼ぶ運搬用台車が使用される。仕分けた荷物を入れた重いカゴ車を急いで搬送する際に手足を挟み込むなどの労働災害が頻発している。このような労働コストの上昇や現場の安全確保という物流現場の課題は、製造業など他の業界においても同様に顕在化している。

そこで、筆者らは危険が伴う重労働をロボットに置き換えることで省人化によるコスト削減と労働者の安全確保を実現すべく、カゴ車を対象に物流施設内の搬送を自動的に行う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 構成と仕様

自動搬送システムは最大800 kgの荷物を自律移動で搬送する低床型の搬送ロボットと、最大100台の搬送ロボットを調停し高効率な搬送を実現する群制御システムから構成される。

### 2.2 特長

搬送ロボットは大きな追加投資をすることなく、業務の変更にも柔軟に対応できることを特長とする。

搬送対象のカゴ車を改造することなく、下に潜り込み持ち上げて把持することができる、高さ132 mmの低床型ボディをもつ。最大可搬重量は800 kgを実現し、高出力との両立を実現している。また、前方に置かれた搬送対象カゴ車を認識し、自動でカゴ車の下に移動して持ち上げる自動把持機能をもつ。

無軌道での自律走行を行い、有軌道型では必要となる導入時や業務変更時の床面の工事を不要とした。また、走行ルートもPCで動作するソフトウェアにより簡単に変更可能とした。稼働する搬送ロボットの台数を最大で100台まで同時に制御する群制御技術により、物流現場に合わせて搬送効率を高めた。



第1図 カゴ車を把持した自動搬送ロボット  
Fig. 1 Automatic transfer robot holding a basket cart

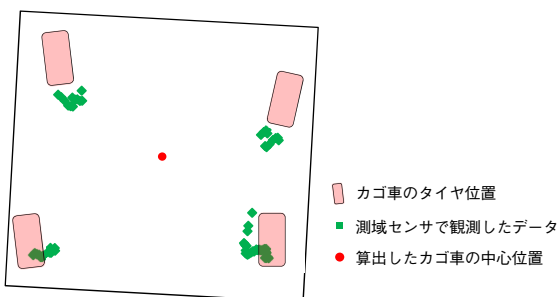
### 3. 自動把持機能

#### 3.1 自動把持の概要

搬送ロボットは前方に置かれたカゴ車を認識して位置を特定し、カゴ車の下に自動で潜り込んで持ち上げる自動把持機能をもつ。

カゴ車の認識には搬送ロボットの前部に搭載している測域センサ (LiDAR: Light Detect And Ranging) の情報を使用する。測域センサは波長の短いレーザー光を照射し、反射光が返ってくるまでの時間から搬送ロボットの前方にある物体の距離や方向などを測定することができる。

低床型搬送ロボットの測域センサは、搬送対象であるカゴ車のタイヤを観測できる高さに搭載している。(第2図を参照) カゴ車を認識した後、算出した中心位置を目標として走行することでカゴ車の下に入り込み持ち上げる。カゴ車の位置が搬送ロボットに対して前後左右にずれている場合や、傾いている場合であっても認識を可能としている。



第2図 測域センサで観測したカゴ車  
Fig. 2 Basket cart observed by the sensor

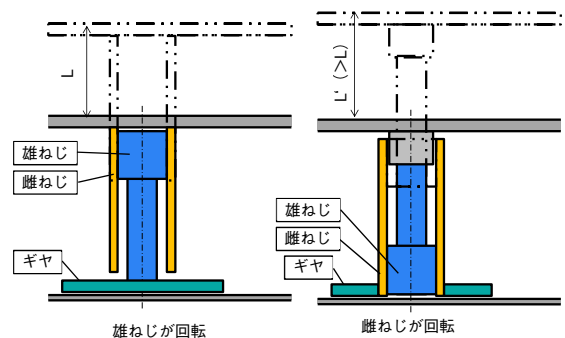
#### 3.2 低床、高出力の両立

搬送ロボットは高さ約130 mmと低床で、かつ最大800

kgの把持が可能である。

把持上下機構は台形ねじで構成され、上下量を最大化するため、雌ねじが回転、雄ねじが上下する構造となっている。中央の雄ねじが回転する場合、駆動力伝達のためのギヤの厚みあるいはベルトの幅などの分、外側の雌ねじは短くなってしまいが、逆にすることで、雌ねじに駆動を伝えるため、同じ高さのなかでもそのねじ長さが最大化できる。台形ねじの自己保持機能により、把持駆動用モータの電力消費量も最小化できる。軸受けは3段のテレスコピック構造になっており、ロボット高さ約130 mmでありながら、最大95 mmの上昇量を実現している。

また、底面の高さが段違いになっている対象カゴ車にも対応できるように、前方と後方それぞれ独立して上下できるようにしている。把持部が上昇し、カゴ車と接触したことを検知することで、カゴ車の底面が平坦 (へいたん) か段違いかを判断し、その上下量を前後それぞれに決定する。これにより、いずれのカゴ車も傾くことなく把持することができる。



第3図 把持機構

Fig. 3 Gripping mechanism

### 4. 自律走行技術

倉庫や工場の床面の環境により、タイヤが微小にスリップすることがある。無軌道での自律走行において、自己位置を正確に認識することは重要である。搬送ロボットは自己位置の正確性を高めるために測域センサを用いて自己位置を推定する。

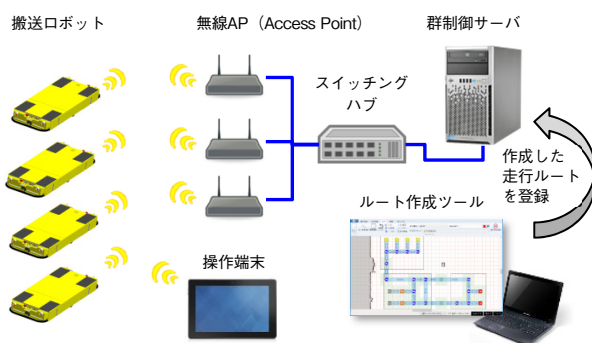
自己位置推定は、搬送ロボットがもつ電子地図情報と、測域センサが観測した搬送ロボット周辺の物体位置の情報を照合し、誤差が最小となる点を新しい自己位置として補正する。走行エリアの電子地図は動作環境に合わせて導入時に作成し、搬送ロボットにインストールしておく手法を採用した。これにより動作中の処理負荷を低減し、制御応答性を高めている。

## 5. 群制御システム

### 5.1 群制御機能のシステム構成

群制御機能は最大100台の搬送ロボットを衝突することなく同時に運行させる機能である。無線LANを経由して、搬送ロボットに指示を与え、カゴ車を所定の位置に自動搬送する（第4図を参照）。

搬送ロボットが走行するルートは、あらかじめ専用のルート作成ツールによって定義しておく。また、ブラウザベースの操作UI（ユーザーインターフェース）を介して、搬送ロボットを操作することが可能である。

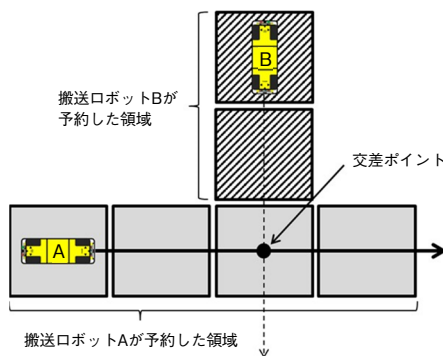


第4図 システム構成  
Fig. 4 System configuration

### 5.2 搬送ロボットの走行制御

搬送ロボットをルート上に走行させるときは、ルート上のポイントを予約していくことで複数台の搬送ロボットが衝突やお見合いをしないように制御する。

第5図に2台の搬送ロボットが交差点を通過する場合を示す。搬送ロボットAが交差点を含む領域を予約できたとき、搬送ロボットAには交差点を通過する走行指示を出す。一方、搬送ロボットBは交差点を他の搬送ロボットが予約しているため、交

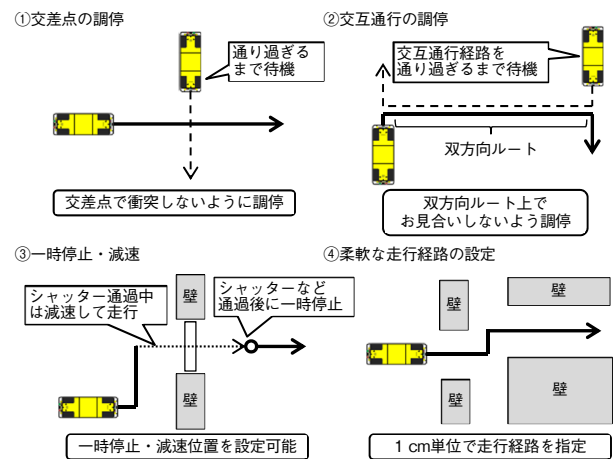


第5図 搬送ロボットの走行制御  
Fig. 5 Traveling control of the transfer robot

差ポイントの手前までを予約し、そこまでの走行指示が出される。これにより、搬送ロボットBは搬送ロボットAが通過するまで待機し、通過後、交差点を予約することで、走行を再開する。

### 5.3 主要仕様（調停）

群制御機能の調停に関する主要仕様は第6図に示すように大きく4つある。



第6図 群制御の主要機能  
Fig. 6 Main functions of group control

#### ① 交差点の調停

ルートが交差する地点では、搬送ロボット同士が衝突しないようにするための調停が必要となる。一方の搬送ロボットが交差点を通過するまで、他方の搬送ロボットには交差点を通過する走行指示を出さないことで、走行のタイミングを調整し、交差点での衝突を回避する。

#### ② 交互通行の調停

同時にすれ違えないような狭いルートでは、双方方向に行き違う搬送ロボットが存在するときに片側ずつ交互に通行を調停する必要がある。一方の搬送ロボットが双方方向ルート上を通過するまで、他方の搬送ロボットには双方方向ルートを経由する走行指示を出さないことで、走行のタイミングを調整し、双方方向ルート上でのお見合いを回避する。

#### ③ 一時停止・減速

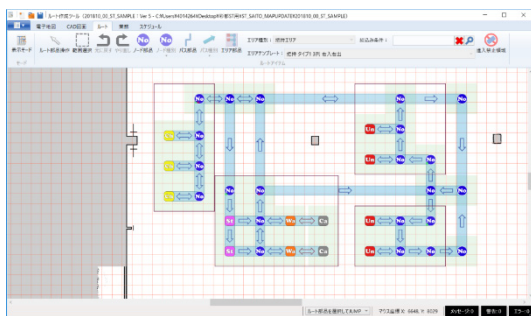
シャッターなどの見通しのよくない経路を通過した際に、人の導線と交わり、出会いがしらの接触を避けるため一時停止や、走行速度を減速させる必要がある。ルート作成ツールで走行ルートを作成する際に、一時停止するポイントや減速させるルートを設定すると、搬送ロボットを任意の場所で一時停止・減速させることが可能となる。

#### ④ 柔軟な走行経路の設定

シャッターの真ん中や、壁と壁の間の決められた空間を走行できるように、搬送ロボットの走行ルートを細かく設定できる必要がある。ルート作成ツールでは、1 cm 単位で走行ルートの配置や停止ポイントの位置を設定することが可能である。

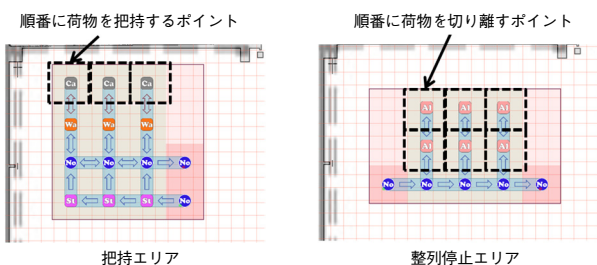
#### 5.4 全体的な制御を計画するツール

専用のルート作成ツールを用いて、壁や柱などの形状に応じた柔軟な走行ルートを直感的なUIで作成することができる。(第7図参照) 物流拠点のレイアウト変更や業務運用の変更も、この走行ルートを作成しなおすだけで簡単に対応が可能である。



第7図 ルート作成ツール  
Fig. 7 Route creation tool

また、各業務の特性に応じた搬送ロボットの停止場所や順序、荷物を把持する地点をルール化したエリアテンプレートを複数準備しておき、エリアテンプレートを組み合わせることでさまざまな業務への対応が可能となる。エリアテンプレートには第8図のように、荷物を把持する業務に適した把持エリアや荷物を順番に整列させて配置する業務に適した整列停止エリアなどが存在する。

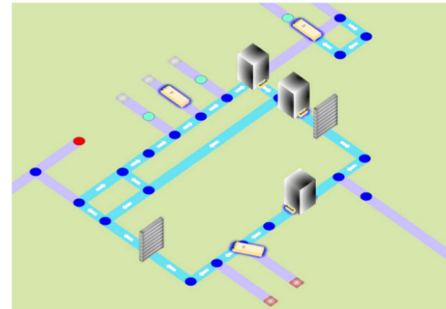


第8図 エリアテンプレート  
Fig. 8 Area template

#### 5.5 シミュレーション環境

シミュレータを用いることで、作成した走行ルートを試算した搬送ロボットの台数で想定通り業務をこなすこ

とが可能かを事前にシミュレーションすることが可能である(第9図参照)。走行ルート、搬送ロボットの台数、荷物の出現頻度などの条件を変更しながらシミュレーションすることで、最適な運用形態を仮想的に試行することができる。

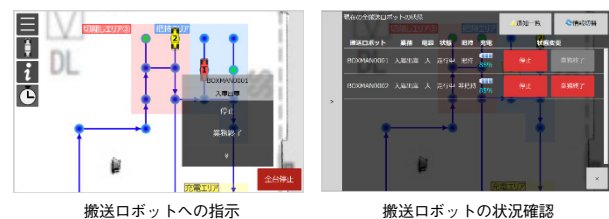


第9図 シミュレーションの画面  
Fig. 9 Simulation UI

#### 5.6 制御のための操作UI

群制御サーバにブラウザでアクセスすると、第10図のような操作UIが表示される。この操作UIを介して、ユーザーは搬送ロボットに走行や停止などの指示を送ることができる。また、搬送ロボットから制御サーバに定期的に位置情報を通知することで、操作UIではリアルタイムに搬送ロボットの走行している様子を表示することが可能となる。

この操作UIでは、搬送ロボットへの指示だけでなく、状態や発生したエラーなどの状況を確認することができる。



第10図 操作UI  
Fig. 10 Operation UI

## 6. 実験および実証運用

開発した搬送ロボットを、物流センターで走行させる実証実験を150日間行った。

- 1: 期間内全日運用ができて非稼働日ゼロであった。
- 2: 現場リーダーによる搬送ロボットの施設内行き先操作などが可能であった。
- 3: 労災事故はゼロ件であった(現状のカゴ車を人力で

運ぶ場合は月に数件発生しており、ゼロにはならなかった)。

4：自動搬送システムにてカゴ車を搬送することで1日  
回り6名～8名分の省人化の効果を観測した。

## 7. まとめ

100日を超える物流センターでの実証実験を通じて、筆者らが開発している低床型の自動搬送システムは目論見（もくろみ）どおりの機能：自動搬送機本体132mmの低床化・最大可搬重量800kg：自動把持、自律走行、群制御ソフトウェアによる自動搬送ロボットの運行管理を実現しており、省人化によるコスト削減と労働者の安全確保の実現へのポテンシャルを十分有することを確認できた。今後は、この実証で得られた知見を基に、早急に社会への普及推進を行い、人手不足と人件費の高騰に苦しむ物流業界および製造業界に貢献したいと考える。

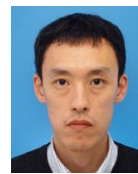
## 執筆者紹介



大山 貴司 Takashi Ooyama  
コネクティッドソリューションズ社  
現場プロセス本部  
Gemba Process Business Div.,  
Connected Solutions Company



福嶋 正造 Shozo Fukushima  
パナソニック スマートファクトリーソリューションズ (株)  
Panasonic Smart Factory Solutions Co., Ltd.



今仲 隆晃 Takaaki Imanaka  
パナソニック スマートファクトリーソリューションズ (株)  
Panasonic Smart Factory Solutions Co., Ltd.



森田 英夫 Hideo Morita  
パナソニック スマートファクトリーソリューションズ (株)  
Panasonic Smart Factory Solutions Co., Ltd.