

## 短期間で構築可能な自律移動ロボットシステム

Autonomous Mobile Robot System Allowing Swift Development

山本 大介 YAMAMOTO Daisuke 岸 伸享 KISHI Nobuyuki 平 和樹 TAIRA Kazuki

少子高齢化に伴う労働力不足が深刻化する中、様々な分野で、人手による作業をロボットに置き換えることが期待されている。しかし、分野ごとに異なる多様な作業をロボットで実現するには、多くの専門知識と時間が必要である。

東芝グループは、物流センターでのかご台車による搬送作業、及び店舗での棚監視作業という二つの作業で使用する自律移動ロボットをターゲットに、ハードウェアを機能ごとにユニット化し、ソフトウェアをプラットフォーム化したシステムの開発に取り組んでいる。作業に必要なハードウェアユニットとソフトウェアモジュールを組み合わせ、短期間で自律移動ロボットが開発できることを実証実験で検証し、システムの有効性を確認した。

Robots are a focus of expectations as a replacement for conventional manual operations in order to solve the severe labor shortage in a broad range of fields in Japan. However, the need for sophisticated expertise and reduction of the time required to develop appropriate robots for various tasks are significant issues.

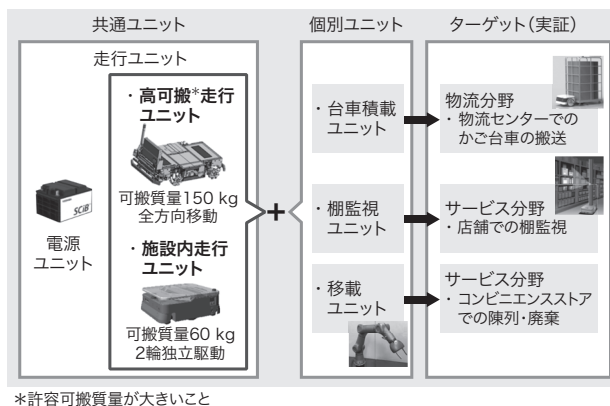
The Toshiba Group has been making efforts to develop system technologies for autonomous mobile robots, composed of hardware units for respective functions and a software platform, targeting the following two tasks: (1) the task of transporting carts at a physical distribution center, and (2) the task of checking shelf space at a retail store. We have confirmed the effectiveness of our autonomous mobile robot system through demonstration experiments applying prototype robots developed in a short period of time using this system.

### 1. まえがき

従来、マニピュレーターを中心とする産業用ロボットや、AGV（無人搬送車）と呼ばれる移動ロボットが、主に製造分野の、特に大量生産を行う、大規模な工場の中で使われてきた。昨今の人手不足を解消するため、今後は、これまでロボットが余り使われていなかった倉庫などの物流分野や店舗などの流通分野において、人のいる作業空間で、人の代わりに作業するロボットの活用が期待されている。

自律移動は、人の基本機能の一つであり、多くの作業で必要となる。そのため、自律移動機能を持つロボットの需要が高まっている。移動ロボットの世界市場規模は、2018年段階で187億ドルと推計され、2023年には541億ドル規模に達すると言われている<sup>(1)</sup>。

昨今は、AGVに加え、家庭や公共施設で清掃作業をする自律移動ロボットが、既に実用化されている。また現在、物流、店舗、警備、点検などの分野で利用できる自律移動ロボットの検討や開発が進んでいる。東芝グループも、人がいる環境下で移動できるロボット技術<sup>(2)</sup>や、ロボットの構築に必要なリファレンスシステム<sup>(3)</sup>など、以前から移動ロボットの研究開発に取り組んできた。しかし、多種多様な作業ごとに、専用のハードウェアやソフトウェアを開発するのは



\*許容可搬質量が大きいこと

図1. ハードウェアのユニット化

設定した作業ターゲットに応じ、共通ユニットと個別ユニットから適切なハードウェアを選んで組み合わせることで自律移動ロボットを構築する。

Unitization of hardware for various applications

効率が悪い。そこで、機能ごとにハードウェアをユニット化し（図1）、ソフトウェアをプラットフォーム化したシステムの開発に取り組んでいる（この特集のp.16-19参照）。

様々な分野にある作業の中から、物流センターでのかご台車の搬送作業と店舗での棚監視作業の二つをターゲットとし、それぞれの要求を満たす走行ユニットと個別ユニットを組み合わせることで自律移動ロボットを開発し、実証実験を行っ

た。ここでは、自律移動ロボットを短時間に構築できるシステムの概要と、試作した自律移動ロボットを用いた実証実験の結果について述べる。

## 2. 種々の自己位置認識手法と自律移動ロボットシステムの構成

### 2.1 自己位置認識手法

近年、自動車のADAS（先進運転支援システム）が開発され、自動走行も実用に近づいている。自律移動ロボットは、自己位置を認識しながら目的位置への経路を算出して走行する点で自動運転と類似した技術であるが、屋内で使われるため、GPS（全地球測位システム）が使えない、歩車分離されていないなど、使用環境が異なる。そのため、独自の自己位置認識手法が必要である。

工場内のAGVは、床面に敷設した磁気テープなどを追跡することや、壁面に取り付けられた反射板までの距離と方向をレーザー距離計で測定することで、経路に沿った走行を実現している。最新の倉庫では、床面に基盤の目状に多数の光学式マーカを敷設し、これを読み取ることで自己位置を検出する手法もある。また、SLAM（Simultaneous Localization and Mapping）と呼ばれる手法を用いて、LRF（Laser Range Finder）で検出された周囲の壁面や固定された設備などから地図を作製し、その地図を基に自己位置を算出する場合もある。LRFではなく周囲の画像を用いるVisual SLAMの開発が車載向けに進んでおり<sup>(4)</sup>、自律移動ロボットにも応用可能である。

これらの手法には、テープなどの敷設の要否や、周囲環境の変化に対するロバスト性、センサーのコストなど、一長一短がある。そこで、用途に合わせて適切な自己位置認識手法を選択できるように、システムを構成した。

### 2.2 自律移動ロボットシステムの構成

開発した自律移動ロボットシステムの構成を図2に示す。このシステムの特長は、共通機能としての移動機能と、個々の作業に合わせた個別機能を分けたことである。これにより、作業に応じて必要な個別機能を移動機能に追加して、自律移動ロボットを容易に構築できる。

移動機能のハードウェアは、センサーとアクチュエーターのユニットから成る。ソフトウェアはモジュール化されており、機能によって認識系、計画系、制御系に分けられる。認識系は、2.1節の自己位置認識に加え、周囲の障害物や人物などの環境認識を行う。計画系には、更に上位の管理システムからの指示に従って計画を立案する移動計画に加え、管理システムの地図管理からのデータを保持する走行環境地図がある。制御系は、移動計画からの目標位置に

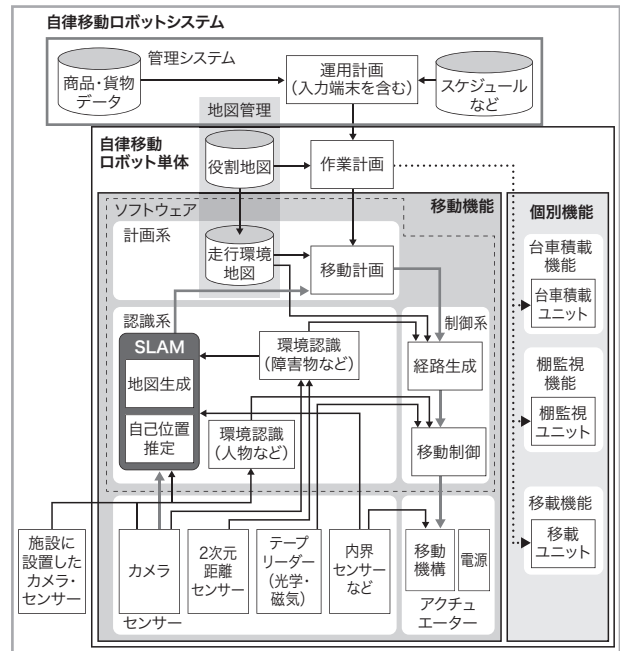


図2. 自律移動ロボットシステムの構成

自律移動ロボットシステムの中に、自律移動ロボット単体があり、移動機能と個別機能に分けられる。移動機能は、左下のセンサーから認識系、計画系、制御系、アクチュエーターへと処理を進めることで成り立つ。

Configuration of autonomous mobile robot system

応じた経路生成に加え、障害物検出時の停止指示に応じた移動制御を行う。このように、ハードウェアをユニット化し、ソフトウェアを処理ごとにモジュール化することで、作業に必要なセンサーや処理を柔軟に選択することが可能となる。また、市販の製品をハードウェアユニットやソフトウェアモジュールとして活用することも容易になる。

## 3. 具体的な作業をターゲットとした自律移動ロボットの試作

汎用なプラットフォームを開発するには、いくつかの作業を具体的なターゲットとして設定した上で、共通機能（移動機能）と個別機能を検討することが有効である。そこで、物流センターでのかご台車の搬送作業と店舗での棚監視作業の二つをターゲットに設定した。この章では、ターゲットごとに、構築した自律移動ロボットの概要を述べる。

### 3.1 かご台車の搬送作業

物流センターなどでは、荷物や商品を積載したかご台車の搬送作業が行われている。荷物は、かご台車ごとトラックに積載されて物流センターに運ばれる。物流センターでは、トラックから降ろしたかご台車をベルトコンベヤー近傍まで移動した後、かご台車の荷物をベルトコンベヤーに載せ、ソーターなどで仕向け地ごとに仕分けてから、かご台車に移載す

る。そして、再びかご台車を仕向け地ごとのトラック近傍まで移動し、トラックに積載する。また、一時的にかご台車を仮置き場に移動する場合もあり、頻繁にかご台車の搬送作業が発生している。これらのかご台車の搬送は人手で行われているが、かご台車は台車を含めて最大600 kgとなり、その作業が大きな負担となっているので、この作業を担うため、かご台車搬送用自律移動ロボットの開発を進めている(図3)。

試作したかご台車搬送用自律移動ロボット(図4)は、LRFセンサーと、許容可搬質量が大きい高可搬走行ユニットから成る移動機能に、かご台車を載せるリフターやバンパーなどの個別機能のユニットを搭載することで構築した。

このロボットの特長は、三つある。一つ目は、メカナムホイールという特殊車輪を用いた全方向移動機能を備えていることで、これは、かご台車を整列させるなど、細かい動きをする際に必要となる。二つ目は、搬送するかご台車を完全に持ち上げるのではなく、かご台車のキャスターが浮かかない程度に持ち上げることで、搬送時にかご台車を転倒しにくくする半荷重搬送機能である。これにより、高可搬走行ユニットの可搬質量150 kgを超えて、最大300 kgのかご台車を搬送することも可能である。三つ目は、前方LRFの位置を変えられることである。かご台車積載時と空荷走行時で

は移動体のサイズが変わるため、かご台車積載時には前方LRFを左右に伸ばすことで、かご台車周囲の障害物を検出しやすくしている。

この試作機で、実際の物流施設での実証実験を行った(図5)。内容は、ロボット2台で、(1)かご台車ピックアップエリアからかご台車ドロップオフエリアAへの短距離(10 m程度)搬送と、(2)かご台車ピックアップエリアからかご台車ドロップオフエリアBへの長距離(30 m程度)搬送の2種類である。この結果、滑らかに障害物を回避し、最大300 kgのかご台車を、安定して自律搬送できることを確認した。

### 3.2 店舗などの棚監視作業

店舗では、商品棚あるいは店舗倉庫にある商品の個数や棚札(値札ラベル)を、定期的に確認する必要がある。これは、万引きや、店員によるミス・不正、入荷・販売時の経理処理ミスなどで、商品ロスが頻繁に発生するためである。そこで、人の作業をロボットに置き換え、商品棚に並べられた商品や棚札を撮影して画像処理を行い、定められたデータと照合して適否を判定することを目指している。

この作業を行う自律移動ロボットを試作した。移動機能に市販の移動ロボットを採用し、その上に、個別機能として照明とカメラから成る棚監視ユニットを搭載して実店舗での実証実験を行った(図6)。試作機は、商品棚に沿って走行し、商品棚の商品と棚札をカメラで撮影して画像データを収集した。その結果、商品マスターデータと照合して適否判定可能なデータが得られることを確認できた<sup>(5)</sup>。

### 3.3 コンビニエンスストアでの商品の陳列・廃棄

自律移動ロボットシステムを使えば、目的の作業を実現する自律移動ロボットの構築が短期間でできることを検証する

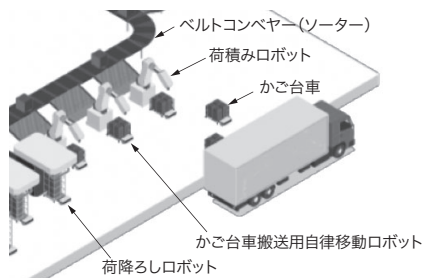


図3. 物流センターでのかご台車の搬送作業

複数の自律移動ロボットが、トラックから降ろされたかご台車をソーター脇にある荷降ろしロボットや荷積みロボットのそばに搬送する。

Task of transporting carts at physical distribution center

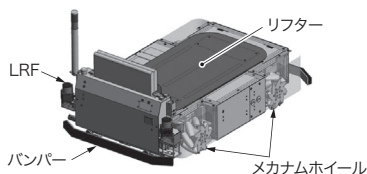


図4. かご台車搬送用自律移動ロボットの試作機

四つのメカナムホイールで全方向に移動できる。前方の左右に一つずつと後方に一つのLRF、前後のバンパー、及び上面にかご台車を持ち上げるためのリフターを備える。

Prototype of cart-transporting robot

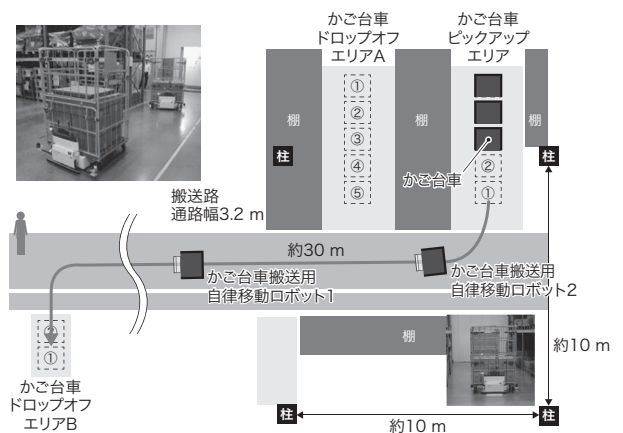


図5. 物流施設での実証実験

2台のロボットで、10 m程度の短距離搬送と、30 m程度の長距離搬送の実証実験を行った。

Demonstration experiment at logistics facility



図6. 店舗での実証実験

実際の店舗で、自律移動ロボットが照明を当てながら商品棚の商品と棚札を撮像し、画像データを収集した。

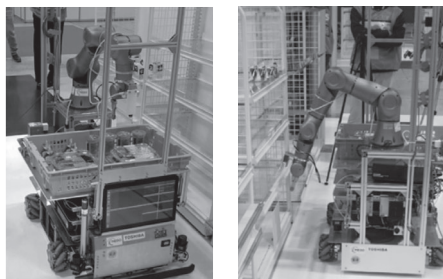
Demonstration experiment on shelf space checking unit at retail store

ため、経済産業省などが主催するWorld Robot Summit 2018の競技会の一つであるフューチャーコンビニエンスストアチャレンジ (FCSC) に参加した。競技では、コンビニエンスストアの商品の陳列や廃棄品の回収の作業を自動化する陳列・廃棄タスクを行った。

競技用ロボットは、かご台車搬送用自律移動ロボットの高可搬走行ユニットに、市販ロボットアームを利用した移載ユニットと、小型ポンプや電池などを搭載して物品の吸着把持を可能にした吸着ユニットを組み合わせて構築した。

競技では、高可搬走行ユニットで精度良く商品棚の前に停止し、移載ユニットのマニピュレーターで商品棚を引き出し、マニピュレーターと吸着ユニットを使い分けておにぎりや、弁当、サンドイッチなど様々な種類・姿勢の商品を把持し、陳列するという作業を実行した(図7)。

ハードウェアユニットとソフトウェアモジュールを組み合わせて、陳列・廃棄タスクの競技用ロボットを約1か月で構築でき、自律移動ロボットシステムの有効性が確認できた。また、



(a) 商品を所定の棚の前に移動する作業

(b) 商品棚をロボットアームで引き出す作業

図7. 競技用ロボット

競技では、陳列・廃棄タスクとして定められた作業を、所定の時間内に実行できる安定性が求められる。

Autonomous mobile robot system equipped with traveling, attaching, and transporting units participating at World Robot Summit 2018

FCSCでは総合優勝し、経済産業大臣賞を受賞した<sup>(6)</sup>。

#### 4. あとがき

物流センターでのかご台車の搬送作業と店舗での棚監視作業をターゲットに、自律移動ロボットを構築して実証実験を行った。その結果、自律移動ロボットシステムを活用することで、短期間で目的の作業に合わせた自律移動ロボットを構築できることを確認した。

今後は、実現場での利用を進め、屋外も含めた様々な作業に対応する自律移動ロボットを短期間で構築できるシステムを開発していく。更に、上位システムとの連携によるCPS (サイバーフィジカルシステム) 実現を目指す。

この研究の成果の一部は、国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託事業「ロボット活用型市場化適用技術開発プロジェクト」で得られたものである。

#### 文献

- (1) MarketsandMarkets. Mobile Robots Market by Operating Environment (Aerial, Ground, and Marine), Component (Control System, Sensors), Type (Professional and Personal & Domestic Robots), Application (Domestic, Military, Logistics, Field), and Geography - Global Forecast 2023. MarketsandMarkets, 2018, SE 3610, 158p.
- (2) 園浦隆史, ほか. 周囲環境に適応するロバストなロボット移動技術. 東芝レビュー. 2009, 64, 1, p.19-23.
- (3) 萱島志門, ほか. 自律移動小型ロボットを実現する統合リファレンスシステム. 東芝レビュー. 2016, 71, 5, p.88-91. <[https://www.toshiba.co.jp/tech/review/2016/05/71\\_05pdf/f08.pdf](https://www.toshiba.co.jp/tech/review/2016/05/71_05pdf/f08.pdf)>, (参照 2019-04-01).
- (4) 関 晃仁. 移動カメラ画像からの3次元形状復元・自己位置推定 (SLAM) と高密度な3次元形状復元. 情報処理学会研究報告. 2014, 2014-CVIM-190, 40, p.1-8.
- (5) 長場景子. 毎日価格を変更するスーパーのオーケーがロボを導入する理由 夜間に売り場を巡回し、値札の売価を自動チェック. 日経Robotics. 2018, 38, p.18-23.
- (6) 進藤智則. コンビニの商品陳列作業などロボットで自動化狙う WRS2018 コンビニ部門, 1位は東芝, 2位はオムロン. 日経Robotics. 2019, 43, p.18-21.



山本 大介 YAMAMOTO Daisuke, D.Eng.

研究開発本部 研究開発センター 機械・システムラボラトリー  
博士 (工学) 日本機械学会・日本ロボット学会・計測自動制御学会・情報処理学会会員  
Mechanical Systems Lab.



岸 伸享 KISHI Nobuyuki

東芝インフラシステムズ (株)  
セキュリティ・自動化システム事業部  
ロボティクス・物流システムソリューション営業部  
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.



平 和樹 TAIRA Kazuki

東芝テック (株)  
商品・技術戦略企画部  
映像情報メディア学会会員  
Toshiba Tec Corp.