

倉庫内業務をサポートする棚搬送ロボットの最適運用ソフトウェア

Software for Shelf Picking Robots to Support Optimization of Operations in Physical Distribution Warehouses

瀧口 武 TAKIGUCHI Takeru 松本 裕司 MATSUMOTO Yuji

eコマース(電子商取引)の伸長に伴って物流量は増加の一途をたどっており、それに対応するため、物流拠点も増加及び大型化の傾向にある。物流倉庫内の作業者にとって、出荷商品を棚から取り出すピッキング作業の負荷が大きくなっており、作業の効率化や自動化が求められている。

そこで東芝グループは、ピッキング作業において、ロボットが代替して商品を作業者の元に運ぶGTP (Goods to Person)の実現を目指して棚搬送ロボットの開発を進めている。倉庫運用の全体最適化のため、ロボットの運行計画及び出荷オーダーの最適化や、倉庫内の機器を管理・制御するWES (Warehouse Execution System)との連携を図ったソフトウェアを設計した。

In the logistics and physical distribution field, the growing volume of articles being handled accompanying the expansion of e-commerce has resulted in increases in both the number and size of physical distribution bases. Demand has therefore been rising for the improvement of work efficiency and introduction of automated processes for picking large numbers of articles from shelves in physical distribution warehouses in order to reduce the burden on workers engaged in shipping operations.

The Toshiba Group is responding to this situation by developing shelf picking robot systems to provide goods-to-person picking solutions in physical distribution warehouses. We have designed software for such shelf picking robots that can contribute to the overall optimization of operations in physical distribution warehouses by optimizing robot operation planning and shipping order preparation and by facilitating collaboration with the warehouse execution system (WES).

1. まえがき

eコマース市場の急速な伸長に伴い、物流量は年々増加する傾向にある。その一方で、少子高齢化に伴い生産年齢人口が減少しており、トラック運転手や倉庫作業者の不足は大きな社会問題の一つとなりつつある。加えて、新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) 流行下でのインターネット通信販売のライフライン化も進み、物流事業者を取り巻く環境は厳しさを増している。

このような背景から、物流倉庫作業の機械化が強く求められている。しかし、現実には割れ物や特殊な形状の商品など、機械では取り扱いが難しい対象物が数多くあり、また商品の出荷が不定期に発生するなど、物流倉庫の完全な自動化はまだまだ難しいのが現状である。

そこで東芝グループは、“人と機械のベストマッチ”をコンセプトに、棚搬送ロボットや、カゴ台車搬送ロボット、自動荷降ろしロボット⁽¹⁾、バンニングロボット⁽²⁾などの“アセットライトな”ロボット群(図1)と、倉庫内のロボットや機器を管理・制御するWESの開発を進めている。

WESで各機器の稼働状況や全体の出荷処理・作業進捗



図1. ロボット群による物流倉庫業務の自動化の概要

棚搬送ロボットが棚を搬送し、ピッキングロボットが棚から商品を取り出して、コンベヤーに載せる。

Overview of automated operation in physical distribution warehouse by group of robots

を把握することで、ロボットができる作業はロボットに、人にしかできない作業は人にといた、人とロボットが協調できる作業環境を実現するとともに、倉庫運用の全体最適化を図ることで、物流倉庫における課題解決を目指している。

ここでは、その中の棚搬送ロボットについて、特にロボット

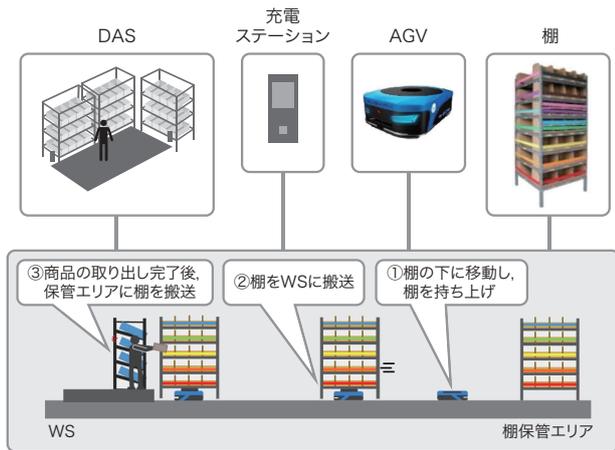


図2. 棚搬送ロボットによる一連の作業

商品の入出庫や棚卸し時に、棚を倉庫内の保管エリアからWSに搬送し、作業後は棚を自動で保管エリアに戻す。

Overall series of processes performed by shelf picking robot



図3. 棚搬送AGVの専用棚

専用棚には、左側の4面収納タイプや、右側の2面収納タイプなど、様々なタイプがある。

Dedicated shelves for shelf picking robots

の運行計画と出荷処理の最適化を目的としたソフトウェアについて述べる。

2. 棚搬送ロボットの概要

棚搬送ロボットは、作業者が商品をピッキングする場所であるWS (Work Station) まで、商品の格納された棚を自動で搬送する(図2)。棚の下に入り、棚を持ち上げて搬送する無人搬送車 (AGV) や、棚から商品が格納されたトレイだけを取り出すケースハンドリングロボット (ACR) などがある。ここでは、前者のAGVによる棚搬送ロボット(以下、棚搬送AGVと略記)について述べる。

2.1 棚搬送AGVの特徴

棚搬送AGVは、床面に貼られたバーコードを読み取ることで自己位置を認識し、バーコード間を移動する。棚搬送AGVが稼働するエリアには充電ステーションが設置されており、棚搬送AGVはバッテリー容量が低下すると自動で充電を行う。

棚搬送AGVは、倉庫内管理システム(WMS)から入出庫指示(オーダー)を受信し、商品の入出庫や棚卸しを行うWSに棚を搬送する。棚は、仕切りなどで商品の格納スペース(間口)が分割されており、図3の左側の4面収納タイプや右側の2面収納タイプなど、適用する物流倉庫で取り扱う商品に合わせて様々なタイプがある。

商品の入庫では、作業者が間口の大きさや種類を指定すると、棚搬送AGVが空き間口のある棚をWSに搬送する。商品の出庫では、オーダーに記載された商品情報や出庫数量に応じて、必要な棚をWSに搬送する。WS到着後、作

業画面には“どの間口から、商品を何個取るのか”という情報が表示されるため、作業者は画面の指示に従って商品のバーコードをスキャンし、ピッキングを行う。ピッキングした商品は、デジタルアソートシステム(DAS)と呼ばれる仕分け装置に振り分けられ、検品後に出荷される。物流倉庫では、これらの入出庫作業のスループット向上が最重要課題となっているが、従来の棚搬送AGVは運行計画や出庫処理において十分な性能を実現できておらず、ソフトウェアの改善が求められている。

2.2 最適運用ソフトウェアの構成

棚搬送AGVシステムの最適運用ソフトウェアは、入出庫制御部、管理部、計画部、AGV制御部、WMSインターフェース(I/F)、ハードウェアI/F、及びデータベースで構成されている(図4)。

入出庫制御部は、ハードウェアI/Fを通じて、WSの作業画面表示や、DAS、ラベルプリンターなどの接続機器の制御を行う。管理部は、システムの状態監視や、設定変更、データ集計、保守機能などを提供する。計画部は、AGV走行計画及び在庫情報管理を行う。AGV制御部は、計画部から出力された走行計画をAGVメーカーごとに異なるコマンドに変換し、AGVに送信する。また、AGVから受信したデータやイベントを、入出庫制御部や管理部に通知する。

3. 最適化技術

次に、東芝 研究開発センターで開発した、棚搬送AGVの出庫処理及び運行計画の最適化技術について述べる。

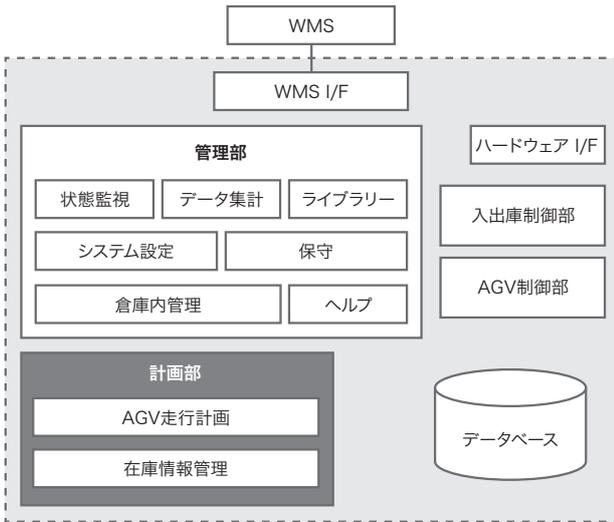


図4. 最適運用ソフトウェアの構成

計画部で計算したAGV走行計画や出庫処理の最適化結果を、AGV制御部や入出庫制御部に送信する。

Software architecture for optimization of driving plan and picking operation

3.1 オーダー順最適化

一般顧客向け商品を取り扱う倉庫では、顧客からの注文に応じて不定期にオーダーが追加され、順番に出荷を行う。しかし、B to B (Business to Business) 向け業務を主体とした物流倉庫の場合には、定期的かつまとめてオーダーが追加される場合が多く、配送指定がないオーダーであれば、出荷処理を行う順番はオーダー順でなくてもよい。

棚搬送AGVシステムでは、一つの棚から何種類の商品を同時に取り出せるかを、商品のヒット率(=間口数/棚)と呼ぶ。ヒット率が高ければ棚の搬送回数が少なくなり、AGVが倉庫内から棚をWSに搬送する間の待ち時間を削減できるため、スループットが向上する。逆に、ヒット率が低いと、スループットは低下する。そこで、東芝グループの棚搬送AGVシステムでは、オーダーの処理順序を見直すことで、同じ棚から複数の商品をより多く取り出せるようにオーダーの並び替えを行う。

他社製の棚搬送AGVシステムが稼働している物流倉庫の、ある21日間のデータに対して、(a)最適化なし、(b)他社実績値、(c)オーダー順最適化、それぞれの場合のヒット率を比較した結果を、図5に示す。(a)と(c)は実際のオーダーを使用したシミュレーション結果から、また(b)は実際の運用実績から、それぞれヒット率を算出した。オーダー順最適化を行うことで、ヒット率は他社実績値に比べて平均で0.30高くなった。他社製の棚搬送AGVシステムの平均ヒット率は1.40であるため、約21%のヒット率向上が期待できる。

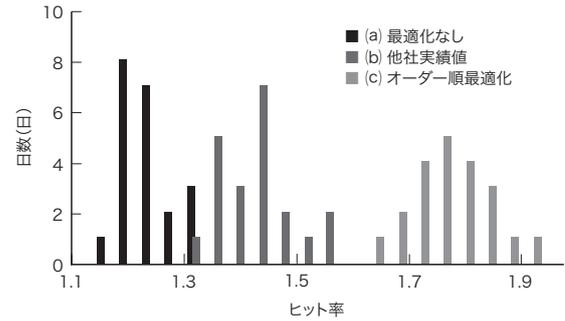


図5. 一つの棚から取り出せる商品のヒット率の運行計画による違い

(a)最適化なし、(b)他社実績値、(c)オーダー順最適化の順に、ヒット率が高くなっていることが分かる。

Differences in hit rates of robots picking prescribed items from one shelf using comparable hardware depending on driving plan

3.2 運行計画最適化

物流倉庫では、棚の容積率を上げるため、多数の棚を狭いエリアに密集して配置している。棚搬送AGVシステムでは、多数のAGVが常に同時に移動しているため、狭いエリア内におけるデッドロックや渋滞などを回避するには、逐次的に運行計画を見直さなければならない。したがって、全てのAGVが常に効率的な経路を移動するようにするのは、困難である。また、AGVの走行経路を計算する際には、逆走や交差点への進入制御などを考慮する必要がある。無数の走行経路の中から、実行可能な解を探索しなければならず、標準的な探索アルゴリズムでは、実運用に耐え得る時間内に計算を完了できない場合もある。

そこで、これらの問題を考慮した棚搬送AGV用の運行計画アルゴリズムを開発し、AGVの競合回避のための移動経路及び走行タイミングの最適化を図った。開発したアルゴリズムは、様々なレイアウトのマップに対応可能であり、AGV台数や稼働WS数が増減しても、条件に応じて最適なAGVの移動経路及び走行タイミングを生成できる。

アルゴリズムの汎用性を検証するため、他社製の棚搬送AGVシステムが稼働している倉庫Tと倉庫Sをモデルとして、シミュレーションによる評価を実施した。倉庫Tと倉庫Sのマップを、図6に示す。シミュレーションでは、倉庫内から棚をWSまで搬送し、商品のピッキング完了後に再び棚を倉庫内に戻すという一連の流れを1タスクとして、100タスクを実行させる。評価に際しては、①タスク完了時間、②WSでの棚滞在率、及び③AGV稼働率、の三つの指標を定義して、AGV台数と稼働WS数を変化させた場合に、それぞれの指標がどのように変化するかを比較した(図7)。

図7左側の四つのグラフは、AGV台数を20台固定として、稼働WS数を2~5か所に変化させた場合のシミュレー

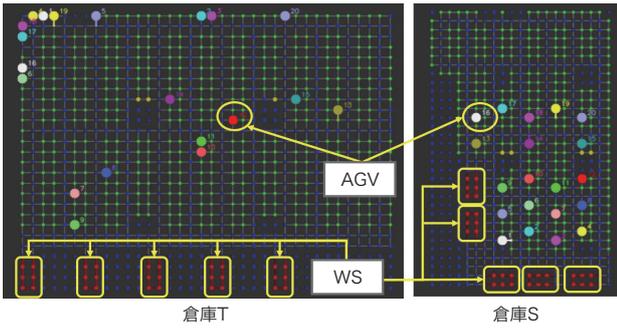


図6. シミュレーションで用いた倉庫Tと倉庫Sのレイアウト

倉庫Tと倉庫Sのマップには、それぞれAGV台数：20台と稼働WS数：5か所が表示されており、倉庫Tに比べて倉庫Sの面積が狭いことが分かる。

Layouts of warehouse T and warehouse S for simulations

シミュレーション結果を示している。稼働WS数が5か所の場合に、①は倉庫T、倉庫Sどちらも最も短くなっており、③も高いことが分かる。

また、図7右側の五つのグラフは、稼働WS数を5か所固定として、AGV台数を12台、16台、20台、24台、28台とした場合のシミュレーション結果を示している。AGV台数が増えるほど、①は短くなっているが、倉庫Sに関しては、AGV台数が28台の場合の方が、24台の場合よりも①が長くなっている。また、②の差異も少ない。これは、倉庫Sの方が倉庫Tよりも狭いため、AGV間で移動経路の競合が発生したためと考えられる。

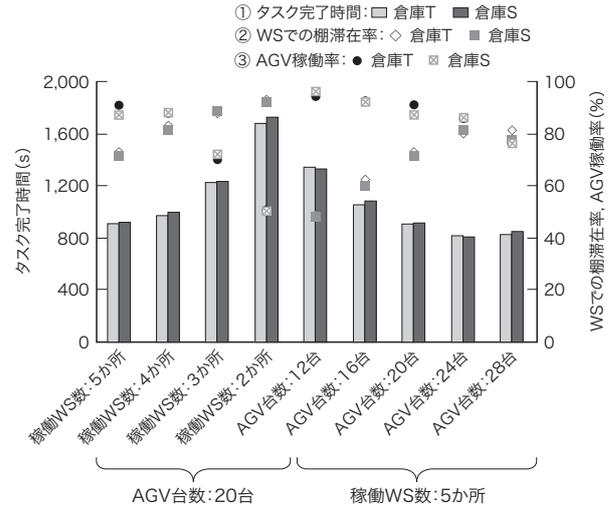


図7. シミュレーションによる運行計画の評価結果

倉庫Tと倉庫Sに対して、稼働WS数とAGV台数を変化させたときの、①タスク完了時間、②WSでの棚滞在率、及び③AGV稼働率をシミュレーションし、比較評価を行った。

Results of evaluation of driving plans for shelf picking robot obtained by simulations

このようにシミュレーションを行うことで、アルゴリズムの検証や実際に物流倉庫に適用する際に、最適なAGV台数と稼働WS数を判断できる。

4. WESとの連携

東芝グループは、1章で述べたように知能化物流ロボット

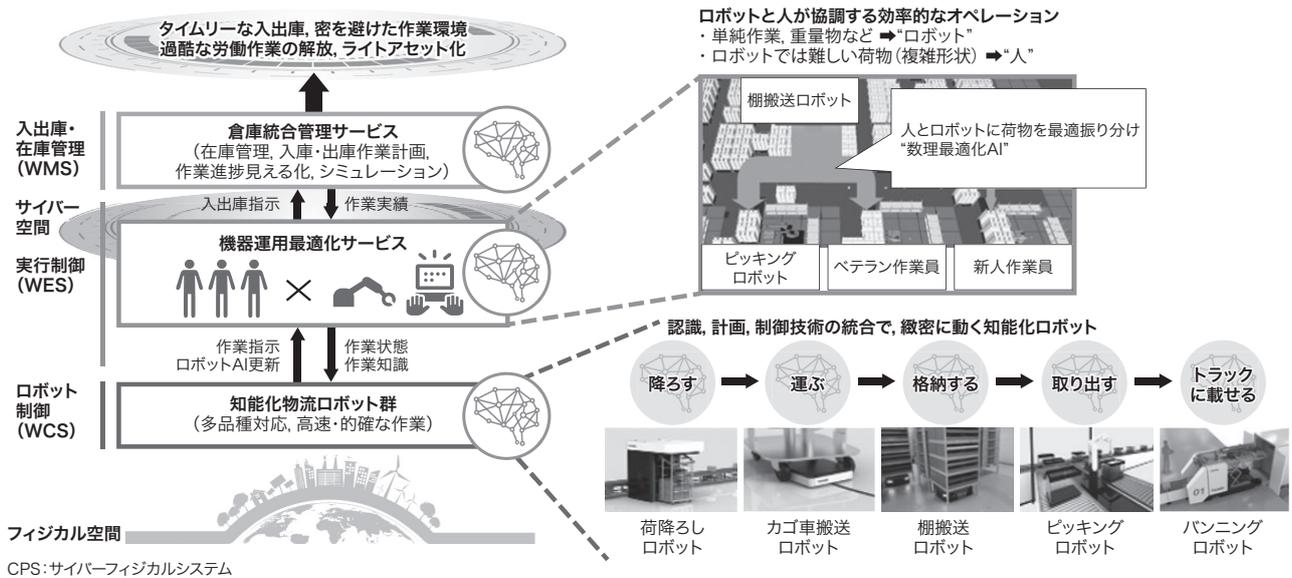


図8. CPSテクノロジーによる物流倉庫業務の全体最適化

東芝グループは、知能化物流ロボット群と倉庫統合管理サービスにより、ライトアセットな物流ソリューションの提供を目指している。

Overall optimization of physical distribution warehouse operations using cyber-physical system (CPS) technologies

群と倉庫統合管理サービスを連携させ、スケーラブルな自動化・省人化の実現を目指している(図8)。

その中で棚搬送ロボットシステムは、WCS (Warehouse Control System) に該当する。従来の棚搬送ロボットシステムは、顧客ごとに異なるWMSと直接接続し、オーダーを受信して商品の入出庫処理を行い、結果をWMSに送信している。

しかし、WMSは顧客ごとに固有かつレガシーなシステムである場合が多く、倉庫全体の稼働状況のモニタリングや倉庫内で稼働する機器やロボットの作業進捗を考慮したオーダーの分配制御などは、実施していない。

そこで東芝グループは、倉庫内全体の最適化サービスを提供するWESを開発しており、棚搬送ロボットシステムについてもWESとの連携機能を実装している。

稼働状況の可視化や、棚搬送ロボット以外の機器とその作業状態も考慮したオーダーの分配制御などを行うことで、倉庫内業務全体の見える化・最適化を図っていく。

5. あとがき

開発中の棚搬送ロボットシステムの概要と最適運用ソフトウェア、及び他社との差異化技術について述べた。

今後は、2022年度に予定されている実際の物流拠点への適用に向けて、機能改善と性能向上を進めていく。また、WESと連携した概念実証 (PoC : Proof of Concept) や、AGV以外のロボットへの展開なども計画している。

様々なロボットとともに、ライトアセットな物流ソリューションを提供できるCPS (サイバーフィジカルシステム) テクノロジーカンパニーを目指していく。

文献

- (1) 小川昭人, 村上 厚. 物流施設向け 自動荷降ろしロボット技術. 東芝レビュー. 2015, **70**, 4, p.22-25.
- (2) 堀内晴彦, 丸山 修. パンニングロボットによるコンテナ積み込み作業の自動化. 東芝レビュー. 2020, **75**, 6, p.56-59. <https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/migration/corp/techReviewAssets/tech/review/2020/06/75_06pdf/f04.pdf>, (参照 2022-02-09).



瀧口 武 TAKIGUCHI Takeru
東芝インフラシステムズ(株)
小向事業所 SA 設計第三部
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.



松本 裕司 MATSUMOTO Yuji
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.