

物流倉庫業務のスループットを改善する 棚搬送ロボットシステムの最適化技術

Optimization Technologies for Pod Transport Robot Systems to Improve Throughput of Operations in Distribution Warehouses

榊原 静 SAKAKIBARA Shizu 桑川 叶 KUMEKAWA Kanau 吉田 琢史 YOSHIDA Takufumi

物流倉庫内の作業者にとって、出荷商品を棚に取りに行きピッキングを行う出庫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。自動搬送車（AGV：Automated Guided Vehicle）が導入されている物流倉庫業務のスループットを最大化するために、AGVが商品の棚を作業者の作業場所に自動搬送する棚搬送ロボットシステムについて、出荷指示（オーダー）の処理順とAGVの運行計画の二つを最適化する技術を開発した。これらの最適化エンジンを試作してシステムに搭載し、客先にて実適用を行った結果、作業者が棚から商品を取り出す効率を約10%向上させると同時に、棚を待つ時間も約19%短縮させることに成功した。

With the increasing burden on workers in physical distribution warehouses, there is a strong need to introduce automated processes for picking a high volume of goods from shelves and for streamlining work.

To maximize physical distribution warehouse operational throughput where automated guided vehicles (AGVs) are being used, Toshiba Corporation has developed two optimization technologies for pod transport robot systems capable of automatically transporting dedicated shelves, known as pods, to each work station: (1) pod processing order technology, and (2) AGV plan optimization technology. We have constructed a new pod transport robot system incorporating prototype engines using these technologies at a customer site and have confirmed their effectiveness via actual operations, showing that they can improve shelf picking efficiency by 10%, and can reduce waiting time at shelves by 19% compared with the conventional system.

1. まえがき

昨今のEC（電子商取引）市場の急成長により物流の取扱量は増加傾向にあり、一方で、少子高齢化に伴う倉庫作業者の不足から、倉庫内の自動化や少人力化が求められている⁽¹⁾。倉庫内の全ての作業を自動化することは困難なため、東芝では、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。その一つが、棚搬送型倉庫に対する取り組みである。棚搬送型倉庫とは、棚搬送ロボットが、商品をピッキングするための場所であるワークステーション（WS）まで、商品が格納された棚を自動で搬送する棚搬送ロボットシステム（図1）が導入された倉庫で、搬送された棚から商品が人手やピッキングロボットでピッキングされ、検品、梱包（こんぼう）を経て出荷される。

ここでは、棚搬送型倉庫のスループットを最大化するために開発し、棚搬送ロボットシステムに搭載したオーダーの処理順とAGVの運行計画を最適化⁽²⁾する技術の詳細とその実適用結果について述べる。

2. 棚搬送ロボットシステムにおける最適化技術

棚搬送ロボットシステムでは、顧客の注文から、どの商品を幾つずつどの梱包箱に入れて出荷するかを示す商品のオーダーを作成する。開発したオーダー処理順最適化技術は、複数のオーダーを元に、どの棚をどのWSに運ぶかを指示するジョブのリストを作成し、その際に、一つの棚から何種類の商品を同時に取り出せるかの効率（ヒット率）を最大化する。このWSには、複数の梱包箱の出荷が同時に実行できるように、複数のトレーが用意されており、トレー

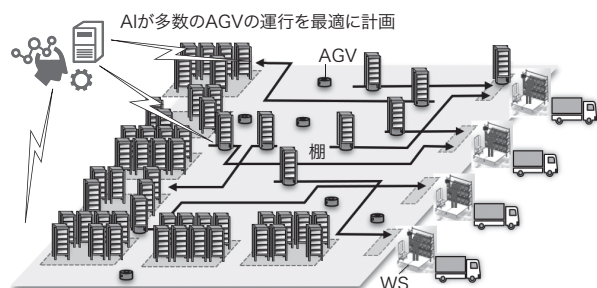


図1. 棚搬送ロボットシステム

商品が格納された棚を、棚搬送ロボットが、商品をピッキングする場所であるWSまで、自動で搬送する。

Overview of pod transport robot system

には梱包箱一つ分のオーダーに該当する商品が入れられる。例えば、あるトレイに入れる商品をピッキングするために棚をWSに持ってくる際に、当該のトレイに加えてほかのトレイに対してピッキング可能な商品がこの棚に入っていれば、併せてピッキングすることで、ヒット率が向上し、棚を搬送する時間が削減できる。

また、AGVの運行計画最適化技術は、与えられたジョブのリストに対して、①どのAGVがどの棚を運ぶか、②どの経路を通るか、③交差点においてAGVが干渉する場合どのように回避するか、のそれぞれについて決定し、全搬送所要時間を最小化する。この決定に基づいて、各AGVに指示するコマンドが生成され、AGVがWSに搬送する。

このように、オーダー処理順最適化技術、AGVの運行計画最適化技術は、棚搬送型の倉庫全体を効率的に運用するための重要な技術である。

3. オーダー処理順最適化技術

この技術を実現するオーダー処理順最適化エンジンは、各棚の商品在庫量と客先の出庫に関する制約の下で、棚当たりのヒット率を最大化する。また、複数のWSで並列にピッキング作業を行うため、各WSの負荷ができるだけ均等になるようWSへのオーダーの割り当てを行い、倉庫全体のスループットを向上する。

図2に、オーダー処理順最適化技術の概要を示す。まず、オーダーの並べ替えを行い、次に、WSへのオーダーの割り当てを行う。最後に、オーダーと棚の引き当てを実行することで、ピッキングに必要な棚を運ぶ順番が決まる。これにより、ジョブのリストが生成できる。

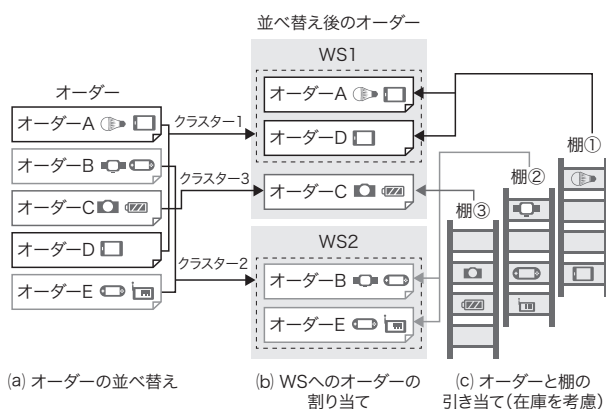


図2. オーダー処理順最適化技術の概要

オーダーの並べ替え、WSへのオーダーの割り当て、及びオーダーと棚の引き当てを順に実行する。

Pod processing order optimization technology

3.1 オーダーの並べ替え

二つのオーダーが同じ棚から取り出せるかどうかをオーダーの類似度として定義する。各オーダーを一つの塊(クラスター)として作成し、そこから徐々に類似度の高いクラスター同士の統合を行って大きなクラスターを構築していくアルゴリズムにより、類似したオーダー同士が近い順番になるようオーダーを並べ替える(図2(a))。

3.2 WSへのオーダーの割り当て

各WSの作業負荷の見積量を計算し、WS間で平準化されるようにオーダーのリストを分割する。このとき、同じクラスターに分類されたオーダーは、できるだけ別のWSに割り当てられないように、オーダーリストを分割する場所を調整する(図2(b))。

3.3 オーダーと棚の引き当て

各WSに割り当てられたオーダーのリストに従い、同時にピッキングできるオーダーの集合を抽出する。次に、各棚の商品在庫量及び客先の出庫に関する制約を満たしている棚の中から、このオーダー集合で最も同時ピッキング率の高い棚を選択して引き当てる。ここで、選択した棚がWSに来たと仮定して棚の在庫とWSのトレイの状態を更新し、WSに割り当てられたオーダーがなくなるまで、オーダー集合と棚の引き当てを繰り返す(図2(c))。

4. AGVの運行計画最適化技術

この技術を実現する運行計画最適化エンジンは、ジョブの実行開始から全てのジョブの実行が終了するまでの時間を最小化する。これにより、作業者が一つ前のピッキング作業が完了して次の棚が来るまでに待つ時間(棚当たりの待ち時間)を最小化し、倉庫全体のスループットを向上させる。運行計画アルゴリズムは、図3に示すように、(a)走行経路の作成、(b)走行タイミング計画の作成を順に実行する。

4.1 走行経路の作成

AGVの走行経路は、重み付きのマップを用いて、ダイクストラ法により重みが最小となるように求める(図4)。現状の走行経路のマップに対して、既に計画済み又は計画中のAGV走行経路、及び停止しているAGVのメッシュに重みを加算しておくことにより、AGV同士の経路の干渉ができるだけ少ない経路を選択する。棚の下での走行可否に関しては、AGVが棚を持っていない状態では通過でき、棚を持っている場合は通過できないものとして経路を生成する。

4.2 走行タイミング計画の作成

走行経路を求めた後、複数台のAGVの経路が重なって衝突することを避けるため、AGVの通過の優先度と通過時刻(走行タイミング計画)を算出する。メッシュ状の走行経

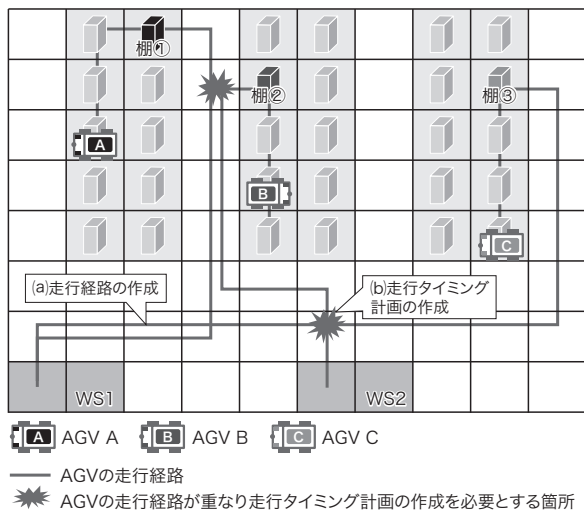


図3. AGVの運行計画最適化技術の概要

運行計画アルゴリズムでは、走行経路の作成、及び走行タイミング計画の作成を順に実行することで、運行計画を作成する。

AGV operation plan optimization technology

地図とAGVへのタスクの割り当て

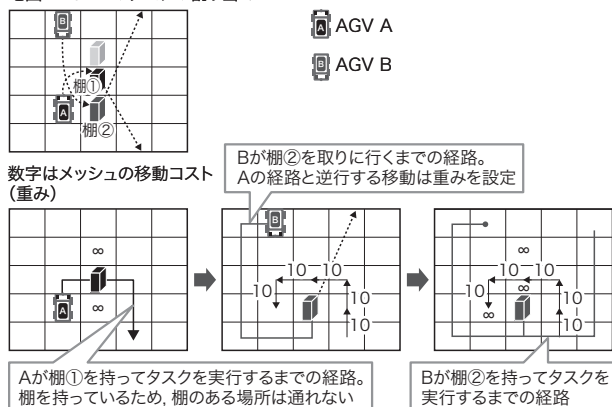


図4. 走行経路の作成手順

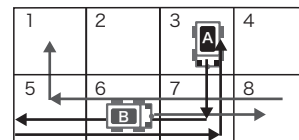
既に計画済み又は計画中のAGV走行経路、及び停止しているAGVのメッシュに重みを加算しておくことにより、AGV同士の経路の干渉ができるだけ少ない経路を選択する。

AGV traveling route creation process

路では、各メッシュに1台以上のAGVが入らないよう、手前のメッシュで通過待ちをする計画を作成する(図5)。

5. あとがき

オーダー処理順最適化エンジンとAGVの運行計画最適化エンジンを搭載した棚搬送ロボットシステムを開発し、SBS東芝ロジスティクス(株)にて実適用した。同社北関東支店では、2021年3月よりAGV20台、WS5基が稼働しており、これらのエンジンを組み込むことにより、導入前の既



地図とAGVの経路

衝突がなくなるよう、各AGVの計画をA探索アルゴリズムで経路探索

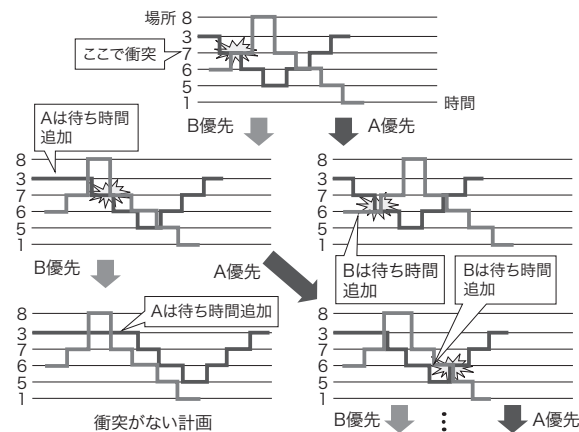


図5. 走行タイミング計画の作成手順

走行経路を求めた後、複数台のAGVの経路が重なる部分において衝突が発生しないように、AGVの通行優先順を決定する。

AGV travel timing plan creation process

設システムと比較してヒット率が約10%高くなり、更に、棚当たりの平均待ち時間が約19%短くなる結果が得られた。これにより、倉庫全体のスループットの向上が見込まれる。

文 献

- (1) 国土交通省、総合物流施策大綱(2021年度～2025年度)、2021、40p、<<https://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/freight/content/001409564.pdf>>、(参照 2024-02-13)。
- (2) 瀧口 武、松本裕司、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、東芝レビュー、2022、77、3、p.57-61、<<https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/jp/technology/corporate/review/2022/03/f02.pdf>>、(参照 2024-02-13)。



榊原 静 SAKAKIBARA Shizu, Ph.D.
研究開発センター 知能化システム研究所 システムAIラボラトリー
博士(工学)
日本オペレーションズ・リサーチ学会会員
System AI Lab.



桑川 叶 KUMEKAWA Kanau
研究開発センター 知能化システム研究所 システムAIラボラトリー
System AI Lab.



吉田 琢史 YOSHIDA Takufumi, Ph.D.
研究開発センター 知能化システム研究所 システムAIラボラトリー
博士(理学)
日本オペレーションズ・リサーチ学会・日本物理学会会員
System AI Lab.