

令和 6 年 5 月 2 日現在

機関番号：32621

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K04889

研究課題名（和文）物流センターにおける新たなオーダーピッキング方式の設計と選択

研究課題名（英文）Design and selection of order picking methodology in the physical distribution center

研究代表者

伊呂原 隆（IROHARA, Takashi）

上智大学・理工学部・教授

研究者番号：60308202

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：対象アイテムのピッキング作業を主として担当するオーダーピッカーと、ピッキングされた対象アイテムを入れた箱の搬送を担当する無人搬送台車を、バランスよく活用する新たなオーダーピッキング方式を提案した。  
この方式は、人材不足によりオーダーピッカー数に限りがある場合、需要量の季節変動がある場合、対象とする倉庫が広くピッキングのための歩行時間が長い場合、ピッキング対象商品に重さ等運搬負荷のバラツキが大きく関与する場合など、様々な状況において有効であることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来研究におけるオーダーピッキング方式は、ピッカーがアイテムをピックするために棚へ移動する方式もしくは、その逆に、保管されているアイテムをピッカーがいる場所まで搬送する方式のどちらか1方式に焦点を当ててきたが、本研究では両方式の欠点を克服した新たなオーダーピッキング方式を提案した。  
また、近年、物流センターはサプライチェーンの中核をなす施設として、その重要性が飛躍的に高まっているため、物流センターの生産性を大きく左右するオーダーピッキングの効率化を実現する本研究の社会的意義は極めて大きいものである。

研究成果の概要（英文）：We proposed a new order picking method that effectively utilizes both order pickers, who are primarily responsible for picking target items, and automated guided vehicles (AGVs), which are responsible for transporting boxes containing the picked items.  
This method has been shown to be effective in various situations, such as when there is a shortage of manpower limiting the number of order pickers, when there are seasonal fluctuations in demand, when the warehouse being targeted is large and the walking time for picking is long, and when there is a significant variation in the transport load, such as weight, of the items to be picked.

研究分野：経営工学、特に、生産物流システムの最適化

キーワード：ロジスティクス 物流センター オーダーピッキング 倉庫オペレーション 数理最適化 シミュレーション

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

物流センターはサプライチェーンの中核をなす施設で、入荷・保管・仕分け・出荷の基本機能を有している。保管されている多数の商品の中から、顧客が注文した商品を如何に早く取り出し出荷できるかが、物流センターの重要な評価尺度である。特に近年は電子商取引の急拡大に伴い、1注文あたりで見れば極めて少数の商品数(ドイツにおける調査結果では1注文あたり平均で1.6商品)を短時間に出荷する要求が強く、出荷作業の効率化は全世界における当該分野共通の重要課題といっても過言ではない。

保管されている商品を取り出し、顧客の注文(オーダー)ごとに仕分けするオーダーピッキングは、Picker-to-Parts(ピッカーがパーツへ歩行する)方式とその逆の Parts-to-Picker(パーツがピッカーの方へ運搬される)方式の2つに大別される。Picker-to-Parts方式は、ピッカー(Picker:対象商品を取り出す作業員)が棚に保管されている商品(Parts)を取りに行く方式、逆に、Parts-to-Picker方式は、棚に保管されている商品をケース等に入った状態で物流機器によりピッカーの元へ運び、ピッカーが注文されている商品を取り出すという方式である。

ヨーロッパの物流センターにおける調査では、Picker-to-Parts方式が倉庫全体の8割程度で採用されており、当該分野におけるサーベイ論文でも、学术论文のほとんどが Picker-to-Parts方式を扱っている。しかしながら、Picker-to-Parts方式には、ピッカーが対象商品を取り出すために棚から棚へ歩行する時間の無駄がある。益々多様化する顧客ニーズに短時間で対応するため、保管する商品種類数は増加の一途をたどり、物流センターの保管エリアの拡大が続いているので、この歩行時間の無駄は深刻である。

このため、多くの学术论文ではピッカーの歩行経路最適化、商品の配置位置や棚の配置位置の最適化、注文ごとに遠くの棚へ歩行する無駄を減らすために複数の注文をまとめてピッキングするための注文の組み合わせ(オーダーバッチング)の最適化、物流センター全体を歩行しなくても済むように、商品の保管エリアをいくつかのゾーンに分けてゾーンごとにピッカーを割り当ててピッキングし、最後に複数ゾーンでピッキングしたものを集約する方法など、様々な研究がなされてきた。

一方、Parts-to-Picker方式では、大規模な自動倉庫と連動した物流機器を導入することにより、注文された商品をケース等に入れた状態でピッキング作業員の目の前までベルトコンベアで運び、作業員が対象商品をピッキングし、残りは自動倉庫に戻す方式や、移動可能な商品配置棚を持ち上げてピッキング作業員のところまで移動させ、作業員がピッキングする方式も提案されている。いずれもピッカーの歩行の無駄を排除した点は優れているが、物流センター建設時点で想定した大きさや形状、重量とは大きく異なる商品を扱うことが困難であることに加え、注文(需要)量の変動に合わせたピッキング処理能力の変更が極めて難しいことが大きな課題である。

以上より、本研究では、解明すべき課題として以下の2つを考える。

課題1: Picker-to-Parts方式と Parts-to-Picker方式の各課題を克服した新たなオーダーピッキング方式はどのようなものか?

課題2: 様々なオーダーピッキング方式の中から所与の状況に最適な方式を選択するための具体的な方法はどうか?

課題1が解決されると、当該研究分野において画期的であり、新たな研究分野を切り開く研究となる。また、課題2が解決されると、物流センターを新規に建設する実務家にとって大変有益である。

学術的「問い」は、物流センターの設計で最重要とされているオーダーピッキング問題の構造はどうなっているのか?ということである。つまり、オーダーピッキングに必要な時間やコストに強い影響力を及ぼしている要素とその相互関係を明らかにすることが、本研究における学術的な視点として重要なことである。オーダーピッキングの問題構造を明らかにすることができれば、前述の両課題の解決に向けて大きく前進する。

### 2. 研究の目的

具体的には以下の3点を行う。

従来よりも効率的なオーダーピッキング方式の提案

適切なオーダーピッキング方式を選択するための方法論の開発

実証実験

については、Picker-to-Parts方式における歩行のムダ削減、Parts-to-Picker方式の欠点である物流機器への過度な依存(需要変動に対応するための柔軟性の欠如)からの脱却。

あらゆる状況に対して万能な方式は存在しないと予想されるので、入力情報から簡易的に適切な方式を選択するための方法論の開発

提唱する内容を様々な物流センターの実データに適用してその有効性を検証する。

### 3. 研究の方法

本研究は、物流センターにおけるオーダーピッキング方式として採用されている2つの方式、すなわち Picker-to-Parts 方式と Parts-to-Picker 方式のそれぞれが抱える問題点を解決する新たなオーダーピッキング方式を研究した。前者の大きな問題点はピッカーの歩行距離、後者の大きな問題点は商品棚ごと動かすような物流機器への過度な依存と需要変動に対する柔軟性の欠如である。

本研究ではそのような問題点を解決する方法として、ピッカーがピッキングした商品を入れた箱を運ぶ簡易的な無人搬送台車を導入し、この無人搬送台車がピッカーの歩行を補うことによりピッカーの歩行時間を減らし、ピッキング作業に注力できる時間を長くできるような方式を検討した。この方式で導入される無人搬送台車はピッキングした商品を運搬するだけの簡易的なものなので、物流施設への導入が容易であり、需要変動への対応も行いやすい。

この方式を導入するためには、次に示すような様々な意思決定が必要となる。新たに導入される無人搬送台車の台数や運用方法に加え、ピッカーの人数や歩行経路（ルーティング）、オーダーの処理順序（シークエンシング）、オーダーの処理まとめ（バッチング）、さらにはピッカーと無人搬送台車の対応関係やそれぞれの担当エリア決定（ゾーニング）などが挙げられる。

2019年度は、これらを検討するための簡易的なシミュレーションモデルを構築し、仮想データを用いてコンピュータ上でシミュレーションを行った。このシミュレーション実験では、無人搬送台車の台数や運用方法に加え、ピッカーの人数やルーティング、オーダーのシークエンシング、オーダーのバッチング、さらにはピッカーと無人搬送台車の対応関係やそれぞれのゾーニングなどに加え、倉庫形状、棚配置、各棚への商品の配置方法などが評価指標に大きな影響を及ぼすことがわかった。

2020年度は、ピッカーが一人で作業する場合と比べて、無人搬送台車を導入することによって総処理時間が短くなることを定量的に示した。また、この評価尺度の値は、棚配置、ピッカーと無人搬送台車それぞれの経路設定の組み合わせで変化することも確認された。無人搬送台車が常にピッカーとともに移動するだけではピッカーの歩行距離削減にはつながらず、逆に、無人搬送台車がデポに待機しているだけでも意味がなく、ピッカーと無人搬送台車の活用のバランスの最適点は、その両者の間に存在することを確認した。

2021年度は、その最適点を探るため、複数の通路から構成される物流センターを想定し、ピッカーと無人搬送台車の最適な協働方法を検討した。具体的には、ピッカーは基本的には各通路内を移動し、ピッキングした商品を通路入口に設置した受け渡し場所へ置き、無人搬送台車は通路内には入らず、通路入口に置かれた商品を回収するようなシステムを考えたときに、無人搬送台車が担当する通路によって生産性にどのような変化がみられるかを考察した。ただし、無人搬送台車が担当しない通路についてはピッカー自身が物流センター内の商品回収場所までの搬送も担当するものとした。この問題は無人搬送台車が担当する通路によってシステムの性能がどのように変化するか、そしてそれは、オーダー情報、複数オーダーのバッチング方法、商品配置方法などどのように関係するのかを考察した。本研究ではこの問題を混合整数計画問題として定式化し、1バッチあたりのオーダー数や無人搬送台車の速度等を変化させながら、メイクスパン(すべてのオーダーの総完了時刻)を最小化するような無人搬送台車の活用方法を分析した。

2022年度は、無人搬送台車を使用する大きなアドバンテージが生じるオーダーピッキングの一例として、ピッキング対象商品に重さのバラツキが存在する場合を検討し、ピッカーの作業負荷と無人搬送台車の適切な作業配分についての研究を行った。ピッカーの作業負荷を最も軽くする方法は、無人搬送台車がすべてのピッキング位置まで移動し、ピッキングされた商品をデポまで運ぶのがよいが、これでは、無人搬送台車への設備投資が大きくなりすぎるし、デポの近くの軽い商品であれば、ピッカーが棚からデポへ直接搬送しても大きな負荷となることはない。そこで、ピッカーは各棚でピッキングした商品をデポまで直接運ぶ、もしくは、ピッキングした棚の端に設置された仮置き場まで運び、そこからデポまでの搬送は無人搬送台車に任せるかを否か、ピッキングする商品の重さに応じて変化させるシミュレーションモデルを構築し、商品の重さの分布、オーダー情報、ピッカー数、無人搬送台車数などを変化させながら数値実験を行った。その結果、基本的には多くの状況において、ピッカーが一定程度までの重さの商品は棚からデポへ直接運び、それよりも重いものについては仮置き場からデポまでの長い距離の搬送を無人搬送台車へ任せると効率が良いことが定量的に示された。さらに、その最適点において、ピッカーと無人搬送台車の稼働率がほぼ等しいことが確認された。

本研究の最終年度となった2023年度は、オーダーピッキングの効率を大きく左右するオーダーバッチング問題に取り組んだ。オーダーバッチングは、無人搬送台車を使用しない標準的なオーダーピッキングにおいても重要であるが、無人搬送台車を使用する場合においては、ピッカーがピッキングしたアイテムをより多く、まとめて運ぶことが可能となるため、特に重要な問題となる。オーダーバッチングの良し悪しを評価するためにはピッカーのルーティングを定める必要があり、両者を同時に最適化することは計算量の観点からかなり難しい問題となる。そこで、本研究では、大規模な組み合わせ最適化問題に対して有効なメタヒューリスティクスに基づく新たな近似解法を構築し、従来法に対する有効性の検証を行った。

## 4. 研究成果

### (1) 主な成果

補助事業期間全体を通じて実施した研究成果としては次のようにまとめられる。

一般に自動化が困難であるとされるピッキング作業を主として担当するオーダーピッカーと、ピッキングされたアイテムを入れた箱の搬送を担当する無人搬送台車を、バランスよく活用する新たなオーダーピッキング方式を提案した。この方式は、人材不足によりオーダーピッカー数に限りがある場合、時期によって需要変動が大きくオーダー数の繁閑差が大きい場合、対象とする倉庫が非常に広くピッキングのための歩行時間の影響が大きい場合など、様々な状況において有効である。

しかしながら、その生産性は次のような影響を受けるため、この方式の活用には注意深い設計が必要である。生産性に影響を及ぼす要因として、ピッカー人数と無人搬送台車数の比率、両者のルーティング戦略と棚配置を含む倉庫形状、ピッカーと無人搬送台車の担当範囲の設定、特にピッキング対象商品に重さ等運搬負荷のバラツキが大きく関与する場合においてはピッカーと無人搬送台車の担当範囲設定等が挙げられる。

### (2) 得られた成果の国内外における位置づけとインパクト

この分野のほとんどの研究が Picker-to-Parts 方式における歩行の無駄を削減するための商品配置、歩行経路、オーダーのまとめ方や処理順序などの最適化を行っている。

本研究はこのような国内外の研究動向に対して、Picker-to-Parts 方式と Parts-to-Picker 方式の両方式における欠点を解消しながら、互いの利点を取り入れた新たなオーダーピッキング方式を提案しており、従来には存在しない画期的なものである。特に本問題の実用性を鑑みると、この研究成果の社会的価値は非常に高いと考えられる。

### (3) 今後の展望

Parts-to-Picker 方式は、人材不足の観点からも最近注目が高まっているが、大規模な設備投資を必要とすることに加えて、いったん稼働すると、当該倉庫における取扱商品種類やその需要量変動に対応した能力変更が困難であること、数多くのマテリアル・ハンドリング装置を動かし続けるエネルギー消費量等、様々な観点から実際の活用には慎重な検討が必要である。

そのような意味において、Picker-to-Parts 方式を基本としつつも、人材不足や需要変動にも対応可能な、本研究で提案する新たなオーダーピッキング方式は、今後益々重要になってくるものと考えている。

物流センターは、取り扱う商品の種類や形状、オーダーピッキング着手可能時刻から出荷納期までの余裕時間、出荷量の安定性等、極めて多くの要素を考慮して設計しなければならないとされている。

したがって、今後は、本研究で提案するような方法の適用が困難な様々な状況に対して、これまでよりも生産性の高い新たなアプローチを考えていきたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計19件（うち査読付論文 19件 / うち国際共著 7件 / うちオープンアクセス 13件）

1. 著者名 依田 純, 伊呂原 隆, 濱田 雅人, 池田 大介, 河合 航, 青木 隆裕	4. 巻 71
2. 論文標題 アパレル商品のまとめ方を考慮した種まき方式における仕分け作業方法の提案	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本経営工学会論文誌	6. 最初と最後の頁 35-36
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11221/jima.71.35	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 平田 和音, 伊呂原 隆, 豊泉 成典, 松村 剛, 横山 俊哉, 新倉 修	4. 巻 70
2. 論文標題 パレットを積載保管する倉庫における部品の保管位置割当問題	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本経営工学会論文誌	6. 最初と最後の頁 21 ~ 34
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11221/jima.70.21	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 四分一 康平, 伊呂原 隆, 田中 貴, 杉山 尚美	4. 巻 74
2. 論文標題 オーダーバッチング問題における倉庫レイアウトへの適応性を高めた近似距離モデルへの拡張	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本経営工学会論文誌	6. 最初と最後の頁 120 ~ 132
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11221/jima.74.120	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計32件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 21件）

1. 発表者名 Takashi Irohara
2. 発表標題 A Storage Assignment Heuristic for Order Picking Problem in the Mixed Shelves Warehouses
3. 学会等名 Institute for the Operations Research and Management Science (INFORMS) Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山下晃平, 伊呂原 隆, 田中貴, 杉山尚美
2. 発表標題 物流倉庫における商品の分散配置方法に関する研究
3. 学会等名 日本経営工学会 (秋季大会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 四分一 康平, 伊呂原 隆, 田中貴, 杉山尚美
2. 発表標題 オーダーピッキングにおける倉庫構造に着目した近似距離を用いた最適化モデルの提案
3. 学会等名 日本経営工学会 (秋季大会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 網野 皓介, 伊呂原 隆, 田中貴, 杉山尚美
2. 発表標題 物流倉庫における商品の分散配置の最適化手法
3. 学会等名 日本経営工学会 (秋季大会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 四分一 康平, 伊呂原 隆, 田中貴, 杉山尚美
2. 発表標題 オーダーピッキングにおけるゾーンバッチングを用いたヒューリスティックの提案
3. 学会等名 日本経営工学会 (春季大会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 網野 皓介, 伊呂原 隆, 田中貴, 杉山尚美
2. 発表標題 物流倉庫における分散配置方法の2段階最適化
3. 学会等名 日本経営工学会 (春季大会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 四分一 康平, 伊呂原 隆
2. 発表標題 ケース搬送型AMRを考慮した倉庫におけるオーダーピッキングシミュレーション
3. 学会等名 日本経営工学会 (秋季大会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 網野 皓介, 伊呂原 隆
2. 発表標題 物流倉庫のレイアウトとピッカールーティングを考慮した商品の分散配置方法の検討
3. 学会等名 日本経営工学会 (秋季大会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takashi Irohara
2. 発表標題 Optimal Storage assignment in Multi-level racks for order picking in parts warehouse of automotive factory
3. 学会等名 Institute for the Operations Research and Management Science (INFORMS) Annual meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takashi Irohara
2. 発表標題 Selection of Efficient Order Processing in a Warehouse Shipping System
3. 学会等名 IISE Annual Conference ( 国際学会 )
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takashi Irohara
2. 発表標題 Optimal Storage assignment in Multi-level racks for order picking in parts warehouse of automotive factory
3. 学会等名 Institute for the Operations Research and Management Science (INFORMS) Annual meeting ( 国際学会 )
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takashi Irohara
2. 発表標題 Selection of Efficient Order Processing in a Warehouse Shipping System
3. 学会等名 IISE Annual Conference ( 国際学会 )
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Rune Noguchi, Takashi Irohara, Takashi Tanaka and Naomi Sugiyama
2. 発表標題 Application of tabu-search based method to order batching and routing problems
3. 学会等名 Asian Conference of Management Science and Applications ( 国際学会 )
4. 発表年 2023年



1. 発表者名 Takashi Irohara
2. 発表標題 Order Batching Problem with Travel Distance Approximation in a Warehouse
3. 学会等名 IISE Annual Conference (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 野口瑠音, 伊呂原隆, 田中貴, 杉山尚美
2. 発表標題 物流倉庫におけるオーダーバッチング・ルーティング問題に対するタブーサーチ法の適用
3. 学会等名 日本経営工学会秋季大会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計2件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関