

令和 2 年 6 月 25 日現在

機関番号：32621

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K01258

研究課題名(和文)商品特性を考慮したハイブリッド型物流センターの設計

研究課題名(英文)Design of hybrid-type distribution center considering item characteristics

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)：本研究では、商品特性に応じた物流センターのあるべき姿を提案するための研究を行った。通過商品のみを扱う物流センターでは、商品の入荷から出荷までのマテリアル・ハンドリングを効率化する数理最適化モデルの構築と解法の提案を行った。在庫商品を扱う物流センターでは、商品ごとの需要量や需要頻度などの商品特性に応じたオーダーピッキング方式を採用することの有効性を検証した。また、在庫商品を仮置きするリザーブエリアとオーダーピッキングを行うフォワードエリアが存在する物流センターでは、入荷・補充・出荷の全体最適化を実現するモデルを提案し有効性の検証を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ネット通販市場が急拡大している今日、サプライチェーンの中核をなす物流センターの重要性は飛躍的に高まっている。本研究は需要情報などの商品特性を考慮した生産性の高い物流センターを設計するための数理最適化モデルの構築、定式化とそれを解くための最適化手法の提案を行った。本研究の成果が社会で活用されることより物流が効率化されればその社会的意義は非常に大きいと思われる。

研究成果の概要(英文)：In this research, we conducted a research to propose the ideal form of a distribution center according to the characteristics of items. At a distribution center that handles only transit items, we have formulated a mathematical optimization model and proposed an algorithm to improve the material handling efficiency from receipt to shipment of products. In a distribution center that handles stocked products, we verified the effectiveness of adopting an order picking method according to item characteristics such as demand volume and demand frequency for each item. At a distribution center that has a reserve area for temporarily placing inventory items and a forward area for order picking, we have proposed a model that achieves overall optimization of receipt, replenishment, and shipment, and verified its effectiveness.

研究分野：経営工学

キーワード：物流センター オーダーピッキング 商品特性 ロジスティクス 最適化 数理計画法 倉庫オペレーション 商品分類

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、研究者個人に帰属されます。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

インターネットの普及に伴い、消費者が店舗を訪問せず、自宅などからネットワーク経由で商品を購入することが多くなっている。店舗販売と比べ、多種類の商品が少量ずつ購買されるにも関わらず、受注した注文をより早く、低コストで消費者へ配送することが求められ、サプライチェーンの中核をなす物流センターの重要性は飛躍的に高まっている。

以上の社会的背景の影響もあり、国内外において物流センターの設計に関する多数の研究がなされ、これまでも数多くの論文が発表されている[1][2]。多くの論文は、商品の「受入」「保管」「ピッキング」「出荷」という物流センターの基本機能に対する個別的・独立的研究であり、「在庫型」物流センターと「クロスドック型」物流センターが融合された「ハイブリッド型」物流センターを扱った従来研究は存在しない。

ここで、「在庫型」とは入荷した商品を「在庫」として保管しておき、要求に応じて商品をピッキングして出荷するタイプの物流センター、一方「クロスドック型」とは入荷した商品を保管せず、すぐに仕分けして出荷するタイプの物流センターを意味している。図1参照。

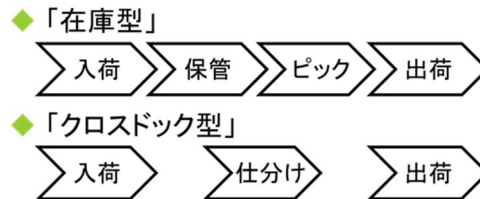


図1: 「在庫型」と「クロスドック型」の物流センター比較

「在庫型」は一定量の商品を保管しているので出荷要求量(需要)変動に対応しやすい反面、保管やピッキングのコストが生じるデメリットがある。一方の「クロスドック型」は、在庫がないので需要変動には対応しにくい、保管やピッキングのコストが全く生じないというメリットがある。したがって、両者には一長一短があり、あらゆる種類の商品に対して一律にどちらのタイプが優れているというわけではない。

そこで、各商品の特徴を考慮しながら商品ごとに「在庫型」「クロスドック型」を決定し、入荷から出荷までの処理時間の短縮化、出荷の同期化などを実現していく必要がある。

2. 研究の目的

従来研究[3]では、「在庫型」物流センターにおいて、各商品の適切な在庫量は出荷傾向によって大きく異なることを明らかにした。また、別の従来研究[4]では、膨大な出荷データの中から重要な出荷統計量を選択し、各商品のグルーピングおよびそのグループへの適切な発注方策の割り当てを行うための統計的手法を開発した。この研究からわかったことは、単により多くのデータを使って在庫管理を行うよりも、厳選された重要な出荷統計量を用いた方が、精度の高い管理ができるということである。

以上の研究成果[3][4]より、物流センターを設計する際にも、各商品の商品特性に応じた「在庫型」「ハイブリッド型」の選択やピッキング方式の検討が重要であろうという着想に至った。

(1) 従来研究[3][4][5]に対して以下の通り発展させる。

- ・従来研究[3][4]では、「在庫型」のみを前提としたが、本研究では「クロスドック型」を含む「ハイブリッド型」の物流センターを対象としたモデル構築を行う。
- ・従来研究[3]では、ピッキング方法については扱われていないが、本研究では商品特性に応じた「在庫型」商品のレイアウトおよびピッキング方法についてのモデル構築を行う。
- ・従来研究[5]では、「クロスドック型」のみにおけるトラックスケジューリング問題を扱っているが、本研究では「在庫型」のピッキング商品との同期化を考慮するモデル構築を行う。

前述の研究背景を踏まえ、研究期間内に次の3点を明らかにする。

- 「商品特性」を考慮した「在庫型」商品と「クロスドック型」商品の選択方法
- 「在庫型」商品の効率的ピッキング方法
- 「クロスドック型」商品の効率的な入荷、仕分け、出荷の各方策

(2) 当該分野における本研究の学術的な特色・独創的な点及び予想される結果と意義

学術的な特色・独創的な点

当該研究分野においてこれまで独立的に扱われてきた「在庫型」と「クロスドック型」を、本研究では両者を統合的に扱う「ハイブリッド型」物流センターの設計方法を初めて提案する点に学術的な特色がある。さらに、独創的な点は「在庫型」で問題となるピッキング作業と「クロスドック型」で問題となる入荷・仕分け・出荷の各作業を、初めて一体的に捉える点であり、国の内外を問わず類似の研究は見当たらない。

予想される結果と意義

予想される結果は、一つの物流センターに「在庫型」商品と「クロスドック型」商品が最適な割合で取り扱われ、両タイプの商品群が同期化され出荷されるようになるため、出荷要求(注文・需要)に対する応答速度が速く、生産性が飛躍的に向上した物流センターの設計方法が実現する。この意義は、学術的な観点からは、物流センターの設計分野における新たな視点を提供することになり当該分野における研究の活性化が予見される。また、実務的な観点からは、近年飛躍的に重要性が増している物流センターの具体的な活用方法を示し、実務家の問題解決に大きく寄与することである。

3. 研究の方法

(1) 「在庫型」商品の効率的なピッキング方法を検討

ピッキングの効率は、ピック対象商品の「レイアウト」、同時ピックする注文のまとまりを決定する「バッチング」、構成されたバッチの処理順序を決定する「シークエンシング」、ピック担当作業者(ピッカー)の歩行経路を決定する「ルーティング」などによって決まる。本研究では、「在庫型」商品の「レイアウト」「バッチング」「シークエンシング」「ルーティング」について、入荷から出荷までの処理時間の短縮化、出荷の同期化などを実現できるように注意する必要がある。

(2) 「クロスドック型」商品の効率的な入荷、仕分け、出荷の各方策を立案

「クロスドック型」商品は物流センター内で在庫することができないため、出荷タイミングに合わせた入荷スケジュールの立案が重要となる。特に注意しなければならないのは、入荷した商品の「仕分け(シュート割当)」と仕分けされた商品をトラックへ積載する「出荷ドックの割当」の決定である。ここで、大規模な物流センターでは「シュート」から「出荷ドック」までかなりの距離があるので、両者間の搬送距離を考慮した割当を行うとともに、一定量以上の商品が一箇所に滞留すると、運搬台車を整理する時間が必要となり著しい生産低下を招いてしまうので、両者のトレードオフを考慮した最適化モデルが必要となる。

(3) 統合的な数理最適化モデルの構築

このモデルでは、「在庫型」のピッキングされた商品と「クロスドック型」商品の同期化を実現することがポイントとなる。そして、構築した数理モデルに対する新たな最適化手法を構築するとともに、実データなどを用いて提案手法の有効性を検証し、取り扱う商品の特徴や物流センターの規模などに応じた物流センターに関する知見を得る。ここでのポイントとしては、データによっては従来のアプローチよりも相当程度の大規模問題となるので、厳密解法に拘るのではなく、メタヒューリスティクスなどの近似最適化手法の適用も含めて考える。

4. 研究成果

(1) 需要に基づいた商品分類を行い、高需要の商品と低需要の商品に対して、異なるピッキング形態を用いるようなオーダーピッキング形態を提案した。具体的には、高需要の商品にはオーダーに関係なく特定商品を一括でピックするカテゴリーピックを、低需要の商品にはオーダー通りにピックするマルチピックを適用することの妥当性を検証した。また、数値実験により、カテゴリーピックとマルチピックをそれぞれ適切な商品に対して行うことで、総作業時間が短縮できるかを検証した。本研究で用いたデータセットでは、注文回数が一定数以上の商品を高需要の商品とみなし、カテゴリーピックを行うことが最良の結果となった。このときの総作業時間はマルチピックのみのパターンの総作業時間よりも短い。ゆえに、適切にカテゴリーピックを行うことで、従来のマルチピックのみの場合よりも生産性が向上することが定量的に示されたと言える。

提案モデルの有効性は、商品間の需要がバラつくことで発揮されると言える。なぜならば、高需要の商品と低需要の商品がハッキリと分類できるからである。このとき、カテゴリーピックとマルチピックはそれぞれ効率的に作用することになる。本研究では、共同研究先の実データを参考にして商品配置を決定し数値実験を行った。その結果、ゾーン間で需要分布のバラつきが小さいような商品配置であっても、カテゴリーピックを用いることで作業効率が向上する場合があることが示された。今後のさらなる発展として、一時保管エリアの容量制約の考慮や、一時保管エリアに保管されている商品の滞留量によって遅延時間を変化させること、遅延時間を短くできるような仕分け方法の提案などを行っていく必要がある。

(2) 「クロスドック型」商品の効率的な仕分けと出荷を実現するための数理計画モデルの構築とその解法に関する研究を行った。「クロスドック型」商品は原則として物流センター内で在庫することができないため、出荷タイミングに合わせた入荷スケジュールの立案が重要となる。特に注意しなければならないのは、入荷した商品の「仕分け」と仕分けされた商品をトラックへ積載する「出荷ドックの割当」の決定である。

本研究では大規模な物流センターを想定し、入荷した商品を出荷エリアごとに仕分けするための「シュート」から「出荷ドック」までの「総運搬時間」と、一定量以上の商品が一箇所に滞留した場合に生じる生産性低下を考慮するための「過負荷ペナルティ時間(増加作業時間)」の合計

である「総作業時間」を目的関数として設定し、その最小化を試みた。提案するモデルは線形混合整数計画問題として定式化され、小規模問題においては数理最適化ソルバーで最適解の導出が可能だが、現実規模の問題においては実行可能解の導出に非常に長い時間を要してしまう。実務上は一定時間内に解を導出しなければならないことが多いため、短時間で妥当な解を得るための近似解法を提案した。本研究では、生物の進化過程を模した遺伝的アルゴリズムをベースに局所探索法を組み合わせた新たな近似解法を提案しその求解性能を検証した。提案モデルでは、総運搬時間を増加させることによる滞留ケース数の平滑化や滞留時間の重ならないような店舗割り当てを行うことにより、単純に総運搬時間を削減するモデルよりも出庫エリアの混雑緩和を考慮した良い解を導出することができた。提案解法では小規模問題においては90%以上の確率で最適解に到達でき、大規模問題においても従来手法と比べて大幅に良いパフォーマンスを発揮することができた。また、事例研究では実用規模の問題でも妥当な解が得られることを確認できた。

(3) 物流センター内の商品を、オーダーピッキングするためのスペースである「フォワードエリア」と入荷した商品を仮置きするためのスペースである「リザーブエリア」に分けて配置する方法である「フォワード・リザーブ割当問題」についての研究を行った。

すべての商品をフォワードエリアのみに配置すれば、リザーブエリアからフォワードエリアへの補充(運搬)作業は生じないが、大規模な物流センターではフォワードエリアが広大なスペースとなり、オーダーピッキングの生産性が低下してしまう。そこで必要最小限の量をフォワードエリアに配置し、残りをリザーブエリアに配置し、適切な補充作業をすることにより、物流センター全体の生産性向上につなげることが可能となる。

そこで、本研究では、従来研究では検討されてこなかった複数商品の同時補充と、補充タイミングを決定変数とした新たな数理最適化モデルを構築し、総補充作業時間を最小化する整数計画問題として定式化した。また、実データを用いて数値実験を行い、提案方法の有効性を検証した。

<引用文献>

[1]Gu,J.et al.,Research on warehouse operation: A comprehensive review, European Journal of Operational Research, Vol.177, pp.1-21, (2007)

[2]Gu,J.et al.,Research on warehouse design and performance evaluation: A comprehensive review, European Journal of Operational Research, Vol.203, pp.539-549, (2010)

[3]大墨 龍一,伊呂原隆,他,入出庫単位が異なる場合の発注点補充点方式の検討,日本経営工学会論文誌, Vol.65, No.4, pp.294-301, (2015)

[4]Keisuke Nagasawa, Takashi Irohara, et al.,Applying Random Forests to Decide Ordering Policy Based on Important Shipping Statistics, Journal of Japan Industrial Management Association, Vol.64, No.4E, pp.579-590, (2014)

[5]原田康平,伊呂原隆,他,クロスドック方式における混雑の緩和と平準化を目的とした入出荷トラックスケジューリング,スケジューリング・シンポジウム,pp.145-150,青山学院大学(2015)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Gede Agus Widyadanaa, Takashi Irohara	4. 巻 26
2. 論文標題 Modelling Multi Tour Inventory Routing Problem for Deteriorating Items with Time Windows	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Scientia Iranica	6. 最初と最後の頁 932 ~ 941
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24200/SCI.2018.20178	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 該当する
1. 著者名 Warisa Wisittipanich, Takashi Irohara and Piya Hengmeechai	4. 巻 33
2. 論文標題 Truck Scheduling Problems in the Cross Docking Network	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Logistics Systems	6. 最初と最後の頁 420 ~ 439
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1504/IJLSM.2019.101164	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
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 青山 泰大, 伊呂原 隆, 豊泉 成典, 松村 剛, 横山 俊哉, 新倉 修	4. 巻 69
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 184-193
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.11221/jima.69.184	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 細田 順子, 伊呂原 隆	4. 巻 69
2. 論文標題 容量および重量制約による注文分割を考慮した物流拠点の選定及び配送ルートの決定	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 163-173
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.11221/jima.69.163	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 Muhammad Akbar and Takashi Irohara	4. 巻 205
2. 論文標題 Scheduling for Sustainable Manufacturing: A Review	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Cleaner Production	6. 最初と最後の頁 866-883
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.100	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Zohreh Khojasteh-Ghamari and Takashi Irohara	4. 巻 2018
2. 論文標題 A Decision-Making Approach for Supplier Selection in Presence of Supply Risk	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Industrial Engineering and Management Science	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.13052/jiems2446-1822.2018.001	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 高橋 拓弥, 伊呂原隆	4. 巻 68
2. 論文標題 クロスドッキングセンターの出庫エリアにおけるシュート・ドック割り当てとその解法の提案	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 日本経営工学会論文誌	6. 最初と最後の頁 58-73
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://doi.org/10.11221/jima.68.58	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 林 建太郎, 伊呂原 隆, 佐々木喜仁	4. 巻 68
2. 論文標題 需要に基づく商品分類を考慮したピッキング形態	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 日本経営工学会論文誌	6. 最初と最後の頁 333-46
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://doi.org/10.11221/jima.68.33	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16件(うち招待講演 0件/うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Muhammad Akbar, Takashi Irohara, Yutaka Ito and Tomohiro Takahashi
2. 発表標題 A Dual Resource Constrained Batch Scheduling Problem with Different Operator Skills
3. 学会等名 Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems 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 Muhammad Akbar and Takashi Irohara
2. 発表標題 A DRC Scheduling for Social Sustainability: Trade-off between Tardiness and Workload Balance
3. 学会等名 APMS 2019 International Conference Advances in Production Management Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Muhammad Akbar and Takashi Irohara
2. 発表標題 Finding Clues for Solving a Complex Dual Resource Constrained Scheduling Problem Using a Developed Matheuristic
3. 学会等名 International Symposium on Scheduling (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 Forward-Reserve Allocation Problem to Consider Combination of Replenishment Parts
3. 学会等名 IISE Annual Conference
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takashi Irohara
2. 発表標題 Vehicle Routing Problem with Overlapped Time Windows on Shipping from Online Store
3. 学会等名 INFORMS Annual meeting
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 依田 純, 伊呂原 隆, 瀨田 雅人, 池田 大介, 河合 航, 青木 隆裕
2. 発表標題 アパレル商品の品番を考慮した種まき方式における仕分け作業方法の提案
3. 学会等名 日本経営工学会秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤本 昂矢, 伊呂原 隆, 中村 一馬, Garry Donaghy
2. 発表標題 商品管理温度帯を考慮したクロスドック倉庫ネットワークにおけるトラックの輸送計画
3. 学会等名 日本経営工学会秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 亀崎 拓也, 伊呂原 隆, 豊泉 成典, 新井 一貴, 横山 俊哉, 新倉 修
2. 発表標題 自動車工場の部品倉庫における棚の高さによるピッキング時間の違いと部品同士が同時に生産ラインへ出庫される頻度を考慮した3次元の部品配置問題
3. 学会等名 日本経営工学会秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 林 建太郎, 伊呂原 隆, 佐々木 喜仁, 伊藤田 浩由
2. 発表標題 店舗出荷型ネットスーパーにおける仕分作業を考慮したピッキングモデル
3. 学会等名 日本経営工学会秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 敵 佳欣, 伊呂原 隆, 濱田 雅人, 池田 大介, 河合 航, 青木 隆裕
2. 発表標題 物流センター内における出荷作業の効率化を目的とした積み取り方式と種まき方式の選択
3. 学会等名 日本経営工学会秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takashi Irohara and Keisuke Nagasawa
2. 発表標題 An optimization procedure to solve forward-reserve allocation problem with (s, S) policy
3. 学会等名 Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems conference (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 伊呂原隆
2. 発表標題 Truck scheduling for minimizing and smoothing congestion in cross docking systems
3. 学会等名 日本経営工学会 第4回生産物流国際ワークショップ
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 伊呂原隆
2. 発表標題 複数デポを有するオーダーピッキングにおける納期遅れ及び歩行距離を考慮したバッチ作成と処理順序決定
3. 学会等名 日本ロジスティクスシステム学会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 林 建太郎, 伊呂原 隆, 佐々木 喜仁
2. 発表標題 需要に基づく商品分類を考慮したピッキング形態の導入によるオーダーピッキングの効率化
3. 学会等名 日本設備管理学会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Muhammad Akbar and Takashi Irohara	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Springer, Cham	5. 総ページ数 8
3. 書名 A DRC Scheduling for Social Sustainability: Trade-Off Between Tardiness and Workload Balance, Advances in Production Management Systems. Production Management for the Factory of the Future	

〔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
---------------------------	-----------------------	----