

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 3 日現在

機関番号：32621

研究種目：基盤研究(c)

研究期間：2010～2012

課題番号：22510159

研究課題名（和文）生産効率を最大化する倉庫機能の設計・運用を考慮した工場レイアウトの総合的研究

研究課題名（英文）A research on facility layout considering warehouse design and operation to maximize production efficiency

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

研究成果の概要（和文）：

本研究では、オーダーピッキングが主たる業務となる倉庫において、生産性を最大化するための研究を行い、主に以下 3 点の研究成果を得た。(1) 倉庫レイアウトとピッキング経路の組合せは通路幅およびピッキング作業員数によって異なる。(2) アイテム総数とアイテム種類数の比率は最適な出荷作業方法の決定に大きな影響を及ぼす。(3) ピッキング工程における各アイテムの在庫補充方策決定には数理計画法の適用が有効であり、需要変動に対応するためには適切な間隔で補充方策の見直しが必要である。

研究成果の概要（英文）：

In this research, the following three things are mainly found in order to maximize the productivity of warehouse. (1) The combination of warehouse layout and the order picking route depends on the width of the aisles and the number of pickers. (2) The ratio of total number of picking items and the SKU (stock keeping unit) has a strong relationship with the selection of optimal method of shipping items. (3) It is quite effective to apply the mathematical programming approach to decide the inventory replenishment policy and the proper maintenance interval exists to react to the demand change.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	500,000	150,000	650,000
2011 年度	500,000	150,000	650,000
2012 年度	500,000	150,000	650,000
総計	1,500,000	450,000	1,950,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・社会システム工学・安全システム

キーワード：経営工学・工場計画

1. 研究開始当初の背景

工場レイアウトに関する研究は 1957 に提唱された QAP(二次割当問題)以降、非常に多

くの学術的成果および実務への展開がなされているが、その多くは工程間の搬送距離(Distance)と搬送頻度(Intensity)の積の総和($\sum DI$)で定義される搬送コスト(MHC：

Material Handling Cost)の最小化が評価尺度として用いられてきた。しかしながら近年は製品ライフサイクルの短縮化や多品種生産の要求などから生産環境が大きく変化し在庫削減や短納期が重視されるようになった。その結果、評価尺度が搬送コストからスループットや生産リードタイム、仕掛在庫量など実務上重要とされている生産効率へ変化している。本研究はこのような流れの中で、特に生産システムにおけるバッファの果たす役割に注目して生産効率を評価指標とした工場レイアウトに関する研究を行う。

2. 研究の目的

本研究では、前述の研究背景を踏まえて、生産効率を評価尺度としたバッファと工程のレイアウトを検討するためのモデルを作成しその解法の開発を行う。具体的には次の3点を目的とする。

(1) バッファスペースは工場内に存在する倉庫である。しかしながら、工場とは独立に存在する単に在庫を保管しておくことが主目的の倉庫とは具備すべき条件が異なる。本研究では、まず工場内に存在する倉庫＝バッファスペースが具備すべき条件を明らかにする。

(2) (1)で明らかにした条件を満たすようなバッファスペースの設計・運用方法を検討するための数理的モデルを作成する。ここでは、バッファスペースのサイズや形状、さらにはバッファスペース内で使用されるマテリアルハンドリング機器についても検討対象とし、最適化問題としての定式化と確率的変動要因に対するシミュレーション的解析の両面からのアプローチを進める。なお、ここでの評価尺度は、単なる搬送コスト等の最小化ではなく、最近の研究成果で重要とされている生産効率の最大化を導入する。

(3) (2)で作成した実用的モデルを解くための頑健なアルゴリズムを構築する。このモデルは単にバッファスペースや工程の配置位置を決めるだけではなく、バッファスペースの共通化やその設計・運用方法も視野に入れているため非常に大規模な問題が想定される。

3. 研究の方法

本研究の初年度となる平成 22 年度は、倉庫の設計・運用法に関する国内外の様々な文献を調査し、当該分野の研究状況を把握した。倉庫は、受入・保管・ピッキング・包装・出荷の各作業から構成されるが、これらの中でもとりわけ、ピッキング作業には大きなコス

トがかかり（コスト全体の約 55%）、倉庫全体の生産性向上を実現するためにはこのピッキング作業を如何に行うかが非常に重要であることが明らかになった。

次に、このピッキング作業の現状を調査するために、日用雑貨品を扱う大手卸業者の大規模倉庫を調査対象として実態調査を行った。この倉庫では、毎日数万点の商品を約 100 名のピッキング作業者がカートを使いピッキングしている。ここでは、納品先ごとの必要な商品を一人の作業者がすべてピッキングするバッチピッキングと呼ばれる方法でピッキング作業を行っているが、倉庫内の通路で作業者間の干渉による停滞（ブロッキング）が頻発しており、生産性を大きく低下させていることが明らかとなった。

そこで、このブロッキングのメカニズムを明らかにするためのシミュレーションモデルを作成し、曜日や時間帯、また倉庫内のどのような通路でブロッキングが発生しやすいか、またピッキング商品のレイアウトやピッキングすべき商品の組合せがピッキング効率に及ぼす影響などを解析した。

次に、各作業者のピッキング作業範囲を区切ってピッキング作業を行うゾーンピッキングの活用を検討したが、単純にゾーンを区切るだけでは、ピッキングしたアイテムのゾーン間の受け渡しやゾーン内の無駄な移動が増加し、バッチピッキングと比較して効率的なシステムとするのは容易ではなかった。

そこで、バッチピッキングとゾーンピッキングの長所をうまく融合し、逆に短所を補い合うような統合的ピッキング方法を検討した。また、ここまでの検討ではアイテムの保管場所や棚のレイアウトさらにはどのようなアイテムを同時にピッキングするかというバッチングについては特に考慮してこなかったため、これらについても新たなモデルの考案、シミュレーション実験、そして実データなどを用いた有効性の検証などを行った。

最終年度は、これまでの研究成果を活用しつつ、具体的には次の3つのテーマに取り組んだ。

- (1) 倉庫レイアウト
- (2) 出荷作業の効率化
- (3) ピッキングエリアの適切な在庫量設定

以上の各テーマについて企業における実データを利用し、種々の現実的評価尺度および制約条件を考慮しながら実用的なアプローチを行った。

(1)～(3)の各研究成果を次の章（研究成果）にまとめる。

4. 研究成果

- (1) 倉庫レイアウト

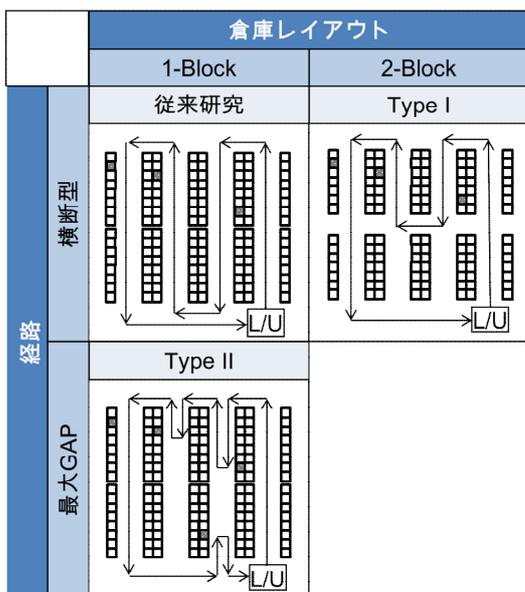


図 1：倉庫レイアウトのタイプと経路の組み合わせについて

本研究では、倉庫において最もコストの割合が大きくなるオーダーピッキング工程においてどのようなレイアウトおよびピッキング経路を用いるのが最適であるかをシミュレーションおよび最適化により検証をおこなった。

これまで多くの研究で用いられてきたのは、図 1 の従来研究に示す 1 ブロックの倉庫レイアウトで横断型経路 (Traversal route) を用いるものである。しかしながら、ピッカー経路の柔軟性という観点において倉庫の中央に通路を設けた 2 ブロックタイプのレイアウトは優れており、無駄な歩行距離の削減という観点から最大 GAP 経路が優れているため、本研究ではそれらの有効性を検証した。

まず、通路幅が広い場合には、ピッカー同士のブロッキングが起りにくいので、歩行距離が短くなるレイアウトおよび経路の組み合わせがベストとなり、最大 GAP 経路を用いる図 1 の Type II がベストとなった。

一方、通路幅が狭くピッキング作業数が多い場合には、最大 GAP 経路を用いるとピッカー同士のブロッキングが頻発するため、横断型経路が望ましい。この時、中央通路が存在することにより、経路の柔軟性が高い 2 ブロックタイプレイアウトの方が歩行距離が短くなり、図 1 の Type I がベストとなった。

このように、倉庫レイアウトのタイプと用いるべきピッカーの経路は一意に定まるものではなく、通路幅やピッカーの人数などによって決まるということを示した。

なお、本研究では、オーダーのバッチング (組合せ) およびオーダーのシーケンシング (順序) についても合わせて最適化してお

り、この最適化には大規模倉庫でも短時間で実用性の高い解を求めることが可能な近似最適化手法の一つであるシミュレーテッド・アニーリング手法を用いた。

(2) 出荷作業の効率化

物流センターでは、店舗からのオーダーに対する出荷作業の効率化が求められている。効率化のためには、最適なバッチ生成およびバッチに対する最適な出荷作業方法の割当てが必要である。そのためには、どの店舗をまとめることによりバッチを生成して、生成したバッチに対して、どの出荷作業方法を割当てるのがよいかを考慮する必要がある。

従来研究ではバッチ切りを考慮する要素として、アイテムの保管場所間の距離や、オーダー間のアイテムの類似度などが扱われている。その一方で、出荷作業方法の決定に関しては十分な研究がなされていない。

そこで本研究では、オーダーに対するバッチ生成と、バッチに対する出荷作業方法の割当てを同時に行うことを考慮したモデルを整数計画問題として定式化した。また、提案モデルの有効性を数値実験により検証した。

具体的な出荷作業方法としては、店舗ごとにピッキング作業を行う店別ピックと、複数店舗からのオーダーをまとめてピックし、その後ピースソータ (PS) で仕分けを行う総量ピック (PS) 方式の二通りを考慮した。

その結果、総ピース数に対する総アイテム種類 (SKU : Stock Keeping Unit) 数の比率によって最適な出荷作業方法が異なるという知見が得られた。このことを図 2 に示す。

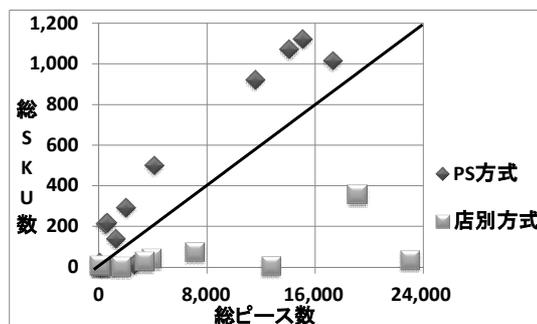


図 2：総ピース数と総 SKU 数の関係

店舗数が多くなると求解に時間がかかることが問題点であり、大規模問題に対応した近似解法の提案が今後の課題である。

(3) ピッキングエリアの適切な在庫量設定

ピッキングエリアの在庫量設定については、発注点・補充点方式を前提として各アイテムの発注点・補充点を決定変数、ピッキング作業効率の低下を招く緊急補充の防止を制約条件、そして在庫量の最小化を目的関数とする数理計画問題としての定式化を行った。

また、この発注点・補充点を需要の変動に合わせて見直す際の最適なタイミングについても合わせて検討を行った。この見直しを頻繁に行うほど、需要変動に対する追従性がよくなり、緊急補充を減らすことが可能となるが、この見直し自体にもコストがかかるため、両者はトレードオフの関係となる(図 3 参照)。そこで、この見直し間隔の最適点を見出すための検討を行った。

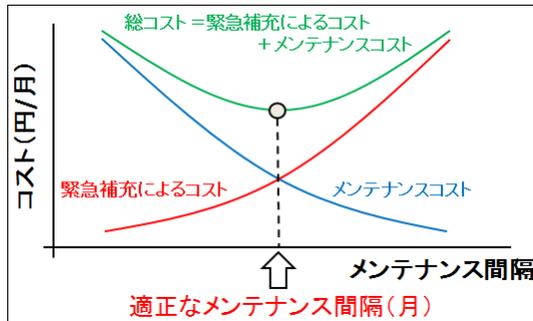


図 3：メンテナンスコストと緊急補充コストのトレードオフ関係

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件) 全 6 件とも査読有

- ① Benjamin Klöpper, Jan Patrick Pater, Takashi Irohara and Yudong Xue, Bi-Objective Optimization of Transportation Problems for CO2-efficient Schedules - An International Use Case, International Journal of Engineering Management and Economics, Vol. 3, No. 3, pp. 212-236, (2012)
DOI:10.1504/IJEME. 2012. 049893
- ② Keisuke Nagasawa, Takashi Irohara, Yosuke Matoba and Shuling Liu, Selecting Ordering Policy and Items Classification Based on Canonical Correlation and Cluster Analysis, Industrial Engineering & Management Systems, Vol. 11, No. 2, pp. 134-141, (2012)
DOI : 10. 7232/iems. 2012. 11. 2. 134
- ③ 伊呂原隆, 菱倉将史, 山下英明, ロット分割における材料移動とリードタイムのトレードオフを考慮したマテリアルハンドリングルール, 日本経営工学会論文誌, Vol. 62, No. 6, pp. 256-266, (2012)
<http://ci.nii.ac.jp/naid/110009419671>
- ④ Yu-dong Xue and Takashi Irohara, A time-space network based international transportation

scheduling problem incorporating CO2 emission levels, Journal of Zhejiang University - SCIENCE A (Applied Physics & Engineering), Vol. 11, No. 12, pp. 927-932, (2010)

DOI:10.1631/jzus.A1001045

- ⑤ 角元謙太, 伊呂原隆, CO2 排出を考慮した国際輸送計画問題の最適化及びそのパラメータ解析, 日本経営工学会論文誌, Vol. 61, No. 2, pp. 46-53, (2010)
<http://ci.nii.ac.jp/naid/110007658302>
- ⑥ Takashi Irohara, Lagrangian relaxation algorithms for hybrid flow-shop scheduling problems with limited buffers, International Journal of Biomedical Soft Computing and Human Sciences, Vol. 15, No. 1, pp. 21-28, (2010)
http://www.brain.kyutech.ac.jp/~bmfesa-eng/published_15_1.html

[学会発表] (計 10 件)

- ① Andrew Johnson, Takashi Irohara and Ryoji Tsujiuchi, Extensions and an application of an integrated batching and sequencing model to reduce picker blocking, IIE Annual Conference, San Juan, Puerto Rico, May 18 - 22, 2013
- ② Ryuichi Osumi, Keisuke Nagasawa, Takashi Irohara, Yoshiyasu Matsuda and Atsushi Ino, Reexamination of optimal order-up-to-level and reorder-level in a distribution center, 日本経営工学会春季大会, 2013 年 5 月 18-19 日, 慶應義塾大学
- ③ 大澤 賢人, 長沢 敬祐, 伊呂原 隆, 松田 吉康, 猪野 貴士, 物流センターにおける最適出荷作業方法の決定, 日本経営工学会春季大会, 2013 年 5 月 18-19 日, 慶應義塾大学
- ④ Takashi Irohara and Hideaki Yamashita, A Simulation Study on the Performance of Multiple Load AGVs, IIE Annual Conference, Orlando, FL, USA, May 19 - 23, 2012
- ⑤ 伊呂原隆, 物流センターのオーダーピッキング工程における在庫管理および出荷作業, 日本経営工学会・生産物流部門ワークショップ, 沖縄, 2013 年 2 月 23 ~ 24 日
- ⑥ Takashi Irohara and Hideaki Yamashita, Effect of lot splitting with RFID for the trade-off between the material movement and lead time, Institute for the Operations Research and

Management Science (INFORMS) annual meeting, Charlotte, NC, USA, November 13-16, 2011

- ⑦ Keisuke Nagasawa, Takashi Irohara, Yosuke Matoba and Shuling Liu, Selecting ordering system and items classification based on canonical correlation and cluster analysis, Asia Pacific Industrial Engineering and Management Science (APIEMS), Beijing, China, October 14-17, 2011
- ⑧ 辻内陵志, 伊呂原隆, Combination of batch and zoned bucket brigades picking with cart in a distribution center, 日本経営工学会春季大会, 2011年5月28-29日, 愛知学院大学
- ⑨ Takashi Irohara, A Heuristic Approach for Solving a Hub Location Problem, IIE Annual Conference (Industrial Engineering Research Conference), Reno, NV, USA, May 21 - 25, 2011
- ⑩ Takashi Irohara, A Simulation-based Comparison of Material Handling Systems in Semiconductor Facility, IIE Annual Conference and Expo (Industrial Engineering Research Conference), Cancun, Mexico, June 5 - 9, 2010

6. 研究組織

(1) 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

(2) 研究分担者

無し

(3) 連携研究者

無し