

TUMSAT-OACIS Repository - Tokyo

University of Marine Science and Technology

(東京海洋大学)

リレーピッキングにおける作業指示書の作成に関する研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2019-05-16 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 周, 超 メールアドレス: 所属:
URL	https://oacis.repo.nii.ac.jp/records/1733

修士学位論文

リレーピッキングにおける作業指示書 の作成に関する研究

平成30年度

(2019年3月)

東京海洋大学大学院

海洋科学技術研究科

海運ロジスティクス専攻

周 超

目次

1. はじめに.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 既存研究.....	1
1.3 研究目的.....	3
1.4 論文の構成.....	4
2. 研究対象.....	5
2.1 通販の物流センターについて.....	5
2.2 リレーピッキング作業.....	9
3. リレーピッキングのための待ち合わせシステム分析及び対策の検討.....	10
3.1 待ち合わせシステム分析について.....	10
3.1.1 待ち行列モデルについて.....	10
3.1.2 ピッキングエリアを三つとした待ち行列の基本モデルについて.....	10
3.1.3 モデルの初期値設定について.....	11
3.2 感度分析について.....	12
3.2.1 感度分析項目.....	12
3.2.2 ピッキングにかかる平均作業時間を変更したときの仕事待ち時間について...12	12
3.2.3 バッファの個数を変更したときの仕事待ち時間について.....	14
3.3 対策のまとめ.....	16
4. 注文データを用いた作業時間の推計及び作成のモデル化.....	17
4.1 対象となる配送センター.....	17
4.2 注文データについて.....	17
4.3 作業時間の定式化.....	18
4.3.1 リレーピッキングの作業エリア.....	18
4.3.2 リレーピッキングの作業時間の定式化.....	20
4.4 作業指示書の組み合わせのモデルについて.....	22
4.4.1 作業指示書の組み合わせのモデルの概要.....	22
4.4.2 モデルの定式化.....	22
4.4.3 制約条件.....	23
5. 遺伝的アルゴリズムについて.....	24
5.1 遺伝子アルゴリズム.....	24
5.1.1 遺伝子アルゴリズムの説明.....	24
5.1.2 遺伝子アルゴリズムによる作業指示書作成の流れ.....	25
5.1.3 遺伝子の表現方法について.....	27

5.2 設定関数について	29
6. 遺伝子アルゴリズムによる作成方法に関する検証及び考察.....	30
6.1 改善前後の結果.....	30
6.2 改善後の作業指示書の特徴	31
7. おわりに	35
7.1 結論.....	35
7.2 今後の課題	36
謝辞.....	37
参考文献	37

1. はじめに

1.1 研究背景

近年、商取引の電子化が進展しており、EC市場の規模が激しく拡大している⁽¹⁾。EC化率（全ての商取引市場規模に対する電子商取引市場規模の割合）が年別との推移により、今後もEC市場が拡大していくことが予想される。消費者は、インターネット上で様々な商品やサービスを購入しており、食料や衣類・履物、家具・家電など、有形である物の割合は半数以上であることがわかる⁽²⁾。有形の物の流通量が増加することは、物流センターでの業務量の増加に繋がる。

日本の労働人口の推移図を見ると、日本の労働者人口は年々減少している⁽³⁾。EC市場が拡大し、物流センターでの業務量が増加しているにもかかわらず、生産年齢人口の減少すなわち労働力の不足が生じており、物流センターにおける生産性の向上が課題となっている。また、物流センターにおいて、ピッキング作業が運用コストの半数を占めていることが報告されている⁽⁴⁾。このことから、ピッキング作業を対象とした作業改善が重要となっている。

ここでネット通販事業の大きな特徴として、多くの商品を取り扱うことから配送センターにおける商品の保管には広いスペースが必要であり、そのためピッキング時の移動距離が長くなる傾向にある。そのためピッキングの生産性を向上させるために移動距離を短縮する対策の一つとして、作業エリアを複数のエリアに分割し、各エリア内でピッキングを行い、次のエリアに作業を引き継ぐ、リレーピッキングの方法が考案されている。しかし、この方法には各エリアの作業時間が異なると、無駄な手待ちなどが生じて十分な生産性の向上を図れない問題がある。

そこで本研究では、このリレーピッキングを対象にピッキング業務の生産性を向上させるために、どのように作業指示を作成すれば良いのか検討するとともに、作業指示書を作成するためのプログラムを作成することを目的とする。

1.2 既存研究

リレーピッキングに関する既存研究について述べる。リレーピッキングを対象とした既存研究としては、藤枝（2006）の研究では、リレーピッキングを対象として検討を行った。注文件数の増加に対しても、ピッキング生産性と出荷能力を確保するには、ピッキングの生産性のみならず、通い箱の総数を削減する注文まとめの手法を検討した⁽⁶⁾。すなわち、リレーピッキングにおけるピッキングの設備の能力制限により、作業指示書の組み合わせで通い箱の総数を減らす手法を述べている。

Jason and Wu（2009）の研究では、リレーピッキングを対象とした、注文先別の作業指示書に対する各エリアにおける作業者のピッキングにかかる移動距離を短縮するために、棚

へ商品の振り分け手法を検討した⁽⁷⁾。すなわち、作業者の移動距離や身体負担を減らすために、何の商品をどこのエリアに置いておくべきかを定める手法を述べている。

Rene, Tho and Nima (2012)の研究では、作業者の労働時間の短縮で、各作業指示書に対したパッキング時間とピッキング時間との総作業時間を短縮する方法を検討し、ピッキング場のエリア分割でエリア分割の数量を決める方法を述べている⁽⁸⁾。

しかし、上記の既存研究として、リレーピッキングにおいて根本的に各エリアの作業バランスを取ることにについてまだ十分に検討されていない。

1.3 研究目的

本研究では、リレーピッキングを対象に、このピッキング業務の生産性を向上させるための作業指示書の作成方法に関する検討をするとともに、作業指示書を作成するためのプログラムを作成することを目的とする。

リレーピッキングは、作業エリアを複数のエリアに分割し、各エリア内でピッキングを行い、次のエリアに作業を引き継ぐ方法である。しかし、この方法には各エリアの作業時間が異なると、無駄な手待ちなどが生じて十分な生産性の向上を図れない問題がある。そこで、本研究は、注文データから作業指示書のもととなる客先のオーダーの組み合わせによって、リレーピッキングの各エリアの手待ちをなくすことに関する方法を明らかにする。

具体的に、まず、リレーピッキングのシミュレーションから、各エリアの作業が無駄な手待ちなく行うことについて、どのように作業指示書を作成すれば良いのかを検討する。そして、各エリアにおける作業時間が同程度となるかを判断するための、注文データを用いた作業時間の推計及び作成モデルを構築する。最後に、遺伝的アルゴリズムによって、注文データから望ましい作業指示書を作成するプログラムを作成する。そして、無作為に作業指示書を作成した場合との比較からその有効性を確認する。

1.4 論文の構成

本研究に関する論文の構成は以下のようになっている。

第1章では、研究背景や本研究の目的についてまとめる。

第2章では、研究対象を紹介する。例えば、EC市場や配送センター及びリレーピッキング作業についてまとめる。

第3章では、リレーピッキングにおける作業がスムーズになるための対策を検討する。検討した対策についてまとめる。

第4章では、注文データから、作業時間を推計する定式化と作成のモデル式を構築する。

第5章では、最良の作業指示書のもととなる客先のオーダーの組み合わせに向けた遺伝的アルゴリズムについて説明する。そして、作業指示書を作成するためのプログラムを作成する。

第6章では、注文データを用い、遺伝的アルゴリズムを用いた作業指示書の作成についてその妥当性を検証する。無作為にオーダーの組み合わせを作成し、作業指示書を作成した場合と遺伝的アルゴリズムを用いた場合の比較を行う。また、望ましい作業指示書同士の組み合わせの関係を明らかにする検討をする。

第7章では、本研究の結論について説明する。具体的には、本研究のまとめ、今後の課題について述べる。

2. 研究対象

2.1 通販の物流センターについて

インターネットの普及により、1990年代後半から企業と消費者がコンピュータネットワーク上で商品やサービスを売買したり分配したりできるようになった。日本のBtoC-EC（消費者向け電子商取引）市場規模の推移を図2-1に示す。

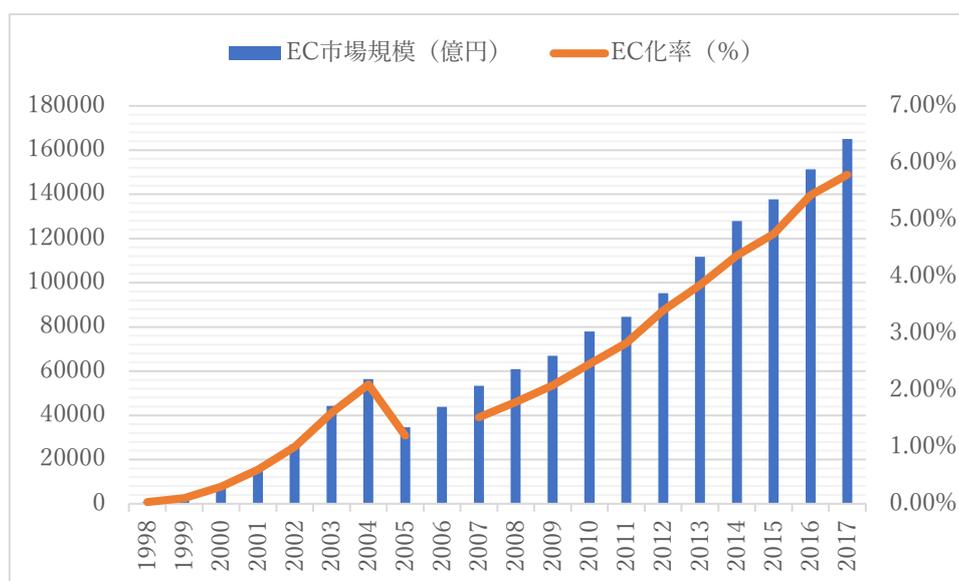


図 2.1 日本の BtoC-EC 市場規模の推移

出典：経済産業省、例年報告書まとめ

2015年の日本国内のBtoC-EC市場規模は13.8兆円、EC化率（全ての商取引市場規模に対する電子商取引市場規模の割合）は4.75%である。2010年と比べると、どちらも約2倍に増加している⁽¹⁾。

このことから、商取引の電子化が進展しており、今後もEC市場が拡大していくことが予想される。

消費者はインターネット上で様々な商品やサービスを購入しており、1世帯当たりの電子商取引での年間支出総額は103,716円である。その内訳を図2-2に示す。

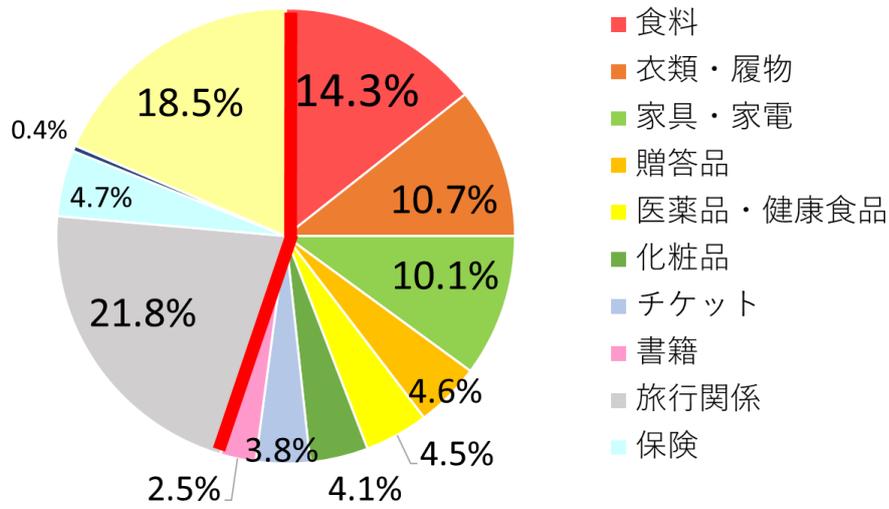


図 2.2 電子商取引の項目別支出割合

出典：総務省「家計消費状況調査(平成 27 年)」⁽²⁾より作成

食料や衣類・履物、家具・家電など、有形である物の割合は半数以上であることがわかる。有形の物の流通量が増加することは、配送センターでの業務量の増加に繋がる。

しかし、その一方で日本では人口減少と少子高齢化が問題となっている。日本の人口の推移と将来人口を図 2-3 に示す。

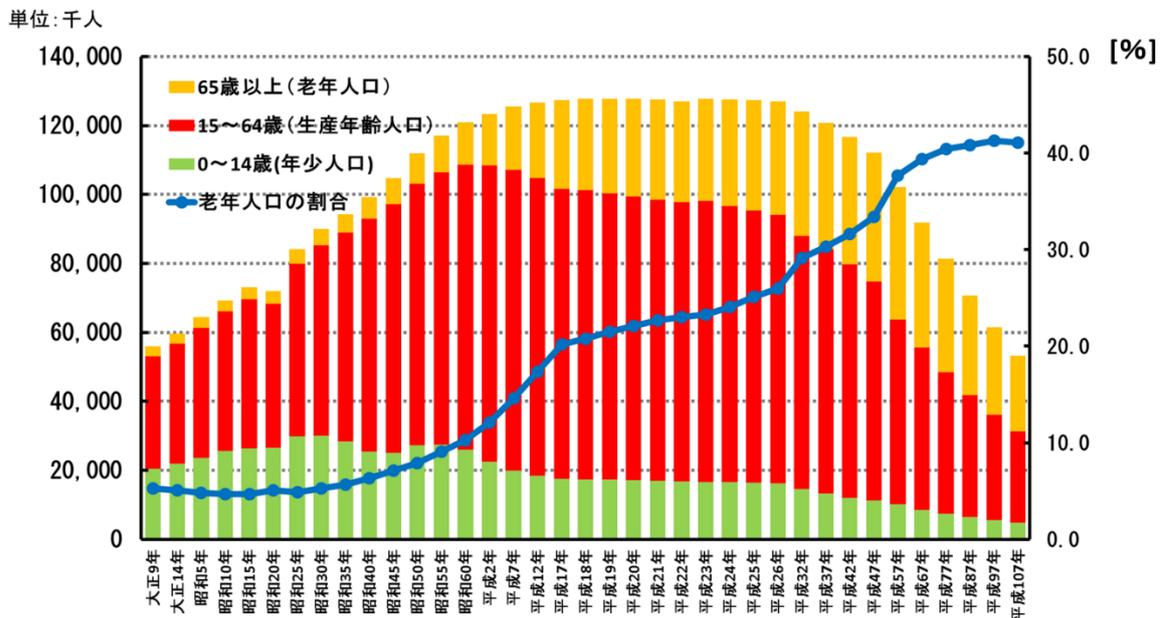


図 2.3 人口の推移と将来人口

出典：総務省「人口の推移と将来人口」⁽³⁾より作成

図 1-3 からわかるように、日本の人口減少と少子高齢化は急速に進展している。生産年齢人口である 15 歳から 64 歳は今後ますます減少し、50 年後には現在の約半分になると予想されている。

EC 市場が拡大し、配送センターでの業務量が増加しているにもかかわらず、生産年齢人口の減少すなわち労働力の不足が生じており、生産性の向上が必要となっている。

配送センターの運用コスト構成を図 2-4 に示す。

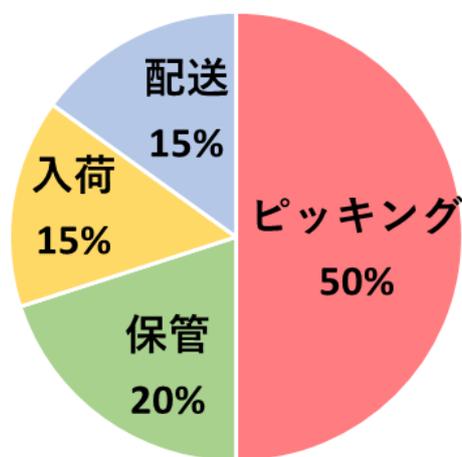


図 2.4 配送センターの運用コスト構成

出典：EDWARD H. FRAZELLE, Ph.D.: Warehousing and Material Handling, McGraw-Hill (2001)⁽⁴⁾

ピッキング作業とは、顧客からのオーダーに基づいて保管場所から商品を選定し、出荷オリコンや折り畳みコンテナなどの通いオリコンに商品を投入するまでの一連の作業のことをいう。配送センターにおいて、このピッキング作業が運用コストの半数を占めていることがわかる。

物流センター業務の作業人時構成比を図 2-5 に示す。

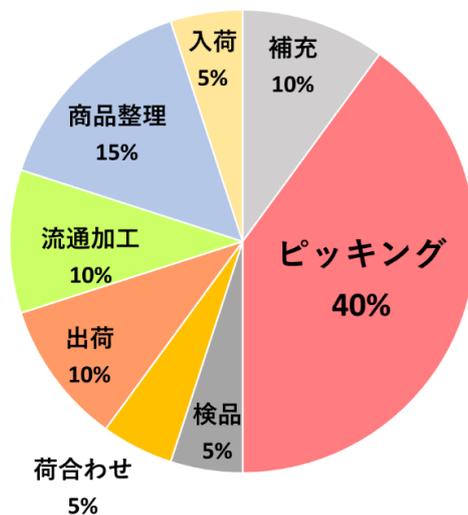


図 2.5 物流センター業務の作業人時構成比
出典：「物流センターのしくみ」⁽⁵⁾同文館出版

仮に 1 日 100 人が 5 時間物流センターで働くとすると、総作業人時は 500 時間になる。その 40%の 200 時間はピッキング作業をすることになる。物流センターのコスト削減や労働力不足を補うために、作業人の生産性の向上や作業時間の短縮が必要である。特にピッキング作業における歩行距離、探す時間の短縮は物流センターのコスト削減に直結する。以上のことから、ピッキング作業の改善が重要であるといえる。

2.2 リレーピッキング作業

消費者は、インターネット上で様々な商品やサービスを購入しており、食料や衣類・履物、家具・家電など、有形である物の割合は半数以上であることがわかる⁽²⁾。流通量が増加することは、配送センターでの業務量の増加に繋がる。このため、リレーピッキング作業を対象とした作業改善が、配送センターにおける作業人の生産性の向上や作業時間の短縮が重要となっている。

まず、リレーピッキングのイメージ図を見ると、通販の場合、一日の注文データにおいて注文商品の種類も多くて量も多くない特徴にある。作業改善の工夫として、エリアを分けて、各エリア内に作業人が作業指示書に沿って往路で棚に移動し、商品をピッキングし、復路で商品を持って戻るという方法が考案される。そしてリレー方式で、ピッキングのエリアの面積が小さくなり、荷合わせで商品を注文別に分類する必要がなく、作業人の無駄な移動や工数は削減できる点がある。しかし、リレーピッキングにおける各エリアに作業が同様でない、ピッキング・ラインにオリコンの滞留が発生して無駄な手待ちなどの問題が生じる。そこで、リレーピッキングにおける各エリアの作業バランスを取ることが課題となっている。

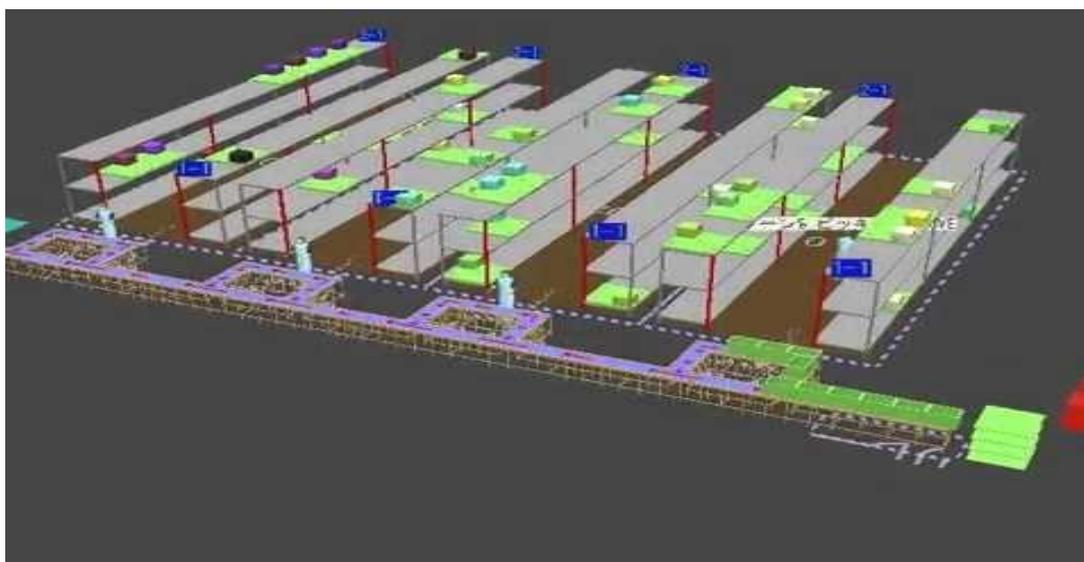


図 2.6 リレーピッキング作業のイメージ図

3. リレーピッキングのための待ち合わせシステム分析及び対策の検討

3.1 待ち合わせシステム分析について

3.1.1 待ち行列モデルについて

今研究では作業人の待ち時間削減の検証について、作業指示書による待ち行列モデルを作成し、それをを用いたシミュレーションを行う。今回のシミュレーションはExtend Sim8 というソフトを使用する。

作業指示書の待ち行列モデルの概要としては、

- ① 作業指示書を入れたオリコンが発生する。
- ② オリコンは移動し、設定したピッキングエリアでの作業のために待ち行列を作成する。
- ③ ピッキングエリアにオリコンは先入れ、先出しで向かっていき、設定された時間の間、ピッキング作業時間としてピッキングエリア内に立ち止まる。
- ④ 設定された時間が経つと、オリコンはピッキングエリアから出ていく。

といった、作業指示書の待ち行列を想定した待ち行列モデルを作成する。

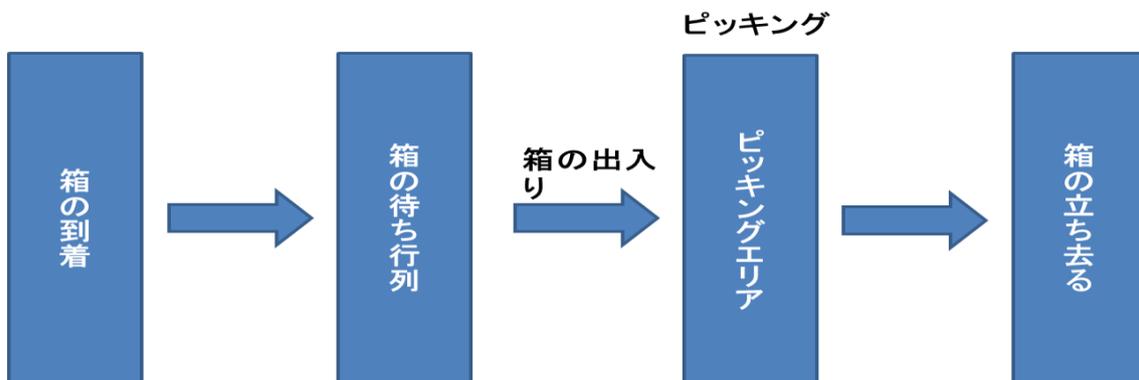


図 3.1 待ち合わせ行列のモデルのイメージ図

3.1.2 ピッキングエリアを三つとした待ち行列の基本モデルについて

まずはピッキングエリアを三つとした待ち行列の基本モデルについて説明する。この場合、設定された時間分布で作業指示書のあるオリコンが発生し、待ち行列を形成する、そして三つのピッキングエリアを順序よく一つずつ通過していく。ピッキングエリアは三つしか存在しないので、待ち行列を作った順、つまり行列の先頭からピッキングエリアに向かっていき、設定された時間ピッキング時間としてピッキングエリアに立ち止まる。設定された

時間がたつと、オリコンがピッキングエリアから離れ、次の新たな待ち行列を作る。これを繰り返していく。図はピッキングエリアを三つとした待ち行列の基本モデルである。

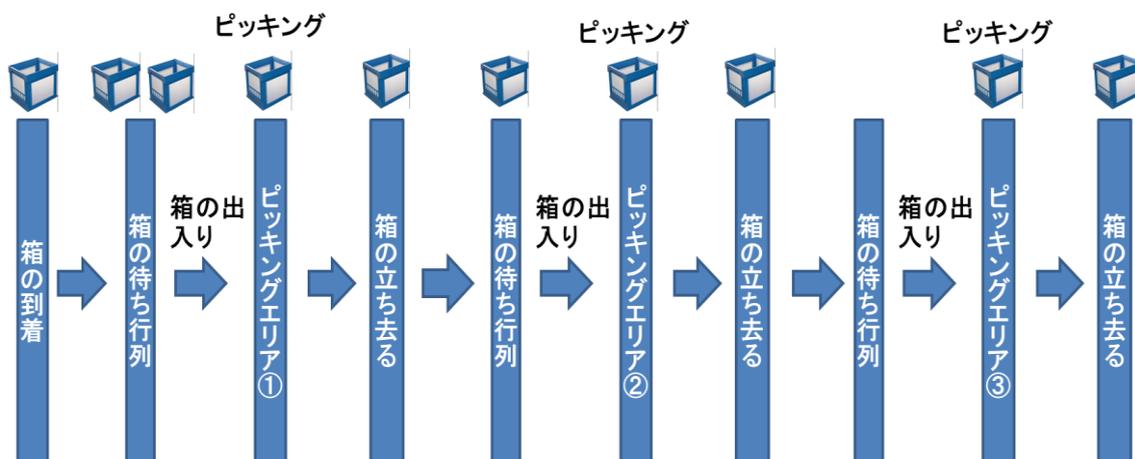


図 3.2 エリア数を三つとした待ち合わせ行列モデルのイメージ図

3.1.3 モデルの初期値設定について

待ち合わせ行列モデルにおいて、リレーピッキングにおける作業指示書のもととなる客先のオーダーを組み合わせるに各エリアにおけるピッキング作業が待たれなく済むかを、Extend Sim8 というソフトでシミュレーションした。今回のシミュレーションは Extend Sim8 というソフトを使用し、時間分布で待ち合わせシステムの分析の初期設定を以下に設定した。

表 3-1 モデルの初期値設定

記号	係数の値
オリコンの発生頻度	1
オリコンの発生頻度のばらつき	0.1
エリア 1 の平均処理時間	1
エリア 1 の平均処理時間のばらつき	0.1
エリア 2 の平均処理時間	1
エリア 2 の平均処理時間のばらつき	0.1
エリア 3 の平均処理時間	1
エリア 3 の平均処理時間のばらつき	0.1

3.2 感度分析について

3.2.1 感度分析項目

分析項目としては、今回二つに着目する。

一つ目としてはピッキングにかかる時間である。エリアごとの作業が同じになれば、ピッキングはスムーズに行えることで作業人の仕事待ち時間が解消できると考えるからである。

二つ目はバッファーとする作業指示書を積むことである。バッファーが作れば、エリアごとの稼働率が上昇することで、作業人の仕事待ち解消につながるのではと考えるからである。

また、エリア分け数を3とし、二つの分析項目ごとに分析を行う。

分析項目ごとに作業指示書の待ち時間と、エリアの稼働率その二つを指標として比較する。

3.2.2 ピッキングにかかる平均作業時間を変更したときの仕事待ち時間について

エリア分け数3、オリコンの発生指数1オリコン/単位時間を固定のまま、各エリアのピッキングにかかる平均作業時間を変更し、作業指示書が到着してからピッキングまでの待ち時間をシミュレーションしていく。

基準値のエリア別のピッキングの平均作業時間を単位時間1とすると、ボトルネック工程となるエリアを基準値の1.5倍、0.5倍と変化させたときの、作業指示書の待ち時間とシミュレーション運行時間の推移はそれぞれ、以下の図3.1、図3.2とおりにある。また、ボトルネック工程となるエリアを基準値の0.5倍と変化させたときの、各エリアの稼働率とシミュレーション運行時間の推移は図3.3とおりにある。

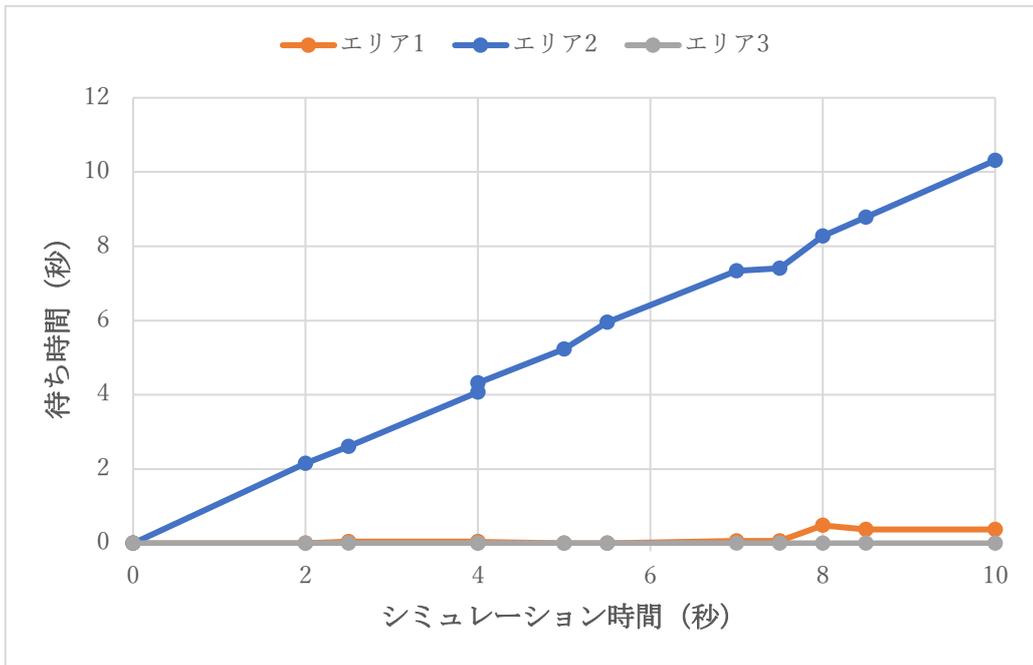


図 3.1 遅いエリアのあるときの待ち時間のシミュレーション

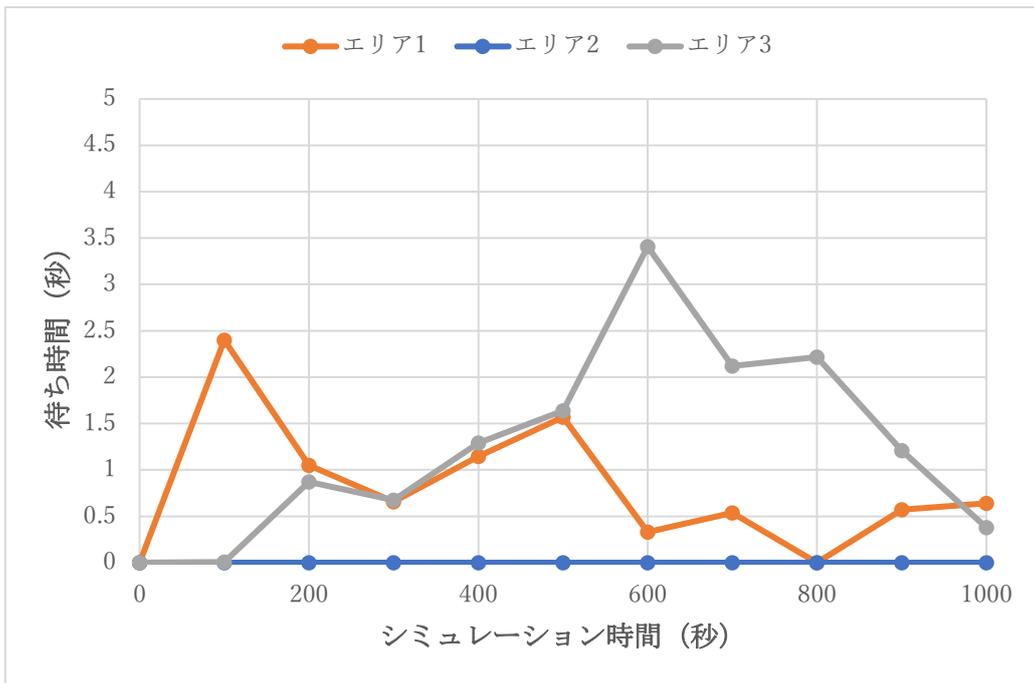


図 3.2 速いエリアのあるときの待ち時間のシミュレーション

図 3.1 と図 3.2 は、エリア別のピッキングにかかる平均作業時間を変化させたときの、作業指示書が到着してからピッキングまでの待ち時間の推移である。図 3.3 は、エリア別の平均作業時間を変化させたときの、各エリアの稼働率の推移である。図 3.1 では、ピッ

キングにかかる平均作業時間を基準値の 1.5 倍にしたときの該当エリアでは、作業指示書の待ち時間が長くなるとわかる。すなわち、ほかのエリアに比べて遅いエリアのあるときの、作業指示書の滞留が生じる。そして次のエリアの作業人の仕事待ちが発生するとわかる。また、図 3.2 では、ピッキングにかかる平均作業時間を基準値の 0.5 倍にしたときのエリアでは、作業指示書がピッキングされるまでの仕事待ち時間が発生しないとわかる。

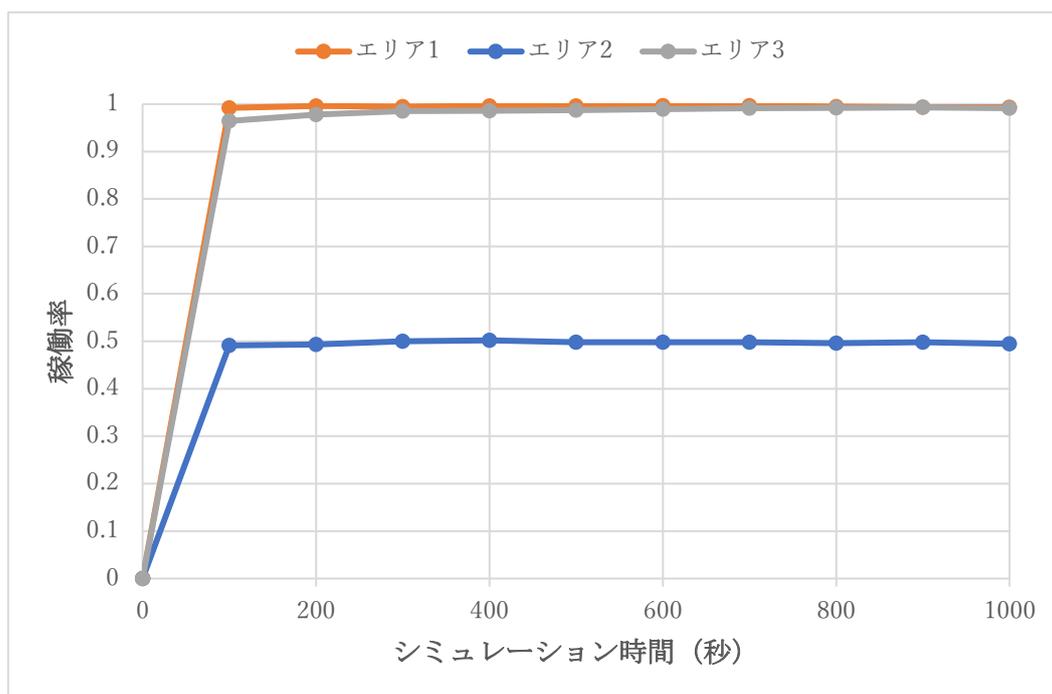


図 3.3 速いエリアのあるときの稼働率のシミュレーション

これに対して、図 3.3 では、平均作業時間を基準値の 0.5 倍にしたときのエリアの、稼働率は低下する傾向にあると示される。このことから、他のエリアに比べて作業の速いエリアのあるときの、エリアにおける作業人の仕事待ちが多く発生するとわかる。

3.2.3 バッファの個数を変更したときの仕事待ち時間について

エリア分け数 3、オリコンの発生指数 1 オリコン/単位時間で固定のまま、稼働前に作業指示書をたまるときとたまらないときから作業を行う場合の、仕事待ち時間をシミュレーションしていく。

基準値のピッキングの平均作業時間を単位時間 1 の固定のまま、オリコンを 5 個たまるとたまらない場合からのときの、各エリアの稼働率とシミュレーション運行時間の推移は図 3.4、図 3.5 とおりである。

図 3.5 では、エリアごとにオリコンをたまらないときからの、エリアの稼働率の推移であ

る。このときの、作業人は仕事待ちの状態から稼働する。図 3.4 では、稼働前に作業指示書をたまるときから作業を行う場合の、各エリアの稼働率の推移である。図 3.4 より、エリアごとにバッファを作るとき、各エリアの稼働率が高くなるわかる。つまり、作業指示書をバッファとして作れば、ピッキング・ラインの稼働率が高くなることで、各エリアの作業人の仕事待ち解消につながるではといえる。

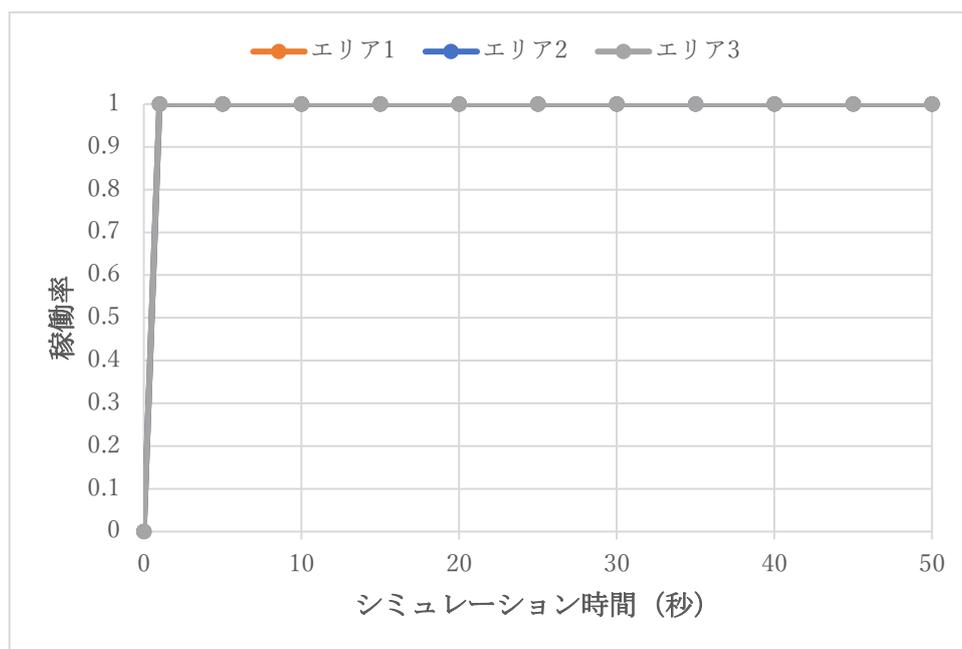


図 3.4 バッファを積むときの稼働率のシミュレーション

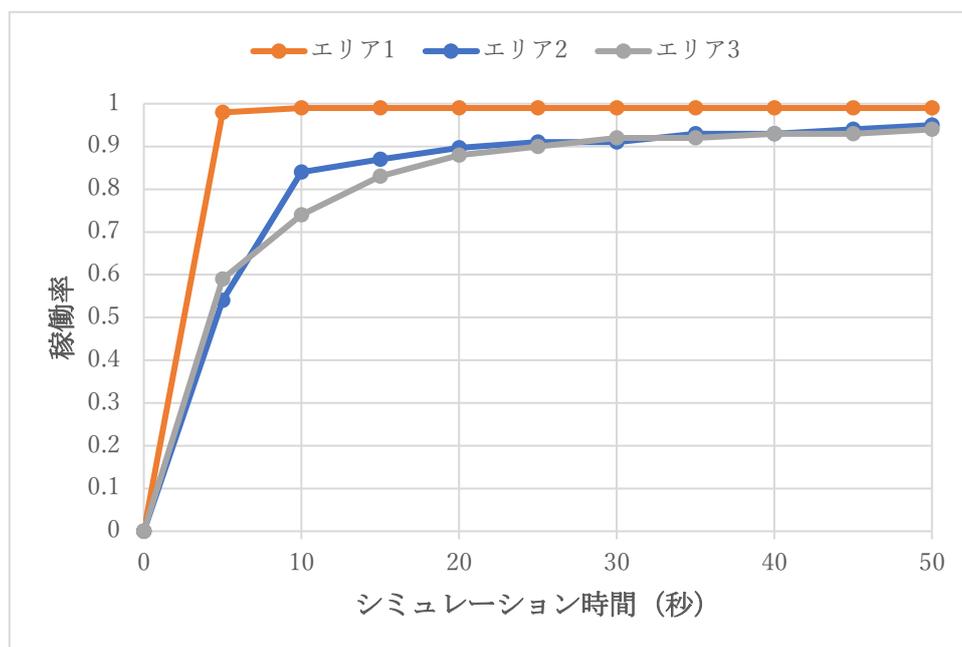


図 3.5 バッファを積むことのないときの稼働率のシミュレーション

3.3 対策のまとめ

以上の検討をした結果、二つのことに着目する。

一つ目としては、各エリアの作業時間が等しくなるように作業指示書の組み合わせを作成すると良いということがわかった。(手待ちの削減)

二つ目は、各エリアにおいて無駄な手待ちが起きないように、前工程となるエリアの作業が少し終わってから作業をはじめると良いということがわかった。(各エリアの稼働率の向上)

以上のことを踏まえて、本研究では遺伝的アルゴリズムによって、注文データから望ましい作業指示書を作成するプログラムを作成する。

4. 注文データを用いた作業時間の推計及び作成のモデル化

4.1 対象となる配送センター

本研究で対象とした配送センターは、電子部品の卸販売を行うセンターである。配送センターには、棚の番地は44列がある。棚の列の番号で1から14までの間をエリア1とする。棚の列の番号で15から29までの間をエリア2とする。棚の列の番号で30から44までの間をエリア3とする。ピッキングエリアは以上の三つで、作業員がバケツリレーする形態でピッキングを完結する。

また、作業指示書の作成の検討で対象とするのは、この配送センターの一日分の注文データである。対象とする注文データには、420個の注文先があり、そして商品ごとに記載されたどの棚のどの位置に商品があるかというロケーション情報もあり、使用した注文データの行数は1085行である。注文データにおける商品別のロケーション情報から、エリアを三つとしたエリア別にある注文データを作成する。そして、各オリコンに作業指示書一つのみを入れておくとする。

なお、遺伝子アルゴリズムの計算で使用した注文データは、この一日分の注文データから選ばれた40個の作業指示書となっている。この40個の注文データで、望ましいオーダーの組み合わせを求める作成モデルについて検討する。

4.2 注文データについて

配送センターにおける、誰が何を何個注文したかを表す発注伝票から作成されたデータである。

注文客先数 E (Entry Order)、商品種類数 I (Item)、注文数量 Q (Quantity)、商品の配送センターのどこにあるかという位置を L (location) と表す。

また、商品種類毎にまとめた注文数量を IQ、商品種類毎にまとめた注文先数を IK と表し、注文先毎にまとめた注文数量を EQ、注文先毎にまとめた商品種類数を EN と表す。

以下に注文データの例を示す。

表 4-1 注文データのイメージ

ECode	ICode	Quantity	L(location)
E001	I001	5	A1-D01-03-2
E002	I001	2	A1-D01-03-2
E002	I002	3	A1-D16-08-2
E003	I003	3	A1-D31-09-1
E003	I004	2	A1-D36-08-1

配送センターでは、棚番号によって Zone1、Zone2、Zone3 の三つのゾーンに分類した。ゾーン別で商品種類毎にまとめた注文数量を Zone1-EQ、Zone2-EQ、Zone3-EQ と表し、注文先毎にまとめた商品種類数を Zone1-EN、Zone2-EN、Zone3-EN と表す。ゾーン別で、商品種類毎にまとめた注文数量 (EQ) と注文先毎にまとめた商品種類数 (EN) のまとめを表 4.2 に整理する。

表 4-2 注文データを集計したイメージ

#Id	Zone1- EQ	Zone1- EN	Zone2- EQ	Zone2- EN	Zone3- EQ	Zone3- EN
E001	5	1	0	0	0	0
E002	2	1	3	1	0	0
E003	0	0	0	0	5	2

なお、A1-D01 から A1-D14 までの棚番号を Zone1、A1-D15 から A1-D29 までの棚番号を Zone2、A1-D30 から A1-D44 までの棚番号を Zone3 と計算する。以上の計算方法で1日の分に集計を行い、分析に使用した。

4.3 作業時間の定式化

4.3.1 リレーピッキングの作業エリア

注文データの傾向から、作業指示書別のエリアごとの必要な作業時間の推計を行った。本研究では、オリコンに一つの作業指示書のみを入れるとするため、摘み取り方式の作業時間として作業時間を推計する。

三つの作業エリア、作業時間の定式化および係数は、参考文献⑤の「注文データに基づくピッキング方式の選定に関する研究」を用いた。

リレーピッキングにおける作業エリア

- ① 準備 (ピッキング指示書の作成、オリコンや台車の準備)
- ② オリコンが発生し、設定した三つのピッキングエリアに順序よく向かう。オリコンの待ち行列が発生する。
- ③ ピッキングエリア 1 にオリコンは先入れ、先出しで向かっていき、作業指示書に作業の必要な時間としてピッキングエリア内に立ち留まる。
- ④ 作業指示書に作業の必要な時間がたつと、オリコンはピッキングエリア 1 から出ていき、次のピッキングエリア 2 に順序良く向かっていく。オリコンの待ち行列が発生する。
- ⑤ ピッキングエリア 2 にオリコンは先入れ、先出しで向かっていき、作業の必要な時間と

してピッキングエリア2内に立ち留まる。

- ⑥ 作業の必要な時間がたつと、オリコンはピッキングエリア2から出ていき、次のピッキングエリア3に順序良く向かっていく。
- ⑦ 以上のような繰り返して、エリアとエリアとの連携で作業指示書のピッキングを完結する。そして終了位置へ移動する。

全てのピッキングの作業指示書がなくなるまで、エリア②からエリア⑧まで全エリアを繰り返す。

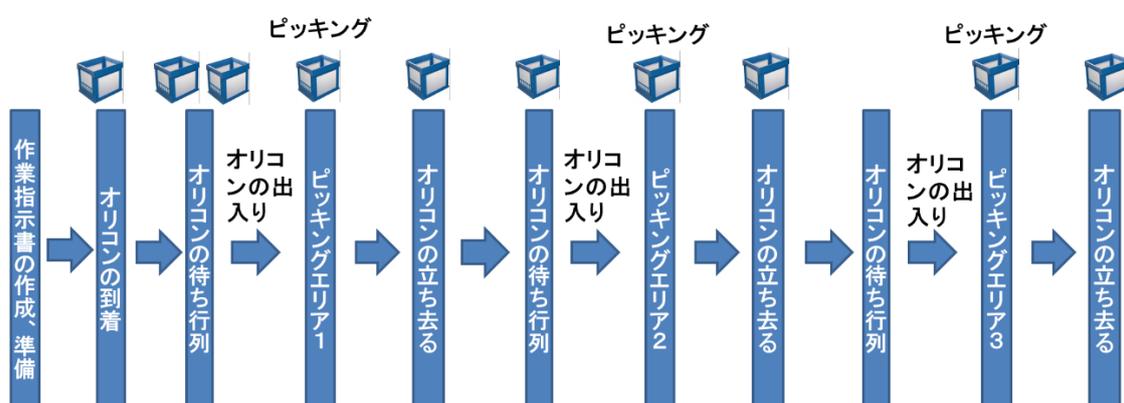


図 4.1 リレーピッキングの作業のイメージ図

摘み取り方式の作業工程

- ① 準備（ピッキング指示書の受け取り、オリコンや台車の準備）
- ② 商品棚への移動
- ③ 商品の探索
- ④ 商品の取り出し
- ⑥ 商品をオリコンに入れる
- ⑦ 終了位置への移動

作業エリアの②から⑤は、ピッキングの作業指示書に書かれている全ての商品を取り出すまで行う。また、全ての注文先のピッキングの作業指示書がなくなるまで、全エリアを繰り返す。

以上の作業エリアについて、作業時間のかかる作業エリアを抽出すると、(a)移動、(b)探索、(c)取り出し(入れる)の3つの作業エリアとなる。そこでこれらの作業エリアから摘み取り方式の作業時間を定式化する。

4.3.2 リレーピッキングの作業時間の定式化

摘み取り方式の作業時間の定式化

リレーピッキングにおけるエリア n に作業指示書(オーダー) i の作業時間を式(1)に示す。

$$TSN_{ni} = GT_{ni} + TS_{ni} + TT_{ni} \dots\dots\dots(1)$$

TSN_{ni}: エリア n にオーダー i にかかる作業時間 [秒]

GT_{ni}: エリア n にオーダー i の取り出し時間 [秒] ※オリコンに入れる時間を含む

TS_{ni}: エリア n にオーダー i の探索時間 [秒]

TT_{ni}: エリア n にオーダー i の移動時間 [秒]

エリア n にオーダー i の摘み取り方式の作業において、商品を取り出す時間はEQ_{ni}、そして商品を探る回数はEN_{ni}となる。そこでこれらの回数に作業時間が比例すると仮定するとエリア n にオーダー i の摘み取り方式における各エリアの作業時間は、式(2)、(3)となる。

$$GT_{ni} = C1 \times EQ_{ni} \dots\dots\dots(2)$$

C1: 取り出し係数 [秒/個]

EQ_{ni}: エリア n にオーダー i の注文先別の注文数量 [個]

$$ST_{ni} = C2 \times EN_{ni} \dots\dots\dots(3)$$

C2: 探索係数 [秒/種 (行)]

EN_{ni}: エリア n にオーダー i の注文先別の商品種類数 [種]

また、移動エリアにかかる作業時間は、ピッキングの開始・終了位置から商品棚までの往路と復路の1回の移動と商品間の移動の2つに分かれる。そして、エリア n にバッチ数 k 回目の摘み取り方式における商品間の移動回数は、(EN_{ni} - 1)となるため、移動エリアの作業時間は式(4)となる。

$$TT_{ni} = C3 \times (D1 \times 1 + D2 \times (EN_{ni} - 1)) \dots\dots\dots(4)$$

C3: 移動係数 (移動速度の逆数) [秒/m]

D1: 全てのピッキングにおける往復の平均移動距離 [m]

D2: 全てのピッキングにおける商品間の平均移動距離 [m]

リレーピッキングの作業時間は、式(1)から推計することになる。したがって、オーダー i のエリア別のピッキングの作業時間は式(5)のようになる。

$$T_{ni} = C_1 \times EQ_{ni} + C_2 \times EN_{ni} + C_3 \times (D_1 \times 1 + D_2 \times (EN_{ni} - 1)) \dots\dots\dots(5)$$

表 4-1 は検証で用いる係数の値である。数値は参考文献⑨の「注文データに基づくピッキング方式の選定に関する研究」を用いた。

表 4-3 作業時間の推計で設定した係数

記号	係数名	係数の値
C1	取り出し係数 [秒/個]	2.000
C2	探索係数 [秒/種 (行)]	16.231
C3	移動係数 (移動速度の逆数) [秒/m]	0.776
D1	全てのピッキングにおける往復の平均移動距離 [m]	36.026
D2	全てのピッキングにおける商品間の平均移動距離 [m]	6.305

4.4 作業指示書の組み合わせのモデルについて

4.4.1 作業指示書の組み合わせのモデルの概要

作業指示書の組み合わせのモデルでは、先の章より注文データの傾向からオーダーのエリア別の必要な作業時間の推計のための定式化を行った。続いて、各消費者からの注文をどのように組み合わせれば、各エリアにおける作業時間が同程度となるか判断し、最も作業時間が短くなる各注文先からのオーダーの組み合わせを求めるモデルの定式化を構築する。オーダーの一つの組み合わせをバッチと表現することとし、作業指示書は複数のバッチから構成される。

4.4.2 モデルの定式化

第3章のリレーピッキングのシミュレーションから、各作業エリアの作業時間が等しくなるように組み合わせるのが望ましいことがわかった。これにより、分散という指標を使い、作業指示書のもととなるオーダーの組み合わせの定式化を行う。

ちなみにリレーピッキングにおける各作業エリアにおけるピッキング方式はオーダー毎にピッキングする摘み取り方式となる。

式(6)にバッチ k の場合の作業エリアにおける作業時間の分散を示す。

$$\delta_k^2 = \frac{1}{N} \sum_n (T_{nk} - \bar{X}_k)^2 \quad k = (1, 2, \dots, K) \quad - (6)$$

δ_k^2 : バッチ k における作業時間の標準偏差

T_{nk} : バッチ k のエリア n における作業時間

\bar{X}_k : バッチ k の平均作業時間

N : エリアの数

$$T_{nk} = \sum_i T_{ni} \times P_{ik} \quad k = (1, 2, \dots, K), \quad n = (1, 2, \dots, N) \quad (7)$$

T_{ni} : オーダー i のエリア n における作業時間

P_{ik} : バッチ k においてオーダー i のピッキングを行う判別関数 (0 or 1)

$$\bar{X}_k = \frac{1}{N} \sum_n T_{nk} \quad k = (1, 2, \dots, K) \quad \text{-----} (8)$$

以上のことから目的関数は、式(9)となる。

$$\text{MIN} \quad \sum_{k=1}^K \delta_k^2 \quad \text{-----} (9)$$

K : バッチの数

式(6)は目的関数であり、作業指示書の組み合わせで全エリアの作業時間の標準偏差を小さくすることを示す。式(7)は、エリア n におけるバッチ（作業指示書のグループ） k がピッキング作業の必要となる時間を示す。式(8)は、バッチ k がエリア別のピッキング作業の必要となる平均時間を示す。式(9)は、バッチ k における全エリアの作業時間の標準偏差を求めることを示す。

4.4.3 制約条件

作成モデルにおいて、必要となる制約条件を式(10)、式(11)に示す。

$$\sum_K P_{ik} = 1 \quad i = (1, 2, \dots, I) \dots \dots \dots (10)$$

$$\sum_i P_{ik} \leq 3 \quad k = (1, 2, \dots, K) \dots \dots \dots (11)$$

※ピッキングの際に使用する台車等のサイズによって 1 バッチのオーダー数が異なる。ここでは、3 として後の検討を進める。

式(10)は、組み合わせ処理をしようとする、すべての作業指示書はバッチ数への組み合わせをすることを示す。式(11)は、ピッキング場の台車のサイズなどの制限のため、ただ最大 3 個の作業指示書のみを組み合わせることを示す。これらの条件で、後の検討を進める。

5. 遺伝的アルゴリズムについて

5.1 遺伝子アルゴリズム

5.1.1 遺伝子アルゴリズムの説明

遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm) は、自然界の進化を模倣した最適化手法である。遺伝的アルゴリズムは、1975 年にミシガン大学の John Henry Holland によって提案された。近似解を探索する確率的探索アルゴリズムの一種である。生物の進化過程を考慮すると、母集団の中で 環境への適応性が高い個体は高い確率で生き残り、次の世代を残すことになる。この点をモデル化することで、最も適応性の高い個体、すなわち、最適解を計算機上で求めるものである。

GA では遺伝子コードである個体を生成するために決定関数、つまり未知量をバイナリ化することで表現し、複数の個体を構築して個体群を作り出す。その後、各々の個体に対して環境への適応度、すなわち、対象とする問題へのあてはまりの良さが決定され、これが高いものほど次世代に選択されやすく、交叉や突然変異などの遺伝的作用により次世代の個体群を生み出す。この遺伝子操作を繰り返すことで世代の進行とともに適応度の上昇が期待され、最終的に得られた適応度の最も高い個体が推定すべき未知量の解を与えることになる。

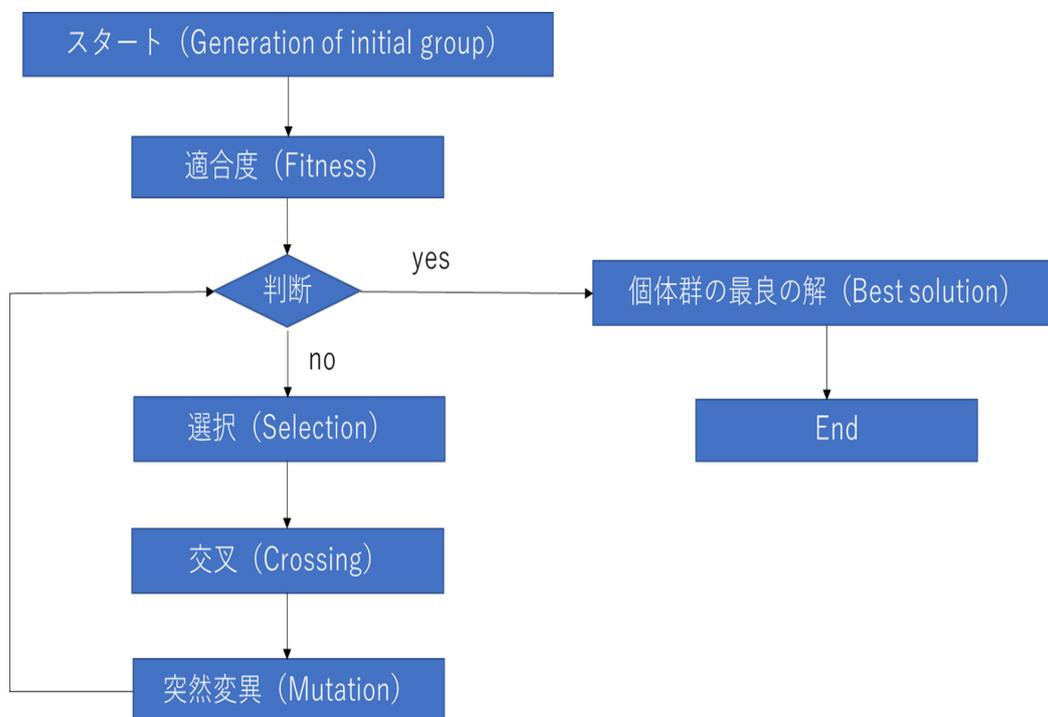


図 5.1 遺伝的アルゴリズムの説明

5.1.2 遺伝子アルゴリズムによる作業指示書作成の流れ

作業指示書の組み合わせのモデルにおいて、目的関数の値を小さくすることを求める。作業指示書の各エリアの作業時間の分散を小さくするように、作業指示書のもととなる注文先のオーダーの組み合わせを遺伝的アルゴリズムで解く方法を述べる。

遺伝子アルゴリズムを加工して得られた計算プロセスを図 5.2 に示す。

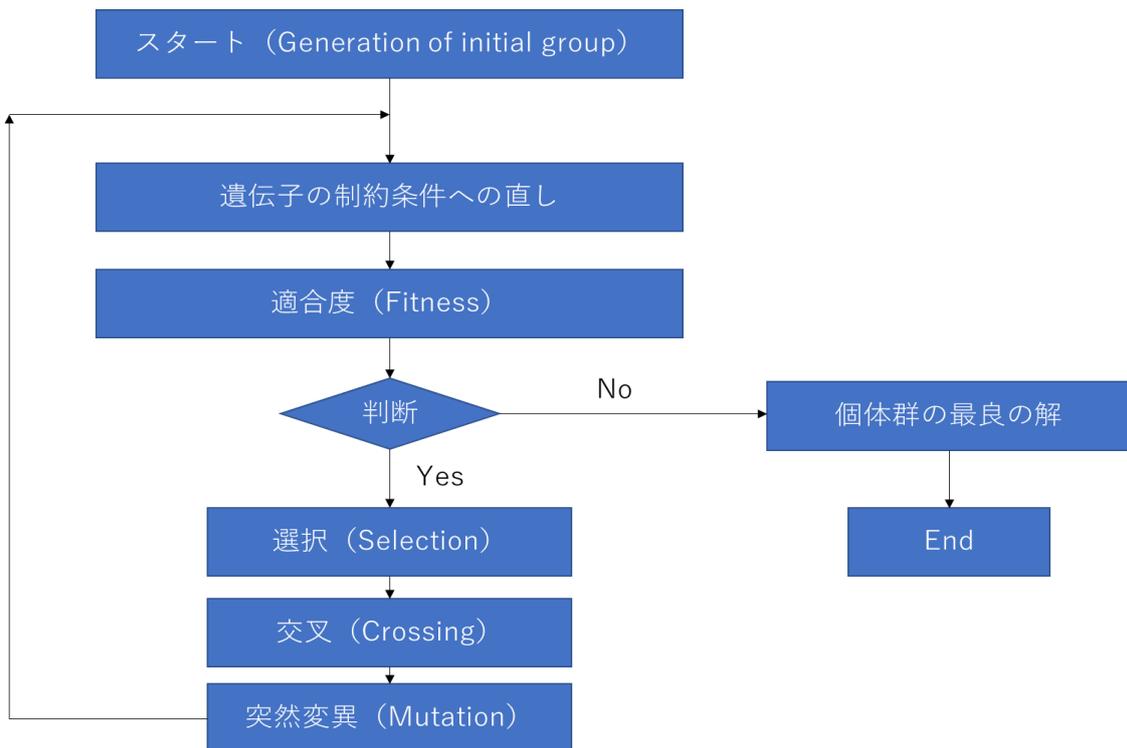


図 5.2 遺伝的アルゴリズムの流れ

遺伝的アルゴリズム (GA) による計算のプロセス

- ① 世代を 0 とする。注文データからオーダーの組み合わせ問題を遺伝子に表し、M 個の個体をランダムに発生して、初期個体群 $X(0)$ を設定する。
- ② 個体群から作業指示書の組み合わせのモデルの制約条件を満たすように、制約条件に見合わない個体を制約条件へ見直す。
- ③ M 個の個体 (遺伝子) の適合度を計算する。適合度に依存した一定のルールで個体の淘汰を行う。すなわち、適合度の低いいくつかの個体は死滅し、その個数だけ適合度の高い個体が繁殖する。
- ④ 一定の確率で個体の遺伝子に選択、交叉、突然変異の動作をする。新しい個体 (子) を作成する。子は、その生成に関与した古い個体 (親) と置き換わる。

- ⑤ ②から④まで、指定代数まで繰り返す。指定代数までの一番適合度の高い個体を最良の解とする。

また、遺伝子の見直し、交叉、突然変異などの遺伝子アルゴリズムの動作が必要となっている。そこで、本研究でのそれらの一連の動作について説明する。

適合度は、各エリアの分散を示す、目的関数の定式である。

1 1 1 1 2 2 → 1 1 1 2 2 2

図 5.3 遺伝子の制約条件への見直し

遺伝子の制約条件への見直しとは、同世代で集団から制約条件に満たさない個体を対象とし、その個体における遺伝子を制約条件内に見直して新しくようにする。図 5.3 に示す。

0 1 1 | 0 2 2 | 0 1 2 0 1 1 | 1 3 2 | 0 1 2
 2 1 1 | 1 3 2 | 2 0 3 2 1 1 | 0 2 2 | 2 0 3
 親 → 子供

図 5.4 交叉動作

交叉動作とは、集団から選ばれた二つの個体の中でそれぞれ二つの決められた遺伝子の位置を基準とし、遺伝子の部分列を交換、新しい個体を生成する操作である。図 5.4 に示す。

1 1 1 2 2 2 → 1 1 2 1 2 2

図 5.5 突然変異

突然変異とは、個体の遺伝子を構成する文字の一部を突然変異確率に従って別の文字に変更する操作である。突然変異の方法として、一定の突然変異確率で選択される個体を対象とし、遺伝子コードの二つの点に相互交換を行い、遺伝子の値を変更し、個体を新しくする。図 5.5 に示す。

5.1.3 遺伝子の表現方法について

遺伝子の表現の仕方によっては組合せ最適化問題などのさまざまな問題に適用可能である。ここで、リレーピッキングの各作業エリアの作業時間の標準偏差が小さくするように、作業指示書のもととなるオーダーの組み合わせを遺伝子に表現する方法について述べる。

まず、先の章より、作業指示書のもととなる客先のオーダーの組み合わせについて説明する。図 5.6 は、10orders の場合のオーダーを作業指示書に組み合わせることを表したものである。

i は客先のオーダーを表す。

k はバッチを表す。

判別関数 (P_{ik}) は 0 や 1 となり、オーダーをバッチに作成するかを意味する。

	i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
P_{ik}												SUM
k												
1		1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	3
2		0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	3
3		0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
4		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10		0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	3
SUM		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

図 5.6 判別関数 (0or1) の二次元の問題

図 5.6 より、オーダー1, 6, 7はバッチ1に作成する。オーダー3, 4, 5はバッチ2に作成する。オーダー8, 9, 10はバッチ10に作成する。そして、オーダー2はバッチ3に作成する。このように、四つのバッチで10個のオーダーの組み合わせを表している。

そこで、作業指示書を作成するにあたり、図 5.6 のように判別関数 (P_{ik}) の二次元の問題とっている。この作業指示書のもととなる客先のオーダーの組み合わせを遺伝子に表現するために、遺伝子の表現方法は図 5.7 のように考えられる。

1 1 2 2 2

図 5.7 遺伝子の表現

図 5.7 のように、遺伝子一つ一つの配置と与えられる値で、作業指示書の各バッチにおけるオーダーの組み合わせを表現する。例えば、11222 という遺伝子コードでは、遺伝子一つ一つがオーダーを表し、1 や 2 といった値がバッチを表す。つまり、オーダー1 とオーダー2 をバッチ1 とし、オーダー3、4、5 をバッチ2 とすることを表している。

5.2 設定関数について

最良の作業指示書のもととなる客先のオーダーの組み合わせに向けた遺伝的アルゴリズム (GA) を計算機で動かすにあたり、設定係数を表 5-1 のように設定した。注文データを用いて検証し、選択確率は遺伝子の交叉操作を行うことに決まる確率で、0.6 にする。突然変異確率は突然変異操作を行うことに決まる確率で、0.1 にする。進化代数は遺伝的アルゴリズムの計算の繰り返し回数で、1000 とする。

表 5-1 GA に設定した係数

記号	係数の値
代数	1000
選択確率	0.6
変異確率	0.1

図 5.3 より、遺伝的アルゴリズムの進化代数の増大によって目的関数の値が小さくなり、そして進化代数が 1000 から目的関数の値があまり変化しないと示される。また、40 個のオーダーの作業指示書への組み合わせの計算は 13 秒かかる。

通販配送センターには、大規模の注文から必ず最適な解を出す必要がなく、少ない計算量で望ましい作業指示書の作成を求める。このことから、遺伝的アルゴリズムを用いた作業指示書の作成方法は、実用性のあるよい手法である。

以上のことで、遺伝的アルゴリズムで望ましい作業指示書となるオーダーの組み合わせについて検討を行う。

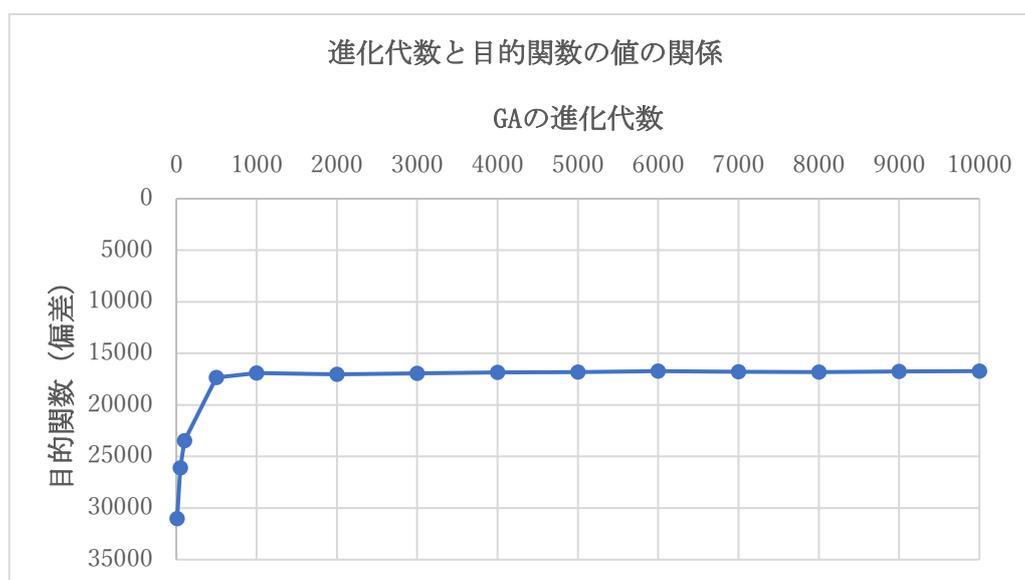


図 5.8 GA の進化代数と目的関数 (偏差) の値の関係

6. 遺伝子アルゴリズムによる作成方法に関する検証及び考察

6.1 改善前後の結果

遺伝的アルゴリズムを用いた作業指示書の作成についてその妥協性を検証するために、無作為にオーダーの組み合わせを作成し、作業指示書を作成した場合と遺伝的アルゴリズムを用いた場合の比較を行う。無作為にオーダーの組み合わせは、作業者が無意識で規範に従って作業指示書を作成することを意味する。

遺伝的アルゴリズムを用いて作業指示書を作成した場合と無作為に作成した場合の結果を図 6.1 と図 6.2 に示す。図より、遺伝的アルゴリズムを用いた場合と無作為に作成した場合の最大仕事待ち時間はそれぞれ、139.94 秒、349.52 秒であり、待ち時間が大幅に削減できるとわかる。

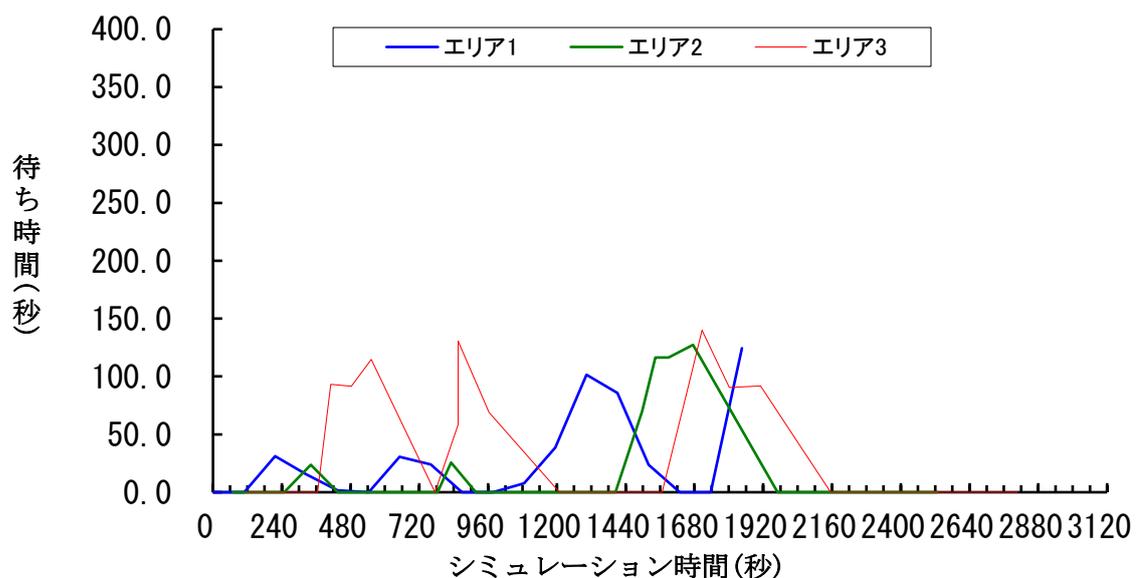


図 6.1 遺伝的アルゴリズムを用いた場合の仕事待ち時間のシミュレーション

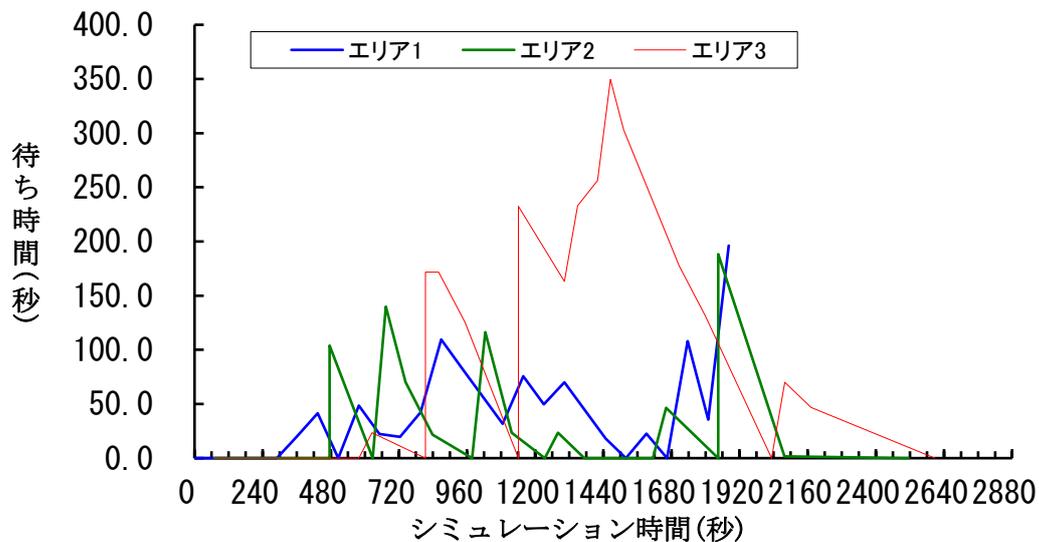


図 6.2 無作為に作業指示書を作成した場合の仕事待ち時間のシミュレーション

配送センターには、多くの商品を取り扱うことから配送センターにおける商品の保管には広いスペースが必要であり、そして作業人が作業指示書に沿って近い棚から一番奥にある棚へ移動するまでの商品の取り出す作業を行う。無作為に作業指示書を作成した場合と遺伝的アルゴリズムを用いた場合でバッチごとの平均仕事待ち時間はそれぞれ、62.118 秒、35.86 秒である。これにより、遺伝的アルゴリズムを用いた場合の生産性が高くなっており、有効であることがわかった。

6.2 改善後の作業指示書の特徴

遺伝的アルゴリズムによって、作業指示書がどのように変化するかその傾向を捉え、注文データと望ましい作業指示書のもととなるオーダーの組み合わせの関係性を明らかにする検討を行った。

作業指示書の特徴としては、大きく二つに着目する。

一つ目としては各エリアの作業が同様である。たとえば、表 6-1 のような作業指示書のタイプである。注文データから推計した作業指示書にエリア毎の作業が同じになれば、一つのグループ（バッチ）に作成するのではと考えるからである。

- $Q1=Q2=Q3 \geq E1=E2=E3$ 。

表 6-1 各エリアの作業が同様のイメージ

Zone1-EQ	Zone1-EN	Zone2-EQ	Zone2-EN	Zone3-EQ	Zone3-EN
1	1	1	1	1	1

表 6-1 より、EQ は Zone1-EQ、Zone2-EQ、Zone3-EQ を含めるため、EQ の数は 3 である。同様に、EN は Zone1-EN、Zone2-EN、Zone3-EN を含めるため、EN の数は 3 である。エリアごとの EQ、EN から作業時間を推計し、作業エリアが同様であるとわかる。

二つ目としては各エリアの作業が同様でないことである。たとえば、表 6-2 と表 6-3 の作業指示書のタイプである。注文データから推計し、作業指示書にエリア毎の作業が同様でなければ、大きく異なる傾向にある作業指示書同士が一つのグループになるのではと考えるからである。

作業指示書の特徴としては、以下に示す。

- 一つのエリアのみ、I がある。

表 6-2 一つのエリアのみの作業が異なりイメージ

Zone1-EQ	Zone1-EN	Zone2-EQ	Zone2-EN	Zone3-EQ	Zone3-EN
5	2	0	0	0	0
0	0	5	2	0	0
0	0	0	0	5	2

表 6-2 より、エリアの EQ の数は 3 である。同様に、エリアの EN の数は 3 である。一つのエリアのみに品目 (I) があるため、エリアごとの作業が同様でないと考えられる。

- 複数のエリアのみ、I がある。

表 6-3 複数のエリアの作業が異なりイメージ

Zone1-EQ	Zone1-EN	Zone2-EQ	Zone2-EN	Zone3-EQ	Zone3-EN
5	2	5	2	0	0
0	0	5	2	5	2
5	2	0	0	5	2

表 6-3 より、EQ の数は 3 である。同様に、EN の数は 3 である。複数のエリアに品目 (I) があるため、エリア間の作業が同様ではないと考えられる。

以上の作業指示書の特徴で実際の注文データを用い、遺伝的アルゴリズムによってシミュレーションをして作業指示書同士の組み合わせの関係性について検討を行う。また、相関係数を用い、同グループに望ましい作業指示書同士について確認する。

相関係数は、複数データの関係性を示す定量的な指標である。正の相関というのは、 x が大きいとき y も大きい傾向があると表すものである。負の相関というのは、 x が大きいとき

yは小さい傾向があると表すものである。表 6-4 の相関係数の説明を参考にして相関係数を用い、注文データからプログラムで作業指示書同士の組み合わせ関係を明らかにする検討を行う。

表 6-4 相関の係数の説明

相関係数 r	相関の強さ
$0.7 \leq r \leq 1.0$	強い正の相関
$0.4 \leq r \leq 0.7$	正の相関
$0.2 \leq r \leq 0.4$	弱い正の相関
$-0.2 \leq r \leq -0.4$	ほとんど相関がない
$-0.4 \leq r \leq -0.7$	弱い負の相関
$-0.7 \leq r \leq -1.0$	強い負の相関

整理して、分かったことが二つある。

一つ目としては、表 6-1 に類する作業指示書（各エリアの作業が同様の場合は、同グループ（バッチ）に作成する。そして、グループの総数（バッチの総数）を増やそうとする。つまり、各作業エリアの作業時間が同程度のオーダーを組み合わせるバッチを構成する傾向にある。

二つ目としては、また、一つ目とは異なり、各作業エリアの作業時間の大小関係が異なるオーダーを組み合わせるバッチ内の各作業エリアの作業時間が同程度となるようにオーダーを組み合わせるバッチを構成する傾向にある。

図 6.3 より、二つの作業指示書を一つのグループに作成するときの、各エリアのバランスのよい代表的であるデータを選び、相関分析を行った。分かったこととしては、各グループの相関係数は、それぞれ -0.9 から -1 までの間にあり、エリアの間の作業に強く異なる作業指示書同士を同グループに作成するとわかった。



図 6.3 二つの作業指示書を組み合わせる場合の相関関係

また、三つの作業指示書を同グループに作成すると、一つの作業指示書はほかの作業指示書同士と強い負の相関がある。

図 6.4 より、三つの作業指示書を同グループに作成するときの、各エリアのバランスのよい代表的である作業指示書のデータを選び、相関分析を行った。そして、この作業指示書同士の二つの相関係数が -0.7 から -1 までの間にあり、もう一つの相関係数が +1 に近くにある。分かったこととしては、三つの作業指示書の内、一つの作業指示書はほかの作業指示書同士と比べて大きく異なる傾向にある。

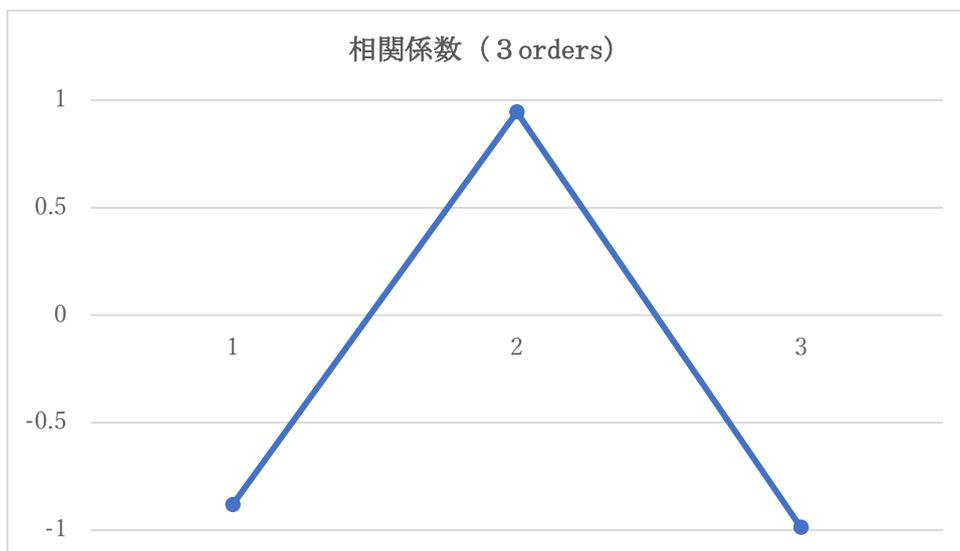


図 6.4 三つの作業指示書を組み合わせる場合の相関関係

7. おわりに

7.1 結論

本研究では、リレーピッキングにおける各エリアのバランスをとることにに関して検討を行った。その結果、下記のようなことがわかった。

まず、リレーピッキングを模擬したシミュレータを構築し、これを用いた検討から次のことがわかった。具体的に、

- (1) 各エリアの作業時間が等しくなるように作業指示書の組み合わせを作成すると良いということがわかった。(手待ちの削減)
- (2) 各エリアにおいて無駄な手待ちが起きないように、前工程となるエリアの作業が少し終わってから作業をはじめると良いということがわかった。(各エリアの稼働率の向上)

以上のことを踏まえて、本研究では遺伝的アルゴリズムによって、注文データから望ましい作業指示書を作成するプログラムを作成した。その妥当性を検証するために、無作為にオーダーの組み合わせを作成し、作業指示書を作成した場合と遺伝的アルゴリズムを用いた場合の比較を行った結果、遺伝的アルゴリズムを用いた場合の生産性が高くなっており、有効であることがわかった。

また、リレーピッキングにおける作業指示書がどのように変化するかその傾向を捉え、作業指示書同士の組み合わせによる関係性を明らかにする検討を行った。このことから、次のようなことがわかった。

- (3) 各作業エリアの作業時間が同程度のオーダーを組み合わせでバッチを構成する傾向にある。
- (4) また、(3)とは異なり、各作業エリアの作業時間の大小関係が異なるオーダーを組み合わせ、バッチ内の各作業エリアの作業時間が同程度となるようにオーダーを組み合わせでバッチを構成する傾向にある。

最後に、プログラムで作成した作業指示書同士に相関分析を行い、次のことがわかった。

- (5) 二つのオーダーを同バッチに組み合わせると、エリアの間の作業に強く異なるオーダー同士で同バッチに作成する傾向にある。
- (6) 三つのオーダーを同バッチに組み合わせると、一つのオーダーはほかと比べて大きく異なる傾向にある。

以上のことで、本研究では、リレーピッキングを対象に生産性を向上するための作業指示書の作成方法について検討を行った。その結果、リレーピッキングのシミュレーションから各作業エリアの作業時間が等しくなるように作業指示書を作成することが望ましいことを明らかにするとともに、遺伝的アルゴリズムを用いた作業指示書の作成プログラムを構築

した。

7.2 今後の課題

本研究は、リレーピッキングの各エリアの面積が同様でないことを考慮していない。また、各係数の値の関係について考慮していない。今後はこれらのことについて考慮し、より詳細な検討を行っていく必要がある。

そして、作業指示書のグループ（バッチ数）そのものの組み合わせ問題がリレーピッキングの仕事待ち時間に大きく影響するので、これらのことについて検討を行う必要があるとわかった。

謝辞

本研究を進めるにあたり、多大なご指導を賜りました指導教員の黒川先生に深く御礼申し上げます。また、研究の助言をくださった研究室の先輩方と学部生の皆様に感謝いたします。

参考文献

1. 経済産業省「電子商取引に関する市場調査の結果を取りまとめました～国内 BtoC-EC 市場規模が 16.5 兆円に成長。国内 CtoC-EC 市場も拡大～」
<http://www.meti.go.jp/press/2018/04/20180425001/20180425001.html>
2. 総務省統計局「家計消費状況年報（平成 27 年）結果の概況 I インターネットを利用した支出の状況」
<http://www.stat.go.jp/data/joukyou/2015ar/gaikyou/pdf/gk01.pdf>
3. 総務省統計局「第 2 章 人口・世帯 2-1 人口の推移と将来人口」
<http://www.stat.go.jp/data/nihon/02.htm>
4. EDWARD H. FRAZELLE, Ph.D. : Warehousing and Material Handling, McGraw-Hill (2001)
5. 臼井 秀彰, 田中 彰夫「物流センターのしくみ」同文館出版 pp180, 181
6. 藤枝浩, 佐藤知一, 石井信明: 効率的なバッチピッキング(リレー方式)を行うための作業指示作成手法の提案, 日本オペレーションズ・リサーチ学会, 2006 年秋季研究発表会, pp. 212-213
7. Jason Chao-Hsien Pan, Ming-Hung Wu, A study of storage assignment problem for an order picking line in a pick-and-pass warehousing system, Computer&Industrial Engineering57(2009), pp. 261-268
8. Rene B. M. de Koster, Tho Le-Duc, Nima Zaerpour, Determining the Number of Zones in a pick-and-sort Order Picking System, International Journal of Production Research, Volume 50, 2012-issue3, pp. 757-771
<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00711443/document>

9. 柯 晟劼, 趙 潔, 黒川 久幸, 麻生 敏正:注文データに基づくピッキング方式の選定に関する研究, 日本物流学会誌, 2013 年第 21 号, pp. 151-158