

# ピッキング作業効率化のための部品倉庫ロケーション最適化

2018SS008 袴田将孝 2018SS016 廣見友則 2018SS031 河合亮良

指導教員：三浦英俊

## 1 はじめに

近年、インターネットを利用した通信販売を行う企業はますます増加している。このような企業は、物流倉庫に商品を整理して並べて置き、メールやウェブサイトから送られてくる注文に応じて商品をピッキングして発送する。物流倉庫の管理運営を効率的に行うことによって企業経営も効率的となる。本研究ではピッキングのための効率の良い倉庫内の商品配置について研究を行う。

本研究では岐阜県にある自転車用品を専門に通信販売を行う企業のデータを用いて研究を行う。自転車部品が約1万種類とたくさんの種類があり、ピッキング作業に時間がかかり、年間のピッキング件数は約38万件、一日平均は約1050件のピッキングが行われており、とても大変である。

そのため、自転車部品倉庫での従業員のピッキング作業の時間を削減するために、各倉庫の距離を測定し、最短距離と商品移動について考察する。

## 2 物流倉庫の概要

対象とする企業は、2つの物流倉庫を運用している。一つを新倉庫、もう一つを旧倉庫と呼んでいる。物流倉庫では商品を格納するスペースに住所や番地に相当するロケーション番号が設定されている。本研究では、2つの倉庫の中には1フロアから6フロアまでである。1, 2, 3フロアがそれぞれ、新倉庫1階, 2階, 3階となり、4フロアが旧倉庫1階, 5, 6フロアが旧倉庫2階となっており、ロケーション番号の先頭の数字が各フロアの数字となっている。具体例として、3AT101は3フロア, 4AT202は4フロアとなり、商品を探しやすくすることができる。このことをロケーション管理と言う。一般に、ロケーション管理には2つの種類があり、決められた場所に決められた商品を保管する固定ロケーション、空いているスペースに在庫を入れるフリーロケーションという2つの管理方法がある。今回の倉庫では固定ロケーションを採用しており、決められた場所に決められた商品を保管している。このことから、ピッキング件数の多い商品、少ない商品をフロアごとに可視化をし、フロアの移動手段である階段から遠い商品を近づけ、ピッキングにかかる移動距離を短くする方法を探す。

次に、ピッキングの方法を説明する。まず作業員は3階に訪れる。コンテナ籠を持ち、ピッキングを行う。3階にある商品のピッキングを終えたら3BT15の横にあるカート置き場へ行く。その後カート置き場にあるカートにコンテナ籠を置き、3階から、2階へ降りる。次に2階にある商品のピッキングを行う。2階のピッキングを終えたら1階へ降り、1階で商品をまとめて発送する。この時、カートはエレベーターを利用して下の階に降り、作業員は階段

を利用して下の階に降りる。

対象とする企業の倉庫の概要を下の図1に示す。

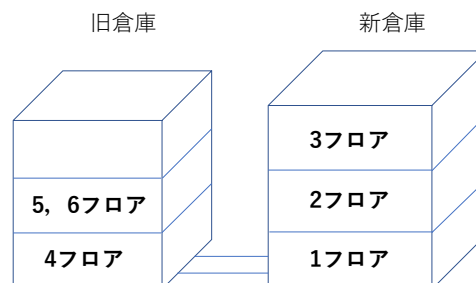


図1 倉庫の概要

新倉庫と旧倉庫は通路をはさんで隣り合わせになっており、新倉庫と旧倉庫はともに3階建てになっている。旧倉庫3階は海外の商品の備蓄をしており、本研究では取り扱わない。また、新倉庫と旧倉庫を行き来する際に、1階でのみ移動可能である。

## 3 研究の目的

本研究は、自転車部品倉庫のピッキング作業を行っている従業員の作業量を削減することが目的である。ピッキングに要する移動時間に着目し、ピッキングの移動距離をなるべく短くなるように商品の倉庫内の配置場所の変更を検討する。他フロアへの移動の際に必ず経由する階段の近くへピッキング頻度の高い商品を配置したい。

そのために、階段から離れていてかつピッキング件数の多い商品をリストアップし、これらの商品を階段の近くに配置して効果検証を行うことを目標に進めていく。

## 4 使用データ

本研究では、以下のデータを倉庫を運営する自転車部品販売企業から提供を頂いた。

### 4.1 自転車部品倉庫での出荷データ

2019年12月1日から2020年11月30日までのデータを使用し、そのデータには出荷される得意先、引当状態、引当数、受注日、出荷予定日、商品コード、商品名、単位、数量、取引区分、出荷量、商品出荷区分、ロケーション、得意先コード+ロケーションが明記されている。

### 4.2 ピッキング処理数

2019年12月1日から2020年11月30日までのピッキング件数の合計、商品コード、商品名、ロケーション場所

が明記されている。

## 5 物流倉庫のレイアウト図

ピッキングを行う商品の最適な配置場所を検討するため、すべての商品を2019年12月1日から2020年11月30日におけるピッキング件数の合計を降順に並び替えた。上位30位を算出し、上位1~10を赤色、11~20をオレンジ色、21~30を黄色にそれぞれ色分けを行ったレイアウト図を元に考察を行う。

レイアウト図は下の図2, ..., 図6に示す。おおよその大きさは体育館のハーフコートくらいである。

### 5.1 全体のピッキング頻度別色分け図

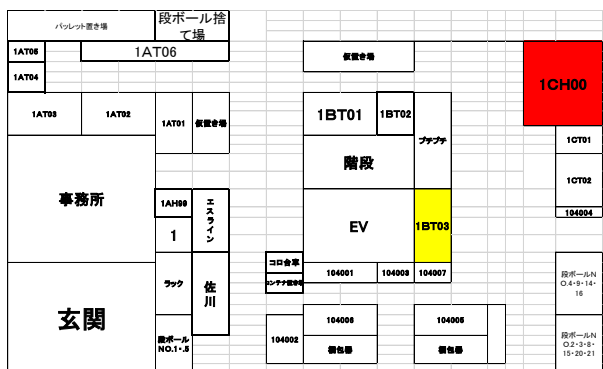


図2 1フロア

1フロアは上位30位の商品が2品のあるが、1フロアには事務所と玄関があり、商品倉庫のスペースは小さく、主として発送のための作業の場となっている。このことから最適化を行う必要はないと考える。

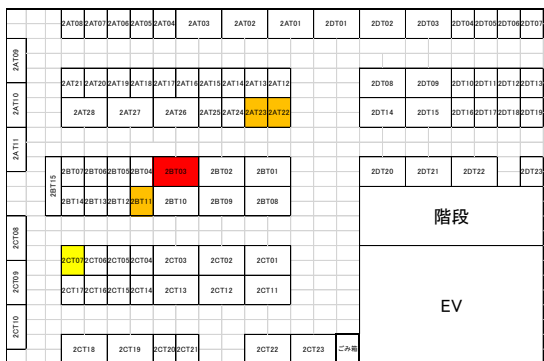


図3 2フロア

2フロアは3フロアの1/3ほどの大きさであり、自転車のタイヤが多く置いてあり、比較的大きな商品が多く配置されている。2フロアには上位30位の商品が5品のあり、3フロアに次いで商品移動が必要なフロアとなる。2CT07において、階段から遠い場所に配置されていることか読み取れる。このことから、階段の近くに移動するべきだと考える。

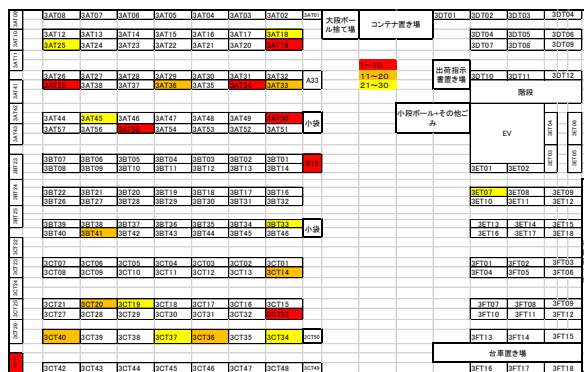


図4 3フロア

3フロアは商品倉庫のスペースが大きく、縦18m、横22mの大きさがある。ブレーキ装置の一部であるブレーキシューや、自転車用傘立てなどといった比較的小さい商品が多く配置されている。3フロアには上位30位の商品が22品あり、すべてのフロアの中で最も商品移動が必要なフロアである。3CT19、3CT20など上位30位に入っている商品が階段から遠い場所に配置されていることか読み取れる。このことから、階段の近くに移動するべきだと考える。

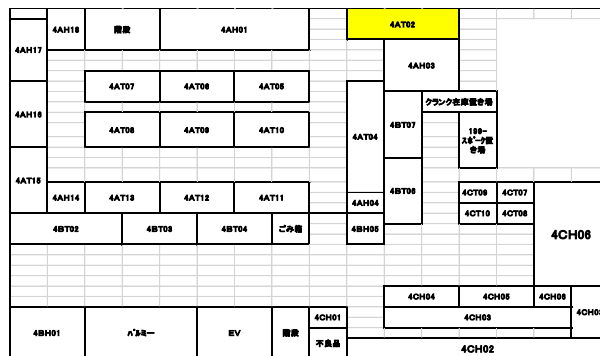


図5 4フロア

4フロアは新倉庫3階と同じくらいの大きさがあり、商品倉庫のスペースは広いが、自転車の後ろに付けるバスケットや、ヘルメットなど比較的大きな商品が多く配置されていることから移動させることが困難である。

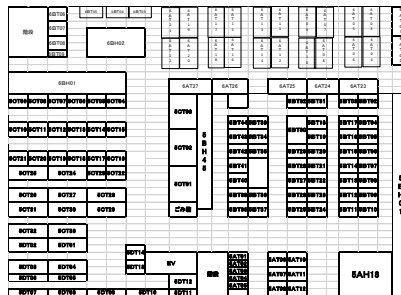


図6 5, 6フロア

5, 6フロアには上位30位の商品が1つも無いことが読み取れる。

み取れる。

## 5.2 フロア別ピッキング頻度別色分け図

図2, ..., 図6は倉庫全体のピッキング件数をもとに作成した図であったが、各フロアごとのピッキング件数を見ていく。上位1~10を赤色、11~20を黄色、ピッキング件数が365回以下の商品を青色に色分けしたレイアウト図を作成し、色分けしたレイアウト図を元に考察を行う。下のレイアウト図は最適化が重要だと考えた3フロアの図であり、図7に示す。

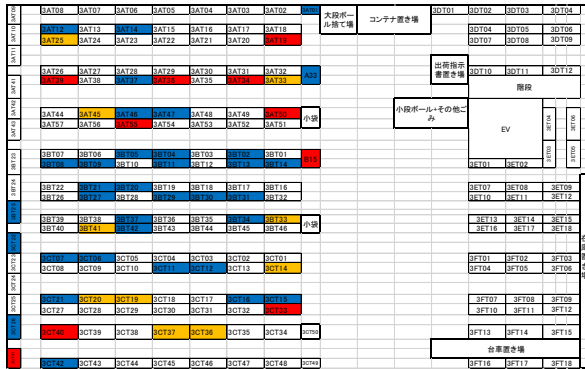


図7 3フロア

3CT19, 3CT20, 3CT40や3CT41など上位20位に入っている商品が階段から遠い場所に配置されていることが読み取れる。このことから、階段に近づけることによりピッキングの移動距離を減少させることができると考える。また、A33, 3AT01, 3BT02や3BT14などピッキング回数が365回以下の商品が階段付近にあることが読み取れる。このことから、ピッキング件数が多く階段から遠い場所に配置されている商品と、ピッキング件数が少なく階段から近い場所に配置されている商品を入れ替えることによりピッキングの移動距離を減少させることができると考える。

## 5.3 レイアウト図から読み取れる現状の課題

全体のピッキング頻度別色分け図を見ると、上位30位の9割が2, 3フロアに集中しており、特に3フロアに多くの商品がピッキングされていることが分かる。このことから、3フロアの商品配置の最適化を中心に考える。1, 4フロアにおいて、上位30位に入る商品は配置されているが、事務所や発送のための作業の場として使用していたり、大きな商品が多く配置されていることから移動させることが難しく、最適化を行う必要はないと考える。5, 6フロアにおいて、ピッキング件数の多い商品を3フロアに移動させることで5, 6フロアに行く回数が減少し、移動距離も減少することができる。

フロア別のピッキング頻度別色分け図を見ると、赤色の上位20位の商品の一部が階段から離れていることが読み取れる。また、青色のピッキング件数が365件以下の商品が階段付近にあることが読み取れる。このことから、ピ

ッキング件数が多く階段から遠い場所に配置されている商品と、ピッキング件数が少なく階段から近い場所に配置されている商品を入れ替えることによりピッキングの移動距離を減少させることができると考える。

## 6 出荷データから分かる現状

2019年12月1日から2020年11月30日の出荷データからお客様の1回の注文でピッキング件数がどのくらい行われているのかを下の表1に示す。

表1 出荷データ当たりのピッキング件数

ピッキング件数	度数	比率 (%)
1~5	37203	62.0
6~10	14513	24.2
11~15	4213	7.0
16~20	1434	2.4
21~25	759	1.3
26~30	509	0.8
31~	1334	2.2
合計	59965	100.0

2019年12月1日から2020年11月30日の総注文件数は59,965回であり、1日当たり約164回の注文がある。1回の注文のピッキング件数の最大値が449件、最小値が1件である。1回の注文あたりの平均ピッキング件数は6.34件である。

度数分布表よりピッキング件数が1~10件のものが大半を占めており、1回の注文で多くの件数を要するものはあまり多くないことが読み取れる。また、ピッキング件数が31件以上の注文は1334回あり、全体の約2%である。

## 7 ピッキング件数のデータ分析

2019年12月1日から2020年11月30日の出荷データを集計し、フロアごとにピッキング件数の大小を比較する。

### 7.1 ピッキング件数の合計、商品数、1商品当たりの平均ピッキング件数の比較

ピッキング件数の合計、商品数、1商品当たりの平均ピッキング件数を算出し、表2に示す。

表2 ピッキング件数の合計、商品数、1商品当たりの平均ピッキング件数を表した表

	1707	2707	3707	4707	5,6707	全体
ピッキング件数	17282	64003	191228	30613	27670	383126
商品数	725	1896	3565	213	1579	8095
1商品当たりの平均ピッキング件数	23.8	33.8	53.6	143.7	17.5	47.3

ピッキング件数、商品数ともに3フロアが最も多く、1商品当たりの平均ピッキング件数に関しては4フロアが最

も多く、次いで3フロアが多いことが読み取れる。このことから3フロアの商品配置の最適化が必要であると考えられる。それに比べ、5, 6フロアは17.5件と低いことがわかる。

## 7.2 ピッキング件数別での各フロアと全体の割合

ピッキング件数別での各フロアと全体の割合を比較し、表3に示す。

表3 ピッキング件数別での各フロアと全体の割合

	1フロア	2フロア	3フロア	4フロア	5,6フロア	全体
0~100	94.62	87.39	80.17	46.01	95.76	85.56
100~200	1.66	7.86	11.78	24.41	3.67	8.55
200~300	1.24	2.00	3.98	8.92	0.44	2.66
300~400	0.14	0.95	1.71	10.80	0.13	1.31
400~500	0.55	0.68	0.95	5.16	0	0.77
500~	1.79	1.11	1.40	4.69	0	1.16
合計	100	100	100	100	100	100

すべてのフロアにおいて0~100件の割合が最も高いことが読み取れる。1, 5, 6フロアは約95%, 2, 3フロアは約80%であることが読み取れる。しかし、4フロアにおいては、46%と他のフロアよりも0~100件の割合が低いことが分かった。この結果から4フロアは他のフロアより件数にばらつきがあることが読み取れる。また、全商品を見ていくとすべてのフロアと共通して0~100件の割合が最も高く、約85%であると読み取れる。

## 8 ダイクストラ法

ダイクストラ法とは、最短経路や最短距離を求めるのに最も手間が少なく効率的なアルゴリズムである。全ての距離が負でないときダイクストラ法を用いることができる[1]。本研究では、ダイクストラ法を用いて、各ロケーション間の距離の計算を行った。

### 8.1 文字の定義

$N$  : 全てのノードの集合として、( $i \in N, j \in N$ )とする。

$M$  : 最短経路が確定しないノードの集合

$d_{ij}$  :  $n_i$  から  $n_j$  までの距離

$s$  : 始点のノード番号

$n_s$  : ノード番号  $s$  のノード  $v_i$  :  $i$  までの距離

$p_j$  : ノード  $j$  までの最短経路における  $j$  の直前のノード

$n_s$  : ノード番号

### 8.2 手順

#### 手順1

$v_s = 0, v_j (j \neq s), i = s, M = N - s$  とする。

#### 手順2

$j \in M (d_{ij} > \infty$  である  $j$  に限ってよい) に対して

$$v_j > v_i + d_{ij}$$

ならば

$$v_j = v_i + d_{ij}, p_j = i$$

とおく。

#### 手順3

$$\min_{j \in M} v_j = v_{j_0} (j_0 \in M)$$

となる  $j_0$  を求める。

#### 手順4

$j_0$  を  $M$  から除く。  $M = \emptyset$  ならば終了。

そうでなければ、 $i = j_0$  において手順2に戻る。

手順4で  $M$  から除かれた  $j_0$  については、 $v_{j_0}$  は  $n_s$  からの  $n_{j_0}$  への最短距離を示しており、その後、値が変化することはないので永久ラベル (permanent label) がついている点をいう。

それに対して、 $M$  に含まれている  $j$  については、手順2で  $v_j$  の値が変化することはあり得るので、一時ラベル (temporary label) のついている点という。

## 9 ピッキング距離最小順路問題

ピッキング総数を計算し、3フロアの階段から各商品までの距離をグラフ化し移動させる商品をリストアップする。企業からもらったデータでは1つの注文でどの商品をピッキングしたのかはわかるが、倉庫内をどのように巡回してピッキングしたのかはわからないので、ピッキング距離を推定する。そこで、ピッキング作業員が最短距離でピッキングすると仮定して、ピッキングの商品リストをもとに倉庫内をピッキングしながら移動する最短距離を計算する。そのために以下のような計算を行う。

$P$  : ピッキングを行う商品の集合

決められたスタート地点から  $P$  に含まれる商品を全てピッキングして再びスタート地点に戻る巡回路のうち、最短経路となる経路を求める。ある地点や経路を2度以上通ってもよい。ここでは、 $P$  に含まれる商品のピッキング順を全てしらみつぶしに調べる。

### 9.1 3フロアのノード間の距離

3フロアのノード間の距離は図7の3フロアのレイアウト図を参考に作成した。図7には商品を格納するスペースにロケーション番号が描かれている。また、カートを下の階に下ろすための利用するエレベーターや作業員が下の階に降りるために利用する階段などが描かれている。商品を格納するスペースの間が作業員の通路となる。3フロアのノード間の距離は図8に示す。

黒線は作業員の通路を表しており、白丸はノードを表している。赤丸はスタート地点であるカート置き場のノードを表す。作業員が下の階に降りるために利用する階段はオレンジ色、カートを下の階に降ろすために利用するエレベーターは緑色で表す。3フロアの大きさとして、縦18m、横22mである。

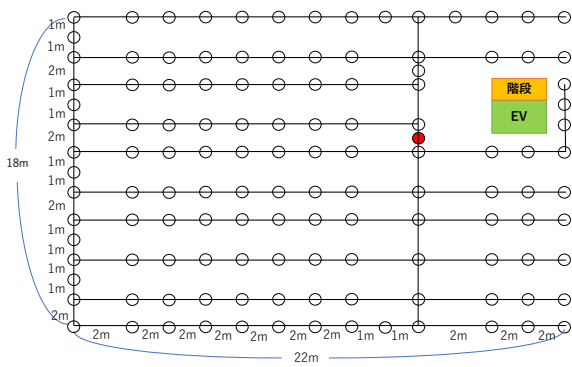


図 8 3フロアのノード間の距離

共同研究を行った企業との話し合いの結果、3フロアではカート置き場をスタート地点とする。理由として、ピッキング作業に使用するコンテナ籠はカートの上に置いてあり、作業員はコンテナ籠を持つためにカート置き場を立ち寄る。また、コンテナ籠がいっぱいになった場合、カート置き場に新しいコンテナ籠と交換しなければならない。このことからカート置き場を中心にピッキング作業を行っていることがわかり、3フロアではカート置き場をスタート地点とする。

## 10 仮想出荷データにおけるピッキングシミュレーション

仮想出荷データとは、ピッキング件数に基づき、乱数を用いて5商品を選んだ仮想注文リストである。ピッキングする作業員は仮想注文リストに記載された5商品をピッキングしてカート置き場からスタートしてカート置き場へ戻るため、その移動距離を計測する。[2]ピッキングシミュレーションの商品個数を5個とした理由として、表1の出荷データ当たりのピッキング件数より、ピッキング件数が1~5件のものが62%と大半を占めていることから、ピッキングシミュレーションの商品個数を5個にした。また、ピッキングシミュレーションの商品個数を10個にした時、平均距離は1%ほどしか変わらなかったためである。ピッキング件数の最も多い3フロアにおける仮想ピッキングデータを1000件作成し、最短距離を計算した。その距離の度数分布表を表4に示す。

表4 3フロアの移動距離を表した表

移動距離 (m)	度数	比率 (%)
0~40	11	1.1
41~50	30	3.0
51~60	172	17.2
61~70	300	30.0
71~80	368	36.8
81~90	104	10.4
91~100	15	1.5
合計	1000	100.0

5商品をピッキングする際の最大値は100m、最小値は26mとなった。移動距離の平均は69.5mである。移動距離が40m以下のものは11件と最も低い割合であり、71~80mが368件と最も高い割合となっている。

### 10.1 商品配置最適化シミュレーション

自転車部品販売企業による海外商品の移動、移動不可商品を除く上位200商品を移動、移動不可商品を除く上位200件を1列に移動、自転車部品販売企業が以前移動された36商品をカート置場近くに移動かつ移動不可商品を除く上位200商品を1列に移動、最も注文の多いお客様からの注文数上位50商品を移動の5つのパターンやその組み合わせを用いて、5商品×1,000通りのシミュレーションを行った。平均距離がどのように変化をしたか見ていく。移動した場所を図9、..., 図13に示す。

#### パターン1 自転車部品販売企業による海外商品の移動

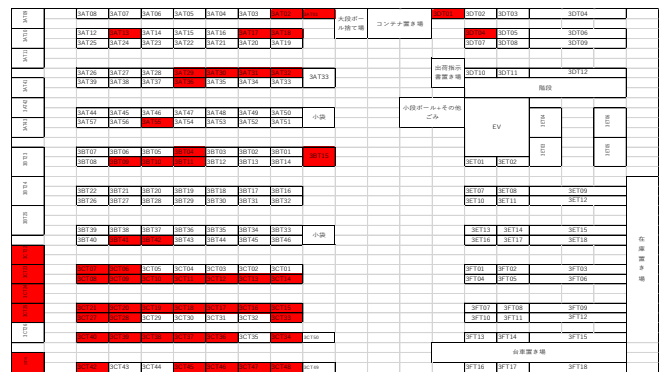


図9 パターン1

#### パターン2 移動不可商品を除く上位200商品を移動

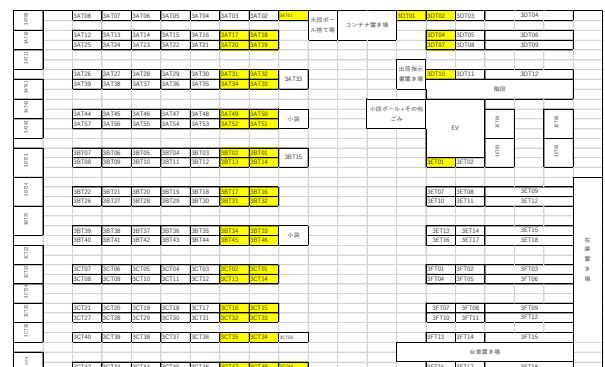


図10 パターン2

#### パターン3 移動不可商品を除く上位200件を1列に移動

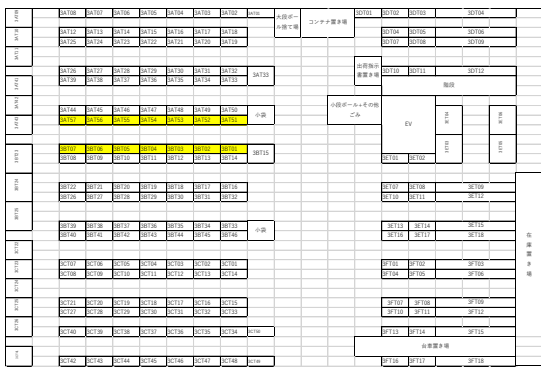


図 11 パターン 3

パターン 4 自転車部品販売企業が以前移動された 36 商品をカート置場近くに移動かつ移動不可商品を除く上位 200 商品を 1 列に移動

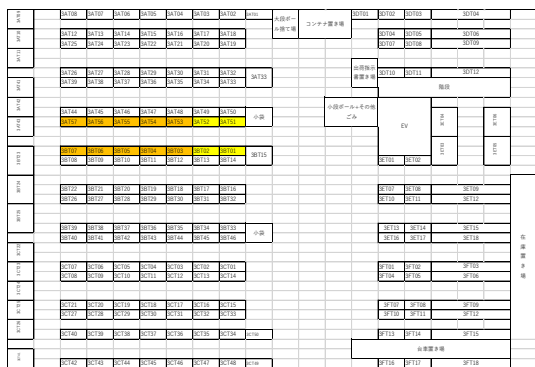


図 12 パターン 4

パターン 5 お得意様からの注文数上位 50 商品を移動

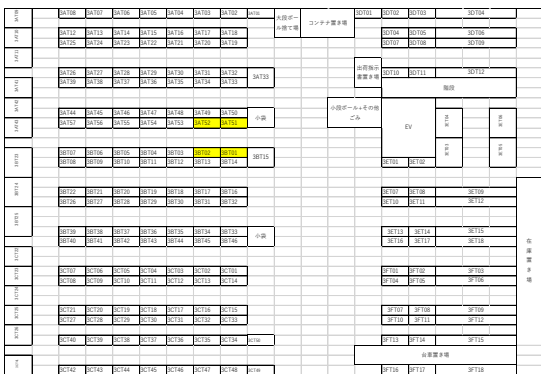


図 13 パターン 5

## 10.2 シミュレーションの結果

お得意様を限定することなく、3フロアにおける全ての商品のピッキング件数をもとに仮想ピッキングデータを作成し、いくつかのパターンでシミュレーションを行うと表 5 のようになる。

表 5 3フロア全商品のシミュレーション

	現在	1	1,2	1,3	4
平均距離	69.5	69.4	61.3	60.1	62.1

表 5 より、パターン 1 である自転車部品販売企業による海外商品の移動だけを行っても 69.4m と現在の平均距離とあまり変わらないという結果となった。次にパターン 2 である移動不可商品を除く上位 200 商品を移動させたパターンとパターン 1 を組み合わせたシミュレーションを行った。結果として、61.3m と平均距離を約 8m 短くすることができることが分かった。そして、パターン 3 である移動不可商品を除く上位 200 商品を 1 列に移動させたパターンとパターン 1 を組み合わせてシミュレーションを行った。結果として、60.1m と平均距離を約 9m 短くすることができることが分かった。最後にパターン 4 である自転車部品販売企業が以前移動された 36 商品をカート置場近くに移動かつ移動不可商品を除く上位 200 商品を 1 列に移動させたパターンのシミュレーションを行った。結果として、62.1m と平均距離を約 7m 短くすることができることが分かった。さまざまなパターンのシミュレーションを行い、パターン 1 とパターン 3 を組み合わせた時に平均距離が最小になる。

次に、最も注文が多いお得意様に限定し、仮想ピッキングデータを作成した。シミュレーションを行うと、現在は 70.1m、お得意様からの注文数上位 50 商品を移動後 43.8m となる。この結果からお得意様からの注文数上位 50 商品をカート置場の近くに移動させると、平均距離は約 27m 短くすることができる。

## 11 おわりに

本研究では、ピッキング作業効率化のための部品倉庫ロケーション最適化について研究を行った。最もピッキング件数が多い 3 フロアの施設配置の最適化を行い、海外商品がある程度の距離に近づけ、移動先を 1 列にするなど、前提条件を変更し移動先を工夫するなどして、移動距離を減少させることができるという結果がでた。今後として、実際に商品を移動させ、作業時間の変化や作業員の負担についてどのように変化したか調査したい。

## 参考文献

- [1] 伊理正夫・古林隆：『ネットワーク理論』日科技連出版社、東京、1981。
- [2] 並木誠：『Python による数理最適化入門』朝倉書店、2018。