物流倉庫におけるピッキングの最適化

上野　大樹[1]・平田　燕奈[2]

[1]学生非会員　神戸大学海事科学部グローバル輸送科学科ロジスティクスコース
Email: du25-2001@yahoo.ne.jp
[2]正会員　神戸大学大学院　海事科学研究科（〒658-0022 兵庫県神戸市東灘区深江南町 5-1-1）
E-mail: enna.hirata@platinum.kobe-u.ac.jp (Corresponding Author)

本研究は，物流業界の変革を促進し，物流に関わる人手不足の解消や DX 化への対応を目指して，倉庫運用の効率化に焦点を当てた．倉庫運用には，人員の最適配置，レイアウトの最適設計，自動運搬機の利用など，多くの要因が関与しており，これらを組み合わせて効率化を図った．具体的には，既定のスペース内で，限られた人員とピッキングロボットの最適な運用方法を開発した．そのために，従事者の数，倉庫の容量，商品の種類などの制約条件を整理し，数理最適化ソルバーである Gurobi を用いて，総距離の最小化を行った．また，商品タイプにおいては，ABC の優先度の有無を考慮し，ピッキングルートでは片側ピッキングと両側ピッキングの比較を行い，レイアウトにおいても各スペースの容量，ラックの段数などの比較も行った．本研究の成果は，倉庫運用の最適化を実現し，物流全体の効率化に貢献する．これにより，物流業界における人手不足の問題を軽減し，DX 化を進める一助となることが期待される．

Key Words: *Gurobi, Mathematical Optimisation, Warehouse operations, Logistics, Warehouse layout*

1. 始めに

近年の日本においての荷動きの増加は目覚ましく，それに伴う倉庫需要の増加は明らかである．倉庫管理は完成品だけでなく，部品や資材を保管し，世界中のサプライヤーからの資材を集め，合理的且つ統一的に提供する役割を担っているため，サプライチェーンマネジメント(Supply Chain Management: SCM)に欠かせない．[1)]日本は古くから商業で栄えた貿易大国であり，常にモノが出入りしている．そのため，物流を常に動かし，効率化を図ることは非常に重要である．倉庫業は島国である日本と世界を結ぶ重要な拠点である．従って，倉庫業の効率化は物流全体の効率化に繋がる．

現在，日本の物流における大きな課題の一つに，2024 問題が挙げられる．2024 年問題とは，「働き方改革関連法」の施行により，2024 年 4 月 1 日以降の運転業務の時間外労働の上限が年間 960 時間に設定されることを指す．この問題により，トラック運送業の実労働時間の減少を引き起こし，物流業界に大きなダメージを与えると考えられる．その中，いかにスムーズに物流を回すか，いかにロスタイムを減らすかが課題とされている．

また，倉庫業は今後デジタル・トランスフォーメーション(DX: Digital Transformation)や自動化が推進される分野として期待される．三井倉庫ホールディングス [4)]は，SCM におけるデジタル情報を見える化を進めるため，2025 年 3 月期まで約 100 億円の DX 投資を計画しており，SCM 情報をデジタル化し，社会価値創出に活用するデジタル物流企業を目指すとしている．倉庫を自動化するためには，通路幅やラック形状など，機械がスムーズに移動できるようなレイアウトにする必要がある．少子高齢化や輸送の小口化など考えると，日本では物流業界での人員削減は確実に行われる業界の 1 つである．そのため，より早急な対策が求められている．

これらの問題を解決し，物流全体の効率化を推進するためには，倉庫における効率化が重要な役割を果たす．倉庫関連研究の成果は，実際の倉庫現場において現場の人員配置やシフト，商品の配置などに活かせる，また実際に新規事業の立ち上げに携わる際にも，倉庫設計，倉庫の効率化に役立てることができる．以上が本研究の動機である．

本研究では，倉庫におけるピッキングとレイアウトに焦点を当てたい．その理由は以下 2 点で挙げる．

1 つ目は，日本では倉庫に使える土地が限られているからである．日本は広大な国土を持つ国ではなく，土地が限られている．海岸沿いのターミナル付近には倉庫や荷捌き施設などが密集しており，大型倉庫を建てる余裕がない．倉庫のレイアウトの要素には，倉庫自体の容積からスタッフの数，ラックの形態や配置など，あらゆるものが含まれる．これらの要素を調整することで，倉庫レイアウトの変更から倉庫業務の効率化を図ることが可能である．

2 つ目は，物流は時には不安定で，社会情勢や政治情勢の影響を受けやすいという特徴がある．こうした不確実性の影響を最小限に抑えるためには，倉庫内でのピッキング作業に柔軟なシステムを持つことが重要である．近年，在庫の重要性が新型コロナウイルス感染症によって見直された．Singh ら [5]は，COVID-19 パンデミックは，ほとんどすべての製造・物流活動が停止したため，世界的に悪影響を及ぼした例外的なケースであったと報告している． 商品の出入りが激しい小売業の倉庫作業では，商品の入庫，仕分け，陳列などの作業において，人によって作業スピードに大きな差が出る．また，在庫から再陳列がスムーズに行われず，時間的・人的ロスが大きくなることもある．ピッキングや巡回路の最適化は倉庫業務の重要な部分である．シンプルでありながら，現場の実情を踏まえた研究が必要である．このため，本研究はピッキングの最適化に焦点を当てる．

本研究では、倉庫内ピッキングにおける様々な現場要因を考慮したピッキングルートの最適化を行った。その結果、ピッキング作業中の作業内容の変化に対応し最適化することができ、同時に作業効率の向上を図ることができた。以下，第 2 章では，先行研究をレビューする．第 3 章では，使用するモデルを説明し，解法を提案する．第 4 章では，実験と結果を示し，実験結果に基づいて解法の有効性を示す．第 5 章では，結果について考察する．最後に第 6 章では改良と発展について述べる．

2. 先行文献レビュー

倉庫レイアウトに関して様々な研究が日本のみならず世界各国で行われている．例えば，Cardona ら [2]は世界的に主に使用されている縦と横に広がる伝統的なレイアウトではなく，斜めの交差通路を持つフィッシュボーンレイアウトを使用した研究を行った．また，Trab ら [3]は，商品互換性に基づく Radio Frequency Identification(RFID)を利用したレイアウトやピッキングルートに関する研究は，倉庫に関する代表的な研究の 1 つである．

以下，倉庫レイアウト，ピッキングルートのそれぞれに関連する論文のレビューを行った．

(1) 倉庫のレイアウトについて

倉庫のレイアウトに関する研究の 1 つに，モノのインターネット(IoT : Internet of Things)を活用した研究分野がある．Lee ら [6]は IoT を用いてスマートロジスティクスのための倉庫管理システムを提案した．この論文では，倉庫管理の効率化を目指し，従業員数や SKU(Stock keeping Unit)などの要素を含むデータを用いて，倉庫管理システムに適したピッキング手法を提案した．提案内容は，ファジー理論，優先順位付けを行い，ピッキング手法の比較を行った．その結果，ピッキング時間の短縮による倉庫管理の効率化と倉庫の生産性向上を実現することができた．この研究のピッキング手法の決定方法は有用性が高いと考えられるが，複雑性や柔軟性の点で改善すべき点もあると考えられる．

(2) オーダーピッキング手法について

a) オーダーピッキング手法の概要

オーダーピッキングとは，発注されたオーダー単位でピッキング作業を行うことを言う．ピッキング作業を効率化する方法として，ロケーションの最適化，作業ルールの統一，ピッキングルートの最適化などがある．本研究では，ロケーションが一定で，作業ルールが統一されているという前提で，ピッキングルートの最適化を行う．

オーダーピッキング手法については，Roodbergen ら [7]は 6 種類のピッキングルートを提案した(図-1)．1 つ目は，最も基本的な S 字方式ある．この手法では，作業員はすべての通路を少なくとも 1 回は通る必要があり，その結果，総移動距離は最も大きくなる．2 つ目に Return 法である．この手法では各通路において商品をピッキングし終えると，下の通路に戻る作業を繰り返す．3 つ目の Mid-point 法で上側，下側の通路の近い方からピッキングを行う．この手法では通路当りのピッキング数が少ない場合に大きな効果を発揮できる．4 つ目の Largest gap 法では 1 通路に複数の仕事がある際に，上下の両側からピッキングするよりも，片側からピッキングする方が望ましい場合について考慮する手法である．この手法は Mid-point 法よりも常に良い結果をもたらす．5 つ目の Combined 法では以上の 4 つの手法を組み合わせたルートを提案し，そこから 5 つ目の optimal 法で最適なルートを提案する．

b) 2 点間距離の最適化

ピッキングルートの最適化は，2 点間の距離を最小化することで達成される．2 点間距離の最適化に関して，Shetty ら [8]はソルバーGurobi とプログラミング言語 Julia を用いてピッキングルートを最適化した．著者らは 2 つのパターンピッキングルートを比較した．1 つは倉庫全体に均一なロケーションを配置したものであり，もう 1 つ

はロケーションを区別するものである．最適化の実行には，距離行列を用いた単純なアプローチを用いられている(図-2).

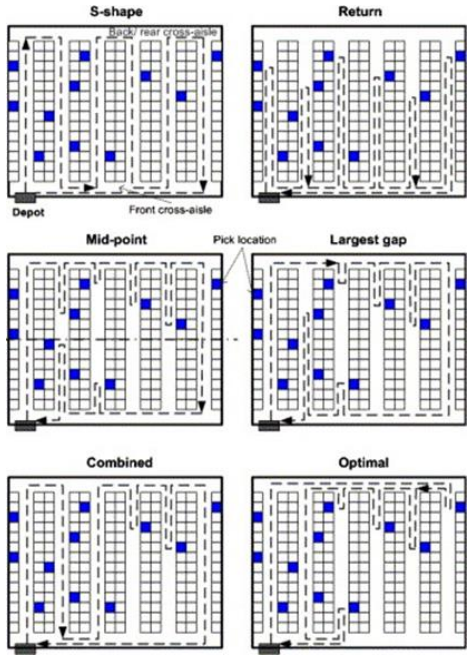


図-1　ピッキングルート案のイメージ

具体的には，縦に 3 段，横に 2 段のラックを並べ，各ラック間に通路を設けたシンプルなレイアウトを用いる．この場合，3 つのピッキングルートが考えられる．図-2 ではロケーション 1 からロケーション 2 へのルート案である．1 つ目のルートはロケーション 1 から左に移動してラックの外側を移動するルート，2 つ目のルートはロケーション 1 から右に移動してラックの外側を移動するルート，3 つ目のルートはラック間の通路を使って移動するルートである．この場合 3 つのルート案から最小値を採用し，2 点間の最適なルートの決定を行っている．このアプローチは，ラックの数や通路の変更に対応できるため，柔軟でシンプルかつ効果的である．

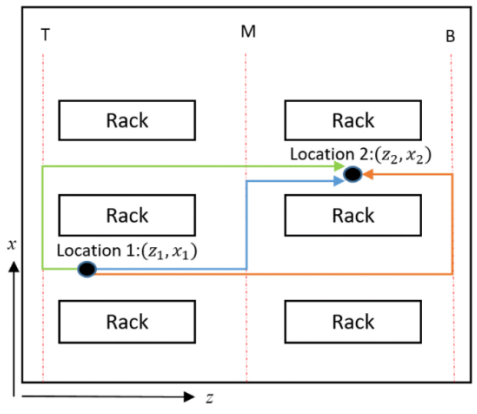


図-2　ピッキングルート案のイメージ

本研究での達成点，改善点を踏まえ，ピッキングの最適化，自動化の達成を目指す．これらの文献では，2 点間の最短距離を求め，最適なピッキングルートを導出していた．しかし，これらの研究では，モデルの単純性の欠如，導入の複雑性，現場でのオーダーの急変などには対応していなかった．本研究では，これらの弱点を克服し，単純なモデルにより理解しやすく，現場での急な作業追加という実務を考慮したモデルを開発する．

3.　モデル説明

本研究で使用したモデルのフローチャートは**図-3** にまとめた．

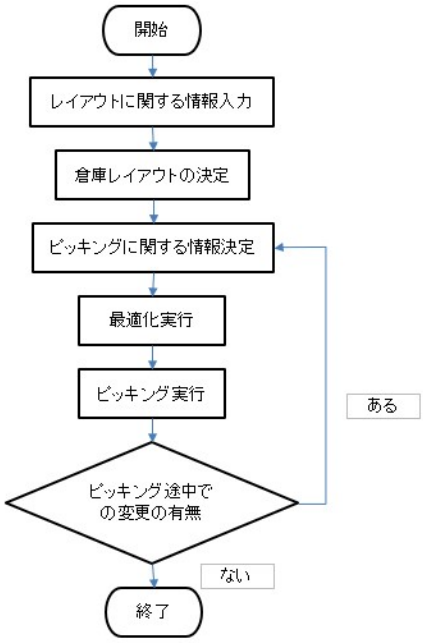


図-3　モデルのフローチャート

(1)　レイアウトモデル

前提条件として，本研究では従来の単純な倉庫レイアウトを使用する(表-1)．まず，倉庫のサイズや容量などの基本情報を指定し，それに基づいて倉庫レイアウトを設定する．

表-1　必要なレイアウト情報

縦の通路の数	St_aisle(ex 10)
横の通路の数	Cross_aisle(ex 3)
ラック 1 つにおける縦の商品ストレージの数	Vertical_rack (ex 4)
ラック 1 つにおける横の商品ストレージの数	horizon_rack (ex 2)

以上の情報を元に，シミュレーション用の倉庫レイアウトを決定する．ここで示された情報から倉庫レイアウトを図面化することで，商品のピッキングの仕事場所を決定することが可能になる．

a) レイアウトモデル（ABC 優先度，ラックの段数，デポジットの位置など）

レイアウトの変化はピッキング時間の短縮に大きく関わる．ABC 優先度は商品のピッキングの頻出度により商品の保管するする場所を決定する．ABC 優先度とは，入出荷の多い商品は入り口付近に，少ない商品は奥にと保管することで，ピッキングにかかる時間を短縮することが出来る．

ラックの段数においては，段数を増やせば収納できる商品の SKU 数は増えるが，その数やサイズに制限が生じる．ラックが大きすぎると，人間やロボットのピッキング範囲を超えてしまう可能性がある．保管する商品のサイズや倉庫自体の大きさを考慮し，ピッキング可能な範囲内でラックを選択する必要がある．また，ピッキングの始点である集荷場所の位置を変えることで，最短ルートは変化する．

以上より，レイアウトの変更による最短ルートが変化することは明らかである．本研究では商品サイズ，人間やロボットのピッキング可能範囲のデータを用いず，複雑化を防ぐため等の観点から，従来的単純なレイアウトを採用し，シミュレーションを行う．

(2) ピッキングモデル

最初のステップは基本情報の入力である．仕事はリスト a を用いて，仕事位置を順番に並んだ値として加える．ピッキングルートの始点と終点である depot（出発点）をタプルの先頭に含む．作業地点は倉庫レイアウト内のすべての作業地点からランダムに選択される．基本的なシミュレーションでは，ピッキング人数を 1 に設定されるが，ゾーンピッキングなどのシミュレーションを行う場合には，複数のピッカーを使用する(表-2).

表-2 必要なピッキング情報

仕事	a
ピッキング人数	1 or p (ex 3)

a) 2 点間距離の最適化

2 点間の距離の最短経路を導く必要がある．まず始めに$l_{i,j}$ をある仕事i,jの 2 点間の最短経路として用いる．図-2 で示されるようにレイアウトには障害物としてラックや通路制限があるため 2 点間の距離は 1 つとは限らず，様々な 2 点間ルートが存在する．またその際にルート案となる数はCross_aisle の数（横の通路の数）になる．Cross_aisle = 3 であった場合，2 点間の距離の種類は 3 つとなる．あるi,jにおいて route1$[i,j]$, route2$[i,j]$, route3$[i,j]$の 3 つのルート案から最短であるルート$l_{i,j}$を求める．ルート案は以下の**図-4** のように考える．

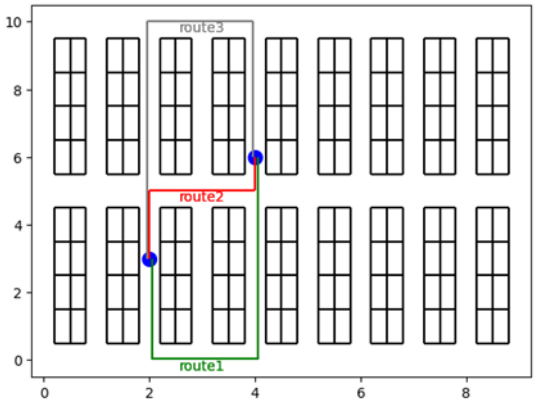


図-4 3 種類のルートのプロット

b) 数理最適化モデル

$$min \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} x_{ij} l_{ij} \tag{1}$$

$$subj\ to \sum_{i \in N} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in N \tag{2}$$

$$\sum_{j \in N} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in N \tag{3}$$

$$x_{i,j} = \{0,1\} \tag{4}$$

$$l_{ij} = \min(\text{route1[i,j]}, \text{route2[i,j]}, \text{route3[i,j]}) \tag{5}$$

$$u[i] - u[j] + N * x[i,j] <= N - 1 \quad \forall i,j \in N \tag{6}$$

本節では，モデルの数学的定式化を提案する．各仕事の位置をノードとして，全ノード集合aは$(x,y) = (0,0)$である depot，仕事の位置であるノードによって構成される．ノードの数はN = len(a)とする．i,j間の移動の平均速度は一定である．0-1 変数である$x_{i,j}$はノードiからノードjへの移動の指標として用いる．1 は各ノード間の移動を意味し、0 はそうでないことを示す．

この最適化モデルでは出発点から始まり，すべての指定されたノードを通り，出発点に戻ってくる場合の最短経路，最適解を見つけることを目標とする．

本節の数理最適化モデルの目的関数(1)ではオーダーピッキングルートの総移動距離の最小化，最適化を示している．次に制約(2)(3)では 1 つのノードに対して 1 本のエッジが入り，1 本のエッジが出て行くこと，つまり 1 ノード当り 1 度だけ訪問することを示す．制約(4)では$x_{i,j}$が 0-1 変数である事を示している．制約(5)では$l_{i,j}$がノードi,jの 2 点間の最短経路である事を示している．制

約(6)では部分巡回路の排除を行う．

c) ゾーンピッキング

ゾーンピッキングは複数のピッカーでピッキングを分けて行う場合に，エリアを分割しピッキングを行い，効率化を図る．

本研究では伝統的な倉庫を縦割，横割りの双方で最適化を行う．この際に分割したエリアにすべての仕事を振り分ける．そして一般的なゾーンピッキングを適用しないピッキング，縦割り，横割りの三種類を最適化したルートの総移動距離で比較を行い，どのピッキングルートが最適であるかを決定する．

d) 片側ピッキング

本研究では両側ピッキングとして考え，最適解を求める．しかし現場では片側ピッキングロボットを用いる場合も考えられる．ピッキングロボットは片側ピッキングで反転し両側ピッキングが可能なものと完全に片側ピッキングのものが存在する．前者では最適解を求める上で，回転に要する時間を考慮する必要がある．速度が一定であった場合，時間t(回転にかかる時間)に速度v(移動時の一定速度)を掛けた値を移動距離として加えることで最適化を行う．後者ではピッキング手法を完全に変更する必要があり，仕事の代わりにストレージの場所を指定し，左右を区別しピッキングルートの最適化を行う．

本研究では 2 つの仕事の位置が同じ場所を指した際にシンプルな人による両側ピッキングとロボットによる片側ピッキングで回転による両側ピッキングが可能な物の 2 種類で行う．上記のような片側ピッキングであった場合，以下のような制約を加える．

$$\text{Subject to} \quad l_{ij} = \text{tv} \ \forall i,j \in N,\ i = j \qquad (7)$$

この制約により，同じ場所でのピッキングであった場合，ロボットの回転時間，移動の速さを考慮した値を移動距離として加算される．

(3) 途中でのピッキング追加

実際の現場ではピッキング途中での急な仕事追加や仕事削除が行われる．完了した仕事の数をwとし，現在の位置をx, y座標の要素としてnowとする．また仕事の追加する場合の要素をadd，削除する場合，その対象とする座標要素をdeleteと定義し，それぞれのデータ(表-3)を用いて、新たなルート最適化を行う．

表-3 必要なレイアウト情報変更されるピッキング情報

現在状況	now = [(x, y), w]
削除する場合	delete = [(x, y)]
追加する場合	add = [(x, y)]

またこの場合基本の最適化とは異なり，終点と始点が異なる．よって始点(現在の位置)を$i = 0$終点を$i = 10$とし，以下の目的関数、制約を加える．

$$min \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} x_{ij} l_{ij} - l_{10,0} \qquad (8)$$

$$x_{10,0} = 1 \qquad (9)$$

目的関数(1)ではすべての点を通る最適解から終点から始点の値を取り除き，始点から終点までの総距離を求める．また制約(9)では始点と終点をつなぐエッジを適用することで，始点と終点の認識をつける．

4. 実装

(1) レイアウト

本研究ではまず以下の値(表-4)を用いて倉庫レイアウトを表す．(図-5)

表-4 シミュレーションで用いる情報

$St_aisle = 10$
$Cross_aisle = 3$
$Vertical_rack = 4$
$horizon_rack = 2$

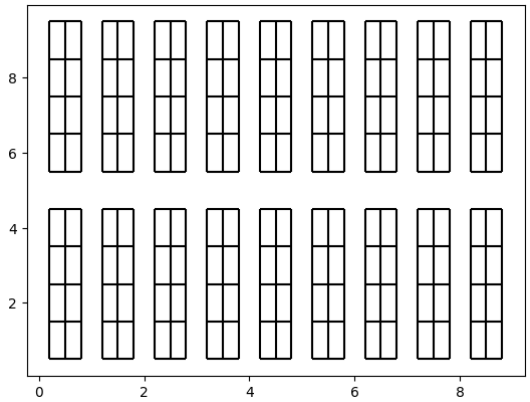


図-5 レイアウトのプロット

以上より，ピッキングロケーションは$x = [0,1,2,3,4,5,6,7,8,9], y = [1,2,3,4,6,7,8,9]$となる．

(2) ピッキング最適化

次に基本状況から仕事のプロットを行う．シミュレーションで用いる仕事の位置の要素は depot である$(0,0)$とラックのレイアウトに対応する仕事案から無作為に 9 つを選択した．ここで提案する仕事の位置のリスト a(表-5)をこれからのシミュレーションでも用いる．また図-6 にてリスト a を倉庫レイアウトにプロットする．

表-5 シミュレーションで用いる仕事のリスト

a	[(0,0), (7, 9), (2, 1), (5, 9),

	$(5,8),(3,1),(9,8),(1,8),(7,2),(3,7)]$

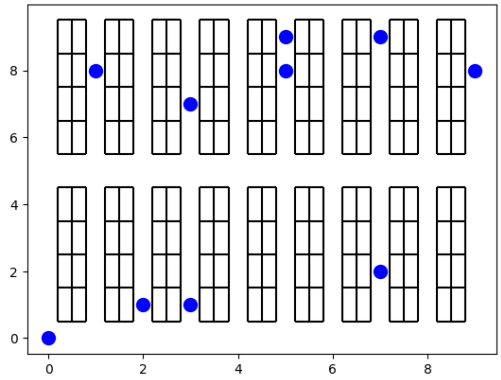


図-6　レイアウト上の仕事プロット

次に上記(図-4)で示した 2 点間の最短ルートを用いて，数理モデルの最適化を行った．(図-7，表-6)

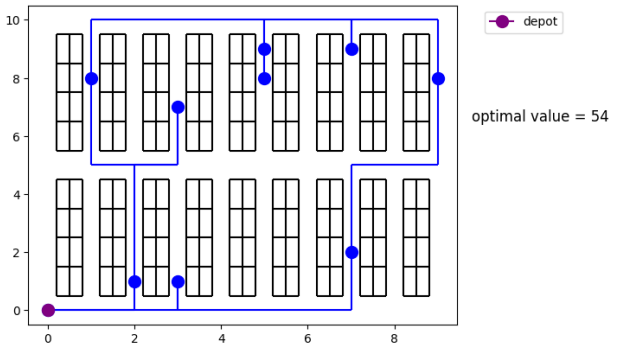


図-7　最適化されたルート

表-6　最適化の解

総移動距離	54
2 点間の移動 (i,j)	$[(0,5),(5,8),(8,6),(6,1),(1,4)$ $,(4,3),(3,7),(7,9),(9,2),(2,0)]$
座標の経路順リスト(x,y)	$[(0,0),(3,1),(7,2),(9,8),(7,9),$ $(5,8),(5,9),(1,8),(3,7),(2,1),$ $(0,0)]$

(3)　ゾーンピッキング

仕事の情報を考慮し，Non-zone picking では仕事の場所に関係なく，仕事の数が等しくなるよう，Zone picking(vertical) では $\forall x \in (0,1,2,3), \forall x \in (4,5,6), \forall x \in (7,8,9)$，Zone picking(horizontal) では $\forall y \in (1,2,3), \forall y \in (4,6,7), \forall y \in (8,9)$ で振り分け，最適化を行った。(図-8)

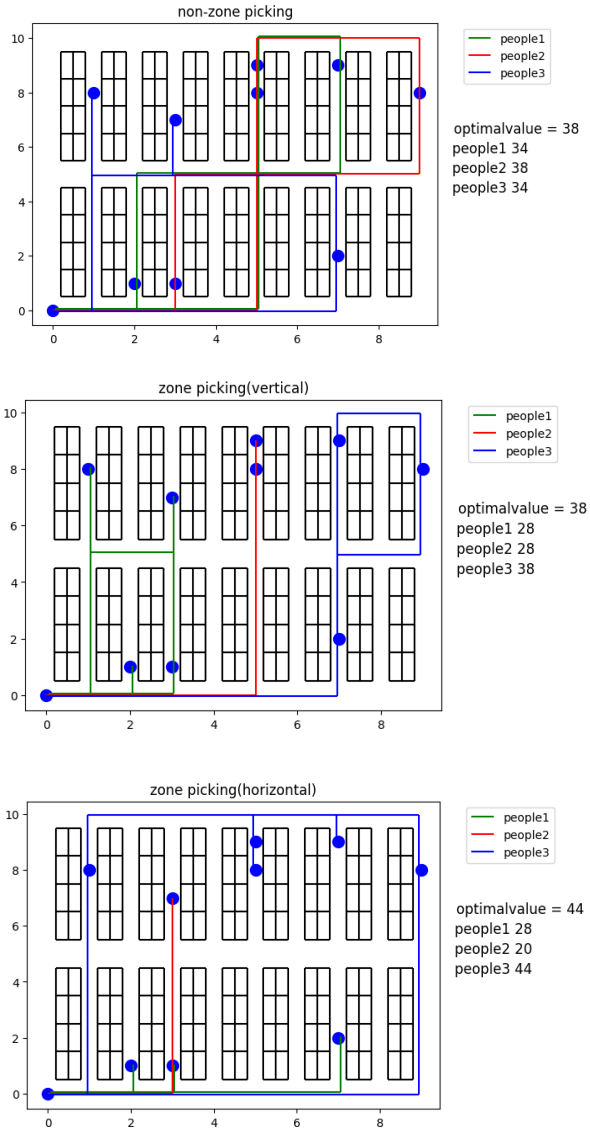


図-8　ゾーンピッキングに関する最適化比較

以上より最適化された経路について最小値，最大値，平均値の 3 つの指標を用いて比較を行い，表-7 にまとめた．最大値と最小値の比較を行うことで仕事の分配が公平になっているか，平均値を比較することで全体として効率的になっているかを理解することが可能である．

表-7　ゾーンピッキングに関する最適化比較

	maximum	minimum	average
Non-zone picking	38	34	35.3
Zone picking(vertical)	38	28	31.3
Zone picking(horizontal)	44	20	30.7

(4)　途中でのピッキング追加

本節では無作為で選んだ仕事内容の変更情報(表-8)を用いてシミュレーションを行った．そして最適化されたルートを図-9 に示す．

表-8　シミュレーションで用いるピッキング中の仕事内容変更情報

now	[(4,0),2]
delete	[(2,7)]
add	[(1,4), (6,4)]

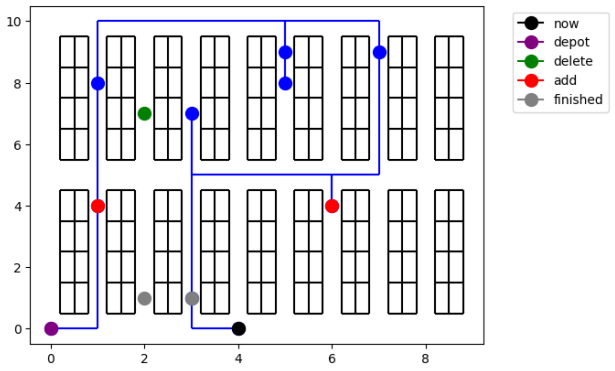


図-9　仕事内容変更後の最適化

5.　結果からの考察

本研究では倉庫でのピッキングにおける様々な現場要因を考慮し，ピッキングの最適化を行った．本論文のキーポイントでもあったシンプル性や実用性において，制約をできるだけ複雑化せず，現場環境の要因に合わせ最適化を行った．

基本の倉庫レイアウトでのピッキング最適化では，2 点間の最短経路を導出し，所要時間や距離の観点から効率化を進めることができた．また複数の人員を用いたゾーンピッキングでは最適化を行い，3 つの指標を用い比較を行った．結果から仕事の位置の偏りによって総距離の偏りが発生する事を再認識し，ゾーンピッキングによって効率性が完全に改善されたとはいえない．現場要因を考慮したピッキングでは，仕事追加や削除などの変更に対しても対応した最適化を行い，同時に最適ルートへの変更も行った．

結果として Gurobi を用いてのピッキングルートの最適化を行うことで，効率化を進めることができた．特に急な仕事変更への対応は，スムーズに最適化ルートを導くことができた．またピッカーがタブレットを携帯し，ルート最適化を行い早急に変化に対応することが出来る．以上から様々な現場での対応にも活用することができると考えられる．

6.　改善点と発展

改善点として以下の 2 点を挙げる．

1 つ目はゾーンピッキングの決定手法である．本研究では無作為に抽出した仕事によりシミュレーションを行った．この結果からゾーンの選択や人員の最適化などを完全に効率化することはできない．ある期間でのそれぞれの商品の入出荷，商品の配置を考慮する事で，人員の最適化を導くことができると考えられる．また統計的なアプローチを加えることでシステムの厳密な比較が可能である．

2 つ目モデルの複雑化である．本研究ではモデルをシンプル化することで，ピッカーの最適化されたルートの理解を安易にすることができた．しかしロボットによるピッキングの場合では，本研究でのモデルでは不十分で有り，ルート上の交錯や容量などさまざまな制約を考慮することで，自動ロボットにおけるピッキング最適化を導く事ができると考えられる．

発展的な研究では RFID を導入し，現在の位置を考慮したシミュレーションによって，厳密な最短経路を求めることが可能になると考えられる．また本研究では小さな規模の倉庫レイアウトにてシミュレーションを行ったが，より大きなレイアウトにて行うことで，複雑化したレイアウトにも対応することができる．

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP23K04076 の助成を受けたものである。

REFERENCES

1) Shetty, N., Sah, B., & Chung, S. H. (2020). Route optimization for warehouse order picking operations via vehicle routing and simulation. SN Applied Sciences, 2, 1-18.
2) Cardona, L. F., Soto, D. F., Rivera, L., & Martínez, H. J. (2015). Detailed design of fishbone warehouse layouts with vertical travel. International Journal of Production Economics, 170, 825-837.
3) Trab, S., Bajic, E., Zouinkhi, A., Abdelkrim, M. N., & Chekir, H. (2018). RFID IoT-enabled warehouse for safety management using product class-based storage and potential fields methods. International Journal of Embedded Systems, 10(1), 71-88.
4) Mitsui Soko. (2021, November 1). [DX 戦略策定のお知らせ]. Mitsui Soko. https://www.mitsui-soko.com/news/2021110101
5) Singh, S., Kumar, R., Panchal, R., & Tiwari, M. K. (2021). Impact of COVID-19 on logistics systems and disruptions in food supply chain. International journal of production research, 59(7), 1993-2008.
6) Lee, C. K., Lv, Y., Ng, K. K. H., Ho, W., & Choy, K. L. (2018). Design and application of Internet of things-based warehouse

management system for smart logistics. International Journal of Production Research, 56(8), 2753-2768.

7) Roodbergen, K. J., & Koster, R. (2001). Routing methods for warehouses with multiple cross aisles. International Journal of Production Research, 39(9), 1865-1883.

8) Shetty, N., Sah, B., & Chung, S. H. (2020). Route optimization for warehouse order picking operations via vehicle routing and simulation. SN Applied Sciences, 2, 1-18.

Optimization of picking in distribution warehouses

Daiki UENO and Enna HIRATA

This study focused on improving the efficiency of warehouse operations with the aim of promoting change in the logistics industry, reducing labor shortages in logistics, and responding to the shift to DX. Many factors are involved in warehouse operations, such as the optimal allocation of personnel, optimal layout design, and the use of automatic transporters, and these factors were combined to improve efficiency. Specifically, we developed an optimal method of operating a limited number of personnel and picking robots within a predetermined space. For this purpose, constraints such as the number of workers, warehouse capacity, and product type were organized, and the total distance was minimized using Gurobi, a mathematical optimization solver. In addition, in terms of product type, we considered whether ABC has priority or not, compared one-sided picking with two-sided picking in terms of picking routes, and compared the capacity of each space and the number of rack tiers in terms of layout. The results of this research will optimize warehouse operations and contribute to the overall efficiency of logistics. It is expected that this will help to alleviate the problem of manpower shortage in the logistics industry and promote DX.