HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	大規模物流センターにおけるオーダーピッキングのナビゲーションスケジューリングに関する研究
Author(s)	三添, 朗宏; 古川, 正志; 宮脇, 恵理 他
Citation	精密工学会誌, 75(10), 1260-1264 https://doi.org/10.2493/jjspe.75.1260
Issue Date	2009
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/50881
Type	journal article
File Information	seimitsu75101260.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

大規模物流センターにおけるオーダーピッキングのナビゲーションスケジューリングに関する研究*

三添朗宏** 古川正志*** 宮脇恵理† 渡辺美知子†† 鈴木育男*** 山本雅人***

A Study on Order Picking Navigation in a Large-scale Logistic Center

Akihiro MIZOE, Masashi FURUKAWA, Eri MIYAWAKI, Michiko WATANABE, Ikuo SUZUKI and Masahito YAMAMOTO

This study developed an efficient order picking scheduling method in a large-scale logistic center. The proposed method consists of two solutions, one focuses on the picking tour navigation problem and another focuses on the order batch generation problem. The local clustering organization (LCO) algorithm is applied to determine the picking tour navigation. Then, the heuristic batch generation algorithm is introduced based on the product order similarity. Numerical experiments proved that the proposed method improved almost 16% of the order picking efficiency, comparing with the conventional method.

Key words: order picking, logistic center, navigation, traveling salesman problem, local clustering organization

1. 緒　　言

オンラインショッピングやカタログショッピングの普及にともない，あらゆる分野で物流システムの重要性が増している．物流システムは，大まかに分類すると構内物流と構外物流が存在する．構内物流は，物流センターや工場内の物流管理を指し，構外物流は，物流センターや工場から出荷された製品が顧客に届くまでの物流管理をさす．本研究では，物流システムを構内物流の意味で用いる．

最近の物流システムは．アマゾンコムを例にだすにもなく，大規模な物流センターを要している．このような物流センターでは業種により異なるが，あるオンラインショッピングの業種では約 5,000ー10,000 種類の製品を管理し，それらを格納する棚数も 7,000ー30,000 に至っている．また，1 日当たりの顧客数の注文伝票は約 30,000 である．従って，顧客の注文の納期に間に合うような出荷計画を作成し，物流センターを効率よく運営することが強く求められている．

一方で，1980 年代後半から 1990 年代前半のバブル期は，生産システムにおいて FA 化が進んだのと同じように，物流センターにおいても FA 化が行われた．このような FA 化の下で，立体倉庫，オートローディング・アンローディング装置，無人搬送車（AGV），ピッキングロボット，V 字型倉庫等の実用化がはかられた．しかしながら，1990 年代のバブル崩壊以降は，完全 FA 化は指向されなくなった．この大きな理由には，(1) 物流センターの完全な FA 化には，莫大な設備投資が必要である，(2) 顧客が多品目少数の製品を注文することが益々強まった，(3) そのため，FA 化された物流センターでは製品の再配置によるオーダーピッキング機能の柔軟性がなく，あらたな物流センターを設置する設備投資が必要となる，(4) FA 化に比較すると，オーダーピッキングに作業者を配した物流システムは，人的コストの方が設備の導入よりも安く柔軟性がある，等が挙げられる．なお，本研究では顧客の注文票をオーダー票，注文品に記載されている製品を倉庫の在庫棚に作業者が立ち寄り集めて廻ることをオーダーピッキングと呼ぶ．

既存の物流センターを効率よく運営する改善策として，作業者のオーダーピッキング，すなわち，棚立ち寄り順序決定が重要な問題となる．これは，できるだけ迅速に注文に応じた製品を納期に合わせて顧客に出荷する必要性と，作業者には熟練者から初心者までが混在し，(1) 物流センター内で作業者の経験によってオーダーピッキングを定める順序とその経路に優劣があり，作業時間に差が生じる，(2) 作業者の作業時間の差は作業者間で相互の不満を生じさせる，(3)あらかじめ作業時間の見積もりをできないため，出荷製品を納期に間に合わせること正確な時間が確定できない，等を解消するためである．この問題の評価は，物流センター全体のオーダーピッキング時間の最小化を，作業者をジョブ，棚をショプとみなした場合のジョブショップスケジューリングで使用される最大滞留時間の最小化，個々の作業者の作業時間の平均化をジョブショップスケジューリングの平均滞留時間の最小化と同じである．

本研究では，大規模物流センターにおいて作業者に適切にオーダーピッキングの経路を指示する実用的なスケジューリング方法を開発する．作業者にピッキングを指示するハードウェアとしては，集配カートに設置されたナビゲーションディスプレーの使用を前提とする．このようなナビゲーションディスプレーは既に開発されており，ピッキングの指示は無線 LAN を介して行われる．集配カートの利用は，作業者の判断によって危険の回避及び衝突回避が行われるため，AGV のように多くのセンサーに基づいて自律的に行動を決定する特別なソフトウェアの開発が不要であり，開発費用が安くすでに実用化されている．

本論文は以下のように構成されている．2 章では関連研究及び本研究で取り扱う問題の記述をおこない，複数オーダー票を 1 作業者に割り当て，その上でピッキング経路を決定する 2 次割

* 原稿受付 平成 20 年 12 月 8 日
** 正 会 員 (株) システムラボムラタ（大津市木下町 2）
*** 正 会 員 北海道大学情報科学研究科大学院（札幌市北区北 14 西 9）
† 学生会員 北海道大学工学部（現，NTT 東日本）
†† 正 会 員 北見工業大学（北見市公園町 165）

り当て問題に帰着させる．なお，割り当てられた複数オーダー票の組をバッチと呼ぶ．3章ではオーダーピッキングの順序決定をTSP問題として記述し，その解法として局所クラスタリング法（Local Clustering Organization, LCO）を適用する方法を示す．4章ではオーダー票からバッチを生成する問題を前章と同じくTSPに帰着させ，LCOを適用する方法を示す．5章では実用レベルでの数値計算シミュレーション結果を示し，最後に6章で結言を述べる．

2. 問題の記述

2.1 関連研究

本研究で取り扱われる問題と類似した問題で，古川等[1]は一方向走行レーンをもつFMS工場の複数AGVの確率的学習オートマトンによるエージェントアプローチを試みている．この問題において，AGVが被加工物を搬送する工作機械を物流センターの搬送先の棚とみなせば，ほぼ同様の問題となる．しかし，この研究では，走行レーンが一方向のセル型工場であることを想定している．更に，問題はエージェントが他AGVと走行中に衝突を起こさないこと及び加工中の工作機械への搬送を上手に回避した良好の行動を機械学習で獲得することに主眼が置かれている．また，古川等[2]は同様の問題に対して,遺伝的アルゴリズムにとる解法も提案している．しかしながら，遺伝的アルゴリズムによる解法は，物流センターのような大規模な集配送問題においては適用が困難である．

倉庫の棚配置形状が簡単な場合は1990年代に数理計画法に基づいた視点から，オーダーピッキング問題に対するいくつかの研究が実施されている．M. B. Rosenwein[3]は，オーダーピッキング問題は倉庫の製品配置に左右されると考え，製品のクラスタリングによる棚配置法を提案している．この方法は，0-1整数計画法による施設割り当て問題として，クラスタリングを分岐限界法で求めるが，分岐限界法には問題の大きさに限界があり，製品数が多い時はその適用が困難である．また，倉庫の棚配置形状を単なるコラム上（図1）としているため，棚配置が一般的な形状であると適用できず，本研究で扱うようなピッキング経路（順序）の最適化は考慮されていない．

C. M. Liu[4]は，同じ問題の定式化を採用し，これを双対計画に変換し，ハンガリアン法と類似したヒューリステックな方法で棚配置を行う製品のクラスタリングを提案している．このクラスタリング方法を採用した場合，注文量の多いオーダー順にピッキングを行うクラスタリングを行った場合と従来の場合の滞留時間を比較し，約9%の効率改善がはかれたと報告している．しかし，使用されている棚配置の形状は単純な2列コラム上であり，上記の研究と同じような非拡張性をもつ．

J. M. Jarvis[5]は，統計的な手法に基づいて，コラム状の棚配置をクラス分けした製品で行う方法を提案している．しかし，棚配置がコラム状のためピッキングの経路が棚間の通路に沿った縦列横断に限定されるため良好な結果をもたらすが，一般的な配置では上記と同じ欠点をもつ．また，一般的な棚配置形状でのピッキング経路の方法を提案していない．

L. C. TangとE. Chew[6]は，やはりコラム状の倉庫に対して，L個のコラム状の棚配置にI個のピッキング製品を割り当てた場合について，全ての製品の棚分布確率を求め、求められた確率分布によるピッキング時間の期待値を算出した．また，これに基づいて待ち行列理論を適用し，複数オーダー票をバッチ化（グループ化）したときのピッキング時間を計算し，バッチサイズ

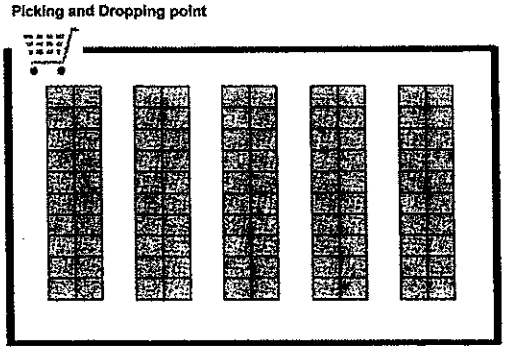

Fig. 1 A warehouse model with column-like shelves arrangement

によるピッキング時間期待値からのずれを示している．しかし，この研究は統計的な方法であり，全体の倉庫性能を測るには都合がよいが，具体的なピッキング経路の決定法や棚配置の方法は示されていない．

本研究では上記のようなコラム状の小さな棚配置の問題ではなく，より複雑な実際に稼働している大規模な棚配置の構成をもつ物流倉庫に対して，(1)製品のオーダーピッキングの（準）最適な順序を定め，(2)オーダーピッキングの順序にともなう各棚間の経路を決定し，(3)オーダーピッキングを開始する前の伝票のバッチ化方法，を提案する．

2.2 問題の記述

本研究では以下のような問題を取り扱う．物流センターは水平型倉庫（平置型倉庫）であり，注文製品は倉庫の棚に格納されている．棚間のトポロジー（隣接関係）及び製品のオーダーピッキング（以下，単にピッキングと記述する）を行う作業者（カート）の通路はあらかじめ設定されており，製品のピッキングは図2に示すように棚と通路を結合したグラフ上で実施される．作業者の人数（ピッキングカートの台数）はMとする．注文はオーダー票によって行われ，オーダー票には複数の注文製品の種類とその購入数が記載されている．総オーダ数はNとする．また，棚の総数はQとし，各棚には1種類の注文製品が格納されている（棚の総数と注文製品の総種類数は同一とする）．ピッキングに使用するカートには積載容量があるが，本研究では伝票枚数を一定数pとして積載容量の制約を満たすとする．この伝票枚数p毎の組を1バッチという．倉庫の入庫口で1バッチp枚の伝票を受け取り，伝票に指定された注文製品を全てピッキングし，出庫口に行き製品を下ろし，出庫口に戻るがオーダーピッキングであり，これを1周回すると呼ぶ．全ての伝票のピッキングを終了するためには，各作業者iは，倉庫内をそれぞれT_i周回するとする．

今，j周回目にp枚の伝票が作業者iに与えられると，作業者が1バッチ分の伝票に指定された注文製品をすべてピッキングし，周回するのに要する周回時間を$F(P_{ij}(D_j))$とする．ここで，D_jは1バッチ分p枚の伝票の組，$P_{ij}(D_j)$はD_jで定まる注文製品であり，ピッキング先の棚となる．このとき，作業者iの周回時間は$P_{ij}(D_j)$で定まる．注文製品$P_{ij}(D_j)$で定める製品のピッキング順序を$s(P_{ij}(D_j))$とし，この順序により定まる経路を$r(P_{ij}(D_j))$とする．棚間には複数の経路があるため，ピッキング順序が定まっても，経路は一意でない．本問題をスケジューリング問題の最大滞留時間の最小化で評価すれば，

$$\underset{s(P_{ij}(D_j)),r(P_{ij}(D_j)),D_j}{\text{minimize}} \sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{T_i} F(s(P_{ij}(D_j)),r(P_{ij}(D_j))) \qquad (1)$$

と定式化される．また，平均滞留時間の最小化で評価すれば

$$\underset{s(P_{ij}(D_j)),r(P_{ij}(D_j)),D_j}{\text{minimize}} \sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{T_i} F(s(P_{ij}(D_j)),r(P_{ij}(D_j)))/\sum_{i=1}^{M} T_i \quad (2)$$

となる．式(1)および式(2)から自明なように，平均滞留時間の最小化は最大滞留時間の最小化と同値なので，今後，本研究では平均滞留時間の最小化を取り扱う．

式(2)は，1バッチに割り当てられる p 枚の伝票の組 D_j およびその伝票の組によって定まる注文製品のピッキング順序と経路の決定を行う問題であり，バッチ組の作成を割り当て問題，バッチによって定まる割り当て問題の費用決定をピッキング問題と考えれば，これは2次割り当て問題の変形である．N 枚の伝票から p 枚の伝票の組を作る方法は ${}_N C_p$ あり，また平均 $\bar{d}$ 個の注文製品をピッキングする順序の個数は $(\bar{d}-1)!$ ある．これに2棚間の最短経路問題があるので，解空間の大きさは ${}_N C_{\bar{p}}(\bar{P}-1)!$ 以上となる．本研究では $N \approx 10^4$，$\bar{d}=10\sim15$ の大規模物流センターを想定しているため，組み合せ爆発を生じ，通常の数理計画で解くことは困難となる．

3．オーダーピッキング経路最適化

3.1 オーダーピッキング経路最適化問題

式(1)は2次割り当て問題の一種であるが，伝票の組（バッチ）が作業者 i に割り当てられていれば，倉庫内の一巡経路最小経路問題として

$$\underset{r(P_{ij}(D_j))}{\text{minimize}}\ F(r(P_{ij}(D_j))) \quad (3)$$

と，巡回セールスマン問題（TSP）の形に帰着できる．TSPとは与えられた都市集合について，都市間をただ一度づつ都市間の費用の和が最小であるように一周する都市の順序を求める問題である．都市集合 $\mathbf{K}=\{k:k=1,2,...,K\}$ を伝票の組 $P_{ij}(D_j)$ で定まる倉庫内の棚集合，棚 k と l（$k,l\in\mathbf{K}$）間の作業者の移動時間をTSPの費用 C_{kl} とすると，式(3)は

$$\begin{aligned}&\underset{x_{kl}}{\text{minimize}}\ \sum_k\sum_l C_{kl}x_{kl}\\ &\text{subject to}\ \sum_k x_{kl}=1,\ \sum_l x_{kl}=1 \text{ and } x_{kl}(x_{kl}-1)=0\end{aligned} \quad (4)$$

と書き直すことができる．ここでは，倉庫の入庫口と出庫口を一致した場合を考えているが，異なる場合も入庫口と出庫口間の距離を0とすれば，式(4)で解くことが可能である．

3.2 倉庫間の移動時間

式(4)では，倉庫間の移動時間 C_{kl} が決定していない．倉庫間の移動時間とその距離は比例するので，式(4)の移動時間としての距離を採用する．倉庫の棚間の全ての経路とその距離は，棚間と通路を結ぶグラフで図2のように表現できる．しかしながら，棚 k と l 間の経路は複数存在するため，移動経路を一つ選択する必要がある．そのためにダイクストラ法[9]を採用した．ダイクストラ法は，重み付きグラフに置いて2点間の経路の重みの和を最小とするグラフの経路（パス）を得る方法である．この重みに倉庫の隣接する棚間，棚と通路，及び通路と通路の距離を割り当て，任意の2棚間の最短距離と経路を得る．

3.3 局所クラスタリング組織化法（LCO）による経路決定

全ての棚間の距離をダイクストラ法で事前に求め，これを式(4)の移動時間 C_{kl} とすれば，TSPの解法が適用可能となる．LCOは座標位置の参照を必要とせず，TSP問題の費用行列（本問題では C_{kl}）のみを参照する一般的なTSPの解法である．都市の集合を $\mathbf{K}=\{k:1,2,...,K\}$，都市 k から都市 l 迄の $(2\beta+1)$ 都市による部分経路を $E(k,l)$ とした時のLCOのアルゴリズムを，以下に示す．

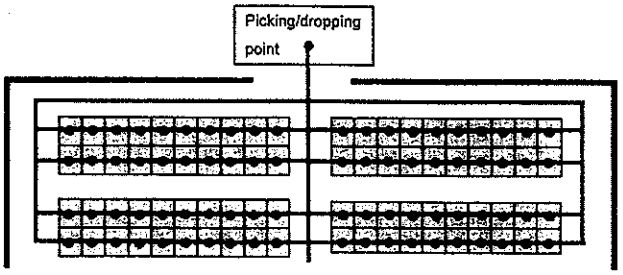

Fig. 2 Cart path topology for applying Dijkstra method

Table 1 Comparison of seven algorithms

Method	SGA	IGA	IA	SOM	ms2o	LCO
Time(sec)	145.2	148.6	618.8	1.72	4.38	0.079
Accuracy	1.997	1.501	1.509	1.057	1.111	1.065

1) ランダムに一周経路 P を作成し，その時の都市の並び順序を初期解とする．
2) 都市の並びから，ランダムに都市 $c\in\mathbf{K}$ を選択する．
3) 都市 c から並び順で β 個が手前の都市を k，β 個が後の都市を l とし，部分経路 $E(k,l)$ を取り出す．
4) 部分経路をクラスタリング（順序付け）する．
5) 部分経路を元に戻す．
6) 打ち切り条件を満たせば終了し，そうでなければ2)へ戻る．

上記のアルゴリズムのステップ4)において，クラスタリングの方法には，単純交換法，逆位交換法，平滑法の3種類をランダムに一定の比率で適用[10]する．

TSPLIB[11]に掲載されている150都市問題における単純GA（SGA），逆位を用いたGA（IGA），免疫アルゴリズム（IA），m-step 2-opt法（ms2o），自己組織化マップ（SOM）とLCOの比較を表1[10]に示す．表1においてTimeは計算時間を示し，Accuracyは正解に対する得られた解の比を示している．なお，本計算は2GHzのCPUをもつ市販のPCで，実験を行っている．この結果よりSOMとLCOが計算速度及び解の精度において優れていることが分かるが，SOMは都市の座標値が必要なため，本研究のような費用のみが与えられる問題には適用できない．

4．オーダー票のバッチ作成

オーダー票のバッチ作成は，ピッキング作業時間に大きな影響を与える．これはできるだけ類似したオーダー票をグループ化すれば，ピッキング先が少なく済むためである．しかし，実際は膨大なオーダー数のため，First Come First Service（FCFS）で p 組のオーダー票が1バッチとされ，作業者にピッキング先として与えられるのが実情である．ここでは，LCOを用いた簡易なバッチ作成法を述べる．

4.1 オーダー票ベクトル

従来のバッチの作成法は，先に述べたFCFSが主流である．また，類似した注文を集めることが効率的であることは知られているが，類似したオーダー票を順にソーティングするとTSP問題と同じように終盤に並ぶオーダー票の組は，類似したものがほとんど並ばないようになる．従って，オーダー票を並べた時の前後の類似度の総和を，オーダー票が全て並んだときの類似度の評価をとして，これを最小にする必要性が生じる．この考え方は，先に述べたTSPを解くことと同じである．類似度はTSPのコストに対応する．従って，オーダー票の類似度に基づく大規模なTSPを高速に解く解法としてLCOを採用する．3章と同じようにLCOを

適用するためには，オーダー票間のコスト（類似度）の定義が必要である．このためにオーダー票ベクトルを定義する．オーダー票の集合を $\mathbf{U}=\{\mathbf{u}_n : n=1,2,...,N\}$ とする．
ここで，$\mathbf{u}_n=[u_{n1}\ u_{n2}\ ...\ u_{nQ}]$ なるベクトルとし，

$$u_{nh}=\begin{cases}1: \text{Product } h \text{ is assigned to order } n\\ 0: \text{otherwise}\end{cases} \quad (5)$$

とそのベクトル要素を定義する．すなわち，製品 h がオーダー票 n にあれば1，そうでなければ0 とする．

4.2 オーダー票の類似度

二つのオーダー票ベクトル $\mathbf{u}_n$ と $\mathbf{u}_m$ に類似度 $Sim(\mathbf{u}_n,\mathbf{u}_m)$ を導入する．この類似度は，二つのオーダー票の注文製品の類似度を表す．類似度としては，論理和による類似度とハミング距離による類似度を採用した．ここで定義する類似度は，後述するTSP のコストとするため，類似度が大きい程二つのオーダー票は異なる性質を与える．これらは式(6)及び式(7)のように定義される．

論理和による定義　類似度を2 ベクトル間の論理和を用いて，式(6)で定義する．これは，ピッキングに立ち寄る棚数の総数を表す．従って，その値が大きい程，立ち寄る棚数が多くなる．

$$Sim^{OR}(\mathbf{u}_n,\mathbf{u}_m)=\sum_h |u_{nh}\vee u_{mh}| \quad (6)$$

なお，∨はブール和演算を表すものとする．

ハミング距離による定義　類似度にハミング距離を用いて，以下に定義する．ハミング距離は二つのオーダー票の注文が異なる製品数の総数を表す．

$$Sim^{H}(\mathbf{u}_n,\mathbf{u}_m)=\sum_h |u_{nh}-u_{mh}| \quad (7)$$

4.3 LCO のバッチ作成への適用

式(6)または(7)で定義した類似度 $Sim(\mathbf{u}_n,\mathbf{u}_m)$ をTSP のコストとして，オーダー票の並び順序を LCO を適用して決定する．TSP の最適解では二都市間の距離（コスト）の小さいものを隣り合わせようとする性質がある．実際にこの性質を用いて，著者等はTSP に基づく2 部グラフのクラスタリングアルゴリズムを提案している[12]．この性質を利用すると，類似度が小さいオーダー票が隣り合う並び順を作成する程TSP のコストの総和を小さくする．TSP の解としてオーダー票の並び順序が得られると，これを並びの最初から順に p 組毎に取り出しこれらをバッチとする．

5. 数値計算実験

ほぼ実在する大規模物流センターに近い大規模物流センターモデルを作成し，ピッキングナビゲーションのシミュレーション数値実験を実施した．ここでは，その実験結果を述べる．

5.1 実験対象

大規模物流センターモデルとして，図3 に示すようなモデルを作成した．このモデルに対して，著者等の一人が現状に近いオーダ票の作成とオーダー票にある製品の棚配置を行い，このモデルを実験対象とした．ここで，物流センターの棚数（Q）は7174，製品数（Q）は7174，オーダー票総数（N）は9000 である．

更に，ダイクストラ法を適用し棚間のコストを作成するために，各棚，通路及びピッキング／ドロッピング点（カートの入出庫口）にグラフのノードと辺を図2 の模式図のように作成した．なお，図2 はグラフの構成を分かり易くした模式図であり，図3 とは一致していない．

5.2 実験条件

オーダー票には，製品番号，製品名，及び製品の注文数を与える．オーダー票ベクトルでは，ベクトルの添字を製品番号，ベクトル成分の添字を製品番号とし，ベクトル成分は注文数が非負のとき1，それ以外を0 と設定した．また，1 カートに割り当てられるオーダー表数（p）は4 組とし，1 注文製品を棚から取り出す作業者のピッキング時間を3 秒とした．カート数（作業者数）は，10 台（人），棚間のカートの速度は1m/sec と設定し，棚間の距離を1m とした．

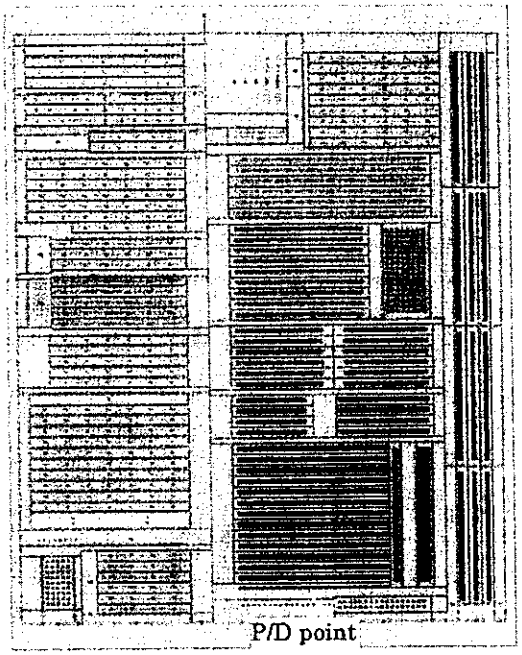

Fig. 3　A experimental warehouse model

5.3 オーダーピッキング時間の比較

オーダー票の伝票をFCFS として，ランダムにオーダー票の並び順を作成した．この並びの先頭からオーダー票を順に4 組毎に取り出し，これらをカートにバッチとして割り当てた．このときのオーダーピッキング時間の比較実験を実施した．比較対象としては，ピッキング経路を全く考慮しない方法（ランダムピッキング，random method, RM），常に現在点から最も近い製品を次のピッキング先の棚に選択する方法（最近接パス法，nearest neighbor method, NNM）及び本研究で提案したLCO に基づくピッキング経路法である．NNM は作業者の判断に基づくピッキングに近い方法として比較に用いた．これらの三方法で10 台のカートのピッキング時間を求める数値計算シミュレーションをそれぞれ 10 回実施し，各カートの平均滞留時間（Averaged maximum span time, AMST）と RM に対するNNM，LCO の改善率，及びNNM に対するLCO の改善率（括弧内）を表2 に示した．改善率は，1−（比較方法のAMST）/（比較対象のAMST）で計算した．

表2 より，NNM と RM では約40%，LCO と RM では約43%の改善が行われたことが分かる．また，NNM に対してLCO は約5.5%の改善が行われたことが分かる．また，カート台数に対するAMST と改善率の変化を図4 に示した．これからカートの台数に対してもNNM に対してLCO が常に約5%前後の改善を行えることが分かった．

5.4 バッチ方法による比較

4 章で述べた類似度によるバッチ方法を適用し，類似度にハミング距離を用いてバッチを作成し，経路決定にLCO を採用したオーダーピッキングのシミュレーションを10 回実施し，10 回の平均のAMST を求め，RM に対する結果とNNM に対する結果（括

Table 2 Comparison of averaged maximum span time among three method

Method	AMST (min.)	Improvement ratio (%)
RM	3292	-
NNM	1968	40.2
LCO	1861	43.5 (5.5)
LCO/BO	1648	49.9 (16.3)

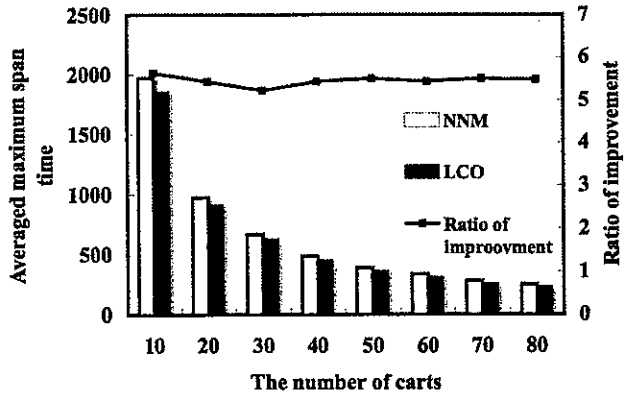

Fig. 4 AMST of NNM and LCO in changing carts number

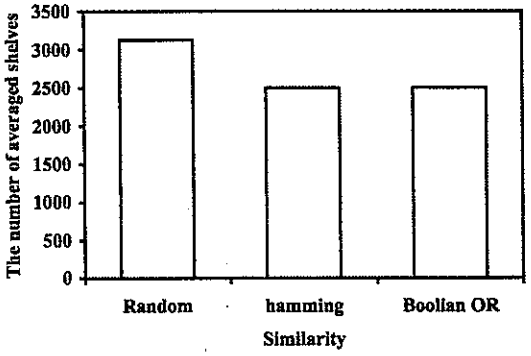

Fig. 5 The averaged number of shelves in which carts drop

弧内）を表2にLCO/BOとし記載した．結果は，類似度によるバッチを行わずFIFSによるバッチを行ったRMに対して約50%の改善，FIFSによるバッチを行ったNNMに対して16%の改善を行えることが分かった．また，類似度による各カートの平均立寄棚数を図5に示す．この結果は，類似度にハミング距離を用いても論理和を用いても差がないことが分かった．なお，図中のRandomはFIFSによるバッチ作成を示している．これらの結果を総合的にみると，現在，作業者が実施していると考えられる方法に近いFIFSによるバッチ作成とNNMによるピッキング経路決定に比較して，提案したLCOによるピッキング経路決定と類似度によるバッチ作成を採用した場合は，トータルで約16%の改善が行われることが分かった．

6. 結　言

本研究では，物流倉庫のオーダーピッキングの経路決定法とバッチ作成法を提案し，数値計算実験によって以下のような結果を得た．

(1) LCOによるピッキング経路決定は，従来の方法と比較して約5%の改善を行えた．

(2) 類似度によるバッチ作成法を導入することにより，従来より約11%の改善を行えた．

(3) 前記の方法を同時に用いることで従来より約16%の改善が行えた．

(4) ピッキング経路決定よりも，バッチ作成の方法が改善に大きな影響を及ぼすことが分かった．

実験では，複数棚に同一製品を格納することを行わなかったので，今後，棚への製品割り当ての方法の開発も含めた，オーダーピッキング方法に拡張する予定である．

参 考 文 献

1) 古川正志，渡辺美知子，嘉数侑昇：確率的学習オートマトンによる複数AGVの自律的走行，精密工学会誌，**62**，2，(1996) 260.
2) 古川正志，渡辺美知子，嘉数侑昇：一方向走行レーンをもつFMS工場における複数AGVの運行スケジューリング（遺伝的アルゴリズムによる調和スケジューリング）：日本機械学会論文集C編，**62**，595 (1996) 407.
3) M. B. Rosenwein: AN APPLICATION OF CLUSTER ANALYSIS TO THE PROBLEM OF LOCATING ITEMS WITHIN A WAREHOUSE, IIE Transaction, **26**, 1 (1994) 101.
4) C. M. Liu: Clustering Techniques for stock location and order-picking in a distribution center, Computers & Operation Research, **26** (1999) 989.
5) J.M. Jarvis, E.D. MacDowell: Optimum Product Layout in an Order picking Warehouse, IEE Transaction, **23**, 1 (1991) 93
6) L.C. Tang and E.P Chew: Order Picking System: Batching and Storage Assignment Strategies, Computers Ind. Engng, **33**, 3-4 (1997) 817.
7) C.G. Peterson II and R.W. Schmenner: An Evaluation of Routing and Volume-based Storage Policies in an Order Picking Operation, Decision Science, **30**, 2 (1999) 481.
8) R. de Koster, T. Le-Duc, K. J. Roodbergen: European Journal of Operational Research, 182 (2007) 481.
9) 古川正志他3名:システム工学，コロナ社 (2000)
10) 古川正志，渡辺美知子，松村有祐：局所クラスタリング組織化法によるTSPの解法，日本機械学会論文集C編，**62**，595 (1996) 407.
11) TSPLIB95: http://www.iwr.uni-heidelberg/de/groups/software/TSPLIB95
12) Keiu Harada, Takuya Ishioka, Ikuo Suzuki and Masashi Furukawa: A method for solving a Bipartite-graph Clustering Problem with Sequence Optimization, Proc. of 7th IEEE International Conference on Computer and Information Technology (2007) 91.