2507 倉庫最適出荷管理システム

Optimum Shipment Management System for Warehouse

○准 武多 一浩 (三菱重工)、 准 西崎 純一 (三菱重工)、 准 榊田 浩文 (三菱重工)
 准 立原 知明 (三菱重工)、 准 日比野政彦 (三菱重工)

Kazuhiro TAKEDA, Jun-ichi NISHIZAKI, Hirohumi MASUDA, Tomoaki TACHIARA, Masahiko HIBINO
 Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. 4-6-22, Kan-on-shin-machi, Nishi-ku, Hiroshima 733-8553

This paper describes a Optimum Shipment Management System for Warehouse. These days, it's important to minimize the shipment lead time instead of the storage function for warehouse. The problem is the arrangement of shipment orders from the customers. Simulated Annealing (SA) method is used for this problem. SA method is effective to find a optimum arrangement of shipment orders automatically in short time. And in the case study, SA method has found a optimum arrangement which generates minimized shipment lead time compared with the common shipment method by the total picking system or the order picking system.

Key Words: Warehouse, SA Method, Shipment, Optimum Arrangement

1. 緒言

近年、消費者のニーズがますます多様化しており、これに応じた配送センターや営業倉庫などでは、多品種少量でかつ単品管理による細かいアイテムの出荷形態が増加してきており、さらに従来の倉庫における荷物保管機能に加えて、顧客からの出荷要求に対して、出荷配送するまでの作業時間（出荷リードタイム）の短縮が、非常に重要な機能として求められてきている。

これに対し、これまで自動倉庫、搬送台車、コンベヤといったマテハン機器の設置、またこれらの機器構成、機器レイアウトの工夫及び倉庫作業管理システムプログラムの導入によって改善をはかってきた。

本研究では、さらなる出荷リードタイム短縮のため、出荷作業時間の要因（アイテム、ケース数等）を分析し、これらの要因から重回帰分析を用いて作業時間の定式化を行い、これを評価関数として出荷リードタイムが最小となる出荷要求（出荷オーダー）の組合せを求めるためにSA法（Simulated Annealing Method）を適用した手法を提案し、その検証結果を示す。

2. 倉庫の出荷作業フロー

配送センターや営業倉庫の出荷作業フローを、Fig.1に示す。まず、倉庫に対する顧客からのFAX、電話、及び端末から

のオンライン出荷オーダーを受け付け一定時間間隔で要求をまとめる。まとめた出荷オーダーでピッキングを行うと共に、トラックの配車手配を進める。ピッキングが完了したものから、随時荷捌場に搬送する。荷捌場では、顧客、トラック毎に荷物の2次仕分けを行う。そして、2次仕分けが終わり且つトラックが到着したものから順番にトラックに荷物を積み込み発送する。

ここで、出荷リードタイムのさらなる短縮の課題を解決するポイントとして、出荷オーダーの括りの最適化が考えられる。出荷リードタイムは、主に以下の3つの作業時間から成り立っている。

- (1) 顧客からの大量の出荷オーダーを、複数出荷オーダー毎のまとまり（括り）として、トータルピッキングを行うためのピッキング作業時間
- (2) トータルピッキングにより積み付けられたパレットを、荷捌場に搬送するための搬送時間
- (3) 複数出荷オーダー毎に荷揃えされた荷物を、各々のオーダー／トラック単位に仕分けるための2次仕分け時間

出荷オーダーの括りの大きさと上記各作業時間との関係は、一般に次のことが言える。

Fig.1 Shipping Work Flow

Fig.2 Schematic Diagram for Optimum Shipping Order Number

括り→大	ピッキング作業時間	→ 短くなる
	搬送時間	→ 短くなる
	2次仕分け時間	→ 長くなる
括り→小	ピッキング作業時間	→ 長くなる
	搬送時間	→ 長くなる
	2次仕分け時間	→ 短くなる

すなわち、適切な括りとすることで、出荷リードタイムを最小とすることができる。しかし、この括りの決定は、出荷作業者の長年に亘る勘と経験に頼っていた。

そこで、この括りの大きさの最適化を各作業時間の定式化と組合せ最適化手法の一つであるSA法 (Simulated Annealing Method) によって自動的に計算する手法について、以下に説明する。

3. 作業時間の定量化解析

ピッキング、搬送、2次仕分けの各作業時間の推定値を求めるために、実測値を元にした定量化解析、定式化の方法について説明する。なお、マテハン機器 (自動倉庫、自動搬送台車、自動仕分機等) は、機器性能からある程度詳細な作業時間が推定できることから、対象とする倉庫は、マテハン機器が導入されておらず、人手あるいはフォークリフト、台車によってピッキング、搬送、2次仕分けを行うものとする。

まず作業時間に影響する要因を抽出する。要因として以下が挙げられる。

- ・平均作業人員 (W)
 - ・搬送台車台数 (T)
 - ・パレット、プラコン数 (P1)
 - ・アイテムのロケーション (L)
 - ・括りに含まれる顧客数 (S)
 - ・括りに含まれるアイテム数 (I)
 - ・括りに含まれるケース数 (C)
 - ・括りに含まれるピース数 (P)
- (ケース：ある数量単位の段ボール箱、木箱、袋等)
(ピース：あるアイテムの最小単位)

ただし、各要因の後の () 内は、後述の作業時間推定式における変数名

これらの要因から、重回帰モデルによって、括り毎の各作業時間の推定を行う。以下は、ピッキング時間の例である。

$$t_1 = (a \cdot S + b \cdot f(L, I) + c \cdot C + d \cdot P + e) / W \quad (1)$$

a, b, c, d, e : 推定式で決定すべきパラメータ
 f : アイテム間移動時間関数

これによるピッキング時間における実測値と推定値との相関図の例を、Fig.3に示す。横軸が実測値で、縦軸が t_1 の作業時間推定式に基づく推定値で、これに括り毎のデータをプロットしたものである。この例における作業時間推定式の推定精度は、相関係数 (R) にして

$$R = 0.9445$$

となり、推定精度が高いことがわかる。

Fig.3 Correlation Chart between Actual Work Time and Estimated Work Time for Picking

4. 出荷リードタイムの最適化アルゴリズム

実測値を元にした定量化解析によって、ピッキング作業時間、搬送作業時間、2次仕分作業時間の各作業時間推定式を求めたので、これを適用して出荷リードタイムが最小となる出荷オーダの括りを求める最適化アルゴリズムについて説明する。

倉庫に対する大量の出荷オーダから最適解を求めるために、全ての出荷オーダの組合せを求め、その全ての出荷リードタイムの計算をしてその最適解を求めるには、膨大な計算時間が必要となり実用的でない。このため、厳密な最適解を求めるのではなく実用的に最適解 (準最適解) を求める組合せ最適化手法の一つであるSA法を適用した。

この組合せ最適化手法のメリットとして、大きく以下の二つが挙げられる。

- ①膨大な数の解の中から準最適解を比較的短時間で見つけたことができる。
- ②組合せ最適化問題に多い、局所最適解から脱出できるため、大域的な最適解を探索できる。

Fig.4 Optimum Algorithm Flow Diagram of SA Method for Warehouse Shipment

このSA法を倉庫の出荷作業に適用したときの最適化アルゴリズムのフロー図を、Fig.4に示す。
この処理概要を以下に示す。

- ①初期組合せ : 出荷オーダの括りの初期解を生成する。
- ②仮想リスト : ①で作成された出荷オーダの括りに基づき、ピッキングリスト、2次仕分けリストを作成する。
- ③作業時間計算 : ②で作成されたピッキングリスト、2次仕分けリストから各作業時間推定式を適用して作業時間を計算する。

- ④作業時間 : ③で求めた作業時間を最適解とする。
- ⑤組合せ演算 : ランダムにオーダの括り (近傍解) を新しく生成する。
- ⑥仮想リスト : ⑤で作成された出荷オーダの括りに基づき、ピッキングリスト、2次仕分けリストを作成する。
- ⑦作業時間計算 : ⑥で作成されたピッキングリスト、2次仕分けリストから各作業時間推定式を適用して作業時間を計算する。
- ⑧比較 : 今回求めた作業時間と、前回までの最適解とを比較する。この時、以下の採用確率(p)で今回値を最適解に設定する。

$$p = \begin{cases} 1 & : \Delta < 0 \\ e^{-\Delta/T} & : \Delta \geq 0 \end{cases}$$

ここで、 $\Delta =$ (近傍解での作業時間) - (最適解での作業時間)
 $T =$ 変数 ($T = e^{-\beta \cdot N}$)
 $(\beta : \text{定数、 } N : \text{計算回数})$

- ⑨計算回数確認 : 計算回数が既定の回数に達したかどうかの確認。
- ⑩変数計算 : 計算回数を1つ増し、この時の変数Tを計算する。

ここで、SA法を組合せ最適化問題に適用する場合には、変数 (SA法では、温度) の初期値、繰り返し計算回数、終了条件の設定、初期解・近傍解の生成方法において検討が必要である。

本研究では、初期値、計算回数、終了条件については、試行計算を実施して各々の値を決定した。また、初期解、近傍解の生成方法については、以下の手順にそれぞれの解を生成している。

(1) 初期解の生成方法

計算時間短縮のためには、まったくランダムな出荷オーダの括りを初期解として与えるよりも、初期解として「最適解に近いところから計算を始める」ことの方が有利であると考えられる。また、出荷オーダを括る場合には、アイテムができるだけ共通なものを同じ括りにすることによって、ピッキング時間が短縮されることが考えられる。

そこで、アイテムが共通な出荷オーダを予め抽出し、これらを括って初期解とすることで、計算時間の短縮を計っている。

(2) 近傍解の生成方法

SA法の近傍解 (上記⑤の計算) として出荷オーダの括りをランダム、且つ最適解の近傍として生成するために、以下の手順を採用する。

- ①全ての出荷オーダの中から、一つの出荷オーダをランダムに選択する。
- ②全ての出荷オーダの括りの中から、一つの括りをランダムに選択する。
- ③②で選択した出荷オーダの括りの中に、①で選択した出荷オーダを入れる。もし、同じ出荷オーダの括りなら、新規に出荷オーダの括りを生成し、そこに①で選択した出荷オーダを入れる。

Fig.5 Example of Calculation Result

5. ケーススタディと考察

SA法による出荷リードタイムの最適化アルゴリズムの適用例について説明する。

適用した倉庫の出荷条件を以下に示す。

- ・ 出荷オーダー数 : 172
- ・ 出荷アイテム数 : 227
- ・ 出荷ケース数 : 1,964
- ・ 出荷ピース数 : 744
- ・ 出荷方面数 : 35
- ・ 出荷オーダーの括りを出荷方面単位 (現状) とした場合を初期解として採用
(この例では、現状と比較するために初期解を出荷方面単位とした。)

また、この計算結果例を、Fig5 に示す。この図は、横軸に計算回数、縦軸にピッキング作業時間、搬送時間、2次仕分け作業時間、出荷作業時間 (出荷リードタイム)、及びピッキング回数を示している。以下にこの計算結果を示す。

- ・ 出荷オーダーの括り数 : 71
(平均 2.42 オーダー/括り)
- ・ 出荷作業時間 : 約2時間短縮
- ・ 計算時間 : 約10分間
(使用計算機 : Celron 500MHz, 128MB 対応)
(開発言語 : Visual C++ 6.0)

さらに、SA法と、出荷方面単位のトータルピッキングと (Fig.5 の初期解)、オーダーピッキングの作業時間の比較図を、Fig.6 に示す。この図からも分かる通り、SA法によって従来のトータルピッキングやオーダーピッキングよりも作業時間が短くなる出荷オーダーの括りを見つけることができた。

6. 結言

倉庫の出荷リードタイムの短縮を目的として、出荷作業の要因分析、各作業時間の定量化解析を行い定式化し、これを用いて組合せ最適化手法の一つであるSA法を適用し、ケーススタディを行った。その結果、従来のトータルピッキング

Fig.6 Comparison between SA Method and Other Common Picking Systems

やオーダーピッキングよりも作業時間が短縮できる出荷オーダーの括りを、自動的に短時間で生成することができた。

今後、マテハン自動化機器を含んだ種々の倉庫の作業形態向けにも適用を拡大していきたい。