

物流倉庫ピッキングシミュレーションのための 従業員行動モデルの改良と評価

○明官達郎 (筑波大学) 松本光崇 (産業技術総合研究所)

大隈隆史 (産業技術総合研究所) 一刈良介 (産業技術総合研究所)

加藤狩夢 (筑波大学) 蔵田武志 (筑波大学, 産業技術総合研究所)

Improvement and evaluation on the behavioral model of workers for warehouse picking simulation

* T. Myokan(Tsukuba Univ.), M. Matsumoto (AIST), T. Okuma (AIST), R. Ichikari (AIST),
K. Kato (Tsukuba Univ.) and T. Kurata (Tsukuba Univ., AIST)

Abstract—We measured flow-line of workers and carts with Visible Light Communication (VLC) and Warehouse Management System (WMS) in the domestic logistics warehouse. This paper presents the contents of numerical simulation base which is constructed based on the behavioral model of workers and on the parameters obtained of the real-world data observation. Based on the comparison result of observed value and numerical simulated value, we confirmed that the result based on the proposed model in this study captured the features of real-world data distribution. So we verified suitability of our model.

Key words: Warehouse picking simulation, Behavioral model of workers, Human behavior sensing

1 はじめに

今日サービス産業の生産性向上が重要な課題である。本研究は物流サービスにおける生産性向上を検討課題とした。物流サービスの中で、特に物流倉庫でのピッキング作業の効率化は重要課題の一つである。ピッキング作業とは、物流倉庫の棚に入る在庫商品を収集する作業である。本研究ではピッキング作業を対象として、可視光通信と倉庫管理システムを用いて従業員とカートの動線計測を行った。その結果をもとにピッキング作業のシミュレーションモデルを構築し、ピッキング作業の効率化支援に活用する可能性を検証した。ピッキング作業の効率化支援のために動線計測と可視化は重要な要素技術である。しかしそれだけでは効率支援に限界があり、ピッキング作業の効率化の各種手法の効果を検証するためのシミュレーションモデルの構築が有効である。そこで、本研究では計測データをもとにシミュレーションモデルを構築した。本稿はその内容と検証の結果を記す。シミュレーションの研究としてはこれまで operation research の分野で経路最適化計算などの研究があった。例えば Adrian は物流倉庫のピッキング業務を対象にシミュレーションモデル構築をしたり。しかし従来のシミュレーション研究では、現場の計測結果から得たパラメータ値を用いたものは見られない。本研究では、計測とシミュレーションを統合する手法を検討し、その内容を示す。

以下、本稿は次のように構成される。2章では計測対象倉庫の概要を記す、3章では本研究における従業員作業モデルについて述べる。4章ではモデルに基づいたシミュレーションの概要について述べる。5章ではシミュレーション基盤を用いた実験と考察について述べ、6章でまとめと今後の課題について述べる。

2 計測現場の概要

2.2 物流倉庫の概要

国内物流倉庫T社のピッキング作業フロアにおいて従業員とカートの作業動線の計測を行った。Fig.1に倉庫Tのピッキング作業フロアを示す。作業フロアは長辺が54m、短辺が50m (25m×2)、カートが通ることができる大通りがあり、中央に資材搬出入用のエレベータが設置されている。フロア内はA からDまでの

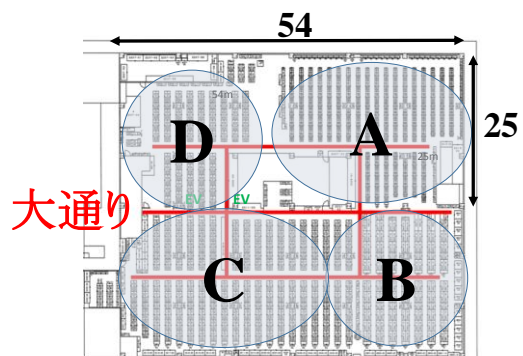


Fig.1 物流倉庫フロア

4つのエリアに区分されている。各エリアに棚が設置され、商品が格納されている。この倉庫では顧客からの幅広い要望に応えるため、商品種類数を多く取っており、商品点数は76,000点ある。また、商品の半数はピッキング回数が2回以下であるが、ピッキング回数が1位の商品は230回ピッキングされ、商品全体の39.3%に上る。このことから、この倉庫では特定の商品は顧客からの注文が多いが、それ以外の商品については注文回数が少ないという特徴がある。

2.2 倉庫内行動計測

従業員とカートの屋内位置情報測位システムとして、可視光通信 (VLC : Visible Light Communication) と倉庫管理システム (WMS : Warehouse Management System) を用いた。Fig.2に屋内位置情報測位システムの概要として可視光通信と倉庫管理システムの概要図を示す。可視光通信(以下VLC)とはLED 蛍光装置等に信号を重畳させて送信する通信方式であり、受信機で受信したデータから信号を取り出すことができる²⁾。本実験ではフロア内の照明器具にVLCに対応したLED 照明を取り付け、照明装置ごとに固有のIDを送信するように設定した。従業員はVLCの受信機を装着してピッキング作業を行う。また、カートの動線を計測するため、カートにも受信機を設置した。(Fig.2参照)これにより、ID付可視光に反応した受信機のログデータから従業員とカートがいつ、どの場所にいたかの推定が可能となる。なお、ID付可視光は他のID付可視光の影響を受けないようにまばらに設置されている。本研究ではVLCに加え、従業員が使用する倉庫管理システム(以下WMS)データも用いて動線推定を行う。従業員はWMSのハンディーターミ

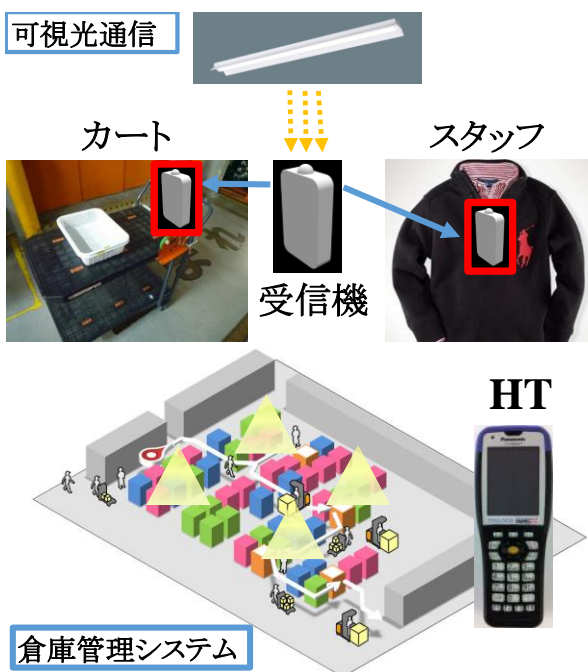


Fig.2 屋内位置情報測位システム概要

ナル (HT) を使ってピッキング作業を行っている。HTには従業員が次にどの棚でどの商品をピッキングするか、オーダー毎に複数のピッキング指示が表示される。従業員はこの指示に従ってピッキングを行う。WMSデータから従業員がいつ、どの棚にアクセスしたかが分かることから、VLCデータとWMSデータの双方を用いて動線推定を行った。(Fig.2参照)

2.3 計測調査の概要

計測は2014年4月17日から6月13日までの約2カ月間、倉庫T社のピッキング作業フロアで行った。計測対象者数は17名である。このフロアでは1日あたり約40名の従業員が作業を行っている。同フロアでの主な作業は、入荷商品の格納、顧客からの注文(ピッキングオーダー)に応じたピッキング、出荷前の検品作業である。このフロアでは、1日に約700件のオーダーを処理している。オーダーは商品名・個数・棚番号の組から構成されるデータである。棚番号はフロア内での商品の保管場所を示している。1日の作業全体に占めるピッキング作業の割合が57.8%と割合が多いことから、本研究ではピッキング作業を計測・分析対象とした。

3 従業員作業モデルの提案

3.1 カート制約有り従業員ピッキング作業モデル

本研究で提案するカート制約有り従業員ピッキング作業モデル(以下制約有りモデル)の1オーダーあたりのフロー図をFig.3に示す。今回、カートの制約として「カートは大通りのみ通る」という制約を与えた。カートのVLCデータを分析したところ、大通り以外の通路においてカートのID付可視光反応回数は

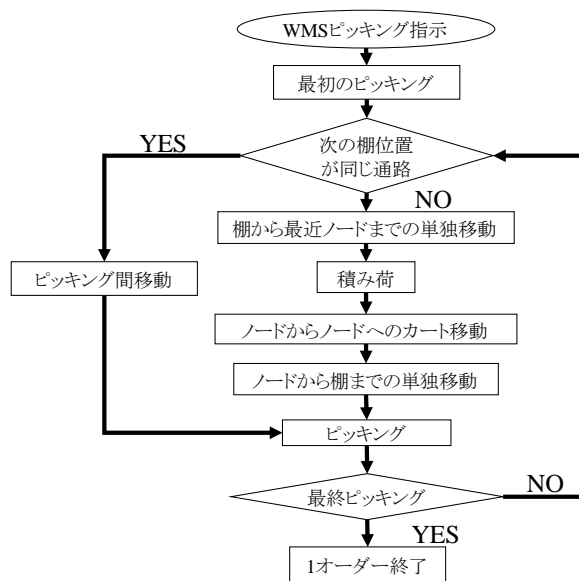


Fig.3 従業員ピッキング作業モデル：フロー図

全カートの見視光データ数の約1%であった。これはカートとの移動の大半が大通り上であることを示す。そのため、今回カートの制約を設定した。Fig.3に示すように、カートは棚の間の通路に入らないため、基本的にピッキング後カートに戻って積荷を行う。一方で、WMSとVLCから取得した従業員の行動から、1オーダー中のピッキング棚と次に指示を受けたピッキング棚が同じ通路上にある場合、最初のピッキング後、次に指示を受けたピッキング作業に取り掛かり、積荷作業は一気に行われることが明らかとなっている。(Fig.4参照)そのため、今回の制約有りモデルではピッキング指示を受けた棚が同じ通路上にある場合、連続的にピッキングを行い、その後積荷を行うように実装した。なお、今回商品の大きさや質量の情報がなかったため、人が持てる商品の個数については考慮していない。

3.2 時間モデル

$$T_{All} = T_{move} + T_{stop}$$

$$T_{move} = \sum^n \left(\frac{d_{worker}}{v_{worker}} + \frac{d_{cart}}{v_{cart}} \right)$$

$$T_{stop} = \sum^n (T_{pick} + T_{load})$$

n : 1オーダーのピッキング回数

1オーダー当たりの全作業時間(T_{ALL})を1オーダー当たりの移動時間(T_{move})と停止時間(T_{stop})に分けた。1オーダー当たりの移動時間は従業員が単独で移動した時間と従業員がカートと移動した時間を足し合わせた時間を示す。従業員が単独で移動した時間は棚の間の通路を移動した距離(d_{worker})と実測値から推定した従業員単独移動速度(v_{worker})をもとに算出した。同様に、従業員がカートと移動した時間は大通りを移動した距離(d_{cart})と実測値から推定したカート移動速度(v_{cart})をもとに算出した。1オーダーあたりの停止時間は実測値から推定したピッキング一件当たりの平均ピッキング作業時間(T_{pick})と平均積荷作業時間(T_{load})を1オーダー中のピッキング回数分足し合わせた時間を指す。

3.3 実測値からのパラメータ抽出

計測データからシミュレーションのパラメータとして従業員の移動速度とカートの移動速度、平均ピッキング作業時間と積み荷時間の抽出を行った。従業員の移動速度とカート速度に関して得られた結果をFig.5に示す。従業員の移動速度は、棚と棚の間の同じ通路上の従業員が反応したID付可視光間の時間と距離をもとにその速度を算出している。大通りと通路の交差点にID付可視光がある場合は、この交差点付近で止まって積み荷作業をしていると考えられ、ID付可視光間

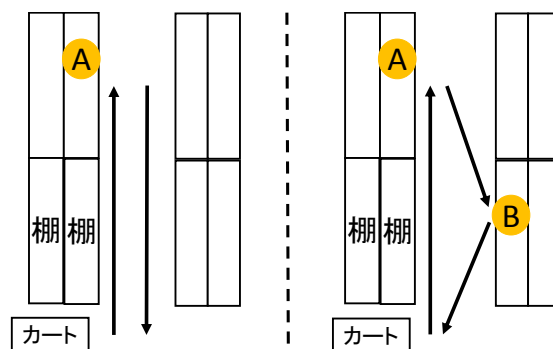
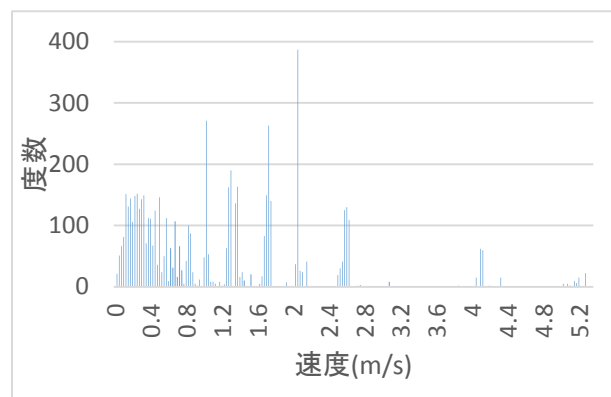
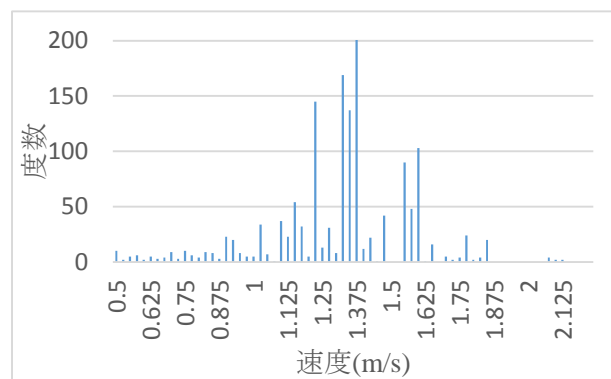


Fig.4 ピッキング移動パターン図



(A)従業員単独移動速度



(B)カート移動速度

Fig.5 従業員・カート移動速度グラフ

のデータに移動時間以外の情報が含まれる可能性が高い。そのため、この条件に当てはまるID付可視光間データは通常の移動以外の時間を含んでしまう可能性があるため、速度を算出する際のデータから除いた。従業員単独移動速度結果をFig.5(A)に示す。グラフからわかるように、速度0~0.79の間に小さな峰がある。この峰付近のデータの移動時間を見てみると他の移動時間に比べて、極端に時間がかかっていることがわかった。(Table 1参照)これはピッキングなどの作業時間が含まれてしまったため、他の移動時間に比べて長くなったと考えられる。ゆえに、ピッキングなどの作業が含まれない通常移動のみを取得するた

	0~0.79(m/s)	0.8~ (m/s)
平均移動時間(s)	20.8	3.37
データ数	10718	12157

Table 1 従業員速度 移動時間比

従業員単独移動速度(m/s)	1.74
従業員カート移動速度(m/s)	1.37
平均ピッキング作業時間(s)	17.4
平均積み荷時間(s)	12.1

Table 2 従業員モデルのパラメータ

め、従業員の移動速度の代表値を最頻値とした。次にカート速度について、VLCデータ中カートが大通りで連続的に取得したID付き可視光間の時間と距離を基にカート移動速度を算出している。カートが移動するのは従業員が押しながら移動させている時であるため、ピッキングに棚の間の通路で従業員がID付き可視光を受信していない際のカートが受信したID付き可視光データから取得している。さらに、可視光が同じ位置で何度も可視光を受光している場合、停止していると考えられる。連続的にID付き可視光に反応しているデータを取得するため同じ可視光位置で4回以上反応しているデータは移動速度の抽出データから除いている。連続的に長距離を移動しているものと断続的に短距離を移動しているものの両方を抽出し移動速度の算出に用いている。得られたグラフをFig.5(B)に示す。異常値に左右されないため、カートの移動速度の代表値を中央値とした。ピッキング時間に関して、ピッキング作業はWMSデータからピッキングが行われた時刻データが計測できているが、ピッキング作業がいつ開始されて終了したのかは明確ではない。そのため、今回ピッキング作業はピッキング棚の前で停止して行うという仮定に基づき、ピッキング作業時間を取得した。まずは、ピッキングが行われた時刻の前後で反応したID付き可視光の時刻からピッキング範囲を決める。その後、先に反応した可視光位置と後に反応した可視光位置の棚までの距離と推定した従業員単独移動速度をもとに、棚の前に到着した時刻と棚を離れる時刻を算出しピッキング作業時間を推定した。なお、棚近くのID付き可視光が反応していない場合を考慮し、ピッキングが行われた前後で反応したID付き可視光位置がどちらも1.2m以内であるもののみを対象とした。次に、積み荷時間について、積み荷時間はピッキング時間のように明確にデータが取得されていないため、全時間から全移動時間と全ピッキング時間を差し引いて、全積み荷時間とした。全積み荷時間を1オーダーあたりのピッキング回数で割り、一回あたりの平均積み荷時間を推定した。得られたパラメータをTable 2に示した。

4 シミュレーション概要

計測データの分析には4月17日~23日までのデータを用いた。カート制約有りモデルをもとに実測値より推定したパラメータを用いたシミュレーション基盤を構築した。カート制約有りモデルでシミュレーションした結果と制約を与えていないモデル(以下カート制約無しモデル)のシミュレーション結果を計測データから抽出した実測値と比較した。Fig.6に比較した図を示す。カート制約無しモデルは常にカートと通路を移動しながらピッキングを行い、ピッキング間を最短経路で移動するモデルである。制約有りモデルと制約無しモデルの両方にWMSデータのピッキング順序を与えて、その作業時間と作業距離を得た。実測値である実測時間と実測距離について、実測時間は1オーダー中の最初のピッキングが開始された時刻から最終のピッキングの時刻までの時間を指す。また、実測距離はWMSのピッキングデータとVLCの可視光データを用いて、フロア上にノードとエッジで通路と大通り上に作成したネットワーク図をもとに、VLCデータとWMSデータを組み合わせ推定した経路距離である。カート制約無しモデルは実測値の分布と比べて、作業時間と作業距離共に分布が小さくなっている。カート制約無しモデルは常に従業員がカートを押しながらピッキング作業を行うため、積み荷時間の考

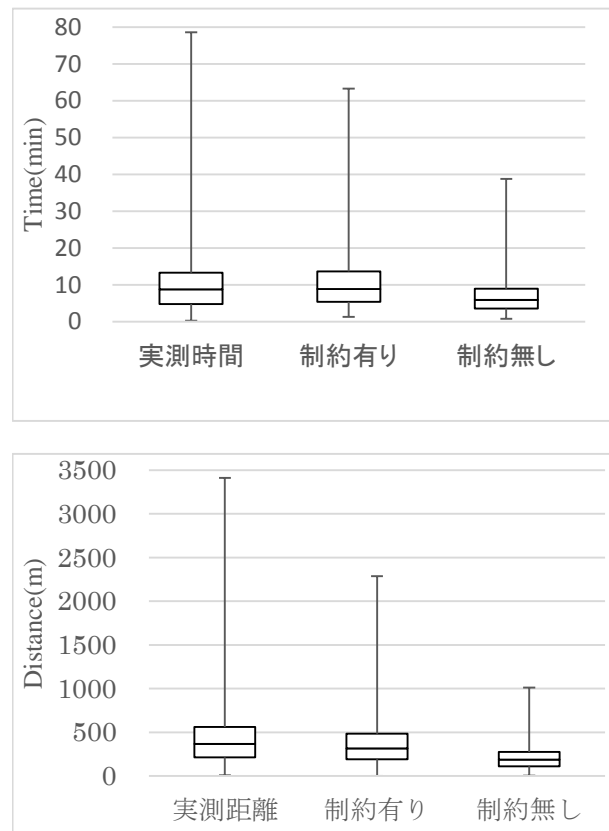


Fig.6 実測値—シミュレーション値比較

慮がされていない。そのため作業時間が短くなり分布が小さくなったと考えられる。また作業距離に関しても、ピッキングから次のピッキングまでを最短経路を移動しているため、実測距離に比べて移動距離が短くなり、制約なしモデルの分布が小さくなったと考えられる。一方、制約ありモデルは作業時間と作業距離共に実測値と比較して分布が特徴を捉えている。ただし、カート制約ありモデルのパラメータは比較している実測値の時間から算出しているため、作業時間比較に関しては更なる検証が必要である。そこで、パラメータ推定に用いたデータとは異なる期間の作業時間と比較し、検証する。

5 実験結果と考察

5.1 実験方法

実験では、4月17日～23日のデータを基に作成したシミュレーション基盤を用いて、4月24日～30日のシミュレーションを行い、この期間の実測データとの比較を行った。実測値として1オーダー中のピッキング間の時間を実測時間とした。実測時間は移動時間とピッキングや積み荷の作業時間に分けられる。まずは、移動時間について、実際には従業員が最短経路を完全に選択し移動することは難しい。そのため実測距離とシミュレーションで求める最短経路距離には差が生じる。全移動時間との比較をするには、この最短経路以外の移動を考慮する必要がある。4月17日～23日のデータを基に作成したシミュレーション結果とその期間の実測値を比較したところ、シミュレーション結果に比べて実測距離の方がシミュレーション距離の約15%分長いことが明らかとなった。ゆえに、4月24日～30日のデータに対しても従業員の最短経路以外の移動距離をシミュレーションで得た作業距離の15%とし調整し、この距離をもとに最短経路外の移動時間を算出した。シミュレーションで得られた最短経路の移動時間と経路外の移動時間を対し合わせ移動時間取得した。期間内に行われたピッキング回数からシミュレーションを用いてピッキング作業時間と積荷時間を算出した。これら作業時間と移動時間を足し合わせ、全作業にかかった時間を推定した。このシミュレーション値と実測時間の比較を行った。

5.2 実験結果

得られたシミュレーション作業時間と実測時間の比較結果をTable 3にまとめる。実測時間とシミュレーション作業時間の差は3312秒であった。これは1オーダー当たりの平均差が約4.86秒であることを示す。(オーダー数682件)実験に用いた期間の1オーダー当たりの平均作業時間は611秒であり、シミュレーションで得られた結果は実測値に非常に近い値になった。

実測時間(s)	416043
シミュレーション作業時間(s)	419343
比較差(s)	3312
1オーダーあたりの差(s)	4.86

Table 3 実測時間とシミュレーション作業時間の比較

6 まとめ

本研究ではカート制約あり従業員ピッキング作業モデルを提案した。提案したモデルに基づいて実測データを用いてシミュレーションのパラメータを抽出しシミュレーション基盤の構築を試みた。カート制約ありモデルを実装して実測値と比較したところ、作業時間、作業距離共に実測に近づけることができた。また、他の日程に取得した実測値との比較を行うことで、今回提案したモデルのシミュレーションが高い精度で再現していることも確認することができた。これは改善活動効率化のためのモデルの確立を行う上で十分な結果であると言える。今後、今回提案したモデル・シミュレーション基盤を用いて、カイゼンシミュレーションを行いその検証を行う。

謝辞

本研究では株式会社フレームワークス、パナソニックが武士木会社エコソリューションズ社、パナソニックシステムネットワークス株式会社の協力を得て実施しました。ご協力頂いた皆様に御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) Adrian Adewunmi and Uwe Aickelin Optimisation of a Crossdocking distributioncentre simulation model Proceedings of the 2008 International Simulation Multi-Conference (SCS), San Diego, USA, 434/439 2008.
- 2) 春山真一郎:”可視光通信”,電子情報通信学会誌,Vol.94,No.12,1055/1059,2011.