

倉庫内作業プローブシステムにおけるボトルネックの検出と男女の生産性比較 Bottle-neck Detection and Productivity Comparisons between Male and Female by Using Warehouse Work Probe System

麻生 敏正[†]
Toshimasa Aso

1. はじめに

人々の生活を支える物流現場において、少子・高齢化による若年労働力不足や労働災害は深刻な問題である[1]。そのため、生産性向上および女性や高齢者に配慮した作業環境の構築が切望されており、現場の管理者が中心となった、作業の平準化等の改善活動が重要となっている。

物流の要所の一つである倉庫において、ピッキング作業(保管されている大量の商品から、注文の商品を必要な個数だけ取りそろえること)は施設運営コスト全体の約6割を占めることもある[2]。物流倉庫では、季節変化等の需要変化により、取扱量の変更や商品の入れ替えが必要になることが多く、その都度、効率化のために作業方法を変更する必要がある。ゆえに、現場改善では、継続的かつ定量的に現状把握を行い、その都度適切な改善を行うことが重要である。この観点から従来研究を分類すると、改善方法に関する研究[3]-[8]と現状把握に関する研究[9]-[13]に分類できる。例えば、文献[3]では、デジタルピッキング(pick-by-light)とスマートグラスと重量計を組み合わせ、ペーパーレス化と荷の取り出しミス防止するピッキングシステムを実装し、その評価を行っている。

一方、ITを用いた現状把握に関する研究は、様々な分類が可能であるが、「姿勢」「動作」「要素作業」といった観点から3つに分類できる。作業は複数の主要な要素作業から構成される。例えば、ピッキング作業は、移動、探索(間口の場所を探す、間口から荷を見つける)、荷の取り出しといった要素作業で構成される。さらに要素作業は複数の動作から構成される。例えば、移動は手で台車を押す動作や足を動かす動作等から構成される。動作はある瞬間の上部や腕の曲げ伸ばしといった姿勢の変化で表される。

姿勢計測に関する研究は文献[9]などで行われている。文献[10]では、手の動作を計測可能な、スマートウォッチを用いたモーション認識システムの開発を行っている。また、文献[11]では、専用デバイスを作成し、工場でのピッキング作業における部品の取り出しを計測するモニタリングシステムを構築している。物流倉庫のピッキング作業を対象とした研究も行われており、文献[12]では、スマートフォンのセンサデータとハンディターミナルの時刻データを用いて要素作業推定を行う手法を提案している。そして、倉庫内作業プローブシステム[13]に実装した上、実作業データを用いて性能評価を行い、各要素作業の平均誤差時間比率は約3%と高精度に計測できることを示している。この手法を用いることで、作業管理の高度化が期待できる。

しかしながら、倉庫内作業プローブシステムにおいて、

ボトルネックとなる要素作業の検出方法の検討や、男女の生産性比較は行われていない。ボトルネックとなる要素作業を容易に検出することができれば、PDCAサイクルを迅速に回すことができ、作業の効率化に寄与できる。また、男女の作業特性を明らかにすることで、適材適所の人員配置が可能になり、作業の効率化や長期雇用につながると考えられる。

そこで本稿では、まず、四分位範囲を利用した外れ値判定によるボトルネック検出について検討を行う。つぎに、男女の生産性比較を行い、それぞれの作業特性について評価する。

2. 倉庫内作業と倉庫内作業プローブシステム

2.1 一般的な倉庫内作業

ピッキング作業の一般的な流れは、

- (1) 段取り
- (2) 移動
- (3) 探索
- (4) 荷の取り出し
- (5) (2)~(4)を指示書の行数分、繰り返し
- (6) 移動
- (7) 情報入力・流通加工・梱包
- (8) 移動

である。(1)と(7)では移動が複数回発生することもある。前述の指示書とは出荷指示であり、企業ごとに形式が異なるが、商品名、ロケーション、数量等が書かれている。

ピッキング作業を構成する要素作業は様々な分類が可能であるが、多くの倉庫で共通のものと、倉庫ごとに異なるものに分けられる。共通の要素作業は、移動、探索、荷の取り出しの3種である。

本稿では、ピッキング作業における要素作業を以下のように定義する。移動とは、台車を押す、荷を抱えての歩行、または普通の歩行である。探索とは、間口(荷の置いてある棚やそこにある段ボールやオリコン等)の場所を探すことや、1つの間口に複数の荷がある場合、対象の荷を探すことである。探索は、商品ロケーションに関する知識の不足や商品の見づらさ等で、移動しながら荷を確認できない場合に発生する。荷の取り出しとは、間口から荷を取り、ハンディターミナルで荷のバーコードを読んで、オリコン等に入れることと定義する。

一方、倉庫ごとに異なる要素作業は、指示書の受け取りやオリコンの準備等の、段取りに相当する要素作業や、書類記入や値札貼りや梱包等の、情報入力や流通加工や梱包に相当する要素作業である。これらは、荷主企業との契約内容や利用する情報システムに依存するため、改善する場合は、契約の見直しや大規模なシステム入れ替え等が必要となり、現場主体での改善では実施しにくい。本研究では現場管理者が主体となった現場改善を主たる対象としてい

[†] 東京海洋大学, Tokyo University of Marine Science and Technology

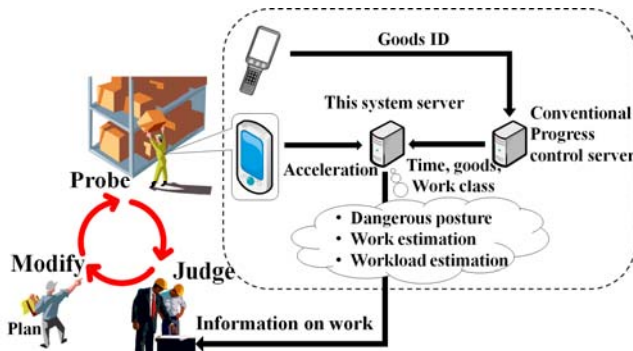


図 1 倉庫内作業プローブシステム

るため、現場主体での改善では実施しにくい、倉庫ごとに異なる要素作業である(1)と(7)をその他の要素作業と定義する。

2.2 倉庫内作業プローブシステム

本研究では、計測に関係する部分だけをシステムと考えるのではなく、プローブシステムの出力結果に基づく判断と、修正の過程まで含め、倉庫内作業プローブシステムと考える（図 1 参照）。本システムは、人力による運搬や荷役作業を主たる対象とし、とくに現場管理者が主体となった改善の支援を目的としている。

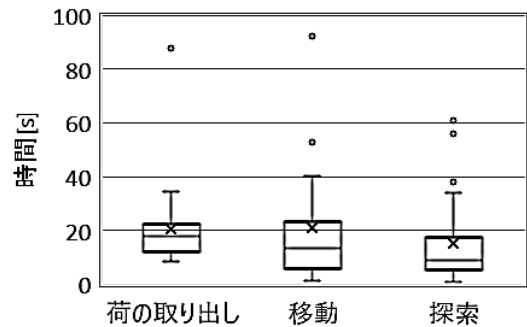
スマートフォンには種々のセンサが搭載されており、3種の加速度と3種の角度を取得することができる。本システムでは、これらを用いて作業推定等を行う。

図 1 の“調査”では、作業者がスマートフォンを胸ポケットに入れて作業をするだけで、業務を阻害することなく、時々刻々の作業姿勢や移動などの動作を反映する加速度などのデータを取得する。サーバでは、雑音の除去などを行った上、無理な作業姿勢の抽出や動作推定や作業推定、これらの負荷の推定を行う。そして作業管理者に対して、直感的でわかりやすいよう作業情報の可視化を行う。“判断”では、作業管理者が前述の情報に基づき、現在の問題点の有無や以前に実施した改善策（例えば作業修正やレイアウト変更など）の効果を判断する。“修正”では、“判断”に基づき、作業修正やレイアウトの変更を行う。これにより現場主体で、無理な姿勢の修正や作業の省力化、安全性の向上や効率化、コスト削減が可能となる。

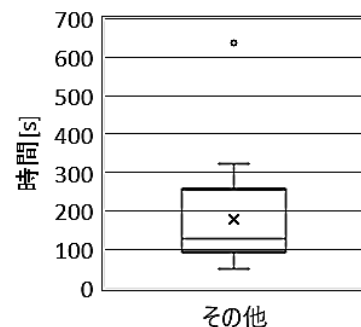
要素作業推定では、多くの倉庫で共通の要素作業に着目し、予め取得した各種要素作業の基準データとの類似度比較により、時々刻々の要素作業を推定する。本手法は、大別して、基準となる要素作業を取得する「基準データ取得部」とこの基準データを用いて時々刻々の要素作業の推定を行う「要素作業推定部」から構成される。文献[12]では、実作業データを用いて性能評価を行い、各要素作業の平均誤差時間比率は約 3%と高精度に計測できることを示している。

3. 作業計測

作業方法が変更されたばかりのアパレル系倉庫において作業計測を行った。この倉庫のピッキング作業規則は 2.1 と同じであるが、(1)のその他では「指示書を取る、オリコンの準備」を行い、(7)のその他では、「梱包、値札貼り、書類記入等」を行う。荷の運搬には台車を用いていた。ま



(a) 共通の要素作業



(b) 共通でない要素作業

図 2 倉庫内作業プローブシステム

た、荷への埃の混入防止のため、多くの荷は段ボールやオリコン内に入れられていた。

スマートフォンは、エブロン(制服)の胸ポケットにいった。作業の様子はビデオカメラで撮影した。この倉庫では企業の情報システムからハンディターミナルの作業実績を抽出することができなかったため、本稿では、動画からこの作業実績データを作成した。

被験者は従業員であり、男性の作業データは計 8、女性の作業データは計 22 である。前述のように、計測の直前にピッキング方法が変更されたため、作業経験はみな数ヶ月以下であった。計測は 1 回 30 分程度を目安とし、区切りのよいところまで作業をしてもらった。

4. 外れ値検出によるボトルネックの検出

本稿では、簡易さに配慮し、四分位範囲を利用した外れ値判定によるボトルネック検出方法を検討する。全作業データを対象とした、各要素作業の箱ひげ図を図 2 に示す。荷の取り出しは 1 ピースあたり作業時間、移動と探索は指示書 1 行あたりの作業時間、その他の要素作業は 1 指示書あたりの作業時間である。図中の×は平均値であり、上下のひげは、外れ値(特異点)を除いた観測値の上限と下限を示している。上部のひげの上にある点が外れ値である。本稿では、第 3 四分位数に箱の高さの 1.5 倍の値を加えた数値よりも大きな観測点を外れ値とした。図 2 では、荷の取り出しでは 1、移動では 3、探索では 4、その他では 1 の作業データが外れ値であることが示されている。

外れ値として判定された、作業データについて動画分析を行った。まず、外れ値と判定された荷の取り出しは、最も初めに計測した作業データであり、作業方法が変更になった直後であったため、作業者は作業方法を確認しながら

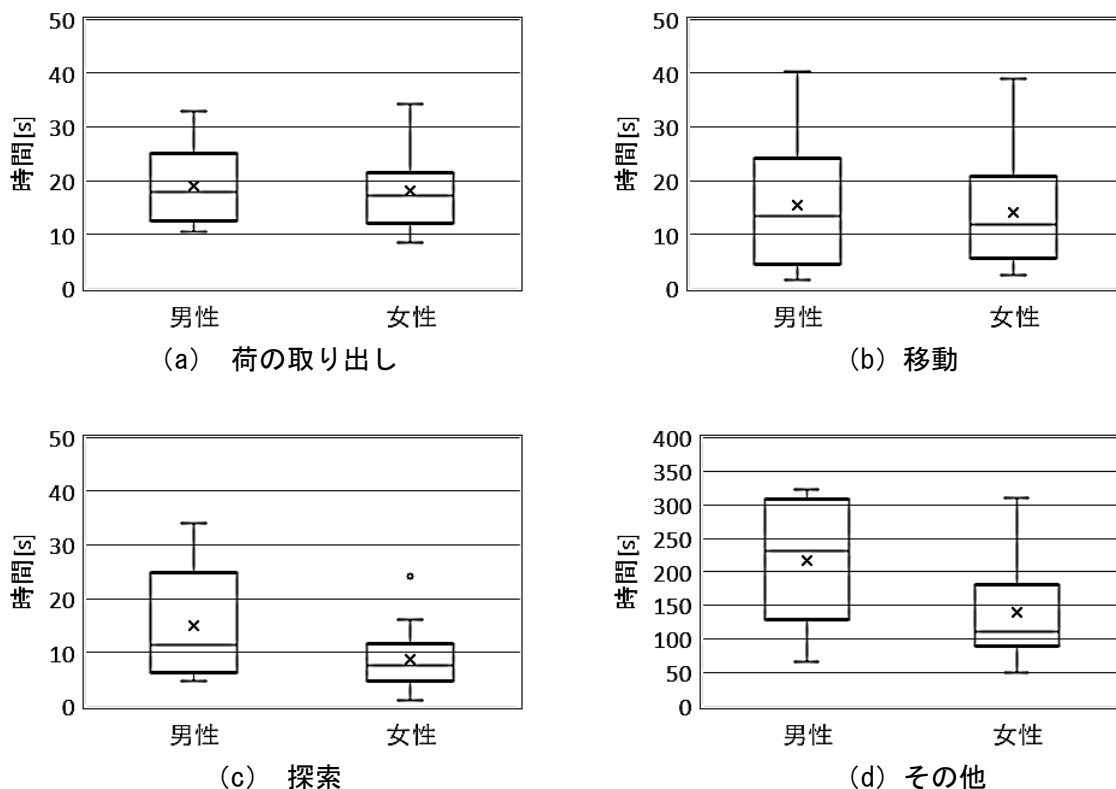


図3 男女の作業時間の比較

作業をする場面があった、さらに、例外的に、荷の取り出し直後にシール貼りをすることもあった。同様に、外れ値と判定された移動については、ラベルプリンタの故障による移動距離の増加、不要な台車と棚の往復(複数回)、現場管理者に相談するための移動が確認できた。探索では、作業者の商品ロケーションの間違えや、1つの間口に複数の荷が入っていたため、探索に時間がかかっていることもあった。また、取り出したい商品が下積みされていたため、他の荷を動かすことが必要な場面もあった。外れ値と判定されたその他の要素作業では、他と比べて多くのシール貼りを行っていた。以上より、外れ値と判定したものはすべて、他と比べて多くの時間がかかる要素作業があることが確認できた。

これらの結果より、四分位範囲を利用することで、時間がかかる作業を容易に検出できることがわかった。前述の、要素作業時間が他よりも大きくなる原因は、作業者に原因があるものと環境に原因があるものに大別できるが、作業実績や作業器具の管理情報、相談時刻のメモ等を活用することにより、これらの識別可能であると考えられる。ただし、具体的な検討は今後の課題とする。

5. 男女の生産性比較

4. で外れ値と判定された作業データを除き、男女の生産性を要素作業毎に比較する。比較結果を図3に示す。これらの結果より、荷の取り出しと移動については男女の差はほとんどないことがわかる。ただし、荷の取り出しについては、他3種の要素作業とは異なり、最大値が女性よりも小さくなっている。これは、女性よりも男性は筋力があるためと考えられる。ただし、計測を行った倉庫はアパレル倉庫であるため、例えば1つで10kgを超えるような、

重い荷がなく、大きな差が表れなかったと考えられる。分散分析等のより詳細な分析は今後の課題とする。

探索やその他の要素作業においては、男性作業者に比べ、女性作業者のほうが作業時間は小さく、生産性が高いことが分かった。さらに、探索やその他の要素作業では、女性に比べて男性は作業のばらつきが大きいこともわかった。本倉庫の棚は、女性が作業しやすいように高さを調整しており、男性作業者にとって荷を見つけにくい環境となっている可能性がある。ただし、別の観点からいえば、この倉庫のピッキング作業者は女性のほうが多いため、女性に配慮できている職場といえる。また、その他の要素作業のシール貼りは比較的細かな作業であり、指の細い女性のほうが作業しやすいため、その他の要素作業の作業時間が小さくなったと考えられる。今後は、男性作業者のサンプル数をさらに増やした上、ヒアリングを行い、より詳細な原因の調査を行う。

上記より、本倉庫では、複数の商品が入っている間口から荷を取るような場合(ただし4.で述べたように、作業時間は大きくなるため、保管スペースの制約でロケーションを分けることが難しい場合を除き、できる限り削減することが望ましい)や、その他の要素作業が占める割合が多くなる作業(例えば、シール貼りが多い出荷指示等)は、女性作業者に担当してもらうほうが生産性の観点からよいことがわかった。一方、男性作業者には、大きな荷や重たい荷を取り出すことが多い指示書を担当してもらうことがよいといえる。このように役割分担をすることで、本倉庫では、さらに作業改善が図れる可能性がある。

以上より、倉庫内作業プローブシステムの要素作業計測によって、ボトルネックとなっている要素作業の検出や、

男女の作業特性を評価できることを示した上、現場の管理者が中心となった、作業の平準化等の改善活動への利用方法を明らかにした。

6. おわりに

本稿では、倉庫内作業プローブシステムにおけるボトルネックの検出と男女の生産性比較を行った。まず、四分位範囲を利用した外れ値判定によるボトルネック検出について検討を行った。動画分析を行い、外れ値と判定された作業ではみな、他と比べて時間が多くかかる要素作業があることが確認できた。これらの結果より、四分位範囲を利用することで、ボトルネックとなる作業が容易に検出できることがわかった。つぎに、男女の生産性比較を行い、それぞれの作業特性について評価した。これらの結果より、荷の取り出しと移動については男女の差はほとんどないが、探索やその他の要素作業においては、女性作業者のほうが作業時間は小さく、生産性が高いことが分かった。そして、これらの結果を踏まえ、男性作業者や女性作業者の特性に合った、作業方法について考察を行った。

今後の課題としては、より多くの作業データを計測し、詳細な分析を行うことや、他の倉庫での計測等がある。

謝辞

本研究は JSPS 科学研究費補助金 (科研費) 15K17140 の助成と、東京海洋大学の平成 29 年度学長裁量経費「大学改革・機能強化等推進事業」の助成を受けたものである。また、実験に協力いただいた方々に感謝する。

参考文献

- [1] 公益社団法人全日本トラック協会, "日本のトラック輸送産業 - 現状と課題 - 2016", "http://www.jta.or.jp/coho/yuso_genjyo/yuso_genjo2016.pdf.
- [2] Edward Frazelle, "World-Class Warehousing and Material Handling, McGraw-Hill, 2001.
- [3] Xiaolong Wu, Malcolm Haynes, Anhong Guo, Thad Starmer, "A Comparison of Order Picking Methods Augmented with Weight Checking Error Detection," ISWC 2016, pp. 144-147, 2016.
- [4] 芦沢恭平, "リフトレス台車で作業効率アップ!", "全日本物流改善事例大会 2014, pp.D-15-1-D-15-9, 2014.
- [5] 牧克行, "『姿勢重量点』を導入した安全で働きやすい物流現場づくり", "全日本物流改善事例大会 2013, pp.B-6-1-B-6-10, 2013.
- [6] 米田輝憲, 原田美智子, "ピッキング時間と移動時間の短縮による作業生産性の改善", "全日本物流改善事例大会 2012, pp.B-8-1-B-8-10, 2012.
- [7] 飯田健司, "荷役効率向上", "全日本物流改善事例大会 2013, pp. A-3-1-A-3-10, 2013.
- [8] 井上真治, "トヨタ生産方式(TPS)の手法を用いた改善プロジェクトの取組", "全日本物流改善事例大会 2014, pp.B-5-1-B-5-9, 2014.
- [9] 清水彩, 東條安宏, 麻生敏正, 黒川久幸, "スマートフォンを用いた倉庫内作業プローブシステムの基礎的検討", "電子情報通信学会技術研究報告, ITS2013-70, pp.13-18, 2014.
- [10] 川添恭平, 中居新太郎, 守井清吾, 青木功介, "スマートウォッチを用いたモーション認識システムの開発", "INTEC TECHNICAL JOURNAL 第 17 号, pp.62-67, 2016.
- [11] 大塚昌太, 佐藤永欣, 村田嘉利, 高山毅, "地磁気・加速度センサを用いた工場でのピッキング作業のモニタリングシステムの開発", "情報処理学会全国大会講演論文集第 72 回(ネットワーク), pp.521-522, 2010.
- [12] 麻生敏正, 黒川久幸, 上村聖, "倉庫内作業プローブシステムにおける要素作業推定", "電子情報通信学会論文誌, Vol. J101-D, No.10, 2018 (印刷中) .
- [13] 麻生敏正, 黒川久幸, "スマートフォンを用いた倉庫内作業プローブシステム～運搬と荷役における作業姿勢の推定可能性～", "日本物流学会誌第 21 号, pp.87-94, 2013.