

コンシューマ・システム論文

物流倉庫での仕分け作業におけるウェアラブルデバイス 適用方式

藤原 貴之^{1,a)} 小坂 忠義¹ 松田 孝弘¹ 中島 洋平¹ 櫻田 崇治² 尾崎 友哉¹

受付日 2015年10月1日, 採録日 2016年2月23日

概要: 物流事業では、他社の物流管理業務を請け負う Third Party Logistics (3PL) の競争が激化しており、より多くの会社から長く受注を得るためにコスト削減が強く求められている。コスト削減、すなわち作業者の作業効率を向上させる手段として、身に着けるコンピュータデバイスの総称であるウェアラブルデバイス (WD) が近年注目を集めている。従来、作業者はハンディターミナル (HT) と呼ばれる端末を片手に持ちながら作業することが多いが、WD を使うことで、両手を空けたまま作業が可能になるため、作業速度の向上が期待できる。しかし、WD はメガネ型、腕時計型など多様な形態を持ち、それぞれ PC やスマートデバイスと入力方式や表示方式が大きく異なることが課題である。本論文では、前述の課題を解決し物流作業で WD を適用すべく、物流作業向け WD 適用方式を提案する。本方式を用いて実際の倉庫での仕分け作業に適用し、従来作業との速度比較を行った。この結果、被験者全体の加重平均により従来作業比 15% の工数削減が示され、本方式の有効性を検証できた。

キーワード: ウェアラブルデバイス, 作業支援システム, 仕分け作業, 物流

An Applied Method for Wearable Device with Distribution Work in Logistics

TAKAYUKI FUJIWARA^{1,a)} TADAYOSHI KOSAKA¹ TAKAHIRO MATSUDA¹ YOHEI NAKAJIMA¹
TAKAHARU SAKURADA² TOMOCHIKA OZAKI¹

Received: October 1, 2015, Accepted: February 23, 2016

Abstract: In logistics department, a lot of companies compete with others in “Third Party Logistics (3PL)”, which is a firm that a client company outsources logistics service to a logistics company. Logistics companies have to reduce management cost to get order by client company in long terms. Recently, wearable devices, which means body-borne computer, attract many companies. Traditionally, warehouse workers works with “Handy Terminal (HT)”, which is a device for warehouse work. If they work with WD, they can work faster with hands-free operation. But there are two problems. One is various WD such as glass type and watch type and so on. The other is various input method and display size. In this paper, we propose an applied method for wearable device to adapt WD for distribution work in logistics. We applied the method to distribution work in a warehouse and made evaluation of the method. The result of experience shown that the proposed method can effectively reduce working cost 15% compared to previous working method.

Keywords: wearable device, working support system, assort work, logistics

1. はじめに

物流の分野では、国内総貨物輸送量が 1995 年度にピー

本論文で述べられたシステムおよび製品名は、一般に各社の商標または登録商標である。

¹ (株)日立製作所
Hitachi, Ltd., Chiyoda, Tokyo 100-8280, Japan

² (株)日立物流
Hitachi Transport System, Ltd., Koto, Tokyo 135-8372,
Japan

^{a)} takayuki.fujiwara.yq@hitachi.com

クを迎えた後、景気動向による多少の増減はあるが、減少傾向にある [1]。一方、貨物自動車を扱う運送業者は、1980年頃から過去 30 年間上昇傾向であり、たとえば 1976 年には事業者数が 31,985 であったが、2013 年には 62,905 に増加している [2]。そのため、国内では物流業務に関する競争が激化している。

国内の物流業務の 1 つに 3PL (Third Party Logistics) がある。3PL とは他社の物流に関する業務を受託する事業であり、調達、在庫管理、出荷など様々な業務を含んでいる。より多くの受注を長く受けることで安定した収益を得ることができる。しかし、近年は 3PL 事業の受注に関しても他社との競争が激化しており、受注を得るためにはコスト削減だけでなく新技術や手法の採用により、他社との違いを示すことが求められている。

一方、世の中の動向としてウェアラブルデバイスが注目されている。ウェアラブルデバイスとは身につけて扱うコンピュータ機器の総称である。作業中に手を空けられるという利点があり、物流の分野では、指示された場所から商品を集めるピッキング作業向けの検討が進んでいる [3]。

本研究では、ウェアラブルデバイスを物流作業に適用したときの作業効率向上効果の検証、およびウェアラブルデバイスを業務利用するための知見取得を目的とする。本論文では、物流の作業の一例である、指示された場所に対して商品を分配する種蒔き仕分け作業の工数削減に注目し、種蒔き仕分け作業に適したデバイス、入力手段の選定、および作業指示方法を含む、作業支援システムの構築を提案する。提案したデバイスの利用形態とシステムを用いて、種蒔き仕分け作業を扱う倉庫に適用し、従来の作業方法とウェアラブルデバイスを使った作業方法を比較して作業工数削減効果を評価し、有効性を確認した。また、本研究で得た業務利用に関する知見を整理した。

2. 従来の作業工程とウェアラブルデバイスの概要

2.1 3PL の概要

3PL とは他社の物流に関する業務を受託する事業である。3PL の対象は食品、家具、電化製品など幅広い。3PL の一例として、日々入庫する商品を選別し、次の配送先へ配送する形態がある。たとえば食品や雑貨などを扱うチェーン店を持つ企業が委託元の場合、委託元の要求に従って大量の商品を入荷し、それを各店舗に配送する業務が日々発生する。

なお、物流業界では、商品を指示に沿って分配することを「仕分ける」、という。以後、本論文では上記の動作を「仕分け」、と呼ぶ。

2.2 適用対象候補とした作業工程

3PL 事業を行う倉庫で実施される代表的な作業工程を

表 1 適用先工程の検討結果

Table 1 Investigation result of candidate works.

作業工程	要件(1)	要件(2)
入荷検品	○：問題なし (対象エリアにて実験を行う場所と時間の確保が可能)	×：バーコードスキャンのみで、作業効率向上見込みが小さい
種蒔き仕分け	○：問題なし (対象エリアにて実験を行う場所と時間の確保が可能)	○：作業指示ラベル認識、仕分け先探索、配布など
積み込み	×：トラックが行き交うため安全性の観点から実験困難	○：作業指示・商品・出荷先ラベル認識、トラックへの最密積載など

示す。

(1) 入荷検品

他の倉庫あるいは製造元から配送された商品が入荷内容と一致しているかを照合する作業である。倉庫入り口で実施される。

(2) 種蒔き仕分け

配送先別に商品を分配する作業である。倉庫内部には配送用カートが並べられたエリアがあり、作業者は指示どおりに商品を配送先カートに配置する。

(3) 積み込み

配送先向けに商品を積載した配送用カートをも、配送用トラックに積み込む作業である。

倉庫では 1 秒単位で作業者の生産性を管理し、収支計算の基準としている。倉庫内での実験で作業が滞ると、その日の生産性に影響を与えてしまうため、実験を行うこと自体が簡単ではない。また、実験によって安全性に懸念が出る可能性がある場合、実施自体が困難である。

本研究では、そのような運営事情を要件 (1)、作業項目の多さを要件 (2) とし、2 点を考慮して各工程を検討した。要件 (2) を定めた理由は、倉庫作業の項目は類似点が多く、作業項目が多い工程で適用すると、他工程の作業項目への応用が効きやすいためである。表 1 に示した検討結果より、要件 (1)、(2) を満たす種蒔き仕分けを検討対象とした。

2.3 種蒔き仕分け工程の概要

種蒔き仕分けにおいて、作業者はハンディターミナル (図 1) と呼ばれる端末を用いる。ハンディターミナルは、バーコードスキャンが可能な発光部、無線 LAN や Bluetooth などの通信系、ディスプレイ、テンキーを備えた端末である。バーコードのスキャン、読み取ったバーコードに紐づく作業情報の表示、および商品情報の検索や変更、作業情報を倉庫内の管理システムに登録、などが可能である。

ハンディターミナルを使うと、作業対象の商品または配送先カートに貼り付けられたバーコードをハンディターミナルで読み取ることで作業指示を得る、または、作業の結



図 1 ハンディターミナルの例
Fig. 1 Example of handy terminal.

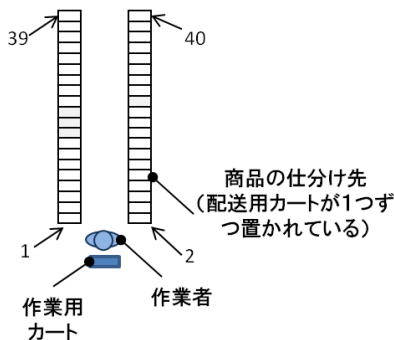


図 2 種蒔き仕分け作業の作業場所
Fig. 2 Workplace of distribution.

果をサーバに記録できる。次に種蒔き仕分け作業の作業場所を図 2 に示す。

図 2 のとおり、本研究で対象とした倉庫では、1 から 40 までの番号が割り付けられており、これらは間口と呼ばれている。各間口にはそれぞれ配送用カートが置かれている。配送用カートとは、配送先向けに商品が積載されるカートである。また、図 2 の作業用カートとは、分配対象の商品が積載されたカートである。次に、種蒔き仕分け作業の手順を図 3 に示す。

図 3 において、1) 作業指示バーコードを読み取り、では、作業者は作業用カートに貼り付けられているバーコードをハンディターミナルで読み取る。2) 仕分け個数、仕分け先の表示を確認、では、作業者は、ハンディターミナルに表示された商品の仕分け先、個数を確認する。3) 移動、で、作業者は作業用カートとともに指示された間口まで移動し、4) 指示された間口で表示個数を確認、では、作業者は作業ミスがないように確認し、5) 表示分を仕分け、で、作業者は配送用カートに商品を置く。ここで、仕分ける商品はケース単位、ピース単位、あるいは両者を混在して仕分ける場合がある。ケース単位とは、同一商品を 1 つのケースに詰めた状態を指し。ピース単位とは商品 1 つのことを指す。6) 仕分け先カートのバーコードを読み取り、で、バーコードを読み取ると、ハンディターミナルは作業状態を倉庫内のシステムに記録し、次の仕分け先の指示を

- 1) 作業指示バーコードを読み取り
- 2) 仕分け個数, 仕分け先の表示を確認
- 3) 移動
- 4) 仕分け先にて表示個数を確認
- 5) 表示分を仕分け
- 6) 仕分け先カートのバーコードを読み取り

図 3 種蒔き仕分け作業の手順
Fig. 3 Workflow of assortment work.

画面に表示する。以後、作業者はハンディターミナルの指示に従って 2) から 6) を繰り返す、作業用カートに積載した商品が空になるまで実施すると 1 サイクルの作業が終了する。

以上の説明は 1 種類の商品を仕分ける場合である。実際は 2 種類以上の商品を準備して 1 サイクルの中で各間口に仕分けることも可能であり、ハンディターミナルでも 2 種類以上の商品を同時に仕分ける仕組みがある。しかし、2 種類以上を同時に仕分けると、作業者が各商品の仕分け個数を間違えやすくなるという問題がある。そのため、ウェアラブルデバイスを適用する際は仕分けミスを減らす方式まで含めて検討する必要がある。本研究では作業速度の検証を目的としたため、評価対象を 1 種類の商品のみの仕分けに限定した。

3. 先行研究

ウェアラブルデバイスを使った研究は古くからあり、身に着けられるコンピュータ機器、メガネ型ウェアラブルデバイスへの情報表示方法、入力手段、などが検討されてきた [4]。物流関係の研究事例をあげると、RFID の読み取りが可能な腕装着型リーダの検討 [5]、メガネ型ウェアラブルデバイスに搭載されたカメラで作業対象の商品のバーコードを画像認識し、棚卸に必要な情報をメガネに表示させ、棚卸業務を効率化させる仕組みの検討 [6]、同じくメガネ型ウェアラブルデバイスに搭載されたカメラで作業対象の商品に作業指示を重畳表示させる仕組みの検討 [7] などがある。また、その他の分野では、作業倉庫全体に測定装置を備え、被験者がカードホルダ型のウェアラブルデバイスを身に付けて行動することで、被験者全体の行動パターンなどを把握する試み [8] や、工場の製品組み立て作業員がウェアラブルデバイスを装着し、ウェアラブルデバイスに

取り付けられたカメラ映像を別拠点の熟練者に転送し、作業支援を受ける仕組みの事例がある [9].

また、事業への適用については、物流関係のピッキング作業へ適用に向けた実証実験 [10], [11], 適用検証サービス [12] やソリューションの提供 [13] が関係各社より発表されている。本研究で対象とした種蒔き仕分けで扱う商品によっては、紙に印刷するだけのバーコードと比較して高価であるという理由により、RFID が付いていない場合がある。RFID リーダのみではハンズフリーの実現範囲は限定される。また、バーコードの位置が足元である場合があり、メガネ付近に搭載したカメラによる画像認識では、作業者が足元のバーコードを読み取ることが困難であるため適用しにくい。そのため、種蒔き仕分け作業にウェアラブルデバイスを適用させる検討はまだない。

4. 種蒔き仕分け作業向けウェアラブルデバイス利用形態の設計

4.1 本研究の課題と目標

種蒔き仕分けにウェアラブルデバイスを適用するためには、作業に適したウェアラブルデバイスの選定、入力手段の選定、作業指示方法という3つの課題がある。本論文では上記の課題解決を目標として検討した結果を示す。

4.2 種蒔き仕分け向けウェアラブルデバイスの選定

ウェアラブルデバイスにはメガネのように装着するメガネ型、腕時計のように装着する腕時計型など複数の形態がある。

(1) メガネ型

メガネのように装着し、装着者の視界に情報を表示させ、カメラを内蔵することで作業者の視線方向を撮影し、画像認識やAR (Augmented Reality) 表示に活用できる。大きく単眼型、両眼型と2つに分類することが可能である。それぞれ、目の前の視界に情報を重ねる透過型、目の前の視界を覆う非透過型がある。両眼型には視界を完全に覆い、目の前とはまったく異なる情報を表示する没入型など、さらに細かい分類が可能である。スマートグラスと呼ばれることが多いことから、本論文では以後、メガネ型ウェアラブルデバイスをスマートグラスと表記する。

(2) 腕時計型

腕時計のように装着し、従来の時計文字盤相当がディスプレイであり、情報を表示することができる。スマートフォンのような別端末と連携し、スマートフォンの情報を表示するタイプ、情報表示に加えて装着者の移動距離、運動量の度合い、睡眠時間などが計測可能なタイプがある。スマートウォッチまたはアクティビティトラッカと呼ばれることもある。

(3) 指輪型

指輪のように指に装着し、装着者の指の動きを測定して

表 2 入力手段の選定結果

Table 2 Result of input method selection.

入力手段	要件(1)	要件(2)
バーコードリーダー	○: グローブ型スキャナの使用が条件	○
画像認識	○	△
タッチパッド	×	×
ボタン	×	×
音声認識	○	×
ジェスチャ認識	△: 要件は満たすが、デバイスの性能不足により実現困難	×

連携した別端末の操作に使用するタイプ、操作機能に加えてスマートフォンのような別端末と連携して情報を表示させるタイプがある。スマートリングと呼ばれることもある。(4) その他

衣服のように着ることで装着者の心拍をとるものなどがあるが、本研究の段階では市販されておらず、研究用の入手見通しが立たなかった。そのため、本研究では対象外とした。

本研究では、作業情報の表示機能を備えていること、種蒔き仕分け以外の様々な工程への応用を見据えた知見の取得を兼ねて、(1) メガネ型を選択した。また、メガネ型の中でも没入型は実世界の視認ができないため、倉庫内を歩き回る種蒔き仕分け作業には不向きとして除外した。また、本研究推進時に取得可能であった単眼型は、固定が難しく、装着して移動するとディスプレイが視界に入らず情報の確認ができない場合があったため除外し、最も固定がしやすかった両眼型を選択した。両眼型の場合、片眼型よりも視野角が広く、視界の一部が遮られることになる。これは移動中の接触事故につながる危険性がある。そこで、両眼型の中で透過型を選択した。

4.3 入力手段の選定

入力手段の選定においては以下2点を要件に定めた。

(1) ハンズフリーであること

本研究は作業効率向上を目的とするため、作業中にハンズフリーであることが必須となる。操作を行うために何かの端末に触れたりすると、その時点でハンズフリーではないため、ハンズフリーで操作が完結することが要件となる。

(2) バーコードを読み取り可能であること

物流の倉庫では多数のバーコードラベルを使用するケースが多く、適用検討を行った倉庫ではバーコードを読み取ることで作業指示の取得や作業状況報告のトリガに使用する。検討結果を表 2 に示す。

表 2 の検討結果より、グローブ型スキャナを採用した。画像認識について、カメラでバーコードを認識させることは可能だが、倉庫においてバーコードの位置は多様であり、作業者の足元であることも多い。そのような場合、ス



図 4 グローブ型スキャナの装着例

Fig. 4 Example of glove type barcode reader.

マートグラス内蔵のカメラでは、バーコード認識において作業者に無理な姿勢を強いて作業効率が低下するため三角とし、本研究では採用しなかった。図 4 は装着形態の例であり、右手親指で人差し指付近のボタンを押すことでレーザーを射出し、ハンズフリーを保ったままバーコードの読み取りが可能となる。

4.4 スマートグラス向け作業指示

本研究で選択した透過型のスマートグラスを使用すると、装着者は風景に重ねて情報を視認するため、背景に含まれる色によっては情報が見にくくなる。また、スマートグラスは情報の表示領域が限られており、近年のスマートフォンと比較して解像度が低い。そのため多数の情報を表示させると作業者が見にくくなる。

そこで種蒔き仕分け作業に適した配色と表示情報を検討した。

(1) 配色の選定

当初、予備実験として事務室で視認性が高かったオレンジ系の色を使って試作したが、倉庫内のダンボールと同化して見にくかった。そこで、倉庫の背景色に合わない色は視認性が高いという仮説を立て、背景色に合わない色としてシアン、マゼンダ系の色を選定した。次にそれらの色で2種類ずつサンプル画面を作り、倉庫で現場作業員を含む約10名にスマートグラスを装着してもらい、計4種類の画面を確認してもらった。図 5 に、色別の被験者の視認イメージを示す。ただし、実際はスマートグラスのレンズを通して視認するため、装着者が受ける色の印象はこれとは異なる可能性がある。

結果、最も確認しやすいという意見が多かったシアン系の色を採用し、かつ色の鮮やかさから発生する眼の疲れを抑えるために彩度を下げた。しかし、倉庫で実験を続けるうちに彩度の低さが見にくさを発生させることが分かり、コントラストが高い白色を準備し、両者の比較実験を行った。



図 5 配色別の被験者の視認イメージ

Fig. 5 View image of each color.



図 6 ハンディターミナルの画面例

Fig. 6 Example display of handy terminal.

シアン系の色と白色の画面を作成し、上記と同じく約10名の被験者にスマートグラスを装着してもらい、種蒔き仕分け作業を30分実施してもらった。作業後に、疲労に関する項目で構成されたアンケート記入をしてもらった。アンケートは産業疲労研究会の作る自覚症しらべ [14]、を参考にして5段階で回答できるように作成した。

その結果、アンケート項目の1つ、「目がかわく」、「目がしょぼつく」がシアン系の色では最も有訴率が高くそれぞれ1.9であった。しかし、白色では有訴率が1.7、1.6に低下した。また、被験者からも白色の方が見やすいという感想を得た。以上より、配色として白色を選定した。

(2) 画面デザイン

図 6 のように、従来のハンディターミナルは多数の機能を含むため表示情報量が多い。同等の情報量をスマートグラスに表示すると、本節冒頭で述べたように作業者が見にくくなる。そこで、種蒔き仕分け作業に必要な情報量を調査し、必要な情報のみを選定した。選定結果は表 3 のとおりであり、スマートグラスには、図 2 で説明した間口の番号、および仕分けする商品の個数を表示することとした。

次に、選定した情報をもとに画面をデザインし、倉庫で

表 3 スマートグラスへの表示情報検討結果
Table 3 Displayed information on smart glass.

ハンディターミナルに表示された情報	要否	判定理由
作業指示番号	不要	非表示でも作業可能のため
JANCD	不要	非表示でも作業可能のため
商品名	不要	非表示でも作業可能のため
予定入荷数 CS(ケース数)	不要	非表示でも作業可能のため
予定入荷数 PS(ピース数)	不要	非表示でも作業可能のため
予定入荷数合計	不要	非表示でも作業可能のため
店舗数	不要	非表示でも作業可能のため
店舗残数	不要	非表示でも作業可能のため
間口番号(仕分け先)	必要	他と代替できないため
仕分け数 CS,PS	必要	他と代替できないため
店舗名	不要	間口情報と同等のため

表 4 デザインの選定結果

Table 4 Result of design evaluation.

#	デザイン	選定結果
1		不採用
2		不採用
3		採用

見え方、作業のしやすさを検証し、フィードバックを得て改良を繰り返した。各画面デザインの検証は、スマートグラスを装着して倉庫で種蒔き仕分け作業を一定時間実施し、作業後の感想を収集から問題点の有無をもとに判定した。検証者は本論文の研究従事者および倉庫の担当社員である。実際に倉庫で検証したデザインの特徴と評価結果を表 4 に示す。

表 4 において、デザイン 1 は予備実験である。表 3 で選定した情報に加え、図 2 で述べた作業場所を A, B, C, D, E の 5 つのエリアに分割し、作業場所を上から俯瞰したデザインとした。仕分け数については、当初 3 桁の仕分けがありえたため、3 桁目の数字をグレーにした表記とし

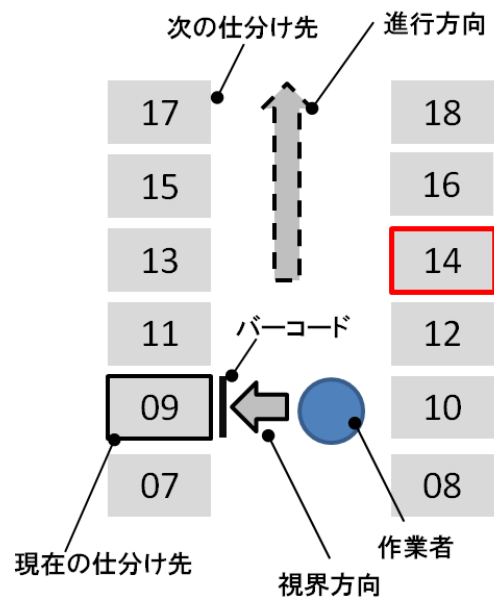


図 7 仕分け時の作業者の進行方向と視界方向

Fig. 7 Worker's forward direction and eye direction.

た。また、現在、次の間口、2 つ先の間口は数字で表現した。エリア別表示で 2 つ先の間口まで表示することで次の間口を把握する時間を削減し、作業速度の向上を狙った。しかし、検証の結果、表示する情報量が多く、判断に時間がかかるという意見が多く、採用しなかった。また、3 桁の仕分け数が出現する頻度は少なかったため、3 桁目は必要時のみ表示する方針に変更し、デザイン 2 以降に反映させた。

デザイン 2 は、デザイン 1 より表示情報量を削減させた。かつ、次の間口の方向を表示することで、次の間口を判断する時間の削減を狙った。検証の結果、作業は直観的に実施できたが、方向を示す図形が直観的でない、間口番号と方向を示す図形の区別が付きにくく、次の間口を判断する時間がかかる、という意見が多く、採用しなかった。

デザイン 3 は、デザイン 2 を改良し、方向を示す図形を矢印にして直観的に分かりやすくした。また、間口番号を強調する図形を削除し、間口番号、矢印、仕分け個数がそれぞれすぐに分かるようにした。検証の結果、直感的に次の間口の方向を知ることができたという意見があり、その他問題なかったため、デザイン 3 を採用した。

表 4 のデザイン 3 において、14 は間口番号を示しており、CS, PS は 4 ケース、2 個商品を仕分けよ、という作業指示である。また、図 6 のハンディターミナルの画面になかった情報として、次の仕分け先の方向を示す矢印を追加した。以下、矢印の意味を説明する。

図 3(6) において、バーコードは仕分け先カートに貼り付けられており、読み取り時の作業者の視界方向とバーコードの面は垂直である。また、バーコード読み取り時の視界方向と進行方向も垂直である。上記の方向の関係を図 7 に示す。

図7のような特徴に注目し、現在の仕分け先でバーコードをスキャン時に、次の仕分け先の方角を表示させる方式を考案した。なお、この矢印は作業者の視界方向が図7のとき、配送先用カートのパークコースキャン後2秒間だけ表示し、その後矢印は消えるようにした。

5. ウェアラブルデバイス適用方式を用いた物流作業支援システムの開発

本研究で対象とした種蒔き仕分け作業の倉庫で、仕分け対象商品名、個数、仕分け場所、担当者など、仕分け作業に関するあらゆるデータはWMS (Warehouse Management System) によって管理されている。本研究で検証したシステム全体の構成を図8に示す。

WMSの実体は、データベースとサーバを組み合わせたものであり、図8にある。WMS、ハンディターミナル、および両者を接続するNetwork Hubを合わせた環境が図8内の既存システムである。この既存システムによりハンディターミナルによる作業が可能となる。ウェアラブルデバイスを用いた種蒔き仕分け作業の実施においても、WMSのデータが必要である。図8で示した既存システムを修正すると日々の作業を止めてしまうため、倉庫運営に支障が出る。そのため、既存システムに影響を与えずにウェアラブルデバイスを用いた作業支援システム構築が必要となる。そこで、本研究ではWMSから必要な作業指示を取得し、作業記録をWMSに書き込むための中継サーバを開発した。また、既存システムに含まれるNetwork Hubから新しくネットワークを分岐させ、分岐したネットワークが中継サーバと接続できるようにした。

6. 評価

6.1 評価内容

本研究では、従来作業方式と本方式による作業効率の測定について評価を行った。

6.2 作業効率評価

6.2.1 評価準備

まず、倉庫で種蒔き仕分け作業が可能となるように、ウェアラブルデバイスの装着方法を整えた。図9は、図3(3)の「移動」をウェアラブルデバイスで行う場合の作業風景である。本研究で使用したスマートグラスは、表示部と本体が分離した構造であり、有線ケーブルで接続されている。そこで、肩掛け型のポーチを使用し有線ケーブルが作業の邪魔にならないように収納した。また、グローブ型スキャナを片手に装着することで、商品のスキャンおよび仕分け作業をハンズフリーで実施することが可能である。また、図9の作業者が右手で引いているカートは、図2における作業用カートであり、作業者の左右にあるカートは、図2における配送用カートである。

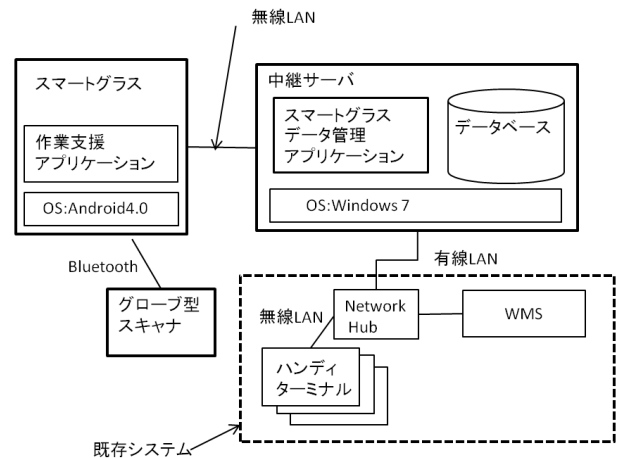


図8 ウェアラブルデバイスを用いた作業支援システムの概要
Fig. 8 Overview of distribution work support system with WD.



図9 ウェアラブルデバイス利用時の作業風景
Fig. 9 Distribution work scene with Wearable Device.

次に、種蒔き仕分けを行う倉庫で、常時作業を行っている20~40代の男女作業員4名(以下被験者)に協力を依頼した。被験者には装着方法、画面の見方、本システム使用時の種蒔き仕分け実施方法を説明し、数回のチュートリアル実施後に自身で作業を開始してもらった。

初めて使用するデバイスであるため、念のため連続使用時間を日々延ばすようにした。すなわち、初日は1時間連続使用し、次の日からは1.5、2.0、2.5時間と連続使用時間を延ばしていった。検証は数日間実施し、最大で2.5時間連続で使用して作業を実施した。

本研究で実施するウェアラブルデバイスによる作業工数削減効果を測定する最も簡易な方法は、同一条件の仕分け作業をハンディターミナルとウェアラブルデバイスで実施し、作業時間を比較することである。

しかし、本研究で評価対象とした倉庫は、曜日や時間帯によって倉庫に搬入される商品の種類、個数が異なる。そのため、同一条件の仕分け作業はほぼ存在しない。

評価当初は、どちらかの手段で種蒔き仕分け作業を行う時間を測定し、商品を回収してからもう一方の手段による測定を行うことで同一条件の測定を行った。しかし、この

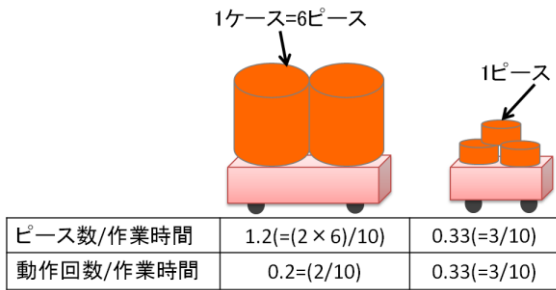


図 10 評価指標別の生産性の例
Fig. 10 Example of work productivity.

方法では作業者が 2 回目に種蒔き仕分け作業を実施する際に 1 回目の間口と仕分け個数を覚えてしまい、2 回目の測定結果の妥当性が低くなるという問題があった。多数の商品を準備し、2 回目に仕分ける商品をランダムに実施すれば妥当性向上が期待できるが、評価のためだけに多数の商品を準備することは倉庫内の業務に大きな影響を与えてしまうため実施できない。そこで、被験者にはウェアラブルデバイスを用いたうえでその日の作業ノルマを実施してもらい、その作業時間を評価に使用した。評価には以下の指標に注意した。

(1) 仕分け形態の種類

2.3 節図 3 の説明述べたように、1 つの商品を仕分ける方法は、ケース単位 (CS)、ピース単位 (PS)、および CS と PS を混ぜて仕分ける場合の 3 種類が存在する。どのような組合せで仕分け作業を実施するかは、その日その時間に入荷された商品の種類と個数に依存する。

(2) 1 時間あたりのタッチ数

前述の仕分け対象商品の多様性は、評価に使用した倉庫を含め、多くの倉庫で該当する。そのため、作業者の生産性を測る指標には必ず複数の要因が混じることになり、同一条件では測定困難である。そのため、生産性の評価は、同一作業者の長期間の作業記録か、倉庫内の全作業者のケース単位、ピース単位、混在する場合を統合した結果で行うことが多い。1 人あたりの生産性評価方法には単位時間あたりにピース単位の商品を仕分けた個数か、単位時間あたりに仕分け動作をした回数があり、後者を一般的にタッチ数と呼ぶ。図 10 にそれぞれの評価指標の生産性の例を示す。

図 10 では、1 回の仕分け作業で 2 ケース (12 ピース) を仕分けた場合と、3 ピースを仕分けた場合の生産性の 2 種類を示している。1 回の種蒔き仕分け作業にかかった時間は一律 10 秒、間口は 1 つとする。ピース数を基準にすると、2 ケースには 12 個の商品が含まれているため生産性は 1.2 と、他の 3 つより高くなる。しかし、この作業では単に 2 ケースを配送用カートに置くだけだが、3 ピースを

表 5 作業種別の分類結果
Table 5 Ratio of each work style.

件数 (%)		
CS のみ	PS のみ	CS,PS 混在
4781(53)	3694(40)	649(7)

表 6 CS, PS のみの分類結果
Table 6 Result of CS and PS count.

件数 (%)	
CS のみ	PS のみ
4781(56)	3694(44)

表 7 CS と PS で分類したタッチ数/h (括弧内は実施回数)
Table 7 Result of touch and trial count classified with CS and PS.

被験者	CS のみ仕分け		PS のみ仕分け	
	HT	WD	HT	WD
1	231(777)	205(87)	784(495)	898(107)
2	176(162)	189(156)	532(71)	965(166)

仕分ける場合はケースの開封、ケースから取り出し、ピース別に配送用カートに置く、という作業が発生する。これは、ピース数を基準とした生産性評価では、ケースのみの作業が含まれるほど生産性が高く算出されるため、ハンディターミナルとウェアラブルデバイスの速度比較に影響が出る。

一方、後者の評価指標の場合、1 つの間口で種蒔き仕分け動作をした回数はそれぞれ 2 回、3 回である。よって、生産性はそれぞれ 0.2、0.33 である。本研究で対象とした倉庫では、ケース単位、ピース単位で商品を仕分ける場合がランダムに発生するため、ピース数だけを基準とするのではなく種蒔き仕分け動作回数 (タッチ数) を基準とした。タッチ数が高いほど、短時間で多数の商品を仕分けたことになり、生産性が高いと見なせる。

6.2.2 評価結果

WMS の記録を用いて、ハンディターミナル (HT) とウェアラブルデバイス (WD) 使用時の作業時間を比較した。

まず、検討対象の倉庫作業における CS のみ、PS のみ、CS と PS の混在割合を調べた。なお、被験者別に調査しても作業内容や作業回数によって値にばらつきが出るため、調査は被験者以外の作業員も含め、全作業員の作業内容をまとめることで行った。結果を表 5 に示す。

ここで、CS、PS 混在の作業内容は全体の中で少ないため、省略して CS、PS のみの作業数の比率を計算しなおした結果を表 6 に示す。表 6 より、評価対象での CS と PS の比率は 56 : 44 とした。

次に、表 7 にハンディターミナルとウェアラブルデバイス使用時の CS、PS 別のタッチ数/h を示す。6.2.1 項で述べたとおり実験は被験者 4 名だが、倉庫内の通常作業と並

表 8 被験者 1, 2 の加重平均タッチ数/h

Table 8 Weighted average touch count of each examinee.

	CS のみのタッチ数/h	PS のみのタッチ数/h
HT	222	752
WD	195	939

表 9 被験者 1, 2 のタッチ数/h

Table 9 Touch count of each examinee.

	CS のみのタッチ数/h	PS のみのタッチ数/h	合計タッチ数/h
HT	124	331	455
WD	109	413	522

行して実施したため、同時に実施できる人数に限りがあった。最終的に数十回以上の作業を実施できた被験者 2 名のデータを評価に使用した。表 7 より、CS のみ仕分けたときのタッチ数/h は、PS のみ仕分けたときと比較して 3 分の 1 から 4 分の 1 程度であり、HT と WD で同様の傾向が見られた。そのため作業生産性の比較には、作業内容における CS と PS の比率を考慮する必要がある。

被験者 1, 2 において、ハンディターミナルと比較したウェアラブルデバイスの作業効率向上効果を算出した。

被験者 i が CS のみを HT で仕分けしたときのタッチ数/h を $T_{i,CS,HT}$ 、実施回数を $N_{i,CS,HT}$ とする。PS のみを HT, CS, PS のみをそれぞれ WD で仕分けしたときも同様に表せる。実施回数が異なっているため、被験者 1, 2 の結果を加重平均したタッチ数/h で比較する必要がある。被験者 1, 2 が CS のみを HT で仕分けした場合の加重平均タッチ数/h は

$$\frac{(T_{1,CS,HT} * N_{1,CS,HT} + T_{2,CS,HT} * N_{2,CS,HT})}{(N_{1,CS,HT} + N_{2,CS,HT})}$$

で表される。そのほか、被験者 1, 2 の PS のみの HT, CS のみの WD, PS のみの WD を含む、計 4 種類の加重平均タッチ数/h の算出結果を表 8 に示す。

表 8 の結果に、表 6 で得た割合を考慮して CS は 56%, PS は 44% で重み付けをとり、HT と WD のタッチ数/h を算出した結果を表 9 に示す。

表 9 より、ハンディターミナルと比較したウェアラブルデバイス使用時の作業効率向上効果は、

$$522/455 = 14.7$$

であり、約 15% であった。

6.3 作業指示矢印の評価

4.4 節 (3) 画面デザインで述べた画面デザインで述べた、次の仕分け先方向を示す矢印について検証した。倉庫では日々の業務が多忙であるため長時間の検証は困難である。特に今回は 6.2 節で述べた速度検証でかなりの時間がかかった。そこで矢印の有効性については、速度検証実験後

のアンケート調査より検証した。

まず、予備実験として筆者らが通常業務に使用する会議室で図 2 のような種蒔き仕分け作業環境を構築し、30~50 代の男女 10 名に、図 9 と同等の装備を装着して種蒔き仕分け作業を 30 分ずつ実施してもらった。作業後、矢印の確認有無やコメントを確認したところ、10 名中 5 名が矢印によって作業がしやすいという傾向であった。

次に、実際の倉庫で 6.2 節の実験を実施後、20~40 代の男女被験者 4 名に同様のコメントを確認した。すると、うち 2 名の被験者より回答が得られたが、いずれも矢印の有効性を述べるものではなかった。一方は矢印を特に意識して使用しておらず、もう一方は後ろ方向の矢印以外は使わなかった。

7. 考察

7.1 作業効率向上効果

6.2.2 項の冒頭で述べたとおり、配布速度の指標であるタッチ数/h は作業内容によって大きく異なるため、複数作業の平均値を評価に使用する必要があった。しかし、表 7 において、CS, PS という仕分け種別によって配布速度が大きく異なるため、単純平均では正しい評価とならない。そこで本研究では、作業の種類比率と加重平均を考慮して作業効率向上効果を算出した。これは期間、対象とした倉庫が限定されており、実質的な被験者が 2 名での結果である。今後、長期間の測定、被験者の追加、被験者のウェアラブルデバイスを使った作業の習熟度などを考慮して評価を進めることで、より精度の高い作業効率向上効果が得られる。

また、表 8 において、PS のタッチ数/h を比較するとハンディターミナルよりウェアラブルデバイス使用時の値が大きかった。これは個別の商品を仕分ける場合、箱を開封する作業、箱から取り出して仕分ける作業などが発生し、ハンズフリーの利点が効いたと考えられる。一方、CS のタッチ数/h はハンディターミナルの方が大きい。この理由を考察する。

まず、表 7 で、全被験者はウェアラブルデバイスを使用した作業未経験だったが、ハンディターミナル使用時の作業習熟度は、被験者 1 の方が 2 よりも高かった。また、評価で対象とした商品の重量は、作業者がハンディターミナルを片手に持ったままでも持てる程度の場合が多かったため、被験者 1 にとっては使い慣れたハンディターミナルの方が速く作業しやすい条件であった。さらに、被験者 1 の方が 2 よりもハンディターミナルの実施回数が多い。以上より、ハンディターミナルの実施経験豊富な被験者 1 の結果が加重平均によって表 8 に加算されたため、CS のタッチ数/h はハンディターミナルの方が大きいという結果になったと考えられる。

7.2 矢印の効果

6.3 節で述べたとおり、予備実験では半数の被験者より有効であるという回答を得たが、実際の倉庫作業からは必要性ありという回答を得られなかった。この理由として、作業者の熟練度が考えられる。予備実験の被験者は倉庫作業未経験者であり、今回対象とした仕分け作業に関する予備知識はなかった。そのため、次にどこに行くべきかという矢印が有効であったと考えられる。

一方、実際の倉庫作業者は、図 2 のように奇数と偶数の仕分け先が並ぶ間口を熟知しており、矢印がなくても次の仕分け先の予想がついたため、有効性を感じなかったと考えられる。

このことから、矢印は熟練者より初心者の方が効果的である可能性がある。倉庫では繁忙期や新規倉庫立ち上げ時に、臨時作業者が作業に加わることがある。そのため、本システムはハンズフリーによる効果以外に、作業初心者が早期に作業に慣れて、作業速度の向上も期待できる。

7.3 その他得られた知見

今回研究に使用したスマートグラスは、数時間の装着による鼻の痛みや、装着の不安定さによるずれが発生することがあった。このスマートグラスは両眼型であり、図 9 で述べたように、表示部が一般的なメガネと同等の形をしている。前者については、一般的なメガネの重量約 15g と比較して約 90g である表示部の加重が鼻に集中したためと推測される。後者については人の顔の大きさに依存しており、特に女性の方が男性よりも小顔の傾向があるため、メガネの装着がしにくいと推測される。ただし、上記 2 点はいずれも今回使用したスマートグラス固有の問題である。たとえば、前者においては、片眼型の他のスマートグラスで表示部が約 30g の製品 [15] が発表されている。現状は開発者版であるため、製品版が発売され次第倉庫への検討が可能である。後者については、今後市場の発売動向を見つつ、検証可能な他のスマートグラスでも検討する。特に予備実験、倉庫実験のすべての被験者より、スマートグラスの装着の問題がなくなれば本システムを本格的に使ってみたいという感想を受けており、装着感の良いスマートグラスが求められている。

7.4 今後の課題

長期間の測定、被験者のウェアラブルデバイスを使った作業への習熟度などを考慮して、より多くの被験者に長期間使用してもらうことで、作業効率向上効果の精度を向上させる。

また、今後は種蒔き仕分け以外の物流作業工程への適用を検討する。さらに、様々な分野への適用を目指し、バーコードリーダ以外の入力手段を検討する。

8. まとめ

物流分野におけるウェアラブルデバイス適用による作業効率向上を目的として、種蒔き仕分け作業にウェアラブルデバイスを適用して従来作業方式との作業効率向上効果を検証した。作業手順を分析し、作業に適したデバイスと入力手段を選定し、ウェアラブルデバイスの使用に適した画面デザインを検討した。検証対象の倉庫で測定環境がつねに変化してしまう制約の中で、測定対象の商品の仕分け作業比率や作業回数の加重平均をとることで、本方式の使用により従来方式と比較して 15% の作業効率向上効果があることが分かった。

今後は、単眼型で固定が強化された機種が揃いつつあるため、倉庫への適用の際は単眼型の使用も検討していく。種蒔き仕分け以外の物流作業工程への適用を検討する。また、様々な分野への適用を目指し、バーコードリーダ以外の入力手段を検討する。

謝辞 本研究にご支援、ご協力いただいた皆様に、謹んで感謝の意を表する。

参考文献

- [1] 国土交通省：最近の国内貨物輸送の動向について，P.1（オンライン），入手先（<http://www.mlit.go.jp/toukeijouhou/toukei08/geturei/1/04.pdf>）（2010）。
- [2] 国土交通省：貨物自動車運送事業者数の推移，P.1（オンライン），入手先（<http://www.mlit.go.jp/common/001081990.pdf>）（2013）。
- [3] EPSON: MOVERIO と AR ナビゲーションを利用した物流ソリューションの実証実験（オンライン），入手先（<http://www.epson.jp/osirase/2013/130911.htm>）（2013）。
- [4] Mann, S.: Wearable Computing: A First Step Toward Personal Imaging, *Proc. IEEE Computer Society*, pp.25-32 (1997).
- [5] Muguira, L., Vazques, J.I., Arruti, A., de Garibay, J.R., Mendia, I. and Renteria, S.: RFIDGlove: A Wearable RFID Reader, *Proc. IEEE International Conference on e-Business Engineering*, pp.475-480 (2009).
- [6] 森脇康介, 豊吉政彦, 錦織達也, 後藤充裕, 中村浩司, 木全英明: グラス型ウェアラブルデバイスとカラーコードによる資産管理システム試作に向けた検討, 研究報告モバイルコンピューティングとユビキタス通信 (MBL), Vol.75, No.7, pp.1-4 (2015).
- [7] 山崎賢人, 柴田史久, 木村朝子, 田村秀行: 商品物流における仕分け作業支援への複合現実感技術の応用 (3)—光学シースルー方式を前提とした注釈情報提示法の検討, 研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM), Vol.195, No.34, pp.1-6 (2015).
- [8] 佐藤信夫, 矢野和男: ウェアラブルセンサ「ビジネス顕微鏡」を用いた軽作業生産性向上施策の定量評価, デジタルプラクティス, Vol.6, No.3, pp.215-222 (2015).
- [9] Ken, C., Wei, H. and Min, W.: Wearable support system for intelligent workshop application, *Proc. IEEE International Conference on Computational Problem-Solving*, pp.80-83 (2012).
- [10] セイコーエプソン株式会社: MOVERIO と AR ナビゲーションを利用した物流ソリューションの実証実験 (オ

- ンライン), 入手先 (<http://www.epson.jp/osirase/2013/130911.html>) (2013).
- [11] DHL: リコー倉庫でのピッキング実証実験 (オンライン), 入手先 (<http://lnews.jp/2015/01/h012803.html>) (2015).
- [12] 新日鉄住金ソリューションズ: スマートグラス導入検証サービス (オンライン), 入手先 (http://www.ns-sol.co.jp/ss/production/smart_glass.html) (2014).
- [13] 株式会社 NTT データ MSE: ウェアラブル端末を活用した法人向けソリューション「Biz ウェアラブル」提供開始 (オンライン), 入手先 (<http://www.nttdata.com/jp/ja/news/release/2014/070900.html>) (2014).
- [14] 日本産業衛生学会産業疲労研究会: 自覚症しらべの調査票 (オンライン), 入手先 (<http://square.umin.ac.jp/of/service.html>) (2012).
- [15] 株式会社テレパシージャパン: Telepathy Jumper (オンライン), 入手先 (<https://telepathywear.com/product/>) (2015).



藤原 貴之

2008年東京大学大学院工学系研究科修士課程修了。同年(株)日立製作所入社。ウェアラブルデバイスをはじめとしたソフトウェア基盤技術の研究開発に従事。IDW (International Display Workshop) PRJ プログラム委員。



小坂 忠義

1993年名古屋大学大学院工学研究科博士課程前期修了。同年富士通研究所入社。2007年日立製作所入社。EMS (Energy Management System), ウェアラブルシステム等のソフトウェアプラットフォームに関連する研究に従事。現在, 社会人学生として東京大学新領域創成科学研究科博士課程に在学中。電気学会会員。



松田 孝弘

2004年名古屋大学大学院工学研究科修士課程修了。同年(株)日立製作所入社。2004年より光ディスクドライブをはじめとする光応用製品の制御および組み込みソフトの研究開発に従事。



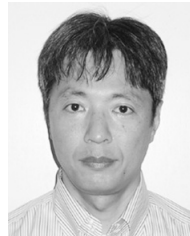
中島 洋平

2005年千葉大学工学部デザイン工学科卒業。音響機器メーカーでのカーナビゲーション, オーディオ機器のUIデザインの経験を経て, 2014年に(株)日立製作所に入社。業務系アプリケーションのUIデザイン業務に従事。



櫻田 崇治

2001年東北大学大学院情報科学研究科修士課程修了。同年(株)日立物流入社。同年より3PLの物流センター構築業務に従事。2013年より物流業務高度化のための新技術開発に従事。



尾崎 友哉 (正会員)

1990年名古屋大学大学院工学研究科修士課程修了。同年(株)日立製作所入社。組み込みシステム, ユーザインタフェースの研究開発に従事。