

物流における拡張現実技術を用いた ピッキング作業支援システムの開発

松本紀子^{†13} 小坂忠義^{†1} 中島洋平^{†1}
櫻田崇治^{†2} 尾崎友哉^{†1} 田野俊一^{†3}

概要: 物流市場では、荷主企業より物流業務を包括的に受託する 3PL (3rd Party Logistics) 事業と呼ばれる事業形態が拡大してきている。3PL では、コストの 6 割をピッキング作業が占めることもあり、ピッキング作業効率の向上が重要な課題となっている。そこで、直感的な指示提示に有効な AR 技術の活用による効率向上が期待されているが、実用化には至っていない。本研究では、ピッキング作業の効率向上のために、ヘッドマウントディスプレイ (HMD) を使った AR による直感的な指示を行うピッキング作業支援システムを開発し、その効果を検証し、実用性の範囲を明らかにした。また、HMD による表示は、実際の視野角に対して表示画角が制限されており、実用性の障壁となっていると考え、検証を行った結果、検証環境でのピッキング作業には 70 度の表示角が必要であることが分かった。

キーワード: 拡張現実技術, 物流, ピッキング,

Development of AR Picking System in Logistics

TOSHIKO MATSUMOTO^{†1} TADAYOSHI KOSAKA^{†1} YOHEI NAKAJIMA^{†1}
TAKAHARU SAKURADA^{†2} TOMOCHIKA OZAKI^{†1} SHUNICHI TANO^{†3}

Abstract: In a logistics market, 3PL (3rd party logistics) businesses that outsource distribution operations from client companies are growing. 3PL companies provide proposals and designs of the distribution system as well as operations and management services for warehouses. The 60% of costs is the picking work; that is, collecting products from each location on a shelf. Therefore, the improvement of picking work efficiency is the most important issue in logistics. For the intuitive instruction and presentation, augmented reality (AR) technology is expected, but it does not lead to practical use. In this study, we develop the intuitive picking support system by AR using the head mounted display (HMD), examine the effect and clarify the area of the utility. In addition, we think that the field of view (FOV) of HMD is barrier which is narrow than human eye and examine it. As a result, we found that the 70 degree of FOV is necessary for the picking work in the verification environment.

Keywords: AR, augmented reality, logistics, pickling

1. はじめに

物流市場では、荷主企業より物流業務を包括的に受託する 3PL (3rd Party Logistics) 事業と呼ばれる事業形態が拡大してきている [1]。荷主企業は、物流業務を委託することにより、物流管理の手間を省き、経営を基盤事業へ注力させることができる。3PL 事業者は、自社で保有している資源を活用し、収益を得ることができる。

3PL 事業者は、物流システムの提案・設計や日々の物流倉庫の管理・運営などを提供する。物流倉庫で管理・運営する作業には、入荷作業、ピッキング作業、検品作業、梱包作業、出荷作業などがある。その中で、コストの 6 割をピッキング作業が占めることもあり [2]、ピッキング作業効率の向上が重要な課題となっており、様々な研究が行われて

いる [3][4][5]。

また、拡張現実技術 (AR: Augmented Reality) は、40 年以上前から研究されている技術 [6] であり、スマートデバイスの普及により、市場が拡大している [7]。特に、AR 技術は直感的な指示や提示に有効 [8] であり、様々な操作指示への活用が期待されている [9][10][11][12]。一方で、物流分野での AR 活用の実用化には至っていない。

本研究では、ピッキング作業の効率向上のために、ヘッドマウントディスプレイ (HMD) を使った AR による直感的な指示を行うピッキング作業支援システムを開発し、その効果や実用化への障壁を検証する。特に、HMD による表示は、実際の視野角に対して表示角が制限されており、作業効率に制約があると考え、検証を行う。

2. ピッキング作業の効率化

2.1 ピッキング作業

物流倉庫のイメージが図 1 である。物流倉庫には、商品の在庫を置いている大量の棚が配置される。各棚は、ロケーションと呼ばれる商品の保管場所に区切られる。各ロケーションには、1 つ以上の商品が紐付けられ、各商品の在

†1 株式会社 日立製作所
Hitachi Ltd.

†2 株式会社 日立物流
Hitachi Transport System, Ltd.

†3 電気通信大学
The University of Electro-Communication

庫が保管される。各ロケーションには、住所に当たるロケーション番号が割り当てられ、管理される。また、作業者が棚から商品を出し入れする面のことを間口面と呼ぶ。

従来のピッキング作業は、オーダーに基づいて、商品を各ロケーションから集めてくる作業である。ピッキング作業において、作業者はハンディターミナルを使用する。ハンディターミナルは、作業指示を表示する表示機能と、バーコードをスキャンするバーコードスキャナ機能を有する。作業者は、ハンディターミナルに表示されたロケーション番号、商品名、商品個数などの指示に従って、指示されたロケーションに移動し、商品を収集する。また、収集する際には商品に貼り付けられたバーコードをスキャンする。バーコードをスキャンすると、ピッキング終了と判断され、次のピッキング指示が表示される。作業者はその指示に従って次の商品のロケーションへと移動する。



図 1 物流倉庫
 Fig. 1 Warehouse

2.2 先行研究

近年、スマートデバイスの普及により様々な部品コストが下がったことで、ウェアラブルデバイス自体の性能が向上していること、ソフトウェア技術が進歩したことから、カメラ機能を搭載したグラス型の HMD が普及してきている。HMD は、使用中に画面を見ながら両手が使用できる利点がある。このハンズフリーという利点を生かし、ピッキング作業支援用途への研究がされている[13][14][15][16]。

また、AR 技術により、ピッキング作業指示を行う研究もある。Reif や Funk らは、ピッキング作業位置を指示する Pick-by-Vision システムを構築した[17][18]。しかし、比較対象は、紙による指示でのピッキング作業である。また、試作システムはトラッキング装置や PC などを背負い実用化には至らない。また、山崎らは、ピッキング位置の認識間違いを軽減する表現方法を提案する MR ピッキングシステムを構築した[19]。しかし、デジタルピッキングシステム(DPS)と呼ばれるピッキング方式を対象としており、本研究の対象としているハンディターミナルを使用するピッキング方式とは異なる。

我々は、ピッキング作業効率化の最初のステップとして、HMD を用いて、テキストと矢印でピッキング作業指示を行うシステムを開発し、従来のハンディターミナルを用いたピッキング方式に比べて、作業生産性を 15%向上させる

ことが出来た。この際、次のピッキング場所への矢印表示は、特に初心者には有効であることが明らかとなった[14]。

本研究では、HMD を用いたピッキング作業指示を行うシステムに AR を用いてより直感的に作業指示を行い、文献[14]で提案したテキスト表示と比較し、その効果を検証する。実用化観点での検証のため、市販されている HMD を使用した AR ピッキング検証システムを開発し、検証実験を通して HMD 単体での改善を行い、現状の HMD で最適な AR ピッキングシステムを開発する。その上で、評価実験を行い、実用化の障壁を分析した。

HMD の表示角は作業生産性などに影響があると言われており[20]、ピッキング作業への AR 指示でも障壁となっていると考え、HMD の表示角について検証を行う。

3. ピッキングシステムの設計

3.1 AR による作業シナリオ

本研究では、複数の配布先への商品を同時にピッキングするいわゆるマルチピッキングを対象とする。まず、(1)商品を取り出すピッキング場所を AR 表示で指示し、(2)作業者は、指示されたピッキング場所から商品を取り、(3)配布先に応じたカート上の商品の置き場所を AR 表示で指示し、作業者は指示された場所に商品を置き、(4)次のピッキングへ移る、という作業を、配布先への商品取得がなくなるまで繰り返す。

3.2 AR マーカーの選定

AR 表示は、現実世界の特定の位置にのみ重畳する必要があるため、カメラにより撮影した画像から表示位置を特定する技術が必要となる。一般的な AR のための表示位置の特定技術は、GPS などの位置情報を用いるロケーション型、特定のパターンを持った図形をマーカー(目印)に用いるマーカー型、物体そのものを認識するマーカーレス型に分類される。本研究では、比較的技術として安定しつつあり、ピンポイントな位置の特定が可能である点から、マーカー型の認識技術を用いて位置特定を行うこととした。具体的には、検知距離、角度、検知精度の優れたカメレオンコード[21]を使用した。

3.3 システム構成

システム構成は図 2 である。AndroidOS を搭載した透過型のカメラ内蔵 HMD の上で、カメレオンコードの認識ライブラリと、今回開発するアプリケーションが動作する。また、作業者からの入力装置として、グローブ型のバーコードスキャナを接続した。

使用するヘッドマウントディスプレイの要件としては、透過型のディスプレイであること、作業者が無理なく装着できる重さや形状であること、とした。

本研究では、透過型のカメラ付き HMD の中から、両眼型の BT-2000(EPSON)[22]と片眼型の RM-L191A(日立 LG データストレージ)[23]を使用することとした。

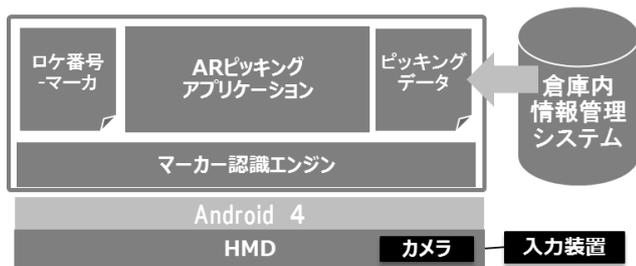


図2 システム構成

Fig. 2 System Configuration

4. 検証システムの開発

4.1 検証システム

AR 表示による課題を抽出するための検証システムの開発を行った(図3).

情報を重畳する実空間上の位置を特定するためにマーカーとしてカメレオンコードを利用し、棚の作業間口毎に間口下部にカメレオンコードを設置した。

(1)まず、カメラにより現実空間の映像を取得し、認識エンジン(CC-SDK)によりカメレオンコードの4頂点の座標を抽出、(2)取得した座標から大きさと傾きを計算、(3)取得した座標に対してカメレオンコードのサイズと傾きに合わせて、重畳情報を作成しディスプレイに描画した。

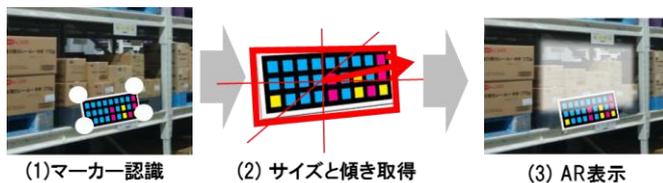


図3 AR 描画位置の特定方法

Fig. 3 Get Chameleon code position

自然な AR 表示を実現するため、カメラのプレビュー映像は使用せず、透過型の HMD を使用し、肉眼の視界に対して、情報を重畳した。重畳する情報やレイアウトは、世の中で期待されている AR ピッキングのイメージを調査し、結果を基に、デザイナー及び倉庫担当者で議論し決定した。ピッキング棚の位置を示すために間口の大きさに合わせて塗った矩形と、矩形の中央にピックする商品の個数を表示した(図4)。



図4 AR 描画

Fig. 4 AR View

4.2 課題の抽出

倉庫担当者やデザイナーを含めた7名の被験者により、

検証システムを倉庫の模擬環境で試してもらい、ヒアリングを実施し、実際の倉庫での作業に適用するにあたり、課題を抽出した。抽出した課題が以下である。

(1). 情報が表示される対象物を見つけるのに時間が掛かる

被験者は、まず、ピッキングの対象を特定するため、どこに情報が重畳されているのか、情報が重畳される認識物を探す必要がある。その際、時間がかかっていた。要因としては下記が挙げられた。

A) 重畳表示の遅れ

処理速度の遅さのため、見ている対象に対して、AR による情報が遅れて表示される。その為、情報が表示されたときには、既に視線移動後となり、情報が表示される対象物を特定するのに時間がかかっている。

B) ディスプレイ表示領域の狭さ

今回使用した HMD の情報を表示可能な領域の表示角は、BT-2000 が 23 度、RM-L191A で 18 度であり、人間の安定視野 75 度に対して狭い(図5)。そのため、対象物を表示領域に収めるのに時間がかかる。また、カメラの撮影画角は約 43 度である。



図5 表示領域

Fig. 5 display coverage

(2). 不自然な表示

A) 表示が欠ける

重畳される情報は表示領域からはみ出すと、表示が欠けてしまう。透過型の HMD では、被験者は、視界の中のどこが情報表示可能な領域なのかが分からないため、重畳されている表示がおかしいのか、表示領域の限界のためなのか判断がつかず、不自然だ(図6)と感じる。

B) 作業位置の視界が見づらい

作業位置に近づきすぎると、重畳した情報がディスプレイを覆ってしまい、視界が見づらい。また、危険である(図6)。



図6 表示の課題

Fig. 6 Problem #2

(3). 重畳される情報の位置ずれ

情報が本来表示してほしい位置とずれて重畳される(図7). これは、撮影している映像と実際の視界とのずれによるものであり、被験者の移動が伴わない場合であっても起こる。ずれの要因としては、カメラ位置と目の位置とのずれ(図8), 個人の装着方法や目の位置の違いによるずれがある。



図7 表示位置のずれの課題

Fig. 7 Problem #3



図8 表示位置のずれの要因

Fig. 8 Reason of Problem #3

5. AR ピッキングシステムの開発

5.1 システムの改良

前節で述べた課題について、改善策を検討した。本研究では、実用化を想定し HMD 単体を用いた技術限界を見極めるため、HMD 単体での解決方法を検討し、以降で説明する3つの改善策を実施した。

(1). AR 描画処理速度の改善

カメラ画像を取得してから、重畳する情報が表示されるまでに1秒程度かかっており、また、1秒間あたりのフレーム更新数は2フレームであったため、重畳表示の遅れ(課題1-A)が発生していた。重畳表示の遅れを改善するため、①メモリ確保のタイミングをアプリ起動時のみにしたメモリ確保方法の改善、②認識処理と描画処理を並列に行うスレッド分割処理、を行った。その結果、約0.4秒の遅延に抑えた。また、描画更新サイクルを1秒間に5フレームに改善した。

(2). 重畳される情報の位置ずれの改善

カメラ位置と目の位置のずれ、また個人の装着方法や目の位置の違いにより、重畳する表示の位置が本来表示してほしい位置とずれて表示される(課題(3)). 例えば、人間の視界に対し、カメラの撮影範囲が左側にずれている場合、カメラで撮影した画像上のターゲットに表示枠を作成して HMD 上に重畳表示すると、本来表示したい場所よりも右

側にずれて表示される。

そこで、異なる二つの距離でのずれの幅をあらかじめ測定し、ずれの幅を補正するためのパラメータを作成するキャリブレーションを実施した。

(3). 表示 UI の改善

課題1-B ディスプレイ表示領域の狭さ、2-A 表示が欠ける、2-B 作業位置の視界が見づらい、の課題を解決するため、表示 UI の改善を行った(図9).

① ディスプレイ表示領域の表示

視界の中のどこが表示領域なのかが分かりづらく、その為に、狭い表示領域内に認識対象を収めるのに時間がかかったり(課題1-B)、表示を不自然に感じたりしていた(課題2-A). 表示領域を明示するため枠を表示することで、認識対象を収めるべき領域を明示し分かりやすくすると共に、重畳する情報の部分的な表示の不自然さを軽減させる。

② ピック個数の表示

検証システムでは、ピック個数を作業棚に重畳した矩形の中央に表示していた。そのため、認識対象(カメレオンコード)とピックすべき個数指示のどちらに注目し、狭い表示領域内に収めるべきか混乱してしまい、時間がかかっていた(課題1-B). そこで、認識対象(カメレオンコード)とピック個数指示の表示位置を一致させて重畳することで、狭い表示領域に収めるべき対象を分かりやすくする。

③ ピッキング場所の指示

課題2-B 作業位置の視界が見づらいという課題を解決するため、ピッキング場所を枠線の表示にする。これにより、作業位置に近づきすぎた際に、作業位置を示す塗りの矩形表示がディスプレイを覆ってしまう問題を解決した。

④ 指定されていない棚に設置したマーカの表示

課題1-B で、狭い表示領域を使って、作業位置を示すマーカを探するため、作業対象に指定されていない棚位置に設置したマーカには、対象外であることがわかるマークを表示し、作業位置を見つける手がかりとする。

⑤ 作業位置を示す矢印の表示

表示領域の表示角の18-23度に対し、カメラの画角は43度と広い(図5). 課題1-B で、狭い表示領域を使って、作業位置を示すマーカを探するため、マーカが表示領域内に入っていないがカメラの撮影範囲内に存在する場合には、存在する方向を矢印で表示し、作業位置を見つける手がかりとする。

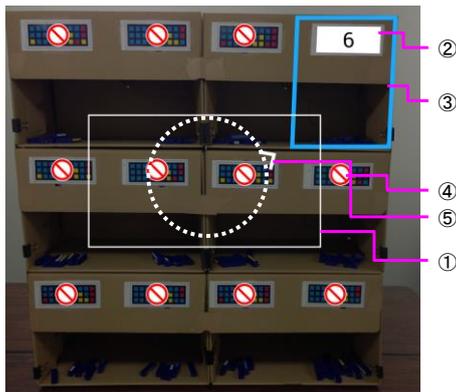


図 9 改善 UI

Fig. 9 Improved UI

5.2 システム改良の評価

前節で検討した改善策の効果について、模擬ピッキング環境でのピッキング作業により、評価した。

(1) AR 描画処理速度の改善効果

前節で述べた描画処理速度の改善により、ピッキング作業時間の短縮に効果があったかを評価した。改善前後それぞれのツールを使って、被験者 4 名による効果を比較した。被験者は、HMD を通してピッキング対象の間口と取り出す商品の個数を指示され、16 箇所の棚間口の中から指示された間口にある商品(ブロック)を指示個数分取る、という作業を 5 回繰り返した(図 10)。その際の、所要時間を計測し、比較評価を行った。

その結果、平均して 13%、作業時間の短縮が認められ、描画処理速度の改善効果が確認できた。

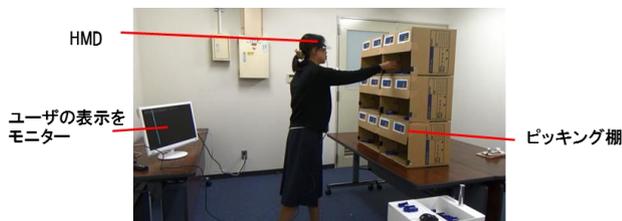


図 10 実験環境

Fig. 10 Experiment

(2) キャリブレーションによる改善効果

前節で述べたキャリブレーションによる改善の効果について検証した。被験者 4 名でキャリブレーション前後での表示のずれ幅を 2 端末(BT-2000, HLDS 製)で測定した。2m 先に実際に設置した矩形とディスプレイ上に表示した矩形を見比べてもらい、上下左右の辺のずれの大きさを測定した。結果が、図 11 である。どちらの端末においても、開発したキャリブレーションアプリを使用することで、ずれ幅を 3cm 以下に抑制することが出来た。特に、両眼(BT-2000)は、人によりカメラと目の位置ずれの違いが大きかったため、大きな効果が得られた。今回開発したキャリブレーションアプリによる位置合わせ作業には数分かかり、必ず作業前に行う必要がある。例えば、作業途中で HMD

がずれたり、付け直したりした場合、再度位置合わせが必要となるため、作業者の負担の少ないキャリブレーション方式については今後の課題である。

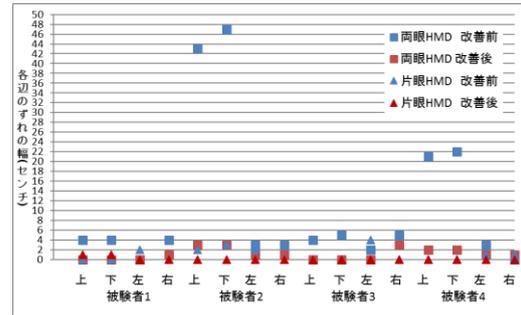


図 11 表示ずれ幅の測定結果

Fig. 11 Effect of Calibration

(3) UI による改善効果

前節で述べた UI の改善による効果を検証した。被験者 4 名がピッキング模擬作業を行い、その作業速度の計測、またヒアリングを実施した。課題改善前の UI と、新たに開発した UI を適用した 3 パターンの表示の、計 4 パターン(表 1)でピッキング模擬作業を実施した。

それぞれの UI パターンでの模擬ピッキング作業にかかった時間を図 12 に示す。UI 改善後のパターン 4 の場合が改善前のパターン 1 の場合と比べて、平均で 38%の所要時間の改善が見られ、有効性が確認できた(有意差あり)。また、被験者に対するアンケートでも、全被験者についてパターン 4 が最も作業しやすいと答えた。

表 1 評価した UI パターン

Table 1 UI Pattern

#	1	2	3	4
表示例				
表示枠	なし	あり	あり	あり
×印	なし	あり	あり	あり
位置表示	塗り	塗り	枠	枠
個数表示	中央	中央	マーカ上	マーカ上
矢印表示	なし	なし	なし	あり

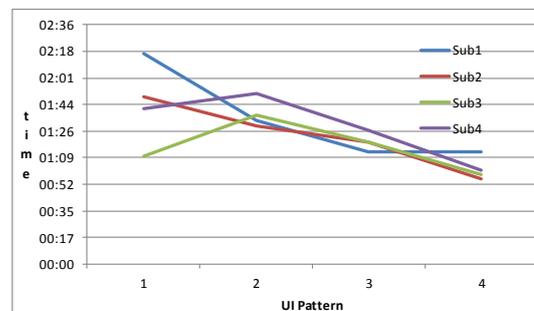


図 12 ピッキング所要時間

Fig. 12 Time of Picking

6. 評価実験と考察

6.1 評価実験計画

前節で検討した改善策を適用した AR ピッキングシステムを用いて、複数の仕分け先への商品を一度にピッキングするマルチピッキング作業での HMD を用いた AR 表示指示における、作業生産性への影響、作業ミスへの影響、疲労度やデバイスの使用感について、評価した。

模擬ピッキング環境として縦 3 段、横 10 列の間口のピッキング棚と、ピッキング商品としてブロック、そして、ピッキングしたものを収納するピッキングカートを用意した(図 13)。

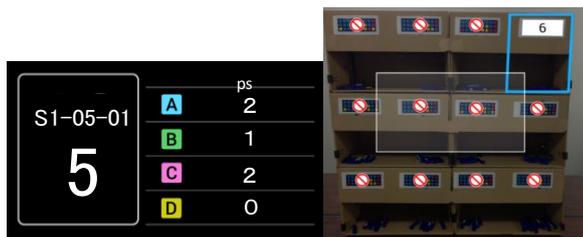


図 13 評価実験環境

Fig. 13 Evaluation Experiment

指示された商品を指示個数分間口から取り出し、ピッキングカートの指示された複数の棚に指示された個数ずつ置くというピッキング作業を実施した。

ピッキング作業の経験のない被験者 2 名(被験者 1, 2)と、実際の倉庫現場で十分にピッキング経験のある倉庫担当者の被験者 2 名(被験者 3, 4)で、HMD を用いた文字による指示と、AR を用いた指示(図 14)を行い、それぞれ 15 分ずつ模擬ピッキング作業を実施してもらった。また、HMD は両眼用と片眼用の両方を使用した。実験はビデオで撮影をし、ピッキング作業にミスがないかも観察した。



(a) 文字による指示 (b) AR による指示

図 14 文字による指示と AR による指示

Fig. 14 Text Instruction and AR Instruction

6.2 実験結果と考察

6.2.1 作業生産性

被験者ごとの 1 間口あたりのピッキング作業(1つの間口から商品を取り出し、カートに収納するまで)の平均時間を示した結果が図 15 である。両眼、片眼の HMD とともに、AR 指示の場合の作業生産性は、文字による指示の場合と

比べて、35%~52%遅くなった(有意差あり)。

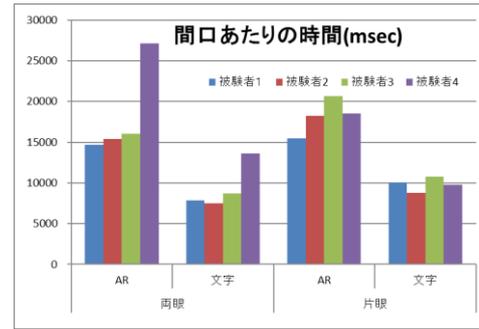


図 15 AR 及び文字指示のピッキング所要時間の比較

Fig. 15 Result of Picking Time

ビデオを解析し、被験者のうちピッキング経験豊富な倉庫担当者(被験者 3)の片眼 HMD を用いたあるピッキング作業を動作毎に分解したものが図 16 である。1 回のピッキング作業に対して、被験者の動作は、①画面を確認して取り出す間口を特定、②移動して間口を手に入れる、③商品を取る、④画面確認して配布先を特定、⑤移動して 1 つ目の配布先に手を入れる、⑥全ての商品を置く、に分けることができる。ただし、文字の指示の場合、①④画面を確認と②⑤移動については同時に行っており、分解することが出来なかったため、①④に含んで計測している。また、これらの傾向は、両眼用も片眼用も同様であった。

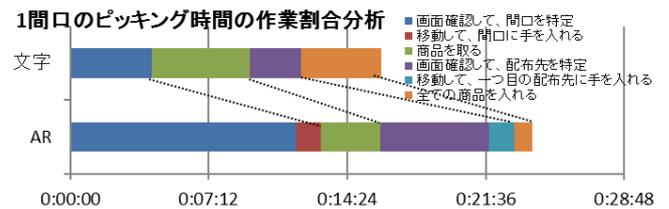


図 16 AR 及び文字指示のピッキング所要時間の詳細

Fig. 16 Operation time of the Picking

考察(1):

③商品を取る、⑥商品を置くという動作については、ある被験者では AR 指示の方が③で 40%、⑥で 78%、平均して 59%速くなっていた。場所の直感的な指示により、場所を特定後、被験者が迷いなく動作することが出来ており、AR の有効性が示唆された。

考察(2):

ピック先・配布先の特定(①④)では、AR 指示の場合、文字指示と比べて時間がかかっている。(a) 文字指示 (b) AR 指示

図 17 に示すように、被験者は、文字での指示の場合は、作業位置の近くで指示を確認しているが、AR 指示の場合は、作業位置から離れて指示を確認していた。これは、表示領域の狭さのため、より多くの対象を表示領域内に収めるために、数歩下がって対象を見ているためと考えられる。また、AR 指示の場合は、指示情報を表示させるために、しばらく動作が止まっている様子も見られ、処理速度が依

然問題となっていると考えられる。システムの表示遅れは0.4秒程度ではあるが、狭い表示領域内に対象を含めるために、顔を少しずつ動かしながら、対象を探すため、その度毎に0.4秒の遅れが影響し、特定するのに時間がかかったと考える。



(a) 文字指示 (b) AR指示

図17 文字指示及びAR指示での被験者と棚の距離の違い

Fig. 17 Distance from Subject to Target(Text/AR)

考察(3) :

文字指示の場合は、動作終了後に次の作業指示がすぐに表示されるため、次の作業開始が並行して行われている様子も見られた。しかし、AR指示の場合は、次の作業が作業対象を見ないと分からないため、並行作業が行われていなかった。AR表示時には、文字での指示などで次の作業を表示するなど、適材適所での使い方が必要である。

6.2.2 疲労度

自記式アンケートにより、作業前後の疲労度を調査した。その結果、両眼用では4名中3名の被験者において、ARを利用した指示のほうが疲労度は高い傾向があった。これは、場所を特定する時間がかかり、ディスプレイを見る時間が長いためと考えられる。ARに適した明るさの設定や、注視時間を減らす検討が必要である。

6.2.3 作業ミス

被験者全体の全ピッキング作業中の作業ミスの比率は、テキスト表示で0.42%、AR表示で0.26%であり、ミスの発生比率はAR表示の場合のほうが減少した(有意差なし)。ピッキング経験豊富な被験者では、AR表示でもテキスト表示でもミスはなく、全てのミスは、ピッキング経験のない被験者で発生しており、初心者の方がARの効果があると考えられる。しかしながら、母数が少ないため引き続き検証が必要である。

6.2.4 アンケート

アンケートからは、100%の被験者が文字指示のほうが作業しやすい・好みであると回答した。被験者からは、処理速度や表示領域の広さに関する問題が多くあげられており、対策が必要である。

また、75%の被験者が両眼の方がよいと回答した。AR表示の観点からは表示領域の広い両眼が好まれたが、装着感への課題が指摘された。

6.2.5 表示角

必要な表示角について検討する。図17のように、AR表示の際には、被験者は、指示表示をディスプレイエリアに

入れるため、下がって表示を確認している。この傾向は全ての被験者で見られ、両眼でも片眼でも同様に行われていた。このときに下がった距離と、HMDの表示画角から、ピッキング経験豊富な倉庫担当者が、表示エリアに入れようとしている実際の幅を算出した。ピッキング棚とピッキングカートは大きさが異なっており、下がる距離が異なっていたため、それぞれの必要な表示角を算出した。

(1). ピッキング棚

ピッキング棚は、幅が約2.5メートルあった。テキスト表示の場合、被験者は棚から、手が届くほどではないが、1歩以内に棚に移動できる距離で作業していた。それに対し、AR表示時の下がっていた距離から、片眼で約54cm、両眼で約58cmの間口を表示に含めようとしていることが分かった。今回の模擬環境のピッキング棚の横約2.5間口、縦2間口分の領域を表示に含めようとしている。ARを使わない場合の作業位置と同じ場所で作業をしながら同等のピッキング棚の領域幅をディスプレイ領域に含める場合、表示角は、片眼で約63度、両眼で約70度必要となる。

(2). ピッキングカート

ピッキングカートは、幅が約47cmあった。テキスト表示の場合、被験者は手が届く位置でカート全体を見るのが可能であるため、手が届く位置で作業していた。それに対し、AR表示時の下がっていた距離から、カートに設置した横2間口全体を含めようとしていることが分かった。AR表示時に同等の位置で作業するには、表示画角は、片眼で約77度、両眼で約72度必要となることが分かった。

現状のハードウェアでは、表示画角70度以上を満たすものではなく、ハードウェアの進化が望まれる。

本作業以外であっても、HMDの表示角が要件を満たしているかどうかは、作業者が後ろに下がっているかどうかを基準とすることが出来る。

6.3 実用化の範囲

本研究では、現状のHMDでのARピッキングの実用化のために、処理速度の改善、表示位置の調整、UIの改善を行い、処理速度の高速化を行った。しかし、実用化水準を満たす作業生産性の実現には至らなかった。

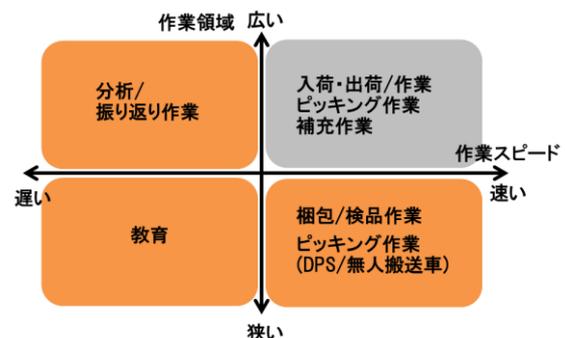


図18 実用化の範囲

Fig. 18 Useful area

現時点で物流分野での HMD による AR 活用実用化の可能性がある分野を図 18 に示す。前節までの評価により、現状のハードウェアでは、小さな部品のピッキング作業などの、作業領域が狭く視野角の狭さが問題とならない作業に活用可能である。また、作業ミスやアンケートの結果から、特に初心者への教育に AR が向いていることも明らかとなり、初心者への教育や作業指示に有効である。一方で、スピードによる作業効率化の観点からは、表示角などの制約により、今回のピッキング作業での実用化には至らない。ピッキング作業で AR 指示を行うには表示角が約 70 度以上の HMD が必要である。

7. まとめ

物流分野におけるピッキング作業の作業効率向上のため、HMD を用いて AR で直感的にピッキング作業指示を行うシステムを開発した。実際のピッキング環境で、HMD でのテキスト指示と比較し、AR の効果を検証した。

その結果、AR を用いた指示による作業生産性は、テキストによる指示の半分程度であった。

一方で、AR による直感的指示の効果が、「商品を対象場所から取る・入れる」作業で顕著であり、一部の被験者では 59% 早く、AR 効果の有効性が示唆された。

また、作業ミスやアンケートから、初心者への教育では実用性があることも分かった。

AR 指示でのピッキング作業時に必要となる表示画角は 70 度必要であり、今回使用した HMD は、表示領域が狭く十分な条件を満たせていないことが分かった。AR を作業指示に活用するには、使用範囲の工夫や、HMD の表示角等の進化が必要である。

今後は、本研究で AR の実用化の可能性があると判断した他の作業支援での AR 活用について検証を進めていく。

謝辞 本研究にご支援、ご協力頂いた皆様に、謹んで感謝の意を表す。

参考文献

- [1] (株)ライノス・パブリケーションズ：月刊ロジスティクス・ビジネス 2015 年 8 月号, pp.18(2015)
- [2] 麻生敏正, 黒川久幸, 上村聖：スマートフォンを用いた倉庫内作業プロンプトシステムにおける要素作業推定, 情報処理学会研究報告 (DC), Vol.2016-DC-102 No.2, pp.1-6 (2016)
- [3] Kutzelnigg, R.: Optimal allocation of goods in a warehouse: Minimizing the order picking costs under real-life constraints, 3rd IEEE International Symposium on Logistics and Industrial Informatics, pp.65-70 (2011)
- [4] 前川佳徳, 齊藤 文昭, 吉田 淳司：ピッキング作業シミュレーションシステムの開発と作業効率最適化の検討, 情報処理学会全国大会講演論文集第 52 回(応用), pp.391-392 (1996)
- [5] 金谷勇二, 鈴木務：物流センターのピッキング作業におけるコンテナ投入順序の最適化, 情報処理学会第 51 回全国大会講演論文集, pp.343-344 (1995)
- [6] Sutherland : I. E. "A head-mounted three dimensional display". Proceedings of AFIPS 68, pp.757-764 (1968).
- [7] DHL : Augmented Reality in Logistics – DHL, (http://www.dhl.com/content/dam/downloads/g0/about_us/logistics_insights/csi_augmented_reality_report_290414.pdf), (参照 2019-01-21)
- [8] Nela Murauer: An Analysis of Language Impact on Augmented Reality Order Picking Training, PETRA'18, pp.351-357 (2018)
- [9] 加島隆博, 宮本健, 川浦健央, 塚原整：距離標画像認識によるトンネル内保守点検向け拡張現実, 情報処理学会第 79 回全国大会講演論文集, 2017(1), pp.69-70 (2017)
- [10] 石井裕剛, 中井俊憲, 卞志強, 下田宏, 泉正憲, 森下喜嗣：拡張現実感を利用した原子力発電プラントの解体支援手法の提案と評価, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.13, No.2, pp.289-300 (2008)
- [11] 巻渕有哉, 小林達也, 加藤 晴久, 柳原 広昌：HMD キャリブレーションとオンサイト学習によるハンズフリー遠隔作業支援 AR システム, 情報処理学会研究報告オーディオビジュアル複合情報処理 (AVM), 2015-AVM-88(2), pp.1-6(2015)
- [12] 松本紀子, 小坂忠義ほか：作業ロス要因分析のための拡張現実技術を用いた物流倉庫内可視化ツールの開発, 情報処理学会論文誌コンシューマ・デバイス&システム (CDS), 8(2), pp.74-83 (2015)
- [13] S. Ali : SOA based context-aware order picking system for warehouses using Laser Range Finder and wearable computer, 2011 IEEE International Symposium World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM) (2011)
- [14] 藤原貴之, 小坂忠義, 松田孝弘ほか：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, 情報処理学会論文誌コンシューマ・デバイス&システム (CDS), Vol.2015-CDS-14, No. 1, pp.1-8 (2015)
- [15] Sunwook Kim: Influences of augmented reality head-worn display type and user interface design on performance and usability in simulated warehouse order picking, Applied Ergonomics 74, pp.186-193 (2019)
- [16] A. Guo: A comparison of Order Picking Assisted by Head-Up Display(HUD), Cart-Mounted Display(CMD), Light, and Paper Pick List, ISWC'14, pp.71-78 (2014)
- [17] Reif, R., Günthner, W. : Pick-by-vision: augmented reality supported order picking, The Visual Computer, Vol.25, pp.461-467, Springer (2009)
- [18] Markus Funk, Mobile In-Situ Pick-by-Vision: Order Picking Support using a Projector Helmet, Proceedings of the 9th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments, Article No.45 (2016)
- [19] 山崎賢人ほか：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)ー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ー, 情報処理学会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.2015-CVIM-195, No.24, pp.1-6 (2015)
- [20] N.Kishishita: Analyzing the Effects of a Wide Field of View Augmented Reality Display on Search Performance in Divided Attention Tasks, 2014 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), pp.177-186 (2014)
- [21] 株式会社シフト：カメレオンコード, (<https://www.shift-2005.co.jp/chameleoncode.php>), (参照 2019-1-21)
- [22] セイコーエプソン株式会社：BT-2000, (<https://www.epson.jp/products/moveripro/bt2000/>), (参照 2019-1-22)
- [23] 株式会社日立エルジーデータストレージ：LM-191DU, (https://hlds.co.jp/product_info/?top=1&sub=3&num=1), (参照 2019-1-22)