

# 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

松本 紀子<sup>1,a)</sup> 小坂 忠義<sup>1</sup> 荒 宏視<sup>2</sup> 末光 一成<sup>1</sup> 堀田 哲裕<sup>2</sup> 尾崎 友哉<sup>1</sup>

受付日 2017年9月30日, 採録日 2018年2月14日

**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事業形態である 3PL (3rd Party Logistics) 事業と呼ばれる物流事業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、作業員のピッキング作業効率の向上が課題となっている。作業効率向上の手法として、倉庫での作業員の作業時間や商品の在庫数などの様々な倉庫データを分析することにより、作業ロスの要因を特定し、改善する方法がある。しかし、特定すべき要因の中には、データの分析だけでは明らかとならず、分析結果と作業現場の状況を照らし合わせて確認しないと特定できないものがある。本稿では、拡張現実技術を用いて、分析結果を作業現場映像に重畳して表示し、現場の状況と照らし合わせて確認することで、直感的に分析結果を把握し、現場環境に起因した要因の特定を可能とする倉庫内可視化ツールを開発した。実際の物流倉庫での作業ロス要因の分析作業に適用し、その効果を検証したので検証結果を示す。

キーワード: 拡張現実技術, 可視化, 作業ロス, 物流

## The Development of the Warehouse Visualization Tool Using AR in Logistics

TOSHIKO MATSUMOTO<sup>1,a)</sup> TADAYOSI KOSAKA<sup>1</sup> KOJI ARA<sup>2</sup>  
ISSEI SUEMITSU<sup>1</sup> TETSUHIRO HORITA<sup>2</sup> TOMOCHIKA OZAKI<sup>1</sup>

Received: September 30, 2017, Accepted: February 14, 2018

**Abstract:** In logistics market, the 3PL (3rd Party Logistics) business which is business form that customer companies outsources distribution duties to a logistics company is expanding. In the 3PL, picking work may account for 60% of management cost, and improvement of the picking work is the issue. In generally we can identify factors of the work loss by analyzing various warehouse data such as working hours and the number of the stocks of the goods and improve warehouse situation. However, there are some factors that we cannot identify without confirming the real warehouse situation. We develop the system using augmented reality technology that displays the warehouse image and analyzed data and evaluate it. We apply it to the analysis work of the work loss factor in the real distribution warehouse and describe the effect.

**Keywords:** augmented reality technology, visualization, work loss, logistics

### 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

<sup>1</sup> 株式会社日立製作所  
Hitachi Ltd., Chiyoda, Tokyo 100–8280, Japan

<sup>2</sup> 株式会社日立物流  
Hitachi Transport System, Ltd., Chuo, Tokyo 104–8350, Japan

a) toshiko.matsumoto.ad@hitachi.com

率の向上が重要な課題になっている。

ピッキング作業の効率向上のためには、作業効率の低くなっている問題箇所を抽出して要因を特定する要因分析を行い、改善を行う必要がある。本研究では、倉庫内で作業に時間を要している問題箇所を容易に把握するための倉庫内可視化ツールを開発し、作業ロスの要因を特定できるようにすることを目的とする。

## 2. 物流現場での作業効率化手法

### 2.1 従来手法

作業員のピッキング作業効率を向上させる手法には、作業員への教育や訓練、業務のやり方を変更する業務改善などがある。業務改善では、使用する機材をより速く作業が可能なものに変更したり [3], [4], ピッキング頻度の高い商品を取りやすい位置に配置変更したり [5], 作業の手順を見直したりする方法がある。その際、効果的な改善を行うためには、時間を要しており作業ロスとなっている要因を特定することが重要である。

作業ロスの要因分析方法には、作業員からセンシングした作業時間 [2] や倉庫内の商品在庫の保管期間、商品の出荷頻度などの数値データの分析、作業員の作業手順の観察、作業員からのアンケートなどによるものなどがある。

### 2.2 本研究での手法

作業効率を低下させる要因として、人、扱う商品、時間(帯)、場所、使用機材、指示・管理などに起因するものがある。

このうち、人、時間、使用機材、指示・管理に起因するものは、従来手法で要因の特定が可能である。たとえば、人ごとの作業効率をデータ分析することで、作業効率の低い人を特定し、教育や訓練をすることで改善ができる。しかし、場所や商品に起因するものは、データ分析などだけでは要因を特定できず、実際に現場に行かなければ要因を特定することができない。たとえば、商品のピッキング作業に時間を要している要因が、置かれている場所の前に不要なダンボールが置かれていてとりにくいという場合がある。また、商品のピッキング作業に時間を要している要因が、商品の形状により持ちにくいという場合も、現場で商品を実際に確認してみないと特定することができない。

このような要因を特定するためには、作業効率の低くなっている問題箇所を、実際に倉庫現場で、容易に抽出し把握できるようにすることが重要となる。

そこで、本研究では、全体地図の中から作業効率の低くなっている問題箇所を見つけ、その後、実際に倉庫現場に移動し、拡張現実技術 (AR) を使って、データ分析結果を現場映像に重畳し、現場と照らし合わせて確認することで、直感的に問題箇所を把握し、現場環境に起因した要因の特定を可能とする倉庫内可視化ツールの開発を行った。

## 3. 倉庫内可視化ツールの設計

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

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、作業員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。作業員は、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。作業員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。

### 3.2 要件の検討

倉庫内で問題箇所を容易に抽出し、現場環境に起因した要因を分析するための倉庫内可視化ツールを開発するにあたり、要件を定義した。そのため、2 つの物流倉庫で、作業員と、倉庫全体を管理する管理者にヒアリングを実施した。なお、ヒアリングを行った物流倉庫は、2 つとも、ピッキングエリアに数万商品が並ぶ広大な倉庫である。

作業ロス箇所の改善については、物流倉庫 A では、作業員自身が、ピッキング作業時に問題箇所に気付いたときに、改善を行っていた。物流倉庫 B では、管理者が巡回時に、問題箇所に気付いたときに、作業員に改善指示を行っていた。両倉庫とも、不定期ではあるが、日常的に改善を行っていた。また、両倉庫とも、データ分析結果を活用できていなかった。その他の在庫配置などの改善については、現



図 1 物流倉庫

Fig. 1 Warehouse.

状は管理者が分析作業を行っていた。これらの改善のための分析作業を定型化し、将来的にはすべての分析作業を作業者自身が行いたいという要望があった。

以上のような状況をふまえ、本研究では、作業者、管理者の両者が使えるツールを目指すことにした。

ヒアリングにより決定した要件は、以下である。

(1) 直感的な表示

作業ロス要因の分析作業を定型化するにあたり、両倉庫とも、現場環境の改善自体は、作業者自身が行っていたことから、作業効率の低い箇所の特定、要因の分析は、データ分析結果の理解に不慣れな作業者自身が行えるようにする必要がある。そこで、作業現場で、データ分析結果の理解に不慣れな作業者が、データ分析結果から問題箇所を容易に把握できるように直感的に表示する。

(2) 問題箇所の抽出

物流倉庫 B からは、作業者が定期的に作業ロス要因の分析を行いつつも、管理の点から、これまで同様に管理者が巡回時に問題箇所を抽出したいという要望があった。対象とした倉庫は広く保管商品も多いため、巡回しながら問題箇所を抽出するには時間を要するため、効率化が求められていた。

また、両倉庫とも、これまでの非効率な作業ロスの分析作業を定型化し、定期的に行えるようにしたいという要望があった。

そこで、現場と照らし合わせて効率的に問題箇所を抽出し要因を特定する要因分析作業を行うため、現場での分析の前段階として、倉庫全体から作業効率の低くなっている箇所を抽出可能とする。

(3) 様々な業務改善への対応

物流倉庫 B では、管理者により、最適な在庫配置の見直しが定期的に行われており、データ分析結果を活用していた。

そこで、これまで行っていた様々な分析データを使った在庫配置の見直しや、新たに作業ロスの分析作業を定型化し、日常的に行うため、着目する業務改善に応じた様々なデータ分析結果を表示可能とする。

これらの要件のためのデバイス選定については、それぞれの要件の検討後に、説明する。

3.3 直感的な表示

要件 (1) のため、作業現場での直感的な表示について検討した。

現場作業者が直感的に問題箇所を把握できるように、ふだんピッキング作業時に使っている各ロケーションの間口(商品の取り出し口)に AR で情報表示を行うこととした。

この際、各ロケーションの位置に対して、直感的にデータ分析結果の数値情報を確認できるようにする必要がある。位置などの地理的情報にデータ特性を付加表示する方

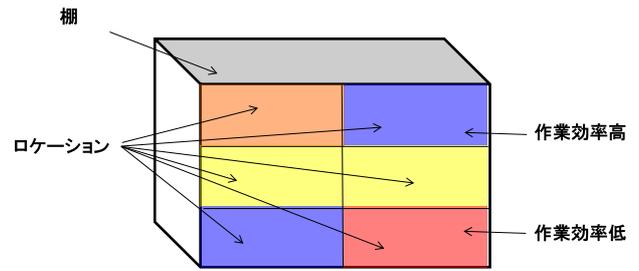


図 2 色情報(コロプレスマップ)の表示例  
Fig. 2 Choropleth map.

法の代表的なものに色やテクスチャによりデータの特性を記述するコロプレスマップがある [6]。これにより、地理的な情報と特性を一度に確認することができる。これを AR で実現し、実際の棚の映像に分析結果のデータを色情報で表示することとした (図 2)。

たとえば、ピッキング作業時間のかかっているロケーションには赤を表示し、かかっていないロケーションには青を表示した場合、赤色のロケーションを確認することで問題箇所を把握できる。

3.4 問題箇所の抽出

要件 (2) のため、倉庫全体から作業効率の低くなっている箇所を絞り込めるよう、現場で使用する AR 画面の他に、2D マップ画面、3D マップ画面を用意した (図 3)。

(1) 2D マップ画面

2D マップ画面は、倉庫内を上から俯瞰的に表示する。倉庫内全体の傾向を把握し、詳細に要因分析をしたい対象を検索するのに使用する。2D マップ画面では、棚の各段を確認でき、表示する段は、操作により切替え可能とした。また、表示位置に関しても、操作により自由に変更可能とした。さらに、特定のロケーションや数値データを容易に確認できるよう検索機能を用意した。現場に移動する際に、2D マップ画面上で、容易に現在地が確認できるよう AR 画面での現在位置特定機能と連携させた。

(2) 3D マップ画面

3D マップ画面は、倉庫内の棚を 3D 空間に表示する。2D マップ画面では、段ごとに表示されるため、すべての段を同時に確認することができなかったが、3D マップ画面では、高さ方向を含めた局所的な傾向や状況を把握可能である。操作により自由に表示位置を変更可能とした。また、現場に移動する際に、3D マップ画面上で、容易に現在地が確認できるよう AR 画面の現在位置特定機能と連携させた。

(3) AR 画面

AR 画面では、カメラを通して表示されるプレビュー映像の棚の間口面に対し、データ分析結果を配色した矩形を重畳させて表示する。

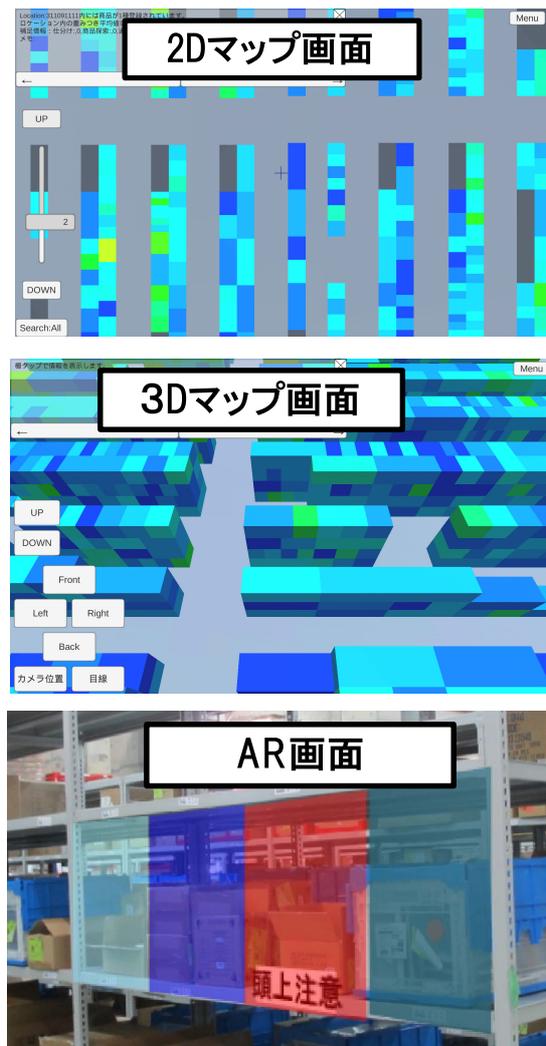


図 3 複数視点での表示

Fig. 3 Three views of the tool.

また、それぞれの画面では、使用する分析データを切り替える機能を用意した。これにより、分析者は様々な分析データを使った要因分析が可能である。

想定するユースケースを説明する。

まず、分析者は、2D マップ画面を使って、データ分析結果の全体的な傾向を把握し、問題箇所を抽出する。たとえば、棚の下から3段目は作業員の腰から肩の高さとなり、比較的商品を出し入れしやすい位置であり、全体的に作業時間はかからない傾向が把握できる。それにもかかわらず、作業時間がかかっているロケーションは、何か問題があると抽出される。

次に、3D マップ画面を使用して、見たい箇所をピンポイントに確認し、その周辺傾向とあわせて問題箇所を抽出する。たとえば、2D マップ画面で抽出した作業時間のかかっているロケーションが周辺にはなく、特定のロケーションのみピンポイントに作業時間がかかっているのであれば、位置的な問題ではなく、他の問題があると考えられる。

そして、抽出した問題箇所の現場に移動した後、AR 画

面を使って、2D マップ画面と3D マップ画面で抽出した作業時間のかかっているロケーションの実際の状況を把握し、要因を特定する。たとえば、現場で状況を確認すると、「頭上注意」などの標識によってロケーション番号が隠れており、ピッキング作業の際に指定されたロケーション番号の特定に時間がかかっていたのではないか、などの要因が特定できる。

最後に、判明した問題点を改善する。たとえば、ロケーション番号を隠していた標識を撤去するなどの改善ができる。

### 3.5 様々な業務改善への対応

今回、現場で問題点を把握し、改善が必要となる業務改善の代表的な例として、以下を想定した。

#### (1) 最適な在庫配置の検討

倉庫では、ピッキング作業や出荷作業の効率を向上させるため、保管されている商品在庫のロケーション配置を定期的に見直す。たとえば、在庫保管期間が短く出荷サイクルの早い商品を出荷口の近くに配置変更する、出荷頻度の高い商品を作業員のピッキングしやすい高さの棚に配置変更するなどの改善により、作業効率の向上が可能である。このために、商品の在庫保管期間や出荷頻度などの分析データを用いて、とりやすい位置に配置されるべき出荷頻度の高い商品の配置を検討し、最適なロケーション変更を行い、作業効率を向上させる。

#### (2) ピッキング作業の作業ロスの要因分析

作業員のピッキング作業時の作業時間の実績情報を用いて、作業時間のかかっている箇所を抽出し、現場の状況と照らし合わせながら作業遅延の原因となっている要因を特定し改善を行う。

このような様々な分析データに対応できるように、共通フォーマットを定義し、表示する分析データを切替え可能とした。また、その際の表示色や色と数値の対応などは、自由に設定可能とした。

### 3.6 デバイスの選定

ARで表示するにあたり、表示端末には、ヘッドマウントディスプレイ (HMD) やカメラ付きのタブレットなどが考えられる。表 1 は、HMD とタブレットの比較結果である。

表示画面サイズについては、タブレットは様々なサイズのものが発売されており、表示情報量を重視する場合には、大きな画面サイズを選択することができる。一方、一般的に HMD は、画面サイズが小さく片眼向けのことが多い。処理速度については、一般的にタブレットの方が高く、倉庫内可視化ツールのように表示情報量が多く描画処理負荷が高いと想定される場合に向いている。操作性については、タブレットは、スマートフォンなどで操作に慣れてお

表 1 タブレットと HMD の比較

Table 1 Comparison between tablet and HMD.

	タブレット	HMD
表示画面サイズ	○	△
処理速度	○	△
操作性	○	×
ハンズフリー	×	○
装着性	○	×

り IT 機器に不慣れな作業であっても操作が容易である。HMD は、普及率が低く、操作経験がない作業が多い。ハンズフリーについては、タブレットは、手で保持する必要があるため、表示を見ながら同時に他の作業を行うことが難しい。HMD は、眼鏡型であるため、並行作業が容易である。しかし、今回の倉庫内可視化ツールを用いた要因分析作業は、他の作業と並行して行うものではないことから、ハンズフリー機能は不要と判断した。装着性については、タブレットは、装着準備時間が不要で、装着時の不快感などの装着負荷が低い。一方、HMD は、眼鏡型であり、装着負荷がかかる。これらの点から、総合して判断し、タブレットを使用することとした。

#### 4. 倉庫における AR 表示方式

##### 4.1 AR 表示方式の検討

AR 表示では、現実世界の撮影画像の所定の位置に表示物を重畳する必要があるため、カメラにより撮影した画像内の位置を特定する技術が必要となる。一般的な AR のための位置特定技術は、(1) GPS を用いたロケーション型、(2) 特定のパターンを持った図形をマーカ（目印）として配置し、マーカを認識し、その位置を特定するマーカ型、(3) 一般的な画像や物体そのものを認識し、その位置を特定するマーカ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ことから、マーカ型の認識技術を用いることとした。具体的には、認識エンジンを含む AR プラットフォームである Vuforia (PTC) [7] を用いた。

また、2D マップ画面や 3D マップ画面などの開発を容易に行うため、開発環境には、画像認識や新デバイス分野での開発で標準となってきた Unity を使用した。

##### 4.2 マーカの形状と配置の検討

今回使用した認識エンジン Vuforia のマーカ撮影範囲外への追従精度を評価したところ、マーカ撮影後、3m ほど移動すると追従できなくなり、表示がずれてしまうことが分かった。そこで、倉庫内には 3m 間隔でマーカを設置し、追従の精度が落ちた場合に、近くのマーカを撮影しなおして表示させることとした。倉庫内は広大であるため、3m

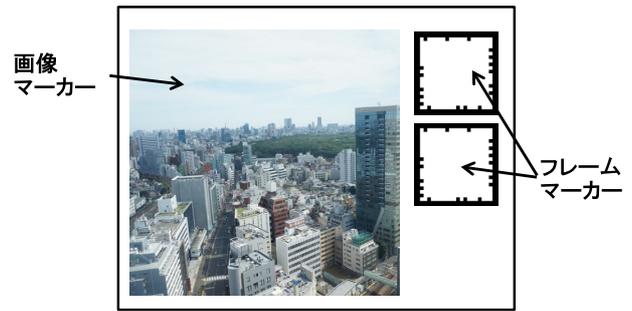


図 4 マーカ

Fig. 4 Marker.

間隔でマーカを設置する場合、1 倉庫で約 1 万個のマーカが必要となることが分かった。Vuforia では、撮影範囲外への追従をサポートするマーカとして、写真などの画像マーカを使用する。Vuforia の画像マーカ認識では、似通った画像や図形では誤認識が多くなる。今回、約 1 万個の画像マーカが必要となり、似通った画像が入りやすく、誤認識が多くなる。

そこで、棚の特定用のマーカは、Vuforia で用意されているフレームマーカを利用した。フレームマーカは、Vuforia オリジナルの規定マーカで、512 パターン用意されている。フレームマーカは、図形の枠線で構成されており、内部に自由な画像を配置することが可能で、バーコードなどよりは自然な使い方ができ、認識精度も良い。必要となる 1 万個のマーカ数を網羅するため、512 パターンのフレームマーカを 2 つ組み合わせて使用することとした。

ただし、フレームマーカには、撮影範囲外に外れた場合のカメラ位置の追従機能が使用できないという課題がある。そのため、棚の特定には誤認識のないフレームマーカを使用し、カメラ位置の特定には画像マーカを組み合わせ使用した。

図 4 が使用したマーカの例である。左側に画像マーカを配置し、右側に 2 つのフレームマーカを配置した。このマーカを、撮影しやすいよう倉庫内の各棚の柱の床から 125 センチの位置に設置した (図 5)。

##### 4.3 AR 表示の処理の流れ

AR 画面の実現方法について説明する。AR を表示するための処理手順が図 6 である。

まず、カメラにより取得した撮影画像を認識エンジンに入力し、認識エンジンが、撮影画像内の画像マーカとフレームマーカを検出、認識する。次に、図 7 に示すように、倉庫内の棚の地図情報と、マーカ取り付け位置の情報と、認識したフレームマーカの組合せを照らしあわせ、表示対象となる棚を特定する。倉庫内は広く、すべての棚に対して、AR 表示を行うと、処理性能に負荷がかかり描画速度に影響があるため、特定の範囲 (今回は 15m) に含まれている棚を検出し、該当棚にのみ表示を行うこととした。そして、



図 5 マーカの設置  
Fig. 5 Placement of marker.

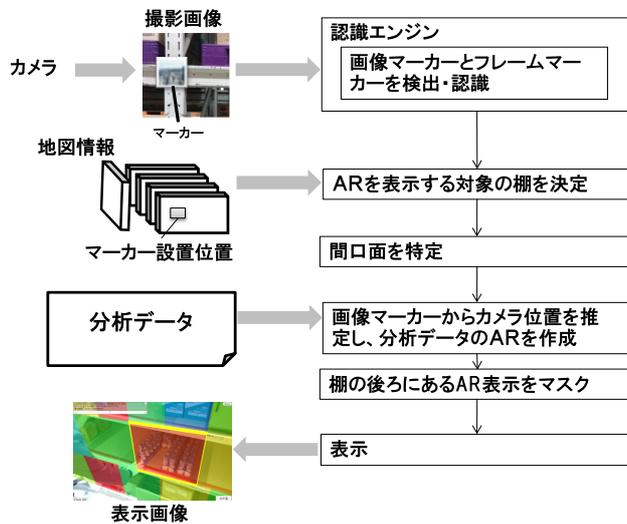


図 6 AR 表示のための処理フロー  
Fig. 6 Process of AR.

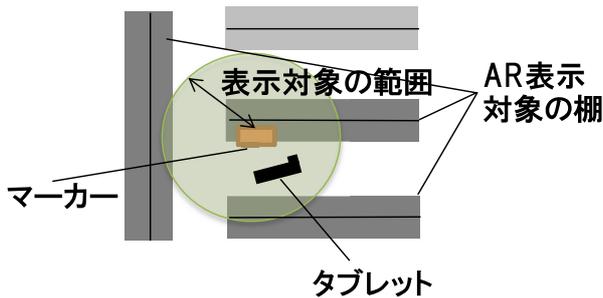


図 7 AR 表示する対象棚の決定  
Fig. 7 Shelves target.

図 8 に示すように、棚の間口面に対して、配色した矩形を表示するため、倉庫の地図情報を用いて、表示対象とした棚の間口面を検出する。画像マーカーから推定したカメラ位置を使い、各間口面に合わせて、分析データの数値に応じて配色した半透過の矩形を作成する。最後に、AR 表示が不自然にならないようオクルージョン処理をし、表示した。

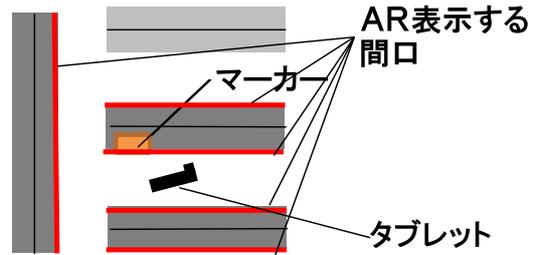


図 8 AR 表示する対象間口の決定  
Fig. 8 Frontage target.

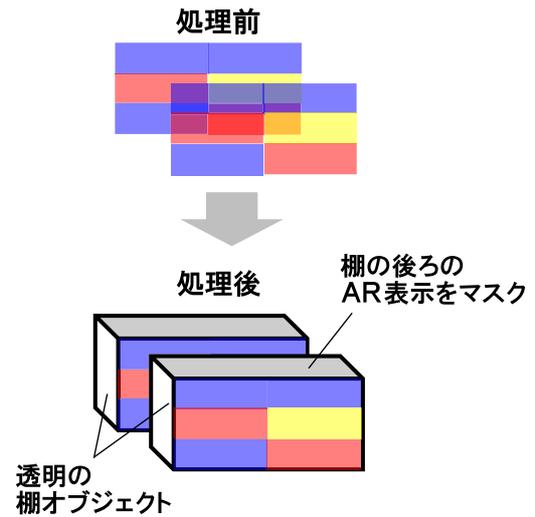


図 9 オクルージョン  
Fig. 9 Occlusion.

#### 4.4 オクルージョン処理

AR 表示する際、本来は棚などの実物体の後ろにあるべき表示が、実物体の手前に表示されてしまうと不自然になる。そのため、実物体の背後にある AR 表示を隠すオクルージョン処理が必要となる。今回、オクルージョン処理のため、実物体の棚にあわせて透明のオブジェクトを配置する。透明オブジェクトは透けて表示されないが、Unity のマスク機能を利用すると、透明オブジェクトの背後の AR 表示をマスクすることができる。これによって、背後の AR 表示に対しては、あたかも棚があるかのように表示が隠される (図 9)。

#### 4.5 描画速度の向上

実際の倉庫のデータを用い、試作システムで AR 表示の実験を行ったところ、表示時のフレームレートが 7fps となり、若干表示にもたつきが感じられた。原因を調査したところ、描画エンジンの描画の色数がデフォルトでは数千色と多く定義していたためであることが分かった。Unity では描画色を定義するごとにオブジェクトが増えるため、描画色が多いと、描画処理に負荷がかかる。そこで、人の目では細かい色の違いが分からないこと、また、要因分析に使用する際にも現状では 3, 4 色程度しか活用されてい

ないことから、配色の段階を最大でも 25 色におさえることとした。その結果、画面内に含まれるオブジェクト数に依存はするが、13~20fps に向上し、携帯電話向け地上デジタル放送の 15fps と同等の実用上問題のない表示を実現した。

## 5. 評価実験と考察

### 5.1 システム構成

4 章までの検討結果に従って、倉庫内可視化ツールのシステムを構築し、評価した。システム構成は図 10 である。

倉庫内情報管理システムは、倉庫内でピッキング作業のログ情報や、保管している商品の商品情報を管理する。ピッキング作業のログ情報は、作業者がピッキング作業の際に、ハンディターミナルで商品に貼り付けられたバーコードをスキャンし、該当商品のピッキングを終了した時刻のログ情報などである。商品情報は、商品の配置されているロケーション番号、出荷日、出荷数などの商品に関する情報である。

分析ツールは、倉庫内情報管理システムから情報を取得し、データ分析を行う。分析ツールとして、ピッキング作業時間分析ツールと、商品出荷頻度分析ツールを用意した。ピッキング作業時間分析ツールは、作業者がピッキングした商品の保管されているロケーション番号と、ピッキングされた時刻のログ情報とを照らし合わせ、各ロケーションでの作業時間をデータ分析する。商品出荷頻度分析ツールは、在庫商品の保管されているロケーション番号と、各ロケーションに配置されている商品の出荷日、出荷数とを照らし合わせ、各ロケーションの商品の出荷頻度をデータ分析する。そして、これらの分析結果データを出力する。これらの分析ツールは、定期的に、分析結果データを更新する。

倉庫内可視化ツールのデータ取得機能は、最新の分析結果データを分析ツールから取得し、表示する。それぞれのツールやシステムは、ネットワークを経由して接続される。なお、今回の評価実験では、ピッキング作業時間分析ツールを使用し、データ分析結果をあらかじめタブレットに取り込んだ状態でやっている。

表示機能は、2D/3D/AR 画面の表示を行う。その際、3次元描画などのために Unity を使用した。また、マーカ認

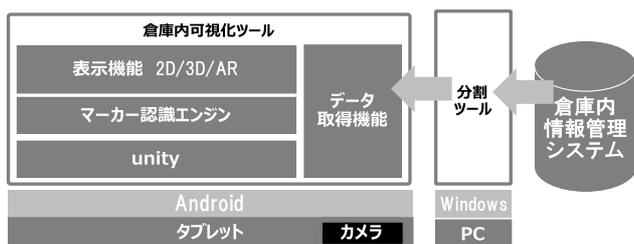


図 10 システム構成

Fig. 10 System configuration.

識エンジンとしては、Vuuforia を使用した。

OS はタブレットで主流である Android とし、Xperia Z2 Tablet (sony 製) を用いた。

図 11 は、タブレットで、倉庫内可視化ツールを使用している様子である。

### 5.2 評価実験計画

開発した倉庫内可視化ツールの評価実験を計画した。様々な使用者での効果を見極めるため、これまでも現場環境の改善を行っており、本ツールの想定ユーザでもある倉庫作業員自身と、倉庫作業に不慣れなツール開発者の 2 種類の被験者で評価を行うこととした。

評価実験を行った物流倉庫 A では、従来、不定期ではあるが、作業員自身がピッキング作業時に問題箇所気付いたときに改善を日常的に行っていた。今回の評価実験は、従来どおり、日常的に改善を行っていた状態で実施し、新たに問題箇所を抽出し、要因が特定できるかを評価した。

### 5.3 評価実験 (1)

物流倉庫 A で、ピッキング経験のない倉庫作業員に不慣れなツール開発者 1 名が、倉庫内可視化ツールを使って問題箇所を抽出し、作業ロス要因の特定を行った。これにより、倉庫作業に不慣れな分析者の業務改善への実用性を検証した。分析データとして、各保管商品のピッキング作業の作業時間を使用した。

分析者は、2D マップ画面と 3D マップ画面を使って、作業時間のかかっている問題箇所を 17 カ所抽出し、その後、AR 画面を用いて、現場の状況と照らし合わせて要因を特定する要因分析作業を 17 カ所に対して行った。すべての所要時間は約 1 時間であった。その結果、現場に起因する要因を新たに 7 カ所特定できた (表 2)。



図 11 倉庫内可視化ツールを使用している様子

Fig. 11 Image of using tool.

表 2 評価実験 (1) で特定した要因

Table 2 Identified causes by evaluation experiment (1).

特定した要因	件数
商品のとりにくさ	5
指示のわかりにくさ	1
開梱に時間がかかる	1



図 12 特定した要因例

Fig. 12 The example of cause.

表 3 評価実験 (2) で特定した要因

Table 3 Identified causes by evaluation experiment (2).

特定した要因	件数
商品のとりにくさ	1
指示のわかりにくさ	-
開梱に時間がかかる	1
商品を見つげにくい	2
発注単位への加工が必要	2
ピッキング終了確認に時間がかかる	1

たとえば、特定した要因「指示のわかりにくさ」では、ピッキングするロケーションに、該当商品と関係のない注意事項が表示されているものであった (図 12)。これについては、不要な表示を除去するだけで業務改善が可能である。

#### 5.4 評価実験 (2)

物流倉庫 A で、これまでピッキング作業時に改善を行ってきたピッキング経験の豊富な現場作業員 2 名が、倉庫内可視化ツールを使って問題箇所を抽出し、作業ロス要因の特定を行った。分析データとして、各保管商品のピッキング作業の作業時間を使用した。

分析者は、2D マップ画面と 3D マップ画面を使って、作業時間のかかっている問題箇所を 9 カ所抽出し、その後、AR 画面を用いて、現場の状況と照らし合わせて要因を特定する要因分析作業を、9 カ所に対して行った。すべての所要時間は約 1 時間であった。その結果、現場に起因する要因を新たに 7 カ所特定することができた (表 3)。

たとえば、特定した要因「商品を見つげにくい」では、同種の商品が隣どうしに並んでいるために、ピッキングの際に注意が必要であり時間がかかっていることが分かった。これは、商品の配置を変更することで改善が可能である。

また、「ピッキング終了確認に時間がかかる」では、箱単位でピッキングする商品に対して、ピッキング終了時に

行うバーコード読み取りのためのバーコードが箱の外装にはついていないため、毎回、箱を開けて、商品についているバーコードを読み取る必要があることが分かった。これは、読み取り用のバーコードを、箱の外に配置しておくことで改善が可能である。

これらの要因が特定できた箇所については、いずれも実際に現場で確認を行わずには、特定することができない要因であった。

要因が特定できなかったものは、たとえば、要因分析時に商品の在庫がなく、要因が特定できなかったと考えられる。他にも、現場環境に起因していない要因、たとえば、該当商品をピックする作業員が初心者であることが多かった、在庫の補充管理が不十分で補充がされていないことが多かった、作業員が疲れてくる時間帯にピッキングが集中したなどの要因が考えられる。

#### 5.5 その他の意見

評価実験 (2) を実施した際に、要因分析を行った作業員に対して、ツールの使用感などのヒアリングを行った。また、物流倉庫 A に加え、物流倉庫 B で、倉庫所長 2 名、倉庫管理者 5 名、倉庫作業員 1 名にツールのデモを行い、実用性についてのヒアリングを行った。

デモでは、最適な在庫配置の分析のための商品の保管期間、出荷頻度や、ピッキング作業の作業ロス分析のためのピッキングの作業時間などの複数の分析データを表示した。

その結果、以下のような意見があり、有効性が確認できた。

- 評価実験では、データ分析結果を倉庫内可視化ツールにより表示することで、実際に要因が特定でき、有効性が確認できた。
  - AR 表示を行うと、一目で複数間口に関する情報が分かりやすく確認できるので、現場で直感的に場所を把握でき、問題箇所の可視化方法として、非常に有効である。
  - 商品を出荷量によりランク分け行う ABC 分析や、商品サイズなども見ながら商品配置を検討しているため、様々なデータに切り替えて、確認できるのは良い。
  - データ分析結果の確認や検討に使用し、作業員への改善指示を出すという使い方では有効である。
  - 業務改善の分析を定期的に行っている。本ツールを活用すれば、効果的な業務改善が期待できる。
- 一方で、さらに期待されていることには以下があった。
- 分析結果が表示されるだけでなく、指示やアクションと紐付く仕組みがあれば、要因分析を超えた作業員への指示ができてよい。

要因分析支援としては有効と分かった一方で、作業員自身で活用するには、情報可視化だけではなく、すぐに実行できる指示やアクションを表示する必要があることが分

かった。将来的には、データ分析結果の表示だけでなく、結果に対する作業員への指示まで支援を広げていくとさらに活用が期待できる。

また、これらの意見のほかに、要因分析作業を観察したところ、AR表示を使って、問題箇所を把握する際に、周辺のロケーションも同時に視界に入ることから、指示されていない周辺のロケーションで作業効率の低い箇所に対しても、同時に要因分析や改善作業を実施していることが分かった。現場で直感的に問題箇所が抽出できるというだけでなく、周辺全体にまで広げた作業改善が行われるという効果が認められた。

## 5.6 評価と考察

ヒアリングの結果、ARを使って、データ分析結果を現場映像に重畳することで、直感的に分析結果を確認可能であることが分かった。

また、様々な分析データに対応していることで、複数の分析作業に使用可能であることが分かった。これによって、様々な業務改善が可能である。

2D マップ画面と 3D マップ画面を使って、作業効率の低くなっている問題箇所を抽出することで、評価実験(1)、(2)では確認範囲を絞って1時間で9~17件の要因分析が可能であった。

次に、実用性について考察した。今回評価実験を行った倉庫では、作業員自身が、定期的ではないものの、日常的に現場改善を行っていた。しかし、今回倉庫内可視化ツールを使って問題箇所を抽出したところ、これまで気付いていなかった7~9カ所について、新たに作業ロス要因を特定し、改善を行うことができた。ピッキング作業の経験のない分析者であっても、確認箇所17カ所のうちの7カ所である約41%で要因を特定し、ピッキング作業の経験の豊富な作業員にいたっては、確認箇所9カ所のうちの7カ所である約78%で特定することができた。

作業員自身が、今回の要因分析および改善を行った際のピッキング作業時間の削減効果を試算する。物流倉庫Aでの本作業時間は1カ月で約330時間あった。平均以上に時間のかかっているロケーションのうちの約78%で要因が特定でき、改善をすることで、平均作業時間程度まで抑えられると仮定すると、約33時間の作業時間が削減できる。

物流倉庫Aでは、これまで現場環境に起因する要因を分析する業務改善は定期的には行われていなかった。倉庫内可視化ツールを使った要因分析作業を導入することで、作業時間の10%の削減効果を期待できる。

また、今回は問題箇所の抽出とその要因特定の要因分析への実用性を評価したが、今後は、データ分析結果から改善作業指示を支援できる仕組みを検討する。

## 6. 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、現場環境に起因した要因の特定を可能とする倉庫内可視化ツールを開発し、実際の倉庫で検証した。拡張現実技術を用いて、データ分析結果を作業現場映像に重畳して表示し、現場の状況と照らし合わせて表示を行った。

実際の物流倉庫での作業ロス要因の分析作業に適用し、作業員自身が要因分析を行った場合、データ分析結果の約78%で現場環境に起因した要因を特定し、倉庫作業に不慣れな分析者であっても、約41%で要因を特定することができた。

今後は分析作業後の改善作業指示支援を検討する。

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] (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, p.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ーブ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] 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).
- [4] Reif, R. and Günthner, W.: Pick-by-vision: Augmented reality supported order picking, *The Visual Computer*, Vol.25, pp.461-467, Springer (2009).
- [5] 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, IEEE Conference Publications (2011).
- [6] 原正一郎：時空間情報処理ツールの研究・開発, 情報処理学会研究報告人文科学とコンピュータ(CH), Vol.2009-CH-83, No.7, pp.1-8 (2009).
- [7] PTC Inc.: Vuforia, PTC Inc. (online), available from (<https://vuforia.com/>) (accessed 2017-07-19).



松本 紀子

2002年電気通信大学大学院情報システム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、ウェアラブルシステム等の研究開発に従事。



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(株)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。



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, EMS (Energy Management System) に関する研究開発に従事。



荒 宏視 (正会員)

1998年3月早稲田大学理工学研究科電子情報通信工学専攻修士課程修了。同年(株)日立製作所中央研究所入社。2005~2007年マサチューセッツ工科大学メディアラボ客員研究員兼務。2012年早稲田大学大学院基幹理

工学研究科で博士(工学)を取得。2016年より日立物流に出向, 現在に至る。サービス革新のための大量データ活用・人工知能・可視化技術・人間行動分析の研究に従事。情報処理学会, 人工知能学会会員。



末光 一成

2013年3月京都大学工学研究科機械理工学専攻修士課程修了。同年(株)日立製作所横浜研究所入社, 現在に至る。物流・サプライチェーン分野におけるデータ分析, OR技術の研究に従事。



堀田 哲裕

1992年3月九州産業大学経営学部産業経営学科卒業。同年日立物流ソフトウェア株式会社入社。2015年より日立物流に出向, 物流高度化のための新技術開発に従事, 現在に至る。