

コンシューマ・システム論文

業務システム情報とセンサ情報を用いた 作業可視化システムの試作と評価

石田 明久^{1,a)} 小坂 忠義¹ 尾崎 友哉¹ 尾白 大知¹ 堀田 哲裕² 荒 宏視¹

受付日 2019年2月28日, 採録日 2019年7月11日

概要: 近年, 人手不足などの課題から業務の生産性向上が求められており, そのために業務時間中の作業モニタリング・可視化の必要性が高まっている. 可視化の手段としては業務システムの実績データを用いる方法があるが, 実績データが生成されない業務の内容や, トラブルなどで実績データがない時間帯については可視化することができない. そのため, そのような時間帯も含めて可視化するためには, 他の手段でデータを取得し, 組み合わせる必要がある. 本研究では, 実績データに加えて計測された従業員の位置データと作業場所の映像データを用いた, 作業可視化システムを提案する. 従業員の実績, 位置データおよび作業場所の映像データを統合し, 1つのUI上からたどれるようにする. 物流倉庫で本手法を検証し, 実績データがない時間帯でも従業員の位置, 映像を取得して提示することで複数種類のデータを組み合わせた作業可視化ができることを確認した.

キーワード: IoT, 物流, 作業見える化, 異種データ連携

Prototyping and Evaluation of Work Visualization System Using Business System Information and Sensor Information

HARUHISA ISHIDA^{1,a)} TADAYOSHI KOSAKA¹ TOMOCHIKA OZAKI¹
DAICHI OJIRO¹ TETSUHIRO HORITA² KOJI ARA¹

Received: February 28, 2019, Accepted: July 11, 2019

Abstract: In recent years, improvement of worker productivity is required because of worker shortage accompanying the declining birthrate and aging population. Therefore, it is necessary to measure and visualize worker's behavior and detail of working time. Visualizing the behavior of workers is possible by using log data of business systems. However it is not possible to visualize behavior which is not managed with business systems and time when there is no log due to problems during work. Therefore, it is necessary to combine log and sensor data to visualize such works and times. In this research, we propose a work visualization system using position of workers, image of work places, and log of business system. This system provide method to trace logs, positions, and images from one UI. We applied this system to the logistics warehouse and confirmed that this method is possible to visualize the behavior of worker in time period that there are no warehouse management system's logs.

Keywords: Internet of Things, logistics, work visualization, heterogeneous data linkage

1. はじめに

近年, 企業において人手不足が課題になっている. 日本国の生産年齢は 1995 年の 8,700 万人をピークに減少に転じており, 2015 年には 7,700 万人, 2060 年には 4,800 万人まで減少することが見込まれている [1]. それにともない,

¹ 株式会社日立製作所研究開発グループ
Hitachi Ltd., Yokohama, Kanagawa 244-0817, Japan

² 株式会社日立物流
Hitachi Transport System Ltd., Chuo, Tokyo 104-8350, Japan

^{a)} haruhisa.ishida.yq@hitachi.com

企業では人手不足感が高まっており [2], その対応策として作業の省力化や効率化による労働生産性の向上が必要となっている [3], [4].

生産性の代表的な定義として, 生産諸要素の有効利用の度合い (ヨーロッパ生産性本部) が存在する. 労働者に着目した場合, 生産性は労働時間あたりの生み出された付加価値で表される. そのため, 生み出される付加価値が同一であれば, 労働時間を短くすることで生産性を向上させることができる.

労働時間は, 付加価値を生み出す作業 (主体作業) に従事している時間と, 主体作業の準備/後始末 (付帯作業) やトラブル遭遇などの付加価値を生み出さない時間に分けられる. 主体作業時間を効率化したり, 付帯作業やトラブルを減らしたりするためには, それらを測定する必要がある.

測定手段として, 従来では作業者に現在行っている作業種別を記録させたり, 観測員を配置して記録していた. また, 作業中の実績データを用いて測定, 可視化する取組が行われている [5]. しかし, 作業者に記録させる方式は作業者に余計な作業を行わせることになり作業効率の低下を招くため測定対象の現場に受け入れてもらうことが難しい. また, 観測員を配置して手動で記録する方式は複数名の観測員を 1 日中現場に配置する必要があることから, 実施時の工数が大きく常時実施するのは難しい. また, 作業中の実績データを用いて測定, 可視化する場合は主体作業以外の作業を把握できない問題がある.

本研究では, 作業者の労働時間中の作業内容を測定, 可視化できるようにすることを目標とする. 作業者に対応づいた実績データが得られる主体作業に対しては, そのデータを用いて可視化し, それ以外の時間に対しては作業内容を事前に規定できないため, 作業者がどこでどのようにしていたかを知るための位置および現場の映像データを用いることで可視化する. この異なる種類を組み合わせると可視化する. 物流倉庫で本手法を検証し, 実績データがない時間帯でも従業員の位置, 映像を取得して提示することで複数種類のデータを組み合わせた作業可視化ができることを確認する.

2. 実績データを用いた作業可視化の概要と課題

2.1 実績データを用いた作業可視化例

実績データを用いた作業可視化例を示すために, 倉庫における作業例と, その際に得られる実績データと可視化方法について述べる.

倉庫内の作業として, オーダピッキングと呼ばれる, 発注されたオーダ (注文) 単位で品物を棚から取ってくる作業がある. この作業は作業員が携行する端末を用いて行う方式が普及しており, その際の作業手順は以下のとおりである.

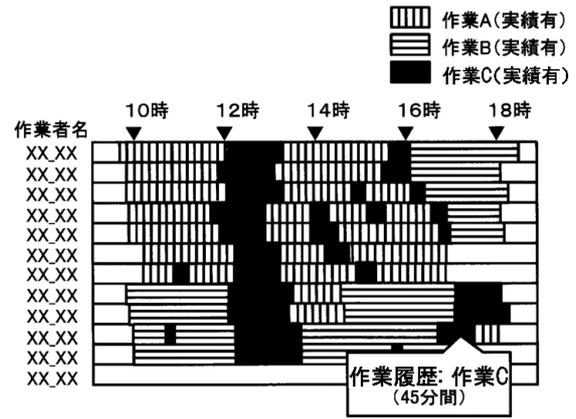


図 1 実績データを用いた作業可視化例

Fig. 1 Work visualization example using WMS data.

- (1) 作業者は端末に自身の ID でログインする.
 - (2) ピッキング対象の商品 ID, 数量, 格納先の間口 ID, 格納先のカート上のスペースの組のからなる指示のリストが倉庫管理システム (WMS)*1から端末に送られ, 画面に表示される.
 - (3) 作業者は画面に表示された指示に従って商品格納先の間口へ移動し, 商品を指定数量取得する.
 - (4) 商品取得完了の確認と, 取得した商品が誤ったものではないかを確認するため, カート上のバーコードスキャナで商品のバーコードをスキャンする.
 - (5) 指示が実施されたことが, 作業者 ID と時刻と紐付いて端末から WMS に送信される.
 - (6) 指示がなくなるまで (3), (4), (5) を繰り返す.
- ステップ (5) で送信された実績データは作業が実際に行われたエビデンスとして記録されている. このデータをイベントデータと見なすことで, 作業可視化を行うことができる. 図 1 に実績データを用いた可視化例を示す.

ここで, 横軸は 1 日における時間を, 縦軸は各作業者を表している. 記録されている各作業者の実績データを, 記録された時間に応じて作業の種類で色分けしてプロットすることで, 作業者がどのような作業に従事していたかということや作業密度を知ることができる.

2.2 実績データを用いた可視化ができない例

前節では実績データを用いた可視化方法について述べたがこの手法では可視化できない作業が存在する. たとえば図 2 に示す DAS*2など棚側に指示表示および作業完了報告ボタンがついている場合は, ボタンを押した作業者を特定できないことから個人に紐付いた実績データが得られない. また, 付帯作業など実績を管理していない作業などは実績データの収集, 蓄積していない場合がある. 図 3 に倉庫における補充作業を実績データを用いて可視化した結果

*1 Warehouse Management System

*2 Digital assort system



図 2 DAS の例

Fig. 2 Example of DAS used in warehouse.

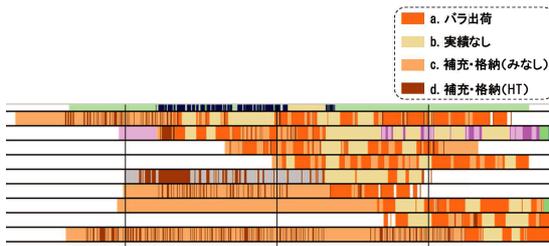


図 3 補充作業の可視化結果例

Fig. 3 Visualization example of replenishment work using WMS data.

を示す。

この可視化結果は、作業割当、WMSの実績データを用いて作業者の動態を可視化したものである。(a)は商品1個単位の出荷作業に携わったことを示している。出荷作業はWMSで作業実績が管理されているため、実績データを元に可視化されている。また(b)は出荷作業において一定時間以上実績データがない時間帯を示している。

(c)の部分は保管用の場所からピッキング用の場所に商品を補充・格納したことを示している。この作業はDASを用いており、作業者に紐付いた実績データが得られないことから、作業者の作業申告に基づいて可視化している。ただし、補充・格納作業中も作業対象の商品名や格納すべき場所を作業者が携行端末(HT:ハンディターミナル)を介して検索することがある。その操作が行われたときは、補充・格納を行っていると思なすことができるため、その部分を(d)で示している。しかし(d)の時間の割合は(c)全体と比べると非常に少なく、補充・格納の多くの時間は作業者の申告以上の情報が得られない。

本研究で対象とした倉庫では、このような時間を減らしたいという要望が存在しており、そのために現場管理者と作業者の面談形式による振り返りを実施したいという意向を持っていた。しかし、作業時の行動に関するデータが存在しない状態では、作業者の記憶しか用いることができず、効果的な実施が難しい。そのため、このような面談時に行動を振り返るためのデータを提供することを目標とする。

3. 関連研究

作業者の作業を可視化する取組みとして、実績データを用いるもの以外として小型化、高性能化したセンサを作業者に携行させたり作業空間に設置し、得られたデータを用いて作業者を計測、可視化する取組みが行われている。作業者にセンサを携行させる取組みとしては、作業者が装着するリストバンド型の加速度センサ値から、歩行、手作業、静止などの状態を判別し、物流倉庫におけるピッキング作業の工程分解と改善に関する研究が行われている[6]。作業空間にセンサを設置する取組みとしては、全天球カメラを設置し、その映像を倉庫の3Dモデル内の円柱形スクリーン形式で表示する取組みが行われている[7]。また、複数のセンサを組み合わせたものとして、据え置き型のDepthセンサ値と映像を用いて棚の前における作業を自動的に分解する研究や[8]、従業員的位置、加速度、向きや声を用いて業務中の行動を推測する研究[9]が行われている。

これらの取組みではそれぞれ以下の課題があるため、本研究が対象とする課題を解決することができない。

- 作業者に加速度センサを装着させる方式では、歩行、手作業、静止など基本的な作業の識別ができる。ただしそれを各作業と対応させるためにはそれらの順序から識別する必要があり、そのためには順序に規則性が必要である。しかし、倉庫での作業では手順が厳密に標準化されていないことが多く、また非熟練者が多いことから、その条件を満たすことができない。また、それらの行動列を提示しても、作業者が面談時の短い時間でその時の状況を思い出すのは難しい。
- 空間にセンサを取り付ける場合、センサデータが作業者と対応していないため、作業者が測定されている時間と、それがどの作業者に関するものかを識別する必要がある。
- 据え付け型のセンサのみを用いる場合、作業者が広範囲を移動しながら作業するものに対して適用できない。

4. 実績データとセンタデータを組み合わせた作業可視化方式の検討

4.1 本研究の目標

本研究では、実績データがない時間帯に対して、面談などで行動を振り返るために用いるデータを提供することを目標とする。現場へのヒアリングの結果、以下の要件を満たす作業可視化システムを実現することを目標とする。

- 実績データがない時間帯にどこにいたかが分かる。
- 実績データがない時間帯にどのような状況にあったのかが分かる。
- 上記2つの作業特定情報を作業動態管理マップと関連付けて見ることができる。

本節では上記要件を満たすための可視化方式の検討結果に

ついて述べる。

4.2 測定するデータの種類、方法の選定

4.2.1 作業者の位置データ取得方法の選定

実績データがない時間帯に作業者がどこにいたのかを把握する手法として、

- (1) 作業者自身に記録させる、
 - (2) 作業者の位置を測定する、
- の2つの方法が考えられる。(1)の場合、細かい頻度での記録は作業を阻害することから、(2)の方針で行うこととした。位置の測定手法としては、作業者がなんらかの端末を携帯する手法や、作業空間にカメラを配置し映像を分析する手法が存在する。今回実験対象とした倉庫では遮蔽物が多い。また倉庫管理者から、倉庫内で撮影した映像の利用方法に関して、作業者の状況を把握する目的で利用することは許容できるが、映っている人物が誰であるかということを知りたいという要望を現場の管理者は持っていた。そのため、作業者に測位用の端末を携帯させる手法を用いることとした。

4.2.2 作業者の状況取得方法の選定

実績データがない時間帯に関して、作業者は問題なく作業をしているのか、なんらかのトラブルで作業を実施できていないのか、あるいは作業者自身の問題で作業ができていないのかなどを知りたいという要望を現場の管理者は持っていた。そのため、それらを識別するための状況取得方法を検討した。

作業者がどのような状況にあったかを取得する方法として、

- (1) 作業者自身に記録させる、
 - (2) 作業者になんらかのセンサを携帯させ、そこから行動を推定する、
 - (3) 作業者の映像を撮影し、目視して分類したり、姿勢推定などの解析を行って行動を推定する、
- の3つの方法が考えられる。(1)の場合は作業者の作業を阻害するため不採用とした。(2)の場合、行動が標準化されている必要があるが、物流倉庫では作業が標準化されていないことが多く、行動の推定が難しい。そのため、(3)の方針を用いて、商品を抱えて移動していたり棚に商品を格納しているなどの作業者の姿勢を把握することで、作業者の状況を把握することとした。

4.3 データの表示方式の設計

本節では取得した位置と映像を倉庫管理者に提示する方法について述べる。通常管理ツールはViewが一元管理されている方が望ましいため、本研究でも、1つのUIから作業者動態管理マップとセンサデータによる可視化結果を見られるようにした。その使用イメージを図4に示す。

ここで、作業者動態管理マップ上の実績のない時間帯に

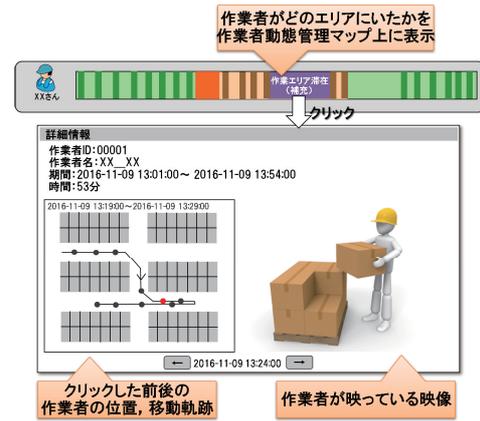


図4 実績データとセンサデータを組み合わせた可視化イメージ
Fig. 4 Work visualization combining WMS data and sensor data.

対して、位置データから判別できた作業者の滞在エリアを表示する。そして、作業者動態管理マップ上の時間帯から管理者が見たい時間帯をクリックすると、その時間帯の作業者の軌跡を表示する。また、指定された時間帯における作業者が写った映像が得られている場合には、その映像を表示する。

5. 作業可視化システムの設計

本章では、4章で述べた目標を実現するシステムの検討結果について述べる。

5.1 作業者の位置、現場の映像測定機能

屋内測位の方式は大きく以下のものがあり[10]、実施のために必要な装置や適した環境などに違いがある。

- (1) 作業者が携帯するジャイロ、加速度センサから得られる向きや加速度を用いて位置変化を求める方式 (PDR^{*3})
- (2) 作業者が携帯する通信端末と測位環境に配置した無線タグに依存し、電波の受信強度でセンサと無線タグの距離を計る方式
- (3) 作業者が携帯する通信端末と測位環境に配置した無線タグに依存し、無線タグの向きを指向性のある通信方式で、距離を通信遅延で求めてセンサの位置を求める方式

本研究では、

- (1)の方式の場合、端末単体で動作するため導入の負担が少ないが、移動距離、時間経過にともなって誤差が増大するという欠点があるためときどき位置を補正する手段が必要
- 適用先の倉庫は障害物が多く、(3)の方式で補正する場合測位環境に設置する無線タグの数が多くなることから、(1)の方式で測定しつつ(2)の方式で誤差を補正することとした。また、(2)に用いる通信方式としては

*3 Pedestrian Dead-Reckoning

表 1 位置データ例

Table 1 Location data schema and data example.

time	device id	facility name	floor name	longitude	latitude
9/1 0:00	device0	facility0	1F	135	34
9/1 0:01	device1	facility0	2F	135	34

表 2 映像データ例

Table 2 Video data schema and data example.

time	cameraId	duration	type
2017/9/1 0:00	camera0	0	photo
2017/9/1 0:01	camera1	0	photo

Wi-Fi や BLE^{*4}があるが、設置する無線タグの数は多いものの、測位誤差が低い BLE を用いることとした。作業者に測位端末を携帯させることで、表 1 に示す形式のデータが取得できる。

次に作業者の映像撮影のために倉庫内にカメラを配備し、定期的に映像を撮影することとした。設置場所は作業者に紐付いた実績データが得られない補充・格納が行われる場所の一部とした。この作業場所は細長い通路に沿って移動しながら作業を行うことから、機材としては全球カメラなどではなくリモート制御可能な広角カメラを用いることとした。配置間隔は撮影した画像から姿勢が判別できると判断した約 30m ほどの間隔とした。また撮影する映像は動画が望ましいが、長期間動作させる際の記憶装置の必要容量を考慮し、静止画とすることとした。カメラを現場に配置することで、表 2 に示す形式のデータが取得できる。

そして、上記の位置、映像をオンラインで利用できるようにした。オンラインで利用するためには、ネットワークで各機器を接続したうえで以下の 2 つの方式のいずれかでアクセスできるようにする必要がある。

- オンラインでデータを収集し、可視化機能と近い場所に蓄積する。
- 実験環境に近い場所に蓄積し、可視化時に取得する。ネットワークとしては、準備や倉庫既存システムへの影響を考慮し、携帯回線網を用いることとした。しかし、携帯回線網の場合データ通信量の制約があることから、データ量が小さい位置は可視化機能に近い場所へ蓄積、映像は実験環境側に蓄積することとした。測定データ収集環境の構成を図 5 に示す。

5.2 データを表示するための機能

5.2.1 作業者のエリア滞在判定機能

想定した可視化方法では作業者が実際に作業エリアにいた時間を提示する必要があるため、作業者の位置データとあらかじめ定義したエリア定義を元に以下のように判定す

*4 Bluetooth Low Energy

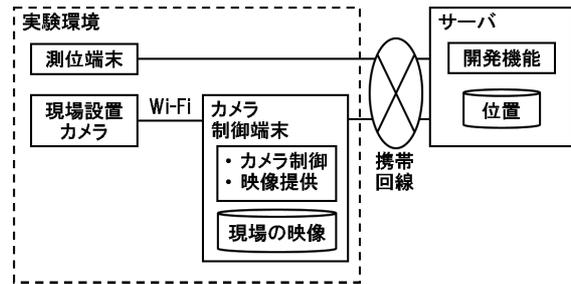


図 5 測定データ収集環境の構成

Fig. 5 Location data collection system configuration.

ることとした。

- (1) 時間範囲を指定して位置データを取得する。
- (2) (1) の位置データから、建屋、フロア、緯度経度を用いて、エリア範囲に含まれるものを抽出する。
- (3) (2) の位置データを測位端末の ID (device id) ごとにまとめる。
- (4) (3) の位置データを、連続して同じエリアにいる集合ごとにまとめ、開始、終了時間を抽出する。

5.2.2 作業者が映っている画像の検索機能

作業者が広範囲を移動しながら作業している場合、蓄積された作業エリアの画像につねに作業者が映っているとは限らない。カメラの位置と作業者の位置、および映像の撮影時刻を用いて近傍判定を行い、その結果を作業者が映っていることの判別に用いることとした。また、画像は可視化時に取得することとしたため、映っていると判定した画像一覧を返し、その結果を用いて可視化に用いる画像を指定して取得することとした。その処理を以下に述べる。

- (1) 映像データに対し、カメラ ID をキーとして設定したカメラの位置データを追加する。
- (2) 前記データの各エントリに対し、撮影時刻、カメラ位置が近傍である作業者の位置データのエントリを抽出する。

- 時間の近傍：時間の差がしきい値以下
- 位置の近傍：建屋、フロアが同じで、緯度経度から求められる距離がしきい値以下

5.2.3 作業者 ID と測位時の ID の対応管理機能

実績データは作業者に割り振られた識別子を用いて管理されている。一方、測位データは測位センサの ID と紐付けて管理されている。そのため、可視化のためにはその対応関係を管理する必要がある。本研究では作業者が携帯するセンサの稼働率を上げるため、作業者とセンサの対応関係を、センサの起動時間と終了時間を含めて管理することで、異なる時間帯で勤務する作業者間で同一のセンサを用いることができるようにした。

5.3 非機能要件に関する目標

本システムを用いるうえで満たすべき機能以外の要件に

ついて検討した。

本システムは振り返り時に現場管理者が4.3節で述べた操作を行い、経路や映像を表示することを想定した。そのため、現場で使ってもらうためには操作から表示までの遅延が低いことが望ましい。WebのUser experienceでは8秒ルールと呼ばれる経験則が知られている[11]。これは利用者がWebサイトを訪れてから表示されるまでの許容時間が8秒というものである。しかし、近年では計算機やネットワークの性能向上にともない、その許容時間が短くなってきている。SmartBear社の調査では、利用者は3秒以内にWebサイトが表示されることを期待しているとの結果が示されている[12]。またNEIPATEL社の調査では、Webサイトの表示に3秒以上かかる場合、40%の利用者がWebサイトを訪問しなくなるとの結果が示されている[13]。このことから、本システムでは、利用者が操作してから表示が完了するまでの遅延を3秒以内とすることを目標とした。

また、本手法が適用対象とした倉庫は郊外にあることが多く、現地に移動するために多くの時間を要する。そのため、実験時の負荷を考慮し、1週間程度は連続で動作できることを目標とした。

また、本システムが作業者の位置をもとに映っていると推測される映像を出力するためには、カメラの撮影範囲の粒度での測位精度が必要である。そのため、実験環境およびカメラ配置に応じた精度の測位が実現できることを目標とした。

5.4 システム全体像

これまでに述べた方式を組み込んだシステム構成を図6に示す。

測位端末によって測定された位置データは、測位端末のIDと測位時刻と紐付けられてオンラインで収集され、位置DBに蓄積される。また、作業エリアで撮影された映像データはカメラのIDと撮影時刻と紐付けられて実験環境内のサーバにある現場映像DBに蓄積される。これらのデータを用いて、位置映像連携機能は5.2.1-5.2.3項で述べた機能を動作させる。作業者動態管理マップ出力機能は、WMSに蓄積された実績データを用いて作業者動態管理マップを出力するとともに、管理者の操作に応じて位置映像連携機

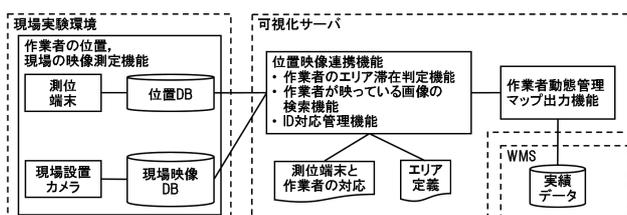


図6 システム構成

Fig. 6 Configuration of work visualization system.

能に作業者の滞在エリア、軌跡、映像を要求し、その結果を管理者に表示する。

6. 実験内容と評価

本手法を用いた作業可視化システムの効果を検証するため、測位環境、映像収集環境を物流倉庫のピッキングエリアに構築した。図7に実験エリアとBLE beacon, カメラの設置場所を、図8, 図9, 図10に実験に用いた機材を示す。

6.1 実験内容

この実験エリアは、クレーンタイプの自動倉庫からフローラック*5へ補充を行う作業エリアと、フローラックか

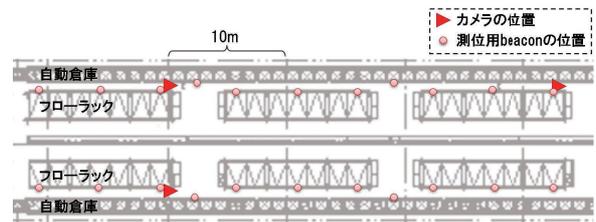


図7 実験エリア (抜粋)

Fig. 7 Layout of cameras and BLE beacons in the experiment area.



図8 カメラ

Fig. 8 Camera installation example.



図9 BLE ビーコン

Fig. 9 BLE beacon installation example.



図10 測位端末

Fig. 10 Positioning terminal and mounting belt.

*5 台が背面から前面にかけて斜めになっており、背面から補充した商品がピッキングを行う前面に自動的に移動する形状の棚。

表 3 測位精度確認の実験結果

Table 3 Result of positioning accuracy verification experiment.

No.	合格回数	割合	No.	合格回数	割合
1	10	0.833	17	11	0.917
2	12	1.000	18	9	0.750
3	11	0.917	19	12	1.000
4	9	0.750	20	12	1.000
5	12	1.000	21	12	1.000
6	10	0.833	22	12	1.000
7	9	0.750	23	12	1.000
8	9	0.750	24	12	1.000
9	10	0.833	25	6	0.500
10	11	0.917	26	7	0.583
11	12	1.000	27	9	0.750
12	10	0.833	28	8	0.667
13	11	0.917	29	9	0.750
14	10	0.833	30	7	0.583
15	10	0.833	31	8	0.667
16	10	0.833	32	10	0.833

らピッキングを行うエリアで構成されている。フローラックからのピッキングは WMS と接続した端末が搭載された台車を用い、ピッキング時に商品バーコードをスキャンすることから、作業者に紐付いた実績データが得られる。一方、自動倉庫からフローラックへの補充は DAS による自動倉庫からの品物取得しか管理していないため、作業者に紐付いた実績データが得られない。また、作業者は補充準備のできた自動倉庫の間口を探して作業をすることから、作業エリアを動き回る。そのことから、これまで作業可視化ができなかった作業であり、本実験の対象とした。

また本実験では、補充用の通路において1つのカメラが幅 1m、長さ 30m の範囲をカバーする配置とした。この配置で位置をもとに映像を提示するために、より厳しい条件を満たすよう、2m の精度が得られることを目標としてチューニングを行った。

6.2 実験エリアにおける測位精度の結果

システムを利用した実験を行う前に、実験エリアにおける測位精度確認のための実験を行った。精度確認のためのポイントを実験エリア内に 32 カ所設定し、そのポイントを一定の経路で回った。ポイントに到着した時点で、測位結果と実際の位置のずれが 2m 以内であれば合格とし、その回数をカウントした。実験には 2 台の端末を用いて、計 12 回測定を行った。その結果を表 3 に示す。ここで、No. は精度確認のためのポイント番号、割合は合格回数/計測回数を表している。この結果、全体では約 84% の合格率となった。

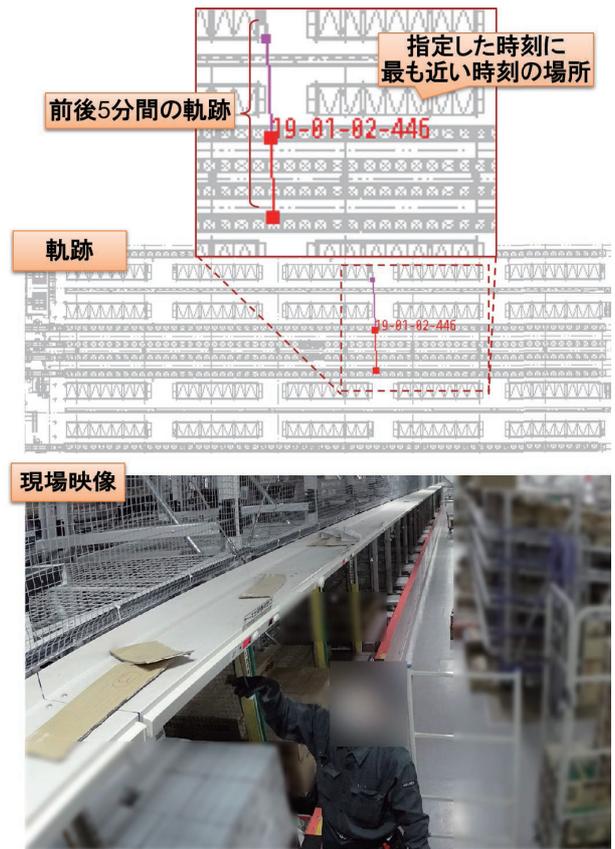


図 11 結果

Fig. 11 Work visualization result by our prototype system.

6.3 システム動作の実験結果

補充を担当する倉庫作業員に測位端末を装着してもらい、作業員の軌跡、映像がシステムで収集、表示できるかを確認した。図 11 にその結果を示す。

ここでは、上部に作業員の軌跡を、下部に作業員の近傍のカメラから撮影した映像が出力されている。作業員の軌跡としては、指定した時刻の前後 5 分の軌跡と、指定した時刻の値が赤色で表示されている。また映像からは、作業員が自動倉庫側に手を伸ばして作業中であることが見て取れる。この結果から、従来では個人に紐付いた実績データが得られなかった作業に関して、どこでどのような状況にあったのかを提示することが確認できた。この結果を用いることで、データに基づいた現場管理者と作業員の振り返りの面談を実施できると考えられる。

6.4 試作システムの非機能要件に関する評価

試作システムの非機能要件に関する評価として、表示にかかる時間と連続動作時間について確認した。

表示にかかる時間に関しては、位置データを取得して軌跡を描画する部分と倉庫に設置したサーバから映像を取得する部分が支配的と考えたため、軌跡および現場映像を表示する Web API を、インターネットを介してイントラネットから呼び出し、それぞれ表示が完了するまでの時間

を確認することとした。その結果、表示にかかる時間は双方とも1秒以内であった。そのことから、目標としていた3秒以内の表示が可能と判断した。

連続動作時間については、実際に動作させて確認した。1週間連続で動作させた結果、データの取得、蓄積、Web APIの動作に関して問題は生じなかったことから、連続動作時間の目標は達成したと判断した。

一方、測位精度については6.6節で述べるように、現場で利用してもらうには不十分であると判断した。

6.5 本手法の適用可能性に関する考察

本手法の特徴は、特定の時刻に、作業者がどこにいるかを推定し、作業者がいると推定した場所の映像を取得し、何をしていたかを振り返ることにある。このような振り返りが有効な作業としては、倉庫でのピッキング以外に以下のものが考えられる。

- a 飲食店における接客担当の管理
- b 宿泊業における、接客や清掃を行う従業員の管理
- c スーパーマーケットなどの小売りにおける、接客や補充を行う従業員の管理
- d ビルなどの清掃にあたる従業員の管理

これらの業種では、いずれも従業員が屋内の幅広い範囲を移動し、様々な作業を行うことから、従業員がいつでも何をしているのかを把握しにくいという課題を抱えていると考えられる。これらの分野に対しても、本手法を適用することで、従業員と管理者の振り返りやそれを通じた業務の効率化に役立てることができると考えられる。

6.6 試作システムの動作を通じて得られた課題

6.3節で示したように動態管理マップにおいて実績データがない時間帯に対して作業員の軌跡や作業員が映っている映像を提示することができた。一方、本システムを用いて現場の生産性改善活動を行ううえで解決すべき課題が明らかとなった。本節ではそれら判明した課題について述べる。

6.6.1 作業中の作業員の測位方式

本実験では、実験環境が棚などの障害物が多い倉庫であったためPDRとBLEを併用する方式を用い、BLEの受信感度調整などのパラメータ調整を実施した。

しかし、6.2節で示したように事前の実験では84%の精度が得られた一方、作業者が装着して作業を行った場合、十分に測位精度が得られていないことに起因すると考えられる。軌跡表示、映像取得不良のケースが存在した。その要因として以下の事柄があげられる。

- 作業者は様々な姿勢をとるため、PDRによる測位が難しい。
- BLEによる測位を行う場合端末は体の周辺部にあることが望ましい一方、作業しやすさの観点では腰や腹

など体幹に近い部分に装着することが好まれた。そのため、体が遮蔽物となってBLEの電波強度による近接性測位が阻害される。

十分な精度の測位結果が得られない場合、以下の問題が生じるため、本方式を有効に動作させるためには測位の課題を解決する必要がある。

- 実績データが存在しない不明時間中の作業員の位置、軌跡が十分に得られないため、どこにいたのかが分からない。
- 映像取得時に、作業員が映っていない映像を提示してしまったり、映っているにもかかわらずその映像を提示しない現象が発生し、ユーザビリティが低下するとともに作業員がどのようにしていたのかが分からない。

6.6.2 作業員の状況取得

本方式では現場の映像を静止画として撮影して提示することとした。しかし、システムの出力結果に対して現場管理者から、静止画から従業員が正常に作業中かどうかを判断することができ一方、生産性改善の議論を行うために体の動かし方などが分かる動画であることが望ましいとの意見が得られた。

そのため、現場の生産性向上活動に用いるためには、作業員の状況取得に関して前後も合わせた動画として取得できたほうが望ましい。

6.6.3 長期動作の安定性

本実験では現場での導入提案に際して必要な費用を抑えるため、遠隔操作可能なカメラとして民生用途のカメラを用いた。しかし、1カ月など長期間動作させた所、停止してしまうなどの現象が見られた。そのため、長期間安定動作させるためには機器の選定を見直したり、監視、復旧の手段を整備する必要がある。

7. まとめ

近年、企業において人手不足が課題になっている。その対応策として作業の省力化や効率化による労働生産性の向上が必要となっている。生産性向上のためには、作業の可視化と、可視化結果を可視化結果に基づいた改善の取組が必要である。これまで作業中の実績データを用いた可視化・改善の取組が行われていたが、作業員に対応する実績データが得られず、データに基づいた作業振り返り・改善が行えない時間帯が存在した。

本研究ではその課題を解決するため、実績データに加え新たにセンサデータを測定、収集して可視化する手法を検討した。作業員を可視化するため、測位機器と映像機器によるデータ収集、蓄積方式を検討した。さらに、既存のWMSデータを用いた可視化手法と連携するための機能について検討した。これらの収集、蓄積方式を実装した実験システムを構築し、物流倉庫で動作させ、作業員に関するデータが得られることを確認した。その結果、実績データ

のみでは可視化できなかった補充に関する作業を可視化することができた。

参考文献

- [1] 中小企業庁：深刻化する人手不足と中小企業の生産性革命 (2018).
- [2] 上島大和ほか：人手不足感の高まりについて (2018), 入手先 (http://www5.cao.go.jp/keizai3/monthly_topics/2018/0302/topics_052.pdf).
- [3] 中小企業庁：中小企業・小規模事業者における人手不足対応研究会とりまとめ (2017), 入手先 (<http://www.chusho.meti.go.jp/koukai/kenkyukai/hitodetaiou/2017/170331torimatomehonbun.pdf>).
- [4] 三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング：人手不足下における中小企業の生産性向上に関する調査に係る委託事業調査報告書 (2018), 入手先 (<http://www.meti.go.jp/meti.lib/report/H29FY/000254.pdf>).
- [5] 戸田直美, 伊藤智子, 渡辺昌寛：PC 操作ログを用いたプロジェクト管理システムの活用, 第 75 回全国大会講演論文集, Vol.2013, No.1, pp.305-306 (2013).
- [6] 兵頭靖得ほか：IoT 行動センシングを用いた作業分析技術, 東芝レビュー, pp.72-75 (2016).
- [7] 宇都木契ほか：全方位映像の 2.5 次元俯瞰表示による広域管理, *IPSI Interaction 2016*, pp.398-392 (2016).
- [8] 曾賀野健一ほか：IE による作業工程分析及び可視化手法の研究 (第 2 報), 岐阜県情報技術研究所研究報告, pp.25-28 (2012).
- [9] 新村 猛ほか：顧客, 従業員計測によるレストランのサービス改善, スケジューリング・シンポジウム, pp.146-152 (2011).
- [10] Al Nuaimi, K. and Kamel, H.: A survey of indoor positioning systems and algorithms, *2011 International Conference on Innovations in Information Technology*, pp.185-190 (2011).
- [11] Nielsen, J.: *Designing Web Usability: The Practice of Simplicity*, New Riders Publishing (2000).
- [12] SmartBear: Slow Websites Cost Retailers Billions [INFOGRAPHIC], available from (<https://mashable.com/2012/11/22/slow-websites/>).
- [13] NEILPATEL: How Loading Time Affects Your Bottom Line, available from (<https://neilpatel.com/blog/loading-time/>).



石田 明久 (正会員)

2007 年東京大学理学部情報科学科卒業。2009 年同大学大学院情報理工学系研究科コンピュータ科学専攻修士課程修了。同年 (株) 日立製作所入社。以来分散, インフラ, クラウド, IoT 等の様々な情報システムの研究開発に

従事。現在, 同研究開発グループシステムイノベーションセンタ勤務。



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), 物流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), ソフトウェア開発プロセスに関する研究開発に従事。博士

(情報学)。



尾白 大知

2013 年早稲田大学大学院創造理工学研究科総合機械工学専攻修士課程修了。同年 (株) 日立製作所入社。物流・流通向けの予測・最適化等のデータ分析・可視化技術とその業務応用の研究開発に従事。



堀田 哲裕

1992 年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) 入社。物流システム開発業務に従事。2015 年より (株) 日立物流にて物流業務高度化のための新技術開発に従事。



荒 宏視 (正会員)

1998年早稲田大学大学院理工学研究科電子情報通信工学専攻修了。同年(株)日立製作所入社後、MITメディアラボ客員研究員、(株)日立物流出向を経て、現在、物流・流通向けの予測・最適化・自動化技術とその業務応用の研究開発に従事。情報処理学会、人工知能学会各会員。博士(工学)。