

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 尾白 大知¹ 堀田 哲裕² 荒 宏視²

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、位置データ及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。

Prototyping and evaluation of work visualization system using business system information and sensor information

HARUHISA ISHIDA^{1,a)} TADAYOSHI KOSAKA¹ DAICHI OJIRO¹ TETSUHIRO HORITA² KOJI ARA²

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.

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。日本の生産年齢は1995年の8700万人をピークに減少に転じており、2015年には7700万人、2060年には4800万人まで減少することが見込まれている[1]。それに伴い、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]。

生産性向上のためには作業測定・改善が必要である。測定によって作業者の業務時間中の作業の種類、各作業の開始・終了時間が得られれば、軽減、効率化すべき作業を特定することができる。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。しかし実施時の工数が高いため、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、作業によっては実績データが取得できな

¹ (株)日立製作所 研究開発グループ
Hitachi Ltd., Yokohama, Kanagawa 244-0817, Japan

² (株)日立物流
Hitachi Transport System Ltd., Chuo-ku, Tokyo, 104-8350, Japan

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

かったり、取得できても作業員に対応していなかったりすることがある。また障害に直面した際など、実績データが得られない場合にも測定することができない。

本研究では、上記のような作業でも測定、可視化できるようにすることを目標とする。本論文では、実績データに加えて計測された作業員の位置データと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。

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、オーダーピッキングと呼ばれる、発注されたオーダー(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通りである。

- (1) 作業員は端末に自身の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WMSから端末に送られ、画面に表示される
 - (3) 作業員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、作業員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みなすことで、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、縦軸は各作業員を表している。記録されている各作業員の実績データを、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、作業員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。本論文ではこの図を作業員動態管理マップと呼ぶ。

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。

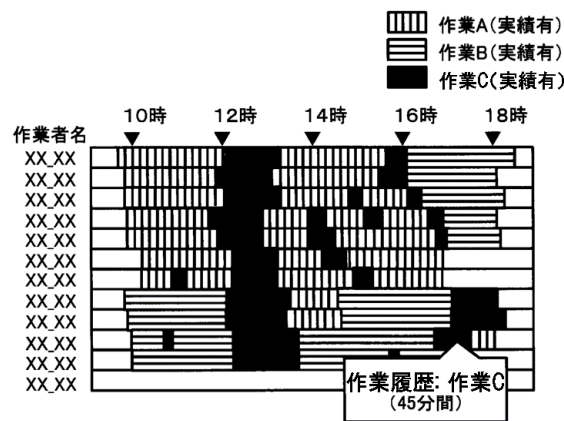


図1 実績データを用いた作業可視化例



図2 DASの例

例えば図2に示すDAS^{*1}など棚側に指示表示及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員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を示す。

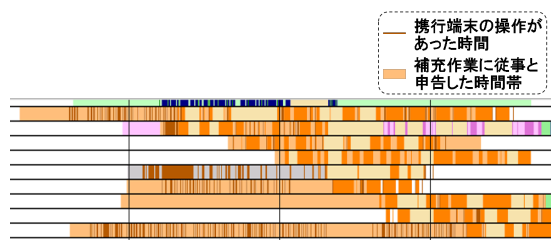


図3 補充作業の可視化結果例

この作業ではDASを用いており、作業員に紐付いた実績データが得られないため、作業員のシフト情報と携行端末の操作ログを用いて作業可視化を行った。しかし、シフト中の操作ログがない時間帯が約4割ほど発生した。

本研究では、このような作業を可視化する事を目的とする。

3. 関連研究

作業員の作業を可視化する取組として、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ーを作業

^{*1} Digital assort system

者に携帯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、可視化する取組が行われている。作業者にセンサーを携帯させる取組としては、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]。作業空間にセンサーを設置する取組としては、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が行われている [7]。また、複数のセンサー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]、従業員の位置、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ー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。但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
- 空間にセンサーを取り付ける場合、センサーデータが作業者と対応づいていないため、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ーのみを用いる場合、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、実績データを用いた作業可視化に加え、以下の要件を満たす実績データがない時間帯の可視化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わかる
- 実績データがない時間帯にどのような状況にあったのがわかる
- 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為の可視化方式の検討結果について述べる

4.2 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 を行うこととした。

4.3 作業者の状況取得方法の選定

実績データがない時間帯の作業者の状況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 を採用することとした。

4.4 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 から作業動態管理マップとセンサー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。

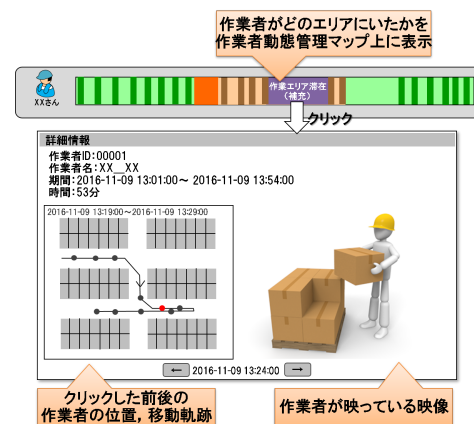


図 4 実績データとセンサーデータを組み合わせた可視化イメージ

ここで、作業動態管理マップ上の実績のない時間帯に対して、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

本節では、4 節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) 測位対象が携行するセンサに依存し，測位対象の向きや加速度を用いて位置変化を求める方式 (PDR^{*2})
- (2) 測位対象が携行するセンサと測位環境に配置した無線タグに依存し，電波の受信強度で測位対象と無線タグの距離を計る方式
- (3) 測位対象が携行するセンサ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測位対象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，時間経過に伴って誤差が増大するという欠点があるため時々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 と 2 の方式を組み合わせることで測位することとした。また，2 に用いる通信方式としては Wi-Fi や BLE^{*3} 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行させることで，表 1 に示す形式のデータが取得できる。

表 1 位置データ例

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

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。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。

表 2 映像データ例

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

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上で以下の 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

^{*2} Pedestrian Dead-Reckoning

^{*3} Bluetooth Low Energy

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。

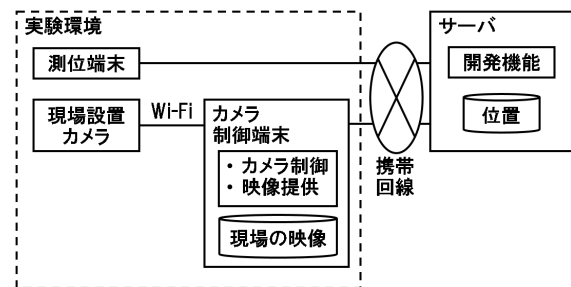


図 5 測定データ収集環境の構成

5.2 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 deviceId 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

5.3 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常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，及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

5.4 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ーの 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行するセンサーの稼働率を上げるため、作業者とセンサーの対応関係を、センサーの起動時間と終了時間と紐付けて管理することとした。

5.5 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。

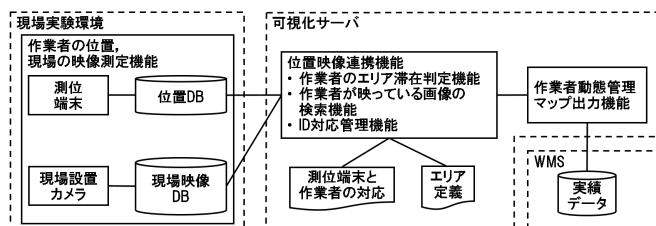


図 6 システム構成

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 5.2-5.4 節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 8-10 に実験に用いた機材を示す。

6.1 実験内容

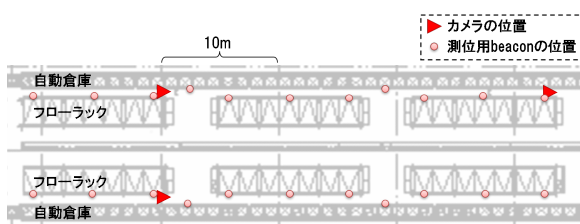


図 7 実験エリア（抜粋）

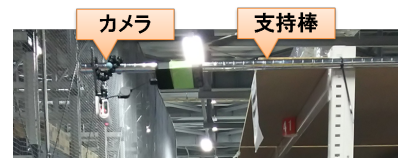


図 8 カメラ



図 9 BLE ビーコン



図 10 測位端末

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へ補充を行う作業エリアと、フローラックか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。

6.2 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、表示できるかを確かめた。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、指定した時間の前後 5 分の軌跡と、指定した時間が出力されている。この結果から、従来では DAS の履歴のみで誰が行っているかわからなかった作業を可視化できていることがわかる。そのため、本手法は実績データがない作業を可視化できることが確認できた。

6.3 試作システムの非機能要件の評価

実験中のデータの取得、蓄積、アクセスに関してはアクセス可否及び速度の観点で問題がなく、個別に確認した結果からも特に欠損などは見られなかった。また、測定データの収集に用いるネットワークは倉庫の業務システムに依存していないため、既存の業務に影響を与えることなく実験を行うことができた。そのため、システム構成、及び用

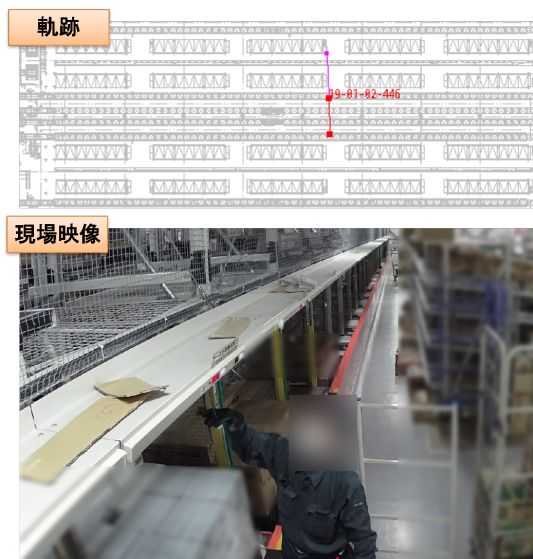


図 11 結果

いた通信ライブラリ，回線の選択は特に問題がないと考えられる。

6.4 試作システムの動作を通じて得られた課題

本節では実験システムを構築，動作させた結果判明した課題について述べる。

6.4.1 測位精度

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た。しかし，BLE の受信感度調整などのパラメータ調整にもかかわらず，精度の確保が難しかった。その要因として以下の事柄が挙げられる。

- 作業者は様々な姿勢を取るため，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

本手法の効果を上げるためには，これら測位の課題を解決する必要がある。

6.4.2 映像収集手段

本実験では，現場の映像収集手段として，機器のストレーズや回線を考慮して定期的な画像の撮影を行った。しかし，映像から作業者の状態を判断するためには前後も合わせた動画として取得できたほうが望ましい。

6.4.3 長期動作の安定性

本実験では，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 ヶ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す必要がある。

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測定・改善が必要である。手動による測定は実施時の工数が大きいため，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。しかし，作業によっては実績データが取得できなかったり，取得できても作業者に対応していなかったりすることがある。また障害に直面した際など，実績データが得られない場合にも測定することができなかった。

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。作業者を可視化するため，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，作業者に関するデータが得られる事を確認した。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] 上島等：人手不足感の高まりについて，http://www5.cao.go.jp/keizai3/monthly_topics/2018/0302/topics_052.pdf (2018).
- [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，<http://www.chusho.meti.go.jp/koukai/kenkyukai/hitodetaiou/2017/170331torimatomehonbun.pdf> (2017).
- [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，http://www.meti.go.jp/meti_lib/report/H29FY/000254.pdf (2018).
- [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] 兵頭等：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] 宇都木等：全方位映像の 2.5 次元俯瞰表示による広域管理，*IPSJ Interaction 2016*, pp. 398–392 (2016).
- [8] 曾賀野等：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] 新村等：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] K. Al Nuaimi, e. a.: A survey of indoor positioning systems and algorithms, *2011 International Conference on Innovations in Information Technology*, pp. 185–190 (2011).