

# 製造工程における作業者の行動分析手法の提案

佐藤祐紀<sup>†</sup> 猪股一步希<sup>‡</sup> 小村皓大<sup>‡</sup> 堀川三好<sup>†</sup>

岩手県立大学ソフトウェア情報学研究科<sup>†</sup>

岩手県立大学ソフトウェア情報学部<sup>‡</sup>

## 1. はじめに

近年、製造工程における IoT や AI の活用事例が多く見られる。生産の 3 要素と言われる人・機械・材料のうち、機械においてはセンサと機械学習による設備保全や異常検知等、材料においては RFID を用いた即時性の高い物品管理等の新たな技術の普及が進んでいる。人については、時計・眼鏡型ウェアラブル機器を用いた行動推定および動画解析を用いた動線推定の研究が進んでいるが、広範囲な製造工程を即時性高く可視化を行うための仕組みが求められている。

本研究では、簡易なセンシングデバイスであるスマートタグを開発し、工程改善に必要な情報収集を即時性高くかつ安価で導入する仕組みを構築する。スマートタグは、周辺に設置した BLE ビーコン（以下、ビーコン）から位置情報を取得でき、かつ内蔵センサから運動量や歩数等の状態情報を取得可能である。これらの情報を用いて行動分析を行うことで、工程改善に必要な定量的指標を収集する手法を提案する。本稿では、測位手法を拡張し協力企業で行った実証実験結果について報告をする。

## 2. 先行研究

先行研究として、研究グループの工藤ら [1] は、屋内測位手法としてビーコンを用いた統計的手法による近接判定する手法を提案した。これは、100 ミリ秒間隔で取得される周囲のビーコンの電波強度 (RSSI) を用いて平均値の検定を行い、有意差がある場合に近接ビーコンと判別する方式である。また、中田ら [2] は、スマートタグを用いて即時導入可能な工程改善可能なデータ収集に取り組んだ。約 1 時間の製造現場での準備で、当日内に工程改善に必要なデータ収集が可能であることを確認した。

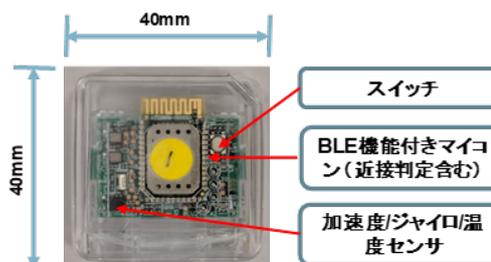


図1 スマートタグ

## 3. 作業者の行動分析手法

提案する行動分析手法は、「工程改善に必要な定量的指標を低コストかつ即時性が高く、専門知識がなしで利用できる」ものを目標としている。すなわち、中小企業でも利用可能で、設置当日の内に工程の可視化が可能な仕組みを目指す。

### 3.1 スマートタグ

スマートタグ (図 1) は、(株)イーアールアイと共同開発したものである。4 cm×4 cm の大きさで歩数、運動量、状態推定 (歩行・静止等)、加速度・ジャイロ値が取得可能である。また、周辺に設置したビーコンの電波強度 (RSSI) を複数取得し、近接ビーコンを判定する独自の測位機能を持つ。これらのデータは、約 300 ミリ秒で半径約 50m にブロードキャストされ、スマートフォン等のゲートウェイで収集される。

### 3.2 屋内測位手法

スマートタグは、工藤ら [1] の屋内測位手法をファームウェアに実装している。すなわち、複数ビーコンが観測された場合、統計的に近接判定し、位置情報として取得可能である。しかしながら、近接判定ができない (平均値の検定で有意差がない) 場合が生じる。中田ら [2] の実験では、全体で収集されたデータの 48% が近接判定により位置が特定できたものの、残りのデータは未判定のデータであるため行動分析に利用していない。

この課題を解決するため、近接判定されたデータを教師データとした機械学習を行い、未判定データの近接推定を行う。すなわち、スマートタグから収集されるビーコンの RSSI (高強度の上位 4 つ) を入力値、近接判定結果を訓練ラベルとした学習モデルを生成する。

Worker behavior analysis method in manufacturing system

<sup>†</sup>Yuki Sato, Mitsuyoshi Horikawa

Graduate School of Software and Information Science, Iwate Prefectural University

<sup>‡</sup>Ibuki Inomata, Kodai Komura

Faculty of Software and Information Science, Iwate Prefectural University

## 4. 実証実験

### 4.1 実験目的および対象工程

提案する行動分析手法の有効性を検証するため、協力企業で実証実験を行う。対象工程では、精密機器の組立を行っており、組立・梱包・ミズスマシ等、様々な職種の作業員が約30名いる。

### 4.2 実験環境

約50m×15mの作業エリアおよび通路を挟んで倉庫エリアに5m間隔でBLEビーコン26個を設置し、各作業員はスマートタグを右のズボンポケットに装着する。ビーコンは、(株)イーアールアイ製のBLU250Hを用いる。また、データ収集アプリは、Kotlinで開発したAndroidアプリを用いる。このアプリは、スマートタグのデータ収集と動画撮影の2つの機能を持つ。作業員が腕章を装着することで動画の個人識別を可能とし、目視で作業員の行動判別を行う。データ収集のため、工程全体が撮影できるように5台のスマホを設置し、1日間の実験を行った。

### 4.3 データセットおよび行動推定モデル

各スマホから収集されたデータを統合し、重複パケットを削除した後、作業員の行動分析を行う。収集されたデータは294万件であり、117万件が近接判定されたデータであった。近接判定比率が約40%と低くなったのは、ビーコン設置方針を変更したためである。

収集された117万件のデータを用いて、機械学習により未判定データの近接推定を行う。機械学習モデルを構築するための予備実験として、複数モデルを比較検討した。Scikit-Learnのall-estimator機能を用いてSVM、決定木、決定木を応用したアンサンブル学習の複数モデル等の分類器から全探索を行った結果、中間層100、中間層1の多層パーセプトロン(MLP)が最も精度が高い結果であった。

### 4.4 行動分析結果

作業員の位置について近接判定または推定されたデータを活用し行動分析を行った。分析内容は以下のようになる。

- ①作業員分析 (各作業員に1時間で算出)  
歩数/運動量/工程滞在時間/近接判定回数等
- ②ロケーション分析 (各ビーコンごとに算出)  
滞在時間/運動量等
- ③ビーコン間の移動回数
- ④ヒートマップ

全体のみでなく各作業員のヒートマップを作成する(図2)。各ビーコン付近の滞在時間が円の大きさと表示され、単位時間あたりの運動量が色で表示される(赤>黄>緑)。また、ビーコン間の移動を線の太さで表現している。位置情報

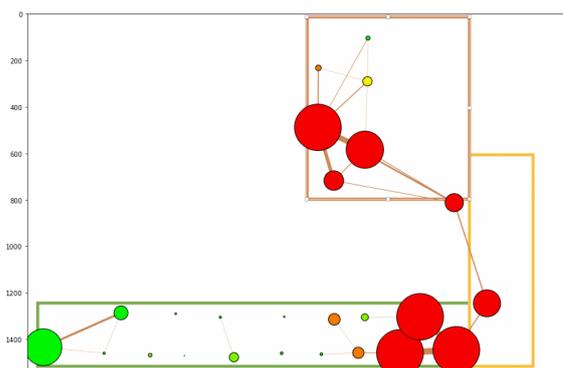


図2 作業員 A のヒートマップ

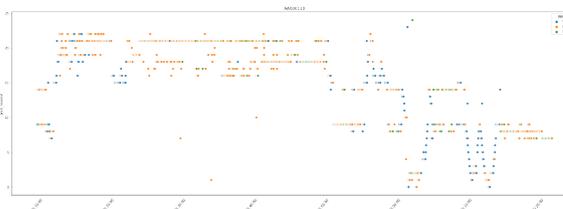


図3 作業員 B の詳細な移動遷移

と状態情報を併せて可視化することにより、直観的に作業員の行動を理解することができる。

#### ⑤作業員の詳細な移動遷移

最も詳細な情報として、約300ミリ秒ごとに収集される作業員の移動遷移を時系列に表す(図3)。時間経過に伴い、作業員がどのビーコン付近にいたのかを表示するのとともに、作業員の行動を歩行・静止・運動有り静止の3つで分類している。

## 5. おわりに

本稿では、簡易センシングデバイスを用いて工程改善に必要なデータを収集し、行動分析を行う方法を提案した。また、提案手法の有効性を実証実験にて検証し、より詳細な行動分析が可能であることを示した。

これらの分析結果に基づき協力企業では工程改善に取り組み、改善後のデータ収集を行うことで定量的に比較評価を行う予定である。今後は、時系列を考慮した学習モデルの適用など精度向上を行う予定である。

## 参考文献

- [1] 工藤大希, 堀川三好, 他: 近接ビーコンを利用した屋内位置測位手法の提案, 情報処理学会, MBL研究会 2015-MBL-77, Vol23, pp. 1-6 (2015)
- [2] 中田恵史, 岡本東, 堀川三好, 佐藤祐紀: スマートタグを用いた工程改善への活用方法の提案, 情報処理学会, 第82回全国大会公演論文集, 2020-Vol11, pp. 205-206 (2020)