

# ビーコンデバイスと加速度センサによる 製造現場作業者の動作計測とシミュレーション Agent-based Simulation and Factory Workers' Behavior Measurement with Beacon Device and Acceleration Sensor

北澤 正樹<sup>\*1</sup>  
Masaki Kitazawa

高橋 聡<sup>\*2</sup>  
Satoshi Takahashi

高橋 B. 徹<sup>\*2</sup>  
Toru B. Takahashi

吉川 厚<sup>\*1</sup>  
Atsushi Yoshikawa

寺野 隆雄<sup>\*1</sup>  
Takao Terano

<sup>\*1</sup> 東京工業大学  
Tokyo Institute of Technology

<sup>\*2</sup> 東京理科大学  
Tokyo University of Science

This paper presents the system which can collect the production progress and the work history through analyzing workers' behavior using a beacon device and acceleration sensor. Furthermore, this paper shows agent-based simulation which applied the production progress data and the work history data collected in this system. The result revealed that the predicted error of production completion time by our simulation is smaller than using the standard work time.

## 1. はじめに

近年、製造業では大量のデータを活用してサプライチェーン全体の効率を向上させる構想が多く提案されている。それらの構想を実現するためには各工場のデータを迅速に収集することが必要であり、特に製造現場における生産進捗や作業履歴は品質・原価・納期の全てに関わるため、非常に重要なデータと考えられている。生産進捗や作業履歴データの収集方法として製品へのセンサ貼付や機械の稼働情報収集がある。しかしながら、センサ貼付は製品原価の増加を招き、稼働情報収集では機械を使用しない作業の影響は計測できなくなるという問題がある。

そこで本研究では製造現場の作業者に着目し、ビーコンデバイスと加速度センサを用いて作業者の動作を計測することで製造現場の生産進捗や作業履歴のデータを収集するシステムについて示す。さらに、収集した生産進捗と作業履歴を応用する製造現場のエージェント・シミュレーションについて報告する。これらのシステムやシミュレーションを活用することで、製造現場のマネージャの意思決定支援や現場改善支援に繋がると考えられる。なお、本研究では機械を用いないセル型の組立工程を対象としている。

## 2. 構築システム

本章では構築したシステムの全体像と、ビーコンデバイスと加速度センサにより計測した作業者の動作データから生産進捗と作業履歴を分析する手法と、それらのデータを応用する製造現場のエージェント・シミュレーションについて説明する。

### 2.1 システム全体像

本システムの全体像を Fig. 1 に示す。本システムは、ビーコンデバイスと加速度センサにより計測した作業者の動作データをデータベースに収集する部分と、収集した作業者の動作データを分析して生産進捗と作業履歴として格納・表示する部分からなるシステムである。なお、動作データの分析は並列処理アルゴリズムを活用することでリアルタイムに動作可能となっている。

連絡先: 北澤正樹, 東京工業大学大学院 総合理工学研究科  
知能システム科学専攻, 〒226-8502 神奈川県横浜市緑区  
長津田町 4259-J2-52, kitazawa.m.aa@m.titech.ac.jp

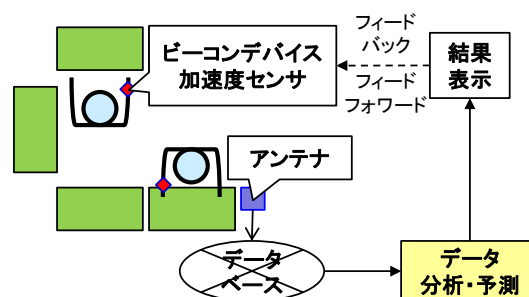


Fig. 1: 提案システムの全体像。

### 2.2 作業者動作データ分析

本システムにおける作業者動作データは、作業者の胸に着用したビーコンデバイスとアンテナ間の受信強度データと、作業者の腰と足首に着用した加速度センサによる加速度データである。受信強度データから作業者の位置を分析することで生産進捗を計測し、加速度データから作業者が移動中か停止中かを分析することで作業履歴として製品製造時の異常動作の有無を計測する。

本研究では[北澤 2017]の結果に基づき、受信強度データに対しては Moving Average Filter によるノイズ除去とε-tube による波形のピーク抽出手法を、加速度データに対しては Savitzky-Golay Filter によるノイズ除去と腰加速度ベクトルの水平成分抽出と加速度の微分値である躍度による移動判定手法を組み合わせ用いた。

### 2.3 エージェント・シミュレーション

セル生産ラインの作業者の行動を反映したエージェント・シミュレータを構築した。このシミュレータでは、レイアウトと標準作業を事前に設定したうえで計測した生産進捗を入力すると、指定した個数まで製造する時の総所要時間や各作業者の作業効率の予測値を得られる。

## 3. 実験設定および実験結果

本章では、模擬セル生産ラインを用いて作業者動作データを収集した模擬製造実験と、構築したエージェント・シミュレータを用いて製造完了時刻を予測した結果について説明する。

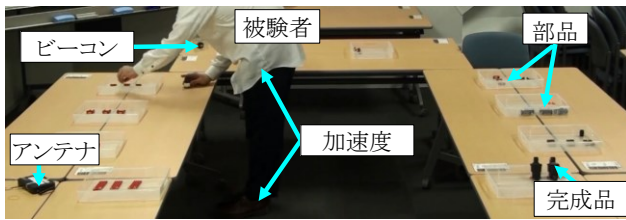


Fig. 2: 模擬実験場面.

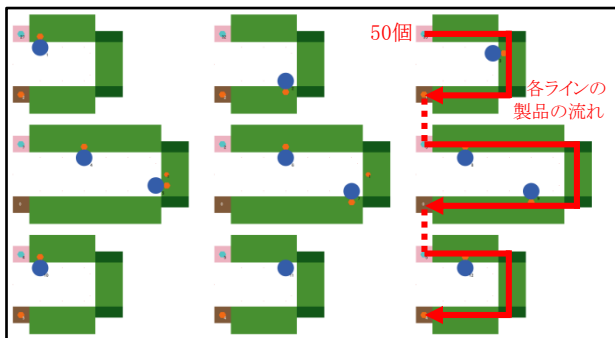


Fig. 3: シミュレータ画面と製品の流れ.

### 3.1 実験設定

U字型の模擬セル生産ラインで製品を設計した(Fig. 2). ラインは2種類あり、1つは作業員1名が1人で製品を1個ずつ完成させるラインで、もう1つは作業員2名が作業を前半と後半で分担して製品を1個ずつ完成させるラインを準備した.

製品はレゴブロックを用いて組み立てるクルマとして、各ラインで50個製造するように準備した. 製品には、Ready Work Factor法を用いて標準作業時間を設定しており、本実験では1個あたり約64.5秒となった.

作業員は1名ラインが6名で、2名ラインが3ペア6名のべ12名であった. 各作業員はビーコンデバイスを胸に、加速度センサを腰と足首に装着して、作業員動作データを収集できるようにした. さらに、各作業員は事前にセル生産での動き方と各製品の生産方法を学習したうえで、実験を行った. なお、実験は全員同時ではなく、1名または1ペアずつ順番に行った.

シミュレータはU字型のセル3つが連結しているセル生産ラインが3本ある仮想工場を想定して設定した(Fig. 3). 連結しているセル間の製品は、上流セルを完了した製品が5個溜まるたびに次のセルへ即座に配送されるようにした.

### 3.2 動作データ分析結果

ビデオカメラで撮影した映像を元に計測した値を真値として、センサで収集した作業員動作データを分析することで得られた生産進捗と異常動作の有無を比較した. のべ600個分の製品に対して、84%の製品の生産進捗を収集し、67%の製品の異常動作の有無を正確に判定できた.

収集精度を向上させる必要があるが、本システムは作業員がセンサを着用すれば自動で分析・収集が可能のため、従来のビデオカメラを用いた計測にかかるコストを考慮すれば十分有効であると考えられる.

### 3.3 シミュレーション結果

作業員動作データの分析により製品5個分の生産進捗データが得られるたびに、構築したシミュレータを用いて3ライン合計150個の製造が完了するまでの所要時間を予測した. また、

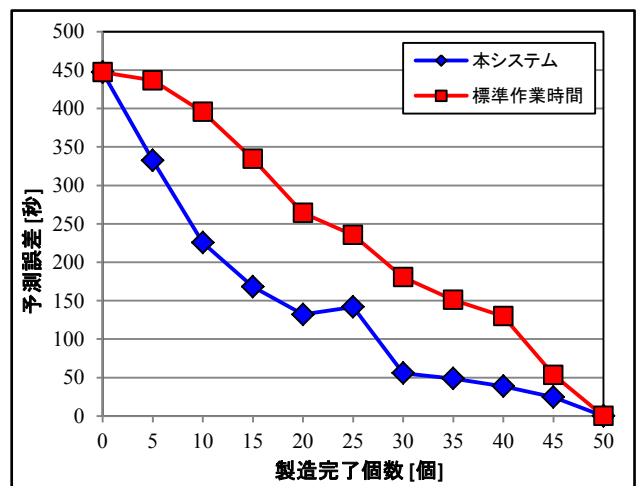


Fig. 4: 製造完了所要時間の予測結果.

すべての作業が標準作業時間どおりに行われると仮定した場合の所要時間も予測した. Fig. 4は各予測結果について、150個完成にかかる実時間3415.7秒を真値とした時の、真値との誤差をプロットしている. 結果より、本システムで収集した生産進捗を用いることで、製造開始後の早い段階から製造完了時間の予測誤差を低減できることが分かる.

本シミュレーションによる予測は、作業が計画よりも早い場合には後工程の準備前倒しに、遅い場合には作業支援の迅速な実施といった意思決定に活用できると考えられる.

## 4. 結論

本研究では製造現場の作業員に着目し、ビーコンデバイスと加速度センサを用いて作業員の動作を計測することで製造現場の生産進捗や作業履歴のデータを収集するシステムと、収集した生産進捗と作業履歴を応用する製造現場のエージェント・シミュレーションについて報告した. 収集精度の改善は必要なものの、本システムで収集した生産進捗を用いることで、製造開始後の早い段階から製造完了時間の予測誤差を低減できることが分かった.

今後の展望としては、4点考えられる. 1つ目は収集精度を改善するため、作業員動作データの分析にWavelet変換やDeep Learningなどの機械学習を用いることである. 2つ目は、収集した生産進捗や作業履歴データを本エージェント・シミュレーションだけでなく、最適スケジューリングなどに展開することである. 3つ目は、作業員動作データを生産進捗や作業履歴以外の項目の分析に用いることである. たとえば、作業員の加速度データから疲労度が計測できるようになれば、作業員の疲労も考慮した動的スケジューリングが可能になり、製造現場の更なる効率化だけでなく近年問題となっている働きすぎによる体への悪影響を防ぐことにも繋がると考えられる. 4つ目は、実際の工場へ導入して長時間稼働や実用性を検証することである. 設備や材料などの他データとも連携することで、従来は分析・推測できていなかった新たな効率化手法や知見の発見に繋がることが期待できる.

## 参考文献

- [北澤 2017] 北澤正樹, 高橋聡, 高橋 B. 徹, 吉川厚, 寺野隆雄: ウェアラブルセンサーを用いた作業員動作分析によるセル生産ラインのリアルタイム生産進捗計測システムの提案, 第12回社会システム部会研究会, 2017.