

人体通信を利用した作業動態管理技術の開発

Development of work dynamics management technology using human body communication

楠本雄裕

Katsuhiko Kusumoto

電子・有機素材研究所 電子システムグループ

近年、生産年齢人口の減少などにより人手不足が深刻な問題となり、企業の製造現場では生産性向上への取り組みの一環として、作業者の作業内容を検証し、その作業を標準化・効率化するための分析が行われている。しかし、作業者のデータ計測、分析作業にかなりの労力を要するという課題がある。そこで、本研究では、人体通信技術を活用し、作業に必要な動作のみで作業者の作業内容や作業時間等のデータを収集、分析を可能とする作業動態管理技術の開発を行った。その結果、人体通信によって収集したデータから作業者が行った作業内容の推定を実現できる可能性が示唆された。

In recent years, labor shortages have become a serious problem due to factors such as the decline in the working-age population. To improve productivity at corporate manufacturing sites, analysis is being conducted to investigate workers' tasks and streamline their work. However, a key challenge lies in the extensive effort required for collecting and analyzing workers' data. Therefore, in this study, we developed work dynamics management technology that leverages human body communication. This technology facilitates the gathering and analysis of data such as work content and duration, utilizing only the essential movements needed for the tasks. The results suggest that it may be possible to estimate the tasks performed by workers based on the data acquired through human body communication.

1. はじめに

近年、少子高齢化を背景として人口が減少傾向にあることに加え、生産年齢人口が減少していることにより、人手不足が深刻な問題となっている。鳥取県の人口は54万人を割り、生産年齢人口も約29万人程度まで減少しているものの、有効求人倍率は1.5倍を超える状況となっており、人手不足がより一層顕著になっている。労働集約型の産業形態が未だに多く存在する県内企業において、生産性向上を図るためには、製造工程の改善、効率化が不可欠な状況である。

生産性向上の取り組みの一環として、県内企業においては、製造工程内で働く作業者ごとに、作業状況（いつ・誰が・どこで・何の作業を・どの程度の時間がかかったか）を検証し、その作業を効率化す

るために、各種分析手法を活用して工程分析（作業分析）を行っている。しかし、それら手法は、録画映像から作業内容を判断する、ストップウォッチによって作業時間を計測する、作業日報の集計等によって分析を行うため、作業計測・分析作業にかなりの労力を要する。また、熟練度などを評価するためには、複数回の分析作業が必要となり、継続的な活用が難しい。これらの課題を解決するため、作業場所ごとにバーコードやRadio Frequency Identification (RFID)、ビーコン等を設置し、読み取ることで動態分析を行う手法が提案・製品化されているものの、読み取り作業の煩雑さや読み取り忘れ、性能的な読み取りミスが発生することから、正確な分析を行うには課題が残っている。

そこで、本研究では、人体通信と呼ばれる技術を

活用し、送信機を身に着けた作業者が作業の中で必ず触れる箇所、必ず立つ場所等に受信機を設置し、作業に必要な動作のみで作業者のデータ（作業者、作業場所、作業時間等）の収集を行うデバイスの開発、収集したデータから作業者が行った作業内容を推定する技術の開発に取り組んだ。その内容について報告する。

2. 作業動態管理技術の開発

2.1 人体通信

人体通信とは、誘電体である人体や人体表面の数 cm を覆っている静電気の層を通信媒体とする近距離通信方式であり、通信機に人体が触れることによって通信を実現するものである。人体通信の概念図を図1に示す。通信機には、人体と触れるための電極を備えている。通信方式には、電流方式と電界方式がある。電流方式では、人体に電流を流して通信を行うため、送信機と受信機が肌に接触する必要がある。汗などの影響で通信が不安定になる欠点がある。それに対して電界方式は、人体が持つ静電気の層に信号を与えて通信するため、靴や服の上から通信することが可能である。製造工程内で作業者のデータ計測を行う場合、作業者が身に着けている物（絶縁物や金属）の影響を受ける可能性があるため、絶縁物を介した状態でも通信を行うことが可能である電界方式の人体通信技術を活用こととした¹⁾。

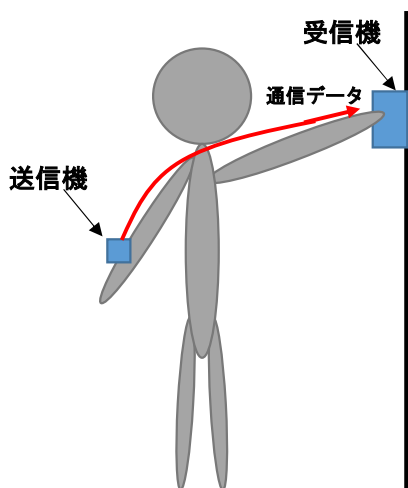


図1 人体通信の概念図

2.2 人体通信デバイスの開発

2.2.1 フレキシブルな電極の製作

製造工程内の様々な場所に通信機を設置するためには、設置場所の形状などに柔軟に対応するため、通信機の人体と接触する箇所である電極部分にフレキシブルな材料を用いる必要がある。そこで、導電性のシート材料や透明基板材料などを用いた電極を数パターン試作し、通信電極として使用することが可能であるか評価実験を行った。

電極に使用した材料は、導電性テープ（布タイプ：（株）寺岡製作所製 No.1825-25X20、アルミ箔タイプ：（株）ニトムズ製防水アルミテープ）、透明基板（シライ電子工業（株）製 透明フレキシブル基板 SPET）、ゴムシート（（株）光製 KGR-1300）である。図2に実験に使用した電極の写真を示す。布タイプの導電性テープは A4 サイズの紙に貼り付けて使用した。また、アルミ箔タイプの導電性テープはゴムシートに貼り付けて使用した。



図2 評価に使用した電極

2.2.2 人体通信のハードウェア製作

製造工程内で人体通信を利用する場合、工程内の工作機械等からのノイズにより、通信不良を発生する可能性がある。そのため、ノイズに強い通信方式を採用する人体通信機を設計、試作し、通信動作の評価を行った。

本研究で設計した人体通信機の回路構成を図3に示す。変調方式として Frequency Shift Keying (FSK、周波数偏移) 変調を採用した。FSK 変調は、搬送波の周波数の変化によりデータを伝送するデジタル変調方式の一つである。伝送途中での振幅変動の影響を受けにくく、変復調回路も比較的単純で実装しや

すい特徴がある。また、信号の伝送方式として差動伝送方式を採用した。差動伝送は、二本の信号線を用いて、互いに逆相の信号を流し、信号線間の電位差で伝送する方式である。外部からのノイズが信号線に加わっても、差動伝送では信号線間の電位差を見るため、ノイズがキャンセルされ誤動作しにくくなるという特長がある²⁾。

設計した人体通信機については、図4に示すような基板及びケースを基板加工機及び3Dプリンターを用いて試作機を製作した。これらを用いて通信評価などの各種実験を行った。

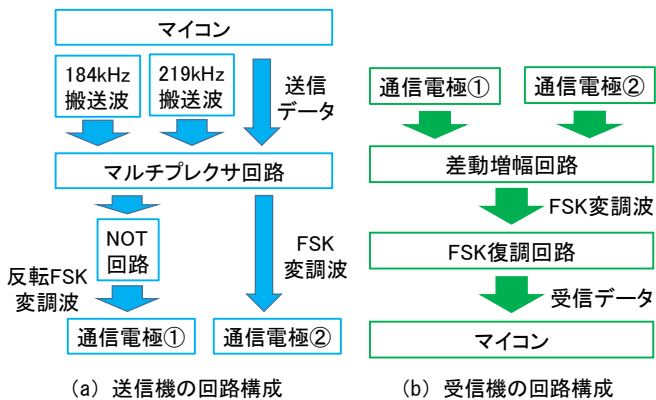


図3 設計した人体通信機の回路構成



図4 製作した人体通信機の基板及びケース

2.2.3 人体通信機のソフトウェア作成

送信機及び受信機の動作プログラムを作成し、動作の検証を行った。まず、送信機の動作については、作業者の特定を可能とするため ID 番号を送信データとし、一定の時間間隔でデータ送信を続けることとした。受信機は、この送信データから受信開始、受信終了のタイミングと作業者 ID 情報を作業動態管理アプリケーションへ通知する。受信機からアプ

リケーションへの通信には Bluetooth Low Energy (BLE) を用いる。通信場所については、BLE のデバイスアドレスを利用し、設置場所とデバイスアドレスを紐付けることで、アプリケーション側で特定をさせることとした。作成したプログラムのフローチャートを図5に示す。

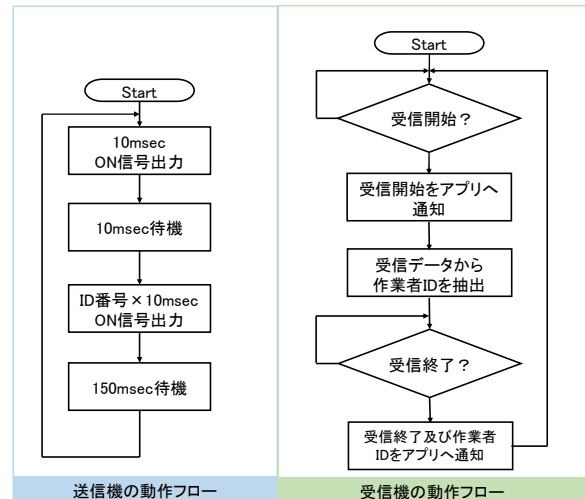


図5 作成した送受信プログラムのフローチャート

2.3 作業動態管理アプリケーションの試作

RaspberryPi4 を用いて、製作した人体通信機(受信機)からの BLE 通信を受信した後、通信時間及び通信場所のデータを抽出し、それらを記録したデータを CSV ファイルに出力する作業動態管理アプリケーションを試作した。構成を図6に示す。これらを鳥取県産業技術センター内の実験室に設置し、計測器を利用した測定作業のデータ収集実験を行った。

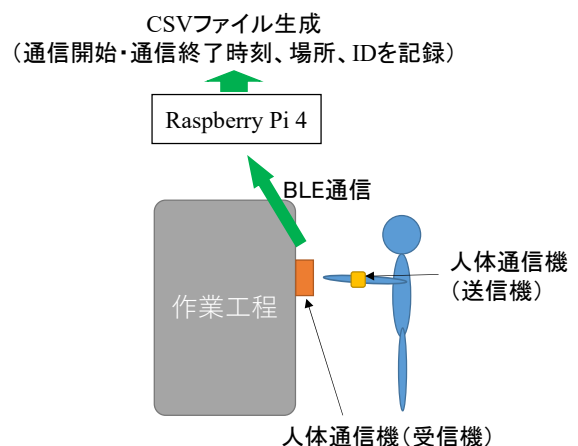


図6 作業動態管理アプリケーションの構成

2.4 作業内容推定プログラムの作成

作業動態管理アプリケーションにより出力されるデータは、作業場所と時間が並べられたものであるため、実際に作業者が何の作業を行ったのかを把握することができない。そのため、人体通信によって収集したデータから作業者の行った作業を推定するアルゴリズムを検討し、プログラムの作成を行った。作業内容推定のイメージを図7に示す。各作業における作業場所の遷移をパターンとし、収集したデータとのパターンマッチングを行うことで、類似度が高い作業を作業内容として出力する。

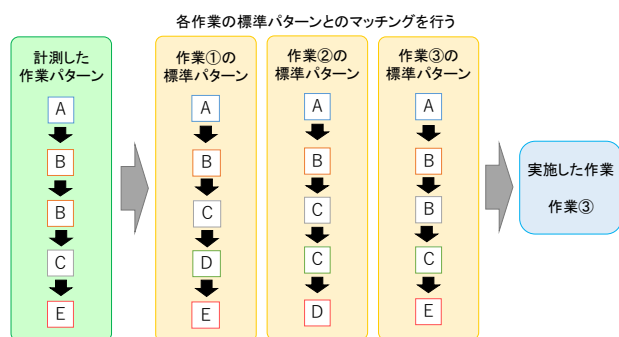


図7 作業内容推定のイメージ

3 結果と考察

3.1 フレキシブルな電極の評価結果

各電極を受信機に接続して通信の確認を行ったところ、ゴムシートを使用した場合のみ、正常な通信動作が行えていないことを確認した。しかし、ゴムシートにアルミ箔タイプの導電性テープを貼り付けた電極については正常な通信を確認できていたことから、導電性の材料を組み合わせることによってどのような材料でも電極として使用できる可能性があることが分かった。また、電極を保護する目的で、図8の様に布タイプの導電性テープを貼り付けた紙をクリアファイルに挟み、周囲を粘着テープで覆って密閉した状態でも電極としての作用が失われないかについても併せて検証を行った。その結果、クリアファイルで覆う前後での通信動作に変化がないことも確認できた。

以上の結果から、受信機の設置場所や設置する電極のサイズに合わせて上記の材料を使い分け、通信

電極を製作して利用することが可能であることが分かった。

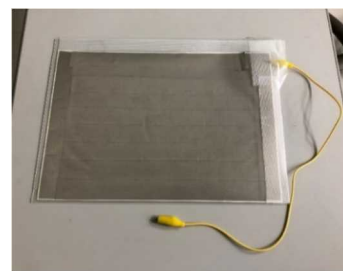


図8 表面を保護した電極

3.2 製作した人体通信機による通信評価

製作した人体通信機を用いて、通信動作の検証実験を行った。送信機及び受信機の信号波形をオシロスコープによって観測した結果を図9に示す。図9の送信データ及び受信データの波形を比較すると、信号周期が一致しており、設計した人体通信機によって、変調及び復調、信号伝送が問題なく行えていることを確認した。

また、開発した人体通信機については、金属加工を行っている企業の製造現場に持ち込み、通信動作の検証も併せて実施した。その結果、周囲の加工機械から発生するノイズ等の影響を受けることなく、通信が可能であることを確認した。

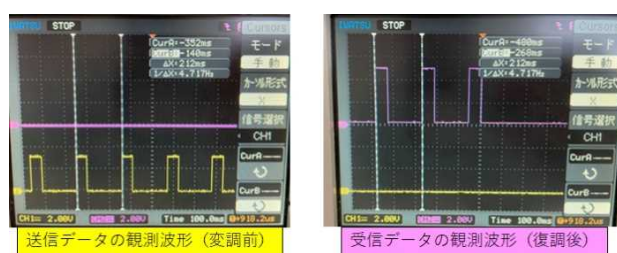


図9 製作した人体通信機による通信実験の結果

3.3 作業動態管理アプリケーションの検証結果

3.3.1 模擬作業計測の検証結果

製作した人体通信機と作業動態管理アプリケーションを用いて、鳥取県産業技術センターの実験室内において、計測器を使用した一連の測定作業のデータを収集する実験を行った。実験を行った環境を図10に示す。測定作業の中で必ず触れる5か所に受信

機を設置し、送信機を身に着けた測定者の作業データを収集した。収集したデータの一部を図 11 に示す。この中で、workingPosition は作業場所、Status は人体通信の開始と終了、Date はその時の時刻を記録している。収集したデータの内容を確認すると、計測器での測定動作通りにデータが記録されており、人体通信機及び作業動態管理アプリケーションによって作業データの収集、記録が可能であることを確認した。

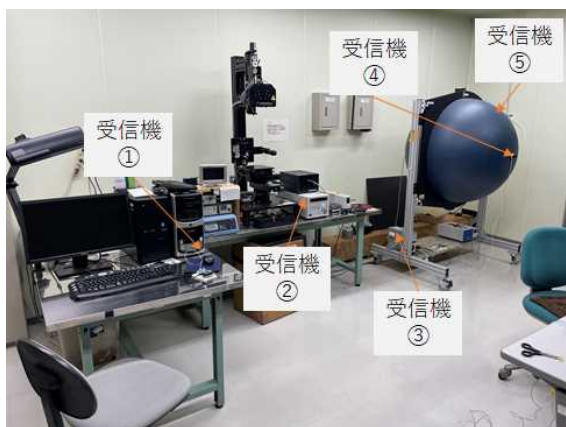


図 10 作業計測を行った計測器と受信機の設置位置

	A	B	C	D
1	workingPosition	Status	Date	
2		2 Start	20230120-09:01:49	
3		2 End	20230120-09:02:09	
4		3 Start	20230120-09:02:13	
5		3 End	20230120-09:02:20	
6		1 Start	20230120-09:03:04	
7		1 End	20230120-09:04:32	
8		1 Start	20230120-09:04:47	
9		1 End	20230120-09:05:48	
10		4 Start	20230120-09:06:19	
11		4 End	20230120-09:06:21	
12		4 Start	20230120-09:06:23	
13		4 End	20230120-09:06:25	
14		4 Start	20230120-09:06:26	
15		4 End	20230120-09:06:27	
16		5 Start	20230120-09:06:40	

図 11 収集した作業データ

3.3.2 作業内容推定の検証結果

3.2.1 で行った模擬作業計測のデータを用いて、作成した作業内容推定プログラムの動作検証を行った。今回の計測器を使った測定作業については、大

きく 4 つの作業（1:準備作業、2:補正測定作業、3:本測定作業、4:片付け作業）に大別することができる。これらの作業を行った際の作業場所の遷移をパターンとし、人体通信によって収集した作業データから、類似度が一番高い作業を作業内容として出力させた。合わせて、その作業の開始時間、終了時間を抽出し、作業にかかった時間の集計を行い、作業内容と合わせて出力した。

作成したプログラムの出力結果を図 12 に示す。人体通信によって収集したデータから該当する作業内容を推定し、正しく出力できていることを確認した。また、それぞれの作業にかかった時間についても、正確に出力できていることを確認できた。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	workingPosition	Status	Date	chk					
2		2 Start	20221213-09:01:49	1					
3		2 End	20221213-09:02:09	1					
4		3 Start	20221213-09:02:13	1					
5		3 End	20221213-09:02:20	1					
6		1 Start	20221213-09:03:04	1					
7		1 End	20221213-09:04:32	1					
8		1 Start	20221213-09:04:47	1					
9		1 End	20221213-09:05:48	1	work	1	20221213-09:01:49	20221213-09:05:48	0:03:59
10		4 Start	20221213-09:06:19	2					
11		4 End	20221213-09:06:21	2					
12		4 Start	20221213-09:06:23	2					
13		4 End	20221213-09:06:25	2					
14		4 Start	20221213-09:06:26	2					
15		4 End	20221213-09:06:27	2					
16		5 Start	20221213-09:06:40	2					
17		5 End	20221213-09:06:47	2					
18		1 Start	20221213-09:07:03	2					
19		1 End	20221213-09:07:08	2					
20		5 Start	20221213-09:09:14	2					
21		5 End	20221213-09:09:18	2					
22		5 Start	20221213-09:09:40	2					
23		5 End	20221213-09:09:48	2					
24		1 Start	20221213-09:09:59	2					
25		1 End	20221213-09:10:16	2					
26		4 Start	20221213-09:10:24	2					
27		4 End	20221213-09:10:33	2	work	2	20221213-09:06:19	20221213-09:10:33	0:04:14

図 12 作業内容推定の出力結果

3 おわりに

本研究では、生産性向上への取り組みの一環として行われている作業分析について、人体通信技術を活用し、作業に必要な動作のみで製造工程内で働く作業者の作業データを収集、管理、分析することを可能とする作業動態管理技術の開発を行った。

その結果、製作した人体通信機によって作業データ（作業者、作業時間、作業場所）の収集が可能であることを確認した。また、収集したデータから作業者が行った作業内容を推定するプログラムを試作し、作業内容の推定が可能であることを確認した。

今後は、作業動態管理アプリケーションの動作検証を実際の企業製造現場で行い、改善点などの抽出と安定動作についての検証を行う必要がある。また、製作した人体通信機についても、現状は ON/OFF 信号程度のデータを伝送するのみであるため、扱える情報量に制限がある。そのため、シリアル通信などの通信方式に対応させる改良を行い、通信機としての性能を向上させていく予定である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、作業内容推定方法などのアドバイスを頂いた東京都市大学大久保寛基准教授、人体通信機の動作検証にご協力を頂いたサンライズ工業株式会社三木氏に厚くお礼を申し上げます。

文 献

- 1) 根日屋英之;人体通信の最新動向と応用展開, シーエムシー出版, pp22-102(2017).
- 2) 石井聡;無線通信とデジタル変復調技術, CQ 出版社, pp53-63(2005)