

地磁気センサを用いた作業トレースシステムの工場内での試用

佐藤永欣[†] 小田島昌一[‡] 鈴木潤[‡] 石川泰二[‡] 村田嘉利[‡]

E-mail: {nobu-s,y-murata}@iwate-pu.ac.jp

[†]岩手県立大学ソフトウェア情報学部 [‡]関東自動車工業(株) 岩手工場

工業製品の品質保証においては、設計や原材料の他に組立工程における作業内容の保証も重要である。一般に、組み立てラインやセル生産方式の組立工程には、前工程の作業内容や品質を確認する後工程が随所に組み込まれている。しかし、作業内容によっては後工程では検出し難いものもある。例えば、1つの部品を複数のねじでとめる場合、組立精度維持のためネジを締めつける手順が規定されていることが多い。しかし、それに違反していても後の工程において視覚的に検出するのは容易ではない。そこで我々は、作業内容をコンテキストとして扱い、地磁気センサと加速度センサの組み合わせによって作業員の腕などの動きをトレースして作業内容を把握し、工業製品の品質向上を図るシステムの開発の一環として、自動車工場における燃料タンク取り付けを対象としてプロトタイプを作成した。本論文では、このプロトタイプによる複数の作業員による長時間の作業のトレース結果を元に、正常に作業が行われたかどうかの判定手法に着いて議論する。

Trial of Workers' Motion Trace System using Terrestrial Magnetism Sensors in a Factory

Nobuyoshi Sato[†] Shouichi Odashima[‡] Jun Suzuki[‡] Taiji Ishikawa[‡] Yoshitoshi Murata[‡]

[†]Faculty of Software and Information Science, Iwate Prefectural University

[‡]Iwate Plant, Kanto Auto Works, Ltd.

In quality control of industrial products, it is very important that not only qualities of materials and parts, design, but also a manufacturing work accords to instruction manuals for manufacturing process. Generally, most line and cell production system assembly process have processes to confirm quality in former processes at later processes. However, there are some cases that are difficult to be confirmed in later processes. For example, to fix a part by some screws, procedure to screw is clearly defined to ensure accuracy. However, it is not easy to detect in appearance even if defined procedure is violated. Therefore, we are developing a system to improve quality of industrial products. This system deals manufacturing processes as context, and grasp manufacturing process, recognizes context by tracing motions of worker's arm/hand by using terrestrial magnetism sensors and accelerometers. As a prototype of this system, we developed a system that judges attaching process of a particular part is correctly done or not in an accrual vehicle assemble factory. In this paper, we describe outline of the prototype and its evaluation based on long term tracing of worker's motion at actual factory.

1 はじめに

家電製品や自動車などの工業製品の品質問題は、設計、部品の品質、組み付け工程の各分野に分割することができる。組立業者にとっては、部品は他の業者から仕入れるため、部品の納入検査、設計と組み立ての3つが品質保証の重要な要素となる。

組立工程での欠陥の発生は、人による標準的な作業手順からの逸脱や工作用ロボットの故障が主な要因と考えられる。人による作業における部品の付け忘れや誤った部品の取り付けといったミスを100%除去することは難しい。組立工程を管理する上では、これらのミスの発生は想定されており、多くの場合後工程で検出・修正される。しかし、作業内容によっては後工程

で作業ミスを検出できないものもある。この例として、タイヤ・ホイールを取り付ける際のボルトの締め付け手順が挙げられる。複数のボルトを対角状に少しずつ順次締めていくのが正しい手順であるが、この手順を守らなくても外観上からも締めつけトルクからも区別できない。しかし、状況によっては、タイヤが外れるなどの重大な事故につながる可能性がある。

以上のことから、人為的なミスを減らすためには、作業員の動作がマニュアル通りとなっているかを検出することが非常に有効である。つまり、これから行う作業を識別し、各作業別に腕や指先の動きがマニュアルに則った時と同じであることを検出できれば良いことになる。前者はどの部品を取ったかで識別可能である。

続いて、腕などの動きが正常動作の時とそうでない時で違いを検出できれば良いことになる。ある部品を取るとのサインを出すシステムにおいては、間違いなく所定の部品を取っているかを含めて、動作が正常であるときとそうでない時の違いを検出する必要がある。

我々は、組立工程における工業製品の品質保証のツールとして、作業員の動作を地磁気センサや加速度センサを用いてトレースするシステムを開発している [1][2]。本システムは作業のコンテキストにより定められた標準的な作業手順から作業員が逸脱したり、誤った部品を取り出したりした場合に警報を発する。本論文では、開発中のプロトタイプと、プロトタイプにより収集した複数の作業員の長時間の作業トレースデータを元に、作業が正常に行われたかどうかを判定する手法を検討する。

本論文の構成は以下のとおりである。第2章では、関連研究を述べる。第3章では開発中のプロトタイプの概要と動作の判定手法について述べる。第4章では本プロトタイプにおける作業の正統性判定の手法を述べ、第5章でその評価を述べる。最後にまとめを述べる。

2 関連研究

GPS を用いれば数センチ単位で人や物の動きをトレース可能であるが、工場などの建物内では GPS の衛星からの電波を受信できないため利用は難しい。屋内における測位として無線 LAN を用いた方法がここ数年研究されている [3][4]。これらの研究では、複数の無線 LAN の親局からの信号強度や受信遅延時間を用いて無線 LAN 子局の位置を推定している。現状では数 m の誤差があるため、本研究の目的には利用できない。ビデオカメラを利用して作業員を常時撮影することにより動きをトレースする方法も考えられる。複数のカメラを用いて光学式のマーカをつけた人物のモーションキャプチャ [5] も行われている。マーカを使用しない例では仮想空間への適用を中心に、不審者の検出などの研究が進んでいる [6]。これらの方法は、一人の作業員に対して複数のカメラが必要となり、コストの問題から本研究への適用は難しい。

その他に人の動きに伴う加速度の変化から動作を推定する方法も考案されており、腕の振りをを用いた個人認証 [7]、ウェアラブルコンピューティングのための入力デバイス [8] に適用されている。加速度は一瞬一瞬の変化であり、組み付け工程における作業員の連続的な動作を推定するには適していない。また、速度や位置の推定においては、測定誤差が累積するため、加

速度センサ以外の何らかの方法で位置や速度を補正する必要がある。

我々が提案するシステムは、地磁気センサと加速度センサを用いて作業員の動作を推定する。地磁気はどこでも利用可能である。工場においては、モーターや配線などから発生する磁気ノイズが懸念されるが、地磁気センサをこれらからある程度はなして取り付ければ磁気ノイズの影響は受けなくなる。また、加速度センサをねじ締めなどによる振動や、作業開始の検出に補助的に用いる。

ここで、地磁気センサは、本質的にその土地における磁北の方角と伏角を測定していることに留意する必要がある。したがって、肘や肩などを支点とした回転運動の検出はきわめて容易であるが、地磁気センサの向きが変化しない運動、すなわち平行移動のような運動の検出には向いていない。

3 作業トレースシステムのプロトタイプ

現実の工場内での提案システムの実現可能性を探るため、自動車組み立て工場内での燃料タンクの取り付け工程を対象としてプロトタイプの作成を行った。この工程は、自動車ボディの下面に燃料タンクを4本のボルトで固定する作業が主である。工具としてはインパクトレンチが使われるため、インパクトレンチに地磁気・加速度センサを取り付け、PC ベースのシステムで作業が手順どおりかどうかの判定を行う。

地磁気・差速度センサは、アイチ・マイクロ・インテリジェント製の AMI601-CG を使用した。このセンサデバイスは磁気インピーダンス (Magneto-Impedance, MI) 効果を利用した磁気センサと、加速度センサ、無線送信機、バッテリーがひとつのパッケージに納められたものである。地磁気、加速度のそれぞれに対し XYZ3 軸での測定が可能である。測定データは 2.4GHz 帯の無線を通じて 25m 秒ごとに出力される。MI センサは近年、ポータブル GPS や GPS 内蔵携帯電話の電子コンパスとして利用されている。加速度はばねを通して固定された磁石の動きを、地磁気測定用とは別の磁気センサで測定・計算している。

図1に今回作成したプロトタイプの構成を示す。作成したプロトタイプは、以下の3つのハードウェアから構成される。

- インパクトレンチ。作業員が手に持つか、工場側の機器にある程度保持され、作業員位置決めをするタイプを想定している。今回使用したインパクトレンチはハンドガンタイプのエアインパクト

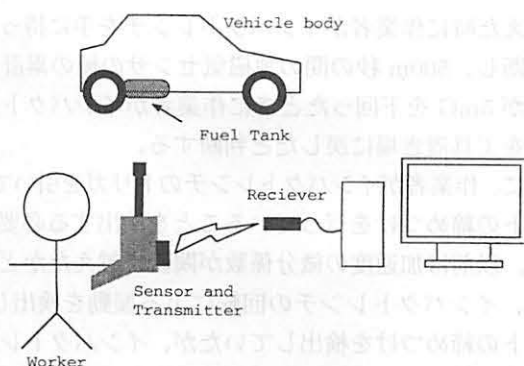


図1. 作業トレースプロトタイプ

レンチである。電動工具の場合、地磁気センサがモーターの発する磁気の影響を受けないように考慮する必要がある。

- 地磁気・加速度センサ。前述のとおり、アイチ・マイクロ・インテリジェント製のAMI601-CGを使用する。センサとバッテリーのパッケージを両面テープと粘着テープを用いてインパクトレンチの平らな面に固定した。
- PC。PCには、以下のモジュールからなるソフトウェアをインストールした。
 - － 地磁気・加速度センサインターフェース。AMI601-CGはUSBにより接続され、ソフトウェアからはシリアルポートとして見える。地磁気・加速度センサインターフェースはOSのドライバとシリアルポートからデータを読み出して、前処理を行い、上位の作業トレース・判断モジュールに渡す部分の二つからなる。
 - － 作業トレース・判断モジュール。作業員が燃料タンクの取り付け作業を行ったときの地磁気・加速度センサの出力波形と、正しい作業手順のときの地磁気・加速度センサの波形の特徴のある点同士を比較し、作業が手順どおりかどうかの判断を行う。
 - － 簡易標準作業データベース。作業員ごとの癖の違いによって、正しい作業手順に相当する地磁気・加速度センサの出力波形も異なる。作業員ごとの正しい作業の場合の地磁気・加速度センサの特徴のある点をデータベースに格納し、作業員ごとの違いを吸収する。

次に、今回作成したプロトタイプが対象とする燃料タンク取り付け工程の概要を述べる。本工程は、燃料

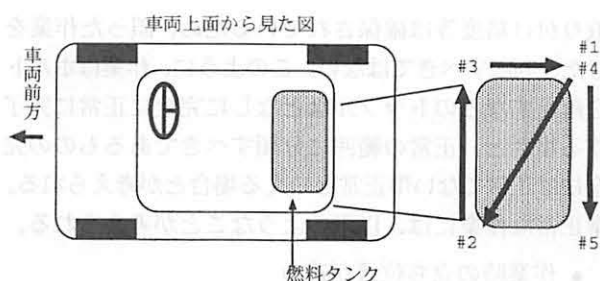


図2. 燃料タンクの取り付け位置とボルト締めつけ順序

タンクと関連する部品を、定められた手順にしたがって車両下部に取り付け、関連する配線、配管類の締結も行う。これらの作業を基本的に1名の作業員が実施するが、工場は交替制で稼働しているため、1日の間に2名の作業員が作業する。また、病気などに備えた交替要員も存在する。

本プロトタイプが対象とする作業は、これらのうちの燃料タンクをボルトで取り付ける作業のみである。今回は1車種のみを生産するラインを対象としている。燃料タンクは大きく分けて2種類存在するが、2輪駆動車用を対象とした。2輪駆動車用燃料タンクは仕様によって細かい部分が違うものの、ボルトの取り付け位置は1種類しかない。

図2に示すように、燃料タンクは車両下部の後ろ側、後部座席の下に取り付けられる。走行中の脱落などの可能性を最小限に抑えるため、取り付けの際には決まった手順で4本のボルトを規定トルクで締め付けなければならない。このとき、燃料タンクは工場に設置されているリフトによって規定位置に自動的に持ち上げられ、作業員がインパクトレンチを用いてボルトの締め付けを行う。ボルトを締め付ける手順は、図2の#1の位置のボルトを電動ドライバを用いて仮締めし、#2から#5までの位置の各ボルトをエアインパクトレンチを用いて本締めする。本締めの順序は、#2、#3、#4、#5である。本プロトタイプは本締めの順序と位置が正しいかどうかの判断を行う。

ボルトの締め付けトルクはインパクトレンチによって管理されているため、本プロトタイプの対象ではない。本プロトタイプが対象とする工場では、締め付けトルクのほかに、インパクトレンチのトリガを引いた回数のみが管理対象となっている。

ボルトの締めつけ順序が上記手順の通りである場合でも、作業の途中でボルトを落として拾うなどの余分な動作が入る可能性がある。しかし、借り締めと本締めの手順が上記の手順の通りであれば、燃料タンクの

取り付け精度等は確保されているため、誤った作業をしたと判断すべきではない。このように、作業はボルトを落とすなどのトラブルなどなしに完全に正常に完了する場合と、正常の範囲に分類すべきであるものの完全には正常でない準正常といえる場合とが考えられる。準正常な作業には、以下のようなことが考えられる。

- 作業時の立ち位置が違う
- 締めつけのタイミングが早い/遅い
- ライン停止により作業位置が変わった
- ボルトを落としたり/拾った
- つまづいた
- 工具を落としたり/拾った
- 工具の異常（トルク異常など）によるやりなおし

これらの準正常な作業の発生頻度は、稼働中の組立ラインでの作業の様子を観察したところ意外と高く、10台に1、2台は発生する。作業者がなれている場合はボルトを落とすなどの発生頻度は低い、新人などの場合はさらに発生頻度が高くなり、工具の異常によるやりなおしなどが多く発生する。

異常な作業には、下記のようなことが考えられる。

- 締めつけ順序を間違えた
- 同じボルトを2度締めた
- 燃料タンク取り付けと関係ない場所を締めつけた

本プロトタイプは、本来、正常な作業、準正常な作業、異常な作業をすべて識別でき、可能であれば準正常な作業で発生したトラブルの種類を識別できた方がよい。しかし、現状ではこのハードルは高いうえに、準正常な作業をどこまで許容すべきかの議論も必要であるが、現在の所検討されていない。

4 作業トレース・判断モジュールの動作

作業トレース・判断このモジュールは、燃料タンク取り付け動作の各コンテキスト、すなわち、作業員がインパクトレンチを取り上げ、トリガを引いてボルトを締めこみ、インパクトレンチを工具置き場に戻す動作を検出する必要がある。

以下では、作業が定められた標準作業どおりの正しい作業か否かを判定する手法について述べる。

まず、作業員が道具置き場にあるインパクトレンチを手を持ったことを検出し、作業終了後に道具置き場に戻したことを検出する必要がある。

本システムは、地磁気センサの出力の変化を利用し、インパクトレンチを手を持ったかどうかの判断を行う。作成したプロトタイプでは、250m 秒の間に地磁気センサの値の変化の累計が x、y、z のすべての軸で 10mG

をこえた時に作業員がインパクトレンチを手を持ったと判断し、500m 秒の間の地磁気センサの値の累計変化量が 5mG を下回ったときに作業員がインパクトレンチを工具置き場に戻したと判断する。

次に、作業員がインパクトレンチのトリガを引いて、ボルトの締めつけを行っていることを検出する必要がある。以前は加速度の微分係数が閾値を越えたかどうかで、インパクトレンチの回転による振動を検出し、ボルトの締めつけを検出していたが、インパクトレンチを落とす、インパクトレンチが置かれている台車にぶつかるなどの影響により誤検出することがあった。そこで、工場に設置されている生産管理システムから出力される、ボルトの締めつけ完了を示す信号を利用し、ボルトの締めつけを検出した。この信号は締めつけトルクが規定に達したときに出力され、ほぼ同時に作業員は締めつけを終え、インパクトレンチを動かす。よって、この信号が出力されるまでの間は作業員が締めつけを行っている。締めつけを行っている時間は短い場合で1秒程度、長い場合では5秒以上である。以前用いていた加速度による締めつけの検知と合わせて締めつけを行っているタイミングを取得するのが望ましいが、今回はこの信号が生産管理システムから入力される直前の0.5秒間を作業員が締めつけを行っているタイミングとした。

次に、今回作成したプロトタイプによる、作業員が定められた通りの順番でボルトの本締めを行ったかどうかの判定を行う。この方法は地磁気センサのXYZ各軸の出力があらかじめ定めた規定の範囲内にはいるかどうかにより判定する。この範囲はXYZ各軸の基準値と許容すべき基準値からの各軸のずれからなり、計算は以下のように行う。

1. 作業員 p が $n = (1, 2, \dots, n)$ 台目の車両のタンク取り付け作業をしている時に位置 i のボルトを締めつけるためにトリガを引いている期間 i ($i = 1, 2, 3, 4$) の地磁気センサの出力の平均 \bar{x}_{pni} 、 \bar{y}_{pni} 、 \bar{z}_{pni} を求める。
2. 各 p について、各軸それぞれの平均 $\bar{x}_{p,i} = \frac{\sum \bar{x}_{pni}}{n}$ 、 $\bar{y}_{p,i} = \frac{\sum \bar{y}_{pni}}{n}$ 、 $\bar{z}_{p,i} = \frac{\sum \bar{z}_{pni}}{n}$ を求め、基準値とする。
3. 各 p について、 $\bar{x}_{p,i}$ 、 $\bar{y}_{p,i}$ 、 $\bar{z}_{p,i}$ それぞれの標準偏差 $s_{xpi} = \sqrt{\frac{\sum x_{pni} - \bar{x}_{p,i}}{n}}$ 、 $s_{ypi} = \sqrt{\frac{\sum y_{pni} - \bar{y}_{p,i}}{n}}$ 、 $s_{zpi} = \sqrt{\frac{\sum z_{pni} - \bar{z}_{p,i}}{n}}$ を求める。
4. s_{xpi} 、 s_{ypi} 、 s_{zpi} を適当な定数 a 倍して許容する基準値からのずれとする。

このようにして求めた各軸の平均と許容すべきずれを使い、作業者の作業が手順通りかどうかの判定手順を以下に示す。

1. 車両 n の位置 i のボルト締めつけ完了信号が工場の生産管理システムより入力される。
2. ボルト締めつけ完了の 0.5 秒前 t_0 から締めつけ完了信号が入力された瞬間 t_{end} までの地磁気センサの XYZ 各軸の出力 x_{pni} 、 y_{pni} 、 z_{pni} の平均 \bar{x}_{pni} 、 \bar{y}_{pni} 、 \bar{z}_{pni} を求める。
3. もし求めた \bar{x}_{pni} 、 \bar{y}_{pni} 、 \bar{z}_{pni} のうちの少なくとも一つが $\bar{x}_{p,i} \pm a s_{xpi}$ 、 $\bar{y}_{p,i} \pm a s_{ypi}$ 、 $\bar{z}_{p,i} \pm a s_{zpi}$ の範囲にあれば、車両 n のボルト i の締めつけは正しく終了したと判断する。そうでない場合は正しく締めつけていないと判断する。
4. もし、車両 n の全ての i の締めつけが正しく終了していたら、 n の燃料タンクは正しく取り付けられたと判断し、そうでなければ取り付けミスがあったと判断する。

5 評価

ここで、4章で述べた作業の正当性の判定アルゴリズムの評価について述べる。

まず、本プロトタイプが対象とする燃料タンクの取り付け工程において、組立ラインが稼働中に、燃料タンクの取り付け作業に普段から従事している作業者の作業の地磁気・加速度センサによる地磁気・加速度波形の取得を行った。本来は、正当な作業と誤った作業の両方の地磁気・加速度波形を測定し、これらと比較する必要がある。しかし、稼働中の組立ラインで誤った作業を行うと、生産された車両が不良品となる可能性があり、簡単には実施できない。そこで今回は、正当な作業のみに限定して地磁気・加速度波形の測定を実施し、前節で述べたアルゴリズムがどの程度の信頼性をもち得るかを検討することにする。

地磁気・加速度波形の取得時に、正常な作業、準正常な作業の発生の記録を行った。測定日時と作業者、作業件数は以下の通りである。図3に取り付け作業の様子を示す。

表1から表4に実際に稼働中の組立ラインで測定した地磁気・加速度波形を用いて、前節で述べた手法により正常な作業と判定する閾値を計算し、正常な作業かどうかの判定を行った結果を示す。閾値の係数 a を 0.5 から 2.0 まで変化させ、正常な作業を正常と判断した件数、異常と判断した件数、準正常な作業を正常と判断した件数、異常と判断した件数のカウントを行った。

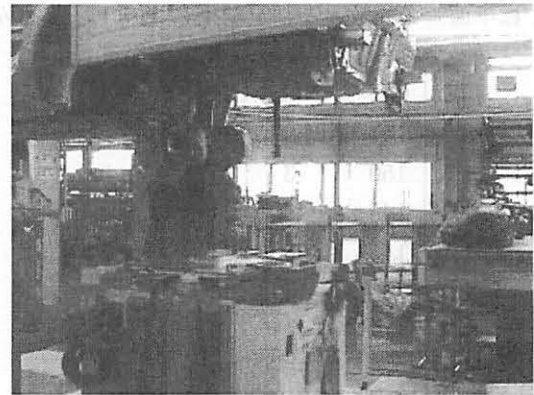


図3. 燃料タンク取り付け作業の様子

表1. 標準偏差の係数 a と判定結果 (7月2日。Oさん)

a	正常な作業		準正常な作業	
	OK	NG	OK	NG
2.0	159	1	24	1
1.5	154	6	24	1
1.2	145	15	24	1
1.1	139	21	24	1
1.0	134	26	24	1
0.7	109	51	19	6
0.5	70	90	16	9

- 7月2日 (Oさん。ベテランで指導的立場)
- 7月8日 (Tさん。訓練中)
- 7月9日 (Sさん。ベテラン)
- 7月9日 (Oさん。Sさんのバックアップでしばらくの間作業)

表1から表3においては、前節で述べたアルゴリズムによる $\bar{x}_{p,i}$ 、 $\bar{y}_{p,i}$ 、 $\bar{z}_{p,i}$ と s_{xpi} 、 s_{ypi} 、 s_{zpi} の計算は、測定された地磁気・加速度波形全てをもとに行った。表4においては、件数が少ないため、7月2日に測定したデータに基づく $\bar{x}_{p,i}$ 、 $\bar{y}_{p,i}$ 、 $\bar{z}_{p,i}$ と s_{xpi} 、 s_{ypi} 、 s_{zpi} をそのまま用いた。準正常な作業には、数秒程度の軽微な作業開始遅れが含まれている。表3では作業者の癖により特に多く含まれている。全般的に準正常な作業を異常な作業と判断する割合が高いが、両者に顕著な違いは無く、正常な作業と準正常な作業を識別できてはいない。

正常な作業と準正常な作業を異常な作業と判断してしまう誤判定はほぼ全ての場合で発生している。この誤判定の割合は低い方がよい。したがって、いまのところ得られたデータでは、閾値の範囲は $a = 1.0$ を標準偏差の係数として用いるのが適切と思われる。ただし、異常動作を異常動作と判断できるかどうかの評価を実施していないので、前節で提案したアルゴリズムの有効性の判断や、 a の値が適切かどうかの判断は出来ない。

表 2. 標準偏差の係数 a と判定結果 (7月8日。Tさん)

a	正常な作業		準正常な作業	
	OK	NG	OK	NG
2.0	151	2	26	2
1.5	150	3	25	3
1.2	148	5	24	4
1.1	145	8	23	5
1.0	140	13	23	5
0.7	112	41	16	12
0.5	78	75	10	18

表 3. 標準偏差の係数 a と判定結果 (7月9日。Sさん)

a	正常な作業		準正常な作業	
	OK	NG	OK	NG
2.0	86	1	61	2
1.5	85	2	61	2
1.2	84	3	59	4
1.1	84	3	59	4
1.0	80	7	57	6
0.7	66	21	44	19
0.5	40	47	33	30

本手法の有効性を検討するにあたって、実際の生産ラインでの異常な作業の実施と、その他の異常な作業が本システムで異常な作業と判断できるかどうかの評価は欠かすことができない。ただし、生産ラインでの異常な作業の実施は不良品の生産を意味するため、試行回数はなるべく少なくする必要がある。このため、どのような異常作業がどのような影響を製品に与えるかや、どのような異常作業を特に本システムが検出できる必要があるかの検討が必要である。

6 まとめ

本論文では、自動車組立工場で実際に稼働中の組立ラインを対象に作成中の、地磁気センサと加速度センサによる組立作業の正当性を検証するプロトタイプの評価について述べた。今回は稼働中の組立ラインにおいて、普段から組立作業に従事している3名の作業員による燃料タンク取り付け作業の地磁気・加速度の波形を計測し、本プロトタイプによる正常な作業かどうかの判定を試みた。その結果、概ね正常、および準正常な作業を正常な作業と判断できることが確認できた。しかし、正常、準正常作業と異常作業での地磁気・加速度波形が異なることは確認されているものの[2]、実際の稼働中のラインでの試験結果ではない。今後、稼

表 4. 標準偏差の係数 a と判定結果 (7月9日。Oさん)

a	正常な作業		準正常な作業	
	OK	NG	OK	NG
2.0	12	0	3	0
1.5	12	0	3	0
1.2	12	0	2	1
1.1	12	0	2	1
1.0	12	0	2	1
0.7	10	51	1	2
0.5	8	90	1	2

働中のラインでのボルトの締めつけ順序を間違えるなどの異常な作業にたいして、本プロトタイプによる正常・異常作業の判定を実施し、評価を行う必要がある。

参考文献

- [1] 佐藤永欣、小田島昌一、鈴木潤、石川泰二、村田嘉利、『作業トレースによる工業製品の品質保証の試み』、第135回マルチメディア通信と分散処理研究会(2008-DPS-135)、情報処理学会研究報告、Vol.2008、No.54、pp.23-28.
- [2] 佐藤永欣、小田島昌一、鈴木潤、石川泰二、村田嘉利、『地磁気・加速度センサを利用した作業トレースシステムのプロトタイプ』、第135回マルチメディア通信と分散処理研究会(2008-DPS-135)、情報処理学会研究報告、Vol. 2008、No.54、pp.153-158 (2008.6)
- [3] P. Bahl, V.N. Padmanabhan, "RADER: An In-Building RF-based User Location and Tracking System", Proc. of IEEE INFOCOM 2000, pp.775-784. (2000)
- [4] T. Kitasuka, T. Nakanishi, A. Fukuda, "Wireless LAN Based Indoor Positioning System WiPS and Its Simulation", Proc. of 2003 IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers, and Signal Processing, pp272-275. (2003)
- [5] S. Yonemoto, A. Matsumoto, D. Arita, R. Taniguchi, "A Real-time Motion Capture system with Multiple Camera Fusion", Proc. of International Conference on Image Analysis and Processing (ICIAP) . pp.600-605. (1999)
- [6] M.M. Trivedi, K.S. Huang, I. Mikié, "Dynamic Context Capture and Distributed Video Arrays for Intelligent Spaces", IEEE Transactions of Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans, Vol.35, No.1, pp.145-163. (2005)
- [7] M. Ohta, E. Namikata, S. Ishihara, T. Mizuno, "Individual Authentication for Portable Devices using Motion Features", Proc. of the 1st International Conference on Mobile computing and Ubiquitous networking (ICMU2004), pp.100-105. (2004)
- [8] 所 洋平, 村松邦彦, 細見心一, 塚本昌彦, 「ウェアラブルコンピューティングのための2つの加速度センサを用いたポインティング方式」, DICOMO2007 論文集, pp.1215-1222. (2007)