

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タイプ

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

{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、使用する原材料や部品の品質、設計も重要であるが、組立工程における手順書通りに作業されているかも非常に重要な要素である。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留める場合、対角線に沿って順次締め付けていくことが望ましい。しかし、それに違反していても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することによりコンテキストの識別と作業内容を把握し、工業製品の品質向上を図るシステムを開発している。このシステムのプロタイプとして、自動車工場において、ある特定の部品の取り付け作業が正しく行われたかどうかを判定するシステムを作成した。本論文では、このプロタイプの概要と動作の判定手法、評価について述べる。

A Prototype of Workers' Motion Trace System by a Terrestrial Magnetism and Acceleration Sensor

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 assembly process such as assembly line and cell production system have processes in everywhere to confirm quality and work in former processes. However, there are some cases that are difficult to be confirmed in later processes. For example, to fix a part by some screws, it is desirable to drive in diagonal order little by little. However, it is not easy to detect in appearance in case of this desirable 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 of our workers' motion trace system and algorithms for judgment, and its evaluation.

1. はじめに

工業製品の品質確保は、製造業者にとって利益や事業の継続を左右しかねない重要な問題である。

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。アSEMBL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。このため、製造現場でのQC活動を含めて作業ミスの低減努力は日々行われている。

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と工作用ロボットの故障が主要な要因と考えられる。人手による作業においては、部品の付け忘れや誤った部品の取り付けといった人為的ミスを100%除去することは難しい。一般的にはこれらのミスは後工程で検出・修正するように工程が組まれているが、作業内容によっては目視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付け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、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か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。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、開発中のプロタイプについて述べる。本プロタイプは、作業員の違いによる動作の癖を吸収しつつ、定められた作業手順からの逸脱に対し警報を発する。

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章では自動車組立工場の特定の工程における作業における評価を述べる。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[1][2]。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[3]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[4]。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[5]、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エー！参照元が見つかりません。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

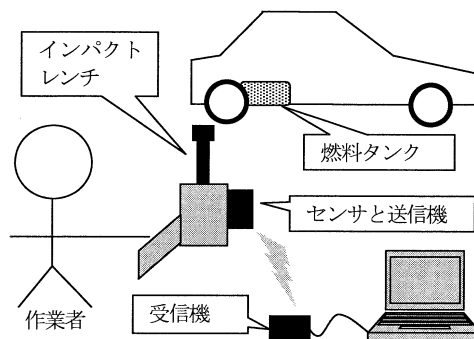


図1 プロトタイプの構成

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

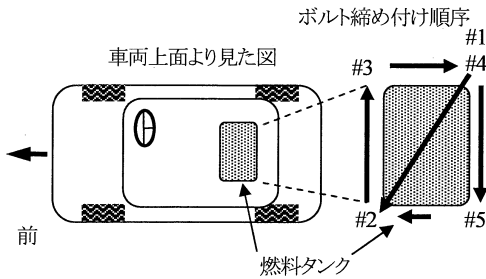


図2 燃料タンクとボルト締め付け順序

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作業順序を述べる。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ーを用いて仮締めし、#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。

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。工場に導入されている生産管理システムと連動したり、インパクトレンチのトリガ信号を利用したりすると、これらの作業中のコンテキスト取得が容易になる。しかし、今回は地磁気・加速度センサのみを使用し、コンテキストを取得する。生産管理システムが未導入の工場を想定して、外部の支援を受けずに地磁気センサと加速度センサのみを利用してコンテキストを得る技術を確認するためである。工場の生産管理システムと連動してコンテキストを得る利点などは後で議論する。

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に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に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に持ったと判断し、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。

関東自動車工業(株)岩手工場において、停止中のラインを利用して実際の燃料タンク取り付け動作を模した動作を、普段この作業を行っている作業員に依頼し、加速度、地磁気センサのデータを得た。図3、図4は、上記の方法で切り出した、作業員がインパクトレンチを工具置き場から取り出してから、燃料タンクを取り付け、インパクトレンチを元に戻すまでの、加速度の微分値と地磁気センサのデータの中の一つである。作業員がトリガを引いている間は、インパクトレンチが回転する振動により、加速度に微分値がかなり大きくなる。

実際の取り付け作業とは以下の点で違いがあることに留

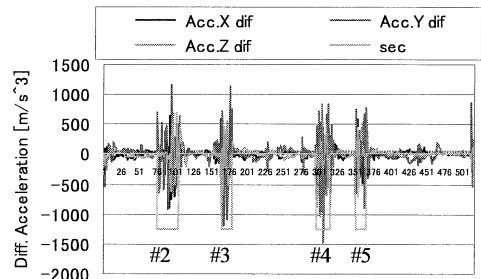


図3 加速度の微分とインパクトレンチによるボルトの締め込み

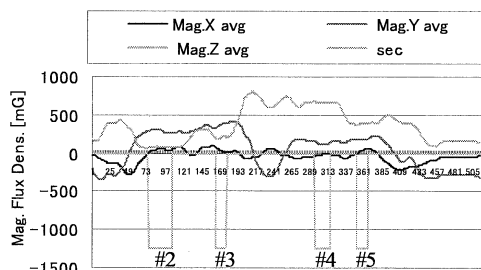


図4 #2、#3、#4、#5の順でボルトを締めたときの地磁気波形(図3と同時に測定された)

意する必要がある。

- ボルトを締めこむためにインパクトレンチのトリガを引いている時間が数秒程度と短いことがある。実際の作業では10秒以上の間、トリガを引いている。
- ラインが停止中のため、取り付け作業位置が毎回一定である。稼働中のラインでは、車両は分速6mで移動しているため、燃料タンクの取り付け作業中にも車両の位置は1m以上移動する。車両の移動に伴って作業員も移動しながらボルトを締めるので、地磁気センサの波形に影響が出る可能性がある。

次に、作業員がボルトの締め付けのためにインパクトレンチのトリガを引いたことを検出する必要がある。本システムはトリガを引いたときの地磁気センサの出力を利用して、正しい位置でトリガを引いたか、および、トリガを引いた位置の順序が正しい作業手順に従っているかどうかを判定する。その一方で、トリガを引いていないときは、ボルトの締め付けとは無関係であり、作業員がたとえインパクトレンチを手を持っていても、ボルトの締め付け順序が正しいかどうかの判定とは無関係である。本システムでは、インパクトレンチのトリガを引き、締め付けを行うときの振動を加速度センサにより検出し、トリガを引いたかどうかの判定を行う。加速度によるトリガの検出は、以下のように行う。

1. インパクトレンチを作業員が手に持ったと判断した時点から工具置き場に戻したと判断した時点までの x , y , z 各軸の加速度の微分を計算する。時点 t での xyz 各軸の加速度を a_{xt} , a_{yt} , a_{zt} とし、これらの微分値を d_{xt} , d_{yt} , d_{zt} とすると、 $d_{xt}=a_{xt}-a_{xt-1}$, $d_{yt}=a_{yt}-a_{yt-1}$, $d_{zt}=a_{zt}-a_{zt-1}$ である。
2. d_{xt} , d_{yt} , d_{zt} のいずれかが g_{start} を超える状態が t_{start} 以上の時間続いていると、インパクトレンチのトリガを作業員が引いたと判断する。本プロトタイプでは、 $g_{start}=500\text{mg}$ 、 $t_{start}=250\text{m}$ 秒である。
3. 2の状態では d_{xt} , d_{yt} , d_{zt} のいずれもが g_{end} を超えない状態が t_{end} 以上の時間続いたら、作業員がインパクトレンチのトリガを離したと判断する。本プロトタイプでは、 $g_{end}=500\text{mg}$ 、 $t_{end}=500\text{m}$ 秒である。
4. 2, 3により得られた、作業員がインパクトレンチのトリガを引いていると判断した区間のうち、長さが t_{min} に満たない区間を取り除く。本プロトタイプでは $t_{min}=500\text{m}$ 秒である。残ったトリガを引いていると判断した区間を、 i ($i=1, 2, \dots$) とする。

本プロトタイプが対象とした燃料タンクの取り付け工程におけるボルトの締め込みは、通常2, 3秒程度の連続した締め付けを必要とする。作業員がインパクトレンチのトリガを引いてから、インパクトレンチの回転数が十分に上がり、その振動による加速度の微分値が500mgを超えて、加速度により検出可能となるまで0.2秒ほど必要である。その一方で、インパクトレンチを工具置き場に戻すときなどの衝撃で

500mgを超える加速度の微分値が見られることもある。また、トリガを引いた直後と離れた直後には500m秒以下の短い区間が見られることもある。

上記の手法により検出した、作業員がトリガを引いている区間を、図3、図4のsecに示す。Secの線が-1250となっている区間が上記の手法により検出された区間である。図3、図4のsecが-1250となっている区間が左からそれぞれ、図2の#2、#3、#4、#5のボルト締め付け位置での作業に対応する。若干の変動はあるものの、ボルトの締め込みを行っている間は地磁気センサの出力は大きくは変動していない。

次に、今回作成したプロトタイプで用いた、標準作業手順どおりかの判定アルゴリズムを以下に示す。このアルゴリズムは、#2、#3、#4、#5のボルト締め込み位置での地磁気センサの値が規定範囲内に入っているかどうかを利用して判定を行う。

1. 上記のトリガ検出アルゴリズムにより検出された作業員がトリガを引いている区間 i における地磁気センサの x , y , z 各軸の出力の平均を m_{xi} , m_{yi} , m_{zi} を計算する。 x , y , z の各軸のうち、不要と判断した軸はこのアルゴリズムを通じて使用しないこともある。
2. m_{xi} , m_{yi} , m_{zi} が、区間 i における x , y , z 各軸の地磁気センサの値の標準値 m_{std} , m_{std} , m_{std} との差の絶対値 $|m_{xi}-m_{std}|$, $|m_{yi}-m_{std}|$, $|m_{zi}-m_{std}|$ を計算し、これらが x , y , z 各軸の i におけるスレッショルド m_{th} , m_{th} , m_{th} 以下であれば、その軸をOKと判断する。
3. OKと判断された軸が1軸でもあれば、区間 i の作業は標準作業手順どおりの作業と判断し、区間 i をOKと判断する。それ以外の場合はNGと判断する。
4. すべての区間 i でOKと判断されれば、燃料タンク取り付け作業全体が標準作業手順どおりに行われたと判断し、作業全体をOKと判断する。それ以外の場合は作業全体をNGと判断する。

上記のアルゴリズムを用いて、作業が標準作業手順どおりかを判定するためには、スレッショルド m_{th} , m_{th} , m_{th} を適切に決める必要がある。標準作業手順どおりの動作のときの地磁気センサの値を基準として、標準作業手順から逸脱した場合の地磁気センサの値が閾値の外になるように決定する必要がある。しかし、図4の#4と#5の地磁気センサの値はZ軸でのみ大きく異なるだけであるため、この場合はZ軸が閾値の設定上重要となる。その一方で、標準作業手順どおりの作業をしたにもかかわらず、NGと判定することは避けなければならない。また、今回は停止中のラインでの動作のデータをもとに議論しているが、稼働中のラインでは車が移動しているため、閾値の決定に関してはより厳しくなる可能性がある。さらに、稼働中のラインでは意図的に誤った動作をすると不良品を生産してしまうため、十分な試験が困難である。このため、閾値の決定手法に関しては、今後の検討が必要である。

今回作成したプロトタイプは、対象となる自動車組立工場

にすでに導入されている大規模な生産管理システムとは一切連動していない。

一般に、大規模な組立工場には、生産の各段階の作業と密接に連動した生産管理システムが導入されている。工場内で使用されるパワーツールは、これらの生産管理システムと連動している場合がある。すなわち、インパクトレンチの場合は、インパクトレンチを作業員が手に持ったかどうかを管理していたり、トリガを引いてボルトをまわした回数を管理していたりすることがある。この場合、将来的には本システムは工場の生産管理システムからこれらの信号を受け取り、標準的な作業手順を構成する各コンテキストのうち、ボルトをまわすなどのコンテキストを取得することも考えられる。この場合、作業員の動作が手順どおりかどうかの判断をより容易に行える可能性がある。また、トリガを引いたもののボルトをセットしていないなどの作業ミスに加速度センサの出力波形と組み合わせて検出できる可能性もある。

5. 評価

ここで、本プロトタイプの評価を行う手法について述べる。まず、ラインが停止している工場において、作業者に燃料タンクを取り付ける動作を模した動作を依頼し、地磁気、加速度のデータを測定した。

標準作業手順どおりに燃料タンクを取り付ける動作を模した動作を作業者に依頼し、10回ずつ繰り返して測定した。測定した作業手順は以下のとおりである。なお、誤った作業手順のボルトを締める組み合わせは本来は $\sum_{n=1}^4 n!$ 種類考えられるが、ここでは実際に起こりそうな場合だけを測定した。以下の締め付け手順の#の後の数字は図2のボルトの位置と対応している。

- #2→#3→#4→#5 (標準作業手順)
- #3→#2→#5→#4 (誤った作業1)
- #3→#2→#5 (誤った作業2)
- #2→#3→#4→#4 (誤った作業3)

標準作業手順どおりの作業の結果得られた地磁気センサの波形は図4に示したとおりである。誤った作業1～3のときの地磁気センサの波形のうちのひとつを図5～7に示す。

次に、これらの標準作業手順どおりの地磁気波形に対して、#2、#3、#4、#5の各点における標準的な地磁気値 m_{sy} 、 m_{sy} とスレッシュホールド m_{ly} 、 m_{ly} を表1に示すように決めた。なお、x軸は値に顕著な違いが見られなかったので判定に使用しなかった。 m_{sy} 、 m_{sy} は標準作業手順どおりの動作の#2、#3、#4、#5それぞれの区間の10回測定した平均を用いた。 m_{ly} 、 m_{ly} はグラフを目視で検討し、標準作業手順どおりの作業をOKと判断し、誤った手順での作業をNGと判定するような値を設定した。これは、10回の標準作業手順どおりの動作の測定の結果得られた地磁気値のばらつきが思っていたよりも大きく、標準偏差をもとに2 σ や3 σ などに設定

表1 標準作業時の地磁気センサの標準値と閾値

	m_{sy}	m_{ly}	m_{sz}	m_{lz}
#2	260.48	30	75.64	30
#3	390.68	50	259.94	50
#4	126.35	40	665.84	45
#5	162.96	30	384.19	30

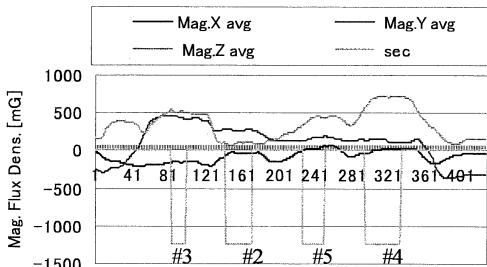


図5 #3→#2→#5の順に作業した場合の地磁気波形

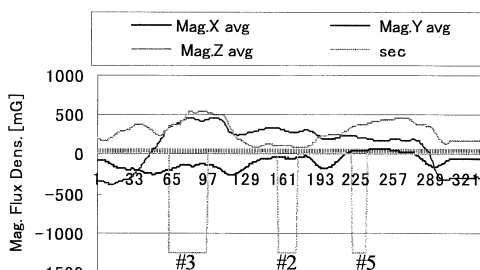


図6 #3→#2→#5→#4の順に作業した場合の地磁気波形

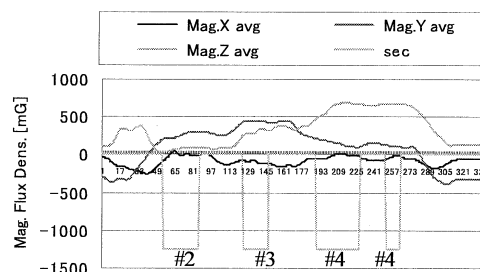


図7 #2→#3→#4→#4の順に作業した場合の地磁気波形

してよいのかどうか、判断がつかなかったためである。今後、測定回数を増やすなどし、閾値を半自動的に決定する必要がある。

このようにして決定した標準作業手順の際の地磁気値と閾値を用いて、標準作業手順どおりの作業と、誤った作業1～3の地磁気センサの出力波形それぞれ10回ずつを、作成したプロトタイプに入力として与え作業が正しいかの判定

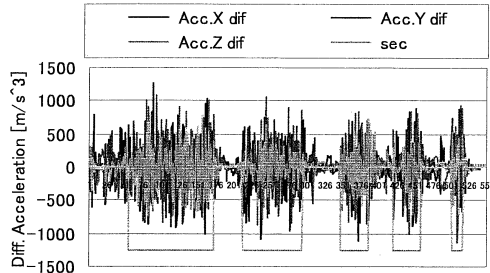


図 8 加速度の微分とインパクトレンチによるボルトの締め込み

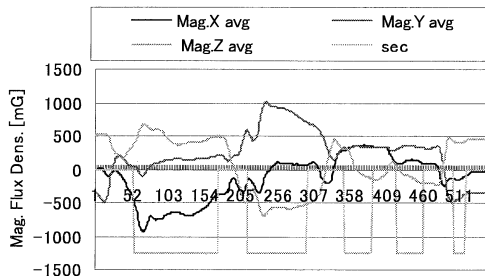


図 9 ボルトを締めこんでいると判断された部分と地磁気センサの出力

を行ったところ、すべての場合で正しく判定した。

図 8 と図 9 に、別の作業者に依頼してライン稼働中に測定した、燃料タンク取り付けの標準作業手順どおりの作業の際の加速度の微分と地磁気センサの出力を示す。表 1 に示した地磁気センサの標準値と閾値を用いると、正しく作業をしているにもかかわらず、本プロトタイプはすべて NG と判断した。したがって、作業者ごとの締め付け時の角度の違いなどによる地磁気波形の違いを吸収する必要がある。また、最後にインパクトレンチを工具置き場に戻したときの衝撃が原因で、加速度の微分値が大きくなっている箇所がある。

5. まとめ

本論文では、我々が提案した地磁気センサと加速度センサを用いた作業トレースシステムのプロトタイプについて述べた。本システムは、工業製品の組み立て過程におけるねじ締めの順序などの作業ミスを検出し、警告を発する。作業ミスは、後の工程で発見できるものもあるが、ねじ締めの順序などはあとの工程で発見できないことが多い。タイヤを取り付ける際のねじ締めの順序などは、あとの工程で発見できないうえに、タイヤ脱落などの重大なトラブルの原因となる。本プロトタイプは、関東自動車工業(株)岩手工場における燃料タンクの取り付け工程を対象として、地磁気と加速度

センサを用いた作業トレースシステムの有効性を検証するために作成された。今回、休日に停止中のラインと仕掛品の車両を用いて、燃料タンクの取り付けを模した動作の地磁気・加速度のデータを得た。このデータに対し、正しい動作と誤った動作の判別を本プロトタイプを用いて行ったところ、誤った動作はすべて誤った動作として判別され、正しい動作はすべて正しい動作として判別された。

今後の課題として、ライン稼働中での本プロトタイプの試験、作業者が異なった場合の影響の確認と対応、地磁気センサの値の標準値の決め方、および、正しい作業と判断するための閾値などの検討が必要である。

参考文献

- [1] 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)
- [2] 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, pp.272-275. (2003)
- [3] 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)
- [4] M.M. Trivedi, K.S. Huang, I. Mikić, "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)
- [5] 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)
- [6] 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)
- [7] K. Mohri, T. Kohzawa, K. Kawashima, H. Yoshida, L.V. Panina, "Magneto-Inductive Effect (MI Effect) in Amorphous Wires", IEEE Transaction on Magnetics, Vol.28, No.5, pp.3150-3152. (1992)
- [8] K. Kawashima, T. Kohzawa, H. Yoshida, K. Mohri, "Magneto-Inductive Effect in Tension-Annealed Amorphous Wires and MI Sensors", IEEE Transaction on Magnetics, Vol.29, No.6, pp.3168-3170. (1993)
- [9] 本蔵義信, 青山 均, 山本道治, 加古英児, 「MI 線さを使った携帯電話用電子コンパスの開発」, 日本応用磁気学会誌, Vol.27, No.11, pp.1063-1068. (2003)