

単調作業における作業者の体の動きに着目したヒューマンエラー予兆の発見 Detecting human error symptom from operator movement in monotonous work.

問谷 洋平[†]
Yohei Tontani

梶原 祐輔[‡]
Yusuke Kajiwara

島川 博光[†]
Hiromitsu Shimakawa

1. はじめに

単調作業を繰り返す工場には、事故や製品の欠損などの問題がある。事故は、作業者の怪我につながり、製品の欠損は、顧客の信頼を損なう。これらのおもな要因は、ヒューマンエラーである。その解決案としてファクトリーオートメーション技術が考えられる。しかし、ファクトリーオートメーションの導入はコストが甚大で、製造過程には未だに人力による単調作業が残っている。ヒューマンエラーを防ぐ手法が求められる。作業者のミスは、疲労や集中力の欠如などの調子の乱れが原因である。調子が良いとき作業者は、リズムよく作業し体の動きが洗練されると考えられる。本論文は、体の動きから作業者のリズムを導出し、ヒューマンエラーの予兆を検知する手法を提案する。

2. 単調作業におけるヒューマンエラー

2.1 ライン生産工場

ヒューマンエラーは、作業者が意図しない過失を指す。ヒューマンエラーが事故の原因の80%を占めるともいわれる。ライン生産工程においてはその傾向が顕著である。この工程では、単一の製品を大量に作る。作業者は、ネジを回すだけといった簡単な作業を繰り返す。ライン生産方式は、労働意欲を保ちづらくヒューマンエラーがおこりやすい。本論文は、単調な作業におけるヒューマンエラーに注力する。工場において、作業者の集中力を維持するためにさまざまな取り組みがなされているが、ヒューマンエラーはなくなっていない。そのため、本研究は作業者がヒューマンエラーの予兆を持ったこと検知することを目的とする。ヒューマンエラーの予兆を検知できれば、作業者に休憩を薦めることなどにより事故や品質不良を未然に防ぐことができる。

2.2 作業者の体の動き

単調作業では熟練者であっても、ヒューマンエラーを起こしうる。長い作業が、彼らの調子を狂わせることが原因である。本研究では熟練した作業者が単調な作業に従事するとき固有のリズムを持つと考える。このリズムの乱れがヒューマンエラーの予兆である。リズムの乱れを作業者の体の動きを解析することで導出する。作業者の体の動きと作業の質は強い関係を持つ[1]。作業者がリズムを失った場合、彼らは固有の動きを失う。例えば、不必要に大きく体を揺らしたり、体が大きく傾いたりする。

2.3 関連研究

ヒューマンエラーを防止するために作業者の体の動きに着目したものの研究がある。カメラを用いて作業者の動きを見守る手法文献[2]の手法はカメラで撮影した映像から製品組立作業の中に含まれるネジ締め動作を検出し、その動作の回数や動きの違いからミスの発生を発見する。しかし、カメラで作業者を撮影すると、作業者は

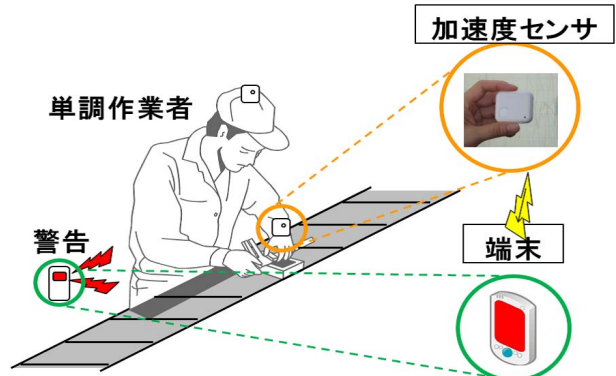


図 1: 提案手法の全体図

監視されているという不快感を覚えてしまう。また、そもそもカメラの視野角外では手法を適用できない。作業者に負担をかけず、作業者の集中力を広範囲で検出できる手法が必要である。

3. エラーの予兆を発見する手法

3.1 加速度センサ

本研究では体の動きからヒューマンエラーの予兆を発見する手法を提案する。図1は、システムの概要を示す。作業者は、頭と手首に加速度センサを装着する。加速度センサは、継続的に3軸の加速度と3軸の角速度で作業者の体の動きを取得する。システムは作業者の調子の乱れにより、ヒューマンエラーを予兆する体の動きをしたとき、休憩を促したり警告を出す。加速度センサは人間の異常動作を検出できると考えられる[3]。加速度センサを用いる有用性は大きく、低コスト・個人特化・ウェアラブルの3つである。加速度センサは、スマートフォン端末に搭載されるように安価で軽いため、作業者に付けることも現実的である。加速度センサが取得した体の動きは個人特有のデータである。人間の調子やヒューマンエラーの予兆は人によってそれぞれ異なる。ウェアラブルなセンサで個人に特化して認識の精度を高めることができる。加速度センサはウェアラブルがゆえに死角なしに作業者の動きを取得することもできる。

3.2 作業律

加速度センサは単調作業におけるひとつの作業の始めから終わりまでをひとつの作業動作として取得する。ある作業動作とそのひとつ前の作業動作の加速度センサのデータの類似度をダイナミックタイムワーピング (DTW) を用いて算出する[図2参照]。DTWは編集距離なので、値が大きいと2つの動きは異なることになる。継続的に類似度の変遷を検査することで、ヒューマンエラーの予兆を発見できる。本研究では、事故する直前の類似度の変遷と調子よく作業しているときの類似度の変遷の違いを多数収集する。本研究では、連続する n 個の類似度の和を作業律と定義する。本研究では、 $n = 5$ とする。作

[†]立命館大学情報理工学部

[‡]立命館大学大学院理工学研究科

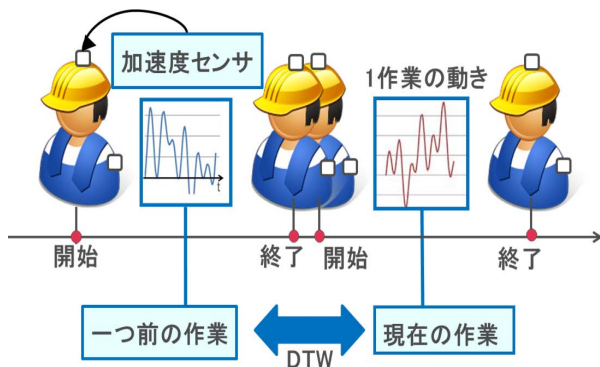


図 2: DTW の算出イメージ

業律が大きいき、体の動きのぶれが大きいので作業者がヒューマンエラーしそうであるとシステムは判定する。

3.3 ナイーブ・ベイズ・モデル

システムは図 3 のようにデータを収集する。実際にエラーが起こってしまったときの直前 k 個の作業律がエラー予兆を示すと考える。本研究では、 $k = 3$ とする。本研究においては、連続する k 個の作業律を説明変数とし、エラーの予兆があったかどうかの 2 値を目的変数とするナイーブ・ベイズ・モデルに基づき、予兆の有無を判断する。ナイーブベイズは識別力があり [4]、本研究におけるヒューマンエラーの予兆も検知できると考えられる。

4. 模擬作業による実験

4.1 模擬作業

実験において、作業律判定値の有効性を示すうえでは、ライン生産で頻出する単調作業を考えるべきである。本論文ではタブレット PC に連続してあらかじめ描画されている円をなぞりながら円を描く模擬単調作業を対象とする。円を描く作業は溶接作業などで頻出する。この作業では集中力が途切れたときには、正解円よりずれた図形が描かれると考えられる。タブレット PC は描くべき正解円を表示する。タブレット PC はタッチペンになぞられた箇所の座標に太さ w の線を描く。本実験において w を 8 ピクセルとした。本実装では正解円の半径を r 、中心を (x, y) 、タッチペンの接地点を (x_k, y_k) とするとき、正解円からのはみだしたを式 1 で判定する。

$$\left| \sqrt{(x_k - x)^2 + (y_k - y)^2} - r \right| > \frac{w}{2} \quad (1)$$

本実験では、制限時間内に円を描けなかった、もしくは正解円から大きくはみ出した場合に失敗と判定される。制限時間は 7 秒である。

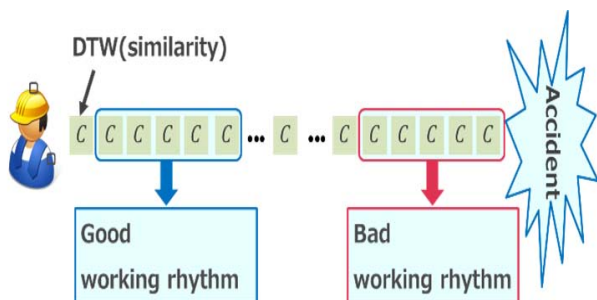


図 3: データ収集のイメージ

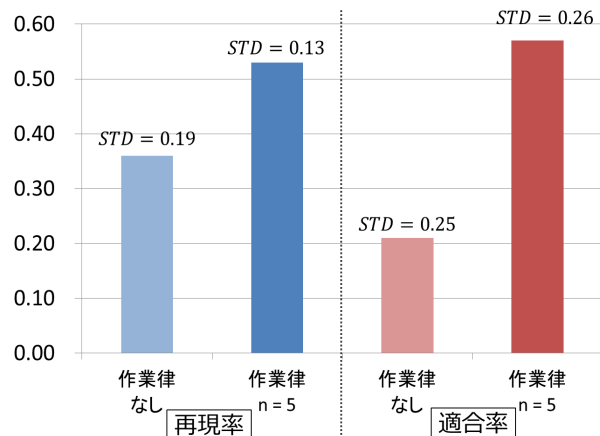


図 4: 結果

4.2 実験概要と結果

実験は 20 代を中心とした男女 12 名を被験者とする。被験者はタブレット PC に円を描く作業の練習をしたのちに実験する。本実験中、被験者は頭と手首に加速度センサを装着する。被験者は、タブレット PC に円を描く作業を 100 回繰り返す。手法によって取得した作業律が作業者個人のヒューマンエラーの予兆をどれだけ検出できたかを評価する。長時間の作業におけるヒューマンエラーを対象にしているため、20 回以上円を書くことに成功してから失敗するまでを 1 つの期間とする。被験者がエラーする直前 3 つのデータが、ヒューマンエラーの予兆があったとみなす。類似度の和をとることの有用性を示すために、和をとらなかった場合とも比較する。実験結果を図 4 に示す。再現率・適合率ともに作業律を適用したほうが結果が良いことがわかる。

5. おわりに

本研究では、単調作業におけるヒューマンエラーの予兆を検知する手法を提案した。また、円を書く作業以外のさらに現実には作業でも手法の有用性を検証していく予定である。

参考文献

- [1] 多田昌裕, 納谷太, 大村廉, 岡田昌也, 野間春生, 鳥山朋二, 小暮潔: 無線加速度センサを用いた運転者行動の計測・解析手法, 電子情報通信学会論文誌. D 分冊, Vol.91, No.4, pp.1115-1129 (2008).
- [2] 中村茂弘: ヒューマン・エラーゼロ化対策の技術, <http://www.qcd.jp/pdf/jmasem/tokyo/akadmi/qcc2.pdf>
- [3] 多田昌裕, 納谷太: 無線加速度センサを用いた運転者行動の計測・解析手法, 電子情報通信学会, Vol.91, No.4, pp.1115-1129 (2008).
- [4] Zaili Yang, Jin Wang, Rochdi, M.; Belkacem: Bayesian modeling for human error probability analysis in CREAM, ICQR2MSE, (2011).