

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 2 日現在

機関番号：12201

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25660201

研究課題名(和文) 農作業安全のための生体情報利用に関する基礎的研究

研究課題名(英文) Study on biological reaction for safety farm work

研究代表者

松井 正実 (MATSUI, Masami)

宇都宮大学・農学部・准教授

研究者番号：10603425

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：農作業事故に直面した際、迅速な回避操作を行うことは困難である。事故防止のためには、オペレータの操作を不要とし、自動的に農業機械を停止することが必要となる。本研究では、ヒヤリ・ハット時のヒトの生体反応に注目し、その反応時間を調べた。実験では、頭部と胸部の異常波形検出時間を、緊急停止ボタン押下時間とともに取得し、比較を実施した。その結果、前頭部で0.166秒と迅速かつ明確な異常波形を取得した一方、胸部では2倍程度の時間を要した。頭部異常波形は、ボタン押下より0.3秒程度速い結果であった。本研究結果は、農作業安全に寄与する農業機械の安全停止および危険回避システムに利用可能になるものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：When an accident is about to happen, it is difficult for operators to avoid it quickly and handle the foreboding crisis effectively. So, an automatic shutdown of the agricultural machine may help prevent the accident from happening. In this study, it was focused on biological reactions of operators to a crisis and attempted to obtain the time required to avoid an impending accident as well as the characteristics of biological reactions. In the experiments, the voltage waves of head part and breast part were obtained. And it was compared with the detection times of abnormal waves and the time of pressing button. As a result, abnormal wave had been obtained in frontal head part, and it was the most quick (0.166 s) and clear wave. The detection time of the breast part wave was twice of frontal head part. The detection time of frontal head part was faster than the button press in 0.3 seconds. These results would be contributed to improve safety system for farm work.

研究分野：農業機械

キーワード：農業機械 農作業安全 生体情報 脳波 脈波

### 1. 研究開始当初の背景

農作業における死亡事故件数は、ここ 10 年間 400 件程度で横ばいとなっている(農水省, 2015a)。特に、農業機械による事故が圧倒的に多く、その有効な対策が急がれる。

現在、農業機械学会や農作業学会などの関連団体や、生物系特定産業技術研究支援センターにおいて、安全に関する研究成果の公表や安全基準の整備が鋭意行われている(農水省, 2015b, 農研機構, 2015, 積ら, 2012)。しかしながら、作業環境(農道や畦畔)の整備を要するものや、作業機械側の事故回避システムが緊急停止動作スイッチのみであることなどから、作業者自身の停止・回避操作に依存している(井口ら, 2012, 2011)のが現状であり、心理的に動揺している場面で、迅速かつ正確な操作を求めるのは困難である。

労働災害における経験則の一つにハインリッヒの法則(安平, 2011, Heinrich, 1931)がある。これは重傷以上の災害 1 件につき、29 件の軽傷を伴う災害と、300 件のヒヤリ・ハット(傷害のない災害)が起きているというものである。このヒヤリ・ハットは、人間が危険を認知した際の生体情報と考えられ、その後続く動作や行動の最初の信号であると考えられる。本研究では、このような生体情報の事故回避システムへの利活用について検討するものである。

本研究では、生体情報として活用できる可能性があるものとして、脳波、脈波、筋電位、呼吸、発汗、眼球運動などについて検討し、既往の研究から反応特性が迅速である脳波と脈波および筋電位に注目した。

脳波に関しては、医学分野や心理学分野で研究が行われてきており、外的事象による反応特性を検討する際には、事象関連電位(Event-Related Potentials, ERP)について、信号加算平均法(Signal Averaging)を利用するなど誘発電位の振幅を明確にする方法などが採られている。事象関連電位のうち、視神経を通して大脳皮質視覚野から記録されるものを視覚誘発電位(Visual Evoked Potentials, VEP)、聴神経を通り大脳皮質聴覚連合野から記録されたものを聴覚誘発電位(Brainstem Auditory Evoked Potentials, BAEP)と呼ぶ(松波謙一ら, 2010, 理化学研究所脳科学総合研究センター, 2007, 俣野ら 2006, 久保田, 1982)。何を見たか、あるいは聞いたかによって視覚および聴覚情報処理過程が異なるため、出現する VEP の特性については今後の研究に期待されているのが現状(鈴木ら, 1989)で、視覚誘発電位と聴覚誘発電位における時系列波形の平均化処理を伴わない反応時間と波形特性について検討されたものは少ない。

同様に、脈波についても疾病における異常波形については詳しいが、事故時やヒヤリ・ハット時を対象とした時系列波形の特性については知見が少ないのが現状である。

### 2. 研究の目的

農作業事故の減少と重大事故化を防止するためには、迅速かつ安全な機械の停止が必要である。一方、事故発生時やヒヤリ・ハット時には冷静に迅速かつ正確な操作が困難であり、センシング技術と安全停止システムや事故回避システムの開発が急務である。このことから、作業者が危険を感じた瞬間(ヒヤリ・ハット時)に、機械操作を不要として、農業機械の停止・回避システムを動作させる迅速な信号の入力が重要かつ不可欠である。

本研究では、生体情報を利用した制御信号の抽出と出力という新たな発想を具現化することを最終目標として、医学分野の生体情報測定技術を応用して、これまでにない次世代のセンシング技術の開発のため、脳波および脈波について、作業時の動作を考慮した周辺の筋電位による影響も含めた反応特性を整理することを目的とした。

### 3. 研究の方法

被験者が実際に農業機械を操作し、危険を感じる状況を創出することは、予測不能な事態発生時の被験者の安全性確保と、ヒヤリ・ハット時の認知を詳細に分析するという観点から容易ではない。そこで、本研究では疑似的なヒヤリ・ハット状態を創出することとし、何らかの作業に集中している状況下で、突発的事象が発生する状況を創出できるという観点から、市販ゲームの「黒ひげ危機一発(タカラトミー)」(以下ゲーム)を使用した(図 1)。

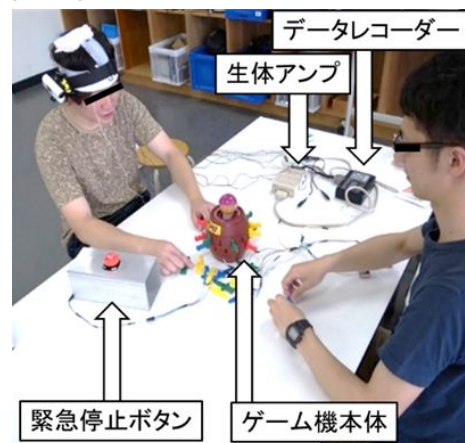


図 1 実験風景と測定機器

人形が飛び出す(以下、射出)瞬間をヒヤリ・ハット時と仮定し、その認知と反応による頭部周囲および胸部の電位を記録した(以下、ゲーム実験)。頭部周囲の電位測定では、前頭部、左右側頭部、後頭部、頭頂部の 5 ヶ所の頭皮に生体銀電極を専用ペーストで固定した。測定部位と対応する脳の部位および周辺の筋を表 1 に示す(丹治, 2009)。

胸部電位の測定では、双極誘導法に倣い胸部心臓の周囲に表面電極(Ambu 社製 BlueSensor)を貼り付けて測定した(鈴木ほか, 1989)。

表1 測定部位と対応する脳の部位および周辺の筋

測定部位	対応脳(胸)部位 / 周辺筋
前頭部	前頭葉 / 前頭筋, 眼輪筋
側頭部	側頭葉 / 側頭筋, 肩甲挙筋
後頭葉	後頭葉 / 僧帽筋
頭頂葉	頭頂葉 / 直近なし
胸部	心筋 / 大胸筋

実験は被験者と補助者の2名で実施し、射出まで交互にゲームを続け、生体アンプ(TEAC社 BA1008)で増幅された頭部と胸部の電位を、データロガー(TEAC社 ES8)に記録した。

実験では、被験者と補助者の何れを問わず、射出の際には被験者が手元に設置した緊急停止ボタン(コンバイン用、以下ボタン)を可能な限り迅速に押下することとした。ゲーム機本体とボタンには、射出の瞬間とボタン押下の時間を記録するために、それぞれの動作状態が得られる回路を設置した。これらのデータより、射出の瞬間から頭部および胸部に異常波形が検出されるまでの所要時間と、ボタンを押下するまでの所要時間(以下ボタン押下時間)を取得した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 頭部・胸部異常波形検出時間

被験者は20~40代の男性3名で、実験は合計35回行った。図2に射出の瞬間と頭部および胸部の取得波形の一例を示す。

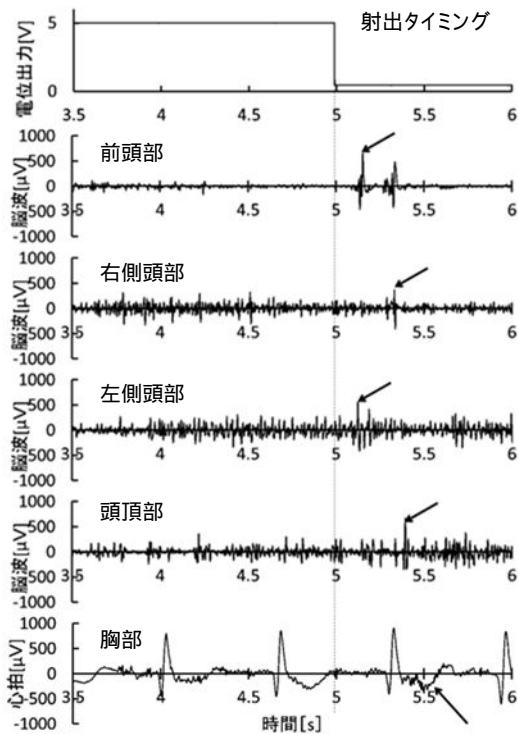


図2 頭部と胸部電位の波形例

取得した異常波形は、その他の時間の平均値のおよそ50倍程度の電位が観測された。これらの実験の結果から、射出の瞬間から頭部異常波形が検出されるまでの時間(以下、頭部異常検出時間)の平均値、射出の瞬間から胸部異常波形が検出されるまでの時間(以下、胸部異常検出時間)の平均値、および標準偏差を求めた(図3)。この結果から、前頭部は左右側頭部や後頭部、頭頂部に比べて、0.13~0.18秒(標準偏差0.012~0.037)と短時間に検出できることが示された。

一方、胸部異常検出時間は0.30~0.53秒(標準偏差0.044~0.054)であり、前頭部の検出時間と比較して2倍程度の時間を要した。前頭部と胸部の検出時間について有意差検定を行ったところ、有意水準1%で有意差が認められた。胸部異常波形は脈波のR波に隠れる場合があるため、データ処理時の判別が困難であった。よって、前頭部波形において最も信頼性の高い検出が可能であることが示された。

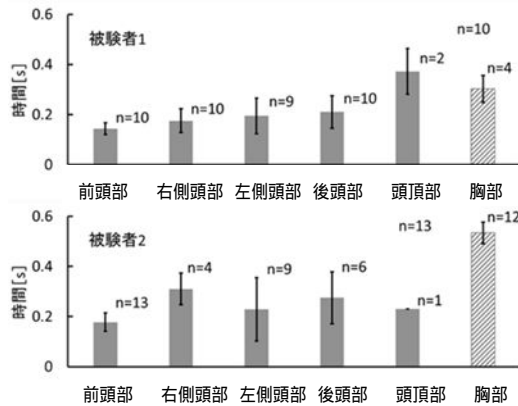


図3 頭部・胸部異常波形検出時間

##### (2) 前頭部異常波形検出時間とボタン押下時間の比較

前頭部で信頼性の高い検出を行えることが分かったことから、前頭部異常検出時間とボタン押下時間を比較した。

被験者は20代~60代の男性及び女性の9名で、実験は79回行った。図4に性別毎及び年代別に前頭部異常検出時間とボタン押下時間を示す。図中のプロットは左から試行順に並べてある。前頭部異常検出時間はおよそ0.15秒~0.20秒(平均0.166秒, n=79)に集中していることが分かる。

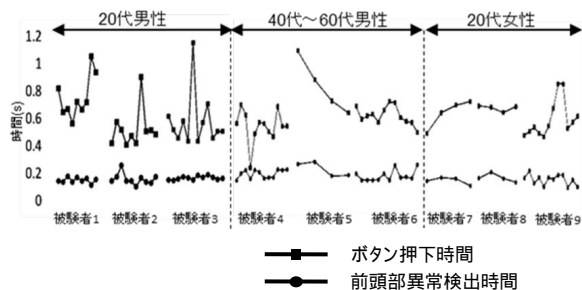


図4 脳波異常検出時間の所要時間とボタン押下時間の比較

前頭部異常検出時間に対し、ボタン押下時間は個人差によって広く分布しているが、0.45秒～0.75秒(平均0.60秒, n=79)に集中しており、前頭部異常検出時間はボタン押下時間よりも0.3秒以上速いことが分かった。また、前頭部異常検出時間とボタン押下時間で有意差検定を行った結果、有意水準1%で有意差が認められた。

今回の実験では、被験者が最も押しやすい位置にボタンを設置しており、取得データはほぼ最短時間で押下されていると考えられる。実際の作業中に危険を認識した場合、コンバイン等に設置された緊急停止ボタンやキースイッチは、実際にはより遠い位置にあり、作業者には認識の遅れや焦り、動揺があることから、ボタン押下時間により多くの時間を要することは明らかである。

例えば自脱コンバインの手こぎ作業において、脱穀部に手が巻き込まれることによる災害を防止するために、緊急停止ボタンが設置されているが、挟扼杆入口で巻き込まれた場合、フィードチェンの搬送速度を考慮すると、こぎ胴前端までの時間は長くても約0.4秒しかないことが分かっている(山崎ら, 2014)。一方で、こぎ胴が停止するまでには一定の時間を要し、巻き込まれ事故を防止するためには、迅速な緊急停止信号を出力する必要がある。

本実験での疑似的なヒヤリ・ハット状態と、農作業中の危険を認識した場合との直接的な関係を示すことは困難であるが、前頭部の異常検出時間は農作業中においても0.15秒～0.20秒で変化しないものと考えられる。農作業事故防止の観点から、前頭部電位を利用すれば極めて短時間で農業機械への有効な信号出力が可能であることを示している。

表2 性別毎の前頭部異常検出時間の平均

男性	女性	差
0.167 秒	0.162 秒	0.005 秒

表3 年代別の前頭部異常検出時間の平均

20代	40代～60代	差
0.151 秒	0.191 秒	0.04 秒

表2及び表3に性別毎及び年代別の前頭部異常検出時間を示す。性別毎の平均時間は男性で0.167秒(n=59)、女性で0.162秒(n=20)と、ほぼ同程度の結果になり、有意差検定の結果、有意水準1%で有意差は認められなかった。これに対し、年代別において20代で0.151秒(n=51)、40代～60代で0.191秒(n=28)と0.04秒の差が認められ、有意差検定の結果、有意水準1%で有意差が認められた。

以上の結果から、前頭部異常検出時間は性別においてはほとんどその差は認められないが、年齢が高くなるほど僅かながら遅れることが示された。

[引用文献]

農林水産省, 2015a. 平成24年に発生した農作業死亡事故の概要.  
[http://www.maff.go.jp/j/seisan/sien/sizai/s\\_kikaika/anzen/pdf/sibou24.pdf](http://www.maff.go.jp/j/seisan/sien/sizai/s_kikaika/anzen/pdf/sibou24.pdf).  
 農林水産省, 2015b. 農作業安全対策.  
[http://www.maff.go.jp/j/seisan/sien/sizai/s\\_kikaika/anzen/index.html](http://www.maff.go.jp/j/seisan/sien/sizai/s_kikaika/anzen/index.html). 農研機構, 2015. 生物系特定産業技術研究支援センター農業機械化促進業務  
<http://www.naro.affrc.go.jp/brain/iam/test/tstamn/>  
 山崎裕文, 志藤博克, 積栄, 岡田俊輔, 堀尾光広, 竹内賢一郎, 平田晋, 阿川陽一, 古田東司, 2014. 自脱コンバインの手こぎ部の緊急即時停止装置の開発 最終試作機の開発と実用性評価, 第73回農業食料工学会年次大会講演要旨 129-130.  
 積栄, 志藤博克, 岡田俊輔, 杉浦泰郎, 富田宗樹, 塚本茂善, 2012. 農業機械のリスク低減に向けた改良要件の検討, 農業環境工学関連学会 2012年合同大会講演要旨, D22 (CD-ROM).  
 Arisa IGUCHI, Sakae SHIBUSAWA, Masakazu KODAIRA, 2012. Safety vs Efficiency on Head-Feeding Combine Harvester. Proceedings of The 6th ISMAB 2012, Jeonju, KOREA, (CD-ROM).  
 井口有紗, 澁澤栄, 小平正和, 自脱型コンバインの手こぎ作業事故の分析, 2011. 第70回農業機械学会年次大会講演要旨, 140-141.  
 安平哲太郎, 2011. ヒヤリ・ハット現象の背景と解釈に関する仮説と検証. 情報知識学会誌, 21(2), 226-237.  
 松波謙一, 内藤栄一, 2010. 最新運動と脳 - 体を動かす脳のメカニズム改訂版, サイエンス社. (ライブラリ脳の世紀 5 - 心のメカニズムを探る, 久保田競, 酒田英夫, 松村道一編).  
 理化学研究所脳科学総合研究センター編, 2007. 脳の認知と進化, 講談社(ブルーバックス; B-1570. 脳研究の最前線; 上).  
 俣野彰三, 遠山正彌, 塩坂貞夫編, 2006. 新・行動と脳, 大阪大学出版会  
 丹治順, 2009. 脳と運動 - アクションを実行させる脳, 第2版. 共立出版(ブレインサイエンス・シリーズ 17, 大村裕, 中川八郎編).  
 鈴木良次, 佐藤俊輔, 池田研二, 吉川昭編, 1989. 生体信号 - 計測と解析の実際 -, コロナ社.  
 久保田競, 1982. 手と脳 - 脳の働きを高める手, 紀伊國屋書店.(叢書・脳を考える).  
 H.W. Heinrich, Industrial accident prevention: a scientific approach (McGraw-Hill insurance series), McGraw-Hill, 1931

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計 4件)

本多亮介, 松井正実, 森尾大貴, 加藤裕貴, 生体情報を利用した農作業負担評価方法の検討, 第73回農業食料工学会年次大会, 2014.05.17, 琉球大学

森尾大貴, 松井正実, 本多亮介, 石戸俊, 事故現場の地形に基づくトラクタの挙動に関する基礎的研究, 第73回農業食料工学会年次大会, 2014.05.17, 琉球大学

木村智之, 松井正実, 本多亮介, 山下淳, 浜岡隆文, 農作業安全のための生体反応に関する基礎的研究(第1報) - 生体反応時間の取得, 第50回農業食料工学会関東支部年次大会, 2014.08.06, エコパスタジアム

本多亮介, 松井正実, 木村智之, 山下淳, 浜岡隆文, 農作業安全のための生体反応に関する基礎的研究(第2報) - 生体反応の特性に関する考察, 第50回農業食料工学会関東支部年次大会, 2014.08.06, エコパスタジアム

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

松井 正実 (MATSUI, Masami)

宇都宮大学・農学部・准教授

研究者番号: 10603425

### (2)研究分担者

山下 淳 (YAMASHITA, Jun)

松山短期大学・教養部・教授

研究者番号: 40036405

浜岡 隆文 (HAMAOKA, Takafumi)

立命館大学・スポーツ健康科学部・教授

研究者番号: 70266518