

人体通信を用いた装着物の着脱検知によるセーフティシステムの実現

青木 洋之* 藤川 真樹† 吉沢 昌純‡ 古澤 健治†† 西垣 正勝**、***

* 静岡大学大学院情報学研究科, 432-8011 静岡県浜松市中区城北 3-5-1

† 中央大学研究開発機構, 112-8551 東京都文京区春日 1-13-27

‡ 東京都立産業技術高等専門学校, 116-0003 東京都荒川区南千住 8-17-1

†† 株式会社 三矢研究所, 215-0021 神奈川県川崎市麻生区上麻生 6-31-18

** 静岡大学創造科学技術大学院, 432-8011 静岡県浜松市中区城北 3-5-1

*** 独立行政法人科学技術振興機構, CREST

E-mail: nisigaki@inf.shizuoka.ac.jp

あらまし 車両や工作機械の使用にあたっての安全確保は必須の要件である。近年の電子情報技術の進展にともない、手袋やヘルメットなどに安全装置を組み込み、これらの装着物が危険領域に侵入した時には操作対象の機器を停止させることが可能となった。当システムにおいては、操作者が装着物を着用し忘れるというミス防止することが肝要であるが、著者らが調査した限りにおいては、十分な着脱検知を実現している既存方法は存在していない。そこで本稿では、着脱検知に人体通信の技術を利用することによって、安全装置が組み込まれている装着物が操作者に装着されているかどうかを確実に検知し、危険領域に「装着物を着用した人体」が侵入した場合にのみ作動する安全性の高いセーフティシステムを構築する。

Realization of a safety system with garment-wearing detecting using human body communication

Hiroyuki Aoki*, Masaki Fujikawa†, Masasumi Yoshizawa‡,
Kenji Furusawa††, Masakatsu Nishigaki**

*Graduate School of Informatics, Shizuoka University, †Research & Development Initiative, Chuo University,

‡Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology, †† Mitsuya Laboratories Inc.,

**Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University,

***Japan Science Technology and Agency, CREST

E-mail: nisigaki@inf.shizuoka.ac.jp

Abstract. For operating vehicles and machine tools, safety is an essential requirement. Nowadays the electronics and information technologies enable us to build a safety device into the gloves and helmets etc. to stop the vehicles and the machines when these garments break into dangerous area. In this garment detection system, it is important to prevent the mistake that the operator forget to wear the garment. But according to our investigation, enough garment-wearing detection doesn't exist so far. Therefore, in this paper, we propose to use human body communication technology to realize a safety system with garment-wearing detection which detects when "the human body with garment" breaks into dangerous area.

1. はじめに

近年の電子情報技術の進展にともない、車両や工作機械の使用に対する高度なセーフティシステムが多数開発されている。例えばプレ

ス機では、作業中に操作者が誤って手を挟まないようなシステムが組み込まれている[1]。ここでは、光線を危険領域前面にスクリーン状に発生させ、プレス機の作動中に光線が一部でも遮

断されるとプレス機を停止させることにより、安全を確保する。しかし、プレス部材の入れ方や手の位置によっては、安全な動作であっても光線が遮られることがあり、操作者に危険がないにも関わらずシステムがプレス機を停止させてしまうことも少なくなく、操作者が作業効率の低下を嫌い、安全装置をオフにしてプレス機を稼働させているというケースもあると言われている[8]。

よって、セーフティシステムは、「人体」が「真に危険な領域」に侵入した場合のみ作動するようになっていないといけない。文献[2]のゴミ収集車のごみ搬入口に人体が巻き込まれることを防ぐシステムは、その一例といえる。当システムでは、作業員の着用する手袋には電磁波通信タグが、ゴミ収集車のごみ搬入口付近にはタグと通信を行うためのアンテナが取り付けられている。タグとアンテナの距離がある程度近づくと通信が開始されるようになっており、アンテナがタグからの信号を受信すると、システムは搬入口の巻き込み部分を停止させる。これにより、万が一作業員の手が搬入口に巻き込まれそうになった場合には、搬入口の巻き込み部分が停止し、作業員の安全性が確保される。アンテナの設置箇所と受信感度を適切に設定して、手袋(人体)が搬入口の十分近傍(真の危険領域)に近づかない限り、アンテナがタグの信号を受信しないようにすることで誤作動を減らし、作業効率の低下も防ぐことができる。

ただし、上記は「装着物(手袋)」を検査するだけの方式であるため、作業員の「着用のし忘れ」というヒューマンエラーには対処できない。すなわち、装着物を検知するタイプのセーフティシステムにおいては、装着物の位置検知に加え、「装着物の着脱検知」によって装着物を着用し忘れるというミス防止することが肝要である。装着物の着脱検知が実現されれば、例えば運転手がヘルメットを確かに着用しているときに限りバイクのエンジンがかかるようにするというようなシステムを構成することも可能であり、その利用価値は高い。しかし、著者らが調査した限り、十分な着脱検知を実現している既存方法は存在していない。そこで本

稿では、着脱検知に人体通信の技術を利用することによって、安全装置が組み込まれている装着物が操作者に装着されているかどうかを確実に検知し、危険領域に「装着物を着用した人体」が侵入した場合にのみ作動する安全性の高いセーフティシステムを構築する。

2. 既存研究

著者らが調査した限り、十分な着脱検知を実現している既存方法は存在していない。本章では、その中から数例のシステムを紹介することによって、着脱検知機能を有するセーフティシステムが有すべき要件を整理する。

2. 1. レーザ加工機における安全装置

レーザートーチと呼ばれるレーザー加工機を使用する際、操作者とレーザートーチの位置関係、および、操作者の防護ヘルメット着用状況を検出する安全装置が提案されている[4]。

レーザートーチには、前後に二つの赤外線センサ(人間が発する赤外線エネルギーを検出する)を取り付け、トーチ前方に赤外線反応がなく、後方に赤外線反応があることを検知し、作業員がレーザー後方にいることを確認する。防護ヘルメットに対しては、「ヘルメットの防護面が降りているか」、「ヘルメットの額部分に取り付けられたスイッチが押下されているか」を検知することに加え、ヘルメットの額部分に赤外線センサを配置して「額のスイッチが人間の頭により押下されているか」を確認している。上記のすべてが確認されたときのみ、レーザートーチからレーザーを照射できる。

しかし、単なる赤外線検知だけは人間が正しく機器を扱っているかどうかを確実に判定することは難しいといえる。例えば、防護ヘルメットに関しては、防護面が降りた状態のヘルメットを手で持った際に、偶然手が額部分のスイッチを押してしまっている状態にあった場合に、ヘルメットを着用していると判断される恐れがある。スイッチ等の位置を工夫することによって、そのような事故の偶発発生を抑えることは可能ではあるが、特に工事現場などにおける産業機械は使い方を誤ると危険なものが多いため、万が一にも誤作動(着用していないのに着用していると判断される)が起こらない仕組

みが要求される。

2. 2. シートベルト装着検出システム

自動車のシートベルトに対する着用検知システムが提案されている[5]。具体的には、シートベルトに取り付けた共振タグが、シート内部に配置したループコイルによって生成された磁場を擾乱するかどうかで着脱検知を行っている。磁場の大きさが人体を貫通しない程度に設定されており、人間が正しくシートベルトを着用していれば、シートベルトの共振タグに磁場が届かず、磁場は影響を受けない。一方、シートベルトをバックルにはめた上から着席するなどの状況では、シートベルトとシートのために人体がないため、シートで生成した磁場が共振タグにより擾乱される。以上のように、磁場の擾乱の有無を検出することで、シートベルトの着脱検知が可能となる。

この方式であれば、2. 1節のような誤作動（着用していないのに着用していると判断される）が起こる可能性は十分低いと考えられる。しかし、共振タグがシートベルトから脱落した場合も磁場は擾乱されないため、その場合には、シートベルトを着用していないときでも正しく着用していると誤判断されてしまう。すなわち、フェールセーフ[9]が守られていない。

また本方式は、例えば工事現場のように磁場の擾乱を引き起こす金属片が近くにある環境では使用が難しいと思われる。

2. 3. セーフティシステムにおける装着物の着脱検知に関する要件

前述の既存システムの問題点から、セーフティシステムにおける装着物の着脱検知に関する要件を以下のように整理することができる。

要件1（必須）：誤作動が起らない

工事現場などにおける産業機械は、使い方を誤ると危険なものも多い。このため、人間が着用していることを正しく検知し、着用していないときには万が一にも誤作動（着用していない

のに着用していると判断される）しないことが求められる。

要件2（必須）：フェールセーフが守られている

セーフティシステムはフェールセーフの考え方が原則となっている[3]。着脱検知システム自体が故障した場合には車両や工作機械のスイッチが入らないような仕組みが求められる。

要件3（推奨）：ロバストネスを備える

ノイズ等の外乱に強く、また、使用環境が限定されることのないロバストなシステムであることが望ましい。

3. 提案方式

2. 3節で示した3つの要件を満たすために、本研究では、「装着物と人体を接続する」というコンセプトを用いる。具体的には、装着物にて固有な信号を発生させ、人体通信技術を利用してこれを検知装置に送信する。検知装置に信号が届いていれば装着物が着用されていると判断される。人体が介在しなければ装着物の信号が検知装置に伝わることはない。

人体通信は人体を通信路として信号を伝送するもので、通電方式[6]、静電容量方式、電界方式[7]がある。本研究は人体通信の着脱検知への利用を提案するものであり、上記の内、どの方式を採用しても構わないが、本稿では、人体に電極を直接接触させる必要がなく、特殊な検知器も不要である静電容量方式による人体通信方法を用いて実験システムを構築することとした。

人体通信による装着物の着脱検知は2. 3節で述べた3つの要件を満たす。

要件1：

- (i) 装着物（送信器）と検知装置（受信器）との物理的距離が離れていれば、人体が介在しない限り装着物からの信号が検知装置に伝わることはない。
- (ii) 送信器の電極と受信器の電極が十分近づくとも信号は伝わるが、4章で示すように、今回の実験システムにおいては両電極の間に牛草生地2枚（約2.0mm）が介在すれば通信が遮断されるという結果が

¹ CD ショップや図書館などで盗難防止対策として使用されている。CD や本にタグを付けておき、入り口などに磁場発生装置と磁場センサを設置する。このタグが磁場に近づくと、磁場が擾乱され、タグの通過が検知できる。

得られている。よって、電極を覆う絶縁物の材質や厚さなどを適正に設計してやれば、装着物と検知装置を密着させたとしても装着物からの信号が検知装置に伝わることはないと考えられる。

- (iii) 送信器から信号が送られていない場合であっても、検知装置の電気ノイズまたは周囲の電磁波ノイズによって検知装置が信号を受信した状態になる可能性がある。しかし、装着物（送信器）にて発生させる信号を適正な符号で構成する等の工夫によって、検知装置（受信器）で符号を検査して正しい信号の受信であるか否かを判定することが可能である。

要件2：

- (i) 装着物（送信器）が故障した場合は信号が送信されないため、信号は伝わらず、装着物が着用されていると誤判定されることはない。
- (ii) 検知装置（受信器）における受信センサが故障した場合も、信号が受信されず、装着物が着用されていると誤判定されることはない。

要件3：

- (i) 要件1に関する検討の際に信号を符号で構成することを示したが、環境ノイズに対するロバスト性についても信号を誤り訂正符号化することによって対処可能である。
- (ii) ユーザごとに符号を変えることにより、同一システムを着用している複数の作業者が身体的に接触した場合でも、信号が混線することはない。
- (iii) 内外の環境変化が人体通信に影響を与える可能性は否定できない。しかし、文献[6]の技術のように、人体の導体特性の変化をリアルタイムで検知してフィードバック制御する機構を組み込む等の対策によって、安定した人体通信を実現することは可能であると考えられる。
- (iv) 例えばヘルメットの着用を靴底の検知装置で確認するようなシステムを実装する際には、送信器と受信器の間の人体通

信距離が比較的長くなる。このような場合は、文献[7]のように長距離通信が可能なタイプの人体通信方式を採用するとよいだろう。

4. 実証実験

4. 1. 実験システム

本章では、提案方式のプロトタイプシステムを実装し、実験を通じ、人体通信を用いた装着物の着脱検知が可能であることを確認する。装着物は、入手が容易で、かつ、実際の業務においても使用されることが多いという利用から、革手袋を用いることとした。牛皮革で生地のはきは約1.0mmである。送信電極は25×50mm、受信電極は10×25mmの銅箔である。図1に実験システムの概観を示す。本システムは両電極および基盤が手袋の内側に貼られている。図1は、手袋を手の甲側と手のひら側に切り離し、手の甲側の裏側を撮影したものである。なお、基盤と両電極をつなぐ配線は電磁シールド線を用いている（配線が電極の一部として振舞うことの防止）。

図2が回路のブロック図である。送信電極には周波数100KHzの方形波を発振する発振器が接続されており、両電極に人体が十分接近していれば、送信電極から人体を介して受信電極へ信号が伝播する。受信電極から得られた受信信号に対してバンドパスフィルタ、増幅器、デコーダ等を用いて100KHz付近の信号のみを抽出する。

以上の処理を経て、100KHzの信号が取り出せれば、正しく通信ができていることを示すデコード表示LED(赤色)が点灯する(図3)。

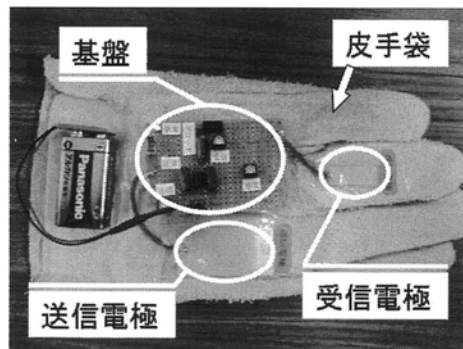


図1：実験システム（概観）

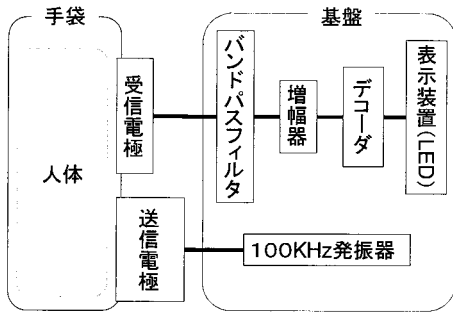


図2：実験システム（ブロック図）

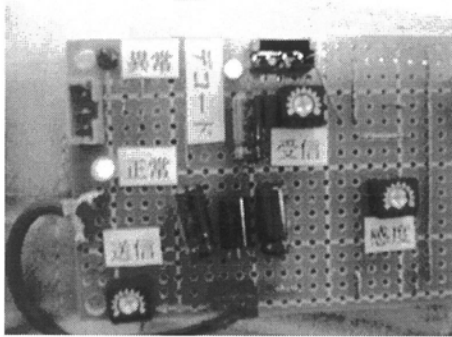


図3：実験システム（基盤）

ただし、回路および人体のアナログ特性のために、手袋を着用していても信号の受信が漸続的になることが考えられるため、受信猶予期間を設け、受信猶予期間内に一度でも信号を受信できれば着用していると判定するようにした。着用と判定された場合は正常表示 LED（緑色）が点灯し、それ以外では異常表示 LED（赤色）が点灯する。

今回はプロトタイプということで、以下の項目については簡略化している。(1) 送信器と受信器を1つの基盤内に実装した。(2) 信号の符号化は割愛した。(3) 受信猶予期間を7秒程度に設定しており、7秒以内に一度でも通信ができれば着用していると判断される。このため、通信が途切れてから7秒後に異常表示 LED（赤色）が点灯する。(4) 両電極の絶縁に関しては、両電極の両面に簡易な絶縁フィルムを貼るだけに留めた。

4. 2. 動作確認

4. 2. 1. 通常動作に関する実験

本実験システムを用いて動作確認を行った

結果、手袋の着用中は正常表示 LED が常に点灯し続け、手袋を着用していないときは異常表示 LED が点灯した。

4. 2. 2. 電極の接触による誤作動に関する実験

静電容量方式の人体通信においては、電極に直接接触しなくても信号が伝播する特性がある。そこで、手袋を脱いだ状態で、手袋の表側から手袋に触れ、手袋越しに電極に接触したとしても、両電極間に信号が伝わることを確認した。結果は、異常表示 LED が点灯した。これより、作業者が休憩中に手袋を脱いで、手袋を手で持ったり、手袋の上に手を置いたりしても誤作動することがないことが確認できた。

次に、送信電極と受信電極が重なるように手袋を2つに折りたたんだとしても、両電極間に信号が伝わることを確認する。ここで、本システムにおいて、電極が手袋裏側に取り付けられているため、手袋を2つに折りたたんだ場合は、送信電極と受信電極の間に牛革生地2枚が介在する形で電極どうしが重なることになる。また、手袋を折りたたんだ際、電極どうしがより密着するように、折りたたんだ上から約500gの重りを乗せるようにした。結果は、異常表示 LED が点灯した。これにより、作業者が休憩中に手袋を脱いで、これを2つに折りたたんだ形で手に持ったりした場合であっても誤作動することはがないことが確認できた。また、この結果から、作業者が手袋を脱いで、1組の手袋を束ねて持ったり、重ねて置いたりしても、誤作動は起こらないことがわかる。

4. 2. 3. 環境ノイズに関する実験

本実験システムでは、符号ではなく単純な方形波を使用したため、システムの周辺に100KHz近傍の電磁波ノイズが発生した場合には、その影響で誤作動が起こる可能性がある。そこで、実験システムを電磁波が発生し得る環境下で動作させ、着用の有無に関わらず誤作動が起こらないことを確認する。今回は基礎的な実験として、身近な家電製品の中からTV、電子レンジ、携帯電話を用い、それぞれ使用中の機器に本システムを密着させた

状態で誤作動が起こることがないかを確認した。結果は、上記の全ての家電製品に対して本システムが誤作動することはなかった。

No.2, pp. 137-144 (1998)

5. まとめと今後の課題

本稿では、人体通信を用いて装着物の着脱検知を行うことで、より安全性の高いセーフティシステムの実現が可能であることを示した。プロトタイプではあるが、実際に提案システムを実装し、基礎実験による評価を通じて、提案方式の有効性を確認した。今後は、システムの本格的な実装、実践的な場面での動作確認等を行う予定である。

謝辞

本研究は、財団法人日本ユニフォームセンターの支援を受けた（平成18年度ユニフォーム基礎研究助成）。

参考文献

- [1] 永井俊一, 天野勝: 制御機能付き光線式安全装置, 特許公開 2000-167700 (2000)
- [2] 上野直広, 秋山守人, 井上智彦: 安全管理システム, 特許公開 2006-316862 (2006)
- [3] 中村英夫: 安全確保の思想: フェールセーフから安全性立証まで, 電子情報通信学会技術研究報告 DC2005-68, pp. 19-24 (2005. 12)
- [4] 小野寺宏: レーザ加工機における安全装置, 特許公開平 9-220681 (1997)
- [5] 平岩良規: シートベルト装着検出システム, 特許公開平 10-181531 (1998)
- [6] 松下電工株式会社: 「人体通信」の実用化に成功, 手を触れるだけでデータ通信する「タッチ通信システム」販売開始, プレスリリース (2004. 9)
<http://www.mew.co.jp/press/0409/0409-3.htm> (2008. 2. 9 確認)
- [7] レッドタクトン:
<http://www.redtacton.com/jp/index.html> (2008. 2. 9 確認)
- [8] いわき民報, 2007年6月18日
http://www.abc-iwaki.com/news/2007-6_11738.html (2008. 2. 9 確認)
- [9] 向殿政男: フェールセーフの理想と安全の国際規格化, 日本信頼性学会誌, Vol.20,