

広大作業空間における機械の再起動時の安全補助システムの検討

○深谷 潔 (産安研)

A study on auxiliary safety system for restart of machinery in a vast work area

*K. Fukaya (National Institute of Industrial Safety)

Abstract— Though the movable area of machinery is a danger area to prohibit human penetration, there are works to do within this area, such as maintenance. When this area is vast, it will happen that machinery is restarted without noticing human existence and an accident might occur. An accident prevention system, which uses RFID and detects worker's position, was developed. This system can help an operator to know whether men are in dangerous area or not. This system is an experimental system and the devices are not suitable for carrying, but will become small and they will be put to practical use in the near future.

Key Words: Electrical paper submission, The style of manuscript, PDF

1 はじめに

機械の動作領域は、人間の進入を禁止すべき危険領域であり、人間の進入を防止するため囲いや柵が用いられている。しかし、保守点検等のこの領域内で行うべき作業があり、人間が危険領域内に入らなくてはならない場合がある。この場合には、機械を停止する。広大空間の場合には、危険領域の中に人が入っていても見えないことがあり、誤って再起動してしまうことがある。そのために、広大領域の再起動時の人間検出手段が必要となる。

本報告では、近年発展が著しい IT 技術の 1 つである RFID の事故防止対策への応用について検討する。

2 安全の基本構造

事故を起こさないためには、機械の運転時には、危険領域に人間がいないことが条件である。これを、論理変数で示すと、

$$M(X,t) \cdot H(X,t) = 0$$

である。ただし、 M は時刻 t において領域 X で機械を運転することを示す論理変数であり、 0 が運転、 1 が停止を示す。また、 H は時刻 t において領域 X での人間の存在を示す論理変数であり、存在を 1 、不在を 0 で示す。また、 \cdot は論理積を示す。

この式を満たすため、機械の運転には次式に示すインターロック構造が用いられる。

$$M(X,t) = \overline{H(X,t)} \cdot C(X,t)$$

ただし、 \overline{H} は H の否定を示し、 C は運転指令を示す論理変数である。

現実には、人間がいないことをセンサー等で計測する必要があるが、その計測結果 H_m と論理変数 H とは同一ではなく、また、論理変数 \overline{H} と運転操作結果 M との間の対応も否定関係が保証されるわけではない。そのため、人間の存在と機械の運転操作の間のインターロック方式には種々のものが存在するが、必ずしも安全が保証できるわけではない。

これについて、以下に具体例を上げて説明する。

3 境界監視方式

人間は無から生じない。従って、領域 X で論理変数 H が変化する際には、人間が X の境界 ∂X を通過しなければならない。すなわち、

$$H(\partial X,t)=0 \text{ であれば、} \Delta H=0$$

である。ただし、 Δ は変化を示す。これにより、

$$H(X,t_0)=0 \text{ のとき、} H(\partial X,t)=0 \text{ ならば } H(X,t)=0$$

であり、領域 X の境界を監視することで、領域 X に人がいないことを確認できる。ただし、 t_0 は運転開始時刻を示す。

具体的には、境界 ∂X を柵等で囲い、出入り口を光線式センサーで監視したり、扉インターロックを付けたりするの手段が行われている。

この方法での問題点は、 $H(\partial X,t)=1$ のときに、 $H(X,t)$ が不定となることである。危険領域が広大になると人間が領域内部に完全に入ってしまうので、境界を通過するときには $H(\partial X,t)=1$ となるが、人間が完全に危険領域内部に入ってしまうと、また、 $H(\partial X,t)=0$ となるが、これは、もはや $H(X,t)=0$ を意味しない。これは、境界の通過時に、人が出るのか入るのかの識別を行わず、また、通過人数の識別を行わないために計数できないためである。

$H(X,t)$ が不定となるため、再起動時には、 $H(X,t_0)=0$ を確認することが必要となる。そのため、何らかの別の対策が必要となる。

4 出入り監視方式

従来行われてきた方法に表示板を用いる方式がある。これは、危険領域の中に入る人間が、機械の起動装置に人間がいるという表示を行うものである。これは、運転指令 C に対してインターロックをかける方式といえる。

表示板の代わりにキーを用いるシステムもある。これは、危険領域内に入るときには、機械の起動装置と連動したキーを持って入る方式である。キーが抜けている限り機械の運転ができないようにすることができる。

しかしながら、表示板を起動装置のスイッチにかけたり、キーを取ったりするのは作業者が自身で行わなくてはならず、必ずしも確実に行われるわけではない。現実には、表示板等を使用するルールがあっても守られずに事故となる例もある。

また、キーや表示方式の本質的な問題点として、複数の作業者が危険領域に入ることに対する対応が十分でないことがある。すなわち、複数の作業者が危険領域内に進入した場合、キーの挿入や表示の撤去は、最後に退出する者が行うべきであるが、後から別の目的で進入する人間がいる場合等には、キーを持った者が先に出たり、中の人間に気付かず表示を外したりする可能性がある。キーの場合には、複数のキーを設けることもあるが、危険領域内に入る人数を限定することになる。

5 危険領域全域監視方式

5.1 センサーによる直接的な領域監視

危険領域内部に人間がないことを確認するには、危険領域全域を直接センサーで監視することが最も素直な方式である。また、複数作業人や、起動時の確認の問題もない。直接監視には、例えば、ライン全体に安全マットを敷き詰めるとか、障害物がない場合には、レーザースキャナーが使用できる。しかし、このようなセンサーはすべての場所に適用できるわけではない。危険領域が広大空間となる場合には、一般に直接監視は困難である。

5.2 作業員位置監視方式の概要

そのため、より一般的に適用できる手段として、個々の作業員の位置を検出して管理することで、危険領域内に人がいないということ判定する作業員追尾システムを開発した。そのシステムの構成を Fig.1 に示す。

作業員は、位置検出のためのセンサーと通信装置を、作業中は常時着用しておく。位置センサーで現在の位置を判定し、通信装置でこの位置を危険領域の制御装置に知らせる。これによって、作業員が危険領域内にいるかどうか判断できる。

作業員の位置の検出には、RFID と加速度計とジャイロよりなるモーションセンサーを用いた。本システムの実験場所として、自動倉庫を用いたが、RFID のタグを自動倉庫の柱ごとに設置し、リーダーで近くのタグを検出することで作業員の位置を推定する。この推定と制御装置との通信のために、無線 LAN 付きのラップトップ PC を用いた。作業員が携帯するセンサー類の様子を Photo1 に示す。

Rfid は RfCode 社のスパイダー-III というアクティブタグを用いた。最大 20m 以内のタグを検出できる。また、タグの発信間隔は 1 秒のものを用いた。

また、モーションセンサーは、NEC/TOKIN の A3U9 を用いた。

5.3 作業員位置監視方式評価実験

自動倉庫内は、中央にスタックークレーンが走行する領域があり、その両側に、パレットに載せた荷物を収納するエリア（棚領域）がある。スタックークレーンが停止している場合には、スタックークレーンの走行する領域と、下の段にパレットが入っていない場合には、荷物の収納エリアは、人間が歩行できる。もちろん、スタックークレーンの運転時には、この領域全体が危険領域である。また、棚領域内に人間がいると、視認が困難である。

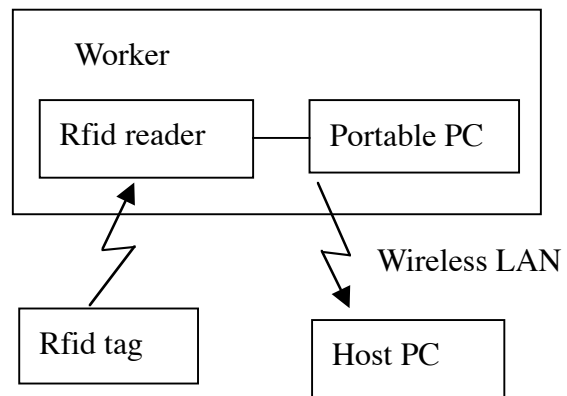


Fig1 Worker's position detection system



Photo 1 Sensors that a worker carries



Photo 2 Walk in warehouse

現在、このシステムを用いて位置推定の評価実験を行っている。

今回の実験では、向かい合った棚領域のパレットを外して、スタックークレーンの走行路と合わせて十文字にしたコースを作業員が歩行し、その場合の作業員の位置を推定した。その実験の様子を Photo 2

に示す。

本実験においては、直近に検出した3個までタグの位置の中間に作業者がいるというアルゴリズムで作業者の位置を推定した。この位置推定においては、モーションセンサーの情報は用いていない。

歩行速度と位置推定間隔等を変更して実験を行った。これらを Table 1 に示す。また、複数の作業者が危険領域内にいる場合を想定して、2人の作業者が別々のルートで歩行する実験も行った(No.8)。また、2人の作業者が一緒に行動することを想定した実験も行った(No.7)。このときは、1人の作業者が2組のセンサーを持って移動した。

歩行ルートと位置測定のを Fig.2 に示す。受信したタグの中間位置にいるという位置推定アルゴリズムなので、推定位置は、編み目状の点の上になり、点間の移動は瞬時に行われるので、必然的に誤差が発生する。しかし、歩行ルートと推定位置を比較すると、おおむねどのブロックにいるのかは分かると言えよう。

実験結果をまとめる。

(1)位置推定精度

実験ケース 1~6 において、セル(4つタグに囲まれた領域)の以下の精度で推定位置が算出された。

(2)移動速度及びパラメータ変更による位置推定精度

実験ケース 1~3 において、作業者の移動速度が秒速約 0.5m の場合(ゆっくりと歩いた場合)、計測間隔を長く設定するに従い、精度が向上した。計測間隔を 1.5 秒とした場合が最も精度が高い結果が得られた。

実験ケース 4~6 において、作業者の移動速度が秒速約 1.0m の場合(早く歩いた場合)、計測間隔を短く設定したほうが、精度が若干向上した。またタグの発信間隔の影響により、計測間隔の長さに関係なく、タグの認識の取りこぼしが確認された。

(3)複数作業者の位置推定を同時に実施した場合

実験ケース 7 において、2つのリーダーを1人で持ち歩いたが、リーダーの読み取り精度が低下した。特に片方のリーダーの精度が著しく低下した。

実験ケース 8 において、2人の作業者位置を同時に計測した場合、1人の場合に比べて精度が若干低下した。

6 考察

人間の位置を追尾する方式は色々考えられる。屋外での都市内等の広域な範囲では、PHS・携帯電話を持つシステムや GPS 方式が考えられている。しかし、一般には、その精度は数 m 程度であり、また、屋内では使用できず、工場内部等の作業現場での使用には適さない。

Rfid にはアクティブ(電源を内蔵する)のものとパッシブ(電源を内蔵しない)のものがある。一般にパッシブのものは、リーダーの電波を電力源とするため、受信可能距離は短い。受信距離を長くするためには大型のアンテナが必要となる。アンテナを携帯するために、アクティブのものを使用した。

Table 1 Experiment condition

No	walk speed	Measurement period	persons
1	0.5 (m/s)	1.0 (s)	1
2		1.3 (s)	1
3		1.5 (s)	1
4	1.0 (m/s)	1.0 (s)	1
5		1.3 (s)	1
6		1.5 (s)	1
7	0.5 (m/s)	1.5 (s)	2
8	0.5 (m/s)	1.5 (s)	2

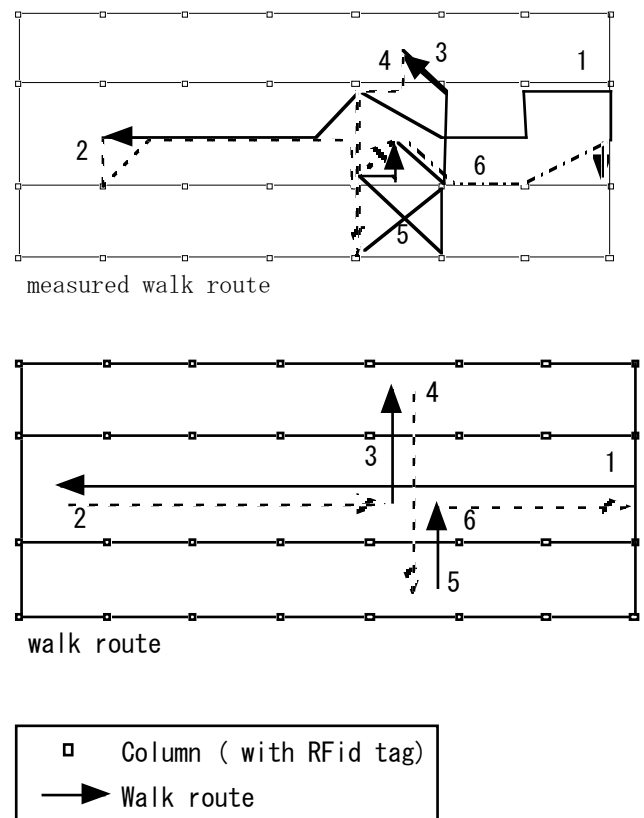


Fig.2 Result of an experiment(No.1)

位置推定のための手がかりは、タグからの発信電波であるが、発信間隔は必ずしも短くない。標準では、7秒間隔である。この実験では、1秒の発信間隔のものを用いたが、移動速度が大きいと、移動時に近くのタグが発信しないうちに通り過ぎることもある。これは測定精度に影響を与えている。また、位置計測間隔を単純に小さくしても、良い結果が得られていない。実際、移動しないで、単純に位置計測間隔を単純に小さくすると、タグの発信間隔が別々なため、受信するタグが次々変わり、タグからタグへ移動する結果が得られるものと思われる。

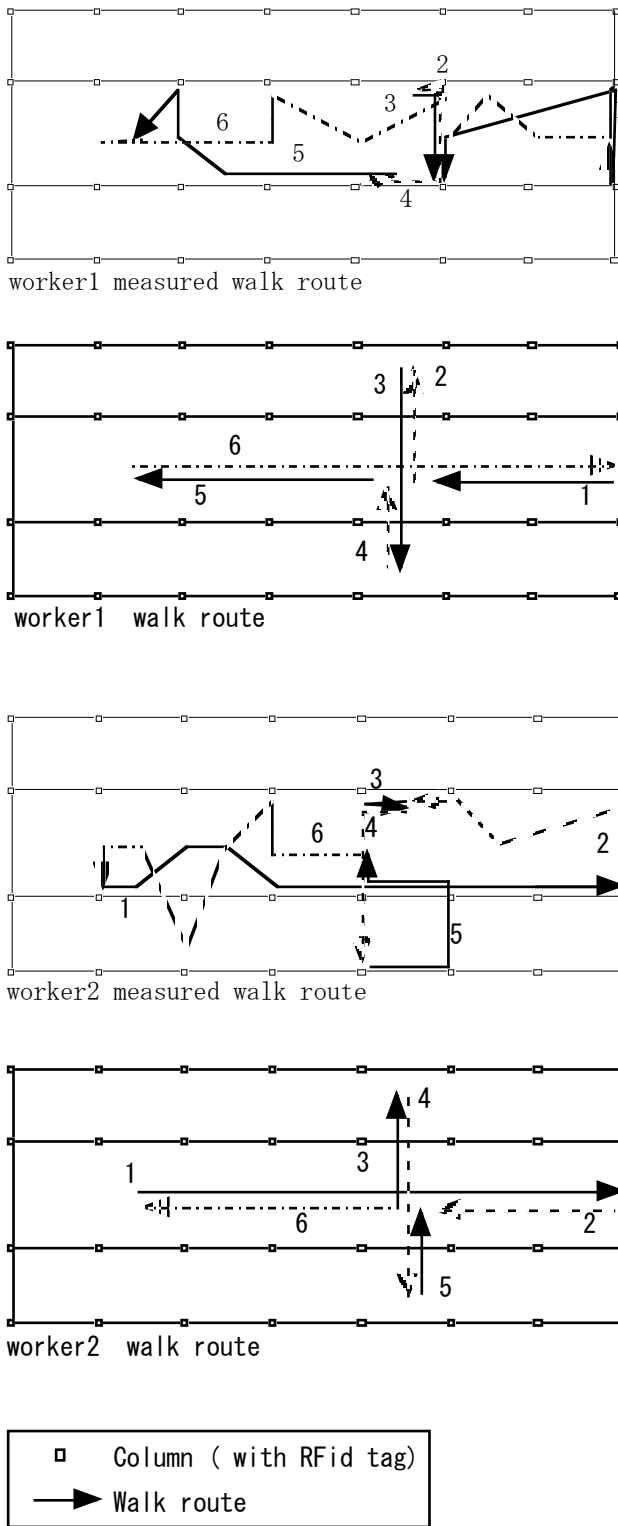


Fig. 3 Result of 2 men experiment(No.8).

このシステムでは、受信の有無で位置を推定しているが、現実には受信状態は位置のみで決まらず、近いタグが受信できなくて遠くのタグを受信することもある。このことは位置の誤差の要因となる。離れたタグに対するフィルタリング等の処理が必要と思われる。

このシステムは、電波や計算機等の確定性の低い、すなわち、故障等の異常時にどのような出力が出るか分からないデバイスを用いている。従って、本質的に安全装置とはなり得ない。

しかしながら、キーや表示板等の人間に依存するシステムと比較すれば、十分事故防止の対策として、有効なものとなり得る。少なくとも、人がいるかもしれない可能性が示唆されれば、起動前の安全確認を念入りにすることができる。

このシステムが実用化されるための前提としては、リーダーや携帯 PC が小型化して容易に持ち歩けるものになることが必要である。これは、技術的にはそれほど困難ではない。検出距離の短いパッシブ型の RFID ではあるが、既に PDA と共に用いる小型のリーダーもあるし、今回使用している RFID についても、携帯電話大のリーダーが開発中である。

7 おわりに

人間が計算機を持ち歩くユビキタスの時代が来ると言われているが、そのときには作業現場においても、作業者が計算機を持ち歩くようになると思われる。作業者が持ち歩く情報端末の機能の一つとして事故防止のための機能を盛り込ませるといった状況が考えられる。今回開発したシステムは、その中の一つとして位置付けられる。今後、実用化のためには、位置検出精度向上等の技術的な改善とともに、プライバシー問題等の社会的な側面も解決していく必要がある。

考察で述べたように故障時にどのような出力をするか不明である。プログラマブルコントローラで、異種 CPU を多重化したものが安全装置のコントローラとして認められているようであるが、現状のパソコン等はこのような配慮がなされていない。その意味で確定的な動作が要求される安全装置としての使用には現状では問題がある。