

RFIDを用いた広大空間における機械の再起動防止に関する研究*

深谷 潔**

A Study on an Accident Prevention System Using RFID for the Restart of Machinery in the Spacious Dangerous Areas

by Kiyoshi FUKAYA**

Abstract; New monitoring system for human detection in a spacious movable area of machinery is necessary, and workers' position detection system using RFID(Radio Frequency Identification) was developed and evaluated in this paper.

It is dangerous for a person to enter this area, and the safety control, such that the machinery is stopped when a person enter this area, is needed. To realize this control, it is necessary to know a worker's presence in the dangerous area. There are some defects in the conventional means of detecting human presence. For example, the direct monitoring method, in which dangerous area is monitored, is advisable, but there are technical difficulties for monitoring spacious area and the method has only limited application. The boundary monitoring method, in which the boundary of dangerous area is monitored, is used in many cases. The boundary monitoring is essentially monitoring of the change of human presence, and it needs other monitoring system for detecting initial safety condition. Because of these defects new monitoring system was needed.

A workers' position detection system was developed. This system uses RFID devices to detect a worker's position. In order to identify the position RF tags are attached to equally spaced posts. A RF reader that a worker carries, read the position and the data are sent to the safety control system through wireless LAN(Local Area Network). This system can help an operator of machinery to know whether men are in a dangerous area or not.

There are two types of RFID; active tag type and passive tag type. Because receivable range of active tag type is longer than that of passive tag type, active tag type RFID was used. The RF reader can change detection threshold of the tag and for each threshold measurements of the receivable area of the RF reader were conducted. And it was confirmed that:

- (1) Generally, the shorter the distance between a reader and a tag it was probable to detect tag.
- (2) There are cases in which a distant tag is detected without detecting a near tag.

Measurements of a walking worker's position were conducted. Mean of positions of detected tags was used as an estimated position of a worker and it showed a worker's walking route. But there were errors of estimated positions of workers, because of the fluctuation in the receivable range and time-lag.

This system is an experimental system and the devices are not suitable for carrying, i.e. it is big. But these devices will become small and it will be put to practical use in the near future, when all workers will carry some IT(Information Technology) devices such as PDA(Personal Digital Assistance).

Keywords; Safety, Safety control, RFID, Human position detection,

* 第47回自動制御連合講演会(2004)¹⁾、SICE東北支部40周年記念学術講演会(2004)²⁾、日本機械学会(2005)^{3), 4)}で一部発表

**境界領域・人間科学安全研究グループ Interdisciplinary and Human Science Safety Research Group

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、機械を停止する制御が行われる。この制御は安全確認センサーを用いるほか、人間の注意力に依存せざるを得ない場合がある。特に、危険領域が広大な場合には、人間を確認する適当なセンサーがない場合があり、また、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。実際、製造業における挟まれ巻き込まれ災害の分析では、広大領域内で発生した事例が35.7%、他の作業者が誤って起動する災害が12.4%に上っている⁹⁾。事故防止のために、広大領域における機械の再起動時の作業者の存在検出手段が必要となっている。

そのため、近年発展が著しいIT技術の1つであるRFID(Radio Frequency Identification)を広大領域内の人間の位置検出に用いるシステムを開発し、その有効性・問題点について検討した。後述するように、このシステムは、CPUや電波を使用する等不確定性を含むため、確定的な安全装置とはならないが、支援保護装置としては有効なものとなりえる。また、領域を監視する手段であり、発展が期待される。

本報告では、まず、研究の背景となる危険領域を監視する従来の安全制御の手法とその問題点を示す^{6), 7)}。次に、その対策として開発したシステムについて説明する。最後に、このシステムを評価するために行った実験と考察を示す。

2. 研究の背景

2.1 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かったことが条件である。これを、論理変数で示すと、

$$M(X, t) \cdot H(X, t) = 0 \quad (1)$$

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、1が運転、0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。

$$M(X, t) = \bar{H}(X, t) \cdot C(X, t) \quad (2)$$

ただし、 \bar{H} は H の否定(人がいないこと)を示し、 C は運転指令を示す論理変数であり、運転指令ありを1、指令なしを0で表す。

(2)式を実現するためには、人間がいなかったことをセンサー等で計測する必要があり、従来から各種の計測方式がある。これらを、Table 1に示す。現実にはその計測結果 $\bar{H}m$ と論理変数 \bar{H} とは同一ではなく、従ってインターロックがあっても、論理変数 \bar{H} と運転操作 M との間に(2)式の関係が保証されるわけではない。特に広大な危険領域においては、従来の \bar{H} の計測には問題点があるので、新しい方式を検討した。従来の方式とその問題点を以下に示す。

2.2 間接監視方式

2.2.1 進入監視方式

一般にある領域 X における物質の存在は、その領域内部における生成と消滅及び境界を通しての流入と流出によって決定される。人間は、危険領域内部で生成も消滅もしない。従って、領域 X での人間の存在は、領域 X の境界 X における人間の通過によって決定される。すなわち、論理変数 \bar{H} が変化するには、人間が X の境界 X を通過しなければならない。逆に、境界を通過するものがなければ、論理変数 \bar{H} は不変である。式で示すと、

$$\bar{H}(X, t_0) = 1 \text{ であれば, } \bar{H}(X, t) = 0 \quad (3)$$

である。ただし、 \bar{H} は変化を示す。これにより、

$$\bar{H}(X, t_0) = 1 \text{ のとき, } \bar{H}(X, t) = \bar{H}(X, t_0) = 1 \quad (t > t_0) \quad (4)$$

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

Table 1 The type of Accident prevention measures. 災害防止対策の類型^{6), 7)}

No	Accident prevention measures		Relation figures
(a)	Monitoring the human presence in X	Direct monitoring	
(b)		Indirect monitoring	
(c)		Monitoring the human presence in Y	
(d)		Monitoring the human motion between X and Y	

Note) The bold line means the fixed guard
X: dangerous area Y: safe area (Y= \bar{X})

りするという手段が行われている。

この方法での問題点は、 $\bar{H}(X,t)=0$ (人がいる)のときに、 $\bar{H}(X,t)$ が不定となることである。すなわち、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 $\bar{H}(X,t)=0$ となり、人間が完全に危険領域内部に入ってしまうと、また、 $\bar{H}(X,t)=1$ となるが、これはもはや $\bar{H}(X,t)=1$ を意味しない。これは、境界の通過時に、人が出るのか入るかの識別を行わず、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。

この方式は最も一般的に用いられる方法であり、運転中の安全確認には十分であるが、 $\bar{H}(X,t)$ が不定となるため、再起動時には、 $\bar{H}(X,t_0)=1$ 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。

2.2.2 安全領域存在監視方式

人間が安全領域 Y (X 以外の領域)にいることを監視することで、危険領域 X にいないことを確認する方式であり、実例としてはプレスの両手操作ボタンがある。式で示すと

$$\bar{H}(X,t) = H(Y,t) = 1 \quad (Y = \bar{X}) \quad (5)$$

である。作業者が複数になると、

$$\bar{H}(X,t) = \prod_{j=1}^{\infty} \bar{H}_j(X,t) = \prod_{j=1}^{\infty} H_j(Y,t) \quad (6)$$

となる。ただし、 H_j 等は作業者 j に関する論理変数であり、 \bar{H} は複数の論理変数の論理積を示す。この方式は、基本的には安全領域 Y の直接監視であり、領域が広大になると、危険領域 X の直接監視と同様に一般に実現が困難である。また、すべての作業者についての安全確認が必要であるが、実際には別の部署の人間等は安全確認から漏れる恐れがある。

2.2.3 進入退出監視方式

危険領域への出入りを管理するものであり、表示札を用いる方法やキーを用いる方法がある。

表示札を用いる方式は、危険領域の中に入る人間が、機械の起動装置に札をかけ人間が中にいるという表示を行うものである。この場合、機械的なインターロックではなく、操作者が人がいるということを判断して起動しないという方式である。

表示札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。

表示札やキーの有無に、人間がいない(\bar{H})という意味を持たせているものであるが、表示札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

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。

2.3 直接監視方式

危険領域内部に人間がい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り、望ましい方式である。複数作業や、起動時の確認の問題も生じない。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。

3. 作業者位置監視方式の概要

3.1 開発したシステム

前述したように、直接監視が望ましいが、一般に実現が困難であるので、作業者の位置を常時監視して、擬似的な直接監視を実現する方式を考えた。すなわち、個々の作業者の位置検出のためのデバイスを携帯させて、それにより位置を検出し、その情報を管理することで、危険領域内に人がいないということ表示する作業者追尾システムを開発した。すべての作業者

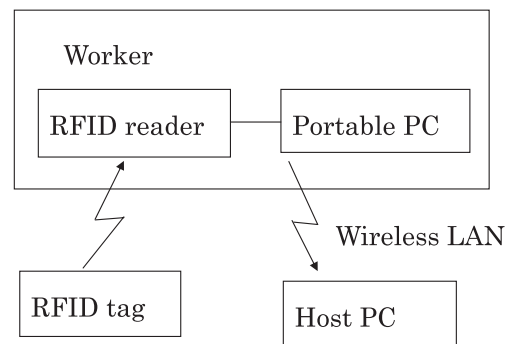


Fig1 Worker's position detection system.
作業者位置検出システム

を管理するという意味からは、安全領域存在監視方式の1種と見なすこともできる。そのシステムの構成をFig.1に示す。

作業者は、Photo1に示す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。それを着用した状況を Photo 2 に示す。

作業者の位置検出用のセンサーとして、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。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。リーダーは受信感度を8段階に変更できるが、感度を最大にすると約20m以内のタグを検出できる。また、タグは一定の時間間隔に発信するが、その発信間隔は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。

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2mの高さに設置した。リーダーは距離が近いタグを検出するので、検出したタグの情報により作業者の位置を検出する。

リーダーの制御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。これを用いて位置情報を危険領域の制御装置(ホストPC)に知らせる。これによって、作業者が危険領域内にいるかどうか判断できる。

3.2 RFIDによる位置計測の基本方式

システムの開発に先立って、RFIDを用いて作業者の位置情報を検出するシステムの構成について検討した。RFIDシステムは、情報を記録しておくタグとそれを読み書きするリーダーよりなり、タグとリーダーが受信距離内に接近すると情報の読み書きができる。タグに固有な情報を書き込んでおくことで、それぞれのタグを識別できる。

RFIDには、タグ内部に電源を持たないパッシブ方式のもの(電力はリーダーからの電波を受信することで発生させる)と、タグ内部に電源を持つアクティブ方式のものがあり、一般に前者の受信距離は小さく(最大受信距離が数cm~数十cm程度)、後者の受信距離は相対的に大きい(最大受信距離が数m程度)。受信距離は、アンテナの大きさによって変わり、大型のアンテナを用いることで受信距離を伸ばすことができる。

複数のタグを随所に配置しておいて、リーダーを持つ作業者がタグに接近すると、そのタグが読めるようになる。すなわち、特定のタグをリーダーが読み込んだ場合には、作業者はそのタグから一定の範囲内にいるということがわかる。

逆に、複数のリーダーを随所に配置しておいて、作業者にタグを持たせる方式も考えられる。必要なリーダーの数とタグの数を考慮すると、作業者がリーダー

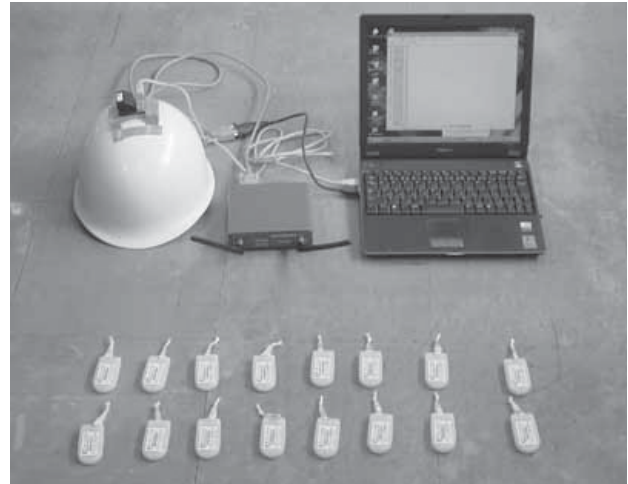


Photo 1 RFID system.
RFIDシステム



Photo 2 Sensors that a worker carries.
作業者が携帯するセンサー

を持つ方がリーダーの数が少なくすみ、リーダーの価格はタグの価格より少なくとも2桁以上高価であることを考えると前者の方式が適当である。

3.3 RFIDによる位置計測における問題点

RFIDのみで危険領域内部の任意の地点で位置計測を行うためには、どの位置でもどれかのタグの信号を受信できることが必要であり、タグを監視領域全体に分布させ、タグの受信範囲で監視領域を覆う必要がある。そのためには、タグの受信距離が短い場合には数多くのタグが必要になり、タグの受信距離が長ければ少ないタグで領域を覆うことができる。

一方、位置計測の精度を考えると、タグの受信範囲が精度の基礎となるので、精度を上げるためには、受

信距離が短い方が有利である。

受信距離が大きい場合には、位置精度を向上させるために、単一のタグのみ受信するのではなく、同時に複数のタグを受信できるようにして、タグの受信領域を重ねてその重なる領域にあるという別の判断基準を必要とする。

またタグ、リーダーの大きさの問題もある。作業者が持ち歩くことを考慮するとその大きさには制限がある。リーダーとタグではリーダーの方が大きい。リーダー本体は現在のところLANのハブ程度の大きさ(125W×120D×35H)であるが、携帯電話程度に小型化される見込みである。また、タグは指2本程度から爪程度の大きさである。すなわち、持ち歩きにはタグの方が便利であるが、リーダーを持ち歩けないわけではない。また、既に述べたように受信領域で危険領域を覆うためには、数多くのタグを設置する必要があるが、パッシブタグで受信距離を大きくするためにはどうしても大きなアンテナ(ノート大以上)が必要となり持ち歩くには適さない。また、パッシブタグと小さなアンテナでは、受信距離は数cm程度であり、危険領域全体にタグを配置する必要があり、現実的ではない。従って、本研究ではアクティブタグを用いる。

以上のほかに、受信距離が必ずしも一定ではないという問題、そのため、どのタグからも受信できない可能性があるという問題がある。

受信距離は、基本的にはタグとリーダー間の物理的距離によるが、まわりに物体があると電波の反射等によって電波の到達しやすさが変動するので、物理的距離のみにはよらず、近くのタグが読めず、遠くのタグが読める場合もある。

どのタグからも受信できない場合には、現在の受信情報だけでなく、以前の位置情報や他のセンサーからの情報を必要とする。すなわち、位置計測には、そのとき受信できるタグの情報だけでなく、今までの情報や別のセンサーの情報等を含めて総合的に判断することが必要である。

4. 作業位置監視システムの評価実験

4.1 実験場所

広大な危険領域として、自動倉庫の内部を用いて、このシステムの評価実験を行った。

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(幅1.6m)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、幅1.24m)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。

パレットをのせるための柱が等間隔(1.46m)に立ち並んでいるが、この各柱の2mの高さにRFIDのタグを取り付けた。作業者が携帯するリーダーでタグを読み取ることでその位置を推定できる。すなわち、基本的には距離が近いタグしか受信しないので、その近くにいることが分かる。

4.2 電波の到達範囲の測定

タグの電波の受信範囲の測定を行った。測定は、三脚を自動倉庫の中央に設置し、その上にリーダーを固定して、受信感度を変えて受信範囲の測定を行った。リーダーを北に向けた場合と西に向けた場合、及び水平に設置した場合と垂直にたてた場合についてこの測定を行った。

各受信感度ごとの受信範囲は等高線状になる。その一例を、Fig.2に示す。基本的にタグが近いほど受信しやすいが、近くのタグが受信できずより遠くのタグを受信する場合がある。また、アンテナの向きによって、受信範囲が変化することが分かる。

タグは一定の時間間隔ごとに発信しているが、この発信のタイミングは各タグごとに異なる。そのため、複

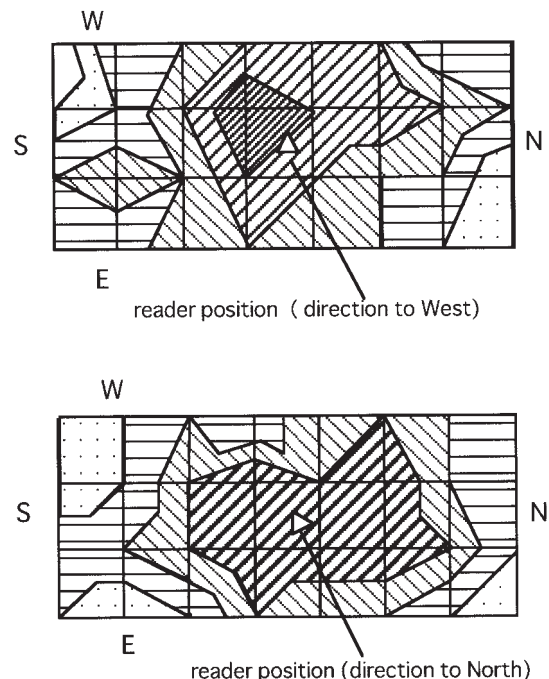


Fig.2 Coverage of RFID reader (contour: gain factor). RFIDリーダーの受信範囲

数のタグからの電波を順に受信することになる。また、受信を継続していると、発信の間隔は同じであるが、受信し易さによってタグの受信回数は変わる場合もある。各受信感度ごとに、受信のたびに、測定を開始してからそれまでに受信したタグのすべての位置の平均をとり、実際の位置と比較した。その一例をFig.3に示す。3～4回目の受信でタグの位置の平均が収束していることが分かる。また、受信感度を上げると、遠くのタグからも受信するので、少しのタグの情報しか用いない場合は誤差が大きくなる場合がある。

4.3 作業者の位置推定

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者が歩行し、その場合の作業者の位置を推定した。その実験の様子をPhoto 3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 2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例をFig.4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)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。

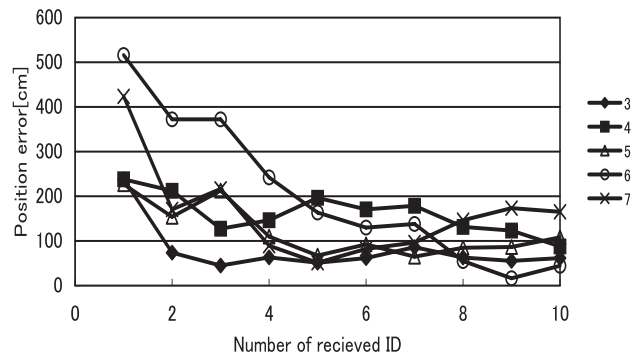


Fig.3 Number of average and position errors. 平均の回数と位置の誤差



Photo 3 Walk in warehouse. 自動倉庫内の歩行の状況

Table 2 Experiment condition. 実験条件

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

(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。

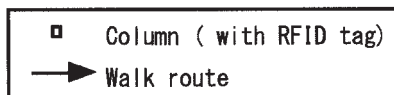
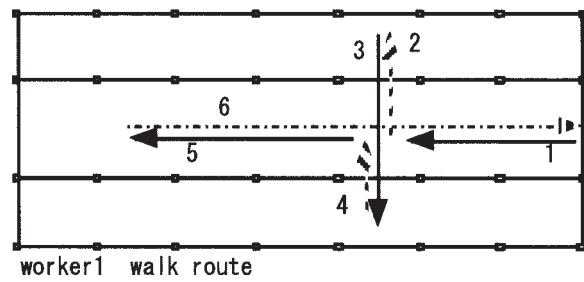
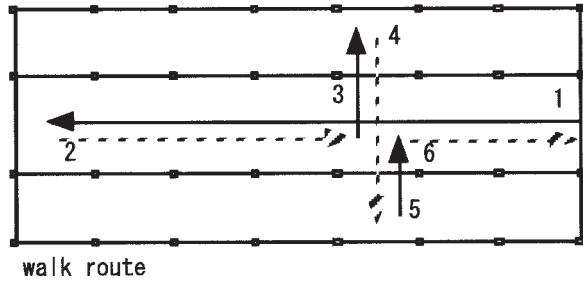
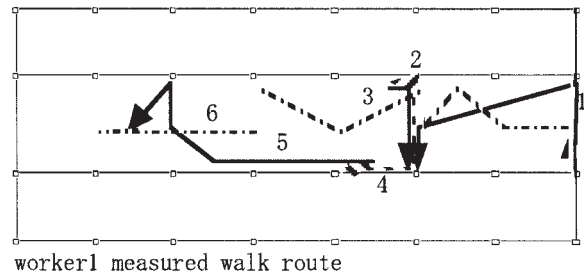
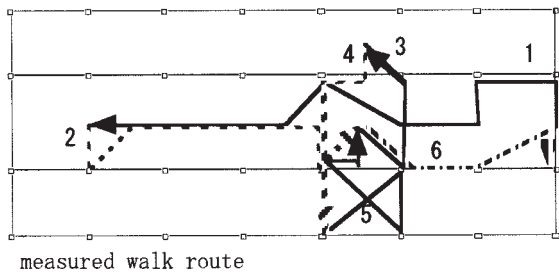


Fig.4 Result of an experiment(No.1).
実験の結果 (No.1)

5. 考察

5.1 静的位置測定

Fig.2からわかるように、リーダー(アンテナ)の向きを変えるだけで、受信範囲は大きく変化する。このことは、人間が作業姿勢を変えるだけで測定される位置が変化する可能性があるということの意味している。

リーダーの静止時には、受信タグの位置の平均する回数を増やすことで位置の誤差がゼロに収束することが期待されたが、実際にはそうはならなかった。これは、アンテナの方向等によりタグの受信しやすさが変動することから分かるように、すべての方向のタグを均一に受信せず、一部のタグの受信回数が増えることがあり、それが平均すると位置の誤差となるものと思われる。また、必ずしも距離が近いタグが受信し易いわけではないが、これも位置の誤差の要因である。

5.2 動的位置測定

移動時には、静止時とは別の誤差要因が存在する。まず、移動することでアンテナの向きや位置が変わり電波の受信状態が変わるので位置誤差の要因となる。また、タグの発信は連続ではなく一定間隔であるため、

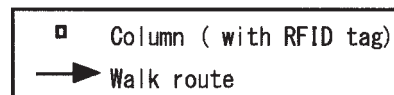
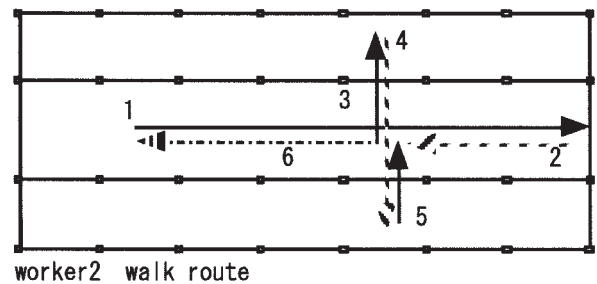
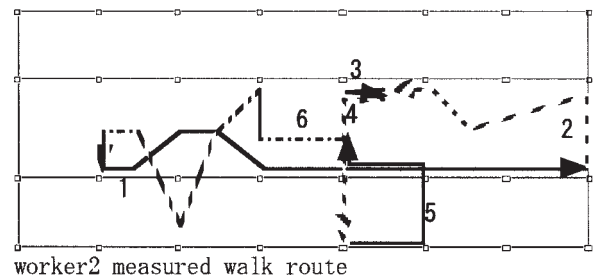


Fig. 5 Result of 2 men experiment(No.8).
2名の実験の結果 (No.8)

移動速度が早すぎるとタグの近くを通過しても発信しないうちに通過する場合がある。さらに、複数のタグを受信した場合にも、タグは同期して発信するわけで

はないので、受信する時間にずれがある。さらに、過去に受信したタグの情報で、位置を推定するので、原理的に位置推定に遅れが生じる。

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。

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。

5.3 システム的検討

最近では、RFID装置も技術的な改良が加えられ、電波強度の検出や、信号伝搬時間の測定できるものも市販されるようになった。これらの装置を使用することで、位置精度を向上させることが期待できる。しかし、RFIDを用いる場合、測定を間欠的に行うための時間の遅れや障害物や電波の反射体による電波の乱れ等の本質的な誤差要因がある。また、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。さらに、装置を携帯している人間しか把握できないので、確定的な安全装置とはなり得ない。

しかし、現在のシステムでも、どの辺に人間がいるかということは分かる。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行うことができる。また、作業者が通信装置を携帯するので、警報や位置の問い合わせを併用するシステムとすることもできる。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。

6. おわりに

RFIDを用いて作業者の位置を常時モニターする事故防止システムのモデルを開発して、安全性・有効性の検討を行った。得られた結果は次の通りである。

1) 種々の誤差要因があり、また携帯するには大き過ぎるため、現状では実用化できる段階ではないが、小型

化を含めた種々の技術的な改良が行われているので、これらの問題は解消されていくものと期待できる。

- 2) フェールセーフという観点からは確実性が保証されないで、事故防止に役立つといえども、決定的な安全装置とは見なせず過大な期待はできない。
- 3) マーカーとしてもセンサーシステムを携帯することが検出の条件なので、これも現段階では決定的な安全装置とならない理由となる。ただし、これは将来解消される可能性がある。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、作業者が通信機能を持った情報端末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。このような時代になれば、作業を行うためにすべての作業者が情報端末を持つようになると考えられるので、一部の作業者しか検出されないという問題は解消されると思われる。
- 4) 領域を監視する手段は多くないが、このシステムは領域監視のシステムとして発展が期待できる。

参考文献

- 1) 深谷潔，広大な危険領域内部での作業時におけるIT技術を用いた再起動防止システムの検討，第47回自動制御連合講演会，pp.140-141,(2004)
- 2) 深谷潔，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，計測自動制御学会東北支部40周年記念学術講演会，pp.131-132,(2004)
- 3) 深谷潔，広大な危険領域におけるRFIDを用いた再起動時の事故防止システムの検討，日本機械学会東北支部第40期講演会，pp.134-135，(2005)
- 4) 深谷潔，RFIDを用いた広大な危険領域を有する機械の再起動時の事故防止対策の検討，日本機械学会平成17年度年次大会，Vol.5,pp.301-302，(2005)
- 5) 梅崎重夫，清水尚憲，産業機械の労働災害分析，産業安全研究所特別報告，NIIS-SRR-NO.33，pp.53-68,(2005)
- 6) 梅崎重夫，清水尚憲，深谷潔，複数作業者が大規模ライン内で行う作業を対象とした災害防止戦略に関する基礎的考察，日本機械学会論文集，Vol.71-No.709，C編，pp.166-174，(2005)
- 7) 梅崎重夫，清水尚憲，複数作業者が大規模ライン内で行う作業を対象とした災害防止戦略の基礎的考察，産業安全研究所特別報告，NIIS-SRR-NO.33，pp.81-95,(2005)

(平成18年1月16日受付)

屋根工事における軒先からの墜落防止に関する研究

日野泰道

本報は、低層住宅工事における屋根からの墜落災害に焦点を絞り、災害発生状況とその防止対策について検討を行ったものである。検討の結果、足場先行工法のガイドラインの基準を満たす足場が設置された現場でも、墜落死亡災害が発生している場合があることが分かった。また実験的検討により、墜落防護を完全に行うためには、限られた本数の手摺・中棧を使用する方法では難しいことを明らかにした。これらの結果を踏まえ、墜落防護方法としてネットを用いた方法を取り上げ、その適切な設置方法について実験的に検討を行った。その結果、ネットに衝突後の跳ね返りにより、被災者が頭部を屋根面に強打することで傷害の発生可能性があることが明らかとなった。そのため、屋根からの墜落防止用として安全ネットを設置する場合には、屋根面への跳ね返りを防止するための措置が必要であることが明らかとなった。（図14、表3、参考文献16）

RFIDを用いた広大空間における再起動防止に関する研究

深谷 潔

危険空間が広大になると、操作装置の位置から全体を見通すことができず、作業者がその空間内においても分からず誤って機械を起動し、事故となることがある。このような事故を防止するため、RFIDを用いて危険空間内部の作業者の位置を常時モニターするシステムを開発し、評価した。

格子状に設置したタグを作業者が所持するリーダーでその位置を読み取るシステムであるが、周りの物の配置により電波の受信距離が異なり遠くのタグを受信することもあり、位置計測の誤差となることがあった。実用化のためには、装置を小型化すると共に誤差を考慮したシステム設計が必要である。

（図5、表2、写真3、文献7）

着火性放電を抑制したノズル型除電器の除電特性

崔光石，山隈瑞樹，児玉勉，鈴木輝夫，最上智史

粉体輸送プロセスにおける静電気トラブルの発生を防止する方法として、粉体の帯電量を静電気トラブル発生レベル以下に制御できるノズル型除電器（コロナ式）を開発した。しかし、コロナ式除電器は、高電圧を利用しているために何等かの原因で異常作動すると、まれに着火性放電を起こし、爆発、火災を誘発する危険性がある。そこで著者らは開発したノズル型除電器の安全性を着火試験によって評価した。その結果、放電針と高電圧源の間に100Mの高抵抗（結合抵抗）を有する放電電極は、印加電圧が7kV以下（交流又は直流）であれば、放電針からの放電火花が最小着火エネルギー0.1mJ以上の可燃性雰囲気への着火源にならないことが判明した。また、このノズル型除電器を内蔵したフランジ型除電器を実規模大の粉体空気輸送帯電実験装置のサイロ内に設置して、実際に粉体を除電してその効果を調べた。その結果、上記の電圧範囲内で印加電圧を制御することによって粉体の帯電を効果的に除電できることが明らかになった。したがって、本除電器は、改良を加えることにより可燃性雰囲気を伴う粉体プロセスにおける静電気障災害の防止に十分寄与できると考えられる。（図9、参考文献8）

高強度アルミニウム合金重ね継手の疲労き裂モニタリングとその疲労破壊特性

佐々木哲也，本田 尚

高強度アルミニウム合金重ね継手の疲労破壊を防止するために、ボルト内に埋め込んだひずみゲージの出力で疲労き裂をモニタリングすることを試みた。実験の結果、ひずみゲージ出力の平均値よりも変動幅の方が疲労き裂進展に伴う変化の割合が大きく、疲労き裂モニタリングに適していることが明らかになった。なお、ボルト穴に初期切欠きのない重ね継手の疲労破壊位置は、大きく3箇所に分類できたが、いずれの場合も疲労寿命に大きな差はなかった。

（図6、写真1、表2、参考文献12）