

### 3. 人体と立体的形状を持つ物体の識別を目的とした 二次元ブランキングシステムの開発と評価\*

梅崎重夫\*\*, 清水尚憲\*\*, 小林茂信\*\*\*, 川戸真二\*\*\*\*,  
田上憲一\*\*\*\*, 石坂文二\*\*\*\*, 松井順二\*\*\*\*, 鈴木常夫\*\*\*\*

### 3. The Development and Evaluation of the Two Dimensions Blanking System for the Purpose of Distinguishing between Human Bodies and Objects with the Solid Shape\*

by Shigeo UMEZAKI\*\*, Shoken SHIMIZU\*\*, Shigenobu KOBAYASHI\*\*\*, Shinji KAWADO\*\*\*\*,  
Kenichi TAGAMI\*\*\*\*, Bunji ISHIZAKA\*\*\*\*, Jyunji MATUI\*\*\*\* and Tuneo SUZUKI\*\*\*\*

**Abstract:** This report proposes a new safety system for distinguishing between human bodies and objects with the solid shape. Common photo-electric safety devices are not available for this system because the object obstructs some light beams. In order to solve this problem, a blanking system with the fail-safe teaching function was developed in this study.

The machine actuation is permitted only when specified light beams are obstructed by the object and the others reach to optical detectors. On the other hand, the machine has to stop when the human body blinds the light beam axes of this device. This system is called the “blanking system”. The “blanking” is the terminology which means a part of invalidity of the light beam axes. By the development of such a system, following results were obtained in this study:

- (1) The fail-safe blanking system was realized by the programmable logic controller with triple redundancy, diversity and the self checking mechanism.
- (2) When the object was a square bar, the smallest detection diameter was larger than the physical resolution of the photo-electric safety device as the reflection of light beams occurred on the surface of the square bar. The smallest detection diameter became worst when there was the clearance of 1 or 2 mm between the human body and the square bar.
- (3) When the object was a round bar, a triangular rod or a square bar with overhang, the smallest detection diameter was also larger than the physical resolution, because of the blind area in detecting the human body. Therefore, the smallest detection diameter had to be evaluated in the mathematical expression (8), (12) or (16) described in this report.
- (4) The human body detection was impossible when the shape of the human body was intentionally taught, or the shape of human body and the object were simultaneously taught by mistake.

**Keywords;** Safety control, Photo-electric safety device, Fail-safe, Blanking, Diversity, Redundancy, Self checking, Programable controller

---

\* 本研究の一部は、日本機械学会山梨講演会（平成 11 年 10 月 30 日）で発表した。また、日本機械学会論文誌に掲載が決定した。

\*\* 機械システム安全研究グループ Mechanical and System Safety Research Group

\*\*\* 科学技術振興事業団 重点研究支援協力員 Supporting Staff for Priority Research, Japan Science and Technology Corporation

\*\*\*\* YKK 株式会社 YKK Co., Ltd.

## 1. はじめに

大規模で複雑な生産システムでは、人体と物体が混在しながら作業を行う場所が数多く存在する。このような場所では、材料や製品などが存在するときは機械の運転を可能とするが、人体が存在するときは機械の運転を停止させる安全システムが必要である。以後、このシステムを「人体と物体の識別システム」と呼ぶ。

このようなシステムの構築は一般に考えられているほど簡単ではない。特に、安全システムの場合、人体の見逃しは直ちに重大な災害を引き起こすために、このような事態を生じないシステムの検討が必要となる。このため、筆者らは、人体の見逃しが著しく低くなる方式として、「人体自身を検出して機械を停止させるのではなく、あらかじめ登録された物体の存在が確認できたときに限って機械の運転を許可する」制御方式を本研究で提案した（補足1参照）。

また、安全システムでは、作業者のミスや機械の故障が起きてても作業者に危害を及ぼさないフェールセーフな特性が必要となる。しかし、人体と物体の識別では複雑な安全条件の処理や識別に係わる情報の記憶を必要とすることが多いために、既存のハードワイヤード（補足2参照）な回路では実現困難であった。そこで、本研究では、複雑な安全条件の処理や記憶を行いながら、フェールセーフな特性を実現できるシステムとして、既に第2編で述べた異種冗長化<sup>1)</sup>と自動監視<sup>1)</sup>を備えた汎用安全コントローラの応用を図ることにした。

次に、本研究では、以上の設計原則に基づいて、製品の搬入・搬出のための開口部を対象とした識別システムについて検討した。その結果、このような開口部では、少なくとも①アルミサッシのような立体的形状を持つ物体、②シートのような平面的形状を持つ物体、③鉄・アルミなどの金属物体の識別システムが必要であることが判明した。そこで、この検討結果を基に、Table 1に示す装置やシステムの開発を行った。このうち、本報では、アルミサッシのように立体的形状を持つ物体と人体の識別を目的としたフェールセーフなブランキングシステム<sup>2)</sup>の開発と評価について報告する。

## 2. ブランキングの定義と既存設備の問題点

「ブランキング」とは、光線式安全装置の特定光軸「位置」の無効化に関連した用語である。この機能を応用して作業者の安全を確保するシステムが「ブランキングシステム」である。これは、材料や製品など（以下、総じて「製品」または「物体」と呼ぶことがある）によって遮光された光軸があらかじめ設定した位置の

ときに限って機械の運転を可能とさせ、それ以外のときは機械を停止させる機能を持つ。

このシステムは、既にプレス機械の災害防止対策などに導入されたことがある。しかし、従来のブランキングシステムは、作業者が無効化すべき光軸（以下「ブランキング光軸」と呼ぶ）をスイッチ操作によって個別に設定したり、あらかじめROMにブランキング光軸を書き込んでおく方式であった。

このため、1ロットの製品数がきわめて少なく、かつ品種の数がきわめて多いものでは、品種が変更となる毎にスイッチの操作やROMの交換によってブランキング光軸の変更が必要であった。これは、作業者にとって相当面倒な作業となる。

そこで、製品の品種を変更したときは、作業者がスイッチ操作を行うだけでブランキング光軸を自動的に教示できるシステムを開発した。以後、これを「教示機能を備えたブランキングシステム」と呼ぶ。

また、製品が立体形状のものである場合、製品の上下及び左右のいずれの方向から人体が進入した場合でも機械を停止できなければならない。そこで、この問題を解決するために、光線式安全装置を上下及び左右の両方向に備えた一体形のブランキングシステムを開発した。以後、このシステムを「二次元ブランキングシステム」と呼ぶ。

## 3. 本研究で提案するブランキングシステム

### 3.1 基本構成

Fig. 1に、本研究で提案する教示機能を備えた二次元ブランキングシステムの基本構成図を示す。

このシステムは、次の要素から構成される。

#### 1) 光線式安全装置

ブランキング機能を備えた透過形の光線式安全装置であり、上下方向及び左右方向に対向して設置する。

#### 2) 切換スイッチ

作業者が、教示モードと運転モードを切り換えるためのスイッチである。

#### 3) 操作装置

作業者が、教示命令及び運転命令を与える装置である。手で操作するボタン類だけでなく、足で操作するフートスイッチを使用してもよい。

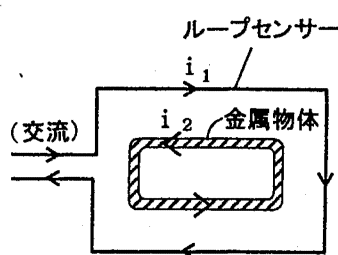
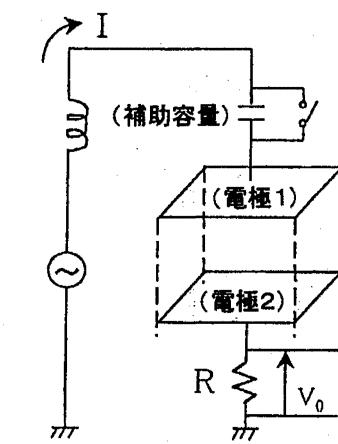
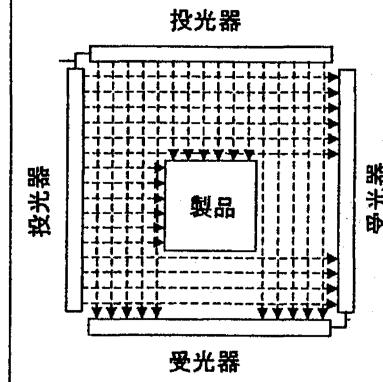
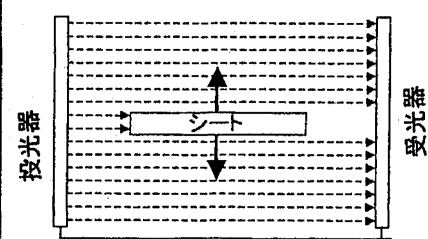
#### 4) 記憶装置

教示命令発生時に遮光された光軸（ブランキング光軸）を記憶する装置である。

#### 5) 比較装置

運転命令発生時の各光軸の遮光状態と、記憶装

Table 1 Discrimination systems between human bodies and objects developed in this study.  
開発した人体と物体の識別システム

項目	(a) ポテンシャル極大原理に基づくループセンサー	(b) 正常確認機能を備えた静電容量センサー	(c) ブランキング機能を備えた光線式安全装置	(d) フローティング機能を備えた光線式安全装置
目的	金属の識別	誘電体（人体）の識別	人体と立体的形状を持つ物体の識別	人体と平面的形状を持つ物体の識別
構造				
検出原理	金属接近時に渦電流が発生し、インダクタンスが変化する。	人体進入時にセンサーの静電容量が変化する。	人体進入時に、光軸の遮光状態が正常パターンからずれる。	人体進入時に、遮光光軸数が所定の値からずれる。
故障対策	安全を高エネルギー状態、危険と故障を基底エネルギー状態に割り当てることにより、危険時だけでなく故障時もセンサー出力が必ずオフとなる。	人体検出用の静電容量センサーと直列に補助容量を設けて、補助容量を定期的にオン/オフすることで、装置の正常性を確認する。	異種冗長化と自動監視を備えた汎用安全コントローラを使用。	

注1) ポテンシャル極大の原理に基づくセンサーとは、安全であるときにセンサー出力が極大になるものをいう。

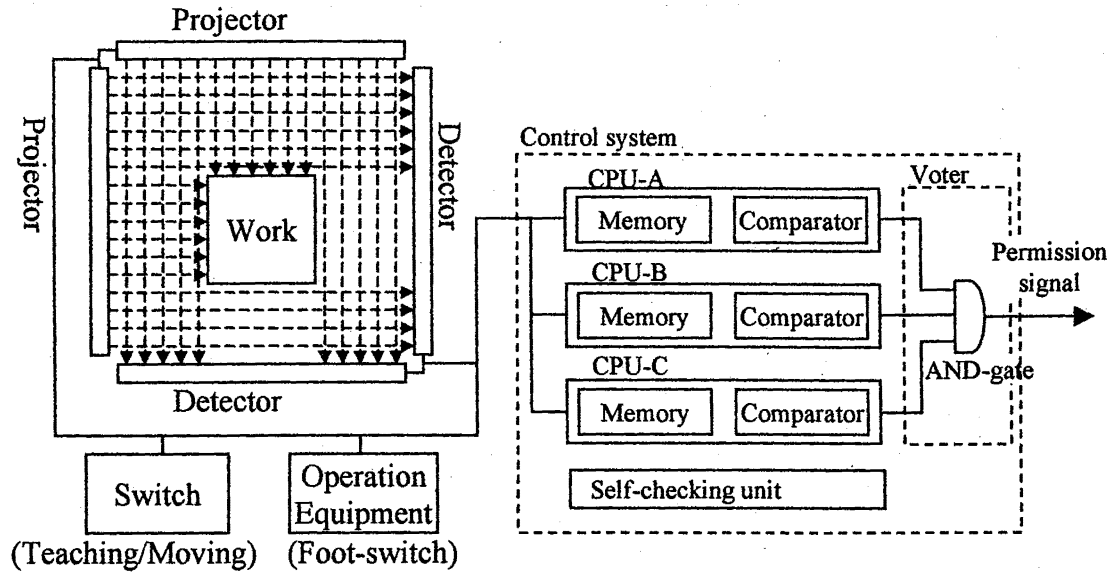


Fig. 1 The basic configuration of the blanking system.  
ブランキングシステムの基本構成

置に記憶されたブランキング光軸を比較する装置である。

6) 判定装置

教示命令発生時と運転命令発生時における各光軸の遮光状態が一致しているときに、運転許可信号を出力する装置である。

3.2 操作手順

以下、製品の搬入・搬出のために設けられている開口部にブランキングシステムを適用した場合の操作手順を説明する。このシステムでは、作業者は最初に切換スイッチを教示モードに切り換えた後、製品を開口部の正規の位置にセットし、スイッチを操作して(教示命令)、ブランキング光軸を記憶装置に記憶させる。

次に、切換スイッチを運転モードに切り換えた後、スイッチを操作して、機械の運転を開始させる(運転命令)。このとき、光線式安全装置の検知領域内に人体が進入していると、ブランキング光軸以外の光軸が遮光されるために、機械は運転を開始しない。また、製品の位置がずれたときや、異なる品種の製品を誤って挿入したときは、ブランキング光軸以外の光軸が遮光されたり、ブランキング光軸が通光となったりするために機械は運転を開始しない。

以上のような構成であるために、製品の品種が非常に多い場合でも、品種が変更となる毎に光軸記憶用のスイッチの操作やROM交換によってブランキング光軸を変更する必要のない教示システムを実現できる。

4. フェールセーフな教示機能を備えたシステム

前章で述べたシステムを構成する場合、プログラマブル・コントローラ(以下「PLC」と略す)を用いてブランキング光軸の教示を行うと都合がよい。しかし、従来のPLCでは記憶装置の制御がフェールセーフでないために、故障時に誤って運転許可信号を発生するという問題があった。また、記憶装置以外のハードウェアに故障が発生したり、制御プログラム(ソフトウェア)にバグが含まれていたりしたときでも、誤った運転許可信号を発生するという問題があった。

そこで、本研究では、異種のソフトウェアとハードウェアを持つCPUの多重化(異種冗長化<sup>1)</sup>。異なる種類のCPUによる冗長化を言う)を行い、これらの多重化されたCPUの演算結果がすべて一致するときに限って運転許可信号を出力し、この問題の解決を図った。これが、フェールセーフな教示機能を備えた二次元ブランキングシステムである。

このシステムは、Fig. 1に示すように異種冗長化された3種類のCPU及び自動監視装置<sup>1)</sup>(システムに故障が発生していないことを定期的かつ自動的に監視する装置)を備えており、CPUの演算結果がすべて同一であるときに限って運転許可信号を出力する。

この3種類のCPUはハードウェア構造が異なっているために、3種類のCPUが同時にハードウェア故障を起こす可能性はきわめて少ない。また、各CPU上で処理されるソフトウェアも異なっているために、ソフトウェアのバグ(誤り)によって誤って運転許可信号が

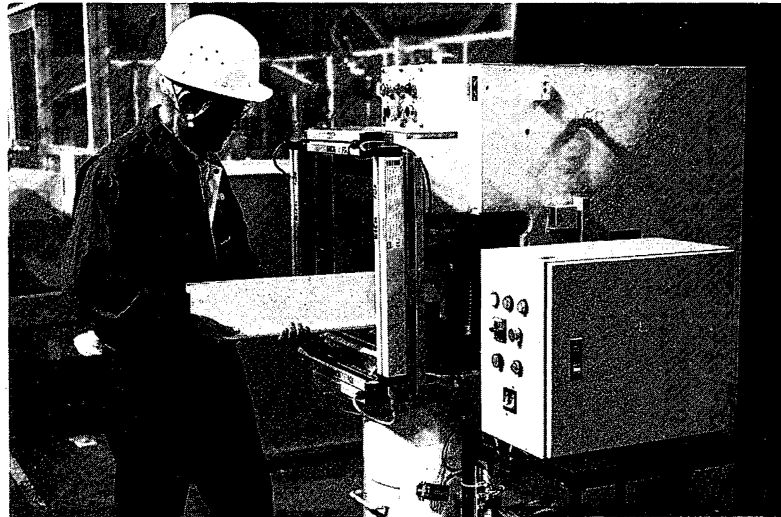


Photo 1 The appearance of two dimensions blanking system.  
二次元ブランキングシステムの外観

出力される可能性もきわめて少ない。さらに、汎用 PLC を使用したシステムでは、メモリの異常による誤動作が問題となるが、本システムでは個々の CPU 毎に多重化してメモリを持つとともに、自動監視装置によって、システムの始動時及び運用時に、定期的に全メモリの同一性を確認している。

以上のように、本システムでは、CPU のハードウェア、ソフトウェア、メモリ等の異常や故障に対しても、誤って運転許可信号を出力しないフェールセーフなブランキングシステムを実現できる。

## 5. 実験装置及び実験方法

### 5.1 実験装置

Photo 1 に、本研究で使用した実験装置の外観を示す。実験に使用した光線式安全装置は、ドイツ・ジック社製の FGS450 シリーズ（左右方向）と 300 シリーズ（上下方向）で、前者は防護高さ 450 mm、後者は 300 mm である。また、光軸間隔は 7.5 mm、連続遮光幅（補足 3 参照）は 14 mm である。

PLC にはドイツ・ピルツ社製の安全コントローラ PSS3032 を使用した。これは、CPU を異種三重化するとともに、各 CPU 毎に自動監視装置を設けたものである。これによって安全リレーを介することなくコンタクタを直接制御している。

### 5.2 実験方法

#### 1) 検知空間における最小検出径の計測実験

この実験では、作業者の指を模擬した丸棒で Fig. 1 に示す検知空間の全域を走査し、このときにすべての光軸を完全に遮光できる丸棒の最小径（以下「最小検

Table 2 Shape and length of standard materials.  
標準部材の形状と長さ

Type	Section size (mm)	Length (mm)
Square bar	10 × 10, 20 × 20, 30 × 30, 40 × 40, 50 × 50, 60 × 60, 70 × 70, 80 × 80, 90 × 90, 100 × 100	200
Round bar	10φ, 20φ, 30φ, 40φ, 50φ, 60φ, 70φ, 80φ, 90φ, 100φ	200
Triangle bar of right angled isosceles	10 × 10, 20 × 20, 30 × 30, 40 × 40, 50 × 50, 60 × 60, 70 × 70, 80 × 80, 90 × 90, 100 × 100	200
Square bar with the projection	square bar 40 × 40 projection 10, 20, 30, 40, 50	200

出径」と呼ぶ)を計測する。また、上下、左右のいずれか一方の光線式安全装置を無効にして、他方の光線式安全装置の最小検出径を同様の方法で計測する。

#### 2) 角棒表面での最小検出径の計測実験

この実験では、製品を模擬した標準部材として Table 2 に示す 10 種類の角棒（正方形）を使用し、この角棒の表面に作業者の指を模擬した丸棒を滑らせていったときの最小検出径を計測する。

ここでは、丸棒が角棒の表面に密着しているときだけでなく、丸棒と角棒の間に 1~2 mm の隙間がある

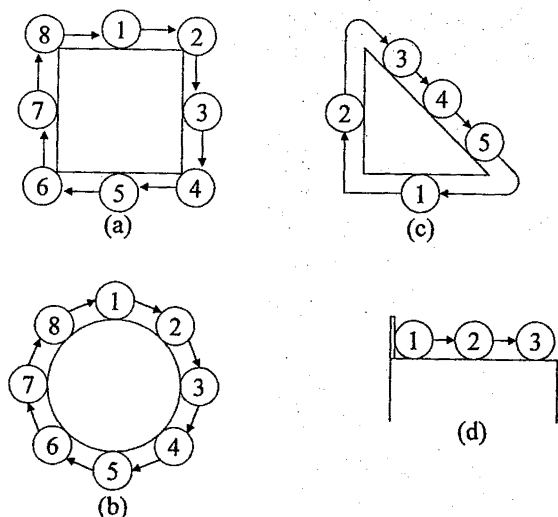


Fig. 2 Experimental conditions.  
実験条件

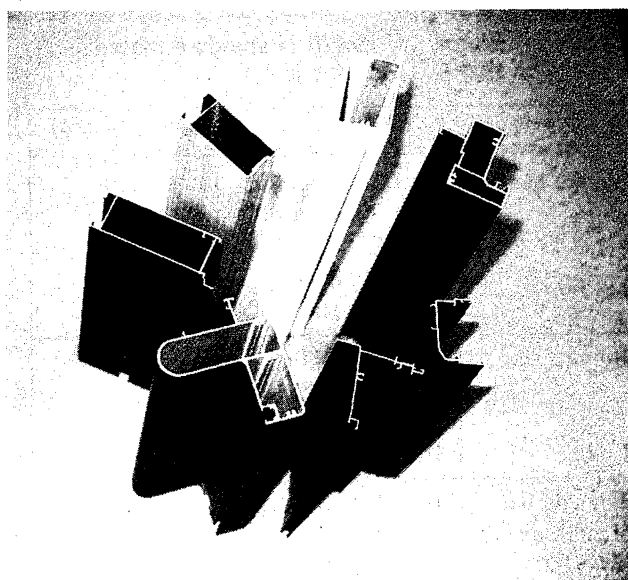


Photo 2 The shape of aluminum sashes.  
アルミニウムサッシの外観

場合（通常、手指が進入するときは、この状態となる）も併せて計測する。Fig. 2(a) に実験状況を示す。

製品を模擬した角棒は、黒色のポリアセタール樹脂で製作した。また、作業者の指を模擬した丸棒も同様の材質とした。ただし、丸棒の径は 3 mm から 100 mm まで 1 mm 単位のものを準備し、長さは 200 mm としている。

### 3) 丸棒表面での最小検出径の計測実験

この実験では、製品を模擬した標準部材として Table 2 に示す 10 種類の丸棒を使用し、この部材の表面に作業者の指を模擬した丸棒を滑らせていったときの最小検出径を計測する (Fig. 2(b) 参照)。

### 4) 三角棒表面での最小検出径の計測実験

この実験では、加工物を模擬した標準部材として Table 2 に示す 10 種類の三角棒（直角二等辺三角形）を使用し、この部材の表面 (Fig. 2(c) の③, ④, ⑤面) に作業者の指を模擬した丸棒を滑らせていったときの最小検出径を計測する。

### 5) 突出部付き角棒の表面での最小検出径の計測実験

この実験では、加工物を模擬した標準部材として Table 2 に示す 5 種類の突出部付き角棒（厚さ 0.7 mm の黒色アクリル板を突出させた一辺 40 mm の角棒）を使用し、この部材の表面 (Fig. 2(d) の①, ②, ③面) に作業者の指を模擬した丸棒を滑らせていったときの最小検出径を計測する。

### 6) アルミサッシ材表面での人体検出実験

この実験では、三次元の立体形状を持つ製品の代表例として、YKK 株式会社が製作したアルミサッシの中から標準的な形状のもの 4 種類 (Fig. 8 の (a)~(d))、及びサッシの中に手指が埋まる特殊な形状のもの 3 種類 (Fig. 8 の (e)~(g)) の合計 7 種類を選択した。

実験では、サッシ表面での最小検出径及び何本の指を挿入したら人体が検出できたかを計測する。ただし、指の挿入順序は人差指、中指、薬指、小指、親指の順で、最大で手のひらの付け根まで挿入する。Photo 2 及び Fig. 8 に実験に使用したサッシの形状を示す。

### 7) 標準部材及びサッシの位置ずれに関する実験

この実験では、①角棒（一辺 40 mm）、②丸棒（40φ）、及び③標準形状のサッシ (Fig. 8 の (a)~(d)) を使用して、上下及び左右方向にどれだけ位置ずれが生じたときに運転許可信号が停止するかを確認する。

### 8) 意図的または誤った教示に関する実験

この実験では、①意図的に人体の形状を教示した場合、②誤って人体と加工物を一緒に教示した場合、及び③加工物の品種変更時に教示を忘れた場合に、誤って運転許可信号が発生しないかを確認する。

## 6. 理論値の推定

実験を行うにあたっては、まず丸棒の最小検出径の理論値を明確にしておく必要がある。以下、各実験毎に最小検出径の理論値を推定する。

### 1) 検知空間における最小検出径の理論値

この実験では、光線式安全装置の連続遮光幅の公称値 14 mm を検知空間の最小検出径の理論値と仮定した。安全装置の一方を無効とした場合も同様である。

### 2) 角棒表面での最小検出径の理論値

この実験では、丸棒が角棒の平面部分 (Fig. 2(a) の①, ③, ⑤, ⑦の部分) を滑っているときは、死角は生じない。そこで、この場合は安全装置の連続遮光幅の公称値 14 mm を最小検出径の理論値とした。

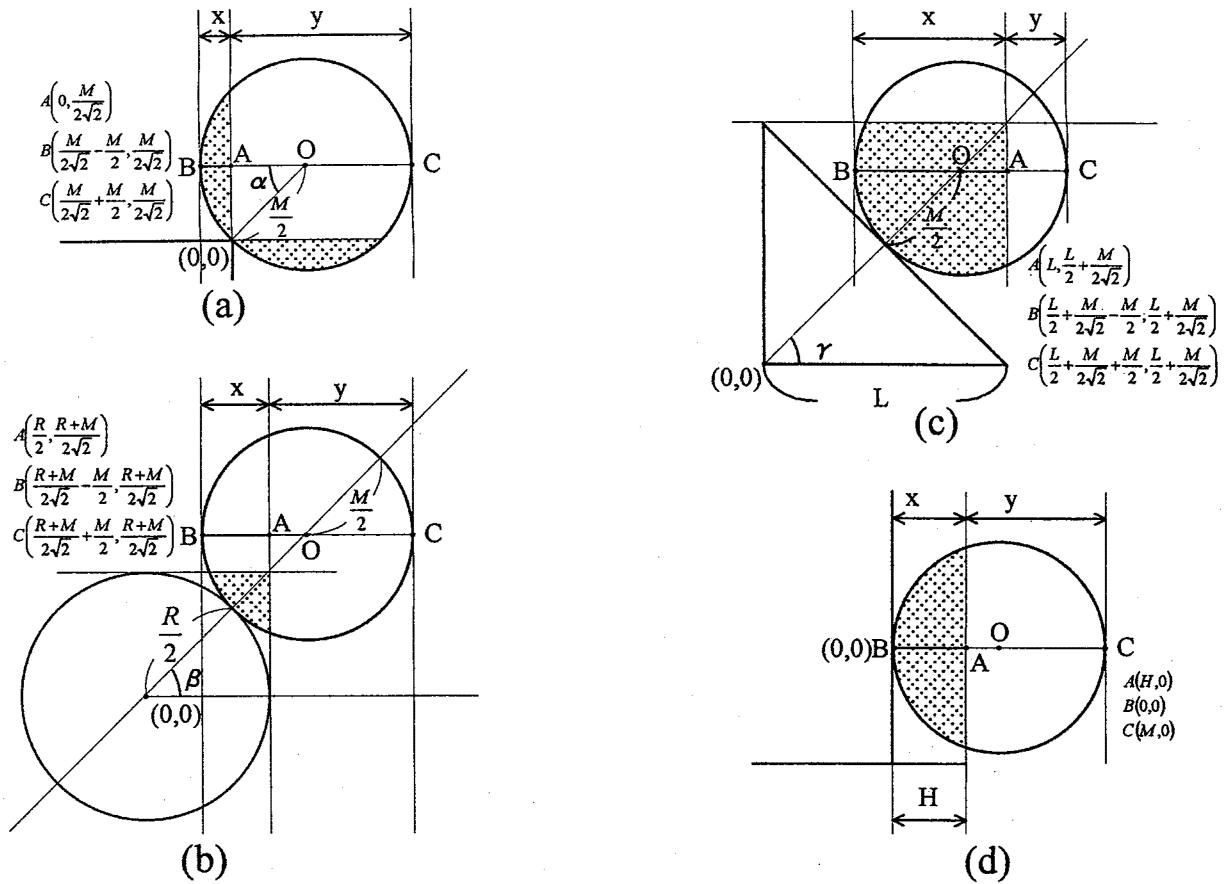


Fig. 3 The theoretical values of the smallest detection diameter.  
最小検出径の理論値

一方、丸棒が角棒のコーナー部 (Fig. 2(a) の②, ④, ⑥, ⑧の部分) を滑っているときは、Fig. 3(a) に示す斜線の部分が死角となる。この死角は、Fig. 3(a) の角度  $\alpha$  が 45 度のとき最大となる。そこで、 $\alpha = 45$  度のとき最小検出径が最大になると仮定した。

ここで、Fig. 3 の線分 AB の長さを  $x$ 、線分 AC の長さを  $y$ 、丸棒の最小検出径を  $M$ 、光線式安全装置の連続遮光幅を  $\phi_M$  とすると、これらの関係は

$$x + y = M \quad (1)$$

$$y = \phi_M \quad (2)$$

$$x = 0.15M \quad (3)$$

となるから、最小検出径  $M$  は次式となる。

$$M = 1.18\phi_M \quad (4)$$

以上の式に  $\phi_M = 14$  mm を代入し、 $M = 17$  mm を最小検出径の理論値とした。

### 3) 丸棒表面での最小検出径の理論値

この実験では、Fig. 3(b) に示す斜線の部分が死角となる。この死角は、Fig. 3(b) の角度  $\beta$  が 45 度のと

きに最大となる。そこで、 $\beta = 45$  度のときに最小検出径が最大になると仮定した。

ここで、Fig. 3(b) の線分 AB の長さを  $x$ 、線分 AC の長さを  $y$ 、長尺物を模擬した丸棒の直径を  $R$ 、指を模擬した丸棒の最小検出径を  $M$ 、光線式安全装置の連続遮光幅を  $\phi_M$  とすると、これらの関係は

$$x + y = M \quad (5)$$

$$y = \phi_M \quad (6)$$

$$x = 0.15(m + R) \quad (7)$$

となるから、最小検出径  $M$  は次式となる。

$$M = (0.15R + \phi_M)/0.85 \quad (8)$$

以上の式に  $\phi_M = 14$  mm を代入し、最小検出径の理論値を推定した。

### 4) 三角棒表面での最小検出径の理論値

この実験では、Fig. 3(c) に示す斜線の部分が死角となる。この死角は、Fig. 3(c) の角度  $\gamma$  が 45 度のとき最大となる。そこで、 $\gamma = 45$  度のときに最小検出径が最大になると仮定した。

ここで、Fig. 3(c) の線分 AB の長さを  $x$ ，線分 AC の長さを  $y$ ，二等辺三角形の相等しい一辺の長さを  $L$ ，丸棒の最小検出径を  $M$ ，光線式安全装置の連続遮光幅を  $\phi_M$  とすると、これらの関係は

$$x + y = M \quad (9)$$

$$y = \phi_M \quad (10)$$

$$x = 0.5L + 0.15M \quad (11)$$

となるから、最小検出径  $M$  は次式となる。

$$M = (0.5L + \phi_M) / 0.85 \quad (12)$$

以上の式に  $\phi_M = 14 \text{ mm}$  を代入し、最小検出径の理論値を推定した。

### 5) 突出部付き角棒の表面での最小検出径の理論値

この実験では、Fig. 3(d) に示す斜線の部分が死角となる。ここで、Fig. 3(d) の線分 AB の長さを  $x$ ，線分 AC の長さを  $y$ ，突出部分の高さを  $H$ ，丸棒の最小検出径を  $M$ ，光線式安全装置の連続遮光幅を  $\phi_M$  とすると、これらの関係は

$$x + y = M \quad (13)$$

$$y = \phi_M \quad (14)$$

$$x = H \quad (15)$$

となるから、最小検出径  $M$  は次式となる。

$$M = H + \phi_M \quad (16)$$

以上の式に  $\phi_M = 14 \text{ mm}$  を代入し、最小検出径の理論値を推定した。

## 7. 実験結果と考察

### 7.1 実験結果

#### 1) 検知空間の最小検出径

実験の結果、実際の検知空間の最小検出径は  $13 \text{ mm}$  であった。また、光線式安全装置の個別の最小検出径は上下、左右ともに  $13 \text{ mm}$  であった。これらはいずれも理論値の範囲内である。

#### 2) 角棒表面での最小検出径

Fig. 4 に実験結果を示す。図で、内側の数値は角棒表面に丸棒を密着させたときの実測値、外側の数値は角棒と丸棒の間に  $1 \sim 2 \text{ mm}$  の隙間を設けた場合の実測値である。ここでは、角棒の一辺が  $40 \text{ mm}$  の場合の結果を示したが、他も同様であった。

予想に反して、角棒の平面部分とコーナー部分の最小検出径に有意な差はなかった。また、丸棒と角棒の

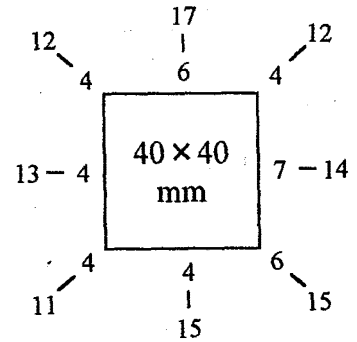


Fig. 4 The measured value of the smallest detection diameter in the surface of square bars.  
角棒表面での最小検出径の実測値

間に  $1 \sim 2 \text{ mm}$  程度の隙間を設けた場合の最小検出径は、最大で  $17 \text{ mm}$  と理論値の  $14 \text{ mm}$  を越える場合があった。これらの理由は考察で述べる。

なお、数値にばらつきがあるのは光軸間隔の  $7.5 \text{ mm}$  毎に光の強弱が変化するためである。

#### 3) 丸棒表面での最小検出径

Fig. 5 に実験結果を示す。予想通り、最小検出径は  $\beta = 45$  度のとき最大となった。この値は、(8) 式に示す理論値の範囲内であった。また、丸棒と丸棒の間に  $1 \sim 2 \text{ mm}$  程度の隙間を設けた場合の実測値も (8) 式に示す理論値の範囲内であった。

#### 4) 三角棒表面での最小検出径

Fig. 6 に実験結果を示す。予想通り、最小検出径は、 $\gamma = 45$  度のときに最大となった。この値は、(12) 式に示す理論値の範囲内であった。また、丸棒と三角棒の間に  $1 \sim 2 \text{ mm}$  程度の隙間を設けた場合の実測値も理論値の範囲内であった。

#### 5) 突出部分付き角棒での最小検出径

Fig. 7 に、実験結果を示す。予想通り、丸棒の最小検出径は (16) 式に示す理論値の範囲内であった。また、丸棒と角棒の間に  $1 \sim 2 \text{ mm}$  程度の隙間を設けた場合の実測値も理論値の範囲内であった。

#### 6) アルミサッシ材の表面における人体検出実験

Fig. 8 に実験結果を示す。図で、左側の数値は最小検出径で、右側の○印内の数値は何本の指を挿入したら人体が検出できたかを示す。図より、L 字状や U 字状のサッシでは手指が隠れるため、人体を検出しにくいことが分かる。

#### 7) 標準部材及びサッシの位置ずれに関する実験結果

Table 3 に、部材が位置ずれを起こしたときに、運転許可信号が停止する最小のずれ (単位  $\text{mm}$ ) を示す。表より、部材やサッシの形状によらず、 $1 \sim 2 \text{ mm}$  のずれだけで運転許可信号が停止することが分かる。



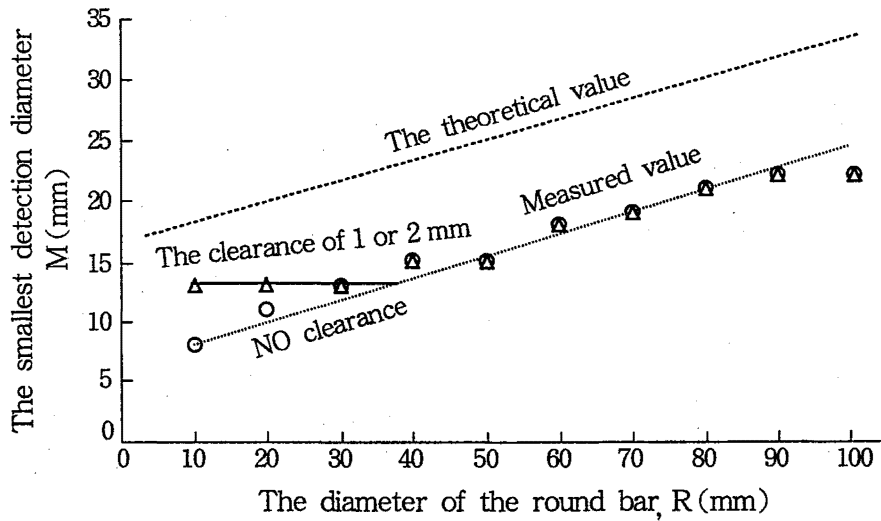


Fig. 5 The measured values of the smallest detection diameter in the surface of round bars.  
丸棒表面での最小検出径の実測値

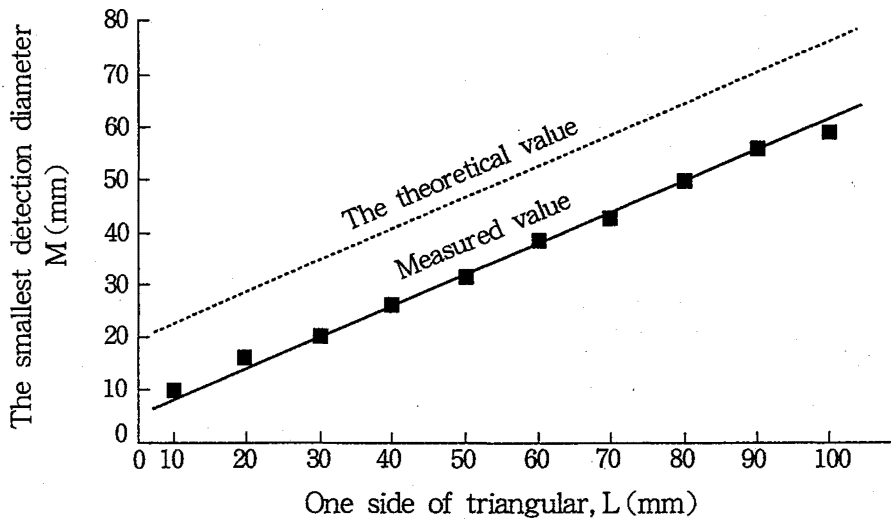


Fig. 6 The measured values of the smallest detection diameter in the surface of triangular rods.  
三角棒表面での最小検出径の実測値

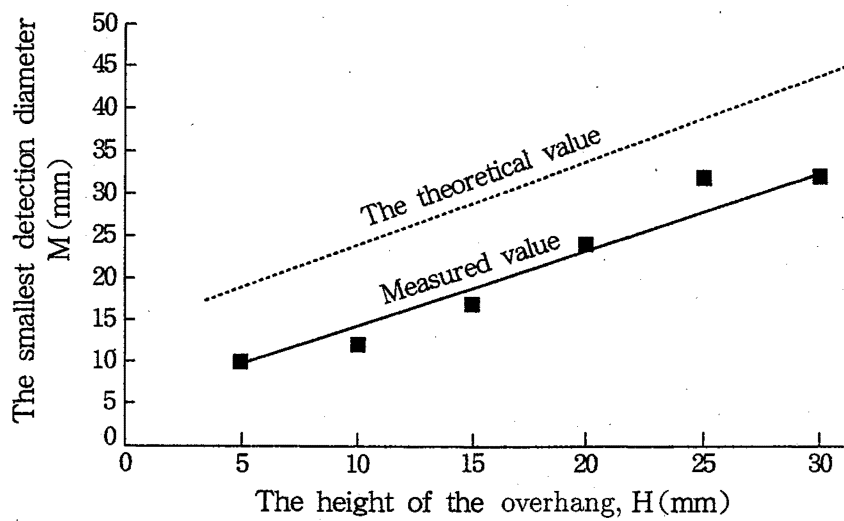


Fig. 7 The measured values of the smallest detection diameter in the surface of square bars with overhang.  
突出部分付き角棒での最小検出径の実測値

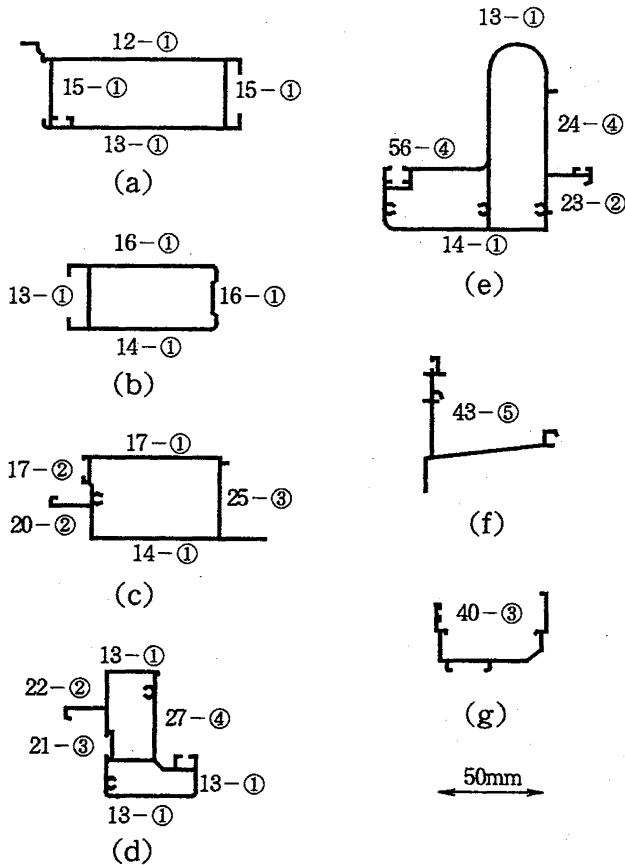


Fig. 8 The measured value of the smallest detection diameter in the surface of aluminum sashes.  
アルミサッシ表面での最小検出径の実測値

Table 3 The effect by the movement of the position.  
位置ずれの影響

Type		Crosswise (mm)	Horizontal (mm)
Square bar	40 × 40 mm	2	2
Round bar	40φ	2	2
Aluminum sashes	(a)	1	2
	(b)~(d)	2	2

8) 誤ったまたは意図的な教示に関する実験結果

Table 4 に、意図的に人体の形状を教示したときなどの運転許可信号の発生状況を示す。表より、意図的に人体を教示した場合でもその後には人体が 1~2 mm 程度の位置ずれを起こせば運転許可信号は発生しないことが分かる。一方、教示の後に人体のずれが全く起こらないようにして運転許可信号を発生させることも、何回かの練習の後には可能となった。したがって、この問題に対する適切な対策を講じる必要がある。

Table 4 Experimental results by error or intentional teaching.  
誤ったまたは意図的な教示の実験結果

Type of the teaching	The experimental result
The shape of the human body was intentionary taught.	The operating permission signal did not arise when the human body shifted at least about 2mm.
The shape of the human body and the material were simultaneously taught by mistake.	The operating permission signal arised when the human body did not shift at ll.
The teaching shape of the material was forgotten.	The operating permission signal did not arise.

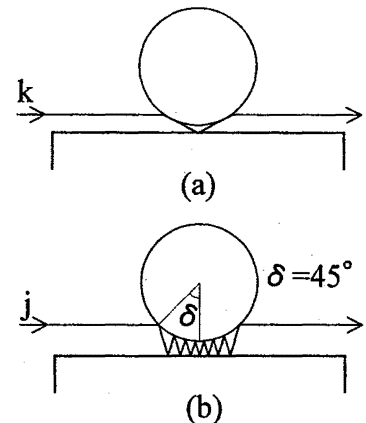


Fig. 9 The reflection on the surface of square bar.  
角棒表面での反射

7.2 考 察

1) 仮説と実験結果の不一致について

実験では、丸棒と角棒の間に 1~2 mm 程度の隙間を設けたときの最小検出径が理論値を 3 mm ほど越える場合があった。これは、Fig. 9(a) に示すように光線が隙間の間を反射しながら受光器に到達するためと考えられる。このことを確認するため、反射率の低い木材や艶消し材を吹き付けた角材 (Fig. 4 と同一のもの。実験の結果、最小検出径は 14 mm となった) を用いて同様の実験を行ったところ、実測値は理論値の範囲内に収まった。このことから、角棒表面での光の反射がこの現象に寄与していると推察される。

ここで、反射が起こる限界の光軸の反射位置は Fig. 9(b) の光軸 j (図の  $\delta = 45$  度で反射する光軸) と考えられる。そこで、この光軸までは受光器に到達すると仮定し、理論値 M の再計算を行うと次式となる。

$$M = 1.18 \phi_M \tag{17}$$

(17)式は、(4)式と同一であり、これが角棒の平面部分とコーナー部分の最小検出径に有意な差が生じない理由と考えられる。

#### 2) 最小検出径の最悪値評価

安全に関する実験では、「少なくともこれ以上悪い値にはならない」という最悪値評価が必要である。実験より、標準部材の最小検出径は、加工物と人体の間に1~2 mm 程度の隙間を設けたときに最悪値となることが判明した。また、加工物が角棒である場合は、角棒の表面で反射が起こるため、最小検出径は(17)式によることが判明した。さらに、加工物が丸棒、三角棒、突出部分付き角棒である場合は、一部死角となる部分ができるために、最小検出径は(8)、(12)、(16)式によることが判明した。これらは、いずれも連続遮光幅より大きな値であり、単純に最小検出径を連続遮光幅で評価してはならないことを示している。

#### 3) 人体検出が不可能な場合の対策

実験では、①意図的に人体の形状を教示した場合、②人体と加工物を誤って一緒に教示した場合、及び③L字状やU字状のサッシに人体を挿入した場合は、人体検出が不可能なときがあった。そこで加工物と人体を識別できるループセンサーの設置を考えた。しかし、加工物が非金属であったり、人体と加工物が一緒に教示されたりすると、この対策は有効でなかった。現在、この問題に対しては作業管理の徹底以外に有効な対策がなく、技術的解決策の提案が今後の課題である。

#### 4) サッシの位置ずれ対策

YKK 側で実際の加工実験を行ったところ、加工材の僅かなずれによってもスライドが停止し、復帰操作が煩雑になるという問題が発生した。これは、加工物に隣接する1光軸の無効化によって改善可能と考えられる。ただし、この場合、連続遮光幅が14 mm よりも大きくなるので、これに基づく検知特性の再評価が必要である。

### 8. システムの総合評価と今後の課題

本研究では、開発したシステムを国内外の専門家によって評価した。この評価では、ドイツの認証機関であるBIA、ドイツの安全機器メーカーであるジック社及びピルツ社、YKK、理研オプティック、安全技術を専門とする技術士、労働安全コンサルタント、見学のために当所を来訪した多数の専門家などの協力を得た。

この評価結果で特に注目すべきことは、我が国で現場のプレス作業を管理する安全担当者の多くが、本システムの早急な実用化を要望したことである。これは、特に長尺物を対象としたプレス作業の場合、両手操作式と光線式の安全装置の使用が現状では不可能であり、

安全装置を無効としたまま作業をせざるを得ない実態があるためと考えられる。

一方、ドイツの認証機関の技術専門家からは、「本システムの導入にあたっては、加工物の寸法に制限を加えるべきである」との指摘があった。これは、あまり大きな加工物まで対象とすると、加工物の死角に人体が隠れてしまい、災害が起きるおそれがあるからである。しかし、どの程度の加工物なら許容できるかは現在欧州でもIEC62046<sup>3)</sup>の作成過程で検討中の事項であり(補足4参照)、むしろ当所からIECの場に積極的に提案して欲しいとの要望があった。

また、現場作業者からは、既に考察の4)に示した隣接一光軸の無効化機能がないと、実用的なシステムにならないとの指摘があった。しかし、一方では、この方策によって手指等の検出が困難になることを危惧する意見もあるため、今後はこの両方の意見を考慮した検討が必要と考えられる。

### 9. おわりに

大規模生産システムでは、人体と物体が混在しながら作業を行う場所が数多く存在する。このような場所では、材料や製品などが存在するときは機械の運転を可能とするが、人体が存在するときは機械の運転を停止させる人体と物体の識別システムが必要である。

そこで、本研究では、このような装置の一実施事例として、光線式安全装置の光軸の一部が遮光された場合でも、所定の物体が進入しているときに限って機械の運転を許可するブランキングシステムを開発した。これによって得られた成果は次の通りである。

- 1) 異種冗長化と自動監視を備えた汎用安全コントローラを用いて、フェールセーフな教示機能を備えたブランキングシステムを実現した。
  - 2) 最小検出径は、人体と物体の間に1~2 mmの隙間を設けたときに最悪値となることが判明した。
  - 3) 物体が角棒の場合は、角棒の表面で反射が起こるため、最小検出径は連続遮光幅の1.18倍となることが判明した。
  - 4) 物体が丸棒、三角棒、突出部分付き角棒の場合は、一部死角となる部分ができるために、最小検出径は単純に連続遮光幅とはならず、それぞれ(8)、(12)、(16)式によって評価しなければならないことが判明した。
  - 5) 意図的に人体の形状を教示した場合、誤って人体と長尺物を一緒に教示した場合、及びL字状やU字状のサッシの内部に人体が進入した場合には、人体検出が不可能なときがあることが判明した。
- 以上の結果は、現在IEC62046で検討中のブランキ

ングシステムの安全上の要件などにも反映できると考えられる。今後は、国際的な動向も踏まえた上で、本システムの実用化と規格への反映を進めていく予定である。

#### 参考文献

- 1) 梅崎重夫・中村英夫・杉本 旭, 産業機械の安全方策に関する基礎的考察, 日本信頼性学会誌, Vol.23, No.7 (2001), pp.659-675.
- 2) 梅崎重夫・清水尚憲他, フェールセーフな教示機能を備えたブランキングシステムの開発, 日本機械学会山梨講演会 (1999), pp.45-46.
- 3) Draft IEC62046, Application of presence sensing protective equipment to machinery, (2001).

#### [補足 1]

一般的な人体と物体の識別システムは、人体自身を検出して機械を停止させる方式である。しかし、この方式では、人体の検出に失敗した場合は、直ちに重大な災害を引き起こしかねない。

そこで、本研究では、人体と物体が混在する箇所に存在している物体の特徴（形状・材質等）をあらかじめ登録しておき、この登録された物体の存在が確認されたときに限って機械の運転を許可する制御方式を採

用した。

この方式では、仮に人体が存在していなくとも、登録された物体が存在していない場合は機械の運転が停止するために稼働率は低下するという問題がある。このため、想定可能なすべての物体を登録しなければならないという煩雑さはあるが、これによって人体の見逃し率は著しく低くなる。ただし、この方式では、人体と物体が同一領域に同時に存在する場合は人体を見逃すおそれがあるために、この点を考慮した方策が必要となる。

#### [補足 2]

ハードワイヤードな回路とは、電磁リレー、抵抗、コンデンサー、トランジスタ、ダイオード、トランスなどのハード部品だけで構成されている回路をいう。

#### [補足 3]

連続遮光幅とは、一定の直径の丸棒で光線式安全装置の検知空間内を遮光した場合、常に一光軸以上の光軸が遮光できる丸棒の最小直径をいう。

#### [補足 4]

このため、IEC62046 の March 2001 版 では 4.6.12 節の Blanking の項が Under consideration (検討中) となっている。

(平成 14 年 1 月 10 日受理)