

4. 人体と平面的形状を持つ物体の識別を目的とした フローティングシステムの開発と評価*

梅崎重夫**, 清水尚憲**, 小林茂信***, 鷺崎一郎****

4. The Development and Evaluation of the Floating System for the Purpose of Distinguishing between Human Bodies and Objects with the Plane Shape*

by Shigeo UMEZAKI**, Shoken SHIMIZU**,
Shigenobu KOBAYASHI*** and Ichiro WASHIZAKI****

Abstract: This report proposes a new safety system for distinguishing between human bodies and objects with the plane shape. An operator of a rollermill often carries out supplies of sheets and cleaning of the roll continuing actuating the roll. Safety measures by fences or enclosures are difficult to use for such works, because the operator approaches the rollermill very closely. The new safety system was developed to solve these problems.

The developed safety system was called the "floating system". It permits the actuation of the roll only when the blinded light beam number of the photo-electric safety device is less than the set number, otherwise stops the roll. By the development of such a system, following results were obtained in this study:

- (1) The fail-safe floating system was realized by a programmable logic controller with triple redundancy, diversity and the self checking mechanism.
- (2) The developed safety system could be applied for not only the automatic operation of the rollermill but the supply of the sheet or the cleaning of the roll.
- (3) The fail-safe rotational speed monitor and the safety distance monitor were realized by this programmable safety controller.
- (4) The smallest detection diameter M was expressed in $M = bF + \phi_M$, where F is the floating optic axis number, b is the optic axis interval and ϕ_M is the physical resolution(14 mm) of the photo-electric safety device.
- (5) The detection of the human body was possible when the sheet was bent, because the sheet was supported by the operator and the optic axis was obstructed by the human body. The detection of the human body was also possible when the human body was hidden in the blind area of a hand tool, because the blinded optic axis number by the hand tool was larger than the blinded optic axis of the human body.

Keywords; Safety control, Photo-electric safety device, Floating, Rollermill, Fail-safe, Redundancy, Diversity, Self checking, Programmable controller

* 本研究の一部は、第31回安全工学シンポジウム（平成13年7月13日）で発表した。また、日本機械学会論文誌に投稿中である。

** 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

**** 住友化学工業株式会社 Sumitomo Chemical Co., Ltd.

1. はじめに

第3編で述べたブランキングシステムは、主にアルミサッシのような立体的形状の物体と人体の識別を目的としたものであった。しかし、実際の現場では、シートや板材のように平面的形状を持つ物体も数多く存在する。本報では、このような平面的形状を持つ物体と人体の識別を目的としたフローティングシステムの開発と評価について報告する。

なお、本研究では、大規模生産システムを構成する様々な産業用機械に本システムを応用したが、このうちロール機への適用が災害防止上、最も効果的と考えられた。また、筆者らが「機械の包括的安全基準」(平成13年6月1日、基発第501号)の原案を検討する過程で中央労働災害防止協会とともに実施した調査結果によれば、大規模生産システムで最も災害の重篤度の高いのはロール機であった。よって、具体的な実施事例はロール機を例に説明する¹⁾。

2. フローティングの定義

「フローティング」とは、光線式安全装置の光軸「数」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「フローティングシステム」である。これは、材料、製品、工具などによって遮光された光軸数があらかじめ設定された数(以下「フローティング光軸数」と呼ぶ)以下のときに機械の運転を可能とし、それ以外のときは機械を停止させる機能を持つ(Fig. 1 参照)。

また、Fig. 2 のように複数の物体によって光軸が遮光されたときは、図のフローティング開始光軸からフ

ローティング終了光軸までの光軸数が所定の値以内である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。

3. 従来のシステムの問題点と本システムの特徴

上記のようなシステムは、既にプレスブレーキの災害防止対策などに導入されたことがある。しかし、従来のフローティングシステムは無効化すべき光軸の数があらかじめ固定されていたため、板厚やシート厚の異なる様々な平面状物体が混在する場所では、その適用に限界があった。また、このシステムでは安全制御に既存のハードワイヤード(補足1参照)な制御システムを用いているために、通常作業時と保全作業時で安全条件が異なるような複雑なシステムの制御は困難であった。

これに対し、本研究で開発したシステムでは、作業者がスイッチ操作を行うだけでフローティング光軸数を自動的に教示できるため、様々な平面状物体に対応できるという利点を持つ。また、本システムでは後述するように異種冗長化と自動監視機構を備えた汎用安全コントローラを使用しているため、複雑な安全条件の処理を必要とする産業用機械への適用も可能である。

4. ロール機における安全の条件

以下、ロール機を例に具体的な安全条件を考察する。この機械の特徴は、製品の巻き取りなどの通常作業だけでなく、材料の供給や清掃などの危険点近接作業(作業者がロールに近接した状態で、ロールを停止させないで行う作業)が存在することである。そこで、これらの作業毎に以下の対策を実施した(Table 1 参照)。

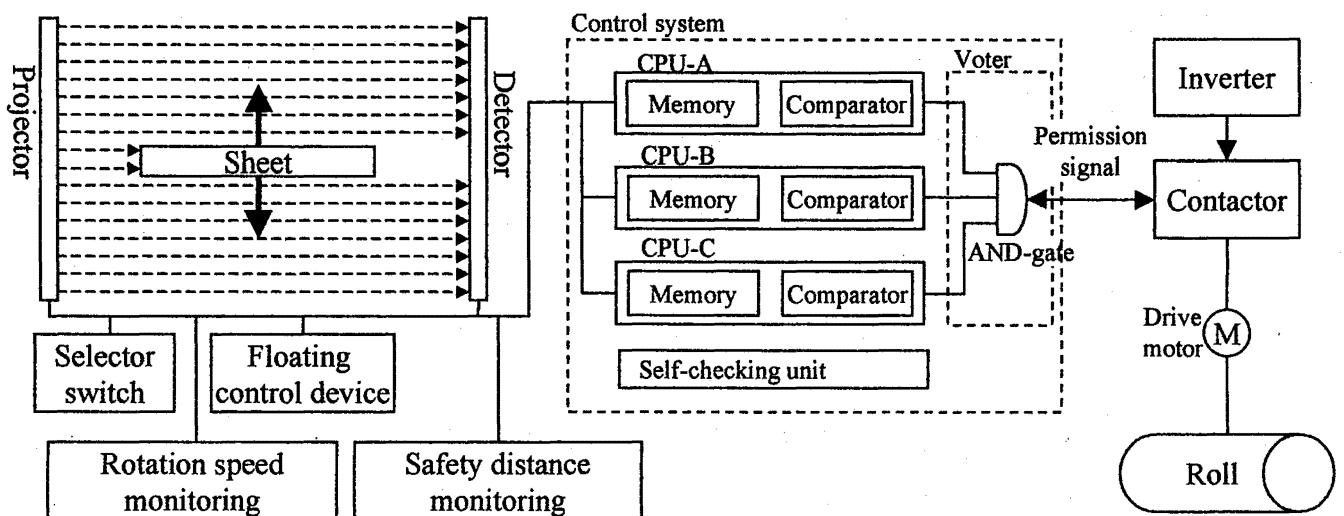


Fig. 1 Safety system for the rollermill with the floating function.
フローティング機能を備えたロール機の安全システム

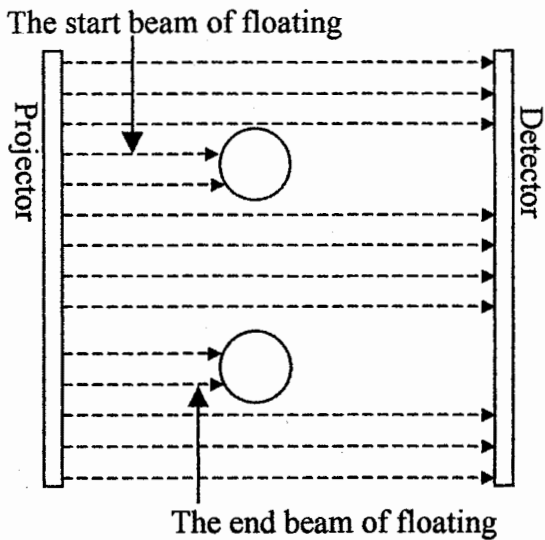


Fig. 2 The shading of the light beams by multiple objects.
複数の物体による光軸の遮光

Table 1 The safe conditions of the rollermill.
ロール機の安全条件

Division	The safe condition			
	The relation between N and F	Safety distance D	Condition of the roll	
Automatic operation	$N \leq F$	$N \leq 1$	$D \geq R$	High speed
Supply of the sheet		$N \leq 1$	$D \geq r$	Low speed
Cleaning of the roll		$N \leq 2$	$D \geq r$	Inversion low speed

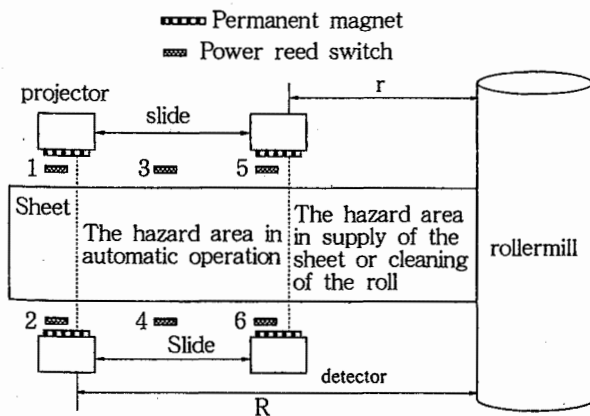


Fig. 3 The safety distances of photo-electric sensor.
光線式安全装置の安全距離

1) 自動運転

この運転モードでは、作業者がロールに接近することなくシートの巻き取りを自動的に行う。そこで、運転中のロールに作業者が不用意に接近したときは直ちにロールを停止できるように、Fig. 3 に示す安全距離 R の位置にフローティング機能を備えた光線式安全装置を設置した。

具体的には、フローティング光軸数 F とシートによる遮光光軸数 N が $N \leq F$ の関係にあるときは、光軸を遮光しているのはシートだけと判断してロールを運転させる。一方、 $N > F$ となったときは、人体が進入したと判断してロールを停止させる。

なお、本システムではシートの傾きやたわみによる光軸の遮光を考慮し、 $N \leq 1$ のときにロールを運転させ、 $N > 1$ のときにロールを停止させる構成とした。

2) シートの供給作業

この運転モードでは、作業者はシートを両手で保持しながら、ロールにきわめて接近した状態でロールを低速にしてシート送りを行う。

具体的には、Fig. 3 に示す安全距離 r の位置に、フローティング機能を備えた光線式安全装置を設置する。これにより、万一シート送りに人体がロールに接近し過ぎたときは、光線が遮光されて直ちにロールが急停止するため、作業者の安全を確保できる。

ここでは、シートの傾きやたわみによる光軸の遮光（後述する Table 2 参照）を考慮し、 $N \leq 1$ のときにロールを運転させ、 $N > 1$ のときにロールを停止させる構成とした。

3) ロールの清掃作業

この運転モードでは、作業者はロールの回転を逆転させた上で、作業者が手工具を使用してロール表面の清掃を行う。ただし、逆転でも作業者がロールと接触した場合は災害となることがある。そこで、フローティング光軸数 F と手工具による遮光光軸数 N が $N > F$ の関係となったときは、手工具以外の物体（即ち人体）がロールに接近したと判断し、ロールを急停止させる。

ここでは、手工具による光軸の遮光（後述する Table 3 参照）を考慮し、 $N \leq 2$ のときにロールを運転させ、 $N > 2$ のときにロールを停止させる構成とした。

5. 安全システムの構成

5.1 基本構成

Fig. 1 に、開発したロール機用安全システムの基本構成を示す。これは、次の要素から構成される。

1) 光線式安全装置

フローティング機能を備えた透過形の光線式安全装

置であり、左右に対向して設置する。

2) 切換スイッチ

作業者が、自動運転、シート送給、ロール清掃の各モードを切り換えるためのスイッチである。

3) 起動・停止ボタン

ロールを起動させ、または停止させるボタンである。

4) 回転速度監視装置

ロールの回転速度と回転方向を監視する装置である。

5) 安全距離監視装置

光線式安全装置の安全距離が所定の値以上であることを監視する装置である。

6) 安全制御機構

Table 1 の条件に従ってロールの運転を制御する。条件を満足するときに運転を許可し、条件が満足でなくなったときは直ちにロールを停止させる。

5.2 安全制御機構

Fig. 4 に、本研究で開発した安全制御機構のロジック構成図を示す。この制御を行う場合、PLC などのプログラマブルな電子制御装置を用いると都合が良い。しか

し、従来の PLC は対称誤り特性²⁾を持つために、PLC の故障時には安全を確保できないという問題があった。

そこで、異種冗長化²⁾と自動監視²⁾を備えたフェールセーフな汎用安全コントローラの活用によって、この問題の解決を図った。具体的には、Fig. 1 に示すように異種の CPU の三重化によってハードウェアを構成する。この異種の CPU 上で、Fig. 4 の処理を行う異種のソフトウェアが稼働する。

5.3 回転速度監視装置

本システムでは、ロールを低速とすべきときに誤って高速としてはならない。このため、ロールの回転速度と回転方向を監視するタコジェネレータ（以下「TG」と略記する）を設け、安全確認を行っている。

この装置では、TG 内部の断線や、TG と PLC を結合する配線の断線、ロールと TG の間を機械的に結合するベルトの切断・脱落などが発生すると、ロールを低速とすべきときに誤って高速とする可能性がある。そこで、次の対策を実施した (Fig. 5 参照)。

- ① TG と直列にオフセット電源 E を接続する。

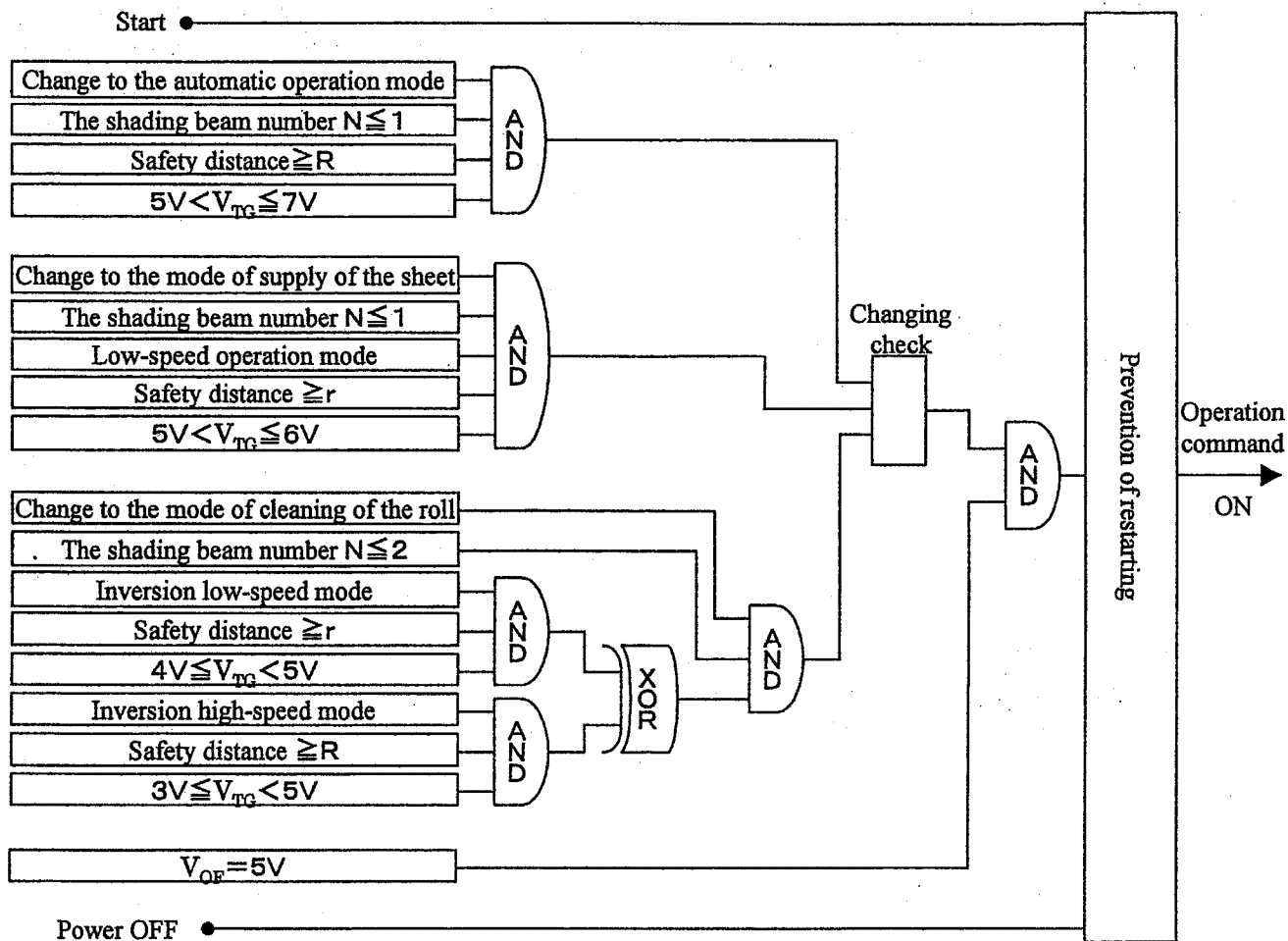


Fig. 4 Logic figure of the safety control mechanism.
安全制御機構のロジック構成図

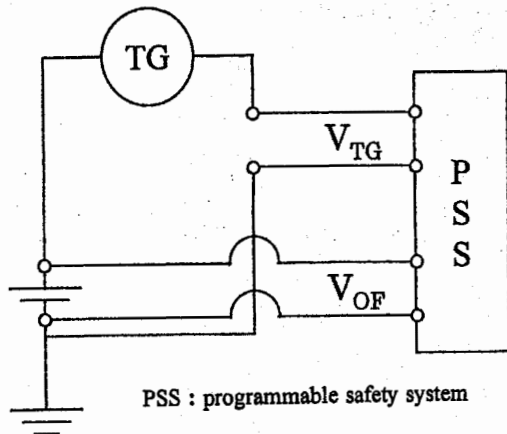


Fig. 5 The composition of the monitor of rotation speed and direction.
回転速度と回転方向の監視装置の構成

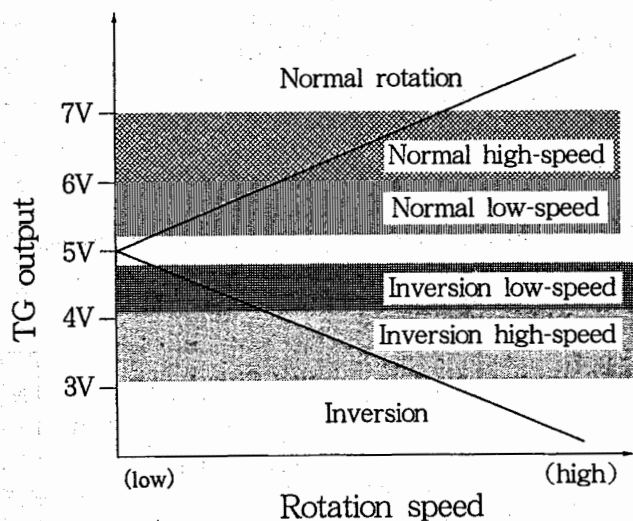


Fig. 6 The monitoring of rotation speed.
回転速度の監視方法

- ② TG 出力電圧 V_{TG} とオフセット電源電圧 V_{OF} の両方を常時監視する。
- ③ ベルトの切断・脱落などがないように、TG の駆動軸をロールの回転軸に直結する。

Fig. 6 に、速度監視の条件を示す。ここでは、オフセット電圧を 5V とし、ロールが正転方向に低速回転するときは +1V、正転方向に高速運転するときは +2V、逆転方向に低速回転するときは -1V、逆転方向に高速運転するときは -2V が TG から発生するようにした。これにより、TG の正常時は出力電圧が 3V から 7V の範囲となるのに対し、TG の故障（断線）時は出力電圧が 0V となるため、両者を区別できる。

5.4 安全距離監視装置

本システムでは、光線式安全装置の安全距離が所定の距離以上確保されていることを、非接触式のパワー

リードスイッチを使って確認している。しかし、この構成では、パワーリードスイッチの接点に接触不良や溶着が起こったり、作業者が磁石などを使って接点を意図的にオンすると、安全距離の監視が正しく行われないことがある。そこで、パワーリードスイッチの二重化と不一致検出を行い、この問題の解決を図った。

Fig. 3 に、本研究で提案するスイッチの配置図を示す。ここでは、スイッチ 1 と 2 を高速運転許可スイッチ、スイッチ 3 と 4 を中間位置確認スイッチ、スイッチ 5 と 6 を低速運転許可スイッチとし、この 3 種類のスイッチのオン/オフ状態によってロールを高速・低速・停止のいずれとすべきかを決定する。また、スイッチを左右に 2 個ずつ配置し、スイッチ 1 と 2、スイッチ 3 と 4、及びスイッチ 5 と 6 の不一致検出によって、スイッチの接点に接触不良や溶着が起こっていないかを確認する。

6. 実験装置及び実験方法

6.1 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 FGS300 シリーズで、防護高さ 300 mm、光軸間隔 7.5 mm、連続遮光幅（補足 2 参照）14 mm である。フェールセーフな汎用安全コントローラには、ドイツ・ピルツ社製の PSS3100 を使用した。これによって、安全リレーを介することなくコンタクトを直接駆動している。

速度検出用のタコジェネレータには、山洋電気製の 11-TG1 を使用した。また、光線式安全装置の安全距離の検出には安川コントロール製のパワーリードスイッチ R15 を使用した。なお、実際の装置では、モータの回転速度を高速/低速で制御するためにインバータを使用し、インバータの二次側を直接コンタクトで遮断する階層化安全制御方式³⁾としている。

6.2 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、光線式安全装置のフローティング光軸を 0（ブランキング光軸なし）から 10 光軸まで変化させて、そのときの最小検出径を計測する。ここで、最小検出径とは、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である。

2) シートによる遮光光軸数の計測実験

この実験では、Table 2 に示した材質・厚さ・色などが異なるシートをロールに供給した状態で、シート

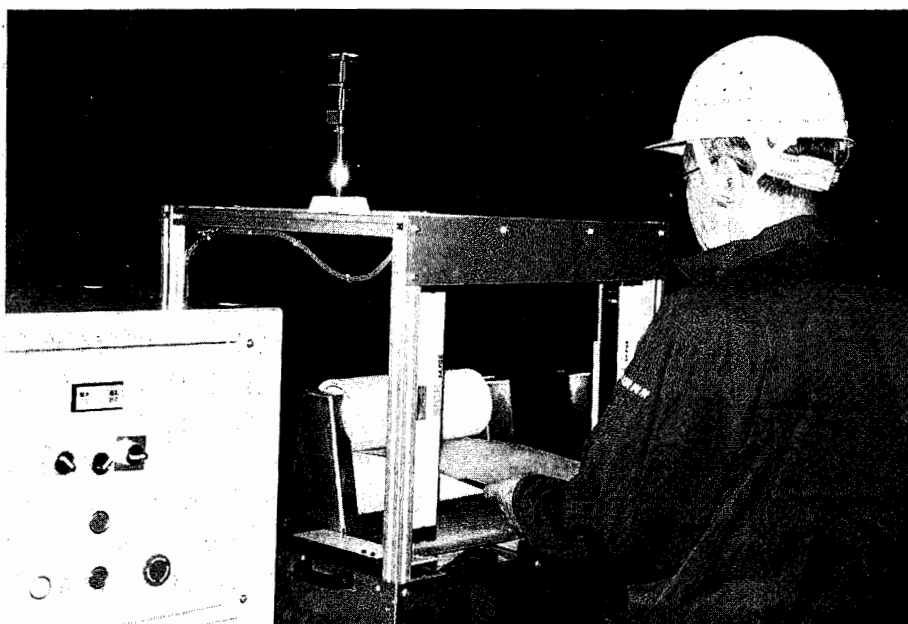


Photo 1 The appearance of the safety system.
安全システムの外観

Table 2 Various types of sheets and experimental result.
シートの種類と実測結果

no	Material	Thickness (mm)	Color	N
(a)	Polyethylene	0.05	Transparent and white	0
(b)	Vinyl chloride	0.5		0
(c)	Vinyl chloride	1.0	Transparent and wine color	0
(d)	Polyvinyl acetate	0.18	Transparent and black	0
(e)	Vinyl chloride	0.2	Black	1
(f)	Vinyl chloride	0.5		0
(g)	Urethane	9		7

を上下に振らしたり、撓ませたり、傾けたりして、そのときの遮光光軸数の最大値を計測する。

3) 丸棒による遮光光軸数の計測実験

この実験では、人体を模擬した標準部材として直径が10φから50φの丸棒を使用したときの遮光光軸数を計測する。

4) 手工具による遮光光軸数の計測実験

この実験では、作業者が Table 3 に示したドライバー、ニッパ、ペンチ、ブラシ及びスクレーパを持って進入したときの遮光光軸数の最大値を計測する。ただし、手工具は通常想定される方法で進入させるもの

Table 3 Various types of hand tools and experimental result.
手工具の種類と実測結果

no	Type	The diameter of the pattern (mm)		Overall length (mm)	N
		Max	Min		
(a)	Driver with the transparent pattern	19	18	152	1
(b)	driver with the opacity pattern	23	22	215	3
(c)	Nippers	11	9	153	5
(d)	Pair of cutting pliers	17	12	214	6
(e)	The wire brush	36	23	318	3
(f)	The brush	18	7	320	2
(g)	The scraper	60	1.5	178	1

とする（具体的には、ブラシを逆方向としたり、スクレーパを垂直にしたりしないことを言っている）。

5) シートと人体と一緒に進入したときの検出実験

この実験では、作業者が Table 2 に示したシートを持って進入したときの人体検出状況を観察する。また、既に送給中のシートの上側または下側に人体が進入したときの人体検出状況を観察する。

6) 丸棒と人体と一緒に進入したときの検出実験

この実験では、作業者が丸棒を持って進入したとき

の人体検出状況を観察する。この場合、人体が光線式安全装置の死角となる位置（丸棒の左側方または右側方）から進入したときの検出状況も併せて観察する。

7) 手工具と人体と一緒に進入したときの検出実験

この実験では、作業者が Table 3 に示したドライバー、ニッパ、ペンチ、ブラシ及びスクレーパを持って進入したときの人体検出状況を観察する。

8) 複数の丸棒と一緒に進入したときの検出実験

この実験では、複数の丸棒で検知空間を走査したとき（人間の指が検知空間に進入するときは、このような状態となることもある）の検出状況を計測する。

7. 理論値の推定

実験を行うにあたっては、前述した最小検出径と遮光光軸数の理論値を明確にしておく必要がある。以下、前記 1)~3) の各実験毎に理論値を推定する。

1) 検知空間における最小検出径の理論値

この実験では、フローティング光軸を設けていないときの最小検出径は、光線式安全装置の連続遮光幅の公称値 14 mm と考えられる。また、フローティング光軸を設けたときの最小検出径は、フローティング光軸が一光軸ずつ増える毎に光軸間隔（公称値 7.5 mm）ずつ増加していくと考えられる。

そこで、フローティング光軸数が F のときの最小検出径 M は次式で計算できると仮定した。

$$M = bF + \phi_M \quad (1)$$

ただし、 b は光線式安全装置の光軸間隔、 ϕ_M は連続遮光幅である。

2) シートによる遮光光軸数の理論値

この実験では、シートの厚さが連続遮光幅 ϕ_M 以内のときは遮光光軸数は 0 と考えられる。一方、シートの厚さが連続遮光幅を越えるときは、厚さが光軸間隔（7.5 mm）分増大する毎に、遮光光軸数は一光軸ずつ増大すると考えられる。そこで、シートの厚さが T のときの遮光光軸数 N を次式と仮定した。

$$N = \text{INT}[(T - \phi_M)/b + 1] \quad (2)$$

ただし、 ϕ_M は光線式安全装置の連続遮光幅、 b は光軸間隔である。また、INT は [] 内の小数点以下の数値を切り捨てる処理を行う関数である。

3) 丸棒による遮光光軸数の理論値

同様に丸棒の直径を R とすると、遮光光軸数 N は次式で計算できる。

$$N = \text{INT}[(R - \phi_M)/b + 1] \quad (3)$$

8. 実験結果と考察

8.1 実験結果

1) 検知空間における最小検出径の計測結果

Fig. 7 に実験結果を示す。予想通り、丸棒の最小検出径は (1) 式に従って計算できることが判明した。

2) シートによる遮光光軸数の最大値の計測結果

Table 2 に実験結果を示す。予想に反して、黒色など色の濃いシートの場合、厚さが薄いほど遮光光軸数が多くなった (Table 2 の (e), (f), (g) 参照)。これは、薄いものほどシートのたわみが多く、これが数多くの光軸を遮光するためである。

これに対し、透明や半透明のシートは光を透過してしまうため、遮光光軸数はシートの厚さやたわみなどに依存しなかった。従って、これらの点を考慮してフローティング光軸数を設定する必要がある。

3) 丸棒による遮光光軸数の計測結果

Fig. 8 に実験結果を示す。予想通り、丸棒が遮光する光軸数は (3) 式に従って計算できることが判明した。

4) 手工具による遮光光軸数の最大値の計測結果

Table 3 に実験結果を示す。当初、この実験では、柄が透明なドライバーは光を透過してしまうために遮光光軸数を 0 と推定した。しかし、実際には、ドライバーを回転させると、柄の中心で起こる光の乱反射や柄の汚れのために、遮光光軸数は 0 とならなかった。

また、当初、柄の直径が連続遮光幅より小さいニッパやペンチなどは、遮光光軸数を 0 と推定した。しかし、実際には、二本の柄が同時に検知空間内に進入すると、Fig. 2 に示す関係から、2 本の柄の間はすべて遮光物体と見なされ、遮光光軸数が 5 や 6 にもなった。

これに対し、通常使われているブラシやスクレーパは、通常作業時の方向から進入させれば遮光光軸数は 1 または 2 の範囲内に収まることが確認できた。

5) シートと人体と一緒に進入したときの検出結果

Table 4 に実験結果を示す。この実験では、作業者が色の濃い（黒色等の）シートを持って進入したときは、人体がシートの陰に隠れるという問題が認められた。この傾向は、厚さの薄い柔らかいシート (Table 2 の (e), (g) 等) で特に顕著であった。しかし、この場合でも、作業者は必ずシートを下側から支えるために、人体を検出できないという問題は生じなかった。

6) 丸棒と人体と一緒に進入したときの検出結果

この実験では、人体の幅が丸棒の直径より小さいときは丸棒の死角に人体が隠れるという問題が認められた。しかし、このような場合でも、必ず（丸棒が遮光する光軸数） > （人体が遮光する光軸数）となるため、

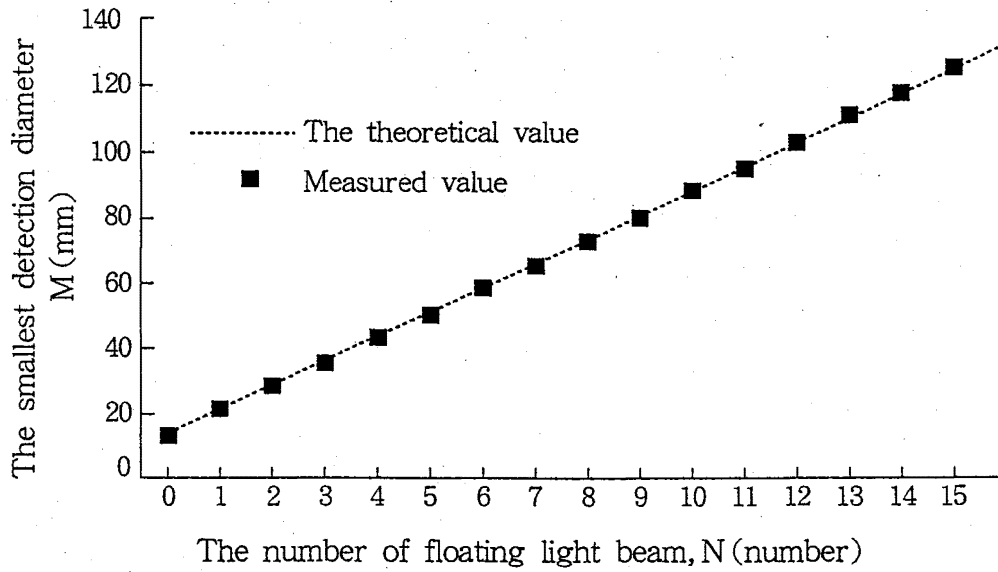


Fig. 7 The experimental result of the smallest detection diameter in the detection space.
検知空間における最小検出径の実測結果

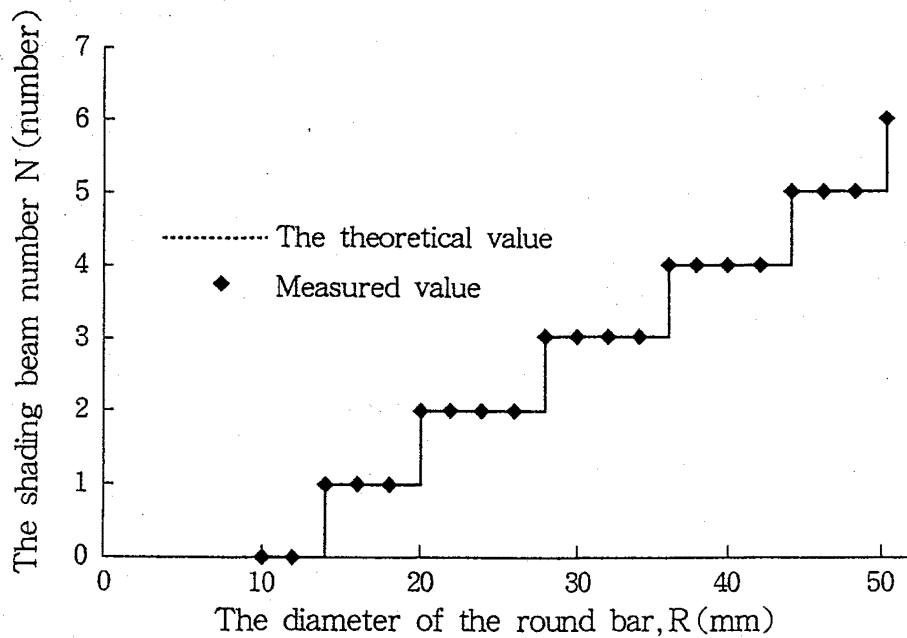


Fig. 8 The experimental result of shading light beam number by round bars.
丸棒による斜光光軸数の実測結果

Table 4 Experimental result of detection situation.
検出状況の実測結果

no	The object	Detection situation
1	Human body and the sheet	The human body is hidden in the blind area of the sheet. However, it can be always detected in this case, because the human body blinds the light beam certainly.
2	Human body and the hand tool	The human body is hidden in the blind area of the hand tool. However, it can be always detected in this case, because the blinded light beam number by the hand tool is larger than that of human body.

人体を検出できないという問題は生じなかった。

7) 治工具と人体と一緒に進入したときの検出結果

Table 4 に実験結果を示す。この実験でも、人体の進入時は必ず光軸を遮光するため、人体を検出できないという問題は生じなかった。

8) 複数の丸棒と一緒に進入したときの検出結果

実験の結果、複数の物体が光軸を遮光したときは、Fig. 2 に示すフローティング開始光軸からフローティング終了光軸までの光軸数が所定の値以内であるときに限って運転許可信号を発生し、この値を越えたときは運転許可信号が停止することが確認できた。

8.2 考 察

8.2.1 安全距離の検討

1) シート送給時におけるシステムの運用条件

本システムでは、ロールの挟圧危険点と光線式安全装置の設置位置が十分離れていないと、人体が光線を遮光してからロールが停止するまでの間に挟まれ災害が発生することがある。そこで、人体とロールの間に所定の離隔距離（安全距離）を設けた。この距離は、IEC62046⁴⁾によれば次式で計算できる。

$$D = 2(T_L + T_S) + (M - 14) \quad (4)$$

ただし、 D は安全距離 (mm)、 T_L は光線式安全装置の応答時間 (ms)、 T_S はロールの急停止時間 (ms)、 M は最小検出径 (mm) である。

ここで、(4) 式に(1)式を代入し、光線式安全装置の光軸間隔を 7.5 mm、連続遮光幅を 14 mm、応答時間を 30 ms とすれば、(4) 式は次式となる。

$$D = 2T_S + 60F + 60 \quad (5)$$

(5) 式は、フローティング光軸数 F と急停止時間 T_S がいかなる値であっても、安全距離 D さえ十分確保できれば災害が発生しないことを示している。しかし、現実には、安全距離が長くなるとシートがたわみ、送給が困難になる。そこで、安全距離の上限を 200 mm とした。これより、システムの運用条件は次式となる。

$$T_S + 30F \leq 70 \quad (6)$$

従って、仮に Table 1 にしたがって $F = 1$ とした場合は、ロールの急停止時間の許容最大値は 40 ms となり、ロールの回転速度はきわめて低速に限られる。

2) ロールの清掃作業時におけるシステムの運用条件

この作業では、清掃用手工具の全長に限度があるため、安全距離は最大でも 300 mm 程度が限度と考えられる。このとき、システムの運用条件は次式となる。

$$T_S + 30F \leq 120 \quad (7)$$

従って、仮に Table 1 にしたがって $F = 2$ とした場合、ロールの急停止時間の許容最大値は 60 ms となり、ロールの回転速度は比較的低速に限定される。

一方、手工具の工夫によって安全距離を 400 mm 程度まで延長できた場合は、システムの運用条件は

$$T_S + 30F \leq 170 \quad (8)$$

となる。この場合、 $F = 2$ とするとロールの急停止時間の許容最大値は 110 ms であり、ロールの高速運転も可能である。

3) 自動運転時におけるシステムの運用条件

このモードでは、作業者が介在しないために安全距離を十分大きくとることができる。よって、ロールの高速運転も可能である。

8.2.2 人体検出の确实性の検討

本システムでは、作業者が色の濃い（黒色等の）シートを持って進入したときは、人体がシートの陰に隠れるという問題が認められた。しかし、このような場合でも、作業者がシートを下側から支えたときは必ず光軸を遮光するため、人体を検出できないという問題は生じなかった。

また、人体の幅が丸棒の直径より小さいときは丸棒の死角に人体が隠れるという問題が認められた。しかし、このような場合でも、必ず（丸棒が遮光する光軸数） $>$ （人体が遮光する光軸数）となるため、人体を検出できないという問題は生じなかった。

以上の点からも、本システムは人体検出に関して确实性を持っていると言える。

8.2.3 手工具の選定

(8) 式を満足させるには、遮光光軸数を $F \leq 2$ としなければならない。しかし、実験の結果、ニッパ、ペンチ、柄が不透明なドライバーなどの手工具は遮光光軸数が多くなるため使用に適さないことが判明した。したがって、手工具としては、ブラシ、スクレーパ、柄が透明のドライバーなどを使用する必要がある。

8.2.4 他の速度監視方式の検討

本システムでは、ロールの回転速度と回転方向の監視に TG と直流電源を直列接続した方式を採用している。しかし、この方式では、TG の出力端子間の短絡が起これると、高速を誤って低速と通報する場合がある。

また、ロール機の構造によっては、TG をロールの軸に直結できない場合も多い。そこで、ロールの軸と TG を歯付きのタイミングベルトで結合するとともに、TG の二重化と不一致検出を行う方式も併せて検討している。

9. 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。この評価には、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、ロール機のユーザーである住友化学工業及び日東電工、及び機械安全を専門とする大学の研究者などの協力を得た。

この評価結果で特徴的だったのは、欧州の技術専門家から「本当に、ロール機でこのようなシステムが必要なのか（プレスブレーキなら分かるが）」という質問が多発したことである。これは、欧州ではロール機の安全方策はガードの設置が基本であり、安全装置の使用はあくまでも例外的であるためと考えられる。

これに対し、ロール機を使用する我が国のユーザーからは、「ガードの重要性は分かる。しかし、現実には、ガードによって安全を確保できない段取りやロールの清掃などの作業が存在する。このような作業に対しては、本システムを適用せざるを得ない。また、作業性を考慮した場合、ガードよりも本システムの方が優れている」との意見が大勢を占めた。さらに、現在市販されているロール機用の急停止機構は、作業者が緊急停止バーを意識的に操作しなければならないために、これに代わる確実性の高い装置として本システムの早急な実用化を要望する意見も多かった。

一方、機械安全を専門とする大学の研究者からは、「本システムはロール機に限らず、危険点近接作業（機械の運転を停止しないまま、機械の危険な可動部に近接して行う作業）を必要とする様々な機械設備に適用可能と考えられる。このような安全方策は我が国だけで

活用するのではなく、国際的にも提案して行くべきである」との要望もあった。したがって、今後は第3編で述べた IEC62046 4) への提案も含めて、検討を進めて行く必要があると考える。

10. おわりに

産業現場で使用されるロール機の災害防止対策として、光線式安全装置の使用が検討されている。しかし、光線式安全装置は人体だけでなく製品にも感応してしまうために、当該装置の使用は不可能であった。そこで、本研究では、製品によって遮光された光軸数があらかじめ設定された数以下のときに限ってロールの運転を許可するフローティ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) ロールの自動運転時だけでなく、シートの送給やロールの清掃も考慮した安全システムを構築できた。
 - 2) 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、フェールセーフなフローティングシステムを実現した。
 - 3) 上記のコントローラを応用して、フェールセーフな回転速度監視装置や安全距離監視装置を実現した。
 - 4) フローティング光軸数が F のときの最小検出径 M は、光線式安全装置の光軸間隔を b 、連続遮光幅を ϕ_M とすると、 $M = bF + \phi_M$ となることが判明した。
 - 5) 作業者が色の濃い（黒色等の）シートを持って進入したときは、人体がシートの陰に隠れるという問題が認められた。しかし、このような場合でも、作業者がシートを下側から支えたときは必ず光軸を遮光するため、人体を検出できないという問題は生じなかった。
 - 6) 人体の幅が手工具の直径より小さいときは手工具の死角に人体が隠れるという問題が認められた。しかし、このような場合でも、必ず（手工具が遮光する光軸数） $>$ （人体が遮光する光軸数）となるため、人体を検出できないという問題は生じなかった。
- 今後は、以上の結果を国際規格である IEC62046 などに提案してゆくのが課題である。

参考文献

- 1) 梅崎重夫・井土伸彦・中村英夫他、フローティング機能を備えたロール機用安全システムの開発、第31回安全工学シンポジウム (2001), pp.161-164.
- 2) 梅崎重夫・杉本 旭・中村英夫、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.
- 3) 井土伸彦・中村英夫・梅崎重夫・小林茂信、物流機械を対象とした階層化安全制御システムの開発、日本機械学

会第9回交通・物流部門大会予稿集(2000), pp.161-164.

- 4) Draft IEC62046, Application of presence sensing protective equipment to machinery (2001).

[補足1]

ハードワイヤードな装置とは、CPUを使わずにリレーを中心とする電気部品で構成された回路をいう。このような回路では、安全をリレーオン、危険をリレーオフに割り当てれば、故障時はリレーオフとなるために機械は停止するため、フェールセーフな特性を実現できる。

これに対し、プログラマブルな電子制御装置とは

CPUを使った回路であり、故障時に機械が止まらなくなることがある。よって、プログラマブルな装置は安全制御用の回路には使用してはならないというのが従来の設計原則であった。しかし、第2編で述べた汎用安全コントローラの出現などにより、この原則も変更されようとしている。

[補足2]

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

(平成14年1月10日受理)