

# 危険点近接作業における人と物体の識別を目的とした保護装置の開発

Developing a Protective Devices Aiming to Distinguish Humans from Objects in Hazardous Point Nearby Operation

清水尚憲\*, 梅崎重夫\*\*

Shoken SHIMIZU, Shigeo UMEZAKI

\* (独) 労働安全衛生総合研究所 機械システム安全研究グループ上席研究員 (〒204-0024 東京都清瀬市梅園 1-4-6)

\*\* 博士 (工学) (独) 労働安全衛生総合研究所 機械システム安全研究グループ部長 (〒204-0024 東京都清瀬市梅園 1-4-6)

In civil construction sites, operations often are carried out in situations where workers and objects (machines, materials, products, etc.) coexist. Securing workers' safety in such a working environment requires the safety confirmation type interlock that "workers and objects have been registered previously, and the registered workers are allowed to work only when the registered objects' safety is confirmed." At some sites, workers work near machines, the hazardous parts of which are moving continuously (hazardous point nearby operations). This paper examines protective apparatuses applicable to machines used for woodworking, press machines, and excavators, in order to secure safe operations in the above-mentioned working environments. Moreover, this paper proposes to apply these protective devices to actual construction sites.

*Key Words: Hazardous point nearby operation, Protective devise*

*Safety confirmation type interlock, RFID*

キーワード: 危険点近接作業, 保護装置, 安全確認形インターロック, RFID,

## 1. はじめに

機械作業の中には、作業者が機械の可動部を停止させずに、可動部に近接して行う運転確認、調整、加工、トラブル処理、保守・点検、修理、清掃、除去などの作業がある。以後、これを危険点近接作業と呼ぶ。

この作業に関連した労働災害は、後述する製造業における労働災害の分析結果によれば、産業機械による死亡労働災害（事故の型が“挟まれ・巻き込まれ”と“激突され”に限る）の 44.2% を占めている。したがって、この作業に対する適切な災害防止対策を確立できれば、労働災害の大幅な減少が期待できる。このため、本論文では、危険点近接作業を対象とした災害防止対策の検討を行った。

## 2. 分析の対象とした労働災害

### 2.1 分析対象

分析の対象とした労働災害は、平成になってから発生した機械による死亡労働災害 129 件である。ただし、対

象業種は製造業に限定し、事故の型は“挟まれ・巻き込まれ”（125 件）と“激突され”（4 件）に限定した。また、車両系荷役運搬機械及び建設機械等は災害の発生態様が一般工作機械などとは異なるため、対象から除外した。

### 2.2 分析方法

以上の災害の原因分析では、図-1 に示すように“なぜ?”という質問を繰り返すことによって、直接原因（不安全状態、不安全行動）→基本原因（設備的要因、人的要因、作業的要因、管理的要因）→根本原因へと帰納的に原因を追及して行く手法を採用した。

ただし、基本原因の分析では、設備的要因の中でも特に頻度が高いと推察された「固定ガードの不具合」、「可動ガードの不具合」、「保護装置の不具合」、及び「制御システムの安全関連部の不具合」を重点に分析を行った。また同様に、今回の災害分析の結果、作業的要因の中でも特に頻度が高いと推察された「危険点近接作業」と「複数作業者が広大領域内で行う作業」を重点に分析を行った。

### 3. 危険点近接作業に関連した災害

表-1に、危険点近接作業に関連した災害 57 件の作業内容を示す。表からも明らかなように、危険点近接作業に関連した災害は全死亡災害の 44.2%を占めていた。この事実は、危険点近接作業に対する適切な災害防止手法を確立することで、労働災害の大幅な減少が図れることを示唆している。

以上のうち、災害発生率が 10%を越える危険点近接作業として、運転確認・調整の 13 件 (22.8%)、トラブル処理の 12 件 (21.1%)、清掃・除去の 9 件 (15.8%)、加工の 6 件 (10.5%)、保守・点検・修理の 6 件 (10.5%) が挙げられる。

また、本分析で危険点近接作業による災害発生比率の高かった機械は、旋盤 (66.7%)、ロール機 (66.7%)、紙断裁機・加工機 (66.7%)、窯業・土石機械 (60.0%)、コンベヤ (55.6%) であった。

表-2は、危険点近接作業 57 件に対して「なぜ機械を停止して作業できなかったのか」についての理由を調査した結果である。表からも明らかなように、①「停止して作業するのが技術的に不可能であった」が 21 件 (36.8%) であるのに対し、②「停止しても作業できるが、生産性や作業性を阻害するために停止したくない」が 36 件 (63.2%) を占めていた。このことは、危険点近接作業を対象とした保護装置に対しては生産性や作業性というヒューマンファクターの入る要素を考慮した構成が必要であることを示している。

なお、本分析で①が多かったのが旋盤 (83.3%) やクレーン (83.3%) であり、②が多かったのが混合機 (100.0%)、窯業・土石機械 (100.0%)、及びコンベヤ (100.0%) であった。

なお、本論文では、分析したサンプル数が少ないために、本文中に示した不具合比率は統計的に十分な意味を持つ数値とは言えないと考えられる。その意味で、示した不

具合比率はあくまでも参考値と考えて頂きたい。

### 4. 危険点近接作業が多発する根本原因

以上の問題は人と機械を適切に識別できれば、解決できると考えられる。そこで、人と機械の識別を目的とした保護装置の開発を行った。しかし、人体は様々な形状を持つために、人体の形状を検知して機械を停止させる方式では、人体の形状が僅かでも異なると見逃しは避けられない。このため、本論文では、人体の見逃しが著しく低くなる方式として、“物体の形状をあらかじめ登録しておき、登録された物体の形状と一致したときに限って機械の運転を許可する。さらに登録された物体の形状と一致しないときは、運転は許可しないし、機械が動き出そうとしているときには直ちに停止する。このようにすれば、どのような形状の人体が進入しても、(人体+物体)の形状があらかじめ登録した物体の形状と異なるために機械の運転は許可されない。

一方、実際のシステムでは、人体が安全領域に存在しているときに限って機械の運転を許可するシステムも考えられる。これは、作業者が一人の場合に限られるが、比較的小型の機械設備では“作業者は一人だけ”という条件を満足できると考えられる。この場合も、人体は様々な形状を持つために、人体の形状を検知して機械の運転を許可するという方式の実現は難しいと考えられる。しかし、仮に、人体の一部に識別タグを設けて、これによって“特定の人が存在している”ことを認識できるなら、複雑な人体の形状認識という問題は回避できると考えられる。

以上の検討から、人と物体が混在している状況において安全に作業を行なうためには、次の形態が考えられる。

- 1) 所定の形状の物体が存在しているときに限って、機械の運転を許可する。
- 2) (人体に設けられている) 所定の識別タグが存在しているときに限って、機械の運転を許可する。

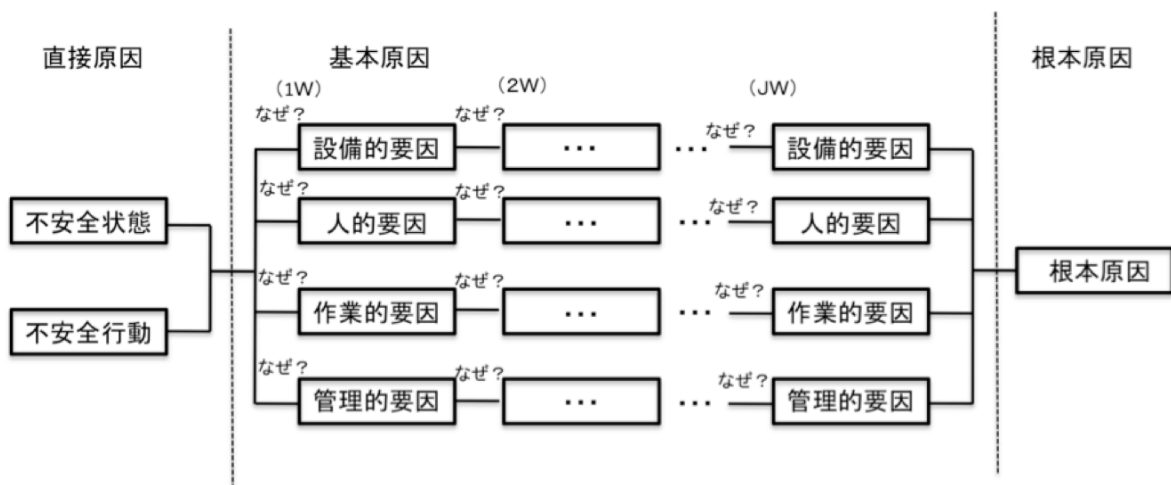


図1.原因究明の方法

表1 危険点近接作業に関連した災害の分析結果

No	機械の名称	全件数	危険点近接作業に関連した災害の件数と比率	危険点近接作業の内容							
				段取り	加工	運転確認・調整	トラブル処理	保守・点検・修理	清掃・除去	材料や製品の扱い(含搬送)	保守・点検・修理
1	回転軸	2									
2	旋盤	9	6(66.7%)		4				1		1
3	フライス版	2	2		1					1	
4	ルーター	1									
5	プレス機械	1									
6	タレットパンチプレス	2	2			1					1
7	シャー	1	1						1		
8	成形機	8	2(25.0%)				2				
9	ダイカストマシン	1	1								1
10	ロール機	6	4(66.7%)	1	1	2					
11	伸線機	1	1			1					
12	粉砕器	3	0(0.0%)								
13	混合機	9	3(33.3%)				1		2		
14	産業用ロボット	4	2(50.0%)			2					
15	トランスファーマシン	1									
16	スクラップ加工機	3	0(0.0%)								
17	紙断機、加工機	3	2(66.7%)			1			1		
18	印刷機械	5	1(20.0%)				1				
19	ダンボール製造機	1									
20	食品機械	4	1(25.0%)			1					
21	洗濯用機械	4	1(25.0%)			1					
22	窯業・土石機械	5	3(60.0%)						2		1
23	クレーン	13	6(46.2%)			2		1		3	
24	スタッカークレーン	1									
25	エレベータ	8	2(25.0%)					1			1
26	リフト	7	3(42.9%)				1	2			
27	コンベア	9	5(55.6%)				3		2		
28	その他	15	9(60.0%)			2	4	2			1
計		129	57(44.2%)	1(1.8%)	6(10.5%)	13(22.8%)	12(21.1%)	6(10.5%)	9(15.8%)	4(7.0%)	6(10.5%)

表2 危険点近接作業で機械を停止できない理由

No	機械の名称	全件数	危険点近接作業の件数と比率	機械を停止できない理由	
				①停止して作業するのが技術的に不可能であった	②停止しても作業ができるが、生産性や作業性を阻害するために停止したくない
1	回転軸	2			
2	旋盤	9	6(66.7%)	5(83.3%)	1(16.7%)
3	フライス版	2	2		2
4	ルーター	1			
5	プレス機械	1			
6	タレットパンチプレス	2	2	2	
7	シャー	1	1		1
8	成形機	8	2(25.0%)		2
9	ダイカストマシン	1	1		1
10	ロール機	6	4(66.7%)	2(50.0%)	2(50.0%)
11	伸線機	1	1	1	
12	粉砕器	3	0(0.0%)		
13	混合機	9	3(33.3%)	0(0.0%)	3(100.0%)
14	産業用ロボット	4	2(50.0%)	1	1
15	トランスファーマシン	1			
16	スクラップ加工機	3	0(0.0%)		
17	紙断機、加工機	3	2(66.7%)	1	1
18	印刷機械	5	1(20.0%)		1
19	ダンボール製造機	1			
20	食品機械	4	1(25.0%)	1	
21	洗濯用機械	4	1(25.0%)		1
22	窯業・土石機械	5	3(60.0%)	0(0.0%)	3(100.0%)
23	クレーン	13	6(46.2%)	5(83.3%)	1(16.7%)
24	スタッカークレーン	1			
25	エレベータ	8	2(25.0%)		2
26	リフト	7	3(42.9%)	1(33.3%)	2(66.7%)
27	コンベア	9	5(55.6%)	0(0.0%)	5(100.0%)
28	その他	15	9(60.0%)	2(22.2%)	7(77.8%)
計		129	57(44.2%)	21(36.8%)	36(63.2%)

以上のうち、1) に該当するものとして立体形を対象とした保護装置を5.1に、平面形状を対象とした保護装置を5.2に、2) に該当する保護装置を5.3に示す。

## 5. 開発した危険点近接作業用の保護装置

次に、著者らが開発した危険点近接作業用の保護装置について述べる。

### 5.1 アルミニウムサッシ加工用機械の保護装置

アルミニウムサッシを金型で加工する機械では、サッシを金型内に挿入させたときは機械の運転を許可するが、人体が誤って金型内に進入したときは直ちに機械の運転を停止させる制御を必要とする。そこで、上下及び左右方向に設けた光線式安全装置を利用して、指定した光軸が遮光され、かつ、指定した光軸が通光しているときに限って機械の運転を許可する保護装置を開発した。以後、これをブランキングシステムと呼ぶ。

図-2に、本装置の基本構成図を示す。写真-1は、本装置の外観である。本装置では、まず、作業者は切り替えスイッチを教示モードに切り替えた後、長尺物を両手で保持しながら金型を正規の位置にセットする。次に、フートスイッチを操作して(教示命令)、光軸の通光及び遮光のパターンを記憶装置に記憶させる。

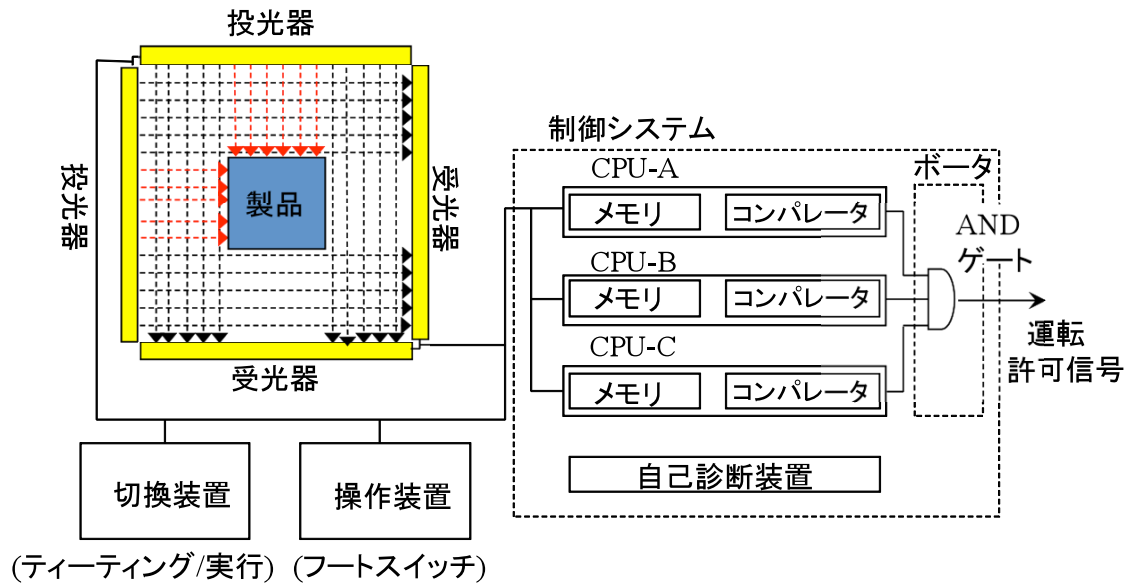


図-2 ブランクシステムの基本構成図

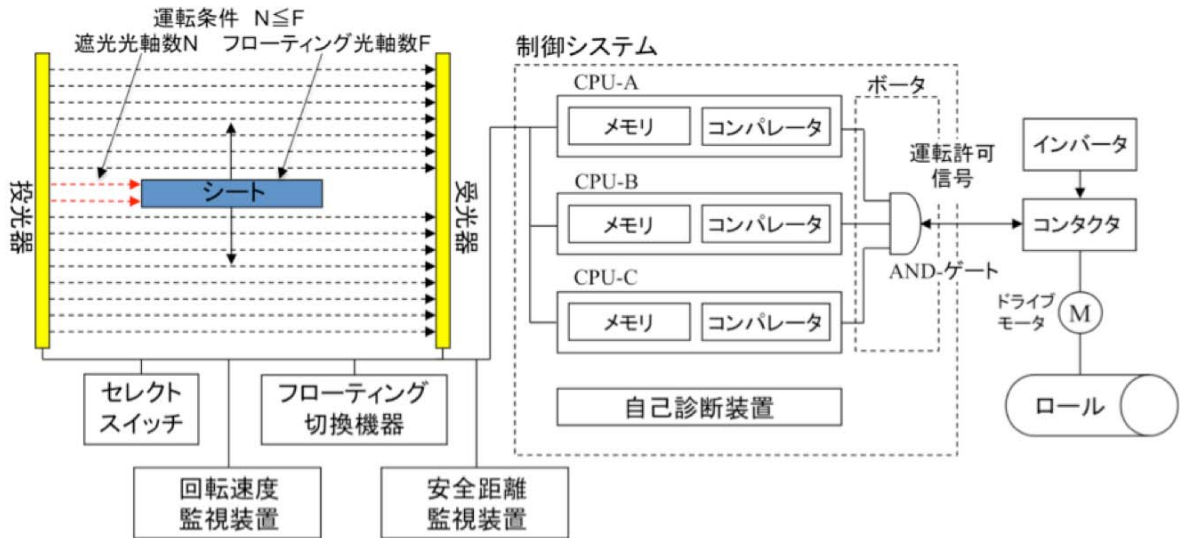


図-3 フローティングシステムの基本構成図



写真-1 ブランクシステム



写真-2 フローティングシステム

次に、切り換えスイッチを運転モードに切り換えた後、長尺物を両手で保持しながらフートスイッチを操作して（運転命令）、スライドを起動させる。このとき、金型内に手が進入しているときは、あらかじめ記憶した透光・遮光パターンと不一致となるため、スライドは起動しない。また、長尺物の位置がずれたときや、異なる品種の長尺物を誤って金型に挿入したときなども、あらかじめ記憶した透光・遮光パターンと不一致となるため、スライドは起動しない。

以上のような構成とすることで、アルミサッシのような長尺物にも対応できる実用的な保護装置の実現を可能としている。

## 5.2 ロール機の保護装置

ロール機では、シートの挿入時や清掃用具の接近時には機械の運転を許可するが、人体が誤ってロールに接近したときは直ちに機械の運転を停止させる制御を必要とする。そこで、材料、製品、用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（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備えている。以後、これをフローティングシステムと呼ぶ。

図-3に、ロール機の保護装置の基本構成図を示す。写真-2は本装置の外観である。

### 1) 自動運転

この運転モードでは、作業者がロールに接近しないため、ロールを高速にしてシートの巻き取りを自動的に行う。この作業では、運転中のロールに作業者が不用意に接近したときに、災害発生のおそれがある。

そこで、このようなときは直ちにロールを停止できるように、所定の安全距離の位置にフローティング機能を備えた光線式保護装置を設置した。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回転させる。これに対し、 $N > F$ 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。

### 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。この作業では、作業者が手を滑らすなどしてロールに接近し過ぎると、災害発生のおそれがある。

そこで、このようなときは直ちにロールを停止できるように、 $N \leq 1$ 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。なお、シートが極めて薄いものでも $N = 0$ でなく1としたのは、シートの傾きや撓みによる光軸の遮光を考慮したためである。

### 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ときは災害となることがある。そこで、光軸の遮光が最大2光軸となるように手工具を選定し、 $N \leq 2$ のときはロールを回転させ、 $N > 2$ のときにロールを停止させる構成とした。

## 5.3 木材加工用丸のこ盤の保護装置

丸のこ盤の作業では、作業者が木材を両手で保持しながら回転する鋸歯（危険点）に手指を近接させた状態で木材加工を行なう。この作業では、木材だけが存在しているときは鋸歯の回転を許可するが、作業者の手指が鋸歯と接触しそうになったときは直ちに鋸歯を停止させる保護装置が必要である。

しかし、現状では、人体と木材を識別できる適当な保護装置は存在しない。また、鋸歯の停止にはある程度の時間を必要とするために、保護装置もこの点を考慮した構成が必要となる。このため、本研究では、当所で新た

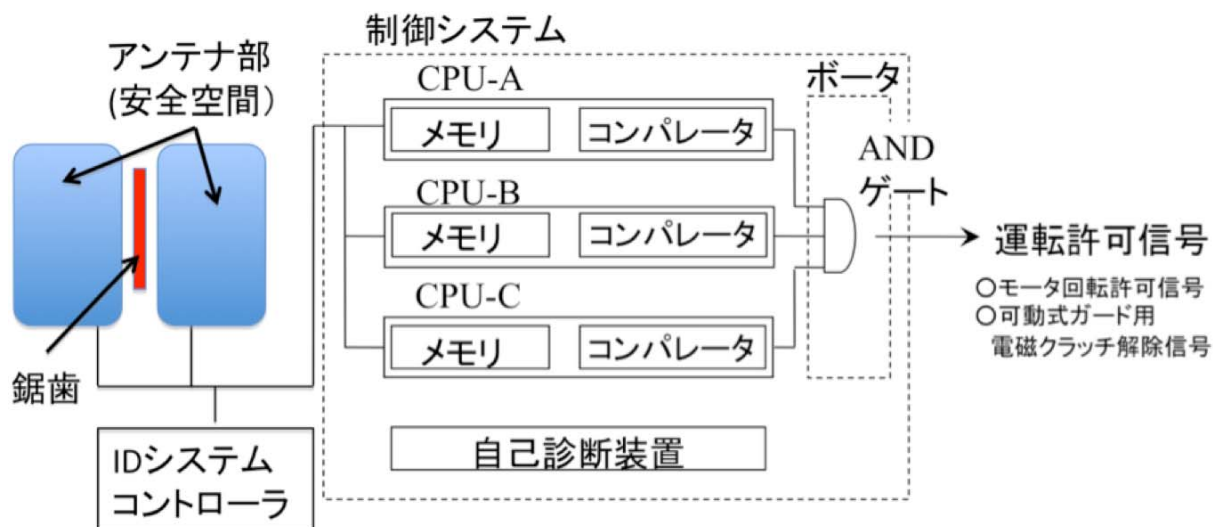


図-4 丸のこ盤の安全システムの基本構成図



写真-3 丸のこ盤の安全システム

に考案した回転式の接触防止ガードと、RFID 技術を活用した人体検知装置を併用することによって、以上の問題の抜本的な解決を試みた。

図-4 に、開発した装置の基本構成図を示す。写真-3 は本装置の外観である。以下に具体的特徴を示す。

- 1) 木材を切断している部分以外の鋸歯を回転式の可動式ガードで覆う。
- 2) 作業者の手指に IC タグを装着し、ループコイルで検知する。この結果に基づいて作業者の手指が安全空間内に存在しているか否かを常時確認する。
- 3) 作業者の手指が安全空間内にあると確認できたときは、電磁ブレーキを開（オン）として可動式ガードのロックを解除する。このとき、作業者が木材を送給して行くと、可動式ガードも回転しながら移動して行くので、木材加工が可能となる。
- 4) 作業者の手指が安全空間内にあることが確認できないときは、直ちに電磁ブレーキを閉（オフ）として可動式ガードをロックする。
- 5) 4) の後に鋸歯を所要の時間をかけて停止させる。

以上のような構成とすれば、高速で回転している鋸歯を瞬時に急停止させずに、作業者の安全を確保することが可能となる。従来、木材加工用機械の災害防止対策では、惰性で回転する鋸歯を瞬時に急停止させるために、様々な急停止機構が研究されてきた。しかし、高速の鋸歯を瞬時に急停止させるのは困難であり、本研究で提案したように急停止を行なわないで災害を防止できる方策が必要と考える。

## 6. おわりに

以上、人と機械の識別という点に着目して、危険点近接作業を対象とした保護装置を提案した。これによ

って得られた成果は次のとおりである。

- 1) 危険点近接作業に関連した労働災害は、産業機械による死亡労働災害（事故の型が“挟まれ・巻き込まれ”と“激突され”に限る）の44.2%を占めている。したがって、この作業を対象とした適切な保護装置を確立することで、労働災害の大幅な減少が期待できる。
- 2) 危険点近接作業を対象とした保護装置として、①アルミサッシ加工用機械、②ロール機及び③木材加工用丸のこ盤を対象とした保護装置を開発した。これらは、それぞれ立体状の物体、平面状の物体、及び人体（手指など）の識別を目的としたもので、これらの技術の組み合わせによって様々なケースでの人体と物体の識別が可能である。

今後は、以上の検討で得られた成果を基に、土木建築機械で行なわれる危険点近接作業での人体と物体の識別に応用して行く予定でいる。

## 参考文献

- 1) 梅崎重夫・清水尚憲, 危険点近接作業の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.711, C 編(2003), 200-207
- 2) 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研究報告, NIIS-SRR-No.33, (2005), 53-67
- 3) 梅崎重夫・清水尚憲・小林茂信・井土信彦・中村英夫・三平律雄・山下昌弘・川戸真二・田上憲一・石坂文二・松井龍二・鈴木常夫, 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, 日本機械学会論文集, 68-670, C 編 (2002), pp.1755-1783
- 4) 梅崎重夫・清水尚憲・小林茂信・井土信彦・中村英夫・三平律雄・山下昌弘・鷺崎一郎, 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, 日本機械学会論文集, 68-672, C 編(2002), pp. 2316-2323
- 5) 清水尚憲・梅崎重夫, 危険点近接作業の災害防止戦略に関する基礎的考察—危険点近接作業の災害防止条件の解明と木材加工用機械への適用—, 労働安全衛生総合研究所特別研究報告, JNIOOSH-SRR-No.36, (2008), 37-44

(2009年8月7日受付)