

## 8. 複数作業者が大規模生産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\*

梅崎重夫\*\*, 清水尚憲\*\*

### 8. The Basic Consideration on Accident Prevention Strategy for the Operation Executed by Multiple Operators Cooperating in Large Production Lines\*

by Shigeo UMEZAKI\*\* and Shoken SHIMIZU\*\*

**Abstract;** There are many hazardous operations executed in large production lines such as the operation of trouble-shooting, maintenance or cleaning of machines. An operator enters in its line for these operations while a machine is stopped. In this case, when other operator restarts the machine by mistake, the accidental start of the machine could cause a serious disaster.

An indirect monitoring device using a movable guard, key-switch or plug is adopted to prevent these accidents. However, this is not always effective because an operator may close to a movable guard while other operator remains in the line, or he enters in the line without extracting the key. To prevent these problems, another system is adopted so that the movable guard does not open unless the operator extracts the key or plug. However, even if this countermeasure is taken, it could not be effective if, after an operator who does not have a key enters in the line with an operator having a key at the same time, only the operator having the key exits the line and returns the key to the key box.

This paper shows a new accident prevention strategy for the adequate risk reduction in large product lines having above mentioned problems. Results of this research are described as follows:

- 1) The hazard analysis method for complicated human actions is suggested by the matrix expression of operator's "CLASS" and human's action "TYPE".
- 2) The direct monitoring system such as the laser scanning sensor can achieve the adequate risk reduction (risk management division I). On the other hand, the indirect monitoring system using a movable guard, key-switch or plug cannot achieve it (risk management division II) because they involve the problem that operators forget to extract the key or plug. The indirect monitoring system using an IC tag cannot also achieve it (risk management division II) because an operator sometimes forgets to use personal protective equipments (helmet, gloves etc.) that an IC tag is installed on.
- 3) The indirect monitoring system that uses both a key-switch and a monitoring device (photo-electric sensor, mat switch etc.) is regarded as the risk management division I or II because the machine restarting operation is relying on chief operator's attention. On the other hand, there is a possibility of achieving the risk management division I by using a both key and a counter gate.

These results can be useful to the supplement of ISO11161 standard.

**Keywords;** Safety, Safety Control, Industrial Machine, Accident Prevention Method, Human Detection System

---

\* 本章は、日本機械学会論文集に掲載した論文<sup>2)</sup>に新規事項を追加して修正したものである。

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

## 1. はじめに

大規模生産ラインでは、ライン内に設置された機械の段取り、トラブル処理、保全、清掃などのために、作業者が機械を停止させた上でライン内に進入することがある。このときに他の作業者が誤って機械の再起動操作を行うと、機械が不意に起動して重大な災害を発生させかねない。

このため、実際のラインでは、作業者がライン内へ進入する場所に可動ガード（扉）、キースイッチ、プラグなどを設置することで、作業者の進入を間接的に監視し、リスクの低減を図っている。しかし、作業者がライン内で作業を行っているときに他の作業者が誤って可動ガードを閉じてしまったときは、この対策は有効でない。また、キーやプラグは作業業者による抜き忘れの問題が認められる。

このため、実際の現場では、作業者がキーやプラグを抜かなければ、可動ガードが開かず、ライン内に進入できない方式も採用されている。しかし、仮にこの対策を講じて、複数の作業業者が1個のキーやプラグを抜いて同時にライン内に入った後に、キーやプラグを持った作業業者だけがラインから出て再びキーやプラグを差し込んだときは、この対策は有効でない。

以上の事実は、従来から我が国で経験的に実施されている間接監視による対策（キースイッチ、プラグ、可動ガードなどを利用した対策。詳細は第3.3節2)参照)では、ISO12100-1<sup>1)</sup>の第5.5節に定める'適切なリスク低減'<sup>1)</sup>の達成が困難な場合もあることを示唆している。実際、間接監視による対策が実施されている大規模生産ラインでは、ライン内に設置されたNC工作機械、プレス機械、ロボット、移載装置、コンベヤ、自動倉庫などによる死亡災害を始めとして数多くの労働災害が発生しており（詳細は本報告書の第6章参照）、災害防止戦略の抜本的見直しが必要と考えられる。このため、本論文では、複数の作業業者が大規模生産ライン内で行う作業を対象に、適切なリスク低減の達成を目的とした災害防止戦略の検討を行った<sup>2), 3)</sup>。

## 2. 本論文で提案する災害防止戦略の特徴

### 2.1 ハザードの同定

機械の基本安全規格であるISO12100-1では、ハザードを同定し、当該ハザードに対して'適切なリスク低減'が図れたときに、リスク低減プロセスを終了するとしている。このときのハザードのリストは

ISO14121<sup>4)</sup>の付属書Aに記載されている。

このうち、複数作業業者が大規模生産ライン内で行う作業では、付属書A（補足1参照）のNo.8, 25, 37などに対応する「人間挙動」が特に重要と考えられる。しかし、人間挙動では、①どのような種類の人間が、②どのような作業行動を行い、③その結果どのような状態に至るかが明確でないと、ハザードの同定は困難である。そこで、次にこれらの点を検討した。

#### 2.1.1 人間の同定

当該ラインの関係者には、設計者、作業業者、生産技術者、保全技術者、安全管理者などの様々な人々が考えられる。しかし、現場で特に問題なのは作業業者の人間挙動である。そこで、作業業者を以下の3種類に分類した。以後、これらを総じて「作業業者」と呼ぶ。

##### (1) 作業指揮者（クラス0）

現場で作業を指揮する職長や作業主任者が該当する。当該ラインの動作は熟知しているが、技術的内容までは知らないと仮定する。以下、クラス0の作業業者と呼ぶ。

##### (2) 指名作業業者（クラス1）

当該ラインの通常作業を指名された人で、作業指揮者の指示を受ける一般の作業業者が該当する。当該ラインの動作を知っている人だけでなく、動作を知らない新人なども含まれていると仮定する。以下、クラス1の作業業者と呼ぶ。

##### (3) 非指名者（クラス2）

当該ラインの作業を指名されていない人をいう。他のラインの作業業者や、製品の搬送業務に従事する人、見学者などが含まれる。当該ラインの動作はまったく知らないと仮定する。以下、クラス2の作業業者と呼ぶ。

#### 2.1.2 作業行動の同定

同様に、人間の作業行動にも様々な形態が考えられる。しかし、著者が行った機械による死亡労働災害の分析結果（本報告書の第6章参照）によれば、複数作業業者が大規模生産ライン内で行う作業に関連する災害では、作業業者が生産ラインなどの広大領域内に進入したために発生した災害が35.7%、他の作業業者が誤って機械を起動したために発生した災害が12.4%と多数を占めていた。

このため、以上の災害に関連した作業行動を対象とした。これは、次の2種類に分類される。

##### (1) ライン内への進入（タイプA）

作業業者がライン内に進入する。これには、指名作

業者が段取り、トラブル処理、保全、清掃などのために意識的にライン内に進入するときだけでなく、非指名者がとっさの判断でライン内に進入するときなども含まれる。

(2) 機械の起動 (タイプB)

作業者が機械を起動する。これには、作業指揮者が始業時に機械を起動するときだけでなく、指名作業者が保護装置 (安全装置) の作動後に機械を再起動するときや、非指名者がとっさの判断で機械を再起動するときなども含まれる。

2.1.3 作業行動によって生じる結果の同定

同様に、人間の作業行動によって生じる結果にも様々な形態が考えられる。しかし、この結果は災害防止の立場からは「正常」か「異常」に大別される。ここで、異常を「誤り」と解釈すれば、これは「安全側誤り」<sup>5)</sup>と「危険側誤り」<sup>5)</sup>に大別される。そこで、作業行動によって生じる結果を次のように分類した。

(1) 正常 (N)

作業行動の結果、正常状態が維持される。以後、記号' N' で表す。キースイッチの例で言えば、作業者とキーの間が1対1の対応関係を保持しながら、ラインに対して進入または退出を行っている場合である。

(2) 危険側誤り (H)

作業行動の結果、危険側の誤り状態に遷移する。具体的には、機械が突然運転を開始したり、運転中の機械が止まらなくなる。以後、記号' H' で表す。

この誤りは、キースイッチの例で言えば、作業者がキーを抜かないでライン内に進入したり、2人の作業者等がキーを1個 (厳密には、進入した作業者の人数より少ないキーの数。以下同じ) だけ抜いて同時にライン内へ進入するときなどに発生する。

このとき、ライン内に作業者が存在しているにもかかわらず、誤って「存在していない」と判定され

て、機械が運転を開始してしまう。

(3) 安全側誤り (S)

作業行動の結果、安全側の誤り状態に遷移する。具体的には機械が停止する。以後、記号' S' で表す。

この誤りは、キースイッチの例で言えば、作業者がライン内から退出したときにキーを戻さなかったり、作業者がキーを抜いた後に何らかの理由でライン内に進入しなかったときなどに発生する。このとき、ライン内に作業者が存在していないにもかかわらず、誤って「存在している」と判定されて、機械が停止したままの状態となる。

以上のうち、現場で特に問題とされているのは危険側誤りである。しかし、実際の対策では安全側誤りも考慮する必要がある。なぜなら、タイプAの作業行動によって機械が停止した (安全側誤りへの遷移) 後は、他の作業者がタイプBの作業行動を引き続いて行くと、危険側誤りに遷移する可能性があるからである (後述するFig.1の太字部分参照)。このため、本論文では、危険側誤りと安全側誤りの両方を考慮した災害防止戦略を検討した。

2.2 リスク管理区分の決定

Table1に、著者が災害防止戦略を検討するために考案したマトリックス表を示す。この表では、横軸を人間の種類、縦軸を作業行動の種類としてマトリックス表示を行い、当該マトリックスの各欄に作業行動によって生じる結果 (N, H, S) と第7章で定義したリスク管理区分 (I, II, III) を記入する。ただし、作業行動によって生じる結果がN, S, Hのすべてである場合は、災害防止上最も問題となる'H'を記入した。同様に、NとHの場合は'H'を、NとSの場合は'S'を記入した。

Fig.1は、著者が同様の目的のために考案したハザード分析図である。この図では、人の作業行動を長方形で、作業行動の結果を楕円形で表している。以

Table 1 The judgement example of risk management division.  
リスク管理区分の判定例

Division	Class 0		Class 1		Class 2		TOTAL
	Chief operator		Nominated operator		Non-nominated person		
Type A : A person enters in X.	S	I	S	I	S	I	II
Type B : A person restarts the machine.	H	II	H	II	H	II	

後、本論文では、これらの図表を利用して’適切なリスク低減’が図れたかを検討する。

### 3. 人間挙動の具体的形態

#### 3.1 災害防止の条件

次に、人間挙動に関連する災害防止戦略の具体的形態を検討する。Table2は、この検討を行うためのモデルである。表で、領域Xは大規模生産ラインの安全防護領域（機械の可動部の動作領域に安全距離などを付加した領域）で、領域Yは領域X以外のすべての領域を意味する（ $Y=\bar{X}$ ）。

また、領域X及びYで作業を行う作業者のうち、作業指揮者を $h_0$ 、指名作業者を $h_1, \dots, h_N$ 、非指名者を $h_{N+1}, \dots, h_\infty$ で表す。なお、 $\infty$ の記号を用いたのは、非指名者の人数を確定できないためである。ここで、時刻 $t$ において領域Xに作業者 $h_j$  ( $J=0,1,2,\dots,\infty$ )が存在していないことを $\overline{H_j(X,t)}=1$ 、存在していることを $\overline{H_j(X,t)}=0$ で表し、時刻 $t$ において領域Yに作業者 $h_j$  ( $J=0,1,2,\dots,\infty$ )が存在していることを $H_j(Y,t)=1$ 、存在していないことを $H_j(Y,t)=0$ で表す。

このとき、災害が発生しないためには、領域Xに作業者が1人も存在していないか、または、領域Yにすべての作業者が存在している必要がある。

この関係は、次式で表すことができる。

$$\prod_{J=0}^{\infty} \overline{H_j(X,t)} = 1 \text{ または } \prod_{J=0}^{\infty} H_j(Y,t) = 1 \quad (1)$$

ただし、 $\Pi$ は論理変数の積を意味する記号である。

(1) 式を満足させるには次の方法がある。

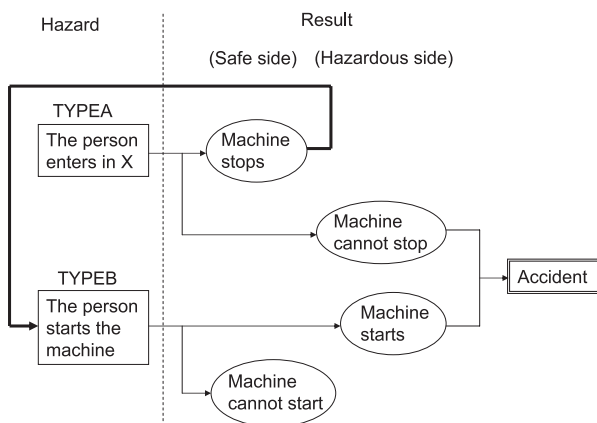


Fig. 1 The figure of hazard analysis. ハザード分析図

#### 3.2 作業領域の分離

この方法では、作業者と機械の作業領域を完全に分離して災害を防止する。具体的には、領域X-Y間を固定ガード（柵、囲いなど）で分離し、領域Xへの作業者の進入を阻止することで（1）式を実現する（Table2 (a) 参照）。

このためには、作業者が領域X内（以後、ライン内とも呼ぶ）に進入する必要があるように、ライン内で行っている作業をライン外から行えるようにしたり、作業の自動化を図ったり、設備の信頼度を改善してトラブルの発生頻度を減少させるなどの対策が必要である。これをライン内作業の根絶と呼ぶ。

#### 3.3 作業領域内の監視

現実には、ライン内作業を完全に根絶するのは困難である。このため、固定ガードの一部に開口部を設けて、作業者のライン内への進入を可能にするとともに、ライン内への作業者の進入を監視する安全確認システム<sup>5)</sup>を構築する。

この監視には、次のような方法がある。

##### 1) 直接監視

これは、領域X内に作業者がいないことを保護装置などで直接監視する方法である（Table2 (b) 参照）。以後、これを直接監視による災害防止対策と呼ぶ。具体的には、プレス機械の金型内をレーザー式保護装置で監視したり、スタッカクレーンの走行路の全域にマットスイッチを敷き詰めて監視するなどの方

Table 2 The type of accident prevention measures. 災害防止対策の類型

No	Accident prevention measures	Relation figures
(a)	Fixation of human and machine space	
(b)	Monitoring the human presence in X	
(c)	Indirect monitoring Monitoring the human entrance into X	
(d)	Monitoring the human presence in Y	
(e)	Monitoring the human motion between X and Y	

Note) The bold line means the fixed guard,  $\bar{X}=Y$



法がある。

2) 間接監視

実際の災害防止対策では、広大な領域Xの全域を直接監視するのは困難なときがある。そこで、これに代えて一般に次の①～③の方法が実施されている。以後、これらを間接監視による災害防止対策と呼ぶ。

① 進入監視 (領域Xへの)

これは、領域Xへの進入場所に監視装置を設けて作業者の進入を常時監視する方法である (Table2 (c) 参照)。具体的には、監視用の装置として可動ガード、光線式安全装置、マットスイッチなどを設置し、これらの装置が作業者の進入を検知したときは、直ちに機械を停止させて災害を防止する。

② 存在監視 (領域Yでの)

これは、領域Y内を監視する人体検知装置などを設けて、作業者が領域Yに存在していることを常時監視する方法である (Table2 (d) 参照)。具体的には、両手操作式安全装置、マットスイッチ、光線式安全装置などを使用して作業者が領域Y内に存在していることを確認したときに、機械の運転を許可するなどの方法がある。

③ 進入退出監視 (領域X-Y間の)

これは、作業者が領域Yから領域Xへ進入するときにはキーやプラグをボックスから抜き、領域Xから領域Yへ退出するときはキーやプラグをボックスに戻すことなどで、作業者の進入を間接的に監視する方法である (Table2 (e) 参照)。

この方法では、すべてのキーボックスにキーが差し込まれているときに機械の運転を許可する。プラグも同様である。

以上のうち、作業領域の分離や直接監視による方法は、明らかにISO12100-1の第5.5節に定めた適切なリスク低減に該当すると考えられる。これに対し、間接監視による方法では、適切なリスク低減が達成できるか明確でない。そこで、次に、間接監視の代表例であるキースイッチを利用した方式を対象に残留リスクの検討を行い、適切なリスク低減が達成できるかの解明を試みる。

4. キースイッチを利用した間接監視方式の検討

4.1 基本構成

Fig.2に、キースイッチを利用した安全確認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。

(a) 各作業者  $h_0, h_1, \dots, h_N$  が領域Xへ進入すると

きに使用するキー  $k_0, k_1, \dots, k_N$

(b) これらのキーを格納するために、領域Xへの進入場所に設けられたキーボックス  $K_B$

(c) すべてのキーボックスにキーが差し込まれているときに、機械の運転を許可する論理積演算要素 (ANDゲート)  $G_M$

4.2 安全確認システム

Fig.2のシステムの機能は、論理式で一般的に表現できる。図で、 $I(t)$ は機械の運転命令に関する2値論理変数で、運転命令ありのときを  $I(t)=1$ 、運転命令なしのときを  $I(t)=0$  とする。

また、 $K_J(t)$ はキーボックスでのキー  $k_J$  ( $J=0,1,2, \dots, N$ ) の有無を意味する2値論理変数であり、キー  $k_J$  が差し込まれているときを  $K_J(t)=1$ 、差し込まれていないときを  $K_J(t)=0$  とする。

さらに、 $K(t)$ は  $K_J(t)$ の論理積を意味する2値論理変数であり、すべてのキーボックスにキーが差し込まれているときを  $K(t)=1$ 、それ以外のときを  $K(t)=0$  とする。さらに、 $W(t)$ は機械の運転状態に関する2値論理変数であり、運転実行のときを  $W(t)=1$ 、運転禁止のときを  $W(t)=0$  とする。

ここで、論理積を記号「 $\wedge$ 」で表すと、Fig.2の安全確認システムの機能は次式で表すことができる。

$$W(t) = I(t) \wedge K(t) \tag{2}$$

$$K(t) = \prod_{J=0}^N K_J(t) \tag{3}$$

(2)式は、機械に対して運転命令があり ( $I(t)=1$ )、かつ、すべてのキーボックスにキーが差し込まれているときに ( $K(t)=1$ )、機械の運転を許可する ( $W(t)=1$ ) 機能を示している。

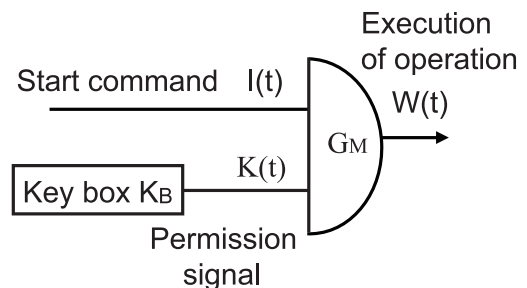


Fig. 2 The logic diagram of safety confirmation system for indirect monitoring system by key-switch. キースイッチを利用した間接監視方式の安全確認システムの論理構成

### 4.3 残留リスクの解明

Fig.2のシステムの状態は、作業行動の結果によって次のように類型化できる(Table3参照)。なお、( )内は作業行動の結果である。

(a)  $K_J(t) = \overline{H_J(X,t)}$ の場合 (正常)

これは、作業者とキーの間が1対1の対応関係を保持しながら、領域Xに対して進入または退出を行っている場合である。

(b)  $K_J(t) > \overline{H_J(X,t)}$ の場合 (危険側誤り)

これは、作業者がキーを抜かないで領域Xに進入したり、2人の作業者等がキーを1個(厳密には、進入した作業者の人数より少ないキーの数。以下同じ)だけ抜いて同時に領域Xへ進入するときなどに発生する。

このとき、領域X内に作業者が存在しているにもかかわらず、誤って「存在していない」と判定されて、機械が運転を開始してしまう。

(c)  $K_J(t) < \overline{H_J(X,t)}$ の場合 (安全側誤り)

これは、作業者が領域Xから退出したときにキーを戻さなかったり、作業者がキーを抜いた後に何らかの理由で領域Xに進入しなかったときなどに発生する。このとき、領域X内に作業者が存在していないにもかかわらず、誤って「存在している」と判定されて、機械が停止したままの状態となる。

以上のうち、現場で特に問題とされているのは危険側誤りである。しかし、前述したように、実際の対策では安全側誤りも考慮する必要がある。このため、本論文では、危険側誤りと安全側誤りの両方を対象に残留リスクの低減策を検討した。以下、それぞれについて述べる。

## 5. キースイッチと監視装置を併用した 間接監視方式の検討

### 5.1 危険側誤りに対するリスク低減策

Fig.2のシステムでは、キーの存在の有無だけで機械の運転許可を判定する。このため、非指名者がキーを抜いて領域Xに進入するという問題を防止できないという欠点があった。

そこで、キーを持つ人間を作業指揮者と指名作業者に限定するとともに、作業者が可動ガードに設けられたキーボックスにキーを差し込まなければ、可動ガードが開かず、領域Xに進入できない方式を採用する。しかし、この方式は非指名者に対しては一定の保護効果を持つが、作業指揮者と指名作業者に対してはFig.2と同等の保護効果しか持たないと考え

られる。

そこで、すべての作業者に対して保護効果を持たせるために、領域Xへの進入場所に監視装置(たとえば、光線式保護装置やマットスイッチなど)を設けるとともに、作業者によるキー操作及び領域Xへの進入行動が正常と確認できないときは機械の運転を許可しない安全確認システムを検討した。

Fig.3に、このシステムの基本構成図を示す。以下、システムの特徴を具体的に説明する。

(a) 作業者による進入・退出行動が正常であることを確認するために、領域Xへの進入場所に監視装置(たとえば、光線式安全装置やマットスイッチ)を設ける。具体的には、「作業者がキーボックスからキーを抜く」→「キーを抜いた後の一定時間内(たとえば10秒以内など)に監視装置(たとえばFig.3のマットスイッチ)を所定の順序( $\alpha \rightarrow \beta \rightarrow \gamma$ の順)で一定時間内(たとえば5秒以内など)に作動させる」という行動が正常に行われたときに、正常な進入があったと判断する。

また、作業者が「監視装置(たとえばFig.3のマットスイッチ)を所定の順序( $\gamma \rightarrow \beta \rightarrow \alpha$ の順)で一定時間内(たとえば5秒以内など)に作動させる」→「監視装置を作動させた後の一定時間内(たとえば10秒以内など)にキーボックスにキーを戻す」という行動が正常に行われたときに、正常な退出があったと判断する。以上の結果、進入や退出が正常と確認できないときは、警報を鳴らして注意を喚起するとともに、機械の運転を許可しない。

(b) 作業者が領域Xに進入・退出できるのは、Fig.3のAB間だけとする。この幅は、2人の作業者が一緒に並んで領域X内に進入できないように、進入場所の開口部の横幅を1人しか通過できない幅(たとえば500mm)とする。

(c) 安全確認システムへの電力供給が停止すると、作業者等の進入や退出を監視できない。このため、機械の駆動用電力を遮断した後も安全確認システムに対しては電力供給を継続できるようにバックア

Table 3 The judgement of residual risk.  
残留リスクに対する判定

$K_J(t)$	$\overline{H_J(X,t)}$	Judgement
1	1	Normal
1	0	Failure to danger
0	1	Failure to safety
0	0	Normal

ップシステム（たとえばバッテリー）を設ける。

Fig.4に、安全確認システムの基本構成図を示す。図で、 $S(t)$ は作業指揮者による監視装置のセット命令で、命令ありを $S(t)=1$ 、なしを $S(t)=0$ とする。また、 $P(t)$ は監視装置からの出力で、監視装置の設置場所に作業者がいないときを $P(t)=1$ 、いるときを $P(t)=0$ とする。

この $S(t)$ をセット信号、 $P(t)$ をリセット信号として、自己保持回路の出力 $M(t)$ を発生させる。ここでは、作業者が監視場所をいまだ通過していないことを $M(t)=1$ 、作業者が監視場所を既に通過したことを $M(t)=0$ とする。

この $M(t)$ と既に導入した $K(t)$ から、作業者の領域 $X$ 内への進入を意味する論理変数 $A(t)$ を生成する。ただし、作業者が領域 $X$ 内に進入していないときを $A(t)=1$ 、進入しているときを $A(t)=0$ とする。ここで、既に導入した $W(t)$ を使用すると、以上の関係は次式で表すことができる。

$$W(t) = I(t) \wedge A(t) \quad (4)$$

$$A(t) = M(t) \wedge K(t) \quad (5)$$

$$K(t) = \prod_{J=0}^N K_J(t) \quad (6)$$

$$M(t) = SH[S(t), P(t)] \quad (7)$$

ただし、 $SH$ は自己保持演算を意味する関数であり、 $S(t)$ は自己保持回路のセット信号、 $P(t)$ はリセット

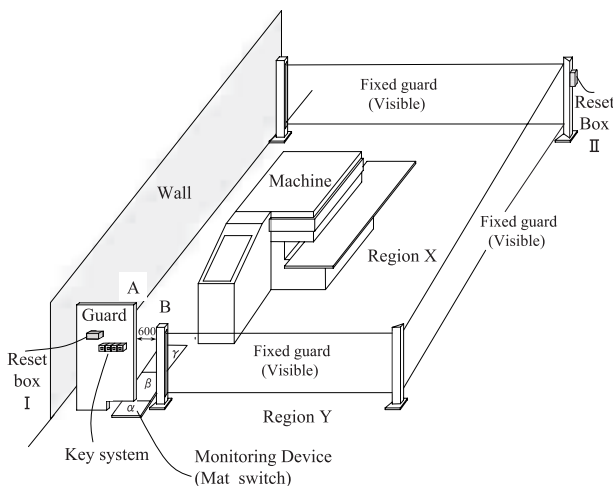


Fig. 3 The configuration of safety confirmation system with the key-switch and the monitoring device. キースイッチと監視装置を併用した安全確認システムの基本構成

信号、 $M(t)$ は自己保持回路の出力である。

## 5.2 安全側誤りに対するリスク低減策

(d) 機械の再起動操作は、特定のキーを持った作業指揮者が当該キーで開けられるボックスを順次操作しなければ行えないようにする（例えば、Fig.3のII→Iの順）。

(e) 作業指揮者が領域 $X$ 内を見やすいように、柵を透明にして可視化を図る。

## 6. キースイッチとロック付きカウンターゲートを併用した間接監視方式

### 6.1 残留リスクの検討

以上のような構成とすることで、適切にリスク低減の達成を試みた。しかし、このシステムで適切なリスク低減が達成できたかは以下の理由から判定が分かれると考えられる。

① 領域 $X$ への進入場所（Fig.3のAB間）が常時通過可能であるために、キーを持たない作業者の進入を阻止できない。このため、作業者が不意に進入して機械が停止し、作業指揮者が再起動操作を行う必要が頻繁に生じる。

② 複数の作業者が連続して進入したときは、監視装置が人数を正確にカウントできないことがある（同じ人の右足と左足なのか、別の人の足かを区別できない）。

### 6.2 ロック付きカウンターゲートの提案

Fig.5は、以上の問題を解決するための安全確認システムの基本構成図である。このシステムでは、上記①の問題を解決するために、領域 $X$ への進入場所にゲートを備えている。これは、キーを識別しない

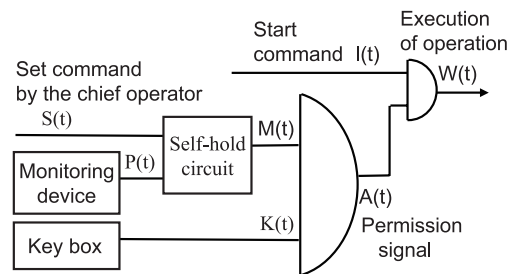
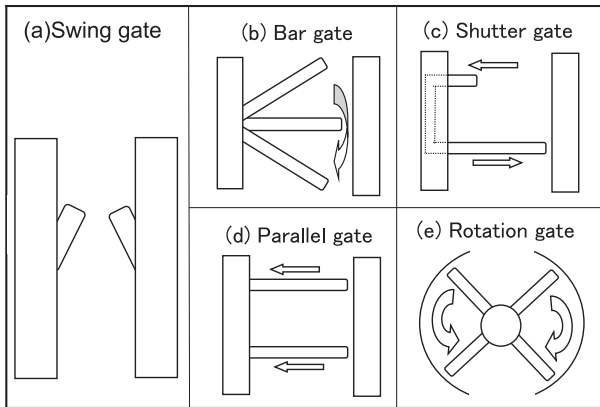


Fig. 4 The logic diagram of safety confirmation system with the key-switch and the monitoring device. キースイッチと監視装置を併用した安全確認システムの論理構成



Table 4 The example of human entrance inhibiting conter gate  
残留リスクに対する判定



限り開かないロック付きの構造となっている。また、上記②の問題を解決するために、ゲートは一人毎でなければ通過できない構造としている。以後、これをカウンターゲートと呼ぶ。

Table4に、カウンターゲートの具体例を示す。表で、(a)は鉄道の検札などで使用されている進入防止ゲート、(b)は遊園地などで使用されている回転式のバーゲート、(c)は入口と出口の扉を一体構造としたシャッターゲート（入口を開くと出口が閉じ、出口を開くと入口が閉じる相反構造）、(d)は入口と出口の両方に扉を備えた平行ゲート（入口と出口のどちらか一方が必ず閉じる構造）、(e)は回転扉に類似した旋回ゲートである。

これらのゲートでは、いずれも複数の作業者が同時に進入できない構造となっている。たとえば、進入防止ゲートやバーゲートでは作業者等は1人しか通過できない。また、シャッターゲートや平行ゲートでは、入口-出口間の領域は作業者1人分だけの

スペースとしている。さらに、旋回ゲートでは回転扉内を作業者が1人しか存在できない区画に分割している。

なお、著者は作業者の入退出を機械的に計測するカウンターゲートの構築も試みた<sup>2)</sup>。この詳細は、文献<sup>2)</sup>を参照されたい。これにより、プログラマブルな電子制御装置を利用しなくとも作業者の入退出をカウントできるため、電力供給停止の問題を考慮する必要がない。

以上の関係は、キーの識別装置を $C_K$ 、カウンターゲートの計数装置を $C_C$ で表し、キーを識別できることを $J(t)=1$ 、識別できないときを $J(t)=0$ 、カウンターゲートの計測数が0のときを $L(t)=1$ 、0以外を $L(t)=0$ とすると、次のように表すことができる (Fig.5参照)。

$$W(t) = I(t) \wedge L(t) \wedge J(t) \tag{8}$$

## 7. リスク管理区分の判定

### 7.1 広大領域

次に、現場で実施されている様々な監視方式を対象に、リスク管理区分を判定する。この判定は、Table1のマトリックス表を利用して著者が実施した。

Table5に、判定結果を示す。このうち、(b) から (i) は個別表で、各監視方式毎のリスク管理区分の詳細な判定結果を示している。これに対し、(a) は全体の総括表で、個別表の判定で得られたリスク管理区分の最悪値を代表値として示している。これは、安全性評価は最悪値評価であるとする著者の考えに基づく。

ただし、リスク管理区分の判定は、技術進歩や社会環境などによって変化する可能性がある。したがって、本判定はあくまでも参考値と考えて頂きたい。

以下、各監視方式毎に詳細を述べる。

#### (1) 直接監視

これは、領域 $X$ の全域をレーザー式保護装置、光線式保護装置、マットスイッチ、ICタグなどで監視する方法である (Table5 (a) の①~④、及びTable5 (b) 参照)。

この方法では、レーザー式保護装置などで領域 $X$ 内の全域を監視しているために、作業者が領域 $X$ 内に進入したとき (タイプAの作業行動) は直ちに機械が停止する。

また、作業者が機械の再起動操作を行ったとき (タイプBの作業行動) も、領域 $X$ 内に作業者が存在しているときはレーザー式保護装置などが作業者を

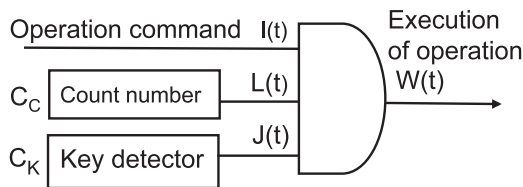


Fig. 5 The logic diagram of safety confirmation system with the key-switch and the counter-gate.  
キースイッチとカウンターゲートを併用した安全確認システムの論理構成



Table 5 The judgement of the risk management division.  
リスク管理区分の決定

(a) Total judgement.  
総合判定

The type of monitoring	The type of protective device		Risk management division			
			The safeguarded space (X)			
			Large	Medium	Small	
Direct	①	Laser sensor	I	I	I	
	②	Mat switch	I	I	I	
	③	Photo-electric sensor	I	I	I	
	④	IC tag	I	I	I	
Indirect	⑤	Monitoring the human entrance into X	Movable guard	II	II	I
	⑥		Photo-electric sensor	II	II	I
	⑦		Mat switch	II	II	I
	⑧	Monitoring the human presence in Y	Two hand control	II	II	I
	⑨		Photo-electric sensor	II	II	I
	⑩		Mat switch	II	II	I
	⑪	Monitoring the human motion between X and Y	Key-switch	II	II	I
	⑫		Plug (Tamper-proof type)	II	II	I
	⑬		IC tag	II	II	I
	⑭		⑪~⑬ and movable guard with guard-locking	II	II	I
	⑮		⑪~⑬ and monitoring device	II	II	I
	⑯		⑪~⑬, monitoring device and restarting protective device	I or II	I or II	I
	⑰		⑪~⑬ and counter gate with gate-locking	I	I	—

(b) Detail judgement in the case of ①~④.  
①~④の場合の詳細判定

Div.	Class 0	Class 1	Class 2	TOTAL
Type A	S : I	S : I	S : I	<b>I</b>
Type B	S : I	S : I	S : I	

(f) Detail judgement in the case of ⑭.  
⑭の場合の詳細判定

Div.	Class 0	Class 1	Class 2	TOTAL
Type A	H : II	H : II	H : I or II	<b>II</b>
Type B	H : II	H : II	H : II	

(c) Detail judgement in the case of ⑤~⑦.  
⑤~⑦の場合の詳細判定

Div.	Class 0	Class 1	Class 2	TOTAL
Type A	S : I	S : I	S : I	<b>II</b>
Type B	H : II	H : II	H : II	

(g) Detail judgement in the case of ⑮.  
⑮の場合の詳細判定

Div.	Class 0	Class 1	Class 2	TOTAL
Type A	H : I or II	H : I or II	H : I or II	<b>II</b>
Type B	H : II	H : II	H : II	

(d) Detail judgement in the case of ⑧~⑩.  
⑧~⑩の場合の詳細判定

Div.	Class 0	Class 1	Class 2	TOTAL
Type A	H : II	H : II	H : II	<b>II</b>
Type B	H : II	H : II	H : II	

(h) Detail judgement in the case of ⑯.  
⑯の場合の詳細判定

Div.	Class 0	Class 1	Class 2	TOTAL
Type A	H : I or II	H : I or II	H : I or II	<b>I or II</b>
Type B	H : I or II	S : I	S : I	

(e) Detail judgement in the case of ⑪~⑬.  
⑪~⑬の場合の詳細判定

Div.	Class 0	Class 1	Class 2	TOTAL
Type A	H : II	H : II	H : II	<b>II</b>
Type B	H : II	H : II	H : II	

(i) Detail judgement in the case of ⑰.  
⑰の場合の詳細判定

Div.	Class 0	Class 1	Class 2	TOTAL
Type A	S : I	S : I	S : I	<b>I</b>
Type B	S : I	S : I	S : I	

検知するために、機械を再起動できない。

したがって、すべての作業員（クラス）と作業行動（タイプ）に対してリスク管理区分Ⅰと判定した（Table5 (b) 参照）。

#### (2) 進入監視（可動ガードを利用）

これは、領域Xの進入場所に監視装置として可動ガードを設ける方法である（Table5 (a) の⑤、及びTable5 (c) 参照）。

この方法では、作業員が領域X内に進入する（タイプAの作業行動）ために可動ガードを開けたときは、直ちに機械が停止する。したがって、タイプAの作業行動に対してはリスク管理区分Ⅰと判定した（Table5 (c) 参照）。

これに対し、この方法では、作業員が領域X内に残留しているときでも、他の作業員が可動ガードを閉じて機械を再起動する（タイプBの作業行動）可能性がある。このため、本報告書の第7章で述べた人的リスク低減方策の併用が必要である。したがって、タイプBの作業行動に対してはリスク管理区分Ⅱと判定した（Table5 (c) 参照）。

#### (3) 進入監視（光線式保護装置やマットスイッチを利用）

これは、領域Xの進入場所に監視装置として光線式保護装置やマットスイッチを設ける方法である（Table5 (a) の⑥と⑦、及びTable5 (c) 参照）。

この方法では、作業員の領域Xへの進入（タイプAの作業行動）を監視装置が検知したときは、直ちに機械が停止する。したがって、タイプAの作業行動に対してはリスク管理区分Ⅰと判定した（Table5 (c) 参照）。

これに対し、光線式保護装置やマットスイッチは領域Xの進入場所しか監視しないために、領域X内に残留している作業員を検知できない可能性がある。このとき、作業員が領域X内を十分確認しないで機械を再起動できる（タイプBの作業行動）という問題がある。このため、人的リスク低減方策の併用が必要である。したがって、タイプBの作業行動に対してはリスク管理区分Ⅱと判定した（Table5 (c) 参照）。

#### (4) 存在監視

これは、作業員が領域Yに存在していることを監視装置などによって常時監視する方法である（Table5 (a) の⑧～⑩、及びTable5 (d) 参照）。

この方法では、作業員を1人に限定しなければならぬために、人的リスク低減方策の併用が必要である。したがって、すべての作業員（クラス）と作業行動（タイプ）に対してリスク管理区分Ⅱと判定した（Table5 (d) 参照）。

#### (5) 進入退出監視（キー・プラグの利用）

これは、作業員が領域Yから領域Xへ進入するときにはキーやプラグをボックスから抜き、領域Xから領域Yへ退出するときはキーやプラグをボックスに戻すことで、作業員の進入を間接的に監視する方法である（Table5 (a) の⑪び⑫、及びTable5 (e) 参照）。

この方法では、作業員の領域Xへの進入（タイプAの作業行動）時にキーやプラグの抜き忘れという問題がある。このために、人的リスク低減方策の併用が必要である。したがって、タイプAの作業行動に対してはリスク管理区分Ⅱと判定した（Table5 (e) 参照）。

また、この方法は領域X内に残留している作業員を検知できないために、機械の再起動（タイプBの作業行動）時には人的リスク低減方策の併用が必要である。したがって、タイプBの作業行動に対してもリスク管理区分Ⅱと判定した（Table5 (e) 参照）。

#### (6) 進入退出監視（ICタグの利用）

これは、キーやプラグの抜き忘れという問題に対する対策として、ICタグを利用する方法である（Table5 (a) の⑬、及びTable5 (e) 参照）。

具体的には、作業員が現場で必ず着用するヘルメットなどにICタグを貼り付けるとともに、領域Xの進入場所にICタグの識別装置を設置して作業員を自動的に識別するなどの方法がある。

この方法では、作業員がヘルメットの着用を忘れる頻度がキーやプラグを抜き忘れる頻度より小さければ、相応の災害防止効果はあると考えられる。しかし、ヘルメットの着用を忘れることはある程度の頻度で発生すると考えられるので、人的リスク低減方策の併用が必要である。したがって、(5) と同様のリスク管理区分と判定した（Table5 (e) 参照）。

#### (7) 進入退出監視（キー・プラグ・ICタグとロック付き可動ガードの併用）

これは、作業員にあらかじめキー、プラグ、ICタグなどを与えておくとともに、作業員が領域Xへ進入するときは、キー、プラグ、ICタグなどを用いて可動ガードのロックを解除しなければ、領域Xに進入できない方法である（Table5 (a) の⑭、及びTable5 (f) 参照）。

この方法により、非指名者が領域Xに進入する頻度を減少できる。しかし、指名作業員が可動ガードを開いた後に、非指名者が領域X内に進入する（タイプAの作業行動）という問題は依然として残留する。この残留リスクが許容可能か否かは、判定者によって判断が分かると考えられる。したがって、

非指名者が行うタイプAの作業行動に対してはリスク管理区分 I or II と判定した (Table5 (f) 参照)。

これに対し、作業指揮者や指名作業者が領域Xに進入する頻度は (6) の場合と変わらないため、保護のレベルも同等と考えられる。したがって、作業指揮者や指名作業者が行うタイプAの作業行動に対してはリスク管理区分 II と判定した (Table5 (f) 参照)。

また、タイプBの作業行動に対しては、(6) と同様の理由からすべての作業員に対してリスク管理区分 II と判定した (Table5 (f) 参照)。

#### (8) 進入退出監視 (キー・プラグと監視装置の併用)

これは、キーやプラグを抜かないで領域Xに進入する作業員を、領域Xの進入場所に設けた監視装置 (光線式保護装置、マットスイッチなど) で検知する方法である (Table5 (a) の⑮, 及びTable5 (g) 参照)。

この方法により、作業員がキーやプラグを抜かないで領域Xに進入する (タイプAの作業行動) 頻度を減少できる。しかし、キーやプラグを持っている作業員の直後にキーやプラグを持たない作業員が意図的に進入する場合、(きわめてまれではあるが) 第6.1節で述べたように監視装置が人数を正確にカウントできないことも想定される (同じ人の右足と左足なのか、別の人の足かを区別できない)。この残留リスクが許容可能か否かは判定者によって判断が分かると考えられる。したがって、タイプAの作業行動に対してはすべての作業員についてリスク管理区分 I or II と判定した (Table5 (g) 参照)。

これに対し、タイプBの作業行動に対しては、(5) と同様の保護と考えられる。したがって、すべての作業員に対してリスク管理区分 II と判定した (Table5 (g) 参照)。

#### (9) 進入退出監視 (ICタグと監視装置の併用)

これは、ICタグを貼り付けたヘルメットを被らないで領域Xに進入する作業員を、領域Xの進入場所に設けた監視装置 (光線式保護装置、マットスイッチなど) で検知する方法である (Table5 (a) の⑮, 及びTable5 (g) 参照)。

この効果も(8)と同等と考えられる (Table5 (g) 参照)。

#### (10) 進入退出監視 (キー・プラグ・ICタグ、監視装置及び再起動操作を作業指揮者に限定する装置の併用)

これは、上記 (8) または (9) にロックアウトなどを適用し、再起動操作を作業指揮者に限定する装置を追加した方法である (Table5 (a) の⑯, 及びTable5 (h) 参照)。

この方法によるタイプAの作業行動の保護水準は、上記 (8) または (9) と同等である。これに対し、この方法では、指名作業員と非指名者による再起動操作 (タイプBの作業行動) を許可しない。したがって、タイプBの作業行動では、指名作業員と非指名者に対してリスク管理区分 I と判定した (Table5 (h) 参照)。

一方、この方法では再起動操作を作業指揮者に限定しているために、作業指揮者に対する保護水準は (8) や (9) と同等とも考えられる。しかし、この方法では、作業指揮者を対象とした設備安全方策として、第5.2節 (d) 及び (e) に述べた方策も併せて講じている。したがって、この設備安全方策の効果を考慮して、作業指揮者に対してはリスク管理区分 I or II と判定した (Table5 (h) 参照)。

#### (11) 進入退出監視 (キー・プラグ・ICタグとロック付きカウンターゲートの併用)

これは、作業員が領域Xへの進入場所でキー・プラグ・ICタグを提示しなければゲートが開かないようにロック機構を設けるとともに、当該ゲートを1人づつしか通過できないカウンターゲート構造としたものである (Table5 (a) の⑰, 及びTable5 (i) 参照)。

この方法は、第6.1節に示したすべての残留リスクに対応できると考えられる。したがって、すべての作業員と作業行動に対してリスク管理区分 I と判定した (Table5 (i) 参照)。

## 7.2 小領域と中領域

前節では、領域Xが広大なときを検討した。しかし、実際には領域Xが広大でないときもある。そこで、領域Xを次のように分類し、リスク低減の可能性を検討した。

### (a) 小領域

人体の一部しか進入できない程度の領域。

### (b) 中領域

人体全部が進入できるが、視野を移動せずに全範囲を確認できる程度の領域 (ただし、作業員の操作位置からは死角が存在しない)。

### (c) 広大領域

人体全部が進入でき、かつ、視野を移動しなければ全範囲を確認できない程度の領域。または、作業員の操作位置から死角が存在する領域。

Table5 (a) のMediumとSmallの欄に、各領域でのリスク低減の可能性を示す。表より、領域Xが小領域のときはすべての方式でリスク管理区分を I とできる可能性がある。



## 8. 考察

### 8.1 ISO14121との関係

本論文では、複数作業者が広大領域内で行う作業のハザードとしてISO14121<sup>4)</sup>の付属書A(補足1参照)に記載されたハザードリストを使用した。このうち、No.1に記載された機械的ハザードなどは、人間の感覚(たとえば、視覚や聴覚など)を利用することで比較的容易に同定できると考えられる。

これに対し、No.8, 25, 37などの人間挙動に関連したハザードでは、①どのような種類の人間が、②どのような作業行動を行い、③その結果どのような状態に至るかが論理的に明確でないと、ハザードの同定は困難である。このため、本論文では、作業者の種類(クラス)と作業行動(タイプ)のマトリックス表示によって人間挙動の同定を試みた(Table1及びTable5参照)。この方法は、人間挙動が関連する様々な作業に応用可能と考えられる。

### 8.2 ISO11161との関係

現在、ISOではIMS(Integrated manufacturing systems)に関する国際規格としてISO11161が審議されつつある。この規格では、異なる工程間の機械の連動が重要な課題となっている。しかし、実際の災害は、作業員等が領域Xに進入することで多発しており、本論文で検討した事項も併せて考慮する必要があると考える。

## 9. おわりに

本論文では、複数作業者が大規模生産ライン内で行う作業を対象に、災害防止戦略の検討を行った。これによって得られた結果は、次のとおりである。

- 1) 複数作業者が大規模生産ライン内で行う作業では、どのような種類の人間が、どのような作業行動を行い、その結果どのような状態に至るかが明確でないと、ハザードの同定は困難である。そこで、作業者の種類(クラス)と作業行動(タイプ)のマトリックス表示によって人間挙動を同定する方法を考案した。この方法は、人間挙動が関連する様々な作業に応用可能と考えられる。
- 2) 大規模生産ラインの災害防止対策には、一般に実施されている間接監視による対策(可動ガード、キースイッチ、プラグなどの対策)だけでなく、安全防護領域内を直接監視する対策が考えられる。この対策が適用できる対象は限定的であるが、リスク

管理区分Iが達成できる対策として積極的に採用すべきである。

特に、最近では、レーザーやICタグ関連の技術が急速に進歩しており、本研究でもこれらの技術を活用した直接監視方式の実用化を進めている。

3) キースイッチやプラグを使用する間接監視方式は、作業員による抜き忘れなどの問題があるため、リスク管理区分Iは達成できない。また、可動ガードによる間接監視方式も、他の作業員がガードを閉じることで再起動が可能となるために、リスク管理区分Iは達成できない。さらに、ICタグを使用した間接監視方式も作業員がタグを貼り付けたヘルメットなどを着用し忘れるという問題があるために、リスク管理区分Iは達成できないと考えられる。

4) キー・プラグ・ICタグと監視装置を併用した対策は、①作業指揮者の注意力に依存して再起動操作を行うこと、及び②監視装置が作業員数のカウントを誤る可能性があることなどの残留リスクが認められる。これらの残留リスクを許容可能とするか否かは判断が分かれる。このため、リスク管理区分I or IIと判定した。これに対し、キー・プラグ・ICタグとロック付きのカウンターゲートを併用した方式は、前記①、②の残留リスクに対応できる可能性がある。したがって、この方式はリスク管理区分Iと判定した。

以上の結果は、現在検討中のISO11161やISO14121の改正作業などにも応用可能と考える。今後は、リスク管理区分Iの達成が見込まれるレーザーやICタグなどを利用した直接監視方式の開発、ICタグを応用した間接監視方式、及びロック付きカウンターゲートの実用化などを行う予定である。

## 参考文献

- 1) ISO12100-1, Safety of machinery — Basic concepts, general principles for design — Part1: Basic terminology, methodology, 日本規格協会 (2003)
- 2) 梅崎重夫・清水尚憲・深谷潔, 複数作業員が大規模生産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, 日本機械学会論文集, Vol.71, No.709, C編 (2005) pp.2832-2840
- 3) 梅崎重夫, 広大領域内の安全確認を目的とした複数作業員用安全確認システムの開発と評価, 産業安全研究所特別研究報告NIIS-SRR-No.24 (2002), pp.51-56
- 4) ISO14121, Safety of machinery—Principles for risk assessment (1999), 日本規格協会



- 5) 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－リスク評価に含まれる不確定性を考慮した安全方策の提案－，日本信頼性学会誌，Vol.23，No.7（2001） pp.659-674

（平成17年11月4日受理）

[補足1] ISO14121の付属書Aに記載された危険源リスト (文献4参照)

No.	危険源	危険事象
1	機械的危険源	1.1 押しつぶし 1.2 せん断 1.3 切傷または切断 1.4 巻き込まれ 1.5 引き込まれまたは落ち込み 1.6 衝撃 1.7 突き刺しまたは突き通し 1.8 こすれまたは擦りむき 1.9 高圧流体の注入または噴出
2	電氣的危険源	2.1 電流の流れている部品に人が接触 (直接接触) 2.2 故障状態で電流が流れている部品に人が接触 (間接接触) 2.3 高圧電流の流れている部品に接近 2.4 静電気現象 2.5 熱放射, または溶融粒子の射出及び短絡や過負荷などから起こる科学的効果
3	左記結果を招く熱的危険源	3.1 きわめて高いかまたは低い温度の物体, または材料と人の起こり得る接触によるか, 火災または爆発, 及び熱源からの放射による火傷, 熱傷及びその他の障害 3.2 高温または低音作業環境を原因とする健康障害
4	左記結果を招く騒音から起こる危険源	4.1 聴取力喪失, その他の生理的不調 (情緒安定性の喪失, 認識力の喪失など) 4.2 会話連絡, 音声記号, その他の妨害
5	振動が起こす危険源	5.1 各種の神経及び血管障害を起こす手持ち式機械の使用 5.2 特に劣悪な姿勢と組み合わせられたときの全身振動
6	放射から生じる危険源	6.1 低周波, 高周波放射, マイクロ波 6.2 赤外線, 可視光線, 紫外線 6.3 X線及びγ線 6.4 α線, β線, 電子またはイオンビーム, 中性子 6.5 レーザー
7	機械によって処理・使用された材料・物質(並びにその成分)が起こす危険源	7.1 有害な液体, 気体, ミスト, 煙, 及び粉じんと接触またはそれらの吸引 7.2 火災または爆発 7.3 生物学的または微生物学的 (ウイルスまたは細菌)
8	たとえば, 左記項目から起こる危険などのように, 機械設計時に人間工学原理を無視したことから起こる危険源	8.1 不自然な姿勢または過度の労働 8.2 手-腕または足-脚の解剖学的観点からの不適切さ 8.3 保護具の不使用 8.4 不適切な局部照明 8.5 精神的負荷及び過少負荷 8.6 ヒューマンエラー, 人間挙動 8.7 手動制御器の不適切な設計, 配置または識別 8.8 視覚表示機の不適切な設計または配置
9	危険源の組み合わせ	
10	左記項目から起こる不意の起動, 不意の超過走行/超過速度 (または何らかの類似誤操作)	10.1 制御システムの故障とトラブル 10.2 エネルギー供給源の中断後の回復 10.3 電気機器に対する外部的影響 10.4 その他の外部的影響 (重力, 風など) 10.5 ソフトウェアの誤り 10.6 運転員の誤り (人間の特性及び能力と機械の不調和)
11	機械を可能的最良状態に停止させることが不可能	
12	工具回転速度の変動	
13	電源の故障	
14	制御回路の故障	
15	取り付けの誤り購入	
16	運転中の破壊	
17	落下または噴出する物体または液体	

(続き)

No.	危険源	危険事象
18	機械の安全性の喪失／転覆	
19	人員の滑り、つまずき及び落下	
20	移動機能に関連	20.1 エンジン始動時の移動 20.2 運転席に運転手がない状態での移動 20.3 全部品が安全状態にない位置での移動 20.4 歩行者制御式機械の超過速度 20.5 移動時の過大振動 20.6 減速、停止及び固定するための機械性能が不完全
21	機械上の作業位置(運転台を含む)に関連	21.1 作業位置に出入り時または居るときの人員の落下 21.2 作業位置における排気ガス／酸素不足 21.3 火災(運転室の可燃性、消火手段の欠如) 21.4 作業位置における危険事象(車輪に接触、車に轢かれる、物体の落下、物体の貫通、高速回転物体の破砕、機械部品又は工具と人の接触) 21.5 作業位置からの可視性の不足 21.6 不適切な照明 21.7 不適切な座席位置 21.8 作業位置における騒音 21.9 作業位置における振動 21.10 排気／非常脱出の手段が不十分
22	制御システム	22.1 制御装置／制御機器の不適切な配置 22.2 制御装置の作動モード及び／又は作用モードの不適切な設計
23	機械の運搬から起こるもの(安全性の欠如)	
24	動力源及び伝達装置によるもの	24.1 エンジン及び電池から起きる危険現象 24.2 機械間の動力伝達から起きる危険事象 24.3 連結及び牽引から起きる危険事象
25	第三者から起こるか、または第三者に及ぼす危険源	25.1 無許可の始動／使用 25.2 停止位置から離れる部品の浮動 25.3 視覚または聴覚警告手段が欠如または不適切
26	運転者／作業員に対する指示が不十分	
27	持ち上げにより付加される危険源	27.1 下記項目によって起こる負荷の落下、衝突、機械の転倒(安全性の欠如、過負荷－転倒モーメントの超過、制御不可能な運動の増大、予期しない／意図しない荷の移動、不適切な保持装置／付属装置) 27.2 人が荷重支持体に接近することから起こるもの 27.3 脱線から起こるもの 27.4 部品の不十分な機械的強度 27.5 プーリ、ドラムの不適切な設計 27.6 チェーン、ロープ及び持ち上げ付属品の不適切な選定並びにそれらの不適切な機械組み込みから起こるもの 27.7 摩擦ブレーキの制御下での付加下降から起きるもの 27.8 組立／検査／使用／保全の異常状態から起きるもの 27.9 負荷／人員相互作用から起こるもの(負荷／つり合い重りによる衝撃)
28	電氣的危険源	28.1 照明から起こるもの
29	人間工学的原則の無視	29.1 運転席からの不十分な視認性
30	左記項目による機械的危険源及び危険事象	30.1 動力式屋根支柱の安定性の欠如 30.2 レール上を走る機械の加速装置または制動装置の機能停止 30.3 レール上を走る機械のデッドマン制御装置の機能停止又は欠如
31	人員移動の制限	
32	火災及び爆発	
33	じんあい、ガス、その他の放出	
34	人員の上昇または移動により付加される危険源	34.1 不適切な機械的強度－不適切な作用係数 34.2 負荷制御機能の故障 34.3 人員搬送台制御装置の故障 34.4 人員搬送台の超過速度
35	人員搬送台からの人員落下	
36	人員搬送台の落下または転覆	
37	ヒューマンエラー、人間挙動	