11608 大型プレス機械用安全システムの開発

-RFIDとカウンタゲートの階層化構成による間接監視方式の提案-

The development of safety system for large-scale power press.

- The proposal of hierarchical indirect monitoring system using RFID and countergate -

(独)労働安全衛生総合研究所 正 ○梅崎重夫 正 清水尚憲

National Institute of Occupational Safety and Health (JNIOSH) Shigeo UMEZAKI Shoken SHIMIZU

Key Words: Power Press, Safety Control, Protective Device, Risk Assessment, Human Detection System

There are many hazardous operations executed in large production lines of power press such as the operation of trouble-shooting, maintenance etc. 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. A new hierarchical indirect monitoring system for large-scale power press using RFID and countergate was proposed in this study.

1. はじめに

大型プレス機械では、段取り、金型調整、保全、トラブル処理などのために、作業者が機械を停止させた状態でライン内に進入することがある。このとき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。

この災害に対する対策として、レーザーを使って金型内を直接監視する方式がある。しかし、レーザーによる監視はすべての金型に対応できるわけではない。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キースイッチやプラグを設置することで、作業者の進入を間接的に監視し、リスクの低減を図らざるを得ない。しかし、キーやプラグは作業者による抜き忘れの問題が認められる。このため、作業者がキーやプラグを抜かなければ、インタロック式ガード(扉)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(これを「友達れ」と呼んでいる)、キーやプラグを持った作業者だけがラインから出て再びガードを閉めた後に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、従来から経験的に実施されているキーやプラグを利用した対策では、ISO12100-1の第5.5節¹⁾に定める適切なリスク低減の達成が困難な場合もあることを示唆している。実際、大型プレス機械では、上記のような状況で複数の死亡災害が発生しており、災害防止対策の抜本的見直しが必要と考えられる。このため、著者らは、大型プレス機械を対象に適切なリスク低減を達成できる災害防止対策の検討を行った。

2. 本研究で提案する災害防止対策

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ISO14121²⁾の付属書Aに記載されている。

このうち、小型のプレス機械では、付属書AのNo.1に記載された機械的ハザードが問題となる。しかし、複数の作業者が広大なライン内で作業を行なう大型プレス機械では、機械的ハザードだけでなく、人のライン内への進入や人によるプレス機械の誤った起動などのハザードも考慮する必要がある。これは、付属書AのNo.8, 25, 37などに記載された「人間挙動」に相当する。そこで、①どのような種類の人が、②どのような作業行動を行うかに着目してハザードの特定を行なった。

Table1に、大型プレス機械で人が行なう作業に関するハザードの一覧表を示す。表で、横軸は人の種類(クラス)であり、特定作業(クラス0)、一般作業(クラス1)、及び非作業(クラス2)に分類される。ここで、特定作業とは、ライン内への進入や機械の再起動に関する権限を与えられた者であり、作業指揮者や作業主任者などが含まれる。また、一般作業とは以上の権限を与えられていない作業者であり、新人作業者などが含まれる。さら

に、非作業者とは当該作業に従事してはならない者であり、他のラインの作業や見学者などが含まれる。同様に、縦軸は人の作業行動の型(タイプ)であり、人のライン内への進入(タイプA)と人による誤った機械の再起動(タイプB)に分類される。なお、表中のI~IIIはFig.2の階層を示す。

2.2 RFIDとカウンタゲートの階層化構成

次に、Table1の各ハザードに対する保護方策として、RFIDとカウンタゲートを併用した方策を提案する。Fig.1に、安全システムの概略図を示す。Fig.2は、本研究で提案する階層化安全制御の概念図である。Photo1は、試作中の安全システムの外観写真である。このシステムは、次の要素から構成される。

- ラインの内部(領域X)と外部(領域Y)の境界に設けられた固定式ガードF
- 領域Xへ進入するために、Fの一部に設けられたロック機構付のカウントゲートG(作業者が一人ずつしか進入できないもの。Fig.3参照)
- 各作業者 $h_0, h_1, \dots, h_N$ に割り当てられたICタグ $t_0, t_1, \dots, t_N$
- これらのタグを識別するために、ゲートGに隣接して設けられたタグの読取器[RG]
- 同様に、領域Y内の機械の再起動装置Pに隣接して設けられたタグの読取器[RP]
- [RX]と[RY]から得られた情報にしたがって、機械の運転を許可または禁止する判断要素C

Fig.2で、第I層はクラス1及び2の作業者を対象としたフォールトトレラントシステムである。この階層では、クラス1及び2の作業者がICタグを[RG]に提示してもガードGはロックされてライン内へ進入できない。これにより、クラス1及び2の作業者のライン内への進入を阻止し災害を防止する。これに対し、第II層はクラス0の作業者を対象としたインタロックシステムで、作業者がライン内へ進入したときは機械を停止させることで災害を防止する。

ここで、作業者 $J(J=1,2,\dots,N)$ が領域Yに存在していることを $F_J(t)=1$ 、存在していないことを $F_J(t)=0$ なる2値論理変数で表すと、安全制御システムにおける保護方策は次のようになる。

- ① 作業者が所定のICタグを[RG]に提示すると、ゲートGが開いて作業者がライン内に進入できる。このとき、[RG]は提示した作業者が誰であるかを自動的に識別し、 $F_J(t)$ を0にセットするとともに、機械の運転を禁止する。

Table1 The classification of hazard.

Division		Class0	Class1	Class2
		Chief operator	Nominated operator	Non-nominated operator
TypeA	A person enters in X.	II and III	I	I
TypeB	A person restarts the machine.	II and III	I	I

- ② 作業者がライン内から退出した後、[RP]にICタグを識別させる。これにより、 $F_j(t)$ は1にセットされ、機械の再起動が可能となる。

以上の関係は、 $I(t)$ を機械の運転命令に関する2値論理変数とし、運転命令ありのときを $I(t)=1$ 、運転命令なしのときを $I(t)=0$ 、 $W(t)$ を機械の運転状態に関する2値論理変数とし、運転実行のときを $W(t)=1$ 、運転禁止のときを $W(t)=0$ 、論理積を記号「 $\wedge$ 」で表すと、次のように定式化できる。

$$W(t) = I(t) \wedge F(t) \quad (1)$$

$$F(t) = \prod_{j=0}^N F_j(t) \quad (2)$$

2.3 電子機器の危険側故障とロック付きカウンタゲートの構造

以上のシステムでは、ISO13849³⁾に示すカテゴリー4を満足する必要がある。この場合に問題となるのは、フラグ $F_j(t)$ の状態を記憶するプログラマブルな電子制御装置(PES)とRFIDの危険側故障である。このため、実際のシステムでは、RFID及びPESの多重化と常時の故障監視による不一致検出によってカテゴリー4の実現が試みられている。

しかし、カテゴリー4の実現は常に可能とは限らない。このため、ICタグやPESなどの電子機器に依存しないメカニカルな装置として、Fig.2の第Ⅲ層に相当するインタロックとして、ロック機構付のカウンタゲートを考案した。Fig.3に構造図を示す。このシステムはバーゲート、シャッターゲート、平行ゲート、旋回ゲートなどによって、作業者が一人ずつしか進入できない構造としている。Photo1は当所で試作したバーゲートの例で、作業者の進入(退出)でゲートが120度ずつ正方向(逆方向)に回転する。これにより、カウント数が1だけ増加(減少)する。この回転運動をラック・ピニオン機構などで直線運動に変換し、バーカウンタを上下させる。

このバーカウンタには所定の位置に磁石が取り付けられており、バーカウンタがカウント0に対応する初期位置となったときに、磁石が磁気スイッチをオンとする。これにより、機械の運転が可能となる。また、この装置では、カウント数の増加(減少)に比例して上

昇(下降)する表示板を設けている。この位置によって現在何人が進入しているかを確認するとともに、誤った再起動を防止するための警告を与えることができる。

3. おわりに

近年、RFIDを使ってライン内に進入する作業者を検知しようとするシステムが提案されている。この中には、①ラインの進入場所に設置したRFIDによって作業者のヘルメットに取り付けたICタグを検知する方式や、②ラインの進入場所に設置されたRFIDにICタグを提示しないとガードが開かない方式などがある。しかし、①では、作業者がヘルメットを着用していないときは有効でない。また、②では、タグを提示した作業者に続いて進入権限のない他の作業者が進入することがある(友連れ)。

さらに、RFIDを使ったシステムでは、RFIDやPESなどの電子制御機器に危険側故障が発生することがある。そこで、RFIDとロック付カウンタゲートの階層化構成で上記問題の解決を試みた。

参考文献

- 1) ISO12100-1, Safety of machinery — Basic concepts, general principles for design — Part1: Basic terminology, methodology (2003)
- 2) ISO14121, Safety of machinery—Principles for risk assessment (1999)
- 3) ISO13849-1, Safety of machinery—Safety-related parts of control systems — Part1:General principles for design (1999)
- 4) 基準認証研究開発事業, 産業オートメーションにおける安全の標準化, 社団法人日本電気制御機器工業会 (2006)

Fig.3 The structure of mechanical counter-gate.

Photo1 The appearance of mechanical counter-gate.

Fig.1 The safety system using RFID and counter-gate.

Fig.2 The structure of hierarchical monitoring system.