

図3-4で、FT層はクラス1の非指名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の非指名者がICタグを{RFG}に提示してもゲートGがロックされてライン内へ進入できない構造となっている。これにより、クラス1の非指名者のライン内への進入を阻止する。これに対し、IR層はクラス0の指名作業者を対象としたインタロックシステムで、作業者がライン内に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、作業員J(J=1,2,...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 作業員が所定のICタグを{RFG}に提示すると、ゲートGが開いて作業員がライン内に進入できる。このとき、{RFG}は提示した作業員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。
- ② 作業員がライン内から退出した後に

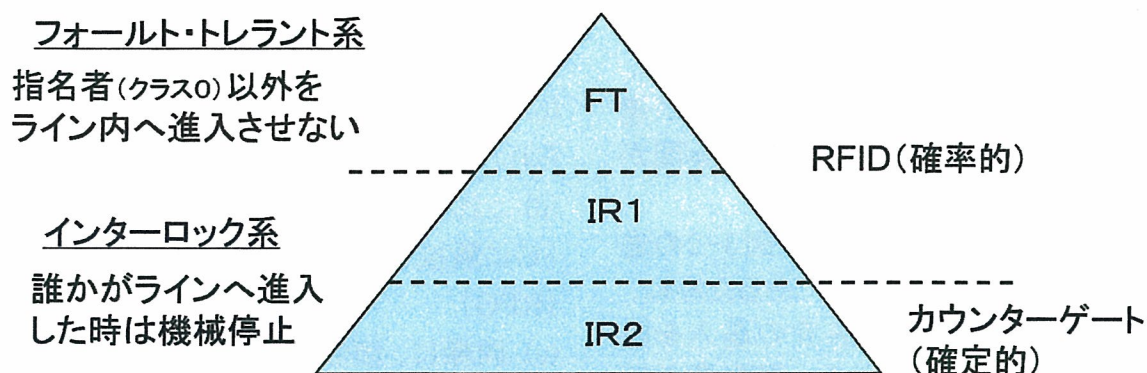


図3-4 安全システムの階層化構成

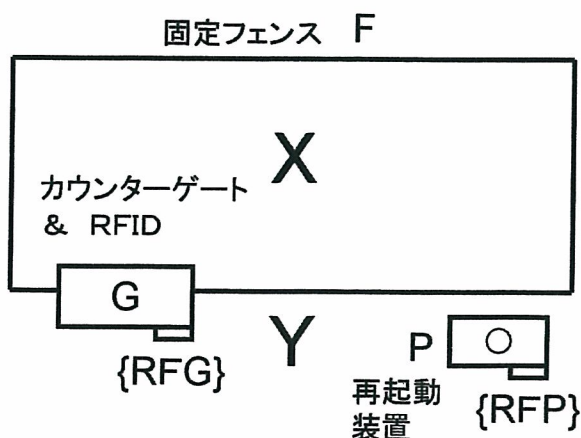


図3-5 階層化構成による安全システムの概念図

{RFP}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。

$$W(t)=I(t)\wedge F(t) \quad (3-8)$$

$$F(t)=\prod_{J=0}^N F_j(t) \quad (3-9)$$

以上で問題となるのは、人の背の高さや姿勢によってRFIDによる識別が困難となることである。そこで、これらの影響を受けにくい靴にICタグを設けることを検討している。

### 3.6.3 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、ISO13849 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、RFID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、図3-4のIR2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。図3-6に構造図を示す。写真3-1は、カウンタゲートの外観写真である。

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。写真3-3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。

### 3.7 まとめ

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。

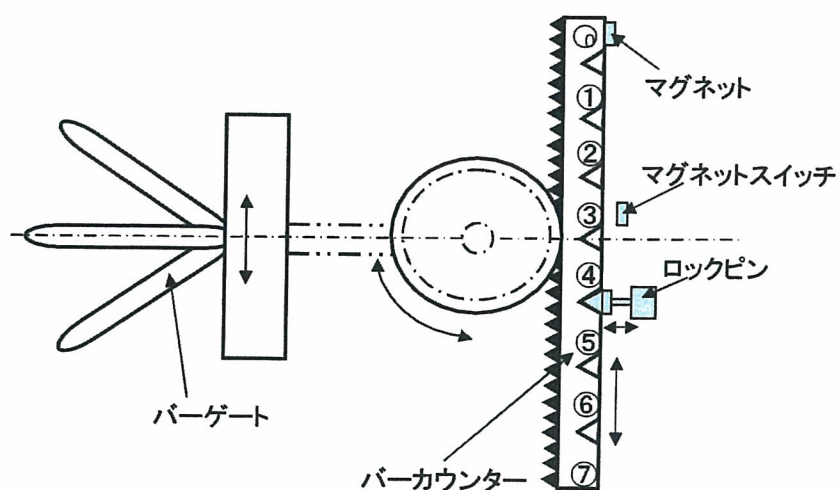


図3-6 メカニカルカウンターゲートの構造



写真3-1 試作したカウンターゲートの外観

#### 4. サーボプレス用安全ドライブシステム の実証モデルの整備

写真 4-1 に示すサーボプレス用安全ド

ライブシステムの実証モデルを整備した。  
来年度の実証実験に向けて作業を進め  
ている。

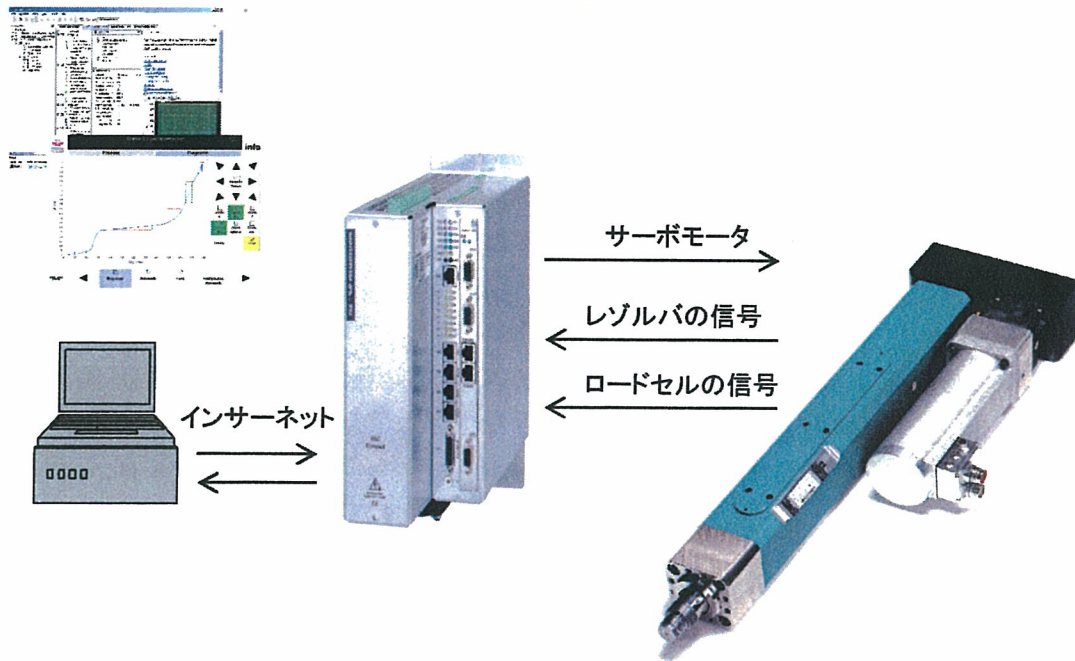


写真4-1 サーボプレス用安全ドライブシステムの実証モデル

## 5. おわりに

平成18年度は、二次加工用プレスブレーキと大型プレス機械の安全システムの開発を重点に研究を実施した。また、厚生労働省からの指示に従い、動力プレス機械構造規格改正に活用するための分析作業を併せて進めている。

このうち、二次加工用プレスブレーキでは、作業者が両手で金属の薄板を保持しながら金型に近接して板を箱状に折り曲げる作業など(二次加工)を行なう必要があった。このような作業では、光線式安全装置などを使用する従来の災害防止対策は困難と考えられる。また、最近のプレスブレーキではサーボ機構が導入されている設備も多い。この場合、制御機構の故障などによってスライドの運動方向が瞬時に逆転するおそれがある。

このため、本研究では、以上の問題に対応できる二次加工用プレスブレーキの安全システムとして、①作業者の手指等が金型の直下に進入していないかをレーザービームを利用して常時監視するとともに、②スライドの運動が正常であるかをロータリーエンコーダによって常時監視するフェールセーフシステムの構築を試みた。現在、このシステムを実機に適用し実証試験を進めているところである。

また、大型プレス機械では、作業者がトラブル処理などのためにスライドを停止させて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再起動操作を行なうと、スライド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、本研究では、このような場合の災害防止対策として、レー

ザースキャニング技術を使って金型内を直接監視する方式の開発を進めている。しかし、この方式は金型の形状によっては死角が生じるために、すべてのプレス作業に適用できるわけではない。そこで、RFIDを使った指名者以外の進入禁止システム(フォールト・トレラントシステム)と、RFID及びカウンタゲートを使った指名者に対する入退出管理システム(インタロックシステム)の階層化構成による間接監視システムの構築を併せて進めている。現在、前記した両方の方式を開発し、プレス作業の状況によってこれらの方式の使い分けが出来るようにシステム開発を進めている。

さらに、平成19年度の実証実験を行なうための装置として、サーボプレス用安全ドライブシステムの実証モデルの整備を進めている。

## 参考文献

- 1)安全衛生年鑑(昭和30年代から現在まで)、中央労働災害防止協会
- 2)プレス事業場におけるリスクアセスメント入門マニュアル
- 3)A・ノイドルファ著・田中紘一翻訳監修、安全な機械の設計、NPO安全工学研究所(2002) pp.266-268
- 4)ISO12100-1, Safety of machinery — Basic concepts, general principles for design — Part1: Basic terminology, methodology (2003)
- 5) 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)

6)梅崎重夫・清水尚憲、複数作業者が  
大規模生産ライン内で行なう作業を対象  
とした災害防止戦略の基礎的考察、産  
業安全研究所特別研究報告、  
NIIS-SRR-NO.33 (2005) pp.81-96

研究成果の刊行に関する一覧表

| 発表者氏名     | 論文タイトル名   | 発表誌名             | 番号   | ページ     | 出版年  |
|-----------|---|------------------|------|---------|------|
| 清水尚憲、梅崎重夫 | プレスブレーキ用安全システムの開発—サーボ機構を備えた二次加工用プレスブレーキの安全要件の解明—  | 日本機械学会関東支部第13期大会 | 2006 | 185-186 | 2007 |
| 梅崎重夫、清水尚憲 | 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— | 日本機械学会関東支部第13期大会 | 2006 | 187-188 | 2007 |

# 11607 プレスブレーキ用安全システムの開発

-サーボ機構を備えた二次加工用プレスブレーキの安全要件の解明-

The development of safety system for press brake.

- The clarification of safety requirement for the secondary operation of press brake with servomechanism -

(独)労働安全衛生総合研究所 正 ○清水尚憲 正 梅崎重夫

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

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

## 1. はじめに

プレスブレーキによる労働災害は、作業者が板などの加工材を両手で保持しながら、プレス加工を行うときに多発している。このときの保護装置として、二光軸遮光型の安全装置が推奨されている。しかし、箱物などの二次加工では、作業者の手が金型に近接した状態で作業を行なうために、二光軸遮光型の安全装置の使用は困難と考えられる。

また、最近ではプレス加工の高付加価値化を目的として、サーボ機構を備えたプレスブレーキが普及しつつある。しかし、このプレスではサーボ制御系の故障や電磁ノイズの影響などによってスライドが予想もしない動作をする可能性がある。本研究では、以上の点を考慮した上で、サーボ機構を備えた二次加工用プレスブレーキの安全要件の解明を図る。

## 2. サーボ機構を備えた二次加工用プレスブレーキの安全要件

### 2.1 一般的要件

一般に、プレス機械による挟まれ災害は、スライドが下降中のときに作業者の手指が誤って危険限界内に進入して発生する。したがって、災害を防止するには、作業者の手指が危険限界内に進入していないか、または、スライドが下降していないかのいずれかの条件を満足させる必要がある。

いま、時刻 $t$ において作業者がプレス機械の危険限界内に進入していないときを $H_N(t)=1$ 、進入しているときを $H_N(t)=0$ とする2値論理変数で表す。また、時刻 $t$ において、スライドが下降していないときを $D_N(t)=1$ 、下降しているときを $D_N(t)=0$ とする2値論理変数で表すと、以上の関係は次式で与えられる。

$$H_N(t)=1 \text{ or } D_N(t)=1 \quad (1)$$

このうち、 $H_N(t)=1$ は、光線式安全装置や両手操作式安全装置を使用した常時監視によって確認が可能である。そこで、これらの装置を金型の作動範囲から安全距離 $D$ の位置に設置し(Fig.1(a)参照)、作業者が光線を遮光した後は手が金型に到達するまでにスライドを停止させる。これは、Fig.1(a)に示す固定空間 $X$ の常時監視に相当する。また、 $D_N(t)=1$ は、エンコーダなどによってスライドが下降していないことの常時監視を必要とする。

しかし、フライホイールを備えているプレス機械の場合、フライホイールの慣性モーメントのために、スライドの運動方向が瞬時に逆転する事態は通常は考えられない。このため、カムスイッチなどを利用してスライドが下死点や上死点を通過したのを検知するなどの方法で、スライドの上昇と下降の判定を行っている。

これに対し、サーボプレスはフライホイールを備えていないため、スライドの運動方向が瞬時に逆転するおそれがある。また、この逆転は行程内のどこで起こるか分からないから、結局スライドが下降していないことをエンコーダなどで常時監視する必要がある。

### 2.2 危険点近接作業の要件

実際の二次加工では、作業者の手が金型に近接した状態で作業を行なうことがあるため、光線式安全装置や両手操作式安全装置は使えない。そこで、上金型と下金型間の可変空間 $X(t)$ を常時監視する。しかし、 $X(t)$ 内のすべての領域を監視するのは困難である。

そこで、上金型の下降方向の特定の平面をレーザーで監視し

(Fig.1(b)参照)、作業者がレーザーを遮光したときは直ちにスライドを停止させるか反転させる。Fig.1(b)の★印はレーザー光の監視位置であり、左側方と下方からの両方の進入に対応できるように、少なくとも図の2点でのレーザー光による監視を行う。

以上の構成では、上金型が下降していくと、加工物や下金型によってレーザーが遮光され、スライドが停止する。そこで、上金型が加工物に接近したときは安全装置を無効化(ミュート)してスライドの停止を防止する。しかし、安全装置を無効化すると、万一手指が金型の間に入り込んだときは災害を防止できない。そこで、安全装置を無効化する時刻以上金型と加工物(板)の間の隙間を手指が入り込めない9mm以下とする。

Fig.2 に、以上の過程をタイムチャートに示す。ここで重要なのは、スライドの下降速度 $V$ は一定の低速度 $V_{DN}$ でなければならないことである(詳細は Table1 のFMEA参照)。そこで、 $V=V_{DN}$ であることをFig.2の位置 $P_A$ で確認し、万一速度異常が認められるときは直ちにスライドを停止させる。そして、スライドが位置 $P_2$ に到達した以降は安全装置の無効化を行なう。この場合、 $P_B$ と $P_C$ の間隔(Fig.2の $S_3$ )は手指が進入できない9mm以下とする。

## 3. 考察

次に、現在EUでプレスブレーキの保護装置として使用されているAKASを検証する。Fig.3 に、レーザー光軸の配置を示す。Photo1は、当所で整備したAKASによる実験装置である。

この装置は次の機能を備えている。

- 1) 上金型が下降するとき、上金型(パンチ)と下金型(ダイ)の間に挟圧危険部分が発生する。この部分を、レーザー光を利用した人体検出用の投光器及び受光器で監視する。
- 2) 投光器及び受光器は、両方とも上金型に直接取り付け対向させる。このうち、投光器には2個または3個のレーザー発光素子(S1, S2及びS3)を設ける。また、受光器には3個または4個のレーザー受光素子(E1, E2, E3及びE4)を設ける。
- 3) 投光器が発生するレーザー光のスポット径は約10mmとする。
- 4) 上金型の降下中に手指等が板の表面を滑りながら進入したときは、E1が遮光されるために上金型を停止または上昇させる。
- 5) 上金型が板の上方23mmまで接近したら、上金型の下降速度を10mm/sec以下に切り換えた上で、E1とE2のミュート(無効化)を行う。
- 6) 5)の後、E3及びE4は少なくとも1.4秒間(下降速度10mm/secで1.4秒のため14mm下降する)は無効化されてはならない。これにより、板の上方9mmまでは指の進入時に上金型が停止か上昇するので、手指等の災害を防止できる(9mmの隙間に手指等は狭すぎて進入できない)。

Table1は、サーボ機構を備えているプレスブレーキ(左欄)とサーボ機構を有しないプレスブレーキ(右欄)にAKASを適用した場合のFMEA解析である。表からも明らかのように、サーボ機構を備えているプレスブレーキでは、行程L2における突然の速度変化や、行程L3やL5でのスライドの運動方向の突然の逆転によって、危険側となることがある。特に、L2での速度は10mm/secより増加しても減少しても危険側となる。したがって、スライドの速度や運動方向を常時監視する必要がある。

これに対し、サーボ機構を備えていないプレスブレーキでは、



前述した現象は想定しがたいため、スライドの速度や運動方向の常時監視は必ずしも必要でない。ただし、監視位置 $P_A$ に位置ずれが発生すると正しい制御ができないから、金型設定時の位置の設定が正しく行なわれることが必要である。

#### 4. おわりに

本報では、サーボ機構を備えた二次加工用プレスブレーキの安全要件の解明を試みた。その結果、このプレスでは、サーボ機構を備えていないプレスブレーキと比較してスライドの速度や運動方向を常時監視が必要であることが判明した。

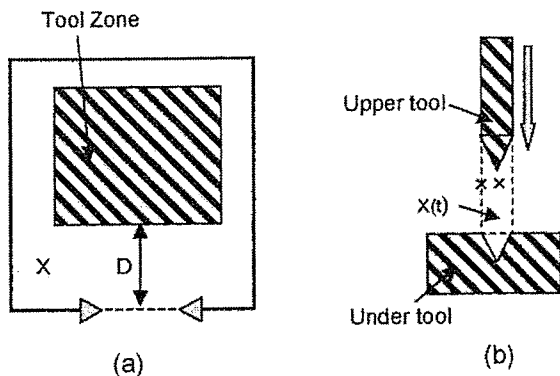


Fig.1 The monitoring method for press brake.

今後はこれらの安全機能を備えた安全システムの構築を進めるとともに、従来残留リスクとして扱われてきた手指を折り曲げられてきた板とスライドの側面に手指を挟む場合も検討していきたい。

#### 参考文献

- 1) A・ノイドルファ著・田中紘一翻訳監修, 安全な機械の設計, NPO安全工学研究所 (2002) pp.266-268

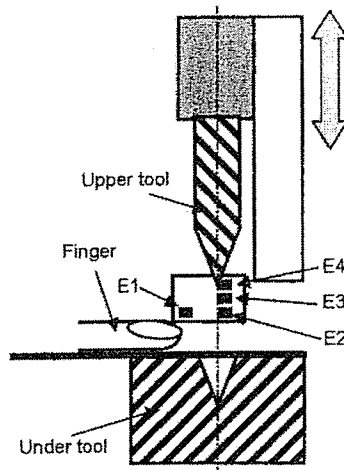


Fig.3 The laser beam location of AKAS.

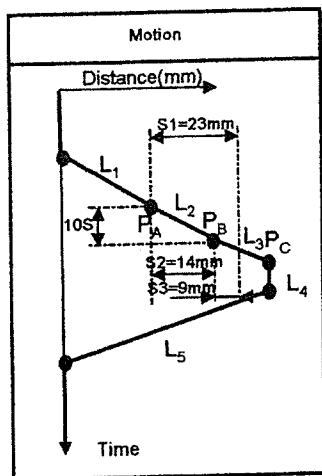


Fig.2 The time-chart of press brake.

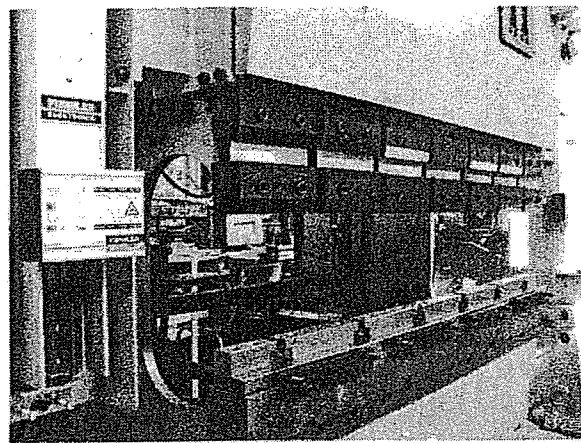


Photo1 The appearance of press brake and AKAS.

Table1 The FMEA of the secondary operation of press brake with servomechanism

| 行程 | 不具合モード                     | サーボ機構あり                                  | サーボ機構なし   |
|----|----------------------------|--|-----------|
| L1 | ・初期設定の不具合による位置 $P_A$ の上昇   | ・危険側( $S_0 > 9\text{mm}$ となり、手指が入る可能性)   |           |
|    | ・初期設計の不具合による位置 $P_A$ の下降   | ・安全側( $S_0 < 9\text{mm}$ となり、スライド停止の可能性) |           |
|    | ・速度が低速(10mm/sec)に切り替わらない   | ・危険側(所定の距離でスライドを停止できない可能性)               |           |
| L2 | ・速度を10mm/secと判定した後の速度の増加   | ・危険側(所定の距離でスライドを停止できない可能性)               | ・通常は発生しない |
|    | ・速度を10mm/secと判定した後の速度の減少   | ・危険側( $S_0 > 9\text{mm}$ となり、手指が入る可能性)   | ・通常は発生しない |
|    | ・タイマー計測が進み側となり位置 $P_B$ の上昇 | ・危険側( $S_0 > 9\text{mm}$ となり、手指が入る可能性)   |           |
|    | ・タイマー計測が遅れ側となり位置 $P_B$ の下降 | ・安全側( $S_0 < 9\text{mm}$ となり、スライド停止の可能性) |           |
|    | ・スライドの逆転                   | ・危険側( $S_0 > 9\text{mm}$ となり、手指が入る可能性)   | ・通常は発生しない |
| L3 | ・ミュートイングが作動しない             | ・安全側(スライド停止)                             |           |
|    | ・速度の増加                     | ・影響なし                                    | ・通常は発生しない |
|    | ・速度の減少                     | ・影響なし                                    | ・通常は発生しない |
|    | ・スライドの逆転                   | ・危険側(ミュートイングのまま異常動作の可能性)                 | ・通常は発生しない |
| L5 | ・スライドの逆転                   | ・ミュートイングが継続しているときは危険側                    | ・通常は発生しない |

(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 counter gate 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も、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「友連れ」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<sup>1)</sup>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ISO14121<sup>2)</sup>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、他のラインの作業者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タゲート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。

- 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へ進入できる。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、ISO13849<sup>3)</sup>に示すカテゴリ-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-4の実現が試みられている。

しかし、カテゴリ-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

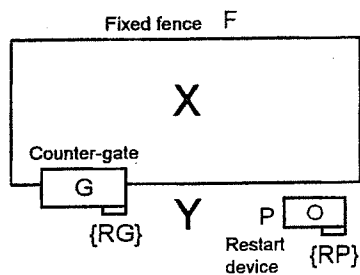


Fig.1 The safety system using RFID and counter-gate.

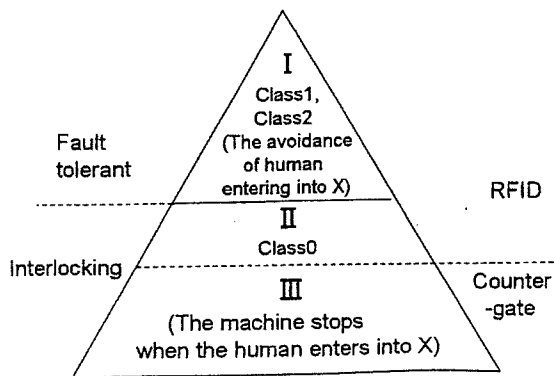


Fig.2 The structure of hierarchical monitoring system.

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)

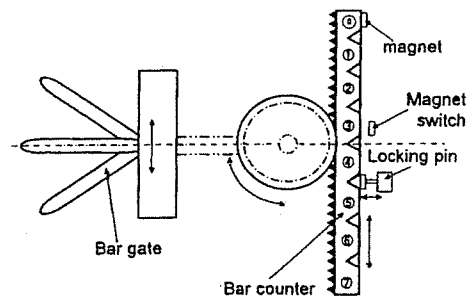


Fig.3 The structure of mechanical counter-gate.

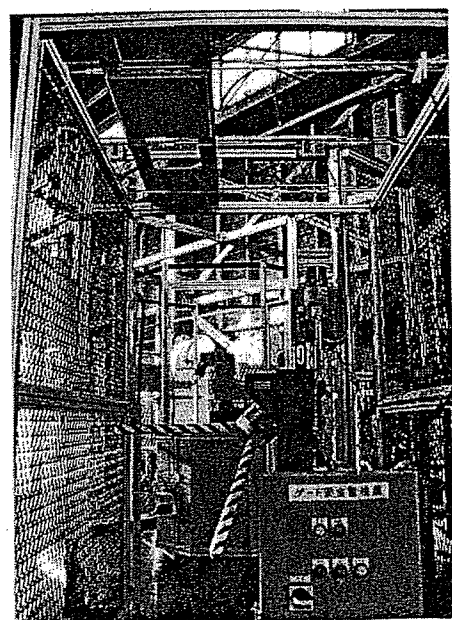


Photo1 The appearance of mechanical counter-gate.