

厚生労働科学研究費補助金
労働安全衛生総合研究事業

プレス作業を対象とした安全技術の高度化に関する研究

平成18年度 総括・分担研究報告書

主任研究者 梅崎重夫

平成19（2007）年3月

目次

I. 総括・分担研究報告

プレス作業を対象とした安全技術の高度化に関する研究

1. 研究目的	(1)
2. 二次加工用プレスブレーキの安全システムの開発	(4)
3. 大型プレス機械の安全システムの開発	(10)
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	(21)
5. おわりに.....	(22)
II. 研究成果の刊行に関する一覧表	(24)
III. 研究成果の刊行物・別刷	(25)

厚生労働科学研究費補助金(労働安全衛生総合研究事業)
総括・分担研究報告書

プレス作業を対象とした安全技術の高度化に関する研究

主任研究者	梅崎重夫	独立行政法人労働安全衛生総合研究所	上席研究員
分担研究者	清水尚憲	同	上席研究員
研究協力者	斉藤 剛	同	研究員

研究要旨

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こと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。

他の委託業務などとの関係で進捗が遅れが認められるが、平成19年度内に安全システムの開発及び性能評価を完了させる予定である。

1. 研究目的

我が国のプレス機械による労働災害は、図 1-1 に示すように、労働安全衛生法施行後の昭和 49 年に 5,450 件であったものが平成 13 年には 1,158 件(同)と大幅に減少した。しかし、平成 13 年以降は、図 1-2 に示すように、平成 14 年の 1,039 件を最小値として平成 15 年で 1,116 件、平成 16 年で 1,121 件と微増の傾向にある¹⁾。

また、独立行政法人労働安全衛生総合研究所が首都圏で最近発生したプレス災害 1,395 件の中で傷害部位が切断や挫滅に至った件数を調べたところ、図 1-3 に示すように、平成 11 年には 46.8%、平成 13 年には 44.5%であったものが、平成 15 年は 55.9%、平成 16 年は 59.0%に達しており、災害の重篤化が推察される。

次に、統計方法が変わった昭和 58 年以降のプレス機械の種類ごとの災害発生件数を調査した²⁾。その結果、災害の減少の多くは、図 1-4 に示すように、①旧式のポジティブ・クラッチ式プレスの廃棄などによるものと考えられ、②フリクション・クラッチ式の機械プレス、③液圧プレス、④プレスブレーキなどによる災害は、過去 20 年間横ばい状況にあった。また、最近では、⑤サーボプレスの急速な普及や、⑥車体加工用プレス機械で頻発している死亡災害など、新たな安全技術を必要とする問題も認められた。

このため、本研究では、上記②～⑥のプレス機械を対象に、最近の技術進歩を考慮した安全技術の高度化に関する研究を行っている。具体的には、プレス

作業を対象としたリスクアセスメント手法と災害防止対策の提案、サーボプレスの安全要件の解明、車体加工用プレス機械や二次加工用プレスブレーキの安全システムの高度化などを重点に研究を実施している。

このうち、リスクアセスメント手法の提案では、最新の国際安全規格や安全技術の動向に配慮すると同時に、中小零細企業で簡単に実施できる効果的な手法の開発を試みる。

また、サーボプレスの安全要件の解明では、スライドの運動方向の常時監視や、複雑なサーボ制御系のフェールセーフ性の保証などに重点を置いた新たなシステム構成理論の構築を試みる。この過程では、IEC61508 などの機能安全規格の動向にも配慮する。

さらに、車体加工用プレス機械やプレスブレーキの安全化では、レーザー計測を利用した環境認識などの最新の光電子技術、RFIDを利用した作業員識別技術、非対称誤り特性を備えた安全フィールドバスなどの最新技術を活用した新たな安全システムの構築を試みる。

これにより、車体加工用プレスの金型内のように広大な領域内の安全確認や、二次加工用プレスブレーキのように人体が金型に近接して作業を行なう状況下での安全確認手法を実現する。なお、これらの検討では、安全性だけでなく作業性やコストも考慮した実用的な安全技術の実現にも配慮する。

以上によって、プレス作業を対象とした安全技術の高度化を図り、第 10 次労働災害防止計画の目標達成に資する。

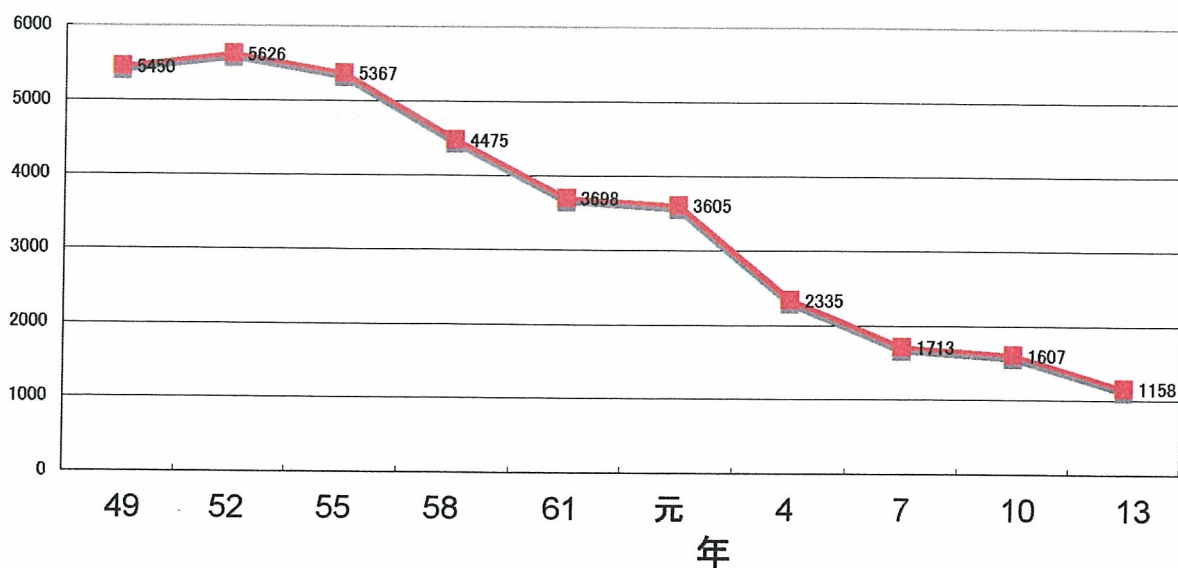


図1-1 プレス機械による労働災害の発生件数(文献1を使用)

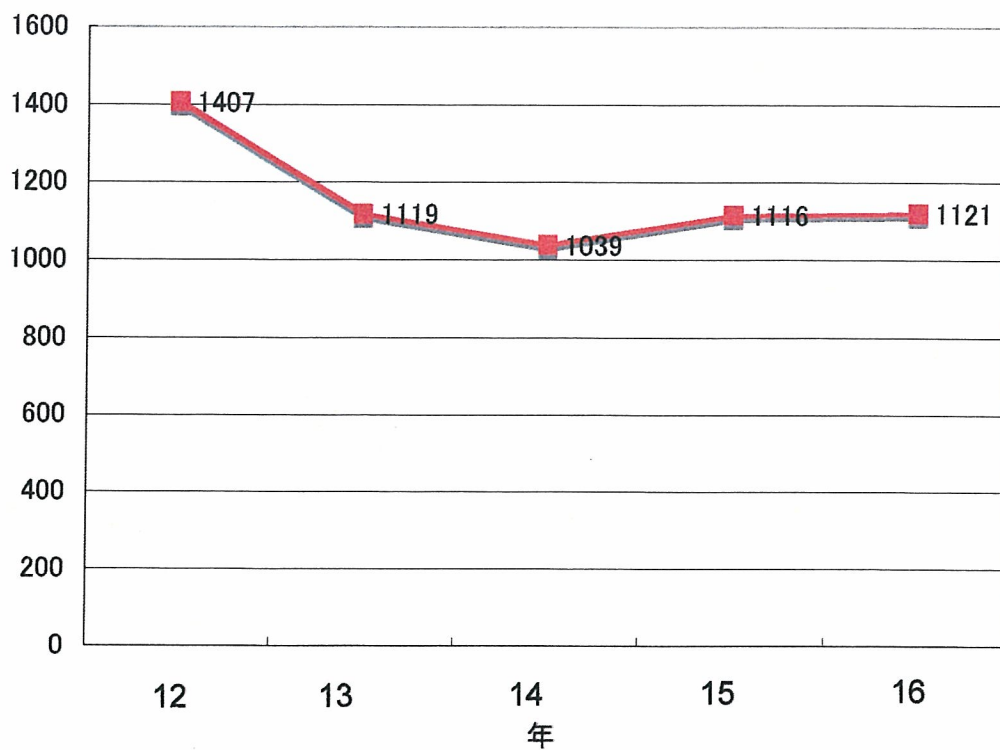


図1-2 プレス機械による労働災害の発生件数(文献2を使用)

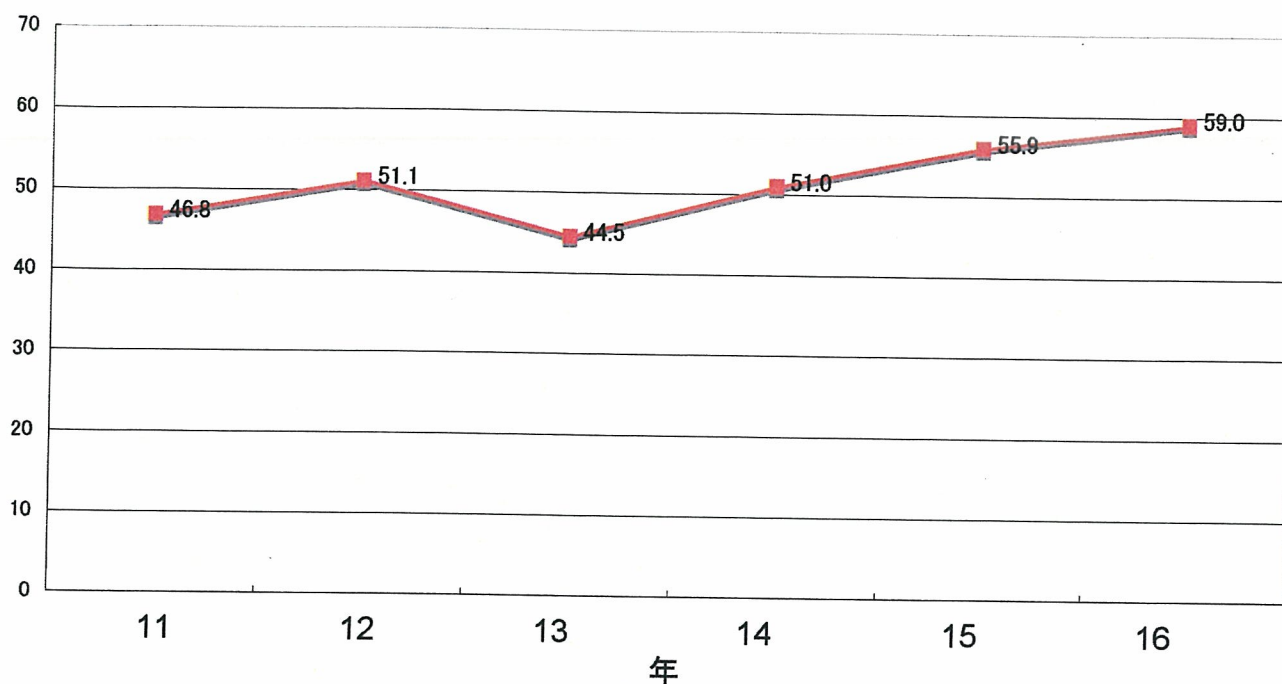


図1-3 障害部位が切断や挫滅に至ったプレス災害の割合

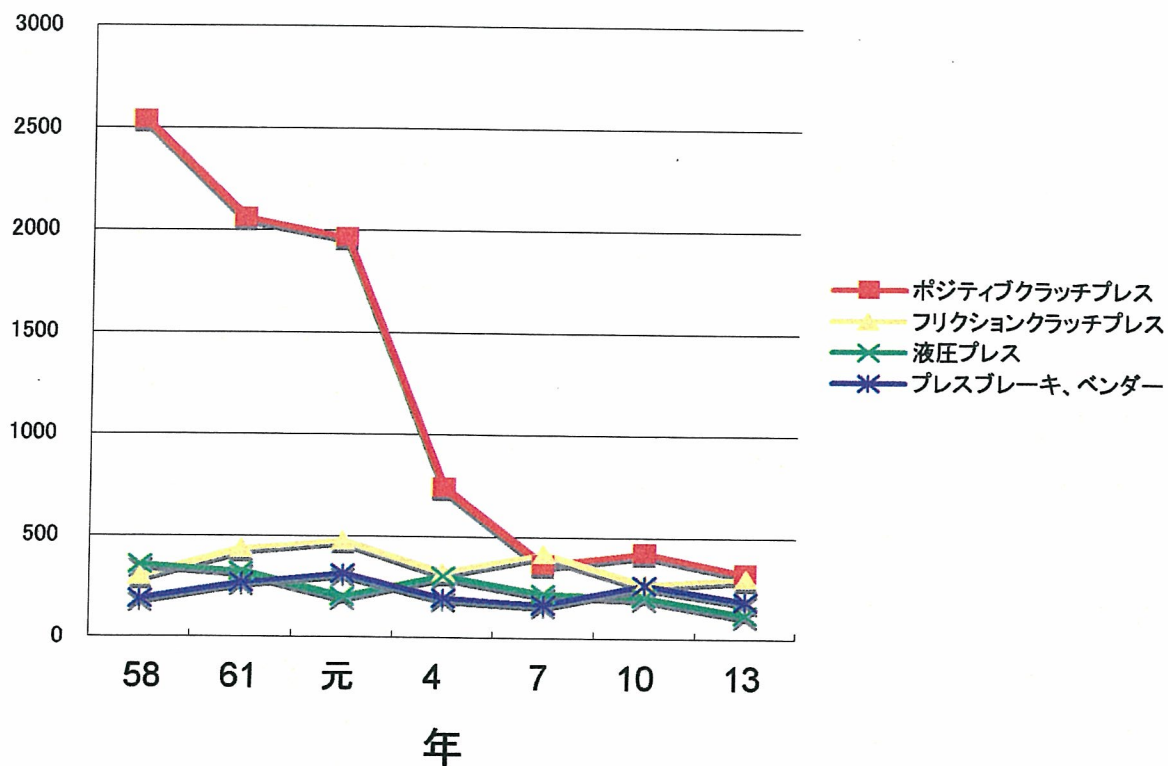


図1-4 プレス機械の種類ごとの労働災害の発生件数(文献1を使用)

2. 二次加工用プレスブレーキの安全システムの開発

2.1 研究の背景

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、作業者が両手で金属の薄板を保持しながら金型に近接した状態で板を箱状に折り曲げる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とともに、実用的な安全システムを開発する。

2.2 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

2.2.1 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することで発生する。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。

$$H_N(t)=1 \text{ or } D_N(t)=1 \quad (2-1)$$

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(図 2-1(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、図 2-1(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。

この監視は、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との理由から、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。

2.2.2 危険点近接作業の安全要件

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、上金型と下金型の間の可変空間 $X(t)$ 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、人体が上金型に接近したときは確実にスライドを停止できるように、上金型の近傍をセンサーで監視する。この監視は、図 2-1(b)に示すように、上金型の先端を中心とした半径 R の球面を監視するのが理想である(この場合、安全距離を D とすると、 $R \geq D$ とする必要がある)。しかし、球面の全域を監視するのは実際には困難である。

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(図 2-1(c)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。

この監視は平面の全領域で行なうのが理想である。しかし、実際にはすべての平面を対象とするのは困難である。そこで、平面の中でも特に重要な点を対象にレーザービームによる監視を行なう。

図 2-1(c)の✖印はこのときのレーザービームの監視位置であり、左側方と下方からの人体の進入に対応できるように、少なくとも図の2点でのレーザービームによる監視を行う。なお、この監視位置の妥当性については本研究で実験的に検証する予定でいる。

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ビームが遮光され、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(ミュートイング)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には上金型と加工物(板)の間の隙間を手指が入り込めない9mm以下とする。

図 2-2 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(詳細は表 2-1 の FMEA 参照)。そこで、 $V = V_{DN}$ であることを図 2-2 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_B 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(図 2-2 の S_3)は手指が進入できない9mm以下とする。

2.3 製作した実験装置

写真 2-1 および写真 2-2 に当所で製作したプレスブレーキ用安全システムの実験装置の外観を示す。実験に使用したプレスブレーキは、コマツ製プレスブレーキで、圧力能力が 30t、テーブル長さが 1250mm、ストローク長さが 125mm、ラムの最大降下速度が 75mm/sec、慣性降下速度が 8.5mm、急停止時間が 135ms である。

また、プレスブレーキ用保護装置には、ドイツ・フィスラー社製の AKAS II を使用

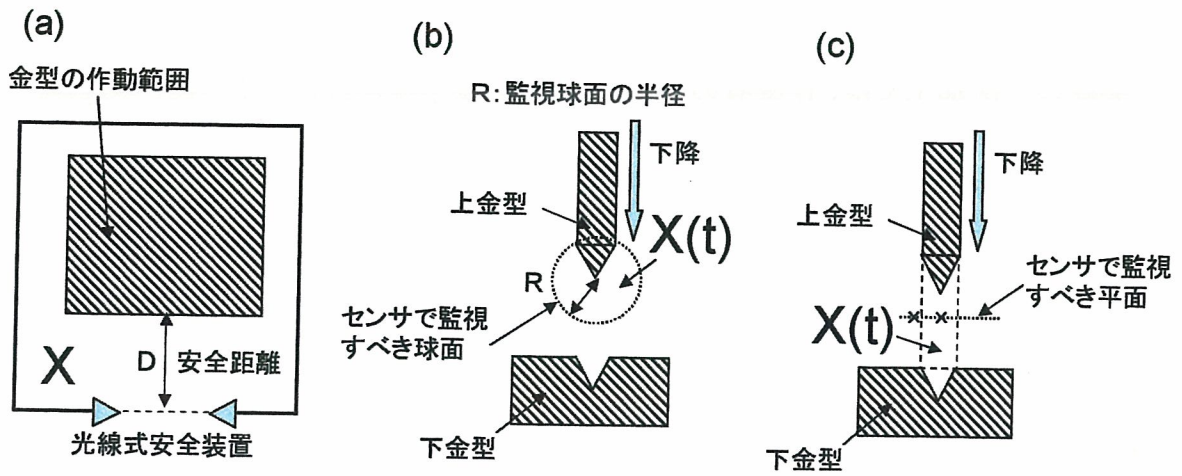


図2-1 二次加工用プレスブレーキの監視方法

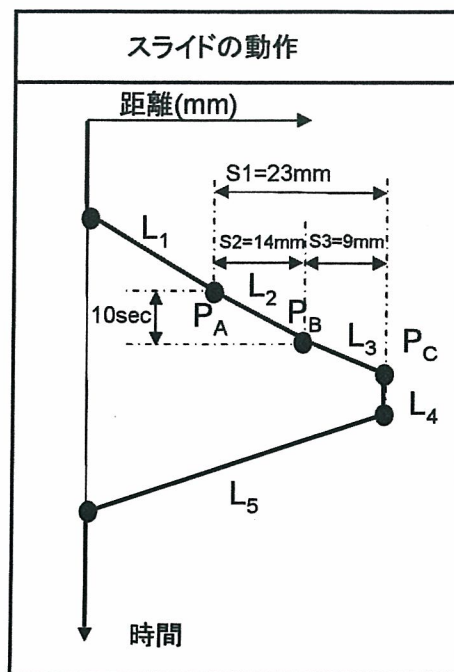


図2-2 スライドの行程

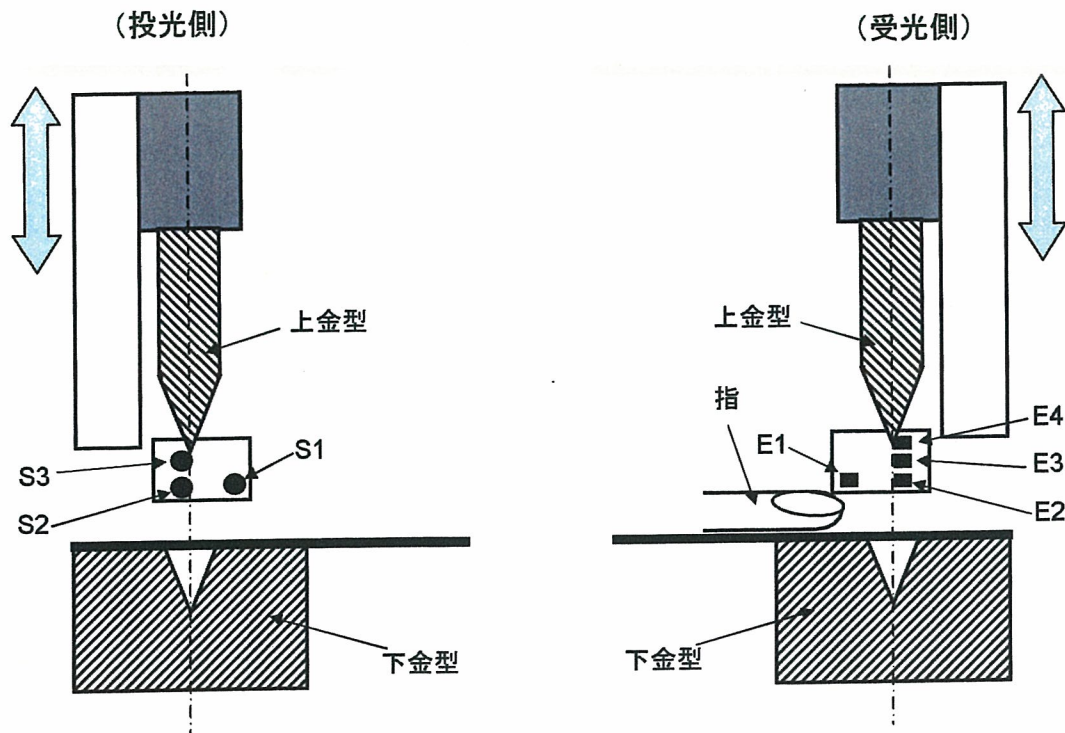


図2-3 AKASのレーザービームの配置

表2-1 駆動方式別によるプレスブレーキのFMEA解析結果

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($S_3 > 9\text{mm}$ となる、手指が入る可能性)	
	・初期設定の不具合による位置 P_A の下降	・危険側($S_3 > 9\text{mm}$ 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($S_3 > 9\text{mm}$ 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($S_3 > 9\text{mm}$ となり手指が入るか可能性)	
	・タイマー計測が遅れ側となり位置 P_B の下降	・安全側($S_3 < 9\text{mm}$ となり、スライド停止の可能性)	・通常は発生しない
	・スライドの逆転	・危険側($S_3 > 9\text{mm}$ となり、スライド停止の可能性)	
L3	・ムーティンクが作動しない	・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(ムーティンクのままで以上動作の可能性)	・通常は発生しない
L5	・スライドの逆転	・ムーティンクが継続しているときは危険側	・通常は発生しない

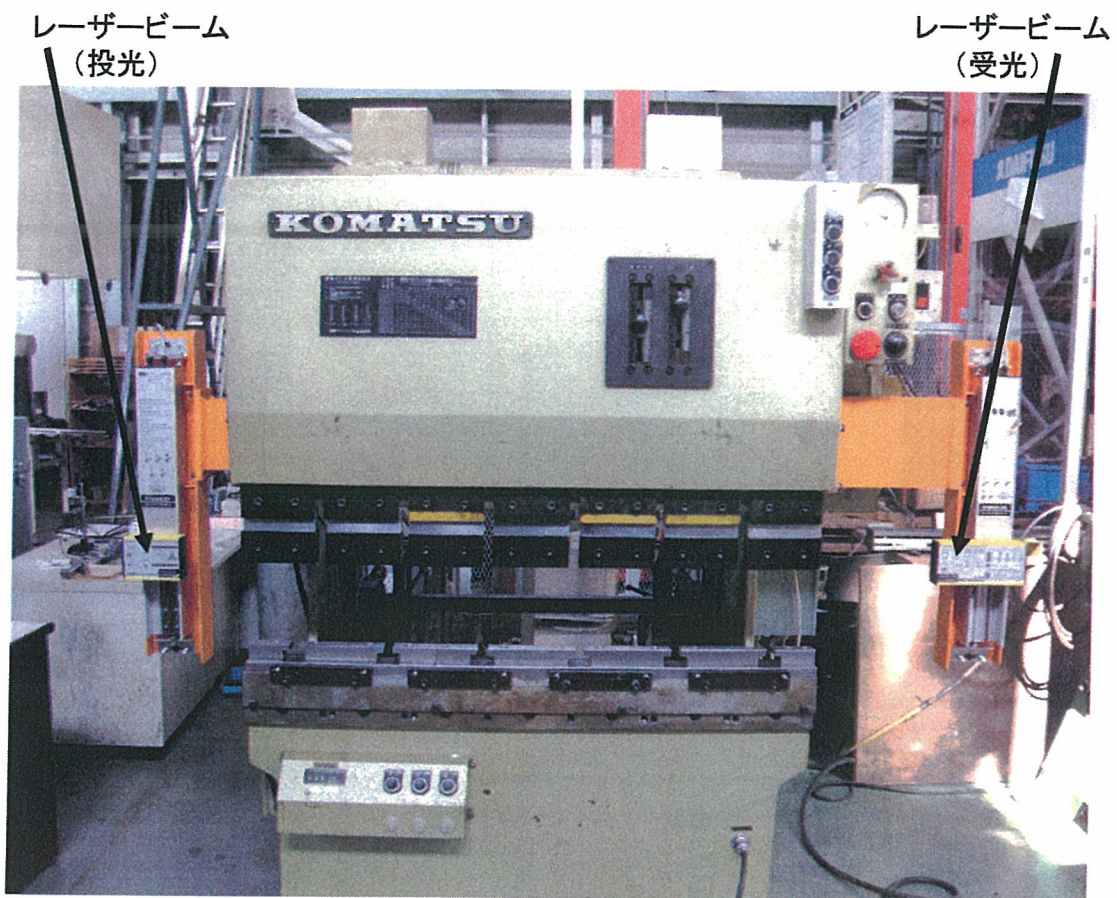


写真2-1 プレスブレーキ及びレーザービームの外観

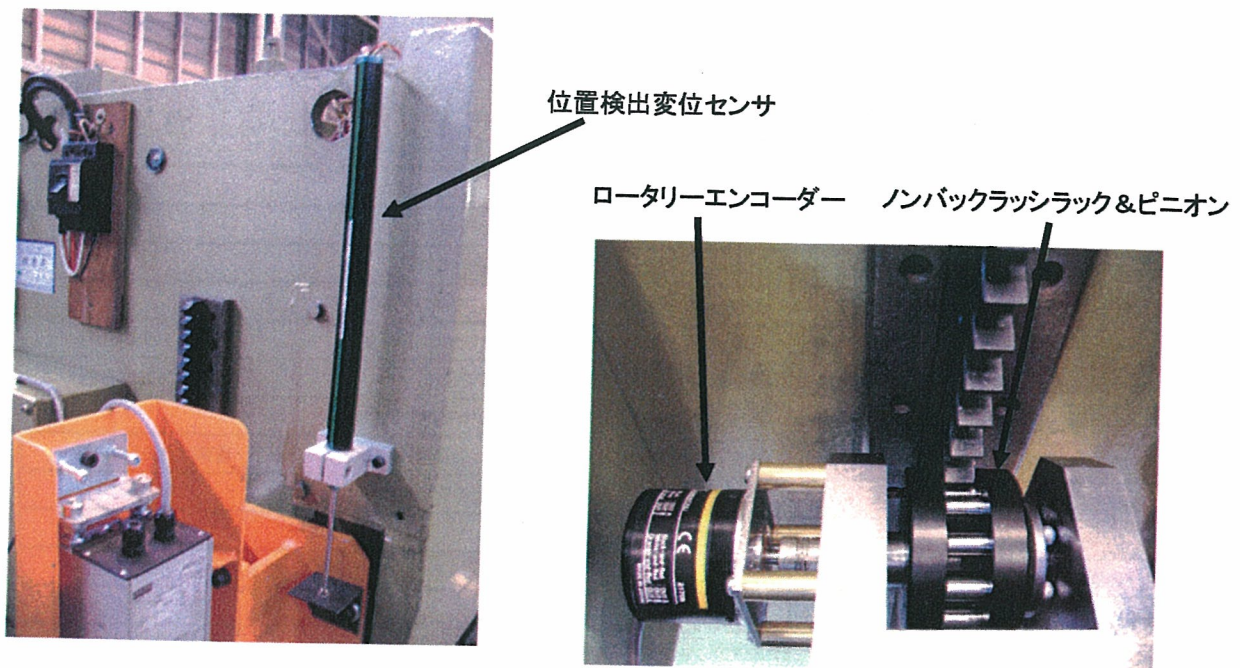


写真2-2 スライドの計測装置

した。さらに、フェールセーフな汎用安全コントローラーには、ドイツ・ピルツ社製の PNOZmc1P を使用した。これにより、安全リレーを介することなくコンタクタを直接駆動している。

スライドの位置検出用変位センサには、ミドリ測器社製の LP-300F と、オムロン社製 ロータリー エンコーダー の E6C2-CWZ1X を使用した。ここで、ロータリーエンコーダーの取付けに対しては、ノンバックラッシュ型のラック&ピニオンを使用している。なお、カテゴリーの高いロータリーエンコーダとして、現在ドイツ・ハイデンハイン社製の EQN1337 への変更を進めている。

2.4 安全機能の考察

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AKAS³⁾を検証する。図 2-3 に、レーザービームの配置を示す。

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、レーザービーム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て対向させる。このうち、投光器には2個または3個のレーザービーム発光素子(S1, S2及びS3)を設ける。また、受光器には3個または4個のレーザービーム受光素子(E1, E2, E3及びE4)を設ける。
- 3) 投光器が発生するレーザービームのスポット径は約 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のミュートイング(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)。

表 2-1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。表からも明らかなように、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難いため、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。このために、AKASでは位置の自動設定機能を備えている。

2.5 まとめ

本研究では、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の常時監視が必要であることが判明した。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。

3. 大型プレス機械用安全システムの開発

3.1 研究の背景

大型プレス機械では、段取り、金型調整、トラブル処理、保全、清掃などのために、作業者がスライド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スライドの再起動操作を行うと、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。

このような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後述するように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⁴⁾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、以上のような状況で複数の死亡労働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、本研究では、大型プレス機械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対策の検討を行った。

3.2 ハザードの同定

機械設備を対象とした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ISO14121⁵⁾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(押しつぶし、せん断、切断など)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」に該当する。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。

表3-1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、指名作業員(クラス0)及び非指名者(クラス1)に分類される。ここで、指名作業員とは、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、一般には職長、作業指揮者、作業主任者などが該当する。また、非指名者とは以上の権限を与えられていない新人作業員や、当該作業に従事してはならない他のラインの作業員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。

3.3 人間挙動の具体的形態

3.3.1 災害防止の条件

次に、人間挙動に関連する災害防止対策の具体的形態を検討する⁶⁾。表3-2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($Y=NOT(X)$)。

また、領域X及びYで作業を行う作業員のうち、作業指揮者を h_0 、指名作業員を h_1, \dots, h_N 、非指名者を h_{N+1}, \dots, h_∞ で表す。なお、 ∞ 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に作業員 h_J ($J=0, 1, 2, \dots, \infty$)が存在していないことを $NH_J(X, t)=1$ 、存在していることを $NH_J(X, t)=0$ で表し、時刻 t において領域Yに作業員 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に作業員が1人も存在していないか、または、領域Yにすべての作業員が存在している必要がある。

この関係は、次式で表現できる。

表3-1 ハザードの分類と階層化安全制御における適用技術

区分			人の種類	
			クラス0 指名作業員	クラス1 非指名者
作業行動	タイプA	人が領域Xに進入する。	インタロック	フォールト・トレラント
	タイプB	人が機械を再起動する。		

$$\prod_{J=0}^{\infty} NH_J(X,t) = 1$$

または

$$\prod_{J=0}^{\infty} H_J(Y,t) = 1 \quad (3-1)$$

ただし、 Π は論理変数の積を意味する記号である。

(3-1)式を満足させるには次の方法がある。

3.3.2 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(3-1)式を実現する(表3-2(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

必要がないように、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。

3.3.3 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

表3-2 災害防止の形態分類

No	災害防止対策		関係図
(a)	人と機械の作業領域の分離		 固定ガード
(b)	領域X内の存在監視	直接監視	 監視
(c)		間接監視	進入監視(領域Xでの) 固定ガード 監視
(d)			存在監視(領域Yでの) 監視
(e)		進入退出監視(領域X-Y間の) 監視 監視	

注) 太線部分は固定ガードを意味する。X=Y

法である(表3-2(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方法がある。

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(表3-2(c)参照)。具体的には、監視用の装置としてインタロック式ガード、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(表3-2(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へ退出するときに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(表3-2(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。しかし、実際には、領域X内では段取り、金型調整、トラブル処理、保全、清掃などの様々な作業が認められるため、作業領域の分離が適用されるケースは限定される。

このため、本研究では、レーザー式キャン式の保護装置を用いて金型内を直接監視する安全システムの開発を進めている。しかし、直接監視による方法は、次のような場合に適用困難と考えられる。

- ① レーザー式保護装置は特定の水平面だけを監視する。したがって、金型交換が発生した場合は、下金型の高さに応じて監視面の高さを自動的に調節する機構が必要である。しかし、このような機構は大型プレスが発生する振動の影響を受けやすい。
- ② ガイドポストが設置されている金型では、ガイドポストの周囲を予めミュートイング(無効化)せざるを得ない。このときに、ガイドポストの径と比較して小さい人体の一部(手指など)がガイドポストの周辺から進入すると、人体を検知できない可能性がある。
- ③ 下金型の中には凹凸形状を持つものがあるため、凸部の最上端より

上方に監視水平面を設定する必要がある。この場合、凸部より低い場所にはレーザーでは監視できない死角となる。

- ④ 実際のシステムでは、金型内へ製品を供給するためにロボットや搬送装置を使用することがある。これらの装置の可動範囲は広大なだけでなく異形でもあるため、可動範囲のすべてを直接監視するのは一般には困難である。
- ⑤ 実際の事例では、スライドの下降中に金型の横から突然人が進入して災害になることがある。このような場合、レーザー装置だけで確実に災害を防止するのは困難で補助光軸を必要とする。

以上のように、直接監視による方法はその適用に限界がある。そこで、次に、直接監視が困難なケースに対して間接監視による方法を適用した場合の災害防止効果を検討する。具体的には、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。

3.4 キースイッチを利用した間接監視方式の検討

3.4.1 基本構成

図3-1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) 各作業員 h_0, h_1, \dots, h_N が領域 X へ進入するとき使用するキー 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

3.4.2 安全確認システム

図3-1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、図3-1の安全確認システムの機能は次式で表すことができる。

$$W(t) = I(t) \wedge K(t) \quad (3-2)$$

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

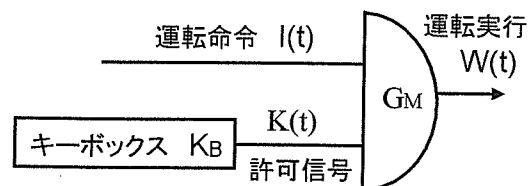


図3-1 キースイッチを利用した安全確認システムの基本構成

(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。

3.4.3 残留リスクの解明

図3-1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(表3-3参照)。なお、 $NH_J(X,t)$ の意味は3.3.1節に述べた通りであり、()内は作業行動の結果である。

(a) $K_J(t)=NH_J(X,t)$ 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) $K_J(t)>NH_J(X,t)$ 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) $K_J(t)<NH_J(X,t)$ 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。そこで、次に危険側誤りを考慮した残留リスクの低減策を検討した。

3.5 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

図3-1のシステムでは、非指名者が領域Xに簡単に進入できるという問題がある。そこで、キーを持つ人を指名作業者に限定するとともに、指名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、ライン内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、指名作業者に対しては図3-1と同等の保護効果しか持たないと考えられる。

そこで、すべての人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、指名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。

図3-2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を設ける。

表3-3 残留リスクに対する判定

$K_J(t)$	$NH_J(X,t)$	判定
1	1	正常
1	0	危険側故障
0	1	安全側故障
0	0	正常

具体的には、作業者が「キーボックスからキーを抜く」→「一定時間内に監視装置を所定の順序で作動させる」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「一定時間内に監視装置を所定の順序で作動させる」→「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、図3-2の進入場所だけとする。この幅は、2人の作業者が一緒に並んで領域X内に進入（これを「友連れ」という）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でも安全確認

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ップシステムを設ける。

図3-3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未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

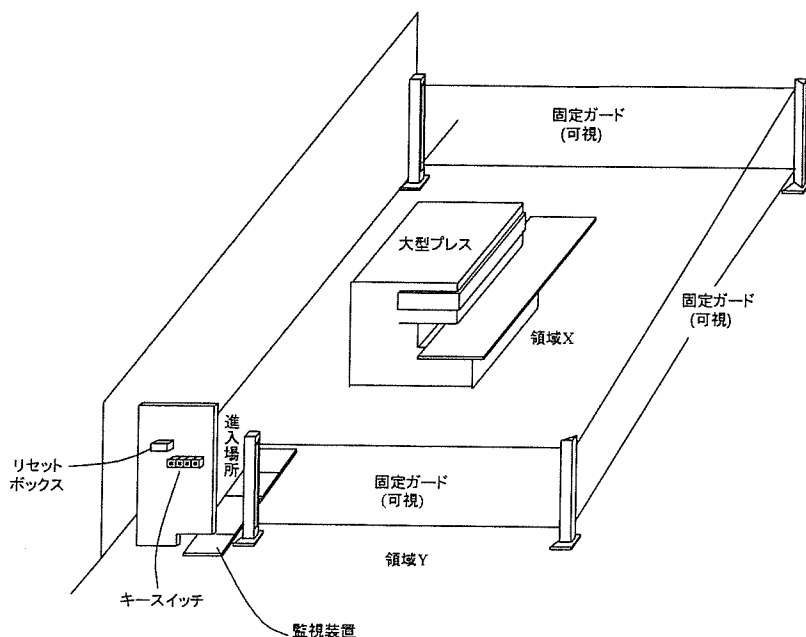


図3-2 キースイッチと監視装置を併用した間接監視方式の基本構成

表すことができる。

$$W(t) = I(t) \wedge A(t) \quad (3-4)$$

$$A(t) = M(t) \wedge K(t) \quad (3-5)$$

$$K(t) = \prod_{J=0}^N K_J(t) \quad (3-6)$$

$$M(t) = SH[S(t), P(t)] \quad (3-7)$$

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)はリセット信号、M(t)は自己保持回路の出力である。

3.6 RFIDとカウンターゲートの階層化構成

3.6.1 残留リスクの検討

以上のような構成とすることで、適切な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疑問が残る。

- ① 領域Xへの進入場所(図3-2の進入場所)が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)。

3.6.2 安全確認システムの提案

図3-4は、以上の問題を解決するための階層化安全制御の概念図である。図3-5に、試作中の安全確認システムの基本構成を示す。

このシステムは、次の要素から構成される。

- (a) 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
- (b) 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ーゲートG(作業者が一人ずつしか進入できないもの)
- (c) 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
- (d) 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{RFG}
- (e) 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{RFP}
- (f) {RFG}と{RFP}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

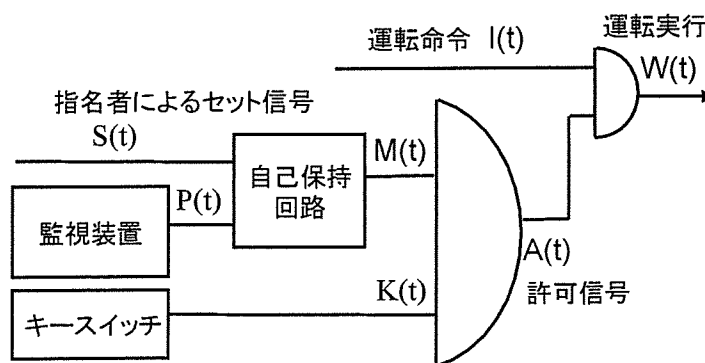


図3-3 キースイッチと監視装置を併用した安全確認システム