Research Reports of the Research Institute
of Industrial Safety, RIIS-RR-91, 1991
UDC 62.783:666.185:621.03

プレス機械制御のフェールセーフ化に関する研究

梅崎重夫*, 池田博康*, 清水尚憲*, 粂川壮一*, 杉本旭*

Study on Fail-Safe Mechanism for Power Press Control

by Shigeo UMEZAKI*, Hiroyasu IKEDA*, Shoken SIMIZU,*
Soichi KUMEKAWA* and Noboru SUGIMOTO*

Abstract; Even today, nearly 5,000 labor accidents are caused each year by power press operation. Particularly in operating friction clutch type power presses, many accidents are caused by the failure of electric control systems including light beam type safety sensors. To prevent these accidents, periodical inspection have been stipulated by industrial regulations. The electric control system should have an inherent fail-safe structure to prevent any accident due to failure.

The conventional power press control systems contains fail-safe circuits formed with relay contacts to achieve a fail-safe mechanism. A problem with this relay contact type circuit is that the structure is very complicated, in order to counter the possible relay failures at both the ON and OFF state. Recently, for improving the reliability by simplifying the structure by not using any relay contacts, the conventional relay contact type circuits have been substituted by electronic circuits. It should be noted that, unless safety is considered, the electronic circuits could cause serious accidents. To give a solution to this problem, this paper proposes a power press control circuit having a highly reliable and fail-safe structure by using fail-safe logical elements.

There are two cases of the emergency stop of the slide in power press control where deterministic control is required to prevent an accident. They are (1) human hands may come into the die and (2) an error to the stop at the upper dead point (causing overrun). This paper deals with case (2). In the proposed power press control, a confirmation segment is provided in the transition segment from the slide up process to the slide down process. In this sub-segment, the brake ability is checked (i.e., overrun monitoring), and, if the sufficient brake ability is confirmed, the slide down process is permitted.

It is also indicated in this paper that, to confirm that the start push-button switch is in the OFF position, an interlock mechanism is required in addition to the slide stop command signal and the slide stop confirmation signal. Furthermore, it is indicated that, to realize this mechanism, a self-hold circuit is configured with fail-safe logical elements, and that the slide down process can be permitted only when the output signal from this self-hold circuit is generated.

Keywords; Safety Engineering, Industrial Machine, Power Press, Interlock, Fail-Safe

---

*機械研究部 Mechanical Safety Research Division

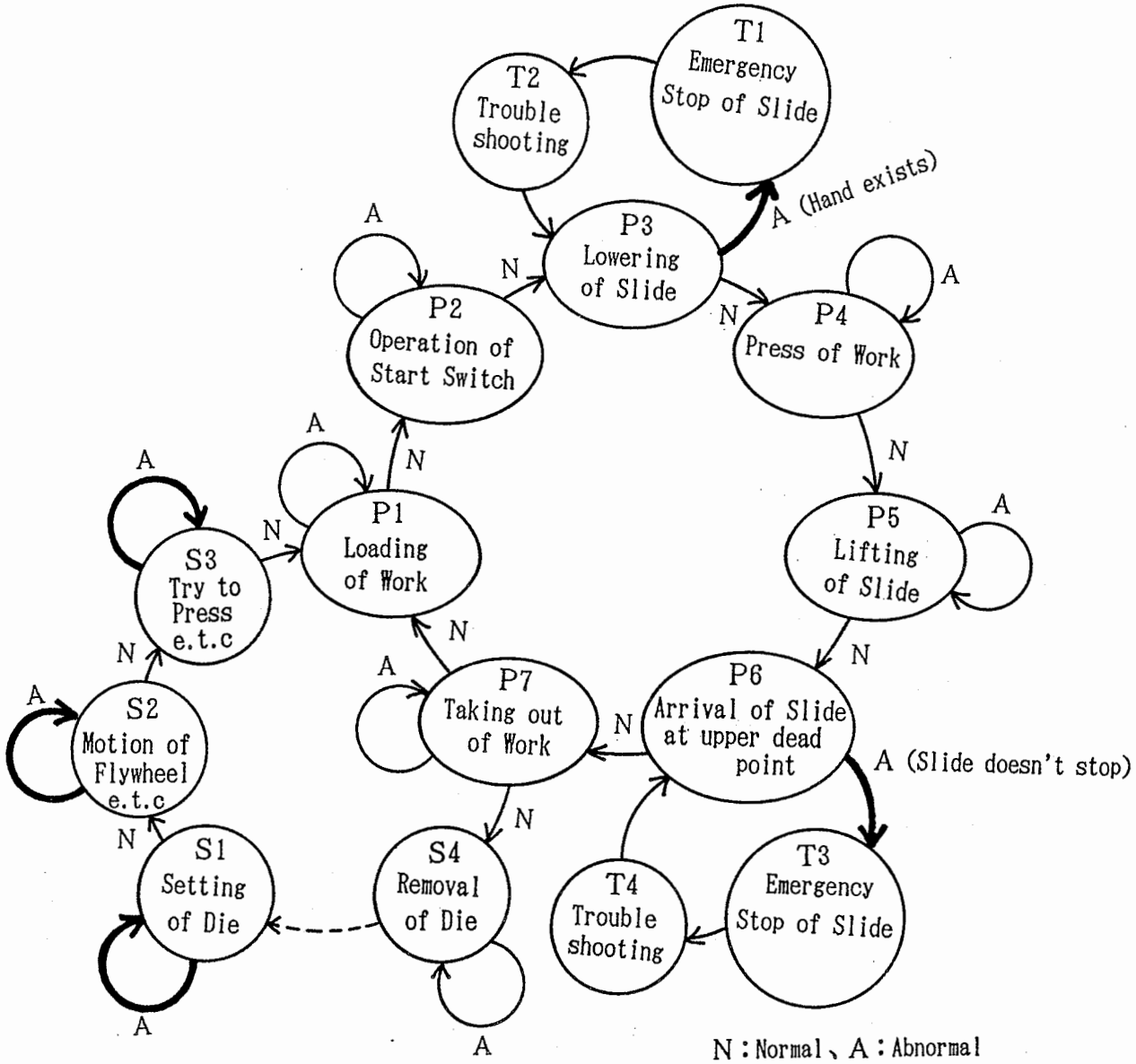

Fig. 1　Transition of power press operation
プレス作業過程の遷移図

1. 緒　言

プレス機械による労働災害は，いまなお年間で5000件（休業４日以上）近く発生しており，その約半数は手・指等に傷害を残す重篤なものとなっている[1)]。これらの災害の中には，ポジティブ・クラッチ式プレスによる災害のように，その機械的機構が適切でないこと（スライドの下降中に急停止が不可能）に起因するものも少くない。

一方，フリクション・クラッチ式プレスによる作業では，スライドの下降中に誤って金型内に手を入れる等の人間のミスに起因するものや，制御系の異常による２度落ち等のように機械の故障に起因して災害に至る場合も多い。そこで，これを防止するために，特別教育や定期自主検査の制度が設けられているが，本来，プレス作業では，人間のミスや機械の故障等が生じても，これに起因して災害に至ることのないフェールセーフなシステムの構成が必要と考えられる。

従来のフリクション・クラッチ式プレスでは，この

点を考慮し，光線式安全装置を設けて人間の手を防護することのほか，リレー接点を用いて制御回路を構成し，故障時でも危険側に誤ることの少い回路を実現している。しかし，この回路では，リレーのON側とOFF側の両方の故障を考慮する必要があり，この対策として2線系論理演算を利用するため，実際の制御回路はきわめて複雑になる[2]。また，最近の回路は，無接点化と簡素化による信頼性の向上を目的として，リレー接点を有する回路から電子回路に移りつつあるが，安全を考慮しない電子化は，故障やノイズの影響によって直ちに重大な災害を引き起こしかねない。そこで，本論文では，故障時ON出力を生じないフェールセーフな論理素子を用いて，信頼性が高く，かつ，フェールセーフな構造のプレス制御回路[3]を提案する。

なお，実際の制御回路では，事故防止のためにフェールセーフな制御を必要とするのは，段取り作業以外では，①人間の手が金型内に侵入すると予測されるときに直ちにスライドを急停止させる制御と，②スライドが上死点付近の所定範囲内で停止できないときに直ちにスライドを急停止させる制御（オーバーラン監視制御）の2つであるが，このうち本論文では，②の制御をフェールセーフな論理素子を用いて実現する。

2. プレス作業の過程

2.1 制御システム

プレス作業の中心は，金型への材料の供給と，加工を終了した製品の金型からの取り出しである。この作業では，①材料の供給，②起動操作，③スライド降下，④加工，⑤スライド上昇，⑥上死点停止，⑦製品の取り出しという過程を必要とする。また，この作業の運転準備や後処理の段階では，金型の取り付け・調整・取り外し等の作業が必要となる。さらに，作業中に何らかの異常が生じたときは，異常（トラブル）処理作業を行わなければならない。

Fig. 1は以上の各過程を考慮したプレス制御システムの作業過程の遷移図である。図で，記号 SI $(I = 1,2,3,4)$ は，運転準備と後処理作業に関する過程を意味する。これに対し，記号 PI $(I = 1,2,\cdots 7)$ は，加工作業に関する過程を意味し，記号 TI $(I = 1,2,3,4)$ は，トラブル処理に関する過程を意味する。ただし，ここでは，フリクション・クラッチ式プレスの制御システムを考察の対象としている。

(1) 運転準備過程

次に，このシステムの作業過程の遷移を説明する。このシステムでは，まず，プレス機械に金型の取り付け（Fig. 1の過程 $S1$ に対応）を行って，主電源スイッチをONすると，プレス機械は初期設定 $S2$ へと遷移して，起動に必要な初期条件の設定を行う（例えば，フライホイールの回転開始や，制御系の正常性確認など）。これが正常に完了すると，作業者は材料の試打ち等（過程 $S3$）を行って，運転準備を完了する。

(2) 加工過程

次に，材料を金型に供給し（過程 $P1$），起動操作を行って（過程 $P2$），プレス機械の運転を開始する（過程 $P3$）。この過程 $P3$ では，無事故（人間の手が金型内に侵入しない）を常に予測しながら運転を継続し，無事故が予測できないときは，直ちに急停止状態 $T1$ へと遷移する。

一方，無事故が予測できるときは，プレス機械は，加工（過程 $P4$），スライド上昇（過程 $P5$）という過程を経て運転を継続する。このとき，プレス機械の運転が正常であれば，スライドは上死点で停止するが（過程 $P6$），運転に異常を生じたときは，スライドは上死点で停止せず，2度落ちという事態を生じかねない。そこで，スライドが上死点付近の所定範囲内で停止できないときは，直ちにスライドを急停止状態 $T3$ へと遷移させる機構を設ける。これが，オーバーラン監視機構と呼ばれるものである。

2.2 フェールセーフ化すべき制御系

Fig. 1のシステムでは，図の細線部分の遷移で異常が生じたときは，製品不良や生産性低下が生じるものの，人身事故となることはない。これに対し，図の太線部分の遷移では，異常の発生によって直ちに重大な事故となる可能性があるから，事故防止のためには，この遷移を制御する制御系がフェールセーフでなければならない。言い換えれば，プレス機械では，段取り作業（Fig. 1の過程 $S1$, $S2$, $S3$）を別にすれば，次の制御をフェールセーフに実現する必要がある。

(a) $P3 \rightarrow T1$ なる遷移の制御：この制御では，人間の手が金型内に侵入することが予測されるときは，直ちにスライドを停止しなければならない。この制御を実現するための手段としては，人間

の手を検知するための安全センサと，このセンサからの情報に基づいてスライドを急停止させる機構（ブレーキなど）を必要とする。

(b) $P6 \rightarrow T3$ なる遷移の制御：これは，オーバーラン監視を実現するための制御であり，後述するように再起動防止のための制御も含まれる。この制御を実現するための手段としては，後述するオーバーラン監視回路と運転開始ボタン OFF 確認回路を必要とする。

以上のうち，(a) に関する制御系のフェールセーフ化は，安全センサとブレーキに関する考察が主となるから本稿では触れないこととし，以後の議論では，(b) に関する制御系のフェールセーフ化について考察する。

3. フェールセーフなオーバーラン監視回路

3.1 オーバーラン監視の方法

オーバーラン監視機能とは，スライドが最上昇点（上死点）で確実に停止したか否かを確認するための機能である。しかし，一般に，機械系では，物体が完全に停止したか否かを短時間で判断することは難しい。そこで，プレス機械では，この判定を起動運転（再起動）時にスライドの位置を確認することによって行う。例えば，本論文で対象とする機械プレスでは，ストローク数が毎分 150 回以内のとき，クランク角で上死点から 15 度以内にスライドが停止していれば再起動可能とし，これを過ぎると再起動ができない構成とする。この機能では，次の条件が重要となる。

(1) スライド駆動源は，上昇過程の所定の位置で必ず遮断されること。

(2) スライドの運転開始ボタンは，再起動時に必ず OFF 状態にあること。

(1) では，スライド駆動源の遮断位置が所定位置より早すぎると，たとえ，スライドがオーバーランの状態（たとえば 15 度を越えて停止する状態）にあってもわからない。このことは，少なくともスライド駆動源の遮断は早まる側の誤りが許されないことを意味する（ただし，この場合でも，上死点までには駆動源は確実に遮断されなければならない）。

また，(2) では，運転開始ボタンに ON（起動）側の故障があると，上死点をスライドが通過するとき無条件で起動してしまう。これは，プレス機械の運転

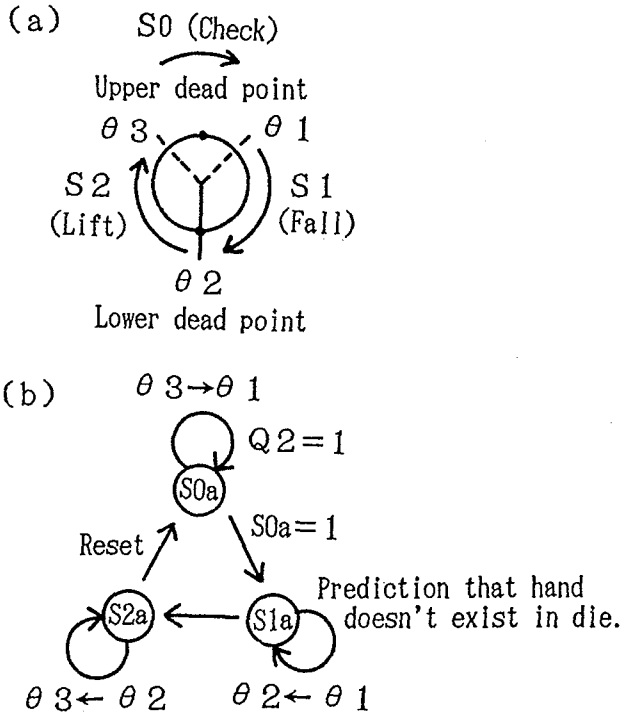

Fig. 2　Sequence of power press operation
機械プレスのシーケンス図

条件に，別途スライドの上昇過程で運転開始ボタン OFF の確認（俗に再起動防止と呼ばれる）を伴うべきことを意味する。

言い換えれば，オーバーラン監視機能では，①スライド駆動源が所定位置で遮断できること，②ブレーキ能力，③運転開始ボタンが OFF の状態にあることの確認機能が不可欠であり，これらの機能はフェールセーフな構造（故障時誤ってスライドを下降させない構造）で実現されねばならない。このうち，①は通常はカムスイッチ等の設定位置や構造に依存するから，以後の議論では②，③を実現するための制御回路を扱う。

3.2 スライドの制御と位置信号

本節では，プレス機械をハンド・イン・ダイで操作する場合に用いられる安全一行程と呼ばれる操作について考える。安全一行程とは，上死点で一度運転ボタンを押すと，以後ボタンの ON/OFF にかかわらずスライドが下降し上昇して再び上死点で停止する操作（一行程と呼ばれる）のうち，スライドが下降する区間では運転ボタンが押されている時のみスライドが移動し，離せば停止する操作 (JIS B0111^{-1981}

プレス機械用語）のことである。この行程における制御のシーケンスは，Fig. 2(a) で表すことができる。同図で，上死点はスライドの最上昇地点（クランク角零度），下死点は最下降地点（クランク角 180 度）を意味する。また，クランク角$\theta 1$ から$\theta 2$ の区間はスライドの下降区間，クランク角$\theta 2$ から$\theta 3$ の区間はスライドの上昇区間，クランク角$\theta 3$ から$\theta 1$ の区間は，次行程への運転準備が行われる区間である。以後，この$\theta 3$ から$\theta 1$ を運転準備区間と呼ぶ。

上の 3 つのクランク角$\theta 1$, $\theta 2$, $\theta 3$ は，機械プレスの出力エネルギの大きさによって異なる値で制御され，また，おのおのの区間は安全確保のために異なる制御が行われる。即ち，スライドの下降区間$\theta 1 \rightarrow \theta 2$ では，人間の手が金型内に侵入することが予測されるときはスライドは停止すべき区間であり，上昇区間$\theta 2 \rightarrow \theta 3$ はスライドが自動的に上昇してクランクが逆回転してはならない区間，運転準備区間$\theta 3 \rightarrow \theta 1$ は，前節で述べたオーバーラン監視と運転開始ボタンの OFF を確認し，この確認に基づいてスライドの再起動が行われる区間である。

以上の 3 つの区間で前述の制御が行われるためには，スライドの位置を表す記号として，少くとも，以下の 4 個を必要とする。

(a) スライドが上死点付近（クランク角$\theta 1$ 以下）で停止できたことを確認するための信号 ($P1$)
(b) スライドの停止機能を確認するために，スライド駆動源の動力を遮断するための信号 ($P2$)
(c) スライドが下降過程にあるか上昇過程にあるかを示す信号 ($P3$)
(d) 運転開始ボタンが OFF 状態にあることを確認するための信号 ($P4$)

上の 4 つの信号 $P1$, $P2$, $P3$, $P4$ について，ここでは，$P1$ を上死点停止確認信号，$P2$ を上死点停止信号，$P3$ を上昇過程信号，$P4$ を再起動防止信号と呼ぶことにする。

Fig. 2(b) は，同図 (a) の三つの区間，即ち，運転準備区間 $S0$，スライドの下降区間 $S1$, スライドの上昇区間 $S2$ におけるスライドの運転許可条件を状態遷移図で表している[4]。いま，区間 $S0$ で検査条件が満たされるとき，スライドは下降過程 ($S1$a) に入り，この下降過程で運転に異常がなければ，スライドは自動的に上昇過程 ($S2$a) に移り，検査過程 ($S0$a) に入る。$Q2 = 1$ (後述する) はスライド下降のための条件である。Fig. 2(b) で，$S0$a, $S1$a, $S2$a はおのおのの区間における状態を 2 値の論理変数で表しており，おのおのの区間で条件が満たされておれば，論理値 1 としてスライドの移動が起こることを意味している。

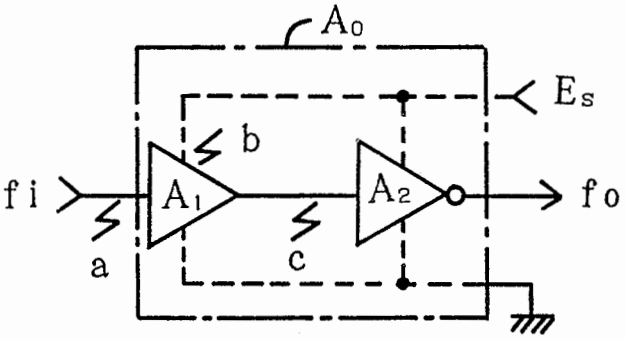

Fig. 3 Signal processing unit of negative operation circuit
否定回路の信号処理要素

3.3 フェールセーフな信号の扱い

いま 2 値の入力信号 fi を処理して 2 値の出力信号 f_oを生成する処理回路 A_o (Fig. 3 参照) を考える。ここで，出力 f_oは，電源 E_Sがあってはじめて生成されるから，次の 2 式のいずれかで表現できる。

$$f_o = E_S \cdot fi \tag{1}$$

$$f_o = E_S \cdot \overline{fi} \tag{2}$$

ここに，E_Sは電源が入力されているときを 1，いないときを 0 とする 2 値の論理変数を意味する。また，「−」は否定を意味する記号であり，$fi = 1$ であれば$\overline{fi} = 0$ となる。

いま，もし入力 fi に誤りがなく，処理回路 A_oにも故障がないものとすれば，$f_o = 1$ は電源が正常に入力されている ($E_S = 1$) ときに限り発生するから，$f_o = 0$ には電源側故障 ($E_S = 0$) による 0 の誤りが含まれ，$f_o = 1$ には誤りが含まれない。

同様な議論は，処理回路 A_oにもあてはまる。即ち，いま入力信号 fi に誤りがないものとして，処理回路 A_oの動作状態を 2 値の論理変数 A_o^*で表し，$A_o^* = 1$ を正常状態，$A_o^* = 0$ を故障状態とすれば，(1), (2) 式に対応する出力信号 f_oは次式で与えられる。

$$f_o = E_S \cdot fi \cdot A_o^* \tag{3}$$

$$f_o = E_S \cdot \overline{fi} \cdot A_o^* \tag{4}$$

Table 1　Logical relation of input and output
入出力の論理的関係

($fi \geqq f0$)

fi	fo
1	1
1	0
0	0

(3),(4) 式は，処理回路 A_oが正常 $(A_o^* = 1)$ であるときに限り，$f_o = E_S \cdot fi$ または $f_o = E_S \cdot \overline{fi}$が生成され，故障 $(A_o^* = 0)$ のときは，必ず $f_o = 0$ であることを意味する。

次に，処理回路 A_oが故障時に必ず $f_o = 0$ を生成するための条件を示す。いま，Fig. 3 で処理回路 A_o が否定回路である（すなわち，(4) 式の演算回路である）とすると，入力線 a に断線故障が起こった場合，$fi = 1$ であるのに $f_o = 1$ の誤りが生じ，決して出力 $f_o = 0$ だけの誤りにすることができない。これは，Fig. 3 の点線で示すように，処理回路 A_oを A_1 と A_2の二つに分けて A_2を否定回路とした場合に一層明確になる。この場合，図 a, b, c のいずれに断線故障が生じても出力 $f_o = 1$ の誤りを生じる。従って，処理回路 A_oには否定演算が含まれてはならず，処理は (3) 式に基づかなければならない。ここで，(3) 式における入力の関係は，Table 1 の真理表で与えられる。

フェールセーフな信号処理は，故障時には安全を示す信号の側に誤ることが許されない。よって，出力信号 $f_o = 1$ は安全（$f_o = 0$ は安全ではない）を示す信号として高レベルの論理レベルで表され，また，入力信号 $fi = 1$ を安全（$fi = 0$ は安全ではない）を示す信号として高レベル（高エネルギ状態）の論理レベルで入力されねばならない。

3.4　スライドの位置信号の生成法

Fig. 2(a) のクランク角$\theta 1$, $\theta 2$, $\theta 3$ を定めるための位置信号 $P1$, $P2$, $P3$, $P4$ は，2 値信号として安全を示す側（論理値 1）が次のように定まる。ただし，信号 $P1$, $P2$, $P3$, $P4$ の発生する位置は変わらないものとする。

$P1$：$P1$ は検査のための基準を与える信号である。従って，信号 $P1$ の発生は検査可能を意味し，不発生は検査不能を示す。よって，$P1 = 1$ が安全を表し，$P1 = 1$ の条件で運転が開始される。

$P2$：$P2$ はスライドの減速命令であると同時に，上死点での検査の開始を意味する。この信号は$\theta 3$, $\theta 1$ 間はスライドの運転停止を意味し，その他の区間は運転許可（安全）を意味するから，$P2$ は，1 側に誤ることが許されない。

$P3$：上昇過程で安全，下降過程で危険であるから上昇過程を $P3 = 1$ としなければならない。この場合，$P3 = 0$ は下降過程（危険）を意味することになる。

$P4$：運転開始ボタン ON を許可しない信号であるから，後述する運転開始ボタン OFF の確認開始時，論理値 0 でなければならない。なお，$P4 = 1$ のときは運転開始ボタン ON が許されることになる。

3.5　オーバーラン監視

次に，機械側で誤りのない制御を行うために，3.2 節で定めた運転準備信号を $S0$a として，オーバーラン監視と運転開始ボタン OFF の確認信号を具体的にフェールセーフな論理素子を用いて抽出する方法を示す。

プレス機械におけるブレーキ性能の確認は，制動開始後に上死点の所定範囲内でスライドが停止できることを確認することによって行う。通常，この確認は，Fig. 2 で示すようにスライドの往復運動の周期毎に行うものとすれば，良好な検査結果は次の検査まで自己保持されねばならない。即ち，Fig. 2(b) でクランク角$\theta 3$ から$\theta 1$ の運転準備区間で検査結果が良好であれば，$S0$a=1 としてスライドの移動が起こり，この結果はスライドの下降過程では $S1$a=1 として，上昇過程では $S2$a=1 として維持され，運転準備区間の検査でリセットされる。ここに，$S0$a=1, $S1$a=1, $S2$a=1 は検査結果が良好であることが安全を意味している理由で，論理値 1（高レベルの出力状態）である。

Fig. 4 にオーバーラン監視を行うためのシーケンスの例をタイムチャートで示す。ここで，$P1$, $P2$, $P3$ は前述した上死点停止確認信号，上死点停止信号，上昇過程信号であり，スライドの移動をクランク角で表している。また，$P1 = 1$ は運転準備（検査）区間，$P2 = 1 \rightarrow 0$ は検査開始，$P3 = 1$ はスライドの上昇区間を表す。なお，上死点停止確認信号 $P1$ の立ち上がり 340 度は，オーバーラン監視における出力遮断の早まりを防止しており，これによって，遮断が早す

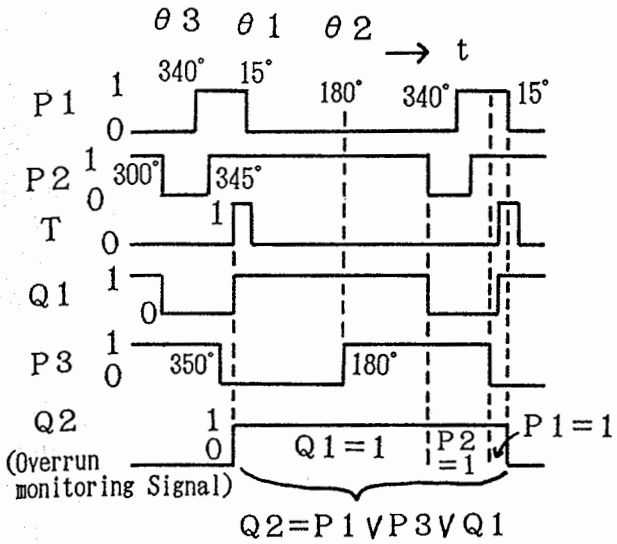

Fig. 4 Time-chart of overrun monitoring
オーバーラン監視のタイム・チャート

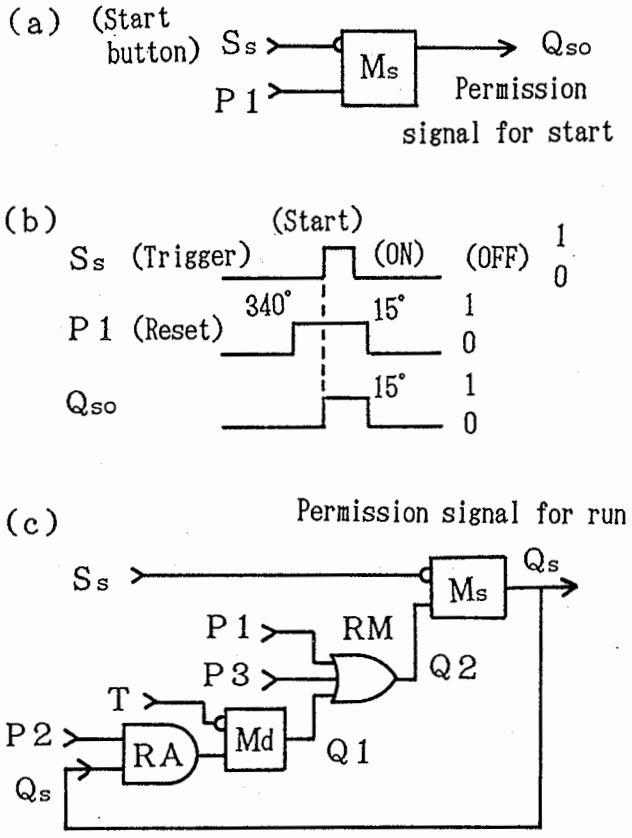

Fig. 5 Circuit of overrun monitoring
オーバーラン監視回路

ぎる場合も，次行程の作業を許可しない構成をとる。

Fig. 4 のシーケンスは，340 度から 15 度までの 35 度の範囲が検査のための窓（ウィンドウ）であり，この範囲内でスライドが停止すれば，運転開始ボタンの操作 ($T=1$) によって，以後のスライドの下降を許可するための許可信号が自己保持機能で $Q1=1$ として記憶される。この記憶は，スライドが下降→上昇して上死点停止信号 $P2$(300 度から 345 度の間の 0 信号，通常カムスイッチの OFF で行われる）によってリセットされる。

オーバーラン監視の役割は，ブレーキ性能の確認にある。この確認はスライド上昇後の位置確認であって，この確認は上死点で行われて，確認結果が良ければ以後のスライドの移動に支障をきたす必要はない（ただし，ブレーキは急激に劣化しないものとする)。このとき，スライドの位置確認後，次の確認まで運転許可の信号を生成しなければならず，このために自己保持機能が必要となる。例えば，Fig. 4 でスライドが $P1=1$ の範囲で停止すれば，運転開始ボタンによってスライドを起動することができる。

しかし，いったん $P1=1$ の範囲でスライドを起動した後，何らかの理由でクランク角 15 度 ($P1=0$) を過ぎた位置でスライドが停止した場合，スライド起動条件が $P1=1$ のみに依存すれば起動不可能となるが，オーバーラン監視の目的からすると，この場合起動を不可能にすべき理由は存在しない。

よって，ブレーキ性能の確認結果は自己保持機能による許可信号として $P1=0$ の区間でも保持されねばならない。このため，ブレーキ性能確認後再確認されるまでの運転許可の信号 $Q2$ を，$P1=1$ における検査結果を次の検査を開始するまでの自己保持機能の出力信号 $Q1$ と上昇過程 $P3$ を上死点停止確認信号 $P1$ の論理和として次式で表わす（「∨」は論理和を意味する)。

$$Q2(t) = Q1(t) \vee P3(t) \vee P1(t) \qquad (5)$$

ここに，自己保持出力 $Q1$ は上死点停止信号 $P2$ によるリセット信号を $P2R$とすると，次式となる。

$$Q1(t) = T(t)_{\text{SELF-HOLD}} \rightarrow P2R(t)_{\text{RESET}} \qquad (6)$$

ただし，添字 SELF-HOLD は，運転開始ボタンの操作開始 ($T=0\rightarrow 1$) によって $Q1$ が自己保持を開始 ($Q1=0\rightarrow 1$) することを意味する。また，添字 RESET は，P2 に立ち上がり ($P2=1\rightarrow 0$) が生じ

たときに $Q1$ をリセットする ($Q1 = 1 \rightarrow 0$) ことを意味する（以後，(5), (6) 式の (t) を省略する)。

(5) 式で，$Q1$，$P3$，$P1$ はスライドの往復運動に伴って所定の位置で発生する。また，(5) 式は時間軸上の論理和であって，信号 $Q1$，$P3$，$P1$ を一往復ごとの運転条件としてとらえると，一運転周期中に信号 $Q1$，$P3$，$P1$ のいずれかが 0 であるとき，$Q2 = 0$ となる。よって，(5) 式によれば，ブレーキ性能が良好でなくスライドがクランク角 15 度を過ぎて停止すれば，$P1 = 0$ が生じ，$Q2 = 0$ として運転の許可が生じ得ないことになる。

Fig. 5 に具体的オーバーラン監視回路の構成を示す。(5) 式で与えられるオーバーラン監視の出力信号は，運転許可の信号として出力され，$Q1$，$P3$，$P1$ のいずれかに 0 が生じた場合，$Q2 = 0$ を生じる構成でなければならず，自己保持機能には自己保持条件がリセット信号として入力されねばならない。

Fig. 5(a) の M_Sは，フェールセーフな自己保持回路（故障時出力が 0 となる自己保持回路で，以後すべての回路要素はこの特性を持つものとする）で，運転開始ボタン（機械プレスの運転開始を意味し，コントローラの電源投入直後にスイッチ ON される自己保持回路のプリセットボタン）の信号 S_Sをトリガ信号とし，上死点停止確認信号 $P1$ をリセット信号とする。自己保持回路 M_Sの出力信号 Q_{S0}によって，運転ボタン Tによるスライド運転の許可が与えられ，上死点停止確認信号 $P1$ に対して同図 (b) にタイムチャートで示すような動作を行う。

ここで，運転ボタンの信号を直接トリガ信号としないのは，(6) 式で示されるように，オーバーランの監視結果の自己保持は上死点停止信号によってスライドの往復ごとに必ずリセットされなければならず，(5) 式，すなわち，$(T \rightarrow P2R) \vee P3 \vee P1$ によって繰返される運転許可が与えられねばならないことによる。

Fig. 5(c) は，(5) 式に基づいて始動ボタン信号 $S_S = 1$ を自己保持するオーバーラン監視回路である。ここで，M_dは運転ボタン信号 $T=1$ をトリガ信号とし，上死点停止信号 $P2$ をリセット信号とする自己保持回路で，出力信号は (6) 式に対応する。論理回路 RM は (5) 式に対応する演算を行って出力信号 $Q2$ を出力する。また，始動のための自己保持回路 M_Sは，出力信号 $Q2$ をリセット信号として運転許可の信号 Q_Sを出力する。運転許可の信号 $Q_S=1$

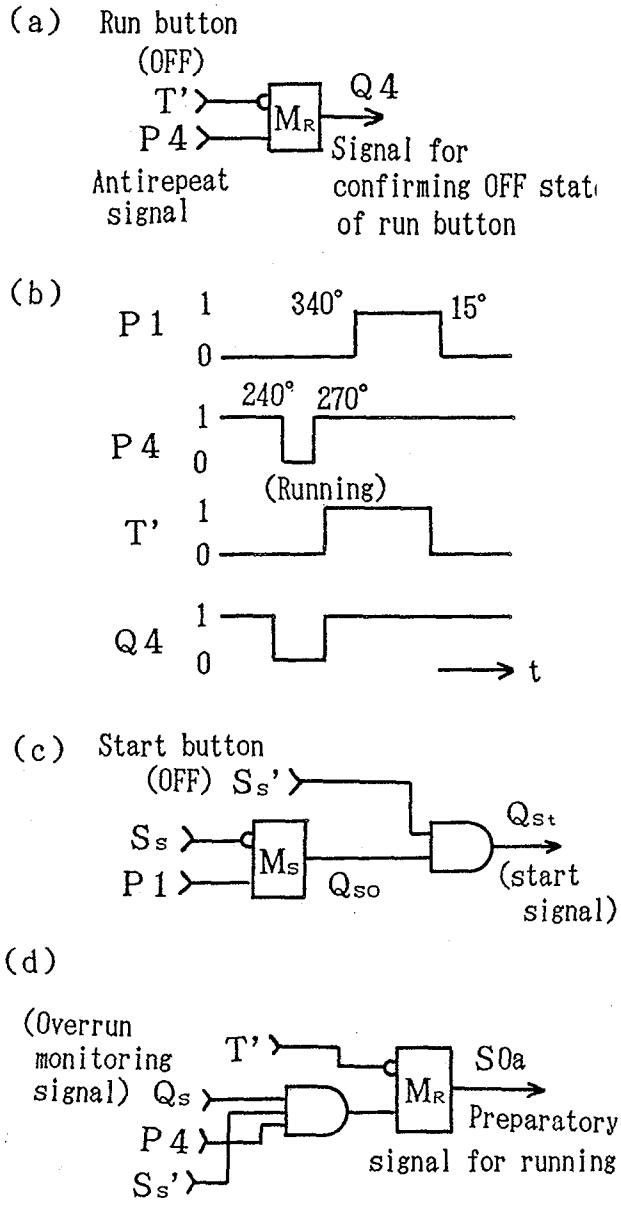

Fig. 6　Confirmation circuit that the start switch is in the OFF position
運転開始ボタン OFF 確認回路

は，論理積回路 RA に帰還されることによって，(5) 式に基づく演算の結果，オーバーラン（上死点停止確認信号を過ぎてスライドが停止する動作）が起こらない限り $Q_S = 1$ が保持される構成である。

3.6　運転開始ボタン OFF の確認

Fig. 6 に運転開始ボタン OFF の確認回路を示す。ここでは，運転開始ボタン OFF を 2 値の論理記号

T'で表すものとする（OFF したとき $T'=1$）。実際には，$T'=\overline{T}$と考えて差しつかえないが，3.3 節で述べたようにフェールセーフな信号処理では通常の否定演算を用いることができないことを配慮して，ここでは，ボタンが OFF していることをダッシュ($'$)を付して表す。

同図 (a) は運転開始ボタン OFF, すなわち $T'=1$ の確認原理を示す。ここでは，同図 (b) のタイムチャートで示すように，信号 $P4(=1)$ が発生した後，運転開始ボタンが OFF $(T'=1)$ されると自己保持回路 MR に運転開始ボタン OFF の確認信号 $Q4=1$ が発生する。この出力信号はスライドが下降後上昇して，再起動防止信号 P4 が OFF $(P4=0)$ となるまで自己保持される。

Fig. 6(a) の回路を制御系で用いる場合，通常始動時は必ず運転開始ボタンが OFF しているから，電源投入と同時に $Q4=1$ が発生する。ここでは，Fig. 5 と同様に始動ボタンを用いてシステム始動とする構成をとる。すなわち，運転準備にはこの始動の条件を加え，始動信号 S_Sが発生して初めて $Q4=1$ を生じる構成とする。

Fig. 6(c) に，Fig. 5(a) を用いた始動信号発生法を示す。始動ボタン ON $(S_S=1)$ による自己保持回路 M_Sの出力信号 Q_Sは次に始動ボタンが OFF $(S_S'=1)$ したとき真の始動信号 $Q_{St}=1$ として発生する。これはばねリターンによる始動ボタンが ON した後，次に OFF した時を始動信号とすることによって，始動ボタンが復旧可能である（たとえば，ばねが壊れていて誤りのスイッチ ON の状態でない）ことの確認に基づいて信号が発生することになるからである。

Fig. 6(d) は，再起動防止信号 $P4$ を用いた運転開始ボタン OFF の確認方法であり，オーバーラン監視の出力信号 Q_Sとの論理積として運転準備信号 $S0$a を出力する。Fig. 6(c) ではスライドがクランク角 15 度 ($P1=1$ の範囲内) を過ぎると $P1=0$ となって始動信号が消滅 $(Q_{St}=0)$ してしまう。このため，始動信号 Q_{S0} (Fig. 6(c)) の代わりに，オーバーラン監視の信号 Q_S (Fig. 5(c)) を用いて，この信号 Q_S と再起動防止信号 P4 と始動ボタン OFF の信号 S_S' の論理積を自己保持回路 MR のリセット信号としている。これにより，Fig. 6(d) は同図 (a) と (c) の二つの機能を備えるとともにオーバーラン監視に基づく運転許可の信号と運転開始ボタン OFF 確認に基づく運転許可の信号の論理積を運転準備信号とすることができる。なお，運転開始ボタンの信号 T, T'と始動ボタンの信号 S_S, S_S'は，同時に 1 をとらない $(T\cdot T'=0,\ S_S\cdot S_S'=0)$ 双対な信号とする。

4. 結　言

フリクション・クラッチ式プレスの安全性を向上させるには，スライドの上死点におけるオーバーラン監視と，人間の手が金型内に侵入していないことの監視が必要である。このうち，本論文では，フェールセーフな論理素子を用いて，信頼性が高く，かつ，フェールセーフな構造のオーバーラン監視回路を提案した。この概要は，次のように要約できる。

1) プレス機械制御での作業過程の遷移図は，Fig. 1 で表すことができる。図で，事故防止のために確定論的な制御を必要とするのは，段取り作業以外では，①人間の手が金型内に侵入すると予測されるときに直ちにスライドを急停止させる過程と，②スライドが上死点付近の所定範囲内で停止できないときに直ちにスライドを急停止させる過程（オーバーラン監視）である。
2) オーバーラン監視機構では，スライドが上昇過程から下降過程に移行する区間に運転準備区間を設け，この運転準備区間におけるブレーキ性能の検査（オーバーラン監視）と運転開始ボタン OFF の確認結果に基づいてスライドの下降を許可する。従って，この検査では，スライド停止命令と停止確認の信号のほかに，スライドの上昇と下降を示す信号，及び運転開始ボタン OFF を確認するための信号が必要である。
3) 上記の機構を実現する回路をフェールセーフにするには，プレス機械の立上がり信号（始動信号）や運転開始ボタンからの信号（運転ボタン信号）を基にして，フェールセーフな論理素子を用いて自己保持回路を構成し，スライド下降の許可はこの自己保持回路の出力信号として与える構成とすれば実現可能である。

謝　辞

本論文は，日本信号（株）の坂井正善氏と蓬原弘一氏と共同して行った研究・討論を基に作成したものであり，この研究成果の掲載を快く御了承いただい

た両氏に対し深く謝意を表するものである。

(平成 4 年 4 月 20 日受理)

参考文献

1) 高井，プレス労働災害の現状と対策，プレス技術，Vol. 27, No. 14 (1988), 18–26.
2) 近藤・金子・杉本，正論理に基づくフェールセーフ・プレス機械制御，第 20 回安全工学シンポジウム予稿集，(1990), 63–66.
3) 坂井・蓬原・杉本・粂川・向殿，機械プレス制御における安全確保の論理と方法，機論，58–545, C (1992), 112–119.
4) 坂井・蓬原・日下・向殿，加算多値しきい値演算を用いた機械プレスの安全制御の一実現，多値論理とその応用研究会。(1990), MVL90–14, 電子情報通信学会.