

ACサーボプレスの安全制御の紹介

Introduction of Safety Control of AC Servo Press

畑 幸 男

Yukio Hata

桜 井 均

Hitoshi Sakurai

武 内 久 典

Hisanori Takeuchi

松 下 善 則

Yoshinori Matsushita

コマツ産機(株)では、1998年に直動型ACサーボプレスを開発して以来、順送用の自動プレス用H2F、H4Fと次々に機械プレスのACサーボ化を進め、昨年、機械プレスで安全上一番困難なハンドインダイ用のH1Fの開発、市場導入を実施した。

ここでは、H1FをハンドインダイのACサーボプレスとして市場に送り出すためのハンドインダイ特有の制御安全を開発し、H1Fに織りこんで市場に導入したので、その安全制御の概要について紹介する。

Komatsu Industries Corp. came up with a direct-acting AC servo press for the first time in 1998. Since then, the company has continually installed an AC servo in its mechanical presses. Recently, it introduced to the market the progressive AC servo presses H2F and H4F (input of material to and output of finished product from the press are done automatically). Last year, we developed and put on the market the hand-in-die type H1F press (input of material to and output of finished product from the press are done by the operator) whose safety control is said to be the most difficult among mechanical presses.

This paper describes the safety control system that is incorporated in the hand-in-die type AC servo press H1F.

Key Words: Press, Hand-In Dies, Servo, Safety Control, Redundancy Design, SIT, Risk Assessment.

1. はじめに

ACサーボプレスは、国内の製造業の空洞化が叫ばれるなか、加工の変革、素材の変革、機械加工に迫る高精度を塑性加工で実現するために、従来のクラッチブレーキによるプレス機械の発想を変え、従来では制御が難しかったスライド下死点精度の向上、加工途中でのスライド停止、モーション形状の任意設定などをクラッチブレーキからACサーボモータにて制御することで普及しつつある。

一方、プレス機械による労働災害の多い機械としてその災害防止について、過去、様々な安全対策が打ち出されているが、我国のプレス災害はまだまだ世界の先進国から見れば大きな差があり、より一層のプレスの安全制御が求められている。

しかしながら、ACサーボプレスに関しては十分な安全規格がなく、従来のクラッチブレーキ式の安全規格しか整備されていないのが実情である。

ここでは、ACサーボプレスにて手作業でプレス加工をするためのプレス機械(H1F)において、安全にプレス機械を制御するために開発されたサーボプレス制御装置(SIT-

III)の安全制御について、どのように規格に対して適合し、安全確保を実施しているかについて紹介する。(図1)



図1 ACサーボプレスH1F

2. ハンドインダイサーボプレス H1F

(1) ハンドインダイプレスの安全規格

ハンドインダイのプレスでは、作業者の手でスライド内への材料および加工後の製品の出し入れを行うために非常に危険な機械として認識されている。

この機械の安全を確保する規格の代表として各国には以下の動力機械プレスに対する安全規格がある。

- ① 欧州では EN692/EN693
- ② 米国では、OSHA および ANSI-B11.1 および B11.3
- ③ 国内では動力プレス機械構造規格およびJISなどの安全規格
- ④ 安全確保に関する一般的な国際規格 ISO12100, ISO13849-1,

これらの規格をもとに、各国では国家法令や国家規格で厳しく安全性を求められている。

また、これらの規格においては経済のグローバル化の推進のため、プレス機械に限らず各国の産業製品に対する規格の認証規制の行き過ぎ、濫用による貿易障害を防止し、工業標準、安全、環境面の規制などについて国際的に統一する目的で、世界的協定としてWTO/TBT協定があり、日本も本協定に加盟している。

この協定に従って、各国の国家規格(日本はJIS)はISO(国際標準化機構)およびIEC(国際電気標準化会議)などの国際規格に原則として合わせる方向で進められている。

最近の国内での機械安全に関する動向としては、厚生労働省より平成13年6月に国際的なA規格(基本安全規格)であるISO12100に基づいて「機械の包括的な安全基準に関する指針」が出され、製造者にリスクアセスメントの実施と安全方策の実施についての指導がなされている。

コマツとしても今後の国際化を考慮して進める必要があり、まずACサーボプレスの制御安全を考えるに当たって、昨年よりこれらの動向を考慮して制御安全を検討して開発を進めてきた。

(2) ACサーボプレス H1Fの機械構成と安全確保の考え方

図2には、H1Fの機械制御機構について示す。

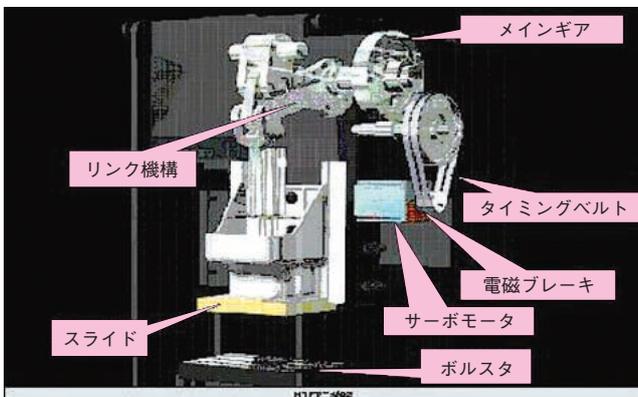


図2 H1Fの機械制御構成

プレス機械は、スライドとボルスタにそれぞれ上型と下型を取り付け、加工材料を下型上に置き、スライドを上下動させて加工材料を所定の製品にプレスする機械である。

従来のプレス機械の駆動系は、プレス機械の駆動系の大本であるメインギアを駆動するために、メインモータにてフライホイールを回転させ回転エネルギーを蓄える。その蓄えられたエネルギーは、クラッチブレーキを介してメインギアに伝えられ、プレス機械の上下動および加工エネルギーとして使用している。(図3. プレス機械の駆動機構)

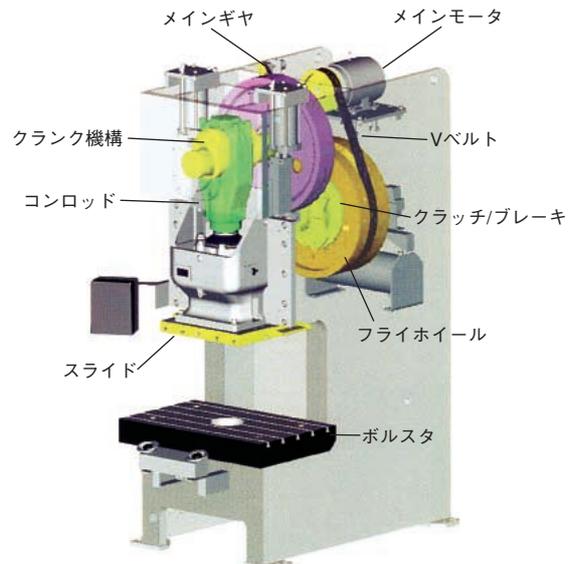


図3 プレス機械駆動機構

従って、従来のプレス機械の安全確保についてはフライホイールのエネルギーの接続機構であるクラッチブレーキ入/切の安全性を確保する方策が取られてきた。

ACサーボプレスH1Fのスライドをプレス上下運動をさせるための駆動系は、従来のリンクプレス同様メインギアからリンク機構を介してスライドを駆動させているが、このメインギアの回転ための回転エネルギーは、サーボモータからタイミングベルトを介して直接伝達される機構である。このため、サーボモータの暴走は即スライド上下運動の暴走となり、人身事故につながる非常に重大な危険源が存在する。従って、従来のプレス機械のようにエネルギー源を遮断するクラッチブレーキが存在しないため、安全確保については、駆動源であるサーボモータのエネルギー源を遮断する機構において従来のプレス機械のクラッチブレーキと同等以上の安全確保と信頼性が必要となる。

今回のSIT-IIIを使用したACサーボプレス制御での安全性の立証が困難な市販のサーボモータ制御システムを使用しているの安全性確保について、従来のプレス機械と同等以上の安全性確保の制御実施内容について説明する。

3. プレス動作制御に関するリスクアセスメントと安全要求事項

(1) ACサーボプレス動作制御に関するリスクアセスメント
 制御システムにおいても「機械の包括的な安全基準に関する指針」により JIS B 9702(ISO14121)のリスクアセスメントの原則に従って評価し、安全方策としては JIS B 9705-1(ISO13849-1)にて安全確保機能のカテゴリーを決定して進める。

以下に、ACサーボプレスの動作制御系について実施したリスクアセスメントの抜粋を示す。(表1, 表2)

(2) ACサーボプレス動作制御に関する安全要求事項

以下に、JIS B 9702 付属書Aに従って実施したACサーボプレスの動作制御系についてのリスクアセスメントより、

ACサーボプレスの安全制御としての要求事項を大きく分類すると、以下の①～⑤となる。

- ① スライド位置の検出手段の冗長設計と常時監視機構
- ② 制御回路系の二重化と監視機構
- ③ 起動回路の二重化と監視機構
- ④ 暴走検知と回路遮断の冗長設計
- ⑤ 制御ソフトの冗長設計
- (⑥ 安全装置の設置)

今回の①～⑤のACサーボプレスの各制御機構については、JIS B 9705-1での安全カテゴリー3または4にて構成する必要がある。

次に、汎用サーボモータを使用しての各制御に対するSIT-IIIでの安全方策として実施した①～④の実施内容についての概要について示す。

表1 JIS B 9702, 付属書Aによる リスクアセスメント実施表(コントローラ関係)

No.	危険源の同定		リスクアセスメント					安全方策カテゴリー	対応する安全対策 (①～⑥は安全確保手段の種類)
	危険	危険域	危険にさらされる可能性	被害のひどさ C	危険にさらされる頻度 F	危険を回避出来る可能性 P			
15	[予期しない始動, 超過走行 / 超過速度または酷似不調]								
15.1	制御システムの故障/混乱	位置検出器の故障による暴走	有	C2	F2	P1	4	① 異種検出器による冗長設計と常時監視機構	
		運転起動回路の短絡 / 故障による不意な起動	有	C2	F1	P1	3	② 回路系の二重化と監視機構 ③ 起動回路の二重化と監視機構	
		サーボ系の故障による暴走	有	C2	F1	P1	3	④ 暴走検知/回路遮断機構冗長化	
15.2	エネルギー供給の中断後の回復	不意な動作の発動	有	C1	F2	P1	3	⑥ 光線式安全装置の設置 ③ 各再起動回路	
15.5	ソフトウェアのエラー	不意な動作の発動	有	C2	F1	P1	3	⑤ 制御システム：安全性カテゴリー3以上 (別CPU/別ソフトによるエラーの抑制)	
16	機械を最良状態に停止させることが不可能								
		オーバーランによる二度落ち	有	C2	F1	P1	3	④ 停止制御冗長回路 ④ 速度認識安全確認システム (安全性カテゴリー3以上)	
17	回転速度の変動								
		不意な動作の発動	有	C1	F1	P2	1	④ 速度認識安全確認システム (安全性カテゴリー3以上)	
19	制御回路の故障								
		安全装置回路の故障	有	C2	F1	P1	3	② 回路系の二重化と監視機構	
		出力回路の故障	有	C2	F1	P1	3		

表2 JIS B 9705-1 での制御機能の安全性分類

安全方策カテゴリー	制御機能の安全性確保方法
B	非安全関連部としてのみ機能する。
1	安全関連部には十分吟味された高信頼性コンポーネントを採用。
2	安全確保機能(安全関連部)が適切な間隔でチェックされる。
3	カテゴリー2の安全確保機能を二重系とする。
4	1. 単一障害は検出されること。 2. 障害の蓄積で安全機能を損なわないこと。 3. ダイバシティによる二重系とする。

4. サーボプレス安全確保の実施内容(SIT-III 安全制御の紹介)

(1) スライド位置の検出手段の冗長設計と常時監視機構

ACサーボプレスH1Fにおいては、スライドの位置を検出する機構が断線/故障/外乱などにより実スライドの位置を誤って認識し制御された場合、極端な例としてスライド上死点(スライド上下動の最上端)と下死点(スライド上下動の最下端)が入れ替わり、スライド上昇中に作業者の手が入っているときにスライドが誤って下死点まで落下し、作業者の手をつぶす重大事故が発生する可能性を秘めている。

ロボットなどでよく耳にする暴走などは、この位置検出器がサーボモータのパルスコードのみで行っているものまたは位置検出の多重系を採用していないことに起因して発生しているものが大半を占めている。

プレス機械を設計する上では、このような位置の判断の誤りによる事故を絶対に起こさないようにH1Fでは、スライド位置の検出については、**図4**(H1Fの制御構成)で示すように、以下のA. B. C. の3重系の位置検出を行っている。

- A. スライドの絶対位置を検出する位置検出器
- B. スライドの駆動系であるメインギアの絶対角度を検出する角度検出器
- C. スライドを動作させるエネルギー源であるサーボモータの回転検出パルスコード

これら A. B. C. の位置検出器を SIT-III 内部に取り込み、それぞれで機械位置の認識を行い、かつ、常時監視レベルを設けて各位置検出器でのズレを常時監視することにより、各位置検出器の故障などによる事故の防止を行っている。

また、これらの検出、監視を行っている制御自体も次に示す安全制御の手段により構成されている。

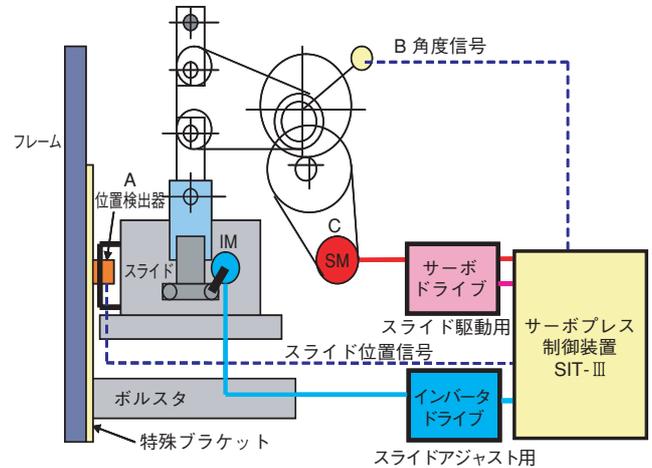


図4 H1Fの制御構成

(2) 制御回路系の二重化と監視機構

図5(SIT-IIIの制御構成)には、外部信号を取り込んだ後の安全制御の手段としてのSIT-IIIの制御内部構成の概略を示す。制御としては、基本的にサーボを制御するための

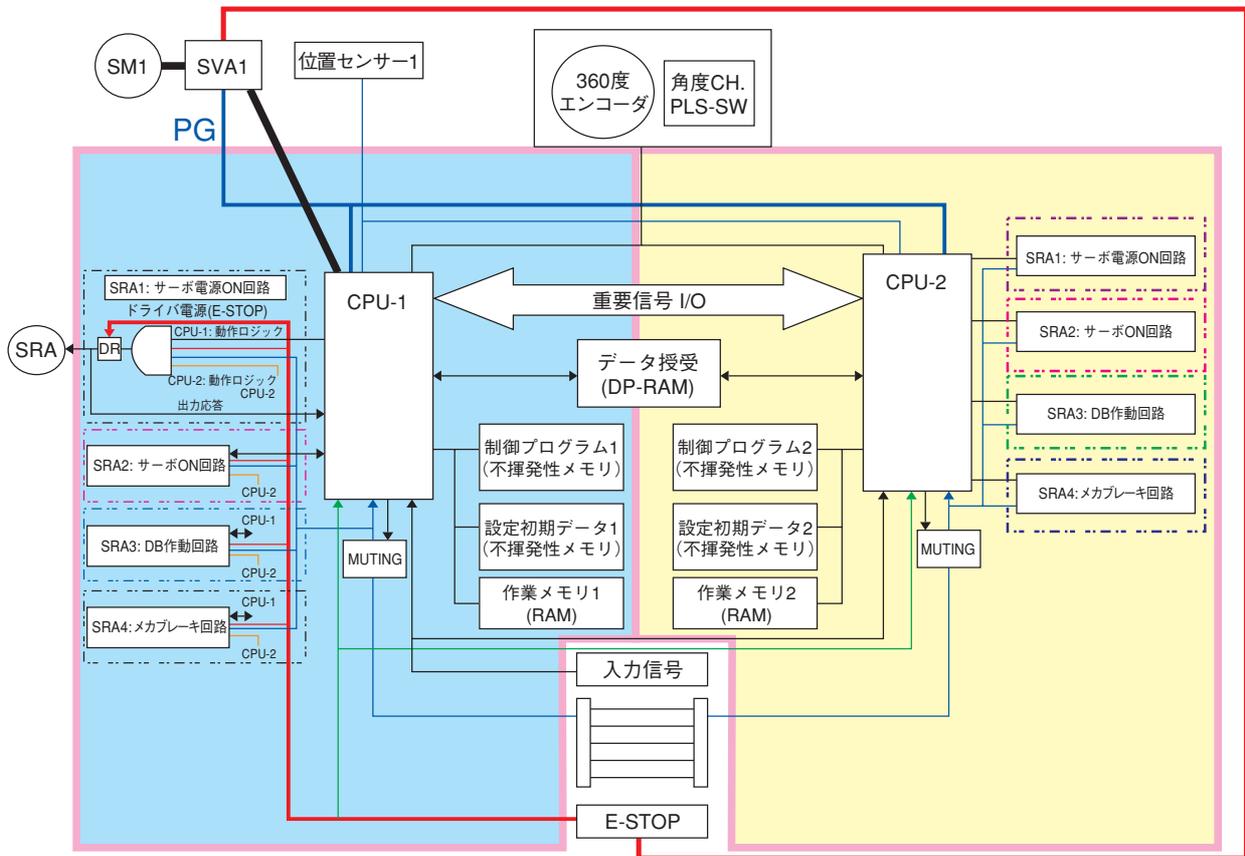


図5 SIT-IIIの制御構成

演算が必要となるので、マイクロプロセッサ(CPU)による制御を行っている。ここで、CPUにて制御を行う上で以下の安全制御の基本方針で制御を行っている。

< CPU制御の基本方針 >

- ① 基本的にすべての入出力は二重CPUにて処理され、かつ二重CPUは異種のCPUにて二重回路を構成する。(表3参照)

表3 サーボプレス二重冗長に必要な外部 I/O 構成 (パルスコーダ/リニアスケール処理は別途)

No.	入力信号名	出力信号名
1	非常停止	非常停止出力
2	ブレーキ出力フィードバック	ブレーキ出力1
3	サーボ電源ONフィードバック	ブレーキ出力2
4	切モード	サーボ電源ON1
5	寸動モード	サーボ電源ON2
6	安全一行程モード	サーボON
7	オプションモード	安全装置チェック信号
8	連続モード	
9	段取寸動モード	
10	上死点復帰モード	
11	連続セットアップ	
12	急停止リセット	
13	運転ボタンNO	
14	運転ボタンNC	
15	前安全装置作動	
16	後安全装置作動	

- ② 安全制御にかかわる設定値などを記憶するメモリは、それぞれCPUごとに個別に持つ。(二重化する)
- ③ 以下の制御上重要な相互確認信号については、その状態を重要信号I/Oとして常時制御状態の監視を相互に行う。(表4参照)

表4 SIT-III内部二重冗長処理と相互確認信号(重要信号)

No.	信号/処理系	相互確認信号		出力/制御処理
		CPU-A	CPU-B	
1	運転起動処理	○	○	AND
2	運転停止処理	○	○	OR
3	位置決め処理	○	○	OR
4	非常停止処理	○	○	OR
5	行程開始判断処理	○	○	AND
6	行程終了判断処理	○	○	AND
7	位置決め完了処理	○	○	AND
8	停止中判断処理	○	○	OR
9	サーボリニアスケール異常処理	○	○	OR
10	エンコーダ異常処理	○	○	OR
11	パルスコーダ異常処理	○	○	OR
12	エンコーダ/PG異常処理	○	○	OR
13	リニア/PG異常処理	○	○	OR
14	安全装置遮光停止処理	○	○	OR
15	安全装置上昇無効処理	○	○	AND



	CPU-A	CPU-B
準備完了状態	RDY-A	RDY-A
自動運転状態	AUTO-A	AUTO-A
サーボON状態	VON-A	VON-A
前安全装置状態/上昇無効状態	FCYCL-A	FCYCL-A
後安全装置状態/上昇無効状態	RCYCL-A	RCYCL-A
再起動防止状態	ANTI-A	ANTI-A
急停止状態	QST-A	QST-A
運転行程の確認	行程番号-A	行程番号-A
位置決め状態の確認	位置決め中-A	位置決め中-A

- ④ 信号については、常時その制御状態を双方での一致を認識し合う。
- ⑤ 非常停止回路については、入力断によりハード的に出力断の回路構成とする。

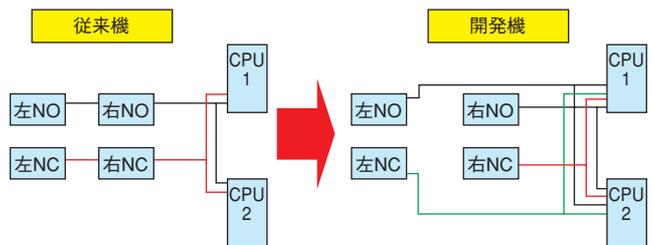
- ⑥ ブレーキなどの重要出力については、常時出力状態とそのフィードバックを監視する。

これら①～⑥のCPU制御の基本設計により、あらゆる単一故障が発生しても、それを検出、認識し重大事故になる故障を見逃さない構成となっている。

(3) 起動回路の二重化と監視機構

図1に示した様に、プレス機械を起動する運転回路は両手式運転釦による運転を開始する。またこれら両手の運転スイッチについては、左右ともにNO(Normaly Open)とNC(Normaly Close)の接点にて運転釦の運転開始、終了を認識し、二重CPUにて運転制御されている。

従来の弊社の起動回路の制御では、図6にあるように左/右のそれぞれの運転釦が直列に接続された信号で各CPU(二重CPU)に入力され、制御されてきた。つまり、運転操作は両手で行うが、起動回路は“NO”と“NC”の回路構成で制御され、“NO”と“NC”との切り換わりタイミング0.5秒のインタロックがとられている。国内外規格でも本制御で問題視されていなかったのが実情であった。(JIS B9960-1(IEC60204-1)両手起動装置タイプIII)



短絡・開放故障の検知の強化 (安全カテゴリ-3以上)

図6 起動回路の二重化と監視機構

近年、プレス機械関係の規格での解釈上、ハンドインダイでの更なる安全性を求められ、両手操作の安全ユニットの製品化もなされ、左右の運転釦のあらゆる単一故障に対しての再起動防止の保証がなされている。

ハンドインダイのプレス機械で、一番危険な操作としては、片手操作によりプレスが起動することであり、リスクアセスメント上あらゆる運転スイッチの故障による片手操作の可能性の排除も考慮する必要がある。

今回、ACサーボプレスH1Fの制御を検討するに当たり、リスクアセスメント上あらゆる起動回路の単一の故障も検出し、かつ再起動防止の制御の安全性をより向上させるとともに、将来現存する最高の安全性確保に近づけるために、以下の②、③の制御構成を新たに追加し、更なる安全性向上の準備がなされている。

- ① 両手運転釦操作の“NO”と“NC”との切り換わりタイミング0.5秒のインタロック。(従来の制御)
- ② 左右それぞれの運転釦の“NO”と“NC”との切り換わりタイミング0.5秒のインタロック
- ③ 左右それぞれの運転釦の“NO”と“NC”の同時ON、同時OFFの検出。

(4) 暴走検知と回路遮断の冗長設計

① 暴走検知機能

ACサーボプレスH1Fの作業において一番危険が発生する可能性として、安全一行程において作業者はプレスが上死点で停止すると思ひ、プレスの上昇行程で作業者はプレスの金型内に手を入れて加工製品を取り出す。

この際、プレスが暴走し、スライドが下降する状況が発生した場合重大事故につながる。

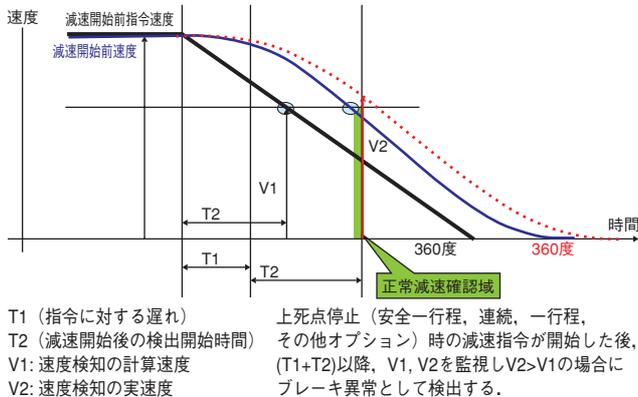
ACサーボプレスH1Fでは、もし汎用サーボモータが暴走した場合、従来のオーバーラン検出(スライドが上死点をオーバーしたことを検出)だけでは、重大事故を未然に防ぐことができない。また、サーボ制御で行われているその他の機能として一般的な指令と移動量の誤差をある設定レベルで検出する偏差異常などについても当然実施しているが、検出できる応答性のレベルに限界があり、重大事故を未然に防ぐには不十分である。

H1Fでは、本問題を解決するために、ACサーボプレスでは暴走検出の手段として以下の方法を行っている。

< 1. プレス減速状態監視機能 >

ACサーボプレスH1Fでは、もし汎用サーボモータが暴走した場合、従来のオーバーラン検出(スライドが上死点をオーバーしたことを検出)だけでは、重大事故を未然に防ぐことができない。H1Fでは、本問題を解決するために(安全一行程)での上死点停止の際の減速状態を監視することにより、スライドのオーバーラン量を最小限に抑える機構を設けスライドをいち早く停止させる制御を行っている。

図7には、プレスの上死点停止制御の際の減速行程でのサーボ減速停止異常の検知の概要を示した。H1Fでは、オーバーランに加え、プレスの上死点停止制御に入ると同時に指令に対する減速開始遅れ(T1)などを考慮したサーボ減速制御状態を常時監視する方法でサーボの暴走をスライドが下降域に入る前に検出し、サーボ電源断→メカニカルブレーキにてプレスを緊急停止させている。



T1 (指令に対する遅れ) 上死点停止 (安全一行程、連続、一行程、
T2 (減速開始後の検出開始時間) その他オプション) 時の減速指令が開始した後、
V1: 速度検知の計算速度 (T1+T2)以降、V1、V2を監視しV2>V1の場合に
V2: 速度検知の実速度 ブレーキ異常として検出する。

図7 サーボ減速動作異常検知

< 2. サーボモータ移動量オーバー検出機能 >

H1Fでは、サーボモータへの移動指令は、SIT-IIIよりサーボアンプに対してパルス量で指令を与えている。

また、サーボアンプからはサーボモータの移動量のフィードバックとしてSIT-IIIへパルス入力される。

SIT-IIIでは、このフィードバックの量が出した指令以上に戻ったことを検知することでサーボモータの暴走の検知をできる限り早く検知するとともに、指令が出ていない時の不意な動作の検知には本手段は非常に有効であり、サーボ暴走による不意な起動の際は、本機能でサーボ回転数が上がる前に、プレス停止させることができる。

② 回路遮断の冗長設計

暴走検知などの検出機能が正常に働いても、プレス機械を止めるためのエネルギー遮断、ブレーキ回路が正常に働くことの信頼性による安全性も確保と非常に重要である。

図8には回路遮断に関するSIT-IIIの制御ブロックを示した。

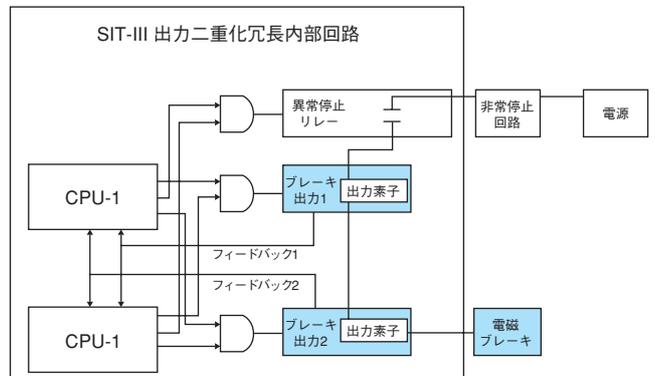


図8 回路遮断(ブレーキ開放遮断)の冗長回路

回路的には、ブレーキ出力1およびブレーキ出力2が同時動作でブレーキが開放され、プレス運転ができる構造になっている。

異常発生、非常停止状態などの場合は、ブレーキ出力1およびブレーキ出力2がともにOFF状態となり、ブレーキ開放の電磁ブレーキを励磁しない構造になっている。

また、これらのブレーキ出力1、ブレーキ出力2の二重に組まれた出力素子は、CPU1およびCPU2の出力のANDで生まれ、かつ、それぞれの出力素子の故障を検知するためのフィードバックがCPU1、CPU2の双方に入力され、素子の出力指令とフィードバックによる出力状態のチェックにより各素子の故障検出を行っている。

また、これら出力の上位に異常時にブレーキ出力1、ブレーキ出力とは別に電源ラインを遮断するリレー回路も設置し、出力素子の二重冗長の信頼性を高める構造を採用している。

また、外部の非常停止スイッチなどによる回路は、プレス駆動回路をダイレクトに遮断する構造である。

5. あとがき

以上、今回開発したハンドインダイ用ACサーボプレス H1Fの安全制御の概要について示した。

しかしながらACサーボプレスについては、プレス機械でありながらクラッチブレーキを有しないことから、規格上プレスとしての範ちゅうに当てはまらない構造を有する機械である。本プレス機械の制御を開発するに当たっては、現状の国内の動力機械プレスの構造規格、安全プレスのガイドおよび次期構造規格原案の情報を基に、流用できる部分は流用し、その他は、安全上のリスクの査定より制御機構を決定し、コマツとしてハンドインダイの安全を確保するための考えられる方策を試行錯誤で本開発に織り込んで進めてきたのが実情である。

近い将来、ACサーボプレスについてもこれらの規格→法規が整備され、国際安全規格の製品安全(C)規格ができれば、ACサーボプレスの国際認証も可能になる。今後、これらの規格動向もウォッチしながらACサーボプレスの安全制御の向上と普及に努力して行く所存である。

筆者紹介



Yukio Hata

はた ゆきお
畑 幸男 1983年、コマツ入社。
現在、コマツ産機(株) 鍛圧KBU所属。



Hitoshi Sakurai

さくらい ひとし
桜井 均 1985年、コマツ入社。
現在、コマツ産機(株) 鍛圧KBU所属。



Hisanori Takeuchi

たけうち ひさのり
武内 久典 2001年、コマツ入社。
現在、コマツ産機(株) 鍛圧KBU所属。



Yoshinori Matsushita

まつした よしのり
松下 善則 2002年、コマツ入社。
現在、コマツ産機(株) 鍛圧KBU所属。

【筆者からひと言】

何よりも「お客様の安全を守る」この一言に尽きます。

「プレス制御の根幹は安全制御にあり」を信念に、今後もより安全で信頼性の高い機械の開発に努力していきたいと思います。