プレス機械制御盤へのFAコンピュータの導入

関東職業能力開発大学校
附属千葉職業能力開発短期大学校　辻　　隆志
日熊芳斉
岡部秀一

Development of the control system of the press machine using a FA computer

Takashi TSUJI, Yoshinao HINOKUMA, Syuichi OKABE

要約　プレス機械の制御盤は従来、リレーロジックあるいはリレーロジックとPLCを用いて組み立てられていた。制御盤に産業用（FA）コンピュータを導入することのメリットはプラグイン方式による制御盤の設計製造コスト低減、オンラインによるプレス機械稼働状況のモニタリングなどが可能になるところにある。同時に、世界規準の安全規格がプレス制御盤についても適用される方向にあり、FAコンピュータが故障しても作業者の安全が十分に確保される安全設計が施されなければならない。本稿では、プレス機械制御盤へのFAコンピュータ導入および安全設計について検討した結果を報告する。

Ⅰ　はじめに

本稿は平成14年度事業主団体研究開発事業（Ｆ方式）として実施した内容についての報告である。

事業主団体、ふなばしインタックス協同組合は、プレス機械のメンテナンスを主な業務の一つとしている団体である。また、顧客の既存のプレス機に新しい機能を付加し、より安全で作業性の高い機械に改良するというビジネスも積極的に展開しており多くの顧客から高い評価を得ている。

しかし、プレス機械制御盤に接続される部品の多くは中小のメーカーによって供給されており、互いにＩ／Ｏ仕様も統一されておらず設計の基幹となるプラットホームも確立されていない。現在、制御盤の設計は、多様な要望に応じるべくそれぞれのプレス機械ごとにほとんど最初からやり直しており、製造コスト増大の原因となっている。一方で、既存のプレス機械を改良するという主旨から、新規購入機に比べてはるかに低コストで仕上げることが要求されている。

本テーマはプレス機械制御盤の主制御装置にFAコンピュータを導入することにより、この状況を解決し、設計、製造の大幅な時間短縮を実現し、十分な安全性を確保しつつ高機能化に対応した設計手順を確立することを目的として提案されたものである。

Ⅱ　安全方策の考え方

プレス機械はその構造上、十分な安全方策が施されなければならない。制御盤の設計では、特に安全方策が設計指針の重要な部分を占める。

十分な安全方策とは「プレス機械が人間に危害を及ぼさないことを立証できる制御システム」を構築することであり、そのようなシステムは「安全確認型システム」と呼ばれている。つまり「安全が確認されない限り機械を動作させない」システムである。他方、「危険検出型システム」は「危険が検出されたときのみ機械を停止する」システムである。これでは「危険が検出できない場合は機械を停止できない」ことになり、センサ等に故障が発生した場合は極めて危険な状態に陥る。

このように「安全確認型システム」は、従来の信頼

論文受付日　H16.2.2

性に頼る安全技術とは異なり、安全の立証に基づく安全技術[(1),(2)]である。

表１は国際規格から要求される安全カテゴリ[(3)]である。機械の中でも特に危険性の高いプレス機械の安全装置には、原則としてカテゴリ４（状況に応じてカテゴリ3）の故障対策が要求される。

表１　安全性評価

種類	意味
カテゴリＢ	・特に故障対策を施していない。
カテゴリ１の故障対策水準	・従来から多く使用されてきたか、または十分吟味された安全原則（例えば、信頼性の高い部品の使用、冗長系の構成、早期故障検出、ディレーティング等）を使用する。 ・故障により、安全を確保できないことがある。
カテゴリ２の故障対策水準	・適切な間隔で（最低限運転開始時に）安全手段が正常であることを検査する。 ・検査と検査の間に故障が発生したとき、安全を確保できないことがある。
カテゴリ３の故障対策水準	・単一故障が起きたときは、常にシステムの安全を確保できる。 ・同時多重故障が起きたときや非同時多重故障がおきたとき、安全を確保できないことがある。
カテゴリ４の故障対策水準	・単一故障だけでなく非同時二重故障や非同時三重故障が起きたときでも、常にシステムの安全を確保できる。 ・同時多重故障や四重以上の非同時多重故障が起きたとき安全を確保できないことがある。 ・入出力端子の短絡、断線、電源との混触、電源電圧の低下等によってもスライドは危険側に作動しないこと。

Ⅲ　安全設計と安全部品

カテゴリ４（あるいはカテゴリ3）の安全性能を実現するために以下のような方法が考えられている。

①　安全回路の独立性を確保する
②　２重化により冗長性を持たせる
③　モニタ機能付きリレーユニットや強制ガイド付きリレーなどの安全部品を使用する
④　ダイナミックフェールセーフ[(1),(2)]方式を導入する

①の安全回路の独立性は厳密に確保される必要がある。これにより、主制御装置の誤動作や故障が生じても安全が保たれる。

②の２重化は２つの電磁接触器のａ接点を直列に接続し、片方のａ接点に融着が生じてももう一方のａ接点でモータ回路などを遮断できるようにするもので、その制御回路も２重化する必要がある。２つの電磁接触器の間でオンディレイ、オフディレイの制御を行い、一方の接点負荷を重くすると、２つの電磁接触器が同時期に故障するリスクを低減することになり、さらに安全性が増す。しかし、回路の２重化は必然的に部品数と配線数が増加するため製造コストなども考慮して最適な方式を、それぞれの回路の役割とリスクに応じて採用することが必要となる。

③のモニタ機能付きリレーユニットは安全リレーあるいはセーフティリレーの名称で市販されている。モータのON／OFF制御回路等に用いられ２重の回路構成をとっている。モニタ機能とは、主回路のON／OFFを行う電磁接触器のａ接点に融着がないことを同じ電磁接触器のｂ接点を用いてモニタする事で、もし、ａ接点に融着が生じている場合、ｂ接点が閉じないことを利用してモータの起動を禁止する回路とする。このように同じ電磁接触器やリレーのｂ接点を用いてａ接点をチェックする事をバックチェックと呼んでいる。このバックチェックの機能を保証するためには、モニタされる電磁接触器およびユニット内の同様の仕組みを持つ制御リレーが強制ガイド付きリレーでなくてはならない。

バックチェックによる安全確認は始動時だけ有効であり、ON／OFFの頻度が少ない機械では、融着による電磁接触器の接点故障が放置される可能性がある。その間、２重化している第二の電磁接触器のａ接点が融着を起こすと機械を停止できなくなる危険性が残っている。そのため、電気回路の安全性評価におけるカテゴリ４では、起動時だけでないもっと頻繁な自動チェックが求められている。

④のダイナミックフェールセーフ方式は制御回路の電源電圧や電気信号を交流化し、交流的な結合を回路間で行うことにより、電源、回路、配線の異常を検出した場合、直ちにエネルギーの供給を停止し、安全な方向にシステムを停止させる方式である。これにより２重化をしなくても安全性能を飛躍的に向上できるといわれている。

安全の概念は明確であるが、国際規格は具体的な回路を提示しているわけではない。それぞれのシステムに応じた安全性実現のための具体的な設計手法に技術的課題があるように思われる。制御盤を構成する部品の一つ一つについて、故障した場合の危険性と危険回避の方法を考え出し検証していかなければならない。

Ⅳ　FAコンピュータの導入

１　メリット・デメリット

IT技術革新は、パソコンやネットワークなどの技術面のみならず、ビジネススタイルや価値観までも変えようとしている。制御システムの分野においても例

外ではなくパソコンを利用したオープンシステムが積極的に導入され、IT技術と切り離せない状況にある。コスト全体についてもハードウエアからソフトウエアやサービスへ移行し、システム構成も単一メーカーのハードウエア・ソフトウエアの組み合わせからオープンプラットホームのシステムへ移行しつつある。

従来のPLCを中心としたシステムからFAパソコンを中心とした制御監視システムに移行する際のメリット・デメリットは、一般的に以下の各点が考えられる。

〈メリット〉

① 高機能化・高性能化
② コストパフォーマンスの向上
③ サードパーティ製品が利用可能
（機能の組み合わせの拡張が可能）

〈デメリット〉

① 製品の改廃サイクルが早く、古いデバイスがサポートされない
② ソフトウエアとハードウエアの相性があるためユーザー側のリスク管理が必要
（サードパーティ製品を利用する際など）

2 FAコンピュータと汎用パソコン

汎用パソコンとFAコンピュータの大きな違いは、汎用パソコンがOA利用を中心に設計されているのに対して、FAコンピュータは、その呼び名の通り産業用の使用を目的に設計されている点にある。汎用パソコンの製品サイクルは約半年単位であり、1日に稼働している時間も8時間程度と考えられ設計されている。これに対し、FAコンピュータは、一度導入すると5～10年のサイクルで使用され、その期間保守部品を提供し続けなければならない。また、稼働時間や稼働環境についてもエアコンのきいていない無人の作業現場での連続運転が想定される。そのためFAコンピュータには汎用パソコンと比べて、遙かに高い信頼性が要求される。

3 Compact PCI規格

今回、制御盤の試作のために採用したコンピュータはCompactPCI規格のものである。

CompactPCIとは、PCIバス（Peripheral Component Interconnect Bus：米国PCISIGが規格化）を工業製品に応用することを目的として米国PICMG（PCI Industrial Computers Manufactures Group：日本ではピック・エム・ジーなどと呼ばれる）が策定したバス規格のことである。機構部分の信頼性が高く、ノイズ、衝撃、振動に強いことから長期間の安定稼働が可能である。

以下に、CompactPCIの特徴を示す。

〈特徴〉

① 低価格
Windowsマシン用に大量生産されている最新のチップセットが利用できるため、低価格となっている。
② 高速
66MHz、64ビットシステムの採用により高速化が可能である。
③ 高信頼性
ノイズ、衝撃、振動に強い。
④ CPUの選択が可能
PCIバスは、ホストPCIブリッジにより、完全にCPUの制御信号から独立しているため、様々なCPUボードをホストとして選択することが可能である。

表2 各種OSの一般的特徴

項目	Windows	MS-DOS	Linux
リアルタイム性	タイムシェアリングによるマルチタスクOS。 1ms以下のサンプリングは保証されていない。実時間処理ができない。	シングルタスクOS。 ハードウエアのタイマ・カウンタを利用することでリアルタイム制御が可能。	タイムシェアリングによるマルチタスクOS。 10^{-9}s程度の時間制約まで守れる設計になっているためリアルタイムに近い制御が可能。
メリット	パソコンのOSとして最も利用されている。 GUIを利用したグラフィカルなソフトウエアを作成できる。	シンプルであるためプログラミングが容易である。 I/Oを直接制御できるため細部にわたってユーザが管理できる。	UNIX互換であるためソフトウエア開発ツールの歴史は長い。ソフトウエアがフリーウエアでありコストパフォーマンスに優れている。 I/Oを直接制御でき、かつ、グラフィカルなソフトウエアを作成できる。
デメリット	HDDを想定して作られたOSであるためディスク上の占有容量が大きい。 直接I/Oを制御することができない。 ソフトウエア開発に高度な専門知識を必要とする。	グラフィカルなプログラムが苦手である。 最近の高速なハードウエアを利用しきれない場合がある。 シングルタスクのOSであるため1つのプログラムしか実行できない。	機械制御OSとしては実績が少ない。 Windows環境で慣れてきたユーザは新しい技術を身につける必要がある。

4　ソフトウエア

コンピュータを用いたシステム設計で最も重要なことはオペレーションシステム(OS)の選定である。近年、組込システムで利用されているOSには、Windows、MS-DOS、Linax、TRONなどがある。OSごとに特徴が異なるが、計測・制御システムを構築する場合には、リアルタイム性と信頼性について十分に検討する必要がある。表２に各OSの一般的な特徴を示す。リアルタイム性と信頼性についてはMS-DOSとLinuxが優れている。

Ⅴ　プレス機械制御盤の構成

プレス機械の制御に関わる入出力は概略図１に示すようなもの[(4)]であり、従来の制御盤はこれらの信号を処理する電気回路がリレーロジック、あるいはリレーロジックとPLCを用いて組み立てられていた。

本研究開発ではFAコンピュータを主制御装置とし、制御装置に接続される各機器を部品として定義することで、ハードウエア的にも、ソフトウエア的にもプラグイン方式で組み立てができることを目指している。プラグインの機能としては各種のプレス機械制御機能、安全機能、稼働状況モニタ機能がある。さらに通信機能も付加することができるため設計・製造の効率化に加えて、専用回線・通信ネットワークを用いたオンラインモニタにより、機械の稼働状況の把握、保守、故障修理などの作業が効率良く実施できるメリットが生まれる。図２に電気制御盤のブロック図を示す。

同時に、安全性も従来制御盤以上に備えていなくてはならない。図２中で安全回路をリレーロジックで構成するのは、FAコンピュータを中心とする制御部と重大な危険に対して安全を確保する安全部とを切り分け、たとえ制御部に故障が発生しても安全な方向に機械が停止するようにするためである。これよって、制御部では機能の拡張、修正が自由にできるようになる。

図３に市販のモニタ機能付きリレーユニットを用いて構成したスライド起動回路を示す。リレーK1、K2とCR1、CR2は2重化により回路の信頼性を高めているもので、非常停止スイッチも２重化している。特に、非常停止スイッチの場合は、部品端子間に短絡故障が発生した場合にも、確実に回路を停止させることを意図している。センサ１とセンサ２は、安全上最も重要なもの（光線式安全装置など）であるとしてこの回路に組み込んでいる。

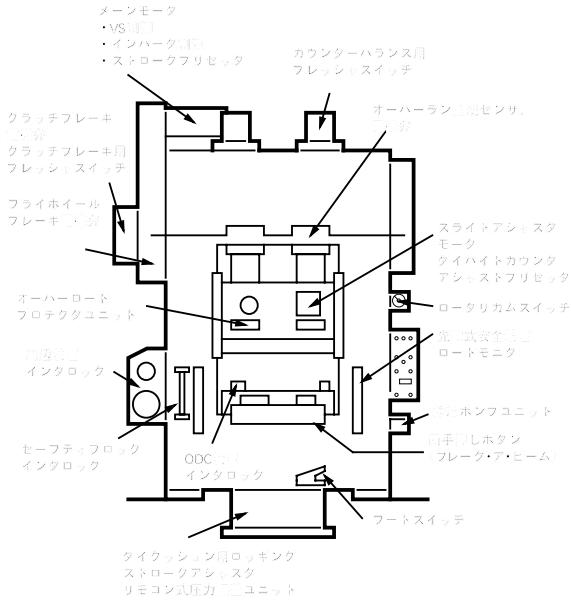

図１　プレス機械の外部入出力の例

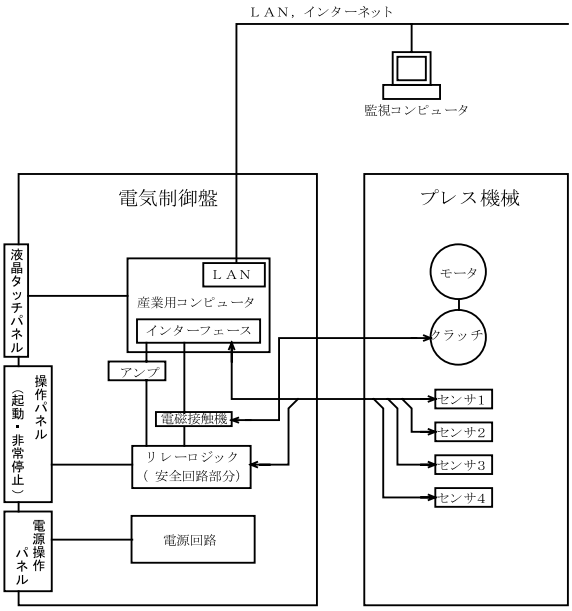

図２　プレス機械電気制御盤のブロック図

回路の動作は概略以下の通りである。センサ１、センサ２、オーバーラン検出センサ、再起動防止センサ、非常停止スイッチは安全上重要なセンサであり、これらにより安全が確認されているとき、起動信号がパルス的にONになると、CR1、CR2、K1、K2のａ接点に異常がないならば起動信号の立ち下がりで、CR1、CR2のａ接点がON状態となる。同時に、FAコンピュータには起動回路が動作状態になったことを示す信号が入力され、必要な処理を経て異常が無いならば、スライド運転回路のSSRにON信号を出力する。もし、前

述の安全センサにより危険が検出されｂ接点がOFFとなるとスライド運転回路はOFFとなり、ブレーキによりスライドは直ちに停止する。

ここでFAコンピュータへの信号入力はシステムの状態把握や制御上の目的で行うものであり、FAコンピュータからSSRへの信号出力はFAコンピュータの故障時にSSRをOFFとするためのものである。このように、重要な安全機能はリレー回路が担っており、FAコンピュータと独立に動作する。ただし、このリレー回路の異常チェックは起動操作時に行われるのみであり、安全カテゴリ３に相当するとされている[(2)]。

図１に示すようにプレス機械の入出力信号の多くは安全に関わるものであり、FAコンピュータがどの機能をどの程度受け持つかはリスク評価を基に厳密に検討する必要がある。

FAコンピュータが故障あるいは誤動作をした場合のリスク回避の方法としては、コンピュータ自体の２重化以外に、次のような方法がある。第一に、FAコンピュータに内部の信号処理を監視するボードを内蔵し、異常発生時にアラーム信号を外部に送出する。第二に、Ｉ/Ｏボードが High あるいは Low 電圧以外の中間の電圧を検出あるいは送出した場合、FAコンピュータとは別の監視回路が検出し、アラームあるいはスライド停止信号を送出する。これらの対策は、安全カテゴリの１あるいは２に相当するものであり、現状では、それ以上のリスク回避をFAコンピュータに負わせることは困難と考えている。

図４に実際に試作機として作成した制御盤の外観を、図５にFAコンピュータ部分の写真を示す。

図４　試作したプレス機械シミュレータ（左）と制御盤（右）

図５　試作制御盤内部（上段部分がFAコンピュータ）

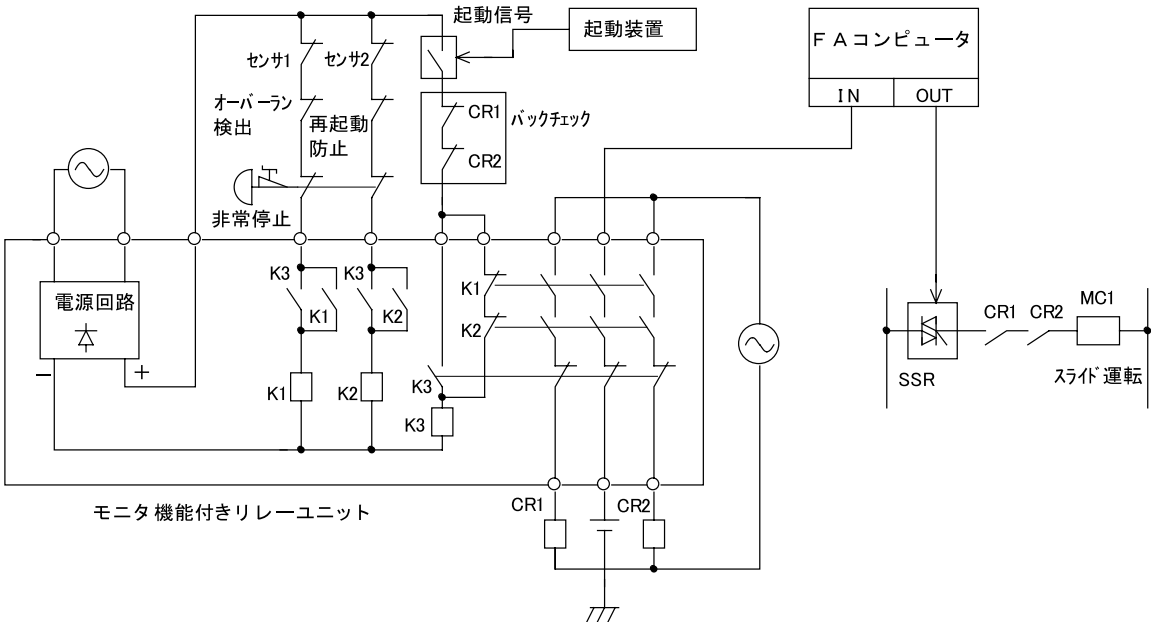

図３　　モニタ機能付きリレーユニットを用いた起動回路

Ⅵ まとめ

プレス機械制御盤へのFAコンピュータの導入および安全設計について検討を行った。プレス機械は構造的に作業者にとって危険な装置である。たとえ作業者に操作上の誤りがあっても危険を回避する仕組みが備わっていなければならない。プレス機械に関わる労働災害を限りなく零に近づけるためには国際規格に合致した安全装置の設置が不可欠である。生産機械にFAコンピュータの導入が進む中で、プレス機械においては高機能化と安全確保の両立が大きな課題である。プレス機械は製造業の生産機械の基幹をなすものの一つであるため、今後も具体的な提案ができるようにして行きたいと考えている。

本文の最後に、プレス機械について日頃からご教示を頂いています関係団体のふなばしインタックス協同組合殿、および、制御プログラムについてアドバイスを頂いています株式会社ダイヘン殿に感謝いたします。

［参考文献］

(1) 安全技術応用研究会、日経メカニカル、「21世紀の安全技術　労災はこうして減らす」、日経BP社、1999年12月
(2) 向殿政男監修、安全技術応用研究会編、「国際化時代の機械システム安全技術」、日刊工業新聞社、2001年8月
(3) (社)産業安全技術協会、「プレス機械の安全方策についての調査研究報告（動力プレス機械構造規格等に関する検討)」、1999年3月
(4) カタログ「リビルト・ラボシリーズ」、しのはらプレスサービス（株）