機械装置の信頼性を支える安全機器

Safety Devices that Support the Reliability of Machinery and Equipment

石川　公忠 Kimitada Ishikawa　　山先　孝雄 Takao Yamasaki　　菅原　聡 Satoshi Sugawara

工場，鉄道などで発生する事故を背景に，機械・設備安全への関心が高まっている。開発した瞬停再始動リレーは，停電時間に応じた瞬時再始動，時限再起動，再始動禁止の三つの機能を併せ持っていることが特徴であり，モータの再始動制御を安全に行うことができる。また，非常停止スイッチやワイヤトリップスイッチ，安全ドアスイッチ，ライトカーテン，安全マット，両手操作ステーション，安全リレーユニットなどの安全規格適合機器をそろえ，機械装置のリスク低減に貢献している。

Against a backdrop of frequently occurring accidents at factories, railways and the like, interest in the safety of machinery and equipment is increasing. A newly developed short interruption restart relay combines the three functions of instantaneous restart, timed restart and prohibited restart in response to a power failure, and makes possible the safe implementation of the motor restart control. Also, a variety of safety standard-compliant devices such as emergency switches, trip wire switches, safety door switches, light curtains, safety mats, two-hand control stations and safety relay units are provided and help to reduce the risk associated with machinery and equipment.

1　まえがき

近年，鉄道，エレベータなど公共施設での事故や工場，プラントでの大規模な産業事故の発生を背景に，機械装置の信頼性と安全性への関心が大きな高まりを見せている。本稿では，停電発生時にモータの再始動を安全に制御し電源設備のトラブルを防止する“瞬停再始動リレー”と，安全システム構築のキーコンポーネントである“安全規格適合機器”の役割と適用例を紹介する。

2　瞬停再始動リレー

瞬停再始動リレーは，モータを複数台設置している工場やプラントにおいて，主回路に短時間の停電が発生した際にモータを自動的に再始動させるためのリレーである。復旧作業の時間ロスなどを未然に防止するだけでなく，再始動時の突入電流を時間的に分散させて，主回路に流れる最大電流を抑制して，小型の電源設備でも容量不足によるシステムダウンが防止できるので，投資の削減や省エネルギーの効果も期待できる。

今回開発した「MB4」を**図1**に示し，その内容を紹介する。

2.1　瞬停再始動リレー「MB4」における改良点

(1)　再始動禁止の可調整化

従来形の「MB2」では，停電時間の長さにより，再始動を許容するか，無効とするかを判断するための設定を固定化していた。MB4 ではユーザが設定時間を調整できるようにして，使い勝手を向上させた。

(2)　小型化とソケットの共用

従来形の MB2 は外形が大きく，取付け・配線用のソケットは専用の「ATX1PS」であった。これに対し MB4 は，体積比で従来の 65% に小型化し，同時に適合ソケットを汎用タイマ「MS4S シリーズ」用の「TP48X」と共用化することで，従来形では対応できなかった DIN レールへ取付けできるようにした。

2.2　瞬停再始動リレーの動作

図2に瞬停再始動リレーの接続図を示す。停電時間により，電源復帰時の動作が異なっており，**図3**の動作パターンを用いてその違いを説明する。

(1)　瞬時再始動

図1　瞬停再始動リレー「MB4」

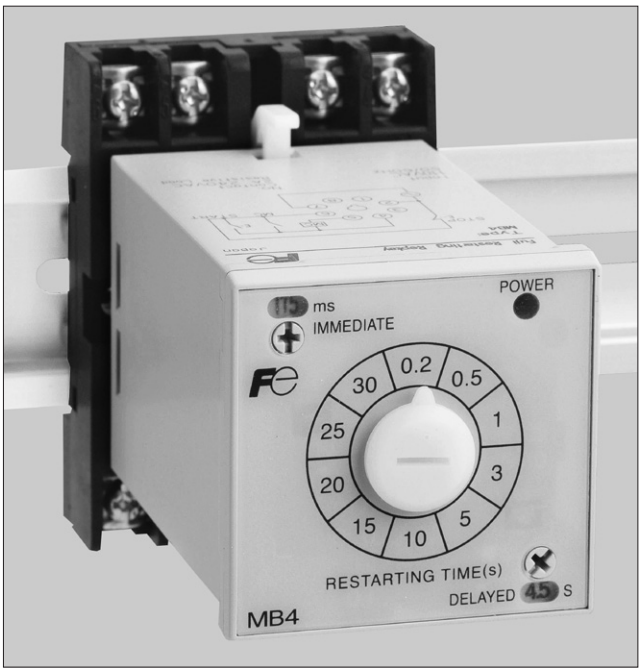


図2　瞬停再始動リレーの接続図

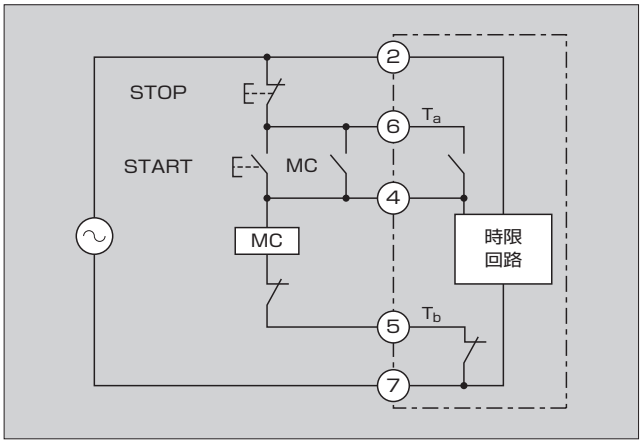
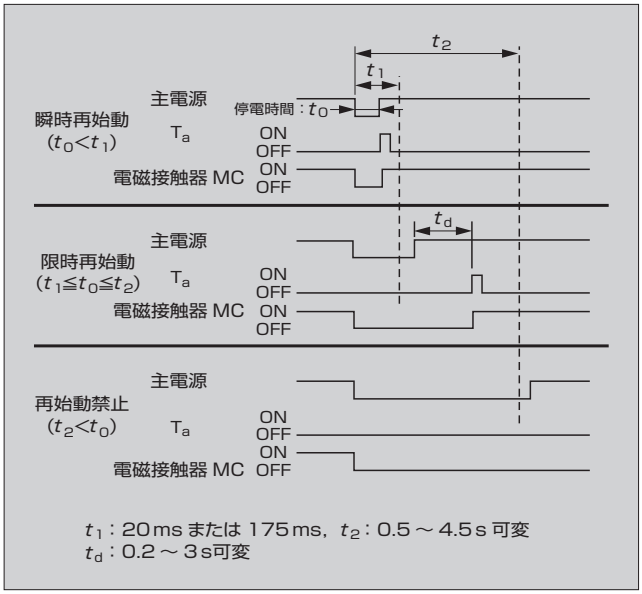


図3　再始動の動作パターン



停電が発生すると，まず電磁接触器 MC の自己保持が解除される。その後，瞬時再始動時間 t_1 以内に電源が復帰すると，出力接点 Ta がパルス状にオンする。これにより電磁接触器 MC が再び自己保持して，モータは自動的に再始動する。

(2)　限時再始動

停電時間が，上述の瞬時再始動時間 t_1 以上の場合，出力接点 Ta は電源の復帰から限時再始動時間 t_d 経過後にオンする。複数個の再始動リレーを使用する場合，遅延時間 t_d に時間差を設けておけば，モータごとに再始動のタイミングをずらした順次再始動となる。モータの突入電流が分散されるため，主回路に流れる最大電流が抑制できる。

(3)　再始動禁止

停電時間が設定時間 t_2 以上では，電源が復帰しても出力接点 Ta はオンせず，手動で START スイッチがオンされるまで再始動を無効とする。

富士電機の瞬停再始動リレーは，停電時間に応じた前述の 3 種類の動作モードを備えることにより，無人の電気設備において，信頼性の高い自動制御を行える。

表1　安全規格適合機器の機能と種類

機　能	種　類
危険が生じたときに機械を停止させるスイッチ	非常停止用スイッチ ワイヤトリップスイッチ
危険な箇所を隔離するガードの開閉を検知するセンサ	安全ドアスイッチ
人の侵入または存在を検知するセンサ	ライトカーテン 安全マット
人を安全な場所に固定し，機械を運転するスイッチ	両手操作ステーション フットスイッチ
上記機器を安全に制御する機器	安全リレーユニット 安全コントローラ

動力中断後の自動再起動が機械装置の操作者に危険を及ぼす場合は，**3. 2** 節で紹介する安全リレーユニットなどを用いて対策を図る必要がある。

3　安全規格適合機器

3. 1　安全機器の市場動向

機械安全の国際規格 ISO 12100（機械類の安全性：基本概念），ISO 14121（リスクアセスメント）などでは，労働者の安全を確保するために，機械・設備にあらかじめ安全対策を実施し，故障の発生や誤った使い方をした場合に，人に危害が及ばないようにすることを要求している。従来日本では，労働者のスキルで安全を確保することに重点がおかれ，機械・設備の安全対策は進んでいなかった。2006 年に「労働安全衛生法」が改正され，さらに 2007 年に「機械の包括的な安全基準に関する指針」が改正されたことによって，国際規格に沿った機械安全の考え方が浸透し始めている。

安全対策に使用する機器は，安全機能の信頼性を高めるために次のような特徴があり，汎用機器とは区別されている。

(a)　冗長化設計されている。

(b)　診断機能などにより，故障時でも安全側となるような設計となっている。

(c)　無効化防止機能を持っている。

表1，**図5** に示す代表的なセーフティ機器について個別に説明する。

3. 2　安全規格適合機器の特徴

(1)　非常停止用スイッチ

2007 年に開発したコマンドスイッチ「minico シリーズ」は，制御盤内の省スペース化に貢献し好評を得ている。同シリーズの機種拡充として，2008 年 10 月に発売した非常停止用スイッチ「AR16 V」の特徴を紹介する（**図4**）。

(a)　多接点化

従来の富士非常停止用スイッチの接点数は，1～2 個が一般的であったが，電気安全では回路の二重化が要求されており，多接点化が望まれている。AR16 V ではこのようなニーズに対して，最大 4 接点としている。

minico シリーズは，接点部一体構造を採用しており，胴体を φ16 の取付け穴に直接挿入できるようにして，限られた胴体スペースの中に，効率よく 4 接点を配置した。

(b)　操作性の改良

IEC 60947-5-5（機械的ラッチング機構を持つ非常停止機器）では，取付け穴径の 5 倍の操作力に耐えることを要求している。φ16 の場合は 80 N であるが，緊急時の操作をスイッチの径に応じて加減することは難しい。AR16 V は規格の最大径の φ30 相当の 150 N に余裕を持って耐える構造としている。また，市場にはターンリセットとプルリセットの二つの解除方式が存在するため，機械によって操作が異なり混乱を招く可能性がある。ターンリセットとプルリセットのどちらでも解除できる構造とし，安全性を確保した上で顧客の使い勝手も改良した。

(c)　照光品のラインアップ

特に大型の機械などでは速やかに非常停止用スイッチを見つけられるように視認性を向上する必要がある。φ16 取付け穴に対応する非常停止用スイッチとしては，初めて照光付をラインアップに加えた。また，光源として LED を採用しており，低消費電力化，CO_2 削減にも寄与している。

(2)　ワイヤトリップスイッチ

搬送設備など長いラインで非常停止システムが必要な場合は，ワイヤを引くことにより停止機能を作動させるワイヤトリップスイッチが適している。**図 6** に示すように，作業領域内のどの位置からでも操作して，作業者が直接危険を回避することができる。複数の非常停止用スイッチを設置する場合に比べ，配線工数も大幅に削減できる。

(3)　安全ドアスイッチ

安全ドアスイッチは ISO 14119（インタロック装置）において，無効化を防止する機能が求められている。**図 7** に示すとおり，「XCS シリーズ」は専用のアクチュエータが挿入されたときに限り，動作する機構を備えている。このため，作業者が針金や一般的工具を用いてスイッチを無効にし，危険な状態で機械を操作することが防げる。停止指令後に慣性で直ちに機械が停止しない場合には，ドアの開閉をロックさせる機能を持った「XCSE」を，後述する停止検知ユニットと組み合わせて使用する。

非接触型の安全ドアスイッチ「XCSDM」は磁気アクチュエータとセンサ部の機械的な接触がないため，摩耗粉が発生しない。また IP67 の保護構造を持っており，半導体製造設備や水を使用する食品機械にも適している。

(4)　ライトカーテン・安全マット

ライトカーテン「XU シリーズ」は人の侵入を検知するためのセンサで，IEC 61496（電気的検知保護設備）に適

図 4　非常停止用スイッチ「AR16 V」の外観

図 5　安全規格適合機器の設置例

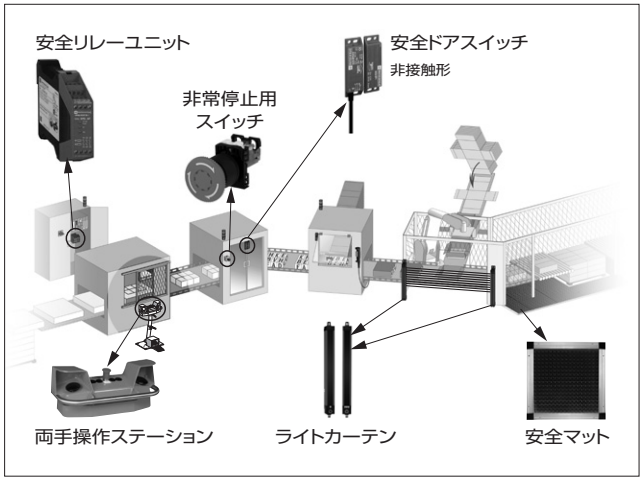


図 6　ワイヤトリップスイッチ

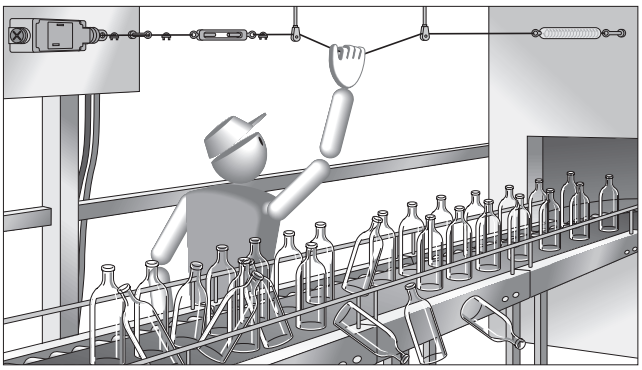


図 7　安全ドアスイッチ「XCS シリーズ」

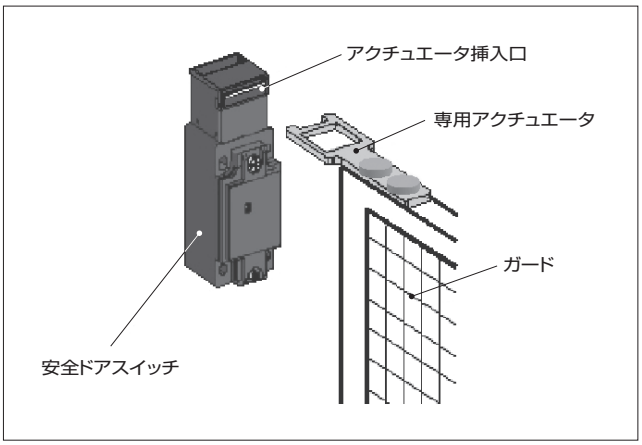


表2　安全リレーユニット・安全コントローラとアプリケーション

安全リレーユニット・安全コントローラ形式	安全アプリケーション								適合カテゴリ*1
	非常停止用スイッチ	安全ドアスイッチ	非接触式ドアスイッチ	ライトカーテン	安全マット	両手操作ステーション	オフディレー	停止検知	
XPS AF	○	○							4
XPS ATE	○	○					○		3
XPS AV	○	○					○		4
XPS VNE								○	3
XPS AK	○	○		○	○				4
XPS DMB			○						4
XPS BF						○			4
XPS MC	○	○	○	○	○	○	○		4
XPS MP	○	○	○	○	○				4

＊1：ISO 13849-1（制御システムの安全関連部）

合している。指検出用，手検出用のほかに人体検出用と各種準備しており，センサの投・受光器間の距離は最大20 m と長く，安全柵の代用としても使用できる。

ライトカーテンは危険エリアの外周に設置するものなので，危険エリア内に存在する人と機械の判別は困難である。そのような場合には，床に敷いて人の存在を検知する安全マット「XY2TP」が適している。検知加重が20 kg 以上と比較的大きく，工具の落下などに対して誤動作しにくい仕様となっている。

⑸　両手操作ステーション

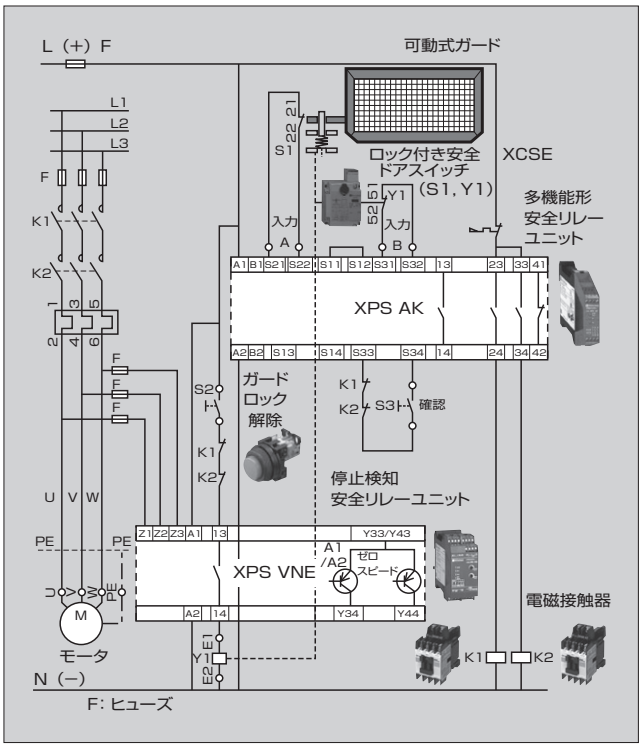
両手操作ステーション「XY2SB」は両手を使用してスイッチを押した場合に機械が始動するスイッチで，二つのマッシュルーム形押ボタンスイッチと非常停止用スイッチをユニット化したものである。操作時の安全を確保するため ISO 13851（両手操作制御装置）の要求事項に準拠している。専用スタンドと組み合わせることにより，オペレータの体格・姿勢に合わせて，スイッチの設置高さ・方向・傾きを自由に調整することができる。

⑹　安全リレーユニット・安全コントローラ

強制ガイド機構式の安全リレーを組み合わせることにより，二重化，溶着検出などの診断機能を備えた安全回路を構成することはできるが，その開発設計と規格認定に要する時間や投資が問題となる。

安全リレーユニット「XPS シリーズ」は安全制御部の回路をユニット化し，安全システムを容易に実現できるものである。**表2** に示すようにアプリケーションと ISO 13849-1（制御システムの安全関連部）で規定されるカテゴリにより各ユニットを使い分ける。「XPS シリーズ」はカテゴリ3（単独の故障が安全機能の喪失を招かない設計）またはカテゴリ4（故障の累積が安全機能の喪失を招かない設計）に対応している。

図8　回転停止検知ユニットの接続例



安全リレーユニットは単一の安全機能に対応するもので，規模の大きな機械で複数の安全機能を実現する場合はユニットの設置数が増加し，配線も複雑になる。安全コントローラ「XPS MC」では，最大で32 点の機器を1 台で監視することができ，スペースと配線工数の削減に貢献できる。本製品は安全出力として半導体と接点出力の双方を内蔵，4 A の負荷まで対応しており電磁接触器もダイレクトに駆動できる。またソフトウェアも認証済みのファンクションブロックで構築するため，簡単なプログラミングで

安全機能を実現できるほか，各安全機器のモニタリング機能により不具合発生時の状況把握が可能である。

3. 3　モータ回転停止検知の適用例

「XPS VNE」はモータの惰性回転を検知する安全リレーユニットで，モータの逆起電力を検出する方式を採用している。近接スイッチなどの回転センサが不要なため，センサの設置・調整の手間を省くことができるという特徴を持っている。一般的な適用例**図 8** により回路構成を説明する。

⑴　回転停止の検知

モータの各相 U，V，W を XPS VNE の入力端子 Z1，Z2，Z3 に接続し，各相間の電圧を検出する。モータの電源が遮断されると，モータの巻線に逆起電力が発生する。この逆起電力はモータの回転速度に比例するので，監視している電圧が判定値を下回ったことで回転停止の判断をする。

⑵　故障診断

Z1–Z2 間と Z2–Z3 間の電圧に差が生じた場合はモータと XPS VNE 間の配線に異常があると判断し，断線または故障による誤動作を防止している。

⑶　可動式ガードと電磁接触器の制御

可動式ガードが閉じているかどうかとミラーコンタクトタイプの電磁接触器の接点溶着を安全リレーユニット「XPSAK」で監視している。接点溶着などの異常時には出力接点 23–24，33–34 をオフし，モータが起動しないように制御する。また，モータの回転中はインタロック付き安全ドアスイッチ「XCSE」で可動式ガードを固定し，回転停止確認後に XPS VNE の指令でドアスイッチに内蔵されたソレノイドを駆動してガードのロックを解除する。

以上の構成により，慣性のある装置に対しても安全を確保することができる。

4　あとがき

本稿では，以前から提供している無人運転設備用の安全機器に加えて，お客さま自身によるグローバル安全コンセプトの認知，移行の潮流に応えていく新しい安全規格適合機器の特徴を紹介した。これらの安全機器・検出機器の組合せやノウハウを提供することにより，社会に貢献する安全ソリューションの普及に努める所存である。

参考文献

⑴　清水源広. コマンドスイッチの最新機器と技術. 富士時報. 2008, vol.81, no.3, p.242–245.

石川　公忠

電磁接触器の開発に従事。現在，富士電機機器制御株式会社営業本部市場開発室ソリューション第一部課長補佐。

山先　孝雄

FA センサ，タイマの設計に従事。現在，富士電機機器制御株式会社技術・開発本部開発部。

菅原　　聡

制御機器，FA センサの設計に従事。現在，富士電機機器制御株式会社技術・開発本部開発部。

＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。