

シーケンス制御 1

シーケンス制御 1

1 章 自動制御の種類

1-1 シーケンス制御とフィードバック制御

JISによれば、シーケンス制御とは「あらかじめ定められた順序に従って、制御の各段階を逐次進めていく制御」と定義されている（JIS Z8116 および JIS B 3500）。このシーケンス制御を行う機器は多数存在し、各種の産業機器に用いられているほか、身近な生活機器にも利用されている。シーケンス制御は、ある段階からなる作業工程を、順次実行するための判断を人間に代わって自動的に行うものである。

フィードバック制御とは、制御対象の状態を検出部で検出し、この値を目標値と比較して偏差（ずれ）があれば、これを補正して一致させるような訂正動作を連続的に行う制御方式である。制御量に影響を与える要因を、フィードバック制御系では外乱という。一般に外乱が時間の経過に伴ってどのように変化するかを予測することは難しい。フィードバック制御系では、外乱の影響に対処するために制御量を目標値に一致するよう連続的に検出・測定し、目標値と制御量の差である制御偏差がゼロになるように操作量を調整する。フィードバック制御では、実時間的、連続制御方式となり、操作量も連続的な変化をすることになる。言い換えれば、フィードバック制御は連続的な変化を対象とするアナログ制御であるのに対して、シーケンス制御は二つの状態のいずれか一方をとるデジタル制御であるといえる。

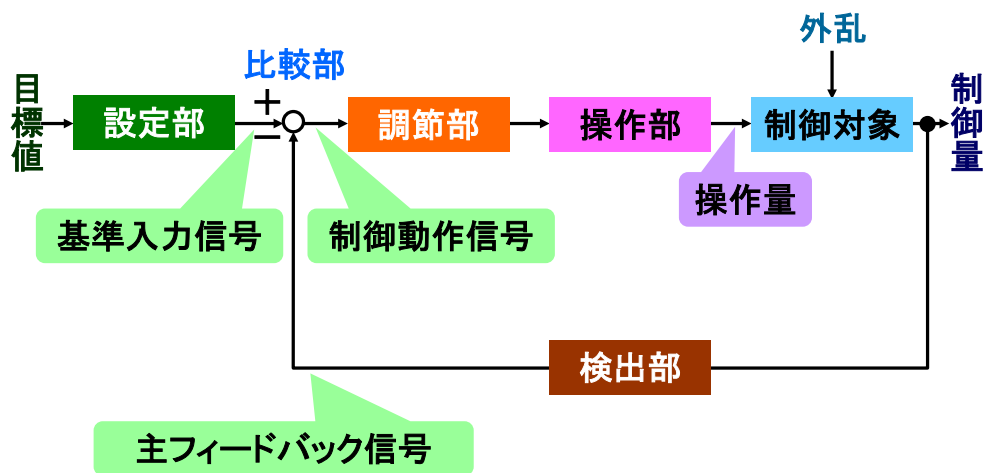


図 1 フィードバック制御

1-2 シーケンス制御の基本器具

(a) 命令処理部

シーケンス制御の中枢部に相当する部分であり、手導操作器具または検出部から得られた情報に基づいて、あらかじめ定められた順序または論理に従い、制御操作器具に制御信号を与える動作を行う。操作者が必要とする制御装置または制御対象の状態を表示警報器具に表示指示を与える部分でもある。命令処理部の論理的な構成方式としては、有接点式、無接点式およびプログラム制御式の三つに大別することができる。このうち有接点式と無接点式の論理構成のことを配線論理方式と呼ぶ。

- ① **有接点式**：電磁継電器、限時継電器、プログラム制御機器など接点を有する器具を組み合

わせることで配線論理を構成する制御方式である。

② **無接点式**：トランジスタやダイオードなど接点がない半導体素子を用いて論理を構成する制御方式である。無接点式に用いられる回路素子としては半導体を用いて基本論理を集積化した IC と、機能回路素子としてカウンタ、タイマ、シフトレジスタやマルチプレクサなどを集積化した素子がある。これらの素子を組み合わせた命令処理部は機械的な接点を持たないので無接点式と呼ばれる。

③ **プログラム内蔵方式**：制御内容をプログラムで構成する制御機器であり、ハードウェアを変えることなくソフトウェアを変更するだけで制御内容の変更・追加を行うことができる。プログラム内蔵方式の制御機器としては PLC (Programmable Logic Controller)、PC (Programmable Controller) などの装置があり、マイクロコンピュータが内蔵されている。PLC または PC はシーケンサとも呼ばれている。

(b) 手動操作器具

操作者による手動操作を、制御系が扱える電気信号に変換して命令信号部へ与える器具である。手動操作器具は、自動/手動運転、遠方/操作などの運転モードの切換えや、構成機器の運転/停止命令、開閉器などの開/閉操作などの切換え操作を行う。手動操作器具としては、押しボタンスイッチ、トグルスイッチ（選択スイッチ）、ロータリスイッチ（切換スイッチ）などが用いられる。

(c) 検出部

制御対象の位置、変位、電圧、電流、圧力、流量、速度、温度などの物理量を検出し、電気信号に変換する部分である。検出部としては、定められた位置に到達したことを検出するリミットスイッチ（マイクロスイッチ）、気体または液体の圧力が設定した値に達したことを検出する圧力スイッチ、投光器の光が遮断されたときに動作する光電スイッチ、気体または液体の流量が設定した値に達したことを検出するフロースイッチ、温度が設定値に達したことを検出する温度スイッチなどがある。そのほか、磁気抵抗や静電容量の変化を利用した検出器などがある。

(d) 制御操作用器具

制御対象に操作を加える機器であり、次のようなものがある。

- ① **電力の開閉**：電磁接触器（コンタクタ）、電磁開閉器、サイリスタ、トランジスタ、パワーMOSFET
- ② **流量の制御**：電磁弁
- ③ **機械的動力の制御**：電磁クラッチ、電磁ブレーキ

(e) 表示警報器具

操作者が制御対象に対しての操作や監視を行うための表示装置と、異常時の警報表示を行う器具である。表示警報器具としては、ランプ、LED を用いたデジタル表示器などのほか、LCD（液晶ディスプレイ）や CRT などの表示装置、ブザー、ベル、音声合成装置などが用いられる。

2章 シーケンス制御用器具

2-1 シーケンス制御の基本構成要素

シーケンス制御とは、モータやバルブなどの制御対象となる機器、すなわち制御対象機器をリレーやタイマなどを用いて制御するものである。このシーケンス制御と我々人間（操作者）とは、押しボタンスイッチなどの操作用器具や制御の状態を表示している表示用器具などにより関わっているといえる。

システムを構成する各制御用器具・機器としては、次のようなものがある。

- ① **操作用器具**：制御システムへ操作者の意思を伝える器具で、押しボタンスイッチなどの操作スイッチ類がある。
- ② **制御用器具**：操作用器具や検出用器具から出される信号を受け、制御対象機器を動作させたり、あるいは停止させたりする器具で、電磁リレーやタイマなどがある。
- ③ **駆動用器具**：制御用器具からの信号で制御対象機器を直接駆動するには、電圧や電流が小さすぎる。したがって、この信号を増幅するために電磁接触器や電磁開閉器などの駆動用器具を用いている。
- ④ **検出用器具**：制御対象機器の動作状態を検出する器具で、マイクロスイッチや近接スイッチなどの各種センサがある。
- ⑤ **保護用器具**：制御対象機器の異常を検出する器具で、各種保護リレーなどがある。
- ⑥ **表示用器具**：制御対象機器の状態を表示したり、警報を出したりする器具で、各種ランプやベル、ブザーなどがある。
- ⑦ **制御対象機器**：制御したい機器そのもので、電動機、電磁弁、ソレノイドなどがある。

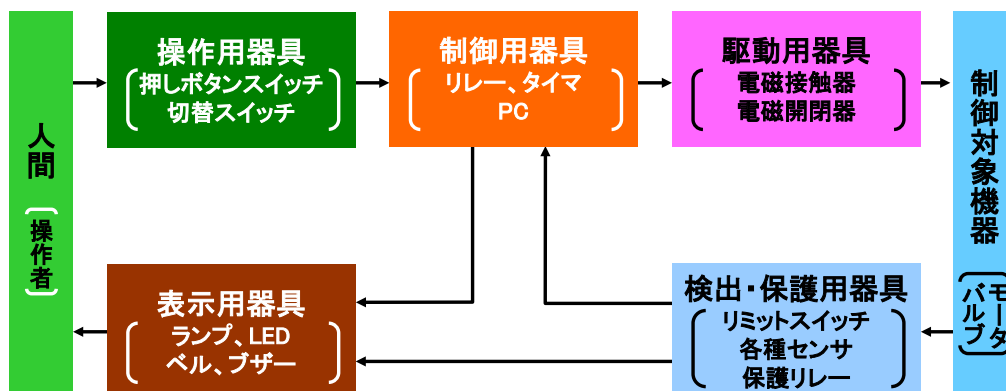


図2 シーケンス制御の基本構成

2-2 操作用器具

(a) 操作スイッチの分類

操作スイッチは、接点の動作状態の違いから、自動復帰式、保持式、残留接点式に分類される。

- ① **自動復帰式**：スイッチを操作中だけ接点が開閉し、手を離すとばねの力で元の状態に戻る。
- ② **保持式**：スイッチを操作した後、手を離しても操作部分と接点はそのままの状態を維持する。
- ③ **残留接点式**：スイッチを操作した後、手を離すと、接点はそのままの状態を保持するが、操作部分は元の状態に戻る。

ここで、a 接点とは、操作レバーを操作しない状態でオフ、操作状態でオンとなる接点で、b 接点とは、操作レバーを操作しない状態でオン、操作状態でオフとなる接点のことを示す。c 接点とは、操作しない状態と操作状態で接点切り換わる接点のことである。また、JIS C 0617 では、a 接点をメーク接点、b 接点をブレーク接点、c 接点を切換接点と呼称している。

操作スイッチの種類	図記号		操作スイッチの動作	代表例
	a接点	b接点		
自動復帰式			操作している間だけ接点が開閉し、手を離すとばねの力で元の状態に戻る	押しボタンスイッチ
保持式			操作後、手を離しても、操作部分と接点はそのままの状態を保持する	トグルスイッチ 切替スイッチ
残留接点式			操作後、手を離すと接点はそのままの状態を保持するが、操作部分は元の状態に戻る	ラッチ付き 押しボタンスイッチ (オルタネイト形)

図3 操作スイッチの分類

(b) 押しボタンスイッチ

一般的な押しボタンスイッチは、ボタンを押している間だけ接点が開閉（すなわち a 接点はオン、b 接点はオフ）するもので、自動復帰接点の構成をしている。押しボタンスイッチは、ボタンとボタン復帰ばね、および接点と接点復帰ばねなどより構成される。

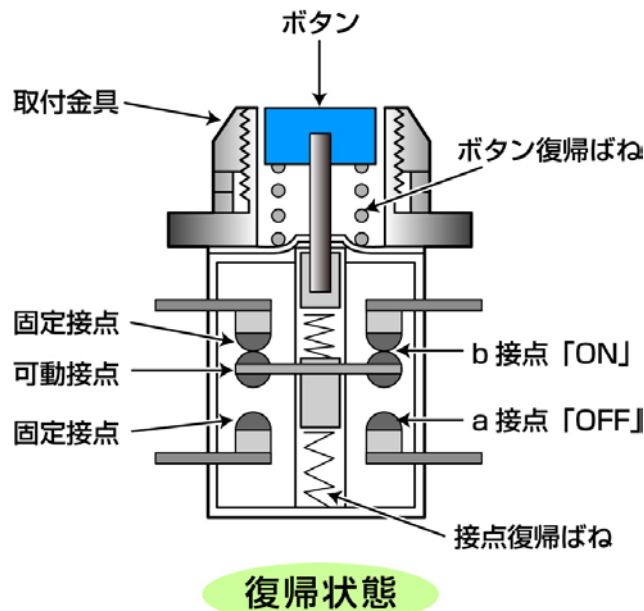


図4 押しボタンスイッチ

(c) 切替スイッチ

切替スイッチは、押しボタンスイッチのコンタクトブロック部（a 接点、b 接点）を、押しボタンの代わりにつまみをひねることによって切替えることができるようにしたスイッチである。この切替スイッチは、接点軸を奥行き方向に前後動作させてコンタクトブロック内の接点を開閉するものである。この奥行き方向の前後動作をさせるためにつまみに取り付けられたカムを用い、カムを回転させるに伴い、カムの形状の変化に合わせてカム軸を前後方向に動かすことで接点軸を

前後動作させ、接点の開閉を行うものである。

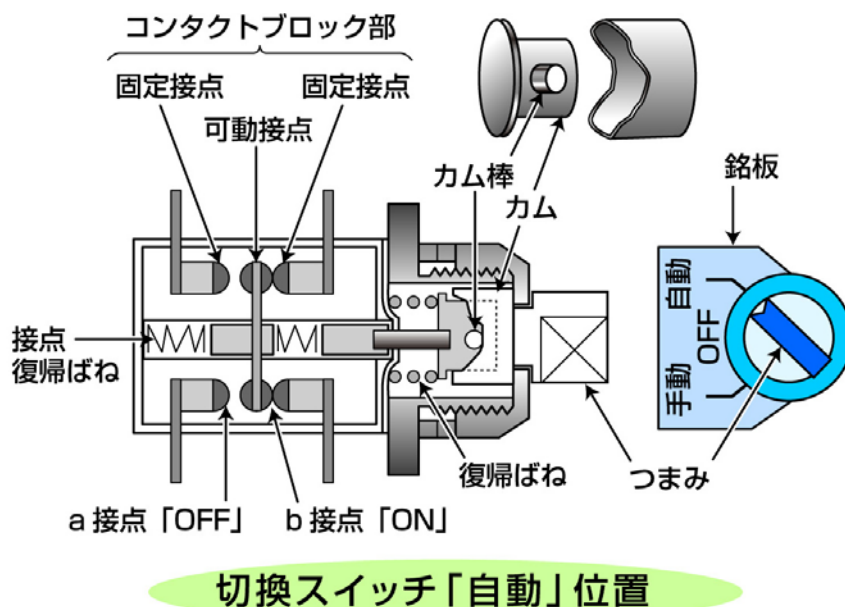


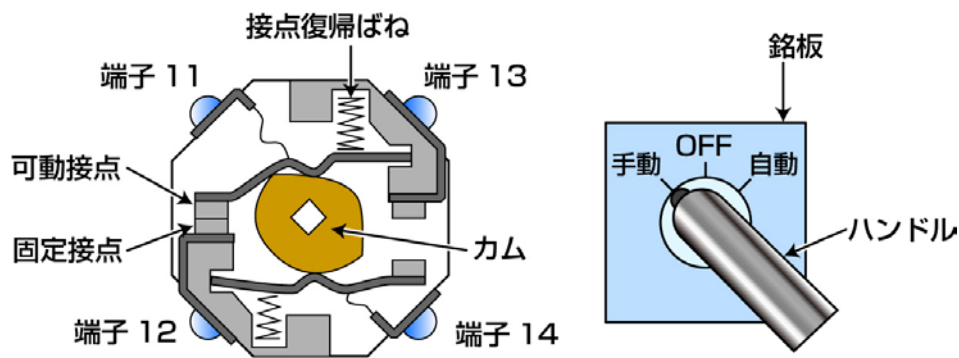
図5 切換スイッチ

ノッチ	ハンドルの位置	使用例
2ノッチ	① ②	①OFF—②ON
2ノッチ 自動復帰	① ②	①停止—②寸動
3ノッチ	① ② ③	①手動—②OFF—③自動
3ノッチ 自動復帰	① ② ③	①逆転—②停止—③正転

図6 切換スイッチの種類

(d) カムスイッチ

切換スイッチの場合、接点軸が奥行き方向に前後動作をして接点の開閉をするのに対し、カムスイッチの場合、カム軸の回転によって接点を開閉する。カム軸を回転させるためにハンドルが取り付けられ、このハンドルを45°ずつ、回転させて、接点の切換えを行う。

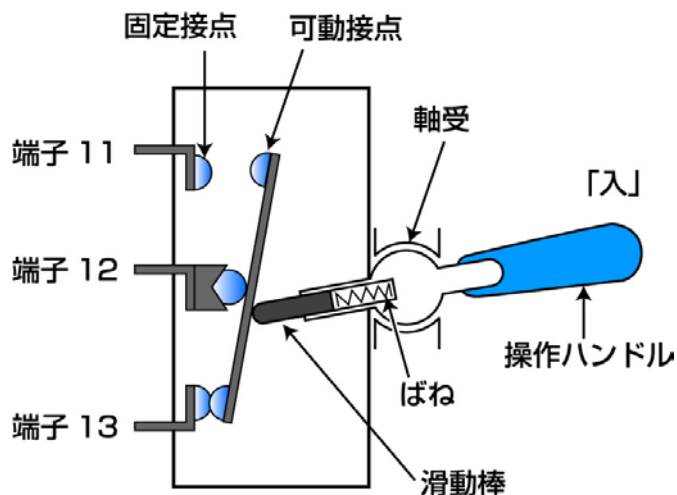


カムスイッチ「手動」位置

図7 カムスイッチ

(e) トグルスイッチ

トグルスイッチは、操作ハンドルを上下させることにより、接点を開閉するスイッチである。操作ハンドルを動かすと、それに取り付けられているばねを縮めていき、操作ハンドルが中間点を超えたところでばねの放勢力で操作ハンドルを動かし、その結果接点が切換えられる。このばねの動きをスナップアクションと呼び、接点開閉の速度や接触圧力などを、操作の状況によらず一定にして安定化する働きをしている。



トグルスイッチ「入」位置

図8 トグルスイッチ

2-3 制御用器具

(a) 電磁リレー

一般的なリレーが、ある電氣的あるいは物理的入力量に対応して接点機構を開閉する器具であるのに対し、シーケンス制御に適用される電磁リレーはリレーの一種であるが、電磁石と鉄片との電磁的な吸引力により鉄片が吸引されることで接点を駆動し、電気回路の開閉を行わせる可動鉄片を持っている。電磁リレーを分類すると、構造上はプランジャ形電磁リレーとヒンジ形電磁

リレーがあり、機能上では制御用リレーや駆動用器具としての電磁接触器や電磁開閉器に分けられる。また、制御リレーとしては一般用、限時用、保持形などの種類がある。

- ① 一般用リレー：コイルを励磁すると接点が瞬間的に動作し、消磁すると瞬間的に接点が復帰するリレー。
- ② 限界リレー：コイルに加えられる電圧や流れる電流が設定値以上に達すると、瞬間的に接点が動作、復帰するリレー。
- ③ 限時用リレー：コイルを励磁または消磁しても、瞬間的に接点は動作せず、コイルに信号が与えられてから時間的に遅れて接点が動作するリレーで、通常はタイマと呼ぶ。
- ④ 保持形リレー：入力信号が入り、一度動作すると入力信号がなくなっても接点は動作した状態を保持するリレーで、キープリレーとも呼ぶ。
- ⑤ ラチェットリレー：パルス信号によりコイルが励磁されるごとに接点を開閉させるもので、ラチェット機構の働きで、複数の接点を順番にオン・オフすることができるリレー。
- ⑥ リードリレー：接点を密封した構造のリレー。

(b) タイマ

タイマは、入力信号を受けてから、一定時間後に出力信号を出すリレーである。タイマには、時間を設定する方式により、電子式タイマ、モータタイマ、制動式タイマなどの種類がある。タイマは、限時方式から次の三つの種類がある。

- ① オンディレイ形：入力を印加したときに限時動作し、入力をなくすと即時復帰するもの。
- ② オフディレイ形：入力を印加したときに即時動作し、入力をなくしたときに限時復帰するもの。
- ③ オン・オフディレイ形：入力を印加したときに限時動作し、入力をなくしたときに限時復帰するもの。

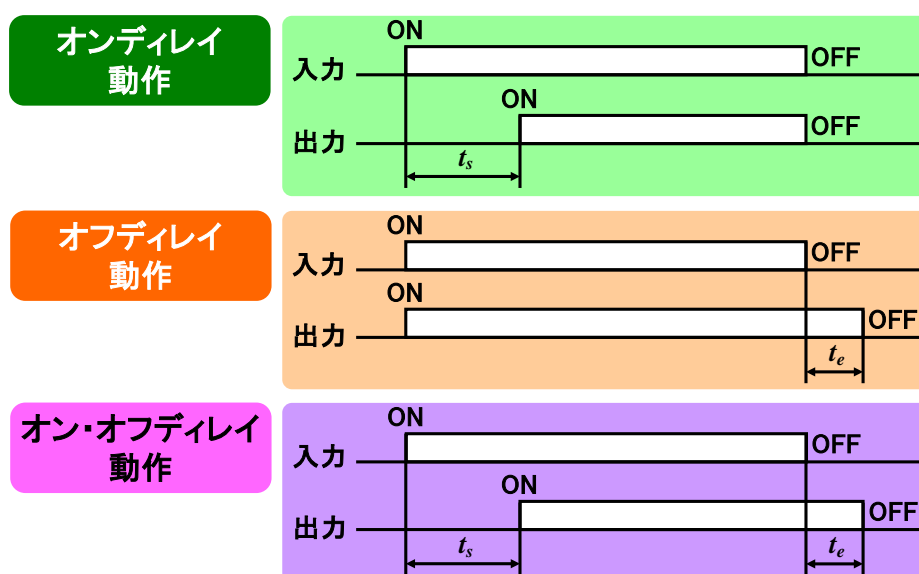


図9 タイマの限時動作方式

(c) 電子式タイマ

電子式タイマは、内部に電子回路を有するリレーで、CR式タイマとCR発振計数式タイマがあ

る。

① CR式タイマ：抵抗 R とコンデンサ C の直列回路において、 C の充電を行う場合の充電電圧の遅れを半導体で検出するものである。充電特性が指数関数的であり直線的でないので、動作時間の精度はよくないが、構成が簡単で安価なタイマを得ることができる。

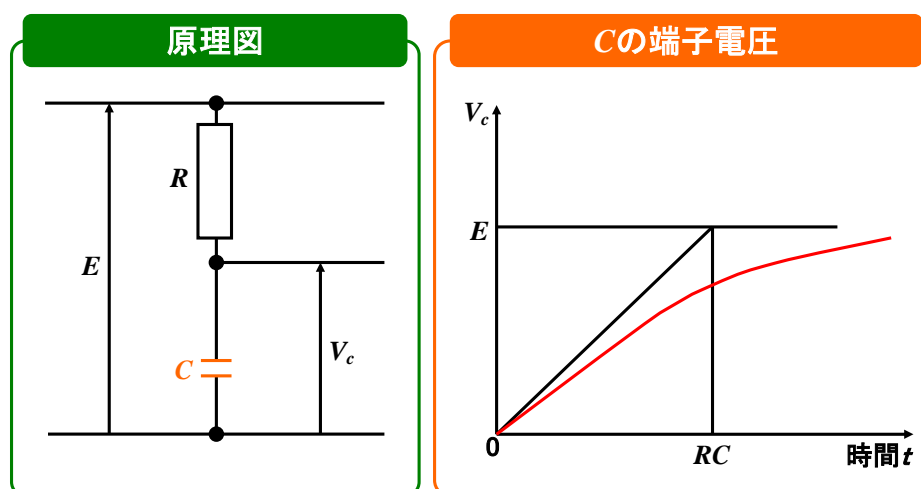


図10 CR式タイマの動作原理

② CR発振計数式タイマ：クロックパルスをカウンタで計算して限時特性を得る方式で、主要構成回路としてCR発振回路、分周回路（カウンタ）、出力回路がある。CR発振器の発振周波数は外部取付けのCR時定数回路を調整して変更し、分周回路はスイッチ切換えで可変となっており、広範囲の動作特性を得ることができる。

これらの電子式タイマは、高頻度の動作が可能で寿命が長い特徴があるが、長時間のタイマの製作が難しく、半導体を用いているので温度変化や電圧変動の影響を受けやすい欠点がある。

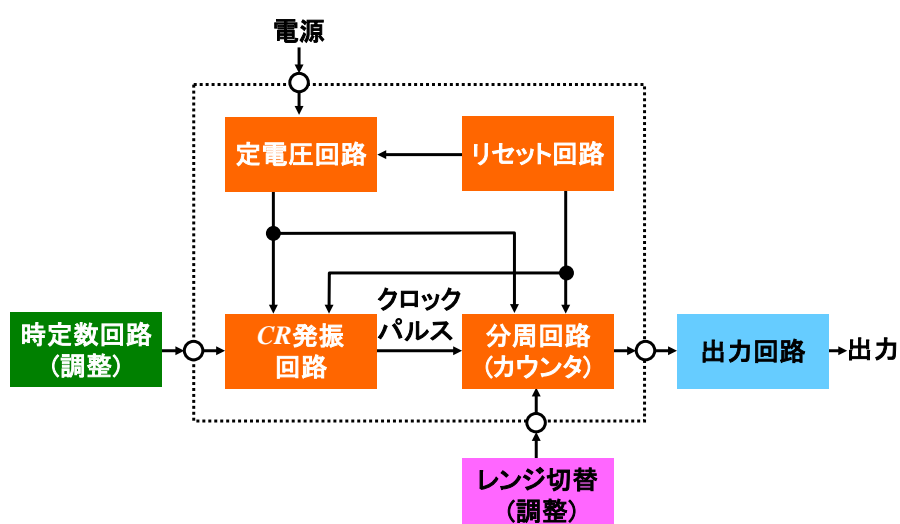


図11 CR発振計数式タイマ

(d) カウンタ

カウンタは、入力パルスの数を数えるもので、電磁カウンタと電子カウンタがある。このカウンタには、計数の仕方により入力信号をゼロからカウントしていくトータルカウンタ、あらかじめセットした値（プリセット値）とカウンタ数が一致したときに信号を出すプリセットカウンタ

などがある。また、プリセットカウンタには、ゼロからプリセット値まで加算していく方法と、プリセット値からゼロまで減算していき、ゼロになったとき信号を出す方法の二つがある。

電磁カウンタは、コイルに電流が流れたときの電磁力で可動鉄片を吸引し、数字車を一つ回転させることで数値表示を行う。この電磁カウンタは、安価で耐ノイズ性に優れている反面、入力パルスとしては周波数の低いものでなければならない。また、電子カウンタは、トランジスタやICより構成される電子回路によって数を数え、デジタル表示器で表示させるものである。電子カウンタは、計数可能な入力周波数が高く、多機能である反面、耐ノイズ性が悪い欠点がある。

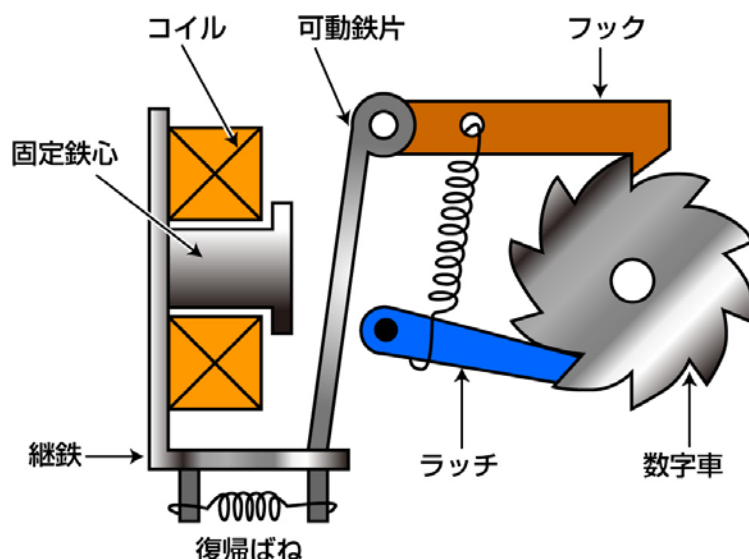
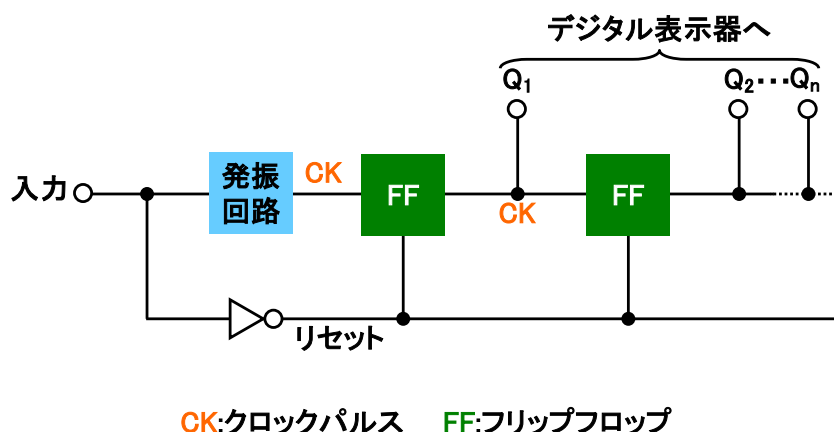


図 12 電磁カウンタ



CK:クロックパルス FF:フリップフロップ

図 13 電子カウンタ

(e) リードリレー

リードリレーは、ガラス管の周囲にコイルを巻き、そのコイルに電流を通すことで、リードが磁化されて磁氣的吸引力を受けて稼動し、接点が開閉するものである。リードリレーは小さな電力で、高速動作、高速復帰が可能な接点であり、接点部が窒素ガスを封入した容器に密閉されているので、接点部の接触状態などが周囲雰囲気に影響されないという特徴がある。しかし、低電圧、低電流の用途にしか使用できない欠点がある。リードリレーの一種で、リレー全体を金属ケ

ースの中に入れて、不活性ガスを封入し、密封したハーメチックシールリレーがある。このリレーは気密性が高く、接点の接触信頼性が高く、航空機、人工衛星用などに使用されている。

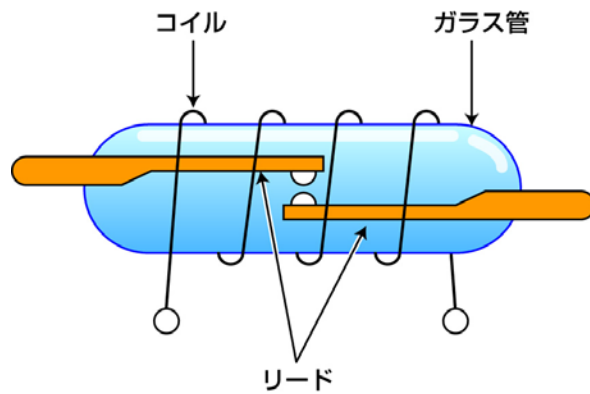


図 14 リードリレー

2-4 駆動用器具

(a) 電磁接触器

電磁接触器（MC）は、シーケンス制御の最終段に使われ、モータなどの主回路電流の開閉を頻繁に行うもので、主回路接触部、補助接触部、操作電磁石部などから構成されている。電磁接触器には直流用と交流用があり、また構造上はプランジャ形とヒンジ形がある。電磁接触器は、電磁リレーとほぼ同様な構成をしており、コイルに電流を流すことで可動鉄心を吸引し、それと同時に可動接点が動かされ開閉することになる。すなわち、コイルを励磁することにより、a 接点をオフからオンへ、b 接点をオンからオフへ切換えることができる。

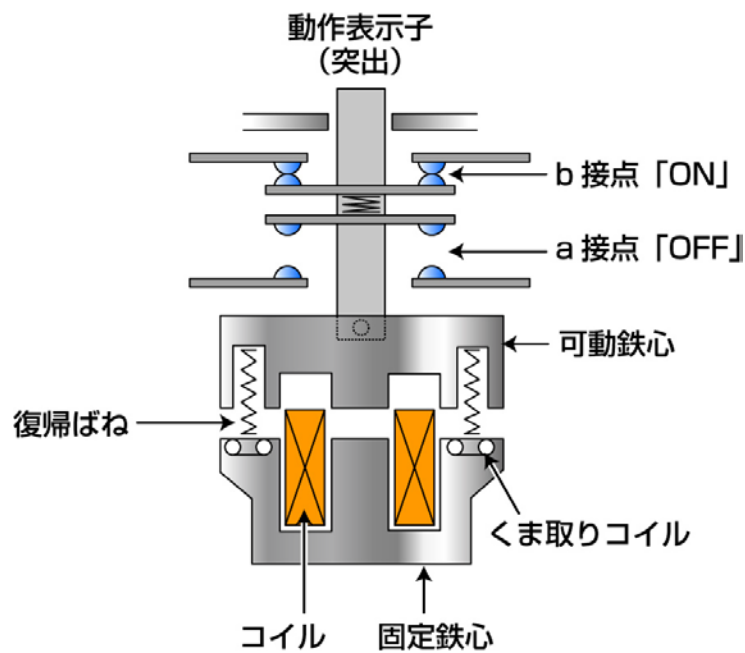


図 15 電磁接触器の構造

(b) 電磁開閉器

電磁開閉器は、電磁接触器とサーマルリレー（THR）を組み合わせたものである。電動機保護の

ためには、サーマルリレーのヒータを電動機回路に接続する必要がある。このようにしておくと、負荷電流が増大するとヒータが過熱し、コイル接点が開くので、電磁接触器のコイルが消磁され、電動機回路電流を遮断することになる。この電磁開閉器は、通常の状態の電動機回路を頻繁に開閉するのに利用されるので、電気回路保護用の配線用遮断器やヒューズとは役目が異なるといえる。

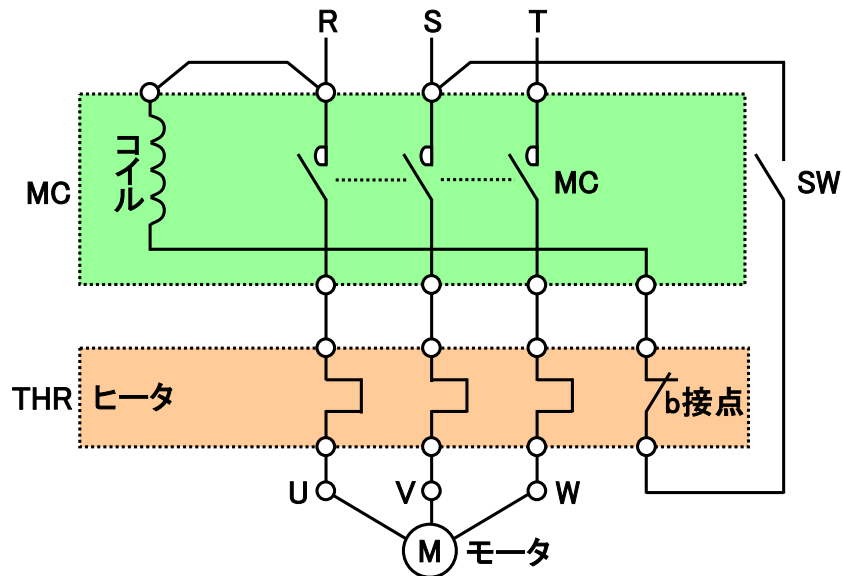


図 16 電磁開閉器の回路図

2-5 検出用器具

(a) マイクロスイッチ

マイクロスイッチは、JIS C 4505 に「微小接点間隔とスナップアクション機構を持ち、規定された動きと規定された力で開閉動作する接点機構がケースで覆われ、その外部にアクチュエータを備え、小形に作られたスイッチをいう」と定義されている。ここで、スナップアクション機構は、可動ばねを引張ばねと圧縮ばねに分けて作用させ、外力を加えることで素早く反転させ、外力で押す速度によらず、一定の速度で接点を開閉させることができる機構である。

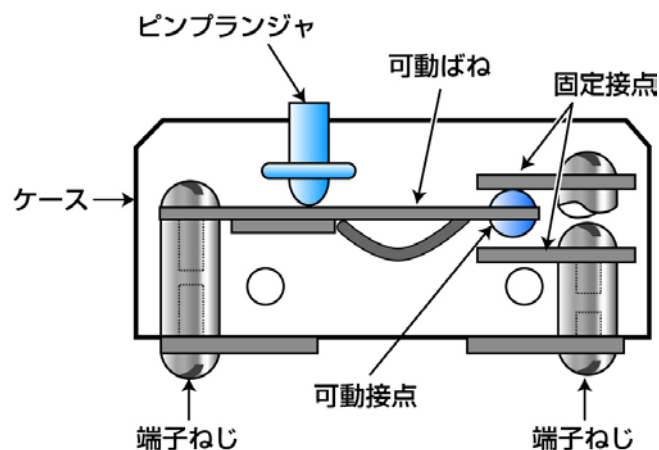


図 17 マイクロスイッチの構造

(b) 近接スイッチ

近接スイッチは、非接触スイッチの一種であり、磁界を利用する磁気形と電界を利用する静電容量形がある。検出コイルの近くに金属片が近づくと、金属片内に生じる渦電流により発振回路のエネルギー損失が増加することを検出し、出力信号を出すことになる。

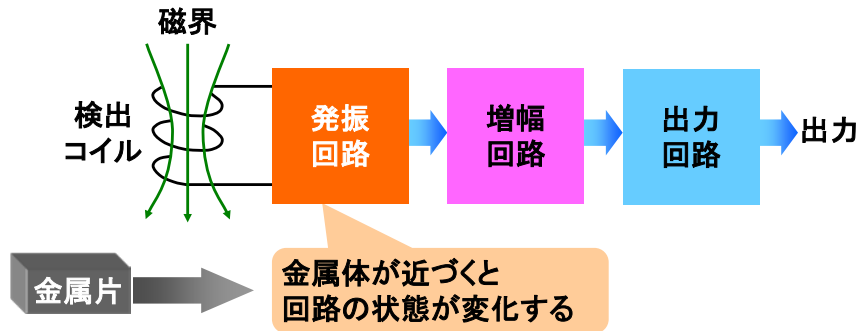


図 18 近接スイッチの原理図

(c) 光電スイッチ

光電スイッチは光の有無を電気的な信号に変換するもので、近接スイッチのような金属に限られるのではなく、光を減衰、遮断、反射させるものであるなら何でも検出可能である。検出方法により、透過形光電スイッチと反射形光電スイッチとがある。発光素子と受光素子との間に検出体が入り、光を減衰、遮断すると、出力が変化する仕組みになっている。

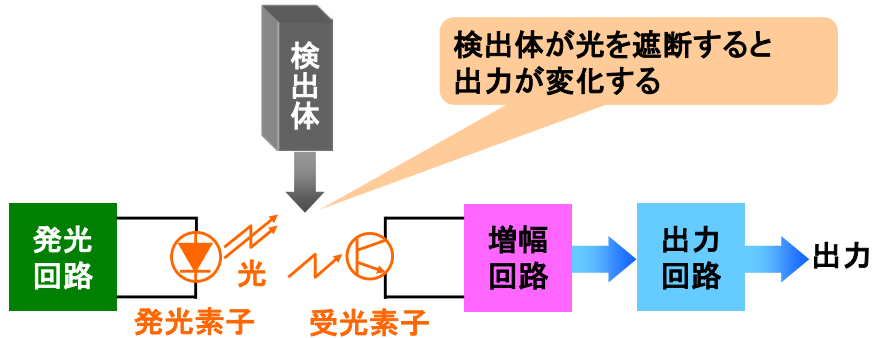


図 19 光電スイッチの原理

(d) 超音波スイッチ

超音波スイッチは、超音波振動子から発射される超音波パルスの反射波を検出するものである。超音波を吸収するフェルト、スポンジなど以外ののであれば、透明、不透明いずれも検出可能である。

(e) 圧力スイッチ

水、油などの液体や空気、ガスなどの気体の圧力を電気信号に変換するもので、ブルドン管を用いるものや、ペローズを用いるもの、半導体式のセンサを用いるものなどがある。

(f) 温度スイッチ

有接点シーケンス制御に使われるものとしては、バイメタルや過熱による液体の膨張などを利用したものがある。また、無接点シーケンス制御に使われるものとしては、サーミスタや熱電対

などがある。

2-6 保護用器具

(a) 過電流リレー

過電流リレーは、制御対象の流れる電流が予定値以上になったとき動作するリレーで、誘導円板形や静止形などの種類がある。

- ① **円板形過電流リレー**：誘導円板形過電流リレーは、くま取りコイルなしの磁極の磁束に対し、くま取りコイルを付けて発生磁束の位相をずらすことにより、円板に発生する渦電流の位相をずらし、渦電流と磁束との相互作用により円板に回転トルクを発生させて、円板に取り付けている可動接点を固定接点と接触させるものである。

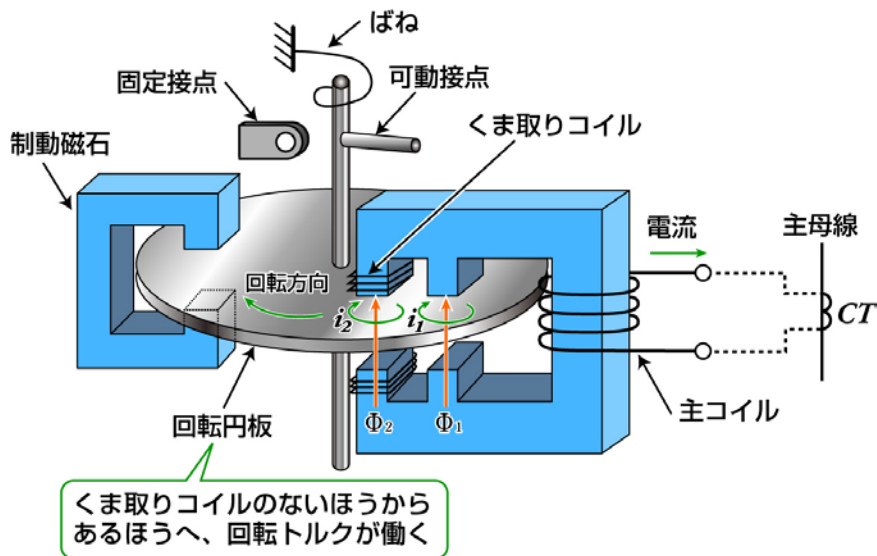


図 20 誘導円板型過電流リレー

- ② **静止形過電流リレー**：静止形過電流リレーには、トランジスタリレーやデジタルリレーがある。トランジスタリレーでは、トランスアクトルからの入力をトランジスタや IC 回路で判別し、動作出力を出す。電流が検出レベル以上であれば、電流レベル検出回路の出力から連続的な信号を過電流リレーの出力としている。

デジタルリレーは、連続したアナログ入力のある時間間隔ごとにサンプリングし、その入力量を 2 進符号に変換し、マイクロコンピュータなどを用いて電圧、電流や電力などをデジタル的に演算処理して継電器機能を果たすものをいう。このサンプリング間隔は、例えば基本周波数の 12 倍 (50Hz ならば 600Hz) などとする必要がある。

(b) サーマルリレー

サーマルリレーは、ヒータとバイメタルにより負荷電流の増加を検出し、反限時特性で動作するリレーである。短絡保護などの短時間電流に対しては、バイメタルの熱変形が追従できないため保護できないが、過負荷時の保護として用いられる。このサーマルリレーは、電磁接触器に付加されて使用されるものである。

(c) 配線用遮断器

配線用遮断器は、保護リレーの場合とは異なり、電気回路に異常があれば自動的に検出し、電気回路を自動遮断する保護装置である。また、開閉器として通常の負荷電流の開閉も可能である。

原理上、配線用遮断器にはバイメタル式と電磁式がある。このうち、電磁式はヒンジ形電磁リレーに似た構造をしており、電流コイルに負荷電流を流し、過電流が流れると可動鉄片が動き、キヤッチ機構を外し、接点を開き、電流を遮断するようになっている。

2-7 表示用器具

(a) 表示ランプ

表示ランプには、大きく分けて白熱電球と LED（発光ダイオード）の 2 種類がある。白熱電球は、照度も高く色の選定も自由であるが、寿命が短い欠点がある。LED は、照度が低く色も自由に選べないものの、寿命が長く省電力であるという長所がある。表示ランプには 6V、12V、24V、48V、100V などの電圧で使用され、直接電圧を印加する全電圧式表示ランプと、抵抗で分圧して電圧を供給する抵抗器付表示ランプ、変圧器を内蔵している変圧器付表示ランプなどの種類がある。

(b) デジタル表示器

表示用機器に LED を用いたデジタル表示器がある。7 個の LED をセグメント配置して数字を表示するもので、電卓などの表示器として用いられているものである。

(c) 計測器

計測器は、制御対象機器の運転状態を定量的に細かく表示したり、記録したりするものであり、運転状態の正常、異常の判断を最終的に行う器具である。シーケンス制御において計測器は、主に電圧、電流、電力、力率、周波数などの電気量を測定、表示するのが目的であるが、精度よりも小形であることが要求され、パネル取付けに適するものがよく利用される。

また、回転速度や圧力、変位、温度などの物理量は、トランスデューサ（変換器）で一度直流電圧に変換してから直流電圧計により表示する方法をとることもできる。

(d) 故障表示器

故障表示器は、制御対象機器に故障が生じた場合、自動的に警報を出し、故障表示灯と共に用いて作業者に警報を発するもので、ベル、ブザーや電子ブザーなどがある。

- ① **ベル**：ベルは、「重故障」の警報に使用されるもので、装置や機器を停止しなければ、火災などの重大な災害につながる危険性のある故障を知らせるときに用いる。
- ② **ブザー**：ブザーは「軽故障」の警報に使用されるもので、比較的軽度な故障や運転を継続しながら修理可能な故障の際に用いる。

2-8 制御対象機器

(a) 電動機

電動機は、電気エネルギーを機械的な回転エネルギーに変換するものであり、動力源として最も多く使用される。直流電動機、三相誘導電動機などがある。

直流電動機は、かつては変速を必要とする場合に多く使用されていたが、インバータの普及により、誘導電動機とインバータを組み合わせることで速度制御が可能になったために、これにとって代わられた。しかし、負荷トルクと負荷電流が比例する特徴があり、計測制御の分野では今も利用されている。

一方、三相誘導電動機は、固定子に三相電流を流し回転磁界を作り、この回転磁界により回転子を引き回すものである。また、インバータにより三相電流の周波数を変えることにより、回転磁界の速度を変えて電動機の回転側とを制御することができるため、広く使用されている。

(b) 電磁クラッチ

電磁クラッチは、原動機軸側にコイルを備え、このコイルに直流電圧を加えると負荷軸側のアーマチュアがクラッチ板に吸引されてトルクが負荷軸側に伝達される。直流電圧を切ると、アーマチュアとクラッチ板は引き離され、負荷軸側はフリーになる。したがって、コイルの励磁の有無で原動機軸と負荷軸の連結・切離しを行うことができる。

(c) ソレノイド

コイルに電流を流して電磁石として作用させ、その吸引力でアーマチュアを動かして引張や押し出しなどの直線運動を行わせるものである。これは、電磁リレーや電磁接触器の原理と同じである。

引用文献:「絵ときでわかるシーケンサ制御」 オーム社

参考文献:「やさしいリレーとシーケンサ」 オーム社