

## 1. 自動化技術概要

### 1.1 自動化技術の必要性

身の回りにあるほとんどのものは工場で大量に作られる。工場で作られる製品には **Q** (S : Spec, Q : Quality, S : Service, S : Safety) **CD** が求められる。高い品質、安い製品、早い生産を行うためには、人手を使わず機械（自動生産装置）を使って自動で生産することが必要になる。さらには部品や原材料の管理も機械（自動倉庫）で行われ、製品の検査も機械（自動検査装置）で行われる。これらの自動化装置（自動化機械）を組み合わせると工場での生産工程の全てを自動化した **FA** システムになる。

### 1.2 制御システム

多くの製品は機械（自動生産装置、自動化装置）によって生産され、機械を希望するように動かすことによって **QCD** の高い製品がつくられる。

希望するように動かすことを**制御（コントロール）**という。自動生産装置などの制御システムには人間が制御する**手動制御**と機械が制御する**自動制御**がある。制御システムには制御するものと制御されるものがあり、自動制御では制御するものを**制御装置**といい、制御されるものを**制御対象**という。

制御装置は制御対象に働きかける**操作部**、制御対象の状況を知る**検出部**、装置の動作内容を決める**調節部**で構成される。制御されるものの量を**制御量**といい、制御量の目標を**目標値**という。制御量と目標値の差を**偏差**といい、制御装置が制御対象に働きかける量を**操作量**という。偏差がゼロになるように制御装置は調節部で判断し、操作部が制御対象に操作量を与えることによって制御量が変化する。制御には、連続した値（操作量）で制御する**連続制御**（定量的制御）と、二つの値（操作量）で制御する**二値制御**（定性的制御）がある。連続制御は細かな調整ができる制御で、**フィードバック制御**といわれる。一方、二値制御は **ON/OFF** 信号で制御する簡単な制御で、**シーケンス制御**といわれる。ほとんどの機械は電気（電気エネルギー）を動力源とし、かつ機械の動きは電気（電気信号）でコントロール（制御）される。機械による自動制御装置においても実際に動作する操作部、状態を検知する検出部、制御対象の状態に応じて制御量をコントロールする調節部で構成され、実際の装置では、動作する機器を**出力機器**、検知する機器を**入力機器**、コントロールする機器を**制御機器**という。フィードバック制御装置の制御機器として、アナログ電子部品を使ってアナログ信号で調節する**アナログ制御**と、コンピュータを使ってデジタル信号で調節する**デジタル制御**がある。現在はほとんどがデジタル制御である。

このように、自動で製品を作る自動生産装置を理解するためには、機械技術ばかりでなく、電気技術やコンピュータ技術も必要となる。

## 2. 電気・電子

### 2.1 電気基礎

全ての物質は原子でできている。原子は電子、陽子、中性子で構成され、陽子と中性子からなる原子核の周りを電子が回っている（実際は円軌道ではない）。電子はマイナスの電気（電荷）を、また陽子はプラスの電気（電荷）を持っており、同極同志の電荷は反発し、異極同志は引き合う性質を持つ。物質によっては、最外殻の電子を出しやすい物質がある。この放出された電子を**自由電子**という。また、その反対に自由電子を引き寄せやすい物質もある。この時の電子を動かす力のようなものを**電圧**といい、動いた電子の数（電荷の量）を**電流**という。自由電子は動いている場所（物質）によって動

きやすさが異なり、自由電子の動きやすさ（動きにくさ）を**抵抗**という。

電子を押し出す力を持つものをマイナス極、電子を引き寄せる力を持つものをプラス極といい、電子はマイナスからプラスへ移動する（電流は、陽子がプラス極からマイナス極へ移動するものと考えられていたが、調べてみると電子がマイナスからプラスへ移動していることが分かった。混乱するといけないので、「電流はプラスからマイナスへ流れる」、「電子はマイナスからプラスへ移動する」とした）。電子の動きやすさは物質によって異なり、自由電子が動きやすい物質を**導体**（金属など）、動きにくい物質を**絶縁体**（樹脂、陶器など）、その中間を**半導体**（シリコンなど）という。

物質に電圧をかけると電流が流れる。流れる電流はかけた電圧に比例し、抵抗に反比例する（オームの法則）。  $I = V / R$

電流の単位は[A]、電圧の単位は[V]、抵抗の単位は[Ω]で、  $1[A] = 1[V] / 1[\Omega]$  となる。

動いている自由電子（電流）からエネルギー（電気エネルギー）を取り出すことができる。電気エネルギーW、電圧V、電流I、時間tの関係は  $W = IVt$  単位は[J]。

単位時間当たりの取り出すことのできる電気エネルギーを**電力**という。電力P、電圧V、電流Iの関係は  $P = W / t = VI = I^2R = V^2 / R$  単位は[W=J/s]。

自由電子は磁力によっても動かすことができる（発電機）

## 2.2 電気機器

### 1) 電源

電気エネルギーを得るための電気の源として電源がある。電源から取り出す電流には、流れる方向が一定（プラスからマイナスへ）の**直流（DC）**と、電流の方向が入れ変わる**交流（AC）**がある。電源の図記号は（省略）。直流電流は電池や電源装置から得られ、交流電流は商用電源（電力会社の電源）から得られる。

電源から得られる電圧は決まっている（機械技術で使う電気の範囲では）。この電圧を定格電圧という。流れる電流は接続する抵抗の大きさによって変化するが、その上限は決まっており、この上限を最大電流（許容電流、定格電流など）という。

直流電源では、電圧として、DC24V、DC12V、DC5Vなどが使われる。線番（記号）は**P-N**、**VCC-GND**などが使われる。線の色は**赤-黒**、**赤-青**、**赤-白**などが使われる。

交流電源では、流れる電流の方向や大きさが一定時間ごとに変化し、1秒間当たりの繰り返し数を**周波数[Hz]**、1回の時間を**周期[s]**と言う。周期と周波数の関係は次のようになる。  $T = 1 / f$

電圧の振幅（最大）を**最大電圧**、直流と同じエネルギーが得られる電圧を**実効値**という。最大電圧をVmax、実効値をVとすると、最大値は次の式で表される。  $V_{max} = \sqrt{2} \cdot V$

交流電源として商用電源（電力会社からの電源）が使われ、日本では、**単相交流 100V**、**単相交流 100 / 200V**、**三相交流 200V**がある。図省略

AC100Vは一般家庭用電源で、線番は**L**、**N（接地）**が使われる。

AC100 / 200V（単相3線式）は一般家庭用電源で、線番は**L1**、**L2**、**N（接地）**が使われる。

AC200V（三相3線式）は工場用電源で、線番は**R**、**S（接地）**、**T**が使われる。三相AC200Vは大きな交流モータ（電動機）を駆動するのに適している。

### 2) 電線

電気を流しやすい金属の導線に、電気を流しにくい樹脂などの被覆を付けたもの。日本では、日本の

JIS 規格のものやアメリカの UL 規格のものがよく使われる。導線の種類として、金属の線が 1 本の単線（単芯線）や複数の細い線がよられた**より線**、線の太さの違うもの（単芯線の場合は直径、より線の場合は断面積）、被覆の種類が違うもの（材質や厚さ）がある。

日本では、自動化装置でよく使われる電線として、日本の規格の **KIV 線**（電気機器用ビニル線、定格電圧 600V、実質 200V）や **KV 線**（電子・通信機器用ビニル線、許容電圧 300V、実質 100V）、**VSF 線**（単心ビニールコード、許容電圧 300V）が、また、アメリカ規格の **UL1015 線**（KIV 線に相当）、**UL1007 線**（KV 線に相当）がある。

よく使われるより線の太さとして、JIS 規格では **1.25mm<sup>2</sup>**、**0.75mm<sup>2</sup>**、**0.5mm<sup>2</sup>**、**0.3mm<sup>2</sup>** などがある。UL 規格では AWG を使って太さを表し、AWG16（1.25mm<sup>2</sup>に相当）、**AWG18**（0.75mm<sup>2</sup>に相当）、**AWG20**（0.5mm<sup>2</sup>に相当）、**AWG22**（0.3mm<sup>2</sup>に相当）などが使われる。

被覆の色も用途によって決められており、直流の場合、電源線で**赤（+）**、**黒（-）**、制御線で**青**がよく使われる。また交流の場合、電源線で AC100V は**黒（L）**、**白（N）** が、AC100/200V は**黒（L1）**、**赤（L2）**、**白（N）** が、三相 AC200V は**赤（R）**、**白（S）**、**黒（T）** が使われる（電力会社によって異なる）。交流の制御線は**黄**が使われる。

電線にはかけることのできる電圧の上限、流すことのできる電流の上限があり、それぞれ**許容電圧（最大電圧）**、**許容電流（最大電流）**という。

### 3) スイッチ

電流を流したり止めたりするものとしてスイッチがある。電気を流しやすい金属部品で作られたもので、金属部品が接触すると電流が流れ、離れると流れなくなる。電流を流したり流さなくしたりする部分は**接点**と呼ばれ、金属の部品を使って物理的に（機械的に）接触させる接点は**機械式接点**と呼ばれる。

接点の表現として「開く／閉じる」が使われ、接点が「閉じる」と電流は流れ、「開く」と電流は流れなくなる。スイッチの表現として、スイッチに働きかけることを「操作」といい、元に戻すことを「復帰」という。多くのスイッチは、スイッチを「操作」するとスイッチが「動作」し、接点が「閉じる」。また、スイッチを「復帰」するとスイッチが「復帰」（同じ復帰が使われる）、接点が開く。スイッチによっては、操作したときに接点が開き（電流が流れない）、復帰したときに接点閉じる（電流が流れる）スイッチもある。

スイッチを操作したとき（動作したとき）に閉じる（電流が流れる）接点を **a 接点**（メイク接点）といい、操作したときに開く（電流が流れない）接点を **b 接点**（ブレイク接点）という。スイッチで電気の出入りする部分を端子といい、a 接点の端子を **COM 端子**、**NO 端子**と、b 接点の端子を **COM 端子**、**NC 端子**という。一般的なスイッチは a 接点か b 接点のどちらかとして使える **c 接点**（トランスファー接点）となっていて、その端子を **COM 端子**、**NO 端子**、**NC 端子**という。a 接点、もしくは b 接点のスイッチを単投、c 接点のスイッチを双投という。

スイッチによっては、1 個のスイッチに複数の接点を持ったものがある。接点の数を**極**といい、2 個の c 接点を持っているものを 2 極双投、4 個の a 接点を持つものを 4 極単投という。英語で SPST（Single Pole Single Throw）、4PDT（4 Pole Double Throw）ということもある。

操作したときに接点閉じ、復帰したときに接点開くスイッチを**モーメンタリスイッチ**といい、スイッチを復帰しても接点閉じたまま、再度操作した後に接点開くスイッチを**オルタネートスイッチ**という。

操作→（流れる）→復帰→（流れない） モーメンタリ

操作→（流れる）→復帰→（流れる）→操作→（流れる）→復帰→（流れない） オルタネート  
電線同様、接点にもかけることのできる電圧の上限、流すことのできる電流の上限があり、それぞれ  
**許容電圧（最大電圧）、許容電流（最大電流）**という。

接点を接触される機構として、押しボタン式のスイッチ（押しボタンスイッチ）、レバー式のスイッチ  
（トグルスイッチ、セレクトスイッチなど）などがある。

#### 4) 抵抗器

電流の流れを妨げる電気部品である。機械制御の場合、発光ダイオードの点灯回路、制御機器との入  
出力回路で使われることが多い。種類としては炭素被膜抵抗器（汎用）、金属皮膜抵抗器（高精度用）、  
酸化皮膜抵抗器（大電流用）などがある。カラーコードによって抵抗値が表されるものがある。

#### 5) コンデンサ

2枚の金属の間に絶縁体を挟み込んだ構造で、電気を蓄える電気部品である。機械制御の場合、交流  
モータの駆動回路や電気ノイズの除去などで使われる。セラミックコンデンサ、積層コンデンサ、電解  
コンデンサなどがある。

静電容量  $C$  のコンデンサに電圧  $V$  をかけたときに流れる電流は次のようになる。  $I=C \cdot dV / dt$

#### 6) コイル

導線をらせん状に巻いた構造で、磁力を発生させる電気部品である。機械制御の場合、リレーやモー  
タなどの電磁石として使われる。ON/OFF 時に一瞬だけ大きな電流が流れ（高い電圧がかかり）、こ  
れにより電気ノイズを発生させる。

### 2.3 半導体部品（電子部品）

半導体は電気を流しやすい導体と電気を流しにくい絶縁体の中間の物質で、現在ではシリコンが使わ  
れる。シリコンに微量の不純物を混ぜ合わせることにより、性質が異なる P 型半導体と N 型半導体  
を作ることができる。

#### 1) ダイオード

P 型半導体と N 型半導体を接合した電子部品で、一方向にだけ電流を流す働きがある（P から N には  
電流が流れるが、N から P には流れない）。P 型半導体側の端子をアノード、N 型半導体側の端子を  
カソードという。いろいろな種類のダイオードがあり、機械制御では発光ダイオードがよく使われる。

#### 2) トランジスタ

P 型半導体と N 型半導体を接合した電子部品で、その組み合わせにより NPN 型トランジスタと PNP  
型トランジスタがある。流れる電流の大きさを調節する働きがあるが、機械制御では直流出力機器の  
ON/OFF 制御で使われる。日本では NPN 型トランジスタがよく使われる。ベース、エミッタ、コレ  
クタの三つの端子があり、エミッタ接地回路を組んで、ベース端子に信号を入力するとコレクタから

エミッタに電流が流れるようになる。

### 3) FET

半導体を使った電子部品で、その用途によって何種類かの FET がある。日本では NPN 型トランジスタの代用として、n チャンネル MOS 型 FET が直流出力機器の ON/OFF 制御に使われる。

### 4) トライアック

交流の出力機器の ON/OFF 制御に使われる半導体電子部品である。機械制御ではトライアックを単体で使うことはほとんどなく、半導体リレーや PLC の出力回路に組み込まれているものを使う程度である。

### 5) フォトカプラ

発光ダイオードと光で動作するフォトトランジスタを組み合わせた電子部品で、光を使って信号を伝えることができる。電気信号を一旦光信号に変換することから、電気信号のノイズによる誤作動防止の用途で使われる。

### 6) アナログ IC (オペアンプ)

アナログの電圧信号を別のアナログ電圧信号に変換する用途で使われる。抵抗などと組み合わせ、比較回路、反転増幅回路、加算回路などの回路を組むことができる。

### 7) デジタル IC

デジタルの電圧信号を別のデジタル電圧信号に変換する用途で使われる。電圧信号として L/H 信号が使われ、その電圧レベルは使用する IC の電源電圧で決まる。デジタル IC として TTL IC、C-MOS IC があり、今は C-MOS IC が主流である。

## 2.4 直列回路、並列回路

複数の部品を接続して使用する回路として、直列回路と並列回路がある。機械制御ではスイッチ、出力機器、電源の接続で使われる。

出力機器の接続では並列接続回路を使い、直列接続回路は使わない（直列接続では出力機器に定格電圧がかからなくなるため）。

電源の接続では、直列接続回路、並列接続回路が使われるが、並列接続は電圧が等しいときだけ使用することができる。

スイッチの接続は次項で。

## 2.5 スイッチ回路

スイッチを使った回路として、ON 回路、NOT 回路、AND 回路、OR 回路、組合せ回路がある。

ON 回路はスイッチが動作したときに電流が流れる回路で、スイッチの接点として a 接点を使用する。

NOT 回路はスイッチが動作していないときに電流が流れる回路で（スイッチが動作すると電流は流れない）、スイッチの接点として b 接点を使用する。

AND 回路は複数のスイッチを直列接続した回路で、a 接点を使用した場合、すべてのスイッチが動作

したときに電流が流れる。

OR 回路は複数のスイッチを並列接続した回路で、a 接点を使用した場合、どれか一つ以上のスイッチが動作したときに電流が流れる。

組合せ回路はこれらの回路を組み合わせた回路である。この組み合わせ回路により、出力機器の簡単な ON/OFF 制御回路を組むことができる。

## 2.6 LED 点灯回路

LED は順方向（アノードからカソード）に 10mA 程度の電流が流れると光を放つ。LED に 10mA 程度の電流を流すために LED と直列に電流制限抵抗を接続する。目安として電源電圧が DC5V の場合、330Ω 程度、DC24V の場合、1500Ω の抵抗器を接続する。実際の機器では省エネルギーのために LED がギリギリ点灯する程度の電流（約 3mA）が流れるような抵抗器が接続されていることもある。

## 2.7 電気計測（抵抗測定（導通テスト）、電圧測定、電流測定）

電気回路での電気の状態を調べるうえで、抵抗、電圧、電流などを測定する必要がある。これらはテストによって知ることができる。

アナログテストの場合、針が振りきれると破壊する恐れがあるので、未知のものを測定する場合測定レンジを大きいものから順に下げていって測定する。

### 1) 抵抗の測定

電圧のかかっていない状態で測定対象の両端にテストのプローブを当てて測定する。レンジによってゼロの指示が異なるので、最初にプローブ同士を当てた状態でゼロ合わせを行う。

### 2) 電圧の測定

電圧がかかっている状態で測定対象の両端にテストのプローブを当てて測定する。直流は極性（プラスマイナス）を間違えないようにする。

### 3) 電流の測定

回路を切り離し、そこにテストを入れて測定する。テストによっては電流の測定ができないものもある。機械制御では電流を測定することはあまりない。

## 3. コンピュータ

### 3.1 コンピュータの構造

コンピュータは演算装置、制御装置、記憶装置、入力装置、出力装置からなる。実際は CPU が演算機能と制御機能を、メモリが記憶機能を、入出力インターフェイス（I/O インターフェイス）が入力機能と出力機能を有する。コンピュータはその規模によって、一つの IC にすべての機能を持つワンチップマイコン、一枚の基板になったワンボードマイコン、個人使用を目的としたパーソナルコンピュータ、生産現場用の FA コンピュータやパネルコンピュータなどがある。

### 3.2 デジタルデータ

コンピュータはデジタル信号で様々な演算処理を行う。コンピュータで扱うデジタル信号は電圧の

H/L 信号である。信号の単位としてビットを使い、1 個の H/L 信号を 1 ビット、8 個の信号を 8 ビットという。また、8 ビットを 1 バイト、16 ビットを 1 ワードという。データのビット数が多い方が多くのデータ、様々な処理を行うことができ、小規模なマイコンは 8 ビット、最近のパソコンは 64 ビットとなっている。

コンピュータで処理するデータは電圧信号であるが、一般的な表記として H 信号を 1、L 信号を 0 とした 1/0 信号で表される。この 01 の羅列を 2 進数の数値とした 2 進数データ、もしくは 4 桁の 2 進数を一つの文字で表した 16 進数データ (0~F) で表される。この 0/1 をいくつか組み合わせた 2 進数データで数値や文字 (ASCII コードなど) のデータを表している。

演算処理としては、データ転送命令、演算命令 (算術演算、論理演算)、比較命令、ジャンプ命令、などがあり、これらの命令も 0/1 の組合せにより定められている。

データはメモリに記憶されており、CPU がそのメモリからデータを読み出し、演算処理を行い、処理後のデータをメモリに書き込んでいる。メモリにはアドレスと呼ばれるデータを格納するための番号が振られている。

また I/O インターフェイスにもアドレスが振られており、CPU はアドレスを使って接続されている外部機器を指定し、データの入出力を行っている。

CPU、メモリ、I/O インターフェイスはバスと呼ばれる信号線で接続されている。バスにはアドレスバスとデータバスがある。

### 3.3 動作 (命令)

コンピュータの演算処理として、データ転送命令、演算処理命令 (比較演算、算術演算、論理演算)、比較命令、ジャンプ命令などがある

処理の手順を示すものをコード (プログラム) といい、CPU はこのコードに従って処理を順に実行し、データを別のデータに変換していく。処理の手順をアルゴリズムといい、処理の手順を図で表したものをフローチャートという。CPU が実行する処理は順次、分岐、繰り返しの組合せで指示することができる。このようなプログラムを構造化プログラミングという。

### 3.5 汎用コンピュータ通信規格、

## 4 自動化機器

我々の周りには自動車やエレベータ、自動販売機、家電製品など自動でコントロール (制御) されているものが数多くある。また、身の回りのほとんどのものは自動生産装置 (自動化装置) で生産されている。自動で制御される機械や自動化装置は自動制御装置 (自動制御システム) と呼ばれている。自動制御装置は、実際に何らかの動作をする出力機器、外部の状況を検出したり動作を指示する入力機器、入力機器からの信号に応じて出力機器に動作指示信号を出力する (コントローラ) 制御機器で構成されている。そして、これらの機器のほとんどは電気をエネルギー源として動作し、電気信号で制御されている。

自動化装置は出力機器、入力機器、制御機器で構成されており、出力機器としてランプやモータ、ソ

レノイド（電磁石）などのアクチュエータが、入力機器としてセンサやスイッチが、制御機器としてリレーや PLC、マイコンなどが使われる

自動化装置の制御として、ON/OFF などの二つの値を扱う二値制御（ON/OFF 制御）と、連続した値を扱う連続制御がある。

二値制御としてセンサからの二値信号によってアクチュエータを ON/OFF するシーケンス制御が、また連続制御としてセンサからのアナログ信号によってアクチュエータを連続的に調節するフィードバック制御がある。

制御機器として、二値制御ではリレーや PLC が使われている。連続制御では昔はアナログ電子回路を使ったアナログ制御であったが、現在は A/D 変換によってアナログ信号をデジタル信号に変換して、PLC やコンピュータを使ったデジタル制御が主流である。

## 4.1 出力機器

### 4.1.1 出力機器の種類

自動制御システムは制御対象に対して、動かす、力をかける、熱を加える、光を出すなどの働きかけをする。この働きかけを行うのが操作部であり、出力機器となる

現在の大部分の出力機器は電気エネルギーによって動作する。このような出力機器は負荷とも呼ばれる。負荷は電気抵抗を持ち、この抵抗で電気エネルギーから別のエネルギーに変換している。

自動化装置で広く使用されている出力機器としてモータ、ソレノイド（電磁石）、ランプ、ブザーなどがある。

出力機器は正常に動作する電圧（定格電圧）が定められており、定格電圧をかけると定格電流が流れ、動作する。定格電圧以上をかけると電流が流れ過ぎ、機器が発熱、焼損する。また、定格電圧以下では正常に動作しない。しかし、機器によっては、定格電圧以下の電圧をかけて出力を調整することもある。例えば、力の調整、回転速度の調整、温度の調整、明るさの調整などがある。電圧の調整は、現在ではパルス信号を使ってデジタル信号でアナログ的な調整を行う PWM 制御が主流である。

### 4.1.2 出力機器

自動化装置で使われる主な機器を以下に挙げる。

#### 1) ランプ

定格電圧をかけると点灯する。表示用で数 10mA の電流が流れる。

#### 2) LED

10~20mA の電流（順方向電流  $I_F$ ）が流れるように、電圧に応じた電流制限抵抗を接続する。LED の電圧降下（順方向電圧  $V_F$ ）は色によって異なり、赤や緑などで 2.1V、白や青で 3.5V、赤外線では 1.4V 程度である。表示用として、7 個の LED を組み合わせて数値を表示する 7 セグメント LED がある。

#### 3) ソレノイド（電磁石）

鉄心にエナメル線を巻いて電磁石にしたもの。定格電圧をかけるとプランジャと呼ばれる部品が引き寄せられる。種類によってプッシュ型、プル型がある。電圧を切るとばねの力などで元の位置に戻すようにする。戻り用ばねが一体になっているものもある。大きな電流が流れて発熱するものもあり、最大連続使用時間が決められているものもある。

#### 4) 油空圧機器（電磁弁、ソレノイドバルブ）

圧縮空気や圧油によってシリンダを動作させる油空圧機器の制御において、流体の流れる方向を切り替えるのに電磁石を使った方向制御弁（ソレノイドバルブ）が使われる。定格電圧をかけると電磁弁が動作しシリンダなどの動作方向が切り替わる。シングルソレノイドバルブ、ダブルソレノイドバルブがある。

#### 5) リレーコイル

出力機器を駆動させるリレーで使われるコイルで、定格電圧をかけるとリレーが動作する。厳密には出力機器ではないが、ここでは出力機器の一つとして扱う。

#### 6) 三相誘導電動機

三相交流電圧で動作する大型のモータ（電動機）で、電磁開閉器や電磁接触器を使って駆動する。任意の2本の電源線（一般的にはRとT）を入れ替えると逆転する。5.5kWを超える大型の電動機では、始動時の電流を小さくするための始動法（スターデルタ始動法など）が必要になる。回転速度はモータの極数と電源周波数で決まる。

#### 7) 単相交流モータ

動作原理の違いにより、誘導電動機（インダクションモータ）と同期電動機（シンクロナスマータ）がある。一般的にはコンデンサを使った回路で動作する。種類によってはコンデンサ回路を変えることにより、回転方向を切り替えることができる。

#### 8) 直流モータ

直流の定格電圧をかけることにより動作する。極性（+、-）があり、極性を入れ替えることにより回転方向を切り替えることができる。回転方向を切り替える回路としてHブリッジ回路が使われる。かける電圧を下げることにより、回転速度を遅くすることができる。実際には、電圧を下げるのではなく、パルス信号を使ったPWM制御が使われる。

#### 9) ステッピングモータ

複数のコイルを使い、コイルを順番に励磁することによって一定角度ずつシャフト（ロータ）が回転する。コイルの数により2相ステッピングモータ、5相ステッピングモータがある。また2相ステッピングモータでは、励磁の方向が一定のユニポーラと、励磁の方向が切り替わるバイポーラがある。2相ステッピングモータのコイルの励磁方式として1相励磁、2相励磁、1-2相励磁があり、一般的にはトルクの大きい2相励磁か、分解能が半分になる1-2相励磁が使われる。

一般的には専用のコントローラを使い、ここにパルス信号および回転方向信号を入力することによって動作する。入力するパルス速度で回転速度が変わり、回転方向信号により回転方向が変わる。簡単

に回転方向、回転速度、回転角の制御ができる。

急激な加減速や外部からの大きなトルクがかかったときは、励磁のタイミングがずれる脱調という現象が起き、回転しなくなる。

#### 10) サーボモータ

モータに回転のセンサが取り付けられたモータで、回転速度や回転角の正確な制御ができる。モータとして AC モータや DC モータが使われるが、最近は AC サーボモータが主流になっている。

工業用のサーボモータの場合、小型でも単価で 10 万円程度である。

玩具用の RC サーボモータは、ある範囲（例えば 0~270deg）で動くモータで、パルス信号で角度を指定し、その角度で停止する機能を持っている。

#### 4.1.3 出力機器の駆動

出力機器を駆動（ON/OFF）するためにはスイッチを使ってその機器に定格電圧をかけ電流を流せばよい。しかしながら、スイッチには許容電圧（最大電圧）、許容電流（最大電流）が定められており、接点容量が小さい場合や小さな電気信号で大きな出力機器を駆動するときには駆動部品を使って駆動回路を組む必要がある。駆動部品として、リレー、電磁接触器（電磁開閉器）などの**有接点駆動部品**や、トランジスタやトライアックなどの半導体を使った**無接点駆動部品**が使われる。

##### 1) リレー駆動

有接点駆動部品としてリレーがある。リレーは電磁石（コイル）とスイッチ（機械式接点）を組み合わせた部品で、コイルに電流を流すと接点が動作する構造になっている。コイルには定格電圧 DC5V、DC24V、AC100V、AC200V など様々な種類がある。また接点には最大定格 DC30V、3A や AC200V、20A など様々な種類がある。制御回路に応じたコイル、出力機器に応じた接点を持つリレーを選定することによって、出力機器を駆動することができる。

リレーよりも容量の大きな有接点駆動部品として電磁接触器（マグネットコンタクタ、MC）がある。また過電流が流れたら電流を遮断する熱動継電器（サーマルリレー、THR）と電磁接触器とを組み合わせた電磁開閉器（マグネットスイッチ、MS）もある。電磁接触器や電磁開閉器は三相誘導電動機など定格電流が大きな機器の駆動に使われる。

##### 2) トランジスタ駆動（NPN エミッタ接地）、絶縁回路

直流の出力機器を駆動する部品としてトランジスタがある。トランジスタはベース、エミッタ、コレクタの三つの端子を持ち、ベースに電気信号を入力することによりコレクタからエミッタに電流が流れるようになり、直流の出力機器を駆動することができる。ベースに入力する信号は電流の信号なので、抵抗器（1000Ω程度）を通して電圧信号をかければよい。

NPN 型トランジスタを使う場合はエミッタを電源のマイナス（GND）に接続するエミッタ接地回路で、PNP 型トランジスタを使う場合はエミッタを電源のプラスに接続するエミッタ接地回路（エミッタ共通回路）で駆動回路を組む。

モータやソレノイドなどのコイルを使った出力機器の駆動ではサージ電流によってトランジスタが破壊されるのを防ぐために、ダイオードなどを使った保護回路を組む。

トランジスタを使ってモータなどの電磁石を使った出力機器（誘導負荷）を駆動する場合、出力機器

から大きな電氣的ノイズが発生し、制御回路を誤動作させる恐れがある。この場合、フォトカプラを使って電氣的に切り離す（絶縁する）ことにより誤動作を防ぐことができる。

### 3) 半導体リレー駆動

MOS型 FET やトライアックとフォトカプラを組み合わせた半導体リレーがある。MOS型 FET を使ったものをフォト MOS リレーと呼んだり、トライアックを使ったものをソリッドステートリレー（SSR）と呼ぶこともある。フォト MOS リレーは主に電流が小さい（500mA 程度）直流の出力機器の駆動に、ソリッドステートリレーは交流の出力機器の駆動に使われる。内部のフォトカプラの発光ダイオードを駆動することにより、接続された出力機器を駆動することができる。

## 4.2 入力機器

自動制御装置で使われる入力機器として、動作の指示や設定を行うスイッチや、制御対象の状態を調べるセンサおよび計測器などがある。これらの機器を使って制御対象の状態を検出したり、動作内容を指示したりする。

入力機器から出力される信号として、二値信号と連続的に変化する連続信号（アナログ信号）がある。操作用および設定用のスイッチからは二値信号である機械式接点が使われ、人がスイッチを操作すると接点によって電流が ON/OFF する。

センサは、温度、力、光量、長さなどの状態（制御量）によって電氣的特性が変化するセンサ素子を使い、その電気特性の変化から状態を測定するものである。一般的にはその電気特性の変化を電圧もしくは電流の変化に変換して出力される。

出力される信号は連続したアナログ信号で、フィードバック制御で使われる。電圧出力の場合 DC0～5V、DC1～5V、DC0～24V などが、電流出力の場合 DC4～20mA が出力される。連続したアナログ信号を細かく分割した離散信号（デジタル信号）に変換し、各離散信号を数ビットのデジタル信号で表すことがある。このようにアナログ信号をデジタル信号に変換することを A/D 変換という。A/D 変換されたデジタル信号は厳密には連続信号ではないが、分割の度合いを細かくすることによって（1/8、1/16、1/32・・・）連続信号とみなすことができるようになる。

シーケンス制御で使われるセンサとして、アナログ信号があるしきい値を超えたか否かで二値信号を出力する検出センサがある。また、物体の位置や有無を検出するセンサも使われる。出力信号として、トランジスタによる直流電流の ON/OFF 信号を出力するオープンコレクタ出力（O.C.出力、トランジスタ出力）、O.C.出力でリレーを動作させてリレースイッチの ON/OFF を出力する接点出力、O.C.出力をプルアップした直流電圧の H/L 信号やデジタル IC の出力である H/L 信号などを使った電圧出力がある。

オープンコレクタ出力として、日本やアメリカでは NPN 型トランジスタを使ったシンク電流方式が良く使われ、ヨーロッパでは PNP 型トランジスタを使ったソース電流方式が良く使われる。

### 4.2.1 スイッチ

人が操作して信号を出力する働きを持つ。出力信号はほとんどが接点出力となる。

#### 1) 操作スイッチ

装置の起動、動作切り替え、停止などを行うために、人間の操作により電気信号を出力する。出力信

号は、接点出力がほとんどで、c 接点が使われるものが多く使われる。また、接点が複数あるものもある（2 極、4 極など）。略称として、「SPST（単極単投）」、「DPDT（2 極双投）」などが使われる。操作するアクチュエータによって、押しボタンスイッチ、トグルスイッチ、セレクトスイッチ、スライドスイッチ、キースイッチ、フットスイッチ、非常停止スイッチなどがある。基板用として、小型で安価なタクトスイッチもある。

接点が保持されないモーメンタリスイッチ、保持されるオルタネートスイッチがあり、モーメンタリは押しボタンスイッチ、オルタネートはトグルスイッチやセレクトスイッチなどで使われる。

## 2) デジタルスイッチ

1つのスイッチに4個の接点を持ち、このON/OFFの組み合わせを使って数値を入力するためのスイッチである。サムロータリースイッチと呼ばれることもある。

4個の接点（4ビット）を2進数とみなし、0～9の数値を出力する。このスイッチをn個使うことにより、n桁の数値を指定することができる。ここで入力される数値データはBCDコードとなり、単純にn×4ビットの2進数にはならない。そのため、BCDコードを2進数（バイナリ）に変換するための処理が必要になる。

## 3) デイップスイッチ

基板に固定する設定用の小型スイッチである。ON/OFFの設定から、デジタルスイッチのように4個の接点を使って数値を出力するロータリデイップスイッチもある。この場合、0～9の数値を出力するものと、0～15の数値を出力するものがある。

### 4.2.2 検出センサ

物体の位置や有無を検出し、二値信号を出力する。また、温度や圧力、変位などの連続する量がある値（しきい値）を超えたかどうかを検出するセンサもある。

センサの配線としてプラス電源線（V）、マイナス電源線（GND）、出力線（Out）の3線式が多く、定格電圧をかけるとセンサが動作し、センサが反応すると出力が変化する。センサから出力される信号は、機械式接点を使った接点出力、トランジスタを使ったO.C.出力、電圧のH/Lを出力する電圧出力などがある。

#### 1) 検出スイッチ

物体がスイッチの操作部を操作することにより、機械式接点がON/OFFし、物体の位置や有無を検出する。良く利用されるものとして、リミットスイッチ、マイクロスイッチ、磁石と組み合わせて用いるリードスイッチなどがある。

#### 2) 光電センサ

赤外線などの光を使い、投光部より出射された光が受光部で受けたかどうかで物体の位置や有無を検出する。光の受け方として、光を直接受光する透過型と反射光を受光する反射型がある。

反射型、透過型ともに様々な種類があり、反射型では限定反射型、拡散反射型、回帰反射型が、透過型では溝形、対向型などがある。また検出範囲が狭い光ファイバを使ったものもある。

小型でマイクロスイッチと同じ用途で用いるものはフォトマイクロスイッチとも呼ばれる。

反射型光電センサを応用すると、色の判別をすることが出来る。

### 3)近接センサ

透磁率や誘電率などの物理特性の変化を利用して物体の位置や有無を検出する。高周波式近接センサは透磁率の変化を利用して、金属の有無を検出する。静電容量式近接センサは誘電率の変化を利用して、金属、樹脂、紙などの有無を検出する。

検出範囲は高周波式で 10~50mm 程度、静電容量型で 5~20mm 程度で、検出対象が金属であれば高周波式の方が検出範囲は広い。また、金属の検出の中でもアルミのみの検出が可能な近接センサもある。

近接センサを応用すると、検出対象が金属であるか否かの判別をすることが出来る。

配線として、3 線式が多いが、電源線と出力線が共用になっている 2 線式もある。

### 4)その他のセンサ

検出方法の原理から超音波センサなどがある。

また、温度や圧力、長さなど計測できるものに対して、ある設定値（しきい値）を超えたか否かを検出するセンサもある。温度センサ、圧力センサと呼ばれているが、温度スイッチ、圧力スイッチなどと呼ばれることもある。

#### 4.2.3 計測センサ

変位、圧力、光の強度など、計測量（制御量）の変化に比例したアナログ電気信号（電圧や電流など）を出力する。出力信号としては DC1~5V の電圧出力や、DC4~20mA の電流出力のタイプが多い。あらかじめ出力信号と計測量の関係を調べておくことにより、出力信号を測定することにより計測量の値を知ることができる。

実際によく使われるものとして、温度センサ、圧力センサ、流量センサ、変位センサ、力センサなどがある。

#### 4.2.4 その他のセンサ

##### 1) ロータリエンコーダ

回転軸があり、軸が回転するとパルス信号がデジタル信号として出力される。パルス信号の種類によって、ある基準点からの進み角を計測するインクリメンタル型と、エンコーダの角度そのものを出力するアブソリュート型がある。

インクリメンタル型の原理は、軸が回転すると一定角度ごとにパルス信号が出力され、そのパルス信号を計数することにより軸の回転角を知ることができる。位相がずれた二つのパルス信号を出力して回転方向を判別できる 2 相インクリメンタル型ロータリエンコーダもある。

アブソリュート型の原理は、数ビットのデジタル信号を使い、回転軸の位置に応じたパターンの信号が出力される（例えば 8 ビットの場合、0deg で LLLLLLLL、約 1.4deg で LLLLLLLH、270deg で HLLLLLLL が出力される）。

##### 2) ポテンショメータ

回転軸があり、軸が回転すると出力の抵抗の値が変化する可変抵抗器である。抵抗の両端に電圧をか

けることにより、アナログ電圧信号を取り出すことができる。通常、シャフトの回転範囲は決められている（例えば 0～300deg）。シャフトの回転摩擦抵抗が小さく、小さなトルクで回転させることができる。

#### 4.2.5 入力機器の接続

入力機器の出力仕様と制御機器の入力仕様が合っていないと制御機器は入力機器の出力信号を入力することができない。信号を適切に入出力するためには入力機器からの出力信号を変換する必要がある。ここでは二値信号の信号変換について説明する。一般的に、入力機器から出力される二値信号として先に挙げた3種類があり、制御機器の入力仕様として電圧入力や、フォトカプラを使った電流入力（一般的な表現ではない。フォトカプラを ON/OFF させる信号の入力）がある。また、電圧入力も電圧レベルが異なることがある。

##### 1) プルアップ回路

プルアップ回路は電流を ON/OFF する接点出力を電圧の H/L 信号に変換する回路である。他にプルダウン回路があるが、プルアップ回路が一般的に使われる。スイッチが ON になると電圧信号は L、OFF になると H になる。電圧入力であるマイコンやデジタル IC との接続などで使われる。NPN 型トランジスタを使ったオープンコレクタ出力でもエミッタ接地回路でプルアップ回路を組むことにより電圧信号に変換することができる。

##### 2) 電圧変換回路（レベルシフター）

電圧の H/L 信号の電圧レベルを別の電圧に変換する回路。トランジスタを使ったエミッタ接地回路でプルアップ回路を組む。入力電圧が H のときは出力電圧は L なり、L のときは H になる（反転する）。

##### 3) エミッタ接地回路

電圧信号を電流の ON/OFF 信号に変換するのにトランジスタのエミッタ接地回路が使われる。この回路により電圧信号を電流入力（入力回路で使われるフォトカプラ（LED）の ON/OFF）に入力することができる。なお、LED の電源電圧と出力電圧が等しいときは、直接接続することもできる。

### 4.3 制御機器

制御機器は、制御装置の動作を決定する制御装置の中心的役割であり、その働きは、入力機器から様々な信号を入力し、入力信号に応じた出力信号を作成し（信号を変換し）、出力機器に信号を出力するものである。

制御方式として二値制御と連続制御があり、二値制御で扱う信号は電流の ON/OFF 信号、電圧の H/L 信号などの二値信号、連続制御では DC0～5V、4～20mA などのアナログ信号である。二値制御は簡単ではあるが細かな制御（微調整）が困難であり、逆に連続制御は細かな制御が可能であるが、制御は困難ではある。

二値制御はリレーを使ったシーケンス制御が基本で、実際はリレー回路をコンピュータで置き換える PLC が使われる。連続制御では電子部品を使ってアナログ信号を別の信号に変換する電子回路を組むものであるが、現在はアナログ信号をデジタル信号に変換しコンピュータを使って制御するのがほとんどである。

二値制御で使われるリレーは、リレーコイル（電磁石）と複数のリレースイッチを組み合わせた制御機器で（詳細は後述）、このスイッチを組み合わせて制御回路を組むものである。ここで組まれる回路として、ON 回路、NOT 回路、AND 回路、OR 回路、およびこれらを組み合わせた組み合わせ回路がある。

連続制御には現在ではほとんどがコンピュータが使われる。（昔はアナログ IC（オペアンプ）などを使ってアナログ信号を変換していた。信号の変換速度は速いが、回路の変更や安定性などで問題があるため、現在はあまり使われていない。）入力機器から出力されるアナログ信号をデジタル信号に変換し（A/D 変換）、そのデジタル信号をコンピュータに入力してコンピュータのプログラムで別のデジタル信号に変換する。変換されたデジタル信号をアナログ信号に変換し（D/A 変換）、その信号で出力機器を操作する。実際にはコンピュータから高速のパルス信号を出力し、出力機器を連続的に制御している（PWM 制御）。

コンピュータを使った制御機器として PLC、マイコン、パソコンなどがあり、PLC は一般的な自動化装置で、マイコンは規模の小さな自動化機器で、パソコンは自動計測やデータ処理が必要なところで使われることが多い。

#### 4.3.1 リレー

##### 1) リレー

シーケンス制御で使われる最も基本的な制御機器。リレーコイル（電磁石）とリレースイッチを組み合わせた構造で、リレーコイルが動作するとリレースイッチが動作する。リレースイッチは複数の c 接点スイッチからなり、これらの接点で簡単な制御回路を組む。リレーの用途として、接点数を増やす、接点の動作を変える（a 接点→b 接点）、小さな電力で大きな電力を駆動する（DC5V の信号で AC100V を駆動）、簡単な制御回路を組む（自己保持回路、インターロック回路）、電気信号を切り離す、などがある。

##### 2) タイマ

タイマコイルを動作させると時間差（設定時間）でタイマスイッチが動作する。コイルが動作してから一定時間経過後にスイッチが動作するオンディレイタイマや、コイルが復帰してから一定時間経過後にスイッチが復帰するオフディレイタイマなどがある。

##### 3) カウンタ

カウンタコイルが動作した回数を計数し、設定回数動作したらカウンタスイッチが動作する。リセット信号が入力されるとスイッチは復帰し、計数値はリセットされる。

#### 4.3.2 PLC

リレーの制御回路をコンピュータに置き換えたもので、自動化機器の中心的な制御機器である。製造現場用に作られた制御用マイコンで、防塵対策、ノイズ対策など、対環境性対策などが施されている。シーケンサ（商品名）とも呼ばれる。

中身はマイコンで、PLC に入力機器および出力機器を接続し、入力機器からの信号に応じてプログラムで出力機器を動作させる信号を作り、出力機器を動作させる。内部に仮想のリレーやタイマ、カウ

ンタが多くあり、これらの制御要素を組み合わせることで制御回路を組む。

専用のプログラム言語を持ち、リレー制御回路に似た LD 言語（ラダー図）やコンピュータのフローチャートに似た SFC 言語などがある。

基本的には二値制御（シーケンス制御）用の制御機器であるが、連続制御（フィードバック制御）にも用いることができる。

#### 4.3.3 パソコン

基本的には事務処理用のコンピュータであるが、外部機器を接続するインターフェイスを取り付けることにより制御用として用いることができる。インターフェイスとして二値信号（ON/OFF 信号、電圧の H/L 信号）の入出力、アナログ信号の入出力、汎用通信インターフェイスなどがある。

入出力信号は使用するインターフェイスによって異なるが、一般的には入力には電流入力や電圧入力、出力は接点出力やオープンコレクタ出力（接点出力）が使われる。

プログラムは C 言語や Basic 言語、最近では Python を使って組むことができる。

#### 4.3.4 マイコン

規模の小さな自動化装置の制御で使われる。指先サイズのワンチップマイコンや手のひらサイズのワンボードマイコンなどがある。基本的に二値信号（電圧の H/L 信号）を入出力する。入出力端子が直接コンピュータとつながっている（信号の絶縁がされていない）ので、電気ノイズに対して弱い。プログラムは基本的に C 言語で組まれる。

#### 4.3.5 その他

その他の制御機器として、PLD やアナログ IC（オペアンプ）などがあるが、基礎的な機械制御の範囲を超えるのでここでは省略する。

デジタル IC は、一つの IC の中に AND 回路、OR 回路、NOT 回路などが組み込まれており、これらの IC を組み合わせることでシーケンス制御回路を組むことができる（無接点シーケンス制御）。安価ではあるが労力を考えるとマイコンで制御プログラムを組むほうが容易である。

### 4.4 インターフェイス回路（信号変換回路、駆動回路）

入力機器の出力仕様と制御機器の入力仕様、制御機器の出力仕様と出力機器の駆動回路の仕様を合わせておかないと正常な信号のやり取りができない。それを行うためにインターフェイス回路が必要となる。

前述したように、入力機器と制御機器を接続する入力インターフェイス回路として、プルアップ回路、レベルシフタ、A/D 変換回路が使われる。

制御機器に出力機器を接続して駆動する場合、直接駆動する方法と駆動部品を使って駆動回路を組む方法がある。制御機器の出力仕様として、電圧出力、オープンコレクタ出力、接点出力がある。電圧出力は IC からの出力がそのまま出力されるもので、LED を点灯させるくらいしかできない。それ以外の出力機器の駆動ではトランジスタを使って駆動、もしくはトランジスタを使ってリレーを駆動し、そのリレーで出力機器を駆動する。制御機器の出力仕様がオープンコレクタ出力の場合、直流出力機器を直接駆動することができる。出力機器の定格がオープンコレクタ出力の許容範囲を超えていればリレーもしくは駆動用のトランジスタを使って出力機器を駆動する。制御機器の出力仕様が接点出力

の場合、そのまま出力機器を駆動するか、許容範囲を超えていればリレーもしくはトランジスタを使って出力機器を駆動する。

自動化機器としてはここまで