

生産システムにおける制御は、システム化された機械設備を生産目的に適合するように自動的に操作し、システム全体の管理・制御を行うものである。

5

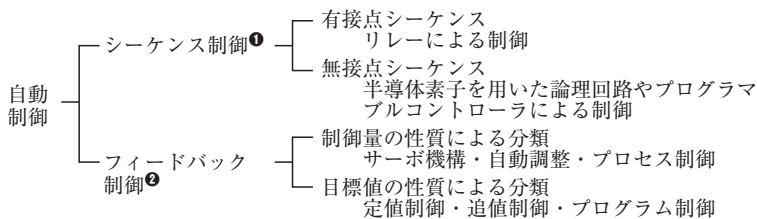
1 制御とは

機械系の生産システムにおいて、工場全体を自動化することがむずかしい場合は、NC工作機械や産業用ロボットなどを、可能な範囲で組み合わせて自動化し、管理・制御を行う。

10

化学系の生産システムにおける高温・高圧力などのきびしい環境のもとでは、安全性の面からも遠隔からの監視や制御による全体の自動化が必要になる。これらの制御は、制御の内容や目的などによって、表1のように分類される。

表1 自動制御の分類



① sequential control
p.160 参照。

② p.167 参照。

2 制御に用いる機器

15

生産システムにおける制御の構成例(図1)のように、生産システムの制御に用いられる入力装置は、コンピュータに情報を取り込む

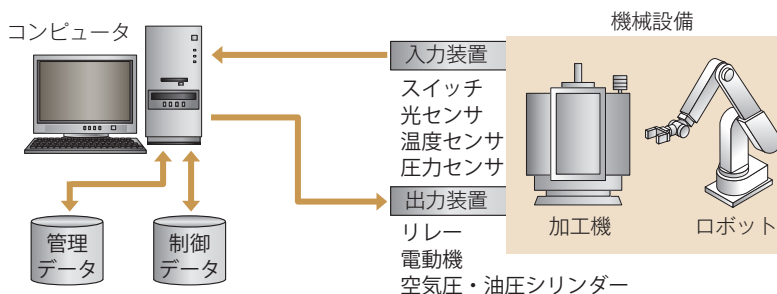


図1 生産システムにおける制御の構成例

① sensor

② actuator

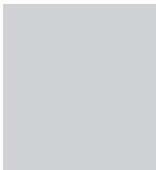


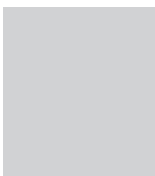


③ 人間の視覚・聴覚・嗅覚・触覚・味覚の五種の感覚をいう。

装置で、情報を収集する**センサ**^①や、人間が操作するスイッチなどの電子部品である。出力装置は、コンピュータからの信号で動作する装置であり、機械や装置を駆動する**アクチュエータ**^②と、人間に情報を伝える表示装置などがある。

人間が機械を操作する場合、視覚や聴覚などの五感^③を使って情報を収集している。自動操作の場合は、人間の感覚に代わるものがセンサである。表2に代表的なセンサを示す。

5

表2 代表的なセンサ

センサ名	外観	概要	センサ名	外観	概要
光電センサ		発光素子と受光素子で構成され、光の性質を利用して対象物の有無や状態を検出するセンサ。	圧力センサ		圧力によるひずみを電気信号に変換して、対象物の状態を検出するセンサ。
近接センサ		対象物に接触することなく対象物の有無や状態を検出するセンサ。	流量センサ		液体や気体の流れを電気信号に変換し、対象物の有無や状態を検出するセンサ。
超音波センサ		対象物に超音波を発振し、その反射の波を受けて対象物の有無や状態を検出するセンサ。	温度センサ		温度を検出するセンサ。

アクチュエータは、電気や流体などのエネルギーを機械的な運動に変換する機器であり、表3のようなものがある。

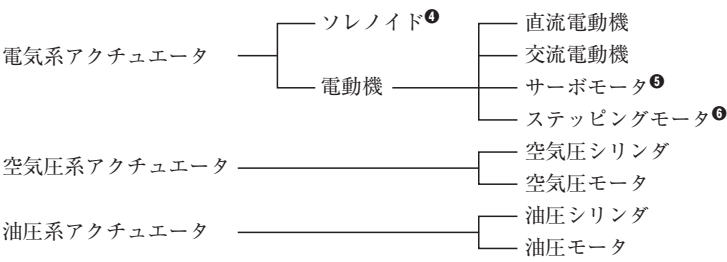
表3 おもなアクチュエータ

④ solenoid

電磁石の吸引力を利用したアクチュエータで、コイルの中の可動鉄心が直線運動をする。

⑤ servomotor

⑥ stepping motor



1 センサ

表2に示すように、センサは、光や磁気、音、ひずみなどを検出して電気信号に変換する素子である。ここでは、生産工場や化学工場で多く利

10

用されている、**光電センサ**^①と圧力センサについて学ぶ。

① photoelectric sensor

(a) **光電センサ** 光を出す発光素子と、光を受けて電気信号に変換する受光素子とで構成される。光電センサには、発光素子の光が物体に反射して、受光素子に入射すると信号が発生する**反射型**(図2(a))と、発光素子と受光素子を対面させて置き、物体が光軸をさ

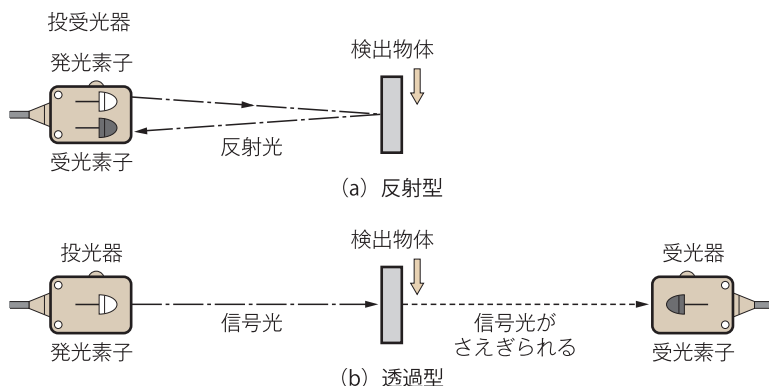


図2 光電センサの例

(b) **圧力センサ** 圧力の測定は、圧力による測定子のひずみを検出し、それを電気信号に変換するものである。ひずみゲージは、ひずみ変形を電気抵抗の

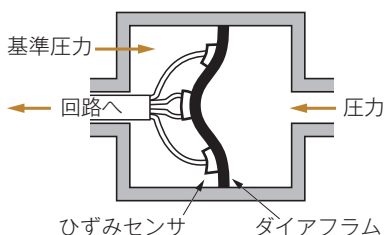


図3 圧力センサの例

増幅回路で電気信号に変換する素子である。図3のように安価で取り扱いやすい半導体ひずみセンサをダイアフラム隔膜に張りつけ、圧力によるひずみを直接測定する方法が多く用いられている。

2 アクチュエータ

アクチュエータには、コンピュータからの電気信号を機械的な運動に変換する

ソレノイドや電動機などと、空気圧や油圧など圧力のエネルギーを機械的運動に変換するシリンダ^②やモータがある。ここでは、工作機械で多く利用されているサーボモータとシリンダについて学ぶ。

(a) **サーボモータ** サーボモータ(図4)は、回転速度^③や回転量^④などを制御するために、**サーボ機構**^⑤に組み込む電動機である。電源によって直流サーボモータと交流サーボモータに分けられ、用途によって使い分けられる。

② cylinder

③ 1秒間の回転数は $[s^{-1}]$, 1分間の回転数は $[min^{-1}]$ で表わされる。

④ 回転した量をいい、移動量を制御する場合、電動機や送り軸の回転量を制御することが多い。

⑤ servomechanism



図4 サーボモータの外観例

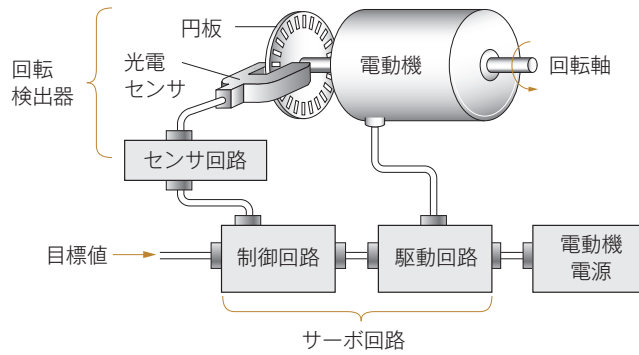


図5 サーボ機構

サーボ機構は、回転検出器・制御回路・駆動回路などで構成される(図5)。

動作原理は次のとおりである。

- ① 制御回路に回転量などの目標値を入れる。
- ② 電動機を回転させ、回転検出器が回転量や回転速度を検出し、そのデータを制御回路に転送する。
- ③ 制御回路では、目標値と比較し、その差をなくすための操作信号を駆動回路に送る。

① rotary encoder

電動機の回転を検出する回転検出器をロータリエンコーダ^①という。

図6は、ロータリエンコーダの原理図である。円周に細い溝(スリット)のある回転板を電動機の回転軸に取り付け、その溝を通過した光を光電センサで検出し、スリットの有無を1, 0のデジタル信号に変換する。電

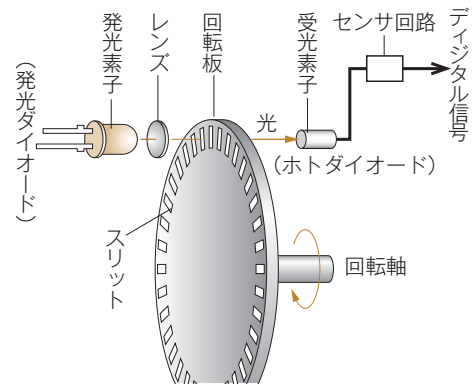


図6 ロータリエンコーダの原理図

動機が回転すると、連続した1, 0の信号(パルス信号)が得られる。

たとえば、回転板の一周に200のスリットがあるとする、電動機が1回転するごとに200パルスのパルス信号^②が発生する。1パルスは $360/200 = 1.8^\circ$ の回転を表すことになる。

② pulse signal

(b) シリンダ 圧縮性がある空気を利用した空気圧シリンダやモータは、柔らかい動作などに用いられ、圧縮性の少ない油を利用した油圧シリンダやモータは、強い力が必要な動作に用いられる。

シリンダは、シリンダチューブとピストンなどで構成され(図7)、ピストンの先に動かしたいものを取りつけて直線運動をさせる。流体の出入口をポート^①といい、ポートAから圧力流体がはいると、ピストンが押されて右方向に移動し、ポートBから流体が排出される。逆に、ポートBから圧力流体がはいると、左方向に移動する。

ピストンの力 F [N]は、流体の圧力 P [MPa]とそれを受けるピストンの面積 S [mm²]との積になる。

$$F = P \times S \quad (1)$$

ピストンの移動速度は、流出する流体などの流量を調整して行う。

シリンダなどの動作を操作するために流れの方向を制御する弁を方向電磁弁^②という。基本的には本体とスプール(弁)で構成される(図8)。スプールはソレノイド(電磁石)で動かし、電気で弁を自動操作する。ソレノイドで操作する弁を電磁弁といい、ソレノイドの駆動用電源としては、一般に小形で使用圧力が比較的低いものには直流が用いられ、使用圧力が高いものには交流が用いられる。



(a) シリンダの外観例

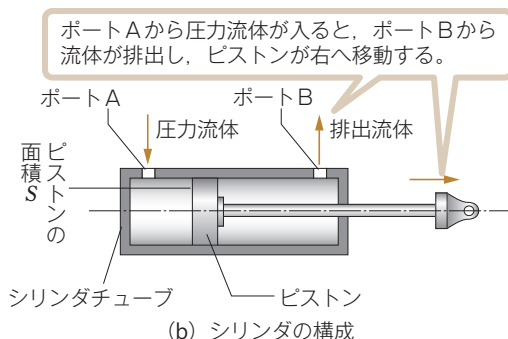


図7 シリンダの例

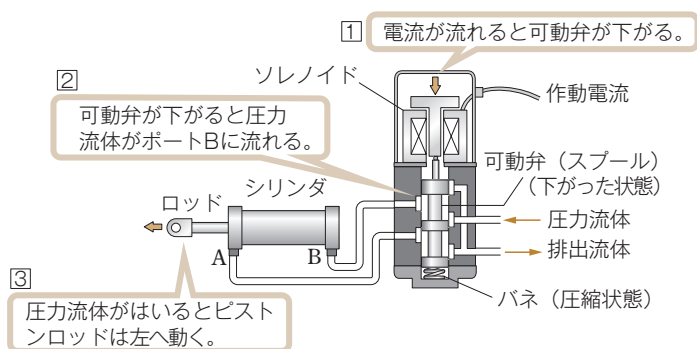


図8 シリンダの駆動機構

問 1 円周に400のスリットのある回転板をもつロータリエンコーダから毎分 16×10^5 のパルスが発生している場合、毎分何回転しているか。

問 2 直径50mmのピストンに880Nの力を加えたときのシリンダ内の圧力 P [kPa]はいくらか。

3 シーケンス制御

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、各操作を順次進める制御である。たとえば、図9に示すように交通信号機は青・黄・赤のランプを定められた順序と時間に従って点滅を繰り返し、交差点内の車の有無にかかわらず続けられる。

5

このようなシーケンス制御は、リレーを用いた有接点シーケンス制御回路でも、半導体素子を用いた無接点シーケンス制御回路でも実現でき、プログラマブルコントローラが多く用いられている。有接点シーケンス制御は、機械的接点を開閉し、電流を流して制御用機器や出力機器を駆動させる制御である。

10

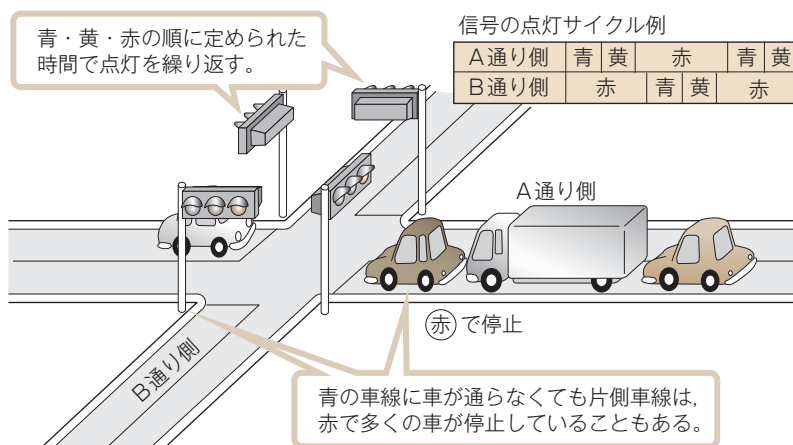


図9 交通信号機制御の例

1 シーケンス制御の機器

接点を開閉させる制御用機器には、電磁リレー^①やタイマ^②がある。

- ① 電磁継電器ともいう。
- ② timer

(a) 電磁リレー 電磁リレーは、電磁石と接点で構成され、電磁石のコイルに電流を流して接点を駆動させる。接点を駆動する方式には、図10のようなヒンジ形^③とプランジャ形^④があり、接点容量^⑤が小さい場合はヒンジ形、大きいものにはプランジャ形が用いられる。図11にヒンジ形電磁リレーの回路の例を示す。

15

- ③ hinged armature relay
 - ④ plunger relay
 - ⑤ contact capacity
- 接点が閉じたときに流すことができる許容電流。

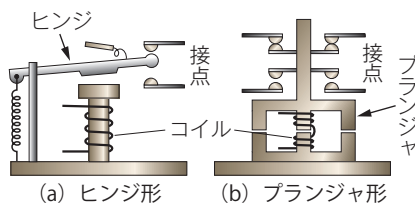
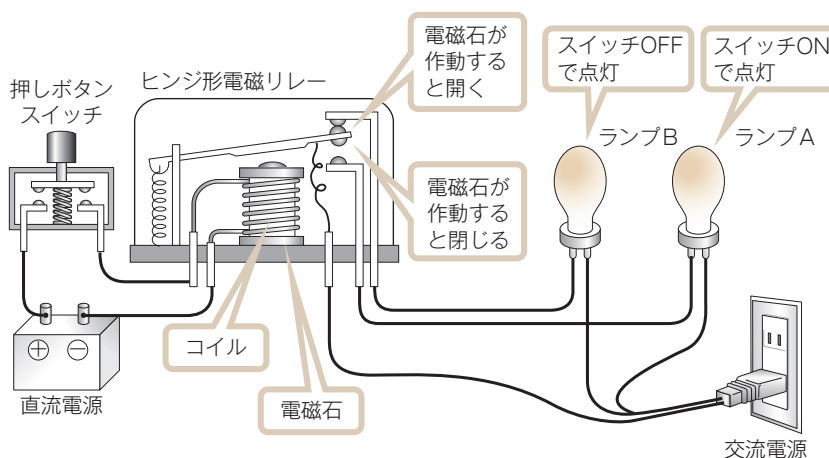


図10 電磁リレーの例



動作の説明
 ① 初期状態では、a 接点に接続しているランプ A は消灯し、b 接点に接続しているランプ B は点灯している。
 ② 押しボタンスイッチを押すと、電磁石のコイルに電流が流れ、接点が作動する。
 ③ 接点 が 作 動 すると、a 接点 は 閉 じ ランプ A に電流が流れ点灯する。b 接点 は 開 き、点灯していたランプ B が消灯する。
 ④ 押しボタンスイッチを放すと電磁リレーとランプは初期の状態に戻る。

図 11 ヒンジ形電磁リレーの回路例

(b) タイマ タイマは、タイマ回路と接点で構成され、設定された時間に接点を開閉する機器である。表 4 にタイマの種類と動作、使用例を示す。

表 4 タイマの種類と動作

機種	限時動作タイマ (オンディレイタイマ ^①)	限時復帰動作タイマ (オフディレイタイマ ^②)	
動作	タイマに電流が流れると、設定時間後に接点 が 作 動 し、タイマの電流が切れると接点は初期状態に戻る。	タイマに電流が流れると、接点 が 作 動 し、タイマの電流が切れてから設定時間後に接点が初期状態に戻る。	
タイムチャート			

2 シーケンス図

制御内容を結線図にしたものをシーケンス図^③(展開接続図^④)といい、横がき

シーケンス図と縦がきシーケンス図がある。

(a) 図記号 シーケンス図で用いるおもな機器の図記号を表 5 に示す。

- ① on-delay timer
- ② off-delay timer
- ③ sequence diagram
- ④ elementary wiring diagram

表5 おもな機器の図記号

	接点	押しボタン スイッチ	リミット スイッチ	タイマ接点 限時動作	タイマ接点 限時復帰	電磁リレー タイマ	ランプ	接続	
a 接点								T接続	2重接続
b 接点									

(b) シーケンス図 横がきシーケンス図(図12(a))の両側の縦線を制御母線といい、その間に接点と機器を並べ、横がきの接続線で結ぶ。電流は左から右へ流れ、接点の開閉で機器が駆動する。制御は基本的に上から下へと順に行われる。

縦がきシーケンス図(図(b))の接続線は縦がきで、上下の横線を制御母線とする。電流は上から下へ、制御は左から右へと順に行われる。

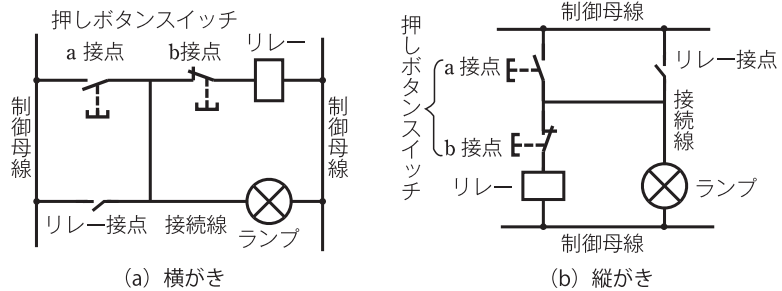


図12 シーケンス図

(c) おもな基本回路 ここではシーケンス制御の基本となるOR回路、AND回路、自己保持回路、遅延動作回路について学ぶ。

●OR回路 図13のような複数の接点のうち、一つ以上がONのとき出力する回路。S₁かS₂かどちらかのスイッチを押せばランプLが点灯する。

●AND回路 図14のように複数の接点のすべてがONのとき、出力する回路。S₁かS₂の両方のスイッチを押さないとランプLが点灯しない。

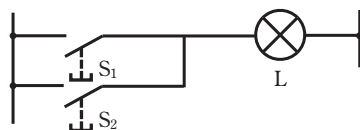


図13 OR回路

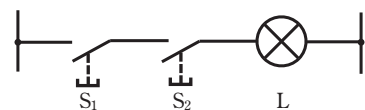


図14 AND回路

●自己保持回路 押しボタンスイッチなどの復帰機能がある接点

は、押すと接点が作動し、離すと接点が初期状態に復帰する。

ランプを点灯させる場合、スイッチを押したままでないとランプは点灯を続けないが、1回の入力で動作を保持させたい場合は、図15のような自己保持回路を用いる。この回路の動作原理は、次の

5 ようである。

① 押しボタンスイッチPB₁ (a接点) を押すと、リレーRのコイルに電流が流れる。

② リレーRが作動すると、リレーRのa接点r₁とr₂が閉じ、接点r₁を通った電流はリレーR

に流れる。そのとき、押しボタンスイッチPB₁を離してもリレーRの動作を保持する。これを**自己保持**という。

③ リレーRの接点r₂が閉じているので、ランプLが点灯する。

④ 押しボタンスイッチPB₂ (b接点) を押すと、リレーRに流れる電流が止まり、接点r₁とr₂が開き、ランプは消灯し、回路が初期状態に戻る。

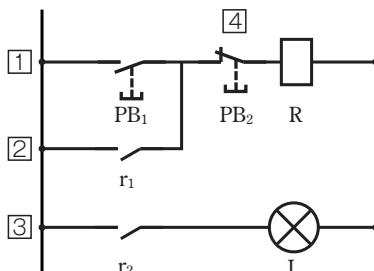


図15 自己保持回路

● **遅延動作回路** 押しボタンスイッチを動作させてから、設定された時間遅らせて機器を動作させることを**遅延動作**という。図16は、限時動作タイマを使って、ランプを一定時間点灯させる遅延動作回路である。

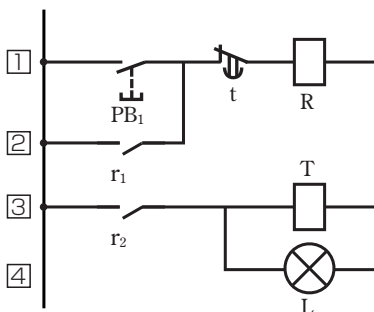


図16 遅延動作回路

この回路の動作原理は、次のようである。

① 押しボタンスイッチPB₁ (a接点) を押すと、リレーRのコイルに電流が流れ、リレーRのa接点r₁とr₂が閉じる。

② 接点r₁はリレーRを自己保持の状態にする。

③ 接点r₂が閉じたので、ランプLとタイマTに電流が流れ、ランプLが点灯し、タイマTが作動する。

④ タイマTが設定時間になると、タイマ接点 (b接点) が開き、リレーRに流れる電流が止まると、a接点r₁とr₂が開いてタイマTの作動が止まり、ランプLが消灯して、回路が初期状態に戻る。

① p.182参照。

3 プログラマブルコントローラ

生産システムに多く使用されているプログラマブルコントローラ (PC^①) は、

シーケンス制御用のコントローラである。内蔵したマイクロコンピュータ (以下マイコンという) にシーケンス制御用のソフトウェアを搭載し、制御プログラムを入力することで制御内容を設定することができる。

② program consol

データやプログラムを入力するハンディタイプの操作盤。

(a) PCの構成 図17は、PCの構成例である。PCはマイコンまたはマイクロプロセッサと、インタフェースで構成される。インタフェースの入出力端子はねじ止めタイプで、センサ類などの入力機器やアクチュエータなどの出力機器がコードで接続される。また、入出力機器の電源は、それぞれの機器に応じて用意する。制御プログラムはプログラムコンソール^②やパソコンなどを用いて入力される。

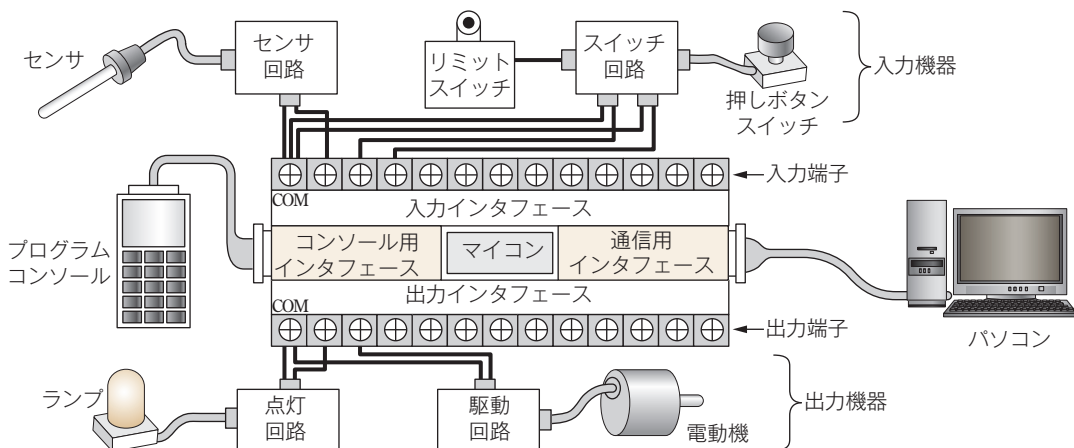


図17 PCの構成例

③ ladder chart

ラダーとは梯子^{はしご}のことで、横形シーケンス図が梯子のように見えるので、そのようによばれている。

④ flow chart

(b) PCのプログラム PCのプログラムは、シーケンス図をもとにつくるラダーチャート^③方式 (図18) と、制御の流れ図をもとにつくるフローチャート^④方式がある。なお、PCの機種などにより、プログラムやそのつくり方が異なるが、基本的な考え方に大きな違いはない。

①入力端子番号 スイッチやセンサなどの入力機器を接続する場合、入力端子番号をラダーチャートの接点番号とする。

例：0000番台

②出力端子番号 ランプや電動機などの出力機器を接続する場合、出力端子番号をラダーチャートの機器番号とする。

例：500番台

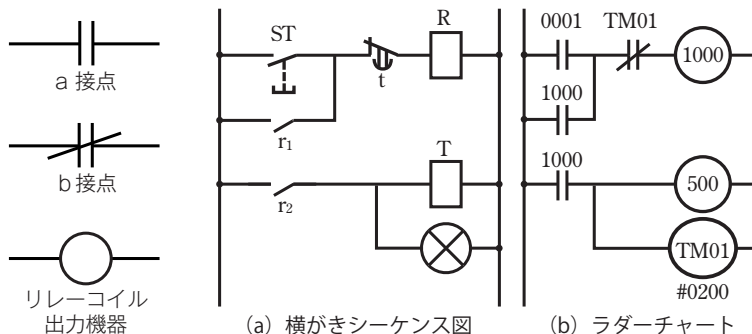


図 18 ラダーチャートの図記号

図 19 シーケンス図とラダーチャート

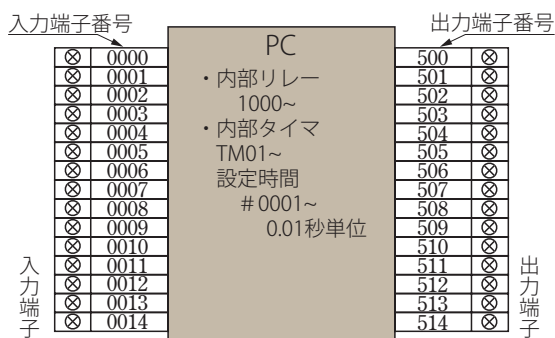


図 20 PCの端子番号の例

③内部リレー番号 プログラム上の制御リレーで指定された番号を用い、接点にも同じ番号を用いる。

例：1000番台

④内部タイマ番号 プログラム上の限時動作タイマで指定された番号を用いる。タイマ指定の場合には時間も指定し、接点も同じ番号を用いる。

例：TM01～(タイマ指定)

#0200(時間指定、小数点をつけず0.01秒の単位で示す。

この場合は、 $0.01 \times 200 = 2$ 秒)

⑤その他の指定 PCの機種により、カウンタ^①機能・比較^②機能・演算^③機能などの制御に必要な機能が備えられている。

(c) プログラミング 表 6 に、PC プログラムで用いるおもな命令語を示す。また、表 7 は図 21 に示す限時動作のラダーチャートを、PC プログラムで表したものである。

①機器の接続 図 21 のように、スイッチの一方の端子を PC の入力端子 (0001) に接続し、他方の端子を電源のプラス側に接続する。

① counter

入力された高、低のパルス信号を数える。

② comparison

二つのデータを比較し結果を出力する。

③ operation

二つのデータの加算・減算などを行う。

表6 おもな命令語

命令語	読み方	命令の意味
LD	ロード	制御母線と直接接続されている接点の定義。
OR	オア	LD 命令で定義された接点に並列に接続されたa接点を定義。
AND	アンド	LD 命令で定義された接点に直列に接続されたa接点を定義。
AND・NOT	アンド・ノット	LD 命令で定義された接点に直列に接続されたb接点を定義。
OR・NOT	オア・ノット	LD 命令で定義された接点に並列に接続されたb接点を定義。
OUT	アウト	内部リレーまたは、外部機器を接続した端子を定義。
TIM	タイム	内部タイマの定義。設定時間を # をつけて次の行に定義。
END	エンド	プログラムの終了を定義。

表7 PCプログラム

アドレス	命令	データ
0001	LD	0001
0002	OR	1001
0003	AND・NOT	TIM01
0004	OUT	1001
0005	LD	1001
0006	OUT	500
0007	TIM	01
		# 0500
0008	END	

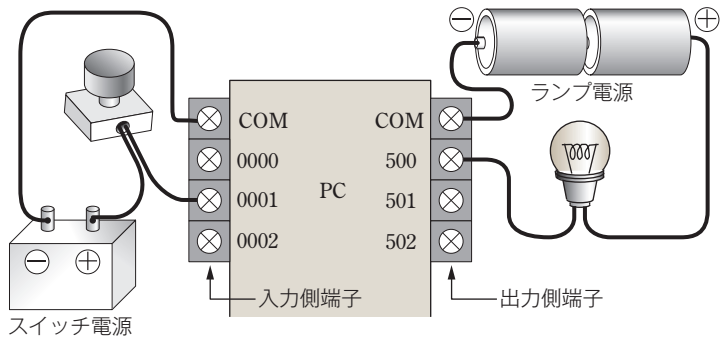


図21 機器の接続例

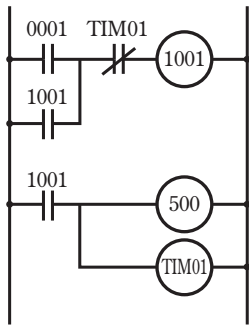


図22 ラダーチャート

また、ランプの一方の端子をPCの出力端子(500)に接続し、他方の端子は電源側に接続する。

それぞれの電源のマイナス端子は、COM端子に接続する。

②動作の説明 スイッチを押すと、入力端子0001に信号がはいる。すると500に接続されているランプが5秒間点灯し、その後消灯して初期状態に戻る。

③プログラムの解説(表7)

アドレス0001: 制御母線に直接接続されている接点0001は、LD命令、データ欄に接点の番号0001を記入する。

アドレス0002: LD命令の接点0001と並列に接続されている接点1001は、OR命令、データ欄に接点の番号1001を記入する。

アドレス0003: LD命令の接点0001と直列に接続されているb接点のTIM01は、AND・NOT命令、データ欄に接点の番号TIM01を記入する。TIM01は、タイマの接点を表す。

アドレス 0004：OUT 命令で内部リレー 1001 を設定する。

アドレス 0005：内部リレー接点 1001 を LD 命令。

アドレス 0006：OUT 命令で出力端子 500 を設定，接続されているランプの点滅を行う。

- 5 アドレス 0007：TIM 命令で内部タイマ 01 を設定し，5 秒（# 0500）をセットする。

アドレス 0008：プログラムを終了する。

4 フィードバック制御

室内冷房の場合，室内の温度を測定しながら**目標値^①**（設定温度）に近づけるように冷房装置を制御している。このように，制御された結果を測定し，目標値と比較しながら制御する方法を**フィードバック制御^②**という。

1 フィードバック制御の構成

フィードバック制御は，図 23 のように，検出部・比較部・制御部・制御対象で構成される。比較部は，入力された目標値（設定温度）と，検出部で検出された検出量（検出温度）を比較し，必要な操作量を出力して**制御対象^③**（冷房装置）を操作し，適切な**制御量^④**（室内の温度）とする。フィードバック制御には，目標値の性質による分類と制御量の種類による分類がある。

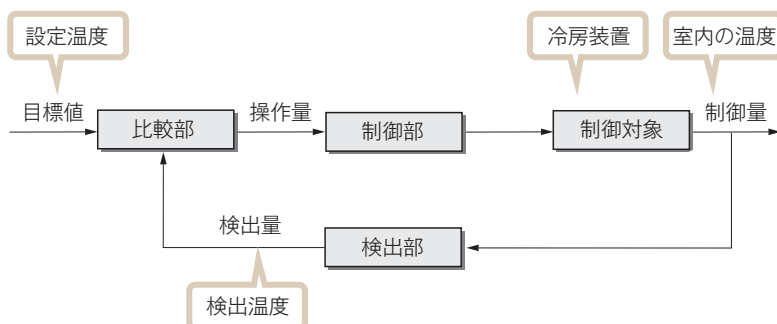


図 23 フィードバック制御の構成図

(a) 目標値の性質による分類 目標値の性質による分類には，目標値が一定で変化しない**定値制御^⑤**と，目標値が変化する**追従制御^⑥**がある。

● **定値制御** 一定の目標値に一致させる制御で，水槽の水位を一定に保つ制御や，室内の温度を一定に保つ制御などである。

① desired value

② feedback control

③ controlled object

④ controlled variable

⑤ fixed command control

⑥ follow-up control

● **追従制御** 変化する目標値に合わせる制御である。追従制御は、自動車のハンドルの回転に合わせて前輪を旋回させるような時間的に不規則に変化する目標値に合わせた制御である。また、このほかに**プログラム制御**^①がある。これは図24に示すように、前もってプログラムされた時間ごとの温度になるようにする制御である。

5

① program control

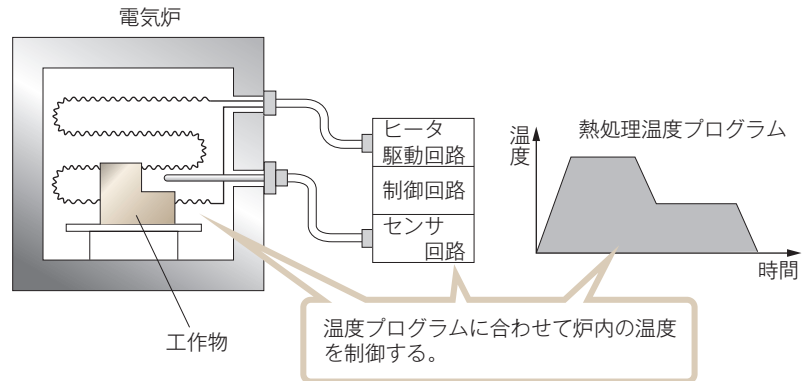


図24 プログラム制御の例

(b) **制御量の種類による分類** おもに機械系で使われている量を制御するサーボ制御と、化学系で使われている量を制御するプロセス制御に分けられる。

② servo control

● **サーボ制御**^② 制御量が回転速度・位置・方向・姿勢などで、目標値の変化に追従する制御である。

10

③ process control

● **プロセス制御**^③ 制御量が温度・圧力・流量・濃度などで、化学工場などの生産工程において用いられている制御である。

問 3 次の各問について答えよ。

- (1) シーケンス制御の種類をあげよ。
- (2) フィードバック制御の種類をあげよ。
- (3) 自己保持回路の動作を説明せよ。
- (4) 定値制御の例をあげよ。
- (5) 追従制御の例をあげよ。

15

問 4 図24で示されたプログラム制御の例について、熱処理プログラムのグラフにあった温度制御を電気炉のヒータ駆動回路のON, OFFを用いて説明せよ。

20

温度管理システム

このシステムでは、機器の故障などを監視しながら、冷凍機庫内の温度管理を行う。庫内の温度制御を正確に行うため、庫内に保存される製品の品質を、長期間にわたり安定して保つことが可能になる。図25の制御システムの構成を①～⑤に示す。図26には、総合監視制御のフローチャートの例を示す。

- ①庫内の温度を測定してモニターに表示する。 → 検出部
- ②庫内の設定温度（目標値）と冷水や冷却水の温度を比較する。 → 比較部
- ③その結果から冷却用コンプレッサの操作をする。 → 制御部
- ④冷却装置を作動し（負荷電流や機器の故障チェック）、庫内の温度を制御する。
- ⑤制御量（庫内の温度）を①の検出部に送る。 → フィードバック

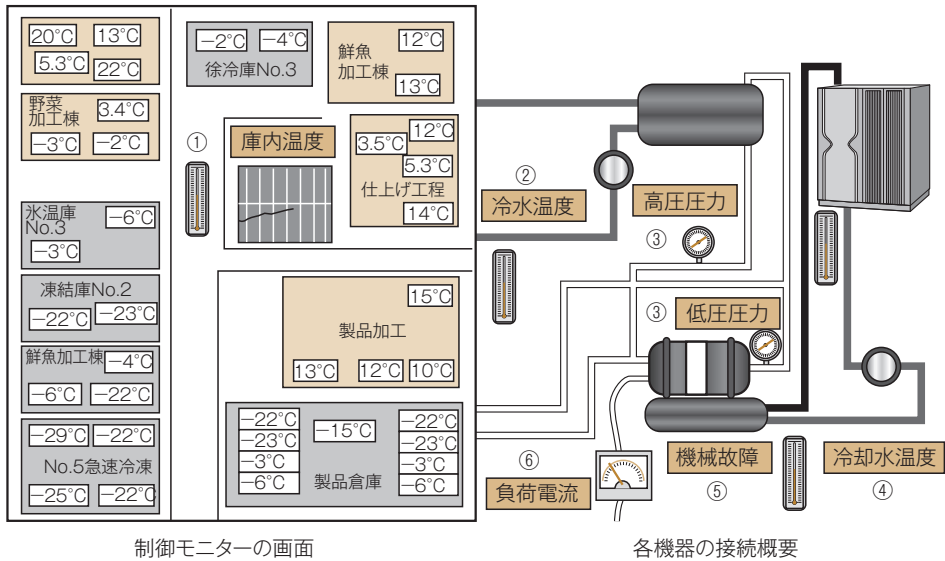
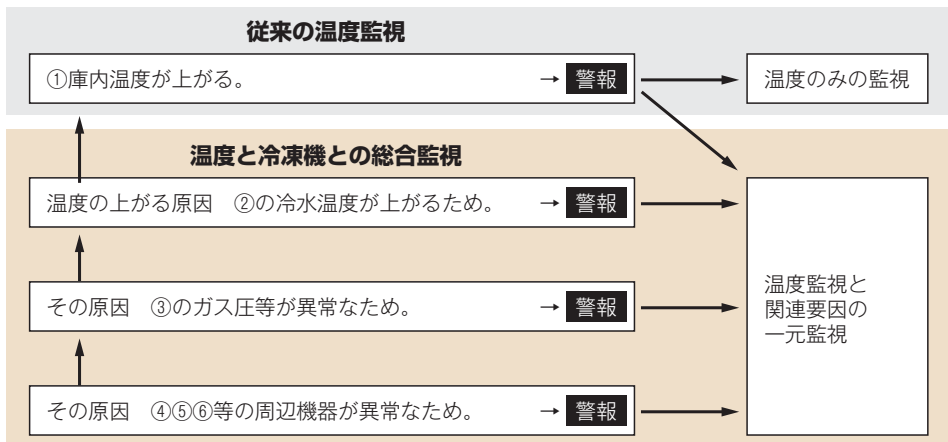


図25 冷凍機の制御システムの例



温度が上がる原因となる周辺機器の故障状況を監視することにより、庫内の温度が設定温度よりも上昇する前に警告が鳴り、庫内の温度を設定内に保つことができる。

図26 冷凍機の総合監視制御の例