

計測制御技術

1

1. 自動計測・制御システム

2

1.1 計測概要

3

1) 測定とは

計測とは、「特定の目的をもって、事物を量的にとらえるための方法・手段を考究し、実施し、その結果を用い所期の目的を達成させること。」（JISの定義）

測定とは、「ある量を、基準として用いる量と比較し数値又は符号を用いて表すこと。」（JISの定義）

一般的には同じ意味として使われるが、専門的には計測の方が範囲は広い（測定は計測の一部）。

この授業では、主に測定について説明する
また、用語については一般的に使われる用語を使う
例えば、「デジタル計測器」など

4

測定の種類

測定には、対象物の長さ、質量、時間、などの値を直接求める「直接測定」と、速度や運動エネルギーのように複数の測定量から関係式を使って計算で求める「間接測定」がある。

* 大きさが既知のものと比較して測定する比較測定のことを間接測定と呼ぶこともある（ブロックゲージなど）

測定器には、定規のように「長さ」を直接するものや、電子計測器のように「長さ」を電気信号に変換し、内部のマイコンで計算し、その結果を数値で表示するものなどがある。厳密には電子計測器は間接測定になるが、「長さ」が数値として得られるので、直接測定とみなされる。

*重さを測定するばねばかりなども、厳密には間接測定になる
重さ=変位×ばね定数 より、計算で重さを測定する

5

測定値

測定する量は、連続した値をとる（連続量、アナログ量）

一方、測定が目盛りは一定間隔ごとにとられており、測定結果は連続的にはならず、離散的になる（離散量、デジタル量）

また、最近ではデジタル式の測定器が多く、実際の測定結果は離散量（デジタル量）となる。

測定結果がデジタル量であっても、分解能が十分小さいときは、アナログ量とみなして測定している。

*分解能：装置などで対象を測定または識別できる能力。
最小変化量。

6

誤差

測定値には誤差が含まれており、一般的に真の値を知ることが不可能。しかし、真の値を推測することはできる。

例えば体重測定の場合、
1台の体重計の誤差・・・複数回測定したときのばらつき
劣化による体重計の狂い
たまたま生じた誤差・・・食べ過ぎによる体重の増加
読み取り誤差・・・1回の測定での人的誤差
測定者が異なる、測定者の感覚
などなど

繰り返し測定することにより、本当の体重を類推することは可能

7

誤差の種類

ばらつき

一つの測定対象を複数回測定しても、測定結果が一定にならず、ばらつきが生じる。

測定回数を多くすると測定結果を代表する値を求めることができる。 平均値

$$\text{平均値} \quad x_{avr} = \sum x_i / n$$

例：50mmの物を5回測定したとき

① 50.6、49.8、50.0、49.7、49.9 平均値は50.0mm

② 52.3、46.8、47.5、57.6、45.8 平均値は50.0mm

①と②は同じ？

8

誤差の種類

かたより

測定器の狂いにより、真の値との一定ずれが生じることがある。このずれをかたよりという。

ずれの値が分かっていなければ、測定回数を多くしても、真の値を知ることは出来ない

真の値（と思われる）が分かっているものを測定し、真の値との差からかたよりを補正する → 校正（較正）

例：50.0mmの物を測定したとき

50.5、50.5、50.4、50.5、50.6

→ 0.5mmのかたよりと、0.1mmのばらつき

9

測定結果を評価する指標

平均値 : 未知の真の値を推測する

$$\bar{x} = \sum x_i / n$$

標準偏差 : ばらつきの度合いを評価する

$$\sigma = \sqrt{(\sum (x_i - \bar{x})^2) / n}$$

$\pm \sigma$: 68.3%

$\pm 2\sigma$: 95.4%

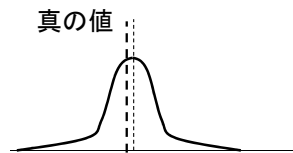
$\pm 3\sigma$: 99.7%

レンジ : ばらつきの度合いを簡便に評価する

$$R = x_{max} - x_{min}$$

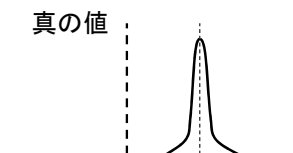
10

測定結果を評価する指標



ばらつきは大きいですが、測定回数を増やすことにより真の値を推測することは可能
... 正確な測定

* 「正確さ」 : 偏りの度合いを表す



ばらつきは小さいが、真の値を推測することは不可能 → 校正（補正）が必要
... 精密な測定

* 「精密さ」 : ばらつきの度合いを表す

11

2) 物理量と単位

測定した量は数値と単位を持つ

例えば、180cm、72kg、15.2s、36.2°C、400MPa、320km/h

同じものでも、使う単位系によって値と単位が異なる。

国際単位系（SI単位系）、

m、kg、s、A、K、mol、cd

MKS(A)単位系（工学単位系）

m、kgf、s、A

その他、CGS単位系、尺貫法

12

単位系

単位系にはSI単位系と工学単位系などがあり、基本的にSI単位系を使う。(工学単位系は一部でまだ使われている)

SI単位系と工学単位系で、単位変換、単位換算ができるようにすること。単位が変わると値が変わることがある。

| | 工学単位系 | SI単位系 | 単位換算 |
|---|-----------------------|-----------------|--------------------------------|
| 力 | kgf | N | 1[kgf]=9.8[N] |
| 質量 | kgf·s ² /m | kg | 1[kgf·s ² /m]=1[kg] |
| 馬力 | PS | W | 1[PS]=735.5[W] |
| (PSは仏馬力、HPは英馬力 日本では仏馬力が標準で使われる 1HP=745.7W=1.014PS) | | | |
| 角度 | deg | rad | 1[deg]=180/π[rad] |
| 回転速度 | rpm | s ⁻¹ | 1[rpm]=?[s ⁻¹] |
| 圧力 | atm | Pa | 1[atm]=?[Pa] |

(国際度量衡総会で定められた値)

13

単位

SI単位系の基本単位として、

m (長さ)、kg (質量)、s (時間)、A (電流)、K (温度) などがある。

基本単位を組み合わせて様々な単位が作られる (組立単位)

N、Pa、J、W、Hz、V、F、Ω、rad、°C・・・

$$N = m \cdot kg \cdot s^{-2}, \quad Pa = N \cdot m^{-2} = m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}, \quad J = N \cdot m = m^2 \cdot kg \cdot s^{-2},$$

$$W = J \cdot s^{-1} = m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}, \quad Hz = s^{-1}, \quad V = W \cdot A^{-1} = m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1},$$

$$F = C \cdot V^{-1} = m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2, \quad \Omega = V \cdot A^{-1} = m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}, \quad ^\circ C = K,$$

10 の整数乗倍を表す記号も合わせて使う (SI接頭語)

・・・T、G、M、k、m、μ、n、p・・・

他にもh、da、d、c

14

単位

国際単位系 (SI) は

- ・基底状態にある摂動を受けないセシウム133原子の超微細遷移の振動数 $\Delta\nu_{Cs}$ が 9192631770 Hz
- ・真空における光速 c が 299792458 m/s
- ・プランク定数 h が $6.62607015 \times 10^{-34}$ J s
- ・電気素量 e が $1.602176634 \times 10^{-19}$ C
- ・ボルツマン定数 k が 1.380649×10^{-23} J/K
- ・アボガドロ定数 N_A が $6.02214076 \times 10^{23}$ mol⁻¹
- ・周波数 540 × 10¹² Hz の単色光の発光効率 K_{cd} が 683 lm/W

である単位系である[3]。

基本単位はこれらのものから定義される

15

機械技術者の使う主な単位 (SI単位系)

| | | | |
|---------|-----------------------|-------|----------|
| 長さ | m | 力、重量 | N |
| 質量 | kg、(t) | 圧力 | Pa、(atm) |
| 時間 | s | 応力 | Pa |
| 電流 | A | 応力 | Pa |
| 角度 | rad、(deg) | エネルギー | J |
| 速度 | m/s | 仕事 | J |
| 加速度 | m/s ² | 仕事率 | W |
| 周波数 | Hz | 温度 | K、°C |
| 回転速度 | s ⁻¹ (rpm) | | |
| 角速度 | rad/s | | |
| 角周波数 | rad/s | | |
| 密度 | kg/m ³ | | |
| 慣性モーメント | kg·m ² | | |

()内は、良く使われるSI単位系以外の単位

16

3) 次元と次元解析

次元とは、7つの基本単位の組み合わせ
L、M、T、I、 θ 、N、Jで表す。

$$\begin{aligned}
 [N] &= [\text{kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2] & [\text{LMT}^{-2}] \\
 [J] &= [N \cdot \text{m}] = [\text{kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2 \cdot \text{m}] = [\text{m} \cdot \text{m} \cdot \text{kg} / \text{s}^2] & [\text{L}^2 \text{MT}^{-2}] \\
 [W] &= [J / \text{s}] = [\text{kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2 \cdot \text{m} / \text{s}] = [\text{m} \cdot \text{m} \cdot \text{kg} / \text{s}^2 / \text{s}] & [\text{L}^2 \text{MT}^{-3}]
 \end{aligned}$$

単位を持った式（等式）は次元が一致しなければならない。
また、異なる単位系であっても次元はかわらない。

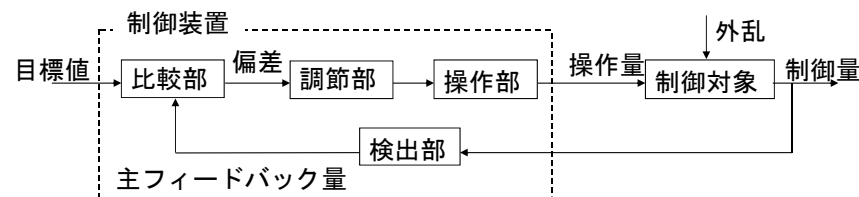
1.2 自動計測・制御システムの構成

自動制御システムの構成

制御装置の構成・・・**検出部**、**調節部**、**操作部**、**比較部**

その働きは、

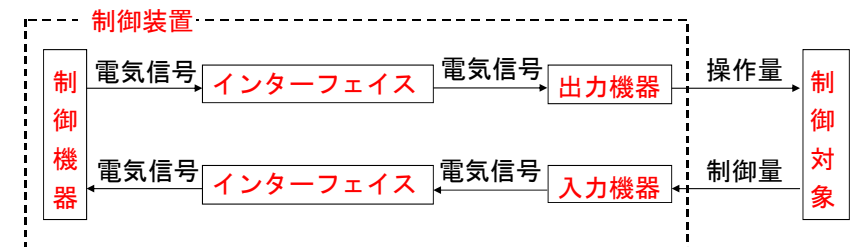
- 検出部**：制御対象の状態（**制御量**）を取り込む
- 調節部**：目標値と制御量との差をなくすよう調節する
- 操作部**：制御対象に働きかける（**操作量**）
- 比較部**：目標値と主フィードバック量の差をとる



実際の制御システムの構成

実際に使われる機器の名称で表すと

- 調節部、比較部：制御機器（コントローラ、電子回路）
- 操作部：出力機器、（アクチュエータ、ランプなど）
- 検出部：入力機器（センサ、スイッチ、計測器など）



1.3 アナログ制御とデジタル制御

アナログ制御とデジタル制御

機械の制御では、

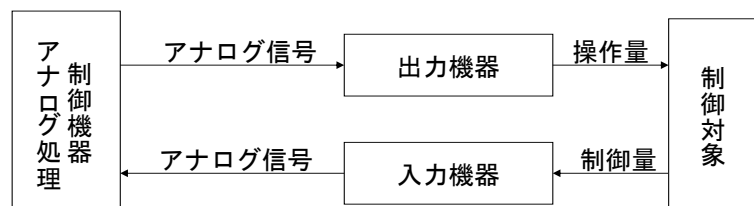
- ①制御量を検出器で測定し、
- ②その信号を調節部へ送り、
- ③調節部で処理した後、信号を操作部へ送り、
- ④操作部から制御対象に操作量で働きかける

機械制御には、連続量（アナログ信号）を扱うアナログ制御と、離散量（デジタル信号）を扱うデジタル制御がある

1) アナログ制御

アナログ制御システムは、システムのすべての信号および処理をアナログ信号で行う。

入力機器はアナログ信号を出力し、制御機器は入力したアナログ信号を変換してアナログ信号を出力し、出力機器は制御機器からのアナログ信号に応じて連続的な動作をする。



アナログ制御

入力機器

センサは、制御量（制御対象の状態）を様々な検出用素子を使って電氣的なアナログ信号に変換する

- 力→ひずみ→ひずみゲージ（電気抵抗の変化）
- 力→圧電素子（電圧の変化）
- 温度→熱電対（電圧の変化）
- 回転角→ポテンシオメータ（電気抵抗の変化）

⋮

アナログ制御

制御機器

オペアンプ（アナログIC）やアナログ電子部品（抵抗、コンデンサ、コイル、トランジスタなど）を使い、入力されたアナログ信号を別のアナログ信号に変換する。

オペアンプによる増幅回路、微分回路、積分回路、加算回路など

出力機器

トランジスタなどを使った駆動回路により、制御機器から出力されたアナログ信号に応じて、動作する（アクチュエータにかかる電圧を調整する）

DCモータ：回転数、トルクの調整

バルブ：開閉度合い（流量）の調整

⋮

25

アナログ制御

機械を最適な状態で制御するためには、アナログ制御が理想である（アナログ信号の方が細かな調整ができるので望ましい）。

アナログ制御では

- ・アナログ信号の増幅や加算（オフセット）などの信号変換でアナログ回路が必要
 - ・アナログ回路が複雑かつ安定しない（熱の影響）
 - ・ノイズの影響を受けやすい
 - ・駆動部でのエネルギーの損失が大きい
- など、様々な問題がある

アナログ制御システムは細かな制御が可能となり理想的であるが、実現が容易ではない（ほとんど使われない）

26

2) デジタル制御

デジタル制御システムは、アナログ信号をデジタル信号に変換し、調節部でデジタル制御機器を使ってデジタル信号を処理する。制御が容易かつ正確になる。

デジタル制御機器 ≒ コンピュータ

コンピュータを使ったコントローラとして

PLC、マイコン、パソコン・・・

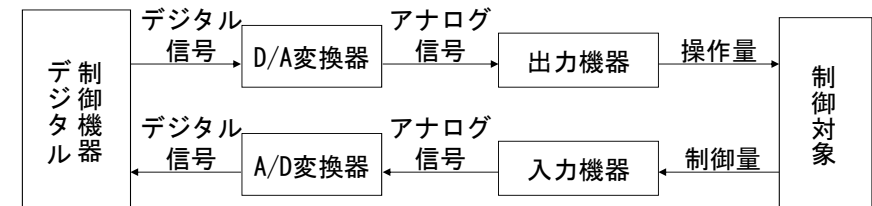
その他、PLD

27

デジタル制御

その手順として

- 1) 入力機器が制御量をアナログ入力信号（電気信号）に変換
- 2) アナログ入力信号をA/D変換機でデジタル信号に変換
- 3) 入力デジタル信号をデジタル制御機器で処理し、デジタル信号を出力
- 4) 出力したデジタル信号をD/A変換機でアナログ信号に変換
- 5) アナログ信号で出力機器を調整



ここで使われるアナログ信号は、規格化された信号
DC4-20mA、DC1-5V、DC0-10Vなど

28

デジタル制御

入力機器

センサからはアナログ電気信号が出力される

A/D変換器

センサからのアナログ信号をデジタル信号に変換する

デジタル信号を使ってアナログ量を表す方法として、一般的には複数個の電圧のH/L信号でアナログ量を表す。

例えば、8個のH/L信号を使う場合

L L L L L L L L …… 0

L L L L L L L H …… 1

L L L L L L H L …… 2

~

H H H H H H H H …… 255

アナログ信号を256段階のデジタル信号に変換

29

デジタル制御

制御機器

入力されたデジタル信号を別のデジタル信号に変換する。
デジタル制御機器として、マイコン、パソコン、PLC、デジタルIC、などが使われる

出力機器

制御機器から出力されたデジタル信号をD/A変換器でアナログ信号に変換し、トランジスタなどを使ってアナログ動作する。もしくは**デジタル信号のままアナログ的な動作する**

DCモータ：回転数、トルクの調整

バルブ：開閉度合い（流量）の調整

⋮

30

デジタル制御

デジタル制御の利点

デジタル制御機器のほとんどはプログラムでその動作を決める・・・変更が容易

熱による変動がほとんどない

アナログ回路に比べてノイズの影響を受けにくい

安価である

欠点

わずかな時間遅れが生じる

離散的な処理をする

デジタル制御の利点が大きいため、
現在はデジタル制御が主流

31

1.4 A/D・D/A変換の原理と活用

32

1) A/D変換

連続したアナログ信号をデジタル信号に変化する手法として
幾つかあるが、一般的にはnビットのデジタル信号に変換する
・・・A/D変換

ある範囲のアナログ信号をnビットに変換するため、ビット数を
多くするほど分解能が小さくなり、細かな処理ができる

A/D変換 (nbit) を行う手順は

- 1) 一定間隔でアナログデータを読み込む。
(標本化、サンプリング)
- 2) 読み込んだデータを n^2-1 分割した値のいずれかにする。
(量子化)
- 3) 量子化したデータを2進数にする。(符号化)

A/D変換

例えば、DC-5~5Vを4bit(0~15)の2進数にする場合、

分解能は $10/15=0.67$ 、
 取りうる値は -5.36、-4.69、-4.02、...4.02、4.69
 よって

| | | | |
|-------------|-------------|------------|------------|
| -5.69~-5.02 | →-5.36→0000 | -0.33~0.34 | →0.00→1000 |
| -5.02~-4.35 | →-4.69→0001 | 0.34~1.01 | →0.67→1001 |
| -4.35~-3.68 | →-4.02→0010 | 1.01~1.68 | →1.34→1010 |
| ⋮ | | ⋮ | |
| -1.00~-0.33 | →-0.67→0111 | 4.36~5.03 | →4.69→1111 |

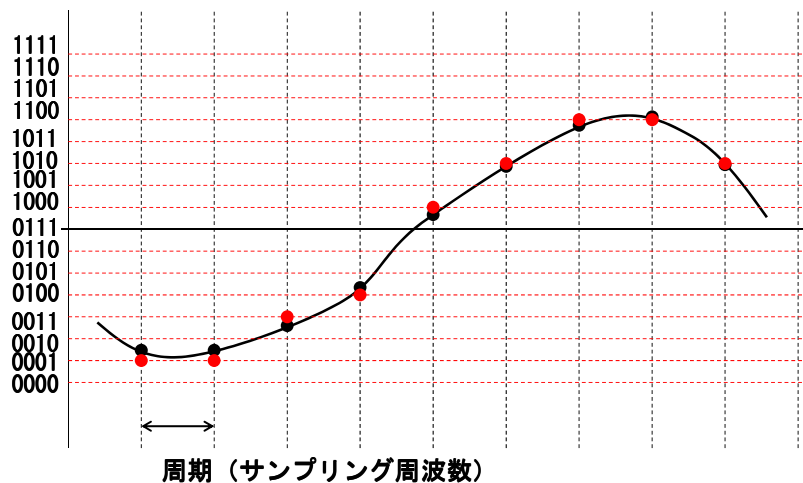
*実際は、0000~0111が正の値、1000~1111が負の値

標本化して読み込んだデータが1.5Vの場合、
取りうる値が1.5に最も近い1.34(10)に量子化する。
量子化した1.34(10)を2進数1010に符号化する。

アナログデータ $\xrightarrow{\text{標本化}}$ 1.5 $\xrightarrow{\text{量子化}}$ 1.34 $\xrightarrow{\text{符号化}}$ 1010

A/D変換

アナログデータを4bitのデジタルデータに変換する



A/D変換

アナログデータを正確にデジタル化するには

- 標本化する回数を多くする
(サンプリング周波数、変換速度)
- 量子化のビット数を多くする (分解能)

しかし、サンプリング周波数、ビット数(分解能)は
ハードウェアに限界がある(処理速度で可)

サンプリング周波数、ビット数を大きくすると、処理速度が
遅くなる

最適なサンプリング周波数、分解能を設定する必要がある

A/D変換

サンプリング周波数は、入力信号の周波数の2倍以上が必要
実際は、数倍から10倍以上

CDの場合、 可聴周波数 20~20kHz
サンプリング周波数 44.2kHz

ビット数は必要な分解能で決まる

ビット数と分解能 8ビット・・・1/256
 10ビット・・・1/1024
 12ビット・・・1/4096

12ビットの場合、1mの長さを0.25mmの精密さで測定
一般的には10~12ビットが使われる

37

2) D/A変換

nビットのデジタル信号をアナログ信号に変換する

D/A変換の原理として、ラダー抵抗型、重み抵抗型などがある

例えば電圧出力の場合、各ビットに対応した電圧を出力し、それを加算したものがアナログ出力になる。

$$\begin{array}{cccccccc} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ \times 12.8 & + 6.4 & + 3.2 & + 2.6 & + 0.8 & + 0.4 & + 0.2 & + 0.1 \end{array}$$

38

D/A変換

範囲 0~5V、分解能 4bit (16分割) の場合、
分解能は $5/(16-1)=0.33\cdots$

| | | | |
|------|---------|------|---------|
| 0000 | → 0V | 0001 | → 0.33V |
| 0001 | → 0.33V | 0010 | → 0.66V |
| 0010 | → 0.66V | 0100 | → 1.33V |
| 0011 | → 0.99V | 1000 | → 2.67V |
| ⋮ | | | |

これを加算したものが、出力になる

範囲が正負の場合 -5~5V、
0~10VでのD/A変換を行い、減算回路で5Vを減ずる

39

3) コンピュータ内の負の数のデータ

*実際のコンピュータでは、補数を使って負の数を扱う

8ビットは0~255

これを8ビットで-128~127を扱う場合

00000000 → 0
00000001 → 1
00000011 → 2
⋮

01111111 → 127
10000000 → -128
10000001 → -127
⋮

11111111 → -1

補数：
最上位ビットが符号を表す
1の時、負の数

最上位以外の0,1を反転させ、
そこから1を減じて負の数を
表す

40

1.5 システムの構成機器

41

1) 制御機器(コントローラ)

自動制御システムで使用されるデジタル制御用コントローラとして

PLC

マイコン

パーソナルコンピュータ

PLD (Programmable Logic Device)

そのほか、デジタルICやリレーなどを使った簡単な制御回路もある。

42

a) PLC(Programable Logic Controller)

自動化装置では標準的に使用されるコントローラ
対環境性の対策を施している

専用のプログラム言語で制御プログラムを組む
ラダープログラム(LD言語)、SFC言語など

シーケンス制御、プロセス制御で用いられる。

シーケンス制御……自動組立機などで使われる制御
あらかじめ定められた順序に従って動作する
プロセス制御……化学プラントなどで使われる制御
制御量が目標値と一致するように調整する
計装コントローラとして使用する

43

a) PLC(Programable Logic Controller)

シーケンス制御で用いる場合

ON/OFF制御(二値制御)

ON/OFF信号(デジタル信号)を、入出力する

プロセス制御で用いる場合

アナログ制御

PLCにアナログ信号入出力用**拡張ブロック、拡張ボード**などを接続し、アナログ信号(例えば、DC4-20mA、DC1-5V)を入出力する。もしくは汎用通信規格、プロセス制御用通信規格などを使い、測定量を入力する。

ON/OFF信号(パルス信号)を出力し、アナログ的な制御をする

44

プロセス制御

PLCをプロセス制御での計装コントローラとして使用することができる

プロセス制御とは、化学プラントや電力プラントなどで使われる制御。原材料となる流体（気体、液体、蒸気）などの制御が主で、温度、圧力、流量などが最適になるように流量バルブやヒータなどを制御する。連続したアナログ量を扱うことが多い。

計装とは、化学工場などでの生産工程等を制御するために、測定装置や制御装置などを装備し、測定・制御すること。
化学工場などを対象とするもの……プロセス計装
ビルなどの建物を対象とするもの……ビル計装

昔は計器を見ながら人の手でバルブの開閉などを行っていた。これらの動作をPLCを中心とした制御システムで制御する。

45

b)パーソナルコンピュータ

パソコンに拡張インターフェイスを加えることにより、制御用コントローラとして活用することができる

実際には、民生用のパソコンは防塵、防油、対ノイズ対策などの面から、生産現場での使用は適していない。現場用のFAパソコンもある。

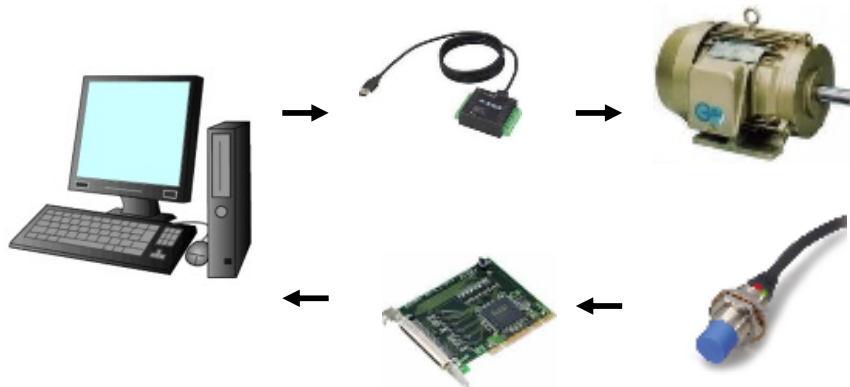
民生用パソコンは開発部門や品質管理部門などでは使われる
開発部門では、試験的な装置の制御
品質管理部門では、各種データの自動計測

制御プログラムの変更が容易やデータの管理が容易であるため。ただし、使用環境が良いことが条件

46

入出カインターフェイス

パソコンには、機械を制御する信号を入出力する機能はない。
→外付けインターフェイスが必要



47

制御方法

信号の入出力の方法

- ・ 入出カインターフェイスを使う場合、
入出力ポート（I/Oポート）を使い、信号の入力（Input）、出力（Output）を行う。
具体的な方法は、使用するインターフェイスによって異なる
- ・ 汎用通信規格を使う場合、
機器ごとに通信プロトコル（通信手順）が決められており、その手順に従ってデータの送受信を行う

制御プログラムにより制御対象を制御する
プログラミング言語として
C言語、Basic言語など

48

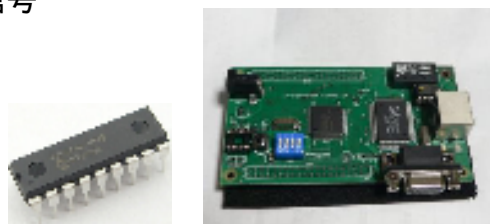
c)マイコン

小型で安価な組込式の制御機器。
家電製品から、自動車や工作機械などの制御で使われる。
対環境性に劣る。

ワンボードマイコンや、ワンチップマイコンがある
C言語やアセンブリ言語などでプログラムを組む。

入出力信号は電圧のH/L信号

基本的にON/OFF制御であるが、アナログ信号の入出力が可能なものもある。



チップマイコン

ボードマイコン

49

d)PLD (Programmable Logic Device)

AND、OR、NOTなどの論理回路を組合せた回路をプログラムで組むことができるLSI (プログラムで組合せ論理回路を組む)

集積規模によって、PAL、CPLD、FPGAなどがある
主流はCPLD、FPGA (FPGAが多機能)

プログラム言語 (HDL : Hardware Description Language) として、VHDLやVerilogなどが使われる
(最近ではVHDLが主流)

マイコンはプログラムを1行ずつ実行するのにに対し、PLDは並列処理 (同時に異なる処理を実行) ができる。

…マイコンと比べて、処理速度が
が速い。



CPLDボード

50

e)電子回路

昔は様々な電子部品を使い、アナログ制御を行っていた。
アナログ電圧信号を使い、信号伝達、信号の変換、信号増幅などを行い、制御する。

アナログ制御回路ではオペアンプを使い、様々な回路を組み合わせ、入力された電圧信号を変化させていく

比較部 : 目標値と主フィードバック量の比較を行う
差動増幅回路、比較回路

調節部 : 比較部からの偏差を様々な信号に作り変える
反転増幅回路、非反転増幅回路、
微分回路、積分回路、加算回路

操作部 : トランジスタなどを使い、調節部から出力された信号で
操作部 (出力機器) を駆動する
駆動回路

51

e)電子回路

最近では、アナログ電圧信号をデジタル信号に変換し、デジタル信号をデジタルICを使って様々な形に変換し、デジタル信号でアナログ的な制御をする。

デジタルICは、入力されたデジタル信号を別のデジタル信号に変換するデジタル制御回路を組み、デジタル信号を出力する。デジタル信号として、電圧のH/L (例えば0V、5V) を扱う。デジタルICとして、TTL IC、C-MOS IC が使われる。

デジタル回路の種類として、論理回路、フリップフロップ回路、カウンタ回路、パルス回路などがある。そのほか、様々な専用IC (モータコントロールIC、ドライブICなど) がある。

52

2) 入力機器

入力機器として、各種センサ、計測器が使われる

センサ

検出用……二値信号を出力するもので、制御量がある値になったら、ON信号を出力する
光電センサ、近接センサ、フォトマイクロセンサなど

計測用……ある範囲の信号を出力するもので、計測対象の値に対応した信号を出力する
圧力センサ、流量センサ、温度センサなど

計測器

計測対象の値に対応した信号を出力する。
計測用センサよりも高度で精度の良い測定が可能。
オシロスコープ、スペクトラムアナライザ、デジタルテストなど

53

検出用センサの出力信号

検出用センサから出力される検出信号（二値信号）として

- ・接点出力
内蔵されているリレーなどのスイッチによる電流のON/OFF（流れる/流れない）
- ・オープンコレクタ出力（O.C.出力、トランジスタ出力）
内部回路のトランジスタによる直流電流のON/OFF
- ・電圧出力
O.C.出力でプルアップ回路を組んだ電圧のH/L
または、内部回路で使われているICによる電圧のH/L

54

計測用センサの出力信号

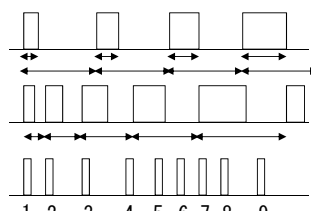
計測用センサから出力される信号（連続信号）として

- ・アナログ信号
電圧信号（DC0～5V、DC1～5V、DC-10～10V など）
電流信号（DC4～20mA）
- ・デジタル信号：
数ビットのデジタル信号

01011011（例：8bit）

1ビットのパルス信号

- ①デューティ比
(ONからOFFまでの時間)
- ②周波数（パルス間隔）
(ONから次のONまでの時間)
- ③パルス数
(ONになった回数)



55

計測器の出力信号

計測器などでは、計測量を文字データ（文字列）に置き換え、その文字列を汎用通信規格（デジタル通信）を使って、制御機器に送信する。

送信する文字データとし、ASCIIコードなどが使われる。
例「LFRG3P0076CR」など

制御機器は送信された文字データを受信し、そこから必要なデータを取り出して数値に変換する
“LFRG3P0076CR”（文字） → “0076”（文字） → 76（数字）

汎用通信規格として、
RS-232C、RS-422、RS-485、USB、GP-IBなどが使われる

USBは厳密には通信規格ではないが、最近では通信規格としてみなされることも多い

56

計測器の出力信号

ASCIIコード表

| | | 上位4ビット | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|---|--------|-----|----|---|---|---|---|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | A | B | C | D | E | F |
| 下 位 4 ビ ット | 0 | NUL | DLE | SP | 0 | @ | P | ` | p | | | - | - | タ | ミ | | |
| | 1 | SOH | DC1 | ! | 1 | A | Q | a | q | | | . | ア | チ | ム | | |
| | 2 | STX | DC2 | " | 2 | B | R | b | r | | | 「 | イ | ツ | メ | | |
| | 3 | ETX | DC3 | # | 3 | C | S | c | s | | | 」 | ウ | テ | モ | | |
| | 4 | EOT | DC4 | \$ | 4 | D | T | d | t | | | , | エ | ト | ヤ | | |
| | 5 | ENQ | NAK | % | 5 | E | U | e | u | | | . | オ | ナ | ユ | | |
| | 6 | ACK | SYN | & | 6 | F | V | f | v | | | ヲ | カ | ニ | ヨ | | |
| | 7 | BEL | ETB | ' | 7 | G | W | g | w | | | ァ | キ | ヌ | ラ | | |
| | 8 | BS | CAN | (| 8 | H | X | h | x | | | ィ | ク | ネ | リ | | |
| | 9 | HT | EM |) | 9 | I | Y | i | y | | | ウ | ケ | ノ | ル | | |
| | A | LF | SUB | * | : | J | Z | j | z | | | エ | コ | ハ | レ | | |
| | B | VT | ESC | + | ; | K | [| k | { | | | ォ | サ | ヒ | ロ | | |
| | C | FF | FS | , | < | L | ¥ | l | | | | ャ | シ | フ | ワ | | |
| | D | CR | GS | = | = | M |] | m | } | | | ュ | ス | ヘ | ン | | |
| | E | SO | RS | . | > | N | ^ | n | ~ | | | ョ | セ | ホ | ベ | | |
| | F | SI | US | / | ? | O | _ | o | DEL | | | ッ | ソ | マ | ・ | | |

57

3) 出力機器

出力機器の種類として

ランプ、各種モータ、ヒーター、クーラー、電磁弁、
調節弁（コントロールバルブ）

電流を流して定格電圧をかけると正常な動作をする

制御装置からのON/OFF信号で出力機器をON/OFFさせる
または電流の流れる方向や結線を変える

・・・ON/OFF制御

制御装置からのアナログ信号などで出力機器にかかる電圧を
調節し、その動作を連続的に変化させる

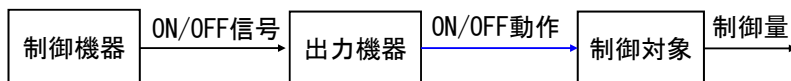
・・・連続制御

なお、デジタル信号で疑似的に連続的な動作をさせること
も可能（PWM制御、サイリスタ位相制御など）

58

出力機器のON/OFF制御（デジタル制御）

出力機器のON/OFF制御は電流のON/OFF（通電、遮断）によっ
て行われる。



コントローラからの出力信号（ON/OFF信号）

・・・接点出力、O.C.出力、電圧出力

これらの出力で出力機器を直接ON/OFFさせる
もしくは、駆動部品をON/OFFさせ、駆動部品で出力機器を
ON/OFFさせる

59

出力機器のON/OFF制御（デジタル制御）

ON/OFFを行う駆動部品として

リレー（継電器）、電磁接触器など

・・・有接点：直流機器・交流機器の両方を駆動
コイル通電のON/OFF

トランジスタ

・・・無接点（半導体部品）：直流機器の駆動、高速動作可能
ベース電流のON/OFF（抵抗を通して電圧信号のH/L）

（FET、サイリスタ、トライアック）

・・・無接点（半導体部品）：高速動作可能

半導体リレー（フォトMOSリレー、SSR）

・・・FETやトライアックとフォトカプラを組合わせた駆動用部
品。フォトカプラのLEDのON/OFF（直流電流のON/OFF）

有接点駆動部品の特徴：動作が遅い、寿命が短い、絶縁抵抗大
無接点駆動部品の特徴：動作が速い、寿命が長い、ノイズに弱い

60

出力機器のON/OFF制御(デジタル制御)

ON/OFF制御の一つとして、電流の流れる方向を切替ることもある(リレーなどのON/OFFの組合せにより電流の流れる方向を切り替える。)

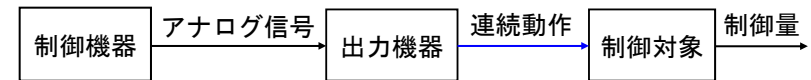
例えば、

直流電流の場合、プラスとマイナスを入れ替える
三相交流電流の場合、1相(R)と3相(T)を入れ替える

61

出力機器の連続制御(アナログ制御)

アナログ信号で出力機器を連続制御する例として
モータの回転速度の調整
バルブの開閉度合いの調整
ヒータによる温度の調整 など



アナログ信号による連続制御の方が、細かな制御が可能
しかし、出力機器の駆動が容易ではない
オペアンプなどを使ったアナログ回路が必要
エネルギーの損失が多い

⇒ デジタル信号 (ON/OFF信号) で連続制御を行う

62

デジタル信号による出力機器の連続制御

直流機器の制御

電力(時間、電圧)の制御・・・動作出力の制御

PWM制御 (Pulse Width Modulation)

電力(時間、電圧)の制御が容易で一般的

交流機器の制御

電力(時間、電圧)の制御・・・動作出力の制御

ゼロクロス制御(サイクル制御、比例制御)

サイリスタ位相制御

周波数の制御・・・速度の制御

インバータ制御(VVVF制御): 周波数、電圧ともに制御可能

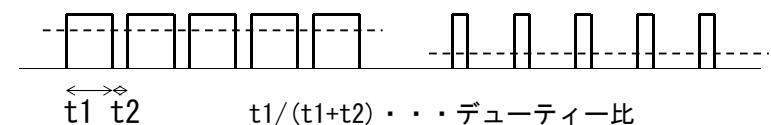
63

PWM制御

デジタル信号を使ってアナログ的な制御を行う方法として、

高速のパルス信号(数kHz)をアクチュエータに送信し、そのON時間とOFF時間の比(デューティ比)を変えることにより、平均的な電圧を変化させる。

→ PWM制御 (Pulse Width Modulation)

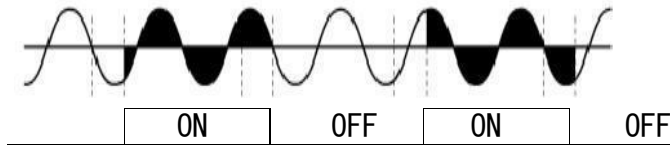


DCモータの速度制御や調節弁(コントロールバルブ)の開度の制御に用いられる。

64

非ゼロクロス制御

パルス信号を使ってアナログ的な制御を行う方法として、短時間でのON/OFFで制御する。PWM制御のようなもの



https://www.rkcinst.co.jp/technical_commentary/14374/

ON時、OFF時にノイズが発生するので、あまり望ましくない。
モータなどの制御で使うことがある。

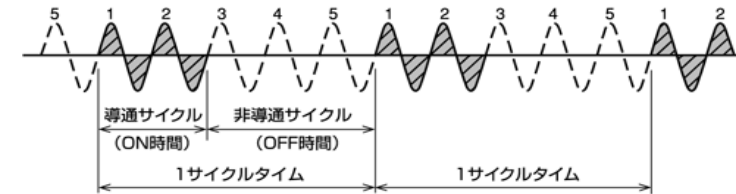
65

ゼロクロス制御

非ゼロクロス制御でのノイズの発生を防ぐため、電圧が0のときにON/OFFする。

すなわち、交流の半周期の数で電力を制御する。

・・・ゼロクロス制御



滑らかな制御を行うためには周期が長くなる。

1秒で1周期が50回。正負を考慮しても半周期が100回。

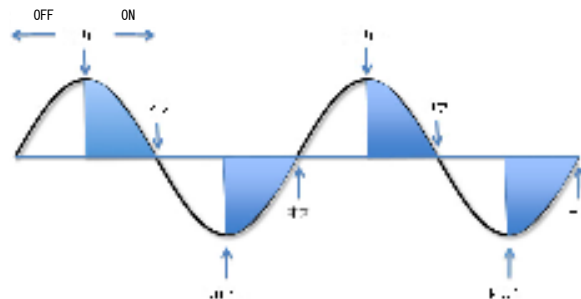
100段階の制御を行うためには1秒が必要になる。

66

サイリスタ位相制御

交流の出力機器をパルス信号（デジタル信号）を使ってアナログ的な制御を行う方法として、サイリスタ位相制御。

交流の半周期の中でON時間とOFF時間の比率を変える。



ON/OFFを感じない滑らかな制御が可能となる。

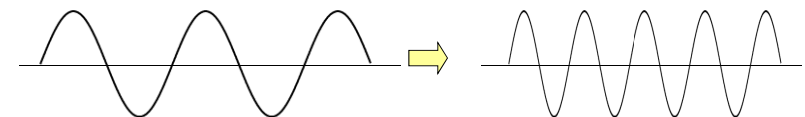
67

インバータ制御（VVVF制御）

交流電圧を一旦直流に変えて、再度任意の周波数の交流にすることにより、制御を行う。

周波数によって速度が変化するモータなどの制御で使われる。

$$n = 120 \frac{f}{p} \quad n \text{ [rpm]、} f \text{ [Hz]、} p \text{ 極数}$$



実際には、PWMを使い、デューティ比を細かく変化させて、疑似的な正弦波を出力する

68