

機械知能工学科
メカトロニクス総合

第14回

MC-14/Rev 15-1.0

マイコンによるモータ制御

工学部 機械知能工学科

熊谷 正 朗

kumagai@mail.tohoku-gakuin.ac.jp

東北学院大学工学部
ロボット開発工学研究室 **RDE**

今回の到達目標

○メカトロの一例としてモータ制御

- ◇メカトロニクスの検討・実現手順を説明できる。
 - ・対象の特性、制御方法、計測、操作
 - ・マイコン制御におけるソフトの作業
- ◇直流モータのトルク・速度・角度制御の実現方法の概要を説明できる。
 - ・各フィードバックのためのセンサと操作方法
- ◇ロータリーエンコーダの動作・原理を説明できる。
 - ・モータ用の主要な回転角度センサ

メカトロシステムの実装検討

○一般的な検討手順

1: 対象の特性を把握する

- ・特性式、操作方法(入力)、結果の動作(出力)

2: 制御方法を検討する(本決定 or 十分な目処)

- ・計測すべき状態量 → 制御則 → 操作量

3: センサ＝状態量の取得手段を確保する

- ・センサそのもの → → → コンピュータ内数値

4: 駆動系＝操作手段を確保する

- ・アクチュエータ ← ← ← コンピュータ内数値

実例：直流モータの制御－１：特性

○制御対象の特性 →すべきこと、制御則

◇電気的特性（→基礎１２）

- ・電流に比例したトルクが出る →電流制御
- ・回転速度に比例した電圧が生じる
→ 速くなったときには高い電圧が必要
- ・電圧 $\doteq$ 抵抗 $\times$ 電流 $+$ 起電力定数 $\times$ 速度

◇機械的特性

↓ $f=ma$, $a=f/m$ と同形

- ・（単独なら）角加速度＝トルク $\div$ 慣性モーメント
- ・角加速度 $\rightarrow \int \rightarrow$ 角速度 $\rightarrow \int \rightarrow$ 角度

直流モータの制御－１：特性

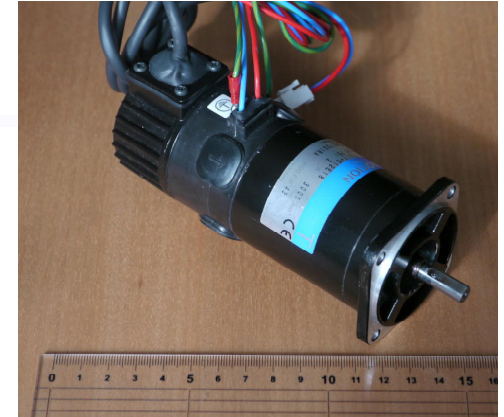
○具体的な数値スペック

◇モータ本体

- ・ **定格電圧**：定格速度 × 定格トルク = 定格出力
を出すときの電圧 ≡ **必要な電圧の目安**
- ・ **定格電流**：定格トルクを出すための電流
≡ **通常使用の最大電流**（連続使用で）
（・ 機械的な寸法：外寸、軸径など）

◇付属センサ

- ・ ロータリーエンコーダのパルス数(後述)など



直流モータの制御－2：制御則

○なにを制御するか、どう制御するか

◇電流制御（トルク制御／電気的特性の制御）

- ・ 指定した電流になるようにPWM操作する
- ・ 比例積分(PI)制御を用いる(起電力対応)
- ・ 簡易的用途には使わない場合も多い

◇速度制御、位置制御（力学的特性の制御）

- ・ 指定した角速度、角度になるようにトルクを指令する(↑の入力)
- ・ PD制御、PID制御を用いる(D:微分、応答改善)

直流モータの制御－2：制御則

○制御ブロック線図と必要な状態量センサ

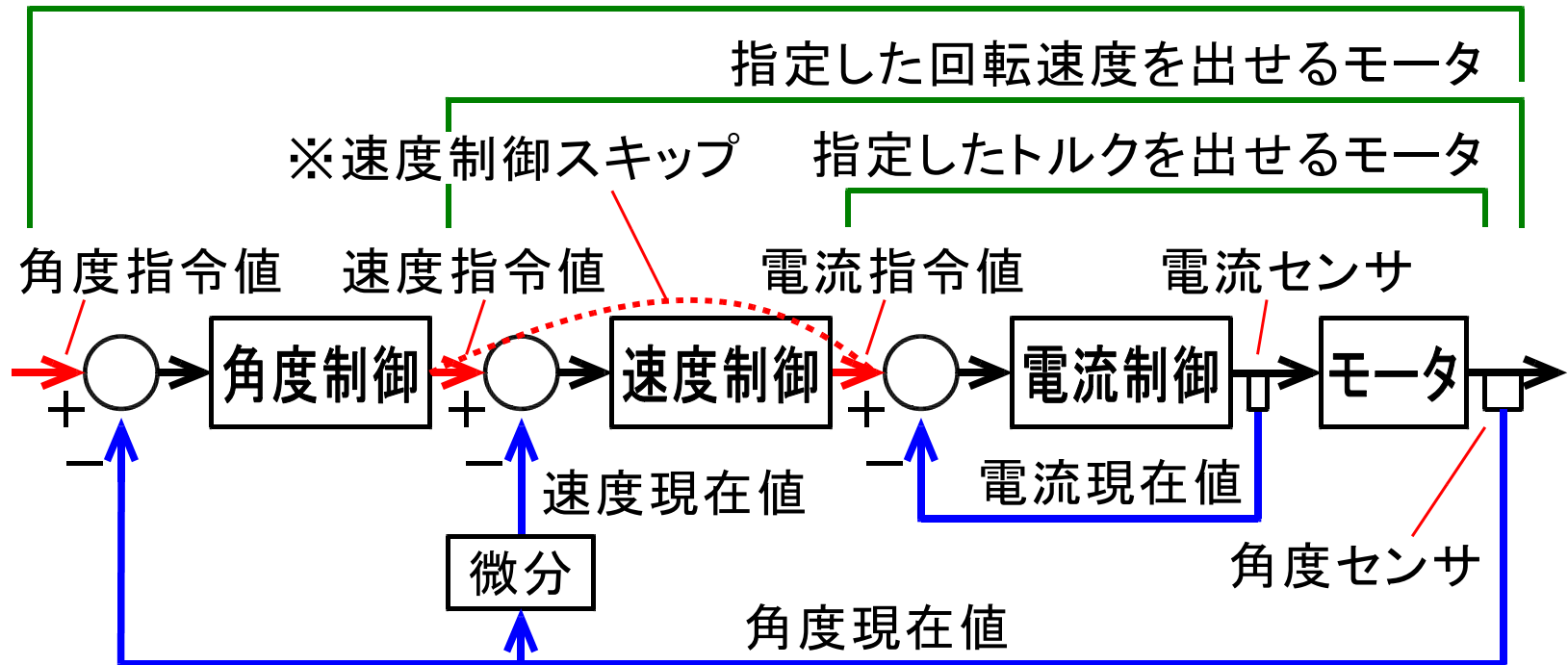
◇一般的な構成

指定した角度になるよう回るモータ

指定した回転速度を出せるモータ

※速度制御スキップ

指定したトルクを出せるモータ



直流モータの制御－3: センシング

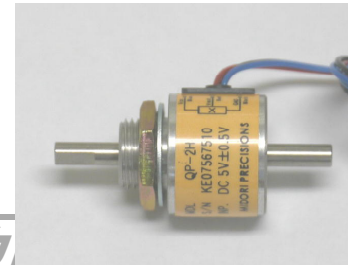
○センサの選定と入力方法(マイコン)

◇電流測定(応答速度100kHz程度)

- ・抵抗を直列に → 電圧増幅 → AD(マイコン内)
- ・絶縁型センサ(ホール素子) → (増幅) → AD

◇モータの角度・角速度測定

- ・ロータリーエンコーダ(次) → カウンタ
- ・ポテンショメータ(可変抵抗器型角度センサ)
角度に比例して抵抗値が変わる
→ 電圧 → (増幅) → AD 等

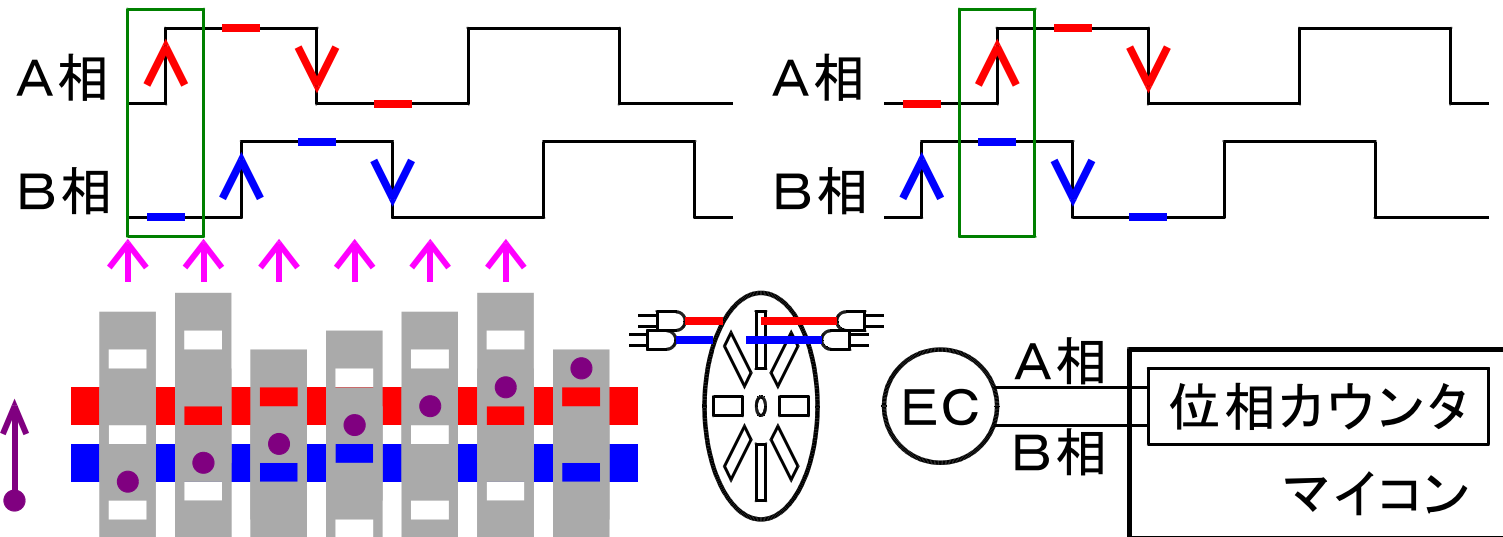


直流モータの制御－3：センシング

○ロータリーエンコーダ と カウンタ

◇2相の信号で正逆回転を判断

- ・ 光が通るスリットと2組の光センサ → パルス
- ・ 回転方向で2パルスの変化の順序が変わる



直流モータの制御－４：操作手段

○モータに電圧をかける・電流を流す

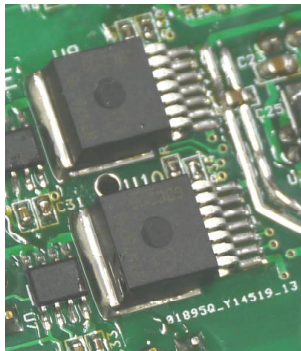
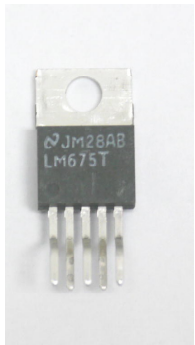
◇市販品：買ってきて説明書をよく読む（推奨）

◇アナログ的手段（総合09 p5,6）

- ・DA変換器 → アナログ増幅回路
- ※PWM→ローパスフィルタ→増幅

◇スイッチング：Hブリッジ（主流；基礎13 総合09）

- ・PWM → (ゲートドライバ) → MOSFET × 4
- ・PWM → “ブリッジIC”
- ※最初からブリッジ関連回路が一体化



直流モータの制御－４：操作手段

○駆動回路の選定

◇アナログ増幅を選ぶことは、メカトロでは少ない

◇Hブリッジの部品選定(方針)

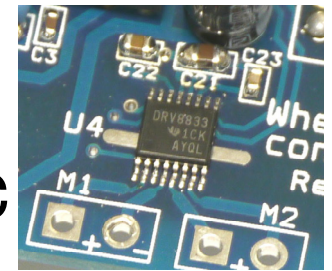
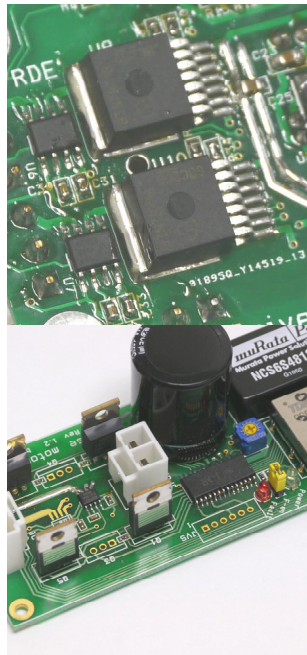
- ・出力低め → ブリッジ用の小型IC

- ・電圧～24[V]、電流～10[A]程度 →
強めのブリッジIC

いずれも、モータ電源(+制御電源)+PWM信号
入力で動作する

↓ IGBTなども

- ・電圧高いor電流大きい → MOSFETで組立



直流モータの制御－４：操作手段

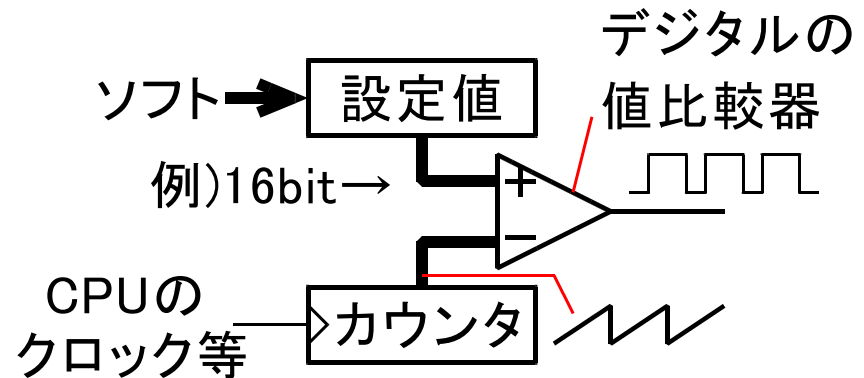
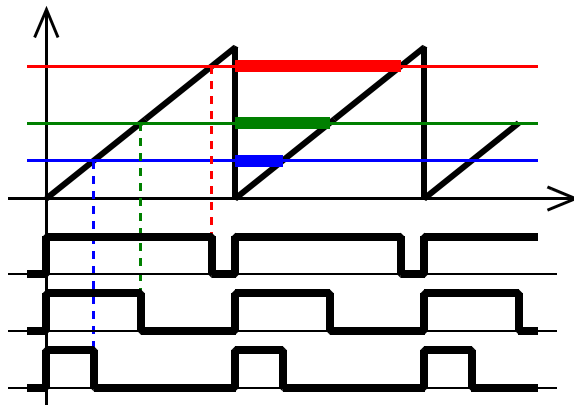
○マイコンのPWM出力

◇多くのマイコンはPWM出力機能を持っている

- ・ Timer(タイマ) Output Compare(出力比較)等

◇PWM信号の生成原理

- ・ 増加カウンタ(鋸歯状)＋比較器



直流モータの制御－5：制御ソフトウェア

○制御ソフトウェアの概要

◇マイコンの機能の初期設定

◇一定の時間ごとに（制御周期[ms][Hz]）

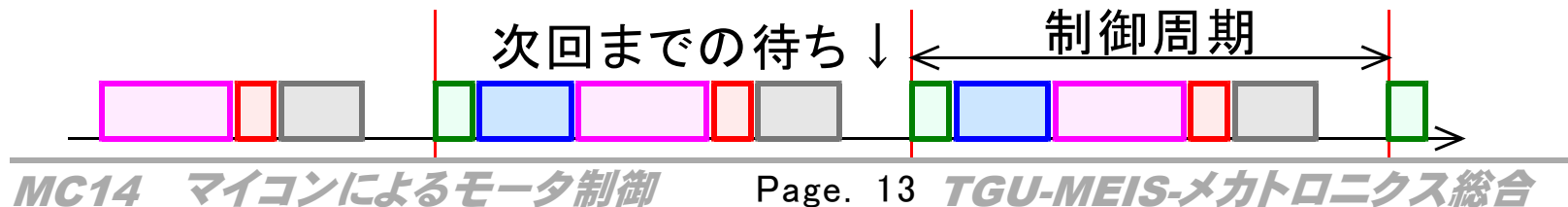
■ センサ生値の取り込み：ADやカウンタ

■ センサ値の処理：変換、微積、フィルタ等
例) エンコーダの[今回]－[前回]→角速度

■ 制御式の演算

■ 操作量の出力

■ 余った時間でユーザ操作その他



直流モータの制御－５：制御ソフトウェア

○モータ制御の時間パラメータ(例)

◇PWMの周波数

- ・ 最低で20[kHz] ※高ければ良い訳でもない
← 20[kHz]を下回るとピー音が聞こえる

◇電流制御の周波数 (AD周波数に関係)

- ・ 10[kHz]など (< PWM周波数)
- ・ 遅い: 大電流が流れるリスク 速い: 無駄

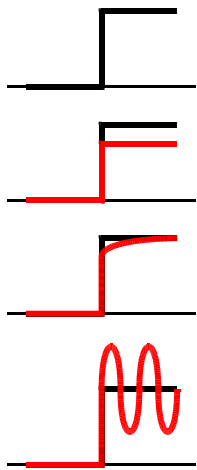
◇速度制御、角度制御の周波数

- ・ 1[kHz]など ←電流制御より落とす(目安1桁)

直流モータの制御－5：制御ソフトウェア

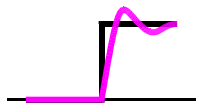
○モータ制御の制御パラメータ調整

◇電流制御ゲイン（比例(P) 積分(I)）



- ・最初に調整を完了すること
- ・ゲイン0 → Pゲインをあげていく → PWM出る
→ 指令に応じた(≠一致した)電流が流れる
→ Iゲインを上げていく → 一致&回転対応
- ・上げすぎる → 電流が激しく波打つ(発振)

◇速度、位置制御ゲイン（P,I,D）



- ・指令をステップ状に入れて反応を見ながら

メカトロニクスと制御：まとめ

○対象に応じた制御を実現するための回路

◇センサ～信号処理の重要性

- ・制御に不可欠、制御の性能を制約する
- ・制御結果の評価にも使う

◇操作手段

- ・対象を動かすのに十分な規模の電力対応
- ・高電圧、大電流、高応答（取扱注意）

◇制御系ハード

- ・入出力機能を積んだマイコンの採用