

仙台市/仙台市産業振興事業団
ロボット博士の基礎からのメカトロニクスセミナー
スペシャル@産学連携力アップセミナー

SP01/Rev 1.0

基礎からのメカトロセミナー 総集編・活用編

仙台市地域連携フェロー

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**

基礎からのメカトロセミナー 総まとめ

〇ここまでの**全24回**を**1回**で！

◇メカトロニクスセミナーとは

- ・熊谷@地域連携フェロー
- ・セミナーの目的
- ・セミナーの活用方法
レギュラー&出前講座

◇これまでのセミナー内容による

メカトロシステムの要素・構成の解説
総目次

地域連携フェロー制度

仙台堀切川モデル

〇御用聞き型 地域支援 産学官連携

◇仙台市+産業振興事業団+大学

- ・地域連携フェロー: 大学教員 × 5
- ・ビジネス開発ディレクター: BDD × 2
- ・事業団の方々

◇御用聞き型

- ・我々が各企業さんにおじゃまします
 - ・ご相談事がある場合
 - ・なくとも、こちらから押しかける場合

地域連携フェロー制度

〇地域連携フェロー

◇地域連携フェローのカバー分野

- ・摩擦、機械要素
- ・エンジン、熱流体
- ・食品化学、知財
- ・デザインマーケティング

◇熊谷の担当分野

- ・メカトロニクス、ロボット全般
- ・機械、電子回路、ソフトウェア関連
(他のフェローの専門分野外を広く)
- ・メカトロニクスセミナー

基礎からのメカトロニクスセミナー

○概要と目的

◇技術“雑学”セミナー

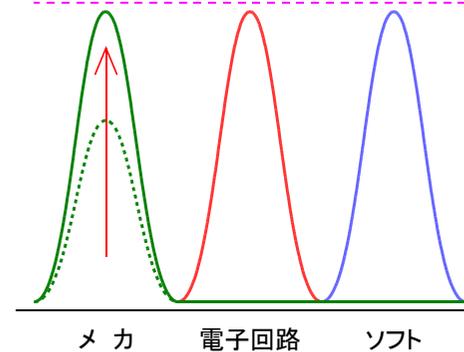
- ・初心者～専門家になり始める手前
- ・予備知識不要、数式削減を基本

◇目的

- ・その分野に手をだすきっかけ作り
「見たことも聞いたこともない」
→「聞いたことはある」
- ・隣の分野のことを簡単に知っておく

雑学の必要性

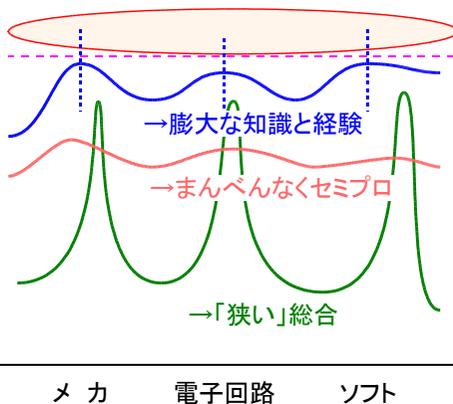
○専門性の追求モデル



- ・全体概略設計
- ・方式選定
- ・詳細設計
- ・実装できる
- ・設計定数決定
- ・設計図読める
- ・説明書→組立
- ・関心がある

雑学の必要性

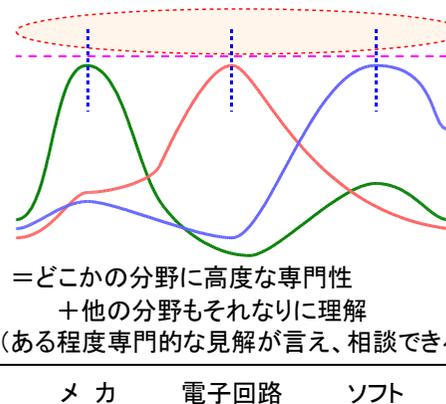
○メカトロ系の目指すべき方向: 総合力



- ・全体概略設計
- ・方式選定
- ・詳細設計
- ・実装できる
- ・設計定数決定
- ・設計図読める
- ・説明書→組立
- ・関心がある

雑学の必要性

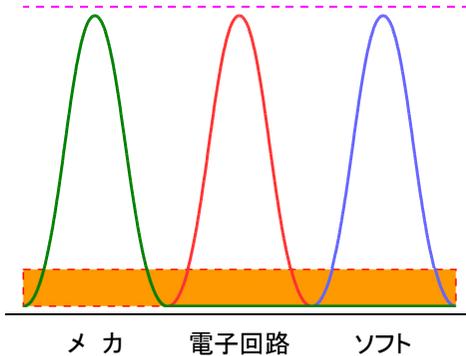
○現実的目標: 専門性+幅広くほどほど



- ・全体概略設計
- ・方式選定
- ・詳細設計
- ・実装できる
- ・設計定数決定
- ・設計図読める
- ・説明書→組立
- ・関心がある

雑学の必要性

○このセミナーの目的: とっかかり



- ・全体概略設計
- ・方式選定
- ・詳細設計
- ・実装できる
- ・設計定数決定
- ・設計図読める
- ・説明書→組立
- ・関心がある

雑学・周辺知識の必要性

○プロではないが、理解できるということ

- ◇相談できる・依頼できる
 - ・話が通じる
 - ・守備範囲外をまかせられる(依頼と判断)
- ◇仕様書の行間の向こうの理解による実装
 - ・相手に親切な設計・実装
 - ・全体を理解した上での専門の実装
- ◇切り分けの提案
 - ・得意不得意の理解と最適な分担

基礎からのメカトロニクスセミナー

○これまでのラインナップ (全24回)

◇特徴

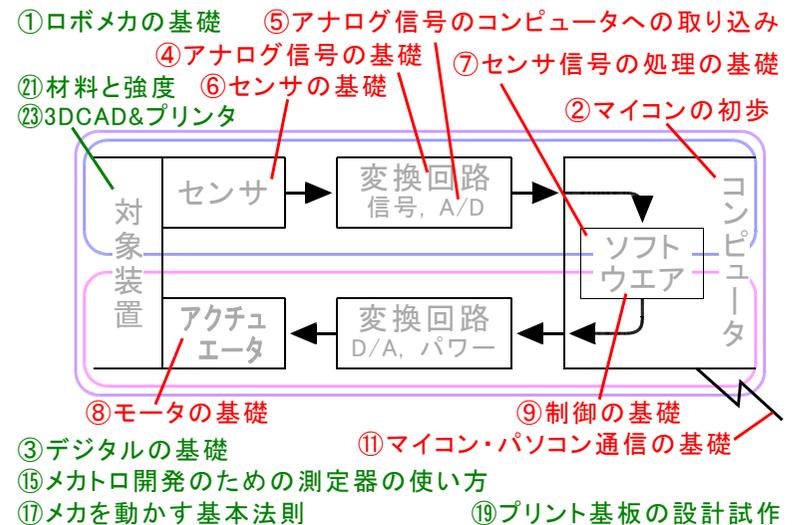
- ・この手の技術セミナーでは珍しい?
担当者が一人で広範囲をカバー 型
→ 関連性がよくなる、周辺情報

◇活用

- ・ときどき開催されるレギュラー回@事業団
- ・企業さんに**出前講座型**(実績6社・平均5回)
→ 基礎 and/or 事業との関連性

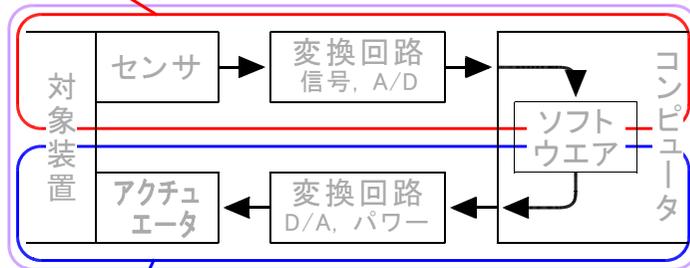
※人気回 01,02,05,06,09,12,13,15,16,17

基礎からのメカトロセミナー:ラインナップ



基礎からのメカトロセミナー:ラインナップ

- ⑩カメラと画像処理の基礎
- ⑪アナログセンサをマイコンにつなぐ
- ⑬デジタルセンサをマイコンにつなぐ
- ⑱マニピュレータ
- ⑳車輪ロボット
- ㉒メカトロの数学



- ⑯コンピュータ制御でモータを回す
- ⑭バドミントン練習用ロボットをつくる
- ⑳トレーラロボット

基礎からのメカトロニクスセミナー

○第2部:メカトロニクスの概要

◇メカトロニクスシステム全般の構成

- ・全体の流れ
- ・各要素の役割とポイント
- ・要素間の連携

◇メカトロセミナーインデックス

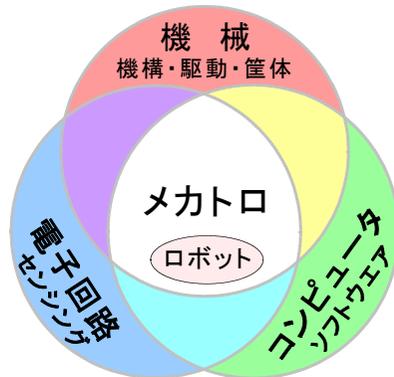
- ・これまでの24回分の位置づけ
- ・各部の詳細へのご関心
→ オンライン資料、出前講座等

メカトロニクスとは

→第1回 ロボメカの基礎

機械工学(メカニクス)+ 電子工学(エレクトロニクス)

→メカトロニクス (Mechatronics, メカトロ)



- ・元は安川電機の造語 (S47に商標登録)
- 普通名詞化
- 世界に通じる英語に
- ・電子回路、コンピュータによる機械制御全般
- ・ロボットは技術的にはメカトロの一部

ロボットとは

○ロボットの要件 (私案)

- 1: メカトロニクス機器であること
- 2a: すでに類似品がロボットとされている
- 2b: 類似品が既存しない新規のものに「ロボット」と名前を付けて発表する
- 2c: 既存品を大幅に高性能化して「ロボット」と名前を付けて発表する
- 3: 消費者に「そんなのロボットじゃない」と思わせない

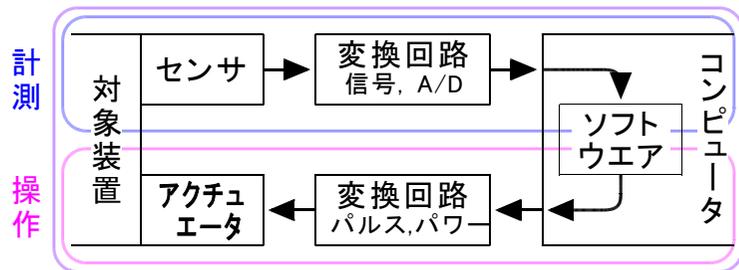
メカトロニクスの構成

→第1回 ロボメカの基礎

○メカとコンピュータの情報のループ

◇メカ→コンピュータ: 計測・センシング

◇コンピュータ→メカ: 操作・駆動



メカトロニクスの構成

→第1回 ロボメカの基礎

○メカトロシステムに必要な技術・手段

◇センシング

- ・対象の状態をコンピュータに伝える
- ・単なる信号から「情報」にするところまで
= 信号処理ソフトウェアまで

◇駆動・アクチュエータ

- ・コンピュータの意図を動きに変換
- ・電気をエネルギーとして使う

◇制御

基礎からのメカトロニクスセミナー

○第2部:メカトロニクスの概要 -1

◇センシング

- ・センシング全般
 - ・センシングの要素
 - ・センシングの鉄則
- ・アナログセンサとデジタルセンサ
- ・画像処理

センシング全般

→第6回 センサの基礎 他

○センシングの要素

◇センサ →第6回 センサの基礎

- ・対象の状態を電気的变化に変える
- ・この性能が制御性能を決める
= 測れないものは制御できない

◇センサ信号の取り扱い、増幅

→第4回 アナログ信号の基礎

- ・信号をなるべく劣化させずに調整
- ・最終的には十分な大きさの電圧変化信号

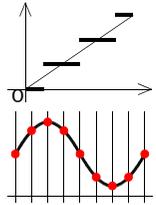
センシング全般

→第6回 センサの基礎 他

○センシングの要素

◇アナログデジタル変換

→第5回 アナログ信号の取り込み



- ・アナログ電圧からデジタル値への変換
- ・値の量子化(連続値からとびとびへ)
- ・時間の量子化、サンプリング定理

◇信号処理 →第7回 センサ信号の処理

- ・単なるデジタル値からの情報復元
- ・ノイズ除去、信号の調整、複数の融合

センシングの鉄則

→第6回 センサの基礎 他

○センシングの鉄則

1: センサの性能以上のことはできない

◇メカトロ制御の要はセンサ

- ・制御は「センサで拾う現在値」を「目標」に一致させるように働く



- 実際値とセンサ出力に差があると、それだけで制御の誤差になる
- 計測できないものは制御できない(計測だけでも制御できないが)

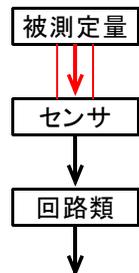
センシングの鉄則

→第6回 センサの基礎 他

○センシングの鉄則

2: センサと対象の確実な連結

◇センサに現象を反映させる



- ・センサが正しい対象を測定すること
例)接触式温度センサ(体温計等)
温度センサが対象と同じ温度に暖まらないと、温度計測できない
→ 可能な限りしっかり結合
- ・非接触センサも確実に状態が伝わること

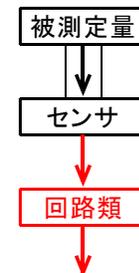
センシングの鉄則

→第6回 センサの基礎 他

○センシングの鉄則

3: センサの出力を劣化させない

◇変換・増幅・デジタル化



- ・いくらセンサの性能が良くとも、その後で劣化したら、良いセンサの意味が薄れる
- ・利用側には、回路も含めてセンサの性能
- ・なるべく手短かにデジタル化する
- ・コストを考慮するなら、センサの性能に応じた回路などの用意

センシングの対象

→第6回 センサの基礎 他

○メカトロの対象はほぼ計測手段がある

※手段があるからメカトロの対象になっている

- ・位置/角度/速度/加速度/質量(重量)/力
 - ・時間/周波数
 - ・温度/湿度/圧力(接触圧,油圧,気圧)
 - ・光量(明るさ/色/波長)
 - ・電圧/電流/電力/抵抗/容量
- などなど (これは?という質問歓迎)

センシングの対象

→第6回 センサの基礎 他

○センサ+各種工夫

例:流体の速さ

- ・風車/水車のようなものを流れに挿入
- ・流体と圧力の関係 (ベルヌーイ、ピトー管など)
- ・音波の伝播時間やドップラー効果利用
- ・流体に奪われる熱量の測定 (熱線流速計)
- ・磁界と運動と電流の関係 (電磁流量計)
- ・マーカを入れてその移動観測
- ・流量 (も多様な方法)/時間



アナログセンサとデジタルセンサ →第12, 13回

○近年増えている選択肢:デジタルセンサ

◇センシングはアナログ、どこかでデジタル化

◇デジタルセンサ

- ・アナログセンサ、アナログ処理回路、アナログデジタル変換 を内蔵
- ・処理機能内蔵型(マウスセンサなど)
- ・コンピュータとの通信機能

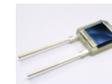


アナログセンサとデジタルセンサ →第12, 13回

○利用時の構成と検討内容

◇アナログセンサ→マイコンAD変換 →12

- ・アナログセンサの仕様 → 回路仕様
- ・信号変換回路、増幅回路、フィルタ回路
- ・アナログデジタル変換部の検討



◇デジタルセンサ→マイコン →13

- ・デジタルセンサとマイコンの通信 (配線は直結、通信用のソフトウェア)
- ・センサの読み取り、測定条件の設定



画像処理・センシング →第10回 カメラと画像処理

○センサ＋処理のセットの一種

◇センサ:カメラ

- ・大量の情報が同時に取れる/取れてしまう
- ・カメラ本体、レンズ、光源

◇画像処理 (狭い意味)

- ・画像に対する下処理演算、フィルタ
- ・処理量が膨大

◇画像分析/認識

- ・画像から意味ある情報を取り出す

基礎からのメカトロニクスセミナー

○第2部:メカトロニクスの概要 -2

◇操作と駆動

- ・モータ
- ・モータの駆動方法/制御方法

◇制御

- ・制御手法 (PID制御、非線形制御)
- ・制御用のマイコン
 - ・マイコン、デジタル、通信

操作・駆動

○コンピュータの判断を動きに

◇コンピュータ→電力増幅→アクチュエータ

- ・電気をエネルギーとして使う
 - その大きさの調整手法
 - ※VS 電気を信号として使う
- ・アクチュエータ
 - ・主に電力→動力{力×速度}
 - ・主にモータ、電磁アクチュエータ
 - ・空気圧アクチュエータも多用

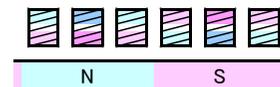
各種モータ

→第8回 モータの基礎

○メカトロにおける代表的アクチュエータ

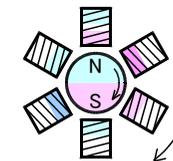
◇モータの形態

- ・回転式のモータ
- ・直動式のモータ(リニアモータ)



◇モータの供給電力による分類

- ・直流モータ
- ・交流モータ
 - 同期式(含:ブラシレス)、非同期(誘導等)
- ・ステッピングモータ



モータを動かす →第16回 コンピュータ制御でモータ回す

○ハードウェアとソフトウェア

◇ハードウェア

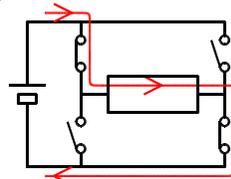
- ・モータそのもの、特性
- ・モータへの電力供給:

スイッチング(PWM) と ブリッジ回路

- ・モータのセンシング(角度/速度/電流)

◇ソフトウェア

- ・フィードバック制御 (→第9回)
- ・電流(トルク)FB, 速度FB, 位置FB



制御

→第9回 制御の基礎

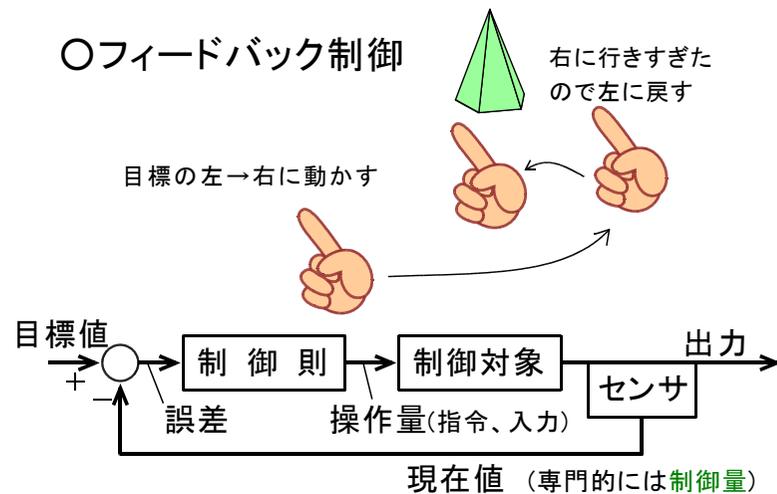
○思い通りに対象を動かす

- ◇現在の状態の把握=センシング
- ◇目標と現在値の誤差の算出
- ◇誤差を解消するための操作量の算出
 - ・フィードバック制御
 - ・PID制御(比例-積分-微分)
- ◇フィードフォワードと非線形制御
 - ・対象の特性を活かした制御
 - ・PIDを効率よく安定に動作させる補助にも

制御

→第9回 制御の基礎

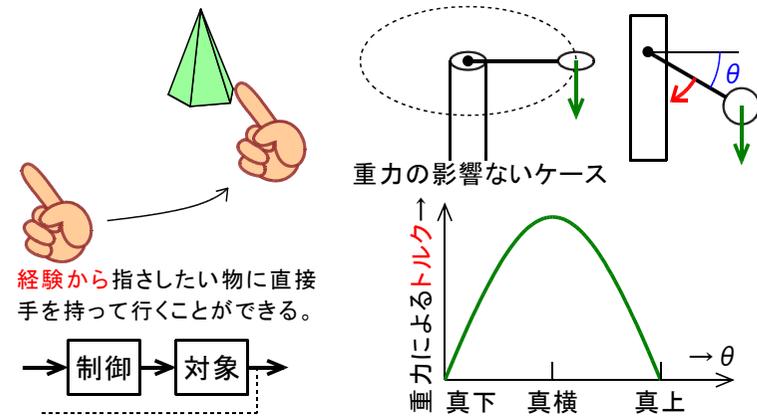
○フィードバック制御



制御

→第9回 制御の基礎

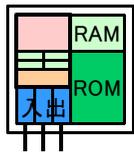
○フィードフォワード と 非線形制御



制御の器：コンピュータ →第2回 マイコンの初歩

○制御や信号処理のソフトウェアを実行

- ◇マイコン = 小型のコンピュータ
- ◇組み込み = 装置の一部品となるもの
- ◇組込マイコン



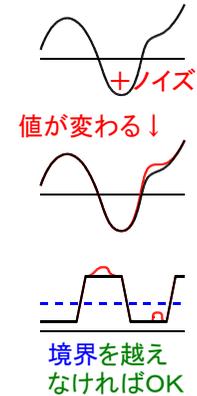
- ・装置制御に特化したマイコン
 - ・コンピュータとしての機能(演算、記憶)
+ 各種入出力機能(デジタル、AD、パルス等)
 - ・小型/高性能化/低価格/修正容易
- ※超多品種で選定難



コンピュータの基礎：デジタル →第3回 デジタル

○2値のみで数値や論理処理 (2値デジタル)

- ◇値は二つのみ:0と1
 - ◇アナログに対する信号の強さ
・ノイズの影響の受けにくさ
 - ◇3種の基本演算
 - ・論理積: AND: 「かつ」
 - ・論理和: OR: 「もしくは」
 - ・否定: NOT: 「ではない」
- この3種で全てを実現



コンピュータの基礎：デジタル →第3回 デジタル

○2値のみで数値や論理処理 (2値デジタル)

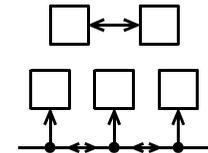


- ◇2進数
 - ・0と1のみで数値を表す
 - ・0000, 0001, 0010, 0011, 0100, 0101,...
 - ・正の整数、正負の整数、16進数
 - 小数(固定/浮動)
 - 例) 8ビット → 0~255, -127~128
 - 16ビット → 0~65535, -32768~32767
- ・数値の演算とAND/OR/NOT

コンピュータ通信 →第11回 マイコン・パソコン通信

○複数の機器・部品をつなぐ

- ◇コンピュータ間通信
 - ・複数のコンピュータによる実装の一般化
← コンピュータの低価格化、設計切分け
 - ・複数のマイコン、上位コンピュータ+下請
- ◇コンピューターデバイス間通信
 - ・デジタル化センサとマイコンの通信
- ◇通信技術 = 回路的定義 + プロトコル
 - ・UART(シリアル)、SPI、I²C、USB、ネット



基礎からのメカトロニクスセミナー

○第2部:メカトロニクスの概要 -3

◇システムの実装

- ・メカ実装+回路実装+ソフト実装
- ・システムを記述するための数学
- ・効率よく設計するための基本法則
- ・腕ロボットと車輪ロボット

◇設計/実装のための技術/知識

- ・材料と形状と強度
- ・3次元設計
- ・基板設計
- ・計測器

メカトロシステムの実現

○現実的なシステム構築

◇メカの実装

- ・メカ自体が動かなければ制御もできず
- ・動作の検討/設計手段/加工実現手段

◇回路の実装:メカとコンピュータの仲立ち

- ・計測系回路
- ・駆動系回路
- ・組込マイコン等の周辺回路

メカトロシステムの実現

○現実的なシステム構築

◇メカの実装 ◇回路の実装

◇ソフトウェア:信号処理の実装 →第7回

◇ソフトウェア:制御の実装

- ・対象の理解、モデル化
→第17、18、20回
- ・制御則の実装 →第9回

◇ソフトウェア:周辺機能の実装

- ・ユーザインタフェース(→未)、通信(→11)

メカトロと数学/理論

→第17, 18, 20, 22回

○避けられないほうがよい数学がある

◇直感 VS 数学的理論

- ・直感でも制御できる物が多い
直感で動く程度が実用性は無難?
- ・説明するための数学的理論/表現
正しさを保証するための数学的理論
より高度な性能を出すための数学的理論
- ・数式は「言葉で説明すると面倒なこと」を
表すための記号 & 汎用の論理的導出

メカトロと数学/理論 →第22回 メカトロのための数学

※想定以上に人気回
※唯一、数式だらけ

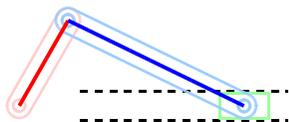
○メカトロに必要な数学

◇主に高校の数学: 必需

- ・座標/座標系
- ・関数 = なにかに従って変化する
- ・三角関数 = 角度と位置/長さの関係
- ・微分 = あるところの変化速度

◇追加レベル

- ・複素数 → 制御・振動・回路特性の理解に
- ・行列/ベクトル → 空間の理解、ロボット



機械を数学表現

→第17回 メカの基本法則

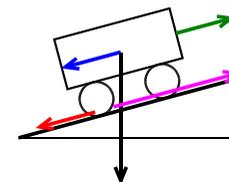
○メカの原理を説明する

◇基礎となる法則からの理解の必要性

- ・VS 状況ごとの簡易演算式
- ・少し形を変えたとき、非ブラックボックス化

◇メカの基本法則

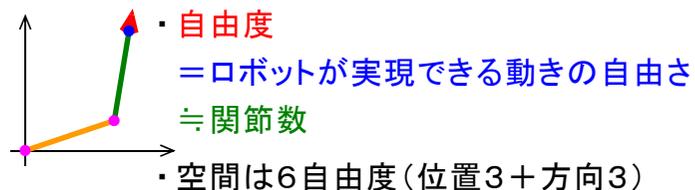
- ・単位と量の定義、単位系
- ・運動の法則: 直線と回転
- ・力、仕事とエネルギー
- ・法則適用の方法 (加減速の意味、設計など)



マニピュレータの理論 →第18回 マニピュレータ

○腕型ロボット(いわゆる産業用ロボット)

◇マニピュレータの機構と自由度



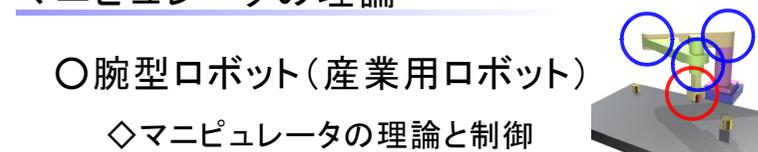
- ・自由度
= ロボットが実現できる動きの自由さ
≡ 関節数
- ・空間は6自由度(位置3+方向3)
→ 用途によってはフルの6までは不要
→ 関節が少ない = 安いロボットで実現



マニピュレータの理論 →第18回 マニピュレータ

○腕型ロボット(産業用ロボット)

◇マニピュレータの理論と制御

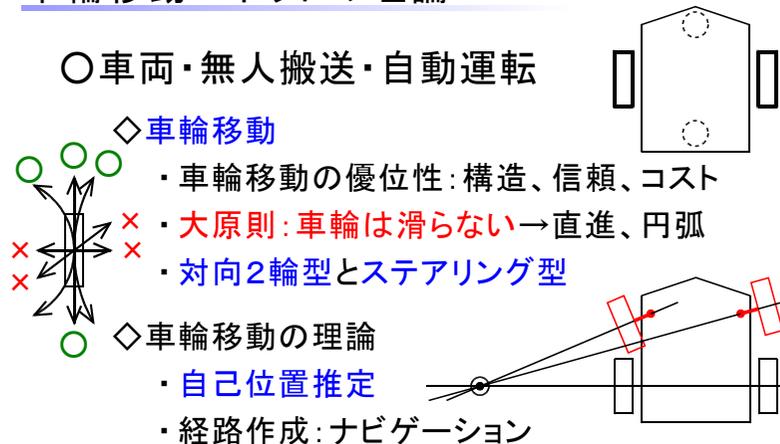


- ・順運動学: 関節(角度/長) → 手先(位置/姿勢)
- ・逆運動学: 手先 → 関節
- ・特異点: 運動学演算に問題が生じる点
簡単な例) 腕が伸びきったところ
特異点付近で使うことは危険
- ・原理を知る
→ 選定、産業用ロボを買わずに実現



車輪移動ロボットの理論 →第20回 移動ロボット

○車両・無人搬送・自動運転

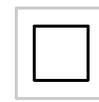


メカの実現: 強さ →第21回 材料と強度

○メカ設計の重要/基礎事項: 強度

◇メカの強度検討の意義

- ・壊れない
- ・無駄にごつくない→重量、コストへの影響
- ・二つの強さ: 壊れない & たわまない

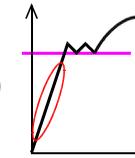


◇メカの強度の決定要素

- ・材料 (材料の強度+各種特性)
- ・部材の形状 = 材料力学



同じ量の材料でも形で強度が大きく変化

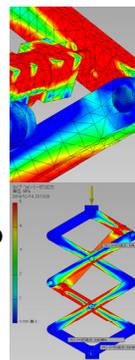


メカの実現: 3次元 →第23回 3次元CAD/プリンタ

○3次元設計の有用性

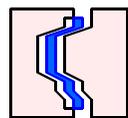
◇なぜ3次元設計(CAD)か

- ・我々がつくるものは3次元が対象
- ・2次元設計は、途中に変換が入る
- ・コンピュータ内で組立/動作試験



◇3次元成形技術

- ・切削加工機(マシニングセンタ)
- ・射出成形(金型で量産)
- ・3次元プリンタ



回路の実現: 基板 →第19回 プリント基板の基礎

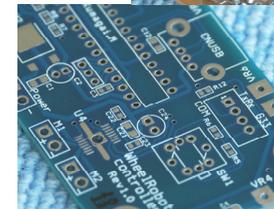
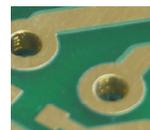
○簡単にできる基板製作

◇なぜ基板を作るか(パターン設計するか)

- ・VS手配線: 量産性、安定性、見た目
- ・VS外注: 自らの意図、コスト

◇基板作りのプロセス

- ・回路設計
- ・基板のパターン設計
- ・基板の製造委託
- ※低コスト化、手軽化



メカトロシステムの測定

→第15回 測定器

○測定の重要さ と おすすめ計測機器

◇測定器の利用シーン

- ・対象の性能を保証するため（検査・校正）
→ 目的に応じた十分な性能の測定器
- ・開発時の動作検証/トラブル解析
→ 現象が見えること、種類の豊富さ

◇測定器の例

- ・オシロ 電流計 LCR
- ・フォースゲージ 高速度デジカメ



メカトロシステムの開発過程

→第14、24回

○プランからメカ～ソフトの開発まで

◇アイデア→仕様、基礎検討

- ・つくりたいものの具体化
- ・簡単なモデルによる理論面の検証
- ・大まかな規模の見積もり

◇仕様→実装

- ・キーとなる不可欠要素(メカ、制御原理等)
- ・メカ/回路/ソフトの設計実装
- ・動作の評価

事例1: バドミントンロボットの開発 →第14回

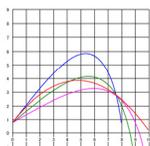
○バドミントン練習用機(≒ピッチングマシン)

◇目的

- ・バドミントンの打ち返し練習用
- ・ネットを超えてサーブを打ってくれる機械



◇基本方針



- ・ラケットをタイミング良く振って打ち飛ばす
- ・キー1: 出力の見積(理論、表計算)
- ・キー2: ラケット駆動機構

事例2: トレーラ型ロボットの開発 →第24回

○セミトレーラ型の制御



◇目的

- ・「トレーラ型ロボットをつくりたい」

◇基本方針

- ・実車に近い構成(1主動力)
- ・1/10スケール、ステアリング操舵型
- ・制御原理: 実車の運転方法をもとに

◇発展研究

- ・自動運転、自動連結など

まとめ

○メカトロセミナー

◇基本方針

- ・雑学としてのメカトロニクス各種知識
- ・「見たことも聞いたこともない」
→「聞いたことはある」
- ・隣を知ることで、より密接な専門分担
- ・なるべく数式を使わず、前提知識無く
- ・これをきっかけに専門知識の拡張を
- ・ご要望に応じて企業向け出前講座

まとめ

○メカトロニクス

◇全24回にみる、メカトロニクスの各領域

- ・メカトロ＝メカ＋電子回路＋ソフトウェア
- ・メカトロ＝センシング＋制御＋操作/駆動
- ・センシング＝センサ＋回路＋信号処理
- ・操作/駆動＝アクチュエータ＋電力制御

◇メカトロ理解のための数学/理論

- ・数学、メカの基本法則(力学)
- ・対象の特性(マニピュレータ、車輪移動等)

まとめ

○参考資料

◇メカトロニクスセミナー解説・資料配付ページ

- ・ロボット開発工学研究室
<http://www.mech.tohoku-gakuin.ac.jp/rde/>
→基礎からのメカトロニクスセミナー
- ・資料(PDF)と関連ファイル類
- ・簡単な解説

◇講義資料

- ・同→メカトロニクス、ロボット基礎工学

まとめ

○今後の予定

◇次回予告

- ・12/8(火) @ FabLab SENDAI FLAT
「3次元CADと3次元加工の基礎 Rev2.0」
※第23回の再実施(内容アップデート版)
- ・以降 未定
※内容検討中
※これまでの内容の再実施も検討