

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

SP01/Rev 1.0

スペシャル@産学連携力アップセミナー

# 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](mailto: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

○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

## ○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

## ○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

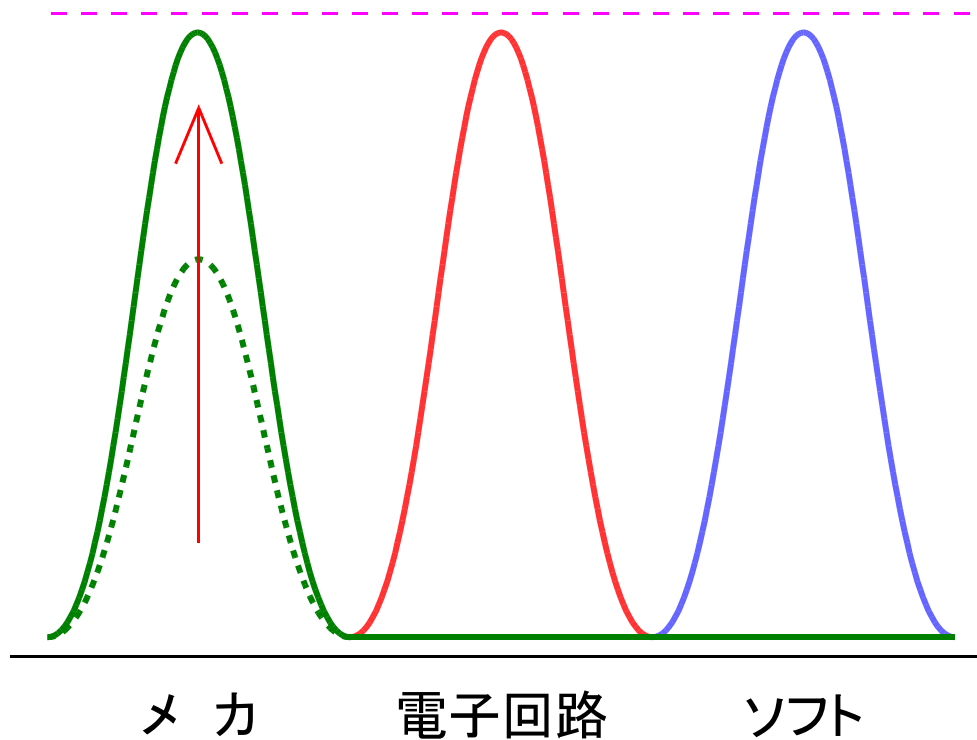
- ・初心者～専門家になり始める手前
- ・予備知識不要、数式削減を基本

### ◇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

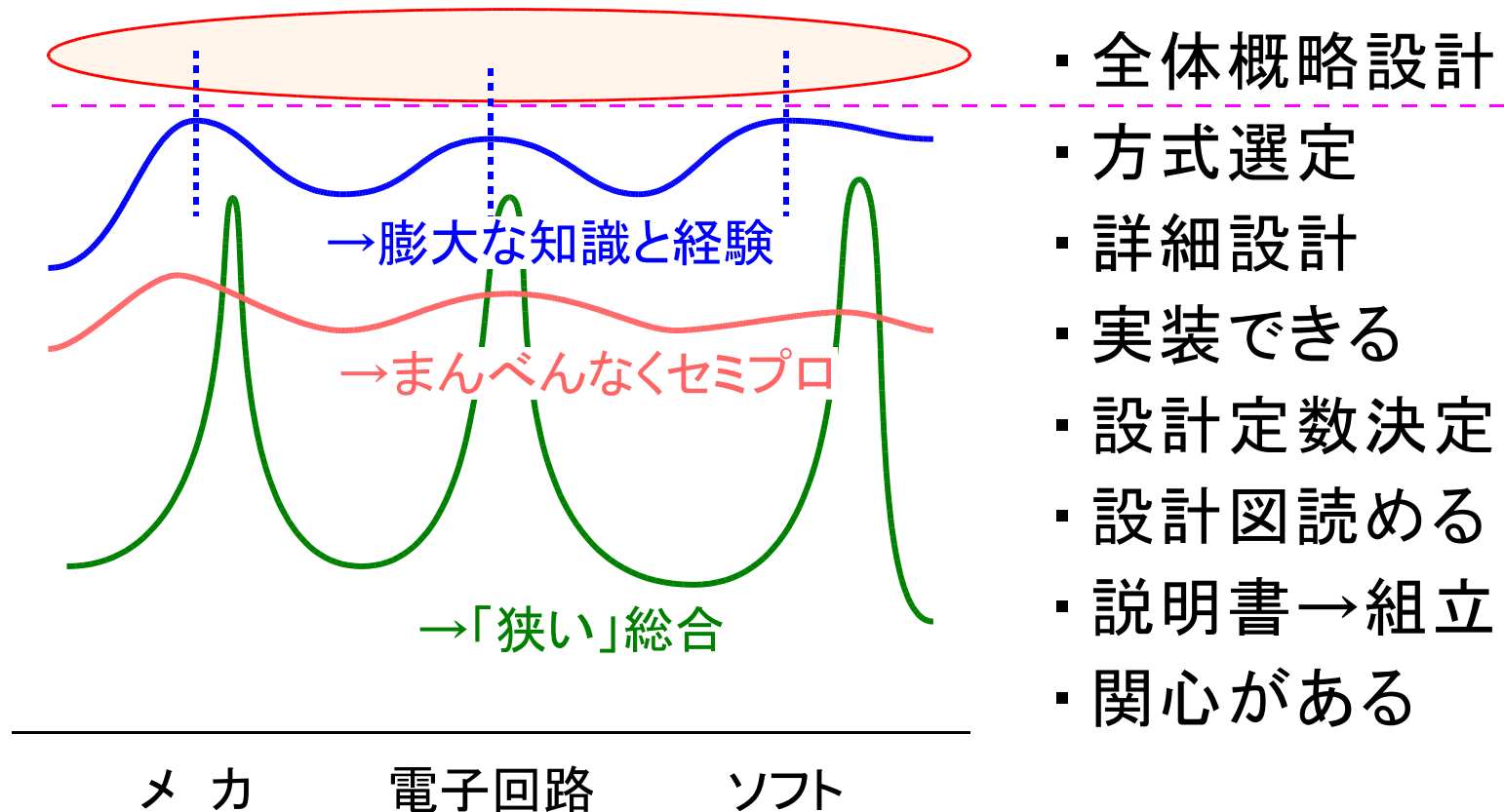
## ○専門性の追求モデル



- 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

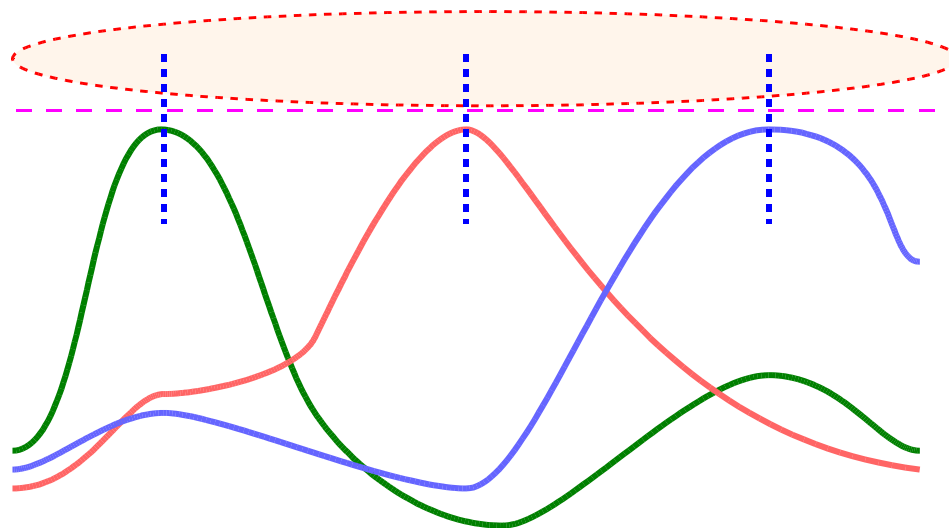
# 雑学の必要性

## ○メカトロ系の目指すべき方向：総合力



# 雑学の必要性

○現実的目標：専門性＋幅広くほどほど



＝どこかの分野に高度な専門性  
＋他の分野もそれなりに理解  
(ある程度専門的な見解が言え、相談できる)

- 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

メカ

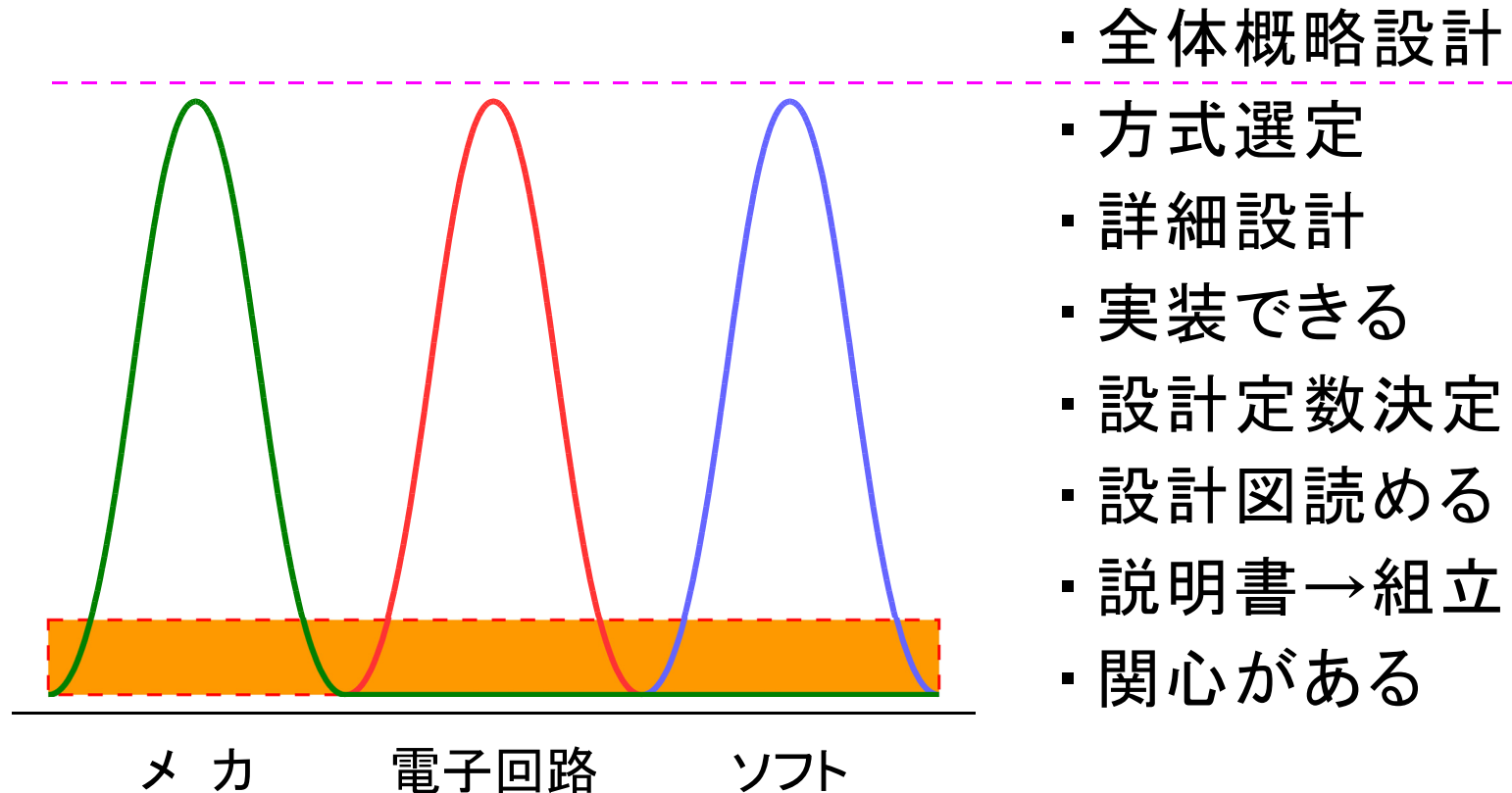
電子回路

ソフト



# 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  
→ 関連性がよくながる、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

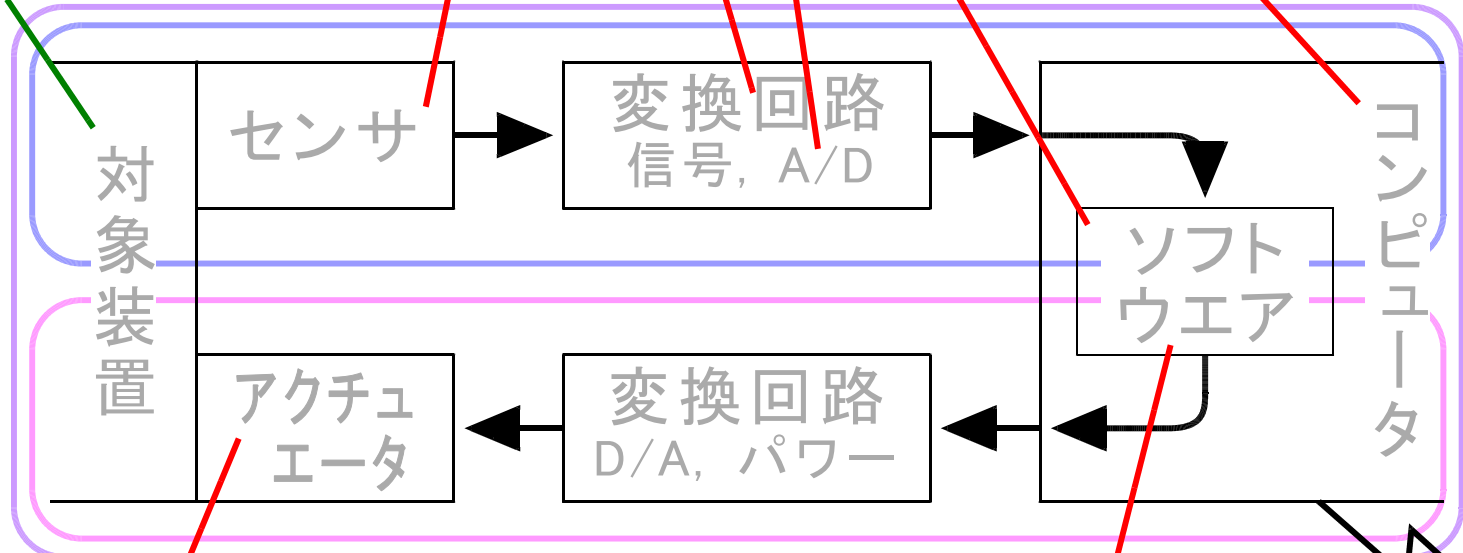
①ロボメカの基礎      ⑤アナログ信号のコンピュータへの取り込み

④アナログ信号の基礎      ⑦センサ信号の処理の基礎

②1材料と強度      ⑥センサの基礎

③3DCAD&プリンタ

②マイコンの初歩



⑧モータの基礎

⑨制御の基礎

③デジタルの基礎

⑪マイコン・パソコン通信の基礎

⑤メカトロ開発のための測定器の使い方

⑦メカを動かす基本法則

⑩プリント基板の設計試作

# 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

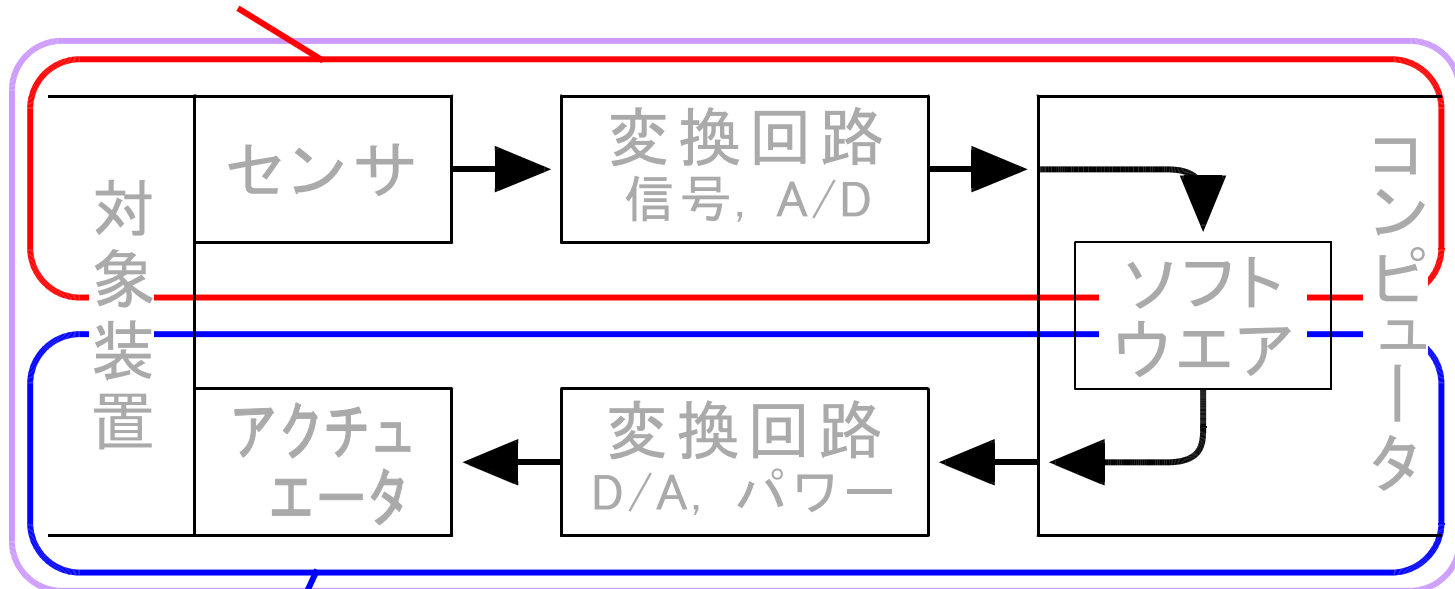
⑫アナログセンサをマイコンにつなぐ

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

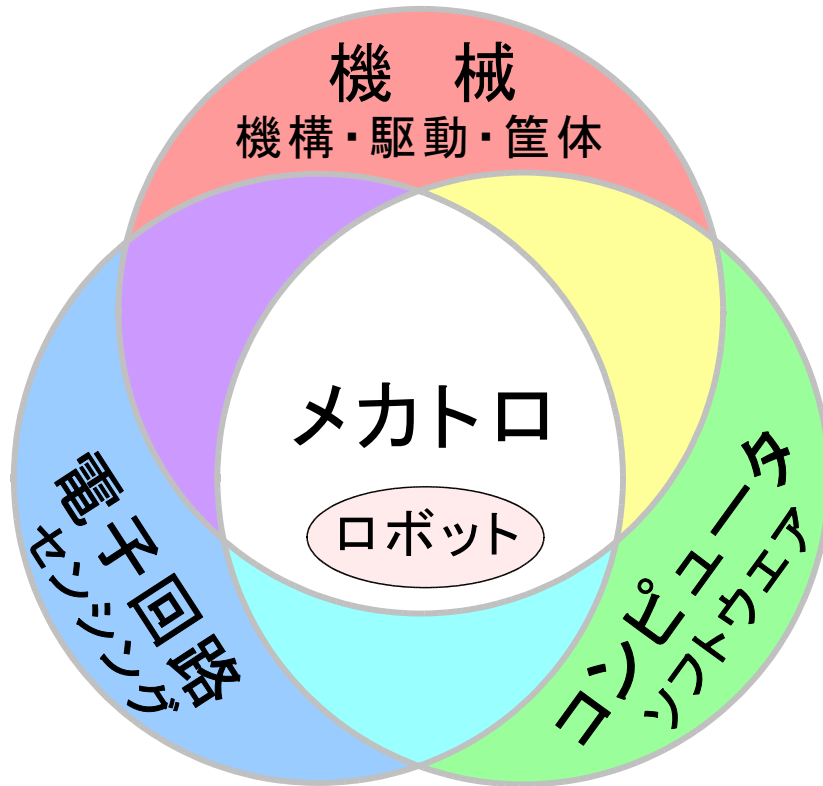
- これまでの24回分の位置づけ
- 各部の詳細へのご関心  
→ オンライン資料、出前講座等

# 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

---

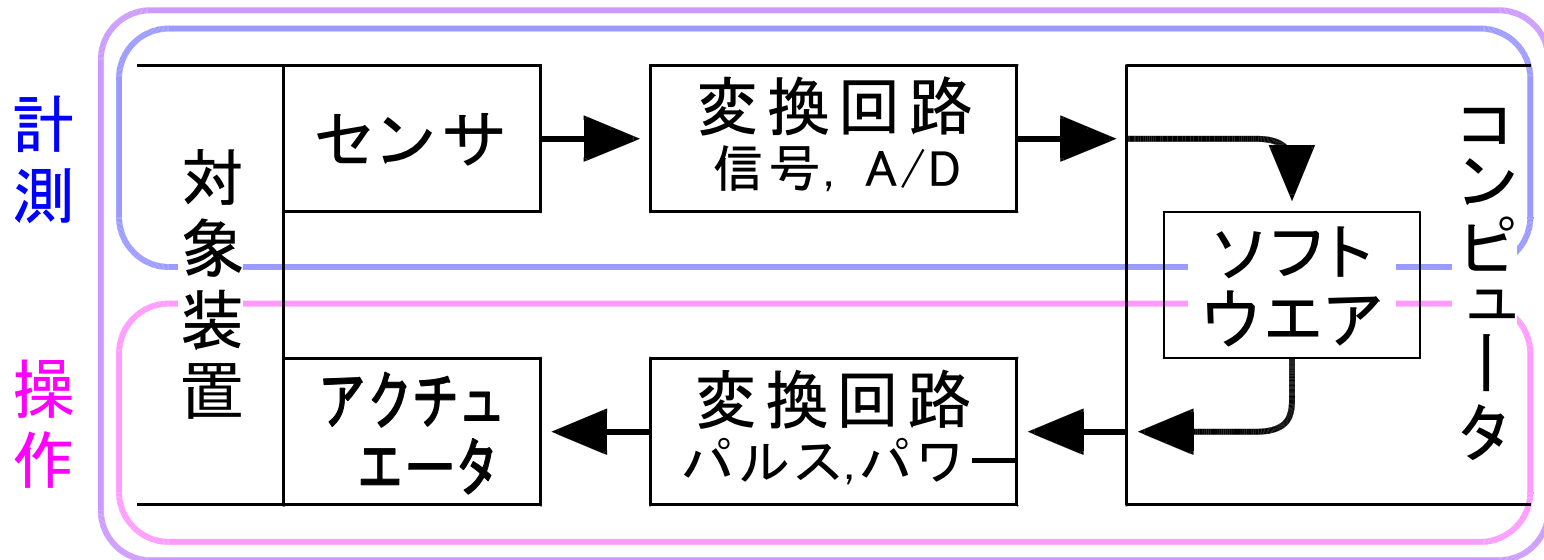
## ○ロボットの要件（私案）

- 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

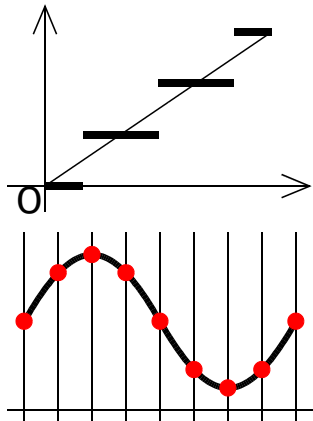
#### →第4回 アナログ信号の基礎

- ・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

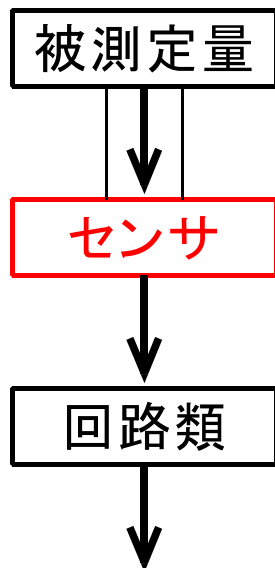
1: センサの性能以上のことはできない

◇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

### 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

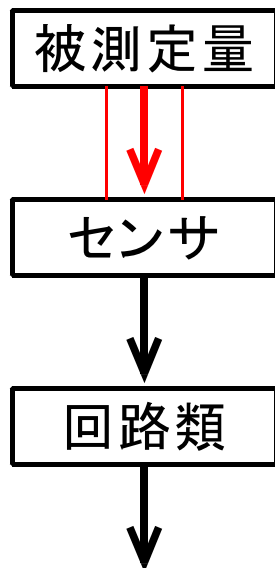
- ・センサが正しい対象を測定すること

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

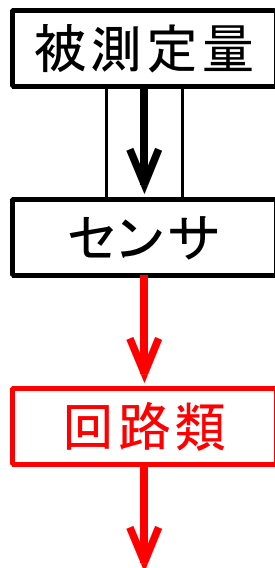


## ○センシングの鉄則

### 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





## ○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



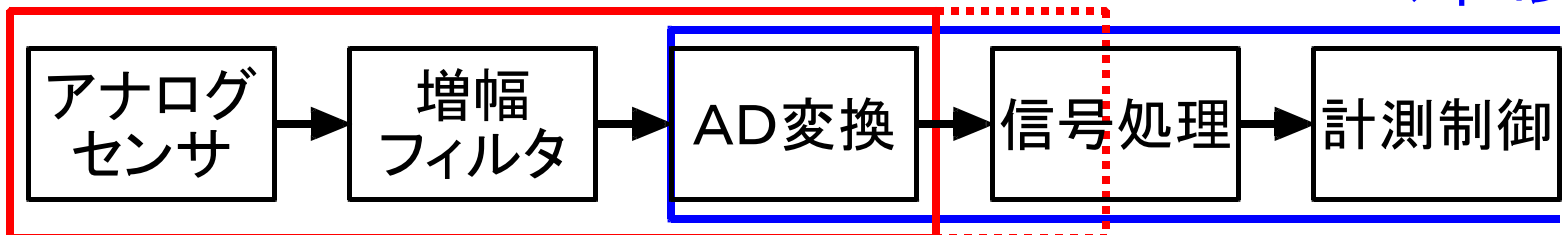
# アナログセンサとデジタルセンサ →第12, 13回

## ○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

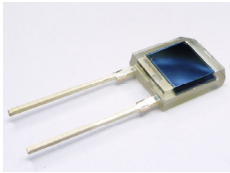


# アナログセンサとデジタルセンサ →第12, 13回

## ○利用時の構成と検討内容

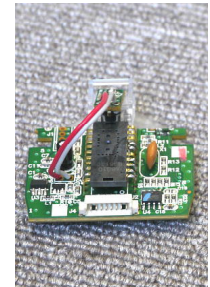
### ◇アナログセンサ →マイコンAD変換 →12

- ・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



## ○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 ー 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

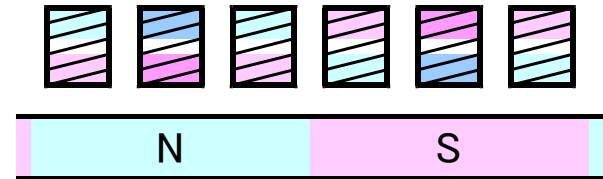
  - ・ 空気圧アクチュエータも多用

## ○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)



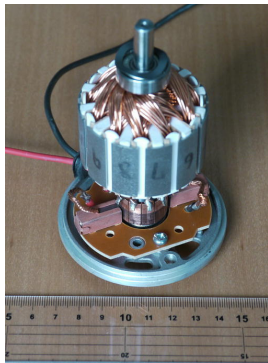
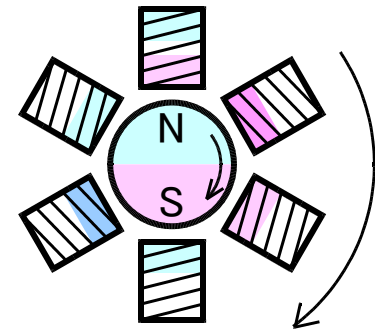
### ◇モータの供給電力による分類

- ・ 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

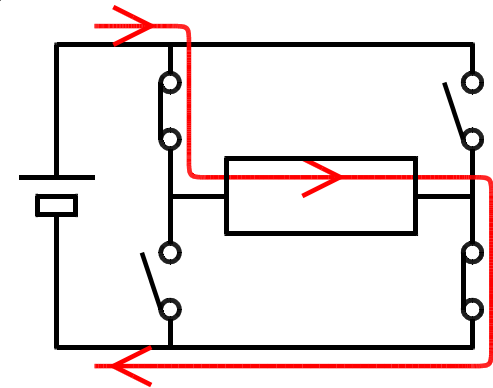
- ・モータそのもの、特性
- ・モータへの電力供給：

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



## ○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

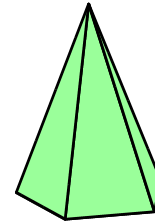
- ・PID制御（比例-積分-微分）

◇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

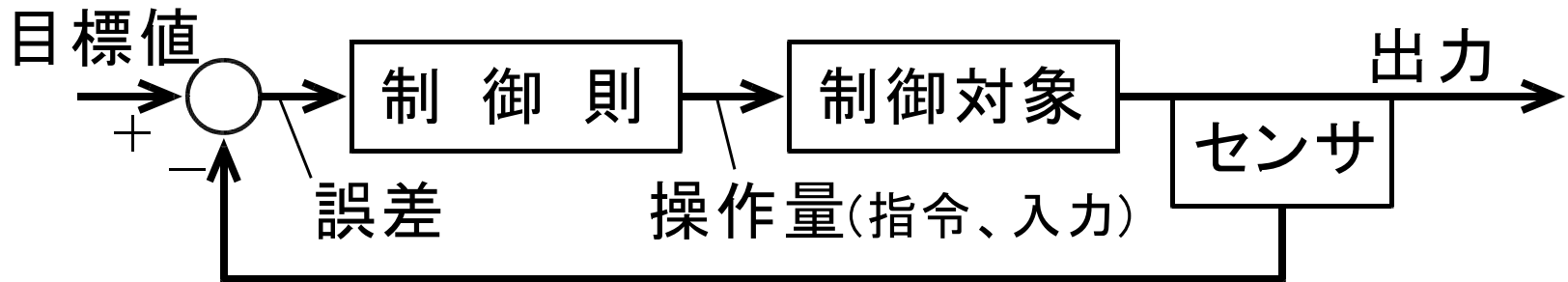
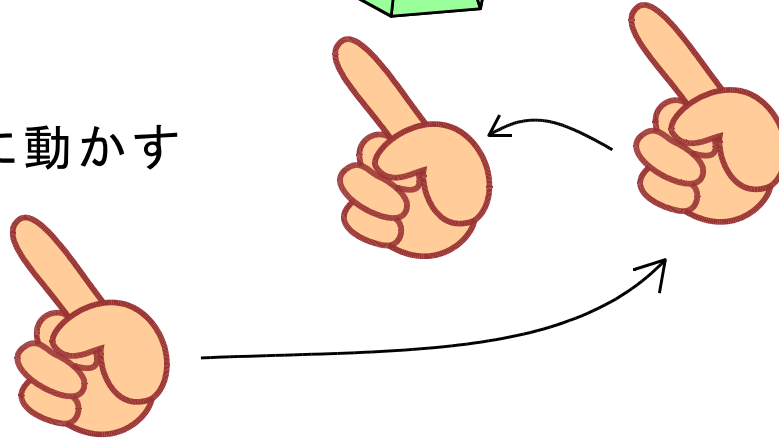
- ・PIDを効率よく安定に動作させる補助にも

## ○フィードバック制御



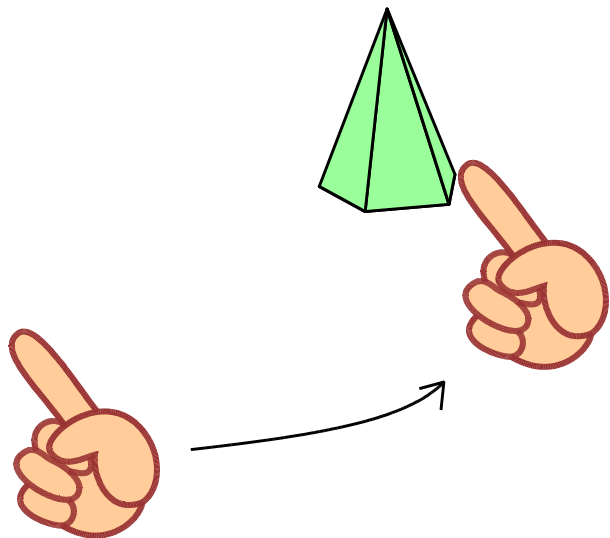
右に行きすぎたので左に戻す

目標の左→右に動かす

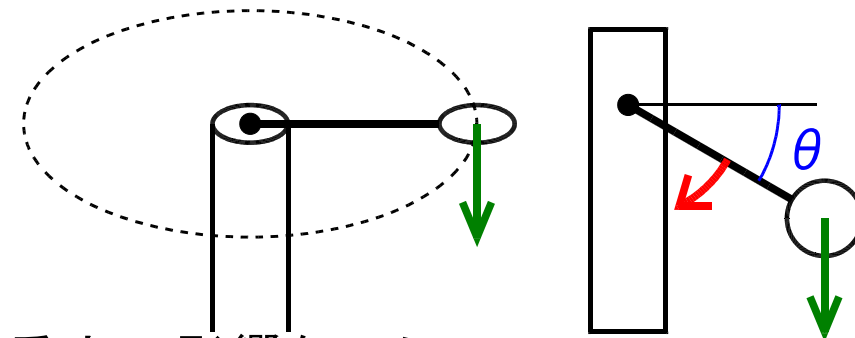
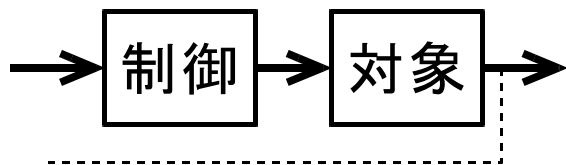


現在値 (専門的には**制御量**)

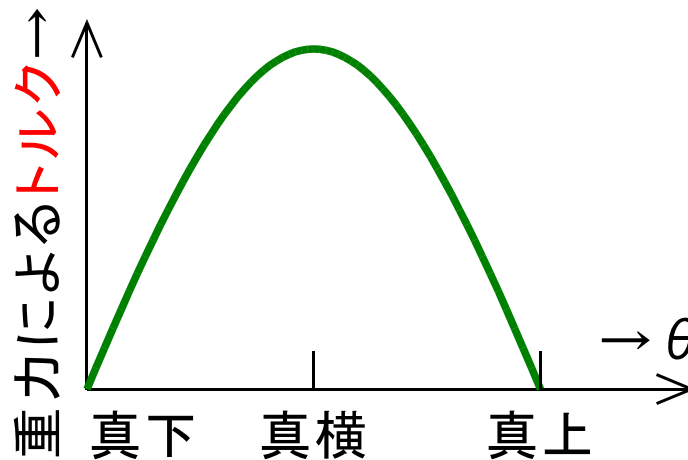
## ○フィードフォワード と 非線形制御



経験から指さしたい物に直接手を持って行くことができる。



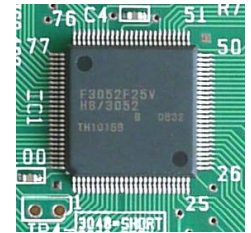
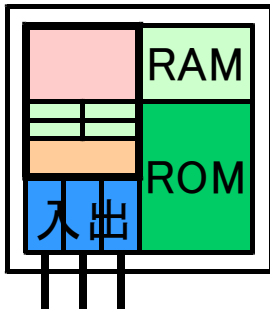
重力の影響ないケース



## ○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)

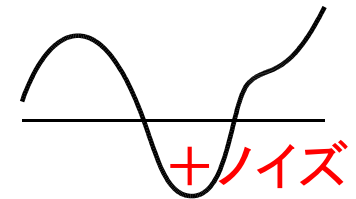
◇値は二つのみ：0と1

◇アナログに対する信号の強さ

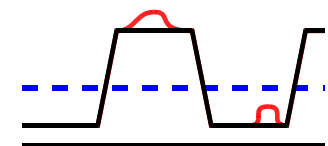
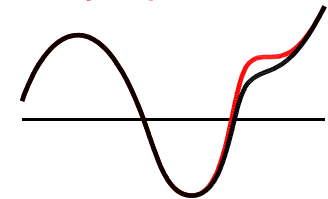
- ・ノイズの影響の受けにくさ

◇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



値が変わる↓



境界を越え  
なければOK

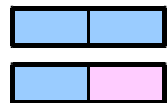
## ○2値のみで数値や論理処理 (2値デジタル)



2種類

### ◇2進数

- ・ 0と1のみで数値を表す
- ・ 0000, 0001, 0010, 0011, 0100, 0101,...



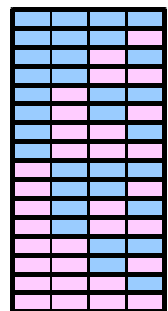
4種類

- ・ 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



16種類

- ・ 数値の演算とAND/OR/NOT

## ○複数の機器・部品をつなぐ

### ◇コンピュータ間通信

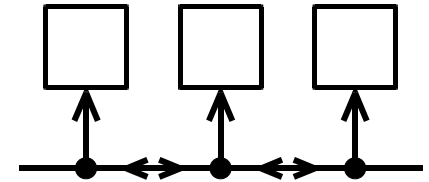
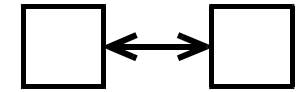
- ・ 複数のコンピュータによる実装の一般化  
← コンピュータの低価格化、設計切分け
- ・ 複数のマイコン、上位コンピュータ＋下請

### ◇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、I<sup>2</sup>C、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)

## ○避けないほうがよい数学がある

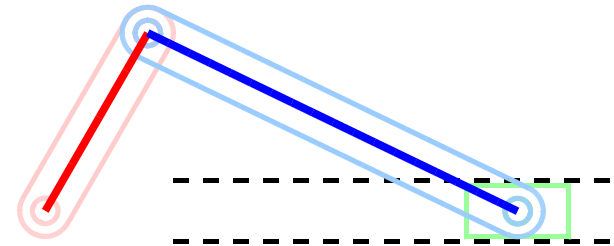
### ◇直感 VS 数学的理論

- ・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

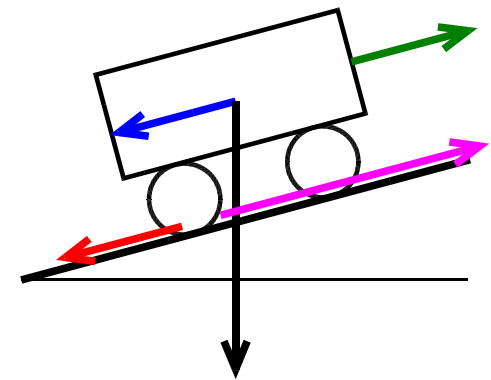
## ○メカの原理を説明する

### ◇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

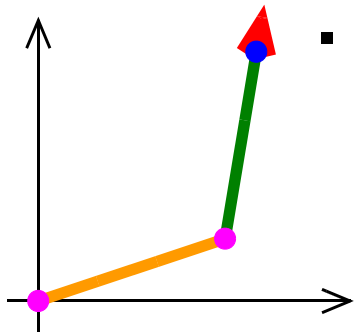
### ◇メカの基本法則

- ・ 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）



## ○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

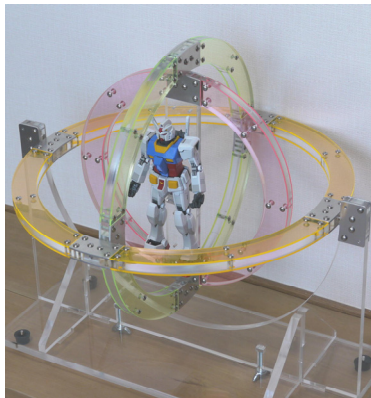


- ・ **自由度**  
= ロボットが実現できる動きの自由さ  
≡ 関節数

- ・ 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

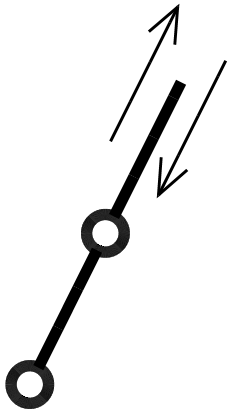
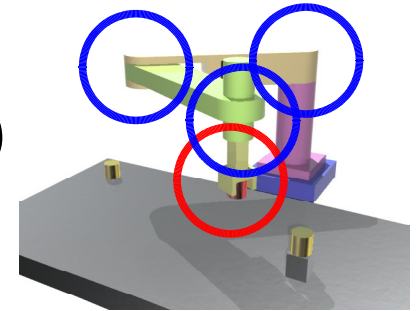
→ 関節が少ない = **安いロボットで実現**



## ○腕型ロボット(産業用ロボット)

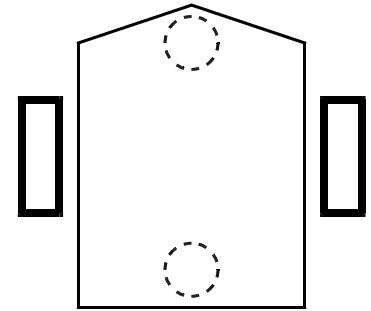
### ◇マニピュレータの理論と制御

- **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

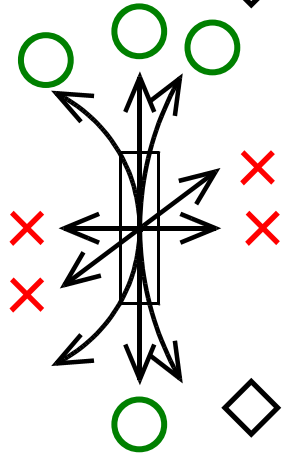




## ○車両・無人搬送・自動運転



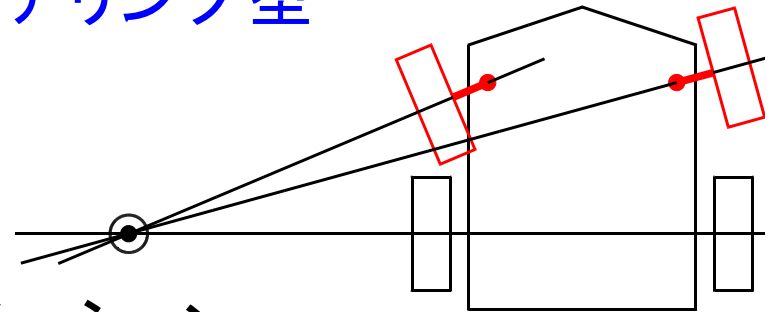
### ◇車輪移動



- ・車輪移動の優位性：構造、信頼、コスト
- ・大原則：車輪は滑らない→直進、円弧
- ・対向2輪型とステアリング型

### ◇車輪移動の理論

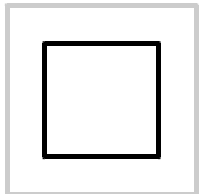
- ・自己位置推定
- ・経路作成：ナビゲーション



## ○メカ設計の重要/基礎事項：強度

### ◇メカの強度検討の意義

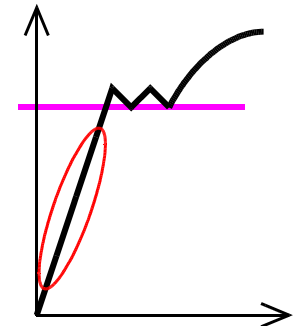
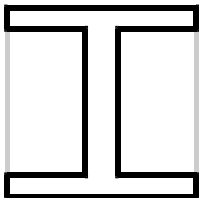
- ・壊れない
- ・無駄にごつくない→重量、コストへの影響
- ・二つの強さ：壊れない & たわまない



### ◇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



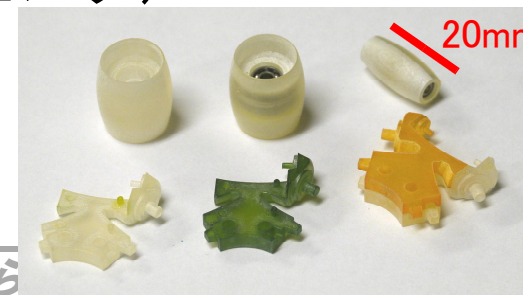
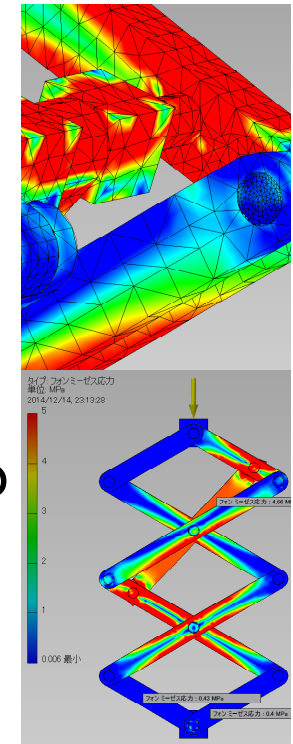
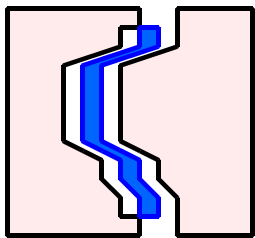
### ○3次元設計の有用性

#### ◇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



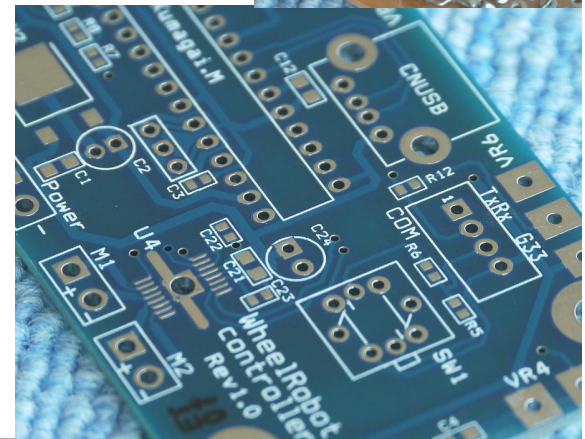
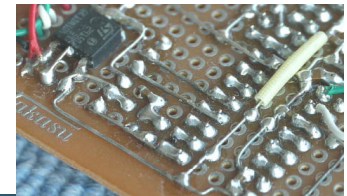
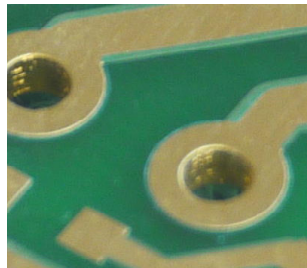
## ○簡単にできる基板製作

### ◇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



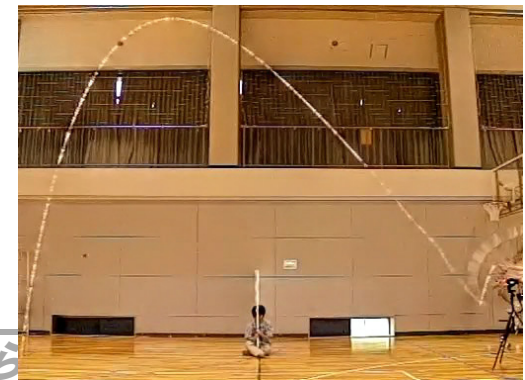
## ○測定の重要さ と おすすめ計測機器

### ◇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



## ○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

- ・ 作りたいたいものの具体化
- ・ 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)

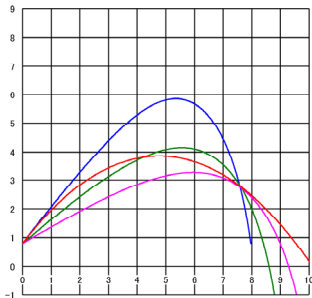
### ◇目的

- ・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

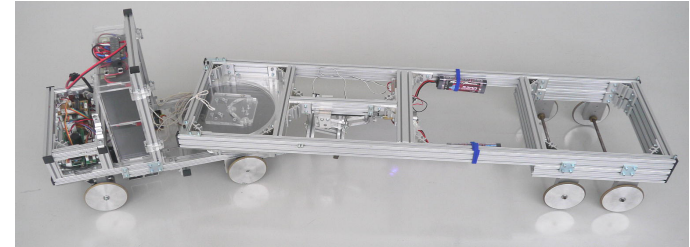


### ◇基本方針

- ・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



## ○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