

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

C01/Rev 1.1

第1回

# ロボット・メカトロニクス の基礎

仙台市地域連携フェロー

熊谷正朗

kumagai@tjcc.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**

## 今回の目的

### ○ ロボット・メカトロニクスの基礎

- ・メカトロニクスとは何か
- ・ロボットとは何か
- ・メカトロニクスの構成
- ・メカトロニクスの要素
- ・メカトロニクスの設計に必要なこと

C01 ロボット・メカトロニクスの基礎 Page. 2 基礎からのメカトロニクスセミナー

## イントロダクション

メカトロニクスとは？

ロボットとは？

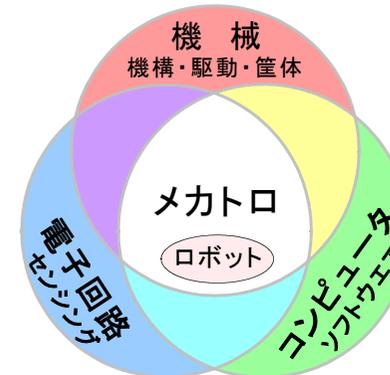


C01 ロボット・メカトロニクスの基礎 Page. 3 基礎からのメカトロニクスセミナー

## メカトロニクスとは？

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

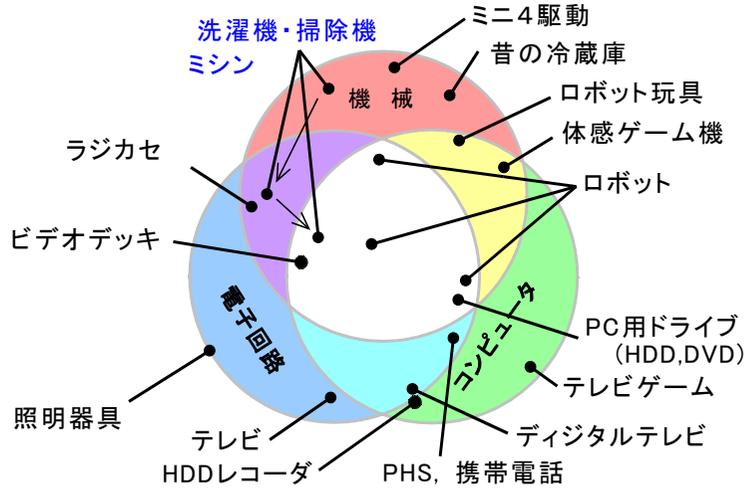
・電子回路、  
コンピュータによる  
機械制御全般

・ロボットは技術的には  
メカトロの一部

C01 ロボット・メカトロニクスの基礎 Page. 4 基礎からのメカトロニクスセミナー

## 工業製品の技術分野

※敢えて極端に書いてある  
実は大半が中央の領域



## メカトロニクスとは？

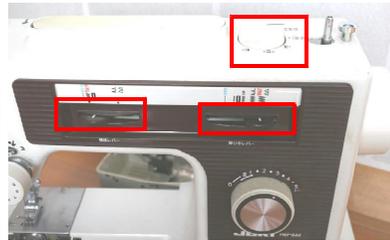
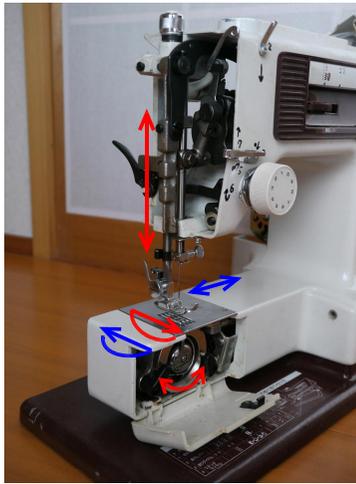
機械工学(メカニクス)+電子工学(エレクトロニクス)  
→メカトロニクス (Mechatronics, メカトロ)



家にあったJUKIの古そうなマシン

モータは1個のみ

## メカトロニクスとは？



ジグザグ、ボタンホールなど設定

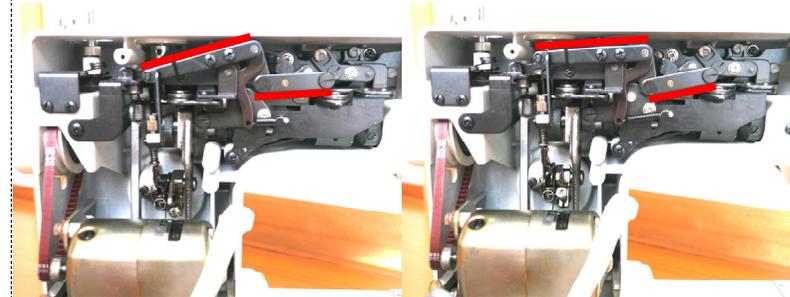
### 主動作

針上下 カマ往復回転  
送り機構(水平+戻り)

### 補助動作 (ジグザグ、模様縫い)

針左右 送り調整

## メカトロニクスとは？



設定変更=リンク機構の変形  
→ 往復動作の幅などの変化

つまみを変えた

## メカトロニクスとは？

### ○ ミシンの変化

長いメカの歴史

- ・動力は1個（足踏み→モータ）
- ・リンク、カムによって動きを作り出す
- ・カムの交換で模様縫いも
- ・匠の設計

初期の電子制御化

- ・モータの回転を電子制御でなめらかに



## メカトロニクスとは？

### ○ ミシンの変化

コンピュータ制御化

- ・一部動作を機械的に切り離して電子制御を介在させる
- 調整部分 リンク→モータ類  
送り/横振り 個別のモータ
- ・積極的に布を前後左右に動かす模様縫い
- ・削る微調整から数値的微調整へ
- ・それでも全てのコンピュータ化は困難？

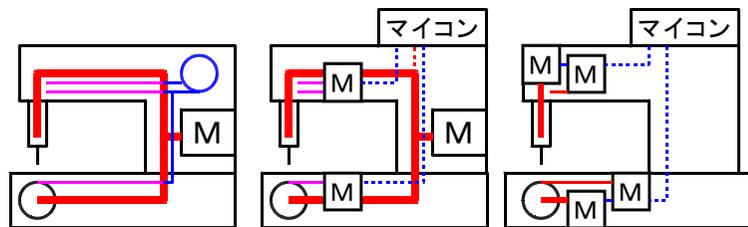


ブラザー工業WEBサイトより



## メカトロニクスとは？

### ○ ミシンの変化



純メカ構成

- ・動力は一つ
- ・機械的調整

半マイコン半メカ

- ・主要部はメカ
- ・調整/補助機構をコンピュータ制御

全コンピュータ制御化

- ・個々の動きにM
- ・メカはシンプル化
- ・同期を全てソフトで

## ロボットとは？

ロボットの境界／ロボットはメカトロ



ヒューノイド  
たぶんロボット



乾燥付全自動洗濯機



高級？扇風機  
たぶんただの家電

ASIMO: [asimo.honda.com](http://asimo.honda.com)より引用

洗濯機: [kadenfan.hitachi.co.jp](http://kadenfan.hitachi.co.jp)より引用

扇風機: [www.mitsubishielectric.co.jp](http://www.mitsubishielectric.co.jp)より引用

## ロボットとは？

比較表 ～境界線は引けない～

|         |  ヒューマノイド |  全自動洗濯機 |  高級？扇風機 |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| 機械？     | Yes!                                                                                      | Yes!                                                                                     | Yes!                                                                                     |
| モータ？    | 多数                                                                                        | 1+複数                                                                                     | 1                                                                                        |
| 電子回路？   | 大量                                                                                        | そこそこ                                                                                     | 少し                                                                                       |
| コンピュータ？ | 高性能                                                                                       | そこそこ                                                                                     | 小さいの                                                                                     |
| 判断？     | 大量                                                                                        | そこそこ                                                                                     | ×                                                                                        |
| 感情？     | ×                                                                                         | ×                                                                                        | ×                                                                                        |
| 人の形？    | ○                                                                                         | ×                                                                                        | ×                                                                                        |

## ロボットとは？

### ○ おおまかな定義（例）

状況や要請にあわせて、自ら判断して動作する知的なコンピュータ制御の機械。  
ただし、明確な境界はない。

※ 決まった定義はされておらず、十人十色の定義あり

※ 自称ロボットなメカトロ品が多い

※ 日本ロボット学会の定義：

「自動制御によるマニピュレーション機能又は移動機能を持ち、各種の作業をプログラムにより実行できる機械。」

## ロボットとは？

### ○ ロボットかどうかの微妙な疑問

- ・ 生産設備はロボットではないのか？  
（ロボット教材よりは遙かに高度）  
→ これまで生産ロボと呼ばなかった
- ・ エアコンの「フィルタお掃除ロボット」はロボットなのか？  
→ 「言ったもの勝ち」？
- ・ からくり人形？ → 純メカ？

## 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

## ロボットとは？

### ○ 結論

メカトロニクスができれば、ロボットは作れる。

ロボットかどうかは技術の差ではない。



この講座シリーズは「メカトロニクス」

## メカトロニクス

### ○ メカトロニクスの境界

・リレーのシーケンス回路で動く装置はメカトロかどうか？

→ 非常に微妙（電子制御ではない？）  
PLCだとメカトロな感じ

・メカトロなユニット（モータコントローラなど）を簡素に繋いだものはメカトロかどうか？

→ メカトロでも、実装技術として微妙  
「つないでいるだけ」 類:PC組立

## メカトロニクス

### ○ この講座の目的

メカトロの要素技術を幅広く雑学提供



- ・メカトロ装置の中身を察する
- ・分業の隣や全体を知る
- ・切り分けポイントを見極める
  - 得意機能の活用でコスト削減
- ・新展開のきっかけ

## 本題

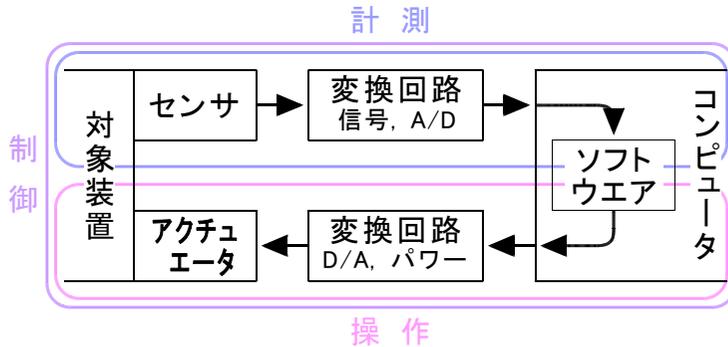
### ○ ロボット・メカトロニクスの基礎

- ・メカトロニクスの構成
- ・メカトロニクスの要素
- ・メカトロニクスの設計に必要なこと
- ・開発実例

## メカトロニクスなシステム

### ○ メカとコンピュータの情報ループ

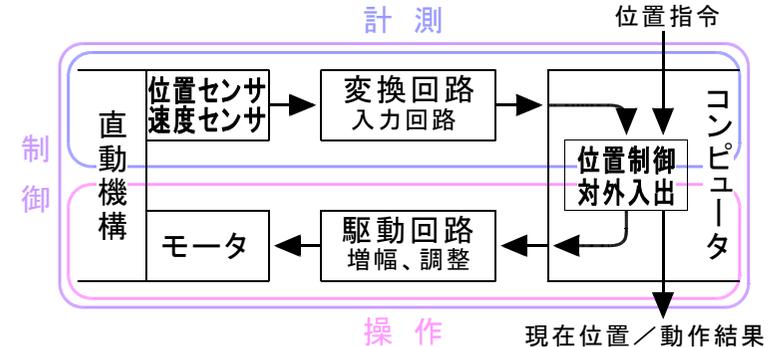
制御 = 計測 → 演算 → 操作



## メカトロニクスなシステム

### ○ メカとコンピュータの情報ループ

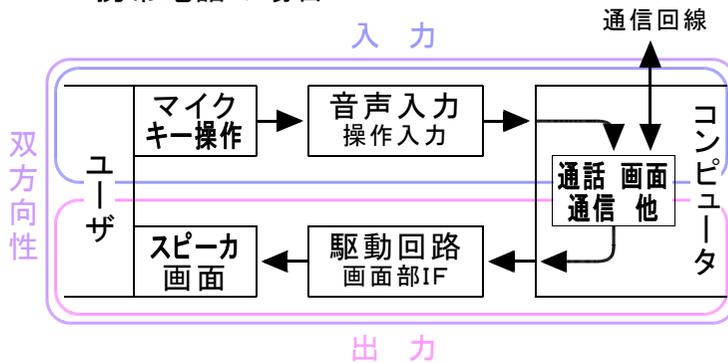
産業用直動ユニット(含む制御器)の場合



## メカトロニクスなシステム(番外)

### ○ 人とコンピュータの情報ループ

携帯電話の場合



## メカトロニクスなシステムの設計開発

### ○ 情報ループの構成要素の選定

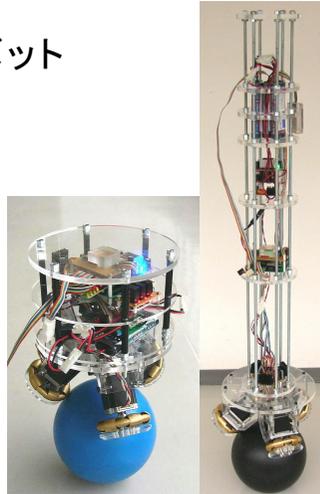
- 要件を満たす、表から見える「実体」(メカ)
- 動きを計測・検出するためのセンサ
- センサの信号をコンピュータに伝える手段
- 実体を動かすためのモータ類
- コンピュータ指示でモータを動かす回路
- 回路・ユニットとしてのコンピュータ部分
- コンピュータ上でのソフトウェア処理

## メカトロニクスなシステムの要素

### ○ 具体例：玉乗りロボット

- ・ 玉に乗ってバランス
- ・ 前後左右の移動
- ・ 旋回

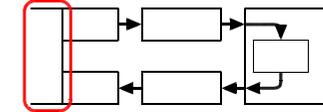
要素の選定と実装



## メカトロニクスなシステムの要素

### ○ 表から見える実体(メカ)

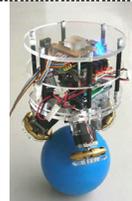
- ★ 主な決定事項
  - ・ 機構設計
  - ・ モータの配置(自由度設計)
  - ・ **実現性の担保** (制約が他に比べ強い)  
性能、強度、コスト
- ★ 判断のポイント
  - ・ **どこまでメカで、どこからコンピュータか**
  - ・ **メカの匠 VS 動きごとにアクチュエータ**



## メカトロニクスなシステムの要素

### ○ 玉乗りロボットのメカ設計

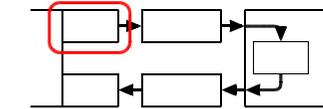
- ★ 機構設計
  - ・ 玉に乗り、転がすために特殊車輪採用
  - ・ モータ直結駆動 (→アクチュエータ)



## メカトロニクスなシステムの要素

### ○ メカの計測、センサ

- ★ 主な決定事項
  - ・ **なにを計るか**
  - ・ **なにを出力するか**
  - ・ センサそのものの選定 (前後と相談)  
性能、個数、コスト
- ★ 判断のポイント
  - ・ **どんな情報が動作・制御には必要なのか**
  - ・ **妥協はどこまでできるか**



メカ・回路

## メカトロニクスなシステムの要素

### ○ メカの計測、センサ

#### ★ センサの例

- ・ 1点の状態

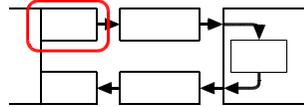
光、温度、力、圧力、電圧、電流、抵抗

- ・ 空間的な状態

存在の有無、距離、位置、角度、速度、  
(凹凸、厚さ、体積、流量)

画像

- ・ センサデバイス/センシングシステム



## メカトロニクスなシステムの要素

### ○ 玉乗りロボットのセンサ

- ★ 車輪系 (一般にはセンサが必要)
- ・ ステッピングモータでセンサ不要

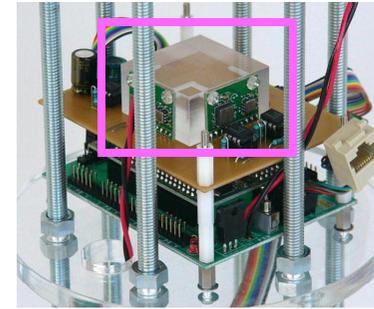
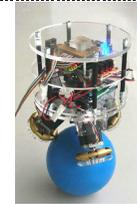
#### ★ 姿勢センサ

- ・ 角速度ジャイロ (倒れる速度)

- ・ 加速度センサ (鉛直方向)

↓

姿勢情報 (2組)



## メカトロニクスなシステムの要素

### ○ コンピュータへの信号伝達

#### ★ 主な決定事項

- ・ 伝達方法の決定

→ 場合によってはセンサの選定に影響

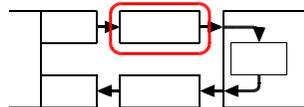
- ・ 信号の変換手順

信号形式、増幅、フィルタ、デジタル化

#### ★ 判断のポイント

- ・ どこまで回路で、どこからソフトか

- ・ 変換する信号のコンピュータとの相性



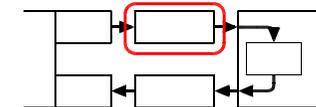
## メカトロニクスなシステムの要素

### ○ コンピュータへの信号伝達

#### ★ 伝達部の役割

主にアナログ:

- ・ 信号増幅 (大きさの調整)
- ・ フィルタ (ノイズ除去など)
- ・ 演算回路 (信号混合、関数変換)
- ・ 信号形式変換 (電流変化<->電圧変化等)
- ・ 伝送 (機器間通信)
- ・ デジタル化 (AD変換)



## メカトロニクスなシステムの要素

### ○ 玉乗りロボットのセンサ回路

#### ★ アナログ部

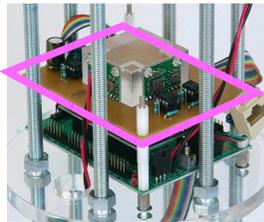
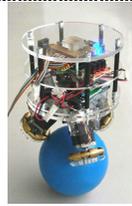
- ・センサ信号の増幅のみ

#### ★ コンピュータへの取り込み

- ・マイコンに内蔵の  
アナログ-デジタル変換  
をそのまま使用

↓

処理は基本ソフトで



## メカトロニクスなシステムの要素

### ○ アクチュエータ・モータ

#### ★ 主な決定事項

- ・仕様確定

回転/直動、出力 <--> メカ的设计

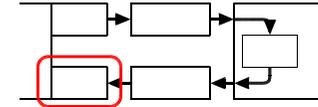
- ・形式選定

メーカー、方式(DC,AC,ステップ他)

#### ★ 判断のポイント

- ・機械を動かすのに十分な性能か

- ・コントローラ



## メカトロニクスなシステムの要素

### ○ アクチュエータ・モータ

#### ★ アクチュエータの例

- ・電動アクチュエータ

いわゆるモータ (AC,DC,ステップ)

※「サーボモータ」はモータの中でも制御向きの特別品

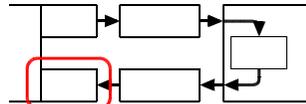
ソレノイド(電磁石)

- ・油圧系 (油圧ポンプ+シリンダ等)

力が確実に伝わる、扱いがやっかい

- ・空気圧系 (エアコンプレッサ+シリンダ等)

力をかけるとつぶれる、クリーン、扱いやすい



## メカトロニクスなシステムの要素

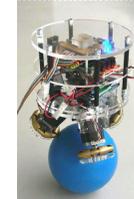
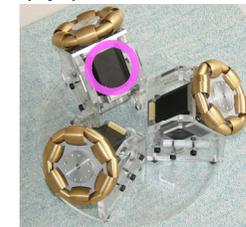
### ○ 玉乗りロボットのモータ

#### ★ ステッピングモータを採用

- ・コンピュータのタイミング指示通り回る

- ・速度は低いがトルク強め (トルク=回す力)

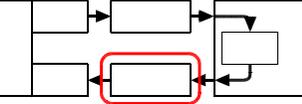
→ 車輪を直結 → 簡単メカ&ガタなし



## メカトロニクスなシステムの要素

### ○ モータ制御部分

#### ★ 主な決定事項

- ・回路は自前/購入？ 
- ・自己開発 = 電力回路の設計
- ・購入 = コントローラとコンピュータの接続
- ・電源系の用意

#### ★ 判断のポイント

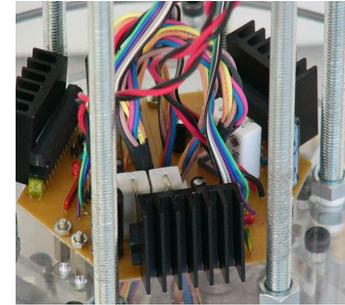
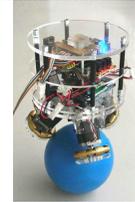
- ・数量と性能と時間コスト
- ・モータ制御もまとめてコンピュータで

## メカトロニクスなシステムの要素

### ○ 玉乗りロボットのモータ駆動

#### ★ 自作回路

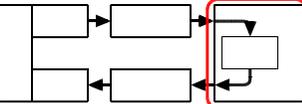
- ・マイクロステップ用IC (細かく回せる)
- ・ICの説明書通りに回路設計
- ・他に電源回路
  - ・電池 7.2Vx3
  - ・制御系電源
  - ・モータ電源



## メカトロニクスなシステムの要素

### ○ コンピュータ

#### ★ 主な決定事項

- ・方針: マイコン/PC 
- ・マイコン型: 性能、入出力機能、開発環境
- ・パソコン型: 入出力機能、性能

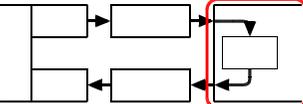
#### ★ 判断のポイント

- ・だれがソフトウェアをつくるのか
- ・どの程度の処理量なのか
- ・リアルタイム性(応答の速さ)の必要性

## メカトロニクスなシステムの要素

### ○ コンピュータ

#### ★ コンピュータ

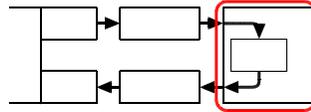
- ・プログラムに従って   
「順番に」作業(データの移動、演算)する  
→ 同時に一つのことしかできない  
処理には時間がかかる(遅れる)
- ・コンピュータそのものは計算しかできない  
→ 様々な機能(インターフェイス)を追加して、入出力を行う

## メカトロニクスなシステムの要素

### ○ コンピュータ

#### ★ マイコン

- ・ Micro computer
- ・ Micro controller
- ・ 小型/低性能/低コスト などが多い
- ・ 産業用は用途に合わせた入出力機能を様々に内蔵
- ・ 目的に応じて選定



ルネサス/秋月電子 H8/3052

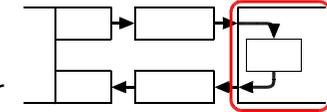
秋月電子 通販サイトより

## メカトロニクスなシステムの要素

### ○ コンピュータ

#### ★ パソコン, PC

- ・ Personal computer
- ・ いわゆるパソコンそのもの、もしくは同じ部品を使って、同じように動く、産業機器用のコンピュータ（組込PC）
- ・ 処理性能は高いが反応が遅い場合あり
- ・ OS(Operating system 基本ソフト)が必須  
→ OSに制御性能が影響される 起動も遅い



アドバンテック社WEBより

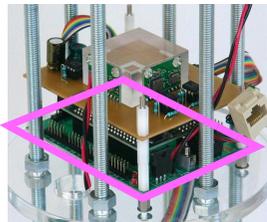
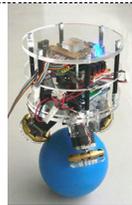
起動も遅い

## メカトロニクスなシステムの要素

### ○ 玉乗りロボットのコンピュータ

#### ★ マイコン型

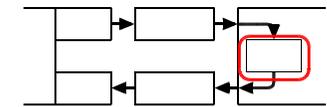
- ・ H8/3052 16bit 整数計算のみ
- ・ 周辺回路をいろいろ内蔵



## メカトロニクスなシステムの要素

### ○ ソフトウェア

- ★ 主な決定事項
  - ・ 処理内容  
センサ信号処理、制御等演算、動作指令の送出、他の機器との通信
  - ・ だれが開発するか
- ★ 判断のポイント
  - ・ どこからコンピュータの処理なのか
  - ・ メカの反対側の仕様（人、他の上位装置）

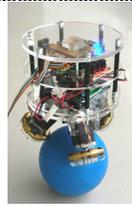


## メカトロニクスなシステムの要素

### ○ 玉乗りロボットのソフト

#### ★ マイコンでの処理

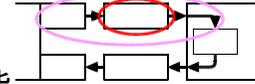
- ・ 倒立振り子制御 (ほうき立ての原理)
- ・ 姿勢センサ取込 →  
玉の加速度を計算 →  
玉の速度に変換 →  
モータにパルス出力
- ・ 制御計算 200回/秒



## メカトロニクスなシステムの設計開発

### ○ 一つとして単独では決まらない

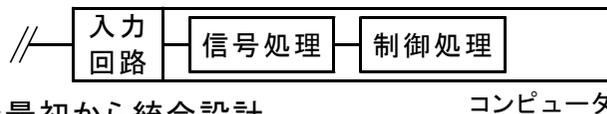
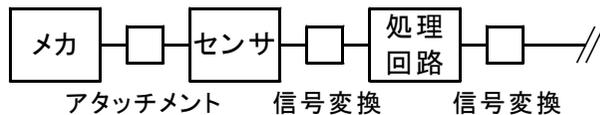
- 要素に分割はできる
  - ・ 分業、分析、理解は可能
  - ・ 要素の仕様を定めれば個々に開発できる
- しかし、要素ごとには決められない
  - ・ すくなくとも隣接する要素の確認
  - ・ 全体の仕様からの決断
  - ・ 決められる人が必要



## メカトロニクスなシステムの設計開発

### ○ 一つとして単独では決まらない

#### ★ 要素ごとに決めた場合 (それでも繋ぐことは可能)



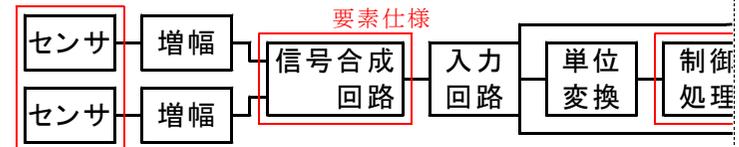
#### ★ 最初から統合設計



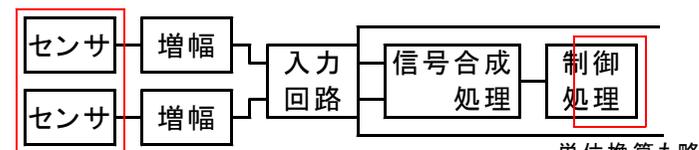
## メカトロニクスなシステムの設計開発

### ○ ロボットの姿勢センサシステムの例

#### ★ 最初の設計



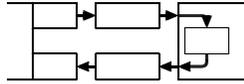
#### ★ 後の設計 →コスト(手間)削減、処理精度向上



単位換算も略

## メカトロニクスなシステムの設計開発

### ○ メカトロ設計のコツ？



#### ★ つなげば最低限なんとかなる

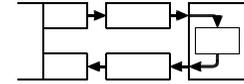
※主に何とかするのはソフト屋さん  
地獄を見る

#### ★ コスト、効率、性能のためには全連携

- ・ 適材適所
- ・ メカとソフトの得意/不得意
- ・ メカとソフトを適切に繋ぐセンサ・回路設計
- ・ 全体を知る人が継ぎ目の決定

## メカトロニクスなシステムの設計開発

### ○ メカトロ設計のコツ？



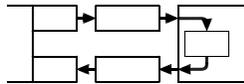
#### ソフト偏重の落とし穴

メカ・回路にできることまでソフト化すると…

- ・ センサ、アクチュエータが増える  
伴って回路が増える
- ・ 即応性が保証しきれない  
※性能面、OSなど環境面
- ・ ソフト系の不具合時に危険になる
- ・ ソフト担当者への過大な負担

## メカトロニクスなシステムの設計開発

### ○ 買うか、作るか



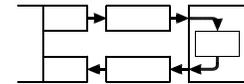
#### ○ 主に要素を買ってきて、繋ぐだけ

- ・ 開発の時間コストを最小化
- ・ 時間を考慮すると買った方が安そう  
物そのものの値段は場合によりけり
- ・ 信頼性もある

例：USB接続できるセンサモジュール

## メカトロニクスなシステムの設計開発

### ○ 買うか、作るか



#### ○ なるべくバラで買って自己開発

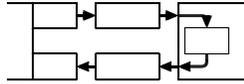
- ・ 既存スキルによっては時間が膨大に
- ・ 物的コストは一般に低め  
場合によっては劇的に低いこともある
- ・ 信頼性は自己保証
- ・ 設計の自由度が大幅に高い

例：USB接続できるセンサモジュール

は、小さなマイコンで使えない → 高コスト

## メカトロニクスなシステムの設計開発

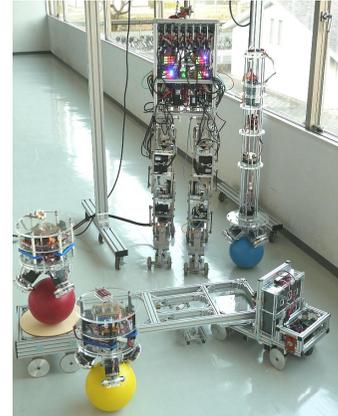
### ○ 買うか、作るか



- ★ 基本的に、多長多短
- ★ 「自己開発できること」=「選択の自由」
  - ・量産指向 → 時間より物的コスト重視
  - ・一品物 → 基本は汎用品ただし、少しの手間で改善余地あり

## ロボットの開発の実際

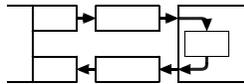
### ○ 学生さんのアイデアを形に



- 詳細仕様：  
提示されず  
納期：  
3ヶ月～半年  
条件：  
なるべく低コスト  
人件費問わず

## ロボットの開発の実際

### ○ 開発手順

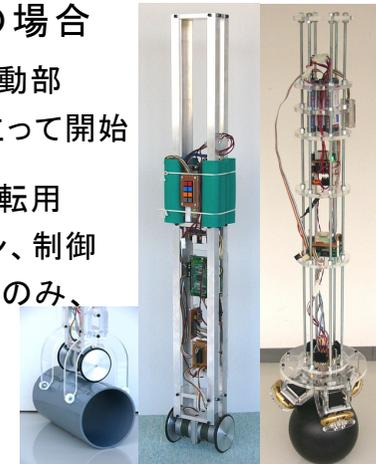


- 1: 技術的落としどころを探る **技術的めど**
- 2: メカ部分の基礎検討
  - ・最低限モータが回れば動く見込み
- 3: メカ部は学生自身による設計く助言
- 4: 電子回路は**既存技術の転用** + 目的別設計開発
- 5: 低レベルソフトの開発 (ハード入出力等)
- 6: 動かし方の設定は学生

## ロボットの開発事例

### ○ 玉乗りロボットの場合

- ★ 新技術は玉の駆動部
  - ・車輪にめどが立って開始
- ★ 他の技術はほぼ転用
  - ・センサ、マイコン、制御
  - ・モータの駆動部のみ、新回路を導入



## まとめ

- ★ メカトロニクスとロボット
  - ・ 機械 + 電子回路 + コンピュータ
  - ・ ロボットはメカトロの一分野
- ★ メカトロニクスの構成
  - ・ 計測系と操作系からなる、  
メカとコンピュータの情報ループ
  - ・ 設計開発 = 要素選定 + 開発 + 接続
  - ・ 要素の切り分けには周辺知識が必要
  - ・ 得意を生かす切り分けが重要

## 参考情報

ロボット博士の基礎からのメカトロニクスセミナー

今後の予定:

2月:マイコンの初歩

3月:デジタルの基礎

4月:アナログ信号の基礎

5月:アナログ信号のコンピュータへの取り込み

## 参考情報

ロボット開発工学研究室

<http://www.mech.tohoku-gakuin.ac.jp/rde/>

→ 講義情報

- ・ 「メカトロニクスI, II」  
主にメカトロに必要な電子回路系基礎
- ・ 「ロボット基礎」  
ロボットとされるものに関する基礎理論
- ・ 「ロボット開発工学」(まだ工事中)  
メカトロニクス総合