多賀城市との連携協力協定事業

２１世紀のキーテクノロジーを学ぶⅡ

第８回

V1.0R1

お掃除ロボットはなぜ部屋の中を走り回れるのか

～２輪駆動による移動ロボットの走行原理～

東北学院大学 工学部
機械知能工学科
ロボット開発工学研究室RDE
教 授 熊 谷 正 朗
kumagai@tjcc.tohoku-gakuin.ac.jp

プロローグ

ロボットってなんですか？

ロボットを作るには

ロボットとはなんですか？

○ 人型 or not？

ASIMO/P2/P3, HRPシリーズ, QRIO,
HOAP, PINO, ...

ガンダム, マクロス, パトレイバー, ガオガイガー,
アトム, C3PO, (ドラえもん)

AIBO, 警備ロボット, 掃除ロボット

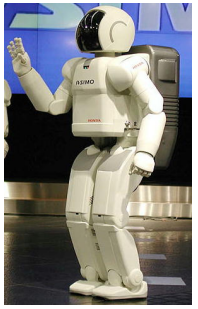
○ 人工知能 or not？

アトム, C3PO (ドラえもん)

操縦型

ロボットとはなんですか？

ソニーQRIO



ホンダASIMO

産総研promet
(HRPシリーズ)

写真はネット上の各媒体から引用しました

ロボットとはなんですか？

産総研　パロ

綜合警備保障
警備ロボット

松下掃除ロボ

早稲田大WL16

写真はネット上の各媒体から引用しました

ロボット？

ロボットの境界を探してみましょう

ヒューマノイド
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より引用
洗濯機: kadenfan.hitachi.co.jpより引用
扇風機: www.mitsubishielectric.co.jpより引用

ロボット？

1:機械ですか？

ヒューマノイド
Yes!

乾燥付全自動洗濯機
Yes!

高級？扇風機
Yes!

ロボット？

2:モータついてますか？

ヒューマノイド
Yes!
（とてもたくさん）

乾燥付全自動洗濯機
Yes!
（1個＋いくつか）

高級？扇風機
Yes!
（1個、たぶん）

ロボット？

3:電子回路はいってますか？

ヒューマノイド

Yes!

（とてもたくさん）

乾燥付全自動洗濯機

Yes!

（わりとたくさん）

高級？扇風機

Yes.

（多少）

ロボット？

4:コンピュータ入ってますか？

ヒューマノイド

Yes!

（強力なやつ）

乾燥付全自動洗濯機

Yes!

（そこそこのやつ）

高級？扇風機

Yes.

（小さいけど）

ロボット？

5:自分で判断できますか？

ヒューマノイド

Yes!

（いろいろ）

乾燥付全自動洗濯機

Yes.

（洗濯物とか）

高級？扇風機

No...

（いらないし..）

ロボット？

5:自分で判断できますか？

ヒューマノイド

Yes!

（いろいろ）

乾燥付全自動洗濯機

Yes.

（洗濯物とか）

高級？扇風機

No...

（いらないし..）

ロボット？

6:感情は持っていますか？

ヒューマノイド

No...

（それはなに？）

乾燥付全自動洗濯機

No...

（真心はこめてます？）

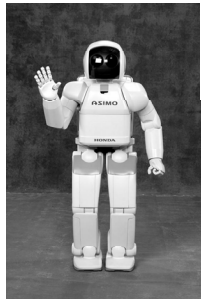
高級？扇風機

No...

（.....）

ロボット？

6:感情は持っていますか？



ヒューマノイド

No...

（それはなに？）

乾燥付全自動洗濯機

No...

（真心はこめてます？）

高級？扇風機

No...

（.....）

ロボット？

7:違うのは何？

ヒューマノイド

一応人の形してますが？　違う形の仲間もいますし...。

乾燥付全自動洗濯機

折りたたんで出せるようになったらロボットと呼ばれるかなぁ....。

高級？扇風機

うちわもって扇いだら扇ぎロボットっていって...くれませんよね。

ロボット？

結　論:

ヒューマノイド

たぶんロボット

乾燥付全自動洗濯機

ロボットかも。

高級？扇風機

ただの家電

- すべてコンピュータ制御の機械の一種
- 左二つは``自律性"が多少ある

ロボットとはなんですか？

○ 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
※ 自称ロボットが多い
※ ロボット学会がしていた定義：
「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もち、各種の作業をプログラムにより実行できる機械。」

ロボットとはなんですか？

○ ロボットの要件（私案）

1： コンピュータ制御の機械であること
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

ロボットをつくる(創る)には

○ 分析と統合

0：アイデア
・作りたい物を考える
・機能を具体的に考える

1：技術要素への分解
・既存の技術＋α

2：ロボットへの組み上げ
・全体設計，構成，組み上げ方
・要素ごとの詳細設計

ロボットをつくる(造る)には

○ 技術と製造

・メカ＝機械の部分
材料選定，構造設計，金属加工，溶接，
ねじ止め，接着，などなど

・電子回路
部品の選定，回路設計，配線，半田付け

・コンピュータ
選定，設置，配線，環境構築，
プログラム開発

引き出し

○ ロボットを作れるようになるには

「引き出し」を増やす

・「なにができるか」
・「どんな手法があるか」「使えるか」
・「どんな技術があるか」「使えるか」

その数だけできることが増える
→授業，趣味，独学，インターネット
大学の講義などなど

本日の内容

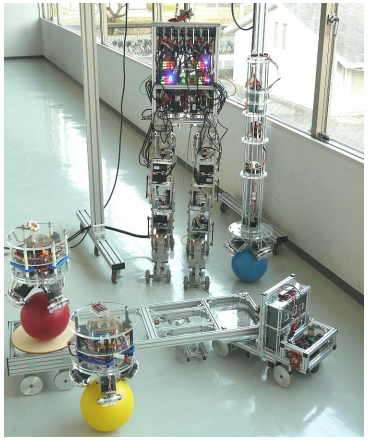
ロボットの構成要素
ロボットの動かし方
ロボットの開発の実例 （玉乗り/トレーラー）
ロボットの基礎技術
お掃除ロボットの基礎

ロボットの構成要素

ロボットを分解するとなにが出てくるか？

人間 ＝ 骨・筋肉 ＋
五感 ＋
脳 ＋
腹？

ロボ ＝ ？？？ ＋
？？？ ＋
？？？ ＋
？？？



ロボットの構成要素

ロボット ＝ メカ＋センサ＋コンピュータ

○ メカ ＝ 機構＋アクチュエータ

機械として，動きを生み出す機能
構造物，モータ，歯車など

○ センサ ＝ 現象→電子情報変換

自分自身の状態と周囲の環境の情報を
とりこむ装置
回転角度センサ，障害物センサ，
カメラなど

○ コンピュータ ＝ 判断，操作

センサの情報をもとにメカを操作する

動きを生み出すメカニズム

○ アクチュエータとメカ

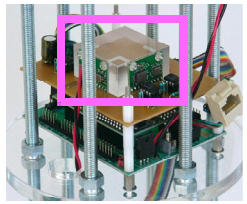
アクチュエータ：動きのみなもと
- 電気モータ
- 油圧シリンダ，油圧モータ
- 空気圧シリンダ，タービン

メカ：動力の伝達
- 減速機(ギアボックス)
- リンク機構
- 車輪など

状況を知るためのセンシング

○ 状況を知ること

1：自分自身を知る （内界センサ）
- 各関節の角度，伸縮量
- 姿勢角度，位置
- モータの出力(電流，力)
- エネルギー残量
- 温度

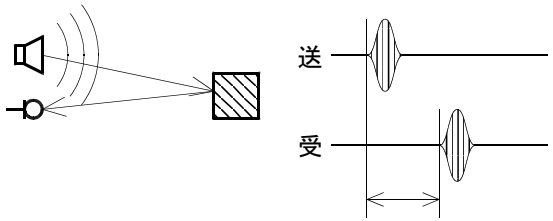


2：周り/接点を知る （外界センサ）
- 周囲の状況(障害物，凹凸)
- 環境地図の構築
- 接触点の力
- 協調する相手(人/ロボット)の情報

状況を知るためのセンシング

○ センシングの例

・障害物センサ
音を飛ばして障害物を探る



距離＝(送受信時間間隔)×(音速)÷２

状況を知るためのセンシング

○ センシングの例

・環境センサ：カメラ
- １台のカメラ → 絵としての認識
- ２台以上 → 奥行き
- ※カメラ＋特殊光源 → 奥行き
  ＝Xbox360用 Kinect

・【重要】カメラそのものだけでは役立たず
カメラはあくまで画像のデータをつくるだけ．
どこに何があるか，前後関係は？といった認識をして、初めて意味のある情報になる．
※センサ全般 ただしカメラは認識の比重が極めて高い

ロボットの動かし方

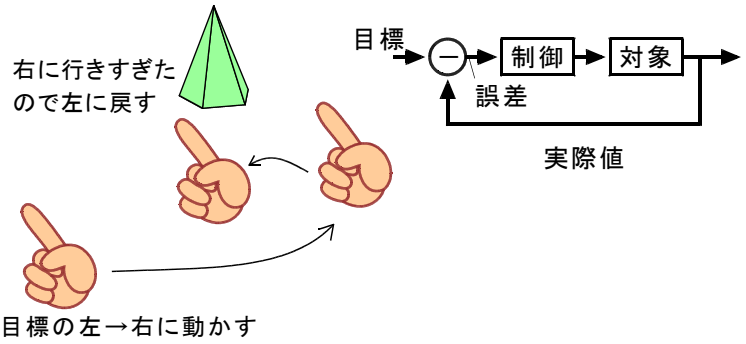
ロボットを動かす理論・手法・計算

コンピュータにどんな指令を与えておくか？

ロボットの動かし方

○ フィードバック制御

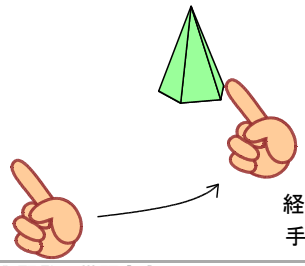
現状を目標に近づけるための手法
例）誤差が無くなる方向に誤差に比例した力をかける



ロボットの動かし方

○ フィードフォワード制御

- 人間の経験 or 制御装置の特性や経験(学習)に基づいて，適切な出力をダイレクトに決める
- フィードバックに比べて動作が速い
- 一般にフィードバック併用

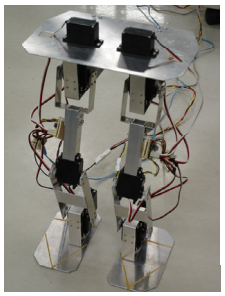


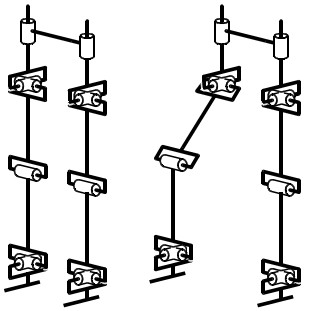
経験から指さしたい物に直接
手を持って行くことができる。

ロボットの動かし方

○ 座標変換，運動学 ＜三角関数の固まり

- あるモータを回したらどこがどう動くか？
- ある姿勢をとるにはどのモータを動かせば良いか？





ロボット開発の実例

実際に開発されたロボットの実例

- ○ 玉乗りロボット
  - ・玉乗りするロボットをつくる
- ○ トレーラーロボット
  - ・運転には高度なテクニックが必要なトレーラーのらくらくバックと自動運転を実現

ロボット開発の実例　その１

玉乗りするロボットをつくりたい！　by 学生さん

- ○ 基礎検討
  - ・常にバランスを保たなければならない
    ＝自分の姿勢を常に把握の必要あり　&
    それを元に次の動作を決める必要あり
  - ・前後左右に倒れる可能性あり
    ＝前後左右の傾き，前後左右の運動
- ○ 仕様策定
  - ・基礎開発として，１方向にしか倒れない
    パイプ乗りロボット
    を最初は開発ターゲットに設定

ロボット開発の実例：玉乗りロボット

実現方法の検討

- ○ 基本原理　＝　倒立振子制御
  - ・なにもしないと倒れてしまう棒をたてる技術
  - ・歩行ロボットの姿勢制御にも応用
- ○ 基本設計
  - ・自分の傾きを検知するセンサを使用.
  - ・乗るものを転がして移動するためのメカを検討.
  - ・回路，電源などはロボットのボディに格納する
  - ・小型のコンピュータ(マイコン)を内蔵する

ロボット開発の実例：玉乗りロボット

パイプ乗りロボット

- ・二つの車輪で移動できる縦長ロボット.
- ・バランスを取りつつ，移動，旋回ができる.
- ・部品追加でパイプに乗れるようになる.

↓

次は玉乗りロボット

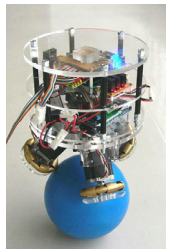
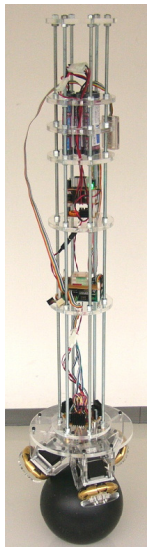
問題点：

どうやって玉を回すか

ロボット開発の実例：玉乗りロボット

玉乗り型の開発

・玉を回す特殊車輪が最重要パーツ
　他の研究者の特許を使わせて頂いて，
　独自設計，学内工場で製作．
・モータ3個＋車輪3個で玉を回す．
・バランスは2方向にとるように．

ロボット開発の実例　その２

トレーラーロボットをつくりたい！　by 学生さん

○ プロジェクト始動！

・トラックが大好きな学生さんが現れた
　「卒業研究でトレーラーロボットつくりたい！」
・新し物好きの教員が受け付けた
　「あ、面白そう、それ、採用」

○ トレーラーの課題

・ステアリング型の車両　（比較：左右独立駆動）
・前(トラクターヘッド)の動きだけで制御
・運転には熟練の技が必要(特にバック)

ロボット開発の実例：トレーラーロボット

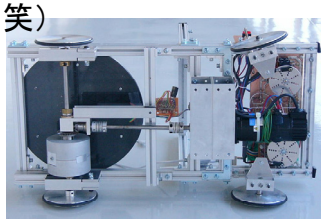
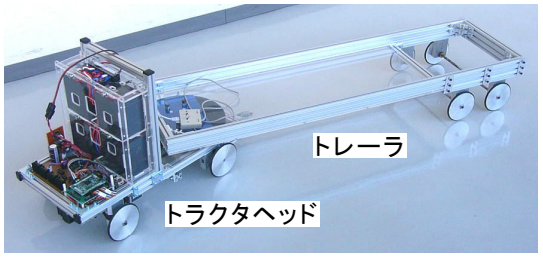
なにもかもが、新規開発

○ プロジェクトの進行

・キーとなる要素技術、要素部品の開発
　・大出力モータ駆動回路と制御
　・ディファレンシャルギアなど駆動系
　・ステアリング機構
　・連結角度センサ
・制御方法の検討
　・学生さん自身が牽引免許を取得
　・その知識、体験を教員側に伝達
　・それをもとに全体の数式化
　・制御実験

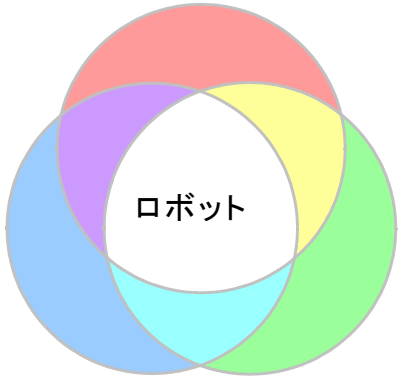
ロボット開発の実例：トレーラーロボット

作ってみたら人が乗れた(笑)

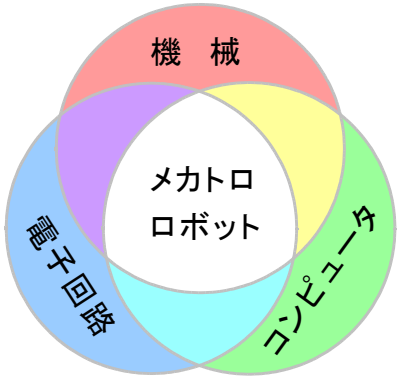
ロボットの基礎技術

ロボットを支える3つの技術

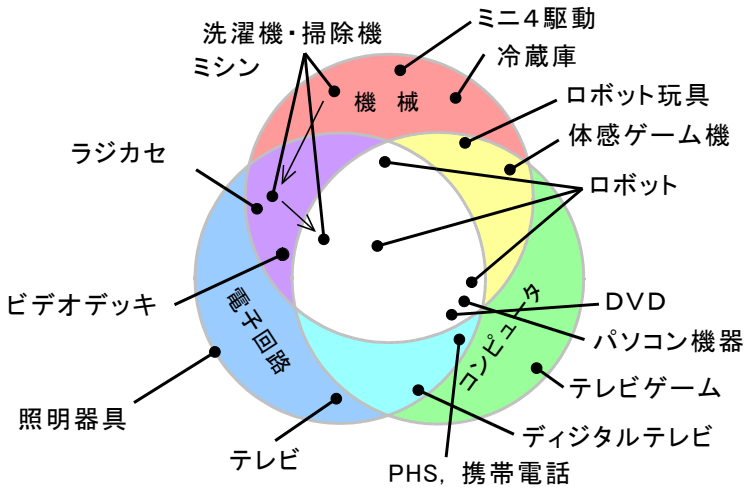


ロボットの基礎技術：メカトロニクス

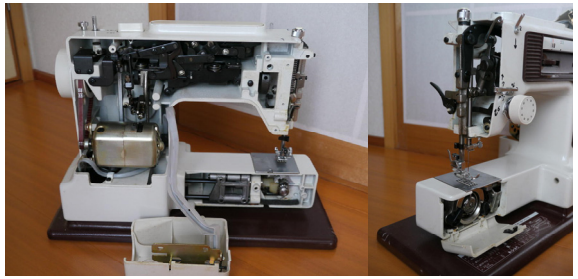
機械工学(メカニクス)＋電子工学(エレクトロニクス)
→メカトロニクス



工業製品の技術分野



ミシンのメカトロ化



純メカからコンピュータ制御へ

ロボット研究者・メカトロ技術者になるには？

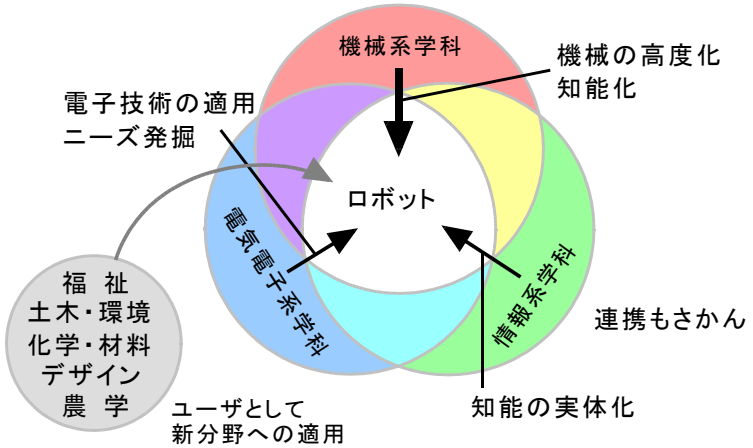
○ その背景となる原理を知る（理論）

・基礎と技術系科目は両輪
・ロボットを扱っている大学に入る
・参考書，解説書などを読んでみる
・考え方を学び，自ら考え出す

○ その実現方法を知る（技術）

・知識の収集と実体験
・数をこなす
・技術系専門学校
・分解

大学の学科ごとの取り組み



ロボットを志す小中学生への伝言

○ 学校の勉強 （いま・これから頑張ってほしい）

・算数・数学　文字を使った計算、関数など
・理科全般
・英語　技術情報は英語が多い
・その他教養科目
　※ 得意でなくても，慣れておく

○ 工作・技術 （できれば）

・機械工作，電子工作，プログラム
・日曜大工の手伝い
・なにか手先に芸をつけておく
・ネットで必要な情報を見つける力／見分ける力

ロボットはすぐそこまで？

○ 将来予測 （私見）

・空想の世界にあるような，人間型の万能お手伝いさん
　ロボットが一般化する日は(当面)来ない。
　そのかわり，機械，電化製品が総ロボット化する。
　（ITの次はRT=Robot Technologyの時代）

例：
自動車を運転するロボット vs 自動車が自動運転化
洗濯機を動かすロボット vs 自動的に畳んでくれる洗濯機

・人型ロボットはもっぱら「人の形」が必要な特殊用途，
　アミューズメント系で使われる。

おすすめ？情報

東北学院大学工学部
http://www.tohoku-gakuin.ac.jp/faculty/engineering/mech/

ロボット開発工学研究室
http://www.mech.tohoku-gakuin.ac.jp/rde/
ネット検索で「玉乗りロボット」など

ロボット博士の基礎からのメカトロニクスセミナー
http://www.mech.tohoku-gakuin.ac.jp/rde/
専門雑学を基礎から （仙台市産業振興事業団）

多賀城市との連携協力協定事業
２１世紀のキーテクノロジーを学ぶⅡ
第８回
V1.0R1

お掃除ロボットはなぜ部屋の中を走り回れるのか

～２輪駆動による移動ロボットの走行原理～

東北学院大学 工学部
機械知能工学科
ロボット開発工学研究室RDE
教 授 熊 谷 正 朗
kumagai@tjcc.tohoku-gakuin.ac.jp

東北学院大学
TOHOKU GAKUIN UNIVERSITY

お掃除ロボット

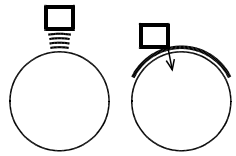
○ 掃除ロボットの特長
- 自動で掃除する
  ＝ 掃除機能＋
  自分で移動できる

○ 一般的な掃除ロボットの機能
- 部屋の中を自動的に走り回って掃除する→今日の本題
- 障害物を避ける。
- ゴミの多いところを見つけたら、そのあたりを重点的に。
- 活動範囲を制限できる/段差から落ちない。
- 自動的に充電しに戻る。

お掃除ロボットの機能

○ 障害物を避ける
＝障害物の検知＋回避

検知方法：
- 光の反射で近くの物を見つける。
- ロボットの前部が直接接触し、バンパーに内蔵したスイッチで接触を知る。



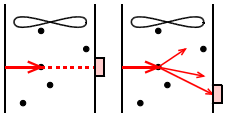
回避方法：
- その場で「適当に」向きを変える。
- 少しバックしてから向きを変える。
- 自分で作った地図を書き換えるとともに、次に進むべき方向を決定する。

お掃除ロボットの機能

○ ゴミの多いところを重点

＝ゴミ量の検知＋重点動作

検知方法：
- 吸い込んだ空気の光の通過具合もしくは反射具合を測定する。
  ※一般の掃除機にもある



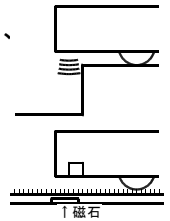
重点掃除動作：
- 単に渦巻きなどの動作に切り替える。
- 現在の仕事状況を記録しておき、重点掃除後に復帰。

お掃除ロボットの機能

○ 活動範囲の制限

＝活動可能範囲の検知＋回避

検知方法：
- 段差は裏面に付けた光センサの反射によって床がなくなったことを知る。
- 境界設定にはゴム磁石のテープを用いて、ロボットには磁気センサを付ける。



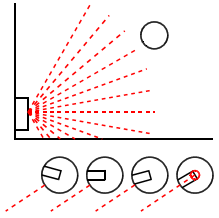
回避方法：
- 壁の検知と扱いは同等。

お掃除ロボットの機能

○ 自動充電

＝充電場所の探索＋移動

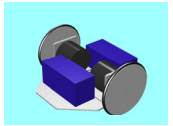
探索方法：
- 充電場所から赤外線信号を出しておく。
- ロボットは移動・旋回しながら赤外線を検知できる方向を探す。見つからなければ適当に走る。

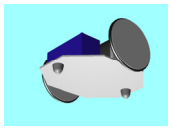


移動方法：
- 赤外線のほうに直進。見失ったら再度探索する。

2輪移動ロボット

○ 移動ロボットの主流モデル





- 独立して回転角度や速度を調整可能な2個の車輪で走行する。
  ※車輪だけでは傾くので、一般にはキャスタを1，2個追加する
- 車輪の回転速度の比によって、直進・円弧・その場旋回等ができ、小回りが効く。
- 真横には移動できず、一度旋回する。
  ※車輪ロボは滑らない前提

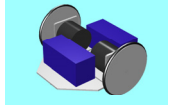
２輪移動ロボット

○ 移動ロボットの主流モデル

・車輪の時々刻々の回転から、自分の位置を計算できる。
　→自動走行向き

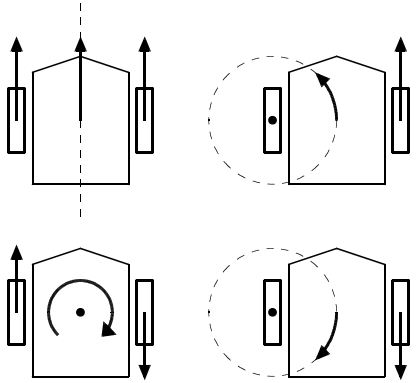
・速度調整でき、逆回転もスムーズにできる駆動系が2セット必要
　＝エンジン車は困難、電気式なら楽。

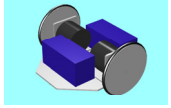
・ステアリング型に比べてメカが簡単。



２輪移動ロボット

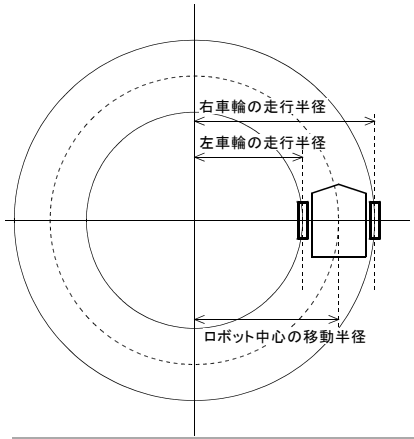
○ ２輪移動ロボットの動作

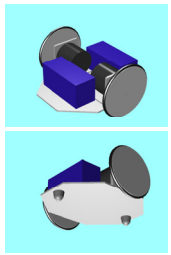




２輪移動ロボット

○ ２輪移動ロボットの動作





ある時間で一周した：

左右の車輪の半径の比
＝左右の車輪の移動距離の比
＝左右の車輪の速度比

ロボット中心は左右の平均

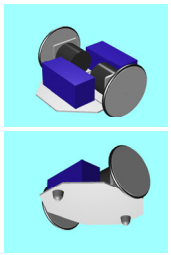
２輪移動ロボット

○ ２輪移動ロボットの動作

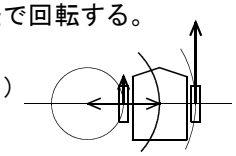
・左右の車輪の速度の比と、車輪の取り付け幅によって、半径が決まる。

・車輪回転方向の前後が同じなら、回転の中心はロボットの外、車軸の直線上に、逆方向なら、車輪間にある。

　例）
　左右の車輪の速度が1：3
　→ロボットは車輪の幅と同じ半径で回転する。



詳しい計算(小学校高学年でわかる？)はお手元の資料をご覧下さい。



実習の予定

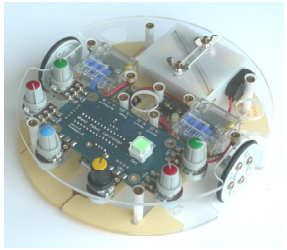
○ ２輪移動ロボットを体験する

簡易的な2輪ロボットで、

・２輪ロボットの動作
・二つの動作の組み合わせ
・ロボットをちょっと分解
・ロボットをいろいろに
　走らせてみる

を予定。

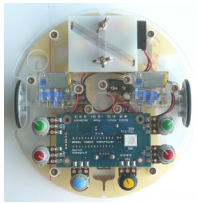
※ロボットはお持ち帰り頂けます

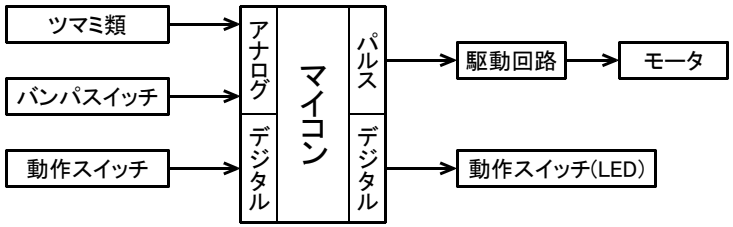


実習の予定

○ 実習用ロボットの構造

・マイコン（PIC24，16bit）
・モータとモータ駆動回路
・速度設定ツマミ×４
・動作切り替えツマミ ＋ 時間設定
・バンパースイッチ（前後）

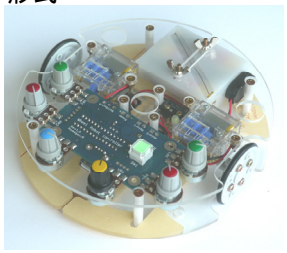




参考情報

○ 参考

今回の資料、写真は
http://www.mech.tohoku-gakuin.ac.jp
　　/rde/contents/tech/WEXrobot/archive/
に置いておきます。
※画像、PDF、および一太郎、花子形式

ほか、ご質問等はメイルでも
承ります。

※今週末は停電のため、
※サーバ類が止まります。