

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

V1.2R1

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@mail.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



ロボット開発工学研究室

Page. 2

Robot Development Engineering

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

ロボット開発工学研究室

Page. 3

Robot Development Engineering

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)

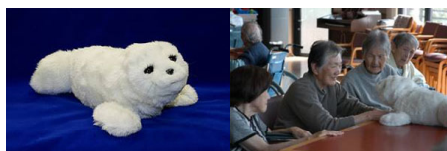
写真はネット上の各媒体から引用しました

ロボット開発工学研究室

Page. 4

Robot Development Engineering

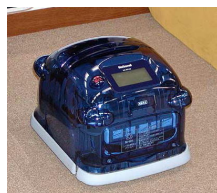
ロボットとはなんですか？



産総研 パロ



総合警備保障
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？

Keypoint: 機械＝動く道具

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？

Keypoint: 動きのみなもと

2: モーターついてますか？



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？

Keypoint: センサや電氣的調整

3: 電子回路は入ってますか？



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？

Keypoint: 動作を決める

4: コンピュータは入ってますか？



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？

Keypoint: 自【律】性

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...
(いないし..)

ロボット？

Keypoint: 自【律】性

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...
(いないし..)

ロボット？

Keypoint: 人並み？接しやすさ？

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？)



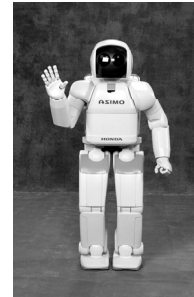
高級？扇風機

No...
(.....)

ロボット？

Keypoint: 人並み？接しやすさ？

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？

Keypoint: 境界線はどこ？

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あ....



高級？扇風機

うちわもって扇いだら
扇ぎロボットっていつて...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

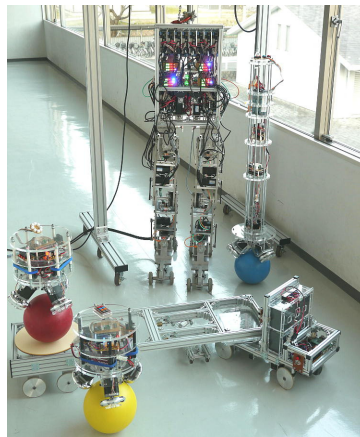
お掃除ロボットの基礎

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

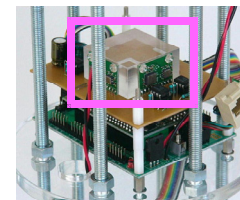


状況を知るためのセンシング

○ 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)

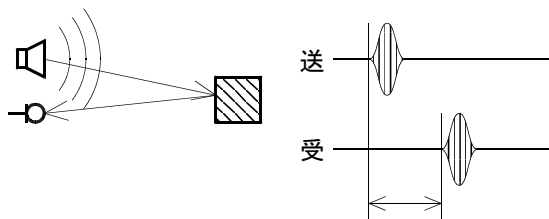
周囲の状況(障害物, 凹凸)
環境地図の構築
接触点の力
協調する相手(人/ロボット)の情報

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



$$\text{距離} = (\text{送受信時間間隔}) \times (\text{音速}) \div 2$$

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

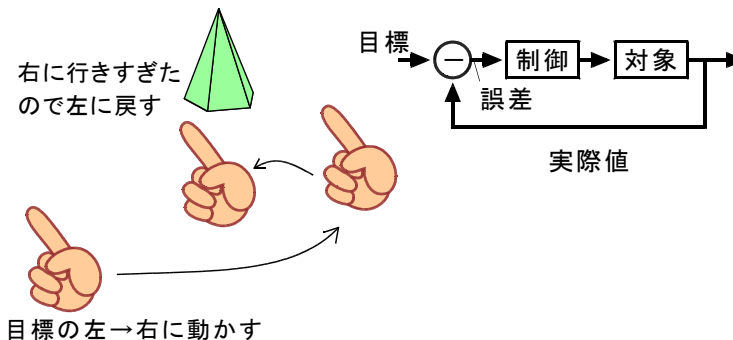
コンピュータにどんな指令を与えておくか？

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

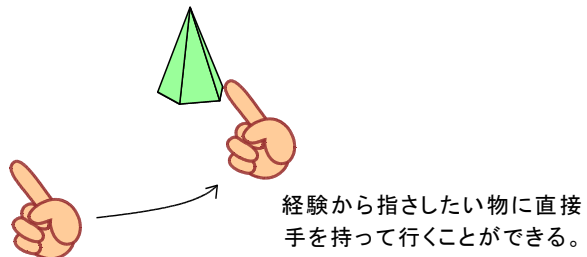
例) 誤差が無くなる方向に誤差に比例した力をかける



ロボットの動かし方

○ フィードフォワード制御

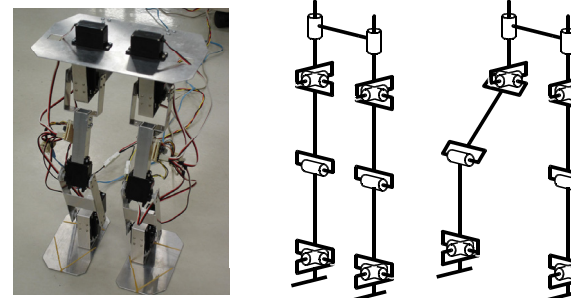
- ・ 人間の経験 or 制御装置の特性や経験(学習)に基づいて、適切な出力をダイレクトに決める
- ・ フィードバックに比べて動作が速い
- ・ 一般にフィードバック併用



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 = 倒立振り子制御

- ・ 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

- ・ 自分の傾きを測れるセンサを使用.
- ・ 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

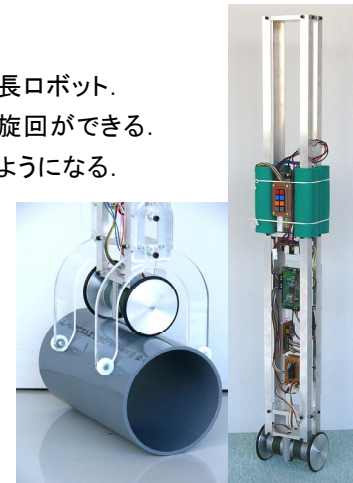
- ・ 二つの車輪で移動できる縦長ロボット.
- ・ バランスを取りつつ, 移動, 旋回ができる.
- ・ 部品追加でパイプに乗れるようになる.



次は玉乗りロボット

問題点:

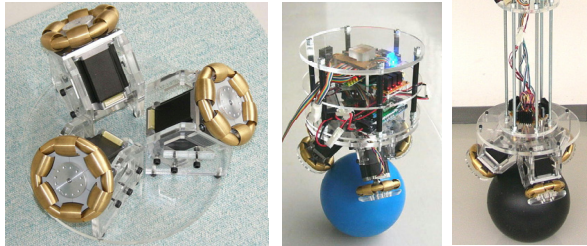
どうやって玉を回すか



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

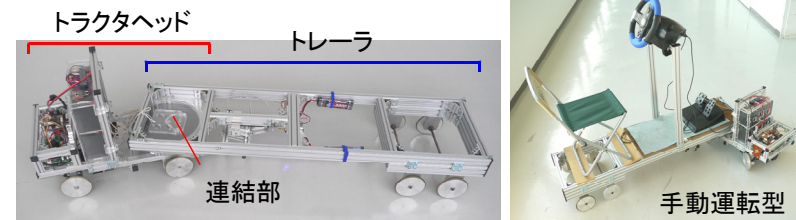
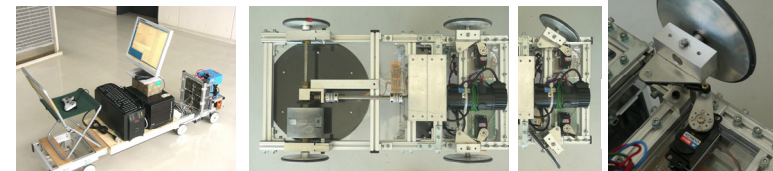
なにもかもが、新規開発

○ 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

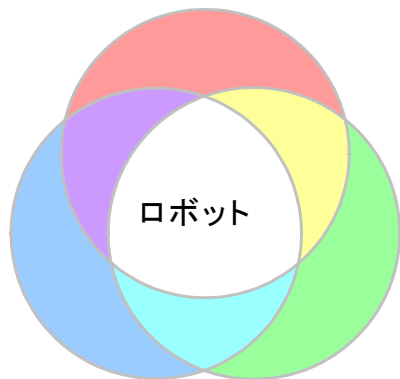
ロボット開発の実例：トレーラーロボット

作ってみたら人が乗れた(笑)



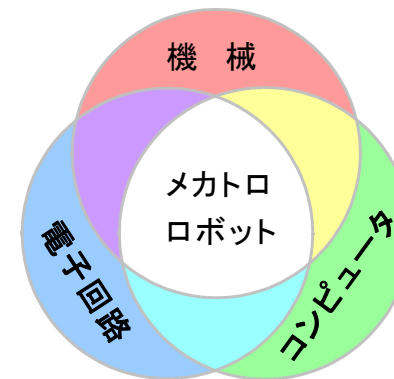
ロボットの基礎技術

ロボットを支える3つの技術

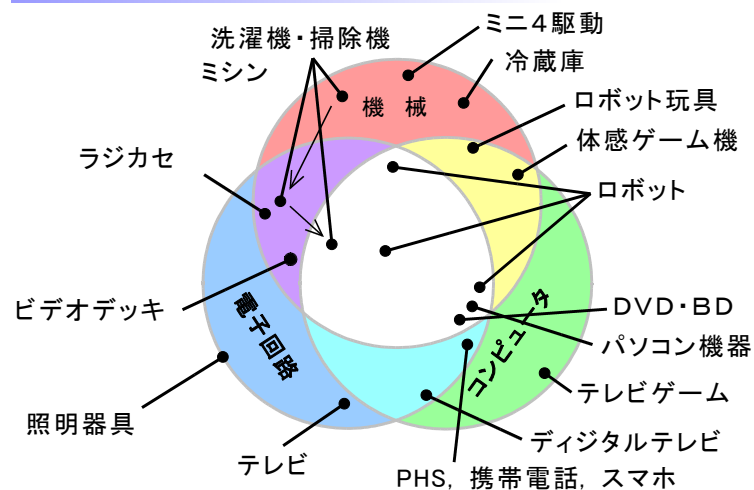


ロボットの基礎技術:メカトロニクス

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？

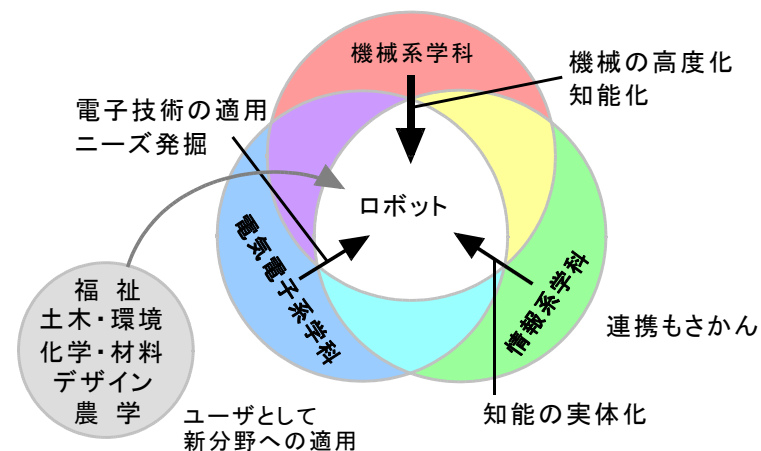
○ その背景となる原理を知る（理論）

- ・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・これから頑張ってもらいたい）

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

○ 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
- ・指先を鍛える（器用でなくとも慣れる）
- ・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

V1.2R1

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@mail.tohoku-gakuin.ac.jp



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。

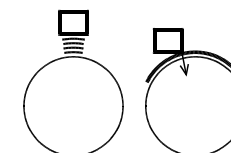
お掃除ロボットの機能

○ 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。 ※「丸」の理由
- ・ 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。

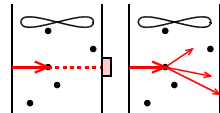
お掃除ロボットの機能

○ 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。

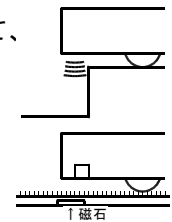
お掃除ロボットの機能

○ 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。

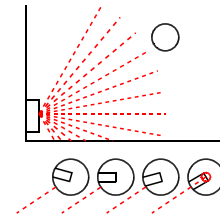
お掃除ロボットの機能

○ 自動充電

= **充電場所の探索** + 移動

探索方法(例):

- ・ 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。



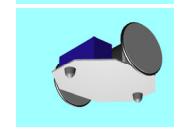
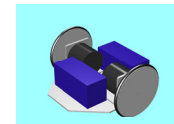
移動方法:

- ・ 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 (対向2輪・独立2輪)

○ 移動ロボットの主流モデル

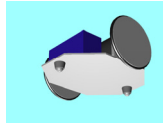
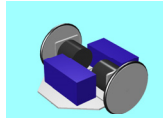
- ・ 独立して回転角度や速度を調整可能な
2個の車輪で走行する。
※車輪だけでは傾くので、一般には
キャスタを1, 2個追加する
- ・ 車輪の回転速度の比によって、
直進・円弧・その場旋回
等ができ、小回りが効く。
- ・ 真横には移動できず、一度旋回する。
※車輪ロボは滑らない前提



2輪移動ロボット

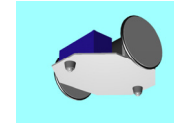
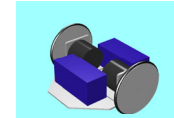
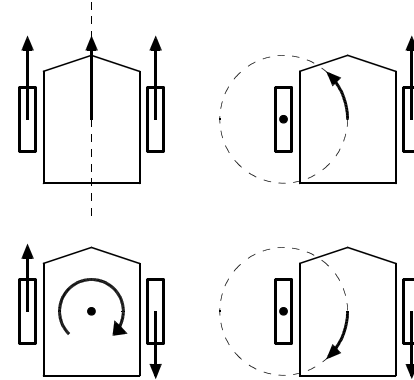
○ 移動ロボットの主流モデル

- ・ 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。**



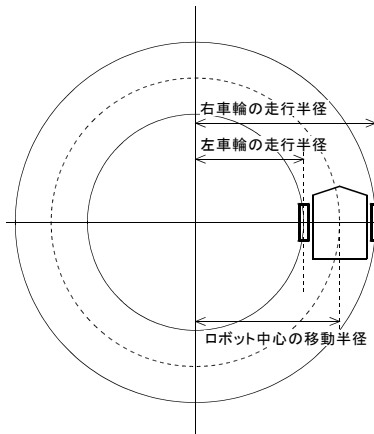
2輪移動ロボット

○ 2輪移動ロボットの動作

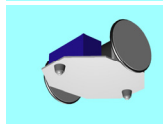
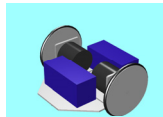


2輪移動ロボット

○ 2輪移動ロボットの動作



ある時間で一周した:
 左右の車輪の経路の半径の比
 = 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



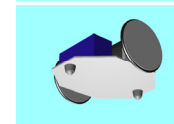
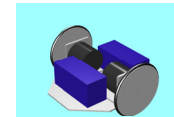
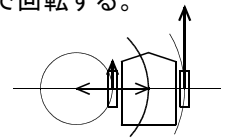
2輪移動ロボット

○ 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ください。



実習の予定

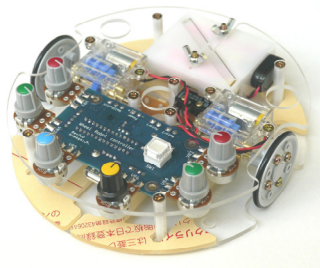
○ 2輪移動ロボットを体験する

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。

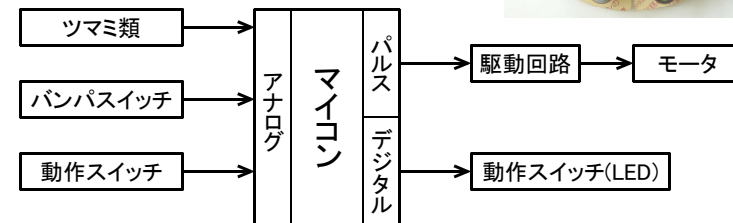
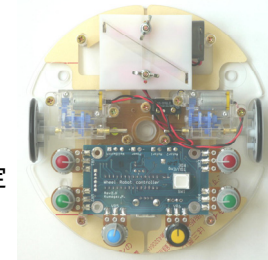
※ロボットはお持ち帰り頂けます



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/](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、ご質問等はメールでも承ります。

※今週末は停電のため、

※サーバ類が止まります。

