

正確に走るためのパラメータ調整

京都大学機械研究会OB
小島 宏一

- 経歴
- パラメータ調整を行うにあたって
- タイヤ径, ジャイロセンサ比例係数の調整
- 高速度スラローム旋回を正確に行うためのスリップ角の考慮
- まとめ

経歴

大学2年生のときに大会に初参加（京都大学機械研究会に所属）

これまでに製作したマイクロマウスロボット

Year	Micromouse Classic	Micromouse Half-size
2005	こじまうす	
2006	こじまうす2	
2007	こじまうす3	
2008	こじまうす4	
2009	こじまうす5	
2010	—	こじまうす6
2011	こじまうす7CL	こじまうす7
2012	—	—

2011年に全日本マイクロマウス大会
マイクロマウス競技（ハーフサイズ）で優勝。

本講演内容の位置付け

—— マイクロマウスロボット ——

足回り・・・モータ，スパーギヤ，ピニオン，ホイール，タイヤ等

センサ・・・壁読みフォトセンサ，エンコーダ，ジャイロセンサ等

迷路解析ルーチン・・・探索，重ね探索，最短経路計算

走行ルーチン・・・直進，極地旋回，スラローム旋回

基本的な走行について，基本パラメータの調整方法について説明する。

PID制御などの制御パラメータのチューニングの話はしない。

うまく走るには再現性が必要

マイクロマウスロボットの移動・・・直進，極地旋回，スラローム旋回

基本的な少数の動作の組み合わせで構成される。
ただし，各動作には非常に高い精度が求められる。

- 高い精度実現のためにはロボットの挙動に高い再現性が求められる。
- 再現性さえ確保できていれば，パラメータチューニングで目的のラインどりができるはず。
- 注意すべきは，気温，路面状態，外乱光の強さの変化があっても同じ動作を再現することが必要。

ちなみに・・・

フォトセンサによる姿勢制御も重要だが，そもそもズレを生じないように調整することの方が大事。

目で見てわかるくらいズれる前に細かく姿勢制御する

目標とする精度の検討

どの程度の再現性が得られればよいのか？

→ 製作者の勘で決めればよい。経験値の差が現れる。

例えば、こじまうす7の場合は. . .

直進

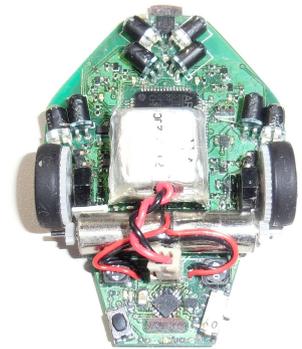
3 m の距離を直進 → 5 mm 以内のばらつき
(90 mm → 0.15 mm)

旋回

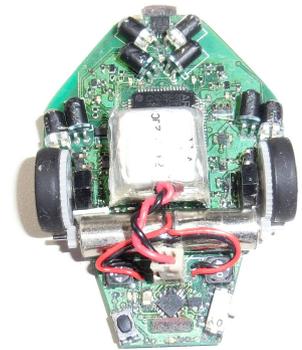
720度 (2回転) → 2度以内のばらつき
(90度 → 0.25度)

ジャイロセンサを使う場合は、
10秒で2度の零点ドリフト

0 deg



2 deg



調整すべきパラメータ

直進

走行距離 = 速度の積分値

— タイヤ回転数, **タイヤ径** (DCマウス)

— エンコーダパルス数

— 駆動パルス数, **タイヤ径** (ステッパーマウス)

旋回

角度 = 角速度の積分値

— ジャイロセンサ出力の**零点**, **比例係数**

— タイヤ回転数, タイヤ径, **タイヤ間の距離**

タイヤ径の計測

3 m の距離を直進 → 5 mm 以内のばらつき
(90 mm → 0.15 mm)



相対偏差
0.17%

どうやって測るか？

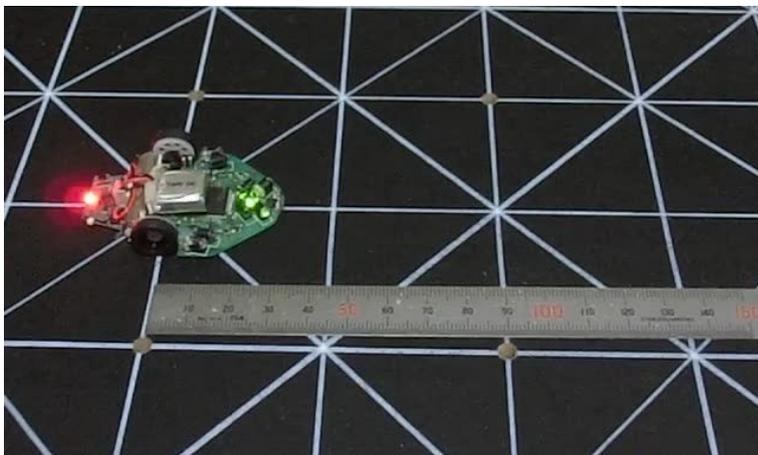
ex. 半径6.134mm

ノギスによる測定

○ おおよその値を簡単に測ることができる

✗ マウスの自重がかかったときのタイヤ径の変化量は不明

ノギス等であたりをつけておき、
長い距離を実際に走行させて目標距離進むように調整する。



90 mm (ハーフマウス1区画)

距離が短いと直進距離の精度と
位置制御の精度の区別ができない

ジャイロセンサを使う

720 度回転 → 2 度以内のばらつき
(90 度 → 0.25 度)
10秒で2度の零点ドリフト

→ 相対偏差
0.28%

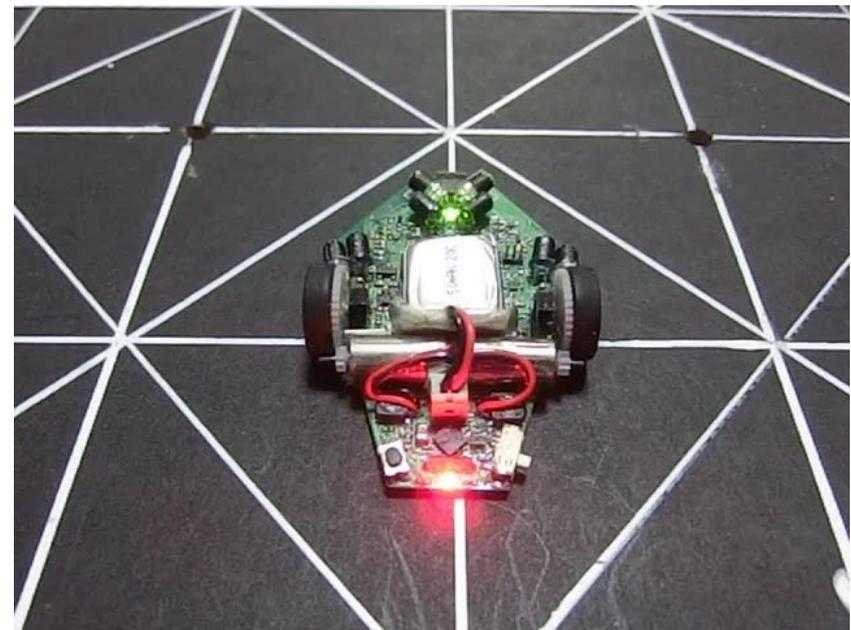
角速度 ω [rad/s], 比例係数 k [rad/s],
AD変換値 s , $\omega=0$ におけるAD変換値 s_0

$$\omega = k (s - s_0)$$

例 : LY3200ALH (STMicroelectronics)
12bit分解能AD変換器
基準電圧3V

データシートによれば,
 $k = 0.01908$ rad/s
 $s_0 = 2048$

x 3



ジャイロセンサの零点と比例係数

720 度旋回 → 2 度以内のばらつき
(90 度 → 0.25 度)

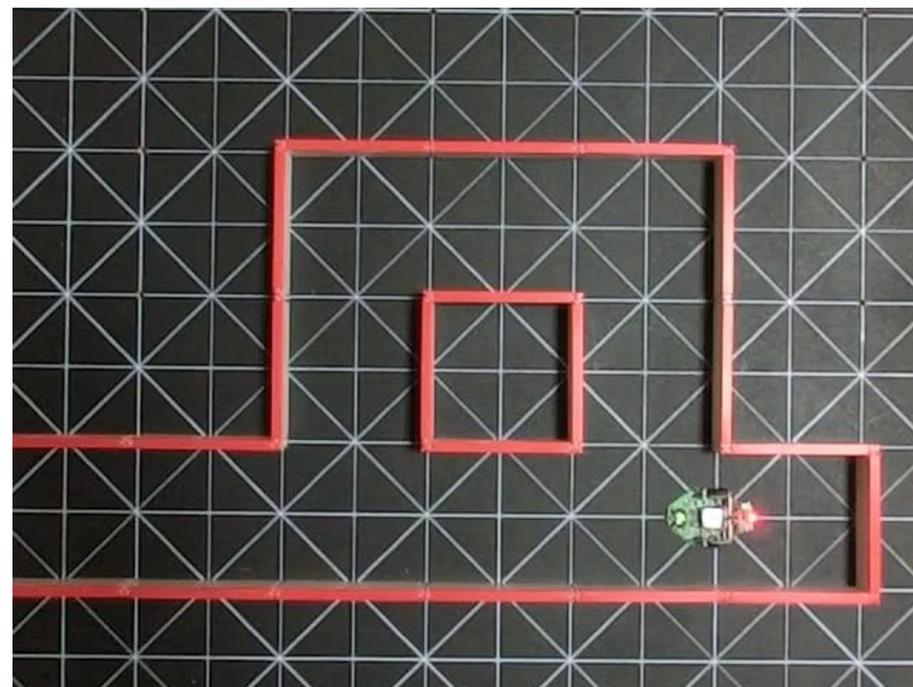
→ 相対偏差
0.28%

有効桁数4桁

データシートの値を参考にし、実際に走行させて係数を調整する
左旋回と右旋回では係数を独立に設定した方がよい場合もある。
(ex. 左: 0.01890 右: 0.01914)

センサの周波数特性や
非線形性の影響を丸め込む。

ジャイロセンサのゼロ点ドリフト
に注意



高度な話題

以上はとても基本的な内容。
もちろんこれだけで上級者の走行ができるわけではない。

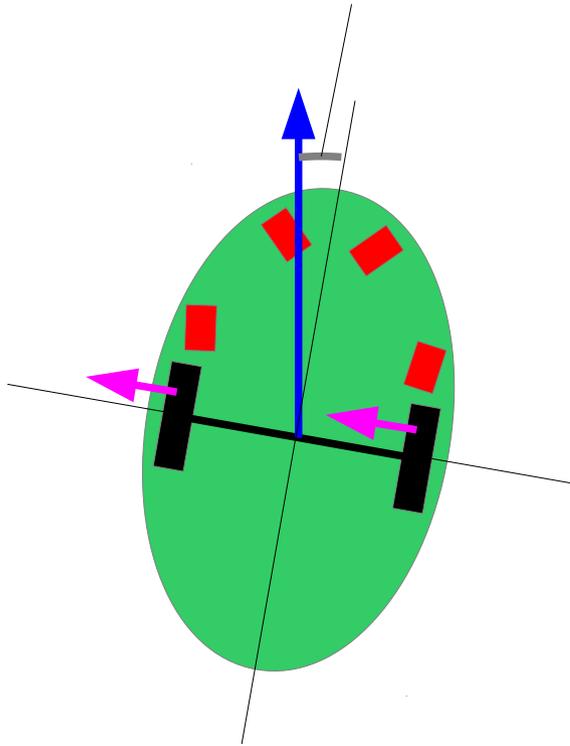
マイクロマウスに実装されてきた最近10年の新技術（私見）

- DCモータ駆動のマウス
- ジャイロセンサを用いた回転量の推定
- 基板一枚からなるマウス（いわゆる板マウス）
- 外乱光に影響されない壁読みフォトセンサ
- タイヤの変形を考慮したターン軌道の予測
- 4輪マウス

スリップ角の考慮

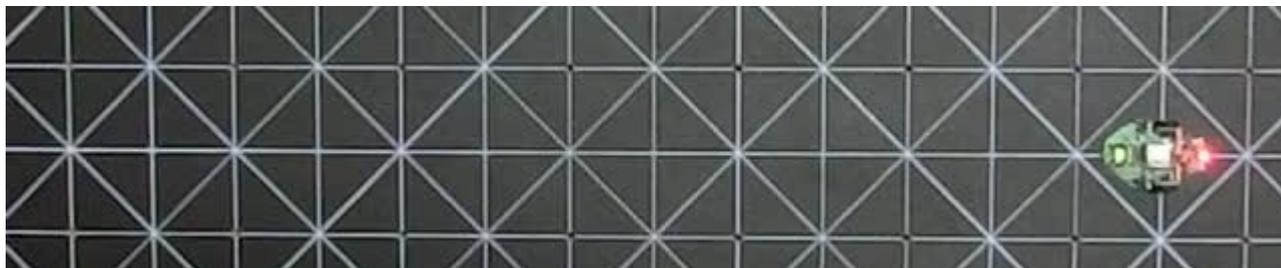
スリップ角

スリップ角 θ



- 向心力を得るためにはタイヤの向きと進行方向に角度が必要（タイヤゴムを外側に引っ張らなければ内向きの反発力は得られない）
- 遠心力が働くとタイヤが変形してロボットの向きと実際に進む向きは異なる

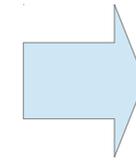
水平面を直進させるとまっすぐ進む（当たり前）



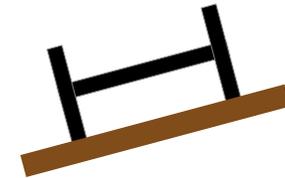
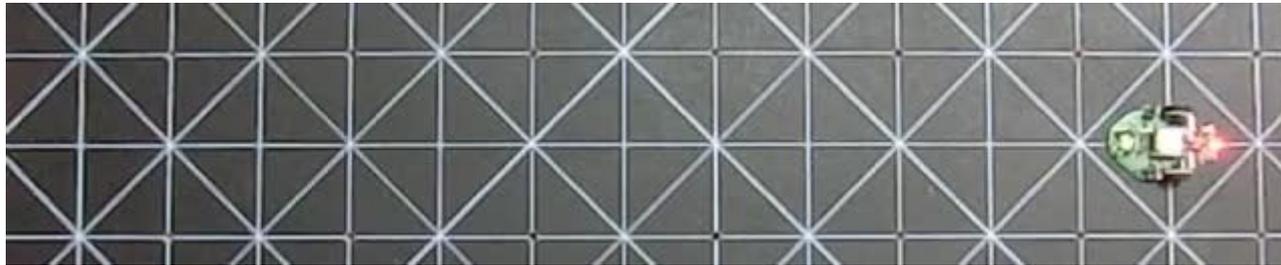
スリップ角によって横にずれる

20度の傾斜がある路面を直進させる。

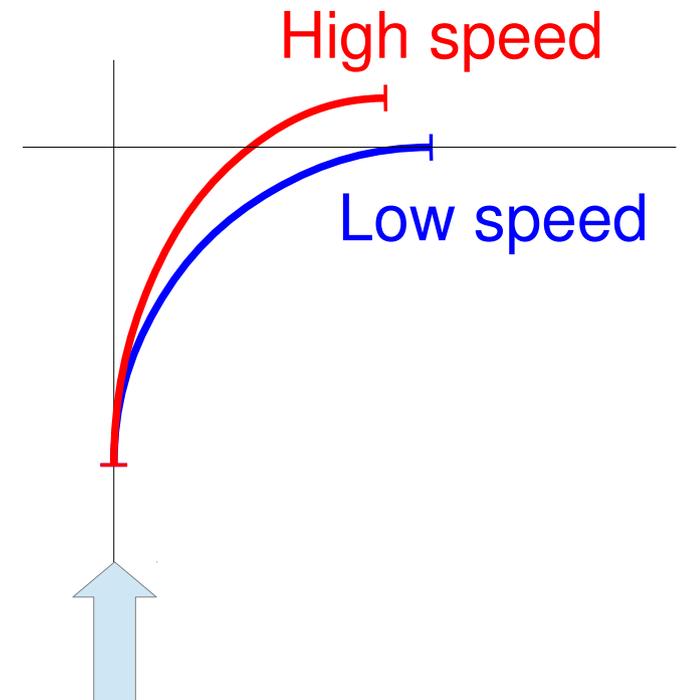
(垂直効力の1/3の力が横向きに働く)



横にずれる！



- 大きなグリップを期待して柔らかいタイヤを使うと顕著.
- 1G以上の横Gがかかる高速ターンでは無視できない.
- 走行軌跡は円弧やクロソイド曲線とはならない.



スリップ角をどう考慮するか

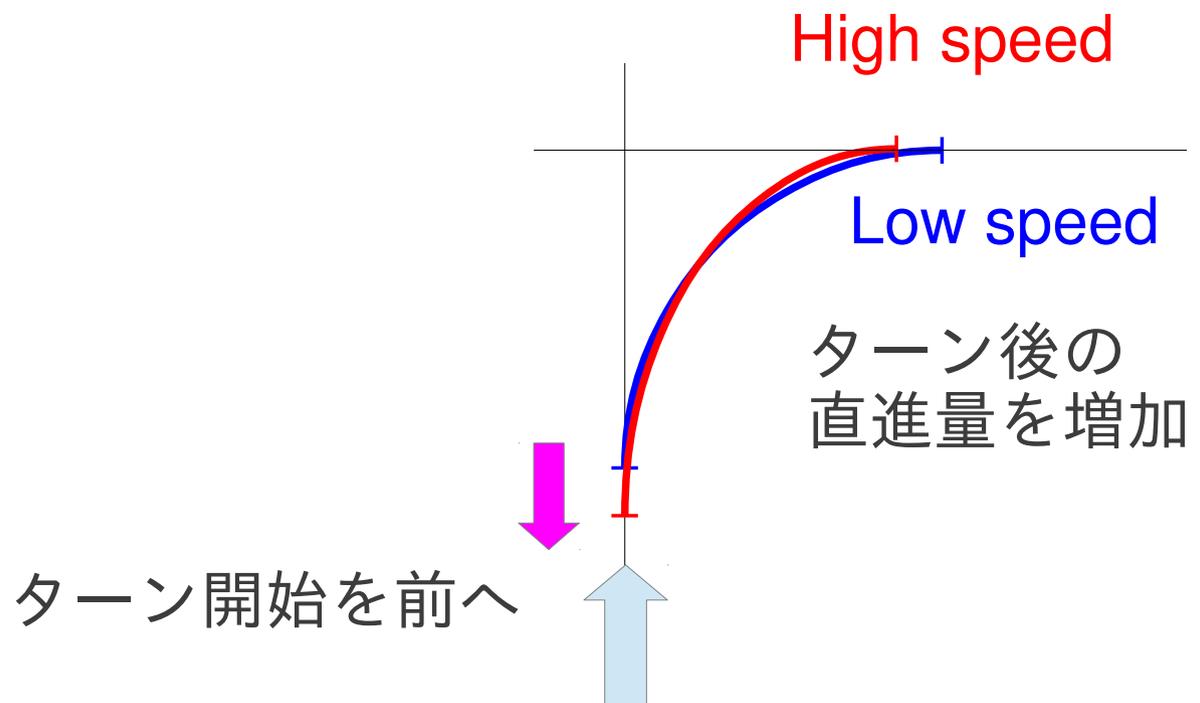
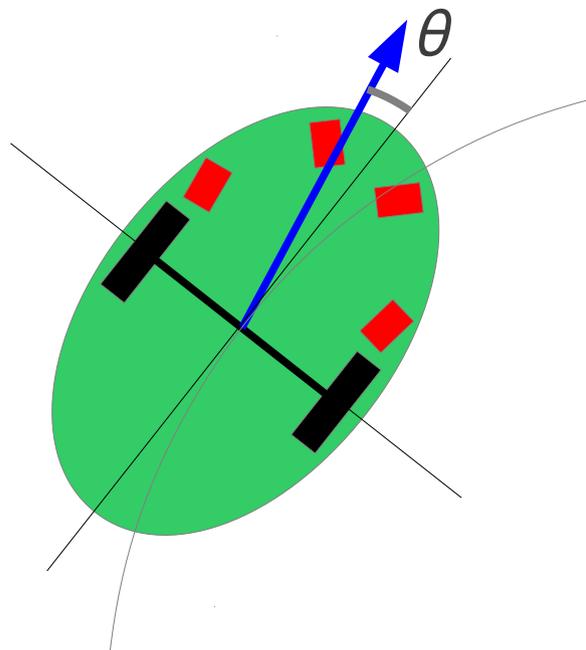
仮定：スリップ角 θ は遠心力 F に比例する（比例係数 k ）

$$F = m r \omega^2$$

$$\theta = k F$$

ex. 1 g で $\theta = 6 \text{ deg}$

マウスはターン中スリップ角の分だけ傾いた方向へ進む。
結果，ターン軌道が縦方向に伸びる。



どうやって実装するか

- ターン開始位置の補正
 - ターン終了後の直進量の補正
- を行えばよい。
では、補正量はどのように決定するか？

1. 実際に走行させながら調整する

- すべてのターンについて行くと膨大な時間がかかる
- 実走行に基づく方法なので信頼性は高い

2. スリップ角を考慮した計算によるシミュレーション

- シミュレーションコードを作るのに時間を要する
- パラメータ決定は短時間で可能
- シミュレーションに利用する比例係数 k に精度が要求される

k は実走行させて決定する。

(結局、実走行による調整が必要)

まとめ

正確に走るためのパラメータ調整に関し，注意すべき点と上級者のマウスで行われているスリップ角を考慮した自己位置推定について説明した．

1. ロボットには再現性のある動きをすることが求められる．
 2. 要求される精度を把握することが大事（無駄な努力は避ける）．
 3. パラメータはできる限り実測値，すなわち，真値よりも有効値を得ること．
 4. その際，バイアスがかからないように注意．
 - タイヤ直径・・・動き始め，停止時にずれることがある．
 - ジャイロ零点・・・長周期変動に注意（零点ドリフト）
 - ジャイロ係数・・・床に置くとき，動き始め，停止時
- 高速ターン時はタイヤの変形が大きく，通常のオドメトリでは位置推定できない．スリップ角を考慮すればより高精度な位置推定ができる．