

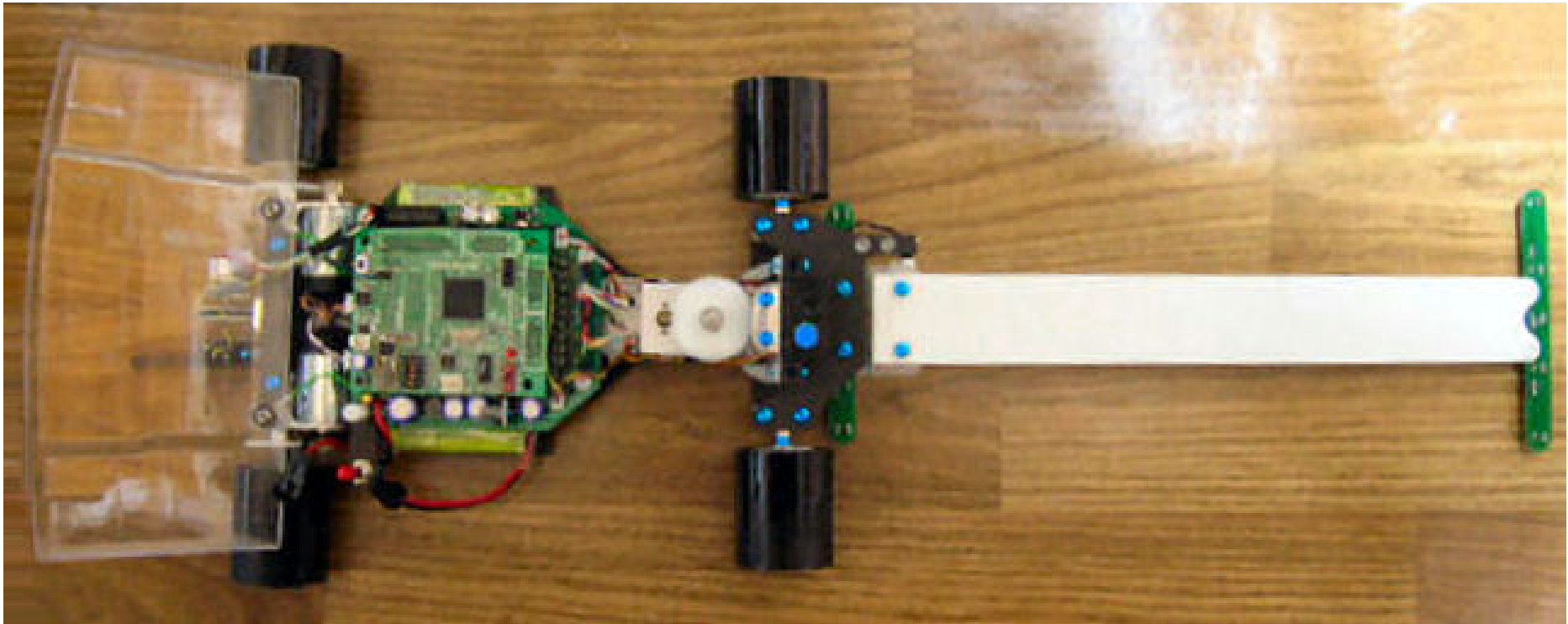
ロバストなマイコンカーの作り方

JMC2009全国大会一般の部優勝

徳永 弦久

JMCR09優勝ロボットの概観

- カーネーム：件(クダン)
- コンセプト：そこそこの速さでの完走

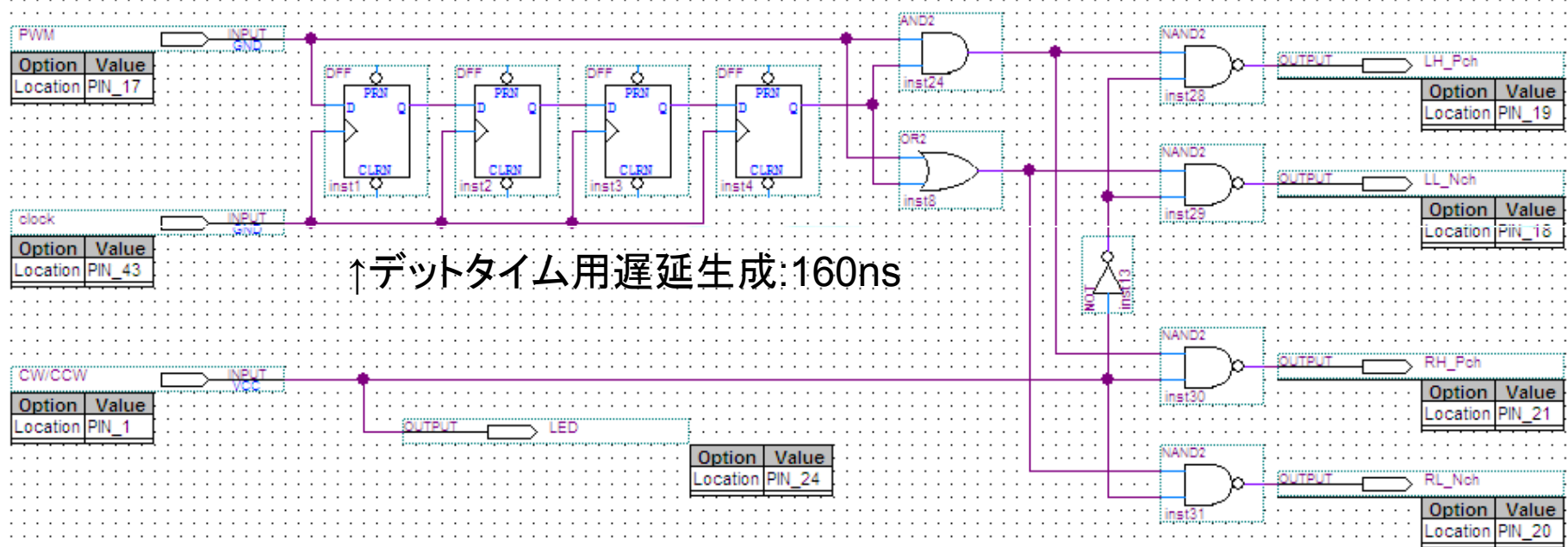
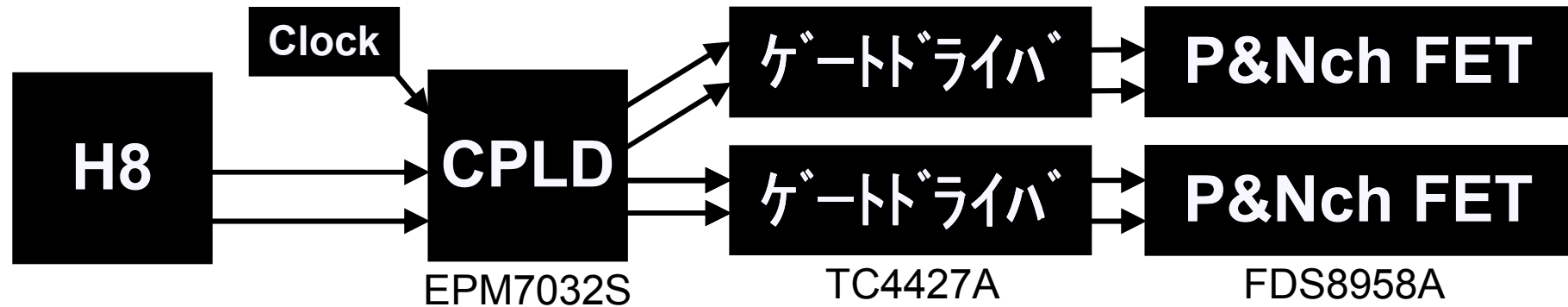


JMCR09優勝ロボットの仕様

サイズ	全長:550mm, 全副:197mm
ホイールベース	185mm
重量	710g
操舵系	RE-Max17, ギヤ比:67.5:1
駆動系	RE-Max21, タイヤ径36mm, ギヤ比:54:13
その他	ポジションセンサ(姿勢検出用センサ)

JMCR09優勝ロボットの仕様

モータドライバ回路



CPLD内部回路

今回のテーマ

ロバストなマイコンカーの作り方

どんなコースレイアウトでも、完走する

1. コースアウトの3つの原因
2. 完走へのアプローチ（件の仕様紹介）
 1. ライントレース
 2. コーナ旋回
 3. 車線変更

1.私が考えるコースアウトの原因

① ライントレースの失敗

アナログセンサ最初の難関

② コーナ旋回中の横滑り

高速化の妨げ

③ 車線変更からの脱出失敗

JMCR09全国決勝の分かれ目

2.完走へのアプローチ

① ライントレースの失敗

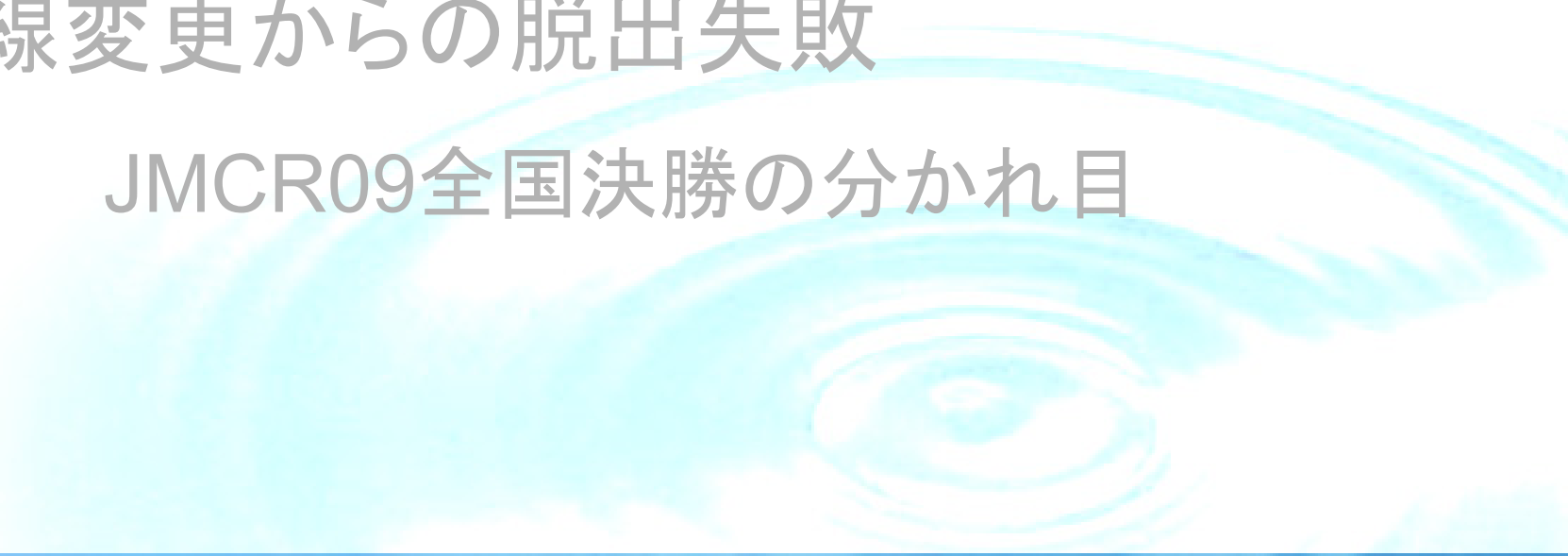
アナログセンサ最初の難関

② コーナ旋回中の横滑り

高速化の妨げ

③ 車線変更からの脱出失敗

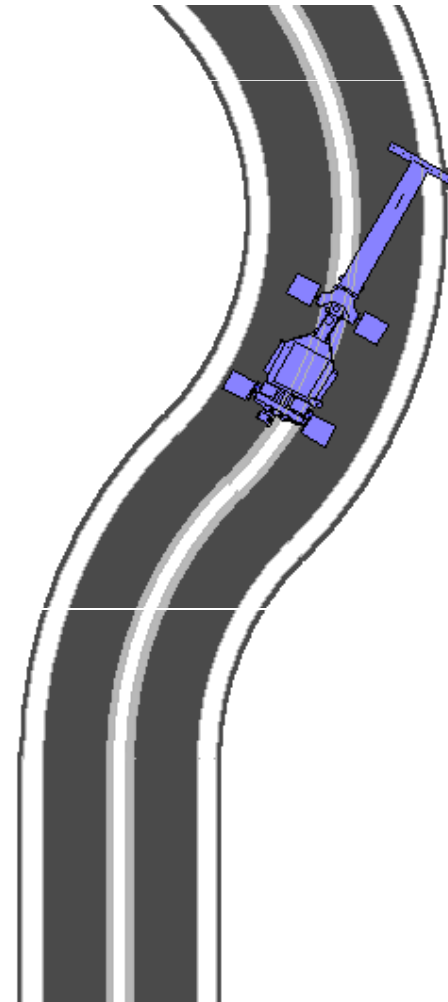
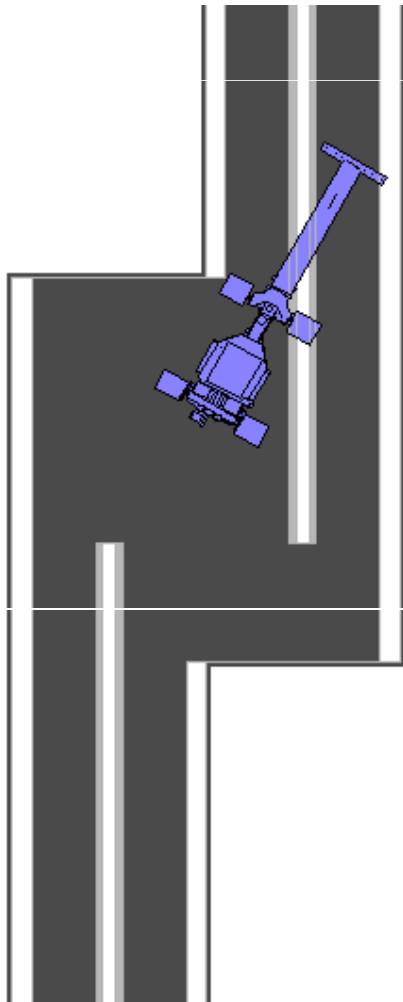
JMCR09全国決勝の分かれ目



2-1. ライントレース

コースアウトする場所：操舵の切り返し部分

素早い追従制御が必要となる



2-1. ライントレース

ライントレースの失敗

ゲインを上げると発振
ゲインを下げると追従失敗

＞ゲインが合っていない

＞ゲインが合わせ難い、合わせられない

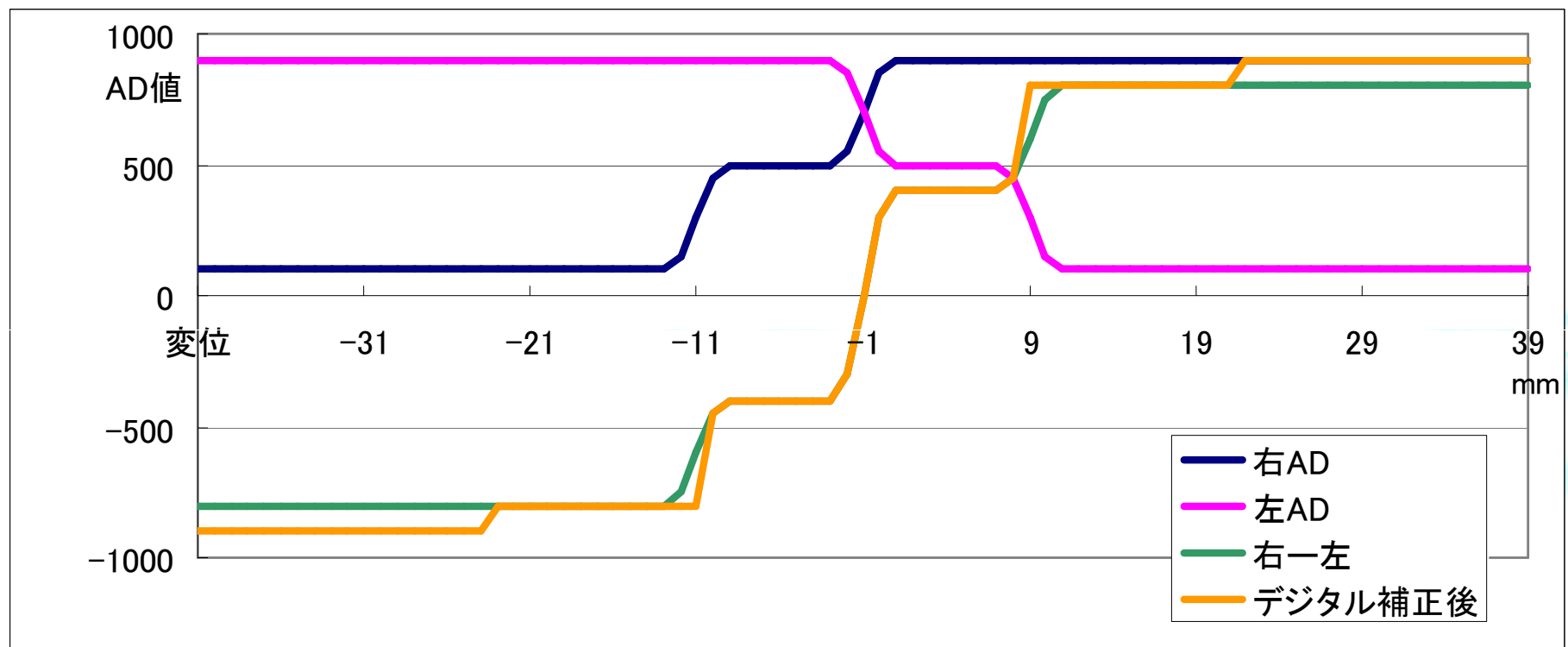
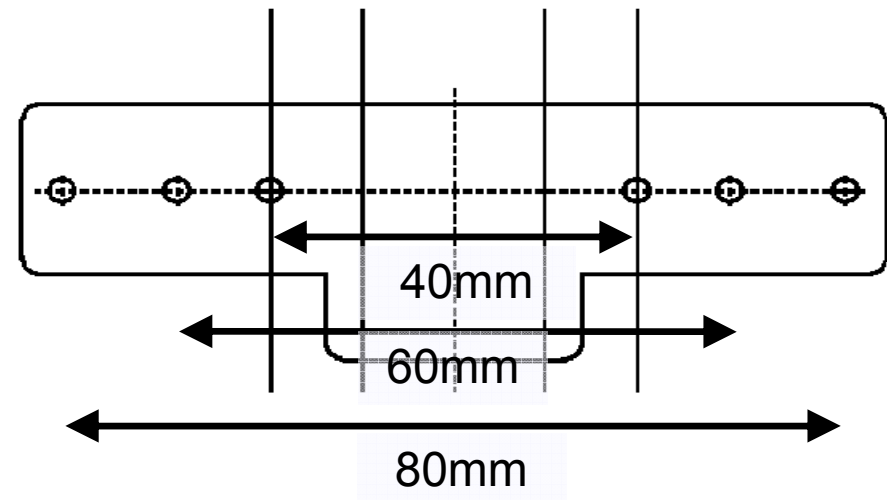
＞何故？

1. 変位を上手く検出できない
2. モータ出力が足りない
3. メカ部分のガタ・・・省略

2-1. ライトレース 変位の検出(1/5)

タイプS基板の変位ー出力

- ・アナログセンサ間距離 : 40mm
- ・外側デジタルセンサ距離 : 64mm
- ・外側デジタルセンサ距離 : 80mm



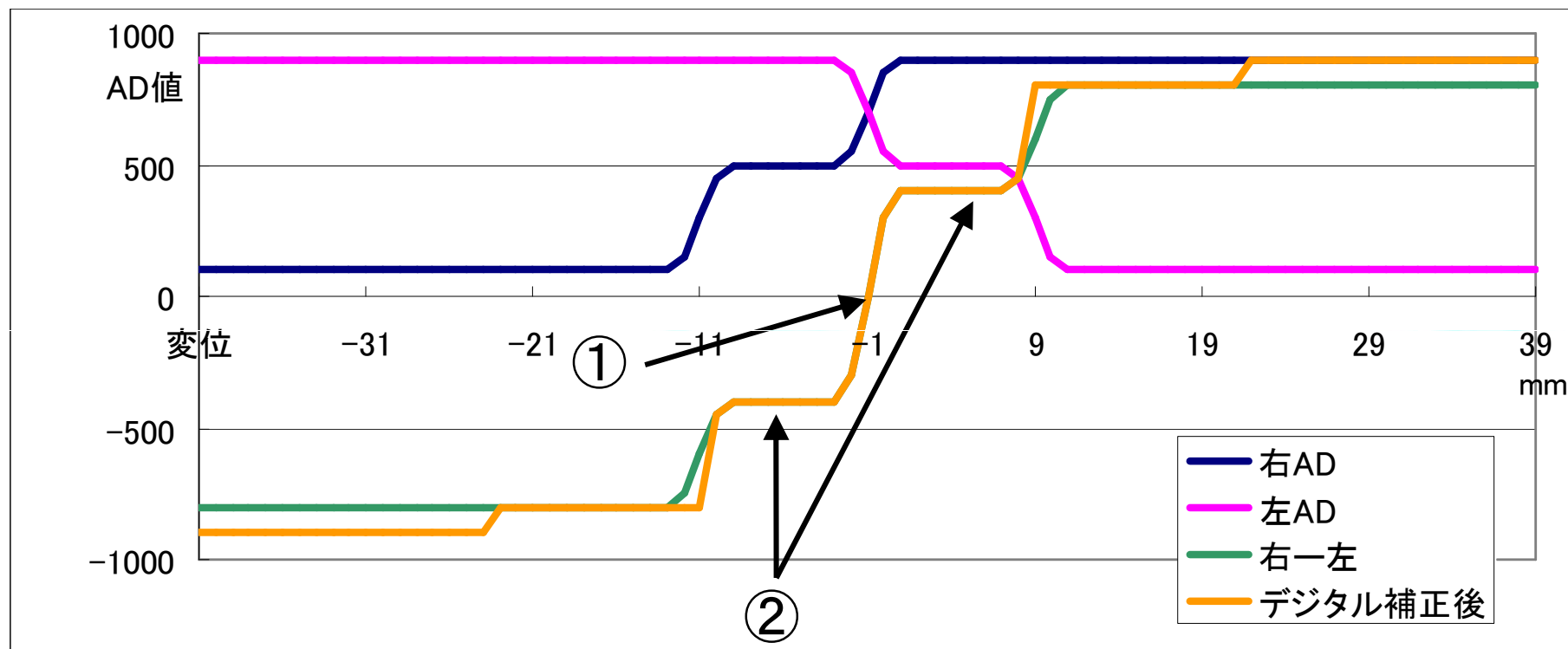
2-1. ライントレース 変位の検出(2/5)

タイプS基板について

①リニア検出領域が狭い(約3mm)

操舵部のギヤバックラッシュの方が大きくなる

②変位が検出できない箇所が広い(約10mm)



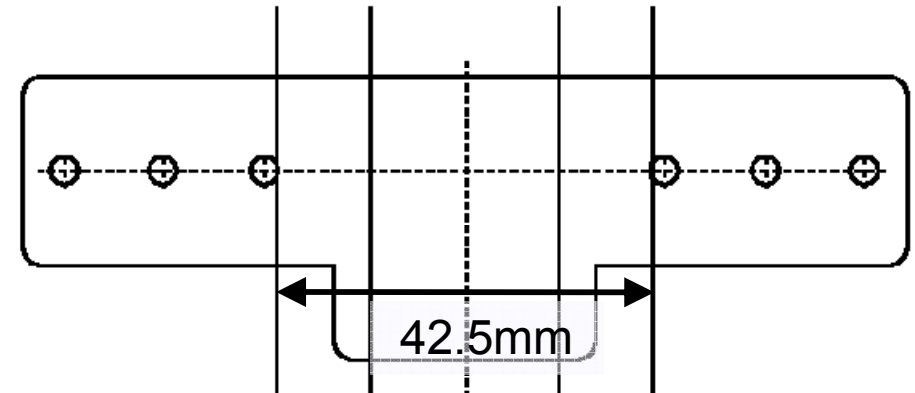
2-1. ライントレース 変位の検出(3/5)

改善案①

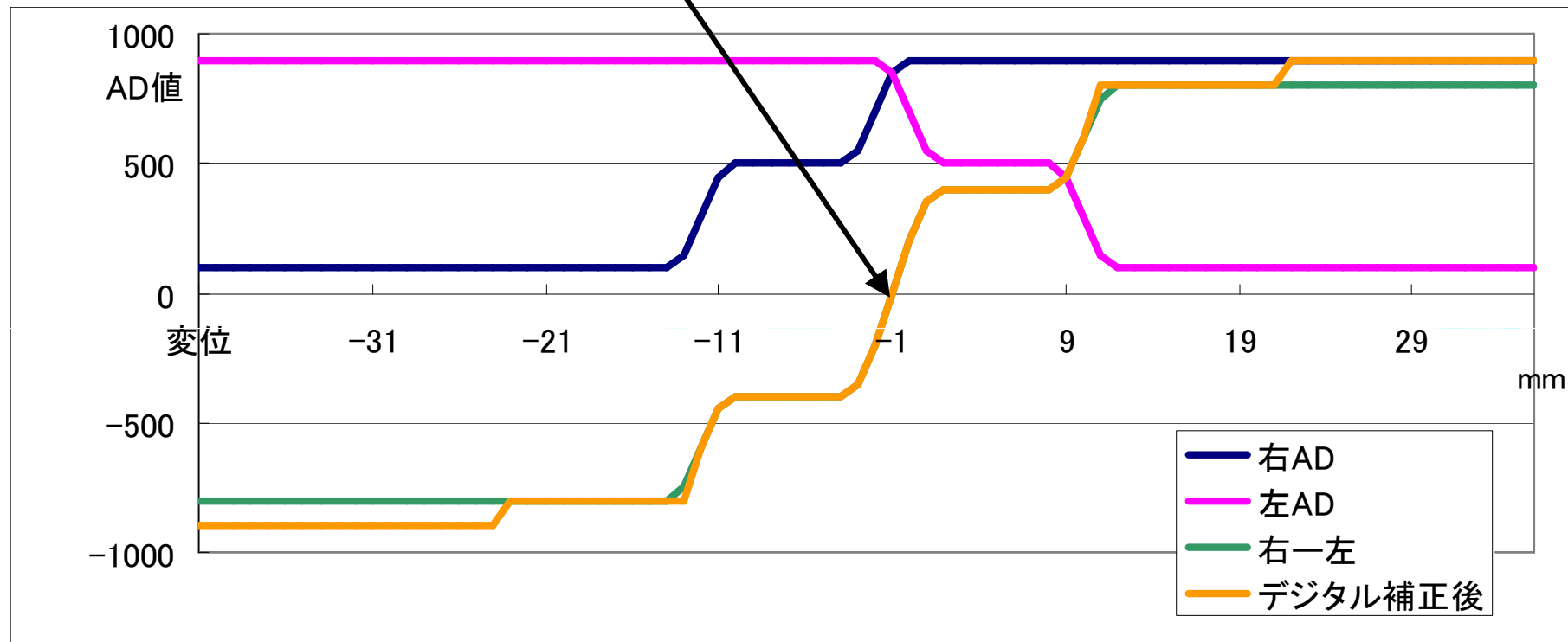
アナログセンサ間距離: 42.5mm

→リニア検出領域が2倍

(ゲイン調節も容易になる)



黒色-灰色の境界と、センサの検出域が
触れるように設置



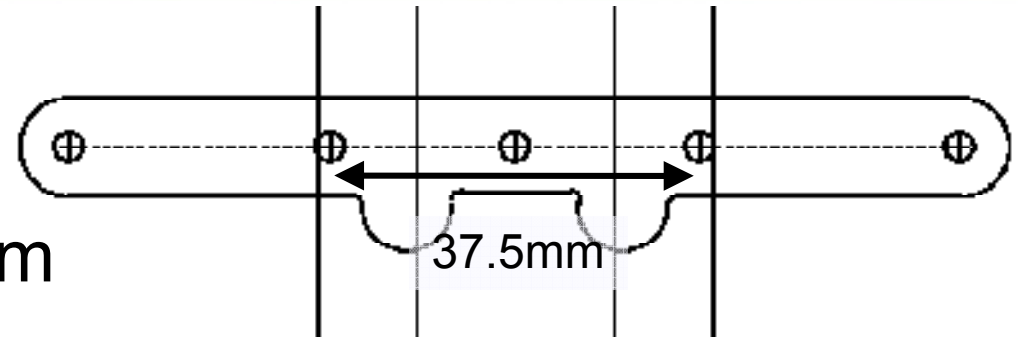
2-1. ライントレース 変位の検出(4/5)

改善案②件の仕様

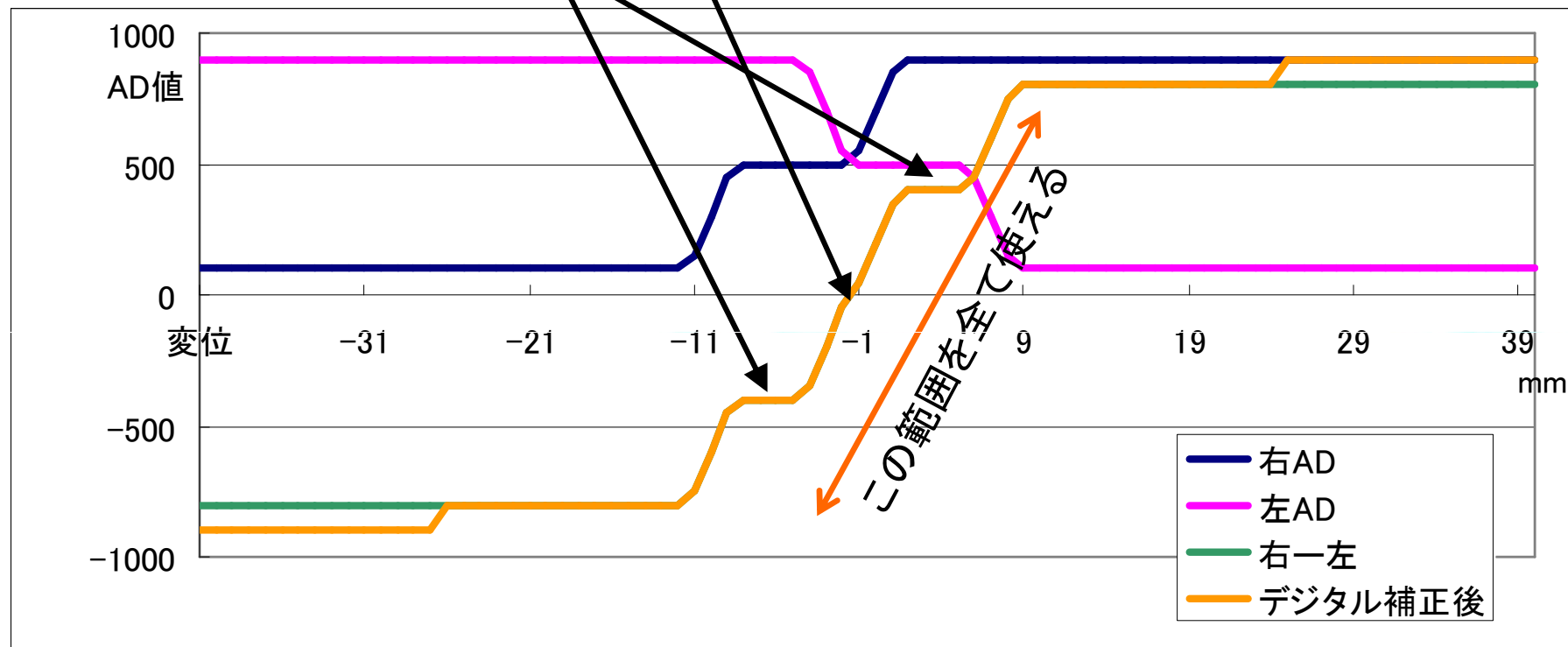
アナログセンサ間距離: 37.5mm

→リニア検出領域が2倍

→検出不可領域1/2



灰色-黒色の境界と、センサの検出域が
触れるように設置



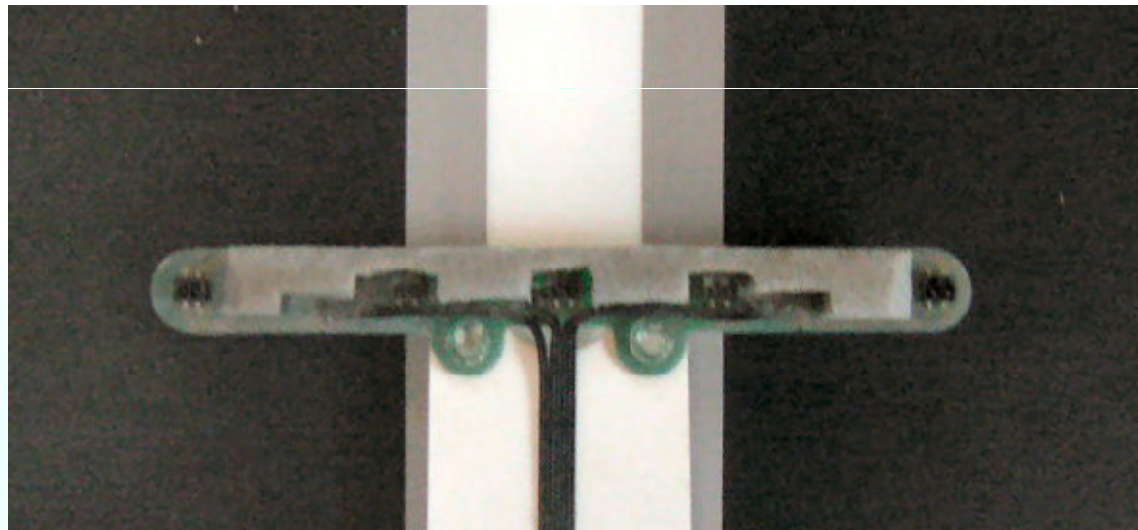
変位の検出まとめ

- タイプS基板がベストではない
- アナログセンサ間の距離を2.5mm程度伸ばすと使い易くなる
- 最終的には自作？



2-1. ライントレース 軽量化(1/4)

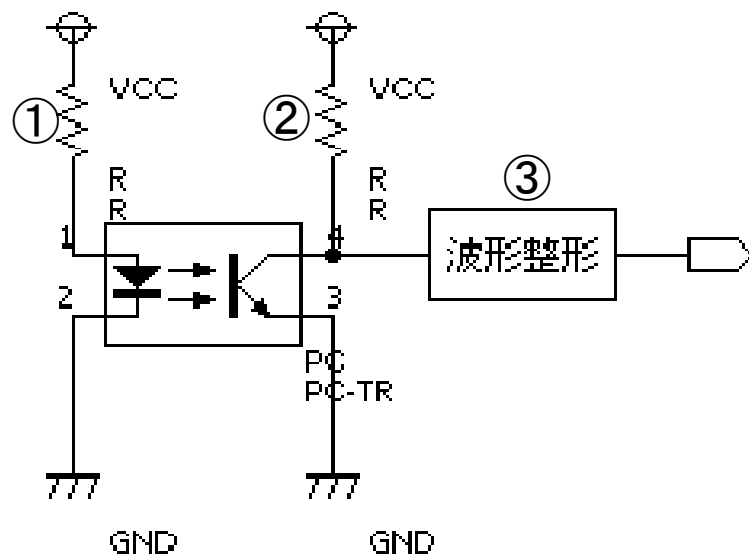
- トレースは出来るのに、S字コーナ等で落ちる
→ 操舵モータの出力が足りない
 - ① モータの変更 (RE-MAX17, RE16)
 - ② ギヤ比の変更 (60:1 程度)
 - ③ ライントレースセンサ基板の軽量化



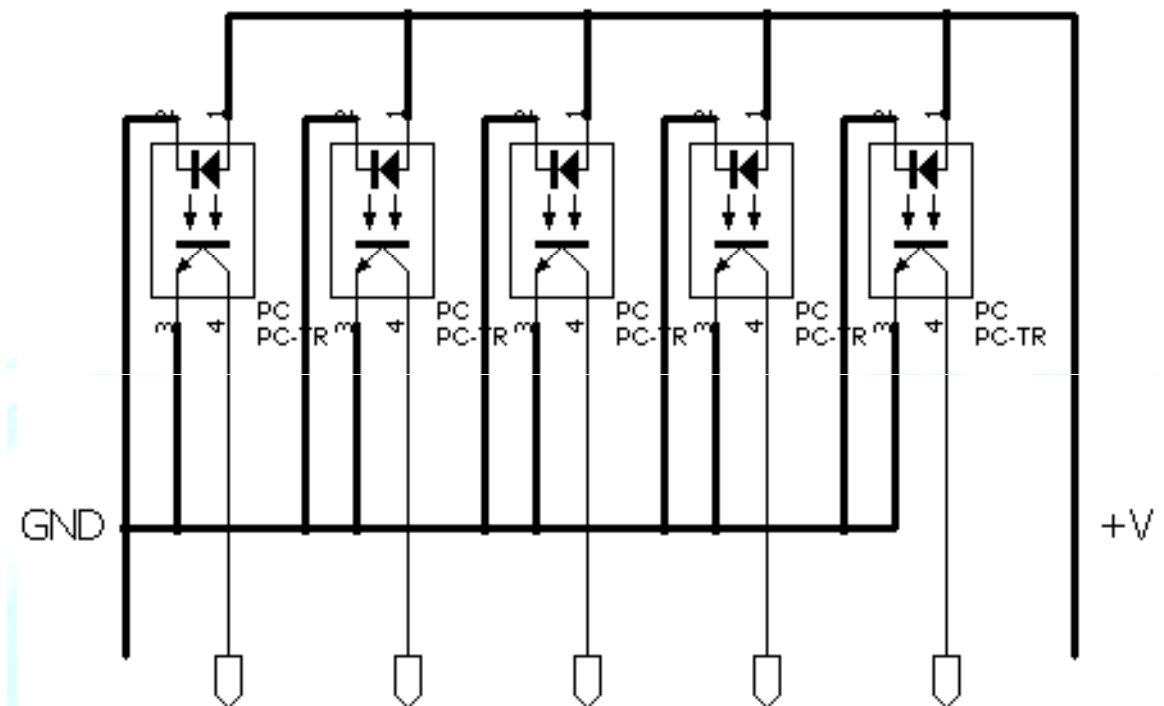
2-1. ライトレース 軽量化(2/4)

センサ基板の構成

- センサは全てGP2S40
- 物を置かない
 - ① 発光側の電流制限抵抗
 - ② 受光側のプルアップ抵抗
 - ③ 波形整形回路



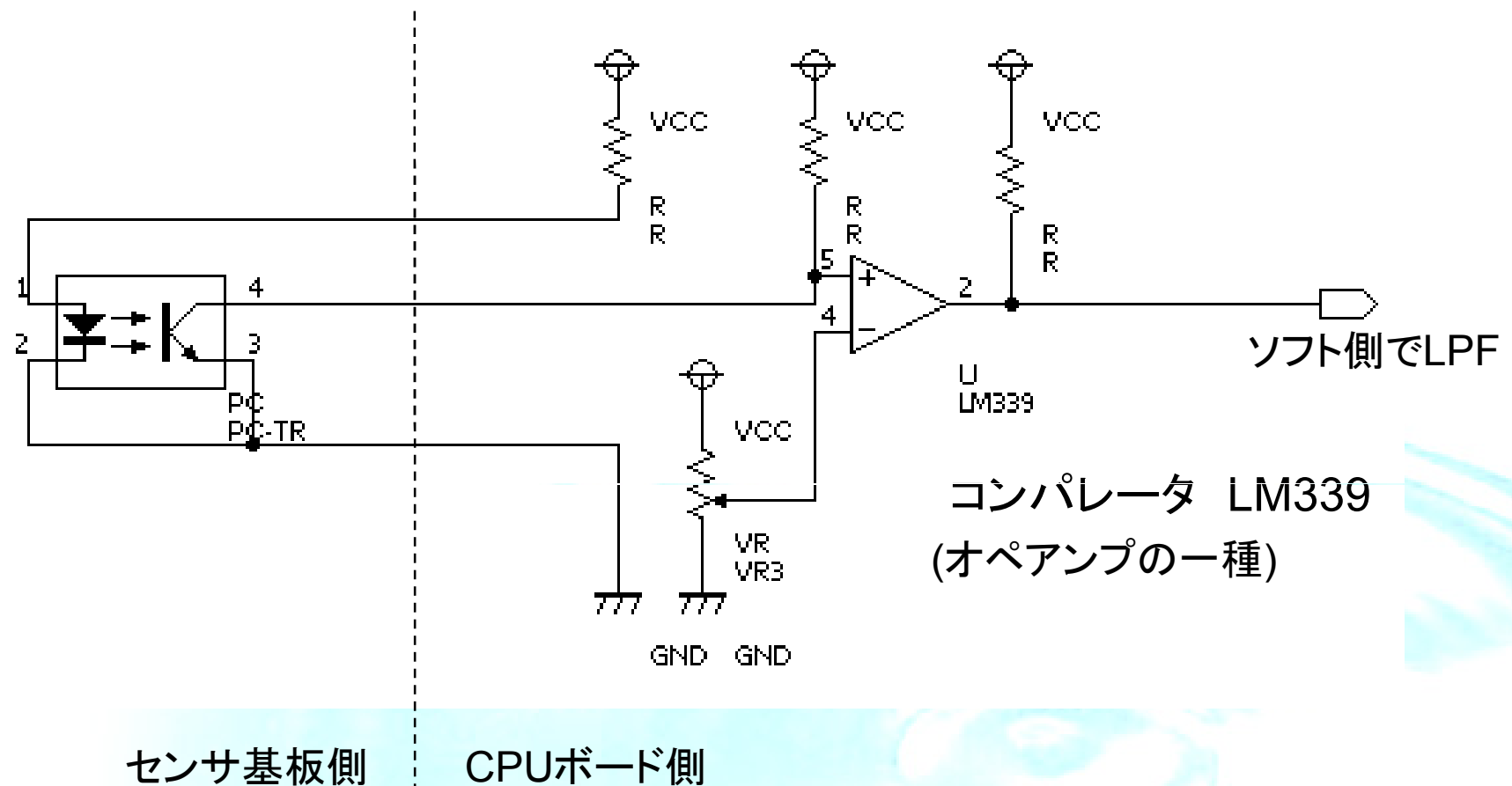
パターン図



回路図

2-1. ライトレース 軽量化(3/4)

- アナログセンサをデジタルとして使う
→コンパレータで波形整形

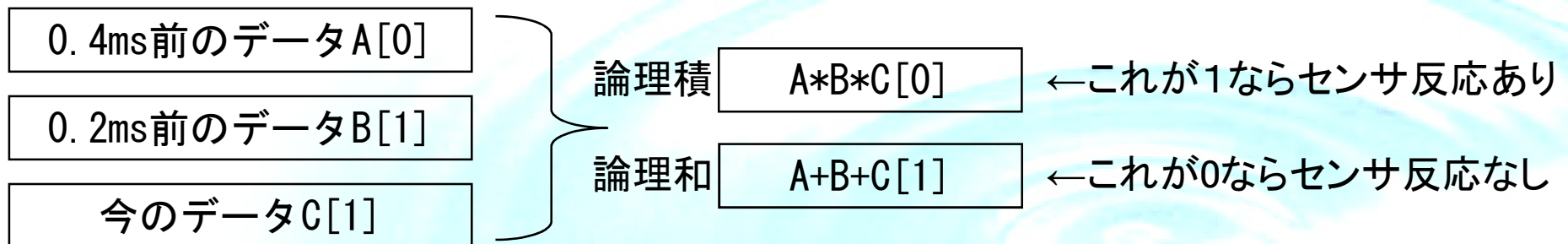


センサ基板軽量化のまとめ

- ・センサ基板は必要最低限の構成
- ・コンパレータで波形整形
- ・ローパスフィルタでノイズ対策

同じデータが3回連続したら信頼できる信号とする

センサ反応あり=1 センサ反応なし=0



2.完走へのアプローチ

① ライントレースの失敗

アナログセンサ最初の難関

② コーナ旋回中の横滑り

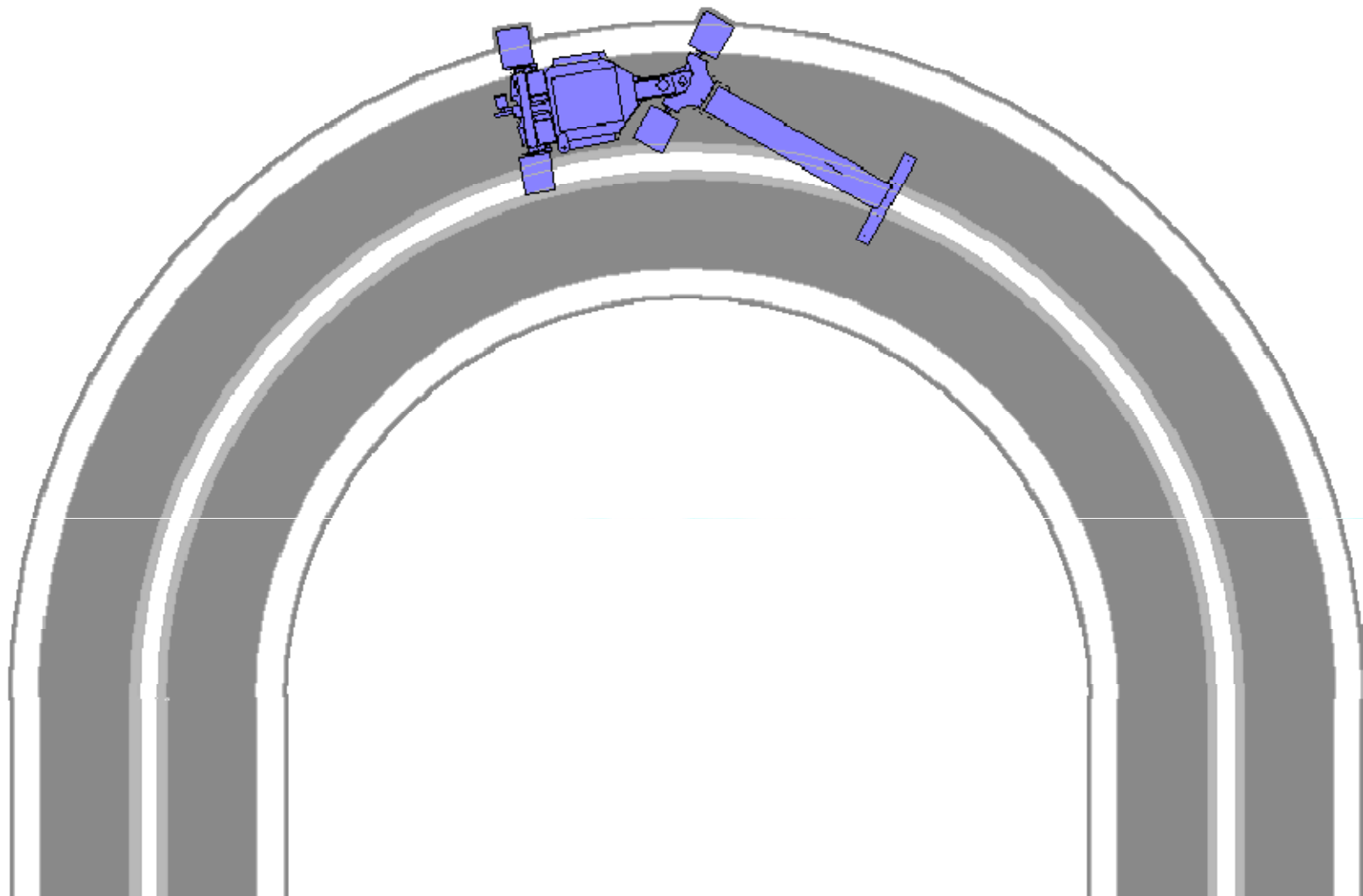
高速化の妨げ

③ 車線変更からの脱出失敗

JMCR09全国決勝の分かれ目

2-2.横滑り検出と抑制

コースアウトする場所: 90° , 180° コーナ



2-2.横滑りの検出と抑制

横滑りによるコースアウト

→落ちる前にどうにか処理できないか？

→ESC (横滑り防止装置) {
・横滑りの検知
・横滑りの抑制

ESCの仕様(車両はアンダーステア特性)

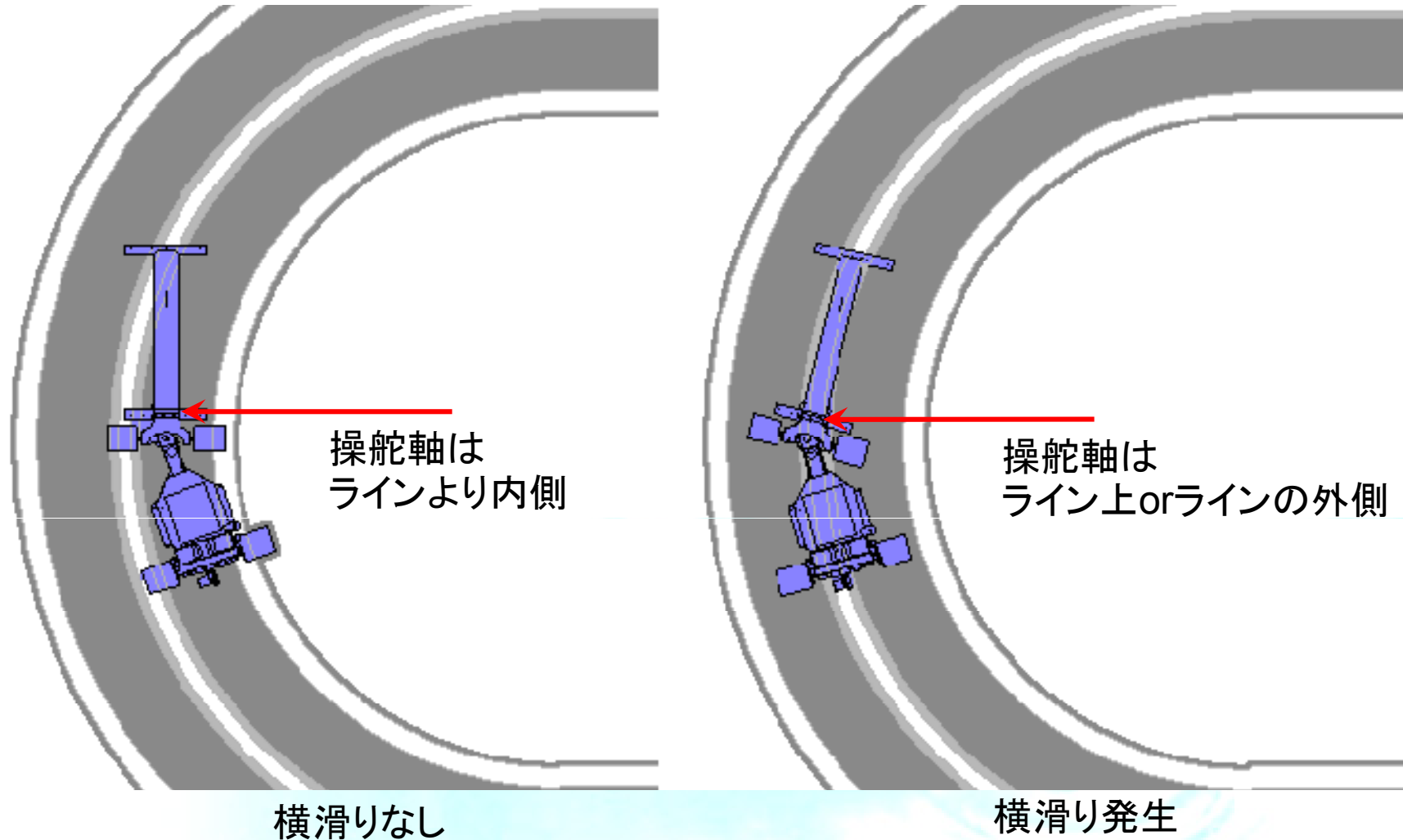
検知: ポジションセンサによる旋回円の推定

抑制: 減速と旋回モーメント発生

2-2.横滑りの検出と抑制 検知

アンダーステア特性の車両なら、操舵軸とラインとの距離から
ラインに対する車体の旋回円を把握できる

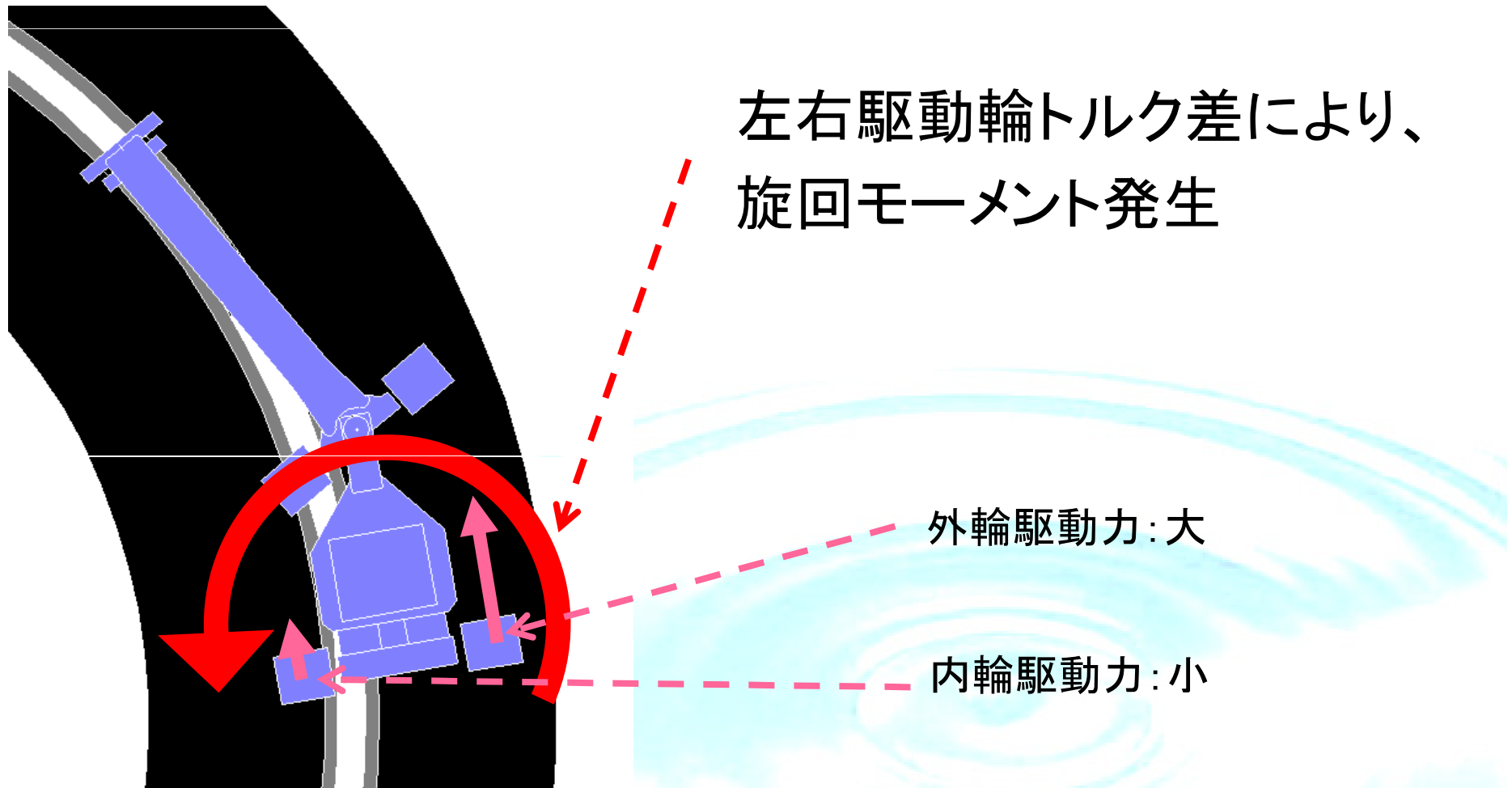
→コースアウトする前に、過大な横滑りを検知できる



2-2.横滑りの検出と抑制 抑制

横滑り(アンダーステア)を抑制するには

- ①減速・・・減速すればアンダーステアも収まる
- ②旋回モーメントを発生し、前輪をアシスト



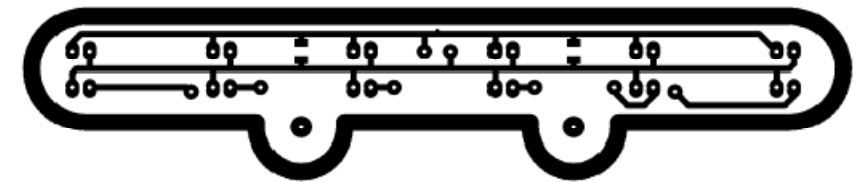
実際の制御(件での実装)

- 常に旋回モーメントを発生
- 設定速度以上なら減速・等速走行
- コースアウトしそうなら加速停止
- フォールスポジティブ (false positive)

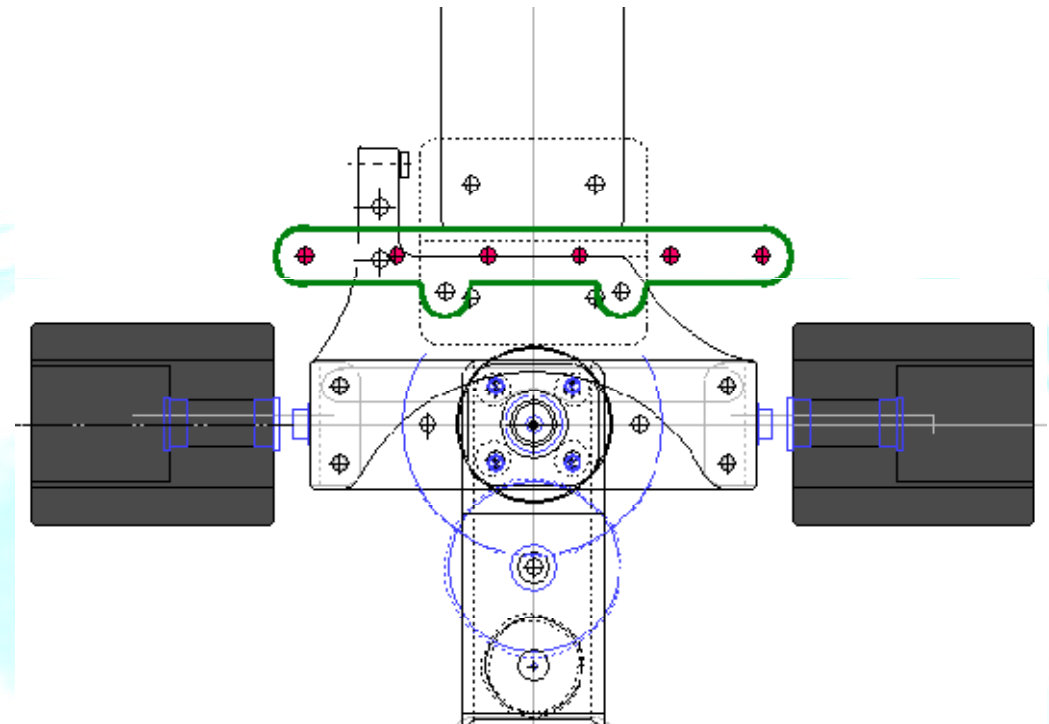
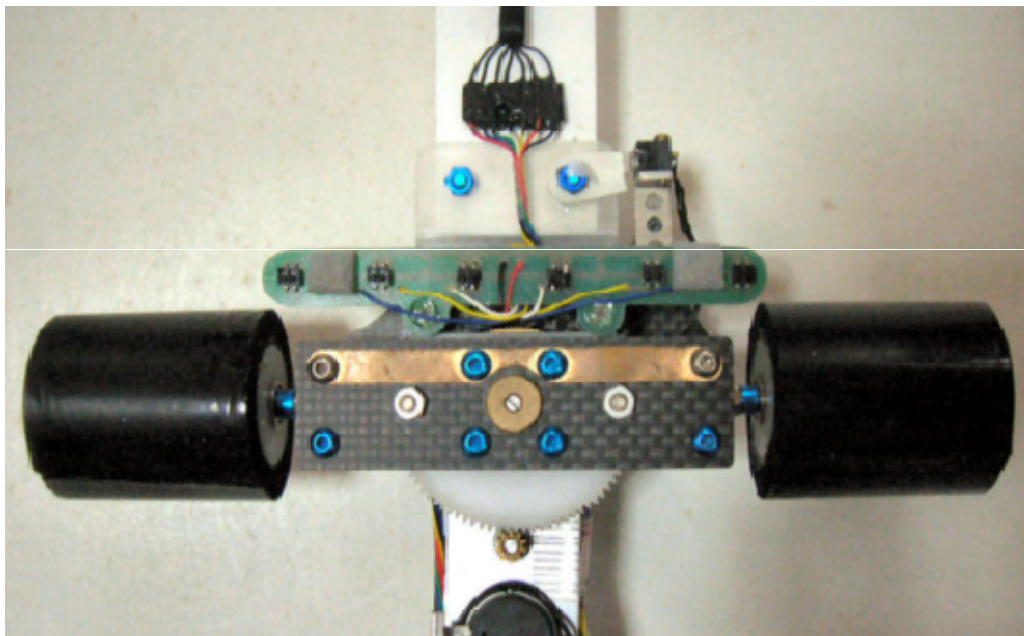
2-2.横滑りの検出と抑制 件での実装(2/5)

ポジションセンサ

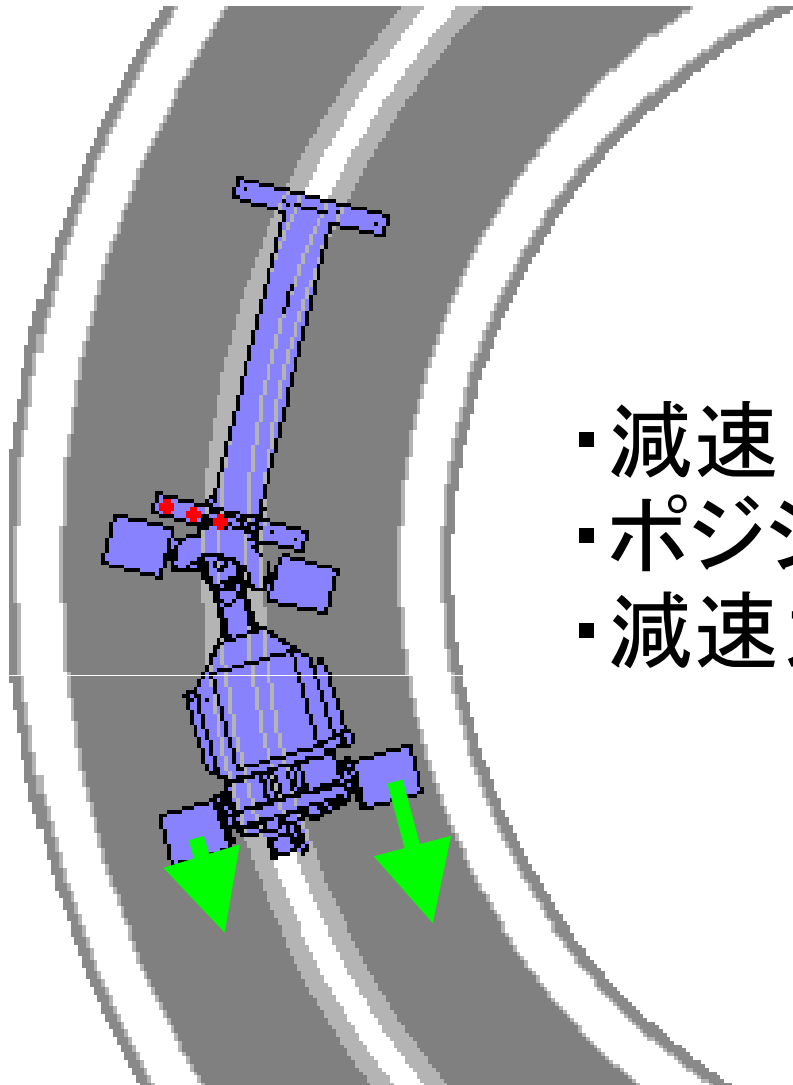
- 操舵軸前方30mmに設置
- 16mm毎に6つのGP2S40
- 波形整形回路はトレースセンサ同様



パターン図

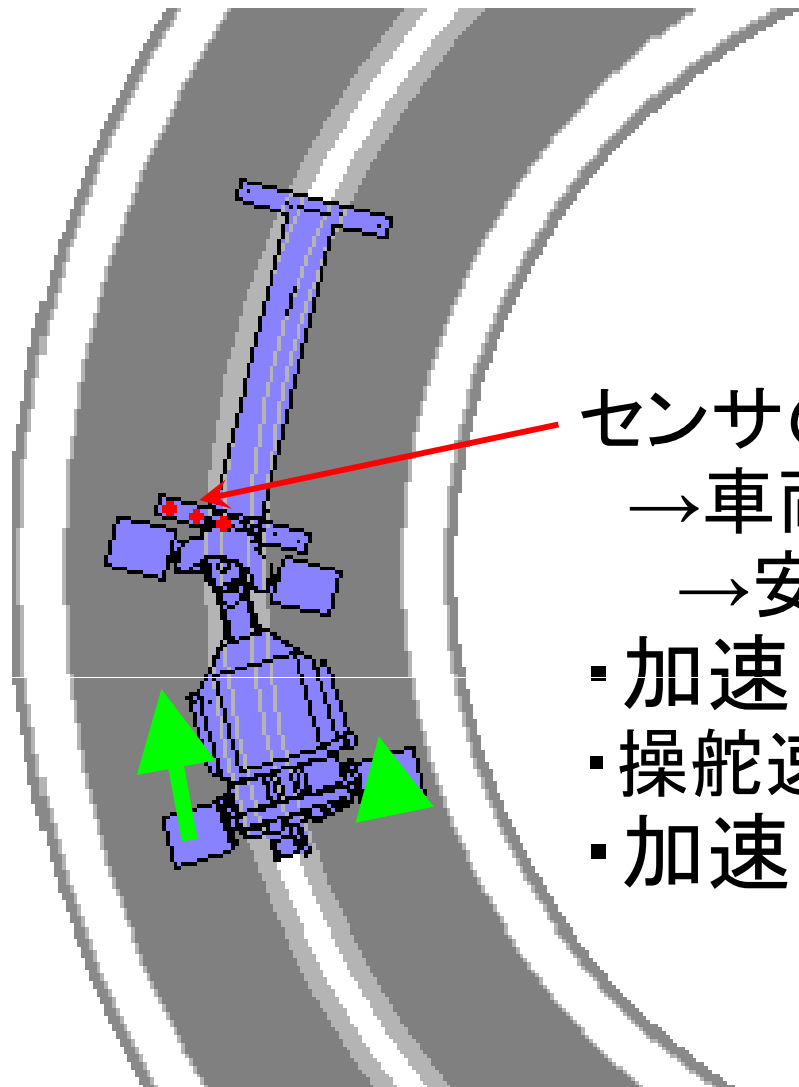


コーナの曲がり方① 指定速度以上



- 減速
- ポジションセンサは使わない
- 減速力：内輪 > 外輪

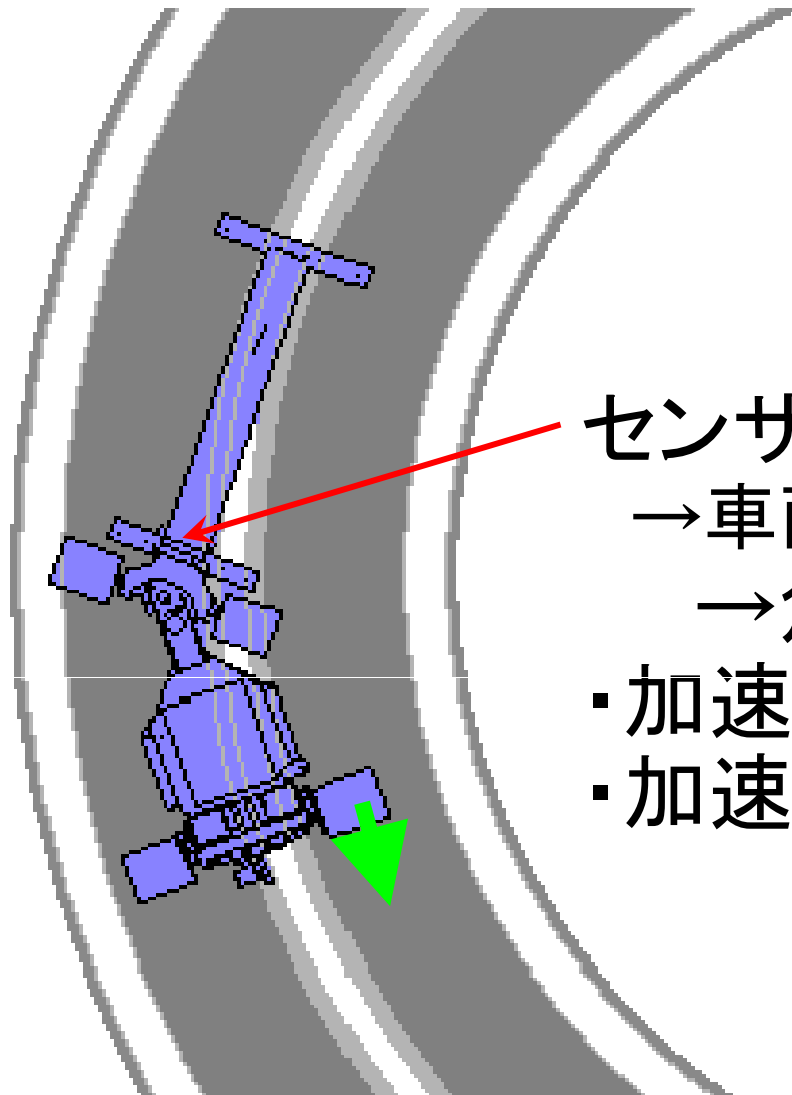
コーナの曲がり方② 指定速度以下



センサの外側3つの何れかが反応
→車両はライン上または内側を旋回
→安全

- 加速
- 操舵速度が早い場合、加速を抑える
- 加速力: 外輪 > 内輪

コーナの曲がり方③ 指定速度以下



信号が怪しいときは
危険と判断する

センサの外側3つの反応なし
→車両はライン外側を旋回or跳ねている
→危険

- ・加速停止（急ブレーキはスピンの原因）
- ・加速力：外輪無し，内輪減速

2-2.横滑りの検出と抑制

まとめ

ポジションセンサの効用

→コースアウトする前に、
過大な横滑り(アンダーステア)を検知
(オーバーステアは検知し難い)

横滑り(アンダーステア)の抑制方法

→基本は減速、旋回モーメントも使える

2.完走へのアプローチ

① ライントレースの失敗

アナログセンサ最初の難関

② コーナ旋回中の横滑り

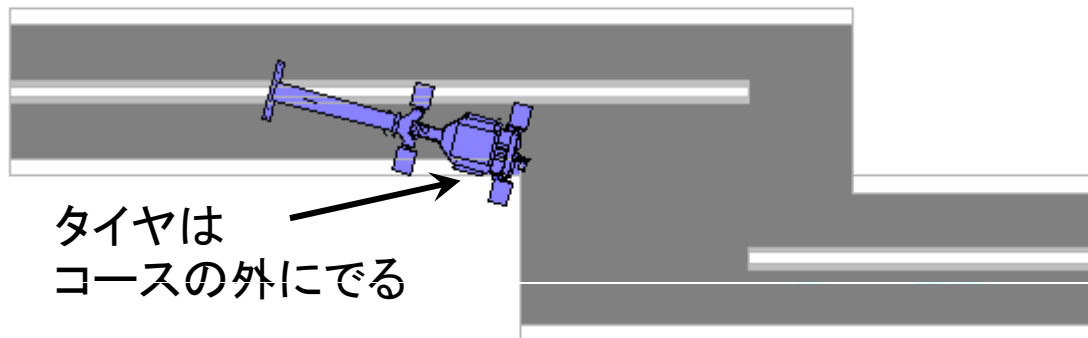
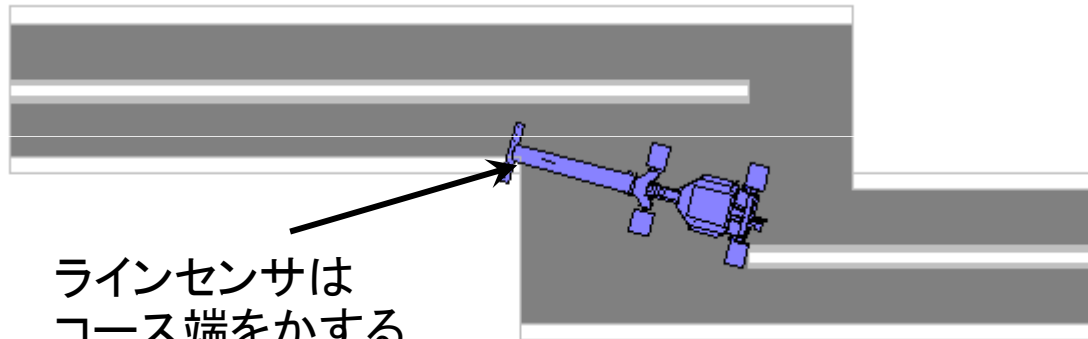
高速化の妨げ

③ 車線変更からの脱出失敗

JMCR09全国決勝の分かれ目

2-3.車線変更の走り方

最速の走り方



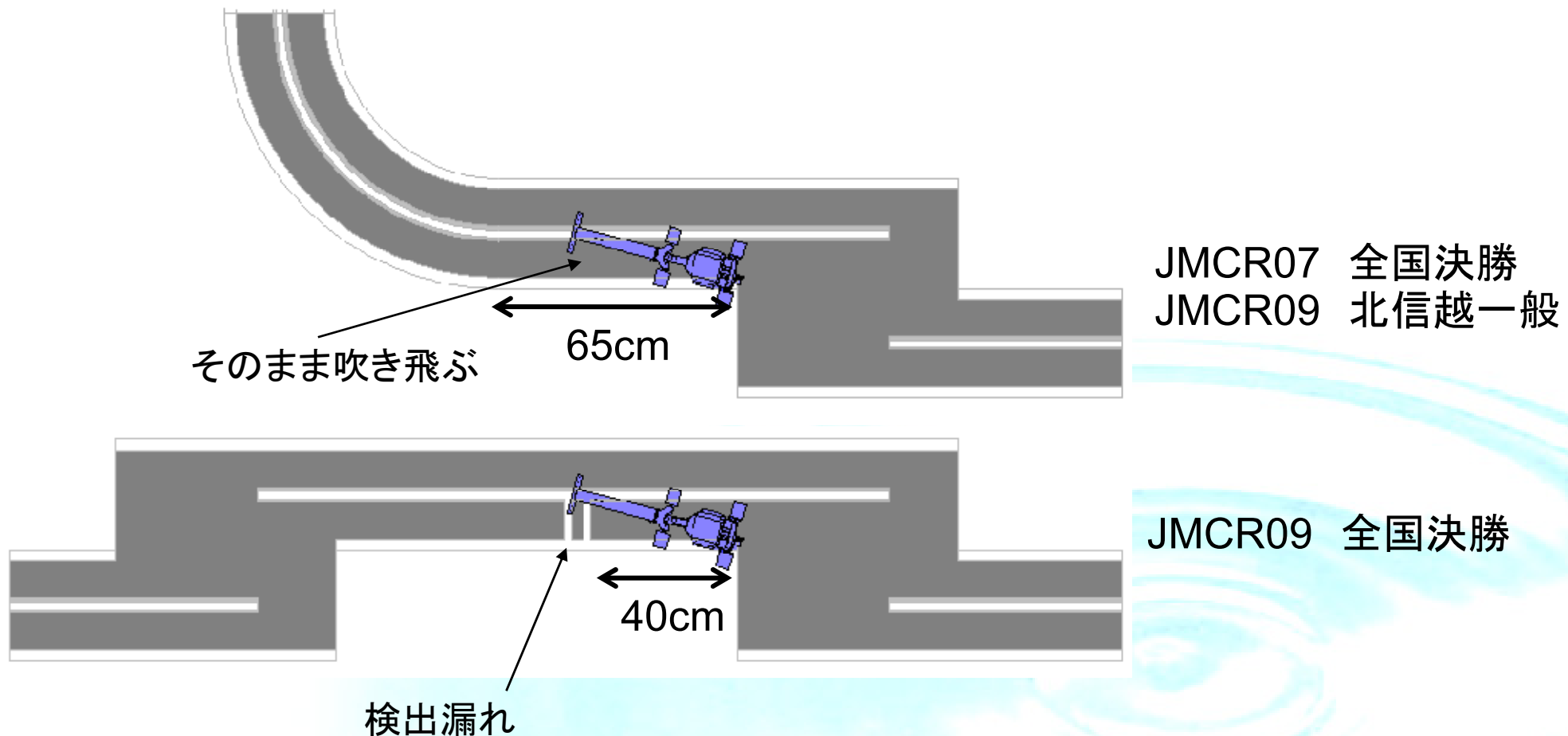
車線変更の走り方の基本
地区大会で有効

脱出速度優先
少ない操舵角度で、
タイヤの負担を減らし、
旋回中の減速を抑える

2-3.車線変更の走り方

横須賀・全国決勝に出てきたレイアウト

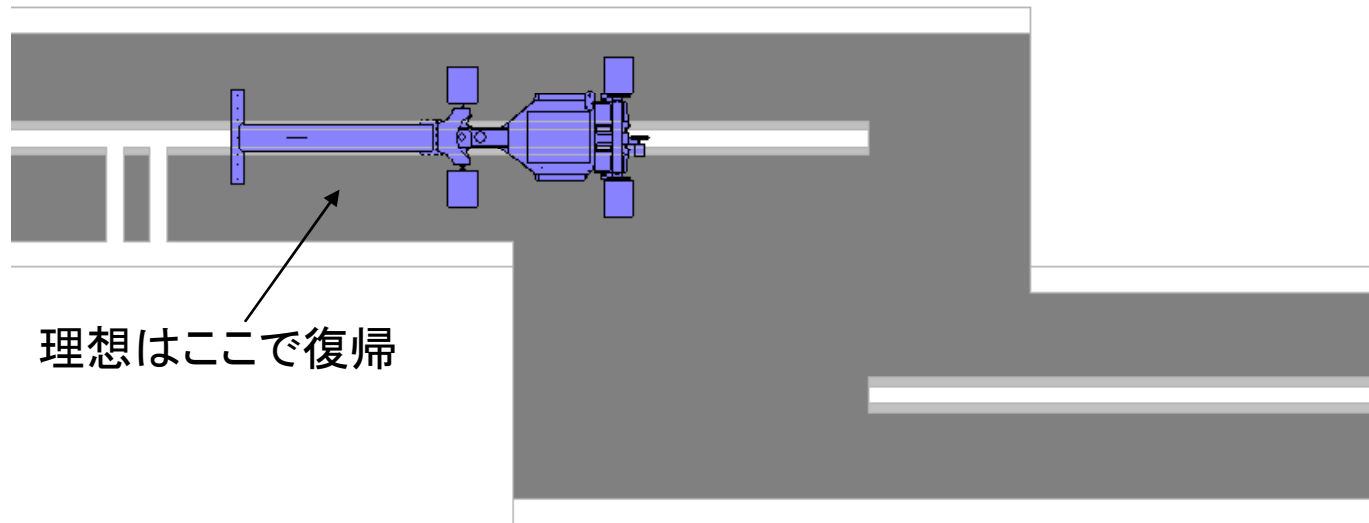
=最速の走り方で攻略困難なレイアウト



2-3.車線変更の走り方

全国対応の走り方

車線変更後、短い距離で復帰する



- 進入速度は落としたくない
- 立ち上がりでの横滑りを抑えることが重要

2-3.車線変更の走り方

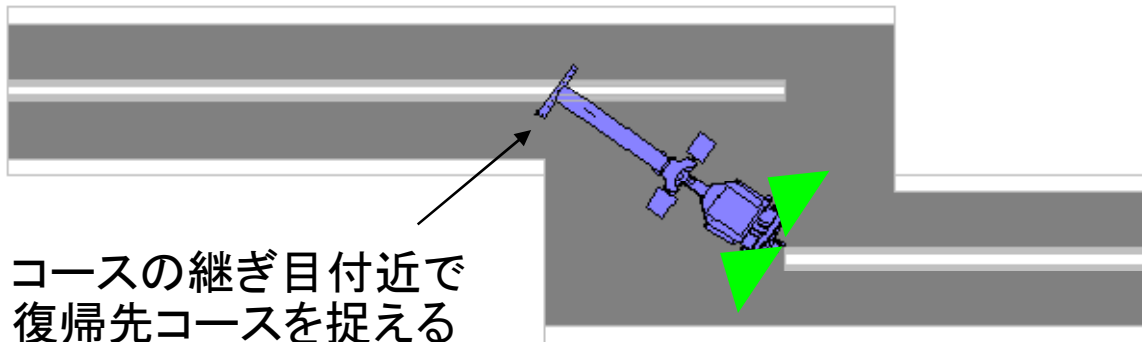
件の走り方紹介①



大きな操舵角度で、
素早く復帰先のコースに辿り着く



35° まで操舵
内輪:減速
外輪:加減速なし

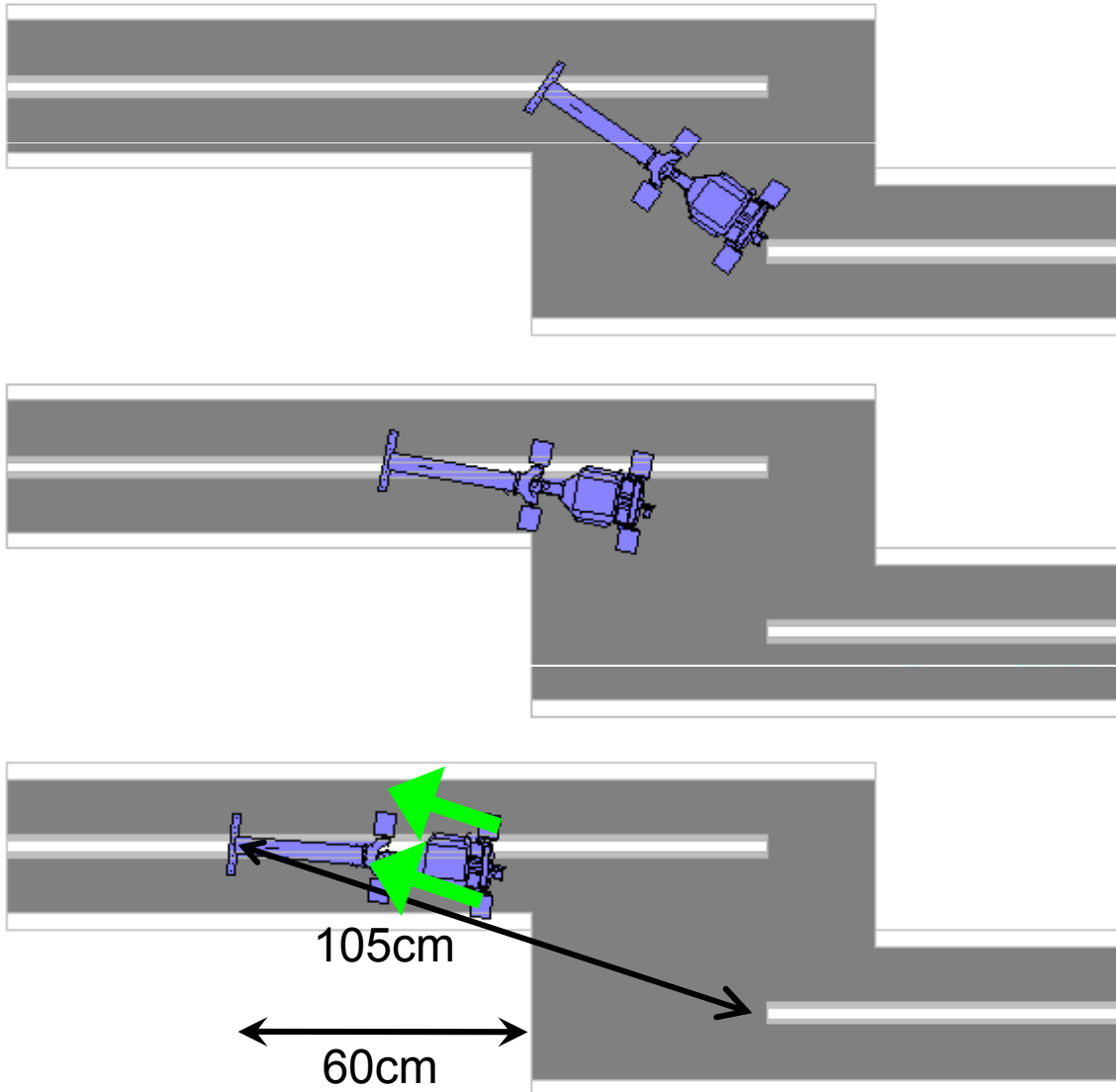


コースの継ぎ目付近で
復帰先コースを捉える

30° 以上の操舵で9cm進んだら
操舵を0° に戻す
内輪:弱加速
外輪:弱加速

2-3.車線変更の走り方

件の走り方紹介②



安定するまで

タイヤのグリップは旋回に使う

(加減速しない)

復帰先ラインを検出したら

トレース再開

内輪: 加減速なし

外輪: 加減速なし

ライン途切れから105cm進んだら

ハーフライン & クロスライン検出開始

内輪: 加速

外輪: 加速

2-3.車線変更の走り方

まとめ

- 短い距離で復帰先コースに復帰する
ハンドルは深く切って、早く戻す
先読みセンサがあれば更に良し
- 車線変更中は加減速しない
- 十分に安定してから加速を始める



ロバストなマイコンカーの作り方

まとめ

- ライントレースは確実に行う

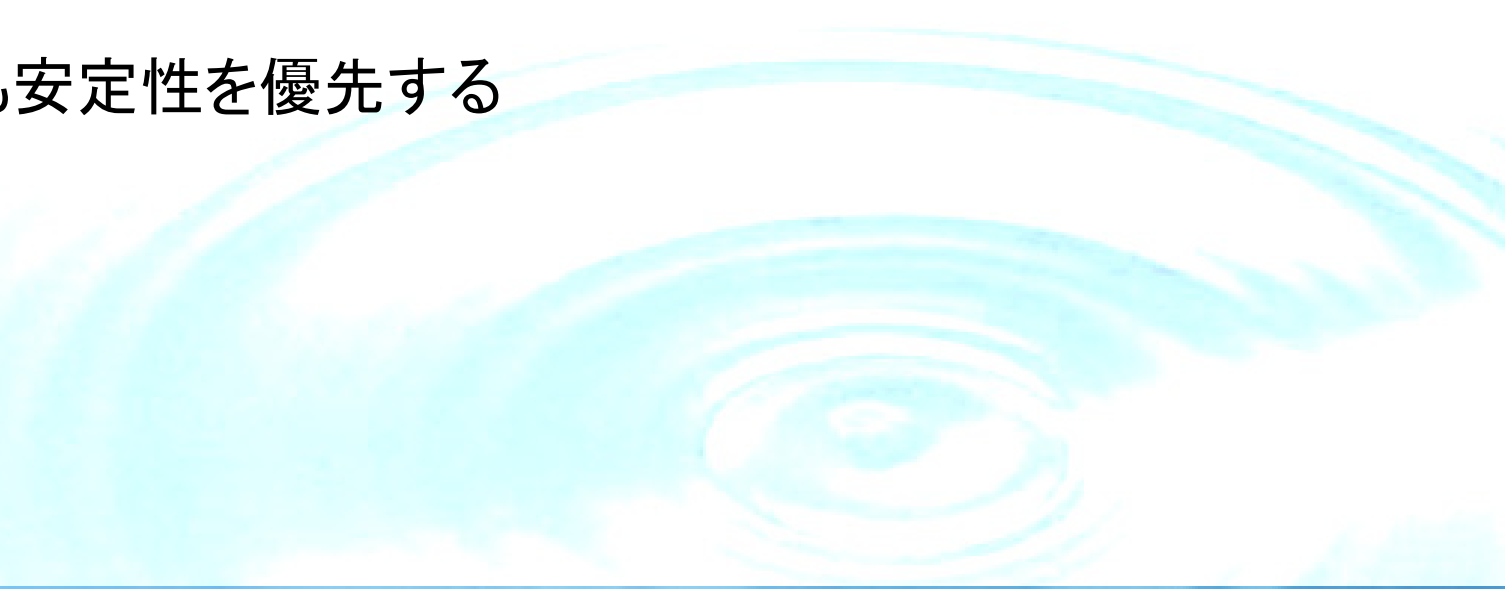
センサ検出範囲の拡大、操舵系の軽量化

- 十分に安全な時以外は加速しない

ポジションセンサで危険な状態を検知

- 車線変更は60cm以内に通常走行に戻る

速度よりも安定性を優先する



ご清聴ありがとうございました。