

2018（平成 30）年度 修士学位論文

RoboCar を用いたスリップ時の自動車制御の実験的
検討

Experimental study on automobile control during sideslip
condition using RoboCar

2019 年 3 月 8 日

高知工科大学大学院 工学研究科基盤工学専攻
知能機械システム工学コース

1215035 山野 大輝

指導教員

岡 宏一

教授

原田 明徳

講師

目次

第 1 章	序論	4
1.1	研究背景	4
1.2	スリップに対する安全技術について	5
1.3	研究目的	7
第 2 章	車両モデルと使用機器	8
2.1	車両モデル	8
2.2	PID 制御について	9
2.3	実験機	9
2.4	使用機器	11
2.5	実験場所	12
第 3 章	基礎走行実験	14
3.1	制御方法	14
3.2	実験方法	14
3.3	実験結果	14
3.4	考察	19
第 4 章	路面状態の違いによる車両のダイナミクスの変化	20
4.1	実験概要	20
4.2	実験方法	20
4.3	実験結果	20
4.4	考察	22
第 5 章	速度制御	23
5.1	制御方法	23
5.2	実験方法	25
5.3	実験結果	25
5.3	考察	30
第 6 章	統合制御	31
6.1	制御方法	31
6.2	閾値 1 の決定について	31
6.3	閾値 2 の決定について	33
6.4	実験方法	33
6.5	実験結果	33
6.6	考察	37
第 7 章	結言	38
	謝辞	38

参考文献 39

第 1 章 序論

1.1 研究背景

地上に存在する乗り物は、運動形態から大きく 2 つの形態に分類される。1 つは、鉄道車両のようにレールの上を走る乗り物。もう 1 つは、地上を自由に走ることのできる乗り物であり、自転車やバイク、飛行機など様々なモノが存在する。その代表として、自動車があれば、自動車は運転することが必要不可欠な乗り物である。

現在、自動車は日常生活に欠かせない存在であり、大きな便益を我々にもたらしている。その一方で、自動車に関する交通事故が多発している。交通事故の要因として、ヒューマンエラーによるもの、地形・街の構造によるものや自然現象によるものが考えられる。

冬季には積雪や路面が凍結することがある。このような冬期現象が事故の直接的または間接的な要因になったものを冬型事故と呼ぶ。図 1.1 より 1997 年～2006 年の北海道では冬型事故の発生件数割合が 15.9%である。対して死者数の割合が 18.3%と割合が多くなっている。図 1.2 より冬型事故の多くがスリップによる事故だとわかる。

現在では様々な自動車のスリップに対する安全技術が開発されているが、ほとんどがスリップを抑制するための技術である。そのため実際にスリップが起きた時、運転技術のある人ならばある程度の事故回避行動は行えるがほとんどの人が制御できず重大な事故に繋がってしまう。

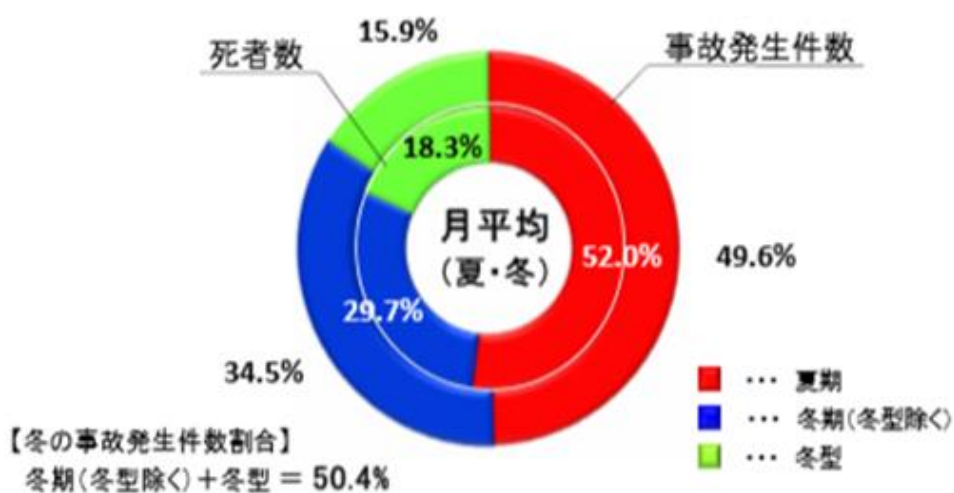


Fig.1.1 Accident incidence rate in Hokkaido from 1997 to 2006

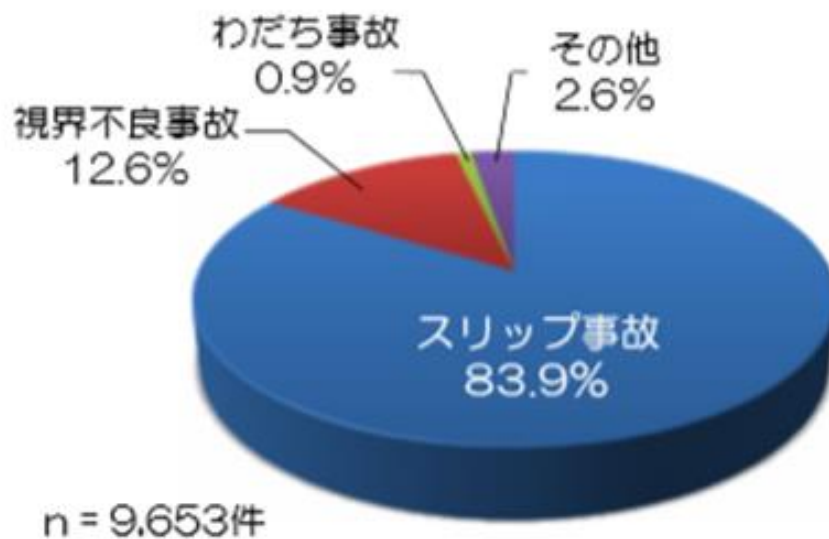


Fig.1.2 Breakdown of winter accident

1.2 スリップに対する安全技術について

一度スリップが起これば事故につながりやすいのでスリップを防ぐための安全技術が開発されている。一つはタイヤチェーンやスタッドレスタイヤなどのタイヤを滑りにくくする技術である。他に ABS (Antilock Brake System) や ESC (Electronic Stability Control) と呼ばれるブレーキ制御による横滑り防止技術も存在する。図 1.3 に ABS についての解説図を示す[3]。ABS とは、一旦タイヤがロックして滑り始めると制御不能になってしまうのでこれを防ぐために滑り始めたら少しブレーキを緩めて再び踏み込む動作を繰り返す運転技術をコンピュータ制御により自動化したものである。図 1.4 に ESC についての解説図を示す[4]。ESC とは、急なハンドル操作や滑りやすい路面を走行中に車両の横滑りを感知すると車両の進行方向を保つように各車輪に適切にブレーキをかけて車両の進行方向を修正、維持するシステムである。

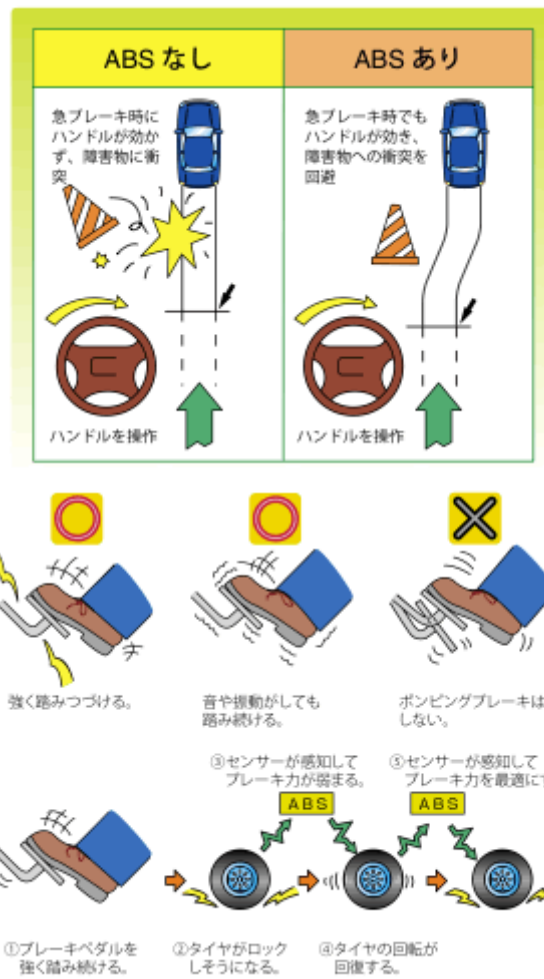


Fig1.3 ABS

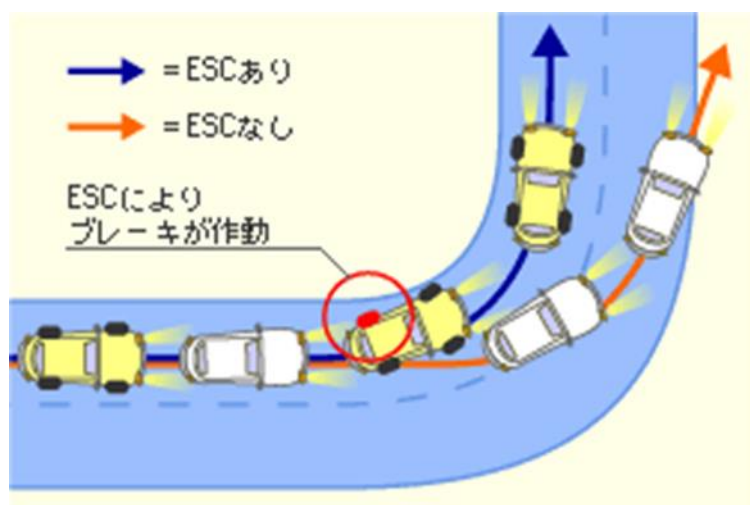


Fig1.4 ESC

1.3 研究目的

そこで本研究では路面摩擦によらずタイヤ舵角を制御することで任意の旋回半径で走行を行うシステムを提案する。タイヤ舵角，車速，加速度，角速度などの走行状況を検出して不安定な挙動が起こった場合に安全に回避するシステムの開発を目指す。今回は，提案したシステムを実現するために実車の 1/10 スケールのモデルカー(以下，RoboCar)を用いて走行実験を行ったのでその結果について述べる。

第2章 車両モデルと使用機器

2.1 車両モデル

図 2.1 に自動車の 2 輪モデルを示す[6]. 一般的に自動車の旋回半径は図 2.2 より

$$l_f = R_f(\delta - \alpha_f) \cdots (2.1)$$

$$l_r = R_r \cdot \alpha_r \cdots (2.2)$$

式(2.1),(2.2)より

$$l = l_f + l_r = R_f(\delta - \alpha_f) + R_r \cdot \alpha_r \cdots (2.3)$$

$R_f \cong R_G \cong R_r$ とすると

$$R_G = l / \{\delta - (\alpha_f - \alpha_r)\} \cdots (2.4)$$

と表される. 式(2.4)は, あくまで一般的なものである. 実際には式(2.4)で使われている横滑り角を高精度で求めることは難しい. また, 理論的に車両の制御を行おうとすると環境の変化による路面摩擦力の変化だけでなく乗員の人数乗る位置などにより重心や重量が変化し, 装着するタイヤの種類によってコーナリングパワーが変化するため現実的でないと考える. そこで本研究では, 舵角制御や速度制御に関して PID 制御などを用いることによって実験的に Robocar を制御する.

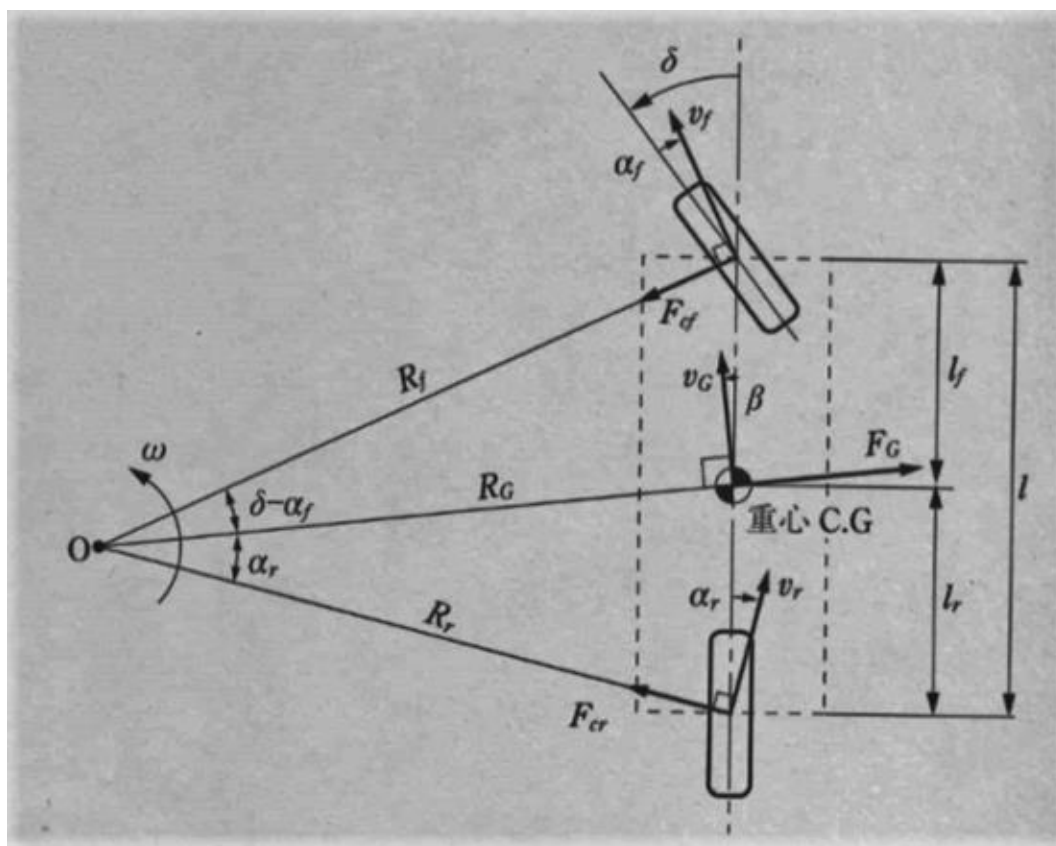


Fig.2.1 Simplified two-wheel model

2.2 PID 制御について

PID 制御とはフィードバック制御の一つである。フィードバック制御とは出力を算出する時、目標値とセンサで読み取った実際の値を比較して、その誤差から出力を目標値に近づける制御方法であり、環境の変化に影響されにくいという特徴を持つ[7]。本研究においても路面摩擦による環境の影響が存在するため PID 制御は有用な制御の一つだと考えられる。また、PID 制御を用いることで定常偏差を少なくしたり即応性を高められたりすることができるのでより精度の高い制御を行えると考えられる。

2.3 実験機

今回の研究では実写を用いた実験は非常に危険であるため実写の 1/10 スケールのモデルカー (Robocar) を用いて研究を行う。仕様を表 2.1 に外観を図 2.2 に示す[5]。備え付けられた赤外線測距離センサの測定可能距離は約 10~75 cm、測定周期は 0.01 毎秒である。この Robocar の機能としては、各種センサ値の取得、駆動モータ、ステアリングの制御がある。これらのすべての機能は、CPU ボード上の Linux アプリケーションによってコントロールされ、このアプリケーションを作成することで RoboCar を操作する。

Table2.1 Robocar's specification

商品名/型番		RoboCar®1/10 ZMP RC-Z
サイズ/重量		429.0×195.0×212.2, 約 3kg(最大 1kg まで追加積載可能)
基本構成	ステレオカメラ	VGA CCD 30fps (×2)
	画像認識モジュール	ZMP 製モジュール (IMAPCAR®:NEC 製並列プロセッサ)
	メインコントローラ	CPU:AMD Geode®LX800 Processor 500MHz
	通信モジュール	Wi-Fi 通信モジュール IEEE802.11 b/g/n
	内界センサ	ジャイロ 1 軸
		加速度 3 軸
		ロータリーエンコーダ (車輪×4, 駆動モータ軸×1)
	外界センサ	赤外線測距センサ (×8)
		レーザレンジファインダ (オプション)
	シャーシ, フレーム	カーボン FRP シャーシ, ダブルウィッシュボーンサスペンション, ZMP 製アルミフレーム
	モータドライバ	ZMP 製モジュール
	サーボモータ	ロボット用サーボモータ
	駆動用モータ	小型 DC モータ
	バッテリー	制御システム用バッテリー 単三ニッケル水素電池 (×12)
		駆動用バッテリー ニッケル水素バッテリーパック (×1) 7.2V
スケールモデル 本体ソフトウェア	メインコントローラ OS	Linux(ソフトリアルタイム)
	コントロールソフトウェア	制御ソフトウェア, ZMP ライブラリ, ネットワークソフトウェア
	画像処理プロセッサ	専用コード
PC ソフトウェア	OS	Windows®/Linux
	開発環境	gcc

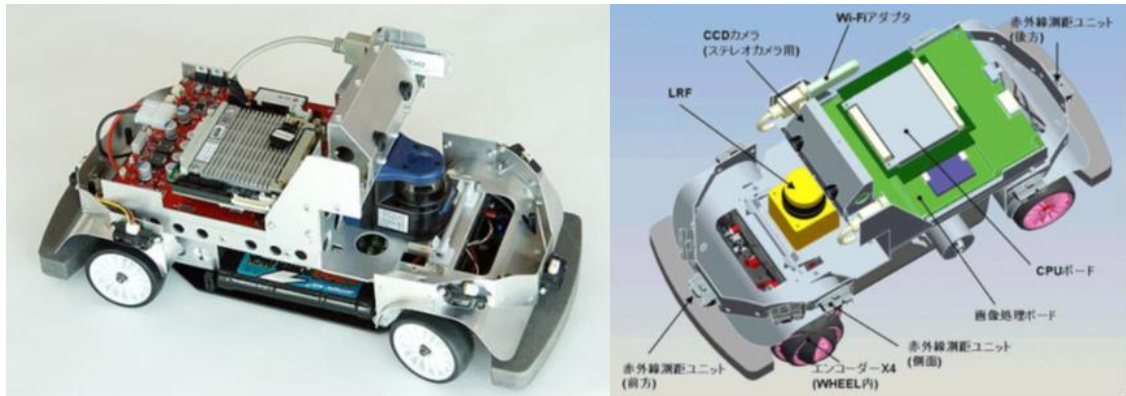


Fig.2.2 Appearance of Robocar

2.4 使用機器

RoboCar の走行軌跡を計測するためにモーションキャプチャーを用いて計測を行った。モーションキャプチャーは、OpTiTrack 社の V120 Trio を用いた。図 2.3 に使用したモーションキャプチャーの概観を示す。表 2.2 に使用を示す。[8]



Fig2.3 Motion capture

Table2.2 Motion capture specification

LEDリング	LED 26個×3 波長 850nm IR ストロボモード/連続モード切替可能 輝度調節可能
レンズ & フィルタ	標準M12レンズ 水平FOV:47° (3つをあわせて) 垂直FOV:43° 焦点距離:3.5mm F値:2.0 フィルタオプション: 左右カメラ 850nmバンドパスフィルタ 800nm IRロングパスフィルタ 中央カメラ 800nm/700nmフィルタースイッチャー 850nm/700nm フィルタースイッチャー
イメージセンサー	ピクセルサイズ 6 μm × 6 μm センサーサイズ 4.5 mm × 2.88 mm 解像度 640 × 480 (VGA, 752 × 480から切り出し) フレームレート 120 FPS フレームデシメーション(N番目のフレームごとに送信) 空間デジメーション 320 × 240, 160 × 120 遅延 8.33 ms シャッタータイプ グローバル シャッタースピード 初期設定 1/1,000秒(1ms) 最小 1/50,000秒(20 μs)
イメージプロセッシング タイプ	セグメントモードモード プレジジョングレースケールモード MJPEG グレースケールモード Raw グレースケールモード
入出力 & 電源	データ: USB2.0 同期: 内部あるいは外部(IO-X使用) 電源: 12V@3A

2.5 実験場所

実験場所は，高知工科大学 A 棟 158 を使用した．図 2.4 に実験場所の様子を示す．使用した理由としては以下の理由が挙げられる．

- ・路面が滑らかであり RoboCar のタイヤを傷つけないこと
- ・実験では，路面が乾いている状態と濡れた状態で計測を行うため，水を使用してもよい場所
- ・RoboCar が走行するために十分な広さがあり，実験中に不安定な挙動が起きても壁とぶつかりにくい場所

乾いた路面と濡れた路面での摩擦係数の測定を行った．乾いた状態の路面では摩擦係数 $\mu = 0.55 \sim 0.59$ ，濡れた状態の路面では $\mu = 0.12 \sim 0.16$ となった．表 2.3 に実車の場合の路面摩擦と路面状態の関係を示す[9]．表 2.2 より RoboCar を用いた A158 の走行は，乾いた状態ではウェット路面と同じ，濡れた状態では氷結路と同じだといえる．



Fig2.4 A158

Table2.3 Road surface friction and road surface condition in case of vehicle

μ	路面の状態
0.8前後	ドライ路面 (DRY)
0.6 ~ 0.4	ウェット路面 (WET)
0.5 ~ 0.2	積雪路 (SNOW)
0.2 ~ 0.1	氷結路 (ICE)

第3章 基礎走行実験

3.1 制御方法

舵角制御システムの開発のための基礎実験として角速度追従制御を行った。図 3.1 に開発した舵角制御システムのブロック線図を示す。目標の角速度を ω_0 ，その時点での角速度を ω とした時，その偏差 e は，

$$e = \omega_0 - \omega \cdots (3.1)$$

と表すことができる。また，現在の偏差を e_0 ，前回の偏差を e_1 ，偏差の合計を x とし，舵角 st を

$$st = K_P * e_0 + K_I * x + K_D * (e_0 - e_1) \cdots (3.2)$$

として計算した。その後，舵角 st を操作量としコントローラへ入力し変化した角速度をフィードバックしている。偏差に旋回半径を直接用いない理由として $R=0[m]$ 付近での変化が激しいという点が挙げられる。急激に偏差が大きくなってしまいこちらの意図しない制御量になってしまうと考えたため今回は角速度を用いることにした。

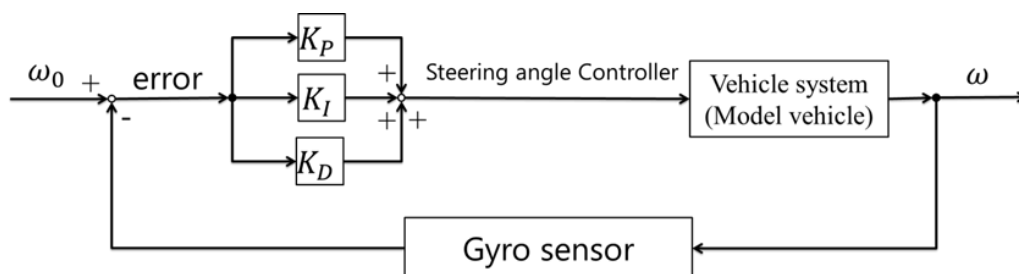


Fig3.1 Block Diagram of Steering Angle Control

3.2 実験方法

前述したとおり RoboCar を用いて実験を行った。PID 制御の値を $K_P = 0.05$ $K_I = 0.005$ $K_D = 0.0005$ ，目標角速度を $0[\text{deg/s}]$ から 1.5 秒後に $57.3[\text{deg/s}]$ ，タイヤ速度を $1400[\text{mm/s}]$ と設定し実験を行った。また，dry 路面と wet 路面の両方について実験を行った。

3.3 実験結果

図 3.2～3.6 にドライ路面での角速度，PID 出力，4 輪と 2 輪の実験結果を示す。図 3.7～3.10 にウェット路面での角速度，PID 出力，4 輪と 2 輪の実験結果を示す。図 3.2，3.3 よりドライ路面において舵角を用いて角速度を制御できることが分かる。しかし，図 3.7，3.8 よりウェット路面において目標角速度に追従できず不安定になっていることがわかる。

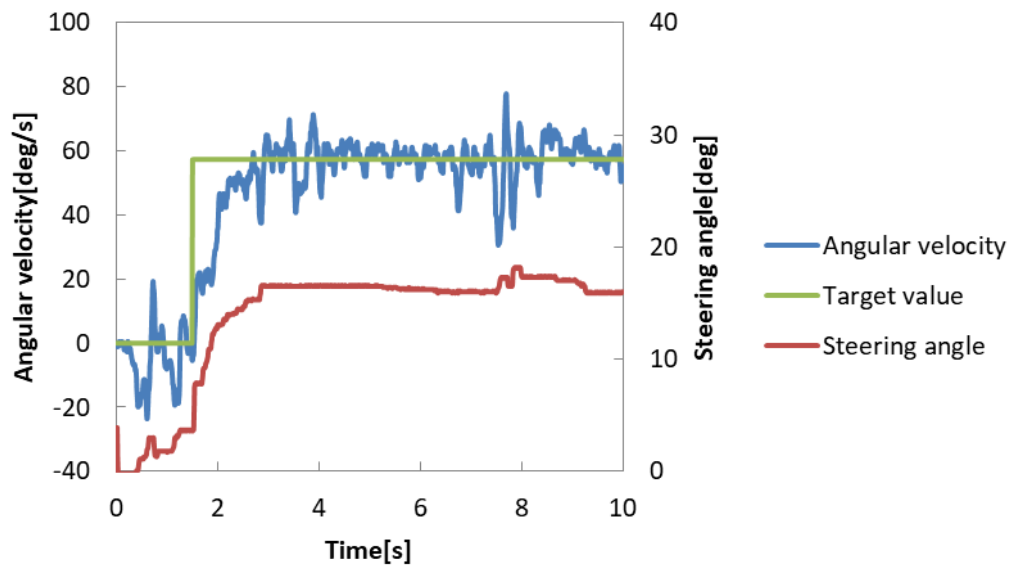


Fig3.2 Angular velocity result on dry road surface

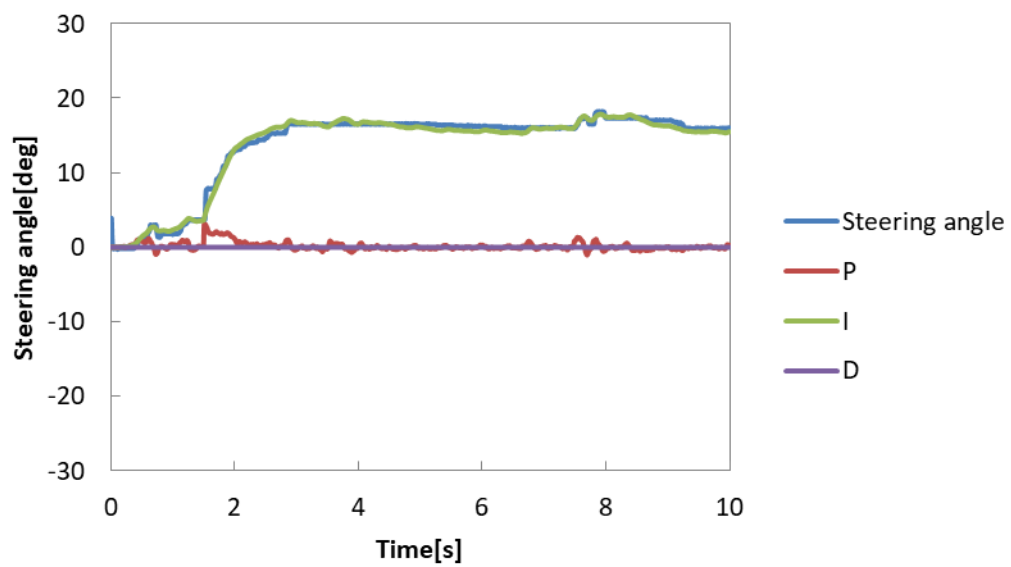


Fig3.3 PID control output on dry road surface

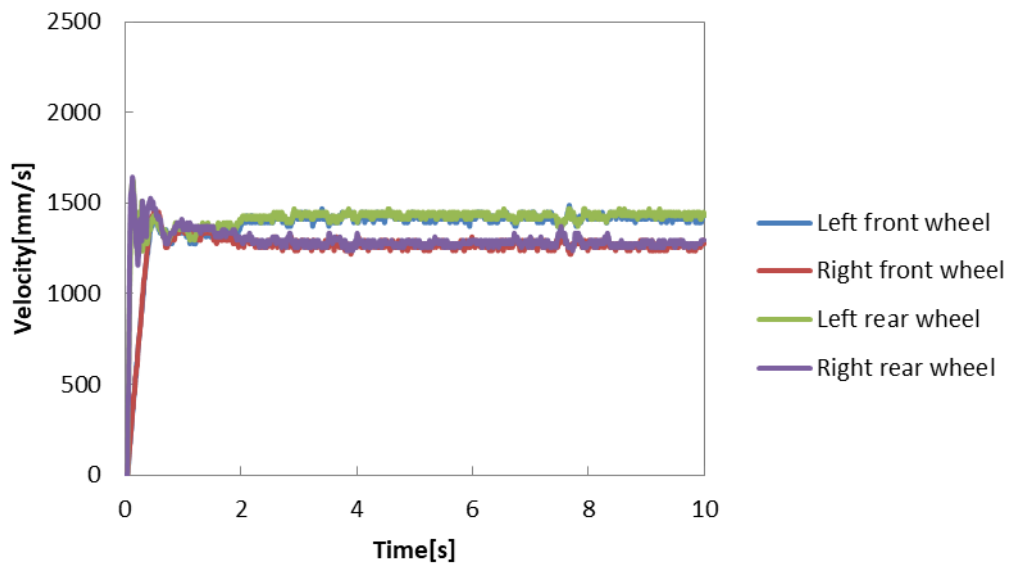


Fig3.5 Four wheel velocity result on dry road surface

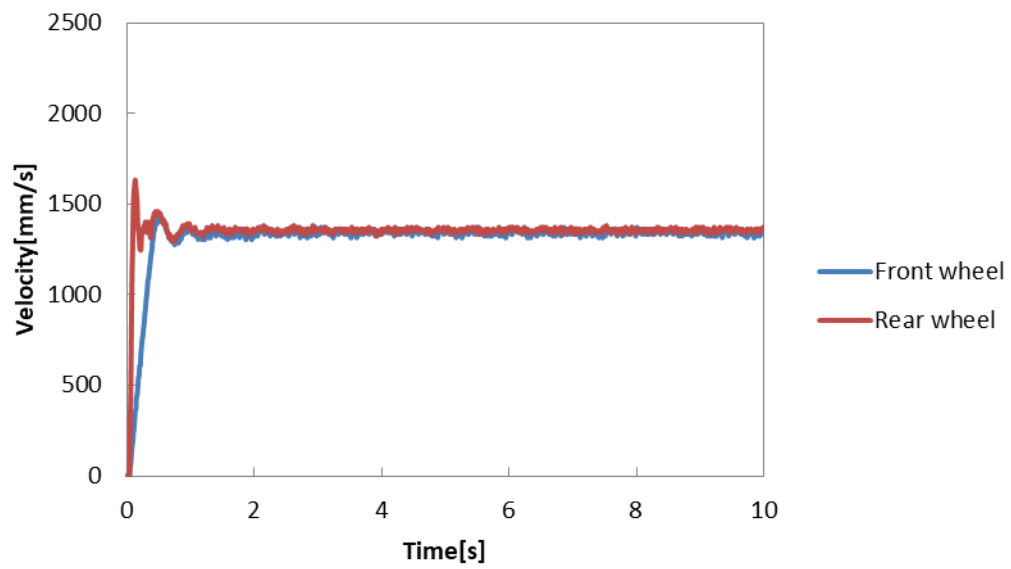


Fig3.6 Two wheel velocity result on dry road surface

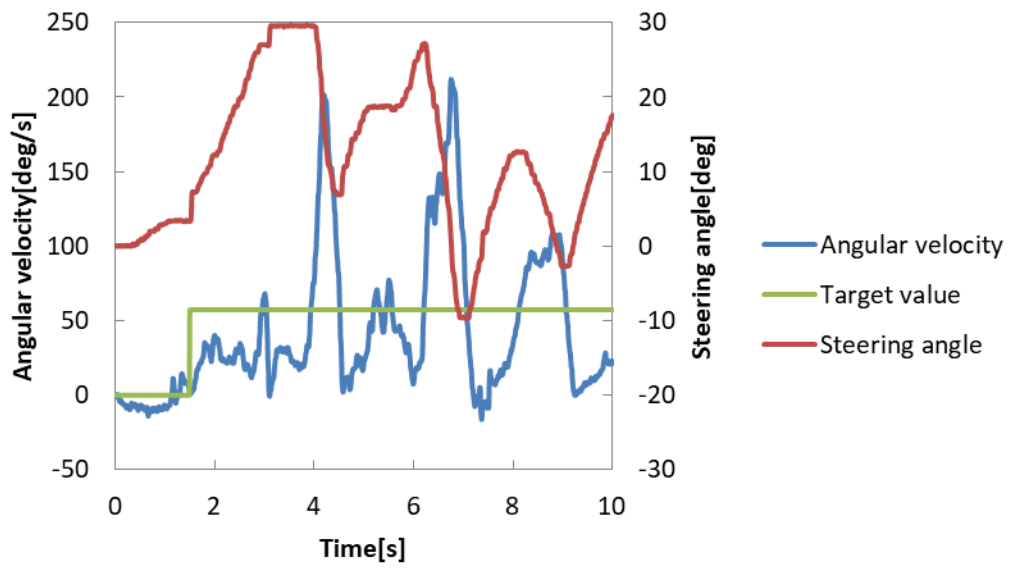


Fig3.7 Angular velocity result on wet road surface

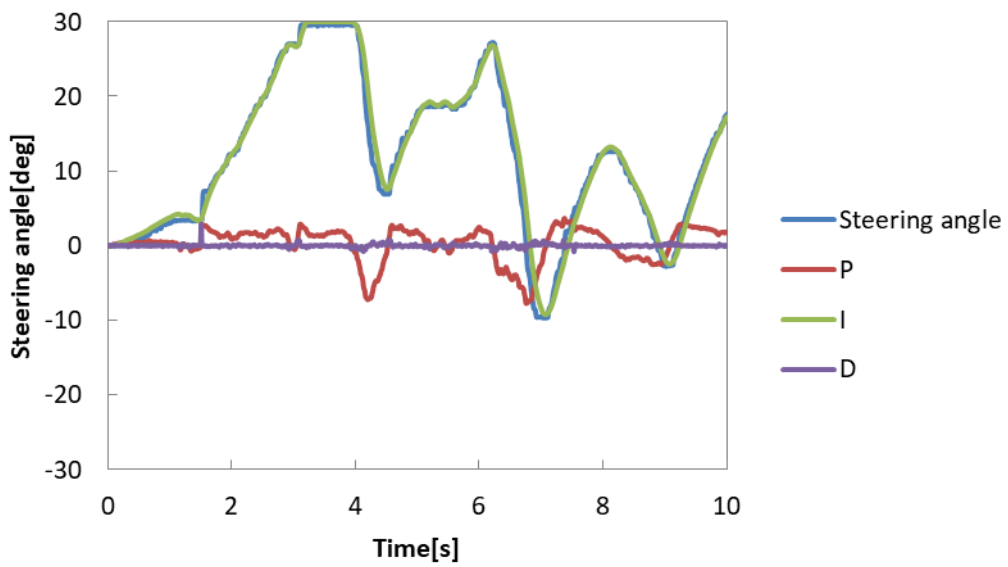


Fig3.8 PID control output on wet road surface

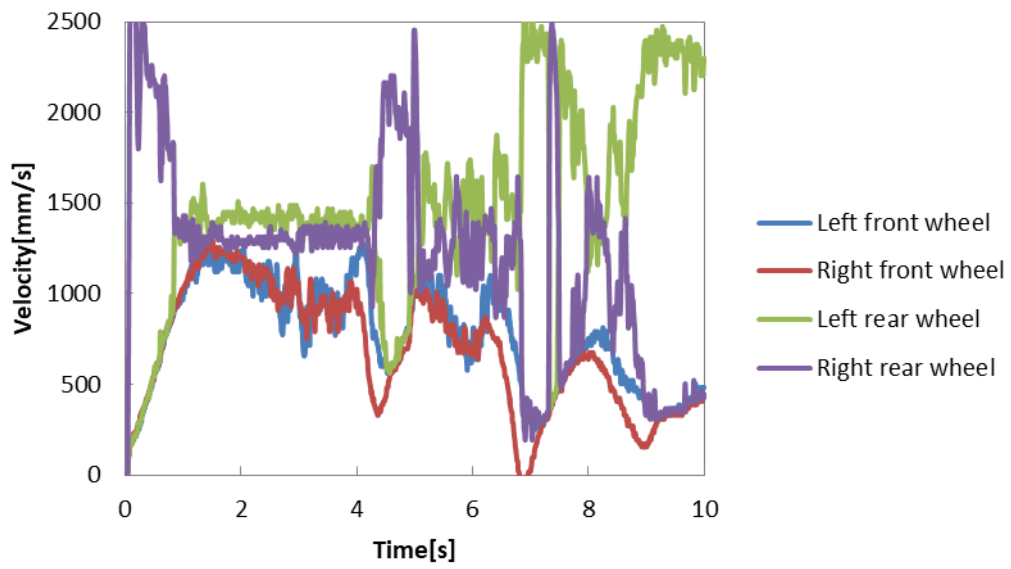


Fig3.9 Four wheel velocity result on wet road surface

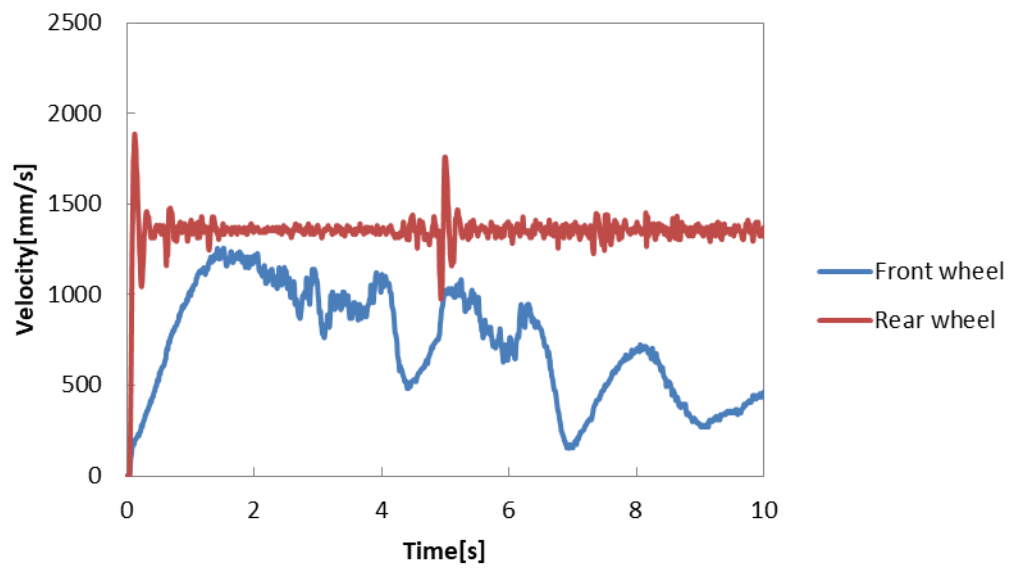


Fig3.10 Two wheel velocity result on wet road surface

3.4 考察

実験の結果から低摩擦路面での走行を行う際には舵角制御だけでは安定しないことが分かった。原因の 1 つにドライ路面とウェット路面で車輪の動きが違うことが原因と考えられる。図 3.5, 3.6 よりドライ路面の場合, 4 輪であると左右で, 2 輪で見たときには前後で常に車輪速度がそろっていることが分かる。しかし, 図 3.9, 3.10 の結果よりウェット路面では車輪速度が一定になっていないことが分かる。また, 車両がスリップを起こしたとき前輪の速度が急激に落ちていることが分かる。スリップを起こしたとき車体が前輪を中心に回転しているため前輪は速度が落ちていると考えられる。後輪は一時的に速度が落ちるが常に一定のタイヤ速度になるようにトルクをかけている。そのため車体速度が下がった後, 加速するので再び角速度が不安定になると考えられる。このことから舵角だけではなく車速や路面摩擦を考慮した制御が必要であると考えられる。

第 4 章 路面状態の違いによる車両のダイナミクスの変化

4.1 実験概要

第 3 章より路面の違いによって車両あるいは各車輪の速度に違いがあることが明確となった。そのため、路面の状態の違いで車両ダイナミクスがどう変化するのか測定し検討する。

4.2 実験方法

車両の特性の違いを調べるために、ドライ路面とウェット路面で実験を行った。実験条件は、実験場所 A158 の広さから車速を 500, 1000, 1400[mm/s]とした。また、各速度に対し前輪タイヤの操舵角を 0~30[deg]まで 1[deg]刻みで変更した。また、サンプリングタイムは、0.01[s]である。

まず、走行開始から 2 秒間直進し速度を一定に保つ。その後、2 秒間旋回し角速度データを取得する。3 回繰り返し旋回していた時の平均角速度を求め、平均角速度とモータの出力から旋回半径を求めた。

4.3 実験結果

ドライ路面での実験結果を図 4.1 に示す。図 4.2 にウェット路面での実験結果を示す。また、ウェット路面の一例として図 4.3 に車速 1400[mm/s]、舵角 30[deg]の時の実験結果を示す。図 4.1 よりドライ路面での旋回半径はタイヤの操舵角と速度によって滑らかに変化していることが分かる。しかし、図 4.2 に示すように、ウェット路面での旋回半径は滑らかには変化せず不規則に変化していることがわかる。特に、高速域 (1400[mm / s]) で大きく変動することがわかる

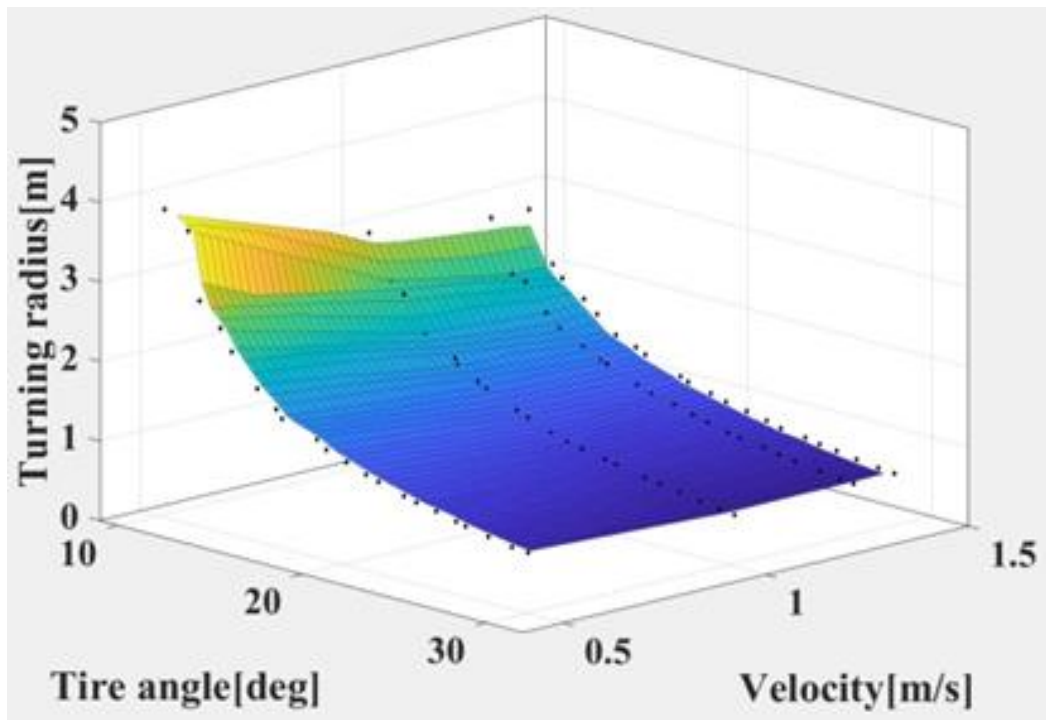


Fig4.1 Relationship between tire steering angle and speed and turning radius on dry road surface

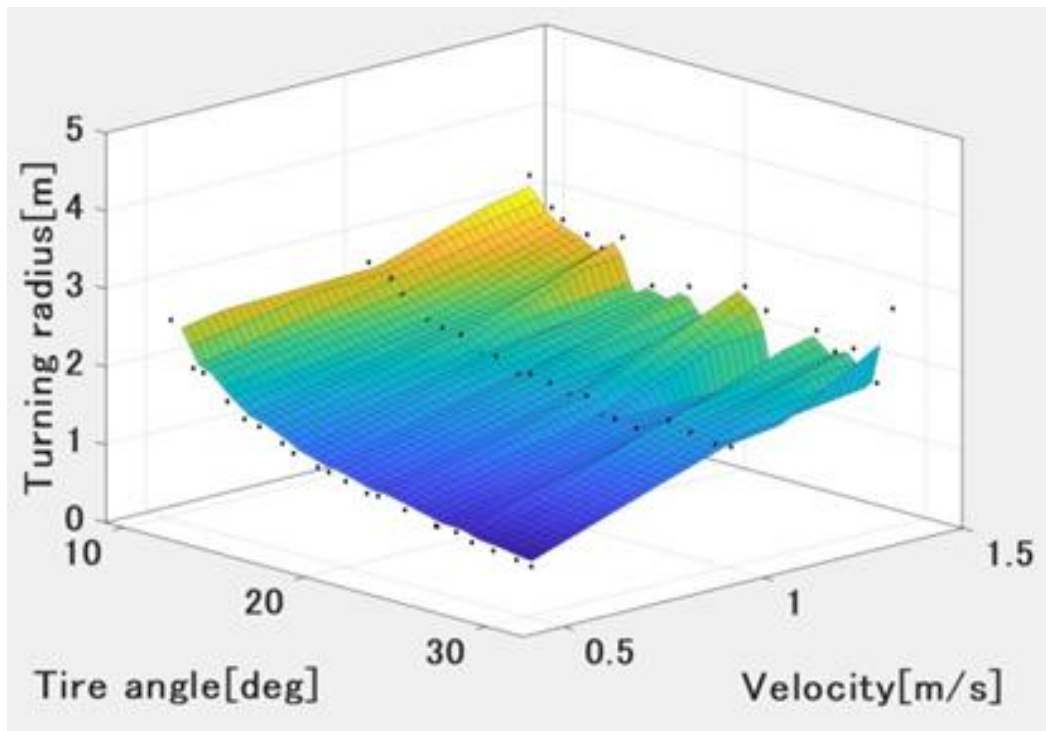


Fig4.2 Relationship between tire steering angle and speed and turning radius on wet road surface

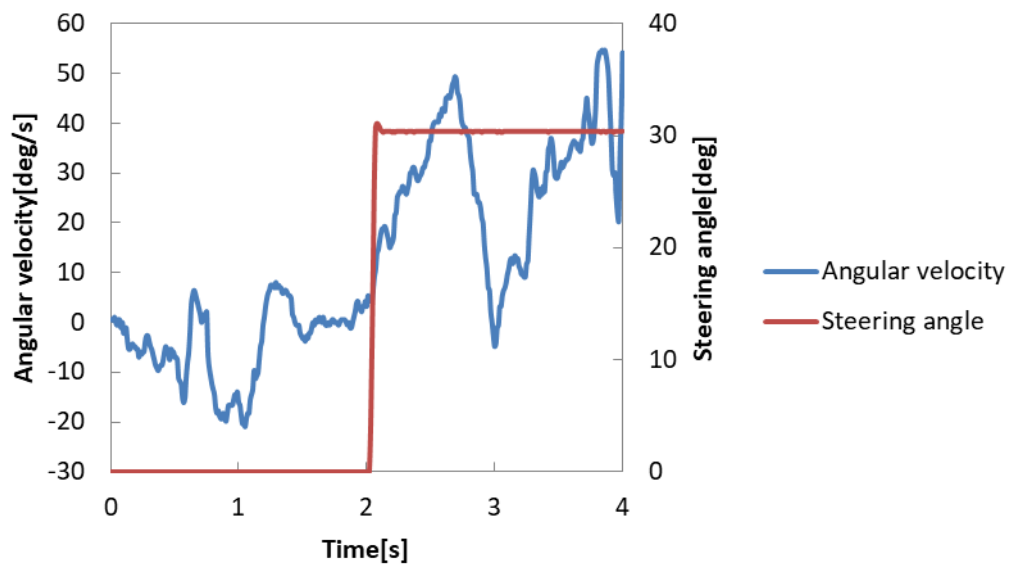


Fig4.3 Change in angular velocity

4.4 考察

実験の結果より，ドライ路面では実験データから車両のモデルを作成できると考えられる．しかし，ウェット路面においては変動が大きく車両モデルを作成することが困難だと考えられる．また，図 4.3 より旋回中に舵角を一定にしても旋回半径が一定にならないことから実験的な車両モデルを作成しても制御することはできないと考えられる．このことから第 3 章での PID 制御を用いた制御には車両特性が大きな変化を起こさないことが重要だと考えられるため低摩擦路面に対しては，瞬時に低速になるような制御が必要だと考えられる．

第 5 章 速度制御

5.1 制御方法

第 3 章, 第 4 章より任意の旋回半径で走行するには, スリップを起こした時に前輪と後輪の間で速度差が生まれる問題を解決しなければならないと考えられた. そこで, RoboCar 用の速度制御を含めた車両制御システムの開発を行った. 図 5.1 にシステムのフローチャートを示す. システムの起動後, 各センサにより RoboCar の走行状態の情報を得る. そして, 前輪と後輪の速度の差から閾値を用いてスリップをしているかどうかを判別し, 閾値よりも速度差が大きい場合にはモータの出力を前輪の速度に合わせるという制御を行った. また, 閾値よりも速度差が小さい場合には, なるべく速い速度での走行を目指すこととし, 一定量の速度を上げることとした. 図 5.2 に角速度制御のブロック線図を示す. 速度制御を行った後, 第 3 章でも行った舵角制御を行った. ただし, 今回は式(5.1)より

$$R = v/w \cdots (5.1)$$

任意の旋回半径とその時点での速度から目標となる角速度を決定し角速度の追従を行っている.

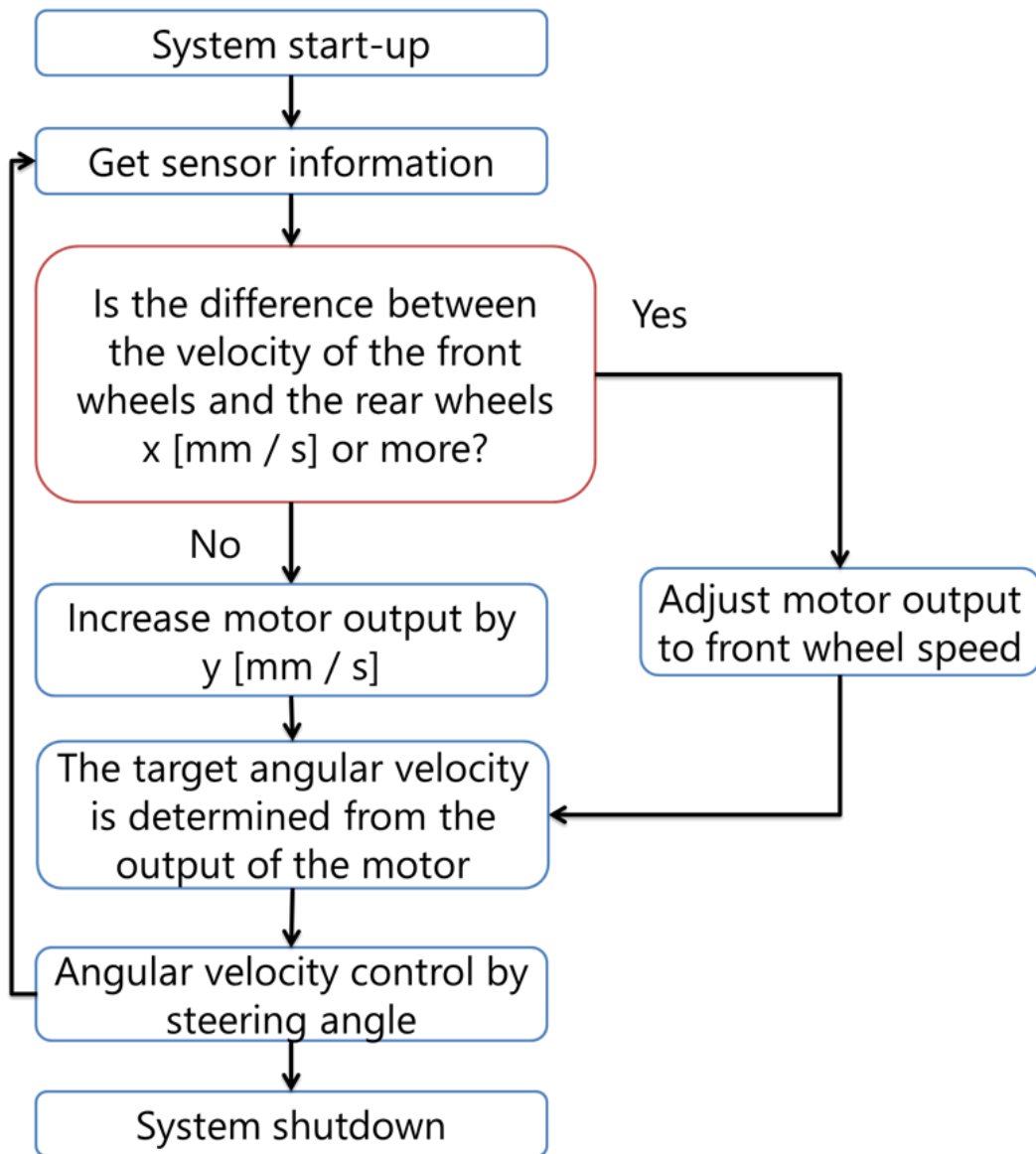


Fig5.1 Flowchart of velocity control

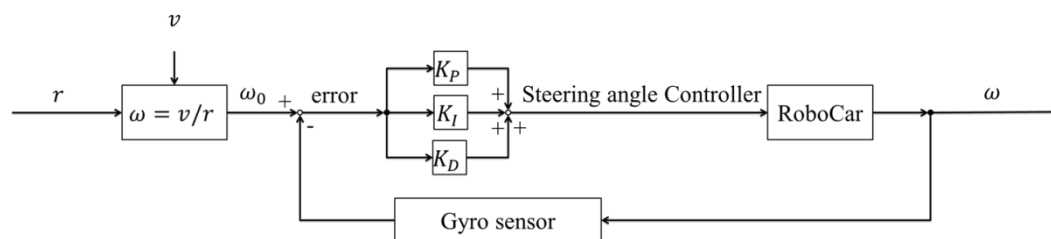


Fig5.2 Block Diagram of Angular Velocity Control

5.2 実験方法

今回は、目標旋回半径を 1[m], PID の値を $K_p = 0.05$ $K_I = 0.005$ $K_D = 0.005$ 初期速度を 1400[mm/s]とした. また, 速度差の閾値の値を 50[mm/s], 速度の上げ幅を 10[mm/s] (調整 1) とした場合と速度差の閾値を 100[mm/s], 速度の上げ幅を 1[mm/s] (調整 2) とした場合をドライ路面とウェット路面の 2 種類について計測した.

5.3 実験結果

図 5.3, 5.4 にドライ路面での方法 1 の角速度と速度の実験結果を示す. 図 5.5, 5.6 にウェット路面での調整 1 の角速度と速度の実験結果を示す. 図 5.7 にモーションキャプチャーによる調整 1 の RoboCar の走行軌跡を示す. 図 5.8, 5.8 にドライ路面での調整 2 の角速度と速度の実験結果を示す. 図 5.9, 5.10 にウェット路面での調整 2 の角速度と速度の実験結果を示す. 図 5.11 に調整 2 でのモーションキャプチャーによる RoboCar の走行軌跡を示す. 実験結果より調整 1, 調整 2 の両方においてほぼ目標の旋回半径で走行できたといえる.

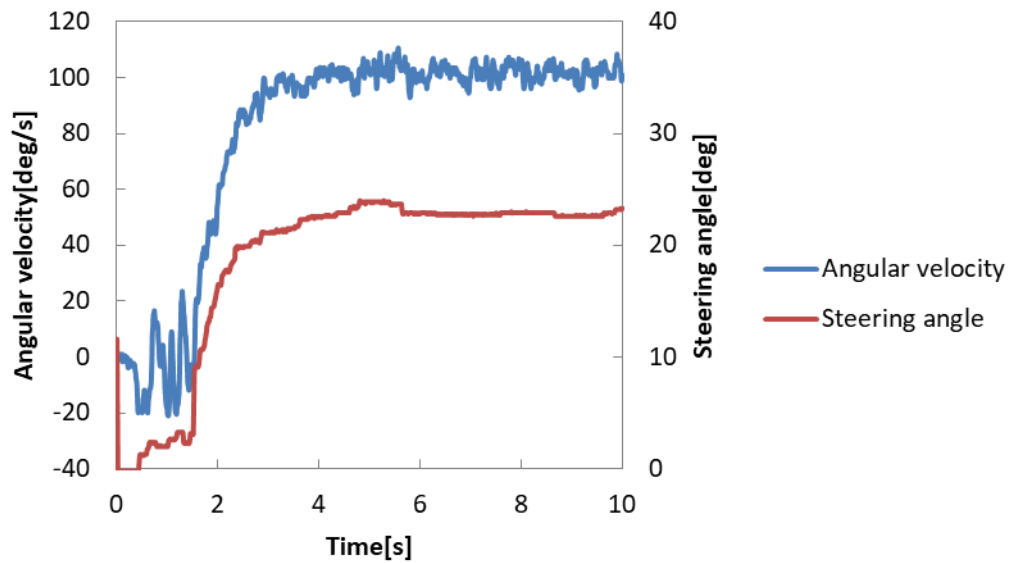


Fig5.3 Angular velocity change on dry road surface with adjustment 1

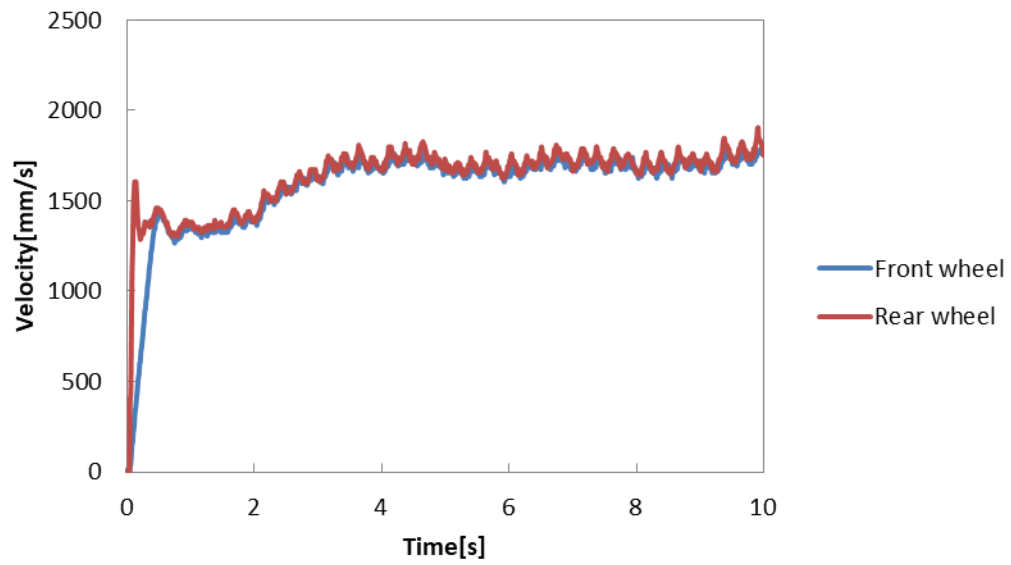


Fig5.4 Velocity change on dry road surface with adjustment 1

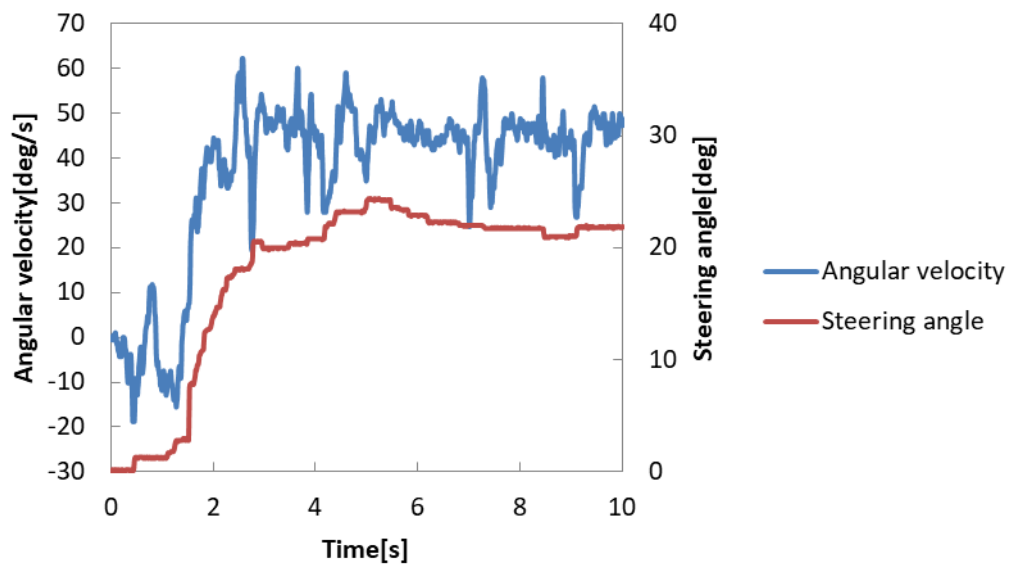


Fig5.5 Angular velocity change on wet road surface with adjustment 1

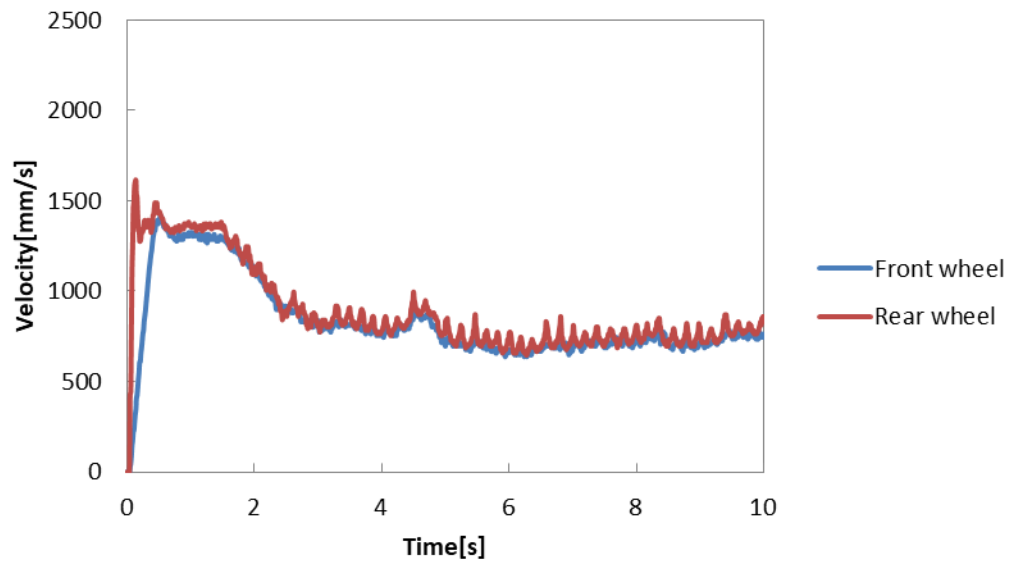


Fig5.6 Velocity change on wet road surface with adjustment 1

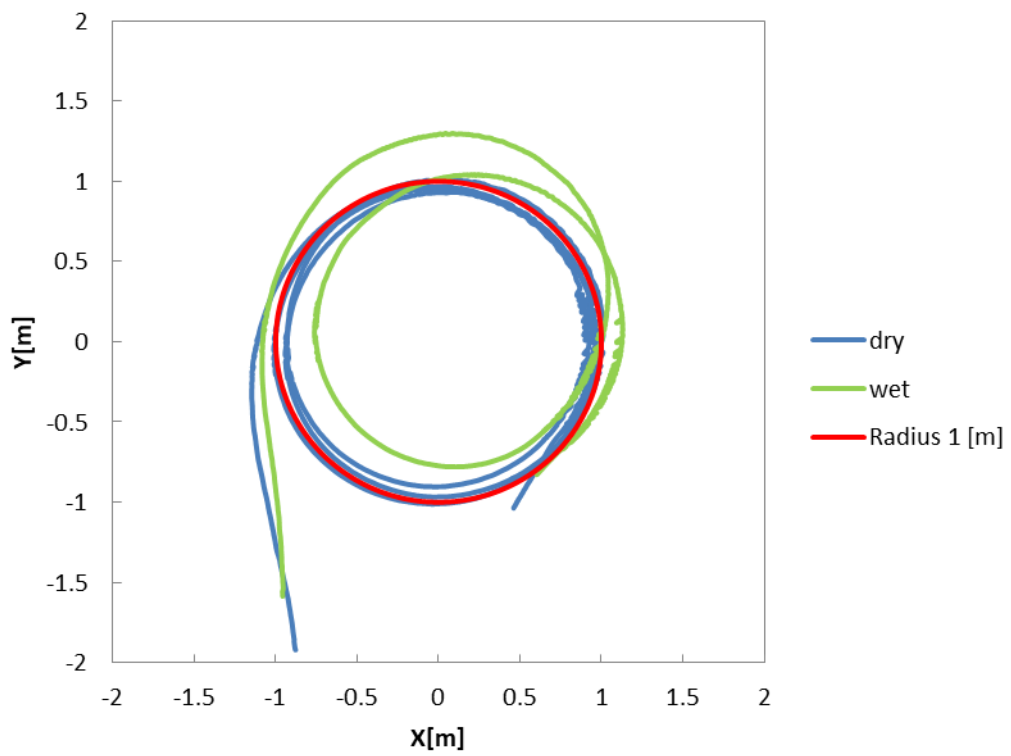


Fig5.7 Running RoboCar with adjustment 1

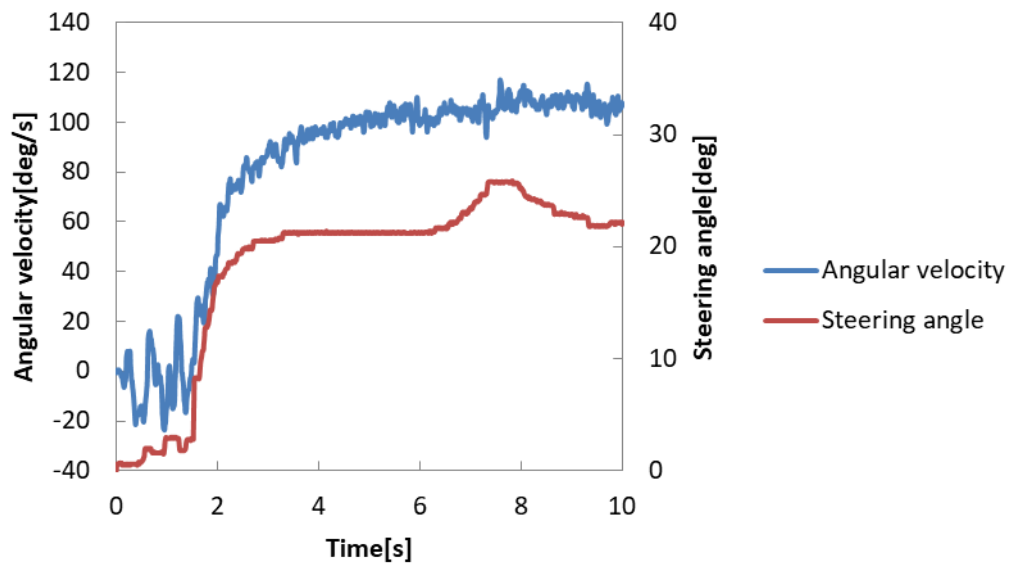


Fig5.8 Angular velocity change on dry road surface with adjustment 2

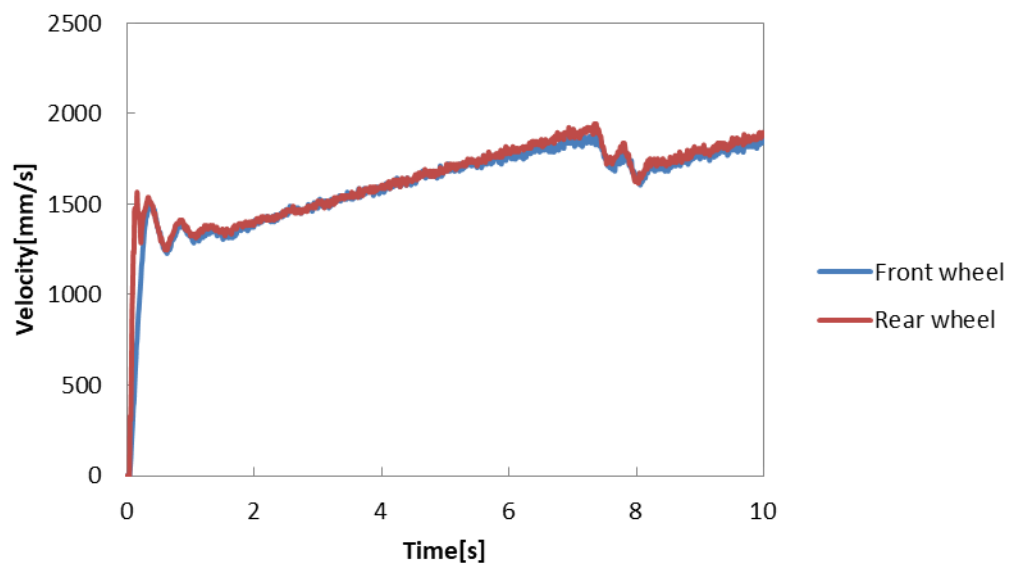


Fig5.9 Velocity change on dry road surface with adjustment 2

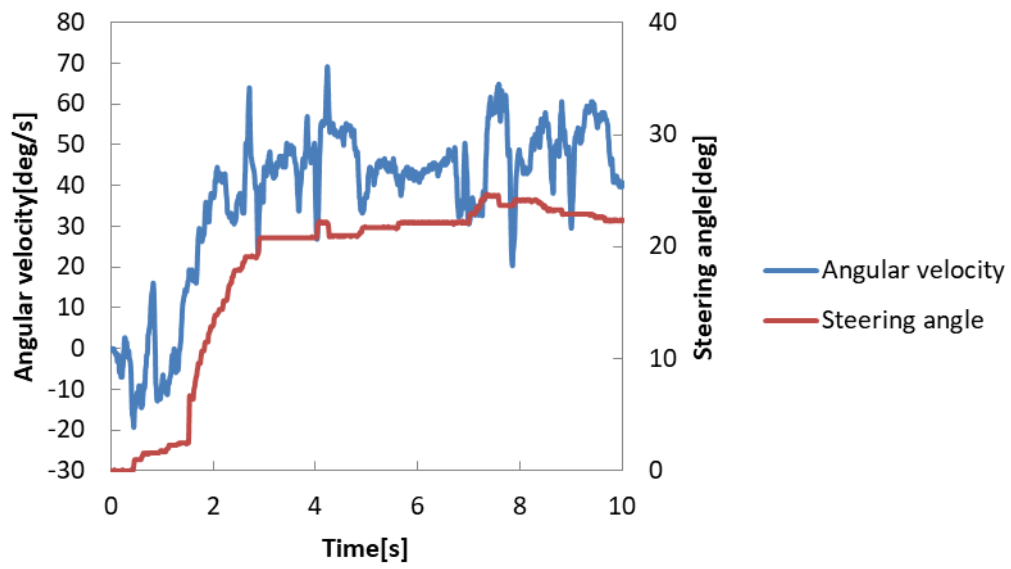


Fig5.10 Angular velocity change on wet road surface with adjustment 2

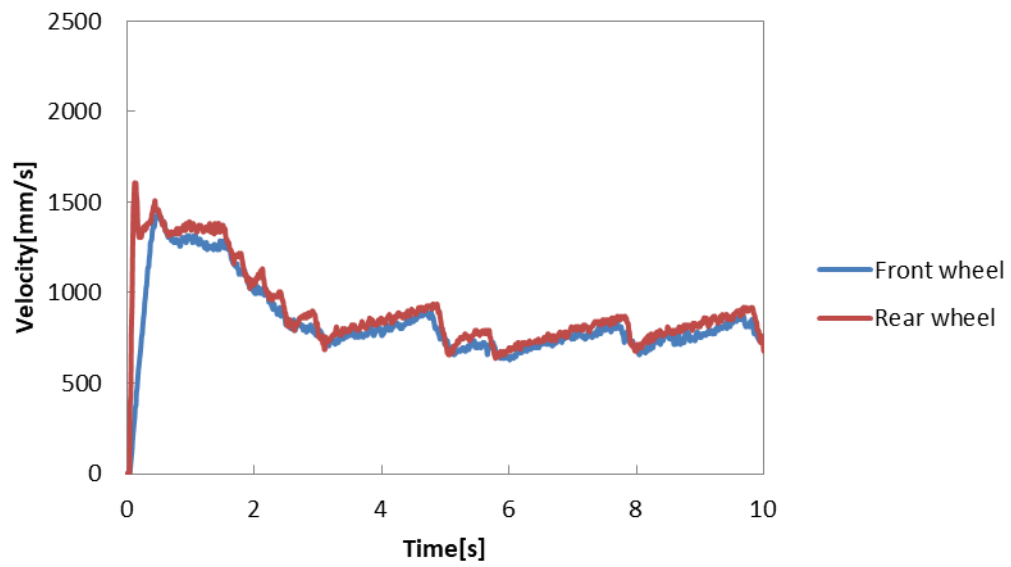


Fig5.11 Velocity change on wet road surface with adjustment 2

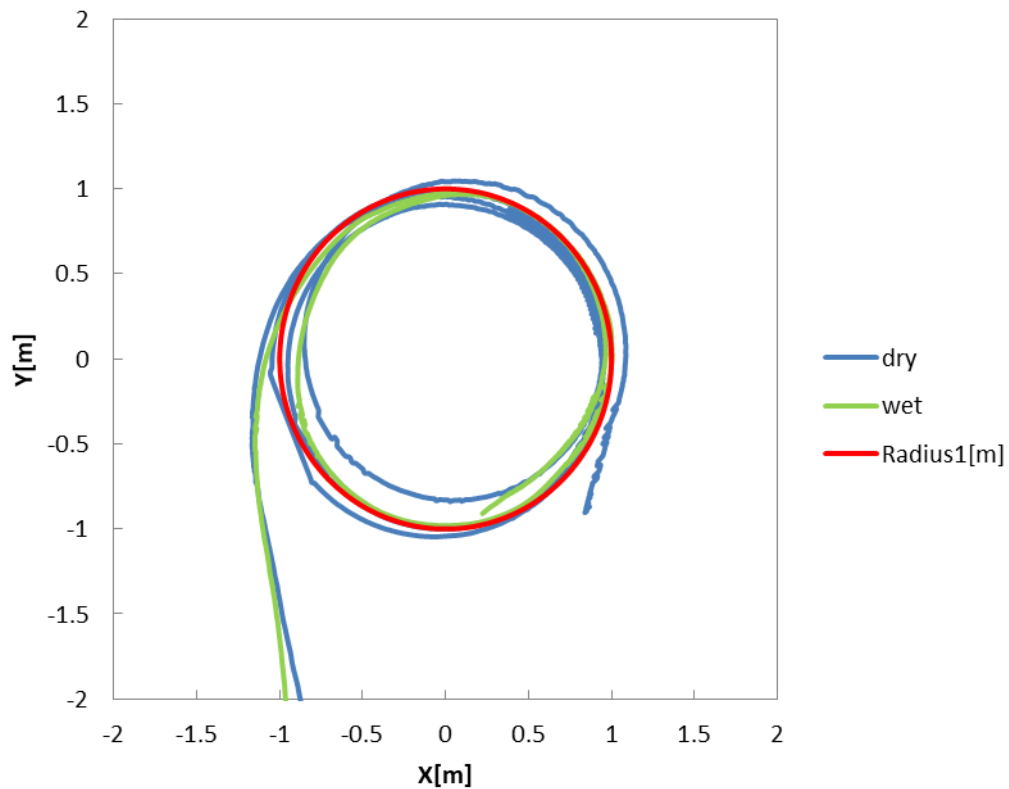


Fig5.12 Running RoboCar with adjustment 1

5.3 考察

今回の制御方法では、速度が変化したときに目標角速度の角速度が変化するため角速度が追従している限り様々な速度で走行することが可能だと考えられる。しかしながら、速度は閾値を超えるまでは常に加速を続けているためどのような閾値に設定しても定期的なスリップを起こすような速度に達してしまうため安全性に欠けると考えられる。

ウェット路面での走行においてほぼ目標の旋回半径で走行できているがドライ路面との走行にズレが生じている。そのため、実際の道路での走行を行うときには、より高度な追従性能にしたり、走行環境からのフィードバックを行って誤差を補正したりするようなシステムが必要だと考えられる。

第 6 章 統合制御

6.1 制御方法

第 5 章より速度制御を行うことでスリップを抑制し走行することが可能となった。しかし、常に加速し続けるため定期的に加減速を繰り返す問題も発生した。図 6.1 に統合制御のフローチャートを示す。本章では、第 5 章で用いたフローチャートを改善しより安定した走行および検討を行う。

図 6.1 より速度制御を行う際に閾値を 2 つ用いることで加速も減速も行わない範囲を作成した。閾値 1 は、今回は実験での走行であるためなるべく速い速度で走行できる範囲を決定する。また閾値 2 は、速度差からスリップが起これと判断した場合に減速するように制御を行う。

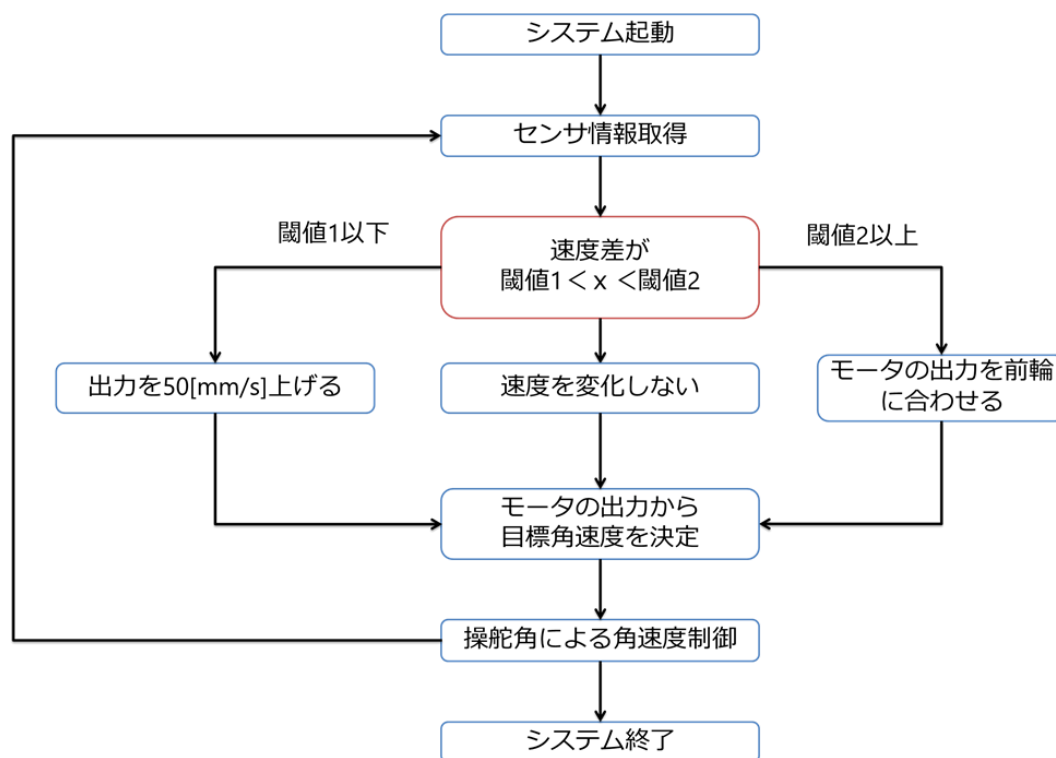


Fig6.1 Integrated control flowchart

6.2 閾値 1 の決定について

閾値を決定するためにドライ路面とウェット路面の両方で出力と舵角に対する前輪と後輪の速度差を実験により求めた。表 6.1 にドライ路面での実験条件、表 6.2 にウェット路面での実験条件を示す。図 6.2 にドライ路面での速度差を示す。図 6.3 にウェット路面での速度差を示す。グラフの速度差の値は、後輪から前輪の速度を引いたものである。そのため、数値が大きいほど後輪の方が速く、マイナスになるほど前輪の方が速い。今回の閾値 1 は、

なるべく速度を速くするように設定した。ドライ路面とウェット路面のどちらにおいても低速域では速度差がほとんどないため今回の実験での閾値 1 は、0[mm/s]と設定した。

Table6.1 Experimental condition on dry road surface

出力	250, 500, 1000, 1500, 2000, 2500[mm/s]
舵角	0～30[°]まで5[°]ごと
備考	出力2500において0～15[°]は実験場所の広さが足りず測定不可

Table6.2 Experimental condition on wet road surface

出力	250, 500, 750, 1000, 1250, 1500[mm/s]
舵角	0～30[°]まで5[°]ごと
備考	出力1250[mm/s]のときの25,30[°] 出力1500[mm/s]の時の10～30[°] ではスリップを起こしている

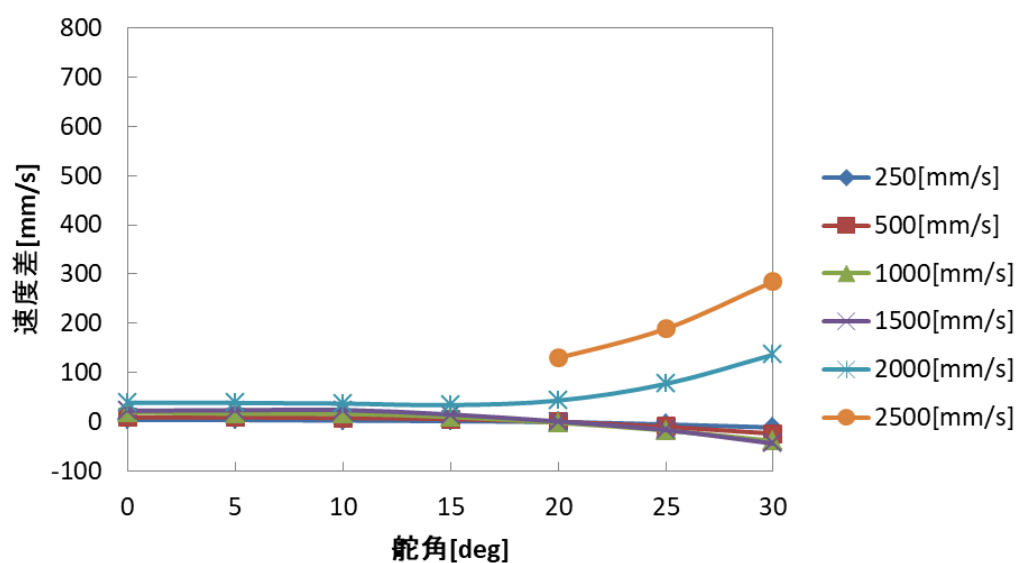


Fig6.2 Velocity difference on dry road surface

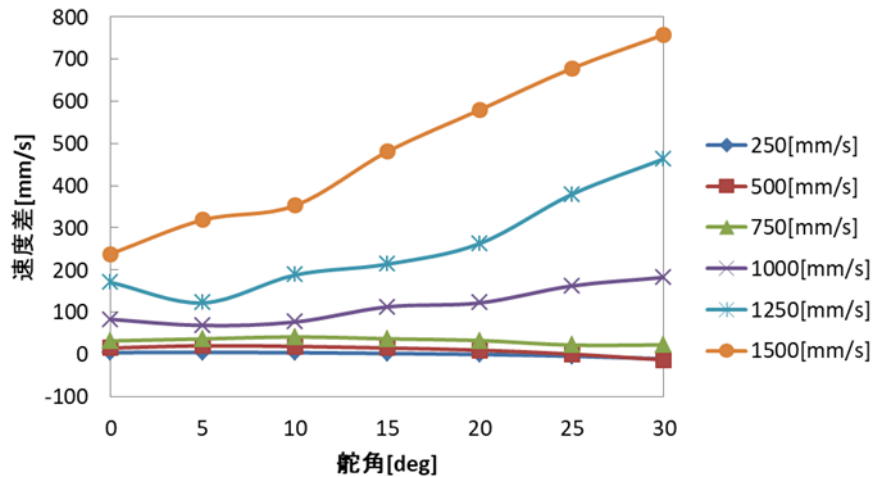


Fig6.3 Velocity difference on wet road surface

6.3 閾値 2 の決定について

閾値 2 は、これ以上速度差が大きくなるとスリップを起こしてしまうと考えられる値として設定した。図 6.3 より出力 1250[mm/s]の時のスリップを起こしていない最大速度差が 262[mm/s]，出力 1500[mm/s]の時のスリップを起こしていない最大速度差が 318[mm/s]であったことから今回は安全性を考慮し 250[mm/s]と設定した。

6.4 実験方法

今回は、目標旋回半径を 1.5[m]，PID の値を $K_p = 0.05$ $K_I = 0.005$ $K_D = 0.005$ とした。また、図 6.1 のフローチャートに基づき閾値 1 を 0[mm/s]，閾値 2 を 250[mm/s]として実験を行った。ドライ路面とウェット路面の 2 種類について計測した。

6.5 実験結果

図 6.4 にドライ路面での角速度変化を，図 6.5 にドライ路面での速度変化を示す。図 6.6 にウェット路面での角速度変化を，図 6.7 にウェット路面での速度変化を示す。また，図 6.8 にモーションキャプチャーでの走行軌跡を示す。図 6.9 に目標旋回半径を 1[m]とした時のモーションキャプチャーでの走行軌跡を示す。図 6.5，図 6.7 よりドライ路面，ウェット路面の両方において最終的に速度を一定にすることができた。また，図 6.8，図 6.9 より異なる旋回半径においても任意の旋回半径で走行することができた。

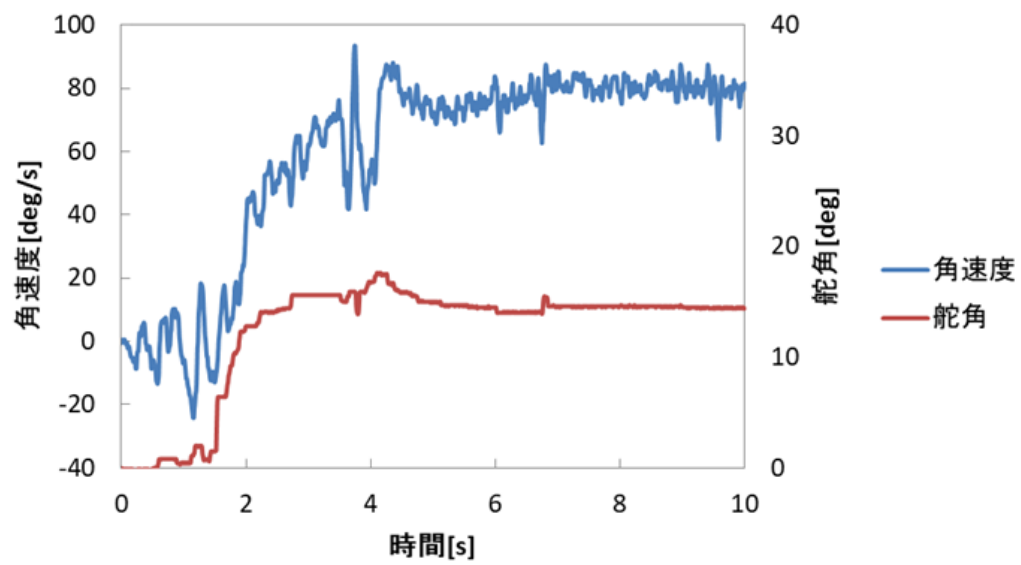


Fig6.4 Angular velocity change on dry road surface

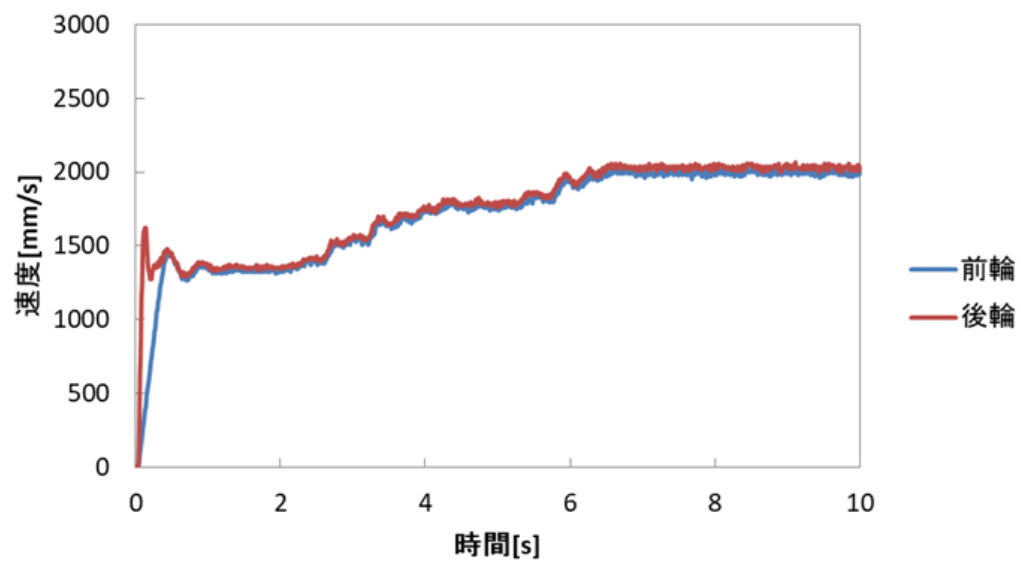


Fig6.5 Velocity change on dry road surface

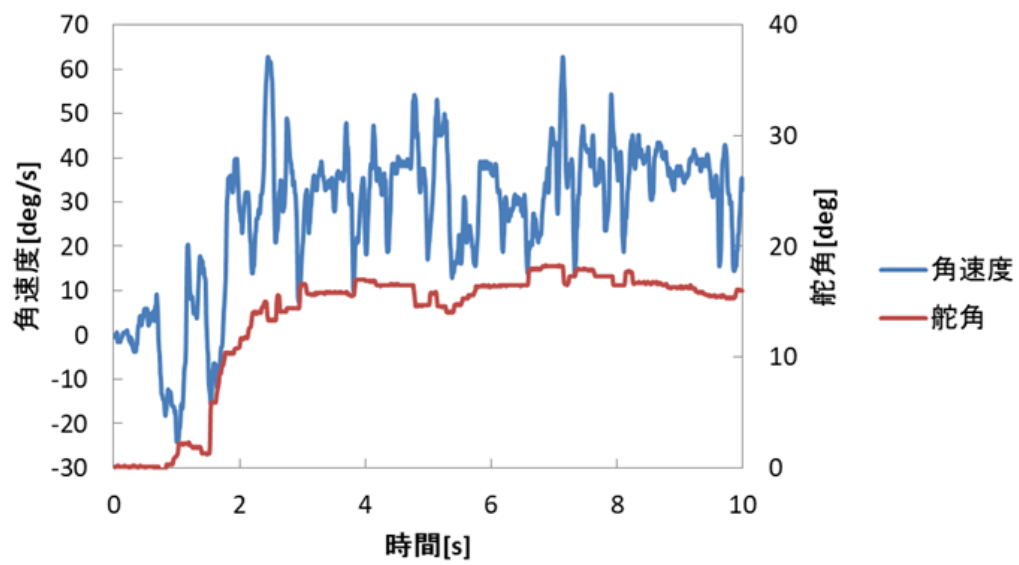


Fig6.6 Angular velocity change on wet road surface

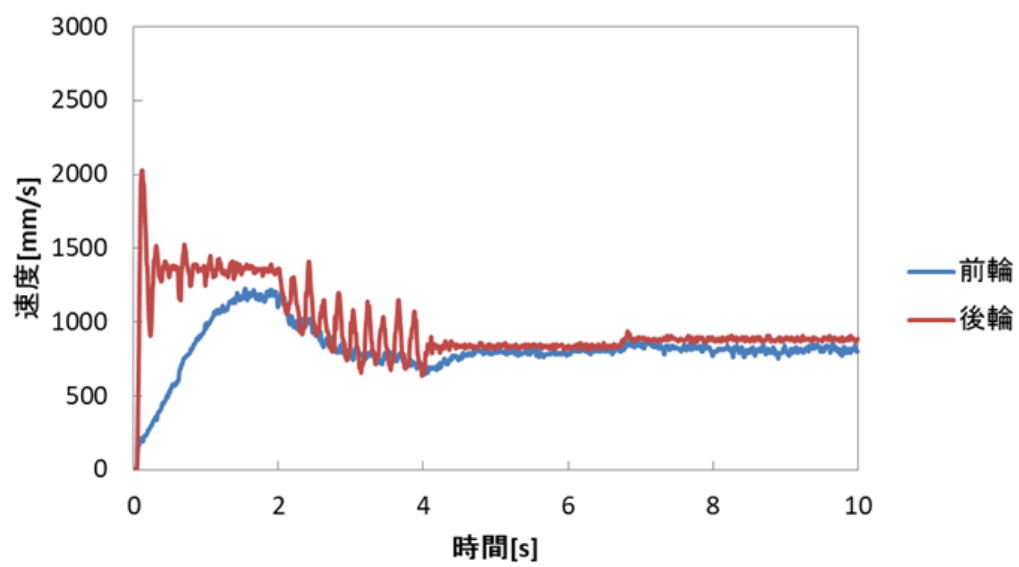


Fig6.7 Velocity change on wet road surface

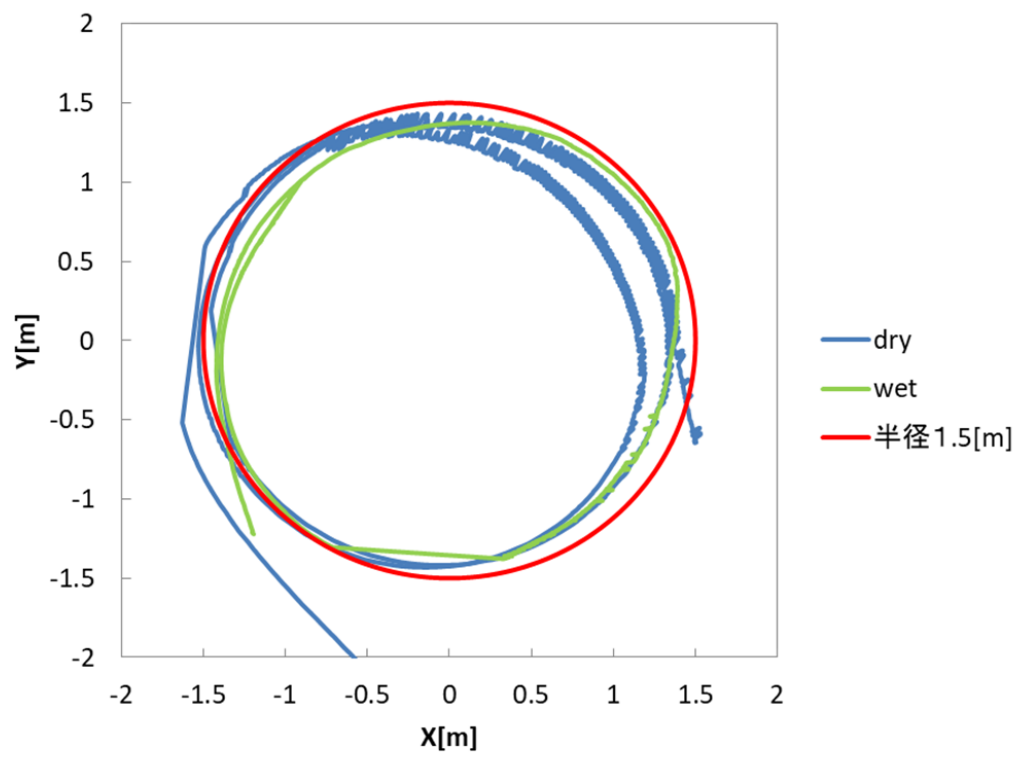


Fig6.8 Running RoboCar(1)

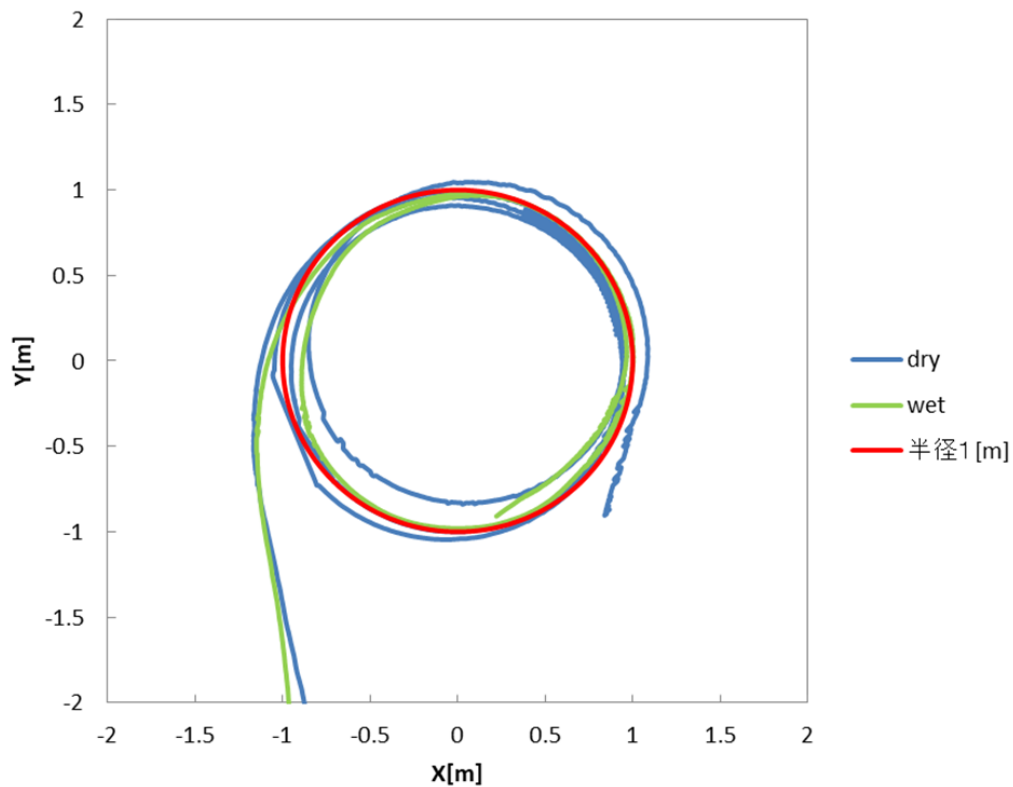


Fig6.9 Running RoboCar(2)

6.6 考察

今回の制御方法では、速度制御に閾値を 2 つ用いることにより第 5 章で課題となった常に速度が変化し続けるという問題を改善することができた。しかし、ドライ路面とウェット路面の両方において速度が一定になるまで時間がかかっている。特に、ドライ路面では速度が一定になるまでに 4 秒以上かかっているため実際の走行ではすでにコーナーを抜けている場合もあるためより早く速度を一定にする制御が必要だと考えられる。また、今回の閾値 1 はなるべく速度を速くして実験を行うことを目標に設定した値であったがドライ路面では曲がっている間に約 1.4 倍速度が上がっている。単純に考えたとき、実際の走行で曲がっている最中に 40[km/h]から 56[km/h]なるような運転はほとんど行わないため閾値 1 は、人間工学などの観点から決める方が妥当であると考えられる。

第7章 結言

本章で本論文についてまとめる．本研究では，不安定な挙動が起こった場合に事故を回避するシステムを提案し，システムを実現するための走行実験を行った．基礎走行実験の結果から舵角制御だけではスリップ時の車体制御は困難であると考えられた．しかし，速度制御の実験結果から舵角制御と速度制御を組み合わせることにより低摩擦路面においても安定した走行を行えることが確認できた．今回の実験において使用した RoboCar は，後輪駆動の 2WD である．一般的な考えでは，4 輪駆動の方が低摩擦路において安全性が高いと考えられている．しかしながら，2 輪駆動でも低摩擦路面で安全技術を確立できれば車両を生産コストが抑えることができ十分にメリットがあると考えられる．今後は，安全性を高めるために速度制御時の閾値の見直し，速度向上時の制御方法の検討を行っていくことを予定している．

謝辞

本研究を行うにあたり，様々な方のご支援，ご指導がありました．指導教員である岡宏一教授並びに原田明德講師には熱心なご指導をいただきましたことを心から感謝いたします．

また，日野卓磨君並びに同期，研究室の方々には忌憚ない意見で私を導いてくださりました．また，研究室の環境の改善に尽力してくださいました．心から感謝いたします．

参考文献

- [1]高田哲哉，徳永ロベルト，高橋尚人，北海道の一般国道における冬期交通事故の形態について，（独）土木研究所 寒地土木研究所
- [2]高田哲哉，徳永ロベルト，高橋尚人，冬期気象現象下における交通事故発生形態について，日本雪氷学会
- [3]http://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/02assessment/car_h20/safetydevice/abs.html(2019/02/11)
- [4] <http://www.esc-jpromo-activesafety.com/about.html>(2017/01/27)
- [5]町田耀平，赤外線測距離センサと小型モデルカーを用いた運転支援システムの開発
- [6]樋口健治，横森求，自動車工学[第2版]，自動車工学編集委員会 編著
- [7]杉江俊治，藤田政之，“フィードバック制御入門”，コロナ社
- [8]<https://www.mocap.jp/optitrack/products/v120-trio-duo/>(2019/02/11)
- [9]<https://tyre.dunlop.co.jp/tyre/products/dictionary/mu.html>(2019/02/11)