

Title	交差点内事故を防ぐ運転支援システム設計とドライビングシミュレータを用いた検証
Sub Title	Design of a driving support system to prevent traffic intersection accidents and verification using a driving simulator
Author	野寄, 純平(Noyori, Junpei) 西村, 秀和(Nishimura, Hidekazu)
Publisher	慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科
Publication year	2011
Jtitle	
Abstract	<p>近年発生している交通事故のうち, 車両同士による追突や衝突事故はその6割を占め, その4割以上が市街地の交差点で発生している.</p> <p>こうした一般道路における交差点での事故を防ぐため, インフラ協調による運転支援システムや, 車間通信などを用いた予防安全システムの研究がなされている.</p> <p>一方で, 先進安全自動車 ASV(Advanced Safety Vehicle)の技術のひとつとして衝突安全分野では, 被害軽減を目的とした PCS(Pre-Crash Safety System)が開発され, 実用化されている. PCSは, ミリ波レーダやステレオカメラなどにより, 障害物や先行車との車間距離を検出し, 自動的にプリクラッシュブレーキを作動させて衝突被害を防止するシステムである. しかし, 既存のプリクラッシュブレーキは交通状況に応じて, 自動ブレーキの介入するタイミングを変えることができない. そのため, 対向車やバイク, 自転車, 歩行者などが入り組む交差点内などの交通環境においてPCSが完全に機能するためには課題が残る.</p> <p>本研究では, 市街地の交差点で生じやすい右折時衝突を防ぐための運転支援システムの設計およびその検証を行うことを目的とする.</p> <p>レーダの照射範囲外の障害物との衝突に対応した運転支援システムを設計し, そして, DS(ドライビングシミュレータ)を用いた検証を行う.</p> <p>DSを用いた試行から, 右折車と対向車との衝突を防止するために運転支援システム必要な機能要求を以下のとおり導いている.</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ブレーキ制御の介入するタイミングを走行環境に応じて変化させる. <p>(対向車との相対速度を考慮)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ドライバの操作とシステム側の干渉を防ぐ ・対向車のみならず, <p>死角から飛び出す障害物との衝突を防止する(自車両レーダの照射範囲外への対応)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・他車両, 後続車への配慮(追突防止, 追突被害軽減) <p>運転支援システムの検証は, 本来, 実環境下において実車を用いて行うことが望ましいが, 安全の観点からはその実現は極めて困難である. このため本研究では, 自動車の走行状況や事故の発生環境を容易に模擬できる DSを構築している.</p> <p>DSを用いることにより, 事故発生要因のある環境において, ドライバが運転操作を行う中で, 提案, 設計した運転支援システムの検証を行うことができる.</p> <p>本論文では, 設計した運転支援システムは, 右折時衝突に多い死角から飛び出す障害物との衝突や, ドライバの右折操作が先行したことによって生じる直進車との側面衝突などの事故ケースに有効であることを, DSを用いて示している.</p>
Notes	
Genre	Thesis or Dissertation
URL	http://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40002001-00002011-0052

修士論文

2011 年度

交差点内事故を防ぐ運転支援システム設計
とドライビングシミュレータを用いた検証

野寄 純平

(学籍番号 : 81033423)

指導教員 教授 西村秀和

2012 年 3 月

慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科
システムデザイン・マネジメント専攻

Design of a Driving Support System to
Prevent Traffic Intersection Accidents
and Verification Using a Driving Simulator

Junpei Noyori

(Student ID Number : 81033423)

Supervisor Hidekazu Nishimura

March 2012

Graduate School of System Design and Management,
Keio University
Major in System Design and Management

論 文 要 旨

学籍番号	81033423	氏 名	野寄純平
論文題目： 交差点内事故を防ぐ運転支援システム設計とドライビングシミュレータを用いた検証			
<p>(内容の要旨)</p> <p>近年発生している交通事故のうち、車両同士による追突や衝突事故はその6割を占め、その4割以上が市街地の交差点で発生している。こうした一般道路における交差点での事故を防ぐため、インフラ協調による運転支援システムや、車車間通信などを用いた予防安全システムの研究がなされている。</p> <p>一方で、先進安全自動車 ASV (Advanced Safety Vehicle) の技術のひとつとして衝突安全分野では、被害軽減を目的とした PCS (Pre-Crash Safety System) が開発され、実用化されている。PCS は、ミリ波レーダやステレオカメラなどにより、障害物や先行車との車間距離を検出し、自動的にプリクラッシュブレーキを作動させて衝突被害を防止するシステムである。しかし、既存のプリクラッシュブレーキは交通状況に応じて、自動ブレーキの介入するタイミングを変えることができない。そのため、対向車やバイク、自転車、歩行者などが入り組む交差点内などの交通環境において PCS が完全に機能するためには課題が残る。</p> <p>本研究では、市街地の交差点で生じやすい右折時衝突を防ぐための運転支援システムの設計およびその検証を行うことを目的とする。レーダの照射範囲外の障害物との衝突に対応した運転支援システムを設計し、そして、DS (ドライビングシミュレータ) を用いた検証を行う。</p> <p>DSを用いた試行から、右折車と対向車との衝突を防止するために運転支援システム必要な機能要求を以下のとおり導いている。</p> <ul style="list-style-type: none">・ブレーキ制御の介入するタイミングを走行環境に応じて変化させる。(対向車との相対速度を考慮)・ドライバの操作とシステム側の干渉を防ぐ・対向車のみならず、死角から飛び出す障害物との衝突を防止する(自車両レーダの照射範囲外への対応)・他車両、後続車への配慮(追突防止、追突被害軽減) <p>運転支援システムの検証は、本来、実環境下において実車を用いて行うことが望ましいが、安全の観点からはその実現は極めて困難である。このため本研究では、自動車の走行状況や事故の発生環境を容易に模擬できる DS を構築している。DS を用いることにより、事故発生要因のある環境において、ドライバが運転操作を行う中で、提案、設計した運転支援システムの検証を行うことができる。</p> <p>本論文では、設計した運転支援システムは、右折時衝突に多い死角から飛び出す障害物との衝突や、ドライバの右折操作が先行したことによって生じる直進車との側面衝突などの事故ケースに有効であることを、DS を用いて示している。</p>			
キーワード (5 語) 運転支援システム, 先進安全自動車, プリクラッシュセーフティシステム, プリクラッシュブレーキ, ドライビングシミュレータ			

SUMMARY OF MASTER'S DISSERTATION

Student Identification Number	81033423	Name	Junpei Noyori
<p>Title</p> <p style="text-align: center;">Design of a Driving Support System to Prevent Traffic Intersection Accidents and Verification Using a Driving Simulator</p>			
<p>Abstract</p> <p>In recent years, among collision accidents by vehicles accounted for the 60 percent in traffic accidents, the 40 percent or more have caused in some intersections of an urban area.</p> <p>In order to prevent the accident in the intersection, a driving support system by infrastructure cooperation and a prevention safety system using vehicle-to-vehicle communications etc. have been developed.</p> <p>On the other hand, in the collision safe field, PCS (Pre-Crash Safety System) aiming at damage mitigation is developed, and has already been put to practical use in some vehicles.</p> <p>PCS is a system which detects the distance between a self vehicle and an obstacle or a preceding vehicle, operates a pre-crash brake automatically, and prevents collision damage with milliwave radar, a stereo camera, etc. However, the existing pre-crash brake cannot change the timing in which an automatic brake intervenes according to a traffic situation. Therefore, since the timing on which an automatic brake functions passes suddenly, several difficult problems remain for functioning completely in the intersection.</p> <p>In this paper, we design a driving support system for preventing a collision at the time of the right-turn in the intersection of an urban, and verify it using a driving simulator (DS).</p> <p>Trial for the DS, which leads to the following functional requirements required for driving support system to prevent collisions with oncoming vehicle and right turning vehicle.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Varied depending on the driving environment of the brake control when to intervene. (Considering the relative vehicle speed between the oncoming vehicles). - Prevent interference with the operation of the driver system - Oncoming vehicles as well as to prevent collisions with obstacles jumping out of blind (Corresponding to the radar illumination outside the vehicle). - Consideration of other vehicles and a following vehicle (prevention from a rear-end collision, rear-end collision damage mitigation) <p>Verification of driving support systems are primarily used is preferably performed in a real road environment, safety in terms of its realization is very difficult.</p> <p>In this research, we construct a DS which can simulate the traffic situation where the oncoming vehicle appears. By using the DS, some environmental factors in the accident, the driver in performing driving maneuvers can be performed to validate the design of driving support system.</p> <p>In this paper, the designed driving support system shows using the DS that it is effective in accident cases, such as a collision with the obstacle which jumps out of blind to a collision at the time of right-turn, and a side collision with the oncoming vehicle which produces when right-turn operation of a driver preceded.</p>			
<p>Key Word(5 words)</p> <p>Driving support system, Advanced Safety Vehicle, Pre-Crash Safety System, Pre-Crash Brake, Driving Simulator</p>			

目次

1 序論

1.1 研究の背景

1.1.1 日本国内における交通事故の発生状況

1.1.2 安全運転支援システムの普及

1.1.3 Pre-Crash Safety System

1.2 研究の目的

1.3 論文の構成

2 ドライビングシミュレータシステムの構築

2.1 ドライビングシミュレータのシステム構成

2.2 ドライビングシミュレータのコックピット

2.2.1 コックピットの構成

2.2.2 ウィンカー

2.2.3 マルチディスプレイ

2.2.4 ステアリング反力制御システム

2.3 車両モデル

2.4 2章まとめ

3 交差点内事故の右折時衝突を防ぐ運転支援システムの設計

3.1 対象とするシナリオ

3.2 設計概念

3.3 右折速度制限システムの設計

3.3.1 システム概要

3.3.2 シミュレーション結果

3.4 相対速度依存ブレーキングシステムの設計

3.4.1 システム概要

3.4.2 シミュレーション結果

3.5 インフラ協調システムを用いた右折行動の運転支援システムの設計

3.5.1 システム概要

3.5.2 シミュレーション結果

3.6 3章まとめ

4 設計した運転支援システムのドライビングシミュレータによる検証

4.1 設計した運転支援システムの検証実験

4.1.1 実験方法

4.1.2 右折速度制限システムの検証結果

4.1.3 相対速度依存ブレーキングシステムの検証結果

4.1.4 インフラ協調システムの検証結果

4.1.4 設計した運転支援システムの比較

4.2 4章まとめ

5 結論

付録

謝辞

参考文献

1章 序論

1.1 研究の背景

1.1.1 日本国内における事故発生状況

近年，国内で発生している交通事故の発生状況を Fig. 1.1に示す．事故現場では市街地と非市街地の2つに分類すると，市街地（構成率74.4%）が全体の約4分の3を占めている．さらに市街地の交差点での事故が4割以上を占めている[1]．この事故現場では，「出会い頭衝突」，「追突」，「右折時衝突」の3つの事故が主に発生している．その中の「右折時衝突」の事故原因は以下のとおりである[2]．

- ① 対向右折車のために対向車線の状況が確認できず，直進車の発見が遅れて衝突する．
- ② 対向車に道を譲られて右折し直進車と衝突する．
- ③ 対向直進車の後方を進行してくる車と衝突する．
- ④ 対向直進車を確認していながら，速度や距離の判断を誤って衝突する．

このように交差点内における右折時衝突事故は，ドライバの認知や判断，操作のミスによって生じている．

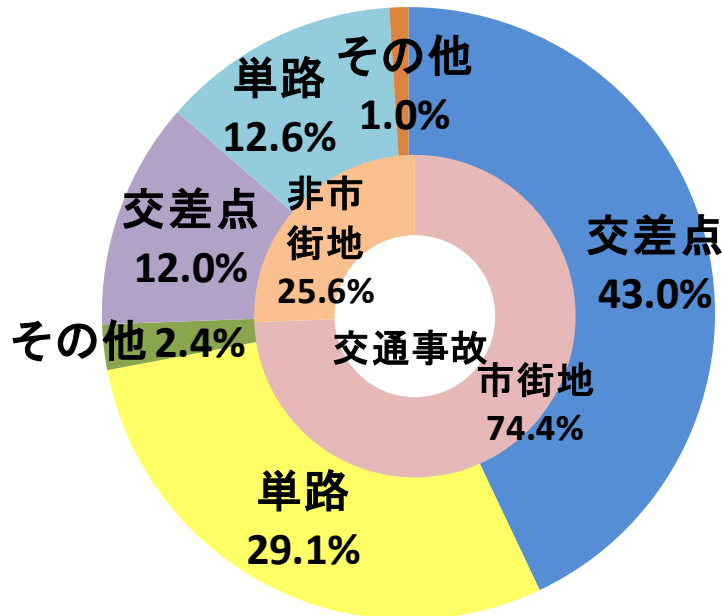


Fig. 1.1 Traffic accident occurrence situations in 2010

1.1.2 安全運転支援システムの普及

交通問題の中で交通事故を減少させることは最重要課題である。そこで、ドライバの運転支援や運転負荷軽減を行うために様々な安全運転支援システムが開発され、市販車に実装されている。Fig. 1.2 に示すように自動車のドライバは、走行環境に応じて、「認知」「判断」「操作」という手順を踏んで、安全運転行動をしている [3][4][5]。まずは危険に近づかないために適切な情報の認知が必要になる。そのような視点から運転支援分野のうち、重要な支援として認知支援があげられる。

Table 1.1 に示すように現在実用化されている認知を支援するシステムの例として、BGM (Back Guide Monitor)、ナイトビジョン、フロントサイドモニタ等がある。夜になるとドライバの視界が悪くなるため、その補正を行うために、夜間、ドライバが見えにくい場所を呈示するナイトビジョンやアクティブヘッドライトがある。

一方、操作の支援まで行う運転支援システムには周辺監視用のレーダやカメラ等を装備した ACC (Adaptive Cruise Control)、LKA (Lane Keeping Assist System) が実用化されている [6][7][8][9]。これらの運転支援システムは車両側が自ら得られる情報に基づいて支援する自律型運転支援システムである。これらは、前後、左右方向において、ドライバの補正制御を行い、走行場面によっては、システム側が部分的に自動で制御を行う。近年では、ACC は、全自動となり、高速道路や都市部の自動車専用道路で、先行車と車間距離を保ち、自動運転で走行を行う機能が実現され、一部の市販車へ実装されている。しかし、安全運転のために必要な情報としては自車が物理的に得ることが困難なものもある。ブラインドコーナーや右左折時の車両の接近、また、自動車専用道における先行事故車や渋滞状況の情報等である。事故が生じる危険の可能性がある場合は警告によりドライバに早期に知らせるシステムの開発が必要となる。これらのシステムの実現のために、道路インフラと車両の通信連携によるインフラ協調型情報提供システムのプロジェクトが実現に向けて進められている [10][11]。VII (Vehicle Infrastructure Integration) と呼ばれるプロジェクトでは、路車間通信や車車間通信を使って、道路信号に応じた警告や交差点での右左折事故防止のための警報を提供する安全運転支援システムの開発が行われている。これらは見えない障害物、対向車、歩行者等の存在を通信技術でドライバに情報提供し、事故を未然に防ぐことを目的としている [12]。

このように運転支援システムとして人的要因を防止するために各種の開発が行われてきている。これらのシステムは交通事故の人的要因に対しドライバをサポートまたは負担を減らすことによりヒューマンエラーによる事故を未然に防止することを狙っているが、あくまで、運転責任はドライバにあることが前提であり、普及に際してはこのような思想の理解も不可欠である。

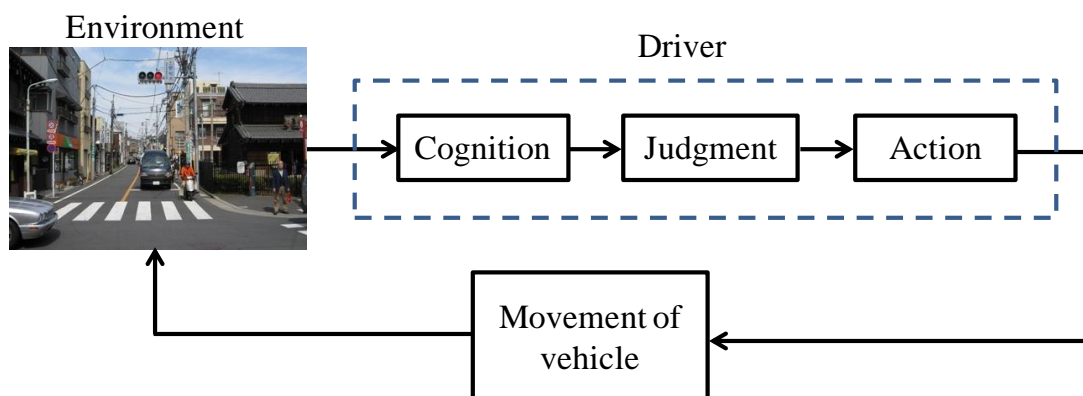


Fig. 1.2 Flow of driver behavior

Table 1.1 Map of autonomous driving support system

	前後方向	左右方向	複合方向	共通
情報提供	追従車間 距離表示	道路コース 表示	側方情報表示	ナイトビジョン アクティブ ヘッドライト
警報	追従車間 警報	車線逸脱 警報	側方衝突警報 コーナリング 速度警報	ナイトビジョン
操作 ガイド		車線維持 ガイド		
補正制御	追突速度 軽減制御	車線逸脱 防止制御	側方衝突 防止制御 コーナリング 速度制御	
部分自動	ACC	車線維持 制御	自動車線変更	
全自動	全速度ACC	完全自動車 線維持制御		

1.1.3 Pre-Crash Safety System

Fig. 1.3 に示すような先進安全自動車 ASV (Advanced Safety Vehicle) の技術のひとつとして衝突安全分野では被害軽減を目的とした、PCS (Pre-Crash Safety System) が開発され、実用化されている。事故が起こる直前に危険の認知・判断・回避操作を支援するシステムで、前方の車両や障害物は、Fig. 1.3 に示すように自動車の先端に備えられたミリ波レーダやステレオカメラセンサ等で検知し、衝突危険性が高いと判断した場合はドライバに警告する。次に、衝突判断コンピュータが衝突の危険性が高くなるとブレーキ操作を促し、更にブレーキ操作がない場合には、自動的に PCS を作動させて速度を低減し、万一の衝突に備えてシートベルトを引き込んで、乗員の衝突被害を防止するシステムである [13][14]。また、後方専用の後方ミリ波レーダも搭載された。リアバンパ内に設置されたミリ波レーダで後方車両の接近を検知し、追突の危険性があると判断した場合、まずハザードランプを点滅させ、後方車両に注意を喚起する。更に後方車両が接近した場合には、フロントヘッドレストに内蔵されたセンサで頭部位置を検出し、追突前に「プリクラッシュインテリジェントヘッドレスト」を適切な位置まで移動させ、追突された際の鞭打ち傷害の軽減に備えている。

最新のシステムでは、スバルが、新開発のステレオカメラ (Eyesight) を採用し、ステレオカメラによる立体物認識情報を付与することで、車両や障害物の検知に加え、道路の白線や先行車両との位置関係などの認識を実現させた [15][16]。Eyesight による PCS の狙いは、事故形態として多発する追突や衝突に対応する衝突被害の軽減や防止である。しかし、側面衝突、前面衝突、側方や、死角からの飛び出しなどは、障害物の安定した検出が困難であり、現システムではあらゆる走行シーンにおいては完全に機能はしない [17]。Eyesight による PCS の自動ブレーキの作動フローは以下のとおりになる。

①車間距離警報

衝突の可能性があるときシステムが判断したとき、コンビネーションメータ内の表示、および音で警報する。

②一次ブレーキ

衝突の可能性が高いときシステムが判断したとき、コンビネーションメータ内の表示、および弱いブレーキで警報する。

③二次ブレーキ

衝突の可能性が非常に高いときシステムが判断したとき、コンビネーションメータ内の表示、および音で警報すると共に、強いブレーキを自動でかける。

今後、PCS は更なる交通事故の被害抑制のために、システムが作動する事故形態の拡張と、警報や制御介入するタイミングの変化などの技術開発が求められる。交通状況

が複雑になった場合の対応やドライバーの回避操作(ステアリング, ウィンカーなど)との干渉を考慮した制御システムのシステムデザインを行っていく必要がある[18]. また, 搭載車両の普及促進に向けて, ユーザへの認知活動, システムの低コスト化が進められている.

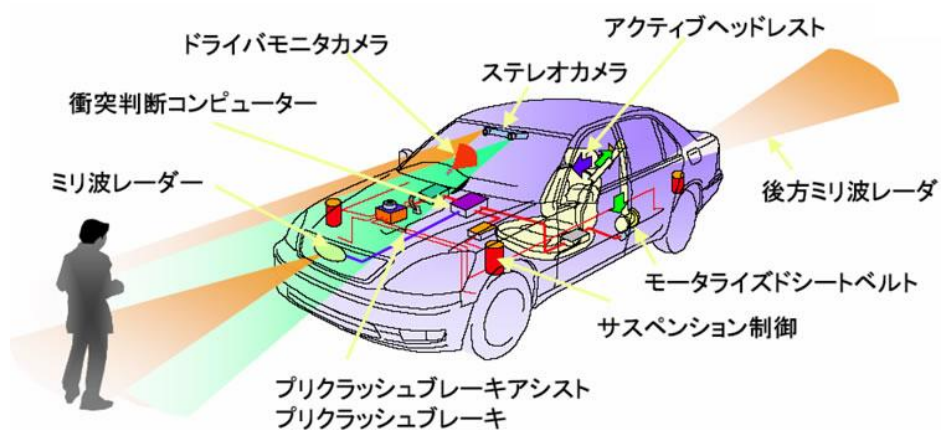


Fig. 1.3 Autonomous driving support system

出展) エネルギー総合工学 Vol.29 No.4 (2007.01) 上田 建仁 (トヨタ自動車(株))

1.2 研究の目的

本研究は、以上に述べた背景のもと、Fig. 1.4 に示すようなトラックやバイクや歩行者が介入するような市街地の交差点で生じやすい右折時衝突を防ぐための運転支援システムの設計およびその検証を行うことを目的とする。

本研究では、右折車と対向車との衝突を防止するための運転支援システムの機能要求として以下のシステム設計を行う。

- ・ブレーキ制御の介入するタイミングを走行環境に応じて変化させる。（対向車との相対速度を考慮）
- ・ドライバの操作とシステム側の干渉を防いでいること
- ・対向車のみならず、死角から飛び出す障害物との衝突防止（自車レーダの照射範囲外への対応）
- ・他車両、後続車への考慮（追突防止）

こうした検討は、本来、実環境下において実車を用いて行うことが望ましいが、安全上、極めて困難である。このため本研究では、自動車の走行状況や事故の発生環境を容易に模擬できる DS（ドライビングシミュレータ）を構築した。これを用いることで、事故発生環境におけるドライバの運転操作を介入させ、設計した運転支援システムの検証を行うことができる。

以上の観点から運転支援システムを設計し、構築した DS を用いて、システムの有効性を確認する。

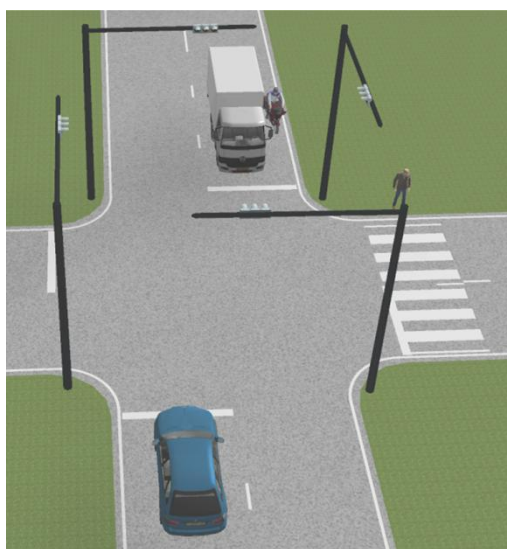


Fig. 1.4 Example of urban traffic intersection

1.3 論文の構成

本論文の1章から5章の内容は以下のとおりである。

1章：序論

研究背景や本研究の目的について述べる。

2章：ドライビングシミュレータのシステム構築

本研究の目的から提案・設計する運転支援システムの検証に用いる DS のシステムの構成について示す。

3章：交差点内事故の右折時衝突を防ぐ運転支援システムの提案，設計

右折時衝突事故を防ぐための指標設定をし，右折車の運転支援システムの提案・設計を行う。既存の PCS ではカバーできないケース，PCS の問題点を解決するために，以下のシステム設計を行う。

- ・ブレーキ制御の介入するタイミングを走行環境に応じて変化させる。（対向車との相対速度を考慮）
- ・ドライバの操作とシステム側の干渉を防いでいること
- ・対向車のみならず，死角から飛び出す障害物との衝突防止（自車レーダの照射範囲外への対応）
- ・他車両，後続車のこと考慮をする（追突防止，追突被害軽減）

4章：ドライビングシミュレータを用いた検証

3章で設計した運転支援システムを，実交通環境を模擬した DS でドライバの操作を介入させ，検証を行う。そして，設計した運転支援システムの有効性を確認する。

5章：結論

本研究で得られた結論について述べる。

2章 ドライビングシミュレータの構築

2.1 ドライビングシミュレータのシステム構成

本研究を行う上で、実路で設計した運転支援システムの性能評価をするのは、安全上極めて困難である。そこで、交差点の交通環境を容易に模擬することができる DS を構築する必要がある。

開発した DS のシステム構成を Fig. 2.1 に示す[19][20][21][22]。PC 内のバーチャル車両モデルとハンドル、アクセルペダル、ブレーキペダルで構成されているシミュレータコックピットの間を2台のデジタルシグナルプロセッサ (Digital Signal Processor 以下, DSP) と Ethernet 通信を介して結んでいる。ドライバは運転席に座り、ディスプレイに映し出された交通状況を見ながら運転する。ハンドル角, アクセル・ブレーキペダルの踏み込み量, ウィンカーの信号は, A/D・D/A コンバータを用いてアナログ信号として接続されたそれぞれの DSP にドライバの操作として入力され, PC のバーチャル車両モデルに Ethernet を介して伝達される。ドライバ操作にしたがって計算された車両運動は, 走行映像として PC のディスプレイに表示される。

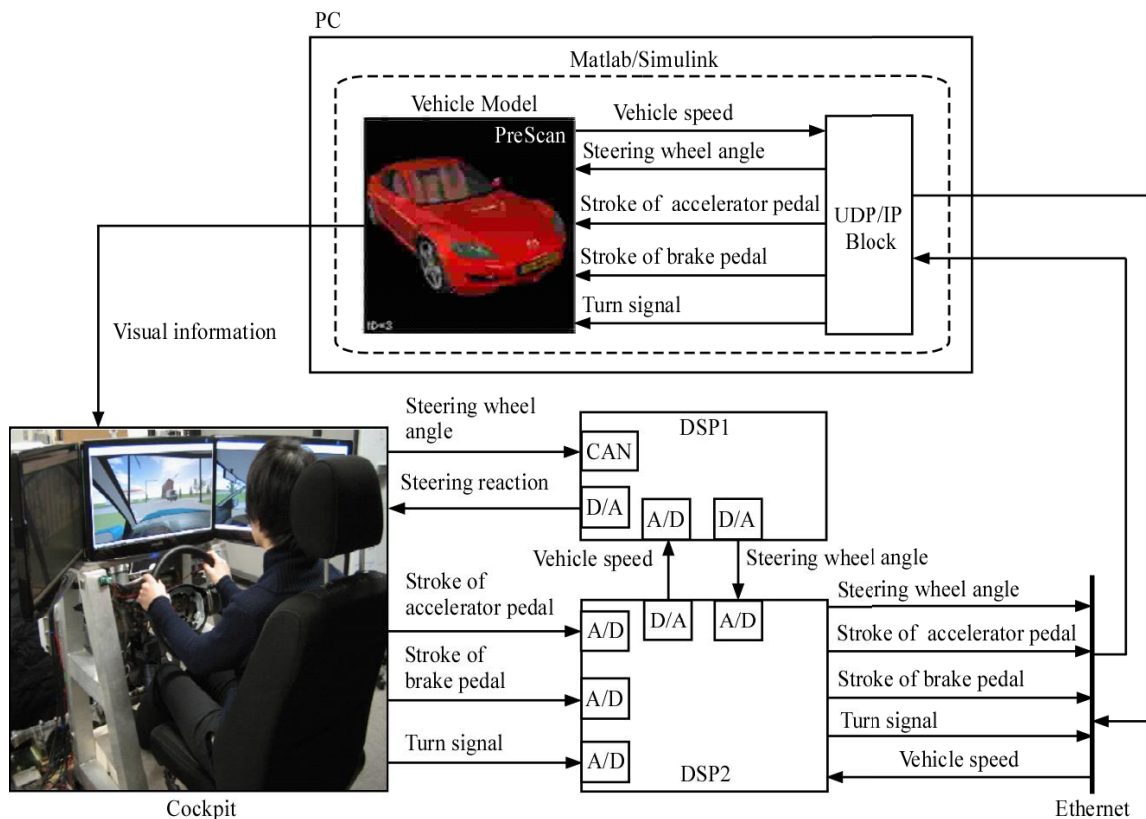


Fig. 2.1 Driving simulator system

2.2 ドライビングシミュレータのcockpit

2.2.1 cockpitの構成

運転支援システムを評価するためには、DS をより実車に近い形に仕上げる必要がある。実車に近い感覚での運転を実現するために、Fig. 2.2 に示すような実車に用いられるハンドル、アクセル・ブレーキペダル、ウィンカーを用いてcockpitシステムを製作した。また、ハンドルには、ハンドル角検出用のセンサが取り付けられており、検出したハンドル角は、ステアリング反力制御に用いられる。ステアリング軸には、ドライバの操舵をアシストするために、通常用いる電動パワーステアリング (Electric Power Steering, 以下 EPS) 用モータが備え付けられている[23]。アクセルペダルには、ドライバによるペダルの踏込み量を計測するためのセンサが内蔵されており、踏込み量を電圧として検出できる。ブレーキペダルにはペダル反力をドライバに与えるためのばねが接続されており、踏込み量の検出にはレーザー式変位センサ(KEYENCE製 LB-080) を用いている。

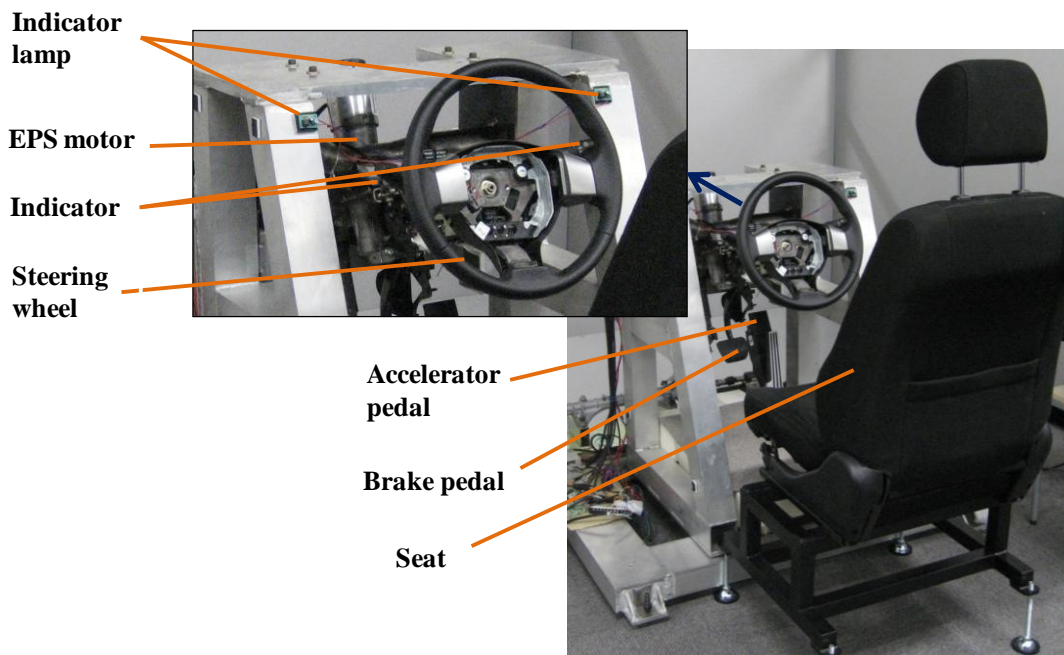


Fig. 2.2 Cockpit of driving simulator

2.2.2 ウィンカー

交差点内で右折を行う際に、行動の意図がわかるものとして、ウィンカーによる方向指示がある。DS へウィンカーを備え付けることにより、右折を行うドライバの行動が事前に知ることができる。

DSへ備え付けた、ウィンカーについて示す。DS におけるウィンカーはFig. 2.3 に示したものをを用いた。また使用したウィンカーの内部回路を Fig. 2.4 に示す。

e_d はダイオードの順方向電圧 [V]、 s_r は右ターン用コンビネーションスイッチ、 s_l は左ターン用コンビネーションスイッチを示しており、ウィンカー内のウィンカーコネクタ8ピンのうち、導通する3ピンを用いて配線を行った。



Fig. 2.3 Indicator of cockpit

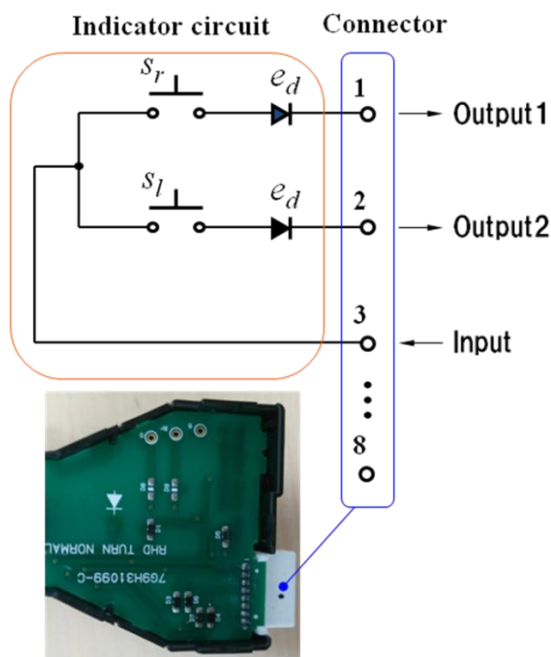


Fig. 2.4 Indicator system

車内のウィンカーランプを模擬するために、点滅周期を変えることのできる LED 点滅カイトキットを左右分の2つ用いた。使用した LED 点滅回路キットを Fig. 2.5 に示す。点滅周期は、固定抵抗を回すことのできる。

この LED 点滅回路キットを用いて、ウィンカーのスイッチ信号を DSP へ取り込む配線構成図を Fig. 2.6 に示す。 e_r は右ターンスイッチ信号 [V]、 e_l は左ターンスイッチ信号 [V]、 V_b は電源電圧 [V] (9 V の乾電池を使用) である。 Fig. 2.3 に示したウィンカーのスイッチを上方向へ入れると右ターンスイッチ信号である e_r が出力され、ウィンカーのスイッチを下方向へ入れると左ターンスイッチ信号 e_l が出力される。 コックピットの左右に取り付けられた LED ランプは、スイッチの入力方向に応じて各々点滅する。 LED ランプには、クリアグリーン色の LED カバーを装着している。 この LED カバーは光を拡散させ、より明るく点滅させることができる。

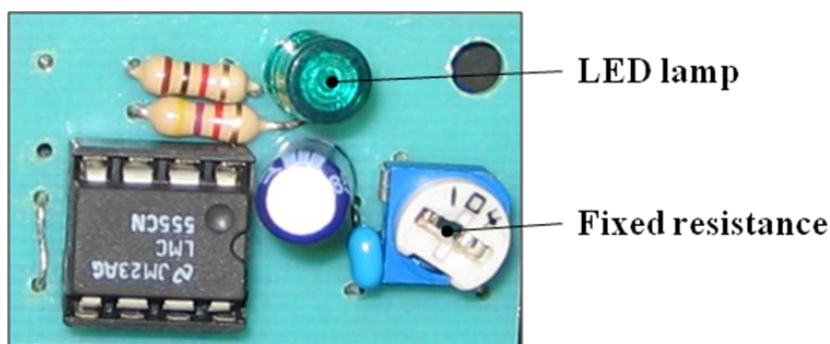


Fig. 2.5 LED blinking circuit kit

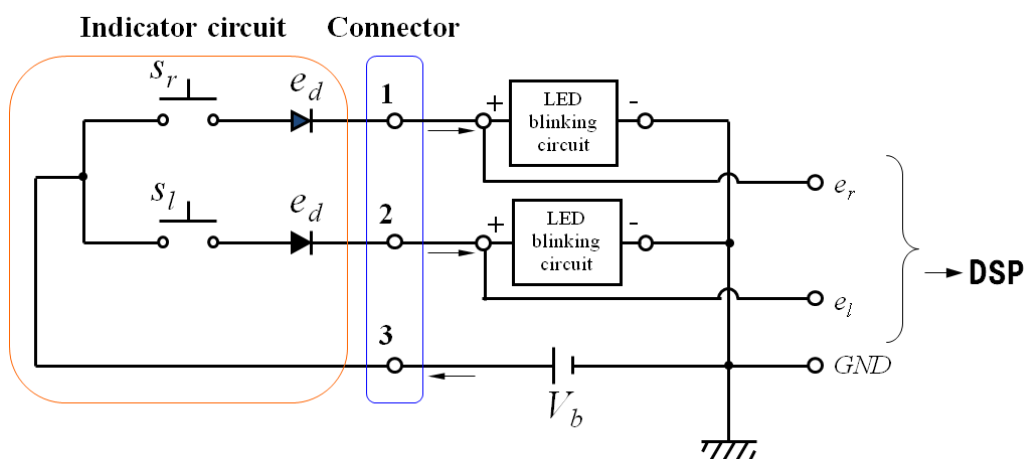


Fig. 2.6 Indicator system using LED blinking circuit kit

2.2.3 マルチディスプレイシステム

DS のディスプレイはディスプレイ単体を3つ用いてマルチディスプレイ環境を構築した。これにより、よりリアリティのある走行環境を提示することができ、ドライバの運転視野を広くすることが可能となる。Fig. 2.7 は使用したディスプレイ、Table 2.1 に使用したディスプレイのスペックを示す。ディスプレイの画面表示サイズは、531 × 300 mm である。マルチディスプレイとして画面出力するためには、3画面出力対応のビデオカードとビデオカードに供給すべき電源が必要となる。PC 内蔵の電源がビデオカードをドライブするのに十分な電力を発生できることを注意し、ビデオカード：GeForce GTX 590 (NVIDIA製)、総合出力 750 wの電源ユニット：GX 750 w (Cooler Master製) を用いた。



Fig. 2.7 Display

Table 2.1 Spec of display

Model number	B2430H
Screen Size	24 inch
Resolution	1920×1080
Static Contrast Ratio	1000:1
Response Time	5 ms
Viewing Angle	160 deg/170 deg
Power Consumption	45 W
Size (mm) (W×H×D)	582×448×197
Mass	5.1 Kg

3つのディスプレイを固定するためには、ディスプレイを支え、自由度を考慮したモニターアームが必要となる。かつ、安全性を考慮しなければならない。Table 2.2 に使用したモニターアームのスペックを示す。また、Fig.2.8 に固定しているモニターアームを示す。モニターアームの固定方式はクランプ式であり、コックピットの天版に取り付けている。

Table 2.2 Spec of monitor arm

Weight capacity	3 kg-8 kg
Maximum extension	560 mm
Depth from pole	57.5 mm
Height adjustment	319 mm
Tilt adjustment	40 deg
Display pan swing side to side	90 deg
Pivot (Desk/Display/Arm)	360 deg/180 deg/360 deg
VESA compatibility	75×75 and 100×100



Fig. 2.8 Monitor arm

Fig. 2.9 は構築したマルチディスプレイの正面図である。速度が増大すると運転者の視野は狭くなる。40 km/h では、運転者は100 deg の範囲の視野があり、路側の障害物やその他の潜在的な危険を視認することが可能である[24]。

Fig. 2.10 はドライビングシミュレータ上におけるドライバの視野角度について示している。ディスプレイ1つの場合、ドライバの視野角度は、約 50 deg の範囲の交通状況しか見ることができなかつた。しかし、ディスプレイを3つ用いたことで、ドライバへ交通状況の提供の範囲を広くし、約 140 deg の範囲の交通状況を見渡すことができるようになった。



Fig. 2.9 Front view of multi display

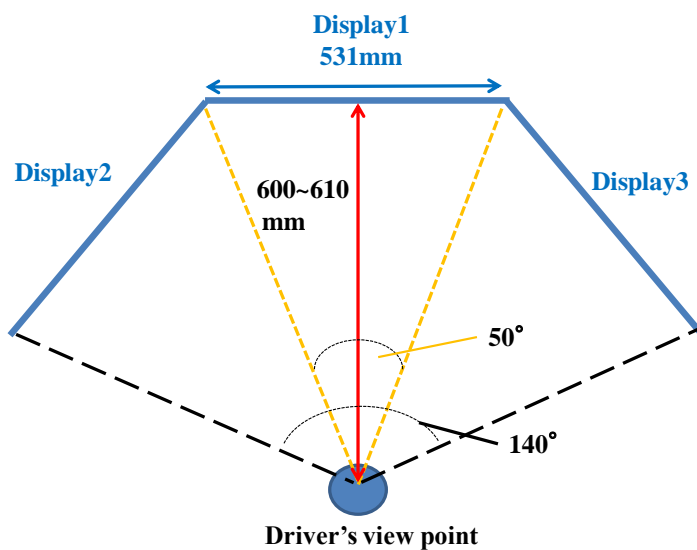


Fig. 2.10 Driver's field of view

2.2.4 ステアリング反力制御システム

Fig. 2.11 は実験装置の背面図である。コックピットに備えつけられた EPS モータは、ドライバが加えた操舵トルクをトルクセンサにより検出し、ドライバの操舵に対する負荷軽減のためにモータでアシストするよう機能する。EPS モータの駆動には、バッテリーが用いられ、電子制御ユニット (Electric Control Unit, 以下 ECU) を介してモータに電流が流れる[25]。

PC 内のバーチャル車両モデル内で計算された车速から地面から受けるタイヤの横力が生成される。実際の自動車は走行時にハンドルを切るとタイヤの横力が発生すると同時にタイヤの横力の着点点がタイヤの接地中心点とずれるために、接地中心まわりにスリップ角を小さくしようとする方向にトルク (セルフアライニング・トルク) が働く。セルフアライニングトルクを反力モータで再現し、ボールねじを介してドライバへ軸力を与える。

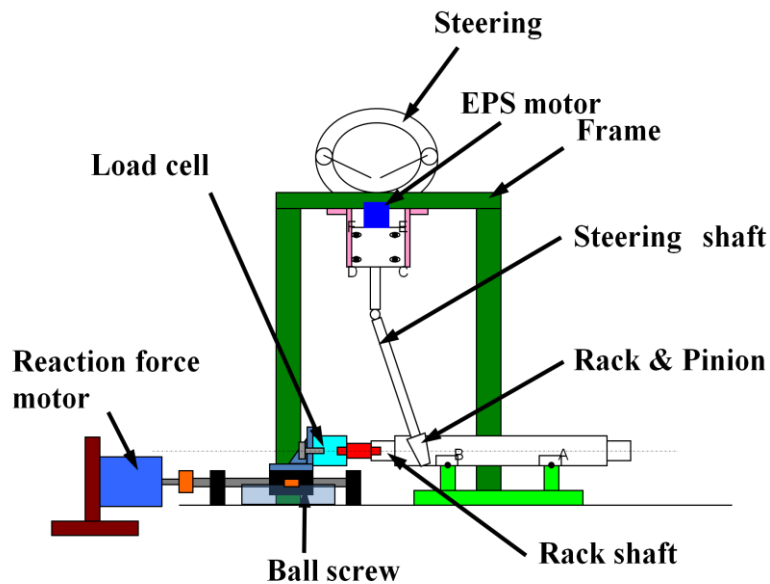


Fig. 2.11 Schematic view of steering system

Fig. 2.12 にボールねじの実画像の側面図を示す。また、Fig. 2.13 にボールねじによって回転運動を直線運動に変換をするプロセスは以下ようになる。

- ①モータの回転運動をボールねじのねじ軸に与える。
- ②ねじ軸の回転運動が、ナットを介してラック軸の直線運動となる。
- ③ラック軸の直線運動は、ラック & ピンオンを介してステアリング軸に回転運動として作用する。

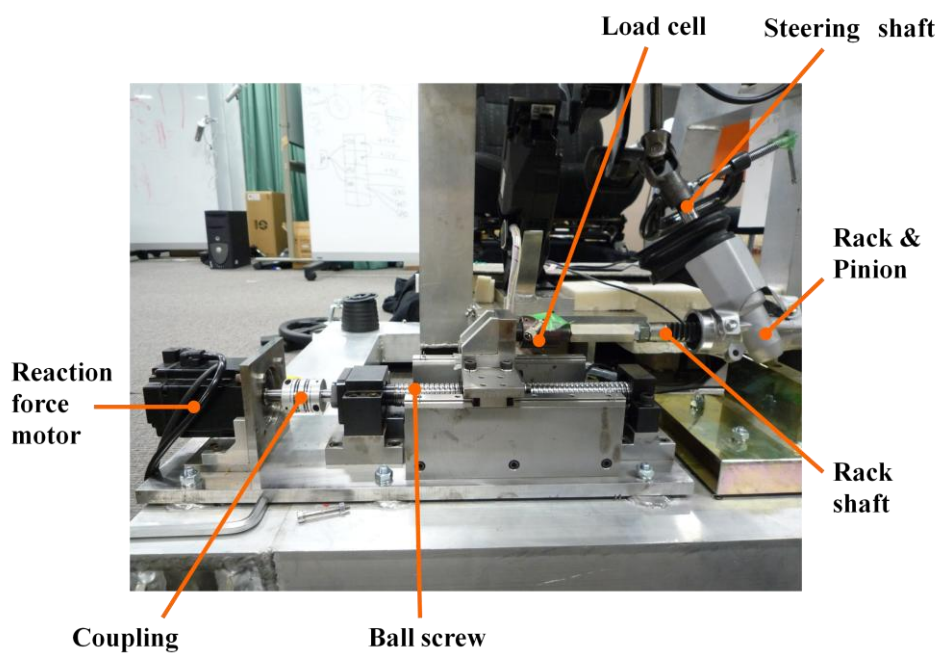


Fig. 2.12 Lateral view of ball screw

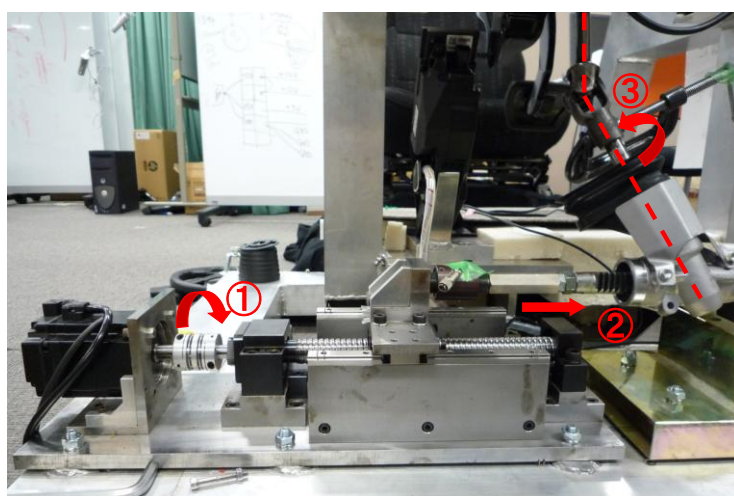


Fig. 2.13 System of ball screw

2.3 車両運動モデル

DSで用いるバーチャル車両の運動モデルについて示す。バーチャル車両モデルの車両運動は二輪モデルを用いて計算されている。Fig. 2.14は、二輪モデルを示している。 a はフロント軸から車両の重心までの距離、 b はリア軸から車両の重心までの距離、 l は車両のホイールベース、 δ_f は操舵角、 β はタイヤの横滑り角、 F_f は前輪のタイヤの横力、 F_r は後輪のタイヤの横力を表している。また、バーチャル車両モデル、車両のパラメータについてそれぞれ、Fig. 2.16, Table 2.3および Table 2.4 に示す。

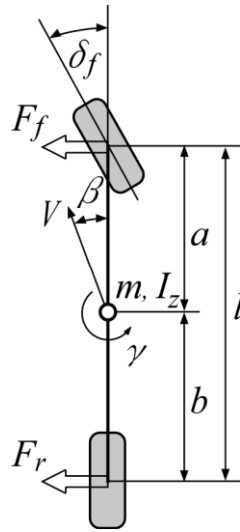


Fig. 2.14 two wheel model

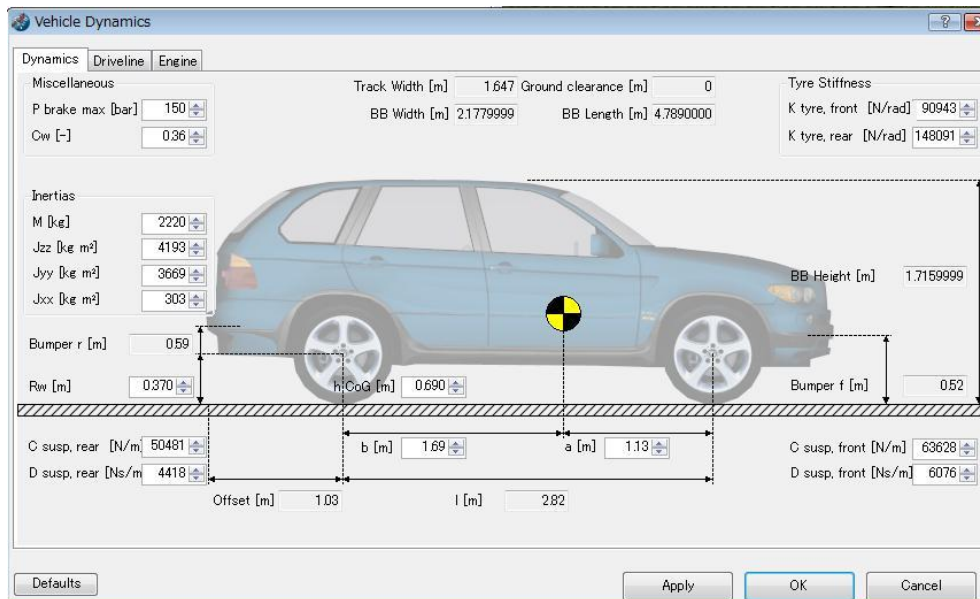


Fig. 2.15 Virtual vehicle model

Table 2.3 Parameter of virtual vehicle model (1)

Parameters	Definition	Values	Unit
P_{max}	Maximum brake pressure	150	bar
M	Total mass of the vehicle	2200	kg
J_{zz}	Moment of Inertia of the vehicle body, around the z axis	4193	kg m ²
J_{yy}	Moment of Inertia of the vehicle body, around the y axis	3669	kg m ²
J_{xx}	Moment of Inertia of the vehicle body, around the x axis	303	kg m ²
R_w	Tire radius	0.37	m
$C_{susp. rear}$	System stiffness of the rear suspension, both sides merged	50481	N/m
$D_{susp. rear}$	System damping rate of the rear suspension, both sides merged	4418	Ns/m
K_{rear}	Cornering stiffness of the rear tire	148091	N/rad

Table 2.4 Parameter of virtual vehicle model (2)

Parameters	Definition	Values	Unit
h_{CoG}	Height of the center of gravity	0.69	m
b	Distance of center of gravity to rear axle	1.69	m
a	Distance of center of gravity to front axle	1.13	m
l	Wheel base of the vehicle	2.82	m
$C_{susp. front}$	System stiffness of the front suspension, both sides merged	63628	N/m
$D_{susp. front}$	System damping rate of the front suspension, both sides merged	6076	Ns/m
K_{front}	Cornering stiffness of the front tire	90943	m
$TrackWidth$	Track width of the vehicle	1.647	m
$BB Width$	Bounding Box Width of the Vehicle	2.1779	m
$BB Height$	Bounding Box Length of the Vehicle	4.789	m
N	Steering wheel gear ratio	16.5	-

2.4 2章まとめ

本研究を行う上で、実路で設計した運転支援システムの性能評価をするのは、安全上極めて困難である。そこで、交差点の交通環境を容易に模擬することができる DS を構築した。

開発した DS は、PC 内のバーチャル車両モデルとハンドル、アクセルペダル、ブレーキペダルで構成されているシミュレータコックピットの間を2台の DSP と Ethernet 通信を介して結んだ。また、実車に近い感覚での運転を実現するために、実車に用いられるハンドル、アクセル・ブレーキペダルを用いてコックピットシステムを製作した。ドライバが、交差点内で右折を行う際に、行動の意図がわかることが必要であったため、DS へウィンカーを備え付けることにより、右折を行うドライバの行動が事前に知ることができる環境を整えた。

DS のディスプレイはディスプレイ単体を3つ用いてマルチディスプレイ環境を構築した。ディスプレイ1つの場合、ドライバの視野角度は、約 50 deg の範囲の交通状況しか見ることができなかった。しかし、ディスプレイを3つ用いたことで、ドライバへ交通状況の提供の範囲を広くし、約 140 deg の範囲の交通状況を見渡すことができるようになった。また、ドライバへハンドル操作の支援を行うため、ステアリング反力制御システムを構築し、ドライバへの操舵をアシストし、実車の走行に近い操舵感覚を再現することができた。

3章 交差点事故を防ぐ運転支援システムの設計

3.1 対象とするシナリオ

交差点内で多く発生する事故として右折時衝突があげられる。Fig. 3.1は、右折時衝突における事故分類の割合をしめしている [26]。Fig. 3.1から交差点内において、四輪自動車相互（直進車と対向車）の衝突は27%，四輪自動車とバイクとの衝突が30%を示している。つまり、この2種類の事故は、右折時事故全体で半数以上の割合を占めていることがわかる。

本章では、右折時における四輪自動車相互（直進車と対向車）の衝突と、四輪自動車とバイクとの衝突を防ぐための運転支援システムの提案、設計を行っていく。そのため、Fig. 3.2 に示した右折のシーンで右折車と対向車との衝突だけではなく、トラックなどの死角からバイクが突発的に飛び出すシーンなども対象とする[27][28]。運転支援の対象は、右折車とし、道路交通法に基づき、直進車が優先であることを前提に運転支援のシステムの制御設計を行っていく。また、設計する運転支援システムは交差点内の右折時に特化したものであり、高速道路や一般の直進路などを走行するシーンは対象としていない。

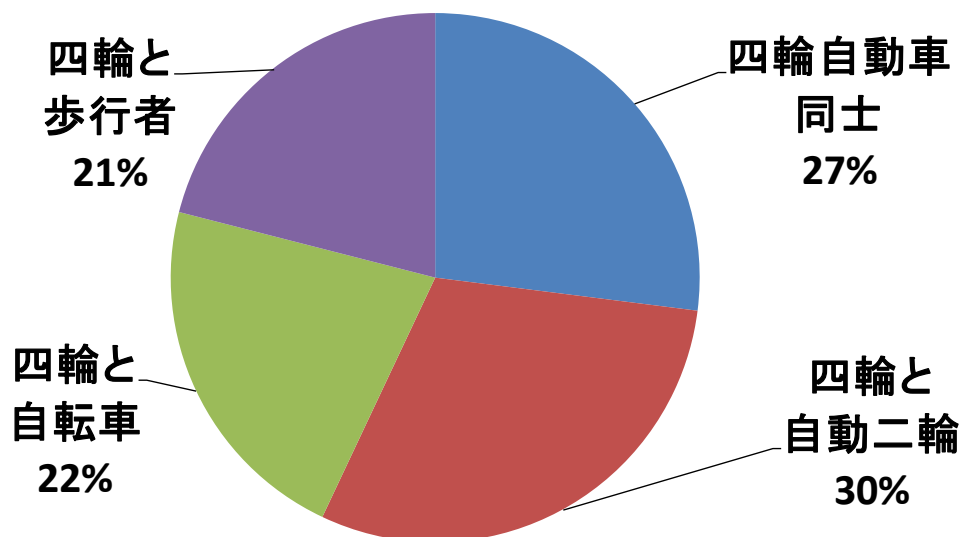


Fig. 3.1 Rate of right turning collision

3.2 設計概念

運転支援を行う対象は、右折車両側であり、右折車を自車とする。直進車側へ既存の PCS 技術を用いれば、右折車との衝突を防ぐことができるとも考えられるが、右折車に比べ、直進車の方は、速度が出ていること、交差点内では、直進車が優先であることを考慮すると、直進車側へ PCS を用いても、右折車と衝突してしまう可能性は高い。右折車側へ運転支援を行うことにより、直進車や、後続車の運転の妨げにならず、追突事故の危険性も少なくなる。

以上のことを考慮し、右折時衝突を防ぐ、運転支援システムの設計を行っていく。

DS による試行から PCS を交差点内で用いて生じた問題

交差点内の右折時衝突を防ぐための運転支援システムに必要な機能要求を導くため、DSを用いた試行を行った。PCS を自車に搭載させ、交差点の交通環境、対向車線の直進車を模擬し、シミュレーションを行った。

既存の PCS はレーダやステレオカメラを用いて、衝突の可能性があると判断した場合、自動ブレーキが機能し、衝突の防止を行うが、レーダの照射範囲外の対象物は検知されないために、Fig. 3.3 のようなケースは直進車が右折車の側面から衝突してしまう。直進車側は、右折車が右折してくることを予想して運転しなければいけないが、右折車の右折速度に比べ、直進車は速度が出ているため、衝突する可能性が高くなり、衝突後の被害も大きくなる。交差点の場合、対向車のみならず、バイク、歩行者などが介入するため、交通状況に応じて自動ブレーキが機能させる必要があるが、既存のシステムでは、適切に自動ブレーキのタイミングを変化させることはできない。また、ドライバがステアリング操作で横方向へ回避しようとした際に自動ブレーキが作動した場合は、同時に、操作ミスや他車両との追突などの危険な状況に陥ることも考えられる（操作干渉の問題）。Fig. 3.4 に示すように、直進車よりも自車の右折が先行してしまうと側面衝突を引き起こす可能性がある。また、右折時の速度が大きい場合、自動ブレーキが作動しても直進車と衝突してしまう。

この DS における試行から生じた結果から自車のドライバが右折しないことが問題であり、右折速度を制御する必要があることがわかった。

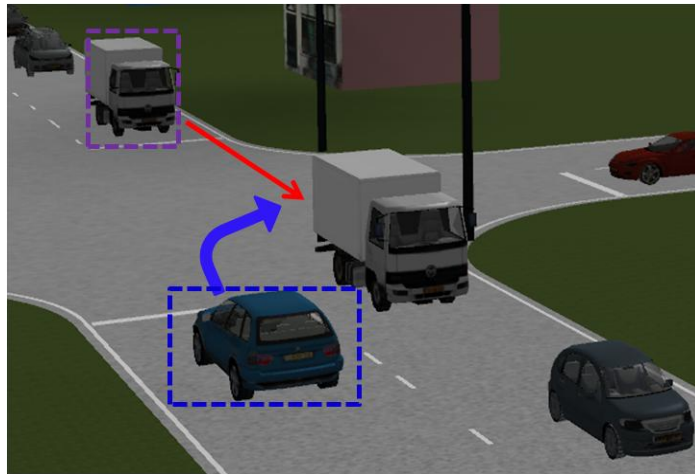


Fig. 3.2 Right turning scene

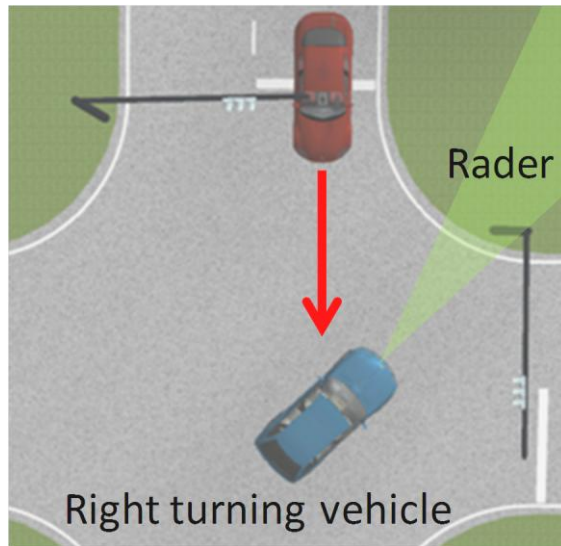


Fig. 3.3 Problem of PCS ①



Fig. 3.4 Problem of PCS ②

3.3 右折速度制限システムの設計

3.3.1 システム概要

右折速度制限システム (システム A)

右折行動の先行や、衝突の被害軽減をするために右折車の右折時の最高速度を 10 km/h 以下に制限する。

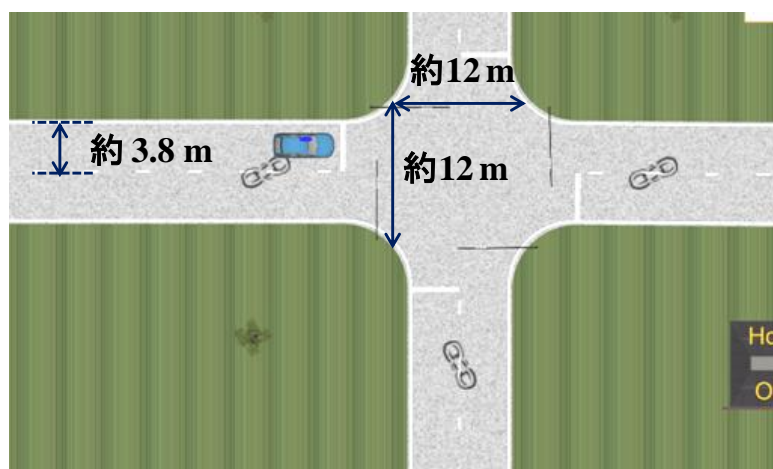
右折行動の防止と、右折車の速度を瞬時に停止することが可能な徐行速度以下に制御し、衝突事故が生じてしまった場合の被害を最低限のレベルに抑える運転支援システムを設計する。

右折車が交差点に差し掛かり、ハンドルを切りはじめた時に、車速10 km/h 以下になるように制御する必要がある。そこで、ハンドルをどれだけ回した時に速度制限を設けるか、設定する必要がある。DS を用いて、右折行動を5回行い、その結果からどれだけハンドルを回せばいいのか決定した。Fig. 3.5 (a) は、2次元上の右折行動を行った走行コースを示している。Fig. 3.5 (b) は、3次元上の走行コースの交差点付近のポイントである。片道の車幅は 約3.8 m, 交差点内の広さは、約12 × 12 mである。5回分の走行結果をFig. 3.7に示す。Fig. 3.6 (a) は自車の速度、Fig. 3.6 (b) は、自車のハンドル角を示している。Fig. 3.6 (b) の5回の試行結果からハンドル角は、最大 - 270 deg であることがわかる。しかし、ハンドル角が、最大になった時は自車の右折行動が後半に差し掛かっている状態であるため、右折を行い始めた段階で速度制限する必要がある。そこで、ハンドル角が - 90 deg 以上なった場合、右折速度を制限するように決定した。(ハンドルの回し向きは、反時計まわり、すなわち左へ回す角度が正 [+] である。)

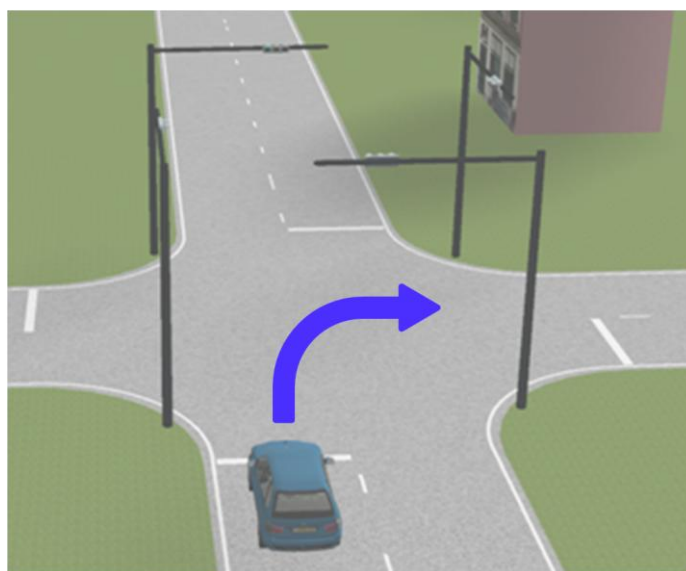
交差点内でドライバーがハンドルを回しただけでは、右折を行うとは限らない。そこで、制御条件として、ウィンカーの右ターンの信号が入力情報を取り入れた。また、自車の車速が10 km/h 未満の場合は、すでに徐行速度以下となっているため、右折速度制限システムは作動しない。

Fig. 3.7に右折速度制限システムのフローチャートを示す。ドライバーの運転を「Start」とすると、制御の処理する条件としてウィンカー、ハンドルの操作、車速が設けられる。まず、ドライバーが交差点に差し掛かり、ウィンカー操作で右ターン信号入力した場合、「Yes」の方向へ処理が流れていく。次にドライバーが操作したハンドルの角度 θ_h [deg] が、右へ90 deg 以上回された場合(つまり- 90 deg), 「Yes」の方向へ処理が流れる。最後に自車の車速 v_x [km/h] が10 km/h 以上の場合、車速が10 km/h に制限され、処理が終了する。これまでの処理条件を一つでも満たさない場合は、「No」の方向へ進み、車速は制限されない。制御条件の以下にまとめる。

- i) ウィンカー右ターン信号
 - if ON → 「Yes」
 - else OFF → 「NO」
- ii) ハンドル角 θ_h
 - if $90 \text{ deg} \leq \theta_h \rightarrow$ 「Yes」
 - else → 「NO」
- iii) 車速 v_x
 - if $10 \text{ km/h} \leq v_x \rightarrow$ 「Yes」
 - else → 「NO」

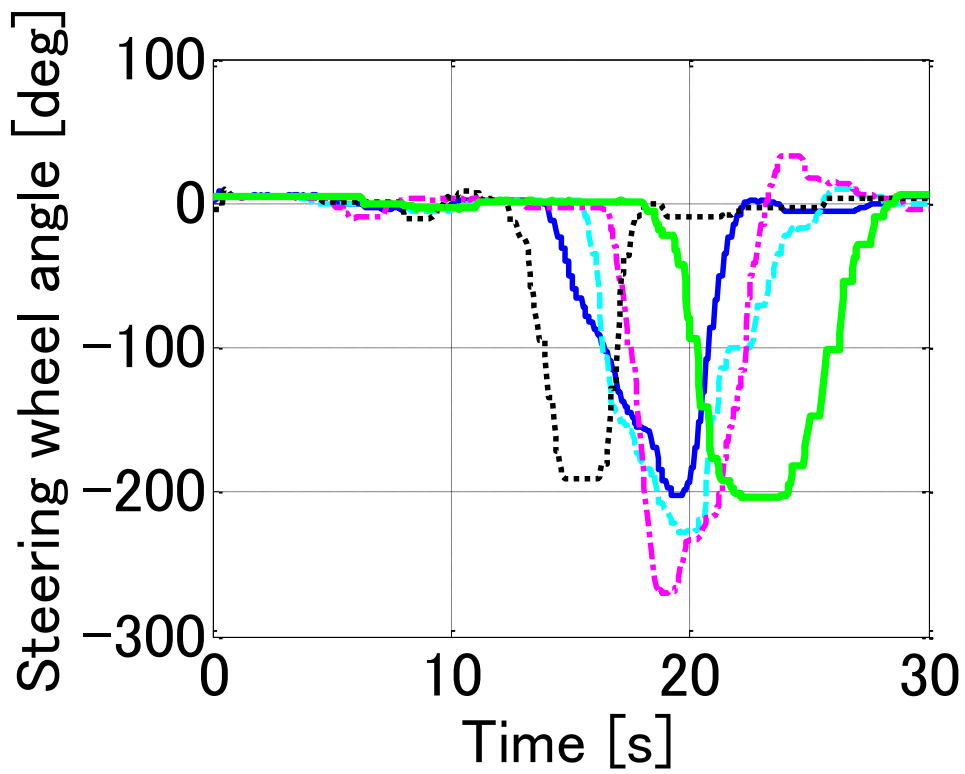


(a) 2D underlay of test course

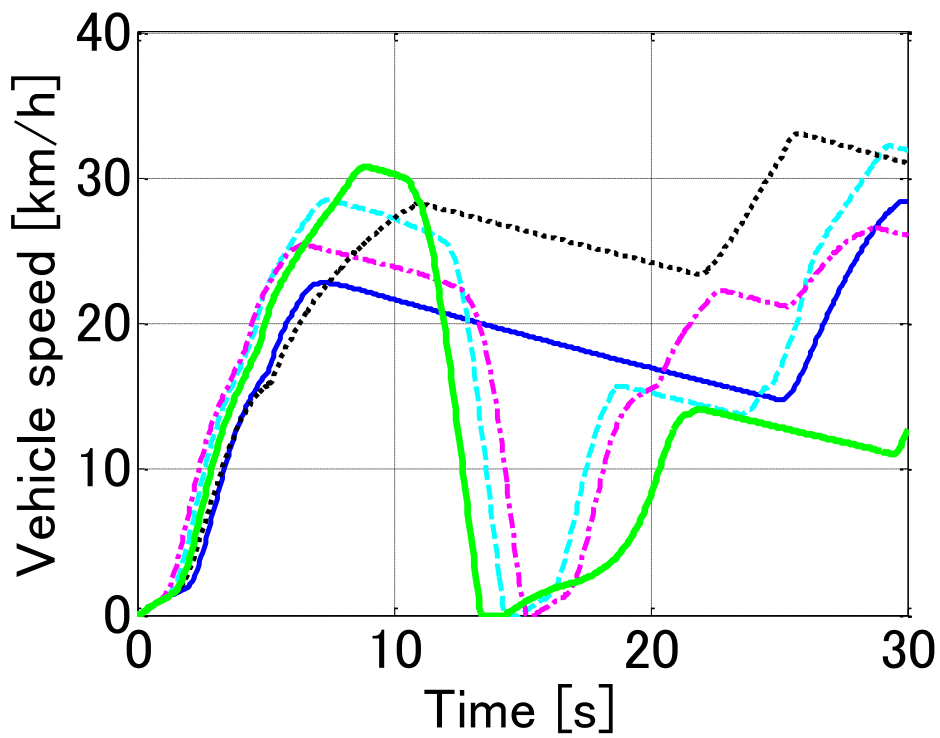


(b) 3D of intersection point

Fig. 3.5 Test course



(a) Steering wheel angle



(b) Vehicle speed

Fig. 3.6 Results of trial using DS

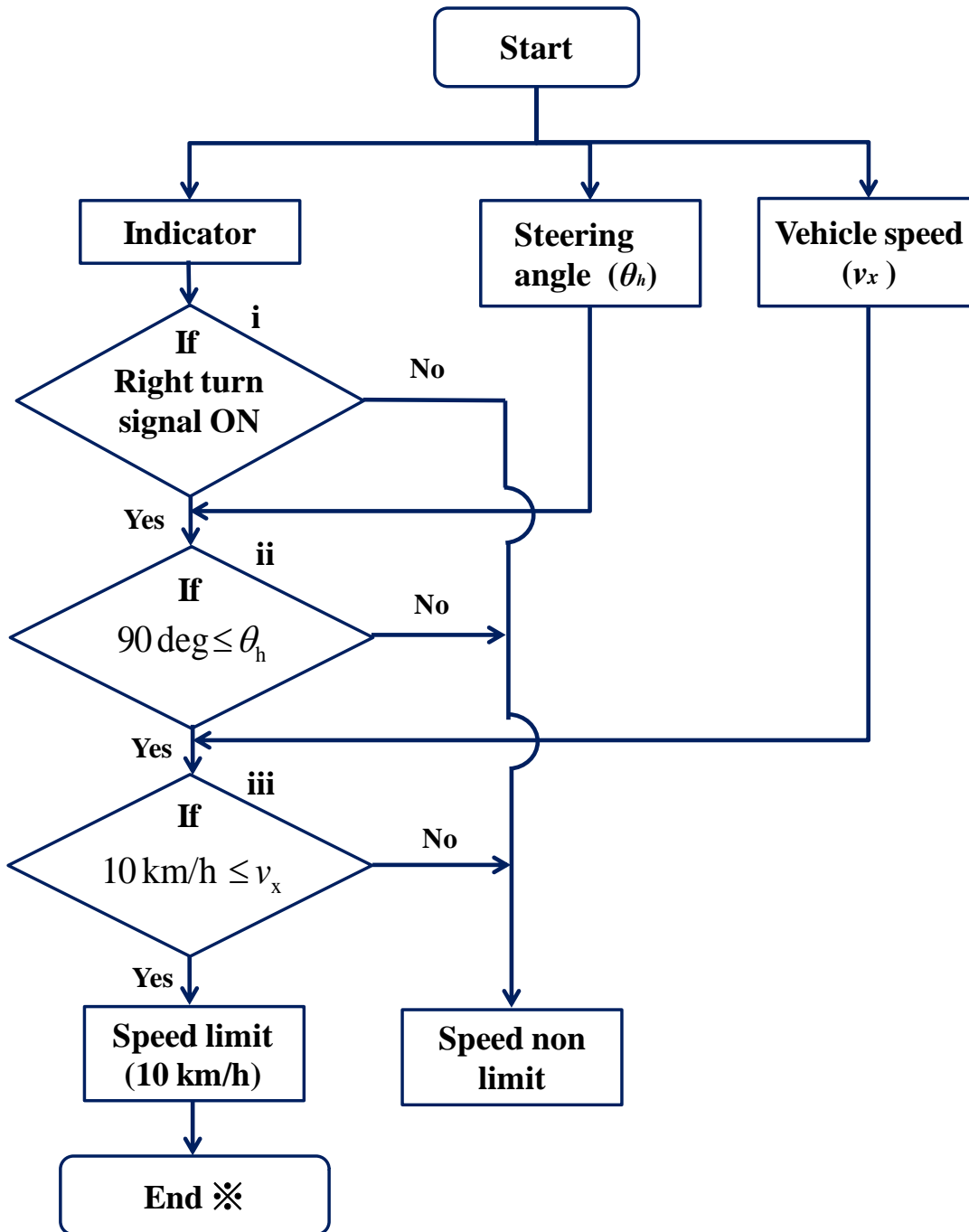


Fig. 3.7 Flow chart of system A

制御方法

車速の制限する制御システムについて示す。Fig. 3.8は、右折速度制限システムの速度の制御を行うシステムのブロック図である。まず、ドライバがアクセル、ブレーキペダルの操作を行い、加速や減速を行う。ドライバの操作によるアクセル開度はエンジンへ入力され、エンジントルク T_e [Nm]が生成される。ブレーキの踏み込み量は、ブレーキトルク T_b [Nm]として、エンジントルク T_e と共に車両のシャーシモデルへ入力される。入力された T_e , T_b によって、車速 v_x が出力される。出力された v_x を目標値 10 km/h へ近づけるために、PI 制御を行う。この時の P（比例値）は、1200、I（積分値）は0としている。各々の値は、減速時にかかる重力加速度 G が -0.7 になるように設定したものである。この -0.7 の値はスバルのEyesight のプリクラッシュブレーキが機能した時にかかる値を参照した。Fig. 3.7 のフローチャートから車速の制限制御を行った場合を「1」、制限を行わない場合を「0」とした場合、Fig. 3.8において、「0 or 1」のブロックから「1」が出力してる時は、PI 制御が行われていることになる。また、車速の制限制御が行われている時は、ドライバによるアクセル開度がエンジンへ入力されず、入力値は「0」となる。

シミュレーションの条件

設計したシステムが、制御条件を満たした場合に、正常に機能するか検証を行うため、シミュレーションを行った。なお、ウィンカーの右ターン信号を入力されているものとして、シミュレーション条件を以下のように設定した。

- ① 自車に初速 30 km/h を与え、5 s までハンドル角 $\theta_h - 30 \text{ deg}$ を入力し、5秒後にハンドル角 $\theta_h - 90 \text{ deg}$ を入力。
 - ② 自車に初速 9 km/h を与え、ハンドル角 $\theta_h - 90 \text{ deg}$ を入力。
- 各々の値を車両モデルへ入力させ、車速の応答を確認した。

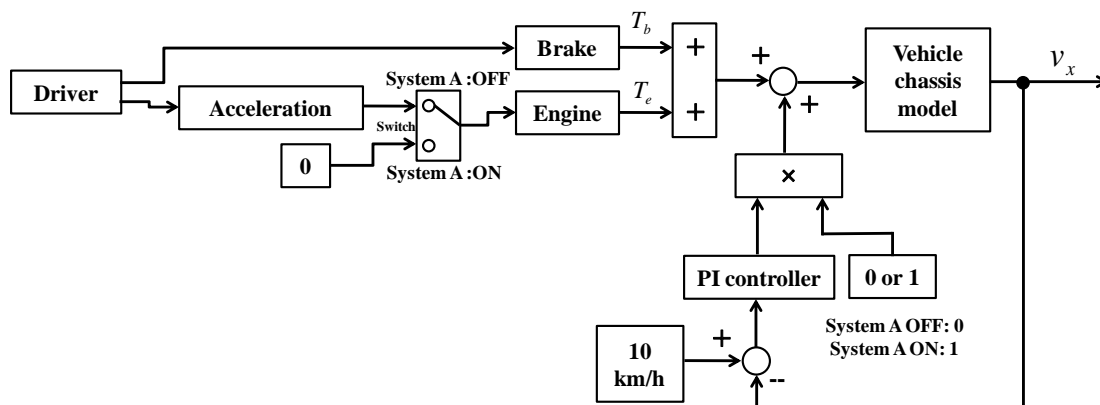


Fig. 3.8 Control flow of system A

3.3.2 シミュレーション結果

Fig. 3.9, Fig. 3.10, に①, ②のシミュレーション結果を示す. (a), (b) はそれぞれ, 自車のハンドル角, 車速を示している.

Fig. 3.9 から, ハンドル角 - 30 deg を車両モデルへ入力している間の車速は, PI 制御がかかっていないことがわかる. 5 s まで, 車速が少し減少しているのは, 路面間の抵抗の影響によるものである. 5 s 後, ハンドル角 $\theta_h - 90 \text{ deg}$ が入力されたと同時に車速 v_x は, 目標値10 km/h に追従していることがわかる.

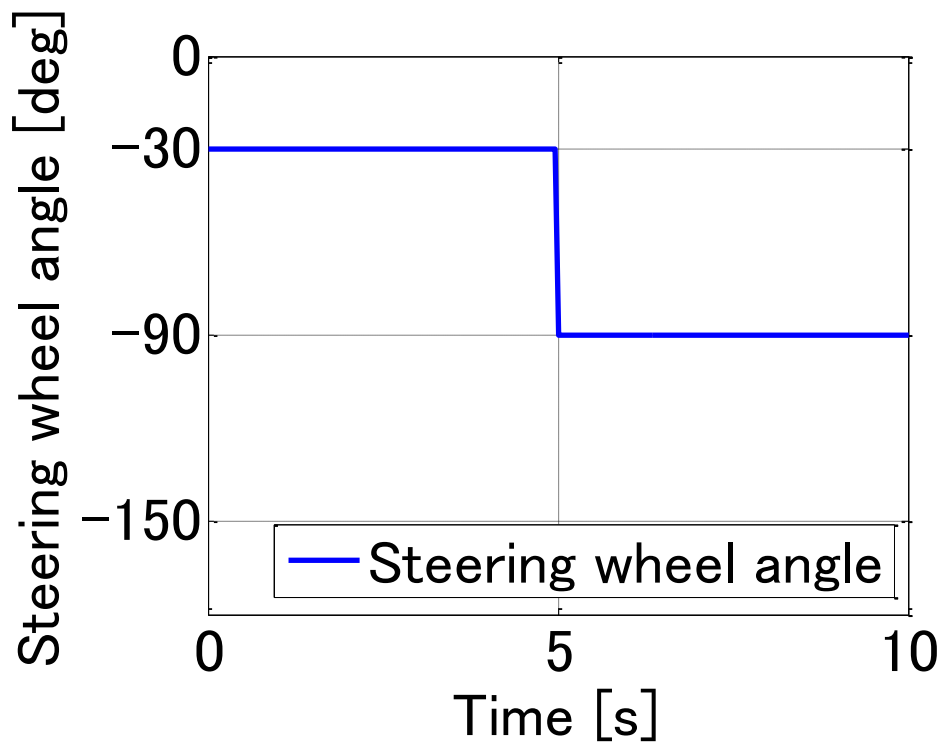
Fig. 3.10 では, 車速 v_x が10 km/h 未満であるため, ハンドル角 $\theta_h - 90 \text{ deg}$ を入力していても, PI 制御がかかっていないことが分かる.

これらの結果から設計したシステムで制御条件を満たした場合, 自車の車速を10 km/h に制御することが確認できた.

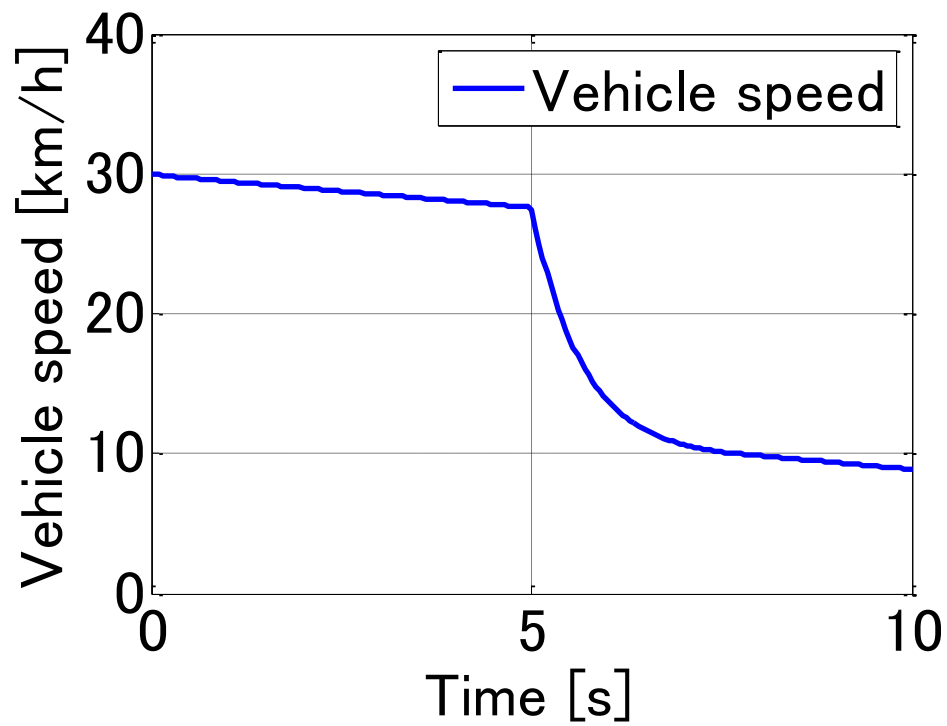
右折速度制限システムの問題

自車にレーダを搭載させ, そのレーダにより対象物との距離を検出し, 対象物との距離が3 m 以下になった場合, 自動ブレーキが機能する PCS と右折速度制限システムを組み合わせ DS を用いて右折シミュレーションを行った. 対象物との距離が 3 m 以下になった時に, 自動ブレーキがかかるように設計したのは, 右折速度制限システムが機能しているものとして, 自車の速度が 10 km/h の時に, 停止するための必要な距離が約 2.5 mであるため, 3 mと設計した.

対向車線から自動車が進んでくる環境を模擬し, DS を用いて右折シミュレーションを行った. 対向車線の自動車の直進スピードが小さい場合は, 直進車との衝突を防止することができたが, 直進車の直進スピードが大きい場合は, 直進車と衝突してしまうケースが発生した. このことから, 右折速度制限システムに加え, 対向車の速度を考慮し, 自車との相対速度に応じて自動ブレーキが作動するタイミングをかえなければいけないことがわかった.

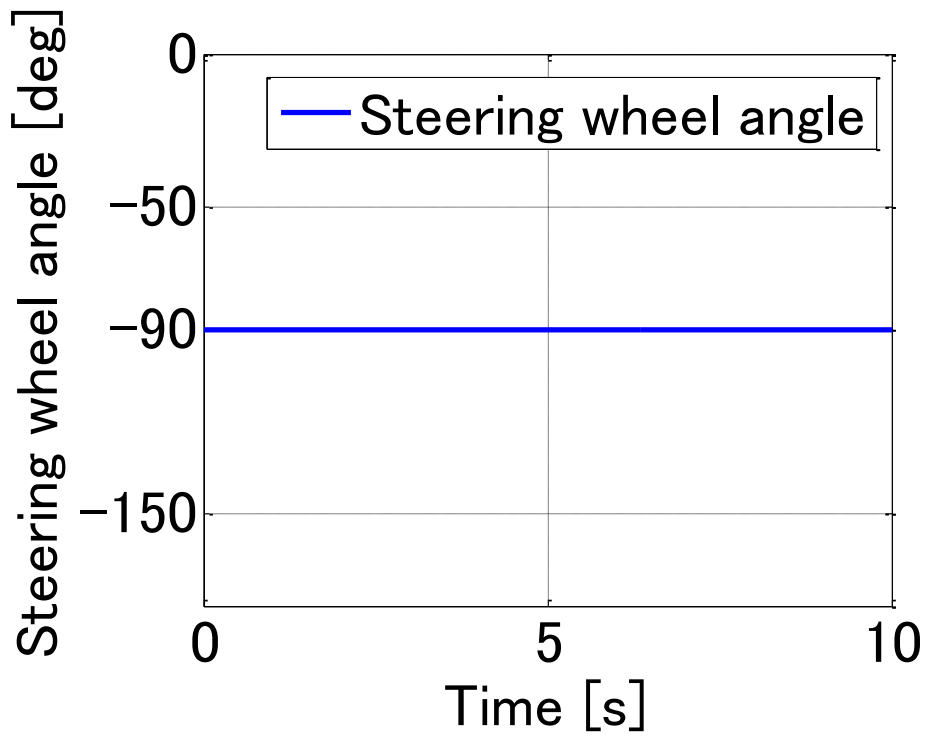


(a) Steering wheel angle

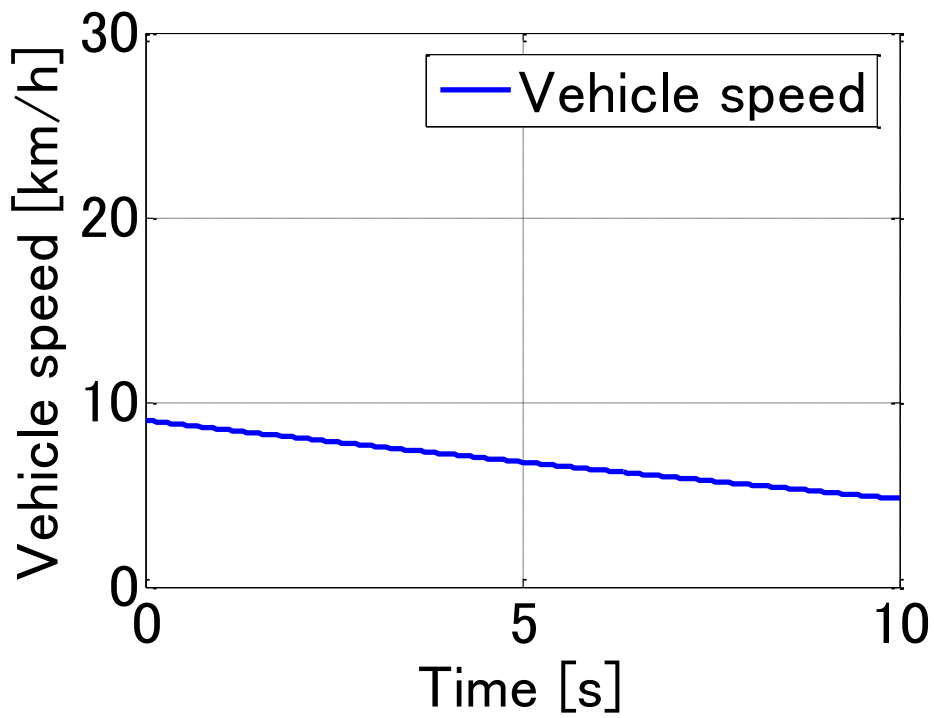


(b) Vehicle speed

Fig. 3.9 Results of simulation ①



(a) Steering wheel angle



(b) Vehicle speed

Fig. 3.10 Results of simulation ②

3.4 相対速度依存ブレーキングシステムの設計

3.4.1 システム概要

相対速度依存ブレーキングシステム (システム B)

自車と対向車(直進車)との相対速度に応じて自動ブレーキをかけるタイミングを変化させる

既存の PSC は、実路で他車両の走行状況に応じて、自動ブレーキのタイミングを変化させることは困難であり、実用化されていない。そこで、まずは、自車と対向車との相対速度を考慮し、その相対速度に応じて自動ブレーキがかかる距離を変化させる簡易的なシステムを設計する。交差点内の右折シーンを考えると、対向車の速度が大きいほど、自車と対向車が衝突する危険性が高くなるので、早い段階で右折を停止する必要がある。

車両モデルに簡易的なレーダモデルを搭載させる。このレーダは、レーダの照射範囲内に入った物の識別、対向車の速度、自車と対向車との距離を取得することができる。自車の速度を v_m 、対向車の速度を v_o と定義した場合、自車と対向車との相対速度 V_{mo} は 以下のように与えられる。

$$V_{mo} = v_m + v_o \quad (3.1)$$

自車と対向車の距離を d_i とした場合、取得された V_{mo} 、 d_i に応じて自動ブレーキが機能する制御設計を行った。Fig. 3.11 は相対速度と TTC (Time to collision) の関係を示している。Fig. 3.12 は相対速度と TTC から算出された、自車の停止可能な距離である。相対速度が 40 km/h の時、停止可能距離は、23.6 m であり、60 km/h の時、停止可能距離は 36 m と、相対速度が大きくなるにつれ、自車の停止可能距離も大きくなる。

Fig. 3.12 から以下のように自動ブレーキが介入するように設計した。

- i) V_{mo} が $50 \text{ km/h} < V_{mo}$ の時、 d_i が $d_i \leq 36 \text{ m}$ で自動ブレーキがかかる。
- ii) V_{mo} が $40 \text{ km/h} < V_{mo} \leq 50 \text{ km/h}$ の時、 d_i が $d_i \leq 30 \text{ m}$ で自動ブレーキがかかる。
- iii) V_{mo} が $V_{mo} \leq 40 \text{ km/h}$ の時、 d_i が $d_i \leq 23.6 \text{ m}$ で自動ブレーキがかかる。

なお、対向車の速度が 20 km/h 以下の場合、交差点内では、停止や右折、左折する可能性があるものとして、自動ブレーキが介入しないように設計した。Fig. 3.13 に相対速度依存ブレーキングシステムのフローチャートを示す。このフローチャートの開始は、右折速度制限システムが機能している状態で開始されるため、Fig. 3.7 の「End」から相

対速度依存ブレーキングシステムの制御が施される。Fig. 3.13 の処理条件として、自転車レーダから取得される対象物との相対速度と対象物との距離に応じて制御が条件分岐される。i, ii, iii, の条件の順に上から処理が流れ、条件を満たすと自動ブレーキが介入するようになっている。

設計したシステムのブレーキ応答をみるために、自転車と対向車を向かい合わせて走らせ、対向車の速度に応じて自動ブレーキのかかる距離が変化するか確認する。まず、Fig. 3.14に示すような車両モデルに簡易的なレーダモデルを搭載させる。レーダ長は 50 m , レーダ角は 45 deg と設定した。

Fig. 3.15 はシミュレーションを行った環境である。直進路上で自転車と対向車との距離は80 m 離れた状態からシミュレーションを行う。設計したシステムが制御条件を満たした時に、自動ブレーキが介入する。自動ブレーキは踏み込み量 [%] として示す。

シミュレーションの条件を以下に示す。(右折速度制限システムが機能している前提でシミュレーションを行うため、自転車の速度は10 km/h で走行させる。)

- ① $v_m : 10 \text{ km/h}$, $v_o : 20 \text{ km/h}$
- ② $v_m : 10 \text{ km/h}$, $v_o : 30 \text{ km/h}$
- ③ $v_m : 10 \text{ km/h}$, $v_o : 40 \text{ km/h}$
- ④ $v_m : 10 \text{ km/h}$, $v_o : 50 \text{ km/h}$

の4つのパターンのシミュレーションを行った。

3.4.2 シミュレーション結果

Fig. 3.16, Fig. 3.17, Fig. 3.18, Fig. 3.19は、①, ②, ③, ④のシミュレーション結果を示している。(a), (b), (c) は、それぞれ、自転車と対向車の車速、自転車と対向車との距離、自動ブレーキの踏み込み量を示している。横軸は共通してシミュレーション時刻 [s]である。

①のシミュレーション結果は、Fig. 3.16の (a) から対向車の速度は20 km/hであるため、対向車と自転車との距離が近くなっても自動ブレーキが介入していないことが、Fig. 3.16 (b), (c) から確認できる。②のシミュレーション結果は、Fig. 3.17の (a) から対向車の速度は30 km/h、自転車の速度は10 km/h であるため、相対速度は 40 km/h である。Fig. 3.17 (b) に示すように6.9 sで $d_i \leq 23.6 \text{ m}$ となり、同時に自動ブレーキが立ちあがっていることが、Fig. 3.17 (c) からわかる。③のシミュレーション結果は、Fig. 3.18 (a) から対向車の速度が40 km/h、自転車の速度は10 km/h であるため、相対速度は 50 km/h である。Fig. 3.18 (b) に示すように4.85 sで $d_i \leq 30 \text{ m}$ となっているため、同時に自動ブレーキが介入していることが Fig. 3.18 (c) からわかる。④のシミュレーション

結果は、Fig. 3.19 (a) に示すように、対向車の速度が50 km/h、自車の速度は10 km/h であるため、相対速度は 60 km/h である。Fig. 3.19 (b) に示すように3.6 s で $d_i \leq 36$ m となっているため、同時に自動ブレーキが介入していることが Fig. 3.19 (c) からわかる。

以上の結果から、対向車と自車の相対速度と対向車との距離に応じて自動ブレーキを介入させることができた。このことにより、対向車の直進スピードが大きい場合でも、自車が停止可能位置で自動ブレーキが介入するため、衝突を防ぐことができる。

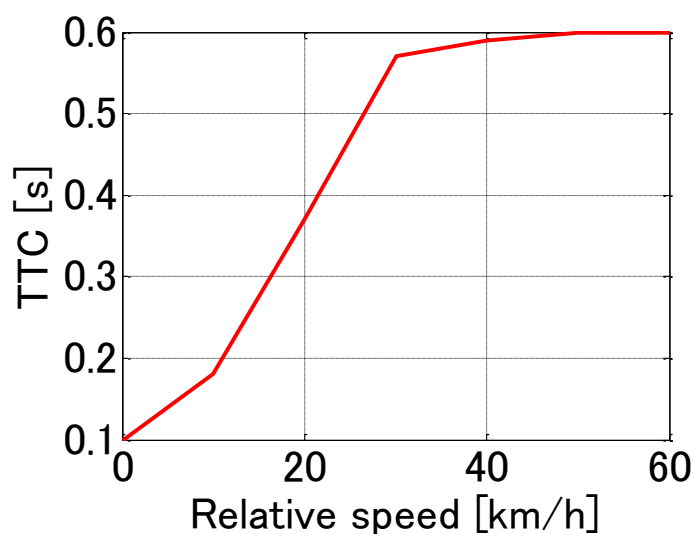


Fig. 3.11 Time to collision

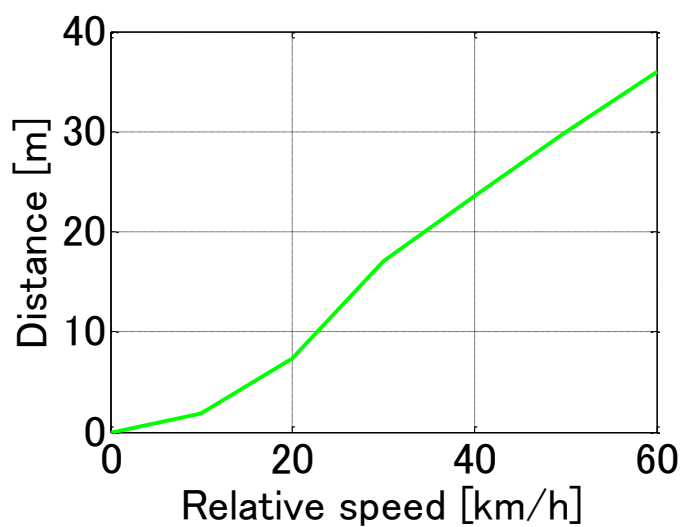
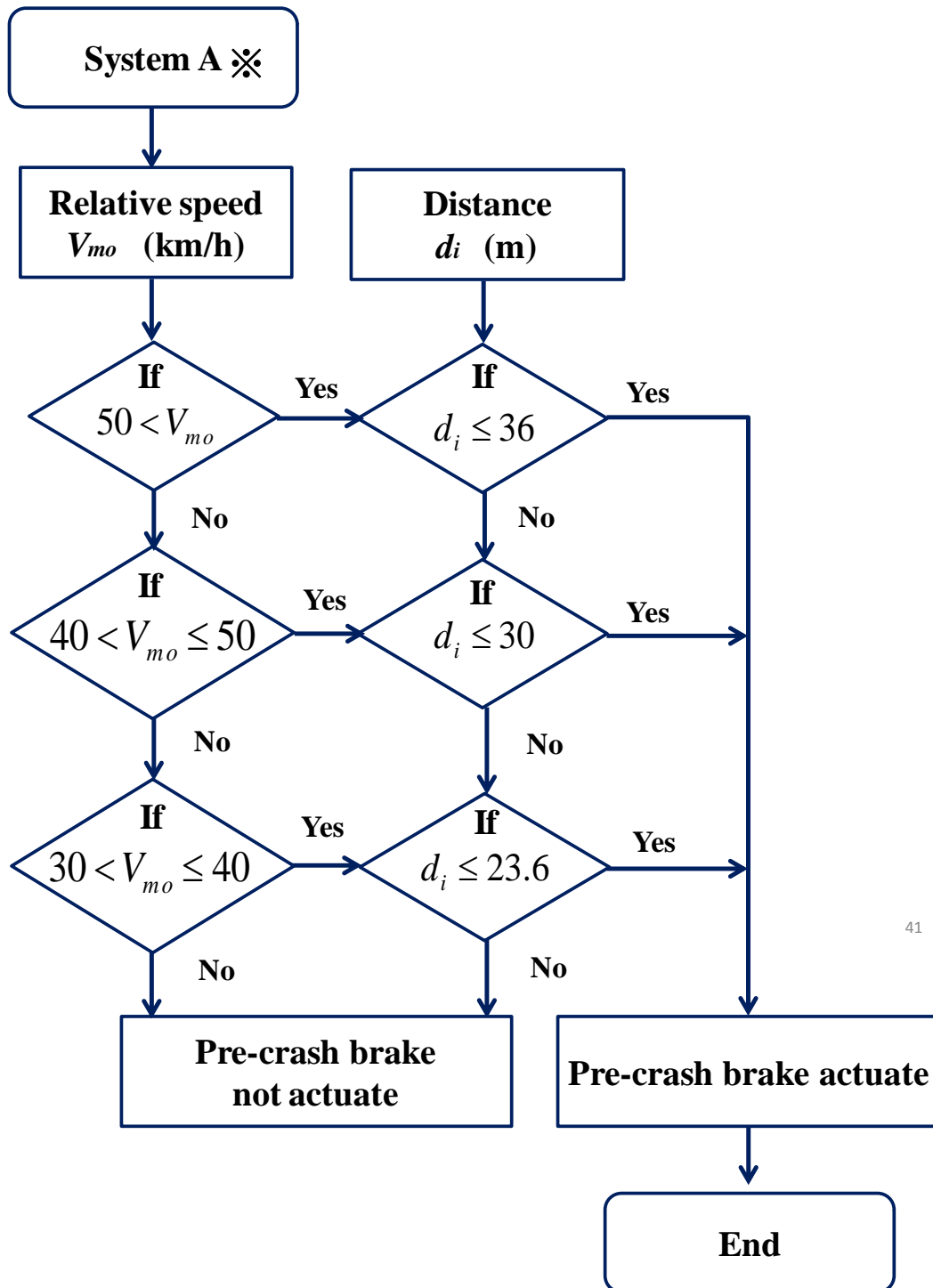


Fig. 3.12 Distance which vehicle can stop



41

Fig. 3.13 Flow chart of system B

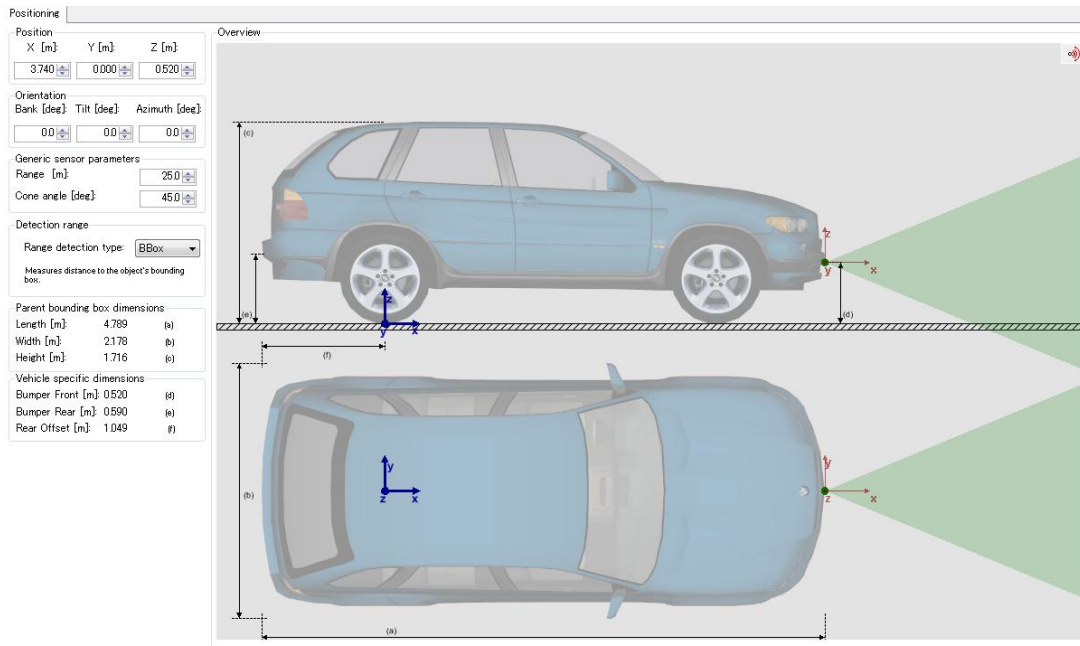


Fig. 3.14 Radar model

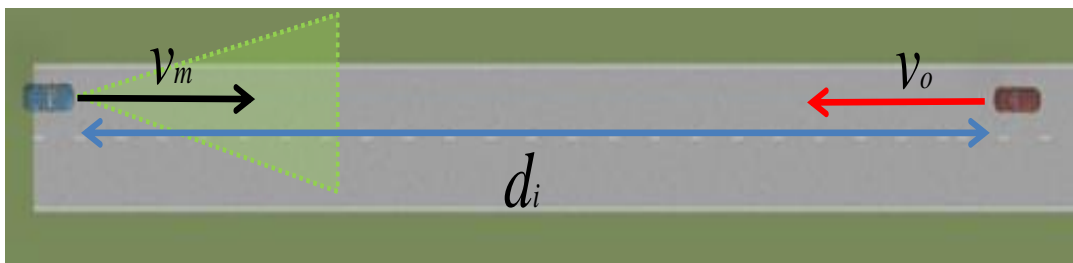
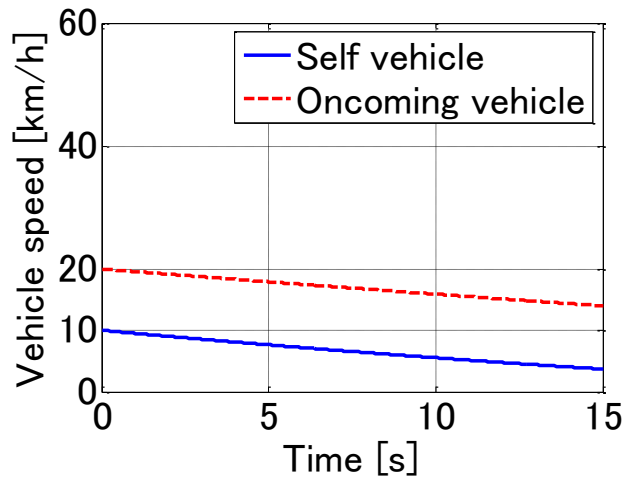
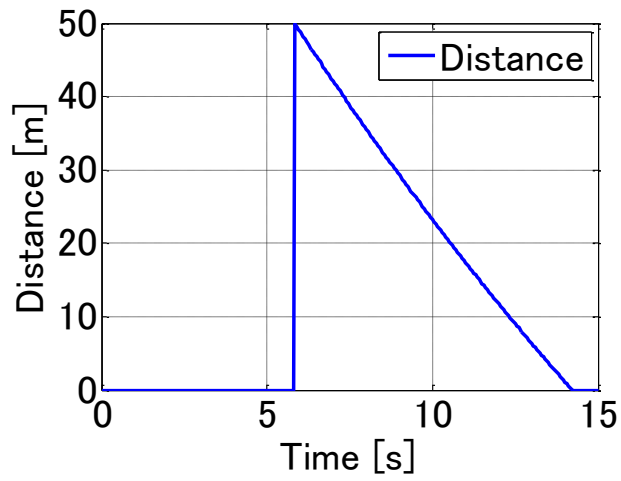


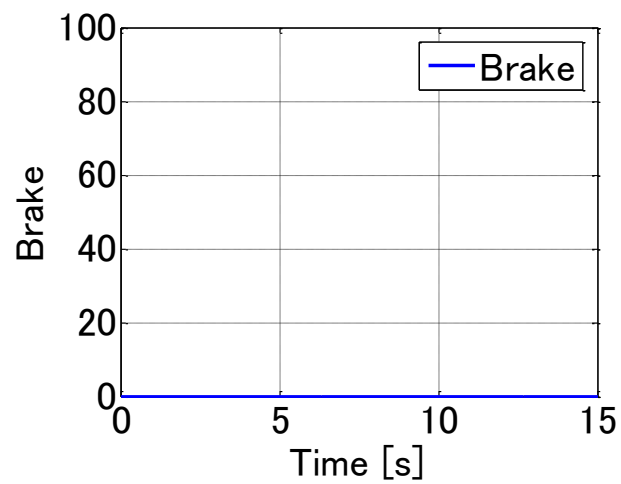
Fig. 3.15 Simulation condition



(a) Vehicle speed

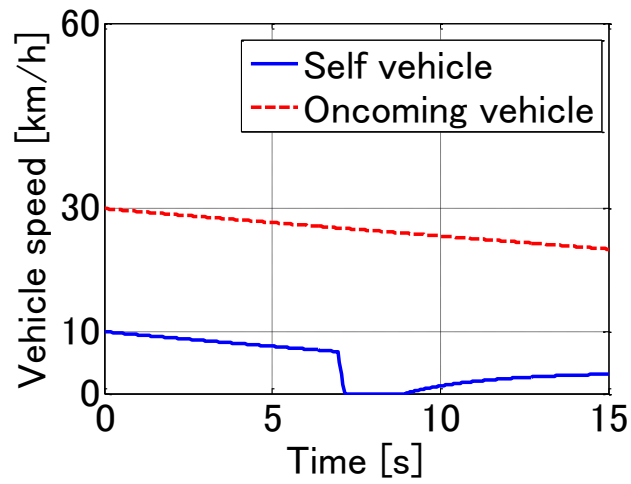


(b) Distance

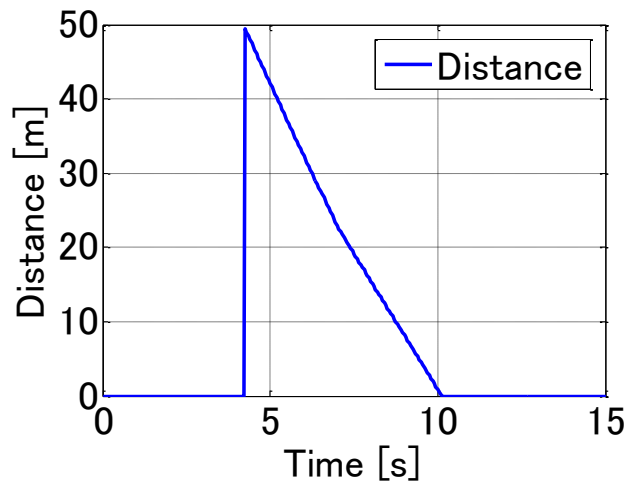


(c) Brake

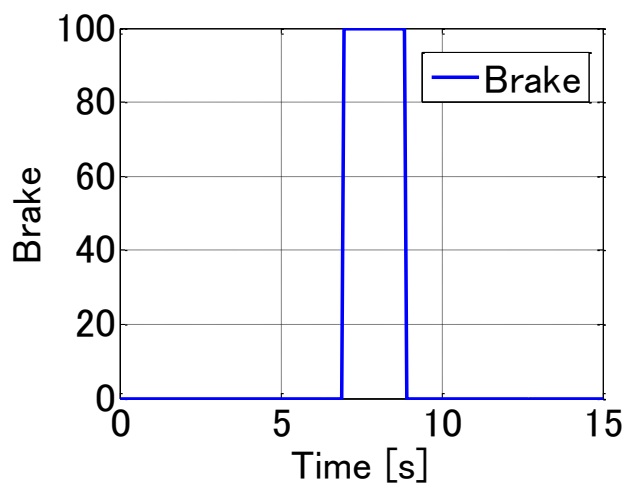
Fig. 3.16 Results of simulation ①



(a) Vehicle speed

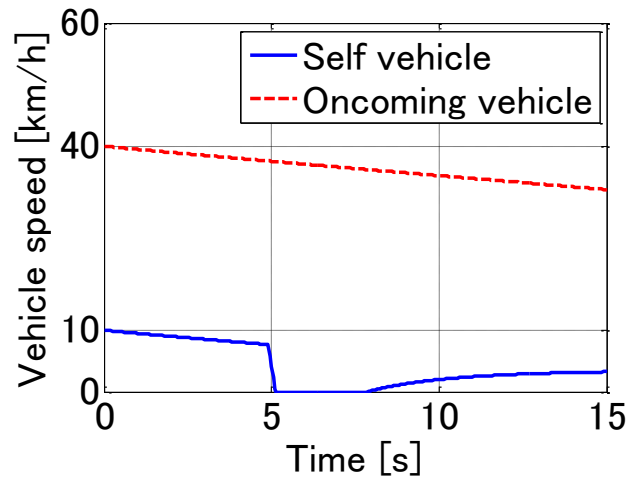


(b) Distance

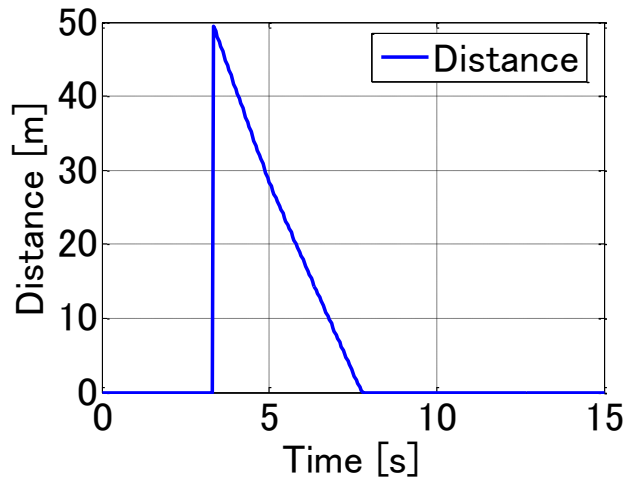


(c) Brake

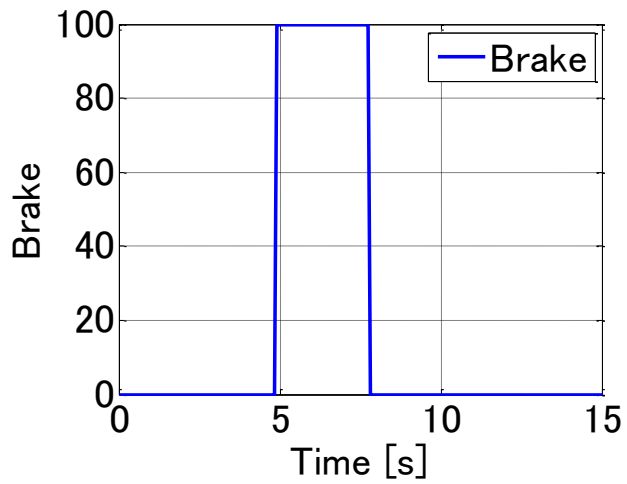
Fig. 3.17 Results of simulation ②



(a) Vehicle speed

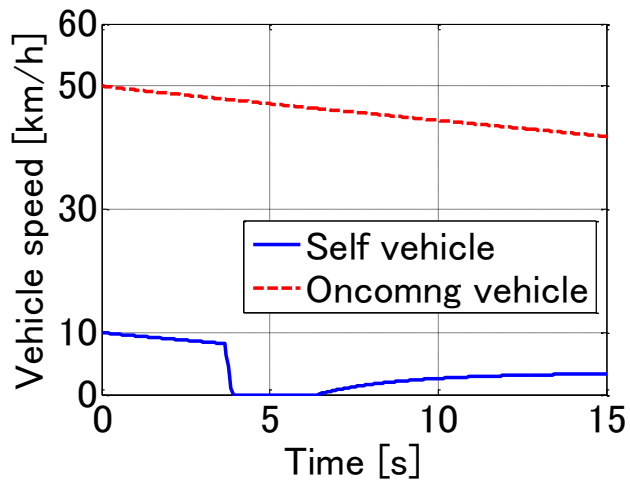


(b) Distance

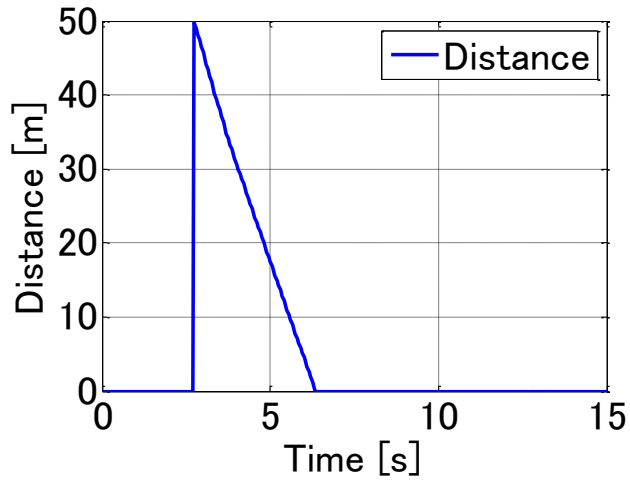


(c) Brake

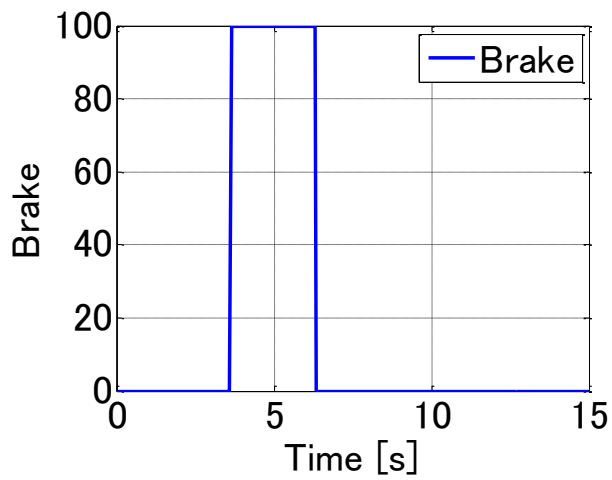
Fig. 3.18 Results of simulation ③



(a) Vehicle speed



(b) Distance



(c) Brake

Fig. 3.19 Results of simulation ④

3.5 インフラ協調システムを用いた運転支援システムの設計

3.5.1 システム概要

インフラ協調システム

インフラ協調システムを用いて右折行動の運転支援を行う。

右折時衝突事故で多いケースの一つとして、Fig. 3.20 に示すようなトラックなどの後方の死角から飛び出すバイクとの衝突があげられる。そこで、右折速度制限システム、相対速度依存ブレーキングシステムに加えて、自車と対向車との衝突だけではなく、死角からの飛び出しにも対応した運転支援システムの設計を行う。既存の PCS では、物陰の物体の検出を行うことは困難であり、突発的な飛び出しの場合、PCS が確実には機能しないため、衝突を完全に防ぐことはできない。まず、Fig. 3.21, Fig. 3.22 に示すように対向車線側へ対向車線の情報を取得できるレーダを設置し、対向車線の交通状況を早い段階で取得する。これにより交差点に近づく遠方の車両や障害物の情報を得ることができる。取得した交通状況を自車へ通信し、必要に応じて、自車の自動ブレーキ制御を介入するシステムを設計する。インフラ協調システム位置付けとして、対向車線の死角にいる対象物に対しての情報をインフラレーダにより取得し、その情報を自車へ通信する。その情報を基に自車の自動ブレーキが介入するが、死角などの情報を補うことで、右折速度制システムや相対速度依存ブレーキングシステムのデメリットを埋め合わせることになる。

設計したシステムの応答を確認するため、Fig. 3.21 のようなトラックの背後からバイクが交差点へ接近している状況のシミュレーションを行う。バイクの速度を v_b 、レーダとバイクとの距離を d_b とした場合、以下のようにシステムが機能する制御設計(条件分け)を行った。

- i) v_b が $v_b \leq 20 \text{ km/h}$ の時、バイクが左折、停止する可能性が高く、トップスピードで直進してくる意図はないものとして、自車のブレーキ制御はおこなわない。
- ii) v_b が $20 \text{ km/h} < v_b$ 、 d_b が $v_b < 5 \text{ m}$ 、自車の位置が交差点の停止線に位置する時、自車に自動ブレーキがかかる。

シミュレーションの条件を以下に示す。

レーダ長は 50 m, レーダ角は45 deg として、

- ① v_b : 10 km/h
- ② v_b : 60 km/h

の2つのパターンのシミュレーションを行った。

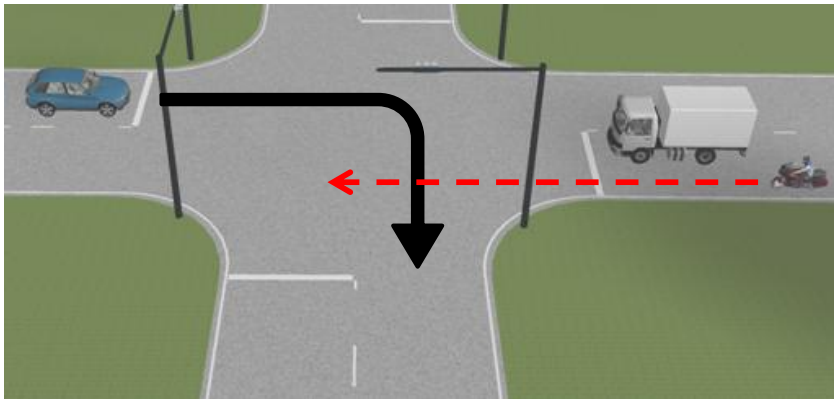


Fig. 3.20 Blind condition

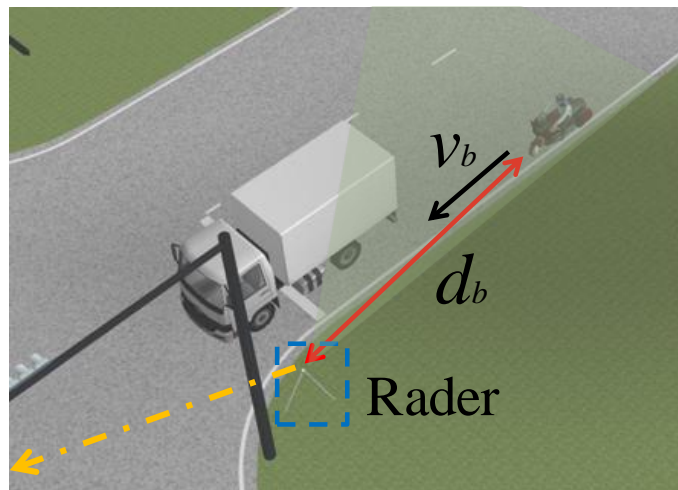


Fig. 3.21 Infrastructure radar system

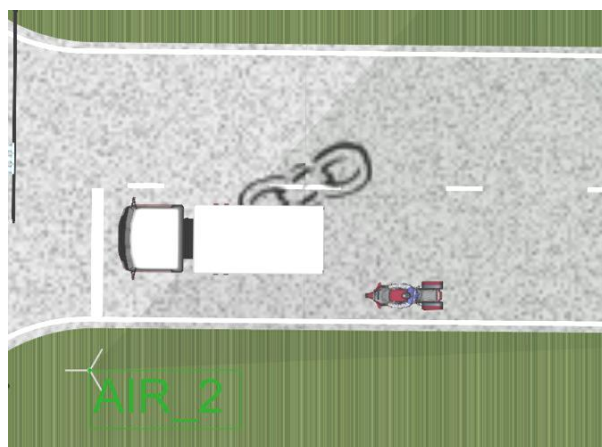
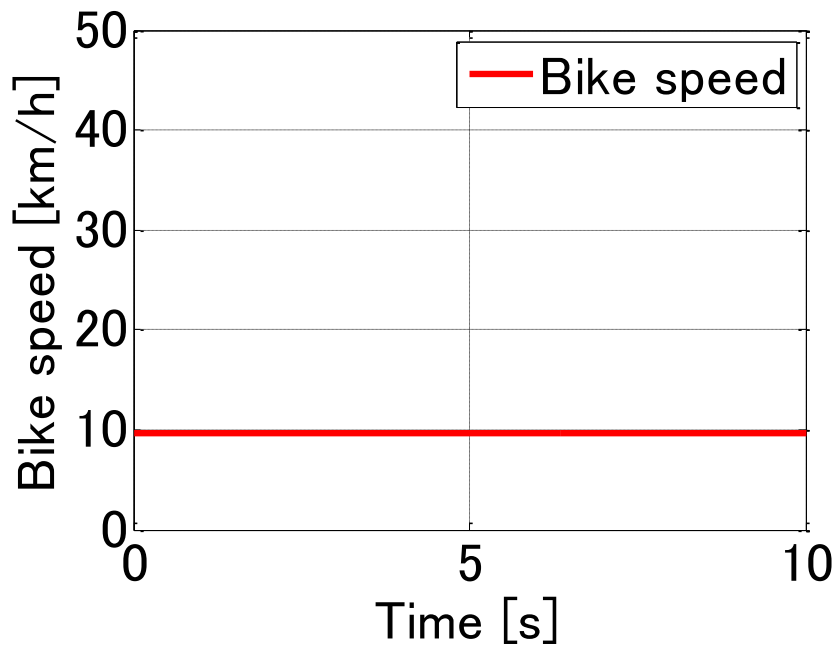


Fig. 3.22 Top view of Infrastructure radar system

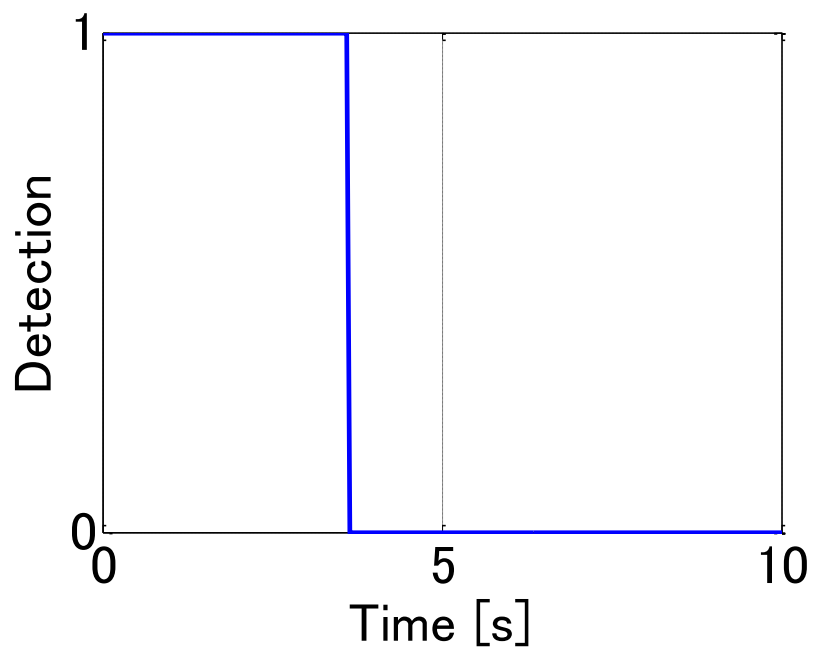
3.5.2 シミュレーション結果

Fig. 3.23, Fig. 3.24, はそれぞれ, 条件①, ②のシミュレーション結果である. (a) はバイクの速度を示しており, (b) はバイクとレーダとの距離, (c) は, 対向車線側の交差点に設置されたレーダによるバイクの検知状態, (d) は自車のブレーキの踏み込み量を示している. レーダにより, バイクを検知するとシステムのトリガーとして立ち上がる. 検知した場合, 出力が 1 となり, 未検知の場合, 出力が 0 の状態となる. バイクの速度 v_b が 10 km/h の場合, Fig. 3.23 の (b), (c), (d) から, 2.75 s でレーダとの距離が $v_b < 5$ m となっても自車の自動ブレーキがかかっていないことがわかる. 一方, バイクの速度 v_b が 60 km/h の場合, Fig. 3.24 (b), (d) から 0.45 s で $v_b < 5$ m となり, 自車の自動ブレーキがかかっていることがわかる. これらの結果からトラックの背後に存在するバイクの走行状況に応じて自車の自動ブレーキ制御を行っていることが確認できた.

自車ドライバが交差点に差し掛かり, 停止線で停止した際, 右折以外の行動をすることが考えられる. 左折や直進を行う際に, i, ii の制御条件を満たしてしまうと, ドライバが意図しない場面で自動ブレーキがかかり, 運転の妨げにつながってしまう. そこで, DS を用いた検証では, ドライバの右折行動をシステム側が把握するために, ドライバがウィンカーから右ターン信号を出力している状態で, i, ii の制御条件のもと, システムが機能するように設計を行った. また, 自車の走行状況によっては, 交差点の停止線に差し掛かる前に, 自動ブレーキがかかってしまう可能性も考えられる. そこで, インフラ協調システムによる制御の要素に自車の位置を考慮した. 自車の位置, バイクの位置の双方を制御条件に入れることにより, 交差点に差し掛かる前に自動ブレーキがかかる問題が解決される. DS による検証では, 新たに追加した制御条件を含めて, 評価していく.

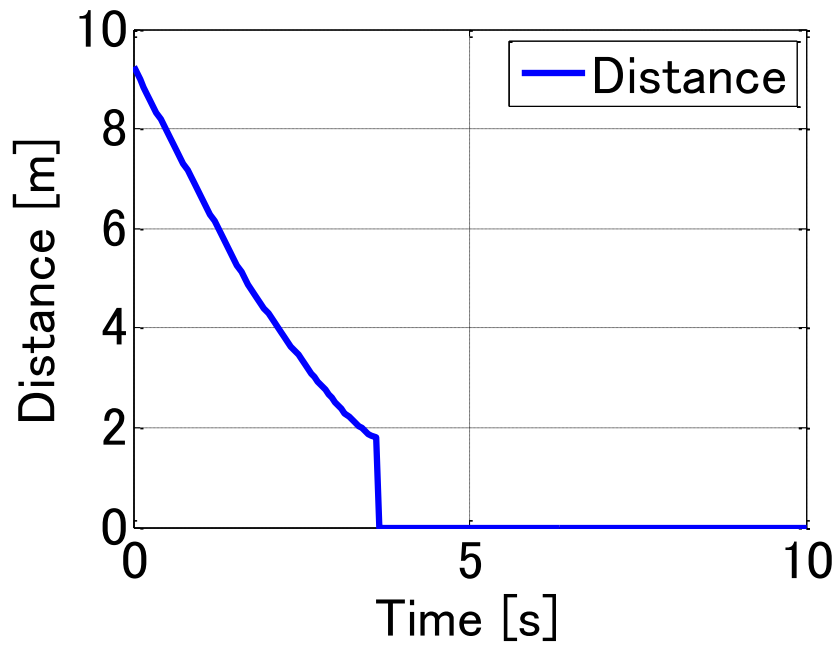


(a) Bike speed

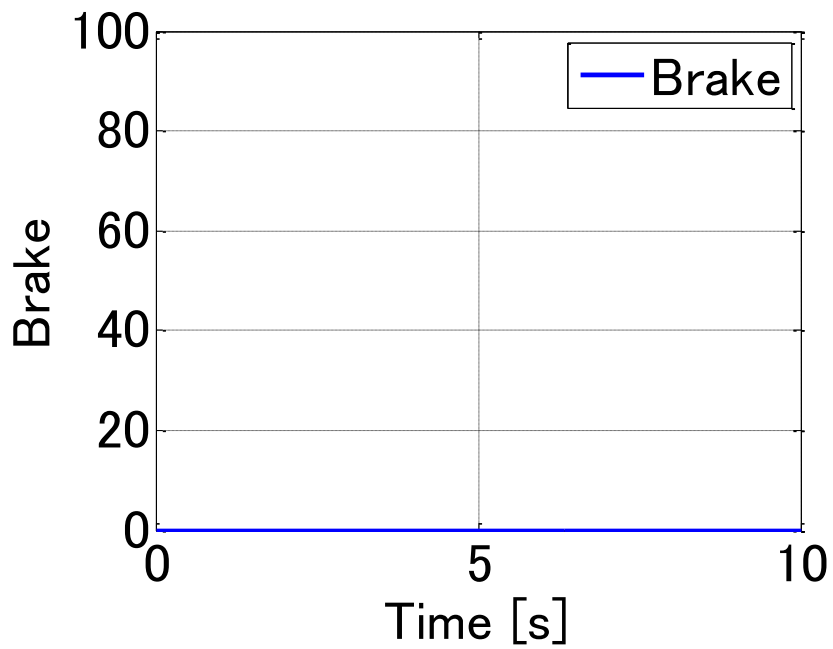


(b) Detection

Fig. 3.23 Results of simulation ① (1)

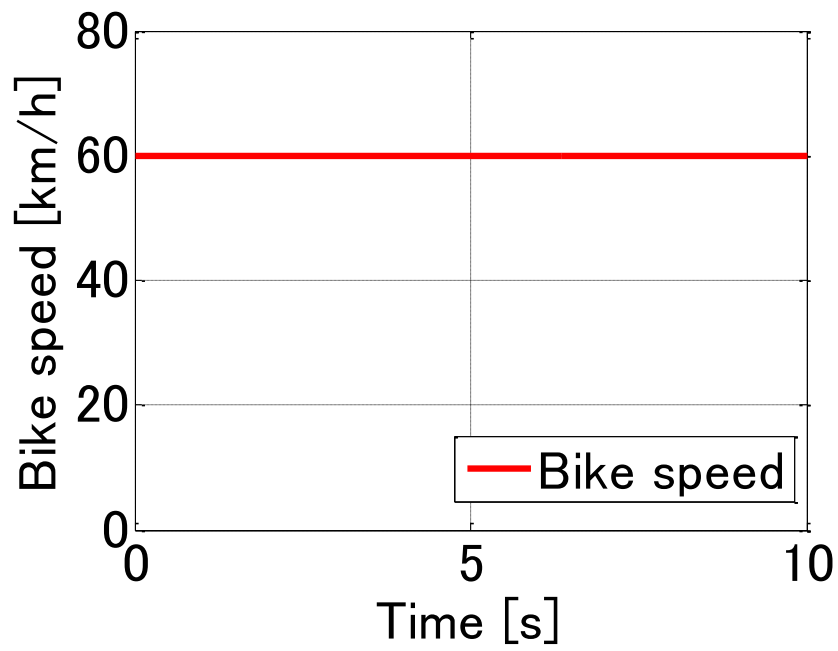


(c) Distance

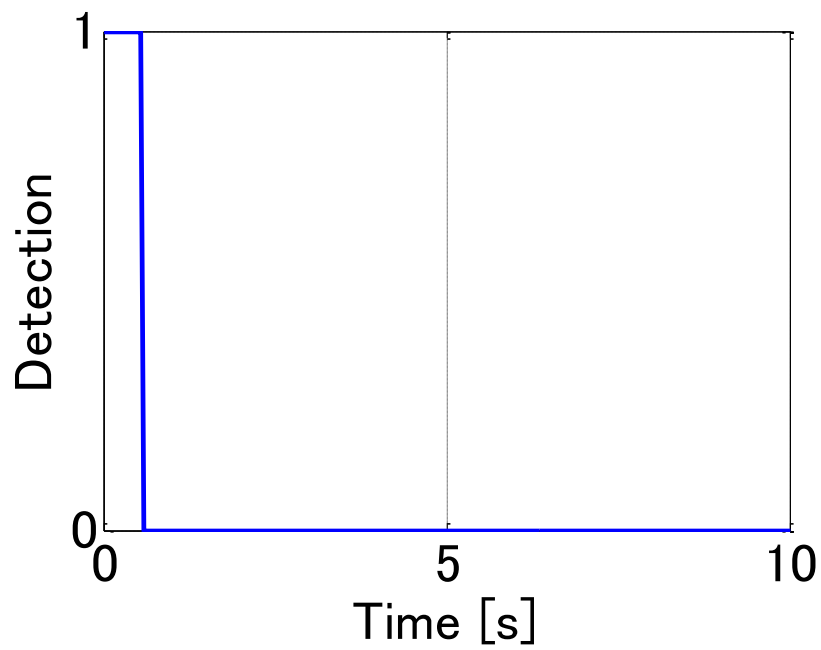


(d) Brake

Fig. 3.23 Results of simulation ① (2)

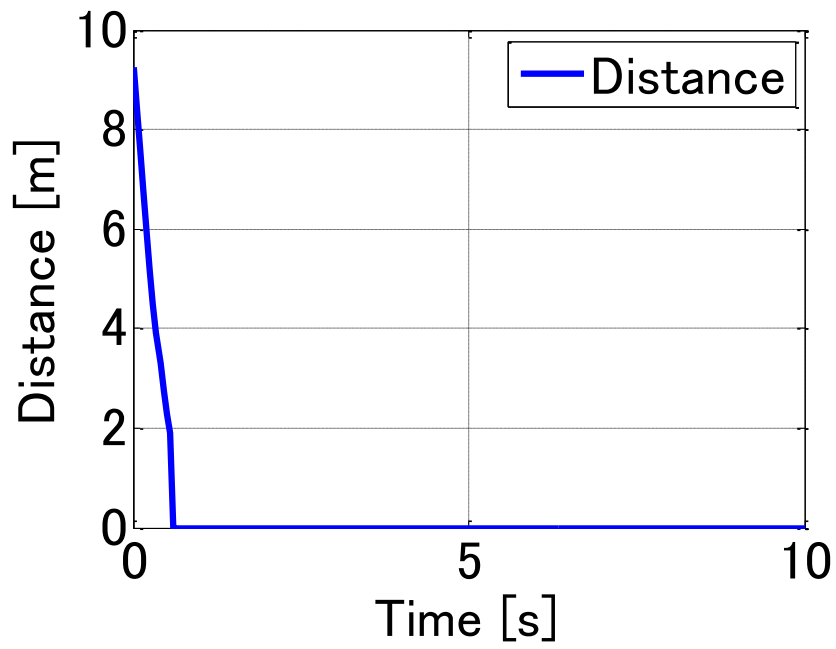


(a) Bike speed

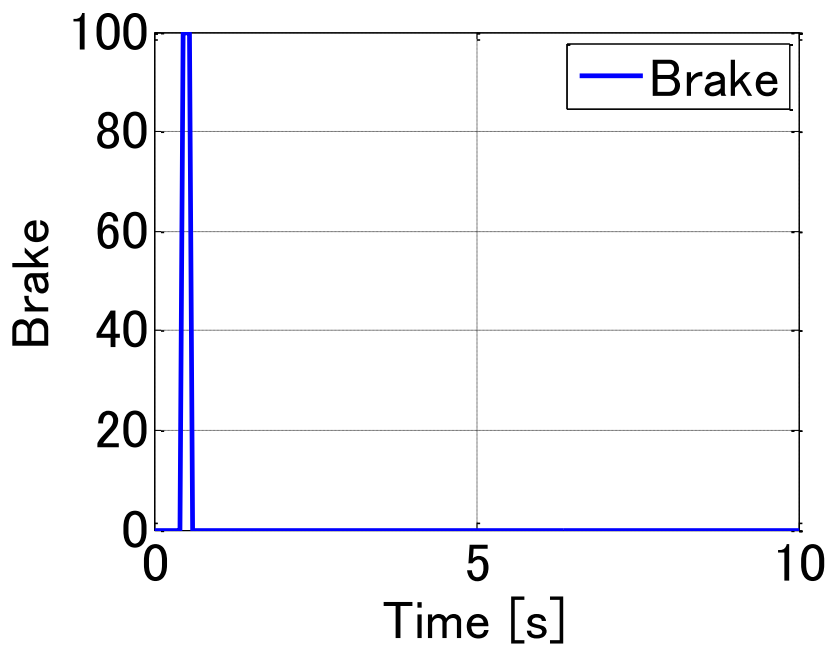


(b) Detection

Fig. 3.24 Results of simulation ② (1)



(c) Distance



(d) Brake

Fig. 3.24 Results of simulation ② (2)

3.6 3章まとめ

3章では、右折時における四輪自動車相互（直進車と対向車）の衝突と、四輪自動車とバイクとの衝突を防ぐための運転支援システムの提案，設計を行った。右折車と対向車との衝突だけではなく，トラックなどの死角からバイクが突発的に飛び出すシーンなども対象とした。

・右折速度制限システム（システム A）

右折行動の先行や，衝突の被害軽減をするために右折車の右折時の最高速度を 10 km/h 以下に制限することで，右折行動の防止と，右折車の速度を瞬時に停止することが可能とし，衝突事故が生じてしまった場合の被害を最低限のレベルに抑える運転支援システムを設計した。対向車線の自動車の直進スピードが小さい場合は，直進車との衝突を防止することができたが，直進車の直進スピードが大きい場合は，直進車と衝突してしまうケースが発生した。このことから，右折速度制限システムに加え，対向車の速度を考慮し，自車との相対速度に応じて自動ブレーキが作動するタイミングをかえなければいけないことがわかった。

・相対速度依存ブレーキングシステム（システム B）

既存の PSC は，実路で他車両の走行状況に応じて，自動ブレーキのタイミングを変化させることは困難であり，実用化されていない。そこで，自車と対向車との相対速度を考慮し，その相対速度に応じて自動ブレーキがかかる距離を変化させるシステムを設計した。結果，対向車と自車の相対速度と対向車との距離に応じて自動ブレーキを介入させることができた。このことにより，対向車の直進スピードが大きい場合でも，自車が停止可能位置で自動ブレーキが介入するため，衝突を防ぐことができることがわかった。

・インフラ協調システム

右折時衝突事故で多いケースの一つとして，トラックなどの後方の死角から飛び出すバイクとの衝突があげられる。そこで，右折速度制限システム，相対速度依存ブレーキングシステムに加えて，自車と対向車との衝突だけではなく，死角からの飛び出しにも対応した運転支援システムの設計を行った。既存の PCS では，物陰の物体の検出を行うことは困難であり，突発的な飛び出しの場合，PCS が確実には機能しないため，衝突を完全に防ぐことはできない。しかし，インフラ協調システムを用いることで，死角からバイクが飛び出す場合でも，自車の自動ブレーキをインフラレーダから得られた情報により，介入させることができた。

4章 設計した運転支援システムのドライビングシミュレータによる検証

4.1 設計した運転支援システムの検証実験

4.1.1 実験方法

右折時衝突事故で多いケースの一つとして、対向車線のトラックなどの背後から接近してくるバイクと右折車との衝突がある。このケースの右折事故を防ぐことができれば、右折時衝突事故の半数以上をカバーすることになる。そこで、3章で設計した運転システムを2章で述べた DS を用いて検証する。3章では、ドライバの操作の妨げになる要因やドライバの行動を考慮した場合の検証を十分行うことができなかった。ドライバの運転行動、他の交通状況に応じて、システムが機能するか確認するためには、実際に、ドライバは、運転支援システムが搭載された車で運転を行う必要がある。

Fig. 4.1 に示すように、交差点付近の交通環境を模擬するため、2次元の underlay 上で停止線や信号を設置した。Fig. 4.1 の左側から自車が走行し、右側から対向車が走行する道路を設計した。Fig. 4.2 は、3D に可視化された走行コースの交差点部分を示している。また、Fig. 3.5 (a) に示した走行コースと同様に片道の車幅は 約3.8 m、交差点内の広さは、約12 × 12 m となっている。自車が右折を行う場面で、前方からは対向車が直進し、交差点の停止線手前で停止する。自車の右折行動を開始すると同時にバイクがトラックの背後から直進してくる状況を模擬した。

死角からのバイクの突発的な飛び出しに対して、設計した運転支援システムがどのように機能するか検証するため、ドライバは自分でブレーキを踏まない。レーダによる後検知や遅延はないものとする。道路交通法に基づき、あくまでもバイク側は、直進車であるため、交差点付近で、減速をせず、直進する。バイクの飛び出すタイミングは、自車が交差点に差しかかる位置をバイク側のシステムへ送信し、自車の座標を指定することで同じタイミングで飛び出すように設計した。DS で実験を行うことで得られるデータは、ドライバの運転操作からハンドル角、アクセルとブレーキの踏み込み量、ウィンカーである。車両モデルから得られるデータは、右折速度制限システムが作動している時のエンジンへのアクセルの開度、自動ブレーキの踏み込み量、自車とバイクの X, Y 座標である。得られたデータから、ドライバの行動、バイクの走行状況、交差点の交通状況に応じて、設計したシステムが機能しているか検証する。また、設計した3つのシステムを同時系列で比較を行い、システムの優位性を示す。

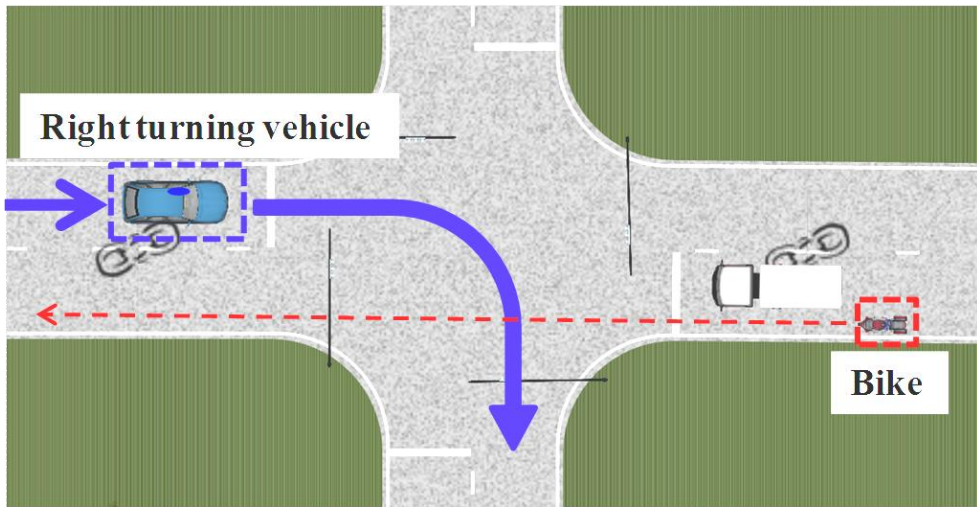


Fig. 4.1 2D model of test course

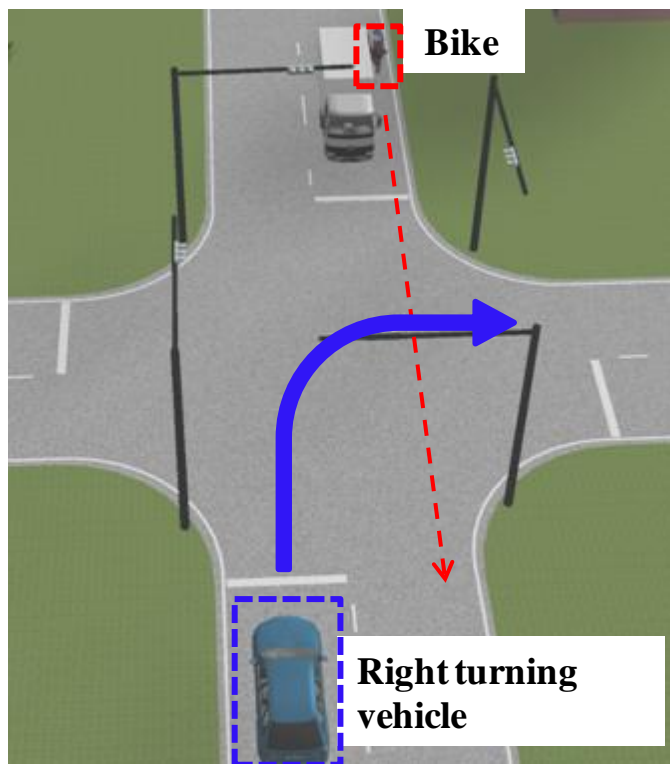


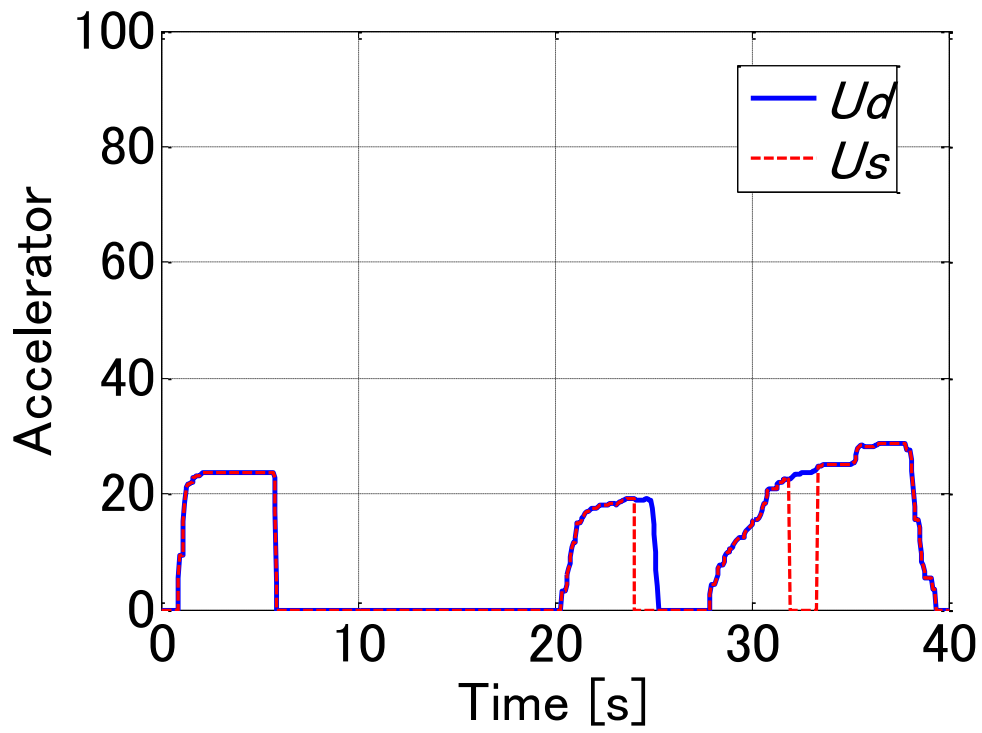
Fig. 4.2 Overview of intersection point

4.1.2 右折速度制限システムの検証結果

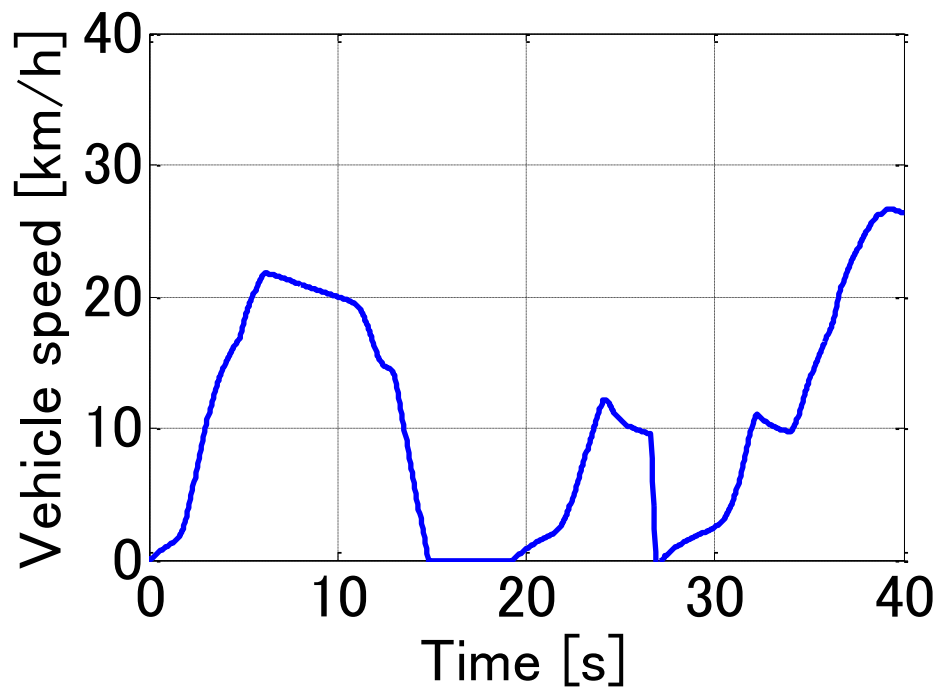
Fig.4.3 は右折速度制限システム を用いた結果である。なお、右折速度制限システム に用いたレーダは、レーダ長：50 m, レーダ角：45 deg であり、自車と対象物との距離が 3m 以下になると自動ブレーキがかかるように設計した。Fig. 4.3 (a) はアクセルの踏み込み量であるが、ドライバーによるアクセルの踏み込み量は u_d , システムが作動している時のエンジンへのアクセルの開度を u_s とする。Fig. 4.3 (b) は自車の車速, Fig. 4.3 (c) はウィンカーの入力状態, Fig. 4.3 (d) はハンドル角, Fig. 4.3 (e) はブレーキの踏み込み量, Fig. 4.3 (f) は自車とバイクの軌跡および、自車の自動ブレーキシステムがかかった時間における自車とバイクの位置を示している。Fig. 4.3 (c) ウィンカーについては右ターンスイッチの入力状態を表しており、右ターンスイッチを入力した場合、「1」が出力される。Fig.4.3 (a), (b), (c), (d), (e) についての横軸はすべてシミュレーション時刻 [s] である。Fig.4.3 (f) は横軸が X座標, 縦軸が Y座標である。

・ Fig. 4.3 の結果について

Fig. 4.3 (c), (d) に示すように20 s 手前で一時停止を行い, 20 s 過ぎあたりから交差点を右折し始めていることがわかる。ウィンカーの右ターン信号が出力され, 右折を行おうと, 一時停止状態から, アクセルを踏み加速を行うが, ハンドル角が -90 deg 以上入力された状態となると, 車速は 10 km/h 付近に制限されていることが確認できる。Fig. 4.3 (e) における10 s ~ 20 s の間の波形は, ドライバが交差点の停止線付近で停止するためにブレーキを踏み込んだ時の波形である。また, 27 s 付近でバイクと自車との距離が 3m 以下となり, 自動ブレーキがかかっていることがわかる。Fig. 4.3 (f) に示すように, 自車とバイクは衝突をしていないが, 徐行以下の自車に対して, 50 km/h で直進してくるバイクを検知する時間帯は一瞬だけであり, 速度制御をしていなかった場合, 十分に自車の速度を減速できないため, バイクと衝突してしまう可能性が高くなると考えられる。右折速度を徐行速度以下に抑えることにより, Fig. 4.3 (f) のような交差点内で急停止しても追従する後続車も徐行速度以下に速度を制限されるので, 後続車と自車の追突の被害は被害が軽減されると考えられる。直進車の速度によっては, 自動ブレーキではなく, ドライバの操作によるブレーキでも衝突が回避可能となるケースを考慮すると, 今回設定した自動ブレーキがかかる距離：3 m で十分であるのか, 様々な距離で検証すべきである。そのため, 速度依存ブレーキングシステムの優位性を同時に示す必要がある。

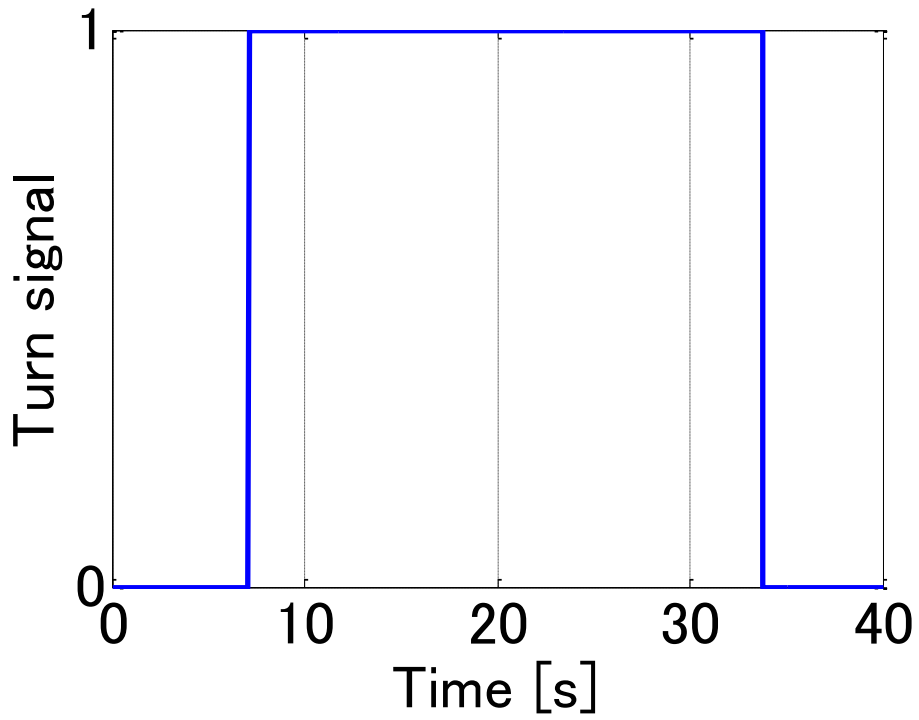


(a) Accelerator

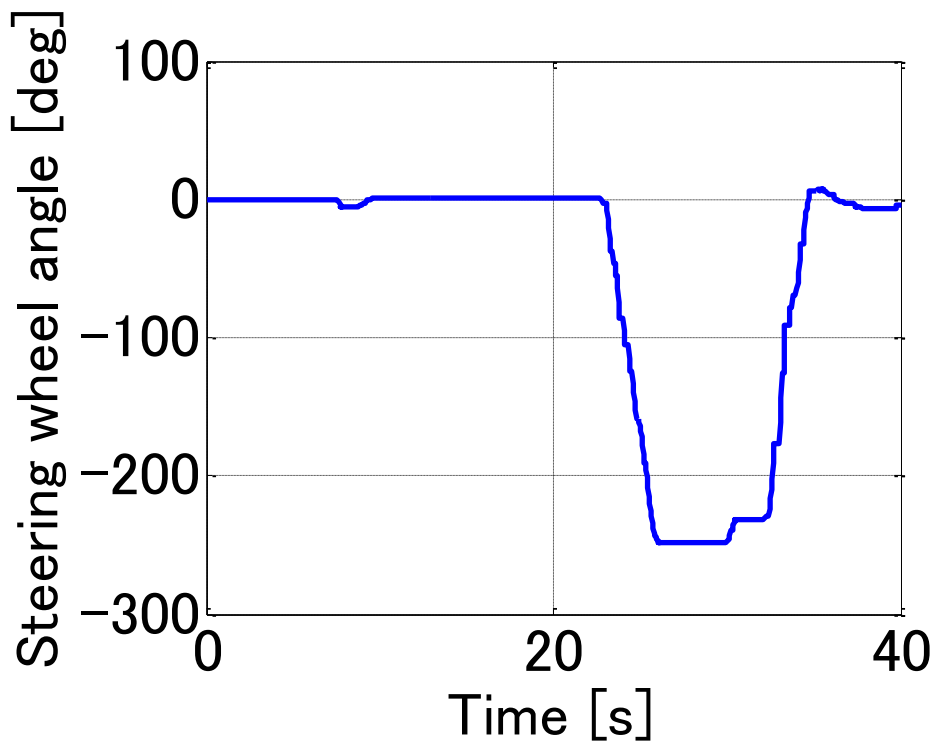


(b) Vehicle speed

Fig. 4.3 Results of system A using driving simulator (1)

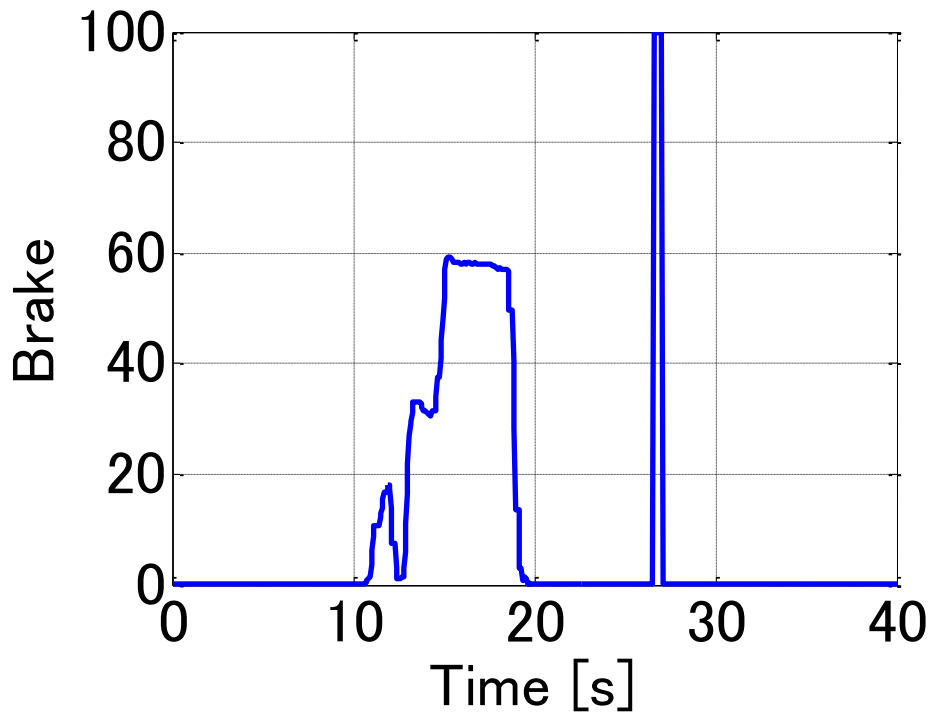


(c) Turn signal

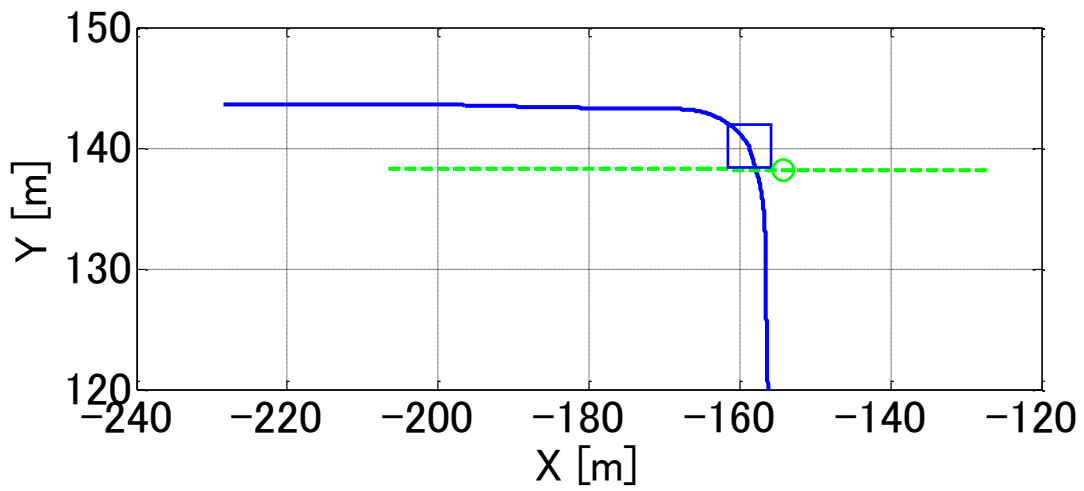


(d) Steering wheel angle

Fig. 4.3 Results of system A using driving simulator (2)



(e) Brake



(f) Vehicle trajectory on X-Y

- Right - turning vehicle
- - - Bike

Fig. 4.3 Results of system A using driving simulator (3)

4.1.2 相対速度依存ブレーキングシステムの検証結果

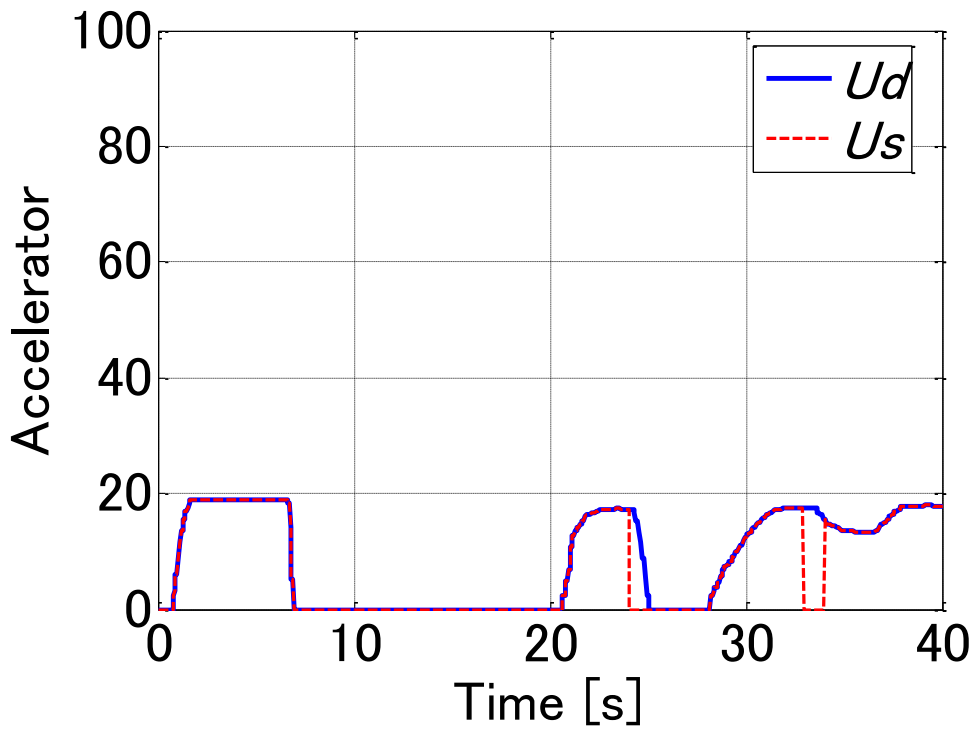
Fig.4.4 は相対速度依存ブレーキングシステムを用いた結果である。なお、相対速度依存ブレーキングシステム に用いたレーダは、レーダ長：50 m, レーダ角：45 deg である。

Fig. 4.4 (a) は、アクセルの踏み込み量であるが、ドライバによるアクセルの踏み込み量は u_d , システムが作動している時のエンジンへのアクセルの開度を u_s とする。Fig. 4.4 (b) は自車の車速, Fig. 4.4 (c) はウィンカーの入力状態, Fig. 4.4 (d) はハンドル角, Fig. 4.4 (e) はブレーキの踏み込み量, Fig. 4.4 (f) は自車とバイクの軌跡および、自車の自動ブレーキシステムがかかった時間における自車とバイクの位置を示している。Fig. 4.4 (c) のウィンカーについては右ターンスイッチの入力状態を表しており、右ターンスイッチを入力した場合、「1」が出力される。Fig.4.4 (a), (b), (c), (d), (e) についての横軸はすべてシミュレーション時刻 [s] である。Fig.4.4 (f) は横軸が X座標, 縦軸が Y座標である。

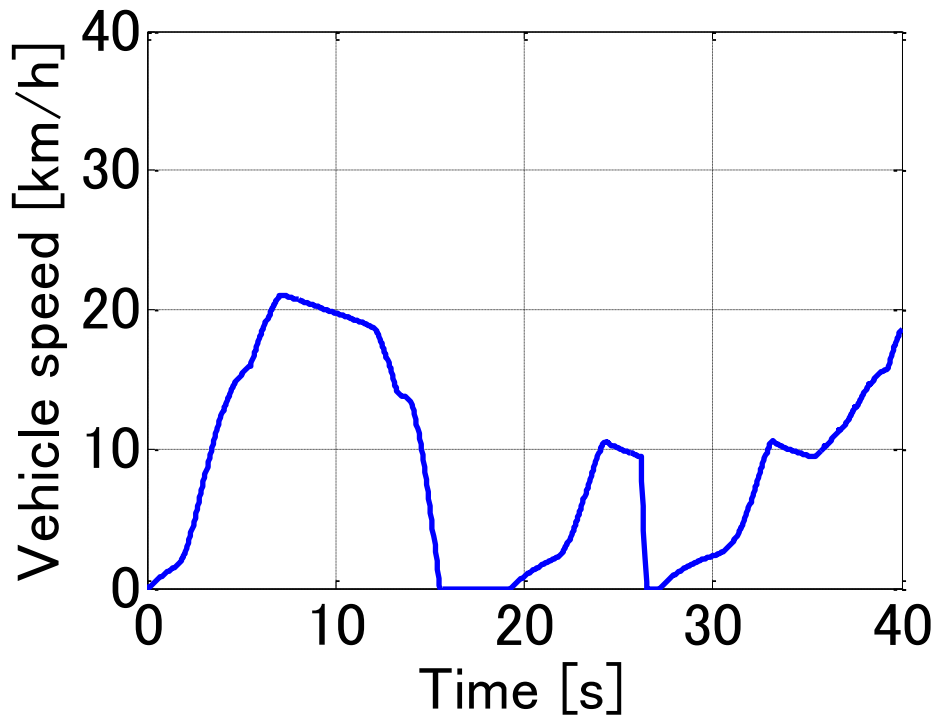
・ Fig. 4.4 の結果について

Fig. 4.4 (a), (b), (d) のグラフから20 s 過ぎにアクセルを踏み込み、加速して、交差点を右折し始めていることがわかる。Fig. 4.4 (e) における10 s ~ 20 s の間の波形はドライバが交差点の停止線付近で停止するためにブレーキを踏み込んだ時の波形である。また、自車とバイクとの距離、バイクの速度を自車レーダにより検知し、バイクの速度が 50 km/h, 自車の速度 10 km/h であったため、相対速度は 60 km/h 以上となる。そのため、バイクがトラックの背後から現れ、自車レーダにより検知された時、自車とバイクとの距離が30 m 以下であったため、自動ブレーキがたちあがっている。これは、3章で設計したシステムの制御が正しく機能していることがわかる。相対速度に応じて、自動ブレーキ制御を自車の停止可能距離内で開始させることができたが、どの距離の範囲まで扱うかによっては、ドライバの意図しない場所で自動ブレーキがかかり、後続車との追突やドライバの運転の妨げにつながってしまう危険性がある。そのため、シミュレーション内で歩行者や他車両を増やし、交差点の交通状況を複雑にした場合、どのような結果を得るか検証する必要がある。自動ブレーキのタイミングを早くすることで死角から飛び出してきたバイクに対して十分な距離を保ち停止することは確認できたが、交差点内で自動ブレーキをかけてもよいエリアの定義を明確にしていかなければならない。

Fig. 4.4 (b) から右折時における自車の速度が 10 km/h 付近で制限されていることがわかる。相対速度依存ブレーキングシステムと右折速度制限システムと組み合わせた場合、自動ブレーキ制御の介入のタイミングが早くなると同時に、徐行速度以下で右折を行うよう速度制御されるので、後続車との追突被害が軽減されると考えられる。

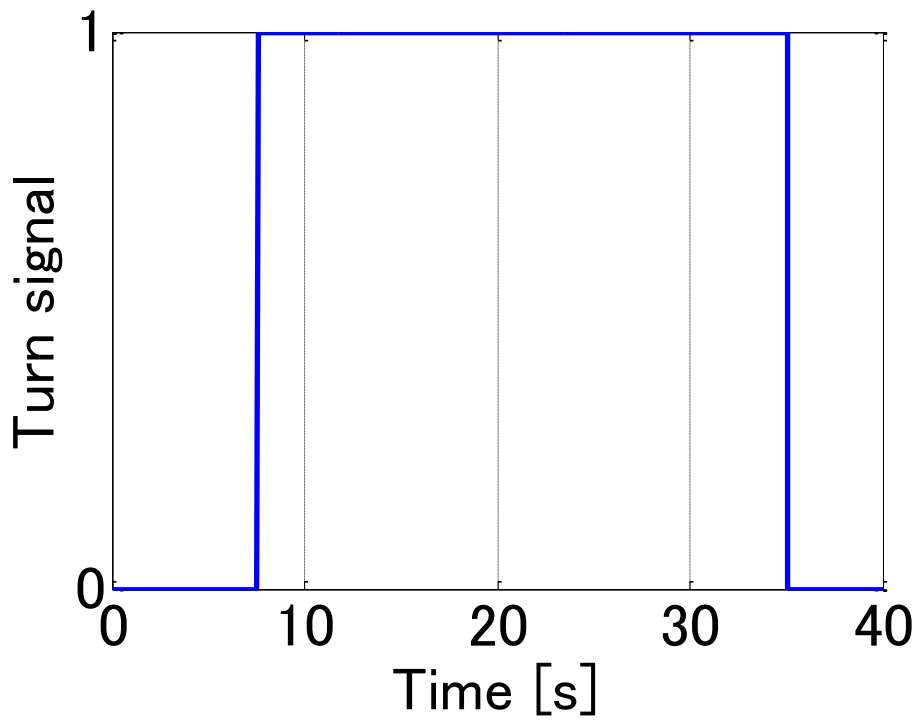


(a) Accelerator

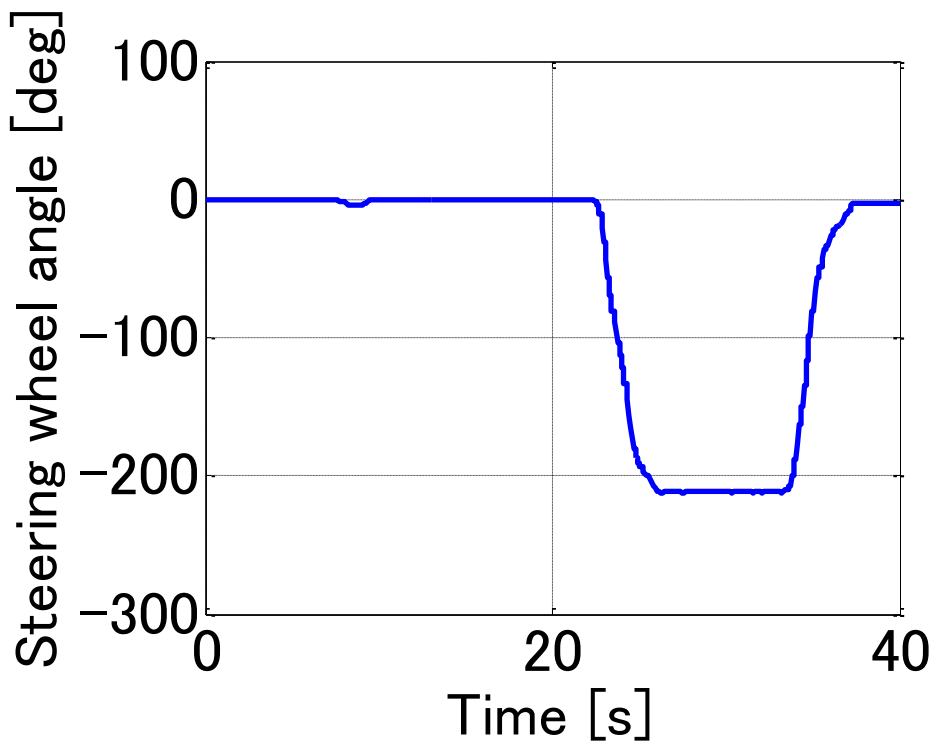


(b) Vehicle speed

Fig. 4.4 Results of system B using driving simulator (1)

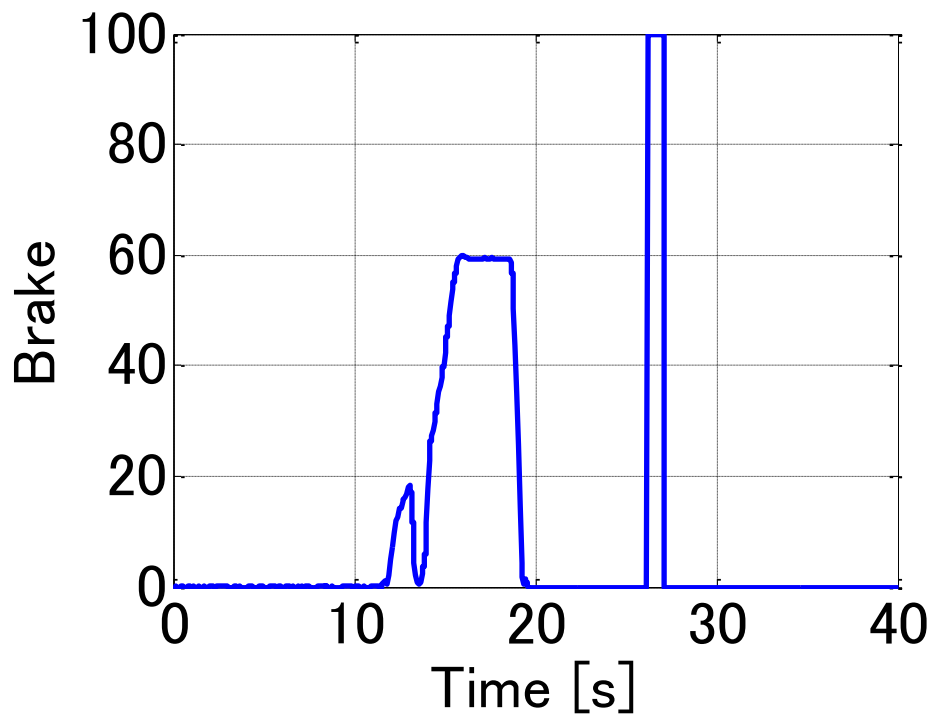


(c) Turn signal

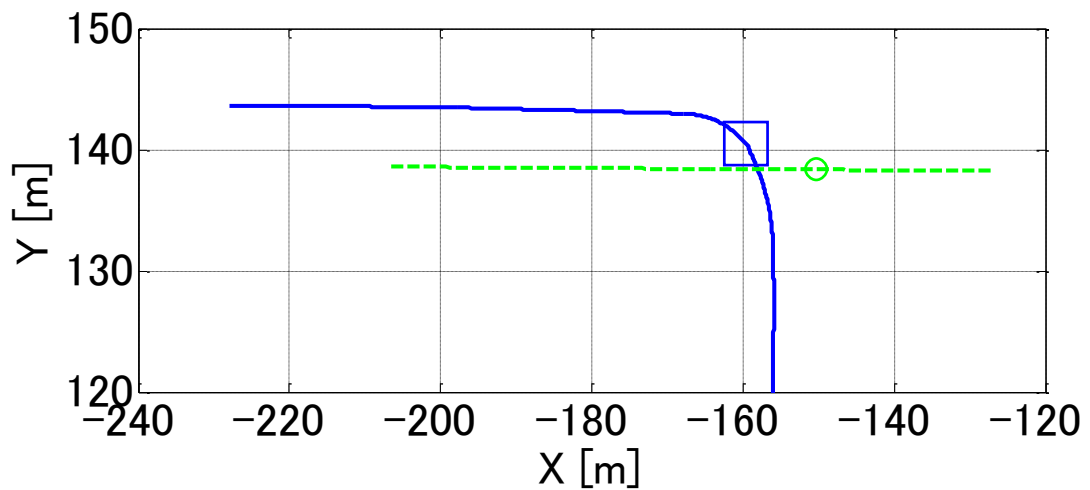


(d) Steering wheel angle

Fig. 4.4 Results of system B using driving simulator (2)



(e) Brake



(f) Vehicle trajectory on X-Y

- Right - turning vehicle
- - - Bike

Fig. 4.4 Results of system B using driving simulator (3)

4.1.3 インフラ協調システムを用いた運転支援システムの検証結果

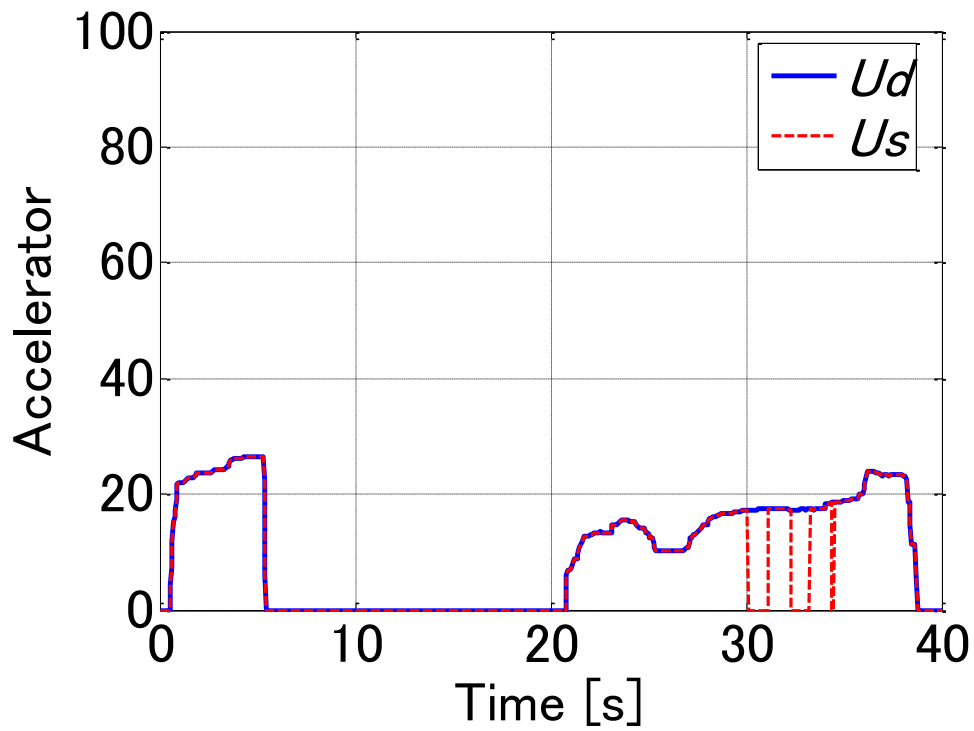
Fig.4.5 はインフラ協調システムを用いた、結果である。なお、インフラ設備として設置したレーダは、レーダ長：50 m、レーダ角：45 deg である。3章で設計した制御条件を満たした場合、自動ブレーキがかかる距離は 5 m とした。また、新たな制御条件として、自車の位置の要素を取り入れ、交差点前の停止線に位置していない場合、3章で設計した制御条件を満たしても、自動ブレーキが機能しないように設計した。

Fig. 4.5 (a) はアクセルの踏み込み量であるが、ドライバによるアクセルの踏み込み量は u_d 、システムが作動している時のエンジンへのアクセルの開度を u_s とする。Fig. 4.5 (b) は自車の車速、Fig. 4.5 (c) はウィンカーの入力状態、Fig. 4.5 (d) はハンドル角、Fig. 4.5 (e) はブレーキの踏み込み量、Fig. 4.5 (f) は自車とバイクの軌跡および、自車の自動ブレーキシステムがかかった時間における自車とバイクの位置を示している。Fig. 4.5 (c) のウィンカーについては同様に、右ターンスイッチの入力状態を表しており、右ターンスイッチを入力した場合、「1」が出力される。Fig.4.5 (a), (b), (c), (d), (e) についての横軸はすべてシミュレーション時刻 [s] である。Fig.4.5 (f) は横軸が X座標、縦軸が Y座標である。

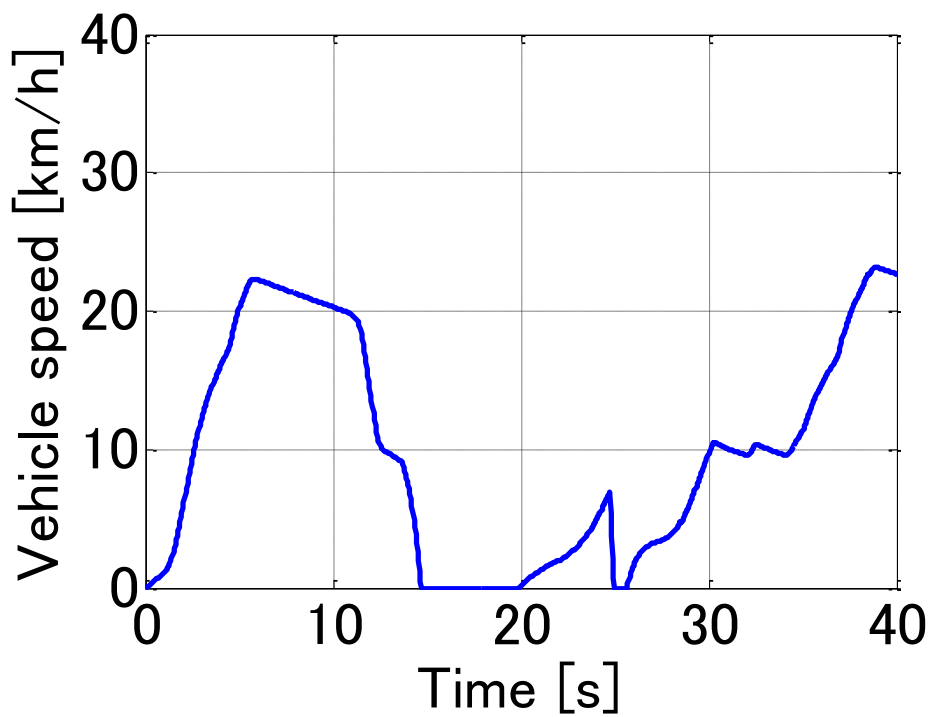
・ Fig. 4.5 の結果について

Fig. 4.5 (a), (b), (d) のグラフから20 s 過ぎにアクセルを踏み込み、加速して、交差点を右折し始めていることがわかる。Fig. 4.5 (e) における10 s ~ 20 s の間の波形は、ドライバが交差点の停止線付近で停止するためにブレーキを踏み込んだ時の波形である。また、対向車線側へレーダを設置しているため、早い時点でバイクを検知し、自車が交差点の停止線から発進する直後に自動ブレーキがかかっていることが Fig. 4.5 (e), (f) から確認できる。トラックの背後から交差点に近づくバイクの存在を早い段階で検知したことで、自車は交差点内へ差し掛かる前に自動ブレーキで停止し、バイクが過ぎ去った後、右折を行うことができている。また、自動ブレーキの制御はドライバがウィンカーを右に出すことで、システム側はドライバが右折すると判断している。そのため、Fig. 4.5 (c), (d) からウィンカーの右ターン信号を出した上で、自動ブレーキ制御が行われていることがわかる。インフラ協調システムは、バイクとレーダとの距離が5 m 以下になった時に自動ブレーキがかかるようになっているが、自車の位置も考慮した制御設計を行ったため、自車が交差点の停止線に差し掛からなければ、自動ブレーキが機能しないようになっている。

自車が交差点内に位置した場合は、自動ブレーキがかかるタイミングを適切にする必要がある。そのため、インフラ協調システムは自車の位置が重要となるため、交差点内の位置によって自動ブレーキをかける制御条件を設けなければならない。

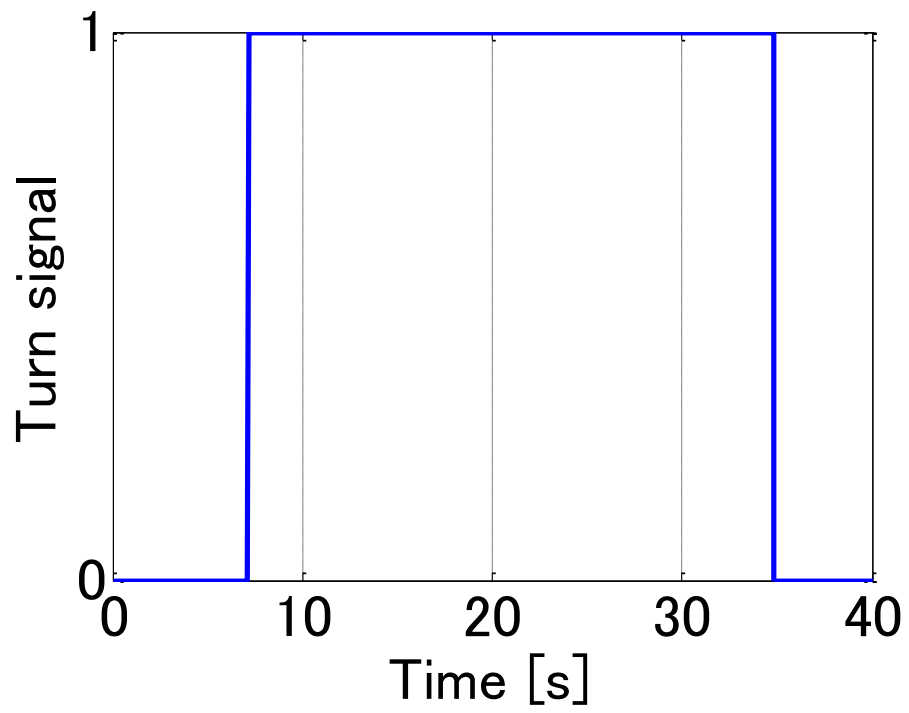


(a) Accelerator

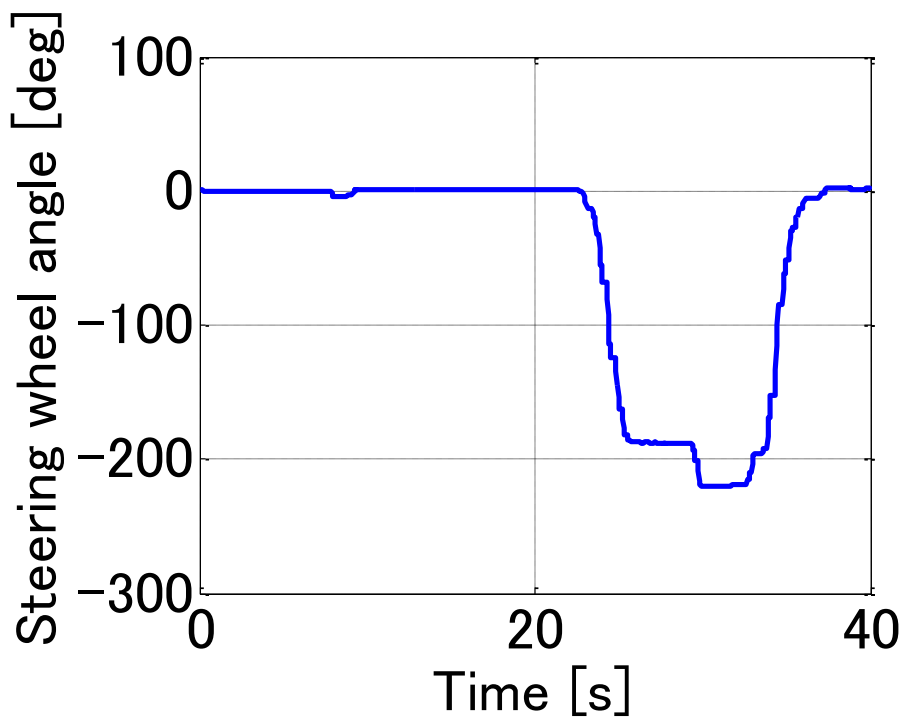


(b) Vehicle speed

Fig. 4.5 Results of infra system using driving simulator (1)

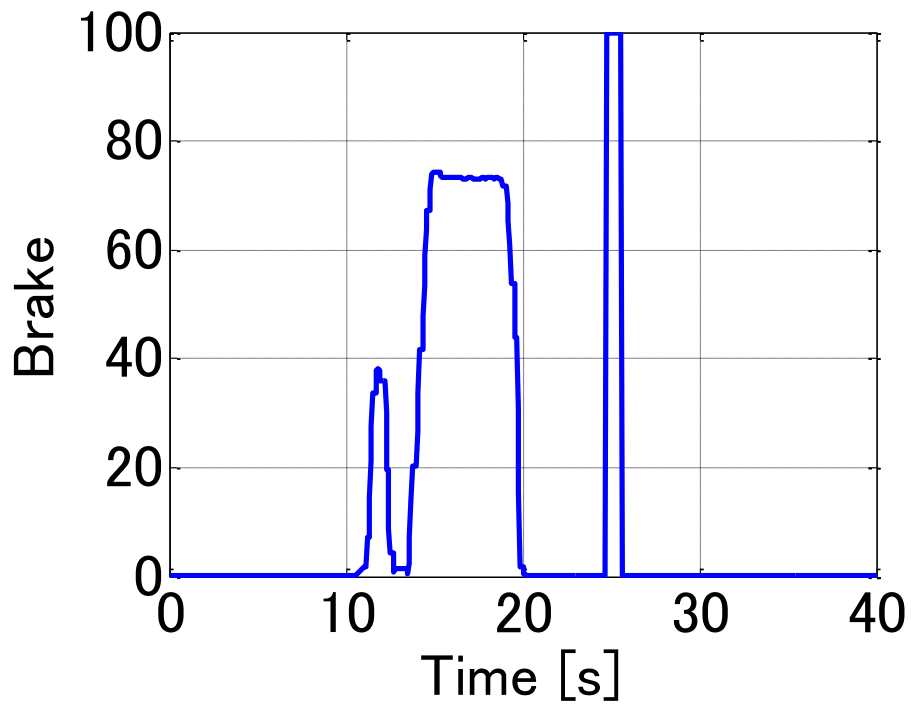


(c) Turn signal

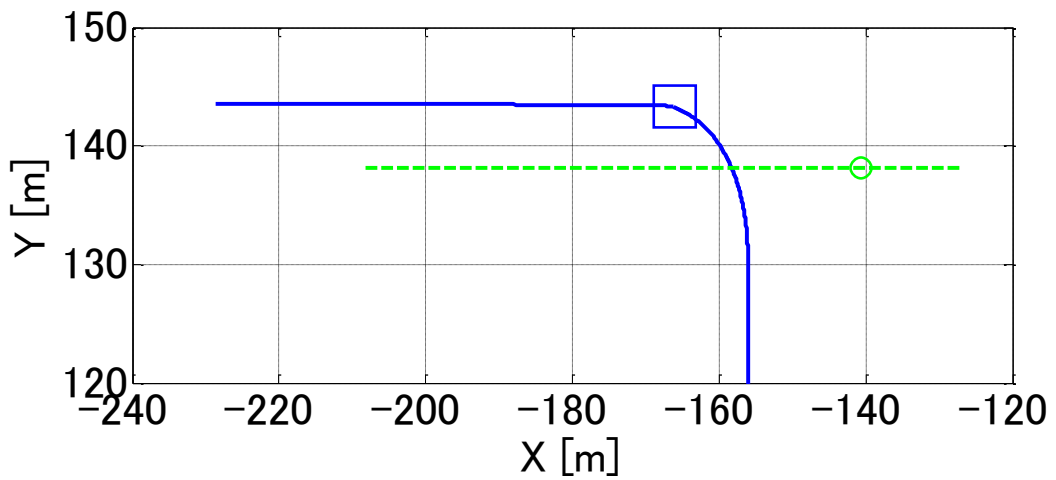


(d) Steering wheel angle

Fig. 4.5 Results of infra system using driving simulator (2)



(e) Brake



(f) Vehicle trajectory on X-Y

- Right - turning vehicle
- - - Bike

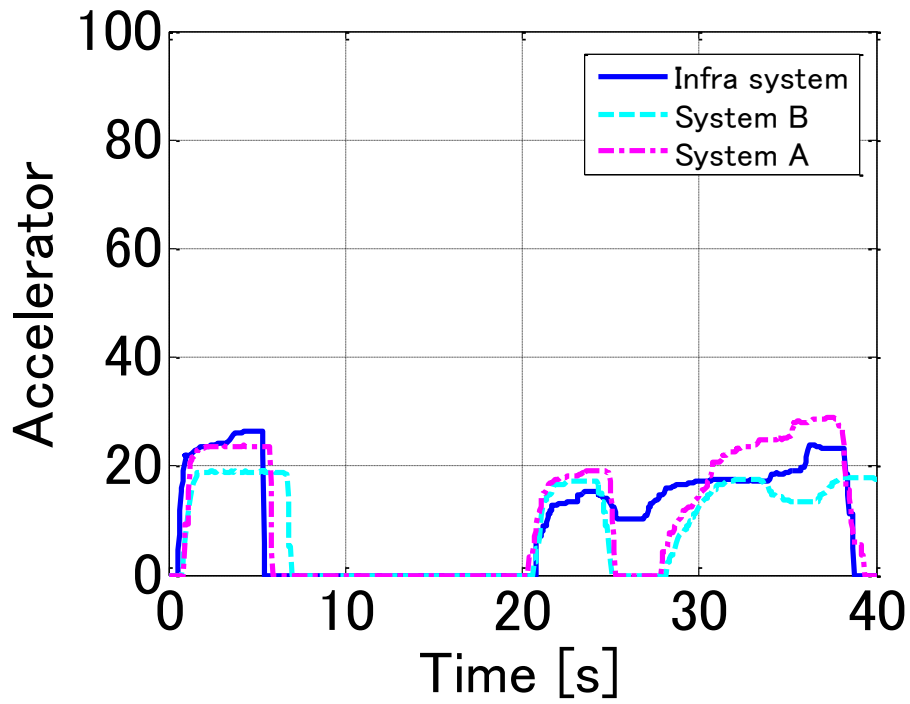
Fig. 4.5 Results of infra system using driving simulator (3)

4.1.3 設計した運転支援システムの比較

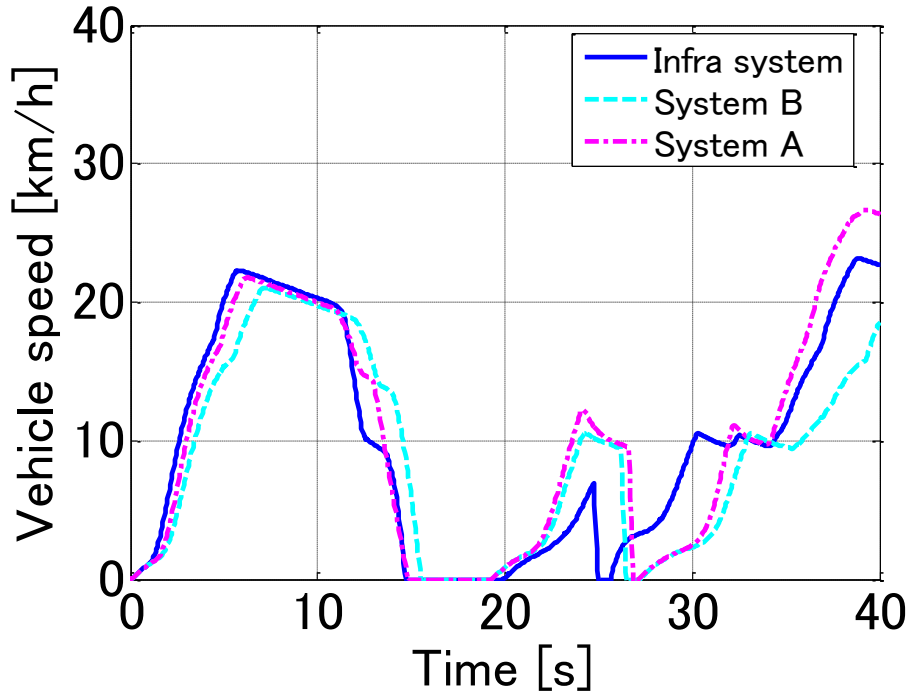
Fig.4.6 は設計した運転支援システムの結果比較である。Fig. 4.6 (a) はドライバによるアクセルの踏み込み量, Fig. 4.6 (b) は自車の車速, Fig. 4.6 (c) はウィンカーの入力状態, Fig. 4.6 (d) はハンドル角, Fig. 4.6 (e) はブレーキの踏み込み量, Fig. 4.6 (f) は自車とバイクの軌跡および, 自車の自動ブレーキシステムがかかった時間における自車とバイクの位置を示している。Fig. 4.6 (c) のウィンカーについては右ターンスイッチの入力状態を表しており, 右ターンスイッチを入力した場合, 「1」が出力される。Fig.4.6 (a), (b), (c), (d), (e) についての横軸はすべてシミュレーション時刻 [s] である。Fig.4.6 (f) は横軸が X座標, 縦軸が Y座標である。

Fig. 4.6 (a), (d) に示すようにインフラ協調システムを用いた場合は, 他のシステムに比べて, 自車の右折時における加速度が小さい。右折後のハンドル戻しの際にアクセルを踏み, 加速していることがわかる。バイクの飛び出しタイミングは, 3つのシステムの検証時においてすべて同じである。Fig. 4.6 (e), (f) からインフラ協調システム, 相対速度依存ブレーキングシステム, 右折速度制限システムの順に自動ブレーキの介入するタイミングが早いことがわかる。インフラ協調システムを用いた場合, バイクの存在の検知が早いため, 自車とバイクとの距離に余裕がある。また, Fig. 4.6 (f) から自車の自動ブレーキがかかった位置を比較すると, 右折速度制限システム, 相対速度依存ブレーキングシステムは, 交差点内で停止したのに対し, インフラ協調システムでは交差点の停止線付近でブレーキがかかり, 停止していることがわかる。右折を行う自車に続く後続車のことを考慮すると, 交差点内で急停止するよりも, 右折行動が始まる停止線付近で停止した方が後続車との追突の被害の可能性が低くなると考えられる。

対向車線にレーダセンサが設置されていない交差点では, 右折速度制限相対速度依存ブレーキングシステム のような自車両側のブレーキ制御が適切に機能することが理想であると考えられる。

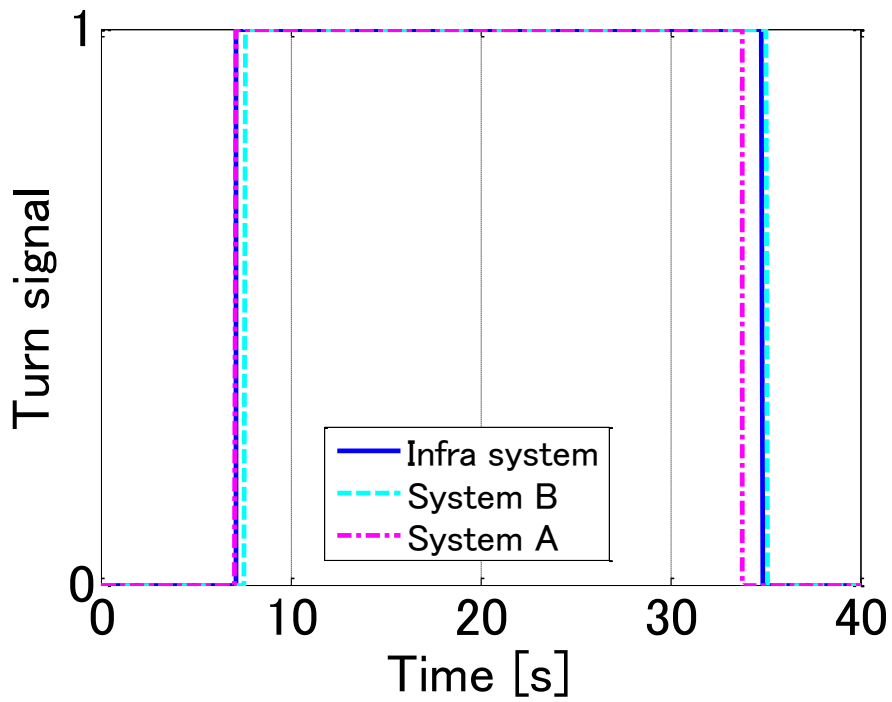


(a) Accelerator

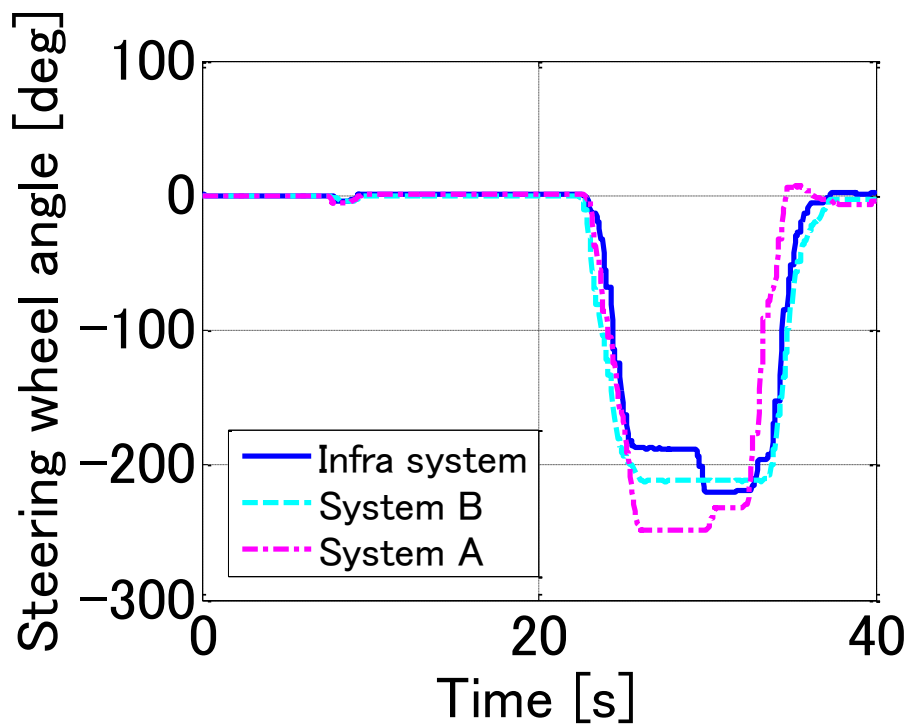


(b) Vehicle speed

Fig. 4.6 Comparison of results (1)

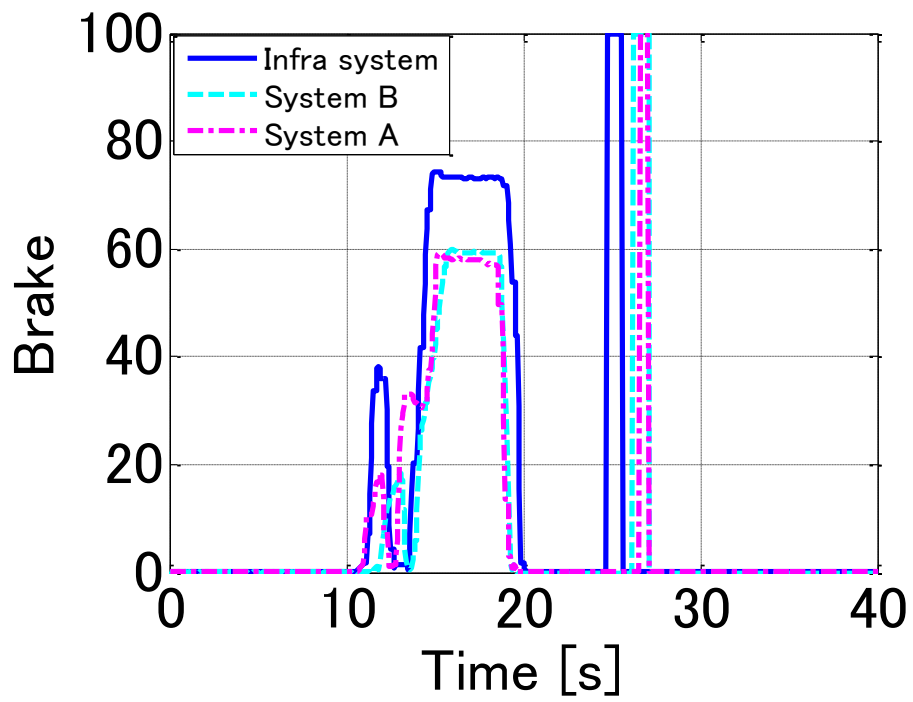


(c) Turn signal

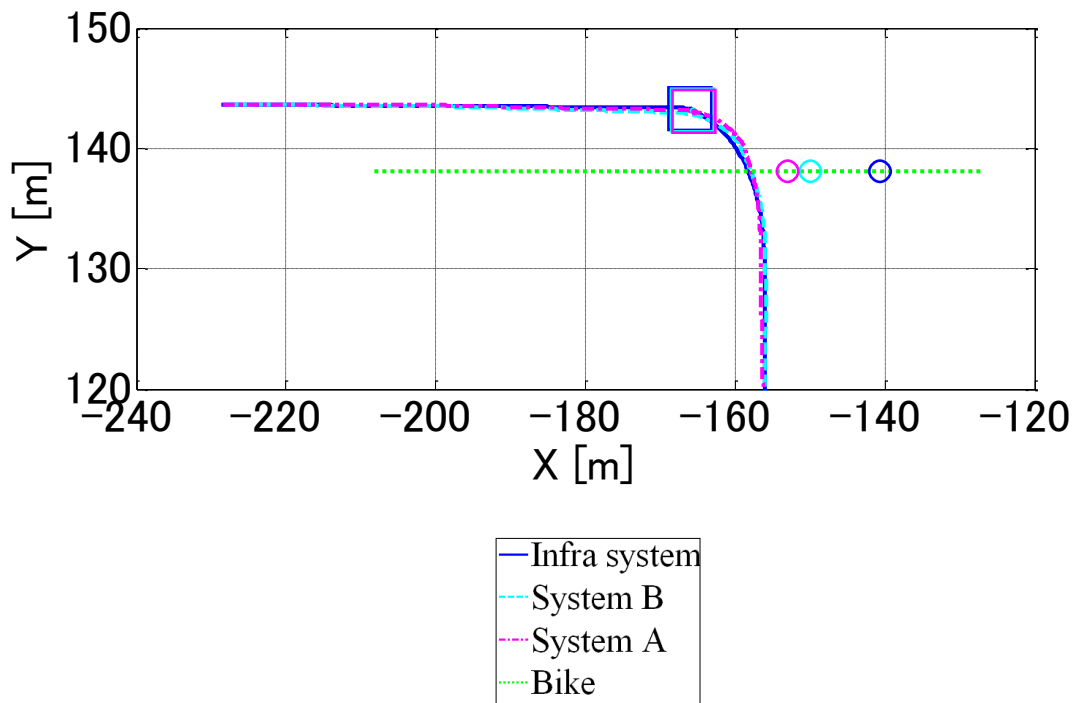


(d) Steering wheel angle

Fig. 4.6 Comparison of results (2)



(e) Brake



(f) Vehicle trajectory on X-Y

Fig. 4.6 Comparison of results (3)

4.2 4章まとめ

右折時衝突事故で多いケースの一つとして、対向車線のトラックなどの背後から接近してくるバイクと右折車との衝突がある。このケースの右折事故を防ぐことができれば、右折時衝突事故の半数以上をカバーすることになる。そこで、3章で設計した運転システムを2章で述べた DS を用いて検証をおこなった。3章では、ドライバの操作の妨げになる要因やドライバの行動を考慮した場合の検証を十分行うことができなかった。4章では、ドライバとシステムとの関係性を DS を用いた結果から示した。

・右折速度制限システム

徐行以下の自転車に対して、50 km/h で直進してくるバイクを検知する時間帯は一瞬だけであり、速度制御をしていなかった場合、十分に自転車の速度を減速できないため、バイクと衝突してしまう可能性が高くなると考えられる。右折速度を徐行速度以下に抑えることにより、交差点内で急停止しても追従する後続車も徐行速度以下に速度を制限されるので、後続車と自転車の追突の被害は被害が軽減されると考えられる。直進車の速度が大きい場合は、自動ブレーキがかかる距離：3 m では十分ではないため、衝突してしまう。このことにより、対向車との相対速度に応じて、自動ブレーキをかける距離を変化させることが必要だとわかった。

・相対速度依存ブレーキングシステム

相対速度に応じて、自動ブレーキ制御を自転車の停止可能距離内で開始させることができたが、どの距離の範囲まで扱うかによっては、ドライバの意図しない場所で自動ブレーキがかかり、後続車との追突やドライバの運転の妨げにつながる危険性があることがわかった。そのため、シミュレーション内で歩行者や他車両を増やし、交差点の交通状況を複雑にした場合、どのような結果を得るか検証する必要がある。自動ブレーキのタイミングを早くすることで死角から飛び出してきたバイクに対して十分な距離を保ち停止することは確認できたが、交差点内で自動ブレーキをかけてもよいエリアの定義を明確にしていかなければならない。

・インフラ協調システム

トラックの背後から交差点に近づくバイクの存在を早い段階で検知したことで、自転車は交差点内へ差し掛かる前に自動ブレーキで停止し、バイクが過ぎ去った後、右折を行うことができた。また、自動ブレーキの制御はドライバがウィンカーを右に出すことで、システム側はドライバが右折すると判断している。そのため、ウィンカーの右ターン信号を出した上で、自動ブレーキ制御が行うことができた。交差点の停止線付近で停止することにより、飛び出してきたバイクの手前で急停止するよりも、安全性は高い。しか

し、自車が交差点内に位置した場合は、自動ブレーキがかかるタイミングを適切にする必要がある。そのため、インフラ協調システムは自車の位置が重要となるため、交差点内の位置によって自動ブレーキをかける制御条件を設けなければならないことがわかった。

・比較結果

インフラ協調システムを用いた場合、バイクの存在の検知が早いため、自車とバイクとの距離に余裕がある。また、自車の自動ブレーキがかかった位置を比較すると、右折速度制限システム、相対速度依存ブレーキングシステムは、交差点内で停止したのに対し、インフラ協調システムでは交差点の停止線付近でブレーキがかかり、停止していることがわかった。右折を行う自車に続く後続車のことを考慮すると、交差点内で急停止するよりも、右折行動が始まる停止線付近で停止した方が後続車との追突の被害の可能性が低くなると考えられる。

5 章 結論

本論文では、市街地の交差点で生じやすい右折時衝突を防ぐための運転支援システムの設計およびその検証を行った。

DS を用いた試行から、右折車と対向車との衝突を防止するために運転支援システムに必要な機能要求を以下のとおり導いた。

- ・ブレーキ制御の介入するタイミングを走行環境に応じて変化させる。(対向車との相対速度を考慮)
- ・ドライバの操作とシステム側の干渉を防ぐ
- ・対向車のみならず、死角から飛び出す障害物との衝突を防止する(自車両レーダの照射範囲外への対応)
- ・他車両、後続車への配慮(追突防止、追突被害軽減)

これらの機能要求を基に設計した運転支援システムは、DS を用いた結果、以下の結論を得た。

1. 右折速度制御システム

- ・右折時衝突事故に多い、ドライバの右折操作が先行したことによって生じる直進車との側面衝突の事故ケースを防ぐために、自車の右折速度を徐行速度以下に制御した。
- ・ハンドル角を $1/4$ 以上回すことにより、システム側はドライバが右左折行動を行うと判断し、車速制御を行った。この制御により、右折行動の先行を抑制することができ、自動ブレーキの急停止による、後続車との追突の被害の影響を軽減にもつなげることを示唆した。

2. 相対速度依存ブレーキングシステム

- ・自車に搭載されたレーダから対向車や障害物の速度と距離を取得し、自車との相対速度を算出し、相対速度の大きさに応じて、自動ブレーキの介入するタイミングを変化させるよう設計した。
- ・対向車が速い速度で直進した場合、自車に対する自動ブレーキ制御を自車の停止可能距離内で介入させ、衝突を防ぐことができた。
- ・自動ブレーキのタイミングを可変にしたことで死角から突発的に飛び出すバイクにも

対応し、衝突を防ぐことができた。

3. インフラ協調システムを用いた右折行動の運転支援システム

- ・対向車線側へ設置したレーダセンサを用いて、トラックなどの背後に存在するバイクの情報を取得し、バイクとレーダの距離に応じて、自車の右折行動を制御した。
- ・ドライバの操作情報を制御条件の一つとして、運転支援システムとドライバの操作の干渉を防ぐ設計を行った。ドライバのウィンカー操作（右ターン信号出力）、自車両の位置を考慮した。
- ・右折速度制限システム、相対速度依存ブレーキングシステムに比べ、交差点内に差し掛かる段階で制御を行うため、早い段階で自動ブレーキがかかる。そのため死角からのバイクの突発的な飛び出しに対しての衝突を防ぐことができる。
- ・ドライバが右折を行う時（ウィンカー操作入力）のみにシステムを機能させることができた。

今後の課題

右折時衝突を防ぐ運転支援システムの検証に用いた DS の更なる開発

- (1) 多くの被験者実験を通じて、運転時の駆動感、操舵感についての評価を行う。
- (2) 現状の DS に音声機能をつけ、音声ガイダンスによる情報提供の運転支援の検証
- (3) 車両の加速感やウィンカーの信号音、風切り音、市街地の騒音など、実際の自動車を運転する交通環境で発生する音響環境の再現。

右折時衝突を防ぐ運転支援システム

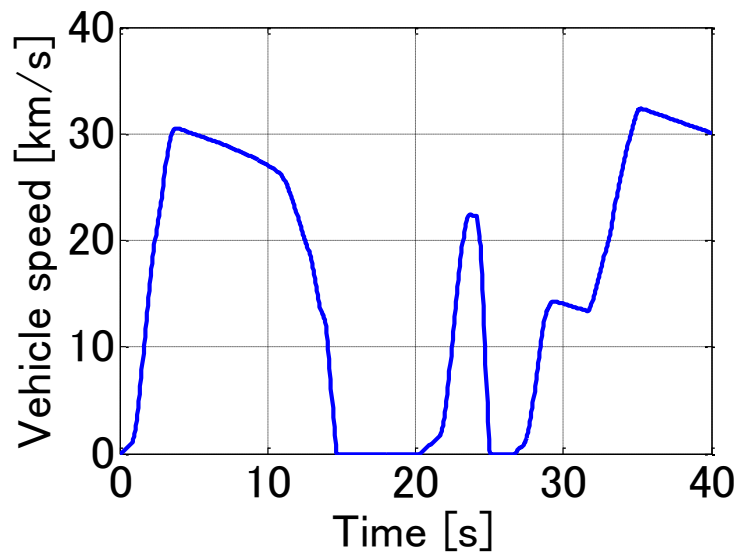
- (1) 交差点における交通量多くする。歩行者を介入させた場合の検証
- (2) 運転支援システムがどこで介入するか明確にする。（ドライバと運転支援システムの関係性）

付録

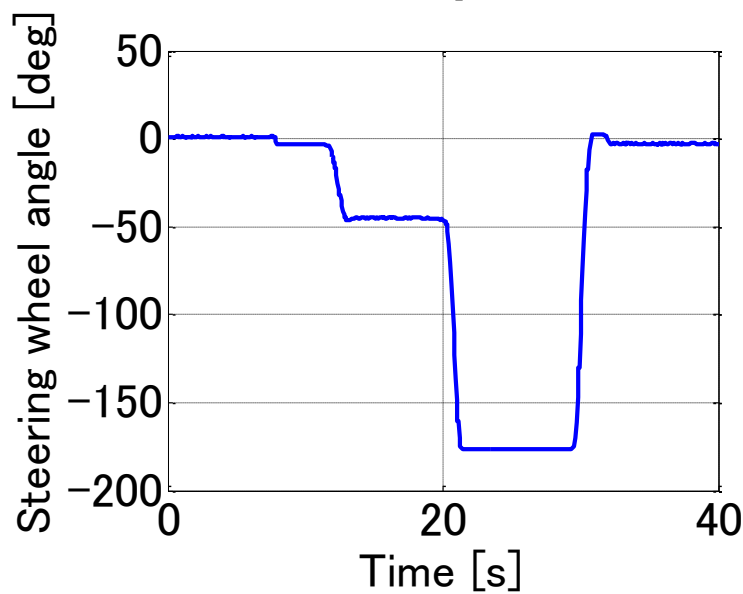
被験者による実験

レーダを搭載させた車両と、レーダを搭載させていない車両それぞれを用いて、実験をおこなった。レーダ搭載させた車両モデルは、自車と障害物との距離が3 m 以下になった場合、自動ブレーキが機能するようになっている。

被験者による実験結果(レーダなし)

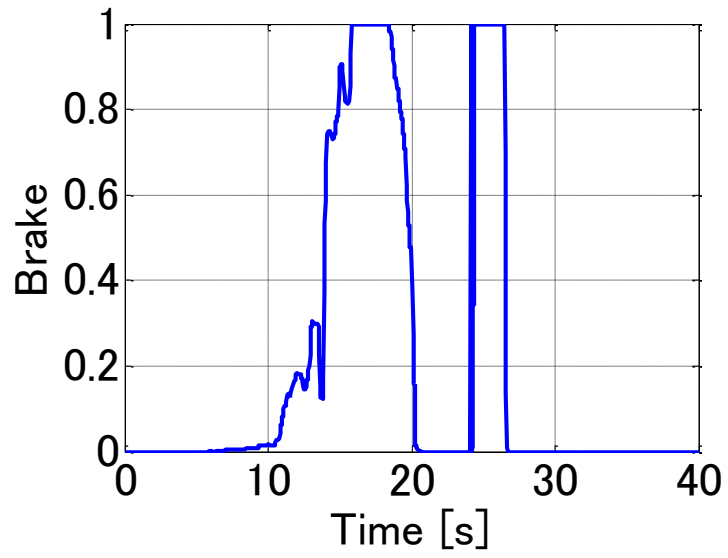


(a1) Vehicle speed

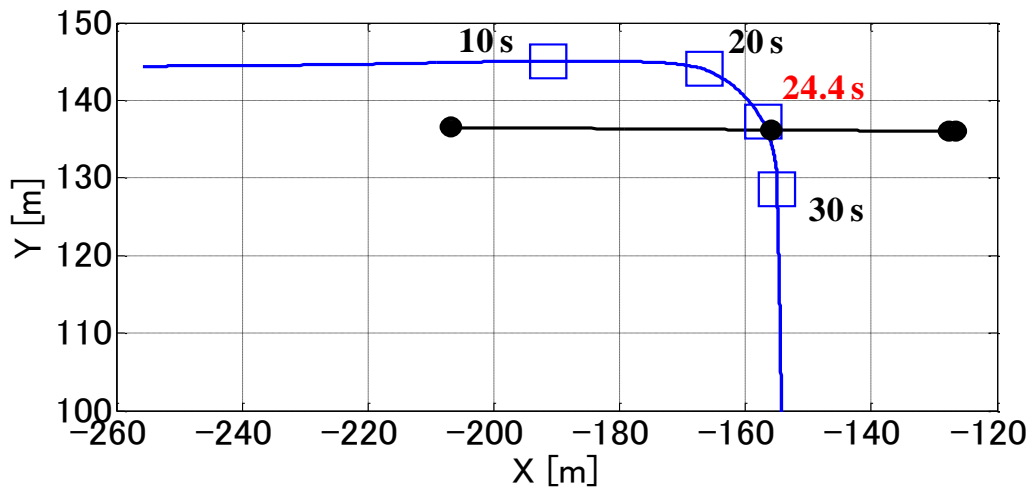


(b1) Steering wheel angle

Fig. 6.1 Results of experiment (1)



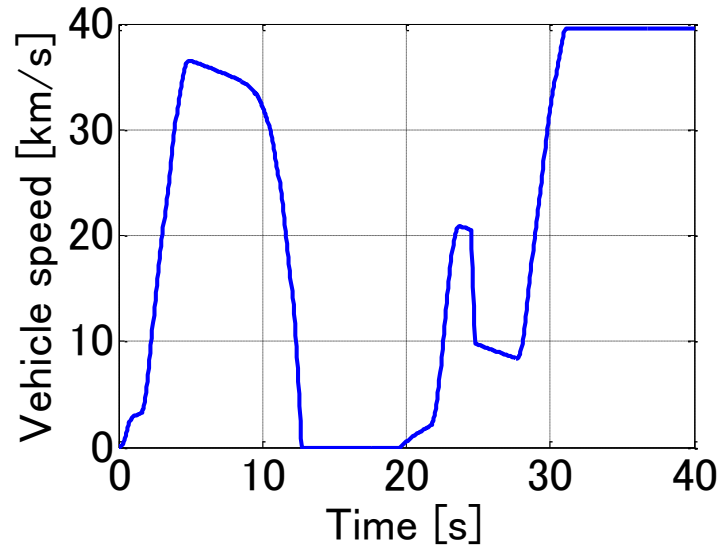
(c1) Brake



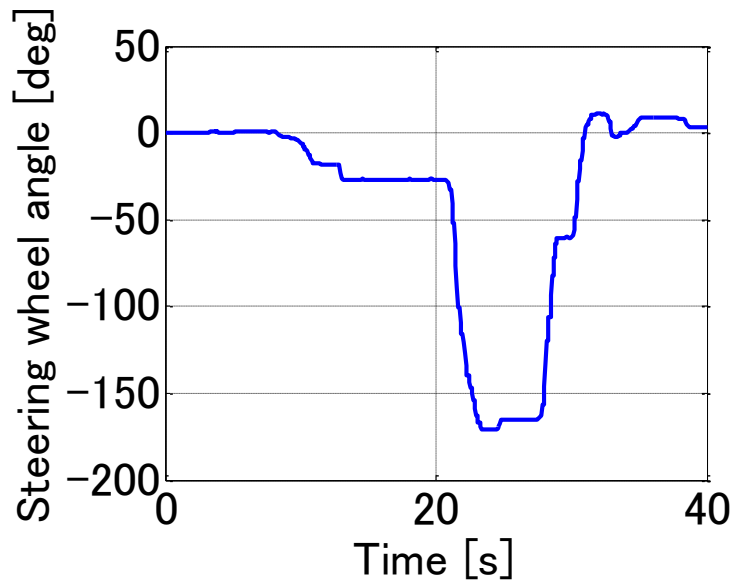
(d1) Driver's vehicle trajectory X-Y

Fig. 6.1 Results of experiment (2)

被験者による実験結果(レーダあり)

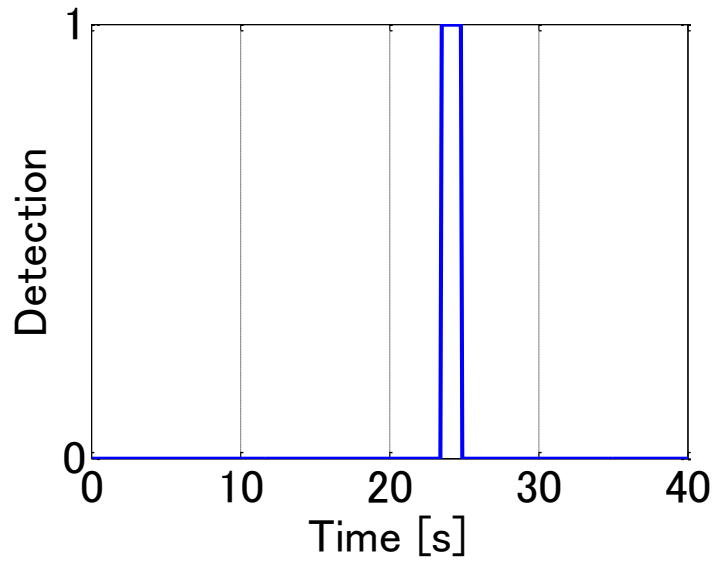


(a2) Vehicle speed

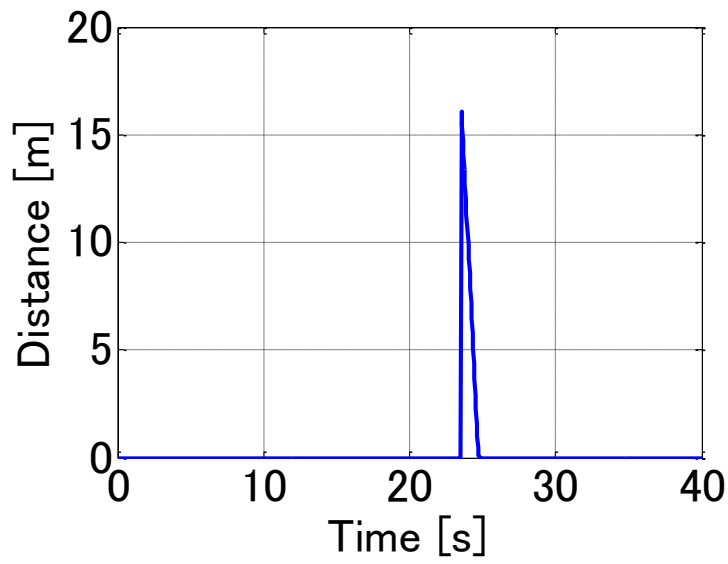


(b2) Steering wheel angle

Fig. 6.2 Results of experiment (1)

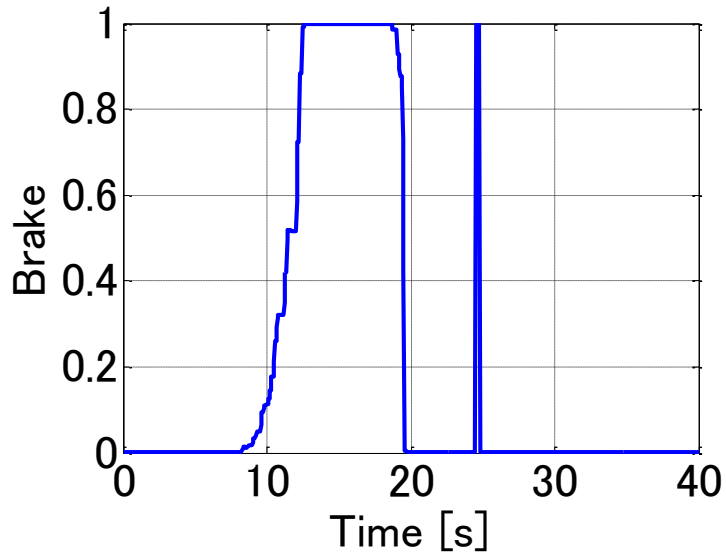


(c2) Detection

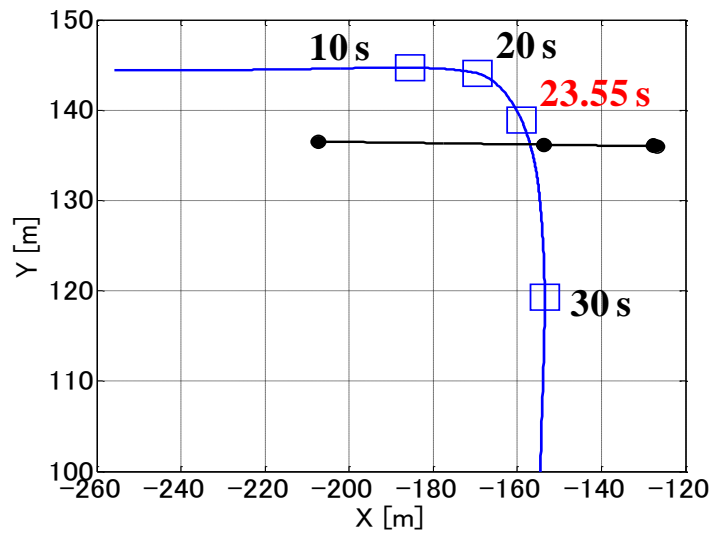


(d2) Distance

Fig. 6.2 Results of experiment (2)



(e2) Brake



(f2) Driver's vehicle trajectory X-Y

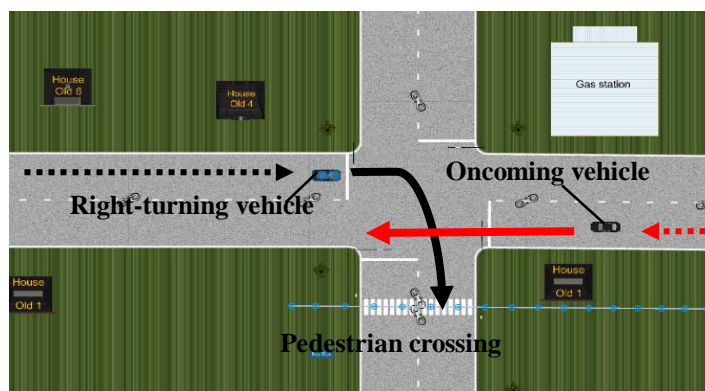
Fig. 6.2 Results of experiment (3)

分析結果

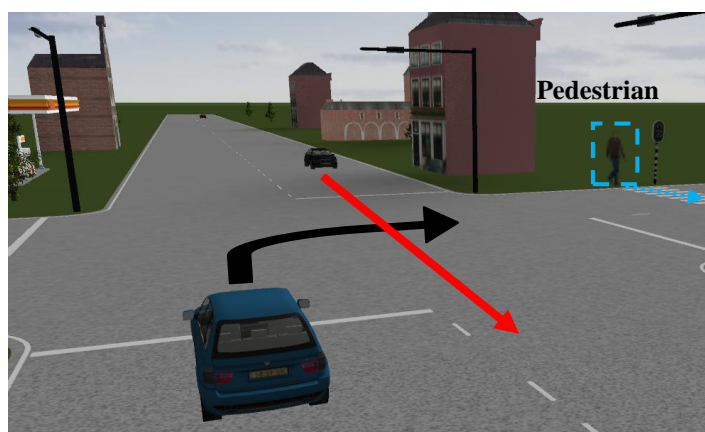
Fig. 6.1 はレーダを搭載していない結果, Fig. 6.2 はレーダを搭載させた場合の実験結果を示している. Fig. 6.1 の(a1), (b1), (c1), (d1) はそれぞれ, 車速, ハンドル角, 右折車のブレーキの踏み込み量, 右折車とバイクの軌跡を示している. Fig. 6.1 の(c1), (d1) から 24.4 s にドライバが急ブレーキをかけ, 減速を行っているがバイクと衝突してしまっていることがわかる. 自車の死角からバイクが突発的に飛び出すような事象に対しては, 人間の判断では限界が生じている. 一方, Fig. 6.2 の(a2), (b2), (c2), (d2), (e2), (f2)は, 車速, ハンドル角, バイクの検知, 右折車とバイクとの距離, 右折車のブレーキの踏み込み量, 右折車とバイクの軌跡を示している. Fig. 6.2 の(e2), (f2)から 23.55 s に自動ブレーキがかかり, バイクの手前で停止できていることがわかる. (バイクは 60 km/h で走行)

被験者実験 2

当該シミュレータを用いて、他車両や歩行者が介入する市街地の交差点を模擬し、20代の男性2名による被験者実験を行った。Fig. 6.3 (a) に示すように、交差点付近の交通環境を模擬するため、2次元の **underlay** 上で横断歩道や信号を設置した。Fig. 6.3 (a) の左側から右折車が走行し、右側から対向車が走行する道路を設計した。Fig. 6.3 (b) は、3D に可視化された走行コースの交差点部分を示している。右折車を自車とし、右折を行う場面で、前方からは対向車が車速 40 km/h で直進し、手前の歩道を通過する際に歩行者が現れ、歩道を横断してくる環境を模擬した。



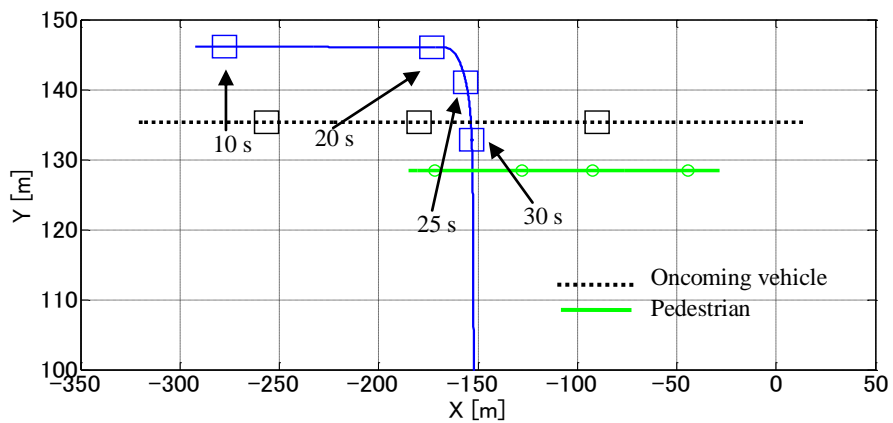
(a) 2D underlay



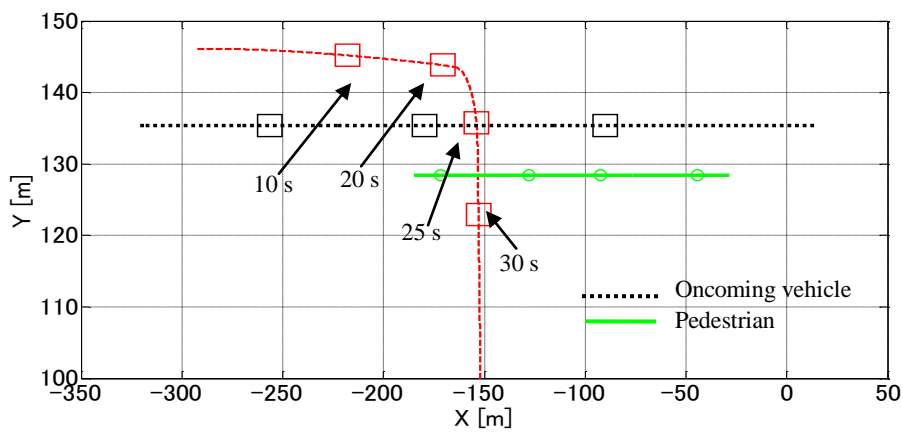
(b) Intersection point in 3D view

Fig. 6.3 Traffic situation where oncoming vehicle and pedestrian crossing road appear

被験者による実験結果

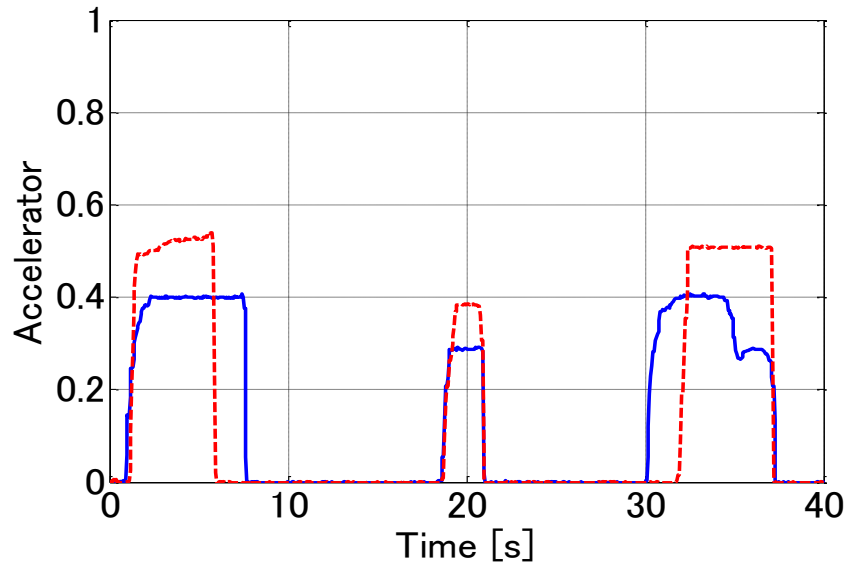


(a) Driver 1's vehicle trajectory X-Y

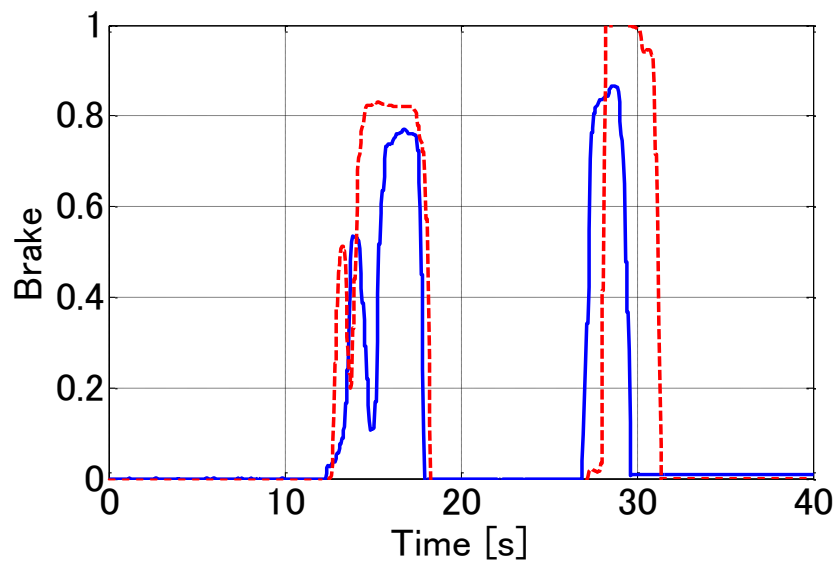


(b) Driver 2's vehicle trajectory X-Y

Fig. 6.4 Results of subject Experiments (1)

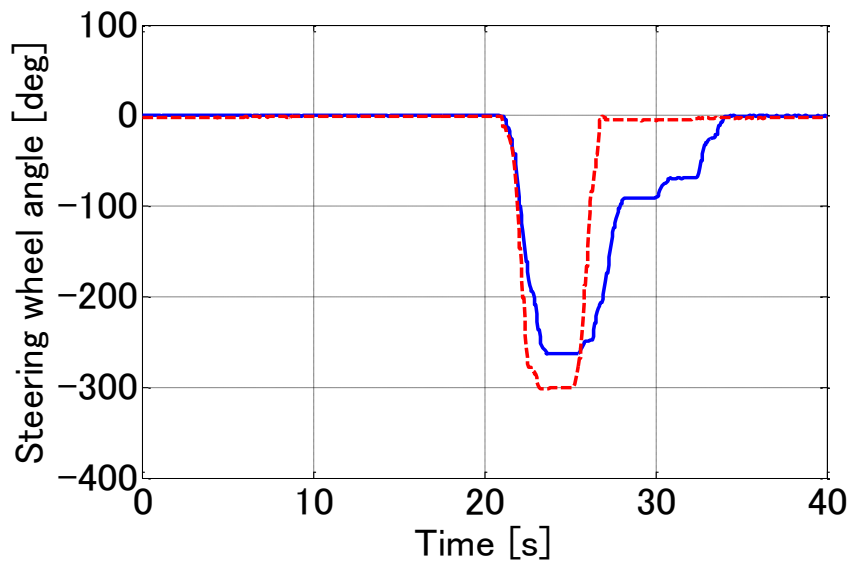


(c) Accelerator

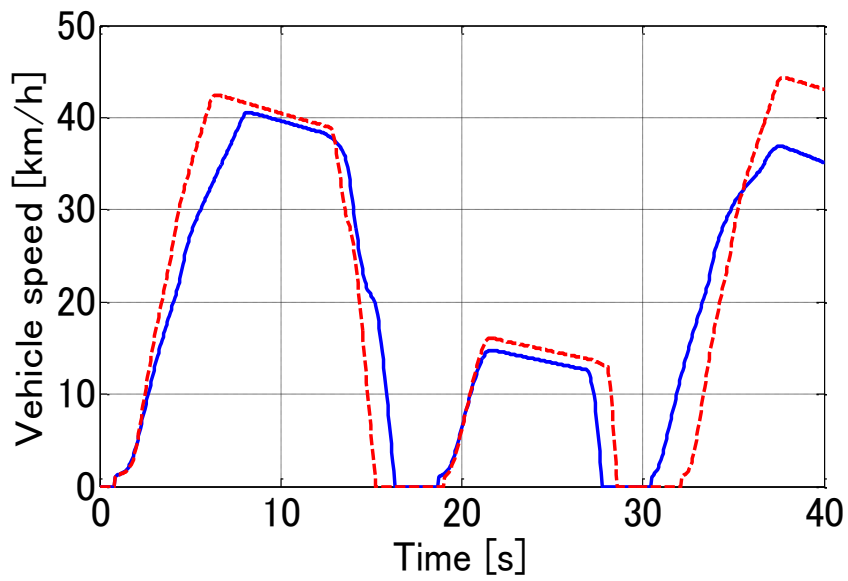


(d) Brake

Fig. 6.4 Results of subject Experiments (2)



(e) Steering wheel angle



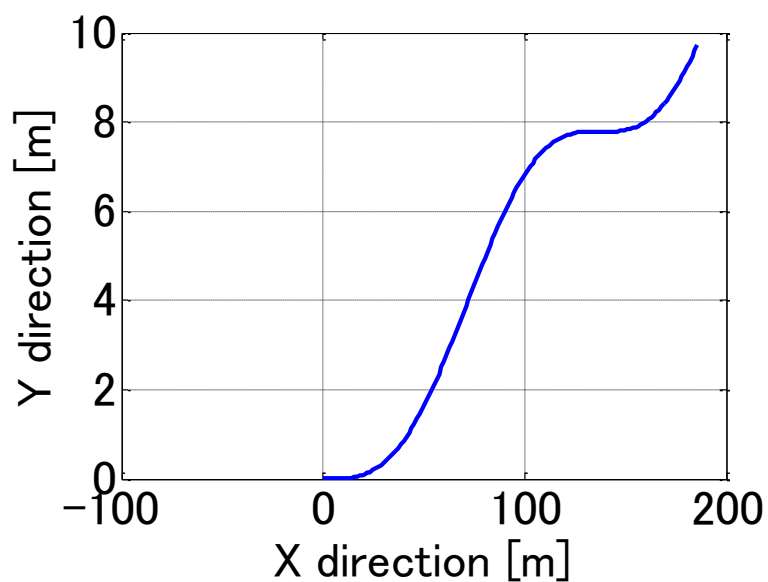
(f) Vehicle speed

— Driver1 - - - Driver2

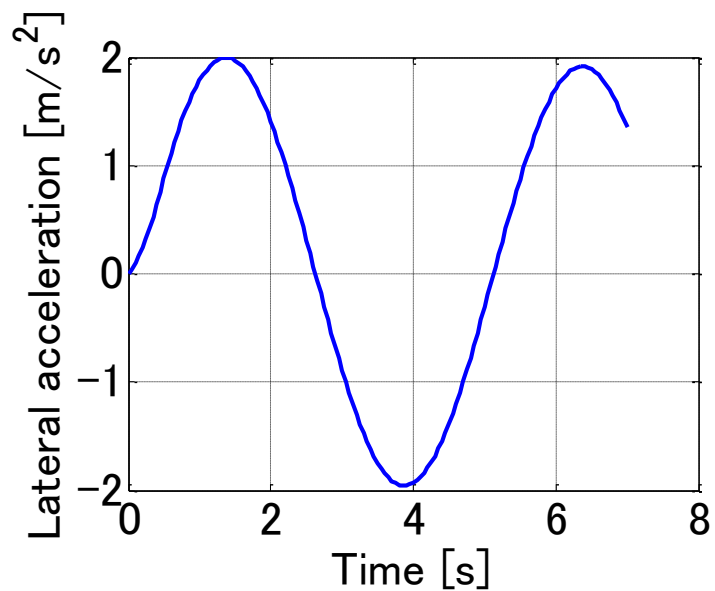
Fig. 6.4 Results of subject Experiments (3)

シミュレーションソフト (PreScan) の妥当性確認

車両にスラローム走行のシミュレーションを実行した. 走行シミュレーションでは車速 100 km/h と, 振幅 30 deg, 周波数 0.2 Hz の正弦波のハンドル角を与えた.

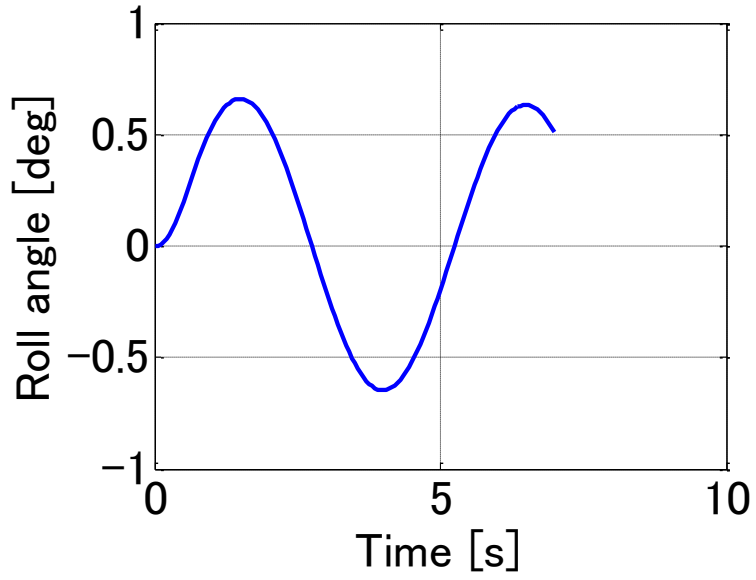


(a) vehicle trajectory X-Y

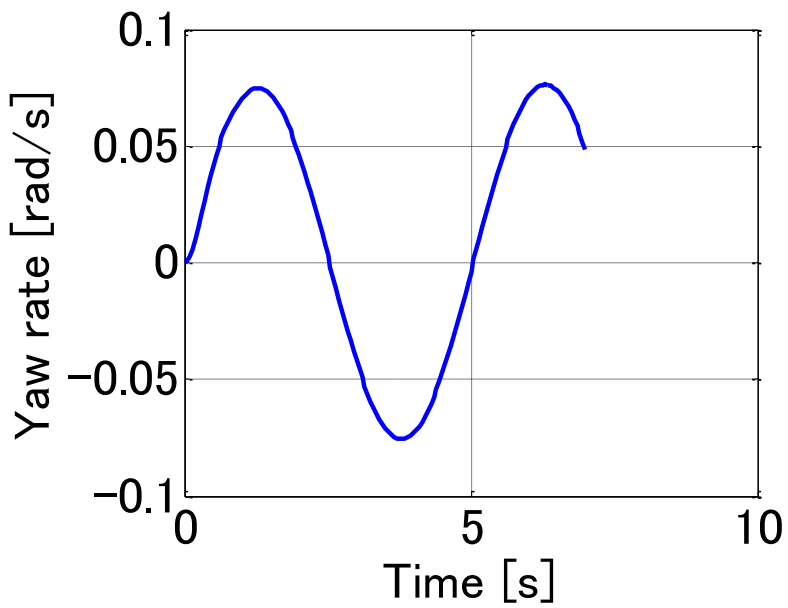


(b) Lateral acceleration

Fig. 6.5 Results of slalom (1)



(c) Roll angle



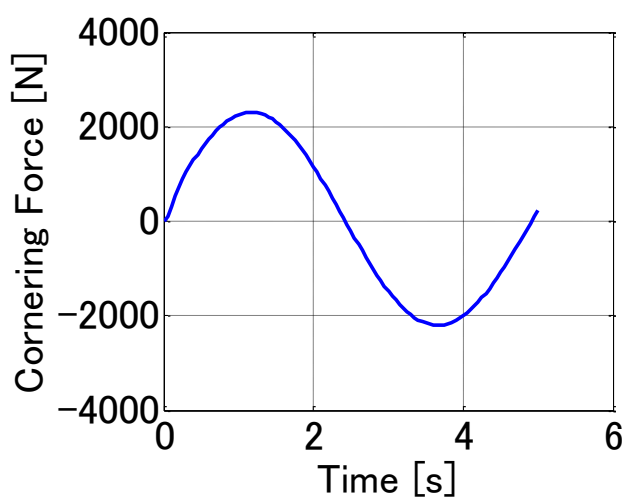
(d) Yaw rate

Fig. 6.5 Results of slalom (2)

バーチャル車両モデルのタイヤの横力

当該シミュレータのステアリング反力制御に用いられるタイヤの横力の検証結果を以下に示す。

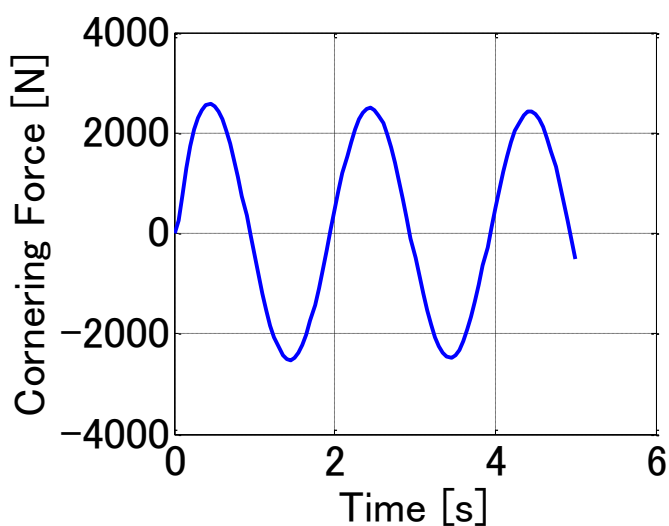
V: 車速, δ : ハンドル角, A: 振幅, F: 周期, Kfront: 前輪コーナリングフォース



Input
V:40km/h
 δ : Sinwave
(A: 50deg, F:0.2Hz)

Kfront=90943

(a) Cornering force 1

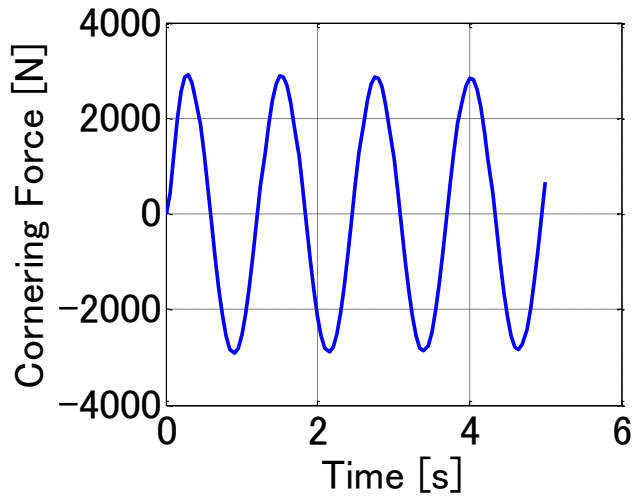


Input
V:40km/h
 δ : Sinwave
(A: 50deg, F:0.5Hz)

Kfront=90943

(b) Cornering force 2

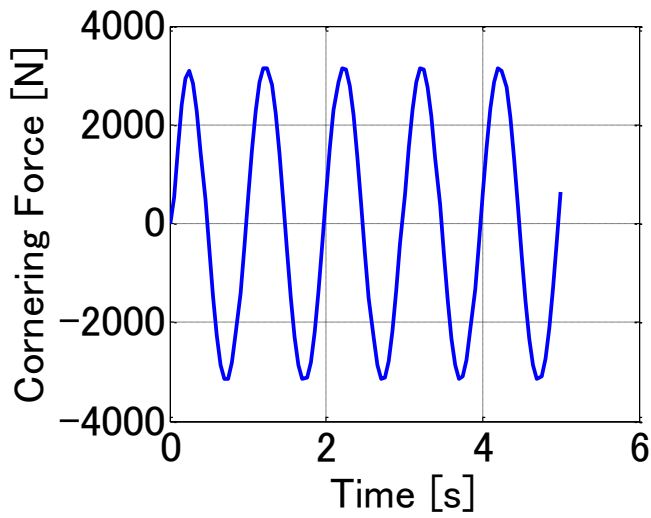
Fig. 6.6 Cornering force of virtual vehicle model (1)



Input
 V:40km/h
 δ : Sinwave
 (A : 50deg, F:0.8Hz)

Kfront=90943

(c) Cornering force 3



Input
 V:40km/h
 δ : Sinwave
 (A : 50deg, F:1.0Hz)

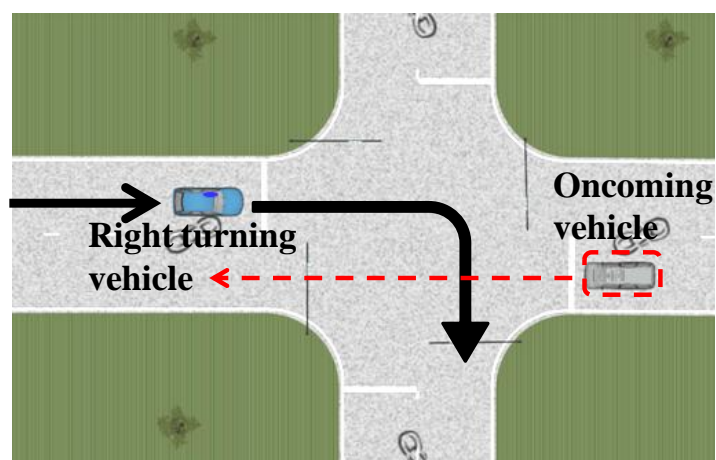
Kfront=90943

(d) Cornering force 4

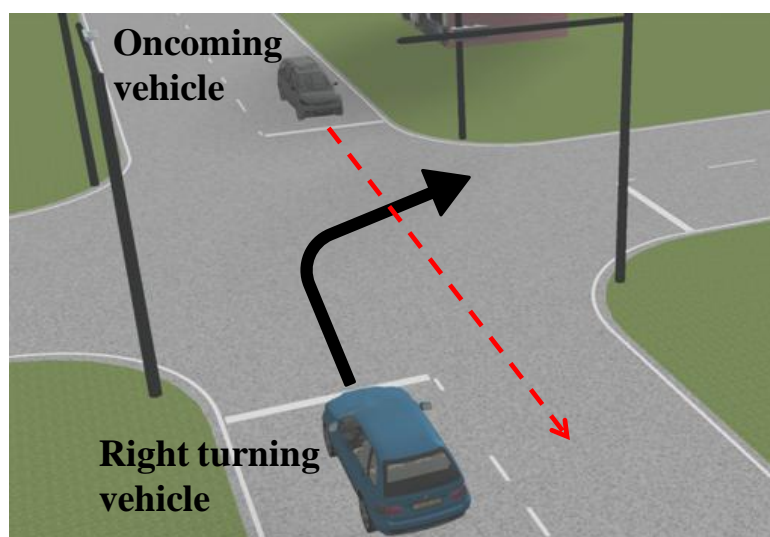
Fig. 6.6 Cornering force of virtual vehicle model (2)

右折時における対向車との衝突防止の有効性の検証

右折時衝突に多い例として、死角から飛び出す自動車やバイクとの衝突があげられる次に多い例として、ドライバーの認知, 判断ミスにより生じる対向車との衝突事故がある. 3章で設計した運転支援システムの検証として, Fig. 6.7 (a), (b) に示すような交差点内で自車が右折を行う際に対向車が直進してくる環境を模擬した. DS を用いた検証結果を示す. 走行コースは,



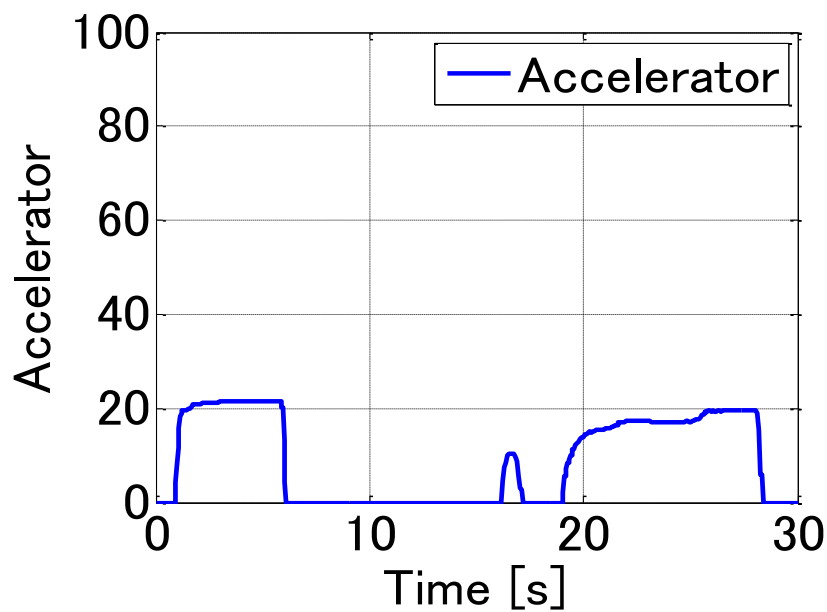
(a) 2D underlay



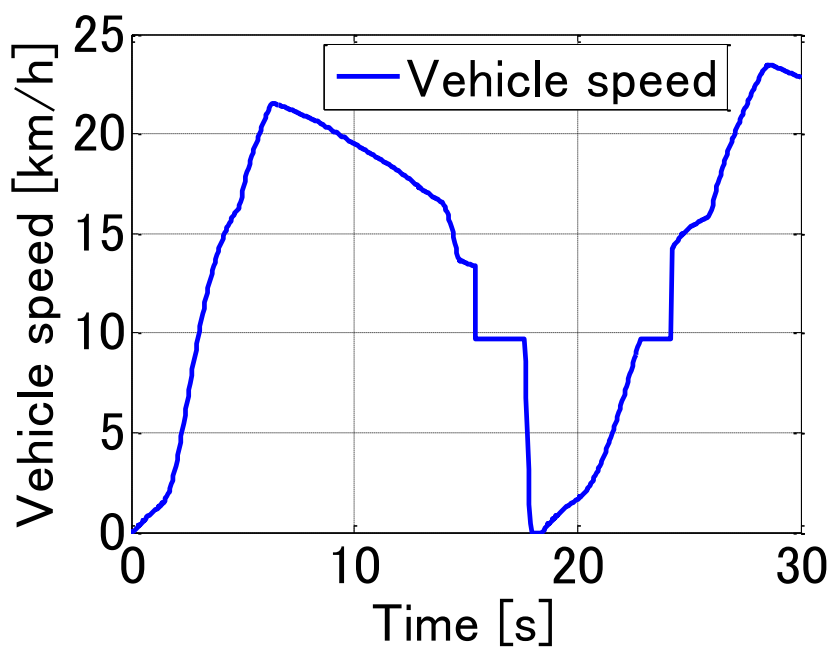
(b) Intersection point in 3D view

Fig. 6.7 verification using driving simulator

右折速度制限システム を用いた結果

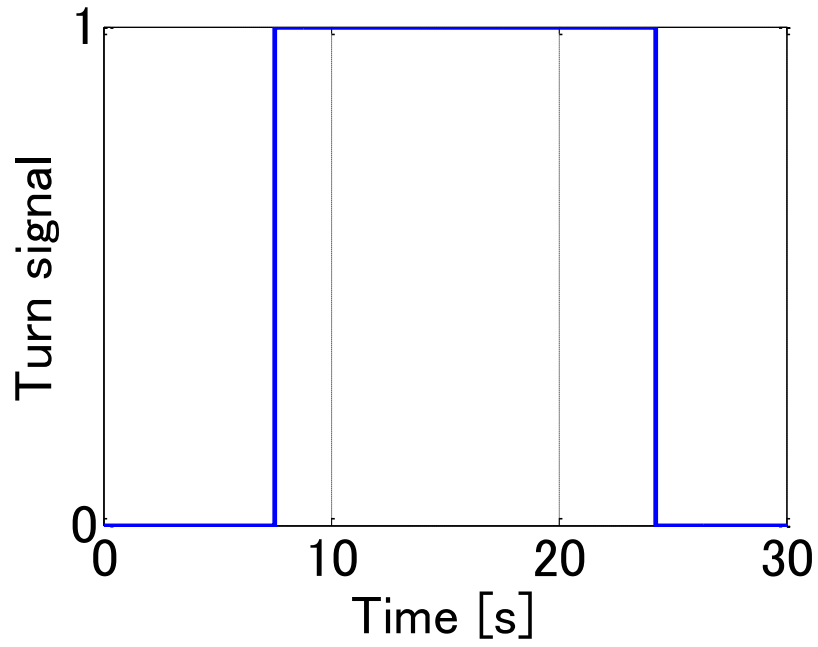


(a) Accelerator

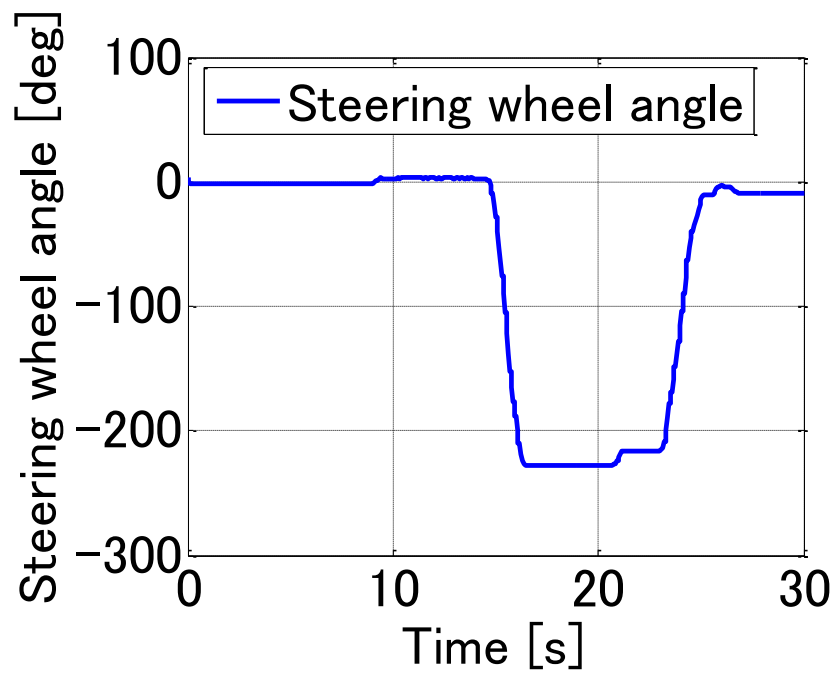


(b) Vehicle speed

Fig. 6.8 Results of system A using driving simulator (1)

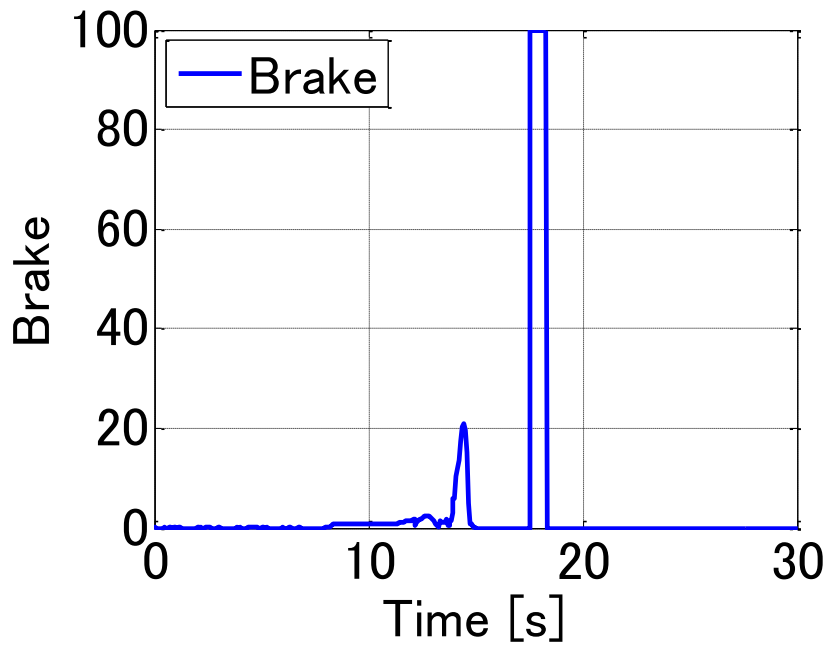


(c) Turn signal

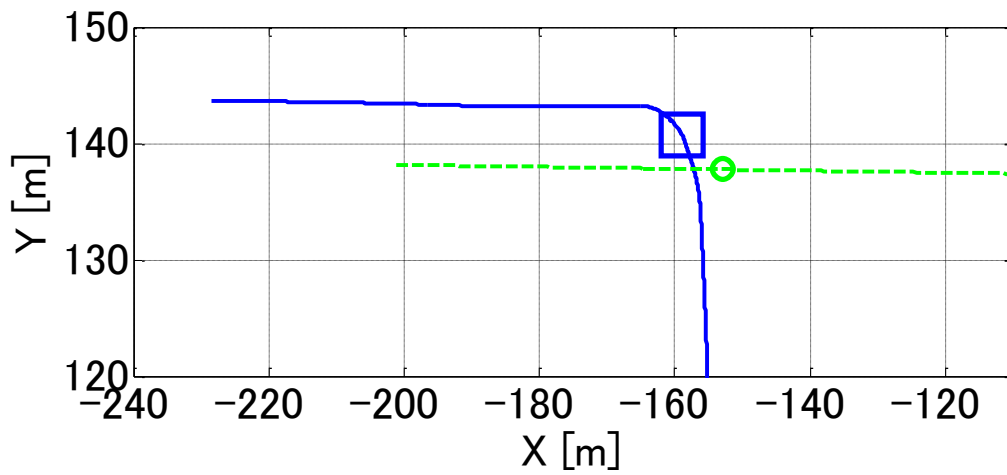


(d) Steering wheel angle

Fig. 6.7 Results of system A using driving simulator (2)



(e) Brake

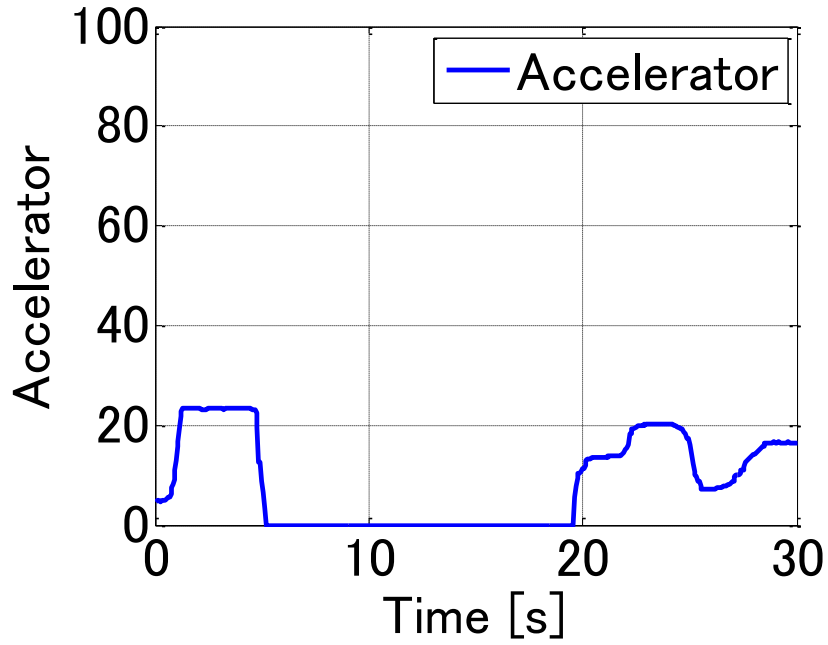


(f) Vehicle trajectory on X-Y

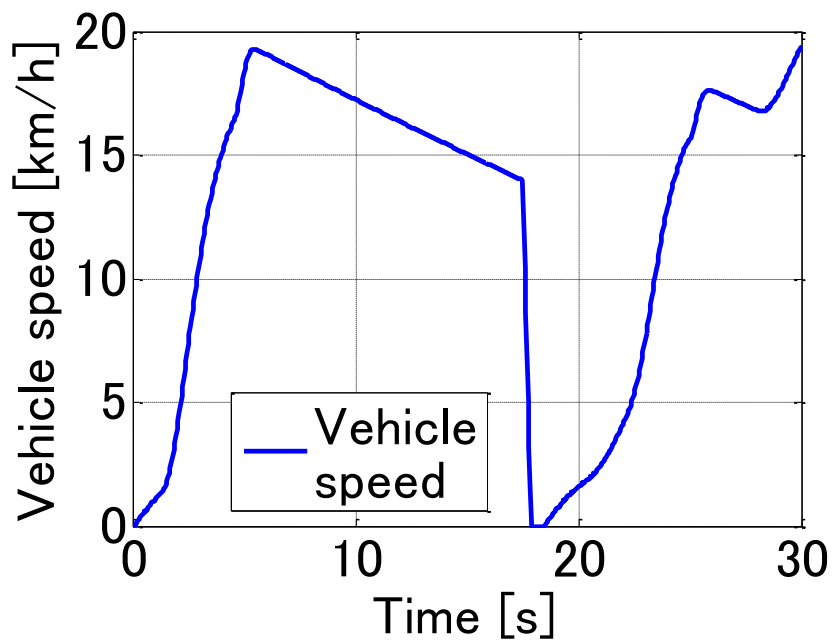
- Right - turning vehicle
- - - Oncoming vehicle

Fig. 6.8 Results of system A using driving simulator (3)

相対速度依存ブレーキングシステム を用いた結果

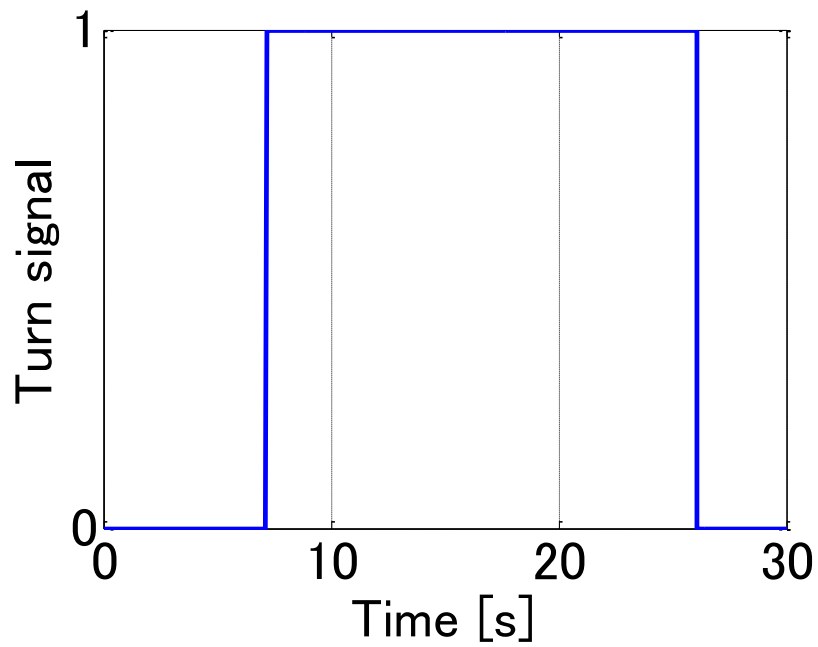


(a) Accelerator

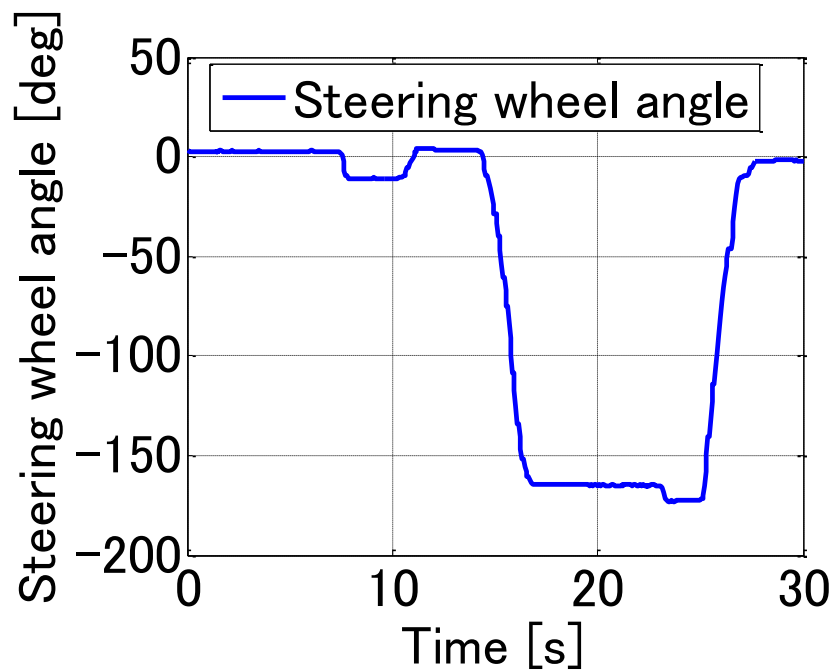


(b) Vehicle speed

Fig. 6.9 Results of system B using driving simulator (1)

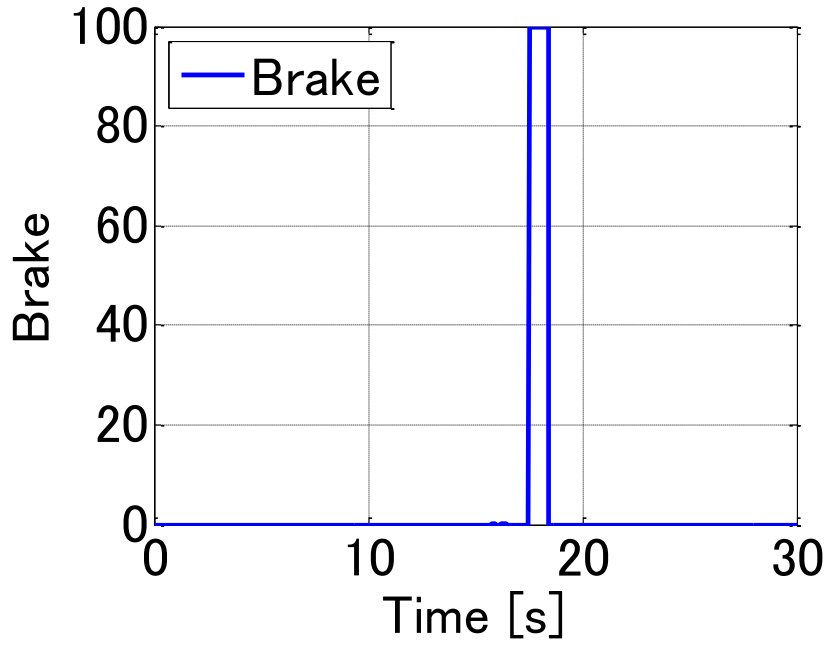


(c) Turn signal

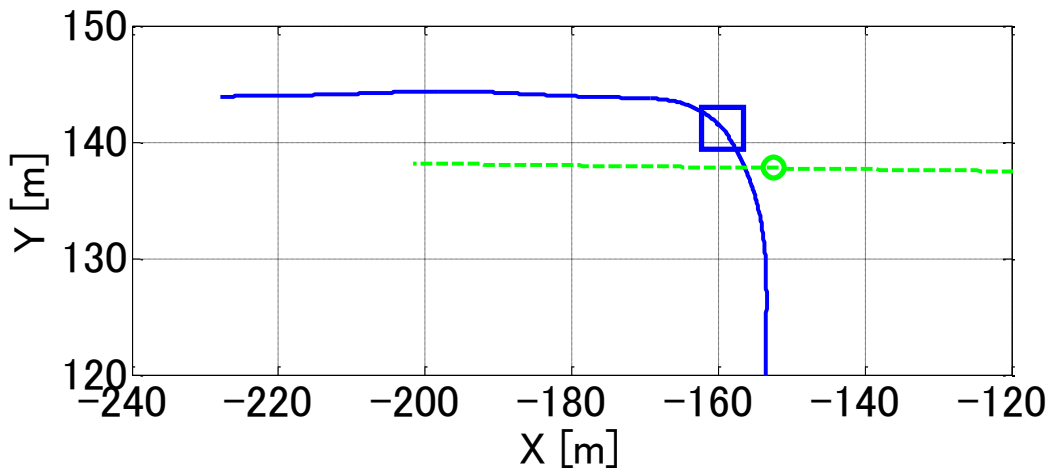


(d) Steering wheel angle

Fig. 6.9 Results of system B using driving simulator (2)



(e) Brake

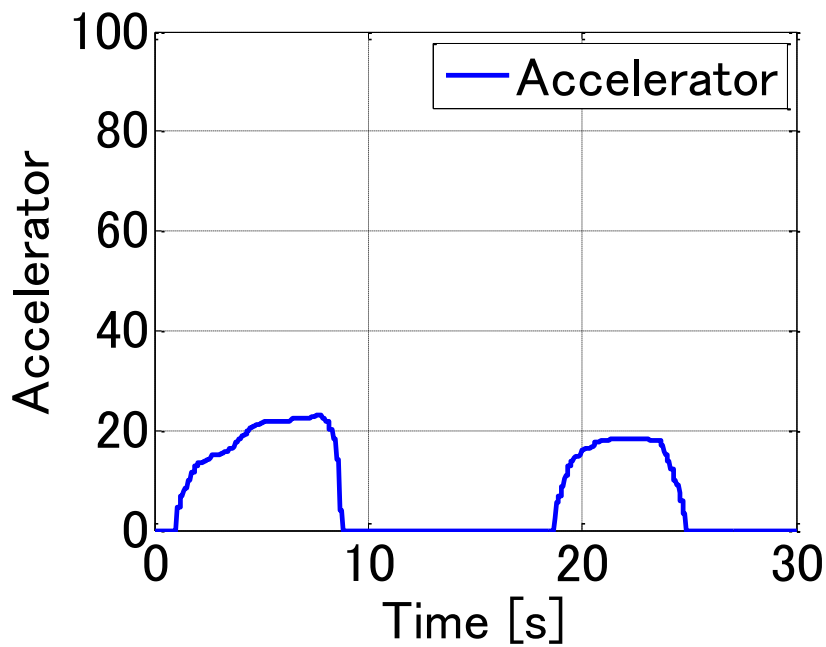


(f) Vehicle trajectory on X-Y

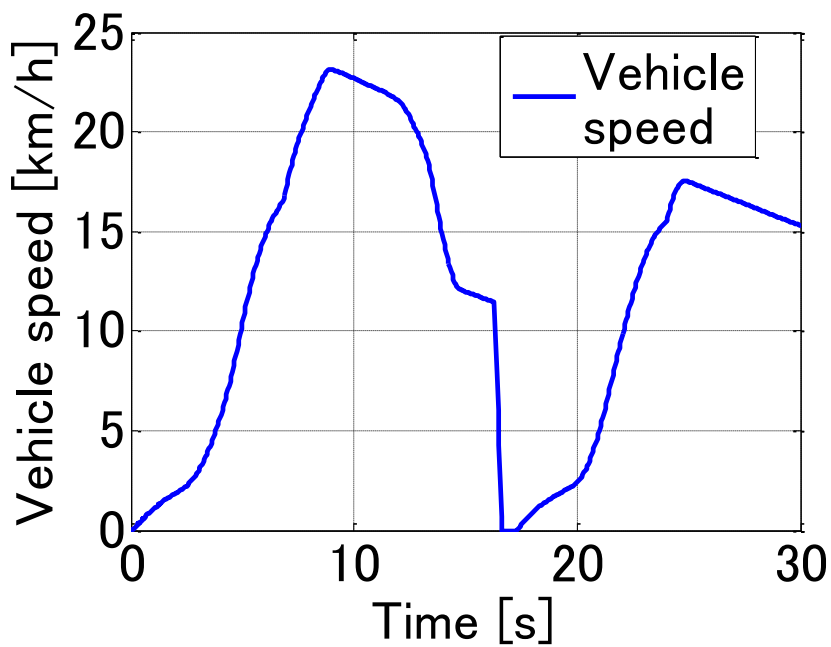
- Right - turning vehicle
- - - Oncoming vehicle

Fig. 6.9 Results of system B using driving simulator (3)

インフラ協調システム を用いた結果

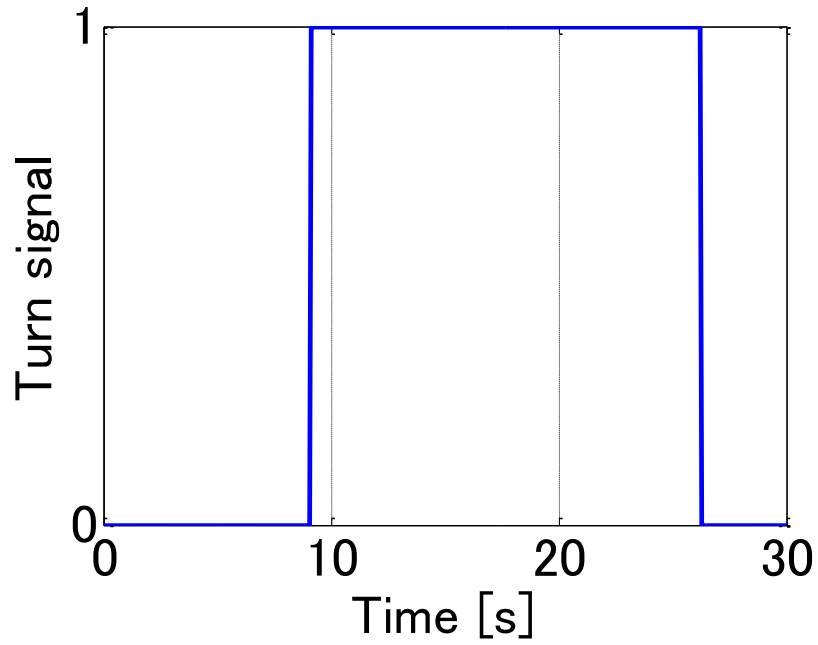


(a) Accelerator

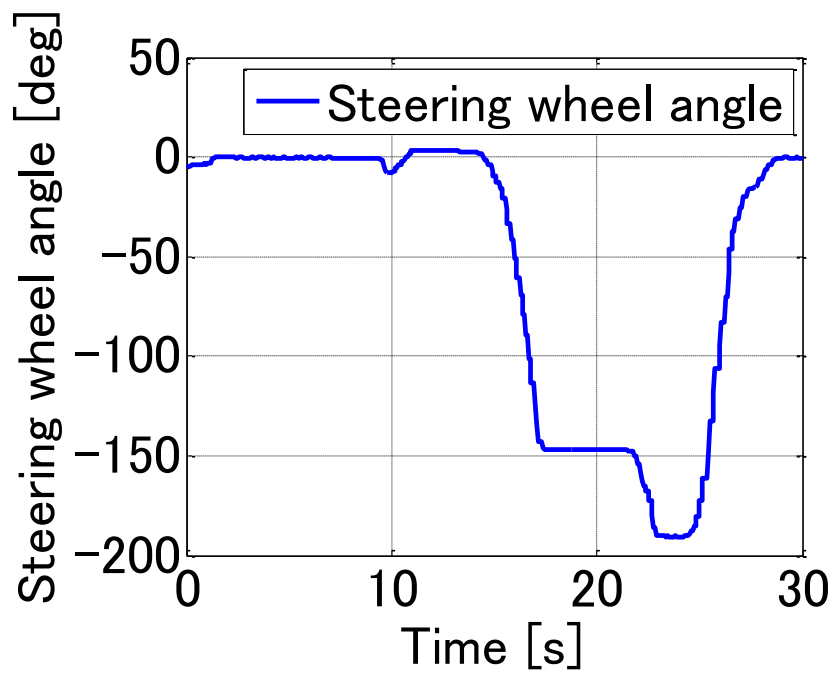


(b) Vehicle speed

Fig. 6.10 Results of infra system using driving simulator (1)

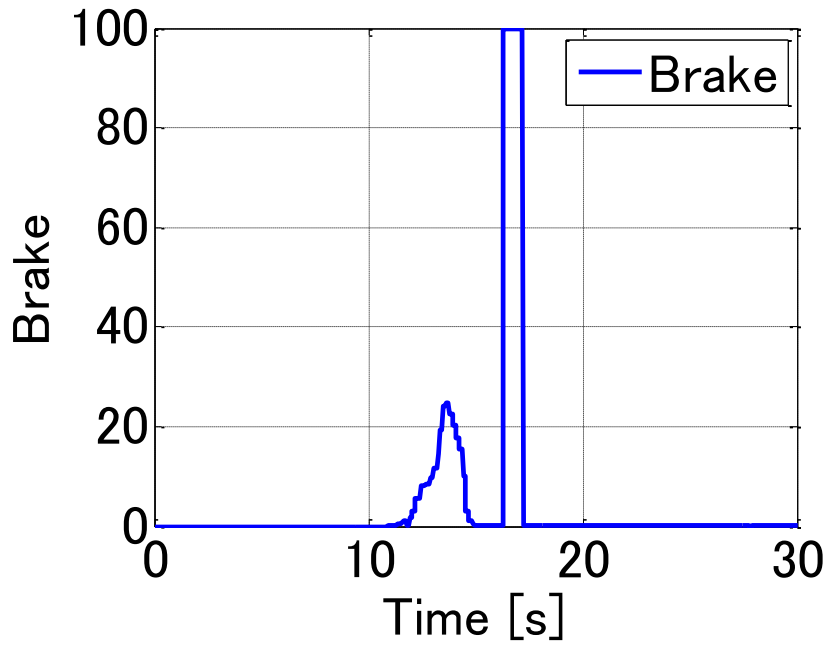


(c) Turn signal

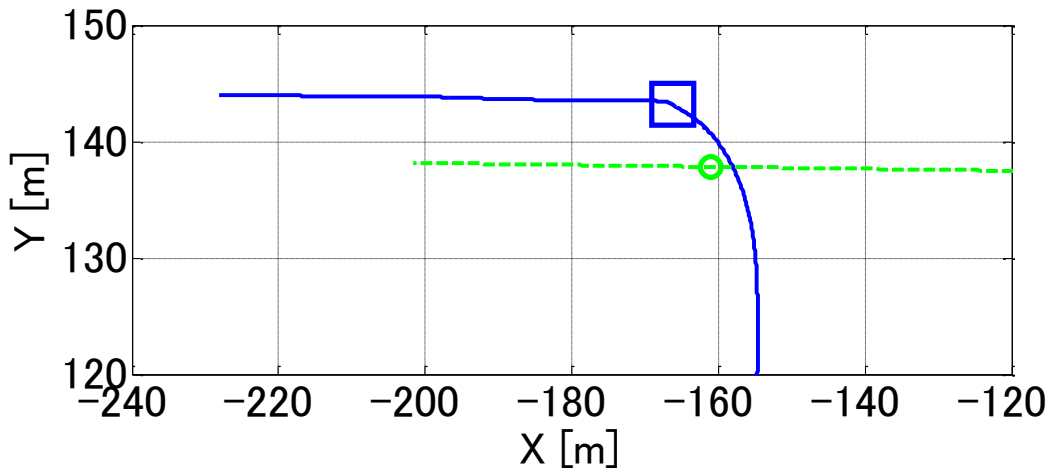


(d) Steering wheel angle

Fig. 6.10 Results of infra system using driving simulator (2)



(e) Brake

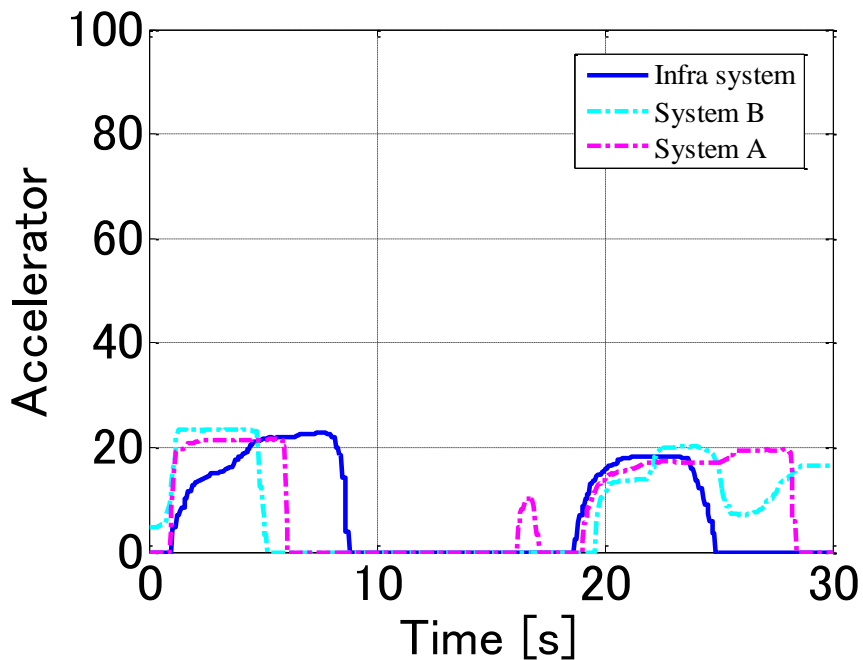


(f) Vehicle trajectory on X-Y

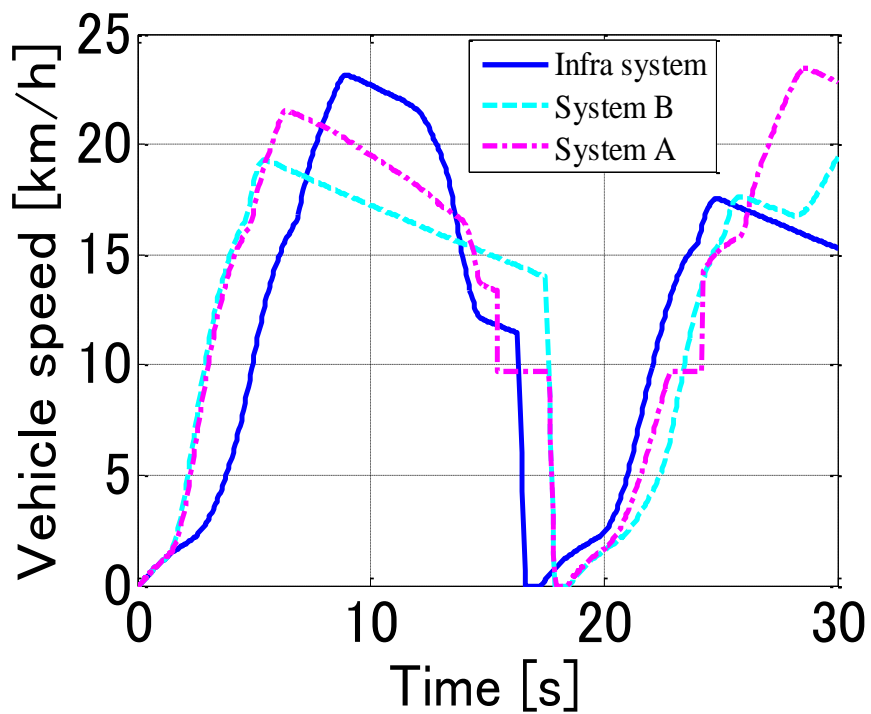
- Right - turning vehicle
- - - Oncoming vehicle

Fig. 6.10 Results of infra system using driving simulator (3)

比較結果

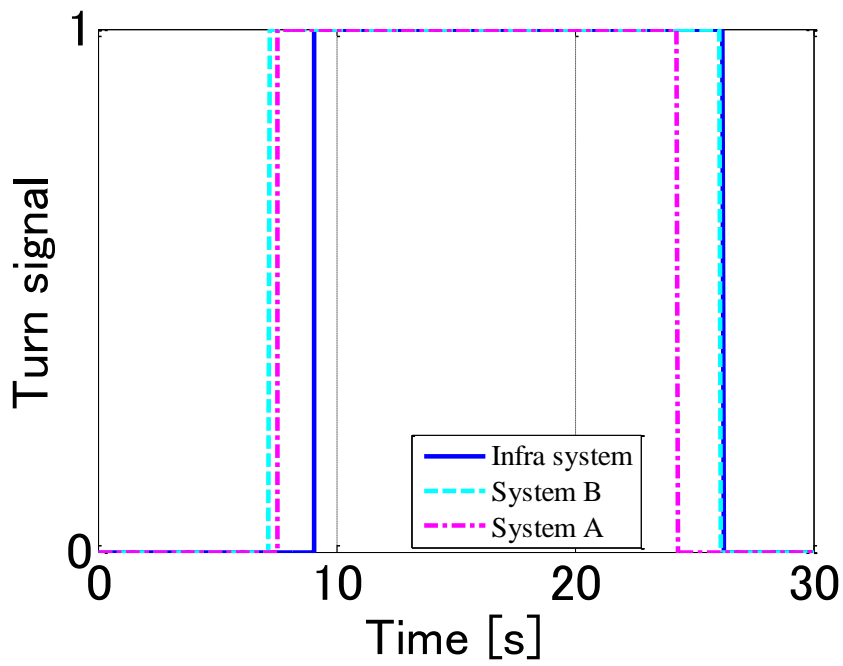


(a) Accelerator

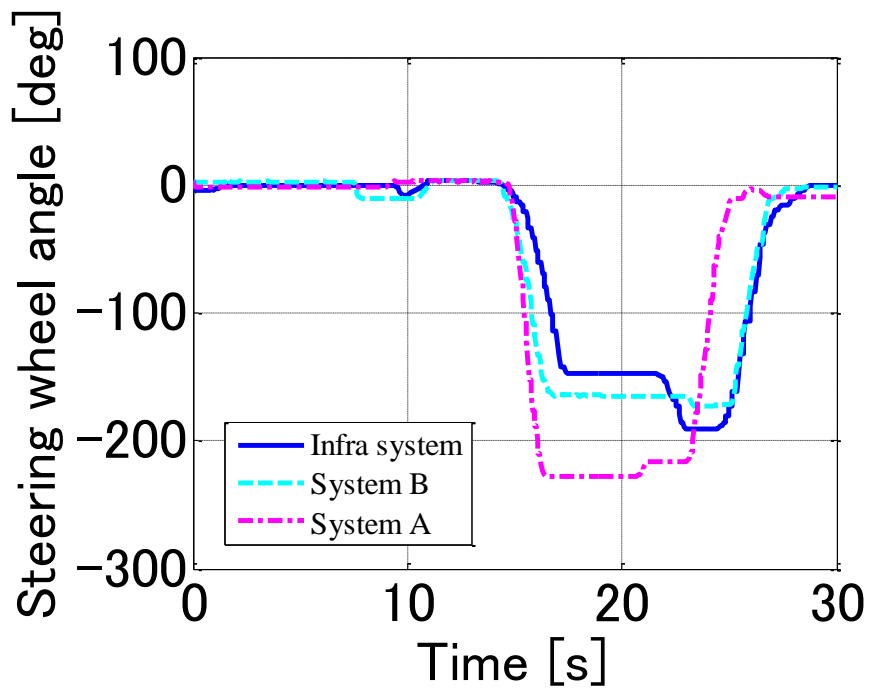


(b) Vehicle speed

Fig. 6.11 Comparison of results (1)

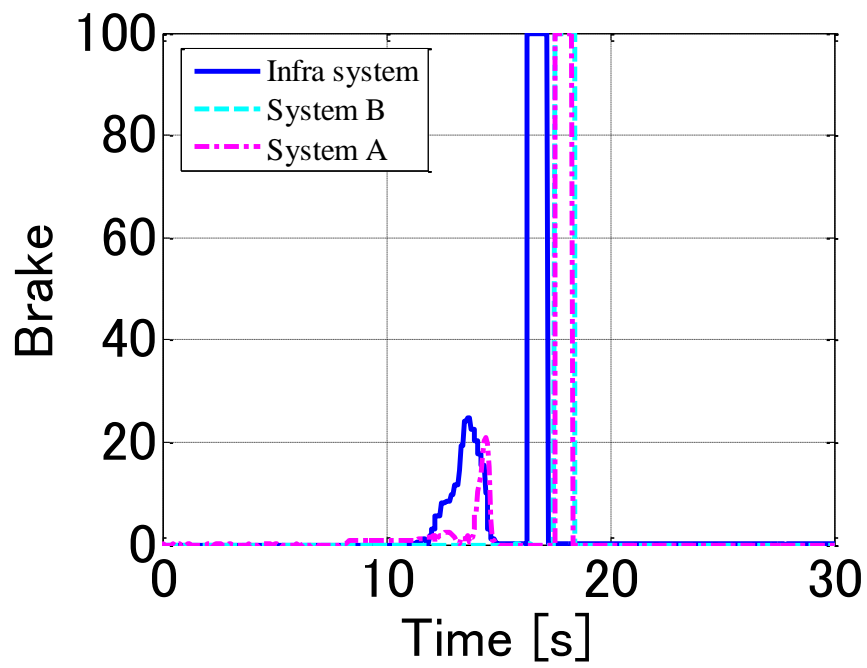


(c) Turn signal



(d) Steering wheel angle

Fig. 6.11 Comparison of results (2)



(e) Brake

Fig. 6.11 Comparison of results (3)

参考文献

- [1] 警察庁交通局, 平成22年中の交通事故の発生状況
- [2] 三井住友海上, http://www.ms-ins.com/rm_car/safety_point/002/a02.html
- [3] 中野倫明, 山田宗男, 山本新, 小竹元基, ドライバの運転能力評価と高齢ドライバーの支援, 自動車技術会, Vol.64, pp.72-77, 2010
- [4] 景山一郎, 栗谷川幸代, ドライバ特性解析用ドライバモデル, 自動車技術会, Vol64, pp.53-59, 2010
- [5] Y.Umemura, Driver Behavior and Active Safety, R&D Review of Toyota CRDL, Vol.39, No.2
- [6] 加藤光治, ITSの現状と今後, デンソーテクニカルレビュー, Vol.6, No.1, pp11-17
- [7] 柵木充彦, 自動車における安全技術の現状と将来, デンソーテクニカルレビュー, Vol.12, No.1, pp12-22, 2007
- [8] V.Cerone, M.Milanese, D.Regruto, Combined auto-matic lane keeping and driver's steering through a 2-DOF control strategy, IEEE Transactions on Control System Technology, vol.17, pp.135-142, 2009
- [9] I.Niwa, T.Martijn, F.Laneman, J.Van, M.Hotta, Evaluation of effectiveness for occupant injury reduction by combination of collision mitigation brake and real time controlled restraint systems, Journal of society of Automotive engineers of Japan, No19, pp.9-12, .2010
- [10] 総務省,
<http://www.ieee-jp.org/japancouncil/chapter/VT-06/vt.files/VTS-ITS20100623-1.pdf>
- [11] 古川修, ITSに関する自動車の制御技術の現状と今後の課題, 計測と制御, 第40巻, 第3号, pp.207-211, 2001
- [12] 自動車における安全技術の現状と将来 Vol.12, No.1, pp.20
- [13] 上田 建仁, エネルギー総合工学, Vol.29. No.4, 2007. 01
- [14] トヨタ自動車株式会社,
http://www.toyota.co.jp/jpn/tech/safety/technology/technology_file/pre_crash/
- [15] スバル株式会社, <http://www.subaru.jp/news/2010/eyesight/>
- [16] 富士重工業株式会社, http://www.fhi.co.jp/news/10_04_06/10_04_22.html
- [17] 自動ブレーキの不具合, <http://minkara.carview.co.jp/userid/150598/blog/19047552/>
- [18] 柴田, ステレオカメラ運転支援システム Eyesight ver.2の開発, ロボット工学, No.199, 2011
- [19] Tateyama, Y., Ogi, T., Nishimura, H., Kitamura, N., Yashiro, H., Development of immersive Virtual Driving Environment Using Open CABIN Library, 2009 International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (INVITE' 2009), pp.550-

553, 2009

- [20] Y.Tateyama, J.Noyori, Y.Mori, K.Yamamoto, T.Ogi, H.Nishimura, N.Kitamura, Observation of driver's behavior at narrow roads using immersive car driving simulator, The 9th ACM SIGGRAPH International Conference on VR Continuum and Its Applications in Industry (VRCAI 2010), pp.391-395, 2010
- [21] Junpei Noyori, Kei-ichi Yamamoto, Hidekazu Nishimura, Driving Simulator Development for Verification of Driving Support Systems in Some Traffic Situations, The second Korea-Japan Joint Symposium on Dynamics and Control (K-J Symposium 2011), pp.212-215, 2011
- [22] 米川隆, 阿賀正己, 村野隆彦, 里見洋平, 安全・ITS-現実感のあるドライビングシミュレータの開発, 自動車技術会, Vol.64, pp.78-84, 2010
- [23] 森野大介, 小嶋英一, 西川昌宏, 山崎徹, ステアリングシミュレータによる操舵フィーリング向上制御の検討, Dynamics and Design Conference 2010 CD-ROM 論文集, 2010
- [24] 自動車の走行速度の低下による交通事故発生件数の低減効果,
http://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/max-speed/k_3/pdf/s5.pdf
- [25] 山本敬一, 四輪自動車に対するアクティブスタビライザと電動パワーステアリングの統合制御システムデザイン, pp.29-30, 2011
- [26] 右折時の衝突事故,
<http://www.signal-net.co.jp/2011/08/post-254.html#No2>
- [27] 手塚俊介, 泉名克郎, 小川原也, 伊藤周, 喜瀬勝之, セーフティドライブアシストシステムの開発, 自動車技術会, Vol.64, pp.55-60, 2010
- [28] 村野隆彦, 阿賀正己, 米川隆, 田中信, アクティブセーフティを支えるシミュレーション技術, 自動車技術会, Vol.65, pp.53-58, 2010
- [29] 川進, 本田昭, よくわかる図解とシミュレーションで学ぶ自動車のモーションコントロール技術入門, 山海堂, 2008
- [30] 健蔵, 西村秀和, 平田光男, MATLABによる制御理論の基礎, 東京電機大学出版局, 1998

謝辞

本研究は行うにあたり、ご指導を頂いた西村秀和教授に御指導頂いたことを心より深く感謝致します。未熟者の私に対して熱心に勉強面や生活面などあらゆる面で指導して頂きました。本研究をここまで進めることができたのは西村先生のおかげです。先生の指導は今後、社会人になっていく上でも、大きな財産となると思います。

副査を担当して頂いた、神武准教授、佐々木教授、ご指導ありがとうございました。

山本敬一さんには、ドライビングシミュレータの開発を行う上で多くの支援を頂きました。山本さんのご指導がなければ、本研究を遂行することができなかったと言っても過言ではありません。本当にありがとうございました。

立山先生には、CAVEのドライビングシミュレータの開発、実車実験などの作業で多くの指導を頂きました。他研究室でありながらも、私に親身になって相談にのって頂きました。そして、本研究におけるソフトウェア関連で多くの支援をして頂きました。

SDMで出会った西村研究室の皆様、他研究室の皆様との交流のおかげで、楽しく有意義な学生生活を送ることができました。学校のみならずプライベートでもよく仲良くしていた仲間達、素敵な思い出をありがとうございました。

最後に私の学生生活を終始支えてくれた両親に感謝します。両親の応援が私にとって大きな心の支えになりました。本当にありがとうございました。