

types and their actual situations obtained from accident statistic report, then applied it to several preventive safety systems and evaluated the result.

交通事故シナリオに基づく 予防安全システムのシミュレーション分析

山田 真大^{†1} 青木 優^{†2} 日高 隆博^{†1}
山崎 二三雄^{†1} 佐藤 健哉^{†1,†3} 高田 広章^{†1}

近年、さまざまな予防安全システムが考えられてきた。代表的なものにアンチロックブレーキシステムやプリクラッシュセーフティ、インフラを利用した安全運転支援システムなどがある。これらは、交通事故を未然に防ぐことを目的としており、そのために解決すべき課題はさまざまな交通の状況を想定して研究されている。しかし、開発した予防安全システムごとに固有の交通事故のシナリオが設定されているので、共通の交通事故シナリオを構築し、その上で複数の予防安全システムの効果が比較検証されることは少ない。そこで、本研究では交通事故統計情報から得られた事故類型とそれぞれの具体的な交通事故の状況を参考に、交通事故シナリオをシミュレータで構築し、複数の予防安全システムに適用評価する方法の検討を行った。

Simulation Analysis of Active Safety Systems based on Accident scenarios

MASAHIRO YAMADA,^{†1} YU AOKI,^{†2} TAKAHIRO HIDAKA,^{†1}
FUMIO YAMAZAKI,^{†1} KENYA SATO^{†3,†1}
and HIROAKI TAKADA^{†1}

Recently, variety of traffic safety systems have been studied and proposed. Representative safety systems are Anti-lock Breaking Systems, Pre-crash Safety Systems and Safety Driving Assistant Systems using road-to-vehicle communication infrastructure. These systems have been aiming to prevent traffic accidents, and problems have been studied considering variety of traffic accident situations. However, most of such studies were based on its original accident scenarios, therefore, there was few studies to create a common accident scenario and evaluate and compare preventive safety systems on it. This study created the common traffic accident scenario on a simulator, refer to typical accident

1. はじめに

近年、車両の衝突事故を未然に防ぐためにさまざまな予防安全システムが登場している。たとえば、車速と車輪速からブレーキの効き具合を判断し制御を行うアンチロックブレーキシステム、車両に搭載したレーザレーダから車両周辺の情報を取得し衝突危険を判断することでブレーキアシストを使って衝突回避の支援を行うプリクラッシュセーフティ(以後PCS)、路車間通信や車車間通信を使って情報を取得するインフラ協調型の安全運転支援システムなどがある。これらの技術を使って、より車両を安全にすることを目標にしている研究プロジェクトが複数ある¹⁾²⁾。たとえば、国土交通省(旧建設省)のスマートウェイ³⁾の走行支援道路システムでは、前方障害物情報提供、カーブ侵入危険防止など、インフラと車両の協調を中心に検討しており、警察庁(UTMS協会)の安全運転支援システム(DSSS)⁴⁾⁵⁾⁶⁾では、光ビーコンをインフラとして追突事故防止、右左折時衝突事故防止などのアプリケーションが検討されている。また、国土交通省(旧運輸省)の先進安全自動車(ASV)⁷⁾においては、予防安全を目的にした運転支援システムで、主に車車間通信を用いた追突防止や出会い頭衝突防止などが検討されている。

しかし、これらの研究プロジェクトで設定された交通事故シナリオは、プロジェクトごとに異なる。そのため、開発した予防安全システムが別のプロジェクトで検討された交通事故シナリオには対応できないなど、プロジェクトをまたがって交通事故シナリオと予防安全システムの対応を比較することは難しい。予防安全システムを研究開発する際には、解決課題ごとの従来システムの対応状況を分析することによって重点的に解決すべき交通事故シナリオを設定でき、交通事故低減の効果を拡大できると考えられるため、共通のシナリオに基づいて予防安全システムを評価する手法が必要とされている。

そこで本研究では、事故状況の統計情報と具体的な事故の状況に関する情報を収集し、シミュレータによってその状況を構築し、開発した複数の予防安全システムを適用評価する方

^{†1} 名古屋大学 大学院情報科学研究科 附属組込みシステム研究センター
Center for Embedded Computing Systems, Nagoya Univ.

^{†2} 原田車両設計株式会社

^{†3} 同志社大学 理工学部情報システムデザイン学科

法の検討を行った。

2章では交通事故シナリオをどのようにモデル化しシミュレータで開発したかについて述べる。3章では3種類の予防安全システムを用意し、交通事故シナリオを適用した評価について述べる。4章では関連研究について述べる。5章ではまとめと今後の課題について述べる。

2. 交通事故シナリオ分析

2.1 事故統計

予防安全システムが目指す解決課題は、多くが交通事故を対象としている。車両事故の発生状況およびその割合を調べることで、予防安全システムによって解決が可能となる事故状況について、その効果を知ることができる。本研究では、交通事故総合分析センター⁸⁾が公開している統計資料を参考にした。交通事故総合分析センターでは、毎年交通事故の情報を集め、事故の状況とその発生率を公開している。2008年度に公開された交通事故の統計情報によれば、事故の状況別発生率は、追突が37%と最も多く、ついで出会い頭が32%となり、右折左折時、正面衝突、進路変更、追越・追抜、その他の順になっている。交通事故総合分析センターで提供されている統計情報に加えて、それぞれの詳細な事故状況を分析するために、ASV、世田谷警察署⁹⁾、神奈川警察署¹⁰⁾や三井住友海上¹¹⁾から公開されている事故状況の情報を利用した。これらの情報には、どのような場面で事故が発生したかについて記述されている。

2.2 交通事故シナリオの設定

前節で説明した交通事故の統計情報と状況を参考に、交通事故シナリオの一覧を表1に設定した。本研究では、路車間・車車間通信の対象となる車両間の事故を検討するため歩行者が登場する事故状況は省くことにした。また隣の車線の車両が急に割り込んでくる場合など衝突原因が自車にない事故状況は、基本的に予防安全システムのみならずドライバの特性を考慮する必要があるため今回の交通事故シナリオには含めていない。

2.3 交通事故シナリオのモデル

予防安全システムの評価や事故状況への対応を調べるために、設定した交通事故シナリオに基づいてシミュレーションを行うためのシナリオモデルを考える。本節では、シナリオ No.09の右折時の事故を例に、図1を使ってシナリオモデルの説明をする。シナリオモデルでは、まず事故状況に登場する車両を決定する。シナリオ No.09では、3台の車両A、B、Cが登場する。この例では、車両Aと車両Cが衝突する。また、決定した車両が走行

表1 交通事故シナリオ一覧
 Table 1 List of Traffic Accident Scenario

| シナリオ No. | 事故類型 | 道路形状 | 状況 |
|----------|--------|------|---|
| 01 | 追突 | 交差点 | 信号待ちの停車中の前方車に衝突 |
| 02 | 追突 | 交差点 | 右折しようと減速した前方車に衝突 |
| 03 | 追突 | 交差点 | 左折しようと減速した前方車に衝突 |
| 04 | 出会い頭 | 交差点 | 停止車線を無視して交差点を直進し、優先車線の車両と衝突 |
| 05 | 出会い頭 | 交差点 | 見通しの悪い交差点で、左方から来た車両に気づくのが遅れ衝突 |
| 06 | 出会い頭 | 交差点 | 右折しようと交差点に進入し、右方からきた車両と衝突 |
| 07 | 出会い頭 | 交差点 | 右折しようと交差点に進入し、左方からきた車両と衝突 |
| 08 | 右左折時 | 交差点 | 対向車線の車両が通過した後、右折しようと交差点に進入したところで、対向車線の後方から来ていた車両と衝突 |
| 09 | 右左折時 | 交差点 | 対向車線の車両に譲られたため、右折しようとしたところ、隣の対向車線からきた車両と衝突 |
| 10 | 右左折時 | 交差点 | 右折する前方車に追従しようとして、対向車線の車両と衝突 |
| 11 | 右左折時 | 交差点 | 左後方に存在している車両に気づかず、左折しようとして巻き込み |
| 12 | 正面衝突 | 曲線道路 | 速度を上げすぎて対向車線まではみ出て、対向車と衝突 |
| 13 | 進路変更時 | 直線道路 | 車線変更しようとして、左後方からきた車両と衝突 |
| 14 | 追越・追抜時 | 直線道路 | 追越を行おうとして対向車と衝突 |

する環境として道路形状と、信号や標識などの有無を設定する。道路形状から、その事故状況で車両が移動可能な2次元座標空間が定まる。この座標空間内で、軌道を各車両ごとに設定する。軌道は、2次元座標空間上の位置座標である点情報の集合として記述する。たとえば、車両Aは $A1(x_1, y_1)$, $A2(x_2, y_2)$, $A3(x_3, y_3)$ の位置座標を順次通過する。各点では、2次元の座標値とその点を通過する際の車両の速度を設定する。衝突に関する情報として、車両Aの軌道上にある位置座標を持つ点Xを決定する。車両Aがこの点Xを通過する際の時刻から、車両Cがその点Xを通過する時刻が決定し、さらに車両Cの軌道の各点を通過する時刻も求める。最後に、信号の変化や方向指示器の点灯など、各事故状況に応じて発生するイベント情報を決定する。

2.4 PreScanによる実装

交通事故シナリオを予防安全システムに適用し、事故を防ぐことができるかどうか検証を行うための環境としてシミュレータであるPreScan¹²⁾を利用した。PreScanとは、予防安全や運転支援で使うセンサや、そのデータを利用して行うアルゴリズムの検討などを実車両で行う負担を減らすために、計算機上でシミュレーションを行うためのソフトウェアである。交通事故シナリオは、このPreScan上で記述し、予防安全システムなどのアルゴリズムはSimulink上で記述することで検証を行った。図2、図3、図4、図5に、それぞれの

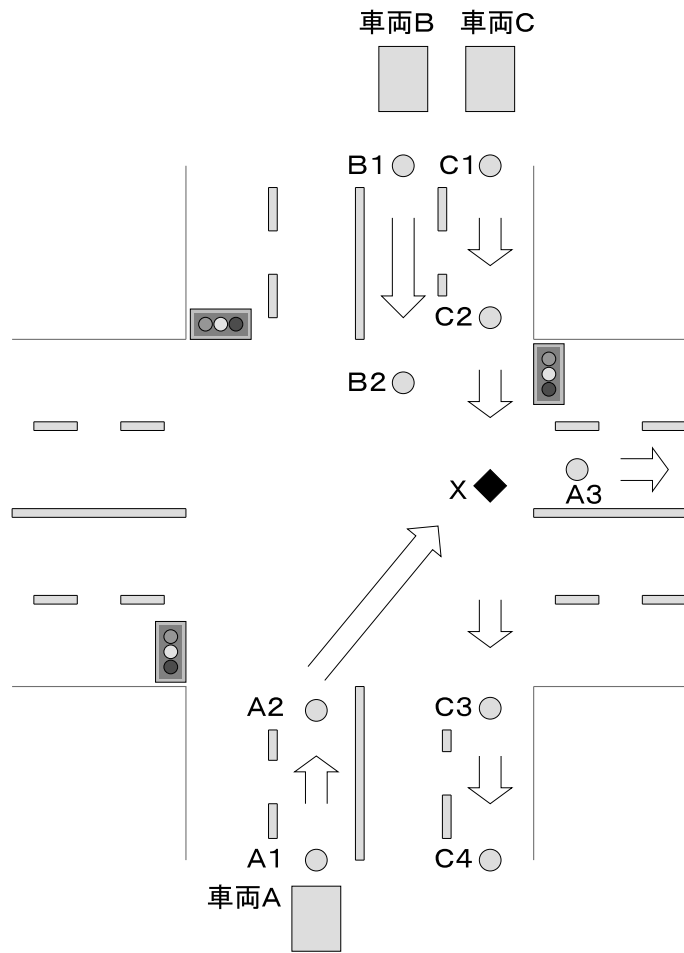


図1 シナリオのモデル図
 Fig.1 Scenario-model

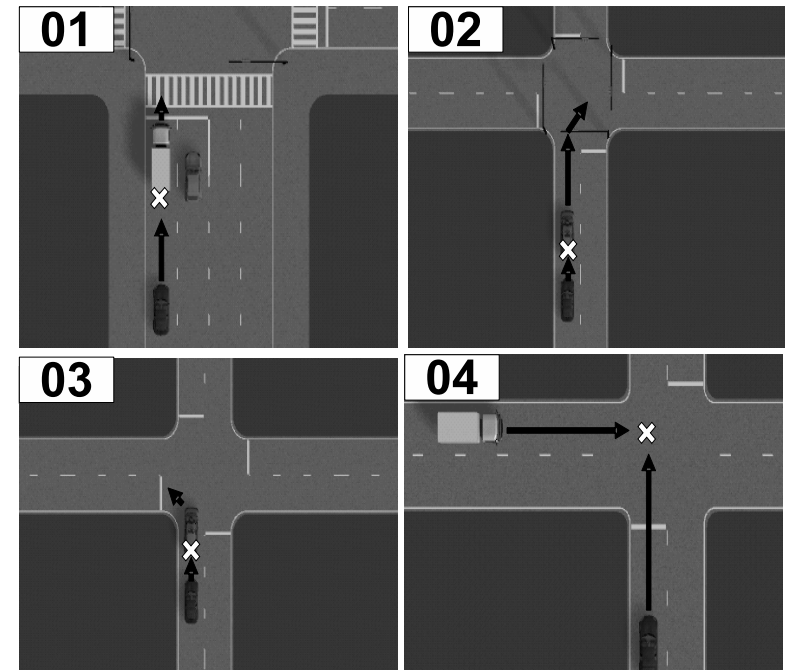


図2 シナリオ No.01~No.04
 Fig.2 Scenario No.01-No.04

交通事故シナリオの概要を示す。車両は矢印に沿って移動し、バツ印で衝突することを示している。

3. 評価

3.1 評価方法

予防安全システムでは、一般的に認知、判断、操作という3つのフェーズが存在する。認知では、自車両や周辺情報の収集を行う。判断では、認知で得られた情報を元に自車が危険かどうかを決定し、操作によって危険事象の回避を行う。今回、交通事故シナリオを予防安全システムに適用するにあたり、認知、判断までのフェーズを交通事故シナリオに適用する

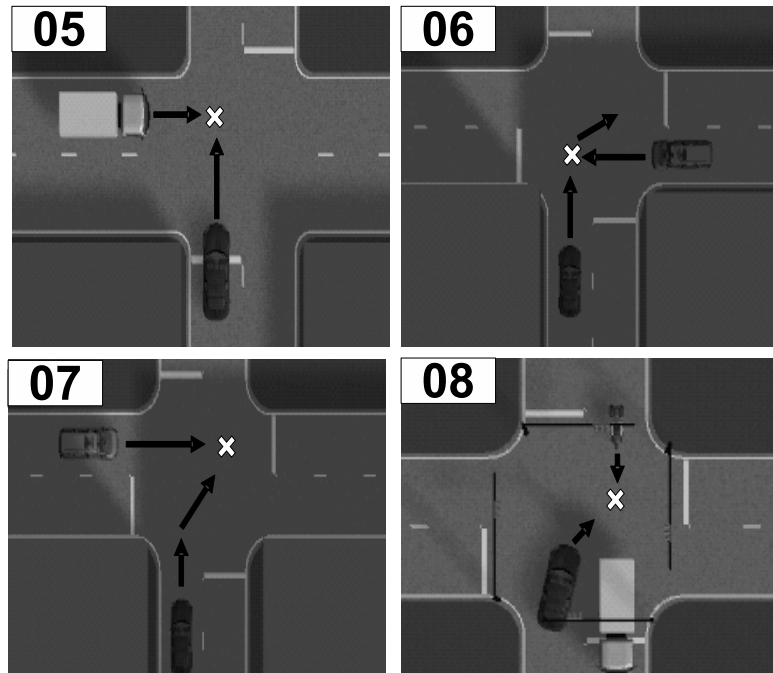


図 3 シナリオ No.05~No.08
Fig. 3 Scenario No.05-No.08

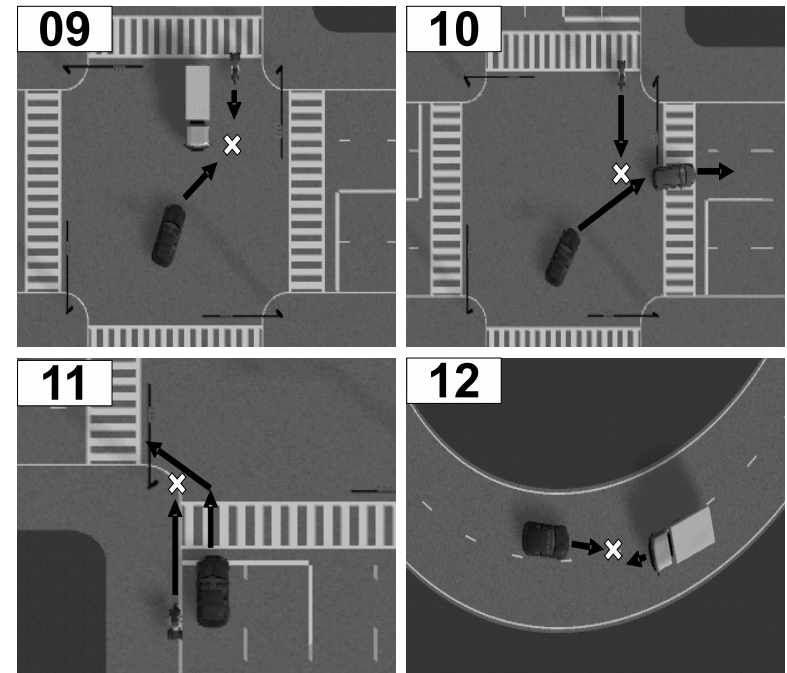


図 4 シナリオ No.09~No.12
Fig. 4 Scenario No.09-No.12

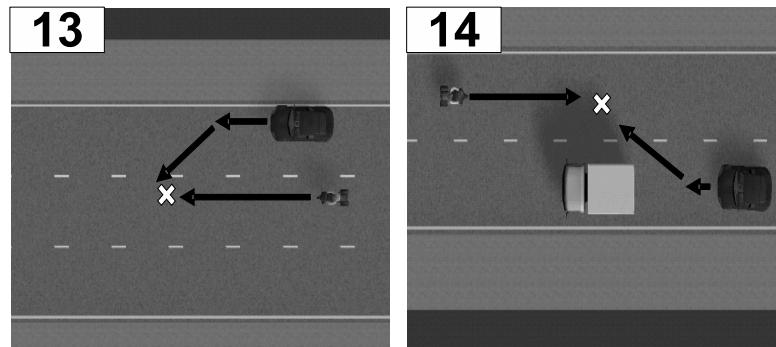


図5 シナリオ No.13~No.14
 Fig. 5 Scenario No.13-No.14

ことにした。操作まで含めた場合、交通事故シナリオがシナリオ実行途中から変化してしまい比較するのが難しいためである。また、危険だと判断できた時点と比較することで、同じ解決可能な状況に対して、どちらの予防安全システムが優れているかという評価に利用することも可能である。認知、判断を行った後は、テールランプを点灯させることで危険事象を検知したことを評価実施者に知らせるようにする。評価項目は、各シナリオにおける衝突検知の有無、衝突検知したときの時刻、衝突予定時刻とする。

3.2 予防安全システム

本論文では、3種類の予防安全システムの開発を行い、交通事故シナリオにそれぞれ適用することで、予防安全システムが対応可能な交通事故シナリオの抽出を行った。

● 前方向レーダを利用した衝突検知

レーダを使って前方の車両へ衝突する危険を検知する方法として、Stopping Distance Algorithm¹³⁾(以後 SDA)を使う方法がある。SDAは、車両が危険を検知してから安全に停止できる距離を表し、この値より車間距離が小さい場合に危険検知を行うよう実装した。

$$SDA = V_f T_c + (V_f^2 / 2a_f - V_p^2 / 2a_p) + D_s \quad (1)$$

$$X_r < SDA \quad (2)$$

ここで X_r は車間距離、 V_f, a_f は自車の速度、加速度、 V_p, a_p は前方車の速度、加速度、 T_c は危険を察知してからブレーキを踏み始めるまでの時間、 D_s は停止時の車間距離を表している。ただし、 T_c は $0.6s$ 、 D_s は $3m$ 、 a_f, a_p はそれぞれ $5.0, 2.5m/s^2$ と仮定する。これらのデータフロー図を図6に示す。自車に取り付けたセンサ情報から、自車の走行状態と周辺車両(障害物)の情報を取得し、JIS D0802¹⁴⁾に定められている同一レーン内でもっとも接近している車両を選択し、SDAを求め警告の必要があるかどうかを判断している。

● 後側方センサを使った衝突検知

車両の後側方にセンサやカメラを取り付けることで、後方や斜め後ろから接近する車両を検知し、車線変更が危険であることを通知することが可能である。今回の評価では、車両の右または左の後側方に半径 $5m$ 、 45 度の範囲のレーダを取り付けることで斜め後ろの車両を検知し、また自車の方向指示器が検知した車両側に点滅しており、検知した車両と同じ方向に進行している場合に、ドライバに危険検知を通知するシステムの実装を行った。これらのデータフロー図を図7に示す。

● 車車間通信を使った衝突検知

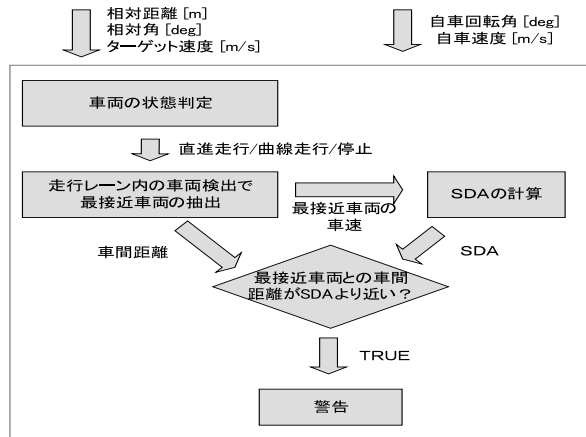


図 6 SDA を用いた PCS のデータフロー図
 Fig. 6 Dataflow Diagram of PCS with SDA

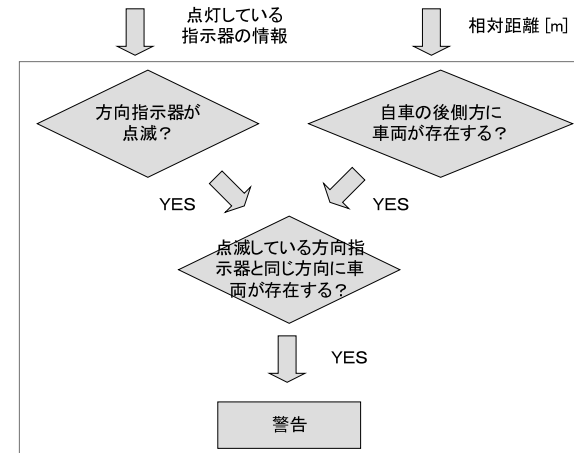


図 7 後側方センサを使った衝突検知のデータフロー図
 Fig. 7 Dataflow Diagram of Collision Detection with Back Side Sensor

車車間通信を使い、遠方や死角に存在する車でも情報をやり取りすることで、衝突検知を行うことができる。今回、自車位置と衝突する可能性のある車両の位置情報から計算できる Collision Judgement Coefficient (以後 CJC)¹⁵⁾ を使い、過去 3 ステップにおける CJC の平均値と現在の CJC の変動幅が 10%以内でかつ衝突候補の位置へ到達するまでの時間が 6 秒以内である場合に危険を警告するアルゴリズムを採用した。CJC は、

$$CJC = (Y_a - Y_b) / (X_a - X_b) \quad (3)$$

で求めることができる。X_a, Y_a は自車の位置座標, X_b, Y_b は他車の位置座標を表す。この CJC を使って警告を行うまでのデータフロー図を図 8 に示す。また車車間通信に利用するセンサは 1Hz で動作し、データ送信を行う車両の半径 100m 以内に自車が存在している場合に、1 秒間に 1 回の割合でデータを送受信する。

3.3 適用結果

本節では、交通事故シナリオを予防安全システムに適用した結果を示す。危険検知の有無について、が予防安全システムで交通事故シナリオの事故を未然に検知することが可能で

あったことを示し、×が交通事故を未然に検知できなかったことを示す。また検知した時刻と衝突予定時刻を示す。今回適用した交通事故シナリオは、右折または左折を行う車両はすべて 8m/s で走行し、直進走行や車線変更を行う車両はすべて 15m/s で走行するように設定した。

交通事故シナリオを SDA による PCS に適用した結果を表 2 に示す。SDA による PCS は、前方の車両に対し危険検知を行うため、シナリオ No.11 と No.13 については非適用とした。

交通事故シナリオを後側方センサによる衝突検知システムに適用した結果を表 3 に示す。後側方から来た車両との衝突検知であるため、シナリオ No.11 と No.13 に適用を行った。

交通事故シナリオを車車間通信を使った衝突検知システムに適用した結果を表 4 に示す。ただし、CJC は交差する道路を走行する車両との衝突検知であるため、シナリオ No.04 ~ No.07 に適用した。No.04 ~ No.07 は、出会い頭衝突の事故類型であり、これらは自車の軌道と衝突する他車の軌道がよく似ているため、衝突検知も同じように可能であった。

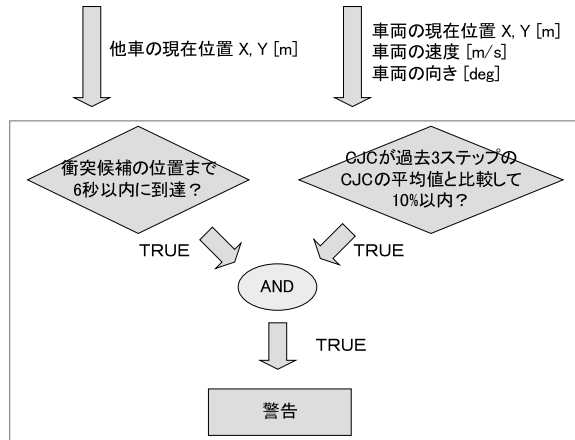


図 8 車車間通信を使った衝突検知のデータフロー図

Fig. 8 Dataflow Diagram of Collision Detection with Car to Car Communication

表 2 SDA による PCS の交通事故シナリオ適用結果
Table 2 Result of PCS with SDA

| シナリオ No. | 危険検知の有無 | 検知した時刻 | 衝突予定時刻 |
|----------|---------|--------|--------|
| 01 | | 3.65s | 5.85s |
| 02 | | 3.70s | 6.80s |
| 03 | | 3.55s | 6.65s |
| 04 | x | - | 7.35s |
| 05 | x | - | 7.35s |
| 06 | x | - | 11.90s |
| 07 | x | - | 12.30s |
| 08 | x | - | 12.35s |
| 09 | x | - | 12.55s |
| 10 | x | - | 10.10s |
| 12 | x | - | 7.80s |
| 14 | x | - | 8.25s |

表 3 後側方センサを使った衝突検知システムの交通事故シナリオ適用結果
Table 3 Result of Collision Detection with Back Side Sensor

| シナリオ No. | 危険検知の有無 | 検知した時刻 | 衝突予定時刻 |
|----------|---------|--------|--------|
| 11 | | 3.00s | 5.20s |
| 13 | | 7.50s | 9.30s |

表 4 車車間通信による衝突検知システムの交通事故シナリオ適用結果
Table 4 Result of Collision Detection with Car to Car Communication

| シナリオ No. | 危険検知の有無 | 検知した時刻 | 衝突予定時刻 |
|----------|---------|--------|--------|
| 04 | | 6.25s | 7.35s |
| 05 | | 6.00s | 7.35s |
| 06 | | 9.30s | 11.90s |
| 07 | | 9.55s | 12.30s |

4. 関連研究

第 3 期 ASV 推進計画成果報告では、情報交換型運転支援システムを搭載した車両が効果的かどうかを、実際の交通環境に近い条件で評価することを目的とし、北海道開発土木研究所苫小牧寒地試験道路において評価実験を行っている。そこでは、評価内容として 7 つの事故 (右折時衝突, 出会い頭衝突, 歩行者衝突, 正面衝突, 追突, 左折時衝突, 車線変更時衝突) の状況を再現し、情報交換型運転支援システムの効果について検証している。

また UTMS 協会では、光ビーコンとカーナビゲーションシステムを用いた DSSS の研究開発を行っている。DSSS は、センサや信号機の情報、事故統計などを利用して周囲に危険要因を通知し、事故低減を目的としたシステムである。この DSSS では、出会い頭, 右折左折, 追突といった事故に対応できるように課題を設定している。

本研究では、車車間通信や路車間通信の有利性の評価方法の検討ではなく、複数の予防安全システムの評価を可能とすることを目的としている。また実証実験を行わず、さまざまな条件を検証できるようにシミュレータによる評価を行っている。

5. おわりに

本研究では、さまざまな交通事故の状況をシミュレータによって再現し、予防安全システムに適用することでどのような交通事故の状況を防ぐことができるのかを検証する方法の検討を行った。その結果、SDA による PCS では、主に追突事故に対しその衝突を防ぐ役割

があり、また事故の発生頻度も高いため、その予防効果は非常に高い。後側方センサを使った衝突検知システムでは、SDAによるPCSでは検知できないような事故の衝突危険を検知できている。ただし統計上、車線変更の事故はさほど多くないため、予防効果はあまり高くない。車車間通信を使い、CJCによる衝突検知システムでは、出会い頭事故を未然に防ぐことが可能で、こちらも事故の発生頻度が高くその効果も高い。

今後の課題として、対人、対自転車における交通事故シナリオの拡充を行う予定である。また、事故の状況が発生する場合と、似ている状況であるけれども事故が発生しないシナリオを用意することで、予防安全システムが的確に動作するかどうかを検証する仕組みを考える予定である。

参 考 文 献

- 1) 小出公平, 坂本堅太郎: 最新の ITS, 自動車技術, Vol.63, No.2, pp.4-11 (2009).
- 2) 津川定之: 安全運転支援システムの現状と課題, 自動車技術, Vol.63, No.2, pp.12-18 (2009).
- 3) 奥谷正: 安心・安全を実現するスマートウェイの取組み, 自動車技術, Vol.63, No.3, pp.16-19 (2009).
- 4) 末木隆, 山本信, 池田義行: Driving Safety Support Systems (DSSS) 愛知公道実験, 自動車技術, Vol.63, No.3, pp.47-52 (2009).
- 5) 猪野由里子, 浅沼信吉: インフラ協調型安全運転支援システムの栃木公道実証実験, 自動車技術, Vol.63, No.3, pp.43-46 (2009).
- 6) 岡崎俊実, 藤原由貴, 山田直樹, 山田秀行, 山崎慎也, 石橋基範: インフラ協調システムの広島地区公道実証実験, 自動車技術, Vol.63, No.3, pp.53-56 (2009).
- 7) 鈴木延昌: 先進安全自動車 (ASV) 推進計画について 第1期から3期までの概要と第4期の活動状況, 自動車技術, Vol.63, No.3, pp.9-15 (2009).
- 8) 財団法人 交通事故分析センター
<http://www.itarda.or.jp>
- 9) 世田谷警察署: 交通事故パターン
<http://www.keishicho.metro.tokyo.jp/3/setagaya/kotu/jikotaisaku.htm>
- 10) 神奈川警察署: 交通死亡事故事例からみた危険予知のポイント
<http://www.police.pref.kanagawa.jp/mes/mesf0066.htm#03>
- 11) 交通安全のとびら: 三井住友海上
http://www.ms-ins.com/rm.car/safety_point/002/a01.html/
- 12) TNO: PreScan
<http://www.tno.co.jp/PreScan/>
- 13) 鈴木 桂輔, 丸茂 喜高: システム限界時におけるドライバの運転特性: 低速 ACC のシステム限界警報の設定タイミングに関する考察, 日本機械学会論文集. C 編, Vol.69,

No.685, pp.2431-2436 (2003).

- 14) 経済産業: JIS D0802 自動車 - 前方車両衝突警報装置 - 性能要求事項及び試験手順 (2002).
- 15) Zhengrong Yang, Takashi Kobayashi, Tsuyoshi Katayama: Development of an Intersection Collision Warning System Using DGPS, Proceedings. JSAE Annual Congress, No.107-99, pp.1-4 (1999).