

歩行者接近検知による注意喚起システムの構築と評価

山田 将人^{†1} 山田 尚志^{†2} 神山 剛^{†1} 深澤 佑介^{†1}

概要：ドライバーにとって見通しの悪い危険地点にセンサを設置し、歩行者の接近を検知すると、同地点に接近中の車両内に取り付けた端末にアラート音とカメラ映像で注意喚起を行うシステムを構築した。大学構内を運行するオンデマンドバスを用いてフィールド実験を実施し、本システムがドライバーの運転行動に与える影響を観察することで、本システムの有効性を評価した。

キーワード：安全運転支援、注意喚起システム

1. はじめに

道路側に設置された装置や車両側に搭載された機器が互いに連携しあうことで、車両の安全走行を支援する「路車間・車々間・歩車間協調サービス」の実現および高度化に向け様々な取組が展開されている[1][2]。例えば、衝突・追突防止支援や、歩行者横断見落とし防止支援、信号および一時停止規制の見落とし防止支援、赤信号減速支援、発進遅れ防止支援といったサービスが提供され始めている。しかしながら、これらの取組は、光ビーコンや専用周波数帯の無線通信を用いた直接通信および機能連携を前提としており、道路側・車両側ともに大規模なインフラ整備が必要となる。安価で簡易なシステムが構築され実運用された例はない。

本研究では、見通しの悪い交差点等における歩行人との出会い頭の衝突防止という課題に対し、安価で簡易なシステムの実現をめざす。

1.1 既存研究

近年、車から見えづらい地点の情報をドライバーもしくは歩行者に通知して注意喚起する様々な方法が提案されている。これらの研究は主に次の3つに分類することができる。まず、路上設置型装置が発光等により危険を通知し注意喚起を促すシステムについて述べる。次に、路車間通信により車内機器がドライバーに注意喚起情報等を提供するシステムについて述べる。最後に、歩車間通信により車内機器がドライバーに注意喚起情報等を提供するシステムについて述べる。なお、衝突回避の注意喚起としては、車載機単独で実現する方法[3]もあるが、今回は車からは見えづらい地点の情報を注意喚起するものを対象とするため、これらの研究は対象外とする。

1.1.1 路上設置型装置が注意喚起するシステム

三谷ら[4]は小交差点での出会い頭事故防止のための路上設置型警告システムの試作機を用いて、出会い頭事故の

多発する公道小交差点での警告サービスの試行実験を行っている。同システムは車両や歩行者との通信は行わず、路上設置型装置が危険を検知すると装置自体が発光することで警告を行う。

1.1.2 路車間通信により注意喚起するシステム

路車間通信により注意喚起するシステムについて述べる。金澤ら[5]は、路側に設置した検知器で車両の速度を検知し、ITS スポット通信を活用して急カーブを安全な速度で走行できるように注意喚起情報を提供している。注意喚起情報の有無について走行実験による検証とアンケートによる定性的な評価を行っている。

児島ら[6]は、路車間通信システムによる注意喚起通知がドライバーに与える影響を検証している。ドライバーへの情報提供により衝突回避のためのブレーキ操作の開始が、平均で0.9秒早くなる等の運転行動の変化が大部分の実験参加者に見られたが、不要情報を繰り返し経験することで、悪化方向に行く可能性を示している。視覚情報を注視し続けることによる危険回避の遅れは確認されず、簡易な図形と文字による視覚情報を聴覚情報と組み合わせて使用することに問題は無いことを確認している。

露木ら[7]は、路車間通信を用いた出会い頭衝突防止支援システムを用いて、公道での実車実験から音の定位による注意誘導手法の有効性と課題を検討している。擬音と音の空間定位を使うことで危険対象の方向に注意を適切に誘導できるとの考えに基づいている。

1.1.3 歩車間通信により注意喚起するシステム

後閑ら[8]は、歩車間通信を利用した歩行者の接近情報をドライバーに提示するシステムが、ドライバーの運転行動に及ぼす影響を明らかにするための被験者実験を行っている。歩行者の接近を音と画像でドライバーに注意喚起するシステムを使い、システムの支援の有無で被験者の運転行動の比較を行っている。ドライバーの認知時間を約0.2秒短縮できたという結果が出ている。

児島ら[9]は、ドライビングシミュレータ上で、歩車間通信により歩行者の情報をドライバーに提示した場合の運転行動の変化についての評価をしている。

^{†1}(株)NTTドコモ
NTT DOCOMO, INC.
^{†2}ドコモ・テクノロジー(株)
DOCOMO Technology, Inc.

鈴木ら[10]は、歩車間通信を利用した歩行者目線の安全支援システムを提案している。サーバで歩行者の危険度レベルの管理を行い、危険と判定したときに歩行者と車に警告を行う。

齊藤ら[11]は、接近車両の状況、歩行者の属性・状態や周囲環境等の情報に基づいて通信を制御することで、事故に対する危険度の高い歩行者について優先的に情報を周辺車両に伝達する手法を提案している。

1.2 本研究の目的

従来の取組では、歩車間通信は専用の端末を歩行者に持たせることを想定しており、現実的ではない。また、先に述べたとおり、路車間通信をベースとしたシステムは、光ビーコンや専用周波数帯の無線通信を用いる上、大規模なインフラ整備を前提とした研究がほとんどであり高コストとなる。三谷らの研究[4]は、安価で簡易な路上設置型による出会い頭衝突回避システムを提案しているが、車内機器によるドライバーへの直接的な注意喚起に比べ、効果が限定的となるおそれがある。

そこで本研究では、大規模なインフラ整備をすることなく、既に市中で利用されている機器・システム・通信手段のみの組合せで、通行人接近情報を通知し安全運転を支援する注意喚起システムを構築する。本研究の目標は、通行人の検知漏れがなく注意喚起までの遅延が少ない安価で簡便なシステムを構築することである。

1.3 システムへの要求条件

本研究では以下の2つの要求条件を満たすシステムを構築する。

- 1) 既に市中で利用されている機器・システム・通信手段のみの組合せで構築できること。
- 2) 注意喚起が通知される対象は接近中の車両のみとすること。

システムの安全性評価として以下の2点について実験により評価を行う。

- 1) 通行人の検知の漏れがないこと。
- 2) 注意喚起によりドライバーの安全運転行動に影響を与えないこと。

以降、提案システムについて2章で述べる。3章でフィールド実験について述べる。4章でまとめについて述べる。

2. 提案システム概要

本システムの流れを図1に示す。なお、センサ・カメラ・サーバ・車載クライアント PC 間の通信は、モバイルデータ通信で行なう。

- ① 見通しの悪い地点に向かって通行人が接近していることを、道路に設置されたセンサが検知する。

- ② 検知信号を遠隔監視サーバがとらえ、当該センサと紐付けられたカメラに対し映像伝送を指示し、受信する。
- ③ 遠隔監視サーバは、次節に述べる方法で、同地点に接近中の注意喚起すべき対象車両を特定する。
- ④ 遠隔監視サーバは対象車両内の車載クライアント PC に対し、アラート音による通知を行うとともに、見通しの悪い地点のカメラ映像を表示することで注意喚起を行う。

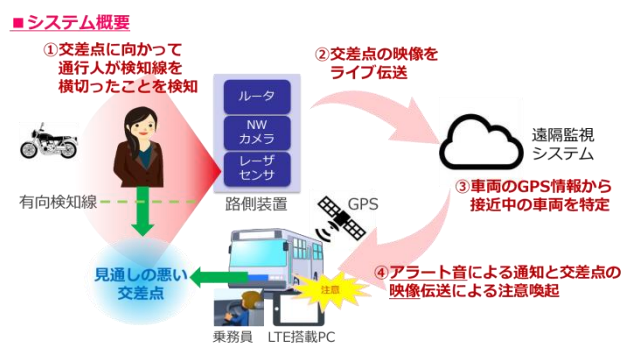


図1 システム概要

2.1 システムの構成機能

本研究では、既に市中で利用されている機器・システム・通信手段のみの組合せで構築する。以下に、本システムの各構成要素を記載する。

(1) 道路側装置

- ・ レーザセンサ(近赤レーザー光 距離測定方式)
 - 通行人の検知に使用。仮想検知線をどの向きに横切ったかに基づいて通行人の進行方向を判別し、交差点に接近する通行人にのみ反応。
 - 警戒エリア：角度 190°，距離：半径 30m
- ・ ネットワークカメラ
 - センサ反応をトリガに、通行人の様子を撮影し、遠隔映像監視システムに伝送。
- ・ ルータ
 - NTT ドコモ Xi データ通信(4G LTE)+インターネット経由により、センサおよびカメラと遠隔監視システムを接続。
- ・ その他
 - 可搬型装置(図 2,3)には電源のない様々な場所に持ち込んで実験できるようにバッテリーを搭載。



図 2 道路側装置 (可搬型)



図 3 道路側装置 (可搬型使用時の様子)

(2) 遠隔映像監視ソフトウェア

ソフトウェア

- センサに連動してカメラ映像を取得・伝送する機能を有する ArgosView ((株) ヴィ・インターネットオペレーションズ) を採用. サーバ及び車載クライアント PC に搭載.
- センサから検知信号を受け取り, 当該センサに紐づくカメラの映像を取得. 同センサに紐づく車載クライアント PC にアラート音通知とカメラ映像伝送で注意喚起を行う.

(3) 車載クライアント PC

- 4G LTE モジュール内蔵 Windows10 PC に USB 型 GPS 端末を接続して使用 (図 4).



図 4 車載クライアント PC

2.2 注意喚起対象車両の限定

本システムでは複数の車両が運行することが想定されており, ある地点で歩行者を検知したからといって全ての車両に注意喚起を通知することは適切ではない. そのため, 注意喚起が通知される対象を接近中の車両のみに限定する.

遠隔監視サーバが接近中の車両のみを注意喚起通知対象に限定する方法を以下に示す. 図 5 に示すように, GPS により取得された車両位置が各センサに対して定義された「通知対象エリア」内に含まれ, かつ GPS により判定された車両進行方向が危険地点の位置する方向と一致する車両にのみ注意喚起を行う.

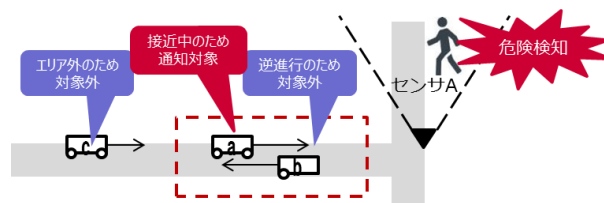


図 5 GPS による注意喚起対象車両限定機能

3. フィールド実証実験

3.1 概要

当該システムのセンサ検知精度および安全性向上効果の検証を行うべく, フィールド実証実験を実施した.

(1) 実施場所

九州大学 伊都キャンパス内を運行中のオンデマンドバス 2 台に車載クライアント PC を搭載し, 図 6 のとおり同キャンパス内の見通しの悪い丁字路に道路側装置を固定設置した. なお同地点ではバイク, 自転車, 歩行者ともに通行するが, 特に走行速度の速いバイクがバス車両との衝突危険性が高いため, 本実験および評価ではバイクを主対象に設定した.



図 6 フィールド実験実施場所

(2) 通行人（バイク）検知センサの設置場所の設計

今回の実験場所では、バスにとって、アラート音受信による注意喚起からバイクの丁字路到達までに少なくとも10秒以上の余裕をもたせるように、センサの設置場所を設計した。実際には、センサ前をバイクが通過してから注意喚起するまでの時間には遅れが発生しており、センサを検知してから注意喚起を行いバイクと丁字路で出会うまでには以下の2つの時間を考慮する必要がある。

- ・バイクが通過してから注意喚起するまでにかかる時間
- ・注意喚起後にバイクが丁字路に到達するまでの時間

まず、センサ前をバイクが通過してからバス車内クライアント PC に注意喚起が届くまでにかかる時間について計測した。センサ反応から車載クライアント PC へのアラート音通知までの遅延時間を実環境で測定したところ、表1のとおり、平均通知遅延時間が3.0秒、通知時間の幅としては2～5秒程度だった。

表1 通知遅延時間測定結果

実施回	計測時間 (秒)
1	4.2
2	2.1
3	3.8
4	3.8
5	2.6
6	2.3
7	1.9
8	2.8
9	5.3
10	1.6

通知遅延時間を5秒とすると、図7のとおり、バイクがセンサの設置場所から丁字路に到達するまでの所要時間が15秒以上となる地点にセンサを設置する必要があることになる。今回は約19秒の位置に設置することで、注意喚起してからバイクが丁字路に到達するまでに十分な時間を確保した。



図7 通行人（バイク）およびバスの到達時間

(3) センサのチューニング

図8に示すように、レーザセンサが通行人（バイク）を検知するための仮想検知線は、取りこぼし回避のため4本設定した。仮想検知線の横切り検知方向は、丁字路に向かって進入する方向（図8の矢印方向）に設定した。レーザ一の高さは、バイクに乗車する人の胴体から腰あたりを狙い110～130cmに設定した。

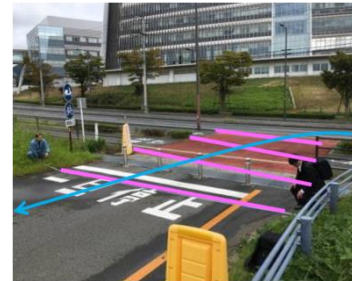


図8 センサによる仮想横切り検知線の設定位置

(4) 実施期間

下記の期間でフィールド実証実験を実施した。

- ① 設置/運用期間
2017/10/20～
- ② 安全性評価期間(特別評価期間 ※走行回数増)
2017/12/7 ～ 2017/12/8
- ③ 安全性評価期間(通常運行期間)
2017/12/11 ～ 2018/1/31

3.2 システム動作評価

本節では要求条件を満足するシステムとなっているか、以下の2点について評価を行った。

- ・通行人の検知に漏れがないこと。
- ・注意喚起によりドライバーの安全運転行動に影響を与えること。

3.2.1 通行人の検知漏れについての精度評価

(1) 可搬型装置による事前評価

実験地点に道路側装置を固定取付する前に、可搬型装置を用いてセンサ検知精度の事前評価を実施したところ、表2に示すように検知ミスが発生した。可搬型装置の制約によりセンサの水平角度を路面の傾斜にあわせることができなかったことが原因だった。

表2 可搬型装置によるセンサ検知精度

	計測回数	検知成功数	検知失敗数	割合
バイク	48	46	2	95.8%
自転車	18	18	0	100%
歩行者	13	12	1	92.3%
合計	79	76	3	96.2%

(2) 固定取付での本評価

前述の事前評価結果を踏まえ、センサの水平角度を路面の傾斜にあわせて固定取付を行い、改めて評価を実施した。その結果、表3, 4のとおり、昼夜問わず検知漏れしないことを確認できた。

表3 固定取付によるセンサ検知精度 (昼)

	計測回数	検知成功数	検知失敗数	割合
バイク	29	29	0	100%
自転車	3	3	0	100%
歩行者	21	21	0	100%
合計	54	54	0	100%

表4 固定取付によるセンサ検知精度 (夜)

	計測回数	検知成功数	検知失敗数	割合
バイク	14	14	0	100%
自転車	32	32	0	100%
歩行者	3	3	0	100%
合計	49	49	0	100%

3.2.2 注意喚起によるドライバーの安全運転行動への影響

本システムによるアラート通知の結果、ドライバーの運転行動がどのように変化したかを記録・評価するため、期間②の間、表5の機材をバス車両に取り付けた。

表5 使用機器

使用機材	取得するデータ	補足
OBD 端末	- 車速 - アクセル開度 (スロットル開度) - ブレーキスイッチの ON/OFF	データサンプリング 周期: 1 秒
ドライブレコーダ	- 前方映像 - 走行時の音声	アラート音の通知 タイミングを記録
アクションカメラ	- 前方映像 - ドライバーの顔映像 (視線, 表情など) - 足元映像(ペダル操作)	-

表6のとおり、アラート音による注意喚起があった場合、7割以上のケースで車両が丁字路で完全停止した一方、アラート音による注意喚起がない場合の全てのケースで完全停止しなかった。アラート音による注意喚起がドライバーの安全運転行動に影響を与えていることが示唆される。

表6 丁字路で完全に停止した割合

	合計		1号車		2号車	
	有	無	有	無	有	無
アラート音の通知	有	無	有	無	有	無
完全に停止した割合	72.0 %	0%	71.4 %	0%	72.2 %	0%
通過回数	25	19	7	10	18	9
完全に停止した回数	18	0	5	0	13	0

アラート音ありの場合となしの場合のそれぞれの運転行動の代表例を図9, 10に示す。アラート音なしの場合、丁字路が近づくにつれて減速するものの、完全停止せずに丁字路を通過している様子が確認できる。一方、アラート音ありの場合、アラート音が通知された後にブレーキが操作され、丁字路で完全停止し、数秒間安全確認を行った上でアクセルを操作していることが確認できる。

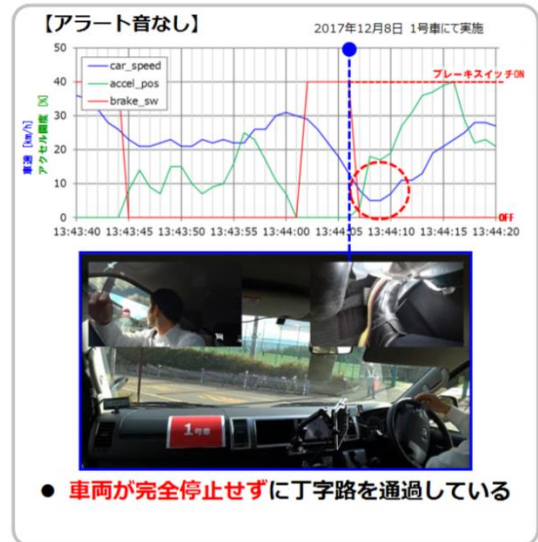


図9 アラート音なしの場合の運転行動の代表例



図10 アラート音ありの場合の運転行動の代表例

3.2.3 注意喚起の付属情報 (映像) 提示の影響

本システムでは、アラート音通知とともに、カメラ映像もドライバーに提示している。アラート音通知後のドライバーによるカメラ映像の確認行動の代表例としては、下記および図11のとおりだった。

- アラート音の直後にペダルを踏み替え、車載クライアント PC 画面のカメラ映像を確認。

- 丁字路に到達するまでの間に、車載クライアント PC 画面のカメラ映像を使って、丁字路左方の安全確認を済ませる。
- 丁字路での目視確認は右方（カメラのない方向）が中心。

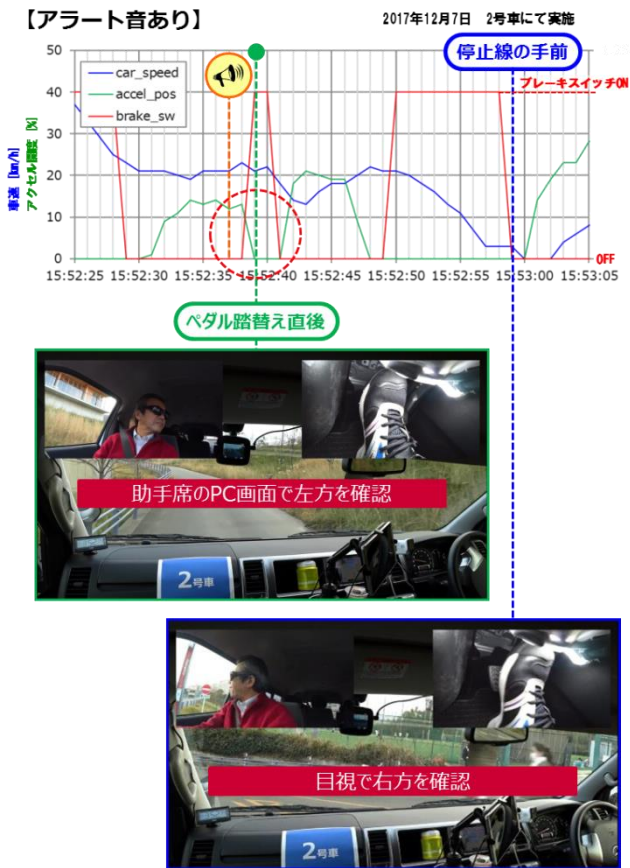


図 11 アラート音通知後の安全確認行動の代表例

4. まとめ

本取組では、既に市中で利用されている機器・システム・通信手段のみの組合せで、通行人接近情報を通知し安全運転を支援する注意喚起システムを構築した。大学構内を運行するオンデマンドバスを用いてフィールド実験を実施し、通行人の検知漏れが発生しないことを確認するとともに、本システムがドライバーの運転行動に与える影響を観察することで、本システムがドライバーの安全運転行動に影響を与えていることが示唆されることを確認した。

今後は、モバイルデータ通信区間の 5G 化や遠隔監視サーバのエッジ化による注意喚起通知の低遅延化等に取り組んでいく。

参考文献

- [1] 一般財団法人 道路交通情報通信システムセンター：“安全運転支援システム (DSSS)”，“信号情報活用運転支援システム (TSPS)”，<http://www.vics.or.jp/know/>
- [2] ITS Connect 推進協議会 “ITS Connect”，

- <https://www.itsconnect-pc.org/>
- [3] 谷繁龍之介：“書き足すドライバの特性を考慮した歩行者の見つけやすさ推定手法に関する予備的検討”，IEICE Technical Report, PRMU2013-69 (2013-12)
 - [4] 三谷哲雄，須藤晃成，山中英生，明楊：“公道小交差点での路上設置型警告システムの効果分析”，土木学会論文集 D3 (土木計画学)，Vol. 67, No. 5 (土木計画学研究・論文集第 28 卷)，I_1063-I_1070, 2011.
 - [5] 金澤文彦，岩崎健：“首都高速道路の急カーブ区間における安全運転支援サービスの効果検証実験”，土木技術資料 55-5 (2013)
 - [6] 児島 亨，塚田 由紀：“通信利用型安全運転支援システムについて—先進安全自動車 (ASV) 推進計画における検討概要—”，交通安全環境研究所フォーラム 2013. 講演 4
 - [7] 露木章史，石橋基範：“出会い頭衝突防止情報提供における音の定位による注意誘導手法の有効性”，日本人間工学会大会講演集 46sp (0)，146-147, 2010
 - [8] 後閑雅人，田中信壽，安本まこと：“歩行者認知支援システムがドライバーの運転に与える影響に関する研究”，交通安全環境研究所フォーラム 2017. 講演 1
 - [9] 児島 亨，山口 大助，波多野 忠：“通信利用型安全運転支援システムから歩行者情報を提示した場合のドライバーの運転行動に関する研究”，交通安全環境研究所フォーラム 2012. 講演 2
 - [10] 鈴木結香子，松本江里加，島田秀輝，佐藤健哉：“歩車間通信を利用した歩行者状況に基づく歩行者安全支援システム”，DICOM2013 シンポジウム，平成 25 年 7 月
 - [11] 齊藤淑，湯素華，小花貞夫：“歩車間通信における歩行者端末のコンテキストに基づく送信優先度制御方式の提案”，情報処理学会研究報告，Vol. 2015-ITS-60, No. 5, 2015/3/4