

公道小交差点での路上設置型警告システムの効果分析*

An effective analysis of a road-side warning system at public small intersection*

三谷哲雄**・須藤晃成***・明 楊****・山中英生*****

By Tetsuo MITANI**・Terumasa SUDO***・Yang MING****・Hideo YAMANAKA*****

1. はじめに

全事故の約 1/4 を占める出合頭事故のほとんどは、地域に散在する小規模な無信号交差点で生じている¹⁾。その割合は、住居系市街地ほど高く全事故のほぼ半数を占める地域もある²⁾。住居系市街地の無信号交差点では、出合頭事故防止は重要な課題といえる。

既存施策として実施されている簡易な注意看板や標識では、その実効性の問題、各種地区交通安全デバイスでは習慣性や騒音などの問題、が指摘されている。道路施設や規制の設置に留まっているのが現状であり、それらも不適切な利用があれば、効果低減だけでなく重大事故につながる危険性も指摘されている²⁾。

散漫な発生形態を有する出合頭事故に対して、低インフラ負担型対策として期待されている車載型警告システムでは、警告性能が車載器性能に依存するとともに、車載器の普及が効果発現を左右する。このため、短期施策には不向きといえ、効果発現に緊急を要する多発地点や危険箇所の施策としては、新たな路上型施策の必要性が窺われる。

一方、危険事象の回避を目的に、路上から車両検知センサーを用いて接近車両の有無を検知し、交差道路側への情報提供による注意喚起システムが実用化されている。短期的効果発現が見られ一定程度有効であるものの、導入上の課題(コスト、空間制約)に加え、運用上の課題(習慣性による効果低下、気候による誤動作、情報の誤り、情報の過信)があり、普及には至っていない。

小交差点で多発する出合頭事故の路上型対策には、設置性が高く低コストで、情報の誤り・過信が少なく、必要な場合にのみ警告するなどして習慣性が生じにくい注意喚起システムが求められている。

そこで著者らは、これまでの車載型警告システムの成果³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾を生かし、高価なシステムを設置しにくい住区内等の無信号交差点において、道路反射鏡などの既存

インフラと組合わせて出合頭事故防止を図る簡易な警告システムを考案し、交差点進入挙動分析や路側警告の影響分析などに取り組んできた。これまでに、路上から逐次計測した位置と速度のみで危険車両かどうかを事前予測判定するアルゴリズムを開発した⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾。路外模擬交差点での体感走行実験により、道路施設に付帯した小型ライトによる路側警告発光に挙動改善や注意喚起の効果がみられることを明らかにした¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾。

本研究では、考案した警告システムの実地配備に向けた研究の一環として、その導入効果を把握するため、公道設置を想定して製作した試作機を用いて、出合頭事故の多発する公道小交差点での試行実験を行った。その結果、現実の交差点環境でもシステム導入によって非優先側進入挙動の改善が見られることを明らかにした。

2. 路上設置型警告システム

(1) 基本概念¹⁴⁾¹⁵⁾

本システムは、路側警告に関わる全機能が集約された装置である。既設の道路反射鏡や一時停止標識などの付属物として設置し、本体施設の機能を補完する補助施設として振舞う。

本システムでは、装備されている接近物体センサーにより計測された非優先側進入車両挙動から、停止不能車両かどうかを事前予測判定する。停止不能車両とは、交差道路側の車両を発見できる位置(発見位置と呼ぶ)からの制動で衝突回避が困難な車両のことであり、その数が出合頭事故件数と高い相関性を有する¹⁶⁾。もし停止不能車両ならばシステムに装備された警報装置で警告し、そうではない場合は何もせず本体施設の機能を阻害しない。

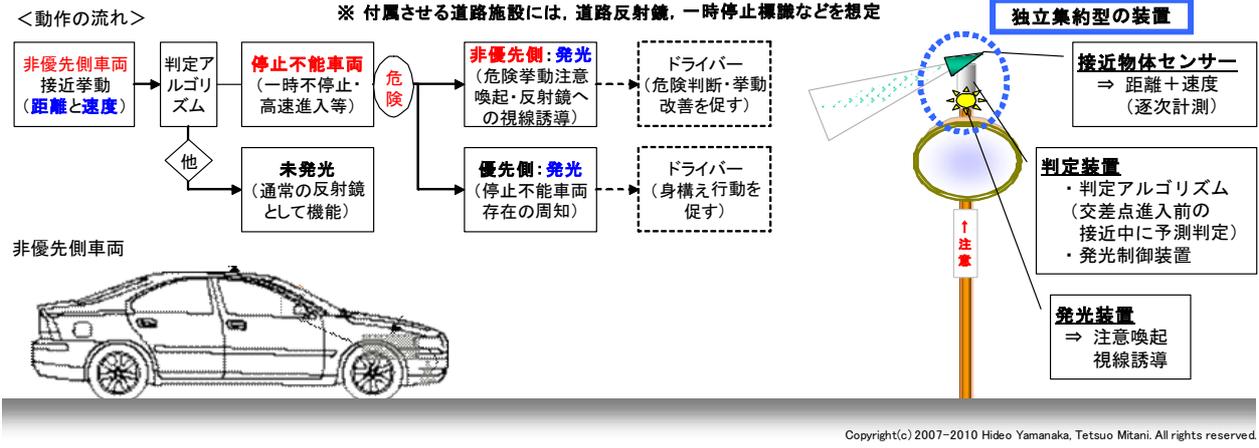
(2) システムの例

既に考案している道路反射鏡付属タイプを図-1に示す。本システムは、接近物体センサー・判定装置・警報装置で構成されている。警告は、非優先側への危険挙動の注意喚起と道路反射鏡への視線誘導により挙動改善を促す。一方、道路反射鏡は一般に、優先側、非優先側ともに見通せる位置に設置されているため、優先側への停止不能車両の存在周知による身構え行動を期待できる。

一時停止標識への設置の場合、基本的には同様の効果が期待できる。ただし、優先側からの警報装置の視認性は劣るため、身構え行動はあまり期待できない。

* キーワーズ：地区交通計画、交通安全、ITS
 ** 正員 博(工) 流通科学大学情報学部
 (〒651-2188 神戸市西区学園西町3-1
 TEL 078-796-4401/FAX 078-794-3054)
 *** 正員 博(工) (株)積水樹脂技術研究所
 **** 学生員 工修 徳島大学大学院
 ***** 正員 工博 徳島大学工学部
 (〒770-8506 徳島県徳島市南常三2-1
 TEL 088-656-7578/FAX 088-656-7579)

無信号小交差点出頭事故防止のための「道路反射鏡付加型警告システム」のコンセプト



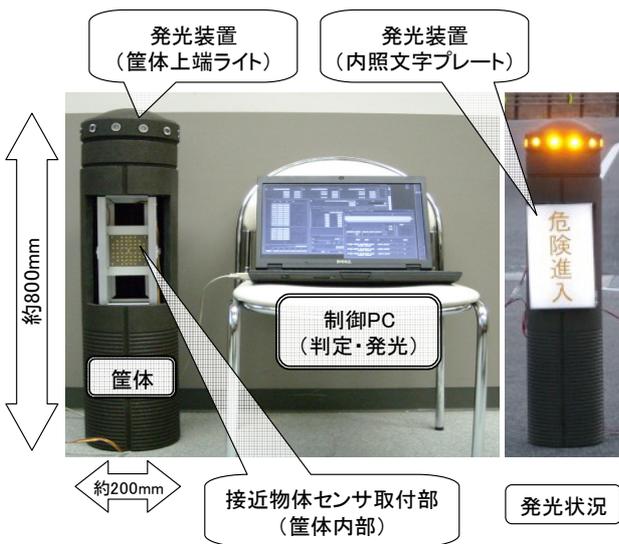
図ー１ 道路反射鏡付属タイプの概念図

3. 公道実験

(1) 実験用システム

1) 概要

図ー２に実験に用いた試作機の外観を示す。試作機は、接近物体センサおよび警告用の発光装置を内蔵した筐体と制御ソフトウェアが動作するノート PC とで構成される。制御ソフトウェアは、100ms ごとに、① センサデータを取得、② 警告判定方式に基づく挙動判定により停止不能車両かどうかを判断、③ 発光装置を制御、する。



図ー２ 試作機の外観

2) 筐体および発光装置

筐体には、路上での目立ちにくさや耐衝撃性を考慮し、

既製品の弾性ゴム素材の車止めを用いた。発光装置には、路外実験で得られた課題(気づきやすさとメッセージ性)の改善を図るため、7 個の超高輝度 LED を約 35 度間隔で筐体上端に配置し、筐体側面の文字パネルにより発光意図を明示した。警告発光は、既存路上施設製品での実績を踏まえオレンジ色で 50ms 間隔の点滅、とした。

3) 警告判定方式

著者らは、車載型警告システムの方式をベースに幾つかの路上観測挙動専用の方式 (22) を既に考案している。この方式は、警告感度を自由に調節できる仕組みを有し、警告発生頻度を制御できる。また、多様な被験者の交差点進入挙動観測から得られた挙動データベースの警告シミュレーション分析により、進入路幅員ごとの最適なアルゴリズムを得ている (22)。進入路幅員が 6m 程度以下の小交差点では、警告判定区間は交差点端から概ね 10m から 20m で、適正警告率が 80%以上、偽警告率が 7.7%~28.2%の良好な警告効率を有する。

4) 接近物体センサ

今回の警告判定方式では、位置・速度の逐次同時計測可能な接近物体センサを要する。本実験では、定在波方式のセンサでその有用性を確認済み (26) の 24GHz 帯マイクロ波レーダセンサを用いることとした。計測結果が天候の影響を受けにくく、免許不要で小型化が可能で、計測方式によっては低コスト化が可能である。

しかし、既製品は見当たらなかったため、24GHz 帯マイクロ波レーダを扱うセンサメーカー(株)パル技研ならびに(有)小椋電子に、既製センサのカスタマイズによる製作を依頼した。このとき、本システムの実用化の方向性を検討する一環として、低価格化を重視した方式と計測性能を重視した方式の 2 種類のセンサ製作を依頼した。その結果、前者として速度センサをベースにした

ドプラセンサ、後者として距離センサをベースにしたFMCWセンサ、の2種類のセンサを得た(図-3)。FMCWセンサは、仕組み上、速度精度にばらつきが大きいものの距離精度は高く、高コストになる。ドプラセンサは、仕組み上、低コスト化が可能なもの位置精度が低く警告感度の制御が難しい。

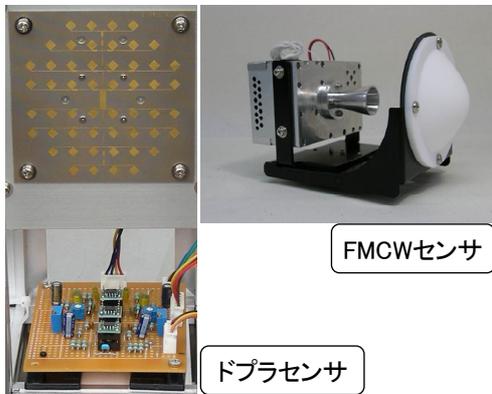


図-3 接近物体センサの外観

(2) 挙動観測方法

本システムのサービス対象となる先頭接近物体の交差点直前の一時停止状況を路上から目視観測した。観測対象は、「四輪」「二輪原付」「自転車」とした。

先頭接近物体は、警告判定区間(今回の進入路では交差点端から10m~20m区間)を通過後、先頭で単独進入してくる物体とした。ただし、当該区間内での追い越しやすれ違いの発生時、優先側車両通過時は、当該物体前方に車両などが存在し、減速や停止を余儀なくされ、本システムのサービス対象とはいえないため除外した。交差点直前挙動には、「一時停止(完全)=区間内で完全に一時停止」、「一時不停止=減速せず通過」、「徐行=いずれでもない(減速するものの完全停止には至らず)」の3区分を用いた。また、先頭接近物体以外の通行数を

把握するため、全ての交差点進入交通量も目視観測した。

(3) 実験方法

1) 対象交差点とシステム設置状況

実験対象には、過去に研究実績を有する兵庫県加古川市のJR 東加古川駅周辺の旧あんしん歩行エリア内の一時停止規制有り・道路反射鏡既設の交差点の内、交通事故多発上位2箇所を選定した(図-4)。既存道路施設の配置やセンサ計測可否、警告発光視認性などの検討の結果、A08 進入路、B01 進入路を実験対象進入路とした。

各進入路に対するシステムの設置状況を表-1に示す。A08では、通行障害防止を図りつつ、センサからの進入路見通し確保のため支柱から左前に設置した。B01では、センサからの進入路見通し確保、通行障害防止のため、道路反射鏡真下付近に設置した。

表-1 試作システムの設置状況

進入路名	イメージ図	現場状況
A08		
B01		



図-4 実験対象交差点

2) 実施方法

各進入路において、まず、システム設置無しの際の先頭接近物体の挙動観測を実施した。その後、2種類のセンサごとに別々にシステムを作動させた状況下での挙動観測を行った。

今回の試作システムでは、電源交換やログファイルの保存、機材調整を要するため、長期間の連続稼働はできなかった。このため、1サイクルを最大でも30分程度に区切って、それを繰り返しながら実験を進めた。

(4) 実施結果の概要

実験は、2010.02.19(金)、24(水)、25(木)、26(金)の4日間で行った。時間帯は、概ね9時~18時で実施した。なお26日の実験(B01のドプラセンサ)は、天候不良により中止した。実施結果概要を表-2に示す。

実験機材の設置や調整、休憩などの時間を除くと、合計450分(7.5時間)分の挙動観測結果が得られた。各進入路への交通量はそれぞれ621台(A08)および376台(B01)で合計997台、平均時間当たり交通量は133台/時であった。

表-2 実験実施結果概要

進入路	システム有無	センサ種別	観測時間	先頭接近物体			ほか接近物体	計
				四輪	二輪原付	自転車		
A08	無し	-	117分	85	8	16	137	246
	有り	FMCW	77分	65	4	12	72	153
		ドプラ	83分	76	5	7	134	222
	計		278分	226	17	35	343	621
B01	無し	-	93分	31	6	41	98	176
	有り	FMCW	80分	30	2	29	139	200
		計	173分	61	8	70	237	376
	計		450分	287	25	105	580	997

4. 観測結果の分析

(1) 分析方針

今回利用したセンサについては、いずれの方式も今回新たに考案された方式であり、限られた予算・工期での製作であったため、計測精度や設置・調整方法の点でやや課題を有する試作レベルのセンサとなった。しかし、いずれのセンサも今回の筐体に内蔵可能な非常にコンパクトなセンサに仕上がりに、公道設置可能なシステムを実現することができた。課題についても、メーカーによれば改良の余地が残されているとのことで、今後解決できる可能性を有する。

そこで、公道環境下での警告判定性能検証は、センサの今後の改善に合わせて検討を進めることとし、ここでは、今回のセンサに基づき判定された警告発生状況による一時停止状況の改善効果の程度をマクロ的に分析することとした。

(2) 先頭接近物体の通行状況

図-5に先頭接近物体の種別別構成比を示す。対象進入路への接近物体のうち、先頭接近物体以外を「ほか接近物体」とした。

先頭接近物体は、A08で交通量全体の40%~50%、B01で30%~40%程度である。A08では、先頭接近物体のほとんどが四輪である。B01では、自転車が半数を占める。四輪について、A08では40%が先頭接近物体として進入し、B01では20%程度しか見られない。これらの傾向は、システム有無に関わらずほぼ同等であった。

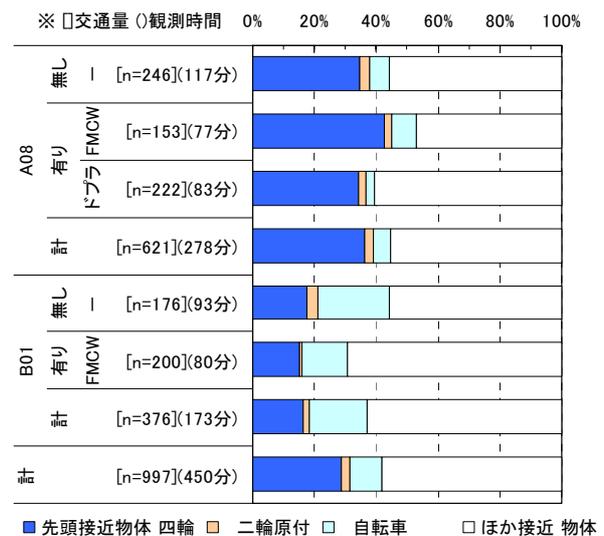


図-5 先頭接近物体の種別別構成比

(3) システムの警告発生状況

先頭接近物体の警告有無別構成比を図-6に示す。今回試作したシステムによる警告発光頻度は、A08のFMCWセンサで10台中2台程度、ドプラセンサで10台中4台程度、である。B01では、10台中5台程度に発生しており、最も頻度が高い。FMCWセンサに比べドプラセンサはやや発生しやすい傾向にある。

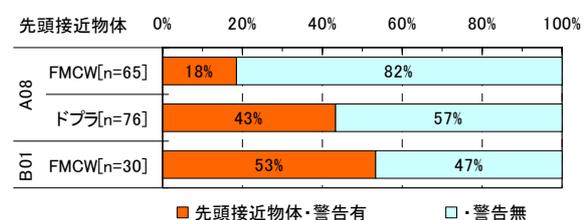


図-6 先頭接近物体(四輪)の警告有無別構成比

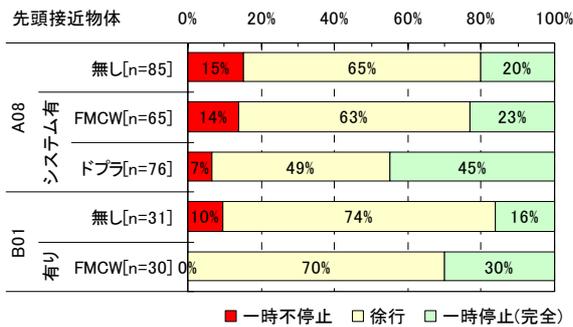
(4) システム導入有無による一時停止挙動の違い

図-7にシステム導入有無ごとの先頭接近物体の一時停止状況別の構成比を示す。

A08 において、システム無し時に 15%程度見られた一時不停止の割合は、FMCW では 10%程度減少し、ドブラでは 50%程度減少している。20%であった一時停止(完全)は、FMCW で 15%程度増加し、ドブラでは 120%以上増加している。B01 では、システム無し時に 10%程度見られた一時不停止は完全に無くなり、16%見られた一時停止(完全)も 80%以上増加している。

今回の試作機でも、その導入により一時停止挙動の改善効果が見られた。同じ交差点の場合、発生頻度が低い場合に比べ、高い場合のほうが改善効果は大きくなる傾向が見られた。このため、FMCW センサでも、警告感度を調節し警告頻度を高めることで効果向上が見込める。

また、今回の試作レベルのセンサによる警告判定でも一定の効果が見られた。それぞれのセンサは、接近物体センサとしての有用性は高いといえる。特に低価格化を重視したドブラセンサは、距離精度の改善による警告感度の制御性能を向上できれば、接近物体センサとしての有用性はさらに高まるといえる。



図一 7 先頭接近物体(四輪)の一時停止状況別構成比

5. おわりに

出合頭事故防止を目的とした路上設置型警告システムの実地配備にむけた研究の一環として、公道での一時停止状況の改善効果を把握するため、公道小交差点での試行実験を行った。

センサメーカーの協力を得て、公道で実際にサービス提供可能なシステムを試作できた。この試作機を出合頭事故の多発する現実交差点へ試験導入することで公道実験を実施した。その結果、以下の点が明らかとなった。

- [1] 先頭接近物体の一時停止状況は、システム導入により改善する。
- [2] 先頭接近物体の一時不停止の割合は、10%~100%程度減少する。
- [3] 完全な一時停止の割合は、15%~120%程度増加する。
- [4] 警告発生頻度が高いほど改善効果は大きく、本システムの警告感度調整機能で効果のある程度コントロールできる。
- [5] 今回のセンサは接近物体センサとしての有用性は高い。

現時点の課題は以下のとおりである。<1> サービス提供による改善効果は、今回実施した数時間程度のサービス期間内の効果であり、いわば初回体験時の効果といえる。複数回体験する場合の効果は、未知数である。特に警告頻度の高い場合、慣れによる効果低減が懸念される。<2> 今回の実験では、細街路同士の小交差点を対象としたが、出合頭事故は細街路から幹線道路への出口交差点でも少なくない。近年は、そこでの自転車との衝突も問題視されている。<3> 現行センサは、計測精度や設置・調整方法の点でやや課題を有する。

以上の点を踏まえ、① センサ改良、② 効果の持続性、③ 幹線出口交差点での導入効果、④ ①~③の点を踏まえ本システムの導入手法のあり方、について今後、検討を進める予定である。

謝辞

本システムの検討においては、兵庫県警察本部交通企画課ならびに交通規制課の方々には、貴重なご意見をいただいた。(有)小椋電子・吉開健志氏、(株)パル技研・山田浩氏・三好智裕氏には、システム製作において多大なご協力を頂いた。現場実験においては、加古川警察署交通第一課、加古川市建設部道路整備局道路保全課の方々には、ご協力をいただいた。さらに加古川平岡市民センター、実験交差点周辺の住民の方々には、駐車場提供や調査スペースの確保にご協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) Tetsuo MITANI・Hideo YAMANAKA : An analysis of the crossing-crash factor from the view point of the feature of intersection, Journal of The Eastern Asia Society of Transportation Studies, Vol.6(CD-ROM) , No.260 , 2005 , The 6th International Conference of EASTS2005
- 2) 生活道路交差点における交通安全対策整備と交通事故発生状況, 土木計画学研究・論文集, Vol.25, No.3, pp.775-782, 2008年09月, 土木学会, 三谷哲雄・日野泰雄・横井耕二・吉田長裕
- 3) 山中英生・河津孝典・三谷哲雄: 無信号交差点における一時停止支援 ITS の警告アルゴリズムの研究, 土木計画学研究・講演集, Vol.31(CD-ROM), No.225, 2005年, 土木学会
- 4) 山中英生・三谷哲雄・秀浦 光: 無信号交差点一時停止支援 ITS の警告判定アルゴリズムに関する分析, 第 26 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.177-180, 2006年, 交通工学研究会
- 5) 三谷哲雄・山中英生: 無信号交差点における一時停止支援システムの警告判定法の開発, 第 5 回 ITS シン

ポジウム論文集, pp.391-398, 2006年12月, ITS Japan

6) Hideo Yamanaka, Tetsuo Mitani, Makoto UEDA: WARNING TIMING ALGORITHM FOR A STOP SIGN CONTROL ASSISTANCE SYSTEM AT SMALL JUNCTIONS, 14th WORLD CONGRESS ON ITS CD-ROM, No.3120 (14th WORLD CONGRESS ON ITS, Beijing Exhibition Center, Oct. 9-13 2007)

7) 秀浦 光, 三谷哲雄, 山中英生: 一時停止支援警告に対する走行体感評価実験, 第27回交通工学研究発表会論文報告集, pp.13-16, 2007年11月, 交通工学研究会

8) 三谷哲雄, 山中英生, 上田 誠, 須藤晃成, 鈴江宗大: 無信号交差点一時停止支援システムの警告判定法の評価分析, 第6回ITSシンポジウム論文集(CD-ROM), No.O1-1, 2007年12月, ITS Japan

9) 須藤晃成・秀浦 光・鈴江宗大・三谷哲雄・山中英生: 小交差点における停止不能車両の路上からの判別を目的とした車両進入挙動分析, 土木計画学研究・論文集, Vol.25, No.4, pp.823-828, 2008年09月, 土木学会

10) 三谷哲雄・山中英生・明 楊・入谷忠光・須藤晃成: 小交差点における危険進入車両への路側警告のための挙動判別アルゴリズムの分析, 第7回ITSシンポジウム論文集(CD-ROM), 2-C-08, 2008年12月, ITS Japan

11) 須藤晃成・入谷忠光・山中英生・三谷哲雄: 路側観測可能な挙動指標を用いて車両の制動距離を推定する方法, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J61-A, No.8, pp.798-807, 2008年08月, 電子情報通信学会

12) 三谷哲雄, 辰野雄輝, 鈴江宗大, 山中英生: 路上観測データによる小交差点出合頭事故防止システムの警告精度に関する分析, 土木計画学研究・講演集(CD-ROM), Vol.39, 90, 2009年06月, 土木学会・土木計画学研究委員会

13) 明 楊, 三谷哲雄, 鈴江宗大, 山中英生: 小交差点での路上設置型装置による実地配備を想定した警告シミュレーション分析, 土木計画学研究・講演集(CD-ROM), Vol.40, 183, 2009年11月, 土木学会・土木計画学研究委員会

14) 三谷哲雄, 山中英生, 須藤晃成, 明 楊: 小交差点出合い頭事故防止のための路上設置型警告システム, 第8回ITSシンポジウム2009論文集(CD-ROM), No.1-A-04, 2009年12月, ITS Japan

15) 小交差点出合い頭事故防止のための路上設置型ITSシステム, 土木計画学研究・講演集(CD-ROM), Vol.37, 85, 2008年06月, 土木学会・土木計画学研

究委員会, 三谷哲雄, 須藤晃成, 入谷忠光, 山中英生 (第37回土木計画学研究発表会(春大会), 北海道大学工学部, 2008年06月06日~07日)

16) Hideo YAMANAKA, Tetsuo MITANI: Safety assessment for unsignalized small intersections using vehicle behavior video analysis and evaluation of collision avoidance system, Journal of The Eastern Asia Society of Transportation Studies, Vol.6(CD-ROM), No.195, 2005, The 6th International Conference of EASTS2005