

シミュレータによる幹線道路小交差点における 自転車の挙動分析

王 茹剛¹・山中 英生²・三谷 哲雄³

¹学生会員 徳島大学大学院 先端技術科学教育部 (〒770-0814 徳島市南常三島2-1)
E-mail: atm511517@yahoo.co.jp

²正会員 徳島大学ソシオテクノサイエンス研究部教授 (〒770-0814 徳島市南常三島2-1)
E-mail: yamanaka@ce.tokushima-u.ac.jp

³正会員 流通科学大学総合政策学部 教授 (〒651-2188 神戸市西区学園西町 3-1)
E-mail: Tetsuo_Mitani@red.umds.ac.jp

交通事故総数が減少する中で、自転車関連交通事故の割合は増加しており。特に、自転車と自動車の出会い頭事故は自転車関連事故の5割を占めている、その中で、双方向での自歩道通行を認めていることに起因する事故として、信号のない幹線道路小交差点における自転車と自動車の出会い頭事故が注目され、車道の車両とは逆方向に走行している自転車の危険性が指摘されている。本研究では、幹線道路の小交差点における幹線道路側を走行する自転車の挙動に着目し、自転車シミュレータを用いた仮想実験によって、交差点の見通し、自転車走行位置（自転車レーン、歩道民地側）の違いが、細街路から進入する車両に対しての安全性に与える影響を分析した。そして、自転車運転者の挙動や視線方向を比較した結果、歩道寄り走行や逆走の危険性を指摘した。

Key Words : *bicycle accidents, small junction, behavior of bicycles, eye movement, bicycle simulator*

1. はじめに

近年、自転車は環境に優しい交通機関としても、健康促進の観点からも、利用促進への関心が高まっている。一方で、交通事故の総件数が減少している中で、自転車関連の事故件数の減少は小さく、全事故件数に占める割合は増加しており、自転車の安全性向上も焦眉の課題となっている。

日本の自転車関連事故は、自動車の出会い頭事故が多数を占めている点の特徴とされており、交通事故分析センターの報告¹⁾によると、自転車事故の5割が出会い頭事故で占めるとしている。この出会い頭事故のうち、双方向の自転車の歩道走行を認めていることに起因する事故として、信号のない幹線道路小交差点での自転車事故が注目され、車道の車両と逆方向に走行する自転車の危険性が指摘されている。

一方、2012年11月に、「安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン」が国土交通省、警察庁によって発行されて、自転車ネットワークの計画的整備を進める方針のもとで、特に車道部での自転車レーンを中心に道路整備を進める方向が示されている。このように車両と同一

方向に車道部を走行させる自転車を基本とすることが事故件数の低減へとつながることも期待されている。

本研究では、以上の背景を踏まえて、幹線道路の小交差点における幹線道路側を走行する自転車の挙動に着目し、自転車シミュレータを用いた仮想実験を行い、交差点の見通し、自転車走行位置（自転車レーン、歩道民地側）の違いが、細街路から進入する車両に対しての安全性に与える影響を分析することを目的とした。

2. 幹線小交差点での自転車事故特性の既存研究

幹線道路小交差点において、車道上の車両と逆方向に走行する自転車の危険性について、近年、多くの研究が見られる。例えば、金子²⁾らは、東京都内の幹線道路の15.2km区間の小交差点で2002年から2005年に発生した幹線道路走行自転車と細街路自動車との出会い頭事故を自転車の走行位置別に、自転車100万台当たりの事故発生率を比較し、左方向)から走行(右側通行)する自転車の事故率が高いことを示している(図-2)。

小金ら³⁾も、福山市内の中心部を対象に、出会い頭事

故の事故率を算出し、逆走する自転車の事故率が順走に比べて高い傾向を示すことを明らかにしている。また、伊藤ら⁴⁾は細街路から自動車及び二輪車が交差点に流入する場合の交差点の出会い頭事故について、自転車が走行する車道の幅員が広がるほど、自転車が自動車の左側から走行してきた事故の割合が大きくなることを示している。さらに、草野ら⁵⁾は幹線道路・細街路交差点でのヒヤリハットの内容を分析し、高校生、高齢者とも、自動車に対して左から自転車が走行した場合、右側より走行した場合より多く指摘されているとしている。

交差点の見通しの影響について、清田ら⁶⁾は自動車が細街路から路側帯のある道路に進入する際のドライバーの安全確認に対する左右の見通しの影響を分析し、自転車の安全確認挙動は、左右見通しを組み合わせた全てケースで左側の安全確認が低くことを示し、右からくる自動車に気をとられているためとしている。また、Heikki Summlaら⁷⁾はフィンランドヘルシンキにおいて視界が遮られた二つの交差点でドライバーの安全確認挙動の分析を行い、右折（日本の左折）を行うドライバーは左を見続け、各交差点で右方向を見るドライバーの率は3%～7%しかないことを示して、ドライバーは車が接近してくる左方向の確認をするためと考察している。草野ら⁸⁾は兵庫県加古川市に歩道のある幹線道路小交差点9か所を選出し、細街路から進入する自動車の左側から交差点に進入する自転車の進入挙動を撮影した結果、見通しのない交差点では安全確認をした割合が見通しが良好な交差点と同程度で、見通しがやや悪い場合より低くなることを指摘している。

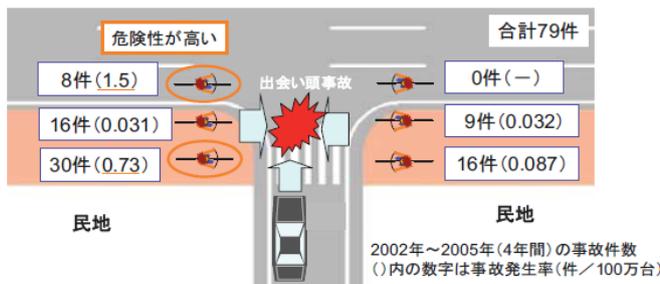


図-1 自転車の走行位置別の事故発生確率²⁾

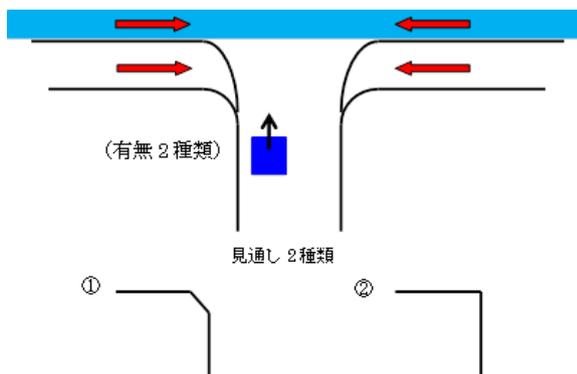


図-2 自転車と自動車の出会い頭実験シナリオ



図-3 自転車シミュレータ実験の様子

表-1 実験パターンの構成

交差点見通し	接近車両	自転車の走行方向	自転車の走行位置	実験順	
良い	有り	順走	自転車レーン	3	
			歩道民地側	5	
	無し	逆走	自転車レーン	16	
			歩道民地側	8	
	悪い	有り	順走	自転車レーン	6
				歩道民地側	1
無し		逆走	自転車レーン	10	
			歩道民地側	15	
悪い		有り	順走	自転車レーン	14
				歩道民地側	2
	無し	逆走	自転車レーン	9	
			歩道民地側	11	
	有り	順走	自転車レーン	4	
			歩道民地側	13	
無し	逆走	自転車レーン	12		
		歩道民地側	7		

以上のように、交差点における自転車事故の要因として、自転車の走行方向や位置、交差点の見通し状況の影響が考えられる。そこで、本研究ではこうした要素を組み合わせ、自転車シミュレータを用いて、仮想道路での交差点進入時の自転車の挙動を観察し、比較分析することとした。

3. 実験概要

実験では、図-2に示すように小交差点の見通し、幹線道路に沿って走行する自転車の走行位置を変化させた時の、交差点に進入する際の速度や制動挙動と視線方向を計測した、この際に、交差する細街路から進入する自動車の有無による比較を行った。

(1) 実験シナリオ

実験のパターンを表-1に示す。自転車の走行方向として順走・逆走の2種類、自転車の走行位置として歩道上（民地寄り）と車道部（自転車レーン）の2種類、交差点の見通しとして3mの澄み切りがある場合とない場合の2種類を設定し、さらに、交差する細街路から自動車

が出てくる場合と出てこない場合の2種類を想定した。合計計16パターンとなる。

実験では、車の速度を20km/hに設定し、自転車の速度は最高18km/hとしている。自転車が交差点に進入する際に、減速または回避をしないと自動車と衝突するタイミングで自動車を発生させている。

交差点は延長約350メートルの幹線道路に設置されており、この幹線道路を被験者は12往復することで、合計16パターンのシナリオを経験するようになっている。

(2) 実験に用いた機材

自転車シミュレータはFORUM8社製の「UC-win Road Ver. 7」のドライビングシミュレータ機能を用いて、自転車のハンドル角度、ペダル回転数、ブレーキ作動をコントローラー入力することで、高さ2400mm幅1200mmのパネルを5面組み合わせ合わせた画角170度のスクリーンに移動時の風景が映写されるものである。自動車が現れる場合は、自転車が一定の位置に達した時に交差道路の自動車が発生するシナリオを設定した。また、自転車および自動車の走行情報として、刻々の座標、速度、ブレーキの有無を記録した。

また、自転車走行する被験者には、アイマークレコーダーを装着させた。アイマークレコーダーは、視線移動を分析するための眼球の状態を撮影するアイカメラと、被験者が見ている範囲を撮影する視野カメラから構成されており、2台のカメラを用いて、視野カメラで撮影している視野映像の上にアイカメラから解析した視線の位置(アイマーク)を重ねて記録するものである。

(3) 実験対象と実験の流れ

実験には、表-2に示す若年層4人(内高校生1人)、高齢者4人、計8人で行った。ただし、分析はデータ欠損の少ない被験者で行っている。走行挙動のデータは6人(内若年者4人、高齢者2人)、アイマークのデータは5人(内若年者4人、高齢者1人)である。

実験では、まず、実験の目的を被験者に知らせずに、簡単な機材の説明及びアイマークレコーダーの装着を行う。そして、練習走行を2回(その内、細街路から自動車が出てくると出てこないそれぞれ1回)にした後、ランダムで16パターンが現れるように走行させ、計18回の走行を行った。最後に、今回の実験及びヒヤリハットについてのアンケートを実施している。一回の実験は1時間程度であった。

表-2 被験者の属性

	性別	年齢	利用頻度	職業	視力状況	近視など
1	女性	17	ほぼ毎日	高校生	良好	なし
2	女性	24	ほぼ毎日	大学生	コンタクト	あり
3	男性	22	ほぼ毎日	大学生	良好	なし
4	男性	23	ほぼ毎日	大学生	良好	なし
5	男性	68	ほぼ毎日	元警察官	良好	なし
6	男性	68	時々	退職	良好	あり
7	女性	73	時々	退職	眼鏡	あり
8	女性	67	ほぼ毎日	無職	眼鏡	あり

□ 有効の走行データ □ 有効のアイマークデータ

4. 自転車挙動の分析方法

(1) 走行挙動

自転車の位置座標、速度、走行距離、ブレーキの有無、細街路から交差点に進入する自動車の座標を取得している。ただし、シミュレータによる記録された座標はそれぞれの3Dモデル中心を原点としているため、図4のように、座標変換を行った。

このデータをもとに、表-3に示すように、減速挙動、ブレーキ操作の挙動について、指標を算出した。また、自動車と自転車の走行位置と速度を用いて、TTC (Time to collision) 指標を算出した。

(2) 視線挙動

アイマークレコーダからは1/30秒ごとの視線方向の記録が所得できる。これに基づいて、表-3の視線挙動指標に示すように、走行位置と同期させて、最初に交差方向を注視した時の位置、車を注視した時の位置、交差方向を注視していた時間を算出した。ここでは、図-5のように視線方向のマークが進行方向から交差道路側に移動し、また進行方向に戻るというプロセスを一回の注視とした。

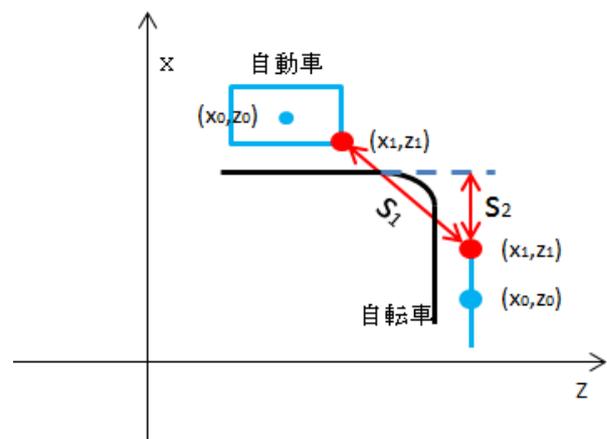


図-4 座標変換

表-3 評価に用いた指標

	評価項目	内容
走行挙動	減速位置	減速開始時の交差点端までの距離
	ブレーキ有無	交差点進入までのブレーキ操作有無
	ブレーキ位置	ブレーキ操作開始時の交差点端までの距離
	ブレーキ時車両間距離	ブレーキ操作開始時の自転車と自動車の距離
	TTC	衝突余裕時間(減速なし時の衝突までの予測時間)
視線挙動	最初注視時位置	最初に交差道路を見た地点の交差点端までの距離
	注視持続時間	交差道路を見た時から進行方向への注視に戻るまでの時間
	車両確認可能時位置	車が視野内に入る地点の交差点端までの距離

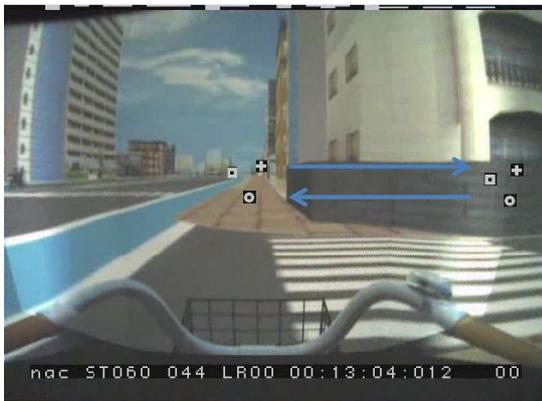


図-5 注視挙動の例

5. 自転車挙動の比較分析結果

(1) 減速位置及びブレーキ操作率、操作位置

図-6は減速位置を実験ケースによって比較した結果である。ここでは実験パターン毎に○人の平均値を比較している。見通しの良いケースでは見通しが悪いケースより平均して5m~6m手前で減速していることがわかる。自転車レーンと歩道の走行位置で比較すると、自転車レーンの方が歩道より手前で減速する傾向が多く見られる。順走と逆走の違いによる差は明確でない。

図-7のブレーキ操作をした人の割合では、車有のケースでは車無のケースよりブレーキ操作率が高い傾向がみられたが、走行方向と位置による差は明確でない。

図-8のブレーキ操作位置では、レーンと歩道では、見通しが悪く車が現れる状況では差が見られないが、他のケースではレーン走行時は歩道走行時より手間でブレーキを操作している。やはり順走逆走の差は明確でない。

(2) ブレーキ時車両間距離、TTC

図-9に車両ありのケースでブレーキを操作したサンプル



図-6 減速位置の比較

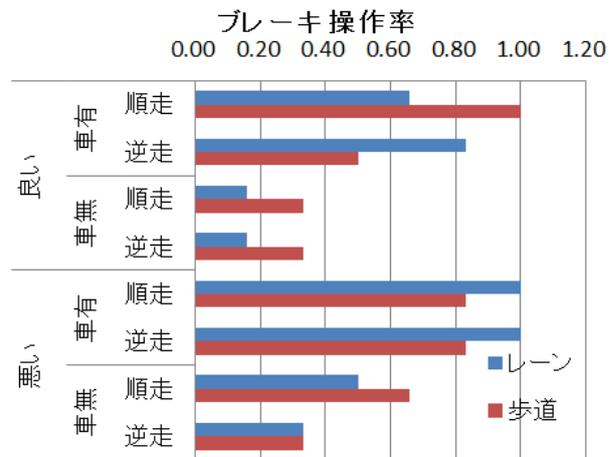


図-7 ブレーキ操作率の比較

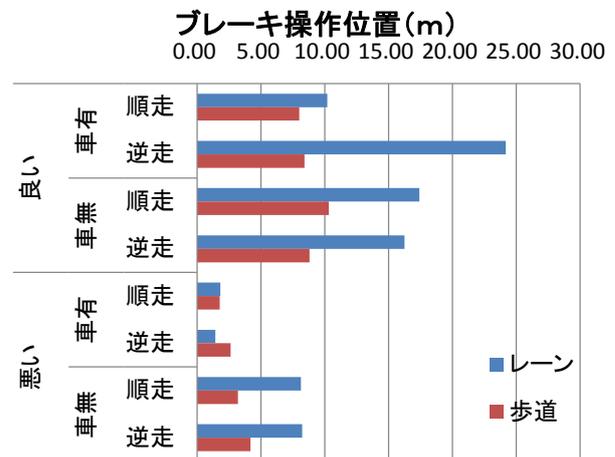


図-8 ブレーキ操作位置の比較

ルについてブレーキ操作時の車両間距離を比較した結果、図-10に車両ありのケースについてTTC最小値を求めた結果を示す。この指標でも見通しが良い場合に悪い場合に比べて大きな値を示しており安全になっていることがわかる。さらに、見通し、車有無のすべてのケースで、歩道走行時よりもレーン走行時に、ブレーキ時車両間距離が大きく、TTC指標も大きくなっており、レーン走行

ブレーキ時車両間距離(m)
0.00 5.00 10.00 15.00 20.00 25.00

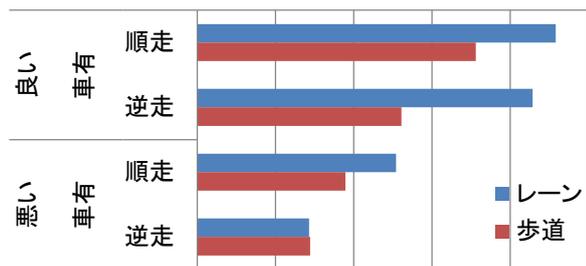


図-9 ブレーキ時車両間距離の比較

TTC(秒)
0.00 1.00 2.00 3.00 4.00

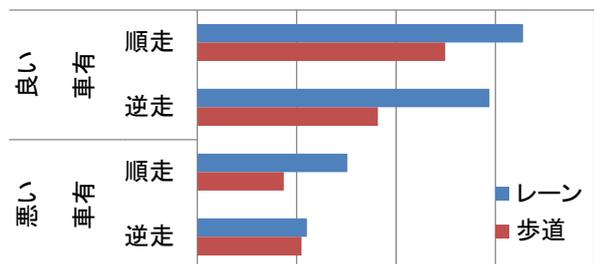


図-10 TTCの比較

の方が安全になることを示している。これは、車道側を走行している方が、当然交差道路の車両から距離がとれるためである。また、順走、逆走でみても、順走の場合に逆走よりも、全てのケースでブレーキ時車両間距離が大きく、ほとんどのケースで、TTC値が大きくなっている。出てくる自動車が細街路の左寄りを行走していることから、順走の方が視認時に車両が遠方にあることが影響していると考えられる。

(3) 視線挙動

図-11は被験者の最初の交差道路側を注視した位置を比較した結果である。全体としてレーンの場合に歩道よりも手前で交差道路を見ている。特に、見通しが悪い場合にレーンの方が歩道より手前で注視し始める傾向が見られる。これは、レーン走行の方が交差車両が現れると予想される位置を視認できるためと考えられる。

図-12は、被験者の交差側を注視している持続時間を比較している。見通しが悪い方が良い場合より注視時間が長くなっており、車両がある場合に無いよりも長くなっている、歩道走行よりもレーンのほうが長いケースが多い。このような、より長い確認時間を取るケースは速度を落として、交差側を見ている傾向が見られた。

図-13は被験者の視野内に交差車が入る地点の交差点端からの位置を比較している。当然、見通しが悪いほどより交差点に近づかないと視認できない。さらに全体と

最初注視時位置
0.00 5.00 10.00 15.00 20.00

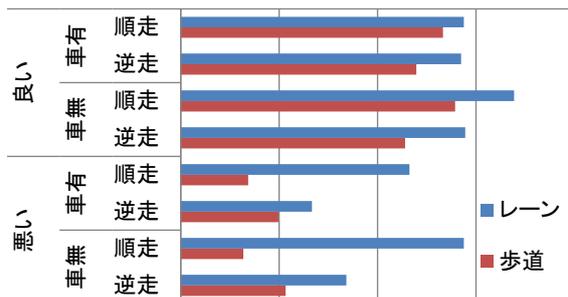


図-11 最初注視点位置の比較

注視持続時間
0.00 1.00 2.00 3.00 4.00 5.00 6.00

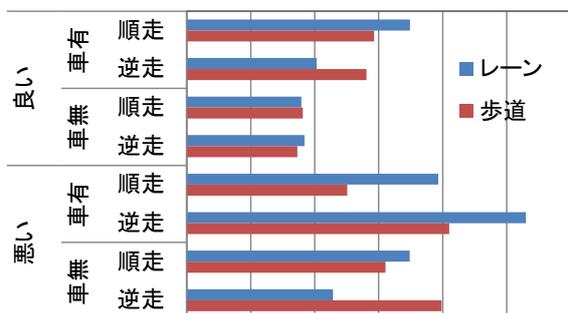


図-12 注視持続時間の比較

車両確認可能時位置
0 2 4 6 8 10 12

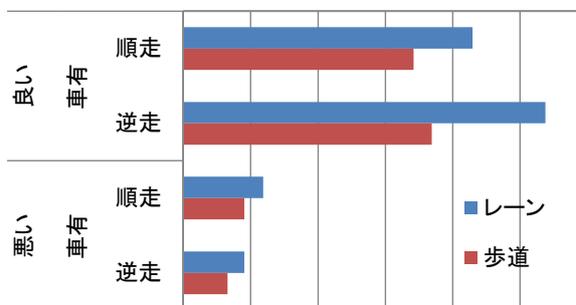


図-13 車確認可能位置の比較

して、レーン走行の方がより早めに車を確認できることがわかる。順走と逆走による差は明確ではないが、見通しが良い場合は逆走が返って手前になるが、悪い場合は逆走は順走より近づかないと視認できないことがわかる。隅切りの大きさと自動車の位置関係によってこうした現象が生じていると考えられる。

(4) 危険性の高い走行挙動の特徴

表-3はTTCが1秒以下となった危険なケースを抽出した結果を示している。1秒以下となったケースは全部で6ケースで、その全てが見通しの悪い場合で、4ケースは逆走であった。歩道とレーンは3ケースずつであった、安

表-3 TTC順

	TTC	見通し	走行位置	走行方向	発生人	特徴
1	衝突	悪い	歩道	逆走	高校生(女)	左右確認なし
2	0.39	悪い	レーン	逆走	高校生(女)	左右確認なし
3	0.64	悪い	歩道	逆走	高齢者(男)	左右確認遅い
4	0.84	悪い	レーン	逆走	高齢者(男)	左右確認なし
5	0.87	悪い	歩道	順走	高齢者(男)	左右確認遅い
6	0.88	悪い	レーン	順走	高齢者(男)	左右確認遅い

全確認の状況では、左右を確認せずに進入している場合や確認が遅れるケースであった。

6. まとめ

本研究は自転車関連事故の原因と挙げられた自転車の走行位置、走行方向、見通し状況を組み合わせ、自転車シミュレータで仮想実験を行った。実験の結果、自転車レーンで走行する自転車は、歩道走行の自転車に比べて、見通しが良い悪いにかかわらず、交差車両を遠いところから視認できることが明らかになり、細街路から出てきた自動車に対して、より早めに減速及びブレーキ行動を取れている。他方、歩道を走行する自転車は、側道の視認から減速及びブレーキ行動を取るまでの余裕時間及び距離が少なく、左右確認をしないか、左右確認が遅れることでヒヤリハットや衝突を起こしている。

また、車道と同一方向を走行する順走と逆に走行する逆走を比べると、交差道路から進入する車両が、交差道路の左側に寄った位置を走行するため、見通しが悪い場合に車両を確認できる位置が逆走時に交差点に近づくことなどから、レーン走行時には特にTTCが小さなケース

が生じる傾向が見られた。

ただし、現時点では実験ケース数が少なく、統計的検定もできていないことから、今後、実験サンプルの追加をすすめていきたい。また、交差道路側から接近する車両のドライバーを対象としたシミュレータ実験についても実施し、ドライバー側の挙動からも自転車の走行位置や方向の影響を分析していくべきと考えている。そのうえで、自転車の歩道走行、双方向走行の問題点を総合的に分析したいと考えている。

参考文献

- 1) 藤田健二：四輪車と自転車の無信号交差点・出会い頭事故の人的要因分析,第15回交通事故調査・分析研究発表会
- 2) 金子正洋, 松本幸司, 藪島治：自転車事故発生状況の分析,土木技術資料,Vol.51,No.4,pp.10-13,2009
- 3) 小金知史, 小川雅博他：市街地における自転車関連事故分析,土木計画学講演集,No.41,2010
- 4) 伊藤克広, 本田薫, 大脇鉄也, 木村泰：交差点で発生する自転車関連交通事故の分析,土木計画学研究発表会・講演集,No.43,2011
- 5) 草野優太, 亀谷友紀, 山中英生：高齢者・高校生の自転車による交差点ヒヤリハットの比較分析,土木学会論文集, Vol.67,No.5, 1251~1257頁, 2011年
- 6) 清田勝, 齋藤健治, 渡辺義則：右側通行する自転車利用者の危険度評価,,土木計画学研究・講演集, No. 25,2002
- 7) Heikki Summala et al : Bicycle Accidents and Drivers Visual Search at Left and Right Turns : Accident. Analysis. And Prevenesion., Vol. 28, No. 2, pp. 147-153, 1996
- 8) 王茹剛, 山中英生, 三谷哲雄：幹線道路小交差点における見通しと自転車事故, 車両挙動の分析,第32回交通工学研究発表会,CD-ROM

ANALYSIS ON BEHAVIOR OF CYCLISTS AT SMALL JUNCTIONS USING BICYCLE SIMULATOR

Rugang WANG, Hideo YAMANAKA and Tetsuo MITANI

The ratio of bicycle accidents increased in recent years though the total number of traffic accidents had reduced. 50% of the accidents are crossing collision between bicycles and vehicles, especially at small junctions where are no traffic lights and the cycling of both directions was permitted on the sidewalks. It is said that bicycles which travel in opposite direction to cars are dangerous.

This study aims at analysis on behavior of the bicycle which travels at the major road and analyzes the bicycle safety which is affected by the visibility of corners, cycling on bicycle lane or sidewalk, and cycling at same or opposite direction of cars. The author shows the danger of sidewalk and opposite direction cycling by comparing the behavior of cycling and eye-movement of cyclists.