

# ドライビングシミュレータを用いた 信号交差点における自転車通行システムの 安全性評価

中川 諒一郎<sup>1</sup>・吉岡 宏晃<sup>2</sup>・山中 英生<sup>3</sup>

<sup>1</sup>学生会員 徳島大学大学院 先端技術科学教育部 (〒770-0814 徳島県徳島市南常三島2-1)

E-mail:c501831022@tokushima-u.ac.jp

<sup>2</sup>非会員 徳島大学大学院 先端技術科学教育部 (〒770-0814 徳島県徳島市南常三島2-1)

E-mail:c501731029@tokushima-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 徳島大学社会産業理工学研究部 教授 (〒770-0814 徳島県徳島市南常三島2-1)

E-mail:yamanaka@ce.tokushima-u.ac.jp

自転車事故は全事故の2割と高い割合を占めており、約7割が交差点で発生し、自動車と自転車が交差する出会い頭事故と右左折事故で8割を占めている。細街路では、自動車の直進・左折時には左側からの自転車との事故割合が高いが、右折時には右側からの自転車との割合が高くなることが分かっている。その原因として、ドライバーにとって両方向から現れる自転車への注視が困難であることが考えられる。

本研究では、信号交差点における自動車の右左折時において、自転車両側通行の危険性を明らかにすることを目的としている。ドライビングシミュレータを用いて右左折自動車と自転車との錯綜を再現した実験を行った結果、被験者の危険感・最接近距離・TTCの評価指標で、自動車右左折時の自転車両側通行システムは左側通行に整序化された通行システムより危険性が高いことが示唆される結果となった。

**Key Words** : Signalized intrsections, bicycle safety, driving simulator, TTC

## 1. はじめに

我が国は世界的に見ても自転車利用率の高い都市を多く有しているが、交通安全面では、全事故の2割と高い割合を占め、人口当たり死者数でも先進国と比較して、安全とは言えないとされる<sup>1)</sup>。我が国の自転車事故は、約70%が交差点で発生しており、一方向通行を基本としている諸外国での割合に比べて高い傾向にあり<sup>2)</sup>、交差の生じる場面での安全性の低さが際立っているのが特徴となっている。我が国の特徴として全ての交差点で、両方向から進行してくる自転車の存在が指摘されている。

既存研究<sup>3)</sup>によると、細街路等で自動車が非優先側の交差点では、自動車が直進・左折する時には左側からの自転車との事故割合が高いが、右折する時には右側からの自転車との割合が高くなることが分かっている。また、信号交差点での分析例<sup>4)</sup>では、助手席側から進行してくる自転車との衝突割合が高いという結果が示されている。このように、自動車の進行方向により衝突する自転車の通行方向の偏りが見られるのも、交差点で両方向から進行してくる自転車に対してドライバーの注視がどちらかに偏ることや遅れることが推察される。

自転車の専用道整備が進んでいるオランダでも、基本

は一方向通行であり、部分的にある双方向通行の場合の処理には、ガイドライン<sup>5)</sup>で特別な注意が払われている。こうした海外の研究や実践を見ても、交差点での自転車の双方向通行が我が国の自転車の通行システムの重大な問題であることが指摘できる。

金沢市では細街路での左側通行を促進する自転車走行指導帯の整備とともに徹底した街頭指導によって、細街路での左側通行率の向上とともに、事故低減を実現している<sup>6)</sup>。幹線道路の枝道路から流入する車両と自転車の事故率を比較した研究<sup>7)</sup>では、右側通行する自転車の事故率が順走する自転車より高いことが示されている。また、東京の環状7号線での自転車の交通量当たり事故率の研究<sup>8)</sup>では、車道走行自転車は歩道走行自転車より交差点部の事故率が低いことが明らかになっている。

また信号交差点での自転車を考慮したレイアウトの安全性については、自動車の左折時の巻き込み事故に着目した研究が行われている。例えば、久保田ら<sup>9)</sup>は、教習場校内の道路で模擬実験を行い、交差点パターンについて左折自動車と直進自転車の錯綜時の安全性を比較している。ガイドライン<sup>10)</sup>で提案されている左折自動車と合流する方式では、交差点での左折自動車と自転車との錯綜を減少させる可能性が高いことを示している。ただ

し、この方式は自転車の不安感が高く、普及には教育等が必要としている。マルチエージェントシミュレーションによる研究<sup>11)</sup>、ドライビングシミュレータ実験を用いた研究<sup>12)</sup>でも同様の結果が示されている。著者ら<sup>13)</sup>はドライビングシミュレータを用いて幹線道路信号交差点での右左折自動車と自転車との錯綜を再現した実験を行い、同方向で2台の自転車が進入する場合が異方向で自転車が進入する場合に比べて安全である傾向を明らかにしている。左側通行自転車レーンから横断帯へと進路を変更する自転車の通行は危険であることを示している。しかし、信号交差点での右左折時について、繰り返し双方向から現れる自転車通行システムと、自転車の通行が一方方向に整序化された場合の比較は明らかにはなっていない。

以上の背景を踏まえて、本研究では、信号交差点において自転車の双方向通行と一方方向通行のシステムの危険性を比較することで、双方向通行の危険性を明らかにすることを目的とした。

具体的には、ドライブシミュレータ（以下DS）を用いて、自動車ドライバーの被験者に信号交差点を右左折する際に、直進横断する2台の自転車、または歩行者に続いて自転車を時間差で進入させ、出会い頭事故の発生状況を再現する。そして、この時の自動車ドライバーの挙動を計測し、自動車と自転車の接近距離、自動車と自転車の衝突安全性をTTC指標（Time To Collision）、ドライバーの危険感の指標を用いて安全性の評価を行う。

さらに、本研究では、自転車が左側通行、両側通行、車道左側通行で走行している状態を”ワールド”として、繰り返しの実験を行った。安全性をワールド間で比較することで自転車両側通行システムの危険性を評価するものである。

## 2. ドライビングシミュレータ実験の概要

### 1) 自転車・歩行者の出現パターン

DSによる実験は信号交差点を対象に、被験者が操作する自動車が右左折する際に、2台の自転車または、歩行者に続いて自転車が横断道路を時間差をおいて出現させ、錯綜が生じやすい状況を再現した。

具体的にはDSのシナリオ機能を用いて、ドライバーが1台目の自転車または歩行者を停止してやり過ごした後、再発進しようとした時点で2台目の自転車が登場するようになっており、本研究では2台目自転車に対する右左折自動車の挙動を分析対象とする。

自転車・歩行者の通行パターンは車道混在（矢羽根）タイプの信号交差点での見られる一般的な挙動を想定している。自動車右折時は図-1に示すように、1台目の自転車は1.車道左側(自転車レーン)を直進、2.横断歩道を左

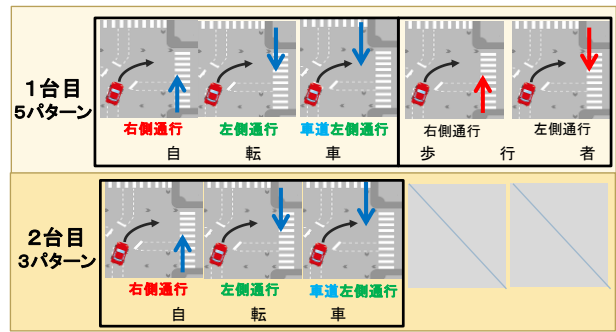


図-1 自動車右折時の自転車・歩行者の通行パターン

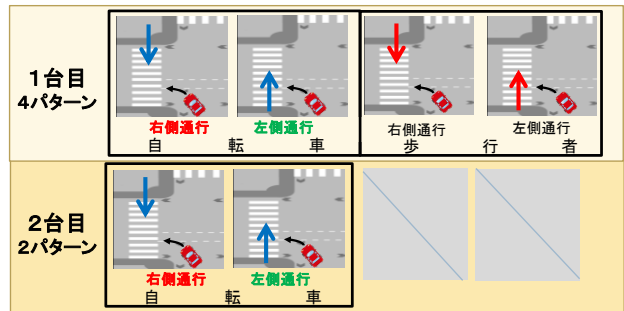


図-2 自動車左折時の自転車・歩行者の通行パターン

側通行(順走)する。3.横断歩道を右側通行(逆走)する。の3種類、さらに歩行者についても4.横断歩道を左側通行する。5.横断歩道を右側通行する。を加えた5パターンを設定した。次に2台目の自転車については1.車道左側(自転車レーン)走行、2.横断歩道を左側通行(順走)する。3.横断歩道を右側通行(逆走)する。の3種類とする。自動車左折時は図-2に示すように、車道左側通行を除いた1台目4パターン、2台目2パターンを組み合わせた8パターンを設定した。

さらにこのパターンについて、表-1に示すように、自転車が両側通行する15パターン(左折時は8パターン)全ての場合が繰り返される状況をワールドA、自転車が左側通行のみで現れる8パターン(左折時3パターン)をワールドB、自転車が車道左側のみ通行する3パターン(左折時設定なし)の状況をワールドCと設定した。

### 2) DS実験

被験者は右折、左折について、右折時にはA,B,Cのワールドの2つをランダムに選んで、それぞれの自転車・歩行者の出現パターンをランダムな順番に10回続けて経験させた（一人20ケース）。左折時にはA,B両ワールドをそれぞれのパターンをランダムな順番に10回続けて経験させた（一人20ケース）。被験者には、練習走行をしてDSの運転に慣れさせた後、落ち着いて運転を心がけるよう指示した。若年者（大学生）12名、60歳以上の高齢者12名で実験を行ったが、左折実験は合計320ケース（高齢者80、若年者240）、右折実験は合計338ケース（高齢者98、若年者240）を観測した。なお、実験中に

表-1 自動車右左折時の実験パターン  
及びワールド分類

		1 台目					
		自転車			歩行者		
		右側 通行	左側 通行	車道 左側	右側 通行	左側 通行	
右折	2 台目 自転車	右側 通行	ABC	ABC	ABC	ABC	ABC
		左側 通行	ABC	ABC	ABC	ABC	ABC
		車道 左側	ABC	ABC	ABC	ABC	ABC
左折	2 台目 自転車	右側 通行	AB	AB		AB	AB
		左側 通行	AB	AB		AB	AB

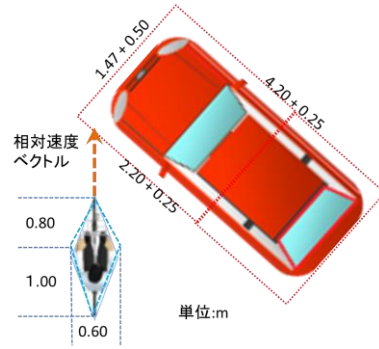


図-3 TTC算出のための占有空間の設定

DS酔いが発生した場合には実験を中断しており、高齢者を中心にDS酔いが多く発生して、予定した40ケースを完了できない被験者が生じたため、サンプル数が少なくなっている。

2) 錯綜の評価指標

本研究では、1回の走行毎に自転車の出現のしかたに対して危険を感じたかを、5件法で回答させた。評価では危険 (4) と大いに危険 (5) の割合を用いている。

自転車への自動車の接近度を示す指標としては、DSから得られた自転車と自動車の走行軌跡から、両者の最接近時の距離を算出し、2台目自転車との距離が0.5m, 1m以下となるケースの割合を用いた。

さらに、錯綜状況の危険性を評価するTTC指標を用いて評価を行った。錯綜指標にはいくつかの指標が提案されているが、本研究では指標値の意味が理解しやすいTTC指標の概念を採用することとした。ただし、両者の軌跡が交差しがない場合に無限大となる欠点を補うため、軌跡の交差を占有空間の重なりで衝突を定義して、さらに自動車の占有空間にバッファ空間を加えることで、ニアミスを考慮できるようにした。

具体的には図-3に示すように、自動車の占有空間として前後左右25cmのバッファを設け、自転車は変形菱形として、両者の速度、進行方向が変更しないとして占有空間が重なるまでの予測時間をTTC値として測定した。

本実験では自転車はシナリオで定められた経路、速度を進行するため、前方に自動車が停止していても回避しない。このため、右折時に1台目の通行者の通過を横断歩道手前で待つため停止した場合に、自転車が自動車の後部部分に接近・衝突する場合は見られた。通常は自転

車が進路変更することで安全に回避可能となる。そこで、本研究では自動車の前部（軽自動車の前部座席位置の2.2mと設定）と衝突する場合のみを対象とした。さらに自動車が停止してから1秒以上後に占有空間に入る場合は衝突が生じないと仮定して算出することにした。その上で自動車、自転車被験者ともに自動車が走行開始し左折して交差点を流出する位置まで、0.1秒毎にTTC値を算出し、その間の最小値を実験ケースのTTC値とした。全範囲で占有空間の重なりが予想されなかった場合はTTC値は無限大となる。評価では、2台目自転車がバッファゾーンに衝突した場合をニアミス、0.5秒以下を危険状態として、その発生比率で評価した。

3. 分析結果

(1) 自動車左折時の比較分析結果

a) 危険感の評価

図-4は、自動車が左折する場合の通行ワールドA,Bについて危険感が4, 5であった割合を比較した結果を示している。グラフ中のp値は、Fisherの正確確率による独立性の検定結果の有意確率を示しており、5%以下の有意な差を示す場合に赤字となっている。グラフ中の左側のp値は危険感5のサンプルとその他のサンプルの2区分とした場合の検定結果、右側は危険感4+5のサンプルとその他のサンプルの2区分とした場合の検定結果である。

これによると、全体として若年者・高齢者ともに両側通行の方が、左側通行と比べて高い危険感を回答する人の割合が高くなっており、若年者では危険感4+5の割合、高齢者では危険感5の割合、全数では両者の指標で、両側通行・左側通行間に有意差がみられている。

b) 接近距離

図-5は、同じく左折時の2台目自転車との接近距離が0.5m, 1m以下となった割合を通行ワールドで比較した結果を示している。グラフ中のp値は危険感と同様の有意確率で、左側が0.5m以下、右側は1m以下の割合の独立

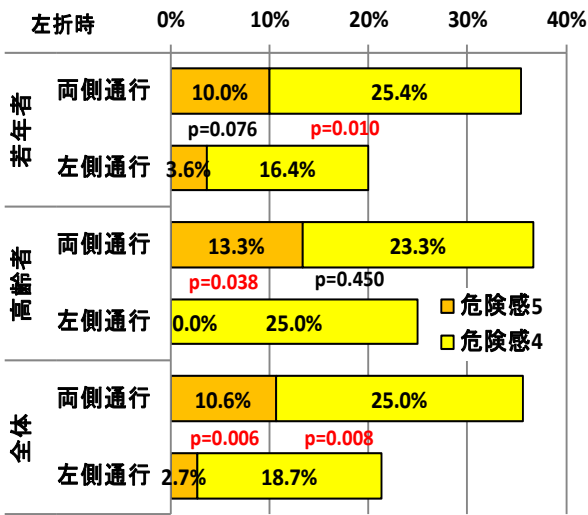


図-4 自動車左折時 通行ワールド別危険感

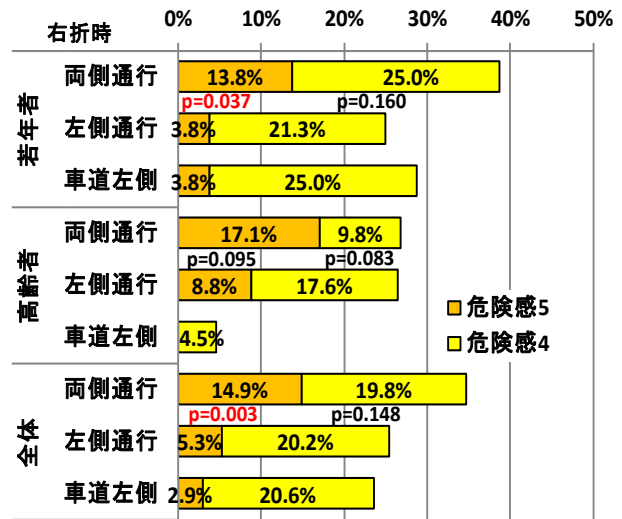


図-7 自動車右折時 通行ワールド別危険感

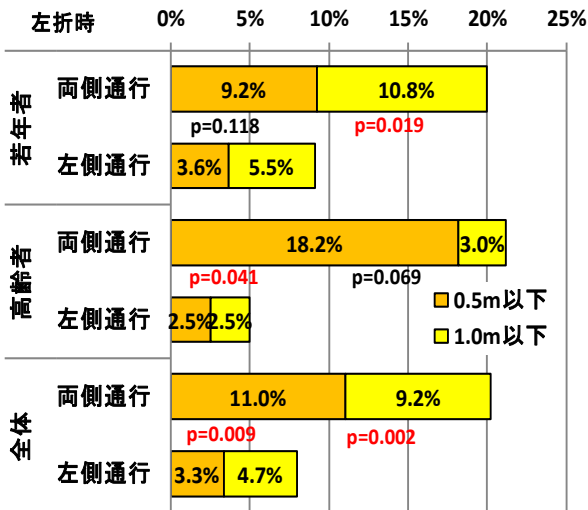


図-5 自動車左折時 通行ワールド別最接近距離

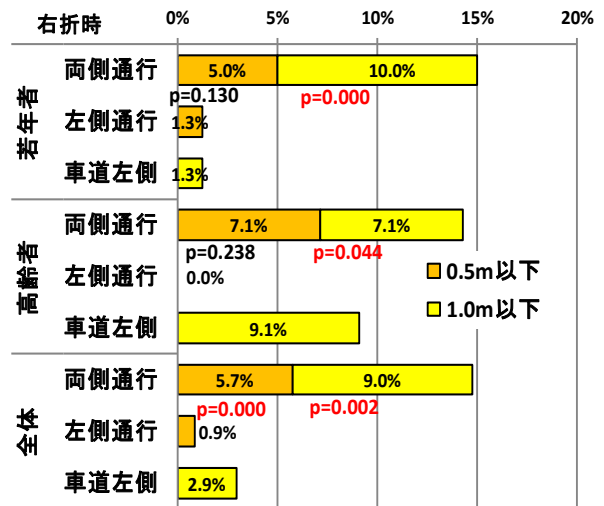


図-8 自動車右折時 通行ワールド別最接近距離

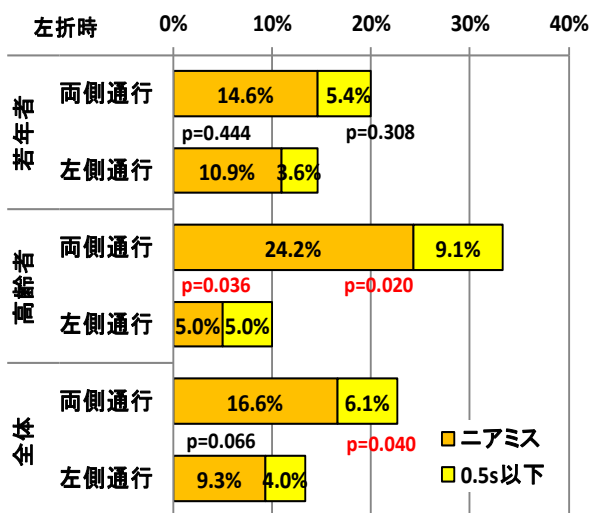


図-6 自動車左折時 通行ワールド別TTC値

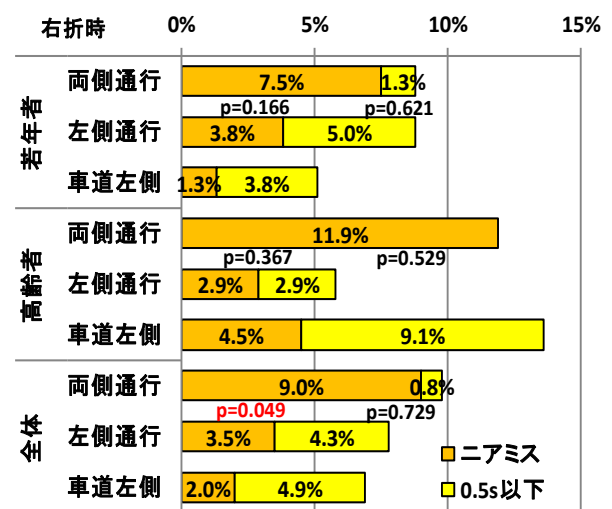


図-9 自動車右折時 通行ワールド別TTC値

性の検定結果である。この指標でも若年者・高齢者ともに両側通行の方が、左側通行と比べて最接近距離が短いケースの割合が高くなっている。若年者では1m以下の割合、高齢者では0.5m以下の割合、全数では両者の指標で、両側通行・左側通行間に有意差がみられている。

#### c) TTC値

図-6は、自動車左折時の2台目自転車との最小TTC値を通行ワールド別に比較した結果を示している。p値はニアミスの比率、0.5秒以下の割合についての独立性の有意確率である。

これによると、若年者・高齢者ともに両側通行の方が左側通行と比べて最小TTCが低いケースの割合が高い傾向が見られるが、高齢者ではニアミス、0.5秒以下の割合に、全数でも0.5秒以下の割合に、両側通行・左側通行間で有意差がみられる。

### (2) 自動車右折時の比較分析結果

#### a) 危険感の評価

図-7は、右折実験における、危険感の評点が4、5であった割合を通行ワールド別で比較した結果を示している。図中のp値は左折実験の図-5と同様の有意確率である。

若年者では、両側通行が他の2つのワールドと比べて高い危険感をとるケースの割合が高くなっている。左側通行と車道左側通行間には差がみられない。高齢者では両側通行で危険感5のケース割合が高くなっており、次いで左側通行、車道左側通行の順であった。特に車道左側通行では危険感がかなり低くなっている。3つのワールドの独立性を確認した検定では、若年者、全数での危険感5の割合が有意となっている。

#### b) 接近距離

図-8は、右折時の通行ワールド別の2台目最接近距離の比較結果を示している。図中のp値は左折実験の図-6と同様の有意確率である。

若年者・高齢者ともに両側通行がワールド中で接近距離の値が小さな割合が最も高くなっている。ただし、左側通行と車道左側通行の間では差は大きくは見られないものの、高齢者で車道左側通行が左側通行に比べて1m以下の割合が大きくなっている。高齢者は車道を走る自転車に対して戸惑いを感じる場合が見られたことが原因と言える。また、1m以下の割合は若年者・高齢者・全数ともワールドの差異が有意となっている。

#### c) TTC値

図-9は、右折時の最小TTCの通行ワールド別の比較結果を示している。危険とされる0.5s以下の割合で見ると、若年者では両側通行、左側通行が同率で次いで車道左側通行であった。高齢者では車道左側通行が最も0.5s以下割合が高く次いで両側通行、左側通行の順であった。ただし、ニアミスのみの割合を見ると、若年者・高齢者

ともに両側通行が最も高い割合となっている。

TTC値については全数のニアミス発生割合以外はワールド間の有意差はない結果となっている。

### 4. おわりに

自動車が信号交差点を左折する時の直進自転車との錯綜については、左側通行よりも両側通行のワールドの方が危険であることが危険感・最接近距離・最小TTCの評価指標で示唆され、自動車左折時における自転車両側通行システムの危険性が明らかとなった。一方、自動車が右折する場合については、危険感・最接近距離では左側通行よりも両側通行の方が危険な値の割合が高くなっており、最小TTCでも、ニアミスの割合を見ると両側通行が最も危険なことが示された。しかし、車道左側が横断歩道左側に比べて優位とは判断できなかった。すくなくとも両側通行システムの危険性が示唆された。

以上、自動車が交差点で右左折を行う際の自転車との錯綜現象の分析では、左折・右折共に自転車両側通行は一方通行に比して危険性が高まることが示唆され、自転車両側通行システムの危険性と自転車通行方向秩序化へのエビデンスとなり得る結果となった。

今回の実験では、DS酔いの影響によりサンプルの偏りや、シナリオ制御の自転車が停止中の自動車に衝突するなどの現象も発生している。より自然な挙動を実現するため、酔いの生じにくいスクリーン形状への改善やシナリオの改良を行い、更に、自転車・自動車双方を被験対象にできる協調型DSを活用し、実験を再試行する必要がある。

謝辞：本研究の分析は科学研究費補助金・基盤研究(A) 16H02369の一環として実施している。

#### 参考文献

- 1) 交通工学研究会：自転車通行を考慮した交差点設計の手引き、2015
- 2) OECD/International Transport Forum, Cycling, Health and Safety, OECD Publishing/ITF., 2013  
<http://dx.doi.org/10.1787/9789282105955-en>
- 3) 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，交通事故総合分析センター平成 24 年第 15 回交通事故調査・分析研究発表会論文集，2012.
- 4) 萩田賢司，森健二，横関俊也，矢野伸裕(警察庁科学警察研究所)：自転車の進行方向に着目した交差点自転車事故の分析，土木学会論文集 D3, Vol.70, No.5, pp.I-1023~I-1030, 2014
- 5) CROW: Design manual for bicycle traffic, 2007
- 6) 小島拓郎，山中英生，三国成子，森万由子：細街路における自転車指導帯ネットワークの整備効果，— 金沢

- 市まちなか地区一, 土木計画学研究・講演集, Vol.53, CD-ROM, 2016.
- 7) 金子正洋,松本幸司,他(国土技術政策総合研究所) : 自転車事故発生状況の分析, 土木技術資料, Vol.51, No.4, 2009
- 8) 海老澤綾一: 自転車の通行位置及び自転車関与事故の経年変化に関する一考察一環七通りを対象に一、第 36 回交通工学研究発表会講演集, 2016
- 9) A. RAHIMI A. Rahman, 小嶋文, 久保田尚: 交差点における自転車安全対策に関する研究, 土木計画学研究・講演集, No.45, 2012.
- 10) 国土交通省, 警察庁: 安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン, 2016.7
- 11) 小川倫, 高見淳史, 大森宣暁, 原田昇: 自転車と左折自動車の交錯を考慮した交差点整備方式の評価ーマルチエージェント・シミュレーションを用いてー, 交通工学研究発表会論文集, No.34, pp.531-536, 2014.
- 12) 永松啓伍, 溝口諒, 山中英生: ドライビングシミュレータを用いた信号交差点左折時の自転車安全対策の評価実験, 土木計画学研究・講演集, No.53, 2016
- 13) 吉岡宏晃, 山中英生, 永松 啓伍: ドライビングシミュレータを用いた信号交差点での自転車通行方向の安全性評価, 土木計画学研究発表会・講演集, No.54, 2017

## EVALUATION OF BICYCLE SAFETY FOR VEHICLES' LEFT AND RIGHT TURN AT SIGNALIZED INTERSECTION USING DRIVING SIMULATOR

By Ryoichiro NAKAGAWA, Hiroaki YOSHIOKA and Hideo YAMANAKA