

広視角協調型サイクリングシミュレータを用いた左折自動車との錯綜現象の安全性評価

山中 英生¹・楠瀬 史浩²・吉田 長裕³・松本 修一⁴

¹正会員 徳島大学大学院 社会産業理工学研究部 教授 (〒770-0841 徳島県徳島市南常三島2-1)

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

²非会員 高知市役所 (〒780-8571 高知県高知市本町5丁目1-45)

E-mail: fumi141011@gmail.com

³正会員 大阪市立大学大学院 工学研究科 准教授 (〒558-8585 大阪府大阪市住吉区杉本3-3-138)

E-mail:yoshida@eng.osaka-cu.ac.jp

⁴正会員 文教大学 情報学部 准教授 (〒253-8550 神奈川県茅ヶ崎市行谷1100)

E-mail:shuichi@bunkyo.ac.jp

自転車関連事故は日本で発生する全事故の2割と高い割合を占め、その約7割交差点とその付近で発生している。信号交差点では自動車右左折時の事故割合が高くなっており、交差点内の自動車右左折時における自転車との安全性確保の検討が必要となっている。本研究では広視角協調型サイクリングシミュレータを用いて交差点における自動車左折時の自転車の挙動パターンによる錯綜状況を評価することを目的としている。自転車と自動車の事故が多い交差点で見られた、自転車挙動として「車道左側通行」「ショートカット走行」「横断帯通行」をとりあげ、サイクリングシミュレータを用いた実験により自転車挙動の潜在的危険性および被験者の不安感を分析した。この結果、ショートカット走行の危険性が高いこと、車道からシフトの大きな横断帯を通行する場合も、衝突時の危険性が高くなる可能性が明らかになった。

Key Words : *bicycle, left turn conflict, cycling simulator experiments*

1. はじめに

我が国では世界的に見ても自転車利用率の高い国であるが、交通安全面において、自転車関連事故は日本で発生する全事故の2割と高い割合を占め、人口当たりの死者数においても、先進国と比較して安全とは言えないとされる。このため、2012年に発出された安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン¹⁾以後、自転車の車道通行を前提とした自転車交通の整序化が進められ、自転車の車道走行を基本とした交差点の設計の手引き²⁾が発出されている。また、2017年には自転車活用推進法が施行され、同推進計画³⁾では都道府県や各自治体で地方版の計画策定が促進⁴⁾されており、環境、健康、観光政策のもとで、自治体の地方版計画では上記ガイドラインに沿った自転車ネットワーク計画の策定が指示されている。自転車交通の安全性に関しては、交通事故件数はこの10年で約53%まで減少したが、自転車関連事故の事故件数は全事故に比べて減少の傾向が大きくなく、全数の事故に対する自転車観覧事故の割合は先進国の中で依然と

して高くなっている。そして、歩行者とともに自転車の死者数が多いことがわが国の交通事故の特徴となっている。我が国の自転車事故は、約7割が交差点とその付近で発生している。信号交差点においては、自動車の右左折時の事故が多くを占めており、特に車道走行を促進する中で、自動車の左折時の安全性確保が着目されている。

このような背景を踏まえ、本研究では信号交差点における自転車左折時の自転車の挙動による危険性を比較することで、交差点における自転車の車道走行の安全性を確認することを目的とした。

2. 既存研究と本研究の方法

自転車を考慮した信号交差点での安全性について、教習場構内での模擬実験や、マルチエージェントシミュレータを用いての交差点の自転車の整備方法を評価する研究が進められてきている。

原田ら⁵⁾は、左折自動車と直進自転車の交錯の実態を

調査した上で、そのような交錯を緩和するための交差点整備方式を提案し、それらを再現するシミュレーションを構築している。この結果「混在」型を基本とすることが適切で、遅れ時間を短縮できる方式である直進自転車と左折自動車を交差点手間で交差させる「交差」方式、安全感が確保できる両者の通行空間を交差点流入部まで分離する「分離」方式、といった方式を使い分けるのが望ましいとしている。

溝口ら⁹⁾は自動車左折時に自動車と自転車が同レーンに存在しない分離方式と同レーンに存在する混在方式の安全性に対するドライビングシミュレータを用いて、自動車・自転車それぞれを被験者とする実験を行って安全性を評価した結果、混在方式が自転車の不安は大きくなるが、TTCや衝突発生率などの指標から安全面ではむしろ優位であるとしている。

白川ら⁹⁾はサイクリ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、自転車が両側通行するワールド、左側通行のみのワールド、車道左側通行のみのワールドを再現して実験を行なった結果、TTC、最接近距離、危険感全ての評価指標で両側通行の危険性と車道左側通行の安全性が明らかであることを示している。

以上のように、交通ルールに従った自動車左折時の交通状況については安全性の評価が明らかになっているが、実際の交差点では、その形状等によって、ルール外の自転車の挙動が発生することや、自動車の左折時速度なども変化することから、こうした特性を考慮した評価を行って、事故対策を進めていくことが必要となっている。

近年、交通事故の要因抽出・安全評価にドライビングシミュレータ（以下 DS）が用いられるようになっており、DS は同一条件を繰り返し行えること、また、危険状態を再現する実験が可能になる等のメリットがある。ただし、交差点での錯綜状況を自転車と自動車が疑似体験するためには、自転車、自動車が同一空間上で走行体験することのできる実験系において、自転車・自動車の相互作用をとらえた挙動を計測することが必要と考えられる。こうした点を踏まえて、本研究では自転車・自動車を同時かつ同一空間上で運転操作可能な広視角協調型サイクリングシミュレータ（以下協調型CS）を用いて、左折自動車と直進自転車の錯綜状態を再現する実験を行った。

3. 実験方法

(1) 広視角協調型サイクリングシミュレータ

本研究では、図1に示す広視角協調型サイクリングシミュレータ（以下協調型CS）を用いて実験を行った。この

- ・自転車・自動車が同一空間上で同時に走行可能
- ・実物の操作環境 自転車（24インチ軽快車）
自動車（軽自動車）
- ・広視野 自動車（前180度+バックミラー用映像）
自転車（全270度 走行方向設定可能）



手前コンソール、手前奥：自動車運転部 左奥：自転車操作部

図-1 協調型サイクリングシミュレータ

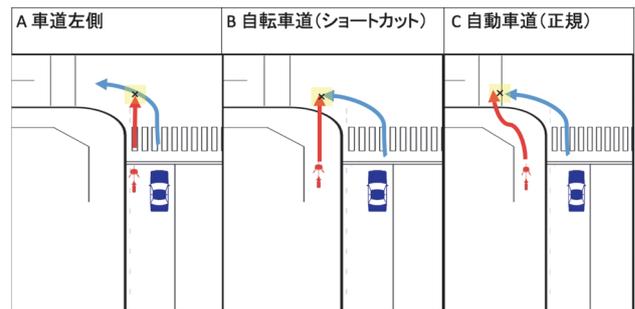


図-2 左折実験走行パターン

CS は幅 2 m のパネル 4 枚で 270 度の視野を再現するスクリーンで自転車の走行体験できる自転車シミュレータと、車両前面の 180 度の視野を再現するシリンダースクリーン、バックミラー映像が投影された自動車の走行体験ができるドライビングシミュレータからなる装置である。

CS では自転車・自動車の運転者が同一空間上で同時に操作が可能で、相互に相手の挙動がスクリーンで確認できるようになっている。シミュレータのソフトは FORUM8 社製「UC-win Road ver. 14.02」を使用し、仮想空間上での対象交差点を模擬した道路モデルを作成して、走行シナリオ（発進位置、速度の制御）を設定、運転・走行シミュレーション時の走行ログを記録できる。

(2) 対象交差点の選定と評価対象の自転車挙動

本研究では、調査研究プロジェクトで行った交差点のビデオ観測と事故発生状況の分析⁸⁾をもとに、危険な自転車通行パターンや事故多発傾向が見られた東京都亀戸交差点と、比較対象として交差点形状の異なる東京都大森本町一丁目交差点の 2 か所の交差点を対象とした。

(写真 1)

図-2は亀戸交差点で観測された自転車の走行パターンを示している。自転車の走行パターンは、車道左側を通り横断する「車道左側通行」（Aパターン）、自転車道から横断帯へシフトせず直進して交差点を横断する「自転車道ショートカット通行」（Bパターン）、自転車道から横断帯へシフトして交差点を横断する「横断帯通行



亀戸
写真 1 実験対象交差点

」(Cパターン)の3パターンである。亀戸では、歩道と車道から分離された自転車道が整備されており、自転車の通行は自転車道に限定されることから、道路交通法上は自転車道通行のCパターンが法遵守の通行方法となる。Bパターンは左折自動車からは、左折直前に自転車が出現することから最も危険性が高いことが想定される。車道走行のAパターンは、自転車道が整備されていない場合は、車道左側走行として安全性が高いとされる。

このため、車道通行を基本として矢羽根による通行空間整備が導入されている交差点(大森本町一丁目交差点)を用いて、亀戸で観測された3つの走行パターンの安全性についても検討することとした。

(3) 協調型CS実験の方法

CSによる実験では、自動車ドライバーは直進する前方車に追従して一定速度で左折を行うよう指示した。自転車運転者には3パターンの走り方をケースごとに指示して、自動車と錯綜が想定できるタイミングで出発させ、一定速度を保った操舵で走行させた。3パターンの走行はランダムに指示して繰り返し実験を行い、3パターンそれぞれについて4回ずつデータを取り終えた自転車で実験終了とした。なお、自動車ドライバーには、自転車への注意を散漫にするため、画面に数字を出し、足し算をさせる負荷実験を設けている。被験者は各交差点10名ずつの計20名の若年者である。

4. 実験結果

(1) TTCによる安全性評価

安全評価にはTTC(衝突前余裕時間, Time To Collision)を用いた。TTCは、自転車と自動車が仮に速度と進行方向を維持した場合に衝突するまでに要する時間であり、小さいほど危険となる。TTC値は回避挙動開始までの余裕時間と関連し、運転者の反応時間を考慮した危険性判断が可能で、理解が容易な指標と言える。

図-3、図-4に各交差点での左折実験の自転車走行パターン別TTCを示す。亀戸交差点では2s未満では走行

亀戸CCS実験 危険TTC発生状況

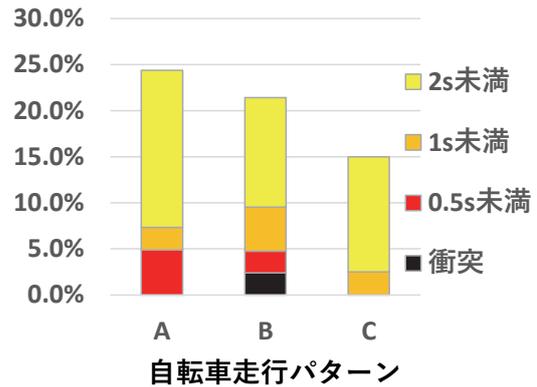


図-3 自転車走行パターン別TTC(亀戸)

大森CCS実験 危険TTC発生状況

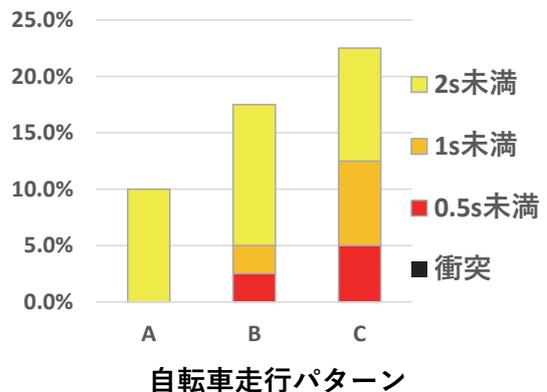


図-4 自転車走行パターン別TTC(大森)

パターンAで多く発生しているが、これは車道通行の自転車の後ろに自動車が追従するケースが多かったためである。また、TTCが1秒以下の危険状態では走行パターンBで多く発生していることがわかる。

大森交差点では走行パターンAは亀戸交差点よりTTCが2秒以下の危険ケースが少ない。矢羽根が自転車への注意を高めたことが示唆される。歩道走行のパターンCで2秒以下のTTCのケースが最も多く、隅切半径、セットバックが大きいため自動車の接近速度が高くなっていることが原因と考えられる。

(2) 接近速度・衝突方向による分析

TTC指標では、自転車を自動車が追従する状態などでは、自動車が加速した時などに小さなTTCが瞬間的に生じるが、実際には前方を注意していれば衝突の危険性は低くなる。これに対して、相手を発見しにくい側方からお互いが接近する場合には、同程度のTTC値でもより危険性が高くなる。そこで、TTC値が最小となる状態について、両者の接近方向と接近速度を確認して危険性を分析することとした。ここで、接近速度とは自転車と自動車の間の最小距離の変化率を用いている。

図-5は亀戸交差点での実験結果について、自転車走行パターン別に2秒以下のTTC値を観測した実験ケースごとの最小TTC値時の接近速度、相互の衝突方向を示したものである。

亀戸交差点では、走行パターンBで接近速度は低いものの、TTC値が小さく、車側面からの衝突が見られるため衝突発生の危険度が高くなっていることがわかる。一方、車道走行パターンAではTTCが2秒以下のケースの大半が自動車が自転車を追従する状態となっている。これに対して、自転車道からシフトして横断に出てくる走行パターンCでは、側方方向でしかも走行速度が高くなっており、衝突発生時の危険性が高いことが示唆される。

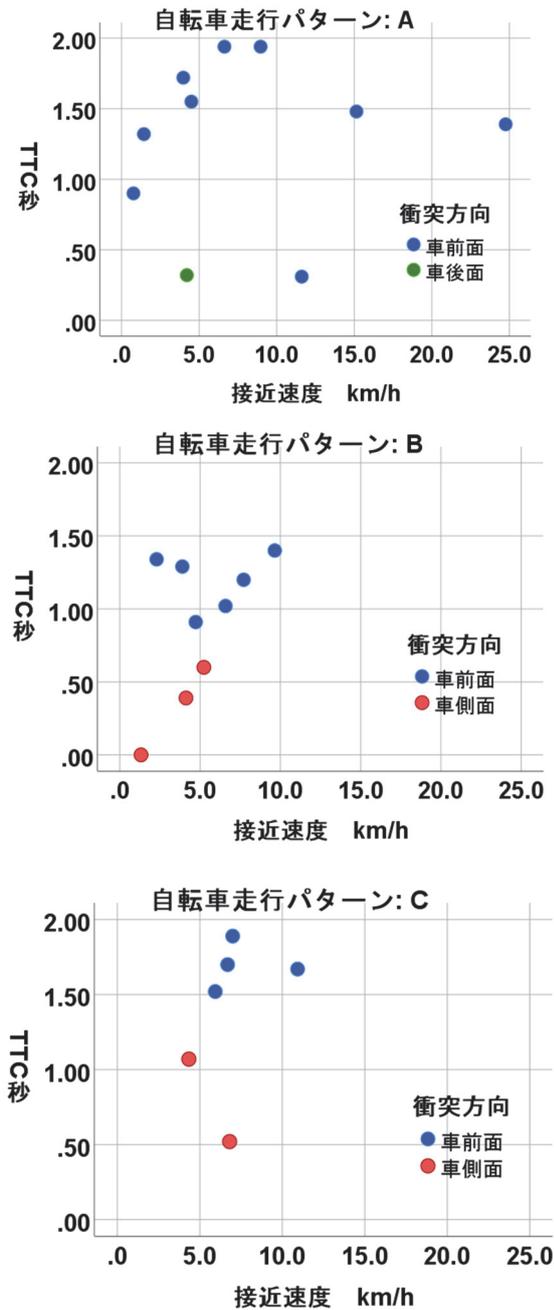


図-5 自転車走行パターン別のTTC値と接近速度、衝突方向の分布(亀戸)

図-6に示す大森交差点での実験結果では、ショートカットの走行パターンBに関しても同様に危険度が高いが、むしろ歩道からシフトして横断歩道にでる走行パターンCで、接近速度が高く、TTC値も低く、車側面への衝突方向のケースが多く見られ、危険度が一番高くなっている。

この場合に接近速度が高くなるのは交差点隅切半径、セットバックが大きいことが理由と考えられる。これに対して車道部を走行するパターンAは、走行パターンBやCに比べて、追従状態での接近ケースが多くなっており、衝突発生の危険度は低い。この状況は亀戸より顕著に表れている。

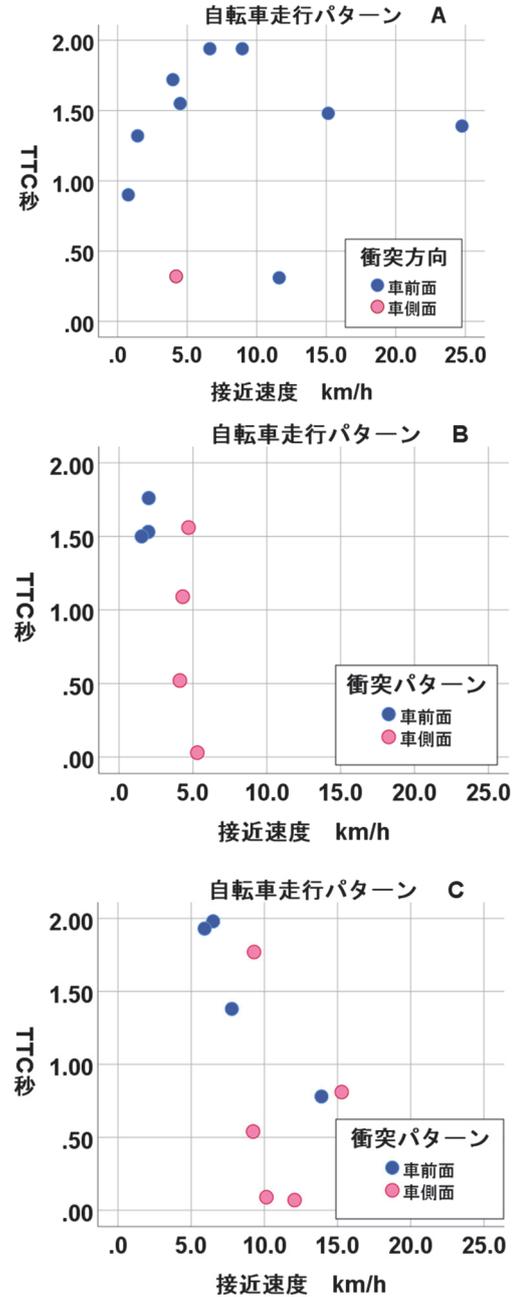


図-6 自転車走行パターン別のTTC値と接近速度、衝突方向の分布(大森)

(3) 不安感による分析

安全の質的評価として、自動車ドライバー、自転車の不安感について確認した。実験ケース毎にドライバー、自転車運転者の被験者に不安感の体感を4件法（0：全く感じなかった～3：非常に感じた）で聞き取りを行なった。図-7、図-8 に各交差点における自動車ドライバーと自転車運転者の不安感を集計した結果を示す。

亀戸交差点では自動車、自転車ともにショートカットの走行パターンBのときに不安感が高くなっている。また、車道走行パターンAと自転車・歩道からシフトして横断のCパターンでの不安感が自動車と自転車と逆になっている。これは走行パターンAの場合、自動車は自転車を追従して左折するため、自動車は進行方向に自転車がいるため不安を感じるが、自転車は自動車を目視できない不安感が低くなるのが原因と考えられる。

大森交差点でも自動車、自転車ともにショートカットの走行パターンBのときの不安感が高く、車道走行のAよりもシフトして横断する走行パターンCの方が、高い不安を感じた被験者が多くなっている。車道走行Aでの不安感が亀戸よりも低くなっているのは、矢羽根の設置や車道部での走行空間幅が影響していると考えられる。

5. おわりに

TTC、接近速度、不安感の各指標からどちらの交差点でもショートカット走行の危険性が明らかになった。また、自動車が自転車を追従状態となる車道走行に比べると、自転車がシフトして横断帯を通行するケースでは、側方接近となるため、衝突発生の危険性が高いことが示唆された。特に、大森交差点のようにセットバックが大きい場合、自動車の接近速度が高くなる傾向が生じる。しかも、矢羽根などの自転車通行空間が確保されている場合は車道走行の不安感も軽減されている。

研究プロジェクトでの分析では自転車が左折自動車の死角位置を走行するケースでのヒヤリハットが生じることが報告されている。今回の実験における車道走行ではこうしたケースを意図していなかったが、今後は、車道部を走行する自転車と生じる錯綜状態についての危険性についても検証していきたいと考えている。

さらには、こうした危険な走行パターンにおいても、安全性を確保するために、交差点形状や矢羽根等の注意喚起表示などの効果についても実験評価していく必要がある。

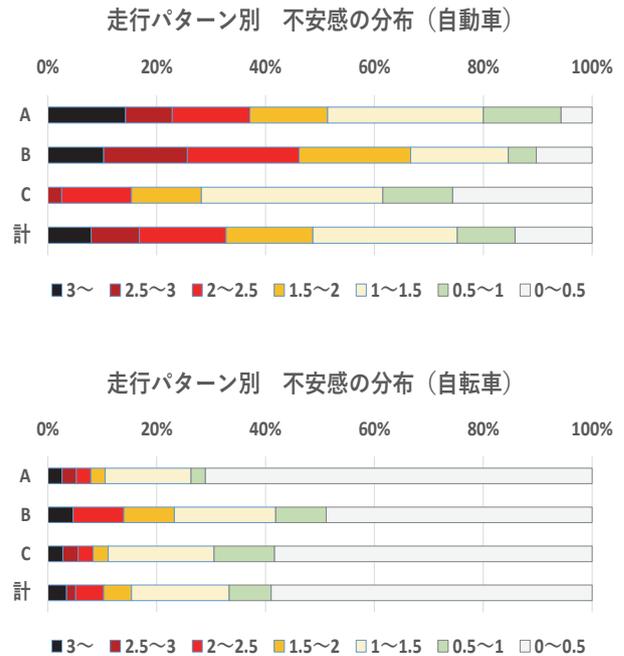


図-7 不安感分布(亀戸)

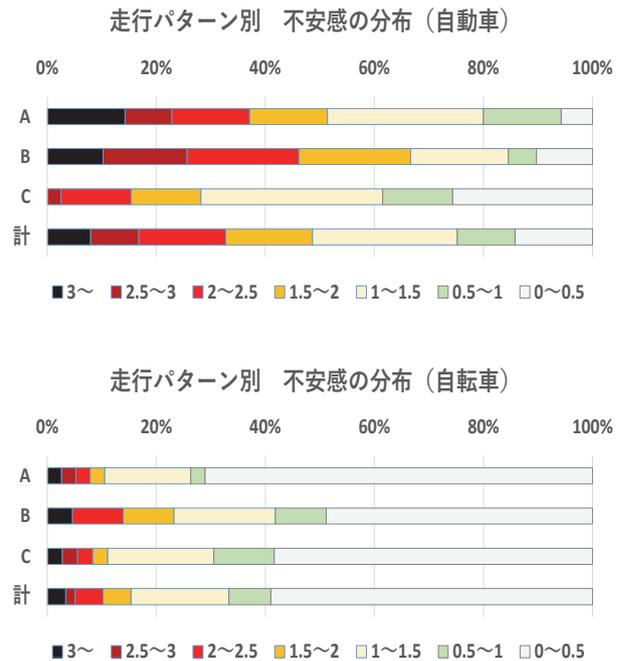


図-8 不安感分布(大森)

謝辞：本研究は国土交通省新道路技術会議、道路政策の質の向上に資する技術研究開発令和2年度FSの採択研究「車道基本の自転車通行環境整備による交通事故特性と新たな道路交通安全改善策に関する研究開発（研究代表者：吉田長裕）」において実施したものである。また、研究内容の一部は科学研究費基盤研究B（20H02278）の一環としても実施している。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局, 警察庁交通局;安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン, 平成24年11月, 平成28年7月改定
- 2) 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, 平成27年, 令和元年改定
- 3) 国土交通省自転車活用推進本部: 自転車活用推進計画, 平成30年, https://www.mlit.go.jp/road/bicycleuse/good-cycle-japan/assets/pdf/jitensha_katsuyo.pdf
- 4) 国土交通省自転車活用推進本部: 地方版自転車活用指針計画策定の手引き(案), 2018.8, https://www.mlit.go.jp/road/bicycleuse/good-cycle-japan/assets/pdf/jitensha_katsuyo_local.pdf
- 5) 原田 昇, 小川 倫, 高見 淳史, 大森 宣暁: 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—マルチエージェント・シミュレーションを用いて—, 第34回交通工学研究発表会論文集, No. 90, 2014
- 6) 白川 瑛一, 吉岡 宏晃, 山中 英生, 尾野 薫, 中川 諒一郎: 協調型DSを用いた信号交差点右左折時の自転車通行整序化の安全性評価, 土木計画学研究・講演集, Vol. 59, 2019年6月.
- 7) 溝口 諒, 永松 啓伍, 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: 第53回土木計画学研究発表会・講演集, No54-02, 2016
- 8) 澤田和樹, 吉田長裕, 瀧澤重志: 信号交差点における高速畳み込みニューラルネットワーク手法による軌跡データを用いた自転車と左折車の錯綜分析, 交通工学研究発表会論文集, No. 41, Paper. No. 27., 2021. 8

SAFETY ANALYSIS ON THE CONFLICT BETWEEN BICYCLES AND LEFT TURNING
VEHICLES AT INTERSECTIONS USING CYCLING AND DRIVING SIMULATOR WITH
WIDE-VIEW VISUALIZATION

Hideo YAMANAKA, Fumihiko KUSUNOSE, Nagahiro YOSHIDA and Shuichi MATSUMOTO