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直進自転車の安全性評価 —交差点施策の効果について—

山田　一太[1]・山中　英生[2]・吉田　長裕[3]・松本　修一[4]

[1]学生会員　徳島大学大学院　創成科学研究科理工学専攻（〒770-0841 徳島県徳島市南常三島2-1）
E-mail: c612231030@gmail.com
[2]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
[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

自転車事故の多くが交差点で生じており，信号交差点では自動車の右左折時に生じる割合が高い．自転車の車道走行によって自転車の走行状態も多様化しており危険性の評価と対策が必要となっている．本論文は信号交差点における左折自動車と直進自転車の交通安全性を分析するため，自転車通行帯やプロテクテッド交差点などの交差点施策が与える影響を把握することを目的とした．具体的には，自動車と自転車を同一仮想空間上で同時に操作できる協調型サイクリングシミュレータを用いて，第一通行帯の幅員，矢羽根表示，自転車専用通行帯，隅角部線形，さらに海外で導入が進んでいるプロテクテッド型交差点形状を比較対象とし，自動車左折時の錯綜状態を再現して， TTC指標，接近速度，接近方向，被験者の不安感の評価指標を分析し，各安全施策の効果が確認した．

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

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国である一方で，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が策定されている．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は少なくなっている．特に，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，本研究は信号交差点における左折自動車と錯綜する自転車挙動に着目し，その危険性を評価し，さらに交差点形状や自転車空間整備の効果を検討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．

小川ら[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[6]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を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[7]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が危険で，車道左側通行が安全であることを明らかにした．

以上のように，交通ルールに従った交通状況については安全性の評価が示されているが，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．

このため，本研究グループでは，ビデオ観測分析[8]およびタクシー搭載のドライブレコーダーデータの分析[9]をもとに，左折自動車と錯綜現象を引き起こす自転車の走行パターンを抽出して，協調型サイクリングシミュレータを用いた分析を行ってきた．

2020 年度の研究（楠瀬ら[10]）では，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，広視野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． さらに 2021 年度の研究（山田ら[11]）では「死角並走」，「廻り込み横断」，「逆走横断」のパターンを抽出し，協調型サイクリングシュミレータを用いて自転車通行空間，横断帯位置の異なる交差点において錯綜再現実験を行ない比較評価している．

本研究ではこれらの結果を踏まえ，第一通行帯の幅員，矢羽根表示，自転車専用通行帯，隅角部線形といったわが国で導入・検討されている交差点施策に加えて，自転車利用者の安全感と安全性を向上させるために海外で整備が進んでいる「プロテクテッド型」の交差点形状と，さらには，歩道幅員が十分でない場合のプロテクテッド型の導入例として提案されている交差点形状[2]について，錯綜再現実験を行い，TTC および接近速度，接近方向，ドライバー不安感を用いて比較評価することを目的とした．

3. 分析対象の選定と実験の概要

3.1 協調型サイクリングシミュレータ

錯綜の危険性を評価するには，実道路での社会実験，路外実験，地域間比較等が考えられるが，衝突発生の恐れのある実物実験は実施困難である．このため，本研究では，衝突や危険な錯綜を含む実験を仮想空間上で実施可能な，協調型サイクリングシミュレータ用いて再現実験を行った．図-1に実験に用いた協調型サイクリングシミュレータ(以下協調型CS)を示す．

また協調型 CS では FORUM8 社製 UC-win RoAD ver.15.02 の改良版を使用している．自転車および自動車それぞれが運転者となり，CS,DS を接続し，同一の仮想空間上で移動体験ができる．自転車運転者には自動車の接近時の走行音について 5.1CH のサウンドが再生されている．約 30 フレーム/秒の走行ログ（位置，速度，進行角度）が記録され，そのデータから安全指標を算出している．



図-1 実験に用いた協調型自動車・自転車シミュレータ

3.2 自転車走行パターンの選定

ビデオ観測調査[8]で明らかになった信号交差点における錯綜パターンを図5-1に示す．また，ドライブレコーダーデータの分析[9]では，その他のヒヤリハットケースとして，左折先の道路の奥から横断歩道に逆走して横断してくる自転車と左折自動車の錯綜の発生が報告されている．

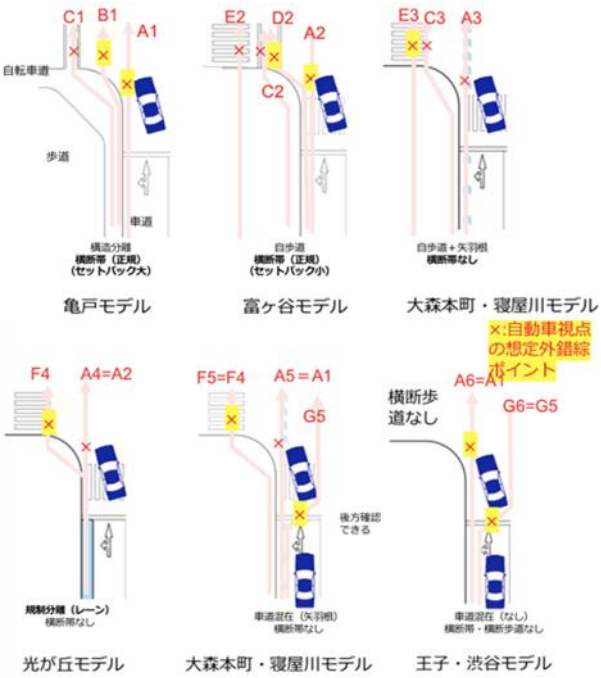


図-2　交差点ビデオ調査から抽出された左折自動車と錯綜する自転車走行パターン

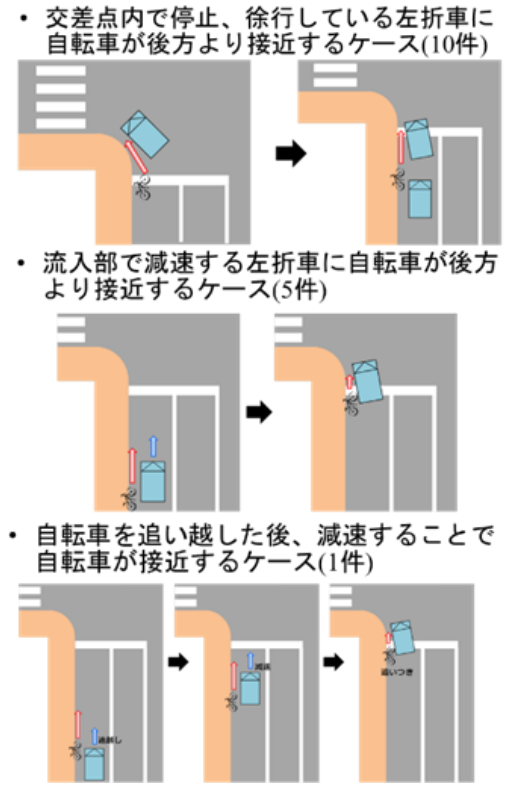


図-3　ドライブレコーダ分析から抽出された左折自動車と自転車のヒヤリハット事象

2021年度の研究では，図-4で示す3種類の自転車走行パターンを評価対象とした．各走行パターンにおける，交差点形状等の効果を分析したところ，自転車空間の幅確保と矢羽根設置によって，走行パターンA，Dとも危険性は低下するとみられる．ただし，パターンDでは，自動車が十分に幅寄せしないと自転車が危険な走行で廻り込む可能性が指摘された．また，セットバックに関しては，セットバックが小さい方が再発進時にかかる負荷が多いこと，自転車発見と衝突地点が近いため，危険性が高くなる傾向が見られた．

本研究は，上記の結果を踏まえて，自転車の走行パターンとしては，上記のAおよびDを対象として，安全性に影響すると考えられる交差点形状等の影響を把握することを目的とした．さらには，海外で整備が進んでいる「プロテクテッド型」の交差点，さらには交通工学研究会発刊の交差点手引において提案されているプロテクテッド型交差点形状を対象に評価することとした．２つの交差点形状の提案を図-5，図-6に示す．プロテクテッド型では，車道の交差点流入位置から離れたところを自転車が流入する形式をとる．このことから，一般的な広幅員の自歩道から直進して交差点に流入するケースと比較評価する．図-7に本年度の調査において対象とした自転車の走行パターンを示す．

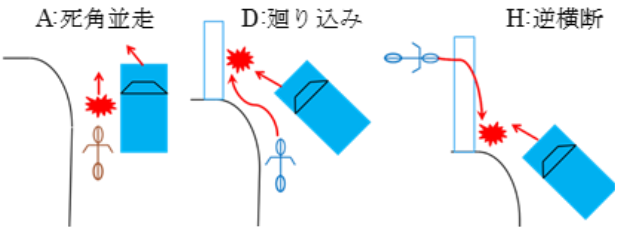


図-4　令和３年度調査において評価対象とした自転車走行パターン

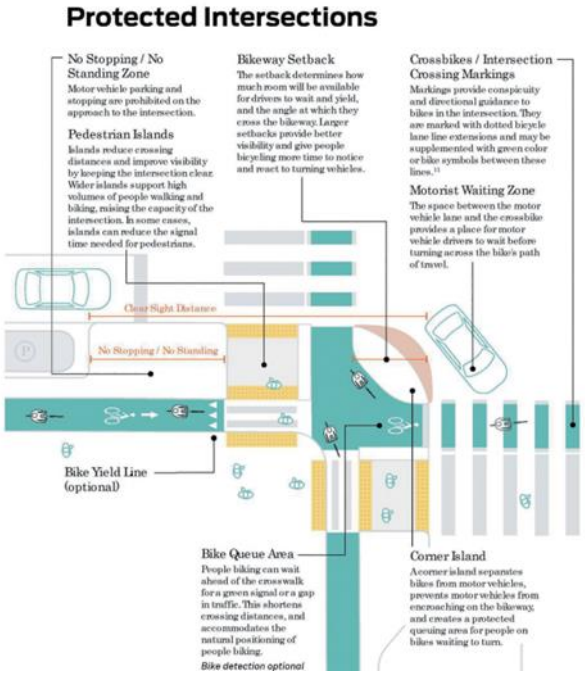


図-5　プロテクテッド型交差点（NACTO2019）

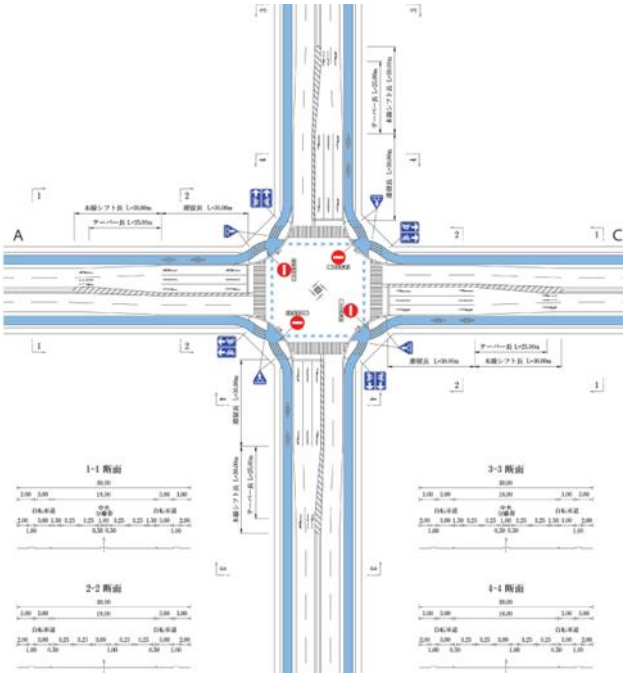


図-6　交差点手引き提案のプロテクテッド型

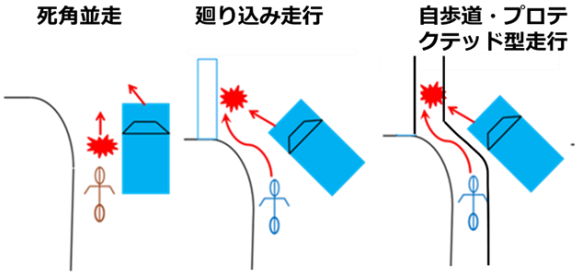


図-7　本研究において評価対象とした自転車走行パターン

3.3　交差点形状の設定

本研究ではビデオ観察で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大森本町一丁目交差点を交差道路をベースモデルとし，交差道路を４車線として，以下の形状を変更した交差点形態を危険性評価要因として設定した.

3.3.1　自転車走行空間及び交差点形状

J1:標準交差点（矢羽根）：　第一通行帯幅員 3.25m とし自転車通行環境として矢羽根を整備した形態

J2:通行帯拡幅（矢羽根）：　第一通行帯幅員を 4.25m とし，矢羽根を設置した形態

J3:自転車通行帯：幅員 1.5m自転車通行帯を整備

J4:セットバック拡大：横断歩道の交差点端からのセットバックを 5m に拡大した形態．他の交差点は 3m.

J5::隅角部の縮小：交差点隅角部半径を３ｍとした形態．他の交差点の隅角部は半径 4.6mである.

P2:手引型プロテクテッド交差点（セットバック３ｍ）：交通工学研究会交差点手引きで示されている歩道幅員が十分でない場合のプロテクテッド型交差点の設計案．自転車流出部のセットバックは３ｍ.

P3　手引型プロテクテッド交差点（セットバック５ｍ）：P2 交差点形状でセットバックを５ｍとした形態

P4　NACTO 型プロテクテッド交差点（セットバック３ｍ）：NATCO のマニュアル「“Dont-Give-Up-at-the-Intersection” 2019 の形態．自転車道は車道からセットバックした位置にあり，車道と並行に直進で交差点に流入する．，セットバックは３ｍとした.

P5　NACTO 型プロテクテッド交差点（セットバック５ｍ）：P4 交差点形状でセットバックを５ｍとした形態

以上の交差点形状を図-8 に示す.

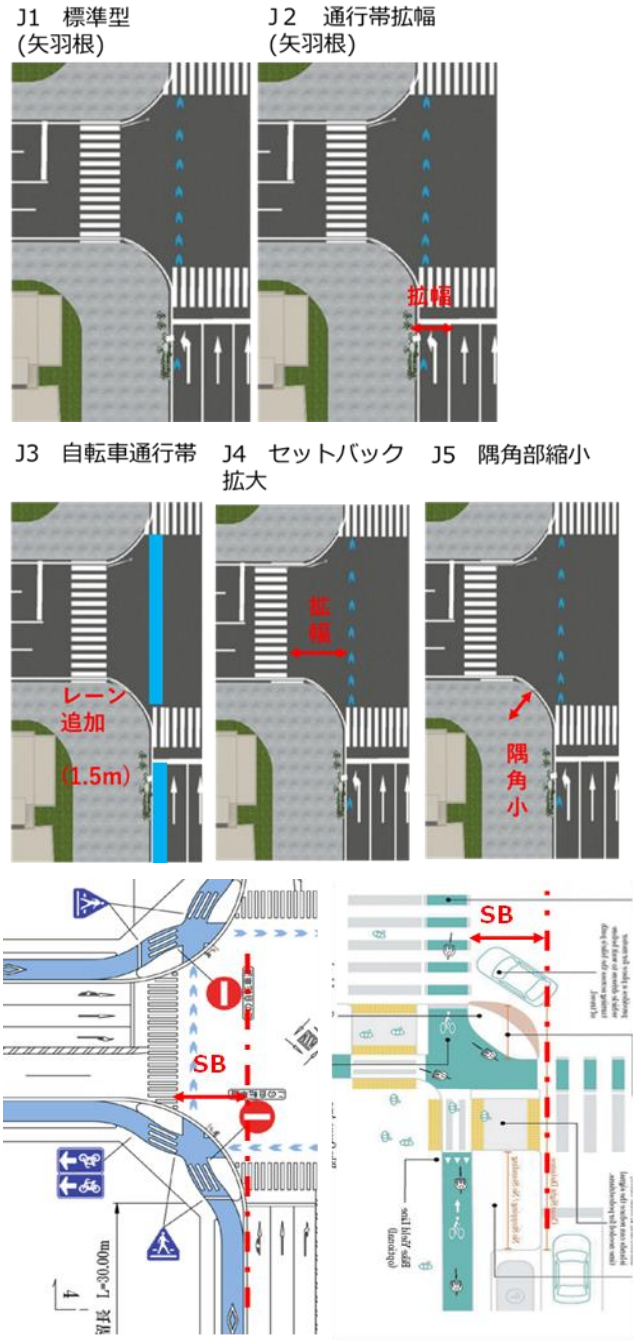


図-8　比較対象とした交差点形状
(SB＝セットバック 3，5m)

表-1　設定した実験ケース

ケース名		自転車走行	交差点		サイドミラー，左後方確認
死角並走	標準交差点（矢羽根）　ミラー表示無	死角並走	J1	標準	無
	標準交差点（矢羽根）　ミラー表示有	死角並走	J1	標準	有
	通行帯拡幅（矢羽根）　ミラー表示無	死角並走	J2	通行帯拡幅	無
	通行帯拡幅（矢羽根）　ミラー表示有	死角並走	J2	通行帯拡幅	有
	自転車レーン　ミラー表示無	死角並走	J3	自転車通行帯	無
	自転車レーン　ミラー表示有	死角並走	J3	自転車通行帯	有
	セットバック５ｍ　ミラー表示無	死角並走	J4	セットバック拡大	無
	セットバック５ｍ　ミラー表示有	死角並走	J4	セットバック拡大	有
	隅角部縮小　ミラー表示無	死角並走	J5	隅角縮小	無
	隅角部縮小　ミラー表示有	死角並走	J5	隅角縮小	有
廻り込み走行	標準交差点（矢羽根）　ミラー表示無	廻り込み走行	J1	標準	無
	標準交差点（矢羽根）　ミラー表示有	廻り込み走行	J1	標準	有
	通行帯拡幅（矢羽根）　ミラー表示無	廻り込み走行	J2	通行帯拡幅	無
	通行帯拡幅（矢羽根）　ミラー表示有	廻り込み走行	J2	通行帯拡幅	有
	自転車レーン　ミラー表示無	廻り込み走行	J3	自転車通行帯	無
	自転車レーン　ミラー表示有	廻り込み走行	J3	自転車通行帯	有
	セットバック５ｍ　ミラー表示無	廻り込み走行	J4	セットバック拡大	無
	セットバック５ｍ　ミラー表示有	廻り込み走行	J4	セットバック拡大	有
	隅角部縮小　ミラー表示無	廻り込み走行	J5	隅角縮小	無
	隅角部縮小　ミラー表示有	廻り込み走行	J5	隅角縮小	有
自歩道・プロテクテッド型	自歩道直進　ミラー表示無	自歩道走行	J1	標準型	無
	自歩道直進　ミラー表示有	自歩道走行	J1	標準型	有
	手引型SB3m　ミラー表示無	自転車道走行	P2	手引き型	無
	手引型SB3m　ミラー表示有	自転車道走行	P2	手引き型	有
	手引型SB5m　ミラー表示無	自転車道走行	P3	手引き型	無
	手引型SB5m　ミラー表示有	自転車道走行	P3	手引き型	有
	NACTO型SB3m ミラー表示無	自転車道走行	P4	NACTO型	無
	NACTO型SB3m ミラー表示有	自転車道走行	P4	NACTO型	有
	NACTO型SB5m ミラー表示無	自転車道走行	P5	NACTO型	無
	NACTO型SB5m ミラー表示有	自転車道走行	P5	NACTO型	有

3.4　ドアミラー・左後方窓の安全確認設定

ビデオ観測分析，ドライブレコーダーデータ分析で観測されたヒヤリハットでは，ドアミラーや左後方ウインドに自転車が視認できるのに，それに気づかず左折を開始するケースが見られた．本実験では，ドアミラーの小型液晶ディスプレイ・左後方ウインドにプロジェクターで視認映像を表示をするとともに，この映像隠したケースを加える，後方の安全確認ができない状況と確認できる状況を実験ケースとして加えている．

3.5　実験ケースの設定

表-1，図-9 に上記の条件を組み合わせた 30 の実験ケースを示す．この 30 ケースをランダムに実施した．錯綜が生じない場合を除いて各ケース一人2回以上のサンプルが取れるよう繰り返してている．

3.6　実験シナリオ

3.6.1　協調型実験

自動車および自転車を被験者が操作して錯綜を再現した．自動車は直線区間から，前方車両に合わせた速度で交差点へ進入し，左折するように指示した．自転車は自動車が特定の地点を通過時，走行パターンに合わせた位置に一定速度で出現させ，指示パターンの走行をさせた．

なお，死角並走，自歩道・プロテクテッド型の自転車走行については，直進走行を維持するため，あらかじめ走行経路をシミュレータに指定して，指定された経路上のみを走行できるようにしている．

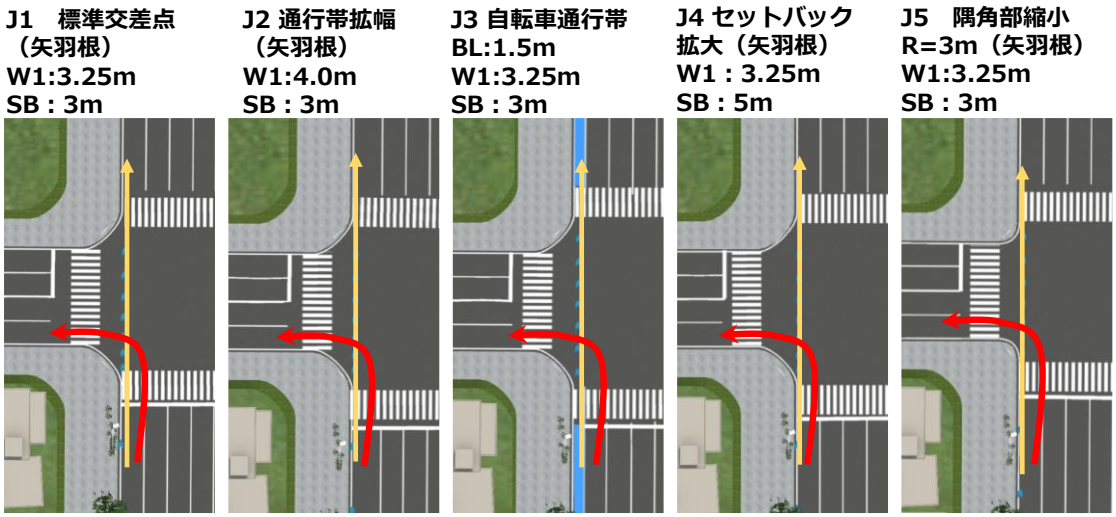
3.6.2　自動車運転者の二重課題法

自動車運転者については，自転車への意識が集中できない状況を再現するため，被験者に対して二重課題法を採用した．具体的には1～9の数字を映像内に表示し，直前表示の数字と加えた値を口述させている．

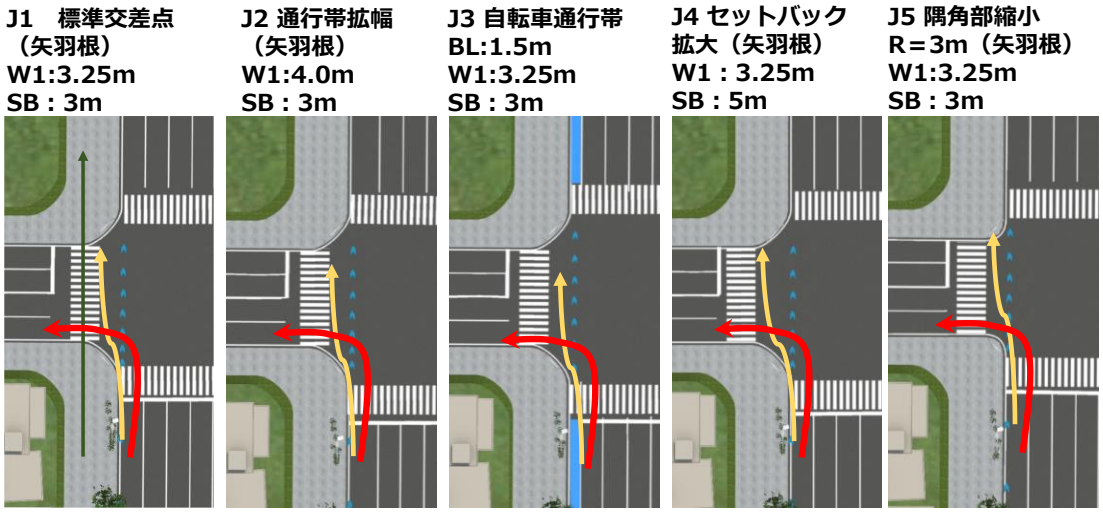
3.6.4　ダミー実験の挿入

今回評価する30ケースはすべて，自動車左後方から自転車が直進する実験のため，自動車被験者に慣れと自転車出現の予想を与えやすくなる．この傾向を低減するため，自転車が自動車の前方から手前に横断歩道を通行してくるケースをダミー実験として挿入している．なお，このダミー実験は10回に１回程度の頻度で挿入した．

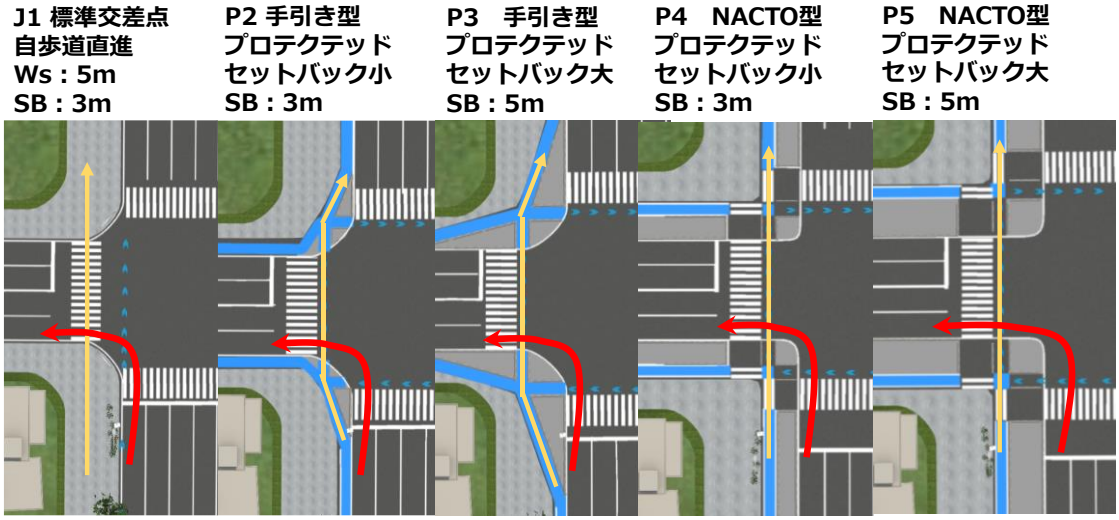
走行パターン　自転車の死角並走



走行パターン　自転車の廻りこみ



自歩道走行・プロテクテッド交差点



W1：第一通行帯幅　Ws：自歩道幅員　SB：セットバック（横断歩道の位置）

図-9　協調型サイクリングシミュレータ実験ケース

3.6.6　被験者

被験者は大学生12名，男性8名，女性4名，年齢は平均21.9歳，標準偏差1.56歳，運転歴は4から66か月，視力は運転に問題ないレベルである．

3.7　安全性評価指標

安全評価には TTC（衝突前余裕時間，Time To Collision），接近速度，被験者の不安感を用いた．

3.7.1　二次元 TTC 値

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．

本研究では，図-10 に示すように，車両形状を考慮した 2 次元 TTC 値および接近距離，接近速度を用いた．2 次元 TTC 値は以下の方法で計測する．自転車と自動車の占有空間として，自動車は車長と車幅により四角形，自転車は車輪部の車長とハンドル部の車幅によるひし形として設定し，ある時点での存在位置および進行方向，速度ベクトル値をもとに，進行方向および速度ベクトルが一定とした時，0.01 秒ごとの占有空間を推測し，衝突有無（自転車の 4 端点が自動車の四角形領域内に入ることを判定）を確認して，10 秒以内に衝突が想定される場合を TTC 値とする．これを自動車と自転車の走行軌跡中に記録されている 0.1 秒ごとのログの全時点で推計し，最小値を実験ケースの TTC 値としている．本研究では危険な TTC が生じやすいシミュレータの特性を加味して，0.5s 未満の発生頻度に注目した．

3.7.2　接近速度・方向

また，各時点での自動車の四角形の 4 辺と自転車の 4 端点間の最小距離を“接近距離”として，この接近距離の各時点での変化率（次時点の接近距離との差を時間差で除した値）を接近速度とし，自転車が接近している自動車部分を接近方向とした．

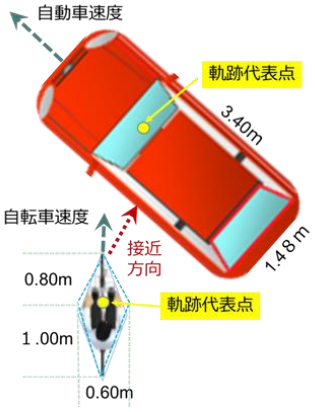


図-10　二次元 TTC 値，接近速度

3.7.3　不安感

実験ケースごとに，自動車，自転車の不安感を 0-3 点の数値で回答させ，評価指標として用いた．

4.　実験結果

4.1. 自転車の死角並走時の危険性評価

自転車が死角並走するケースについて，自転車利用空間，交差点形状の安全性を比較する．図-11に安全確認の有無別のTTC値の発生率を示したものと，安全確認有無をプールして自転車通行環境・交差点形状の差異の影響を示している．

これより，サイドミラー，左後方窓からの安全確認を不可能にしたケースの方が危険なTTC値（0.5s以下）の発生率が高くなる傾向が見られた．

また自転車通行空間の差に注目すると，自転車が通行する通行帯を拡幅したJ2は一般形状の交差点のJ1に比べて危険性なTTC値の発生率が低下している．自転車通行帯を整備したJ3でも標準形であるJ1に比べて危険性なTTS値の発生率が低下している．ただし，J2と比較すると改善傾向はあまり見られなかった．

さらに交差点形状に着目すると，セットバック大のJ4はJ1に比べ危険TTC値の発生率が高くなる傾向があった。これは横断歩道が遠くなったことで，周辺への意識が薄くなったためだと考えられる．また隅角部を縮小したJ5では危険TTCの発生が減少する傾向が見られた。

図-12はTTC値，接近速度，接近方向の分布である．接近速度の分布をみると，J2，J3で接近速度の低下傾向が見られる．自転車空間の拡充は死角並走視点者との錯綜の危険性を改善する効果があると言える．また，J1と比較してJ4では接近速度が高い危険状況が見られ，J5では車前部との接近状態が見られなくなっており，ており，これは隅角部縮小によって車両が大回りで左折することが理由と言える．

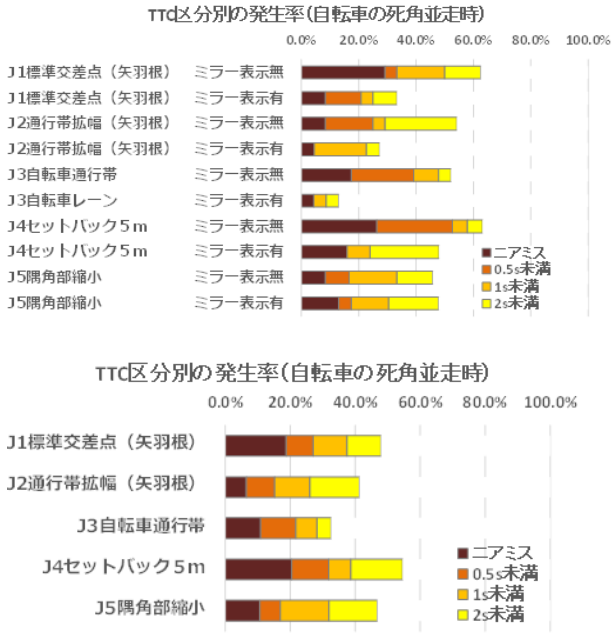


図-11　自転車死角並走時実験の TTC 値の発生率

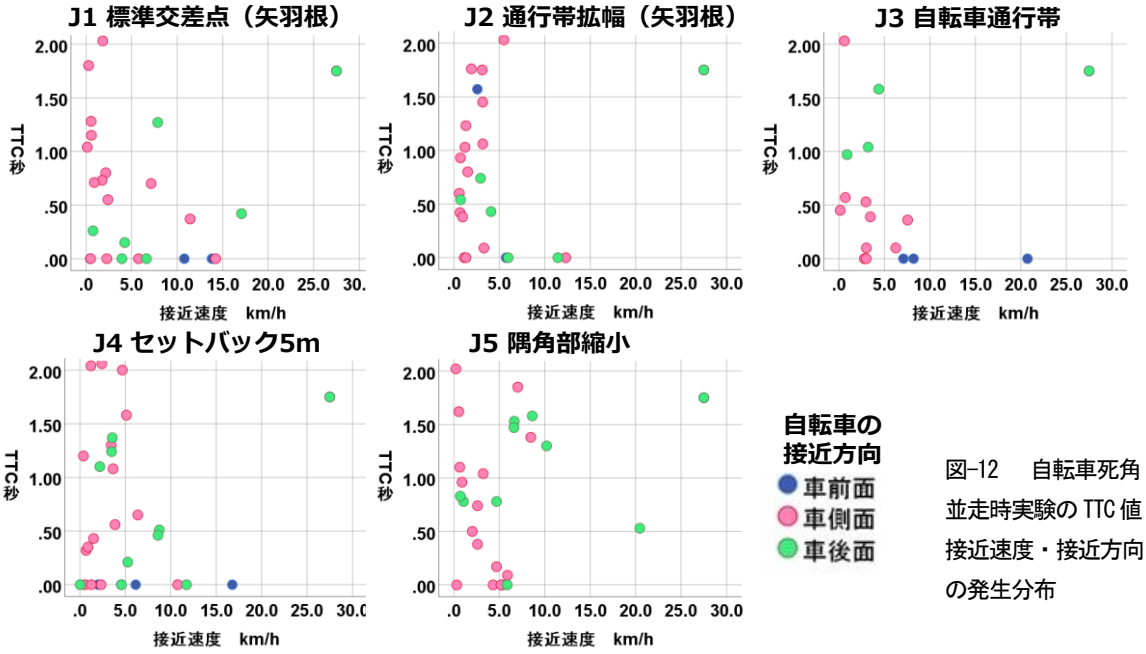


図-12　自転車死角並走時実験の TTC 値・接近速度・接近方向の発生分布

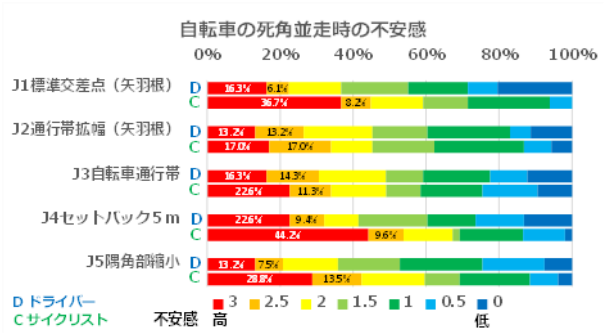


図-13　自転車死角並走時実験の不安感の分布

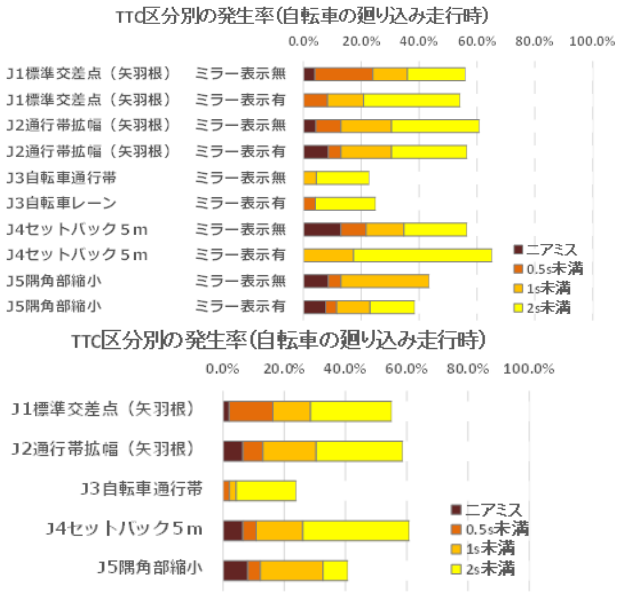


図-14　自転車の廻り込み走行実験の TTC 値の発生率

4.2. 自転車の廻り込み走行時の危険性評価

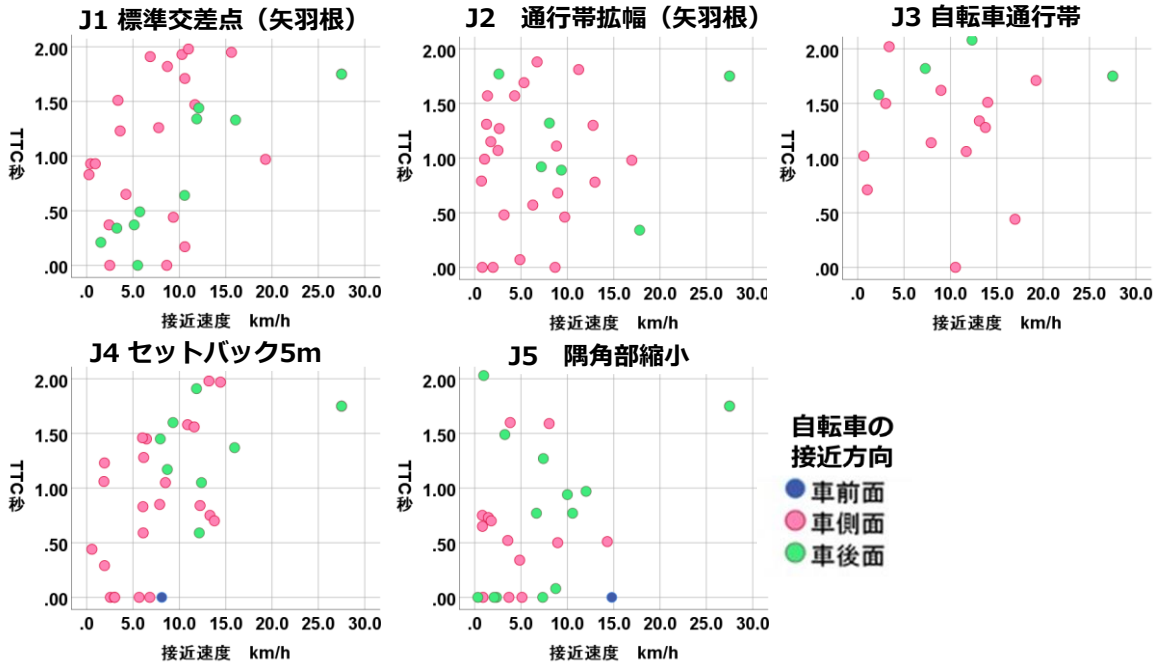
図-13に各ケースの不安感の分布を示す．不安感は，どのケースでも自動車よりも自転車の運転者の不安感が高い傾向が見られた．自転車通行空間，交差点形状による変化については，TTC値と同様の変化が見られ，特に自転車の運転者についてはその傾向が強かった．

次に，自転車が停止した左折車両の全部へと廻り込み走行するケースについて，自転車利用空間，交差点形状の安全性を比較する．図-14はケース別のTTC値の発生率を示している．

安全確認の有無に注目すると，この走行パターンでもサイドミラー，左後方窓からの安全確認を不可能にしたケースで0.5s以下の危険なTTC値の発生率が高くなる傾向が見られる．

廻り込み走行に関して自転車通行空間の差に注目すると，自転車が通行する通行帯を拡幅したJ2では一般形状の交差点のJ1に比べて改善は見られなかった．J2でニアミスが多かったのは，自転車の走行空間が広いために回り込みやすく，危険な錯綜が生まれやすかったためだと言える．また自転車通行帯を整備したJ3ではJ1，J2に比べても危険なTTS値の発生率が低下している．自転車通行帯の場合は自動車が大回りすることで，廻り込み錯綜の危険性も改善する効果が考えられる．交差点形状について，セットバックを拡大したJ4，隅角部縮小のJ5ともに，標準型のJ1と比べて危険TTC値の発生率改善は見られなかった。

図-15はTTC，接近速度，衝突方向の分布であり，これに着目すると，接近速度においてはすべてのケースにおいて変化は見られなかった．ただし衝突方向においてはJ2，J4で危険TTC値計測時に比較的安全な車後方衝突ケースが減少しており、危険な錯綜が多く見られた．



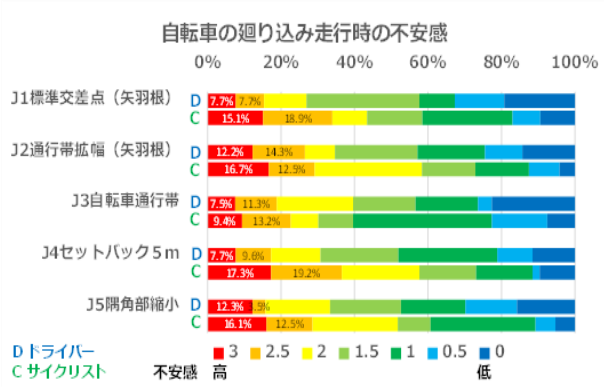


図-16　自転車の廻り込み走行実験の不安感の分布

図-16に各ケースの不安感の分布を示す．死角並走時と同様に，自転車の不安感が自動車よりも高い傾向が生じている．通行帯拡幅のJ2では標準形のJ1に比べて自動車，自転車の不安感改善は見られないが，自転車通行帯を走行するJ3はJ1に比べて自転車，自動車の不安感の改善が見られた．セットバックを拡大したJ4，隅角部縮小のJ5についてはJ1に比べて改善傾向は見られなかった．

4.3. 自歩道，プロテクテッド交差点走行時危険性評価

次に，プロテクテッド交差点のケースについて安全性を比較する．

図-17はケース別のTTC値の発生率を示しており，車道走行の10ケースに比べて，プロテクテッド型は危険TTC値の発生率が低下している傾向が見られた．

また後方の安全確認の有無について、この走行パターンでもサイドミラー，左後方窓からの安全確認を不可能にしたケースで危険なTTC値（0.5s以下）の発生率が高くなる傾向が見られた．

自転車通行空間の差に注目すると，手引き型，NACTO型ともセットバック小（3m）のP2,P4で自歩道通行のJ1に比べてやや改善しているが．手引き型でニアミスの発生頻度が悪化していた．セットバックの大きいP3,P5はJ1に比べ危険性なTTC値の発生率が低下している

図-18はTTC値，接近速度，衝突方法の分布を示している．接近速度についてはJ1と比較しても各ケースで大きな変化の傾向は見られないが，車道走行の10ケースと比べると全体に高い傾向が見られる．

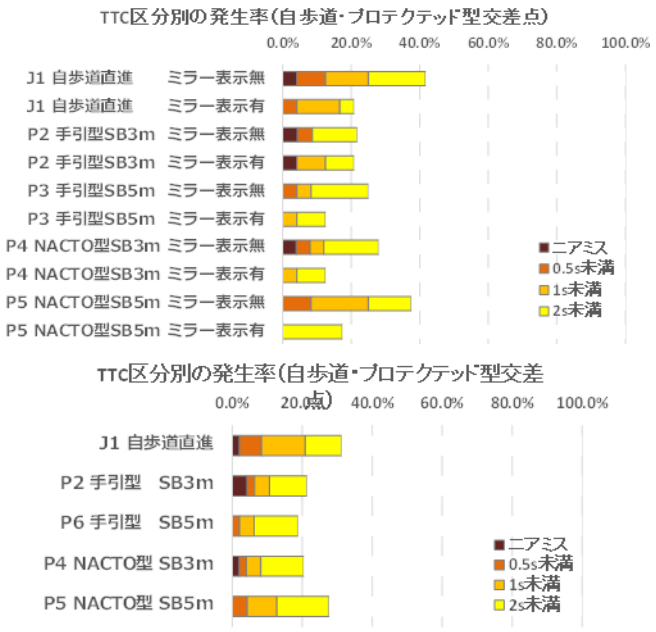


図-17　自歩道・プロテクテッド型交差点実験の TTC 値の発生率

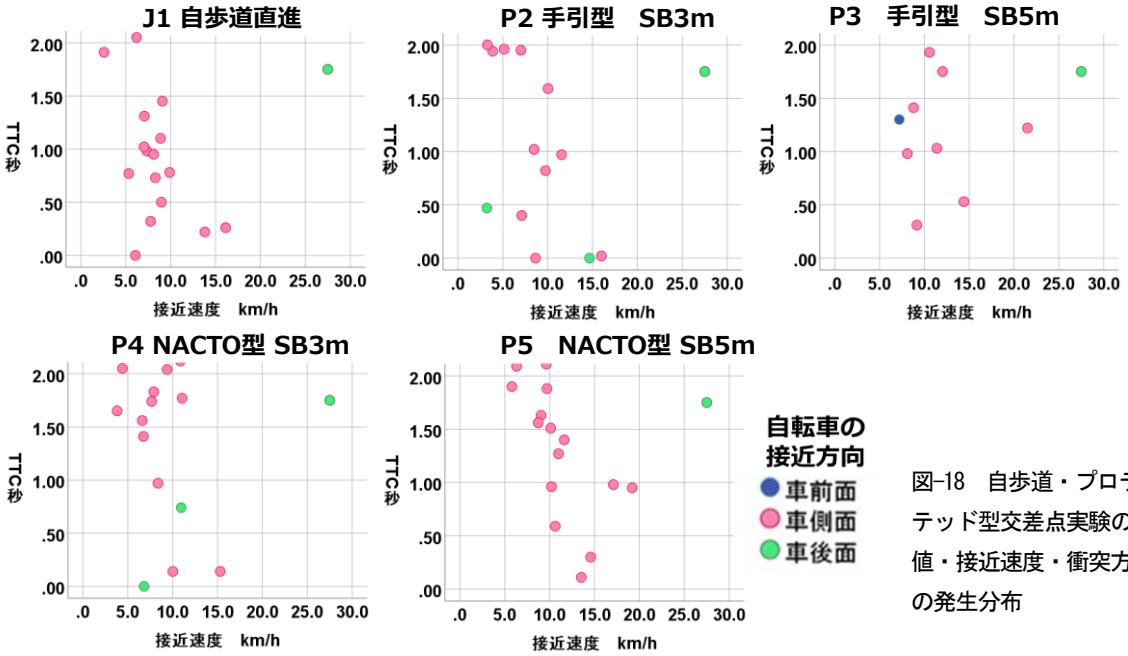


図-18　自歩道・プロテクテッド型交差点実験の TTC 値・接近速度・衝突方向の発生分布

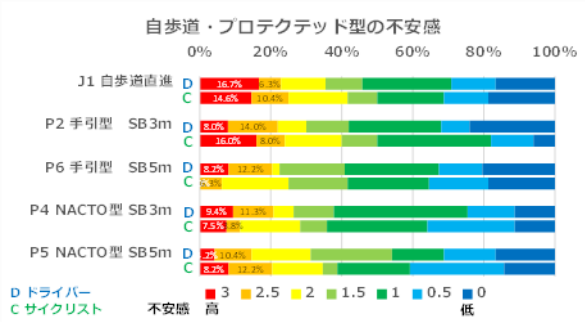


図-19　自歩道・プロテクテッド型交差点実験の不安感の分布

自歩道・プロテクテッド交差点では自転車の通行は車道と分離されるため，不安感が改善されることが期待される．図-19に各ケースの不安感の分布を示す．これによると，他の2つの走行パターンと異なり，自転車の不安感が自動車の不安感より低くなるケースが生じている．ただし，手引き型でセットバック3mのP2，NACTO型ではセットバック5mの場合は自転車の危険感が自動車より高くなっている．

また自歩道走行のJ1比べると，手引き型セットバック3mのP2では自動車の不安感の改善，手引き型セットバック5mのP3，NACTO型のセットバック3mのP4，5mのP5ともに自動車・自転車に不安感の改善が見られる．これは自転車の流出路が明確になり，相互の視認がとりやすいことが要因であると考えられる．

5.　おわりに

5.1　自転車の車道通行時の錯綜実験の評価

車道走行の自転車での評価結果についてまとめる．

通行帯を4mに拡幅，幅員1.5m自転車通行帯を設置したケースでは，自転車が死角を並走する走行パターン，廻り込み走行パターンにおいて，第一通行帯3.25mに矢羽根を設置した標準形に比べて，おおよその評価項目で改善傾向が見られる．

セットバックについては，3mから5mに拡大しても，危険TTC値の発生率からは改善傾向は確認できず，TTC値と接近速度からみて危険なケースが生じている点も見られた．セットバックの拡大は横断歩道上の歩行者と正対で交差する傾向が高まることで安全性向上が期待されるが，車道上を走行する自転車に対しては，セットバックを拡大することで，横断歩道前で停止する自動車の前面に自転車が廻り込む余地がむしろ増えるうえに，自転車がより自動車の死角に位置することで危険性が増加していることが推察される．

隅角部の縮小，いわゆるコンパクト化は，自動車の左折軌跡が大回りになること，左折速度が低下することによる安全向上が期待される．死角並走時の自転車との錯綜時にも安全性が向上する効果が見られた．ただし，廻り込み走行については，廻り込みする空間が隅角部で狭くなることで，車両前部に出にくくなる一方で，車両側方との衝突・接近も生じるため，改善傾向は確認できなかった．

5.2 プロテクテッド型交差点での錯綜実験の評価

交通工学研究会の交差点手引きで提案された比較的狭い歩道幅員に導入するためシケイン形状の自転車道を設置するプロテクテッド型については，セットバックを5mと大きくしたケースでTTCや自転車の不安感で改善が見られ，セットバック3mの場合では改善傾向が見られない．NACTOのマニュアルで示された直線型の自転車道を接続するプロテクテッド型でもセットバック5mで改善傾向が見られ，3mでも改善傾向が見られる．

一方，R2,3年度の分析においては，ショートカット走行や歩道部や自転車道横断するパターンで，セットバック大の交差点で危険錯綜が多く発生する傾向が見られている．この点を考慮すると，自歩道など自転車の流出地点の判断が難しい場合には，セットバックの拡大は安全側とはならないが，流出地点が明確であれば，左折開始から自転車との交錯地点までの時間が長くなり，正対できるセットバックの拡大は改善策として有効であることが示唆される．

5.3 今後の課題

今回の研究でプロテクテッド型の交差点における安全性は確認できたが，実際には自転車の予期せぬ走行が確認される場合もあり，今回評価した走行パターン以外の検討が今後必要である．またプロテクテッド型交差点の整備には広い走行空間が必要となるため，そのスペースを十分に用意できない場合の改善策の検討も今後の課題としてあげられる．

さらに近年のIT技術の進歩により提案されるようになった，車両にセンサーを搭載し，自動車の死角に自転車が進入した場合にアラームなどで運転手に危険を知らせる機能などといった，ハイテク技術を搭載した車両での再現実験なども検討していきたい．

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4年度の採択研究「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．

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-jA-pAn/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，
5) Https:// www.mlit.go.jp/roAD/BiCyCleuse/gooD-CyCle-jA-pAn/Assets/pDf/jitensHA_kAtsuyo_loCAl.pDf
6) 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.
7) 白川 瑛一，吉岡 宏晃，山中 英生，尾野 薫，中川 諒一郎：協調型協調型CS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，CD-ROM，2019.
8) 山中 英生，溝口 諒,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左折時の自転車安全対策の評価実験：土木学会論文集，Vol.73,No5，pp. Ⅰ-717-722，2017.
9) 吉田長裕，澤田和樹，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，交通工学研究会，交通工学論文集，Vol.8，No.2，pp. A_273-A_280，2022
10) 稲垣 具志，吉田 長裕：ドライブレコーダデータを活用した車道における自転車と左折車の錯綜の類型化，交通科学，Vol.51，No.2，pp.28-33，2020.
11) 楠瀬 史浩，山中 英生,吉田 長裕，松本 修一：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，土木計画学研究･講演集，Vol.64，CD-ROM，2021.
12) 山田 一太，山中 英生，吉田 長裕，松本 修一：ドライビングシミュレータを用いた交差点における自転車・自動車錯綜分析，交通工学研究発表会論文集（研究論文），No.65，2022
13) 山田一太・山中英生・吉田長裕・松本修一：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直進自転車の錯綜パターンの安全性評価，土木学会土木計画学研究発表会講演集，Vol.66，2022

Assessing the Safety of Left-Turning Vehicles and Straight-Running Bicycles Using Cycling and Driving Simulator -Effectiveness of Intersection Treatments-

Itta YAMADA, Hideo YAMANAKA, Nagahiro YOSHIDA and Shuichi MATSUMOTO

Most bicycle accidents occur at intersections, and a high percentage of these accidents occur at signalized intersections when vehicles are turning right or left. The riding conditions of bicyclists are becoming more diverse due to bicycle riding on the roadway, which requires risk assessment and countermeasures. The purpose of this paper is to analyze the traffic safety of left-turning veehicls and straight running bicycles at signalized intersections, and to understand the impact of intersection treatments such as bicycle lanes and protected intersections. Specifically, we used a cycling and driving simulator that allows both cars and bicycles to operate simultaneously in the same virtual space, and compared the width of the first traffic zone, bicycle space markings, bicycle lanes, corner alignment, and protected intersection geometry, which is being introduced overseas, to reproduce the complex conditions when cars turn left. The results of the analysis of the TTC index, approaching speed, approaching direction, and the evaluation index of the subject's sense of uneasiness confirmed the effectiveness of each safety treatments.