

交差点における自転車安全対策に関する研究

A. RAHIMI A. Rahman¹・小嶋 文²・久保田 尚³

¹非会員 埼玉大学大学院 理工学研究科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255)

E-mail: rahimi@dp.civil.saitama-u.ac.jp

²正会員 埼玉大学大学院 理工学研究科 助教 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255)

E-mail: kojima@dp.civil.saitama-u.ac.jp

³正会員 埼玉大学大学院 理工学研究科 教授 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255)

E-mail: hisashi@dp.civil.saitama-u.ac.jp

近年、日本でも欧米などの自転車先進国のように自転車レーンの設置が進みつつある。日本では自転車レーンがある場合の交差点のガイドラインが存在しておらず、安全な交差点の検討が急務となっている。本研究では、自転車レーンを実施するため、左折巻き込み事故に注目し、欧米で実施されている複数の交差点パターンについて、安全性を比較検討する。研究の方法として、①左折自動車と合流、②交差点手前自動車の自転車レーン進入禁止、③自転車専用信号、④自転車専用停止線と⑤自転車ボックスの5パターンの交差点を実験敷地内に作成し、自転車と自動車の被験者に指定したルートを自由走行してもらい、被験者へのアンケート調査とビデオ観測から、それぞれの交差点の快適性と安全性を比較した。本研究の分析結果からは、③自転車専用信号は自転車にとって一番快適で、①左折自動車と合流は自転車に一番安全なパターンであることが示された。

Key Words : *bicycling, bicycle safety, early start, left-hook, signalized intersection*

1. はじめに

自転車は交通事故にあった場合、死亡する可能性が高い大きなリスクを持つ交通である。自転車運転者は歩行者や二輪車運転者と同様に、道路利用者の中で脆弱な利用者と言えるだろう。ここで言う脆弱な道路利用者とは自動車等とは違い、外部に身をさらしているものの事である。これらは、事故が発生した際に大きな被害を被ってしまう危険がある¹⁾。

自転車が関係する交通事故は、2割が信号交差点で発生しており、その内6割が自動車の右左折時の事故となっている(平成18年)²⁾。自転車の走行は車道という原則が再確認されている中、交差点における自動車と自転車の事故対策はさらに重要性を増していると考えられる。また、日本においても近年自転車レーンの普及が進められているが、自転車レーンがある場合の交差点の設計については未だガイドラインがない状況である。そこで本研究では、自転車レーンがある場合の交差点における自転車の安全対策について検討することを目的とし、特に左折巻き込み事故に注目することとする。左折巻き込み事故は交差点を直進する自転車が左折する自動車に巻き

込まれる事故のことである³⁾。

現在までに、欧米の多くの都市や国々で、自転車のために安全で快適な交差点パターンが検討され、実施されている。本研究ではこのような自転車先進国(地域)から、自転車レーンが設置されている様々な交差点パターンを調べ、日本で実施可能性のある交差点パターンについて模擬的な道路空間で走行実験を行い、安全性と快適性について比較を行う。

2. 検討した交差点パターン

欧米で運用されている、自転車レーンがある場合の交差点における交通制御は、交差点及び交差点付近の設計によるものと、信号で制御するものがある。本研究においては、日本に適用可能性のある、5パターンについて検討を行うこととした。検討した5パターンの交差点の概要と、それらの交差点についての模擬道路での実験時の再現の様子を次に述べる。

(1) 交差点手前で自転車レーンと左折自動車を合流させる

これは、交差点の手前で、左折する自動車を自転車レーンの位置に寄せることで、自転車と左折自動車を直列に並ばせ、自転車が左折自動車に巻き込まれる位置を走行しないようにするものである⁹⁾⁹⁾。

実験においては、図に示すように、自転車レーンと第2車線の間の進路変更禁止標示を交差点の30m手前で消すことで、このような交差点を再現した。

(2) 交差点手前で自動車の自転車レーン進入禁止

これは、自転車専用の走行空間を交差点手前まで保持するもので、左折自動車についても交差点手前で左側端に寄るために自転車レーンに進入することを禁止するものである。

実験においては、自転車レーンと第2車線の間の進路変更禁止標示を停止線まで継続することで、このような交差点を再現した。

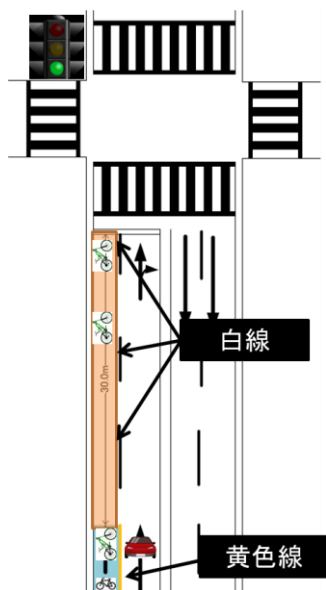


図-1 交差点手前で自転車レーンと左折自動車を合流

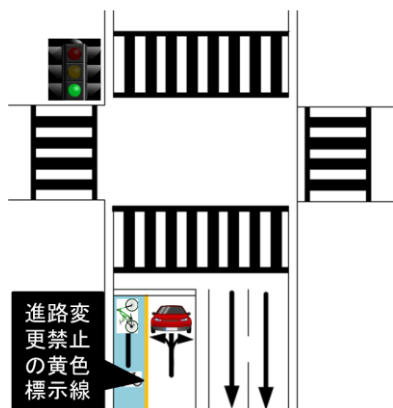


図-2 交差点手前で自動車の自転車レーン進入禁止

(3) 自転車用信号による自転車の先出しと先停止

これは、自動車用の信号に加えて自転車専用の信号を設置し、自転車用信号を先に青にして、自転車を先に出発させるものである。自転車を自動車より先に出発させて、自転車先出しパターンの一つである⁹⁾。また、先停止は自転車専用信号を先に赤にして、自転車を自動車よりも先に停止させるものである。自転車を自動車よりも先に停止させることで、左折する自動車が自転車が通行していない状況で左折することができる⁹⁾。

実験においては、灯器部分に自転車のマークを付けた

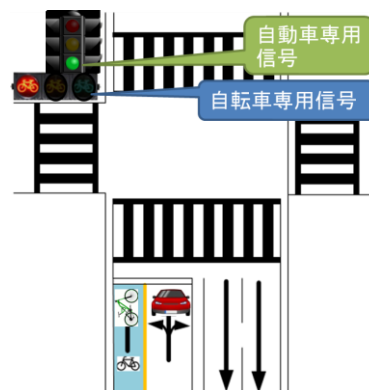


図-3 自転車用信号

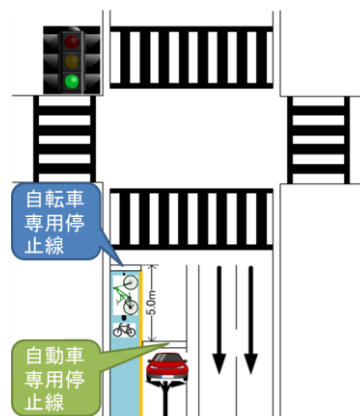


図-4 自転車用停止線

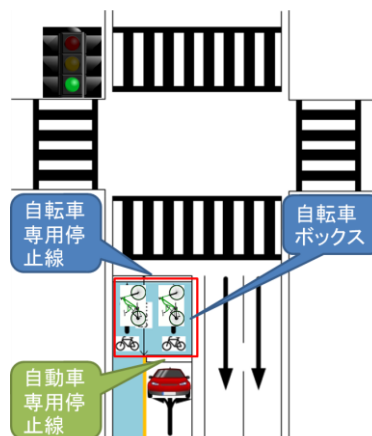


図-5 自転車ボックス

小型の信号機を車道の左側に設置することで、自転車専用信号を再現した。交差点の形状は、上記(2)交差点手前での自転車レーン進入禁止と同様である。

(4) 自動車前方に自転車専用停止線

これは、自転車用の停止線を、自転車レーンの幅で自動車の停止線より前方に設置し、自動車からの自転車の視認性をよくするものである^{3, 9)}。

実験時には、自動車の停止線から2m前方に自転車専用停止線を設置した。

(5) 自転車ボックス

これは、自動車用の停止線の前方に設置する自転車の停止線を、自動車の車線の幅まで広げ、自動車停止線の前に自転車が滞留するようにするものである^{3, 9)}。

実験時には、上記の(4)自動車前方に自転車専用停止線と同様、自動車の停止線から2m前方に自転車専用停止線を設置し、その幅を車道幅いっぱいにした。

3. 実験方法

前章で述べた5つの交差点のパターン、すなわち、①左折自動車と合流、②交差点手前自動車の自転車レーンへの進入禁止（すなわち②安全対策なしパターン）、③自転車専用信号付き交差点、④自転車専用停止線付き交差点と⑤自転車ボックス付き交差点（表-1）、について、実験敷地内模擬的な交差点を設けて走行実験を実施した。

実施日は2012年2月13日、埼玉県さいたま市西区にある、埼玉県警察の運転練習施設（旧二ツ宮免許試験場）で行った。被験者は自転車運転者10名、自動車運転者4名一乗用車3台、トラック1台、であり、全員が大学生である。

表1実験された交差点のパターン

パターン	停止線位置	停止線幅	信号	自動車合流
①左折自動車と合流	自動車と同じ	車道幅	共通	あり
②交差点手前の自転車レーン進入禁止	自動車と同じ	自転車レーン幅	共通	なし
③②+自転車専用信号	自動車と同じ	自転車レーン幅	自転車専用	なし
④②+自転車専用停止線	自動車の前	自転車レーン幅	共通	なし
⑤自転車ボックス	自動車の前	車道幅	共通	なし

被験者には、自転車と自動車についてそれぞれ指定したルートを自由走行してもらった。指定ルートは、信号交差点において自転車は直進し、自動車は左折するルートとなっている。

それぞれの交差点を通行した後、及び全パターンの走行が終わった後で、被験者に走行時の交差点の安全性と快適性に関するアンケート調査を行った。また、被験者の通行している状況をビデオカメラと自動車運転者の一人に付けたアイマークレコーダーに記録した。

表-4 ①左折自動車と合流アンケート分析の結果

問題	そう思った	どちらともいえない	そう思わなかった
信号が青になった時（先頭）：左折しやすかった	3人	1人	0人
信号が青になった時（無先頭）：左折しやすかった	2人	1人	1人
停止しなく、交差点を左折した時（先頭）：左折しやすかった	2人	1人	1人
停止しなく、交差点を左折した時（無先頭）：左折しやすかった	2人	2人	0人
総合的に自動車より自転車の方が優先された	0人	0人	4人

4. 実験結果

このセクションでは、述べた研究方法を利用して、分析された結果を表示する。表示された分析の結果は次の順番のように表示する：(1) 総合アンケートから分析された各運転者が順位づけしたパターンの結果；(2) アンケートから分析された詳細の結果；(3) 映像から分析れた危険な状況の発生頻度の結果。

(1) 総合アンケート分析の結果

表-2と表-3は全実験が終わった後に、各運転者が走行した交差点のパターンを実施されたら、1位から5位まで順位づけした回答からまとめたものである。

表-2の結果から、自転車運転者は③自転車専用信号と⑤自転車ボックスが1位と2位として同じく順位づけされたが、3位とすると③自転車専用信号のほうが多かった。①左折自動車と合流は5位として一番多く順位づけされた。自転車先出パターンは他のパターンより、高く順位づけされた。

表-3の結果から、自動車運転者は④自転車専用停止線パターン以外、全てのパターンが一人ずつ1位として順位づけされたが、1位と2位を合計すると、①左折自動車と合流は他のパターンより多く順位づけされた。③自転車専用信号が一番多く5位として順位づけされた。自

表-2 自転車運転者の順位付け

パターン	1位	2位	3位	4位	5位
①左折自動車と合流	1人	1人	1人	2人	5人
②安全対策なし	2人	3人	0人	2人	3人
③自転車専用信号	2人	1人	4人	2人	0人
④自転車専用停止線	1人	4人	3人	2人	0人
⑤自転車ボックス	3人	1人	2人	2人	2人

表-3自動車運転者の順位付け

パターン	1位	2位	3位	4位	5位
①左折自動車と合流	1人	2人	0人	0人	1人
②安全対策なし	1人	0人	3人	0人	0人
③自転車専用信号	1人	0人	0人	1人	2人
④自転車専用停止線	1人	1人	0人	1人	1人
⑤自転車ボックス	0人	1人	1人	2人	0人

表-4左折自動車と合流アンケート分析の結果

問題	そう 思っ た	どちら ともい えない	そう思 わなか った
信号が青になった時（先頭）：左折しやすかった	3人	1人	0人
信号が青になった時（無先頭）：左折しやすかった	2人	1人	1人
停止しなく、交差点を左折した時（先頭）：左折しやすかった	2人	1人	1人
停止しなく、交差点を左折した時（無先頭）：左折しやすかった	2人	2人	0人
総合的に自動車より自転車の方が優先された	0人	0人	4人

転車先出パターンは他のパターンより、低く順位づけされた。

(2) アンケート分析の結果

これらの表は各実験が終わった後に、走行されたパターンに関して、各運転者に様々な詳細な質問の回答からまとめたものである。

表-4では全ての状況に横断しやすかったと思った自動

表-5 ③自転車専用信号アンケート分析の結果

問題	そう 思っ た	どちら ともい えない	そう思 わなか った
赤信号で停止している間：安全だった	8人	1人	1人
信号が青になった時（先頭）：安全だった	7人	1人	2人
信号が青になった時（先頭）：横断しやすかった	6人	0人	4人
停止しなく、交差点を横断した時（先頭）：横断しやすかった	5人	2人	3人
異なる信号・停止線を見間違った	5人	3人	2人

表-6 ④自転車専用停止線アンケート分析の結果

問題	そう 思っ た	どちら ともい えない	そう思 わなか った
赤信号で停止している間：安全だった	7人	0人	3人
信号が青になった時（先頭）：安全だった	6人	0人	2人
信号が青になった時（先頭）：横断しやすかった	6人	1人	1人
停止しなく、交差点を横断した時（先頭）：横断しやすかった	7人	2人	0人
異なる信号・停止線を見間違った	0人	0人	10人

表-7 ④自転車専用停止線の赤信号で停止している間：安全だったと思わなかったと選択せられた理由

理由	選択数
自動車と異なる停止線だったから	1人
自動車が後ろにいたから	3人
自動車が見づらかったから	1人

車運転者が2人以上であった。そして、総合的に自動車より自転車の方は優先されたと思わなかった自動車運転者が0人であった。

表-5の結果から、異なる信号・停止線を見間違ったと思った自転車運転者が5人であった。信号が青になった時（先頭）に、横断しやすかったと思わなかった自転車運転者が4人であった。

表-6の結果から、赤信号で停止している間に安全だったと思わなかった自転車運転者が3人であった。表-7の回答理由の結果から、自動車が後ろにいたと選択された人が3人であった。

表-8の結果から、赤信号で停止している間に、安全だったと、赤信号になった（先頭）時に、安全だったと思わなかった自転車運転者が5人であった。表-9と表-10の回答理由の結果から、自動車が後ろにいたからと選択された人が5人であった。

表-8 ⑤自転車ボックスアンケート分析の結果

問題	そう 思っ た	どちら ともい えない	そう思 わなか った
赤信号で停止している間：安全だった	3人	2人	5人
信号が青になった時（先頭）：安全だった	4人	1人	5人
信号が青になった時（先頭）：横断しやすかった	9人	0人	1人
停止しなく、交差点を横断した時（先頭）：横断しやすかった	6人	4人	0人
異なる信号・停止線を見間違った	2人	0人	8人

表-9 ⑤自転車ボックスの赤信号で停止している間：
安全だったと思わなかったと選択された理由.

理由	選択数
自動車と異なる停止線だったから	2人
自動車が後ろにいたから	5人
自動車が見づらかったから	1人

表-10 ⑤自転車ボックスの信号が青になった時（先頭）：
安全だったと思わなかったと選択された理由.

理由	選択数
信号が自動車と同様だったから	1人
自動車と異なる停止線だったから	1人
自動車が後ろにいたから	5人

表-11 ビデオ分析結果CP/Tの値.

パターン	実施 時間 (分)	自動車 青時間T (分)	交錯 回数 (CP)	CP T
①左折自動車と 合流	21	13.77	1	0.07
②交差点手前自 転車レーン進入 禁止	25	8.33	143	17.16
③自転車専用信 号	45	29.51	113	3.83
④自転車専用停 止線	25	16.39	156	9.52
⑤自転車ボック ス	25	16.39	138	8.42

映像分析の結果

表-11と表-12はビデオの映像から分析されたものである。ビデオの映像から自転車と自動車の交錯回数（CP）を計測した。計測された（CP）うち、自転車または、自動車が急ブレーキをかけたり、急に停止したり、急に方向を変更したものを危険な交錯回数（NC）とした。各パターンに関して、交錯回数（CP）および危険な交錯回数（NC）の発生頻度を比較した。

表-11からCP/T値は、①左折自動車と合流は他のパターンより小さくて、0に近かった。③自転車専用信号は自転車先出しパターンの中から一番小さく、②交差点手前

表-12 ビデオ分析結果NC/CPの値.

パターン	実施 時間 (分)	交錯 回数 (CP)	危険な 交錯回数 (NC)	NC CP
①左折自動車と 合流	21	1	1	1.00
②安全対策なし	25	143	41	0.29
③自転車専用信 号	45	113	29	0.26
④自転車専用停 止線	25	156	23	0.15
⑤自転車ボック ス	25	138	19	0.14

表-13 ビデオ分析結果 $\Delta N/N$ の値.

パターン	交差点に 入った 自転車数 N	死角から 交差点に 入った自転車数 ΔN	$\frac{\Delta N}{N}$
①左折自動車と合流	25	0	0.000
②交差点手前自転車 レーン進入禁止	89	29	0.326
③自転車専用信号	110	37	0.336
④自転車専用停止線	70	22	0.314
⑤自転車ボックス	50	11	0.220

自転車レーン進入禁止が一番大きかった。

表-12からNC/CP値は、⑤自転車ボックスは他のパターンより小さかったが、④自転車専用停止線は⑤自転車ボックスとあまり差はなかった。③自転車専用信号は⑤自転車ボックスと④自転車専用停止線より大きく、②交差点手前自転車レーン進入禁止より小さかったが、あまり差はなかった。①左折自動車と合流は他のパターンより大きくて、1.00の値となっている。

表-13はアイマークレコーダーの映像から分析されたものである。アイマークレコーダーから自動車運転者が交差点に入っていた際自転車数（N）を計測した。計測された（N）のうち、自転車運転者が自動車運転者の死角から交差点に入った自転車数（ ΔN ）とした。各パターンに関して、交差点に入った自転車数（N）に対する死角から交差点に入った自転車数（ ΔN ）の発生頻度も比較した。

表-13から $\Delta N/N$ の、は①左折自動車と合流が一番小さく、0であった。⑤自転車ボックスは二番目として小さかった。最後の④自転車専用停止線、③自転車専用信号と②安全対策なしの3パターンは変化がなかった。

5. ディスカッション

自転車運転者にとって、③自転車専用信号はもっとも望ましくて、①左折自動車と合流はもっとも望ましくなかったパターンであり、自転車先出しパターンは他のパターンより望ましかった。一方、自動車運転者の望ましかったと望ましくなかったパターンは自転車運転者と完全に逆であった。

③自転車専用信号は自転車運転者の中から、異なった信号を見間違った人が半分いても、③自転車専用信号が望ましかったので、自転車からの③自転車専用信号の視認性をよくすれば、より望ましくなる。

④自転車専用停止線と⑤自転車ボックスは停止線の異なった位置からの自転車先出しパターンなので、赤で停

止している際に、自動車が後ろになっていたが、自動車の動きが見えなくなって、安全と思わなかった自転車運転者がいた。⑤自転車ボックスは、自転車運転者を右折しやすくするために設備するためのパターンなので、本研究の実験では、適切ではないパターンだったが、④自転車専用停止線は適切だったので、結果の有効性があるといえる。

自動車運転者にとって、①左折自動車と合流は全状況よりも、自動車運転者は左折しやすく、総合的に自動車より自転車の方は優先されなかったものなので、もっとも便利で、望ましくなったパターンといえるだろう。

①左折自動車と合流では自転車が自動車の前あるいは後ろに並んだので、交錯回数の機会をなくして、 CP/T の値が0程度まで小さくなった。それに、全ての自転車が交差点に入る前に、自動車の前に並んだので、 $\Delta N/N$ の値が0程度まで小さくなった。ところが、自転車が自動車の左側に無理に走行すると危険なので、 NC/CP の値が1.00になった。

②自転車専用信号では先出し時間と先停止時間により、交錯回数の機会が減少して、 CP/T の値が小さくなった。ところが、先出し時間によって先に発生させる以外は、②交差点手前自転車レーン進入禁止と同様なので、 NC/CP と $\Delta N/N$ の値が②安全対策なしとあまり変わらなかった。

④自転車専用停止線と⑤自転車ボックスでは異なった停止線により、交錯回数の機会が減少して、 CP/T の値が小さくなった。赤で停止した時に、自動車から自転車の視認性に入ったので、危険な交錯回数が減少して、 NC/CP の値が小さくなった。ところが、他の状況は②安全対策なしと同様なので、 $\Delta N/N$ の値が②安全対策なしとあまり変わらなかった。⑤自転車ボックスの停止空間は自転車専用停止線の停止空間より大きかったので、自動車の視認性が高くなり、 NC/CP と $\Delta N/N$ の値ももっと小さかった。

6. まとめ

本研究のまとめとして、③自転車専用信号は自転車に快適なパターンである。自転車運転者の意見では④自転車専用停止線が一番望ましかったという結果になった。④自転車専用停止線と⑤自転車ボックスは自動車が自転車の後ろにいたため、自転車運転者から自動車の動きがわからず、安全だと思われなかった。

映像の分析から、③自転車専用信号は自転車先出しパターン（③自転車専用信号、④自転車専用停止線、⑤自転車ボックス）の中では自転車の左折巻き込みを一番減らせ、②交差点手前自転車レーン進入禁止より、自動車からの死角を減少することも少なくないため、安全性の

面でも有効なものである。

①左折自動車と合流は自転車運転者にとって、快適と思わなかったパターンである。自動車と合流させたため、自転車は自動車の前と後ろにいたから、快適ではなかったと回答した人が少なくない。

しかし、映像の分析から、このパターンは自転車を自動車からの左折巻き込みを防ぎ、自動車からの死角がなくなることが可能なパターンである。このため、自転車の安全性の面から①左折自動車と合流するパターンが一番安全である。

7. 今後の課題

被験者を増やすことと多種多様な被験者を実験に参加させる。本研究の行った実験では、参加した被験者は14人で全員学生であった。日本全国の各運転者として、および通勤者、高齢者と子供などの他の運転者として代表したとはいえなかった。また、自動車を運転した被験者は運転免許を5年以内に取得しており、普段は運転していなかった被験者なので、自動車の運転経験が豊富とは言えない。

実験された様々なパターンを合成して、合成パターンを実験する。③自転車専用信号は④自転車専用停止線、あるいは⑤自転車ボックスと合成できて、合成パターンとして利用できるものである。

実験された③自転車専用信号の先出し時間と先停止時間、④自転車専用停止線の自動車より前にあった距離と⑤自転車ボックスの停止空間の長さあるいは高さを様々な値で実験する。

参考文献

- 1) Constant A., Lagarde E. : Protecting Vulnerable Road Users from Injury, *PLoS Med* 7(3): e1000228, 2010.
- 2) 社団法人日本自動車工業会：自転車との安全な共存のために、安全に通行できる道路整備と意識改革を目指して、2009.
- 3) Johnson R. : Bicycle-friendly city hooked on dangerous intersections, *Columbia Daily Tribune*, 2011.
- 4) AASHTO : Guide for the Planning, Design, and Operation of Bicycle Facilities Draft, *American Association of State Highway and Transportation Officials*, 2010.
- 5) CROW : Design Manual for Bicycle Traffic, 2006.
- 6) Edwards and Kelcey : Kane County Bicycle and Pedestrian Plan, 2002.
- 7) FHWA : Manual of Uniform Traffic Control Devices for

- Street and Highways 2009 Edition, *U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration*, 2009.
- 8) Portland Bicycle Plan for 2030 : Bikeway Facility Design: Survey of Best Practices, 2010.
- 9) Pan T., Cheng L. : Study of Signal Control Based on Conflicts between Right-Turn Vehicles and Straight-Going Bicycles, *ICCTP*, 2011.

RESEARCH ON BICYCLE SAFETY MEASURES AT SIGNALIZED INTERSECTION

A. Rahman A. RAHIMI, Aya KOJIMA and Hisashi KUBOTA

In recent years, the installation of bicycle lanes has been advancing in Japan as in other developed bicycle friendly countries including the Western countries. Nowadays, there are no guidelines for the intersection design if bicycle lanes are installed in Japan, thus there is an urgency to examine the safety of the intersections with bicycle lanes. In this research, the safety of the intersections design from Western countries are examined with the left-hook being focused to guide the installation of bicycle lanes in the future. The method of this research is by preparing these five intersection designs: (1) Mixed traffic with left-turning motorist; (2) Left-turning only in the intersection for motorist; (3) Bicycle signal; (4) Advanced stop lines for bicyclist; and (5) Bicycle box; at the experiment site, and the subjects which consist of bicyclist and motorist are instructed to travel the specified route freely. The safety of each intersection are examined and the results are compared from the questionnaires answered by the subjects and the video recorded throughout the experiment. The result of this research are (3) Bicycle signal is the most comfortable intersection design for the bicyclist and (1) Mixed traffic with left-turning motorist is the safest intersection design for the bicyclist.