

道路政策の質の向上に資する技術研究開発

【研究状況報告書（FS研究対象）】

		氏名（ふりがな）	所属		役職
①研究代表者		吉田 長裕（よしだ ながひろ）	大阪市立大学大学院工学研 究科		准教授
②研究 テーマ	名称	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			
	政策 領域	[主領域] 交通事故対策	公募	タイプ I	
		[副領域] 新たな行政システムの創造	タイプ		
③研究経費（単位：万円）		令和2年度			
※受託額を記入。		987万円			
④研究者氏名		（研究代表者以外の主な研究者の氏名、所属・役職を記入。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。）			
氏名		所属・役職			
山中英生		徳島大学大学院社会産業理工学研究部・教授			
松本修一		文教大学情報学部・准教授			
平岡敏洋		東京大学生産技術研究所・特任教授			
川合康央		文教大学情報学部・教授			
小嶋 文		埼玉大学大学院理工学研究科・准教授			
稲垣具志		中央大学研究開発機構・准教授			
⑤研究の目的・目標		（提案書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入。）			
<p>本研究の目的は、車道上自転車と自動車の交通事故に着目し、とくに重大事故に至りやすい夜間や単路、坂道、大規模交差点等での交通コンフリクト状態を、個別開発されてきたツールと連携しながらサイクルシミュレータ上で再現・実験することにより、高い安全性を発揮できる事故対策案と、道路交通システムの設計段階に反映すべき持続可能な安全を段階的に高める方策の提案である。</p> <p>研究目標としては、(1)ドライブレコーダや事故データ等による車道上の自転車関連事故を類型化、(2)モバイル型プローブ自転車を用いて国内外の自転車走行環境の評価、(3)自転車と自動車との協調行動をDS上で表現するためのシステムを構築、(4)協調型サイクルシミュレータシステムによる交通コンフリクト実験・マニピュレート実験できるシステム構築、(5)自転車の重大事故発生危険箇所において、設計段階に反映できる持続可能な安全を段階的に高めるための方策の提案、の5つである。</p> <p>これら5つのうち、FSの研究内容としては、対象や範囲を限定し、(1)の限定版として「信号交差点における左折時の事故を対象として、自転車運転者と自動車運転者の意思決定プロセスにおける仮説の作成」、(3)の限定版として「協調型サイクルシミュレータの構築」、(4)の限定版として「自転車と自動車の錯綜現象を対象とした仮想道路空間での実験」を行ったものである。</p>					

⑥ F S 研究の結果 (F S 研究の結果について、これまでの研究目標の達成状況とその根拠 (データ等) を必要に応じて図表等を用いながら、具体的に記入。)

以下に、FSの研究結果を項目別に根拠とともに示す。

(1) 自転車運転者と自動車運転者の意思決定プロセスにおける仮説の作成

1) 着目する自転車関連事故

表-1.1、表-1.2は、四輪車対自転車事故の発生箇所・事故類型別件数を2011年と2019年それぞれで示したものである。これをみると、四輪車対自転車事故件数は、2011年から2019年の8年間で45%減少しており、信号有無別では、無信号交差点では48%減少、信号交差点では42%減少となっている。信号交差点における事故類型に着目すると、左折時32%減少、右折時40%減少、出会い頭56%減少となっており、左折時の減少率が中でも低いことがわかる。そこで、本年度は、自転車関連事故のうち、信号交差点における左折時の事故に限定して、各研究を実施することとした。

表-1.1 四輪車対自転車事故の発生箇所(2011) 表-1.2 四輪車対自転車事故の発生箇所(2019)

	信号 交差点	無信号 交差点	交差点 付近	単路	その他	合計	構成率
正面衝突	75	211	240	1,071	58	1,655	1.4%
追突	39	138	181	1,006	20	1,384	1.1%
出会い頭	7,303	48,306	1,827	9,854	660	67,950	56.2%
左折時	8,942	3,935	593	2,451	71	15,992	13.2%
右折時	9,492	4,455	530	1,568	110	16,155	13.4%
その他	1,058	2,294	1,857	11,640	1,019	17,868	14.8%
合計	26,909	59,339	5,228	27,590	1,938	121,004	100.0%
構成率	22.2%	49.0%	4.3%	22.8%	1.6%	100.0%	

82.7%
(出会い頭+右左折事故)
網部分
87.7%
(交差点事故)

75.6%(交差点事故)

	信号 交差点	無信号 交差点	交差点 付近	単路	その他	合計	構成率
正面衝突	26	70	89	346	27	558	0.8%
追突	38	66	113	652	7	876	1.3%
出会い頭	3,232	24,361	1,430	5,620	349	35,212	53.4%
左折時	6,098	2,311	470	1,766	48	10,693	16.2%
右折時	5,710	2,893	308	889	76	9,876	14.7%
その他	592	1,375	987	5,363	587	8,914	13.5%
合計	15,696	30,896	3,407	14,836	1,094	65,929	100.0%
構成率	23.8%	46.9%	5.2%	22.5%	1.7%	100.0%	

84.3%
(出会い頭+右左折事故)
網部分
89.4%
(交差点事故)

75.8%(交差点事故)

(出典：交通事故分析センター)

2) 事故データを用いた車道通行自転車に関わる主要な事故パターン

埼玉県警提供の交通事故データと航空写真を用いて衝突前の自転車の走行位置を推定し、歩道走行と車道走行の自転車の事故の特徴の違いについて検討を行った。2016~2019年の4年間のデータ(総件数99,574件)から、衝突前の自転車走行位置の推定が比較的容易であることを考慮し、車道幅員が「交差点(大大)」及び「交差点(大中)」である自転車関連事故データを抽出した。そのうち、第一当事者が左折する自動車、第二当事者が直進する自転車(直進する方向は、自動車の左折前の進行方向)である事故計276件を分析対象とした。

衝突前の走行位置を推定できた258件の内訳をみると(図-1.1)、車道・路側帯通行は22件(9%)、歩道通行は236件(91%)であった。また、走行位置別の事故内容をみると、歩道のほうが重傷・死亡の割合が5%程度高いが統計的な有意差はなかった。次に、自転車の走行位置別に自動車等と二輪車等の衝突部位の構成率をみたところ(図-1.2)、自動車等の左側が7割を越えていた。また、自動車等の衝突部位の比較では、車道・路側帯に比べ歩道では左側面より左前部の占める割合が高く、車道・路側帯を走行している自転車の方は、衝突部位が側面同士(自動車左側面-自転車右側面)である割合が歩道走行より高かった。以上より、歩道通行自転車は自動車等からの発見が遅れ、自動車の前部が自転車と衝突する出会い頭事故のような形態となりやすいこと、車道通行自転車については自動車等の左側後方の死角が関係し、自動車の側面と自転車が接触する事故が起こっていることが示唆された。

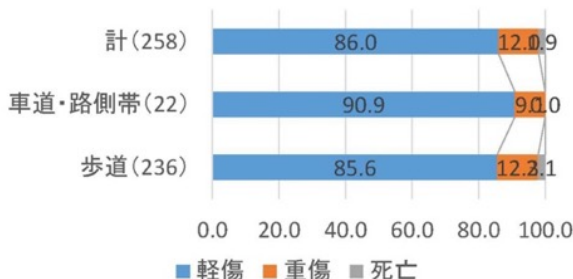


図-1.1 走行位置別事故内容

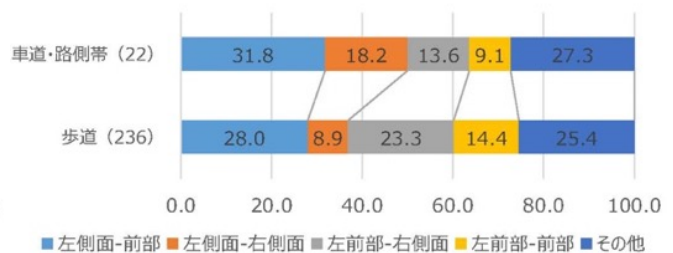


図-1.2 走行位置別衝突部位 (自動車-自転車)

3) ドライブレコーダデータを用いた車道通行自転車に関わる主要な錯綜の類型化

2016年から2019年の間に、東京都、静岡市、福岡市、由利本荘市、札幌市の各都市内を走行するタクシーに搭載されたドライブレコーダにより収集されたデータを用いて、ヒヤリハット特性の類型化を行った。このドライブレコーダでは、衝突や急ブレーキ、急ハンドル等により車体に0.45G以上の前後加速度が作用した場合にトリガーが発生し、事故やヒヤリハット等のイベント発生時およびその前10秒、後5秒の車内外映像、車速、加速度、ジャーク、緯度・経度、ブレーキ・ウインカー有無のデータを記録するものである(図-1.3)。4年間で記録された全48,584件のイベントのうち、左折するタクシーと自転車の錯綜として抽出された860件について、映像の確認によりタクシーと自転車が信号交差点の同じ車道流入部を走行している16件を選定してヒヤリハットの類型化を行った。

① 交差点内で停止、徐行している左折車に自転車が後方より接近するケース

このケースは、a)左折車が交差点隅角部前に位置し、車体の向きと流入部長手方向の角度が一定程度ある状態に対して、自転車が左折車と歩道との空間を通行しようとする場合(図-1.4)と、b)左折車が隅角部よりも上流側に位置し、車体の向きが流入部長手方向とほぼ平行の状態に対して、自転車が左折車側方をすり抜ける場合(図-1.5)に分けられた。

② 流入部で減速する左折車に自転車が後方より接近するケース

このケースは、左折車が流入部で減速することで後方の自転車が追いつき、自転車が左折車の死角に入った状態でドライバーがハンドルを切ってヒヤリハットが発生するもの(図-1.6)で、車内カメラ例として示した図-1.7のように左折車の左後方で自転車が並進する状況が典型的であった。

③ 自転車を追い越した後、減速することで自転車が接近するケース

このケースは、交差点上流部で左折車が自転車を一旦追い越し、左折車の流入部での減速により直進自転車が追いつくものの、左折車が左折する際に錯綜が発生するものである。ヒヤリハット発生直前の状況は②と似ているが、流入部前後で車両の通行位置が入れ替わる点において現象が異なる。

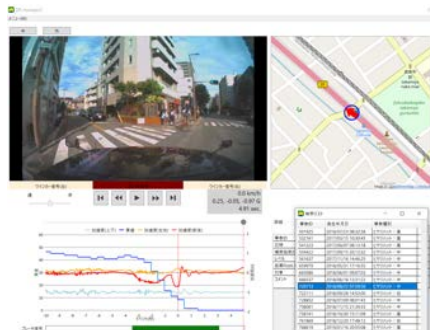


図-1.3 データベースのインターフェース

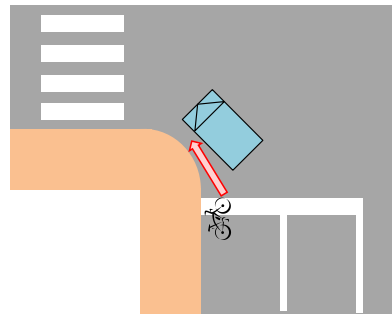


図-1.4 錯綜パターン①-a

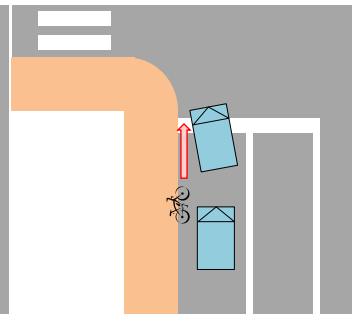


図-1.5 錯綜パターン①-b

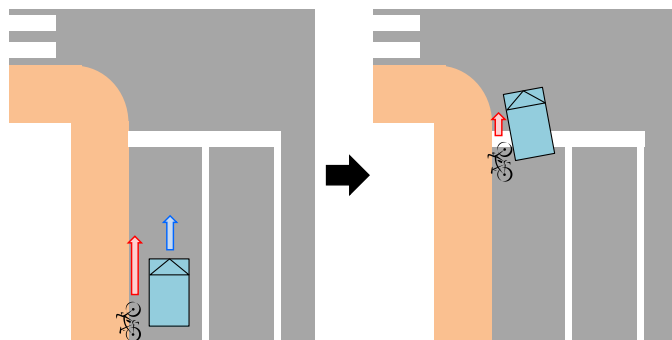


図-1.6 錯綜パターン②

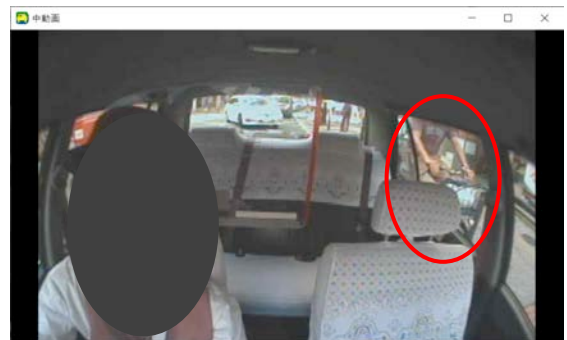


図-1.7 左折車の左後方で自転車が並進する例

4) 自転車運転者と自動車運転者の意思決定プロセス及び相互作用について仮説

3)において類型化された各ケースについて、シミュレータ実験を想定して、▲初期条件、◆自転車

運転者及び■左折車運転者の意思決定及び行動、●相互作用に分けて以下のように整理した。◁部分
は意思決定に関わる要素、◁▷部分
は意思決定（/は選択肢）、【】は運
転行動を表す。

① 交差点内で停止、徐行している左折車に自転車が後方より接近するケース

a) 左折車が交差点隅角部前に位置する場合

- ▲初期条件：左折車は前方の横断者等を確認のため◁停止/徐行>>、自転車は交差点流入部を直進。
- ◆自転車運転者：前方の左折車を認知し、<優先意識高い/低い>状態で◁減速/等速/加速>>して◁左折車の左側方/右側方>>を◁横断歩道/第一通行帯>>を目指して【直進】。
- 左折車運転者：◁左後方の確認あり/なし>>で◁横断者等の確認あり/なし>>で【左折】。
- 相互作用：停止、徐行中に互いの存在を認知できていない状況に加え、前方を注視している間の後方自転車に対する選択的認知ミス。

b) 左折車が隅角部よりも上流側に位置する場合

- ▲初期条件：左折車は、左折のために◁停止/徐行>>、自転車は交差点流入部を直進。
- ◆自転車運転者：前方の<自動車を左折車/直進車と認知>し、◁減速/等速/加速>>して◁左折車の左側方/右側方>>を◁横断歩道/第一通行帯>>を目指して、死角に◁入っ/避け>>て【直進】。
- 左折車運転者：◁合図履行/不履行>>や◁左後方の確認あり/なし>>に◁左側端に寄る/寄らず>>に【左にハンドルを切る】
- 相互作用：停止、徐行中に互いの存在を認知できていない状況に加え、後方自転車が側方を通行可能な幅あり、前方を注視している間に後方自転車に対する選択的認知ミス。

② 流入部で減速する左折車に自転車が後方より接近するケース

- ▲初期条件：左折車は、流入部で減速しながら左折準備、自転車は交差点流入部を直進。
- ◆自転車運転者：前方の左折車を認知し、<リスクテイキングあり/なし>あるいは<優先意識高い/低い>により◁減速/等速/加速>>して◁側方余裕を>>◁横断歩道/第一通行帯>>を目指して【直進】。
- 左折車運転者：<狭い/広い側方余裕>部分の<車体死角あり/なし>に<自転車走行あり/なし>の状態で、◁合図履行/不履行>>や◁左側端に寄る/寄らず>>に◁左後方の確認あり/なし>>で【左にハンドルを切る】。
- 相互作用：走行中に互いの存在及び進行方向を認知できていない状況に加え、後方自転車が側方を通行可能な幅あり、前方を注視している間に後方自転車に対する選択的認知ミス。

③ 自転車を追い越した後、減速することで自転車が接近するケース

- ▲初期条件：左折車は、流入部手前で自転車を追い抜き、自転車は交差点流入部を直進。
- ◆自転車運転者：追い抜いた左折車を認知し、<リスクテイキングあり/なし>あるいは<優先意識高い/低い>により◁減速/等速/加速>>して◁側方余裕を>>◁横断歩道/第一通行帯>>を目指して【直進】。
- 左折車運転者：<余裕を持って/無理に>自転車を追い抜いた後、◁合図履行/不履行>>や◁左側端に寄る/寄らず>>に◁左後方の確認あり/なし>>で【左にハンドルを切る】。
- 相互作用：互いの存在は認知できていたが、短い時間での左折車行動の準備が十分でなく、互いに急制動が必要な状態に陥り、通行の優先・非優先の判断ミス及び運転操作ミス。

以上の自転車運転者と自動車運転者の意思決定プロセス及び相互作用においては、交差点隅角部の条件も関係しており、自転車専用通行帯や矢羽根などの路面表示によって左折自動車の側方余裕が生じ、自転車の優先意識が強化され事故増加も考えられる。こういった仮説作成を通じて、運転者の認知、判断、運転のプロセスで生じるミスと介入可能な協調行動のシナリオを作成することができる。

(2) 協調型サイクルシミュレータの構築と性能評価

1) 協調型サイクルシミュレータの構築

自動車と自転車の錯綜現象及び協調行動を再現できる協調型サイクルシミュレータ (CCS) を構築した。ここで、協調行動とは、自動車運転者と自転車運転者が互いにそれぞれの走行状態を把握し、それに基づいて運転行動の意思・行動を決定することを意味する。徳島大学CCS (図-2.1) は実物の軽自動車、自転車をコックピットとして、広視野のスクリーンにプロジェクター投影を行うもので、本年度は既存システムについてソフトウェアバージョンアップ、機器更新を行い、大規模信号交差点において自動車左折と自転車直進の錯綜再現用にセットアップしている。文教大学CCS (図-2.2) は両眼ヘッドアップディスプレイ (HMD) を用いて、頭部挙動に合わせて全方位の視野を再現できるものとなっている。両者の特徴の比較を表-2.1に示す。

- ・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)
- ・自転車 (軽自動車)
- ・広視野 自転車 (約180度+バックミラー用映像)
- 自転車 (全270度 走行方向転走可能)



手前コンソール、手前奥：自動車運転部 左奥：自転車操作部

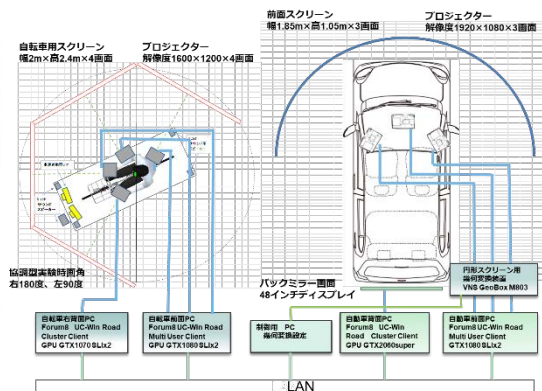


図-2.1 広視野型協調型サイクルシミュレータ (徳島大学)



図-2.2 HMD全方向視野型協調型サイクルシミュレータ (文教大学)

表-2.1 両CSSの特徴比較

特性	広視野型CSS (徳島大)	全方向視野CSS (文教大学)
視野角	○ (自転車270度、車180度+バック)	◎ (頭部運動で全方向確認可能)
奥行き感	▲ 2次元画像	◎ ステレオ画像
解像度	◎ (フルHD仕様)	○ (HMD解像度)
操作部	◎ 現物を直接操作	○ 操作部を直接見れない
シミュレータ酔い	○ 画面と視点の距離があるため軽減 SSQスコア中 ^注	▲ 没入性が高く酔いやすい SSQスコア大

注：SSQ：Simulator Sickness Questionnaire

2) 協調型シミュレータの性能評価

左折自動車と直進自転車の錯綜現象及び協調行動 (自動車運転者と自転車運転者が互いに情報のやりとりを行い意思・行動を決定すること) を再現できる協調型サイクルシミュレータを構築した。また、図-3.1の中から、亀戸、光が丘、大森、王子の計5交差点を作成し、錯綜実験等を行うことが可能な実験基盤を作成した。

更に、これまで研究知見が少なかったサイクリングシミュレータの再現性に関しては、山中ら (2010)、Steve et al. (2017) 等を参考に、2種類のシケイン形状の短距離区間での走行再現性の検証を行い、図-2.3~2.6のような結果が得られた。これらの結果から走行特性を表現するための平均速度、横軸誤差に関しては、良好な精度があることが確認された。その一方で、自転車のふらつき等が表現出来ていないため、乱雑さを評価するエントロピー値は曲線を走行するシナリオにおいて大きな乖離が確認された。この結果は、サイクリングシミュレータの筐体を安全性、システムの簡便化等の観点から横揺れ、ふらつき等を減らしたシステム構成としていたためと推察される。

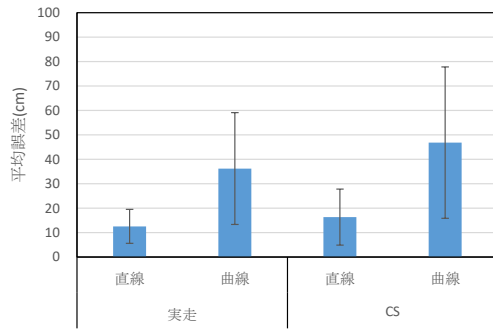


図-2.3 平均速度の比較

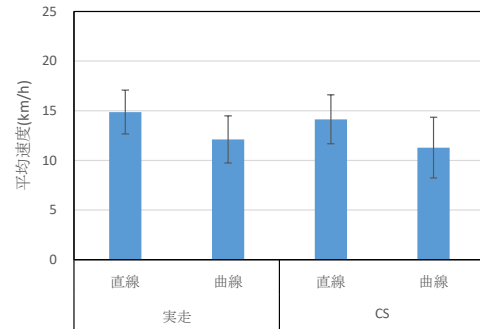


図-2.4 平均誤差の比較

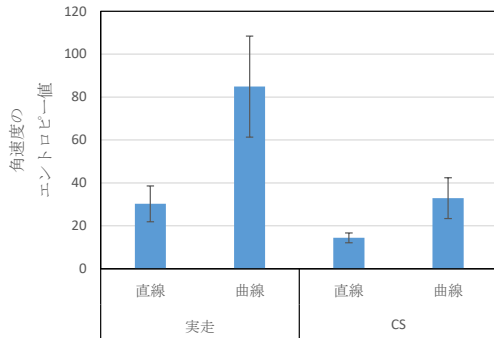


図-2.5 角速度のエントロピー値

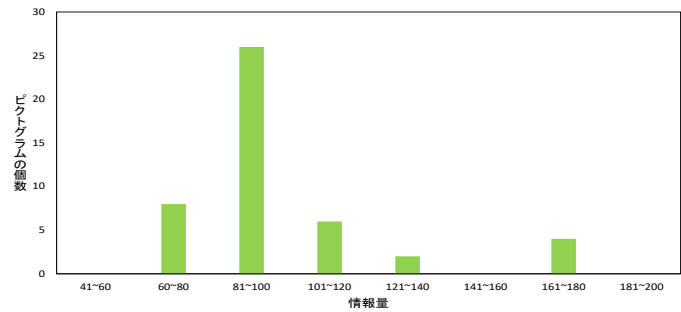


図-2.6 ピクトグラムの情報量の分布

また、山中らの研究で、サイクリングシミュレータの視認性は、大よそ0.3程度の視力であるとの結果が出ている。その改善方法として視認性の補正方法の検討も行った。具体的には、湘南地域（藤沢市、茅ヶ崎市、平塚市、大磯町）の国道におけるピクトグラムの実態調査を行い、その情報量を定量化（表-2.2参照）し、情報量などが異なる複数のピクトグラムに対して、自転車およびサイクリングシミュレータでの視認性確認実験（図-2.7参照）を行い360走行のデータを収集した。この実験から得られた結果を表-2.2に示す。これらの結果を更に精緻化することで、シミュレータ上におけるピクトグラムや看板などの視認性の向上に資すると考える。



図-2.7視認性走行実験の走行ルート

表-2.2 拡大補正率の推定結果

説明変数	パラメータ
情報量(bit)	0.004 (3.170)
速度(km/h)	-0.011 (-1.375)
判読距離(m)	0.046 (0.446)
フォント(pt)	-6.45E-07 (-1.500)
定数項	1.094 (7.127)
重相関係数	0.393
サンプル数	360

<参考文献>

- ・ 山中英生、亀谷友紀、柿原健祐：シケインにおける自転車の走行特性，土木計画学研究・論文集 Vol.27, pp.449-456, 2010.
- ・ Steve O'Hern et.al."Validation of a bicycle simulator for road safety",Accident Analysis and Prevention, Vol.100, pp.53-58,2017.
- ・ 溝口 諒, 山中 英生：広視野型自転車シミュレータの実環境再現性に関する分析，土木計画学研究・論文集, Vol.71,No.5, pp.1_737-742, 2015.
- ・ Kennedy, S.R., Lane, E.N., Berbaum, S.K. and Lilienthal, G.M.: Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness, The International Journal of Aviation Psychology, Vol. 3, No. 3, pp. 203-220, 1993.

(3) 実交差点での錯綜現象の観測調査と仮想道路空間での実験

1) 交差点での錯綜現象の観測調査

自転車・自動車通行環境等の交差点隅角部の条件の異なる7交差点（東京及び大阪）を選定し、令和2年10月～11月に朝夜の2時間ずつ、ビデオ観測調査を行った（表-3.1）。信号交差点における錯綜パターンを分析するために、交差点別の自転車通行パターンを図-3.1のように分類し、自転車の通行パターン毎にA～Gに分類を行った。朝の観測結果の概要を表-3.2に示す。解析手法として、GNSS簡易測量に基づいた座標の射影変換、Fast R-CNNという静止画像から物体検知を行う深層学習手法を用いた。

表-3.1 調査対象交差点の概要

整備・運用形態	構造分離	視覚分離					
	自転車道	自転車専用通行帯	左折車線+矢羽根	左直車線+矢羽根	自転車横断帯	左折車線	なし
対象交差点	亀戸	光が丘5丁目	大森本町1丁目	寝屋川市池田	富ヶ谷	渋谷駅西口	王子尾長橋
第1車線	左折	左折	左折	左直	左折	左折	左直
対象交差点の状況							
自転車関連事故件数(2018)	5件	0件	1件	3件	0件	2件	1件

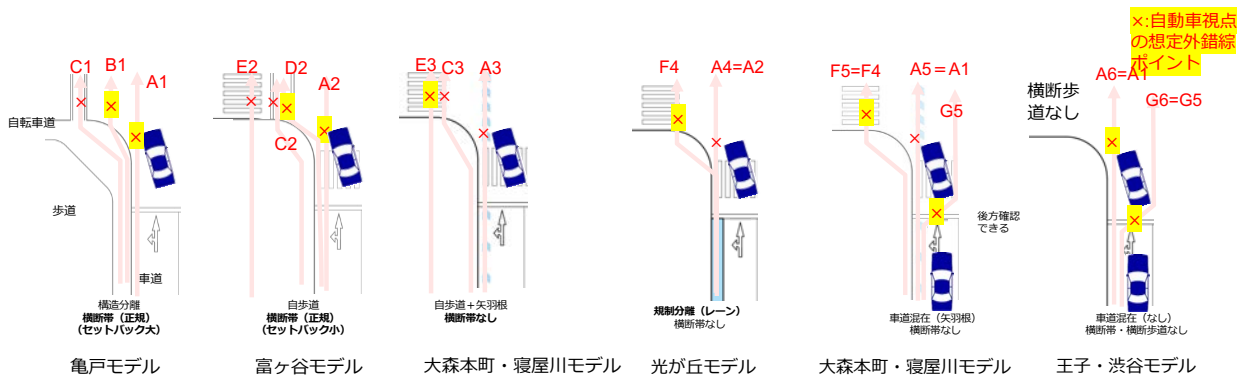


図-3.1 錯綜パターン毎の自転車通行パターン・交差点モデルの分類

表-3.2 観測結果の概要（昼間）

場所	動画時間(分)	左折車台数	直進自転車台数(順走のみ)							左折車×自転車錯綜件数								
			A	B	C	D	E	F	G	計	A	B	C	D	E	F	G	計
亀戸	120	288	66	69	209				344	1	5	16						22
光が丘	309	85	69				7		76	1						-		1
大森本町	138	180	58		94	2	116		276	6				1			6	13
寝屋川	121	309	40				61		101	8				5				13
富ヶ谷	147	117	143		111	9			263	3		3	1					7
渋谷	152	734	6						98	1								3
王子	169	52	8	14	77			1	100			2						2
計	1156	1765	390	83	491	11	177	8	98	20	5	21	1	6	0	8		61

2) 交差点での錯綜現象の解析結果

解析における錯綜は、「減速やハンドル操作がない場合に衝突の恐れがあり、回避行動をとったもの」と定義しており、(1) 信号停止の影響を受けているもの、(2) 歩行者・逆走自転車など順走自転車以外の影響を受けて減速したと考えられるもの、(3) 画像解析による座標の取得が極端に少ないもの、については解析対象から除外した。解析作業では、前後の車両との重なり（オクルージョン）、陰影、解像度が足りない場合に、バウンディングボックス（物体検知の枠）の変形、誤検知などが発生しており、その場合、検知結果との照合により除外した。

図-3.2の設定に基づいて、各交差点及び錯綜パターン別に自転車及び左折車の区間走行速度を求めた。その結果、自転車では、車道通行の多い「大森」「渋谷」で高く、錯綜パターン別でも同様な傾向を確認できる。錯綜ペアの左折車に関しては、鈍角交差点の「寝屋川」、左折車線の「渋谷」「大森」で高い傾向を、自転車道の「亀戸」では、単路から交差点での減速が大きく、錯綜パターン別ではB、Cに該当する。

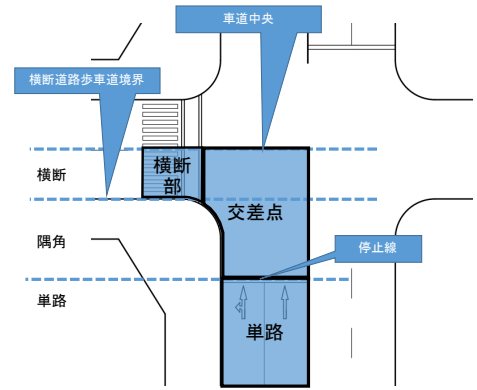


図-3.2 交差点における区間設定

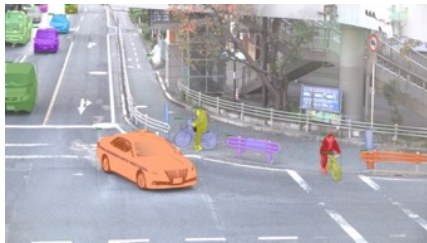


写真-3.1 亀戸交差点解析事例

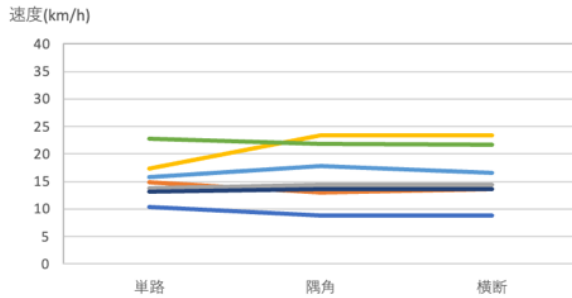


写真-3.2 大森交差点解析事例



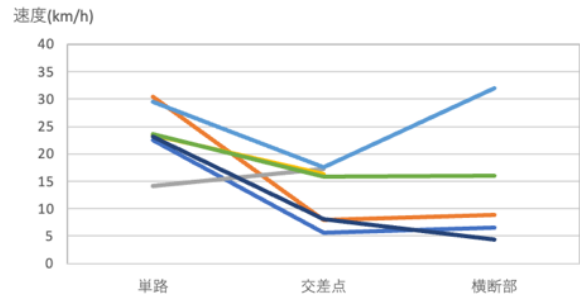
写真-3.3 渋谷交差点解析事例

— 王子(n=2) — 亀戸(n=22) — 光が丘(n=1) — 渋谷(n=3)
— 寝屋川(n=13) — 大森(n=13) — 富ヶ谷(n=7)



(a)直進順走自転車

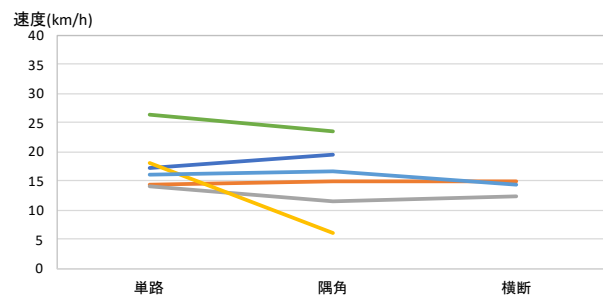
— 王子(n=2) — 亀戸(n=22) — 光が丘(n=1) — 渋谷(n=3)
— 寝屋川(n=13) — 大森(n=13) — 富ヶ谷(n=7)



(b)左折車

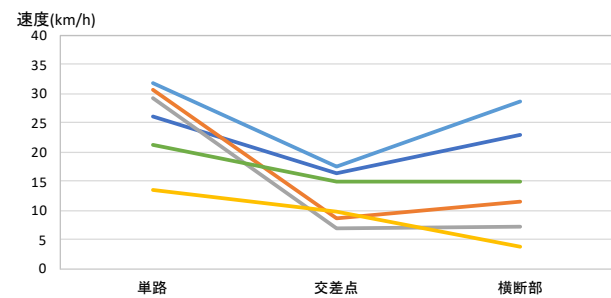
図-3.3 交差点別にみた区間走行速度

— A(n=20) — B(n=5) — C(n=21) — D(n=1) — E(n=6) — G(n=8)



(a)直進順走自転車

— A(n=20) — B(n=5) — C(n=21) — D(n=1) — E(n=6) — G(n=8)

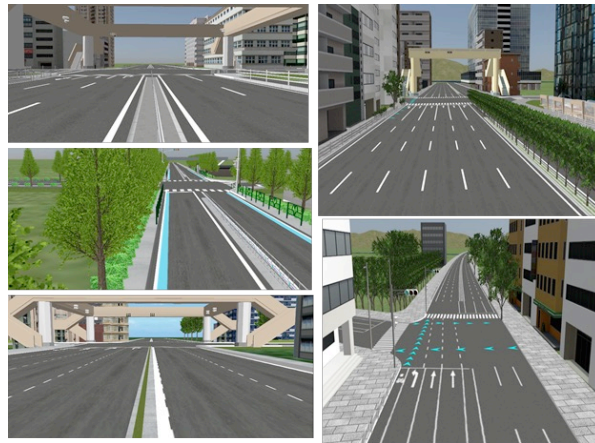


(b)左折車

図-3.4 錯綜パターン別にみた区間別の走行速度

3) 協調型シミュレータを用いた錯綜実験

構築した協調型サイクルシミュレータを用いて、仮想道路空間で左折自動車と直進自転車の事故を対象とした錯綜実験を行った。協調型サイクルシミュレータを用いた錯綜実験に関しては、図-3.1の自転車走行パターン分類をもとに、同一交差点でのショートカット挙動の危険性評価および複数交差点での自動車左折時の錯綜リスク評価を行った。



□交差点モデル名

- 左上: 亀戸モデル
- 左中央: 光が丘モデル
- 左下: 富ヶ谷モデル
- 右上: 大森本町・寝屋川モデル
- 右下: 王子・渋谷モデル

図-3.5 作成した交差点モデルの概観図

a) ショートカット挙動の危険性評価（徳島大学CSSによる危険性再現実験）

観測交差点の中で事故件数が最も多い亀戸交差点で観測された図-3.6の自転車走行パターンについて、CSSを用いて再現実験を行った。被験者が学生10名で3パターンを各4回以上走行。自動車は心理負荷として1桁の数字を画面上に2秒おきにランダムに表示させ継続する2つの数字を加算する作業を行わせている。図-3.7に走行パターン別TTC分布、図-3.9にはTTCとTTC最小地点での相対速度（接近速度）の関係を示している。TTCが1秒以下の危険状態はやはりBで多く発生している。図-3.8は走行パターンBの軌跡での錯綜時の事例を示す。

車道通行のAは歩道走行のCよりもTTC値では危険状況が多く見られるが、図-3.9に示すようにAでは車の前に自転車がいる状態でTTC危険値が生じているのに対して、Cでは車側面に自転車が存在する状態でのTTC危険状態が生じており、視認性を考慮するとCがより危険であることがわかる。このように、ビデオ撮影から判読された危険な自転車走行パターンについて、協調型シミュレータでも相対的危険性が再現できていると言える。また、こうした危険性再現が可能なことから、走行パターンBを生じさせない道路形態整備の効果をCSSで実験評価する可能性も示唆できる。

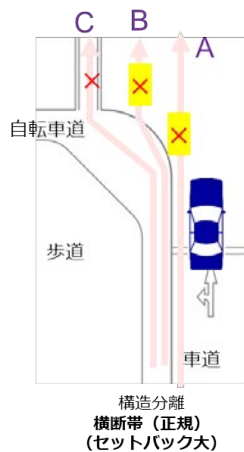


図-3.6 亀戸交差点での自転車走行パターン

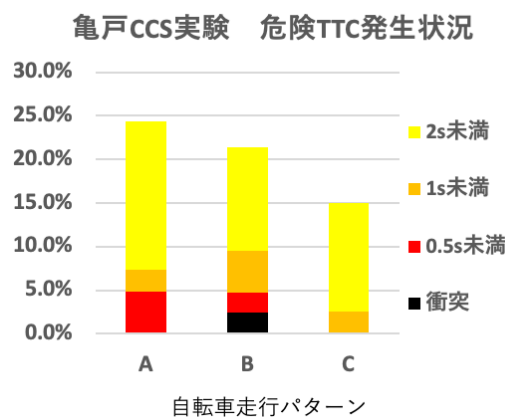


図-3.7 CSS（徳島大）実験による走行パターン別 危険TTC発生分布



図-3.8 走行パターンBでの錯綜発生状況

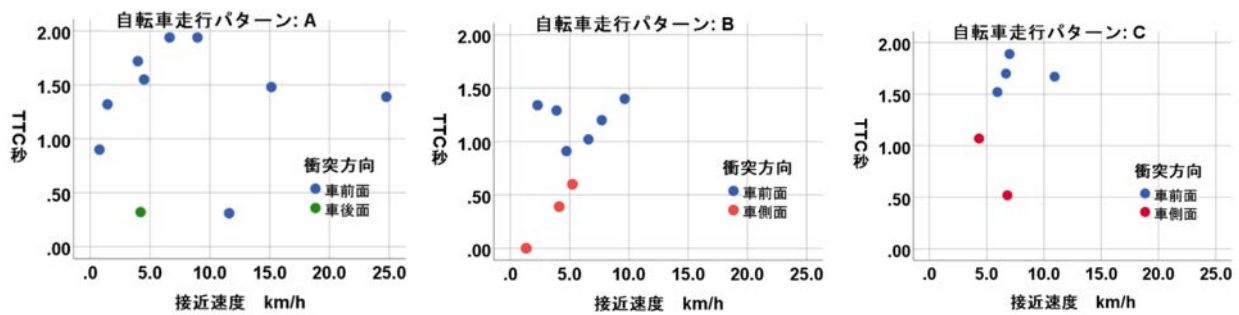


図-3.9 自転車走行パターン別のTTC値と接近速度、衝突方向の分布（徳島大CCS実験）

b) 自動車左折時の錯綜リスク評価（文教大学CSSによる危険性再現実験）

本実験では、より一般的な錯綜の評価を行うため、図3.5から5つの交差点モデルを参考に構築した実験シナリオを作成した。本実験では、ドライビングシミュレータ、サイクリングシミュレータにおいて10名の被験者を用い、115回の錯綜実験を行った。この実験においては、自転車と自動車の衝突は2回確認された。衝突部位に関しては、自動車の側面1回、正面1回であった。図-3.11にTTC2秒以下の発生回数とその内訳、図-3.11に各交差点でのTTC最小位置における相対速度を示す。図-3.11より、亀戸タイプの交差点において、自転車と自動車のTTCが小さくなる錯綜が多い傾向、光が丘が最も少なくなることが分かる。因果関係までは言及できないが、これは表-3.2の「左折車×自転車錯綜件数」、各交差点での交通事故件数とも同じ傾向が見て取れる。

本実験では、左折自動車と自転車の錯綜に限定した錯綜時のリスク分析を行ったが、左折自動車と自転車の錯綜に限らず、様々な錯綜時におけるリスク分析や自転車の交通安全施策の検討への汎用的な活用方法を検討してく予定である。

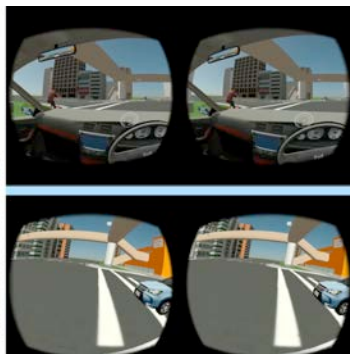


図-3.10 錯綜実験の状況

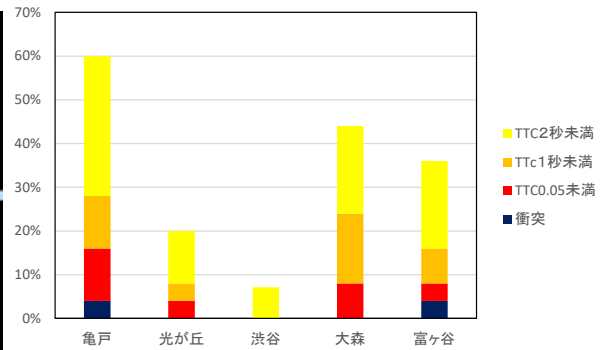


図-3.11 危険TTC出現頻度

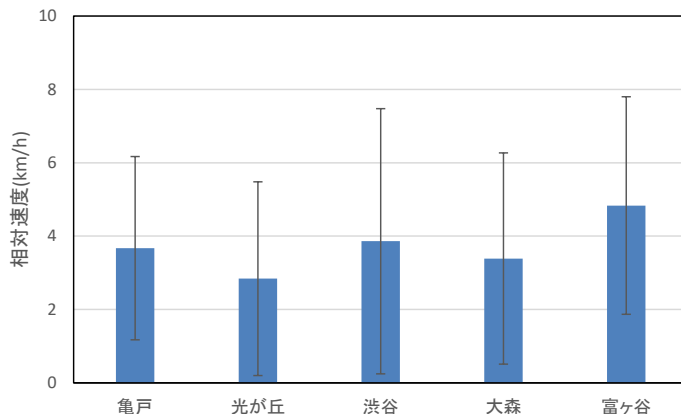


図-3.12 各交差点での相対速度

4) 協調型サイクルシミュレータの再現性の検証

前述の交差点での錯綜現象の観測調査と自動車左折時の錯綜リスク評価の結果より、以下の錯綜に特化して再現性の検証を行う。シミュレーションでの交差点錯綜実験の場合、自動車が交差点を左折する前に自転車が通過する等、錯綜状態にならないデータに関しても、TTCの算出がされる可能性がある。そこで、TTCの大きな値を外し、全交差点での2秒以下の錯綜時のTTCの分布を図-3.15に示す。この結果から実測の方がシミュレーションよりやや低めにTTCが算出されることが分かる。また、左折時の自動車およびDS、自転車およびCSの速度の平均値を図-3.14に示す。この結果からCS,DSともに実際の道路における速度との差異が存在する。この点は、Rachael et,al (2019) の調査等を参考に今後の課題として修正方法を検討する。今回は、交差点侵入時の速度、TTCの分布に着目し、検証を行ったが、今後は自動車の左折時の錯綜以外の交通状況についても検証を行い、交通安全等の施策評価を行う予定である。

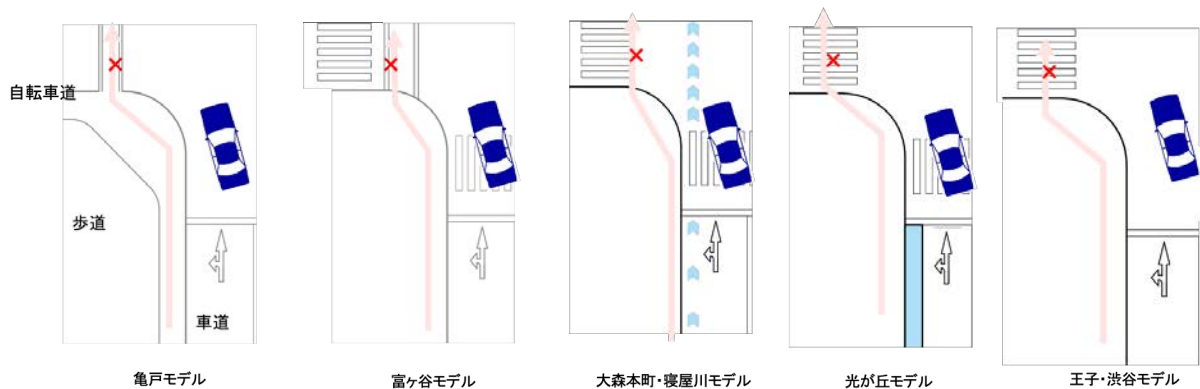


図-3.13 検証対象の錯綜条件

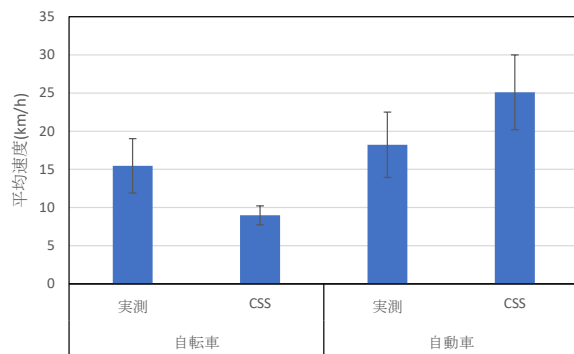


図-3.14 平均速度の比較

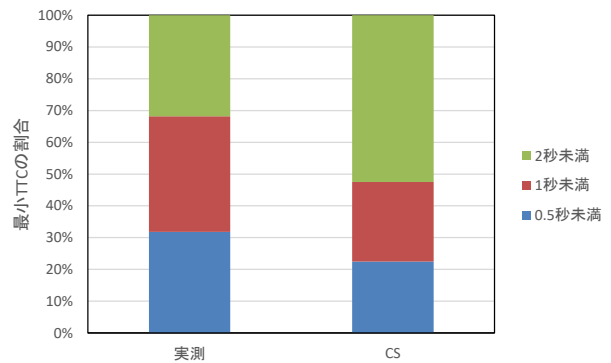


図-3.15 TTC (2秒以下) の分布

<参考文献>

・Rachael A. Wynne, Vanessa Beanland, Paul M. Salmon : ” Systematic review of driving simulator validation studies”, Safety Science, Vol.117, pp. 138-151, 2019.

⑦本格研究の見通し

(FS研究の結果を踏まえた本格研究における研究成果の見通し、今後の研究目標の達成見込み、成果の活用方法、手段、今後の展開等を記入。この際、提案書(当初計画)からの変更点があれば、分かるように工夫すること。)

(1) FS研究の結果を踏まえた本格研究における研究成果の見通し

FS研究の成果として、限定的な事故及び対象状況ではあるが、協調型サイクルシミュレータを構築し、観測調査と錯綜実験に基づいて、サイクルシミュレータの再現性を検証することができた。

本格研究に向けて、まず、自転車の重大事故の発生状況とその運転者行動に関わる仮説を、事故データ、ヒヤリハットデータを用いて体系的に整理する必要がある。FS研究では、信号交差点における左折事故に限定して仮説の作成を行い、仮説に含まれる運転者の意思決定要因を考慮して錯綜実験を行う目処を示すことができた。

シミュレータに関しては、より現実に近い実験環境を構築するために、FSで構築したシミュレータをベースに、視認性に関わる再現性向上、プローブ自転車等を用いた自転車通行環境の詳細モデル化、実交通条件に近づけるためのマイクロ交通シミュレータとの接続等により「データ連携機能」を有するシミュレータへの改良・拡張が必要である。これにより、より複雑な条件下での錯綜状況の再現、道路・交通の諸条件を組み合わせた錯綜状況について実験することができる。また、「協調型」については、FSでは同じ仮想空間上で自転車、自動車自由に意思決定を行い運転をできるようにはなったが、交通コンフリクト状態やインフラとの協調及び介入方法、さらに錯綜実験条件の設定方法や安全性評価の比較方法をさらに検討することで、より精緻な実験とその評価を行うことができる。

(2) 今後の研究目標の達成見込み

FSで実施した研究成果は、提案書記載の5つの研究目標のうち3つに関わる内容を限定的に実施したものであるが、とくに研究目標の中核をなす協調型シミュレータを構築し動作検証を行ったことで、今後の研究目標の達成の見通しとその実現可能性を示すことができた。FSで扱った信号交差点左折時のケースについては、右折自動車との錯綜ケースも考慮し、セーフシステムアプローチに基づいた交差点全体で車道を基本とした自転車通行の安全性を向上するための対策等を提案する。

(3) 成果の活用方法と今後の展開

FSでは、外部協力委員や外部協力機関を含めて検討会を3回開催し、研究成果の進捗を共有するとともに、研究成果の活用についてもご意見を頂いた。研究成果そのものについては、関連する学会発表を通じて公表する予定であるが、こういった成果を現場で活かしていけるように、現地検討会での議論も踏まえてデモンストレーションできる機会を確保したい(例えばJSTEシンポジウムなど)。

⑧特記事項

(本FS研究から得られた知見、学内外等へのインパクト等、特記すべき事項があれば記入。また、研究の目的・目標からみた、研究成果の見通しや進捗の達成度についての自己評価も記入。)

FSでは、車道を通行する自転車に対応するために、特徴の異なる2種類の協調型シミュレータを2大で構築することができた。道路・交通管理者、コンサルタント、大学研究者からなる外部協力委員や外部協力機関からは、とくにモバイル型シミュレータの現場での活用ニーズのあることがわかった。

見通しや達成度に関する自己評価としては、FSでは限定した条件ながら、自転車事故等に基づいた仮説作成、協調型シミュレータの基礎的な部分の構築及びその実験結果、再現性の検証結果を示すことができたことから、本格実施の条件を満たす事ができたと考えている。また、FSの研究内容は本提案の重要な部分を網羅しており、本提案の達成についても期待することができる。