

機関番号：12608

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008年度～2010年度

課題番号：20360228

研究課題名（和文）ペリラスバイク・ディテクターの新設計開発とその実用性

研究課題名（英文）Study on development and feasibility of “perious bike detector”

研究代表者 屋井 鉄雄（東京工業大学・大学院総合理工学研究科・教授）

研究者番号：10182289

研究成果の概要（和文）：無数に存在する交差点での自転車と自動車の出合い頭事故を防ぐことを目的とし、自転車を検知するディテクターの諸元の検討、および事故を再現できるシステムの構築を行なった。その結果、歩道上の自転車の検知には70[mm]×150[mm]、300[μH]程度の四角形コイルが適していた。また、動体視野角の概念と実地観測調査結果を用い、仮想空間内で対象とする出合い頭事故の再現を可能とし、ドライビングシミュレータにより左側から進入する自転車を見落とし、衝突に至る過程を再現することができた。

研究成果の概要（英文）：In this study, at first, we found the characteristics of detector on sidewalks on which drivers can find bicycles.

The second, the laboratory experiments for vehicle drivers using a driving simulation system were conducted to find out the characteristics of vehicle drivers' maneuver and visual behavior at the small, narrow-visible and non-signalized intersections.

We took the vehicle drivers' “dynamic view angle (in other words, the view angle in motion)” measured by CG movies with low speed into consideration. Therefore, we built up a small, narrow-visible, and non-signalized intersection, which has an ordinary design in urbanized areas in Japan, installed in the virtual-reality space of MOVIC-T4, and we developed the Artificial Intelligence Bicycles system, which might conflict with the subjects (drivers) at the intersection by considering the limited view angle of head-mounted-display. Then we observed the differences of subjects by the road infrastructures, and by the traffic situations at the intersections. As the result, we indicated that the most dangerous bicycles to collide against the vehicle at the intersection are ones approaching from left to the intersection on building-sided sidewalk. In addition, we revealed several factors of the serious conflicts at the intersections.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	3,400,000	1,020,000	4,420,000
2009年度	5,400,000	1,620,000	7,020,000
2010年度	4,500,000	1,350,000	5,850,000
年度			
年度			
総計	13,300,000	3,990,000	17,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学

キーワード：交通工学, 安全

1. 研究開始当初の背景

わが国では長らく自転車の歩道走行を一部で認めてきたが、実際にはほぼ全ての歩道での走行が常態化しており、その結果、歩道での歩行者との衝突事故が深刻化している。さらに、自転車が歩道走行中に細街路などとの交差点で自動車と起こす出会い頭事故の割合は高く、自転車にとって歩道走行が必ずしも安全ではないことも指摘されている。中でも無信号交差点での出会い頭事故が最も多く、細街路から幹線道路へ出る自動車と、幹線道路沿いの歩道を走行し、自動車側から見て左方向から交差点に進入する自転車が接触する形態の事故が各地で同様に発生している。その要因として、交差点の構造により自動車から自転車を視認しづらい上に、幹線道路に左折して合流するために右方向を注視しがちになるため、特に左方向からの自転車を発見するのが遅れてしまうことが挙げられる。これに対して、現状ではカーブミラーや停止線を設けるなどの対策が取られているが、事故は減少していないため、より効果的な対策が求められている。

2. 研究の目的

本研究では、(1)自転車と自動車の出会い頭事故の危険要因を改めて把握し、安心・安全なモビリティ環境を提供するために、(2)事故を引き起こす危険性の高い自転車を逐次検出し、その存在を的確に自動車に知らせる、安価で汎用性が高く設置の容易なシステム（ペリラスバイク・ディテクター-perilous bike detector：事故の危険性のある自転車を検知する装置）を新たに開発することで、自転車に関わる交通の安全性を高めることを目的とする。自動車のドライバーの視認行動を補助するディテクターを開発するにあたりその諸元の提案を行なうこと、および、この種の出会い頭事故の発生要因を解明すべく、仮想空間内でこの状況を再現し、ドライビングシミュレータにより事故を再現できるシステムを構築することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 現況分析

細街路と幹線道路が接続する交差点で、かつ自転車事故率が高い場所を歩道通行する自転車の速度・自動車の速度・走行挙動を、2箇所で見学した。(①新橋4丁目一芝郵便局前交差点；2010年11月2日午後5時20分～6時20分までの1時間、②東京都品川区の東急大井町駅前通り（都道420号鮫洲・大山線）；2010年11月5日午前7時40分～9時10分までの1時間30分。)

自動車については、横断歩道までの距離を進



図1 観測地点（左；新橋，右；大井町）

む時間をストップウォッチで測定し平均速度を算出、自転車については、横断歩道を通過する時間をストップウォッチで測定し平均速度を算出した。

(2) 自転車を検知するディテクターの検討

本研究では自転車の検知にコイルセンサーを用いることを考えた。これは、タグなどの装着が不要ですべての自転車が検知できること、画像処理等の高額な機器が不要なことから、数多くある対象交差点に安価に設置できる可能性が比較的高いためである。自転車には多くの金属が使われているが、自転車チェーンは一般的に鉄成分を多く含むジンクアロイでつくられている事から、本研究では、検知する部位として自転車チェーンを想定することとした。さらに、自転車リムは比透磁率の低いスチールや金属ではないCFRP（炭素繊維強化プラスチック）といった素材でつくられることがあるものの、自転車の中で最も地表面に近い金属であるので、併せて検知する部位として想定することとした。

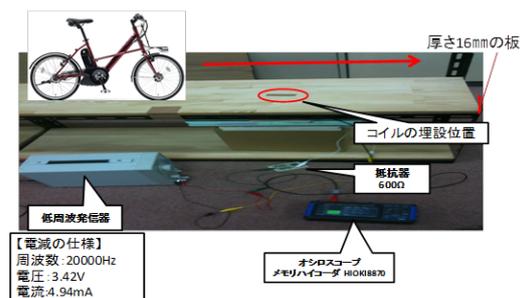


図2 ディテクターの性能実験

実験様式は図2に示すとおり、厚さ16mmの板の下にコイルを設置し、その上で自転車を通過させて、その検知が可能なかを測定した。また、速度の高い自転車の検知の可能性を検討すべく、検知能力の高いコイルセンサーの諸元を検討した。

(3) 出会い頭事故を再現できる仮想空間の設計

道路構造令に適した道路空間設計と共に自転車の発生タイミングを考慮することで、HMDの視野角限界である114°でも実験が行

えるように、つまり実際の視野よりも狭い範囲しか視認できなくとも適切な実験評価を行えるように、実験条件を検討する必要がある。

(4) ドライビングシミュレータによる出会い頭事故発生要因の検証可能性

DS 実験で被験者に運転させるコースは図 4 のように設計した。道路は一般的な、細街路側から幹線道路側の見通しが悪い交差点となっている。DS でこの種の事故の再現、検証が可能か、被験者に実験条件に合わせた交差点を左折させる実験を行った。被験者は学生 8 名である (平均年齢 22.9 歳、男 8 名)。

実験手順としてはまず、チュートリアル走行を行なった (標準的な道路を走行させ、運転感覚、走行環境に慣れさせた。特に速度感、被験者に出している速度を伝え、低速度帯の感覚をつけさせた。またブレーキ、アクセル操作についても念入りに練習を行った)。その後、通常走行実験 (細街路や幹線道路側の道路や交通条件を変えた 4 種の交差点で左折運転) を行い、被験者の走行挙動及び視線移動にどのような傾向があるかを観測した。道路の種類は i) 幹線道路側の植樹帯の有無、ii) 停止線手前での路面標示の有無、iii) 幹線道路側の歩道幅員の広狭、iv) 細街路で自動車前方の自動車の有無である。被験者により、各種交差点の走行順序をランダムにして行った。そして最後の試行時に自転車を発生させ、その運転挙動や視認行動を観測した。このとき、幹線道路側を通過する自転車の走行位置や走行方向を変えることで、被験者の走行挙動及び視線移動に及ぼす影響を観測した。ただし、危険認知をした被験者はそれ以降の運転挙動に必要な以上に慎重になる可能性が高いと予想されるため、被験者 1 人に対して原則 1 回しか行わないものとした。



図 3 DS の外観と走行画面

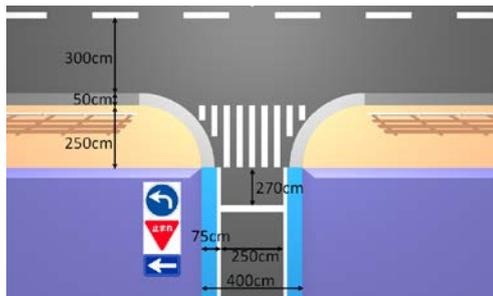


図 4 DS 実験に用いた交差点の標準幅員

表 1 DS 走行実験で用いた交差点形状

パターン	植樹帯有無(高さ)	路面標示	歩道幅員	細街路先行車	歩道交通量	自転車発生
A (標準)	×(0.5)	×	狭(2.0)	×	少なめ	×
B	○(1.5)	×	狭(2.0)	×	少なめ	×
C	×(0.5)	○	狭(2.0)	×	少なめ	×
D	○(1.5)	×	広(3.5)	×	少なめ	×
E	×(0.5)	×	狭(2.0)	○	少なめ	×
F	×(0.5)	×	狭(2.0)	×	多め	×
H	○(1.5)	×	広(3.5)	×	少なめ	左側から
I	○(1.5)	×	広(3.5)	×	少なめ	右側から

4. 研究成果

(1) 対象交差点での自転車・自動車の挙動

細街路と幹線道路が接続する交差点での自転車および自動車の速度は表 2 のとおりである。本調査により、走行挙動の特徴も合わせて観測したところ、停止線付近で停止する自動車はごく僅かである (停止線付近で停止せず、徐行で通過する) こと、横断歩道で細街路側を通る自動車を意識する自転車はごく僅かである (横断歩道でも、速度は変えずに進入する) ことが確認された。また、これより、仮想空間内での交通状況を再現する際の速度範囲を、自動車約 5~11km/h、自転車約 10~16km/h とした。

表 2 観測地点の自転車・自動車の平均速度

	観測地①		観測地②	
	自動車	自転車	自動車	自転車
個数	36	53	102	
平均時間(s)	1.14	1.12	1.96	
平均速度(km/h)	7.18	7.73	12.4	
速度範囲(km/h)	5.24	5.90	10.1	
	11.4	11.2	16.1	

(2) 自転車を検知するディテクターの諸元

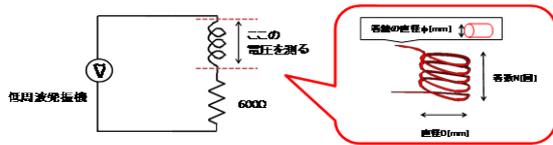
周波数 20000Hz、電源電圧 3.42V、電流が 4.94mA の検知コイルを用いて実験をしたところ、0.2mV から 0.3mV 程度の非常に小さいが、電圧の降下という変化を読み取ることが出来た。また、自転車チェーンのような比透磁率が高い金属を同じ実験様式のコイルの上部で通過させると、電圧が上昇する変化が見られることから、この変化は比透磁率が低い金属が反応したと考えられる。コイルを直に自転車リムに近づけたところ同じような反応を示し、また、コイルの検知域が上部 40mm 程度であることから自転車リムが反応したと考えられる。図 5 は比透磁率の低い、おもちゃのミニカーを同じ実験様式で、コイル上部で手を使って、速く動かした時と、遅く動かした時の反応である。速度の緩急にかかわらず計測が可能であり、また、比透磁率の低い金属の検知も可能であることがわかる。以上の結果より、ループコイルセンサーは自転車を実際に走らせた際にも、速度のある自転車の検知が可能であることが確認出

来た。

また、表3に示すように、円形コイルと四角形コイルの径を変え自転車を検知する感度の比較検討を行った。その結果、円形コイルより四角形コイルの方が同じような形状でも感度がよく、またそのインダクタンスは70[mH]×150[mm]、300[μH]程度のコイルの反応が良いことがわかった。

表3 自転車を検知するコイルの仕様

コイル(エナメル線)					
巻線の直径φ[mm]	直径D[mm]	巻数N[回]	インダクタンス[μH]	インピーダンス[Ω]	コイルの内部抵抗[Ω]
0.2	60	30	108.36	0.034	3.7



自転車の通過を確認(電圧が通過と同時に効果)

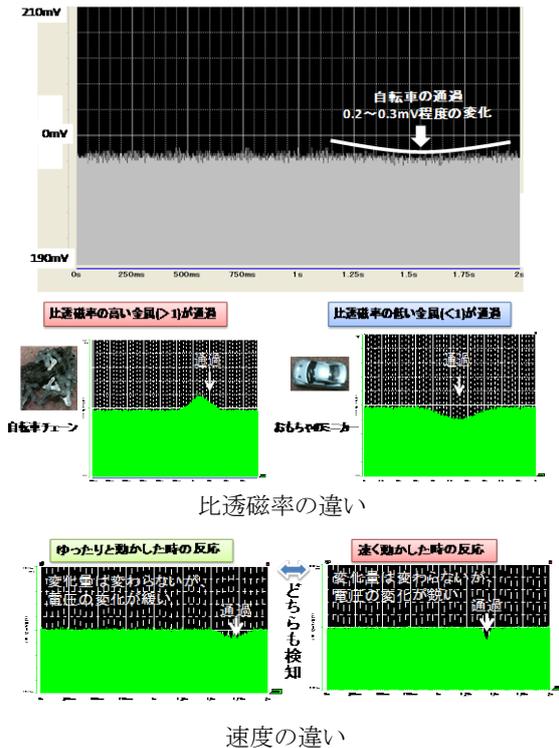


図5 金属が通過した時の電圧値の変化

(3) 出会い頭事故を再現できる仮想空間の設計

視野特性の中でも、動く物体の検出能力を評価する新しい視野機能として動体視野が提案されており、この時の動体は「40km/hで走行する被験者から見て40m先の身長1.6mの歩行者が4km/hで一步踏み出す移動」に相当する。これより、対象交差点で運

表4 ディテクター用コイルの形状の検討

No.	コイル(エナメル線)				周波数 [Hz]	電圧 [V]	平均電流 [mA]	電圧の変化 [mV]	感度	自転車の検知	備考
	巻線の直径φ [mm]	直径 D [mm]	巻数 N [回]	インダクタンス [μH]							
1	0.2	60	30	108.36	20000	3.42	4.90	0	×	×	
2	0.2	64	340	4821.25	10000	1.957	4.41	1800.0	○	×	40mm上部分のテーパーを削除
3	0.2	125	23	8018.95	8000	8.01	13.54	200.0	○	×	
4	0.2	70	12	26.74	20000	3.42	4.90	40	×	×	インダクタンスを小さくした 1000~10000までほぼ同じような電圧の
5	1.0	55	55	100	20000	3.42	4.90	×	×	×	コイルを大きくし、
6	1.0	55	55	100	12500	3.95	10.04	×	×	×	10mVの基準値で測れる最大の電圧数
7	1.0	55	55	100	21000	2.145	1.20	30	×	×	20mVの基準値で測れる最大の電圧数
8	1.0	55	55	100	21000	3.18	4.23	0.5	×	×	電圧の変化が最大でない
9	0.2	60	60	340.91	20000	3.42	4.90	0	×	×	インダクタンスを増加
10	0.2	60	60	340.91	1950	10.40	17.77	0	×	×	10mVの基準値で測れる最大の電圧数
11	0.2	60	60	340.91	920	9.58	14.52	0	×	×	20mVの基準値で測れる最大の電圧数
12	0.2	60	60	340.91	80000	1.699	0.54	10.0	×	×	電圧の変化が最大でない
13	0.2	60	25	79.25	20000	3.42	4.90	×	×	×	
14	0.2	60	25	79.25	11750	3.99	11.35	×	×	×	10mVの基準値で測れる最大の電圧数
15	0.2	60	25	79.25	28500	2.228	1.42	×	×	×	20mVの基準値で測れる最大の電圧数
16	0.2	60	25	79.25	30000	1.699	0.54	40	×	×	電圧の変化が最大でない
17	0.2	80	80	21	108.89	20000	3.42	4.90	0	○	40mm上部分のテーパーを削除し、40mmに くみ込みにする感度を良く
18	0.2	80	80	21	108.89	14700	1.121	8.8	○	○	10mVの基準値で測れる最大の電圧数
19	0.2	80	80	21	108.89	3500	5.04	0.16	○	○	20mVの基準値で測れる最大の電圧数
20	0.2	80	80	21	108.89	40000	0.54	1.699	○	○	電圧の変化が最大でない
21	0.2	88	130	17	107.11	20000	3.42	4.90	×	×	
22	0.2	88	130	17	107.11	12800	3.85	9.97	×	×	10mVの基準値で測れる最大の電圧数
23	0.2	88	130	17	107.11	30900	1.815	0.36	×	×	20mVの基準値で測れる最大の電圧数
24	0.2	88	130	17	107.11	40000	0.54	1.699	×	×	電圧の変化が最大でない
25	0.2	104	142	16	113.74	20000	3.42	4.90	×	×	
26	0.2	104	142	16	113.74	11250	3.50	11.03	×	×	10mVの基準値で測れる最大の電圧数
27	0.2	104	142	16	113.74	27800	2.039	0.98	×	×	20mVの基準値で測れる最大の電圧数
28	0.2	104	142	16	113.74	40000	0.54	1.699	×	×	電圧の変化が最大でない
29	0.2	90	150	16	111.56	20000	3.42	4.90	×	×	
30	0.2	90	150	16	111.56	18500	3.469	3.23	×	×	10mVの基準値で測れる最大の電圧数
31	0.2	90	150	16	111.56	31000	0.989	0.02	×	×	20mVの基準値で測れる最大の電圧数
32	0.2	90	150	16	111.56	40000	0.54	1.699	×	×	電圧の変化が最大でない
33	0.2	70	150	50	312.87	20000	3.42	4.90	○	○	
34	0.2	70	150	50	312.87	-	-	-	-	-	10mVの基準値で測れる最大の電圧数
35	0.2	70	150	50	312.87	2550	10.14	16.90	×	×	20mVの基準値で測れる最大の電圧数
36	0.2	70	150	50	312.87	40000	0.54	1.699	10.0	○	電圧の変化が最大でない
37	0.2	100	100	155	442.98	20000	3.42	4.90	○	○	
38	0.2	100	100	155	442.98	-	-	-	-	-	20mVの基準値で測れる最大の電圧数
39	0.2	100	100	155	442.98	17200	4.02	8.80	○	○	50mVの基準値で測れる最大の電圧数
40	0.2	100	100	155	442.98	15000	4.44	9.36	200.0	○	電圧の変化が最大でない

転するに当たり、動体視野に影響を与える可能性があるものとして以下の条件が挙げられる。

- ・ 自動車側の速度 (自速度)
- ・ 自転車側の速度
- ・ 視点での注視度の大小

そこでまず、この3つの条件が動体視野特性にどのような影響を与えるかについて実験を行った(図6)。その結果、①自転車速度・自動車速度・注視度は、必ずしも視野角と負の相関があるとは限らない、②条件を与えることによる影響は個人差がある、③動体視野角はどのケースでも片側70°程度である、の3つの傾向が得られた。被験者ごとに事故を起こしやすい自転車の速度、被験者の速度が異なる可能性が示された。つまり、本実験での評価に用いる動体視野角は被験者ごとに計測する必要があり、被験者の動体視野角を計測し視認行動分析に反映させることで、HMDで提供できる視野角(片側57°)が動体

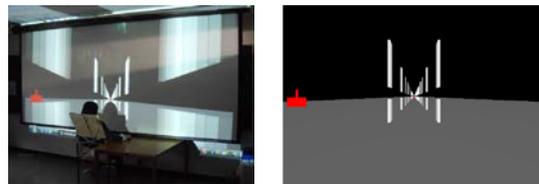
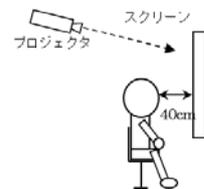


図6 動体視野実験の実験概要と画面

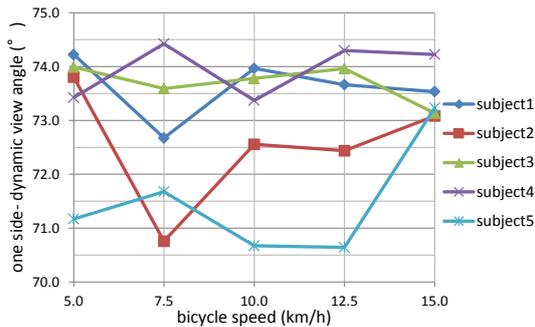


図7 自転車速度の違いによる動体視野角

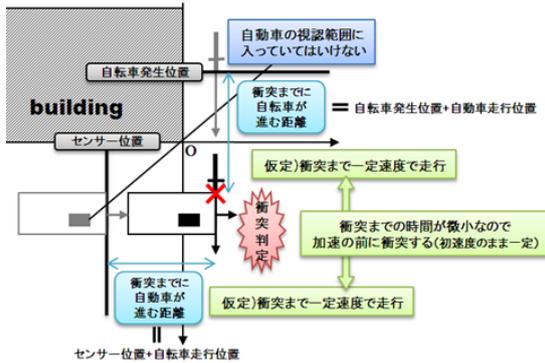


図8 出会い頭事故の設計

視野角より狭い点をカバーできると考える。さらに、交差点での自転車発生タイミングを(1)の現地調査での結果もふまえて検討し、自転車発生タイミングは、以下に示すような条件の下で決定した。

- ①自転車は被験者の走行挙動に影響を受けることから、被験者の走行挙動に一番差が出やすい停止線より前方に自転車発生のためのトリガーを設置することで、自転車の発生タイミングを操作する。
 - ②自転車が被験者の視界に突然出てくるようなことがないように配慮する。この際、自転車発生時に幹線道路側のどこを見ているも自転車が発見できるよう設定できれば、HMDの視野限界をカバーすることが可能である。
- 検討を行った結果、被験者が交差点手前2.60mに到達した瞬間に、建物から1.0m離れた歩道を約9km/hで通行する自転車をドライバーの視界の境界部分から発生させれば、視野限界の影響もなく、交錯発生の確率も高くできることがわかった。

(4) ドライビングシミュレータによる出会い頭事故発生要因の検証可能性

各パターンを走行している際の頭の動きと眼の動きを総合し、細街路に対してどの方向を見ているか、自動車の先端が停止線を通過してから、標準の幅員構成で合流車線に到達する約270mの間での視認行動の例を示したものが図9(2被験者分)である。道路構造によらず、交差点進入時(自動車の先

表5 DS実験での平均走行速度と標準偏差

	交差点後	停止線後	停止線前
A	1.78	3.95	7.90
	(0.703)	(1.17)	(5.60)
B	2.65	4.96	6.15
	(0.959)	(2.86)	(4.39)
C	2.14	4.27	4.49
	(1.04)	(2.04)	(1.29)
D	4.29	5.58	9.00
	(3.26)	(4.53)	(6.04)
E	2.42	4.68	5.77
	(1.01)	(3.55)	(3.44)
F	1.52	1.95	3.91
	(0.864)	(0.755)	(0.857)

(単位; km/h)

端が交差点に進入する時)には右側を見ているドライバーが多いことが確認された。また、歩行者交通量の多い交差点では、停止線付近から減速し、交差点進入時も左右の確認を念入りに行なうことが確認されたが、視認行動については道路構造より個人差が支配的であることがわかった。さらに、サンプル数は少ないが、視認行動のパターンを分類すると、

- i) 右側のみ; 2名,
- ii) 右・左・右; 3名,
- iii) 左・右; 2名,
- iv) 右・左; 1名,

の4通りに大別することができた。歩行者交通量の多いパターンFについては、進入するタイミングをうかがって左右を交互に見る回数が他のパターンより多かったが、それでも交差点進入時の視認方向などの大まかな特徴は他のパターンと同様であり、視認行動の個人差の大きさが現れる結果となった。また、ii)やiv)の被験者については、左を見るタイミングが交差点に進入した後であり、左側から進入してくる自転車との衝突を回避できるような視認行動とは言い難いこともわかった。

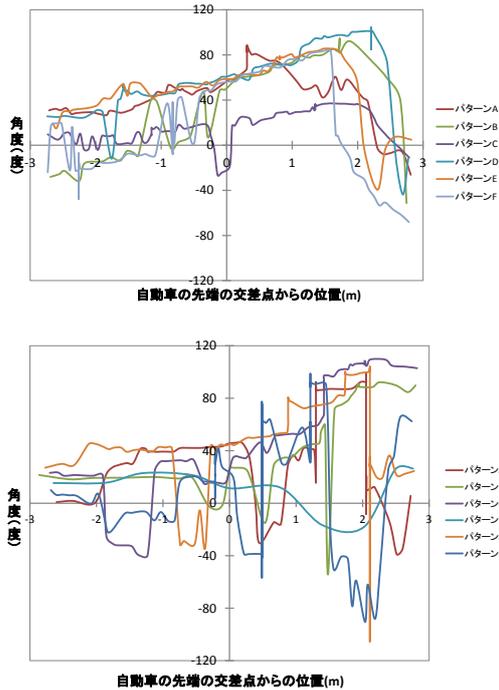
また、速度特性についても、

- ・歩行者交通量が多い場合、交差点に近づかなくともその状況が認識でき、スムーズに左折するのが難しいことが明らかであるため、早い段階で速度を落とす傾向がみられた。
- ・植樹帯があり合流車線の様子が見づらい場合、タイミングが合ったところで急いで合流してしまおうという行動に出る傾向が表れた。
- ・左折車に追従している場合、その先行車についていくため交差点進入後の速度が比較的早いことがわかった。

・パターンCのように「止まれ」の路面標示があってもあまり意識されていないことが窺える結果となった。交差点の幅員等が異なることもあって交差点付近での速度の数値自体は実測調査より低い値を取っているが、特性としては、現況調査で見られたものと一致しているといえる。つまり、練習によりアクセル・ブレーキ操作を慣れさせることにより、実走で見られるような(あるいは想像さ

れるような) 走行挙動を観測できる可能性が示された。

最後に、各パターン4名ずつで実施した事故想定走行実験の結果、自転車がドライバーから見て左側から進入するパターンHでは4名中3名、右側から進入するパターンIでは4名中1名が自転車との衝突を起こした。パターンIで衝突したのは、ドライバーの交差点進入速度が高く、自転車に気づいてからブレーキを踏んでも間に合わなかったケースであった。非常にサンプル数の少ない試行ではあるが、図10に示すように、右側を注視



※縦軸は正を右向き、負を左向きとしている。
 ※横軸の位置は、停止線位置が-2.7、建物と歩道の境界を0としている。

図9 交差点左折時の視認行動特性の例
 (上; 右側のみを見るタイプの被験者,
 下; 交差点進入後に左を見るタイプの被験者)

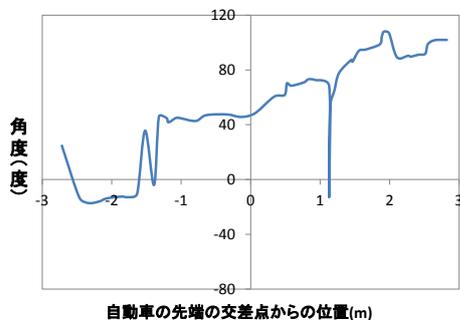


図10 左側から進入する自転車と
 錯綜を起こした
 被験者の視認行動 (各軸は図9と同様)

するあまり左側から進入する自転車を見落とし、衝突に至る(自転車の先端の交差点からの位置が約1.1mのところ)過程を、VR空間での実験で再現することができた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

鈴木美緒, 屋井鉄雄: 欧州の大都市における自転車走行空間の設計基準とその運用に関する研究, 土木計画学研究・論文集, Vol. 27, pp. 811-822, 2010.

[学会発表] (計2件)

渡邊竜太, 鈴木美緒, 屋井鉄雄: 自動車ドライバーの視認行動に着目した自転車と自動車の出会い頭事故に関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol. 42, CD-ROM, 2010.

鈴木美緒, 屋井鉄雄: 自転車配慮型道路の幅員構成が自動車走行特性に及ぼす影響に関する研究, 土木計画学研究・論文集, No. 25, No. 2, pp. 479-486, 2008.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

屋井 鉄雄 (東京工業大学・大学院総合理工学研究科・教授)

研究者番号: 10182289

(2) 研究分担者

平田 輝満 ((財)運輸政策研究機構・運輸政策研究所・研究員)

研究者番号: 80450766

福田 大輔 (東京工業大学・理工学研究科・准教授)

研究者番号: 70334539

鈴木 美緒 (東京工業大学・大学院総合理工学研究科・助教)

研究者番号: 20573926

(3) 研究協力者

古倉 宗治 ((株)住信基礎研究所・研究理事)

高川 剛 (株式会社タイダルウェイブ・代表取締役)