

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 7 日現在

機関番号：16101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25289166

研究課題名(和文) 協調型ドライブシミュレータを用いた交差点における自転車安全施策の評価

研究課題名(英文) A study on safety evaluation of junction treatments considering bicycles running on the carriageway using driving and cycling simulator

研究代表者

山中 英生 (YAMANAKA, Hideo)

徳島大学・ソシオテクノサイエンス研究部・教授

研究者番号：20166755

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、自転車を考慮した交差点設計の安全性評価を目的としている。このため、自転車が車道部走行する交差点での挙動分析とともに、自動車と自転車が同一仮想空間を走行できる協調型ドライブシミュレータ(DS)を開発し、左折巻き込み対策として、レーンを連続させる分離方式、交差点手前で自転車と自動車を混在させる混在方式について、評価実験を行った。衝突前時間(TTC)、衝突発生率などの安全性の視点からは混在型が優れているが、運転者の不安感では混在型の評価は高くなく、普及にむけて、教育・周知が必要なが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study is to evaluate the safety of junction treatments considering bicycles running on the carriageway. Behavior of bicycles and vehicles at junctions were analyzed. A new type of driving simulator (DS) in which drivers and cyclists can move simultaneously in the virtual space was developed. By using this DS, experiments were carried out to evaluate the two types of junction treatments to avoid left-turn accidents, that is, separation of bicycle and vehicle and merging of vehicle into bicycle lane before the junction. According to the results of TTC (time to collision), crash incidence ratio and such safety indices, merging system is better than separation system. On the other hand, merging system is not so better from the viewpoint of the safety feeling of cyclists and drivers. It means the necessity of campaign and education to introduce the merging system as junction treatments considering bicycles.

研究分野：都市交通計画

キーワード：自転車 交差点 ドライビングシミュレータ 自転車専用通行帯 矢羽根マーク

1. 研究開始当初の背景

自転車の事故は約70%が交差点で発生しており、交差点での安全性確保が重要な要素となる。既往研究では、歩道走行の自転車が車から認知されにくいこと、自動車とは異なる方向から走行している自転車の事故確率が高いことなどが指摘され、歩道上で自転車を双方通行させていることが我が国の安全上の課題と認識されている。平成24年4月に国土交通省と警察庁は「安全で快適な自転車利用環境の創出に向けた提言」において、自転車の車道通行を基本とする方針を示し、自転車が車道から進入する交差点での左折巻き込み防止のレイアウトを提示している。そして、提言に沿ったレイアウトの交差点が実験的に整備されつつある。しかし、車道部で交差点に進入する自転車の処理については、我が国では基準や検討事例も見られず、実証分析に基づく研究もほとんど見られない。このため、研究代表者らは平成23年7月より、(財)交通工学研究会の自主研究会を組織し、研究者・実務・行政・警察からの専門家の参加を得て、自転車を考慮した交差点の設計案を提案することを計画した。その中で本研究では信号交差点での左折巻き込み事故防止のための安全施策のあり方に着目することとした。

2. 研究の目的

本研究はドライビングシミュレータ(以下DS)による交差点設計の安全性評価の新たな方法を開発すると共に、車道を走行する自転車を考慮した交差点安全施策の適用性に関する知見を得ることを目的としている。具体的には、以下の3点を目標とした。

- (1) 自転車が車道走行する交差点での自転車・自動車の挙動特性を明らかにする。
- (2) 自動車と自転車の2者が同時に同一仮想空間を走行できる協調型DSを開発し、実空間で実験できない多様な条件での交差点進入時の干渉型走行実験を可能とする。
- (3) 交差点での自転車安全施策について、上記の協調型DSを用いて評価実験を行い施策の適用性・得失を明らかにする。これによって、車道から交差点に進入する自転車に対する種々の施策について、安全性の視点からの知見を得る。

3. 研究の方法

以下の手順で研究を進めた。

- (1) 自転車の交差点への車道進入が見られる交差点で、従来型とガイドラインに沿った整備を行った交差点でプローブバイシクルによる観測を行い、自転車と自動車の錯綜状況を計測し、交差点部での自転車、自動車の基礎的特性を分析するとともに、交差点交通流の安全性を評価する方法を確認した。
- (2) 自転車DSと自動車用DSを組み合わせて、自動車と自転車の2者が同時に同一仮想空間を走行できる協調型DSを開発した。

(3) 上記の協調型DSを用いて交通流条件を設定し、自転車専用通行帯、法定外表示などの左折巻き込み防止のための交差点安全施策について評価実験を行い、施策の得失を明らかにした。

(4) 交差点における自転車交通安全施策についての評価をとりまとめた。

4. 研究成果

(1) 交差点での錯綜現象の観測結果

ガイドラインに沿った整備の交差点(東京2箇所、大阪1箇所)(写真1)と、従来型交差点4箇所を対象として、追い抜かれ時の車両速度、離隔幅が計測できるプローブバイシクルを用いて、錯綜時特性と安全感を計測した。安全感の指標としては安全(1)の危険(7)の7件法による安全感ランクを追い抜かれ毎に計測した。550回の錯綜状況の計測を得た。



写真1 計測対象交差点例 大阪市本町, 東京都札幌の辻

- この結果、以下の現象が明らかになった。
- ・矢羽根マーク等の路面表示によって、左折待機車が自転車の直線ルートを認識しやすくなり、流入部での走行位置が一定する。
 - ・車両が矢羽根マーク部分を走行せざるを得ない場合でむしろ、自転車と自動車のマージが生じて、巻き込み事故減少が期待できる。
 - ・ただし、幅員に余裕があり自転車専用通行帯があると左折車両の減速がおきにくく、自転車と自動車のマージが生じにくくなる。
 - ・幅員の余裕のない交差点では、自転車の車道走行のため、交差点内で車線変更する車両が増加するなど、自動車間の錯綜が増加する。
 - ・矢羽根マークがあると、自動車から自転車走行位置が予想されやすいため、追い抜き時の離隔幅が小さくなる傾向が生じ、自転車利用者の危険感が増す傾向が見られる。

これらの現象を評価視点として確認した。

(2) 協調型DSの開発

協調型DSは、自転車と自動車の運転者が同一空間上で同時に走行が可能なもので、交差点等における自転車と自動車との錯綜条件下での、自転車・自動車運転者の挙動分析を行うことを目的としている。Forum8社製のUC-WIN-ROAD Ver.9を改良したソフトで、自転車と自動車の2者が同時に操作できるマルチユーザー・クラスターモードを用いている。自転車は幅2.0m高さ2.4mのパネルを正面から右回りに後ろ正面まで計4枚配置し、4台のプロジェクター(解像度1600×1200ピ

クセル)で投影して左右240度、上下45度の視野像を出力する。後輪回転・ハンドル操作に連動して映像が再現される。自動車は実物の軽自動車に60インチ(正面)、52インチ(側面)、50インチ(後面)の5台の液晶ディスプレイ(1920×1200ピクセル)で窓越の視野像を出力しており、ハンドル・ブレーキ・アクセル・ウィンカーが映像と連動している。(図1)

DS環境での、自速度、前方車両との距離、側方車両との距離について、体感値と実値の差異を分析した結果、自速度は実値よりも体感は遅く、前方距離は短く感じ傾向が見られたが、結果として時間感覚は正しく認識されている傾向が見られた。また、側方距離については実値と差異が少ないことが明らかになっている。



図1 協調型DSの構成概要

(3) 左折巻き込み安全施策の評価

本研究では自転車安全施策として既存研究の成果を考慮して分離方式と混在方式(図2)を対象とした。分離方式は自転車と自動車の走行空間を交差点進入部まで分離する方式である。混在方式とは、交差点手前で、左折する自動車を自転車レーン上に寄せることで、自転車と左折自動車を直列に並ばせ混在して交差点に進入する方式である。

DS実験では、自転車が被験者の場合は、交差点を直進し、自動車は交差点左折するため自転車を追越する。追い越し位置を変えた3ケースを行った。自動車が被験者の場合は、自転車5台が同速度で間隔を変えて走行する間を左折させた。このときの自転車速度を2種類設定した。被験者は若年者15名、高齢者10名の計25名である。

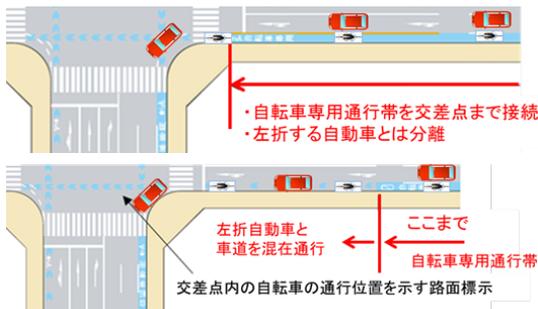


図2 自転車安全対策 上：分離，下：混在方式

TTC(自転車と自動車が速度を維持した場合に衝突するまでの余裕時間)を計測して、各実験での最小TTCを比較した(図3)。図中の線はカイ二乗検定で5%有意の関係を示している。有意差の見られた比率に着目すると、自転車被験者では、安全感が高くなるTTCが3秒以上の割合では、若年者・高齢者ともに分離方式で高くなる傾向が見られるが、極めて危険なTTCが1秒以下の発生割合では、高齢者の分離方式での割合が有意に高くなっている。自動車被験者でも3秒以上の割合は若年者で分離方式が混在方式より安全になる。ただし、1秒以下の割合は混在方式の方が高くなっている。

図4に自転車被験者実験で、自動車の追い越し場所別にTTC1秒以下、2秒以下の割合を比較している。図中の線はカイ二乗検定で5%有意差がある関係を示す。若年者・高齢者とも前余裕、直前、直後の順に危険性が高まる。ただし、高齢者の混在方式の直前左折では、高齢者が自動車に道を譲る挙動が見られむしろ危険性が低くなっている。

図5は自動車被験者実験の自転車速度別の結果である。TTC1秒以下、2秒以下とともに、自転車速度18km/hの時よりも12km/hの時に高くなる傾向が見られる。特に分離方式の場合に若年者、高齢者ともに2秒以下の率が自転車速度12km/hで有意に高くなる。これは、速度の違い自転車を待ちきれずに、無理な割り込みが生じることが原因となっている。

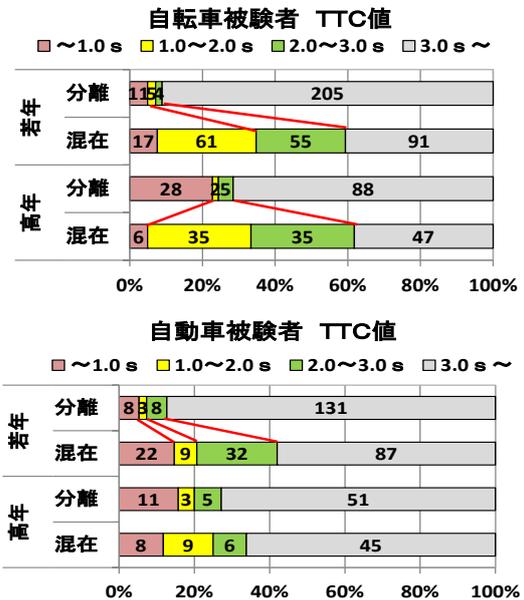


図3 TTC値による安全性の比較

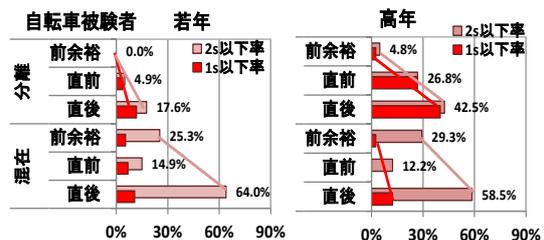


図4 追い越し位置によるTTC値の比較(自転車被験者)

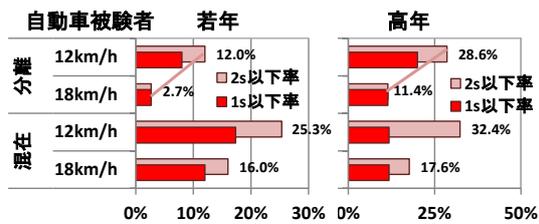


図5 自転車速度別 TTC 値の比較 (自動車被験者)

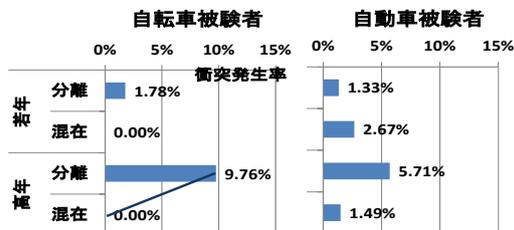


図6 衝突発生率の比較

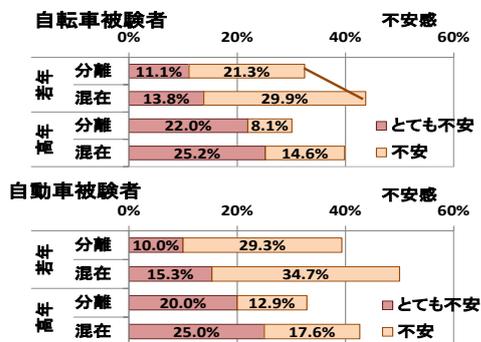


図7 利用者の不安感の比較

DS 実験では実際に 5%程度の衝突が発生した。衝突発生率を比較した図6では、自転車被験者では分離方式のみ発生し、特に高齢者が有意に高い。自動車被験者では、混在、分離ともに見られるが、やはり高齢者の分離方式で高くなっている。

一方、事故を起こしそうな不安感(図7)では、若年者・高齢者、自転車・自動車、いずれも混在方式が分離方式より不安感が高くなっている。以上のように、極めて危険な TTC1 秒以下の発生率や衝突発生率から見ると、混在方式が分離方式よりも安全性の面で優れていると言える。しかし、利用者の不安感に面では課題を有することが明らかになった。今後は横断自転車・歩行者の存在の影響など、詳細な分析を継続する予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 16 件)

- ① 山中英生: 中速アクティブ・モビリティ・自転車の未来, 交通工学, Vol. 51, pp. 58-59, 2016 年, 査読無, <http://www.jste.or.jp/Books/kikan-cont5101.html>

- ② 吉田長裕: 自転車通行空間に関わる表示技術—視覚的な観点から—, 国際交通安全学会誌 IATSS Review, Vol. 40, No. 3, pp. 179~184, 2016 年, 査読有, <http://www.iatss.or.jp/common/pdf/publication/iatss-review/40-3-03.pdf>
- ③ 山中英生, 亀井穰史: プローブバイシクルを用いた車道走行自転車の安全感評価モデルの開発, 土木学会論文集 D3 (土木計画学) Vol. 71, NO. 5, pp. I_623~I_628, 2015 年, 査読有, DOI:10.2208/jscejipm.71.I_623
- ④ 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, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 71, NO. 5, pp. I_737~I_742, 2015 年, 査読有, DOI:10.2208/jscejipm.71.I_737
- ⑤ 矢澤拓也, 金利昭: 自転車レーンの昼夜間における利用実態—国道 463 号「埼玉大通り」をケーススタディとして, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 71, NO. 5, pp. I_755~I_764, 2015 年, 査読有, DOI:10.2208/jscejipm.71.I_755
- ⑥ 王如剛, 山中英生, 三谷哲雄: ドライビングシミュレータによる幹線小交差点での見通しと自転車走行位置の安全性評価, 土木学会論文集 D3(土木計画学), 951-959, Vol. 70, No. 5, 2014 年, 査読有, DOI:10.2208/jscejipm.70.I_951
- ⑦ 三谷哲雄: 細街路交差点での自転車通行の実態と安全性向上のヒント, 交通安全教育, pp. 6-19, No. 584, 2014 年, 査読無
- ⑧ 竹中祥人, 吉田長裕: 幹線道路沿い無信号交差点における見通しと運転挙動を考慮した自転車事故要因に関する分析, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 70, No. 5, pp. I_1167-1172, 2014 年, 査読有, DOI: 10.2208/jscejipm.70.I_1167
- ⑨ 岡田卓也, 吉田長裕: 道路交通条件と個人の知識・経験を考慮した自転車利用者の歩道選択要因に関する分析, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 70, No. 5 pp. I_655-661, 2014 年, 査読有, DOI: 10.2208/jscejipm.70.I_655
- ⑩ 松本隆太郎, 金利昭: 街路照明環境を再検討するための基礎的研究—照度と視認性の関係—, 照明学会誌, Vol. 98, No. 4, pp. 190-193, 2014 年, 査読有
- ⑪ Hideo YAMANAKA, Pan Xiaodong, Junko SANADA: Evaluation Models for Cyclists' Perception Using Probe Bicycle System, Journal of the Eastern Asia Society for

Transportation Studies, Vol. 10, pp. 1413-1425, 2013 年, 査読有, DOI:10.11175/easts.10.1413

- ⑫ Tetsuo MITANI, Hideo YAMANAKA : Field Experimental Analysis of the Behavior Improvement Effect Using Roadside Devices to Notify Approaching-Vehicle for Cyclists, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 10, pp. 2123-2132, 2013 年, 査読有, DOI:10.11175/easts.10.2123
- ⑬ Madhu Errampalli, Masashi Okushima, Takamasa Akiyama : Development of the Microscopic Traffic Simulation Model with the Fuzzy Logic technique, Simulation, Vol. 89, No. 1, pp. 87-101, 2013 年, 査読有, DOI: 10.1177/0037549712443716
- ⑭ 大川高典, 吉田長裕 : 自転車利用空間における利用者の視線・挙動特性に関する実験的研究, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 68, No. 5, pp. 571-578, 2013 年, 査読有, DOI: 10.2208/jsccejipm.69.1_571
- ⑮ 吉田長裕, 畑中克好 : イギリスにおける交通安全施策の推進～計画の義務付け, 推進体制と技術支援, 教育とトレーニング～, 道路, 689 巻, 58-62 頁, 2013 年, 査読無, http://www.road.or.jp/technique/pdf/road_201308.pdf
- ⑯ 奥嶋政嗣, 秋山孝正 : 社会的同調性を考慮したマルチエージェント交通シミュレーション, ファジィシステムシンポジウム講演論文集, Vol. 29, 2013 年, 査読無, http://www.jstage.jst.go.jp/article/fss/29/0/29_217/_pdf

〔学会発表〕(計 23 件)

- ① 永松啓伍, 溝口諒, 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, 2016 年 5 月 28 日～29 日, 北海道大学 (北海道・札幌市)
- ② 山中英生, 竹平誠治, 道工敏央, 池田典弘 : 自転車レーンにおける逆走警告の効果分析, 第 53 回土木計画学研究発表会, 2016 年 5 月 28 日～29 日, 北海道大学 (北海道・札幌市)
- ③ 小島拓郎, 山中英生, 三国成子, 森万由子 : 細街路における自転車指導帯ネットワークの整備効果—金沢市まちなか地区—, 第 53 回土木計画学研究発表会, 2016 年 5 月 28 日～29 日, 北海道大学 (北海道・札幌市)
- ④ 吉田長裕 : 国内外の事例から見た自転車によるまちづくりの可能性, 第 6 回全国コミュニティ

サイクル担当者会議 (招待講演), 2016 年 3 月 16 日, 都道府県会館 (東京都・千代田区)

- ⑤ 山中英生 : 自転車利用環境向上課題と展望, 自転車利用環境向上会議 in 京都 (招待講演) 2016 年 01 月 22 日～2016 年 01 月 23 日, キャンパスプラザ京都 (京都府・京都市)
- ⑥ 永松啓伍, 溝口諒, 山中英生 : 自転車・自動車ドライビングシミュレータの実環境再現性評価, 第 52 回土木計画学研究発表会, 2015 年 11 月 21 日～23 日, 秋田大学 (秋田県・秋田市)
- ⑦ 原澤拓也, 山中英生, 西本拓弥 : 車道部自転車通行空間の安全感評価モデルの開発, 第 52 回土木計画学研究発表会, 2015 年 11 月 21 日～23 日, 秋田大学 (秋田県・秋田市)
- ⑧ 吉田長裕 : 自転車利用者のための交通安全教育について, 大阪府平成 27 年度学校安全教室推進事業交通安全教室 (招待講演), 2015 年 11 月 6 日, クレオ大阪西 (大阪府・大阪市)
- ⑨ 山中英生, 吉田長裕 : 自転車通行を考慮した交差点設計の手引き 自転車対応交差点における法定外路面表示, 第 95 回交通工学講習会 (大阪) 自転車通行を考慮した交差点設計の考え方 (招待講演), 2015 年 10 月 14 日, 建設交流館グリーンホール (大阪府・大阪市)
- ⑩ Nagahiro YOSHIDA, Teruyoshi TAKAHASHI, Masayuki KINUTA, and Masaaki MATSUNO: The Effects of Shared Lane Pavement Markings: A New Trial of Osaka City, Asia-Pacific Cycle Congress 2015 (国際学会) 2015 年 9 月 13 日～16 日, Brisbane Convention & Exhibition Centre (Brisbane・Australia)
- ⑪ 山中英生 : 自転車通行を考慮した交差点設計の手引き, 第 94 回交通工学講習会 (東京) 自転車通行を考慮した交差点設計の考え方 (招待講演) 2015 年 7 月 8 日, 発明会館ホール (東京都・港区)
- ⑫ 門馬綾子, 金利昭 : 自転車—歩行者間の追い越し・追い越され事象における当事者意識 GAP と交通コミュニケーション方法に関する基礎的研究, 第 51 回土木計画学研究発表会, 2015 年 6 月 6 日～7 日, 九州大学 (福岡県・福岡市)
- ⑬ 金利昭, 渋谷大地 : 自転車利用者のストレス計測に関する研究, 第 51 回土木計画学研究発表会, 2015 年 6 月 6 日～7 日, 九州大学 (福岡県・福岡市)
- ⑭ Itaru FUJIE, Nagahiro YOSHIDA : Midosuji Cycle Picnic Event for Raising the Awareness of Positive Images of Cycling in Osaka, VELO-CITY 2015 Cycling Future Ma

- ker (国際学会), 2015年6月2日~5日, Le CITE(Nantes・France)
- ⑮ Hideo YAMANAKA, Takuya HARASAWA: Launching Bicycle Promotion in Japan, is a Key to Cycling From “Mama-chari” Culture?., VELO-CITY 2015 Cycling Future Maker (国際学会), 2015年6月2日~5日, Le CITE(Nantes・France)
- ⑯ 三谷哲雄, 山中英生: 細街路小交差点における自転車の通行挙動特性の把握, タカタ財団第5回助成研究報告会・公益財団法人タカタ財団, 2014年06月10日~2014年06月10日, 国際文化会館(東京都・港区)
- ⑰ 金利昭: 自転車レーンと自歩道の併用整備とその是非, 第49回土木計画学研究発表会, 2014年6月7日~8日, 東北工業大学(宮城県・仙台市)
- ⑱ 金利昭, 矢澤拓也: 車道型自転車通行空間における利用実態と意識の昼夜間比較分析—国道463号線「埼大通り」, 第49回土木計画学研究発表会, 2014年6月7日~8日, 東北工業大学(宮城県・仙台市)
- ⑲ 山中英生: 自転車の快適で安全な利用環境—ガイドライン発出と今後の展望—, 自転車利用環境向上会議2013 宮崎(招待講演), 2013年11月14日, 第一宮銀ホール(宮城県・宮崎市)
- ⑳ 渋谷大地, 金利昭: ストレス計測手法を用いた歩行者・自転車・自動車混在時の走行環境評価に関する研究, 第48回土木計画学研究発表会, 2013年11月2日~4日, 大阪市立大学(大阪府・大阪市)
- ㉑ 山中英生: 自転車利用環境創出ガイドラインについて, 自転車活用推進議員連盟自転車活用PT会合第3回(招待講演), 2013年10月7日, 参議院議員会館(東京都・千代田区)
- ㉒ 山中英生: 自転車を活用した交通戦略とまちづくり, 全国市町村国際文化研修会(招待講演), 2013年9月20日, 全国市町村国際文化研修所(滋賀県・大津市)
- ㉓ 王茹剛, 山中英生, 三谷哲雄: シュミレータによる幹線道路小交差点における自転車の挙動分析, 第47回土木計画学研究発表会, 2013年6月1日~2日, 広島工業大学(広島県・広島市)
- [図書] (計6件)
- ① 久保田尚, 山中英生, 吉田長裕(14番目), 全16名: 平面交差の計画と設計 自転車通行を考慮した交差点設計の手引, 交通工学研究会, 151(3-13, 35-36)頁, 2015年
- ② 原田昇, 羽藤英二, 山中英生(20番目), 全21名: 交通まちづくり, -地方都市からの挑戦-, 鹿島出版会, 189(70-71)頁, 2015年
- ③ Katsutoshi Ohta, Masahiro Sugiyama, Atsushi Matsubara, Nagahiro Yoshida(16番目), 全19名: TRANSPORT POLICY IN PERSPECTIVE 2015, Japan Research Center for Transport Policy, 84(33-34)頁, 2015年
- ④ 金利昭, 古明地哲夫, 吉田長裕: 新しい時代の道路空間の在り方に関する基礎的研究, 日本交通政策研究会, 日交研シリーズA-612, 37(1, 16-37)頁, 2014年
- ⑤ 井上圭介, 上坂克巳, 金利昭(10番目), 吉田長裕(28番目), 全28名: 自転車利用環境整備のためのキーポイント, 日本道路協会, 141(49, 89-90, 92, 95, 131, 40, 54, 90)頁, 2013年
- ⑥ 金利昭, 鹿島茂, 谷下雅義, 石田真二: 道路交通環境のストレス計測に関する研究, 公益社団法人日本交通政策研究会, 163(1-2, 3-16, 27-59, 83-104, 118-119, 136-137)頁, 2013年
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
山中英生 (YAMANAKA Hideo)
 徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・教授
 研究者番号: 20166755
- (2) 研究分担者
奥嶋政嗣 (OKUSHIMA Masashi)
 徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・准教授
 研究者番号: 20345797
- 金利昭 (KIN Toshiaki)
 茨城大学・工学部・教授
 研究者番号: 40205050
- 三谷哲雄 (MITANI Tetsuo)
 流通科学大学・経済学部・教授
 研究者番号: 80289115
- 吉田長裕 (YOSHIDA Nagahiro)
 大阪市立大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授
 研究者番号: 20326250
- 松本修一 (MATSUMOTO Shuuichi)
 文教大学・情報学部・准教授
 研究者番号: 60389210