

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 4 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2011～2013

課題番号：23246092

研究課題名(和文)動作反映没入型CS開発による自転車走行空間の安全性評価

研究課題名(英文)Development of Bicycling Simulator for Evaluation of Traffic Safety in Bicycle Facilities

研究代表者

屋井 鉄雄(Yai, Tetsuo)

東京工業大学・総合理工学研究科(研究院)・教授

研究者番号：10182289

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 27,600,000円、(間接経費) 8,280,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、わが国の自転車利用環境において欧米と同様の安全な環境を構築するため、仮想空間上で自転車走行の安全性検証を行える自転車シミュレータの開発を目的とし、自転車走行挙動の把握により、直進性、連続性を阻止する状況(右左折および停止・加減速)下で起こるふらつきや傾きを再現することの重要性を確認し、進行方向を加速度センサにより計測したハンドル角度から算出、前輪土台部のアクチュエータで段差や路面状況による振動を再現、後輪土台部のロードジェネレータで空走状態や抵抗を再現、仮想空間内でふらつきや傾きを感覚的に再現する、というコンセプトの自転車シミュレータを開発し、特徴的な特性の再現性を検証した。

研究成果の概要(英文)：To clarify the bicycling characteristics, at first, we conducted the video survey. Secondly, for developing the simulator with high-quality, we revealed that we need the data of pedalling, handling, braking and mobility the center of riders' gravity in going straight, turning left or right, starting, and stopping from single bicycle riding to model the relationship between them. We modelled the bicycles' and riders' behavior and developed the simulator following specification and advantages using the bicycles' and riders' behavior model, and validated the characteristics of leaning, braking and riders' position during cycling. The features are; 1) to be possible to visibly recognize the surround situation in the wide sight angles using the head-mounted display, 2) to be easily-interchangeable of bicycle on it and use the subjects' own bicycles in the experiments, and 3) to be a portable simulator and be not able to experiment only in Japan but also all over the world.

研究分野：土木工学

科研費の分科・細目：土木計画学・交通工学

キーワード：自転車交通 交通安全 自転車シミュレータ

### 1. 研究開始当初の背景

自転車は手軽で安価、短距離に向く有効な都市内交通手段である。近年、環境にやさしい交通手段として利用促進の気運も高まっている。わが国では長年、自転車の歩道走行が常態化してきたが、近年になって歩行者との衝突事故が急増したことで問題視されるようになり、2007年の道路交通法改正により、自転車の原則車道走行が確認されたほか、申請者が関わった国土交通省と警察庁の設置した「新たな自転車利用環境のあり方を考える懇談会」では、自転車道の整備の他に、自転車レーンなどを用いた車道上の走行空間整備の方向性が示された。これを受け、現場先行型で一部の整備が行なわれているが、わが国には自転車道を整備する空間的余裕は少なく、海外で主流の自転車レーンは危険との意見もいまだ根強い。歩道上で自転車と歩行者とを分離する方策が未だ主流となっている。欧州では「車道走行のほうが安全性は高い」と示されているが、わが国と欧州では空間も自転車利用実態も施策も異なるため、何の効果によるのか未だ明らかとはいえない。自転車は地球環境に良いとされるが、それには自動車交通からの転換を促進可能な連続した走行空間が必要で、それは徐行を原則とする歩道には整備できない。また自転車は健康に良いとされブームとも言えるが、歩道走行では短距離の運動に留まり、他方、車道走行を強いれば利用者に過度の精神的負荷をかけることも考えられ、走行空間の抜本的な見直しが必要である。

### 2. 研究の目的

前述したように、わが国に適した自転車走行空間の整備方法を提案することは急務であるが、従来の自転車交通の安全性に関する研究の多くは、特定区間のビデオ観測や交通量調査、アンケート調査等による分析であり、これらを社会実験等に合わせて行なうこともあるが、複数の主体が錯綜する危険な状況での実験や観測は困難であった。そこで本研究では、上記の自転車の有する危険要因を反映し、自転車の走行特性を再現できる「動作反映没入型サイクリングシミュレータ」を全く新しいコンセプトで開発し、これと既に関連した MOVIC-T4 とを組み合わせ、同一空間での複数の主体による錯綜現象を再現可能なシステムを整備し、効率的な実験環境の構築によって、安全性の高い自転車走行環境（走行空間、ルール、付加的な施策）を具体的に提案することを目的とする。

### 3. 研究の方法

#### (1) 自転車運転挙動や事故に関する現況分析

まず、自転車挙動に関する文献をレビューし、高い再現性を求められる自転車挙動特性の把握を行った。また、自転車常用時の事故

の特性把握および危険箇所での視認行動の把握を行った。東京都大田区蒲田署管内での自転車事故発生状況を調査し、自転車乗用中の事故発生要因の詳細を調査するとともに、アイマークレコーダを用いた走行実験により、自転車乗用中の事故が多い小規模無信号交差点での、自転車と自動車の視認行動（お互いの存在をどう認識するか）を調査した。

#### (2) 自転車シミュレータの構築

自転車の特徴的な走行挙動の再現性を高める走行挙動を表現できるシミュレータを開発するため、実走実験により自転車乗用時の傾き、ふらつき、ブレーキ挙動、空走挙動、視認行動を観測した。そして、既に関連したドライビングシミュレータ (MOVIC-T4) の計算システムを一部応用し、①被験者自身の自転車を含む多様な型の実物自転車で走行挙動データを収集でき、②HMDにより360度の視認が可能で仮想空間への没入感が高く、③自転車の傾き等の挙動を反映でき、④機構がコンパクトで持ち運びできる、という特徴を持ったサイクリングシミュレータを構築した。



図1 自転車シミュレータの概形

#### (3) 自転車シミュレータの自転車安全教育への適用可能性の検討

実在する自転車安全教育の実例から、体験型安全教育の有効性を整理し、CSを安全教育ツールとして活用するために、「シミュレータ上でいかに通常通りの挙動を行うか」に着目し、シナリオセッティング、および走行実験を行なった。対象として、東京都大田区での高齢者安全講習会への出展を行ない、高齢



図2 高齢者交通安全体験教室の様子

者の自転車シミュレータ走行を観測したほか、大学生を対象とした調査を実施した。

#### 4. 研究成果

本研究で得られた成果は以下の通りである。

★自転車選手挙動分権をレビューすることにより、自転車の直進性、連続性を強く志向する特性を明らかにし、それらを阻止する状況（右左折および停止・加減速）下で起こるふらつきや傾きを再現することの重要性を確認した。また、そのような挙動がおきやすい段差や路面状況の再現（自転車ライダーへのインプット）の必要性を確認した。

★東京都大田区蒲田署管内での自転車事故発生状況から、対自動車事故において、歩道通行による自動車からの視認性の悪さが要因となる事故割合が高いことから「歩道通行は必ずしも安全であるとはいえない」ことが確認された。また、歩道のない道路においては、一方通行を逆方向に進行する自転車の関わる事故が比較的多い傾向が見られ、これらが自転車乗用時の危険事象として検討されるべきことがわかった。また、細街路同士が交差する歩道を有さない無信号交差点での自転車と自動車のコミュニケーション挙動をビデオ観測により整理し、仮想空間上で再現すべきコミュニケーションパターンの検討を行った結果、自転車が必ずしも自動車ドライバー自身を確認しているわけではなく、自動車の車体の存在を確認するだけで横断行為を開始している場合があることが明らかとなった。

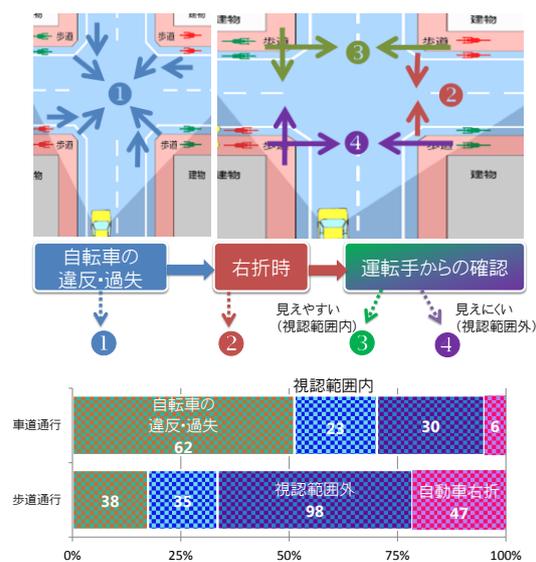


図3 交差点での対自動車事故における通行位置別事故発生傾向（単位：件）

★被験者自身の自転車が搭載できる機構の自転車シミュレータの構造にかかわるコンセプトを確定した。具体的には、①進行方向を加速度センサにより計測したハンドル角度から算出、②前輪土台部のアクチュエータで段差や路面状況による振動を再現、③後輪土台部のロードジェネレータで空走状態や抵抗を再現、④仮想空間内でふらつきや傾きを感覚的に再現する、といったことである。その後、これらの組立、実装がなされ、サイクリングシミュレータの基本形が完成した。

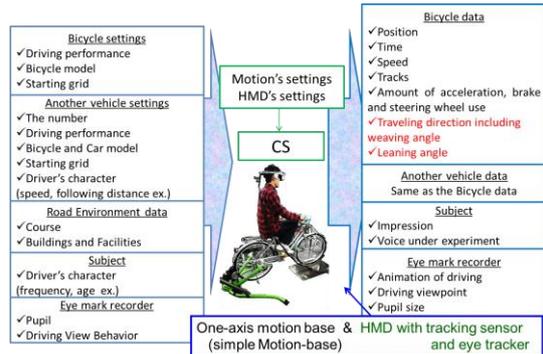


図4 自転車シミュレータのシステム構成

★自転車シミュレータの仮想空間内で再現するふらつきや傾きに関しては、まず車道走行する自転車の観測を行ない、そのふらつきや傾きが走行のリアリティや安全性に影響する要因であることを確認、次にふらつきや傾きにかかわるデータが速度、重心移動、ハンドルへかける力であることを文献調査により整理し、それらを自転車に搭載した速度計、ペダル踏力センサ、ハンドル負荷センサにより得るシステムを構築した。そして、中速直進時のふらつきデータを実走実験により取得した上で下記のようにモデル化 ( $R^2=0.722$ ) することで、サイクリングシミュレータに実装してその再現性を検証した。

$$\theta = \beta_1 + \beta_2 \omega \phi + \beta_3 \phi + \beta_4 P$$

$\theta$ ; Handling Angle [rad]

$\omega$ ; Spinning Speed of Wheels [rad/sec]

$\phi$ ; Leaning Angle [deg]

$\dot{\phi}$ ; Leaning Angle Rate [deg/sec]

P; Load on Right-Side Handle [g]

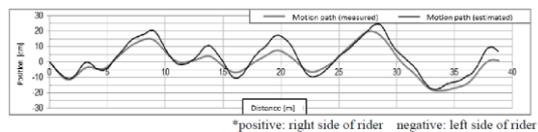


図5 ふらつきの再現性（実測値との比較）

★自転車のブレーキングに関して、実際の自転車走行時に、特に軽快車を利用している属性では前輪ブレーキを用いて停止する

挙動が行われていることを確認した後、後輪のみローラーに乗っており、荷重を後輪支持装置のみで受けている機構のサイクリングシミュレータにおいて、前輪ブレーキによる減速、あるいは体重等の影響を考慮した、ブレーキ時、空走時の減速を再現した。実走実験により、ブレーキおよび空走時の減速モデルを作成、これを後輪の回転数では反映できない減速特性としてシステムに組み込んだ。

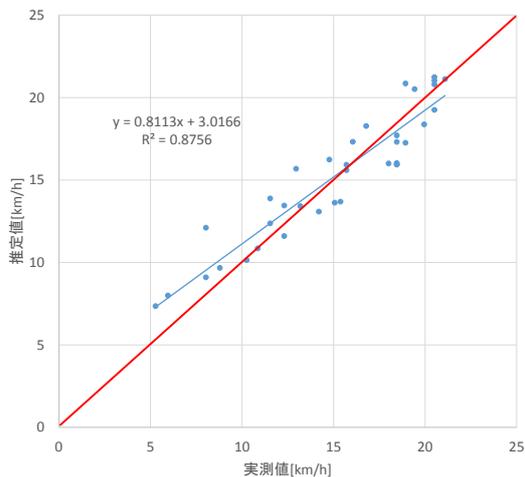


図6 両輪でのブレーキングの再現性

★実在する自転車安全教育の実例から、体験型安全教育の有効性を整理し、CSを安全教育ツールとして活用するために、「シミュレータ上でいかに通常通りの挙動を行うか」に着目し、シナリオセッティング、および走行実験を行なった。その結果、主に一時不停止違反に関する「交通ルールを知っているが遵守しない被験者が確認され、通行位置等の特性に再現性が見られることが示された。



図7 シミュレータ走行時の走行位置

## 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 3 件)

- 鈴木美緒, 岡田紫恵奈, 屋井鉄雄: 都市部の歩道を有する道路における自転車

事故分析, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.69 No.5 (土木計画学研究・論文集第 30 巻), 2013. 査読有り.

- 鈴木美緒, 吉田長裕, 山中英生, 金利昭, 屋井鉄雄: わが国の地方自治体における自転車走行空間整備政策の動向, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.68 No.5 (土木計画学研究・論文集第 29 巻), 2012. 査読有り.
- 宮之上慶, 鈴木美緒, 高川剛, 屋井鉄雄: 無信号交差点における自転車と自動車の出合い頭事故の DS 分析, 第 31 回交通工学研究発表会, CD-ROM, 2011. 査読有り.

[学会発表] (計 13 件)

- 鈴木美緒, 宮之上慶, 屋井鉄雄: 自転車通行位置を明示した道路における自転車走行挙動に関する研究, 第 49 回土木計画学研究発表会 (仙台)・講演集, CD-ROM, 2014 年 6 月 7 日. (発表予定)
- 宮之上慶, 鈴木美緒, 高川剛, 屋井鉄雄: 自転車シミュレータの再現性検証に向けた混合交通下での走行挙動分析, 第 49 回土木計画学研究発表会 (仙台)・講演集, CD-ROM, 2014 年 6 月 7 日. (発表予定)
- 佐藤恵大, 鈴木美緒, 屋井鉄雄: 自転車シミュレータの再現性向上による教育方法に関する研究, 第 49 回土木計画学研究発表会 (仙台)・講演集, CD-ROM, 2014 年 6 月 7 日. (発表予定)
- 鈴木美緒, 本田知也, 屋井鉄雄: 都市部の歩道のない道路における自転車事故の基礎的分析, 第 48 回土木計画学研究発表会 (大阪)・講演集, CD-ROM, 2013 年 11 月 3 日.
- Mio SUZUKI, Kei MIYANOUE, Tetsuo YAI and Tsuyoshi TAKAGAWA: Development of Cycling Simulator "MoriCS" Replicated Unintentional Weaving and Leaning Behavior during Cycling, Road Safety and Simulation International Conference (Roma), Sep 22, 2013.
- Mio SUZUKI, Kei MIYANOUE, Tsuyoshi TAKAGAWA and Tetsuo YAI: Development of Bicycling Simulator for Analysis of Traffic Safety and Flow, WCTR (Rio de Janeiro), Jul 16, 2013.
- 王貫中, 鈴木美緒, 屋井鉄雄: An Analysis on Communication between Drivers of Vehicle and Bicycle on Intersections, 第 47 回土木計画学研究発表会 (広島)・講演集, CD-ROM, 2013 年 6 月 1 日.
- 宮之上慶, 鈴木美緒, 屋井鉄雄: 自転車シミュレータの開発に向けたふらつき挙動分析及び再現性検証, 第 47 回土木計画学研究発表会 (広島)・講演集, CD-ROM, 2013 年 6 月 1 日.

9. Mio SUZUKI and Tetsuo YAI: A Study of The Bicycle Facilities Designs and Managements Contributed to Safety in The Metropolitan Area in Germany And Japan”, Velo-City Global in Vancouver, June 22, 2012.
10. Kei MIYANOUE, Mio SUZUKI, Tetsuo YAI, Tsuyoshi TAKAGAWA, ”Development of Cycling Simulator to Improve the Urban Environment”, 1st International Education Forum on Environment and Energy Science, America, Dec 17. 2012.
11. Mio SUZUKI, Kei MIYANOUE, and Tetsuo YAI; A Study about Factors of Side Crash between Bicycle from Sidewalk with Vehicle, The 5th International Conference on Traffic and Transport Psychology (Groningen), Aug 31, 2012.
12. 鈴木美緒, 宮之上慶, 趙子雨, 屋井鉄雄 : 車道上の危険箇所における自転車走行挙動分析, 第 45 回土木計画学研究発表会 (京都)・講演集, CD-ROM, 2012 年 6 月 2 日.
13. Mio SUZUKI, Kei MIYANOUE, Tsuyoshi TAKAGAWA, and Tetsuo YAI: Bicycle Collision Analysis Using a Vehicle Driving Simulator “MOVIC-T4”, 3rd International Conference on Road Safety and Simulation (Indianapolis), Sep 21, 2011.

理工学研究科・教授)  
研究者番号：10182289

(2)研究分担者

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

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況 (計 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

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