

# シケインにおける サイクリングシミュレータの走行再現性

櫻井淳<sup>1</sup>・MORALES ARENAS ANGEL<sup>2</sup>・三宅智也<sup>2</sup>・松本修一<sup>3</sup>

1正会員 文教大学専任講師 情報学部 情報システム学科 (〒253-8550 神奈川県茅ヶ崎市行谷1100)  
E-mail: sakuraij@bunkyo.ac.jp

2非会員 文教大学 情報学部 情報社会学科 (〒253-8550 神奈川県茅ヶ崎市行谷1100)  
E-mail: {b7p41103, b8p41088}@bunkyo.ac.jp

3正会員 文教大学准教授 情報学部 情報社会学科 (〒253-8550 神奈川県茅ヶ崎市行谷1100)  
E-mail: shuichi@bunkyo.ac.jp

自転車は、日常生活やレジャーなどの様々な用途において重要な役割を担っているが、自転車乗車中の死者数は増加傾向にあり、安全で快適な自転車通行空間の整備が喫緊の課題である。こうした背景から、自転車の安全対策や走行空間を検討するために、サイクリングシミュレータ (CS) が活用されはじめている。しかし、CSは実環境と走行感覚が異なるため、その相違点を明らかにする必要があるが、シケイン形状のように連続した旋回挙動を強いる複雑な環境下での走行再現性の実験が充分になされていない。そこで、本研究では、実際の走行空間を想定したシケインに着目し、実環境とCS環境における自転車の走行再現性の実験を実施した。その結果、走行軌跡の水平誤差や角速度のエントロピー値に有意差が確認された。

**Key Words :** *Cycling Simulator, Chicanes, Characteristic analysis*

## 1. はじめに

現在、自転車は、通勤や買い物などの日常生活、サイクリングなどのレジャーのほか、コンパクトシティに向けたまちづくりを支える移動手段などとして重要な役割を担っている。国土交通省の調査<sup>1)</sup>によると、日本における自転車保有台数は増加傾向にあり、2013年時点で約7,200台と自動車保有台数と同程度である。また、人口1人あたりの保有台数も欧米諸国と比較して高水準である。

近年、全体の交通事故死者数は減少傾向にある一方で、自転車乗車中の死者数を占める割合は増加傾向にあることが問題視されている。そのため、国土交通省と警察庁では、自転車通行空間の整備に関するガイドライン<sup>2)</sup>を作成するなど、各自治体への自転車ネットワーク計画の策定を推進している。しかし、この計画が策定済の自治体は、2020年3月末時点で人口集中地区を有する市区町村の約25%<sup>3)</sup>となっており、安全で快適な自転車通行空間の計画立案および整備が喫緊の課題といえる。

こうした背景から、自転車の安全対策や走行空間を検討するための多くの取組みが実施され、その評価ツールとしてサイクリングシミュレータ (以下、CS) が活用されはじめている。CSは、走行条件や路面環境などを

設定し、一定の条件下で複数回繰り返す走行実験や事故の評価などができ、実走行に比べて安全面とコスト面で優れている。しかし、CSは実環境と走行感覚が異なることが指摘されている<sup>4)</sup>ため、これらの相違を明らかにし、実環境に近い走行感覚を再現することが望ましい。

これまで、実走行から自転車の走行特性を把握する研究<sup>5)</sup>、実走行に近づけるためのCSの開発に関する研究<sup>7-10)</sup>や、実環境とCSの走行比較によりCSの走行特性を分析する研究<sup>41-44)</sup>が行われてきた。以上より、路上駐車や自転車専用通行帯といった場面の走行特性は分析されているが、交差点部やバス停部などに生じるシケイン形状のように、連続した旋回挙動を強いる複雑な自転車走行を行う環境での走行再現性の実験が充分になされていない。

そこで、本研究では、実際の走行空間を想定したシケインに着目し、実環境とCS環境における自転車走行の比較実験を実施する。まず、2章にて自転車の走行特性に関連する既存研究を調査し、本研究の位置づけを整理する。次に、3章にて実環境とCS環境における走行特性の比較実験の方法、4章にてその結果を記載する。そして、5章にて実験結果に基づいた走行特性を分析し、6章にて本研究を総括する。

## 2. 既存研究と本研究の位置づけ

本章では、本研究の遂行に先立ち、自転車の走行特性やCSの構築に関連する既存研究を調査する。具体的に、「シケイン形状の走行特性」、「CSの開発」、「実走行とCSの走行特性の比較」の3種類に大別し、関連する研究事例を整理する。また、その結果を踏まえて本研究の位置づけを明確にする。

### (1) シケイン形状の走行特性に関する既存研究

安全な自転車走行空間の整備に向けて、交差点やバス停部などのシケインにおける走行特性を検証する研究が実施されている。国土交通省国土技術政策総合研究所の研究<sup>9)</sup>では、S字曲線とシケイン形状の走行実験の結果から、走行安全性を確保するためには、曲線半径が既往基準の3m、シケイン長がシフト幅の2倍以上を必要とすることを示唆している。また、山中ら<sup>9)</sup>は、年齢層や走行速度による走行特性の違いに着目し、走行軌跡と不快感の相関に基づいて、シケイン形状の向心加速度の基準を試案している。これらの知見は、自転車道や自転車レーンの交差点などの設計の際に寄与することが期待される。ただし、実環境では様々な走行空間が存在するため、さらなる現地観測による分析が必要としている。

### (2) CSの開発に関する既存研究

安全性が確保できない事故分析のシミュレータ実験などを目的として、既存研究において様々なCSが提案されている。Shoman, M. and Imine, H.<sup>7)</sup>は、スクリーン型のCSを構築し、10名の被験者に対してSSQやNASA-TLXなどのアンケートにより、CS利用者の主観的な作業負荷を評価している。また、上北ら<sup>8)</sup>は、高齢者の運動促進を目的としてエアロバイク型のシミュレータを製作し、S字曲線や直線経路における走行特性を評価している。さらに、石田ら<sup>9)</sup>やHe, Q. et al.<sup>10)</sup>は、実際の走行環境に近づけるために、操縦者が左右に重心をかけた際に車体が傾く機構を開発している。ただし、これらはデバイスの開発が主な目的となっており、実際のフィールドデータと比較することで、シミュレータの再現性を検証する必要があることを課題として挙げている。

### (3) 実走行とCSの走行特性の比較に関する既存研究

(2)の課題に対し、CSの走行特性を評価するため、実環境と同じシナリオをシミュレータで再現し、実走行とCSの走行特性を比較する研究が広く実施されている。

まず、スクリーン型のCSに着目すると、溝口ら<sup>4)</sup>は、速度感覚と距離感覚の相違の程度を定量的に評価している。具体的に、被験者5名による直線区間の走行実験により、CSの平均速度が指示速度よりも約1.5倍となるこ

とや、看板や路面標示のCSの判読距離が実環境と比較して約30~40%となることを示している。なお、これらの相違を軽減させるために、スピーカや扇風機を利用した走行音や風圧の再現や、投影画面の文字の表示方法や解像度の影響に関して改善する余地があるとしている。

次に、ヘッドマウントディスプレイ（以下、HMD）型のCSに着目すると、宮之上らは、対面通行自転車道のスれ違い走行<sup>11)2)</sup>や、駐車車両の追い越し場面<sup>13)</sup>を対象とした研究を実施している。これらの研究において、自転車同士のスれ違いや駐車車両の追い越し時における挙動分析などが行われている。ただし、これらの研究では、実環境の走行に近づけるためのCSの開発要件を明らかにすることが主な目的であるため、実走行とCSの走行軌跡に着目した走行特性の厳密な比較まではなされていない。また、そのほかの研究事例として、O'Hern, S. et al.<sup>14)</sup>は、2つの交差点を含む中距離道路を対象とし、実走行とHMD型CSの走行特性の比較実験を実施している。具体的に、平均速度、平均移動距離、レーン位置、交差点での減速割合、首振り回数、首振り時間の7項目で検証を行い、開発したシミュレータのパフォーマンスが良好であったことを示しているが、複雑な状況での包含的な再現性評価を行うことを課題として挙げている。

### (4) 本研究の位置づけ

前述のとおり、スクリーン型やHMD型の様々なCSが提案され、それらの走行再現性を明らかにすることが求められている。そのため、実環境とCSの走行実験の比較により、CSの走行特性の把握を試みた既存研究が多く存在する。しかし、これらの研究では、以下の観点で十分な検証がなされているとは言い難い。

- 既存研究では、直線経路、路上駐車や自転車通行帯を対象とした実験が主であり、複雑な走行を強いる環境でのCSの走行特性が明らかになっていないこと
- 既存研究では、代表的な指標の平均値と標準偏差による評価が主であり、連続的な走行軌跡や微細な自転車の走行特性に基づいた定量的な評価が十分になされていないこと

そこで、本研究では、1点目の課題に対して、現在の日本の自転車道の設計基準やガイドラインに基づいて、2種類のシケイン形状の走行シナリオを作成し、実環境とCS環境の同等のシナリオ上で走行実験を実施する。また、2点目の課題に対して、実環境はドローン空撮による画像処理、CSはシミュレータから出力されるログデータを用いて、10Hzの連続的な走行軌跡データによる比較検証を行う。これらの検証結果により、短距離のシケインにおけるCSの走行特性を把握することを目的とする。

### 3. 実環境とCS環境の走行特性の比較実験

#### (1) 実験概要

本研究では、実環境と CS 環境における自転車の走行特性の違いを把握するために、実環境および CS 環境下において、同じ寸法のシケイン形状のコースを 2 種類用意し、走行実験を実施する。そして、それらの走行軌跡データ、およびアンケート結果を用いて、走行特性を分析する。本章では、実験環境、実験方法、評価方法をそれぞれ述べ、次章にてその結果を記述する。

#### (2) 実験環境

##### a) 走行シナリオ

本実験では、実際の自転車用のシケインを想定して、2種類のシケインで走行シナリオを作成した。1つ目は、**図-1**に示すように、幅員2m、シケイン幅6m、シケイン長24mの直線で構成されたシケイン（以下、直線型）である。これは、国土交通省の安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン<sup>2)</sup>において、自転車道の通行の安全性を確保するために、「幅員2m以上の場合シフト比を1:4以上」と定めていることから、この基準に準拠して走行シナリオを設定した。2つ目は、**図-2**に示すように、幅員2m、曲線半径3mの曲線で構成されたシケイン（以下、曲線型）である。これは、自転車道の既往の設計基準<sup>3)</sup>において、最小曲線半径は「特別な事情によりやむを得ない場合」に限り3mと定義していることから、最も条件の厳しい走行経路を想定して設定した。

##### b) 実走の実験環境および走行軌跡データの生成

実走実験では、大学構内のグラウンドにおいて、白線でシケインのコースを作成し、**図-3**左に示す自転車にて走行した。また、自転車走行中、約45m上空から**図-3**右に示すドローン（DJI社 Mavic2 Pro）による空撮を行い、撮影後に画像処理にて自転車の走行軌跡データを作成した。なお、画像処理で自転車の識別を容易にするため、自転車の前方の籠に 33.5cm×40cm 幅の青色の板を設置した。また、画像と実際の寸法と縮尺を合わせるために、グラウンドの走行経路を囲うように矩形を作成し、それらの四隅に画像上で判読可能なターゲットを設置した。

画像処理による走行軌跡データの処理の流れを**図-4**に示す。まず、A) 画像の間引きおよび座標変換処理において、出力データの分解能を CS 環境と合わせて 10Hz とするために、ドローンで撮影した動画のフレームの間引きを行う。なお、本研究では、30FPS で撮影したために、3 枚に 1 枚の間隔でフレーム画像を抽出した。また、四隅ターゲットの座標値を用いて、すべての画像に射影変換処理を行い、画像上の座標値を実際の寸法と縮尺を合わせる。次に、B) 画像中の自転車特徴物の抽出処理では、自転車に載せた青板を特徴物として、その中心の

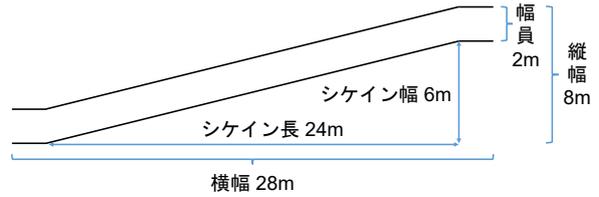


図-1 走行シナリオ（直線型）の寸法

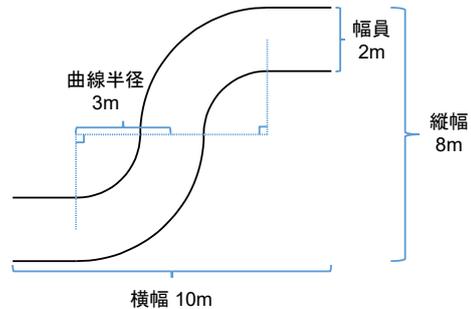


図-2 走行シナリオ（曲線型）の寸法



図-3 実環境の実験機器（自転車，ドローン）

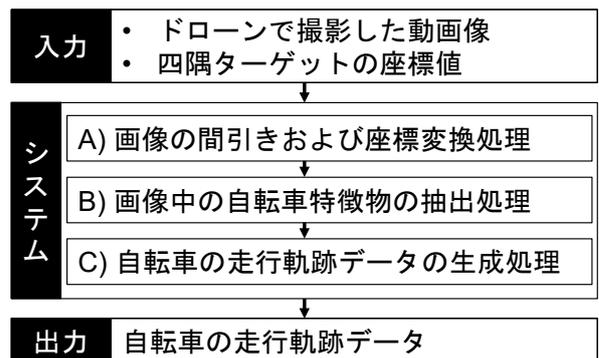


図-4 画像処理による走行軌跡データの生成の流れ

座標値を抽出する。具体的に、背景差分処理と HSV 色空間による青色領域の抽出処理を行う。前者は、自転車が存在しない状態を背景画像とし、各フレーム画像との一定の輝度値の差分から自転車候補の画素を抽出する。後者は、HSV 色空間の HSV それぞれに閾値の範囲を設定し、自転車候補の画素から青色領域のみを抽出する。また、これらの画素はノイズが含まれるために、膨張収

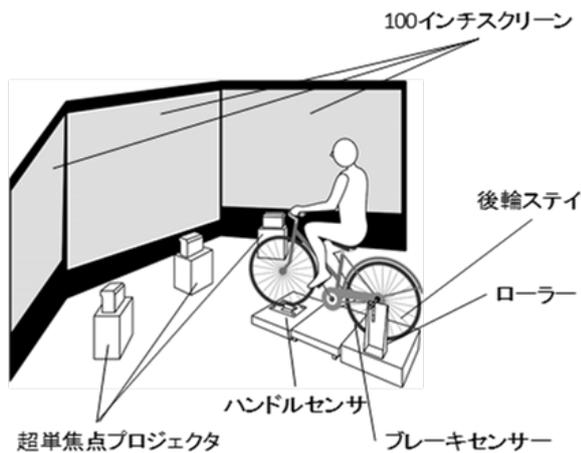


図-5 CS環境の概観図

表-1 被験者の属性

No.	年齢	性別	視力			自転車 運転頻度
			眼鏡等	右目	左目	
A	21	男	無し	1.5	1.5	めったにない
B	21	男	有り	1.0	1.2	めったにない
C	21	男	無し	0.9	0.9	週3,4回程度
D	24	男	有り	1.0	1.0	週1,2回程度
E	20	女	有り	1.2	1.2	めったにない
F	21	男	無し	1.2	0.8	週3,4回程度
G	20	男	有り	1.0	1.0	月1回程度
H	21	男	有り	0.8	0.8	ほぼ毎日
I	21	男	無し	1.2	1.2	ほぼ毎日
J	29	女	無し	1.5	1.5	週1,2回程度

縮処理を行った後、ラベリング処理にて青色領域の中心位置を特定している。最後に、C) 自転車の走行軌跡データの生成処理では、B) で抽出したすべての座標値をまとめて、座標値、速度、走行距離、道路中心線からの水平方向の誤差を算出し、CSV形式で出力する。

#### c) CSの実験環境

CS環境での走行実験では、実験機材として、図-5に示すようにスクリーン型のシミュレータを使用する。本シミュレータは、100インチ（高さ155cm、幅220cm）のスクリーン3面、主計算機1台、超単焦点プロジェクタ3台から構成される。また、ソフトウェアはフォーラムエイト社製のUC-win/Roadverion14.2を使用する。このソフトウェアを活用することで、様々な交通環境を想定した道路や走行シナリオが柔軟に作成可能である。そのため、直線型と曲線型それぞれの道路形状の作成は、すべてソフトウェア上で行った。なお、本シミュレータは、走行軌跡の座標値、速度、走行距離などを10Hzでログ出力可能なため、本実験ではこのデータを使用した。

#### d) 被験者

本実験の被験者は、表-1に示すように、20代10名（男性8名、女性2名、年齢：21.9±2.73歳、右目視力：

1.13±0.24、左目視力：1.11±0.26）であった。

#### (4) 実験方法

##### a) 実環境の走行実験

実環境での走行実験では、2種類のシケインに対して、一般的な自転車の走行速度を考慮して10、15km/hの2種類の速度を指定し、1人あたり合計4パターンの走行を測定した。実験手順として、まず、自転車の速度感覚を掴むために、自転車にスピードメータを取り付け、指定速度による練習走行を行った。次に、十分に練習ができたことを判断した後、速度感覚を再確認するための直線の確認走行を行い、その後に本番走行を行った。なお、本番走行では、指示速度で評価区間を走行できるように、スタート地点までの助走区間を設けた。また、走行直前には、以下の教示を行った。

- ゲーム感覚で運転するのではなく、実際の自転車を走行するように運転して下さい。
- 出来るだけ白線の枠を出ないで走るよう心掛けて下さい。
- 安全運転を心掛けて下さい。
- 0km/hで走行して下さい。
- 具合が悪くなった場合は、走行中でもすぐに申し出て下さい。
- 「お願いします」と言ったら走行を始めて下さい。

##### b) CS環境の走行実験

CS環境の走行実験においても、実環境と同条件で計4パターンの走行を測定した。実験手順として、まず、シミュレータの運転特性や速度感覚に慣れるために、スクリーン上に速度を表示した状態で、練習コースで十分な練習走行を行った。次に、直線の確認走行を行い、実環境と同じ教示を実施した後、本番走行を行った。

#### (5) 評価方法

実環境とCS環境のそれぞれ40走行分の走行軌跡データを集計して、走行特性の違いを評価する。評価項目は、走行速度、および走行経路からの水平誤差とし、平均値±標準偏差のグラフの結果から、実環境とCS環境でどのような違いがあるかを検証する。また、被験者全員に対してアンケートを実施し、作業負荷の違いなどを検証する。アンケートとして、NASA-TLXから算出されるWWLスコアによる作業負荷<sup>16)</sup>、4件法による不快感、SSQによるシミュレータ酔いの3種類を実施した。なお、SSQは、吐き気、動眼神経、ふらつき感、合計の4種類の観点からシミュレータ酔いの度合いを調べるものである。SSQを用いることで、シミュレーション機材やシナリオに対するシミュレーション酔いの判断に活用できるとされており<sup>17)</sup>、これはCS実験のみに適用する。

## 4. 実験結果

### (1) 走行軌跡データの結果

#### a) 走行速度

図-1, 2 の走行区間における走行速度の平均値と標準偏差の結果を図-6 に示す。実走と CS の差に着目すると、直線型 ( $t(19)=1.55, p=0.14$ ) と曲線型 ( $t(19)=1.18, p=0.25$ ) のどちらにおいても有意な差はみられなかった。このことから、シケイン形状にかかわらず、実走行と同程度のスピード感覚で CS 上の走行が可能であるといえる。

#### b) 走行経路からの水平誤差

図-1, 2 の道路中心線 (2m の幅員中心) からの水平方向の誤差 (cm) の結果を図-7 に示す。この結果から、直線型では、実走と CS の間に統計的に有意な差は確認されなかった ( $t(19)=1.72, p=0.10$ )。一方、曲線型では、実走よりも CS のほうが大きい結果となった ( $t(19)=3.18, p<0.01$ )。これらのことから、連続した旋回挙動を強い複雑な自転車走行においては、CS の誤差が大きくなる傾向にあることがわかる。

### (2) アンケートの結果

#### a) NASA-TLX (WWLスコア)

NASA-TLX の WWL スコアの結果を図-8 に示す。この結果より、直線型 ( $t(19)=0.69, p=0.50$ ) と曲線型 ( $t(19)=1.65, p=0.12$ ) の両方において、実走と CS との間に有意差は確認されず、同程度の作業負荷がかかっていたといえる。ただし、本実験は 10~30m 程度の短い走行距離であるため、長距離の実験走行において異なる傾向が発生する可能性に留意する必要がある。

#### b) 不快感アンケート

4 件法による不快感アンケートの結果を図-9 に示す。また、縦軸は「全く不快感を感じなかった」を 0, 「不快感を感じなかった」を 1, 「不快感を感じた」を 2, 「非常に不快感を感じた」を 3 として集計した。この結果から、本実験の短距離による走行では、直線型 ( $t(19)=0.15, p=0.89$ ) と曲線型 ( $t(19)=0.86, p=0.40$ ) とともに有意差はなく、同程度の不快感であった。また、曲線型は直線型に比べて平均値がおおよそ 3 倍になった。

#### c) SSQ

CS 走行後に SSQ のアンケートを行った。この各指標の結果を図-10 に示す。CS 走行に関するシミュレーション酔いに関しては、Mittelstaedt, J. et al.<sup>18)</sup> および Shoman, M. and Imine, H.<sup>7)</sup> の研究において研究の知見があるが、これらの研究では、SSQ Total Score (以下、SSQ-TS) の平均値において 25~30 程度であることが報告されている。これらの研究とは、実験シナリオや走行時間の違いがあるが、これまでの研究知見より低い結果になっている。また、Balk, S.A. et al.<sup>17)</sup> の研究において、9 つのドライビン

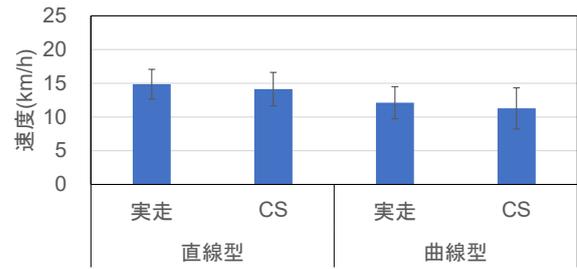


図-6 走行速度 (平均値±SD)

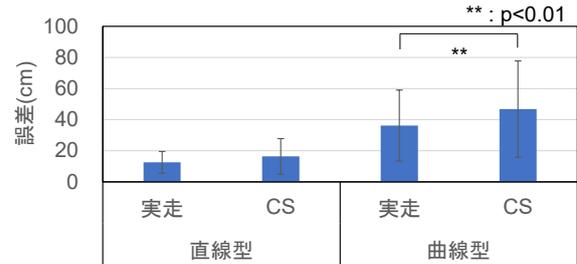


図-7 走行経路からの水平誤差 (平均値±SD)

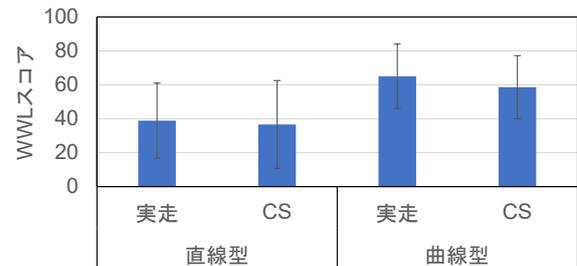


図-8 WWLスコアの結果 (平均値±SD)

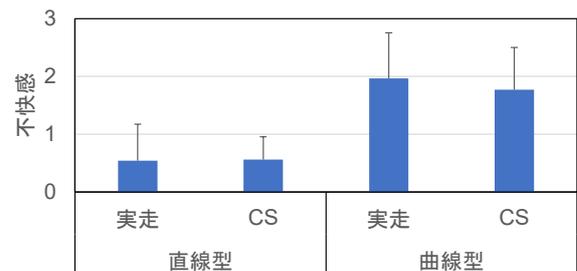


図-9 不快感アンケートの結果 (平均値±SD)

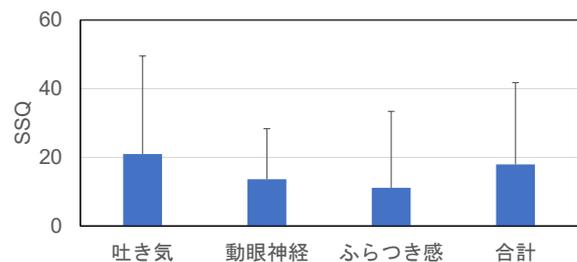


図-10 SSQの各指標の結果 (平均値±SD)

グシミュレータ実験における 530 名の被験者の内、72 名がシミュレータ酔いで実験を途中辞退している。そして、実験後の SSQ-TS の平均値が合計で 17.48、辞退した被験者で 39.63 であったことが報告されている。これらの数値も踏まえ、本研究の CS 走行では、被験者シミュレーション酔いに関しては、過度な負荷が掛かっていないと推察できる。なお、CS 走行と SSQ-TS、酔いの関係に関して、さらなる検討が必要であることは、留意すべきである。

## 5. 考察

前述の実験結果より、実走と CS の間において、走行速度では有意な差がないことと、水平誤差では曲線型の CS の誤差が大きくなることがわかった。本章では、これらの結果に基づいて、より詳細に走行特性を分析する。具体的に、走行軌跡データによる幅員からの逸脱率と、角速度による自転車のふらつき度合いの 2 つの観点から考察する。

### (1) 走行軌跡データによる幅員からの逸脱率

本実験では、直線型と曲線型ともに幅員 2m を設け、

可能な限りその範囲内を走行するように教示した。直線型と曲線型それぞれの走行軌跡のプロット結果を表-2 と表-3 に示す。ここで、黒線は走行軌跡データ、赤線は走行経路の外枠を示しており、左から右方向に向けて走行している。表-2 の直線型に着目すると、すべての走行において幅員の範囲内で走行できている。また、速度間における軌跡の傾向の違いも特にみられない。一方、表-3 の曲線型に着目すると、実走よりも CS のほうが軌跡のばらつきが大きい傾向にある。また、CS の 10km/h と 15km/h を比較すると、最初のカーブで 15km/h のほうが内側の経路を走行していることが確認できる。このことから、走行速度が速くなるにつれて、複雑な形状の走行が困難になることが推察される。

また、幅員範囲内から超過するケース（以下、逸脱）を目視で確認した結果、実走が 20 走行中 1 走行、CS が 20 走行中 10 走行において逸脱を確認した。その傾向として、最初のカーブで十分に曲がることができず、次のカーブで内側へ走行経路が逸れるケースが散見された。そこで、曲線型の走行の逸脱率を詳細に確認するために、すべての走行時間の内、逸脱が発生する時間を集計した。その結果を表-4 に示す。この結果より、CS では全体の約 7~8% の割合で逸脱が発生している。また、10km/h と 15km/h の逸脱率の差は 0.5% のためほぼ同等といえる。

表-2 直線型の走行軌跡データのプロット結果

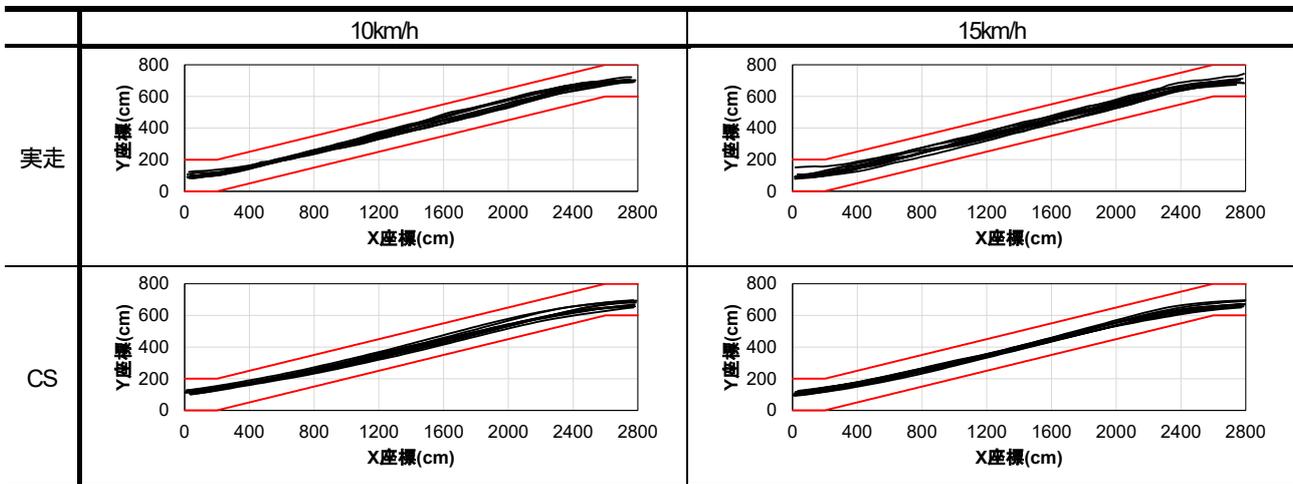
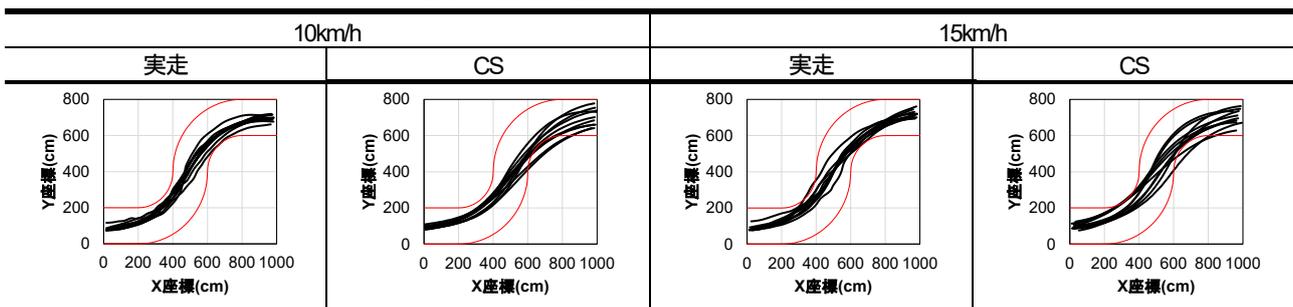


表-3 曲線型の走行軌跡データのプロット結果



以上より、本研究で使用した CS では、自転車の車体自体を傾ける装置は備えていないため、急カーブ区間において実環境の走行感覚と相違が発生したことが一要因と考えられる。これに対しては、搭乗者の重心に合わせ車体を傾ける仕組みの改良により改善する可能性がある。

(2) 角速度による自転車のふらつき度合い

走行中のハンドル操作などによる自転車の急な角度変化の違いを確認するため、10Hz の連続的な走行軌跡データの座標値から角速度を算出した。各走行パターンにおける時間と角速度の散布図を表-5 に示す。この結果より、直線型と曲線型の両方において、実走のほうが角速度が高い傾向であることがわかる。

また、走行中の自転車のふらつき度合いをより詳細に確認するために、角速度のエントロピー値を算出した。エントロピー値とは、ある時点 n における過去 3 点 (n-3, n-2, n-1) の角速度を用いて、2 次の Taylor 展開から算出される次の時刻の予測値と実際の値の誤差二乗和を求めるものであり、滑らかさを評価する指標として用いられる。速度帯別の算出結果を図-15 に示す。この結果より、直線型 10km/h ( $t(9)=5.03, p<0.01$ )、15km/h ( $t(9)=5.94, p<0.01$ ) と曲線型 10km/h ( $t(9)=5.11, p<0.01$ )、15km/h ( $t(9)=9.73, p<0.01$ ) のすべてにおいて 1%水準で有意差があり、実走のほうが差が大きい結果となった。

これらのことから、実環境の走行では、CS に比べて自転車のふらつきが大きいことが示唆される。これに関して、本研究で使用した CS は、固定された車体であるため曲線部を走行する際に横方向への傾きが生じない。そのため、走行時のふらつきが実環境と異なる傾向にあることが原因の一つとして考えられる。ただし、本研究の走行軌跡データは動画像から画像処理で間接的に生成しているため誤差を含む可能性があることなど、その他の要因が影響している可能性があることに留意されたい。

6. おわりに

本研究では、シケイン形状のように複雑な走行を強い環境での CS の走行特性が明らかになっていない課題と、連続的な走行軌跡や微細な車両挙動に基づいた定量的な評価が十分になされていない課題に着目し、直線型と曲線型の 2 種類のシケイン形状で実環境と CS 環境それぞれの走行実験を行い、CS の走行特性の把握を試みた。その結果、以下の知見が得られた。

- 走行速度は、シケイン形状にかかわらず、実走と CS の間に有意な差はない。
- 水平誤差は、曲線型において、CS の誤差が大きくなる傾向にある。
- NASA-TLX と不快感アンケート結果より、本実験の短距離シナリオでは、実環境と CS 環境の間で作

表-4 走行経路からの逸脱発生率

走行シナリオ	指定速度 km/h	実走			CS		
		走行時間 (秒)	逸脱時間 (秒)	逸脱率	走行時間 (秒)	逸脱時間 (秒)	逸脱率
曲線	10	38.9	0.0	0.0%	50.9	4.1	8.1%
曲線	15	31.7	0.4	1.3%	29.7	2.2	7.4%

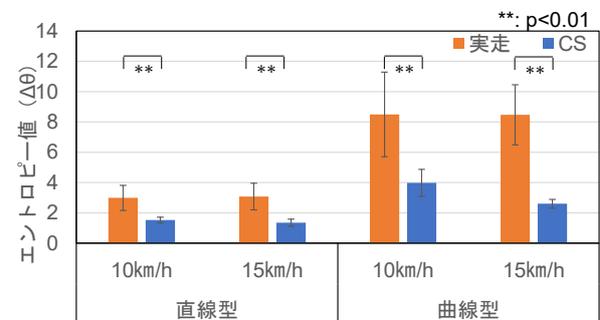
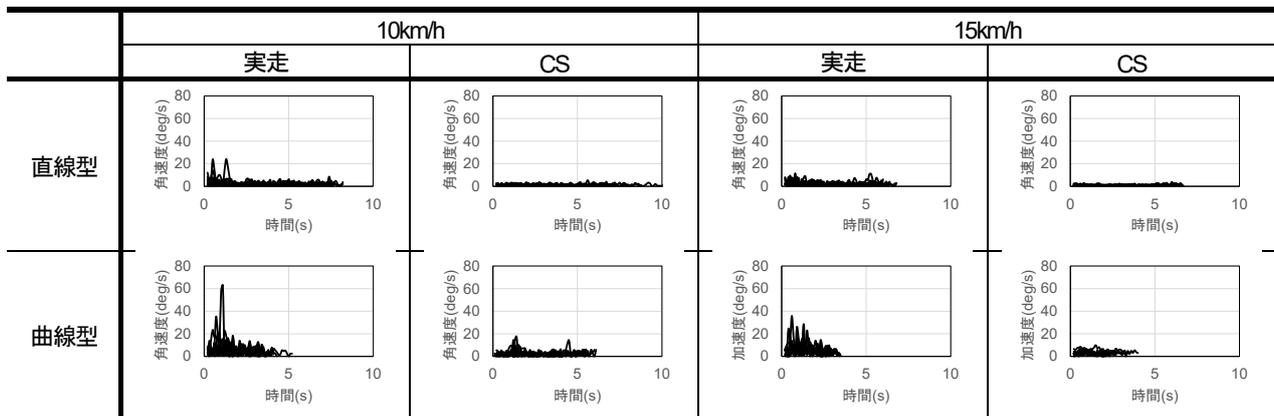


図-15 角速度のエントロピー値 (平均値±SD)

表-5 時間-角速度の散布図



業的および精神的な負荷などの差は確認されなかった。

- 曲線型の CS 環境の走行において、走行シナリオの幅員からの逸脱率が高かったことから、急カーブ区間において実環境の走行感覚と相違が発生した可能性がある。
- 角速度のエントロピー値の算出結果より、直線型と曲線型で実走と CS の間に有意差が確認された。このことから、走行時の左右のふらつきが実環境と異なる傾向にあることが示唆される。

以上のことから、シケインにおける自転車の走行特性に関して、走行軌跡とアンケートの双方の観点から一定の新たな知見が得られたと考える。今後、本研究の CS を実環境で走行する感覚により近づけるためには、自転車の車体を傾ける機構への改良が必要である。また、本研究では、20 代学生の 10 名の被験者にて実験を実施したが、自転車は子供から高齢者まで幅広く利用されるため、被験者属性の違いによる影響を検証する必要がある。さらに、近年、よりリアルなシミュレーションを体験できる技術として、HMD 型のシミュレータが注目されている。これと従来のスクリーン型とを用途に応じて使い分けることも必要と考えられるため、これらの比較実験による走行特性も明らかにしていきたい。

**謝辞**：本研究は、国土交通省新道路技術会議およびJSPS 科学研究費 補助金（科研費）20K19940 の助成を受けたものである。ここに記して感謝の意を表す。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省：平成26年度政策レビュー結果（評価書）自転車交通、<<https://www.mlit.go.jp/common/001259529.pdf>>,（入手2021.3.7）。
- 2) 国土交通省道路局, 警察庁交通局：安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン, 2016.
- 3) 国土交通省：自転車利用環境の整備、<<https://www.mlit.go.jp/road/road/bicycle>>,（入手2021.3.7）。
- 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.
- 5) 小金知史, 金子正洋, 蓑島治：自転車の走行特性に関する実験的調査, 第28回日本道路会議, 2009.
- 6) 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, No.0, pp.449-456, 2010.
- 7) Shoman, M. and Imine, H. : Subjective Validity of Bicycle Simulators, *VEHICULAR 2020*, pp.72-77, 2020.
- 8) 上北一博, 橋本好幸：エアロバイク型仮想空間移動シミュレータの作製とその操作性の評価, 神戸市立工業高等専門学校研究紀要, No.48, pp.63-68, 2010.
- 9) 石田雄紀, 島田哲哉, 植田晃一郎, 金田重郎：車体傾きを許容した自転車シミュレータの提案, 情報処理学会第79回全国大会, No.1, pp.211-212, 2017.
- 10) He, Q., Fan, X. and Ma, D. : Full Bicycle Dynamic Model for Interactive Bicycle Simulator, *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, Vol.5, No.4, pp.373-380, 2005.
- 11) 宮之上慶, 鈴木美緒, 細谷奎介, 屋井鉄雄：自転車シミュレータを用いた路上駐車車両の追い越し挙動分析及び再現性検証, 交通工学論文集, Vol.2, No.4, pp.A\_1-A\_8, 2016.
- 12) 宮之上慶, 鈴木美緒, 屋井鉄雄：自転車シミュレータにおけるハンドル操作及び走行速度の再現性検討, 人間工学, Vol.52, No.2, pp.81-87, 2016.
- 13) 宮之上慶, 鈴木美緒, 高川剛, 細谷奎介, 屋井鉄雄：自転車シミュレータを用いた対面通行自転車道におけるすれ違い挙動特性分析及び再現性検証, 土木学論文集D3（土木計画学）, Vol.71, No.5, pp.I\_589-I\_604, 2015.
- 14) O'Hem, S., Oxley, J. and Stevenson, M. : Validation of a bicycle simulator for road safety research, *Accident Analysis and Prevention*, Vol.100, pp.53-58, 2017.
- 15) 国土交通省：自転車道等の設計基準について、<<http://www.mlit.go.jp/road/sign/kijyun/pdf/19741129jitennsyadou.pdf>>,（入手2021.3.7）。
- 16) 芳賀繁, 水上直樹：日本語版NASA-TLXによるメンタルワークロード測定－各種室内実験課題の困難度に対するワークロード得点の感度－, 人間工学, Vol.32, No.2, pp.71-79, 1996.
- 17) Balk, S. A., Bertola, M. A. and Inman, V. : Simulator Sickness Questionnaire: Twenty Years Later, *7th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design*, pp.257-263, 2013.
- 18) Mittelstaedt, J., Wacker, J. and Stelling, J. : Effects of display type and motion control on cybersickness in a virtual bike simulator, *Displays*, Vol.51, pp.43-50, 2018.