

自転車シミュレータの再現性向上による 安全教育手法に関する研究

佐藤 恵大¹・鈴木 美緒²・屋井 鉄雄³

¹正会員 三菱UFJモルガン・スタンレー証券株式会社 (〒112-8688 東京都文京区目白台3-29-20)

E-mail:sato.cs.2014@gmail.com

²正会員 東京工業大学助教 総合理工学研究科 (〒226-8501 横浜市緑区長津田町4259)

E-mail:mios@enveng.titech.ac.jp

³正会員 東京工業大学教授 総合理工学研究科 (〒226-8501 横浜市緑区長津田町4259)

E-mail:tyai@enveng.titech.ac.jp

近年自転車運転者のマナーが問題視されており、自転車安全教育方法の改善が必要である。また、パターン化した教育が一律に行われていること・「交通ルールを知っているが遵守しない」自転車利用者に対する教育方法が確立されていないことが問題である。そこで体験させる教育として注目されているのが自転車シミュレータ（以下CS）を用いた教育である。本研究ではCSの教育機会への導入可能性と、重要検討課題であるブレーキ挙動の再現性について検討する。結果、ブレーキ挙動の再現性が向上し、被験者によるCS走行シナリオ内での普段通りの走行挙動が可能になったほか、CSを用いた自転車安全教育プログラムを組むことにより「交通ルールを知っているが遵守しない」違反挙動を検出することが可能となった。

Key Words : *Cycling safety education, Bicycling simulator, Braking*

1. はじめに

近年、交通ルール違反による死傷者の割合が自転車事故全体の65%を占めている¹⁾ほか、自転車の車道走行の原則が強化されたが、ルールを知っているのにも関わらず遵守しない利用者が多く、自転車交通ルールやマナーの教育の必要性が窺える。このような状況下で国や市町村は、自転車安全利用に関する条例を制定し、市・市民・その他主体の責務を明らかにしそれぞれの立場に立った役割を果たすことで、自転車関連事故を未然に防止するといった目的を定めている。その責務者を、主に教育を受ける側と教育をする側に二分し、市町村別で責務主体を比較すると、教育をする側に対して責務を割り振る市町村が少ない。また、自転車利用に関するルールの周知・啓発活動の取り組み例²⁾をみると、教育対象者を明確に分類していないことや、教育手法に関してもその効果を明らかにし教育対象者に対してより効果的な手法を選択できていない現状が窺える。さらに、体験型手法の不足により複数手法を盛り込んだ教育プログラムにおいても期待された効果を得られないことが考えられる。この現状の中、新たな体験型教育手法で注目されているのが自転

車シミュレータ（以下、CS）である。しかし、CSを用いた教育方法の効果と、その再現性が教育効果にどのような影響を与えるのか明らかにされていない。

そこで、本研究では、CSを用いた教育プログラムの全体像を構想するとともに、CSを用いた安全教育において重要な検討課題である走行シナリオ内のイベントにおいてCSの再現性が教育効果に及ぼす影響を明らかにすることを第一目的とし、同時に現在再現性が確保されていない挙動の中でも特にブレーキ挙動の再現性向上を第二目的とする。

2. 既往研究の整理と本研究の位置

現在、CSは教育訓練用として、運転講習や交通ルールの学習に使用されている。教育手法の評価に関する既往研究は、自転車ヒヤリ地図²⁾やスケアードストレイト³⁾等の教育方法の効果について明らかにしたものはあるが、CSを用いた安全教育に関しては、その記録を残すに留まっており、CSを用いた教育プログラムの評価を行った前例は無い。また、自

転車教育の実施方法について検討することを目的とした自転車利用時の走行実態に関する既往研究⁴⁾がみられる。そこで本研究ではCSを用いた体験型教育手法の実現可能性を検証する。

3. CS走行シナリオ構築

3.1 CSを用いた安全教育の意義

リアリティの高いCSを用いた安全教育の利点は、

- ・ 安全を確保しつつ普段経験することの出来ない事象を体験することが出来る
- ・ 受講者によって様々な走行形態をその場で確認出来ることから、個々に適合した教育が可能であり現在問題である「交通ルールを知っているが遵守しない自転車利用者」に対する教育が可能である。この特性を生かしたCSを用いた安全教育プログラムの全体像は図3.1のような教育フローが考えられる。シナリオ①では、走行経路を定めずに自由走行の中で、受講者の「交通ルールを知っているが遵守しない」という挙動を検出する。ゆえに「教育を受けている」というバイアスにより不自然な運転挙動にならないようなシナリオまたは教育プログラムにすることが望ましい。また、シナリオ②では、シナリオ内に歩行者等のAI（他者を認識して行動を変える主体）を設定し、受講者の運転挙動に応じて事故等の印象に残るイベントを発生させる。これにより、「交通ルールを知っているが遵守しない」受講者に、交通ルールを遵守することの重要性を認識してもらおう。この際に、理不尽な事故であると認識させないことが重要であるため、CSの再現性が重要であり、イベントは適切な設定をする必要がある。

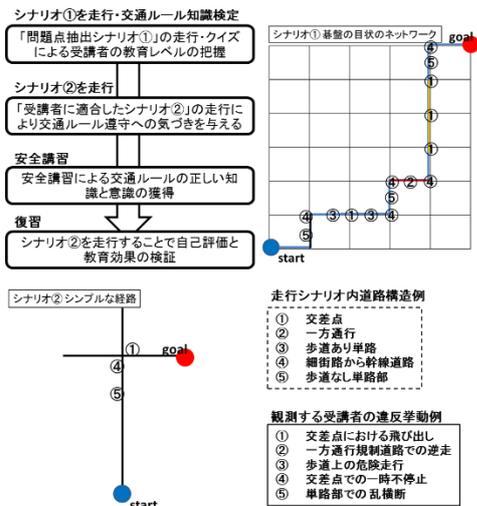


図3.1 CSを用いた自転車安全教育プログラム

3.2 事故統計データの基礎的分析

シナリオ作成にあたり、「①重大事故に繋がる可能性のあるもの」「②自身が加害者になる可能性のあるもの」「③年齢に関係なく死亡事故件数が一定程度あるもの」に係る法令違反を教育対象とする。

4. CSの再現性が教育効果に及ぼす影響

再現性の有無とは以下の二つで構成される

- A) 自転車の様々な挙動を定量的に表現できているか
- B) 被験者が違和感を感じずに運転することができるか

CSによる教育効果は受講者が違和感を感じずに運転できることが前提であり、再現性に関してはB)が重要視される。また、CS (Morics) の入出力の概要を図4.1に、システム構成を図4.2に示す。3.において作成したシナリオを評価する前に再現性B)の有無を検証するため、実験においては、ハンドル感覚・ブレーキ感覚・ペダル感覚・スピード感覚・視野角を含む映像・音、を違和感の有無を五段階で受講者に評価してもらい再現性B)の有無を検証した。

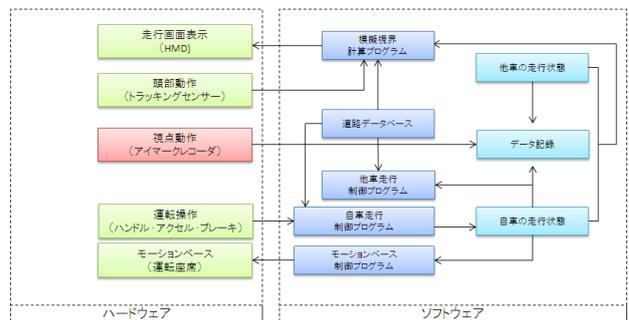


図4.1 CS (Morics) の入出力の概要

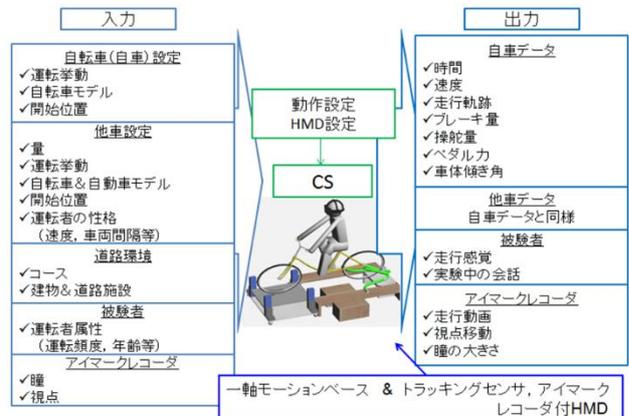


図4.2 CS (Morics) のシステム構成

被験者41名に対してCS体験後に行ったアンケート結果を図4.3に示す。図4.3はCSの総合満足度と、ハンドル感覚・ブレーキ感覚・ペダル感覚・スピード感覚・視野角を含む映像・音の相関と各項目の満足度を示している。ブレーキ・ペダル・スピード感という速度制御に係る項目が満足度が高く、加えてCSの総合満足度との相関も強い。しかし、ブレーキ感覚に関しては、満足度が高い結果になっているが、40人中6人が「非常に違和感を感じる」と回答した。

6人のブレーキ挙動をみると後輪ブレーキよりも前輪ブレーキを主に使用している。本CSは速度を後輪に接触しているロードジェネレータの回転数により算出する機構のため、前輪ブレーキレバーを握ってもブレーキが効かない状況である。さらに、被験者が高齢者であったことから走行速度が低く、ロードジェネレータとタイヤの接地圧力で後輪がすぐ停止してしまう場合が多く見受けられた。以上より、ブレーキ挙動モデルを導入による速度の補正の必要性が明らかになった。

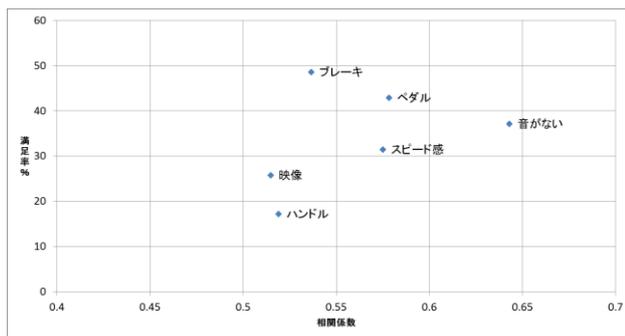


図4.3 CSグラフによる満足度評価

5. CSにおけるブレーキ挙動の再現性向上

5.1 ブレーキ挙動モデルにおける説明変数の検討 制動力に与える要因として、

- ① ブレーキパッド-リム間の摩擦,
- ② タイヤ-路面間の摩擦,
- ③ 転がり抵抗,
- ④ ホイル軸周りフリクション,
- ⑤ 空気抵抗, このうち②タイヤ-路面間の摩擦は、体重が増加すれば値が大きくなるが慣性も同時に大きくなるため相殺されるため体重による制動力の変化は考慮する必要はない。
- ⑥ 転がり抵抗によるエネルギー損失は微小であるためこれは無視可能であると考えた。
- ⑦ ホイル軸周りフリクションは全エネルギー損失のうち1%前後と微小であるため変数として採用しない。

- ⑧ 空気抵抗に関しては本研究の条件では考慮する必要がないことから変数として組み込まない。

5.2 ブレーキ挙動モデルの考え方

前・後輪ブレーキによるエネルギー関係式は以下ようになる(式(1))。前輪ブレーキと後輪ブレーキの摩擦係数を同様にしているため、前輪と後輪の制動力の差異を表現できないモデルであるが、アルゴリズムを簡素化できる。

$$\frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{1}{2}mv_2^2 = xP_1\mu + xP_2\mu \quad \dots (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} v_1 : \text{ブレーキ挙動前走行速度 [km/h]} \\ P_1 : \text{前輪ブレーキ圧力 [kg]} \\ P_2 : \text{後輪ブレーキ圧力 [kg]} \end{array} \right.$$

5.3 ブレーキ挙動モデル化

目的変数にブレーキ挙動後の走行速度、説明変数にブレーキ挙動前走行速度・前輪後輪ブレーキ圧力の合算値・外乱や機械的ノイズ等の計測誤差の影響を定数項として与え、プログラミングの処理過程等を考慮して一般重回帰モデルとして表現する。(式(2))

$$v_2^2(\text{ブレーキ挙動後走行速度}) = \beta_1 + \beta_2 v_1^2 + \beta_3 (P_1 + P_2) \quad \dots (2)$$

5.4 パラメータ推定

実走データは被験者1人が約25[km/h]で走行してから、ブレーキを感覚的に小・中・強、で握った際の、計7回の速度と圧力値を使用する。なお、圧力値に関しては、独自で作成した機構により出力されるデータを用いている。その結果を表5.4に、実測値と推定値を比較した結果を図5.4に示す。走行速度が高速から中速の間では当てはまりが良いといえるが、実走実験で低速のデータが取れなかったことにより低速の推定値の当てはまりが悪い。

表5.4 ブレーキ挙動モデルの推定結果

*5%有意 ***0.1%有意

決定係数	0.857	
観測数	72	
	標準偏帰係数	t値
ブレーキ挙動前走行速度	0.81	9.81***
前後輪圧力合算値	-0.18	-2.13*

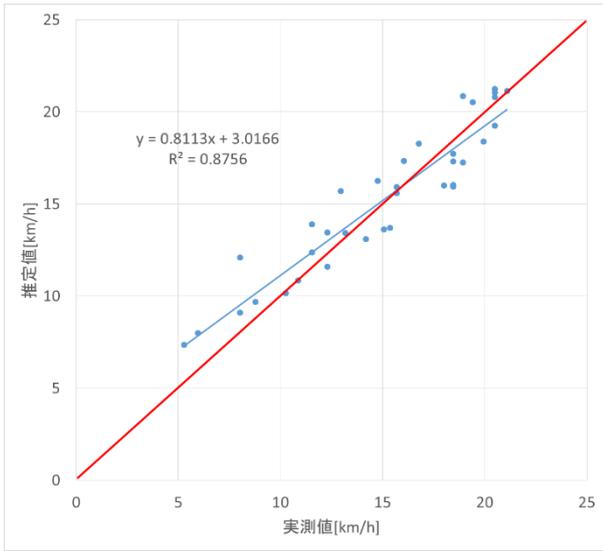


図5.4 推定値-実測値の比較

6. 教育効果検証実験

6.1 実験概要

5.の結果をもとにブレーキ挙動モデルをCSに実装し、前・後輪ブレーキの両方が制動力に反映されたことによる再現性 B)「CS体験している被験者が違和感を感じずに運転することができるか」の検証を行った。また、CSを用いた教育プログラムにおいて重要検討課題である「交通ルールを知っているにも関わらず遵守しない自転車利用者」に対する教育の実現可能性も同時に検証した。被験者は学生27名で行い、実験時のCSのシステム状況は図4.1に示したものに、空走挙動モデル・ブレーキ挙動モデル、さらにヘッドマウントディスプレイを用いて実験を行った。

実験では事前アンケートにより、被験者属性・事故経験の有無・自転車安全教育経験の有無・普段の自転車走行形態の回答を得た。その後CS体験を行い、事後アンケートによりシナリオ内の各種イベントに対する印象・道路交通法に関する知識レベルを○×クイズ形式により回答を得ている。また、シナリオ内のイベントに関して図6.1.2に示した。さらに、7つのイベントを「イベントに対する印象が変化する行動要因」の違いで分類したものを表6.1.1に示す。



図6.1.1 教育効果検証実験の様子

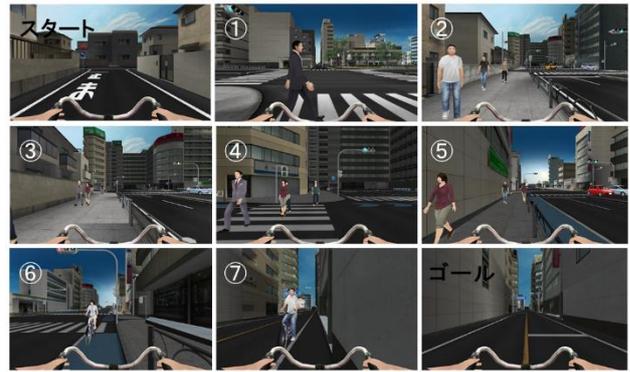


図6.1.2 設定イベント

表6.1.1 行動要因によるイベントの分類

	法令遵守自転車に対して		違反自転車に対して	
	A.走行位置	B.運転方法	C.走行位置	D.運転方法
①	◆ 道路左側を走行する	□ 徐行や一時停止を行う	□ 道路右側を走行	◆ 徐行・一時停止なし
②	◆ 歩道の車道側を走行する	□ 徐行	□ 建物側を走行(歩行者AIによる走行難)	◆ 徐行なし
③	□ 歩道の車道側を走行する	□ 徐行	◆ 建物側を走行	◆ 徐行なし
④	□ 車道を走行する	□ 徐行	◆ 横断歩道上を走行	◆ 徐行なし
⑤	□ 自転車レーンを走行する	□ 徐行	◆ 歩道走行	◆ 徐行なし
⑥	□ 歩道走行する or レーンを順走する	□ 徐行	◆ 逆走	□ 運転方法によらない
⑦	□ 車道左側端を走行する	□ 徐行	◆ 逆走	□ 運転方法によらない

6.2 実験結果

4.で述べたCSを教育に用いる上で検討課題である再現性B)「CS体験している被験者が違和感を感じずに運転することができる」に関して、前輪ブレーキを主に使用する被験者5名によるCSブレーキに対する五段階評価は、平均3.4となり、一定程度再現性B)を向上させることができた。

3.1で述べた、受講者の「交通ルールを知っているが遵守しない」という挙動を検出することに関して、その結果を図6.2に示した。アンケートにより回答を得た普段の走行位置が白斜線、パーセンテージがCS仮想シナリオ内の走行位置である。走行経路にも影響されるが、横断歩道内の走行位置以外は普段と同様な走行位置をとっていることから、3.1で述べた「教育を受けている」というバイアスに影響されずに普段同様な走行挙動をCS上でも観測可能であるといえる。また、受講者の「交通ルールを知っているが遵守しない」という挙動を検出に関しては、左上から順に、一時停止標識のある道路での一時不停止違反で59%、停止線のない道路での一時不停止違反で33%、横断歩道における歩行者等の優先違反で20%、路側帯のある道路での通行区分違反で33%、検出できた。

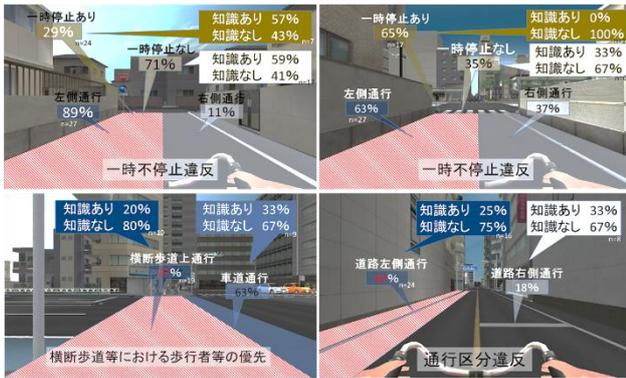


図6.2 CSシナリオ上での挙動分析結果

7. おわりに

本研究では、「交通ルールを知っているが遵守しない」自転車利用者に対するCSを用いた教育手法の検証と、CSブレーキ挙動の再現性を検証した。その際、違和感のないブレーキ挙動を再現することができたことで、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」違反挙動を抽出することが出来た。また、「ルールを知っているが遵守しない」自転車利用者は走行位置に関しては遵守するが、一時停止を遵守しない傾向にあることから、走行位置によらない違反項目

を教育対象として扱うことが良いことが明らかとなった。ブレーキ挙動の再現性に関しては、ブレーキによる細かい速度調整が出来ないことで違和感を覚える被験者がいることから、モデル推定に用いるデータの精度向上が課題である。

<参考文献>

- 1) 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, 2012
- 2) 松村・新田・伊藤;「自転車ヒヤリ地図」による態度・交通行動変容効果の実証的研究. 土木計画学研究発表会・講演集, vol. 29, CD-ROM, 2004.
- 3) 上田・吉田・春藤・日野;中学生の自転車利用安全意識と教育効果に関する事例的研究. 平成22年度土木学会関西支部年次学術講演会, pp. 21
- 4) 吉村・和田・三寺;自転車走行時における交通ルールの遵守実態 一大都市と地方都市の比較を通して. 土木計画学研究発表会・講演集 vol. 45