



運転適性判断のための低コストかつ高臨場な球面体モーションベースを用いた VR ドライビングシミュレータの提案

伊藤拓親¹⁾, 齊藤充行¹⁾, 小林康秀¹⁾, 脇田 航¹⁾

1) 広島市立大学大学院 (〒731-3194 広島市安佐南区大塚東 3-4-1)

概要: 近年, 高齢化が急速に進み高齢運転者の講習が増加している. 講習では, 教官の付き添いのものと講習場内の道路を走行しており, 危険行為など項目別で運転適性を判断している. しかし, 高齢運転者の増加により, 教官の人員不足や時間的コストが問題となっている. 本研究では, 講習にかかる負担を軽減し, 一般道に近い路上走行を再現するために, 低コストかつ高臨場に運転適性を判断可能な VR ドライビングシミュレータの実現を目指す.

キーワード: VR 応用, ロコモーションインターフェース, ドライビングシミュレータ

1. はじめに

近年, 少子高齢化により, 高齢運転者数が増加し, 高齢運転者による死亡事故も多発している. こうした高齢運転者の事故の要因には, 加齢に伴う身体能力の低下, 認知症の発症が関係していることが明らかになっている[1].

そのため, 日本では高齢運転者に対して医師の診断や高齢者講習を行い, それぞれの高齢運転者の特性に応じた対策が施されている[2]. 高齢者の 75 歳以上を対象に, まず自動車教習所で簡単な認知機能検査が行われる. これは, 簡単な検査で記憶力・判断力の状態を確認するために行われ, 記憶力・判断力が低い場合は医師の診断が必要となり, 記憶力・判断力に心配がなければ, 教習所で座学・運転適性検査と実車走行があり, 2, 3 時間の講習を受講することになっている.

しかしながら, 高齢化の進展による受講者の増加し, 医師への負担や教習所の教官の負担が大きい. また, 講習の待ち期間も長期化している[2]. そのため, 高齢者講習の受講に係る負担の軽減に向けた取り組みが必要となっている. その講習の中でも, 実車走行での講習には一人の受講者に対し, 教官が一人付き添わなければならない. また, 実車走行は普段運転する路上ではなく, 教習所内の道路を運転することになっているため, 普段の運転とは差異が生じる. そこで, 教官の負担も減らし, かつ実車でなくても路上で運転できることが可能なドライビングシミュレータを実用できないかと考える. しかし, 従

来のドライビングシミュレータは簡易なものか大型の広大な敷地を有するもので, 講習では簡易なものが使用されているため, 運転適性を判断する材料までには使われていない.

本研究では, 講習にかかる負担を軽減し, 一般道に近い路上走行を再現するために, 低コストかつ高臨場に運転適性を判断可能な VR ドライビングシミュレータを構築し, 運転適性判断するシステムを目指す. 具体的には, コストが少ない低自由度のモーションベースを用いて, エンジンや路面状態における振動, 加速・減速による慣性力, 右左折による遠心力, 障害物衝突による衝撃を体感可能にするドライビングシミュレータを構築する. 運転適性判断には, 教習所の教官が判断することになっているアクセル・ブレーキの基本操作, ウィンカーの合図, 後方確認, 左右の安全確認, 一時停止の有無を判定するシステムを構築するため, アクセル・ブレーキの踏み間違えの判定やウィンカー操作の有無, 視線方向から後方・左右の確認の有無, 一時停止の有無を判定するシステムを構築する.

2. 関連研究

これまでのドライビングシミュレータには, 小規模なものでは, ゲーム用ハンドルコントローラとペダル, 液晶モニターで構成されており, 免許取得時や更新時などで利用されている. しかしながら, 簡単なシミュレーションであるため, 平面 Display による視覚情報の限界, 車の発進時や後退時における慣性力, 道路走行中の振動などが実車で運転との差異が大きく臨場感に欠けている[3]. 大規模なものでは, トヨタ自動車のドライビングシミ

Takumi ITO, Mitsuyuki SAITO, Yshide Kobayashi
and Wataru Wakita

ュレータ[4]がある。実車に近い車とモーションベース、大型スクリーンを用いて、シミュレーションが可能となっている。また、原口ら[5]のドライビングシミュレータでは、モーションベースとVR技術である大型5面型スクリーンを用いている。これらのドライビングシミュレータは、小規模のドライビングシミュレータとは異なり、実車の周りをスクリーンで囲むことで360度視野が広がり、車の発進時や後退時における慣性力、道路走行中の振動などがアクチュエータで構成された6軸モーションベースにより、人間の知覚特性を利用しながらドライバーに疑似的に与えられている。しかしながら、6軸モーションベースは機材が大きく、高価であるため、凡庸的に用いることが難しく、講習所に多数設置することができない。

高齢運転者の運転特性を判断するために、中野ら[6]が運転中に認知能力を判断する研究をしているが、模擬映像を見ながら黒丸を確認できたかどうかを測定しているため、実際の運転時に見ているものとは異なる。また、車両の慣性力、遠心力、振動が与えられてはいない。また、二瓶ら[7]は運転能力評価システムを開発し、高齢者の操作特性が有意に低いことなどが明らかになったが、デスクトップ上の簡易的なシミュレータで、ゲーム感覚で行える操作となっている。

3. VRドライビングシミュレータ

研究の低コストかつ高臨場なドライビングシミュレータの構築のために、構造が簡単で比較的安価な2自由度のモーションベースを用いる。使用するモーションベースは、球面体を中心に左右のアクチュエータを伸縮させることで、Roll方向、Pitch方向に-15~15deg傾斜させることが可能となっている。また、一般道に近い道路構築のため、UnrealEngine4を用いて制作する。



図1：球面体を利用したモーションベース

今回は、慣性力と遠心力をモーションベースで提示する方法に関して述べる。提示手法には、低自由度のモーションベースでも類似的に与える早川ら[8]の手法も用い、重力の分力と傾斜時の反力の合力によって提示することとする。

3.1 回転中心の移動

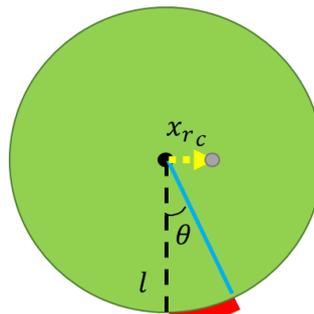
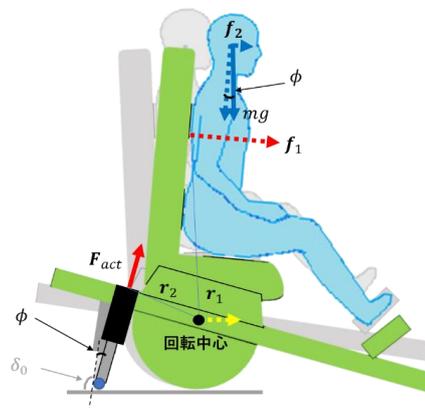


図2：回転中心の移動距離（x軸方向）

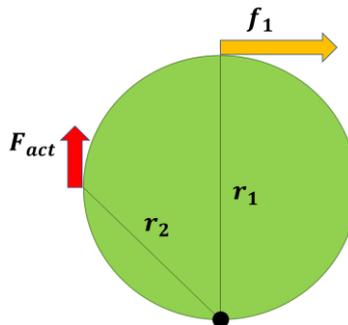
使用する2自由度モーションベースは、アクチュエータを伸縮させることにより、球面体が転がる仕組みになっているため、回転中心が移動する。モーションベースを一つの球面として考え、回転中心の移動距離 $r_c = (x_{rc}, y_{rc}, z_{rc})$ は、球面体の半径 $l[m]$ 、モーションベースの傾斜角度（Roll方向、Pitch方向、Yaw方向） $d = (\theta, \phi, \psi)[deg]$ として移動距離を求める。x軸方向の移動距離を求めるには、図2のように考える。y軸、x軸方向でも同様に求める。

$$r_c = 2\pi l \times d \times \frac{1}{360} \quad (1)$$

3.2 慣性力・遠心力の提示手法



(a)モーションベース



(b)慣性モーメント

図3：慣性力の提示

慣性力および遠心力を2軸モーションベースを用いて

提示させるには、前節で述べたように、重力の分力と傾斜時の反力を用いて提示する。

慣性力の提示を考えると、図 3(a)のようになる。慣性力 F_l [N]として、初期角度 δ_0 [deg]、移動体の質量 m [kg]、重力加速度 g [m/s²]、アクチュエータの力 F_{act} [N]、モーションベースの傾斜角度 $\mathbf{d} = (\theta, \phi, \psi)$ [deg]、回転軸から人の重心までの距離 $\mathbf{r}_1 = (r_1x \ r_1y \ r_1z)$ [m]、回転軸から接合部分までの距離 $\mathbf{r}_2 = (r_2x \ r_2y \ r_2z)$ [m]、モーションベースの傾斜時にかかる反力 \mathbf{f}_1 [N]とする。重力の分力 \mathbf{f}_2 は、

$$\mathbf{f}_2 = \begin{pmatrix} f_{2x} \\ f_{2y} \\ f_{2z} \end{pmatrix} = mg \begin{pmatrix} \sin\phi \\ 0 \\ -\cos\phi \end{pmatrix} \quad (2)$$

となる。

傾斜時にかかる反力 \mathbf{f}_1 は、モーションベースを一つの球面として考えて、図 3(b)のようにすると慣性モーメント l が

$$l = F_{act} \cdot r_2 \quad (3)$$

$$l = \mathbf{f}_1 \cdot \mathbf{r}_1 \quad (4)$$

となり、慣性モーメントは一定であるため、

$$\mathbf{f}_1 = l r_1^{-1} = (F_{act} \cdot r_2) r_1^{-1} \quad (5)$$

となる。よって、

$$\begin{aligned} \mathbf{F}_l &= \begin{pmatrix} F_{lx} \\ F_{ly} \\ F_{lz} \end{pmatrix} = \mathbf{f}_2 + \mathbf{f}_1 \\ &= mg \begin{pmatrix} \sin\phi \\ 0 \\ -\cos\phi \end{pmatrix} + (F_{act} \cdot r_2) r_1^{-1} \end{aligned} \quad (6)$$

となる。

次に、遠心力の提示を考えると、図 4 のようになる。遠心力 \mathbf{F}_c [N]、二つのアクチュエータの力 \mathbf{F}_{act1} [N]、 \mathbf{F}_{act2} [N]として、慣性力と同様に関係式を導き出す。

$$\mathbf{f}_2 = \begin{pmatrix} f_{2x} \\ f_{2y} \\ f_{2z} \end{pmatrix} = mg \begin{pmatrix} \sin\theta \\ 0 \\ -\cos\theta \end{pmatrix} \quad (7)$$

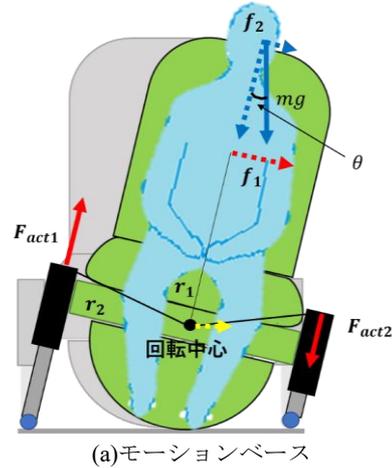
反力 \mathbf{f}_1 も図 6 より、

$$\mathbf{f}_1 = l r_1^{-1} = (F_{act1} + F_{act2}) \cdot r_2 r_1^{-1} \quad (8)$$

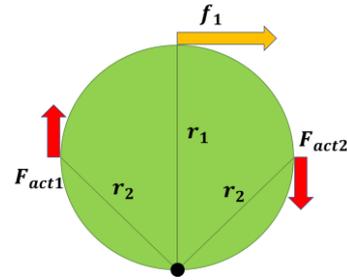
となる。よって

$$\begin{aligned} \mathbf{F}_c &= \begin{pmatrix} F_{cx} \\ F_{cy} \\ F_{cz} \end{pmatrix} = \mathbf{f}_2 + \mathbf{f}_1 \\ &= mg \begin{pmatrix} \sin\theta \\ 0 \\ -\cos\theta \end{pmatrix} + (F_{act1} + F_{act2}) \cdot r_2 r_1^{-1} \end{aligned} \quad (9)$$

となる。



(a)モーションベース



(b)慣性モーメント

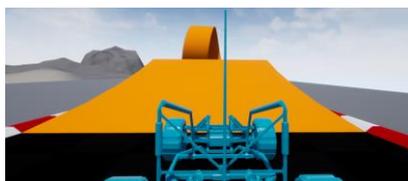
図 4：遠心力の提示

導き出した関係式(6), (9)を用いて、モーションベースの傾斜角度 \mathbf{d} を求めていく。

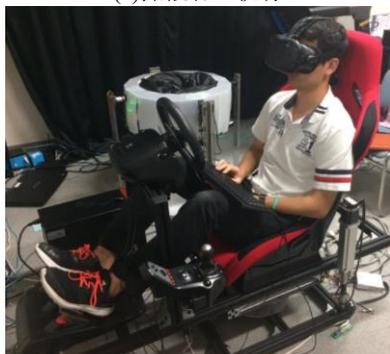
4. 実装結果

一般道に近い環境を VR 空間で作成するために、Unreal Engine 4 のサンプルプログラムのバギー(Vehicle)を用いる。バギーの姿勢角度に合わせて、球面体を用いた 2 軸モーションベースが動作することを確認する。今回は、バギーが平面を走行している時、坂道を走行している時、縁石に乗り上げている時のモーションベースの傾斜を確認する。

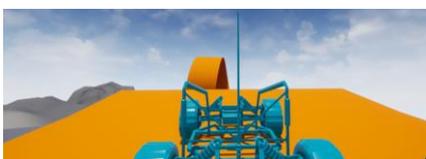
図 5 にバギーが平面にいるときの画像とモーションベースを示す。この時の角度 ϕ は 0.058562 deg、角度 θ は -0.001761 deg となった。また、図 6 にバギーが坂道にいるときの画像とモーションベースを示す。この時の角度 ϕ は -13.000000 deg、角度 θ は -2.948822 deg となった。また、図 7 にバギーが縁石に乗り上げているときの画像とモーションベースを示す。この時の角度 ϕ は -2.402574 deg、角度 θ は 13.000000 deg となった。



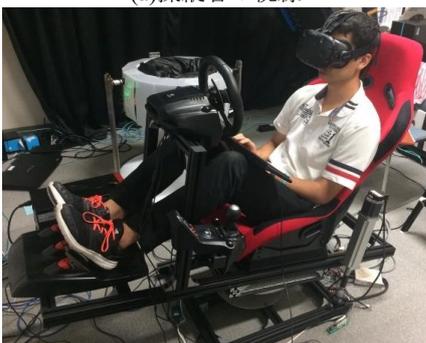
(a) 操縦者の視線



(b) モーションベースの状態
図 5 バギーが平面にいる時



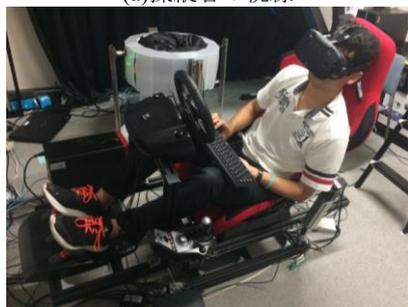
(a) 操縦者の視線



(b) モーションベースの状態
図 6 バギーが坂道にいる時



(a) 操縦者の視線



(b) モーションベースの状態
図 7 バギーが縁石に乗り上げた時

5. まとめ

本研究では、講習にかかる負担を軽減し、一般道に近い路上走行を再現するために、低コストかつ高臨場に運転適性を判断可能な VR ドライビングシミュレータを構築し、運転適性判断するシステムを目指す。今回は、低コストかつ高臨場なドライビングシミュレータの構築のために、構造が簡単で比較的安価な 2 自由度のモーションベースを用いて、重力の分力と傾斜時の反力の合力によって、慣性力と遠心力を提示することを提案した。現在、Unreal Engine 4 のサンプルプログラムであるバギーの姿勢角度に合わせて傾斜することが可能となっている。今後、提案した手法で慣性力および遠心力を提示していき、評価実験を行っていく。本システムにより低コストで VR ドライビングシミュレータを構築することに期待できる。

参考文献

- [1] 小竹元基・細川崇・宇治信孝・鎌田実, 「高齢運転者の運転特性とその背景要因に関する研究」日本機械学会論文集 C, 71 巻, No.04, 124-131, 709 号, 2005.
- [2] 「高齢運転者交通事故防止対策に関する提言」, 高齢運転者交通事故防止対策に関する有権者会議, 2017.
- [3] 坂野輝雄, 「交通安全の現在 シミュレータによる運転者教育の現状と展望」, 国際交通安全学会誌, Vol.27, No.1, 2001.
- [4] 久保 智史・佐藤 桂・竹中 邦夫・林 隆三・ラクシン チャランサク ポンサトーン・永井 正夫・佐々木 和也・米川隆, 「現実感の高いドライビングシミュレータを用いた車線変更行動改善支援手法の有効性検証」, 自動車技術会論文集, 43 巻, 2 号, p.611-617, 2012.
- [5] 玄葉誠・原口哲之理・青木宏文・田中貴紘, 「大型 5 面立体視ドライビングシミュレータによる人間自動車系の研究(第 1 報)」, 自動車技術開論文集, 47 巻, 3 号, p.783-788, 2016.
- [6] 中野倫明・山本新, 「運転者の知覚・認知能力の診断と補償 3. 運転者の認知能力の診断技術」, 映像メディア学会誌, Vol.61, No.12, pp.1630-1696, 2007.
- [7] 二瓶美里, 小竹元基, 鎌田実, 「高齢者の認知特性を考慮した運転能力評価システムの開発」, 日本機械学会論文集 C 編, 77 巻, 784 号, pp.4591-4604, 2011
- [8] Tatsuya Hayakawa, Daijiro Yoshimura, Mitsuyuki Saito, Yasuhide Kobayashi, and Wataru Wakita, "A High Immersive Telexistence System of the Moving Object with Full Circumference Image and Inertial Force Presentation," Electrical Engineering in Japan, Vol.203, No.2, pp.29--38, Jan. 2018.