ゲームエンジンを用いた
協調型ドライビングシミュレータの開発

川合　康央[1]・松本　修一[2]

[1]非会員　文教大学教授　情報学部情報システム学科（〒253-8550 神奈川県茅ケ崎市行谷 1100）
E-mail:kawai@bunkyo.ac.jp

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

本研究は，ゲームエンジンを用い，自動車と自転車の運転環境を融合した協調型ドライビングシミュレータの開発についての報告である．本シミュレータは，リアルタイムな運転環境を仮想空間上で再現するものであり，低コストで安全性の高い走行実験環境として開発を行った．仮想道路環境のモデリングでは，プロシージャルモデラ Houdini による仮想道路環境の自動生成モデリングと，都市モデルオープンデータ PLATEAU による背景モデルを用いた．これらの 3 次元モデルをゲームエンジン Unity に読み込み，車両モデルの制御と各種パラメータの変更が可能なものとすることで，低コストでオープンな環境で開発を行った．本シミュレータは，自動車と自転車の協調操作を一つのシステムで実現し，同一の仮想実験コースでの運転体験を提供するものである．

Key Words: *Driving simulation, bicycle, intersection, game engine, virtual reality*

1. はじめに

本研究は，ゲームエンジンとプロシージャルモデリングを用い，自動車と自転車の運転環境を組み合わせて再現する協調型ドライビングシミュレータの開発についての報告である．ドライビングシミュレータは，仮想的な運転環境を再現することによって，ユーザにリアルタイムでの運転操作を体験可能にするものである．実車での運転に対して，安全性が高く，車両の種類や天候・時間等の外部環境のパラメータ変更が容易であり，またそのコストも低いため，繰り返しての試行が可能となる．

ドライビングシミュレータは，運転技能のトレーニング，車両の設計と評価，交通事故やその安全のための分析などに用いられている．運転技能のトレーニングでは，運転初心者が，運転の基本スキルを学び，安全に運転するための仮想的な経験を積むための環境を提供することが可能である [1]．また，熟練した運転者に対しても，異なる車種や新しい運転方法に適応するためのトレーニングに利用することも可能である [2]．さらに，高齢ドライバに対する運転の安全性について評価することもできる [3]．車両の設計と評価では，新しい運転インタフェースのデザインや機能が，運転者のパフォーマンスや安全にどのように影響するかを評価するためのツールとして利用されている [4,5]．さらに，自動運転車の学習環境や，電気自動車の走行実験などのアルゴリズム開発にも用いられている [6,7]．交通事故やその安全のための分析では，交通サインや交差点のデザインなどの道路環境のデザインや，雪道や夜間などの天候条件などを変更した際に，運転者に与える影響を測定することが可能である [8,9]．また，実際の交通事故の発生環境を再現することで，事故防止に必要な措置について検討することもできる [10,11]．

現在，実験で使用されるドライビングシミュレーターは主として双方向的であり，運転者の操作によって環境が変化するものとなっている．また，情報技術の進歩によって，より高品質なコンピュータグラフィックスによる環境の再現と，より高精度な運転インタフェースデバイスと車両挙動の再現が可能となった．ドライビングシミュレータを用いた走行実験においては，UC-win/Road[12,13,14]や Morai シミュレータ [15]，CarSim[16]等の専用のソフトウェアを使用することが多い．また，Gran Turismo[15]や rFactor[5]，Forest Offroad Driving Simulator[10]等の市販されているドライビングゲームを基盤に，MOD 等を用いて実験に必要な環境を設定したものが用いられた事例もある．

さらに，ドライビングシミュレータで使用される入出力機器も改善されてきた．現在の最も基本的なシミュレーターの構成は，ユーザが椅子に座り，限られた動きの

ステアリングホイールやジョイスティックを使用して，ディスプレイモニターやプロジェクター，HMD（Head Mounted Display）上に投影された仮想空間上の車両を操作するというものである．山口らによる研究用ユニバーサルドライビングシミュレータ [18]は，6 自由度の動揺装置，ターンテーブル機構による駆動装置によって，自動車の運転挙動を高精度に再現したものである．また，8 台のプロジェクタを用いた全方位映像発生装置と左右 2 台のドアミラー用映像発生装置によって，実車運転時に近い視覚環境を提供している．また，ロボティクスを用い，複数のアクチュエータとセンサーを統合した車両モーションシミュレータの開発等も行われている [19].

このようにドライビングシミュレータは，運転者の行動を研究するためのツールであり，実車両での実験が難しい道路環境を仮想的に再現し，安全かつ実用的に仮想道路環境と運転インタフェースを提供するものである．本研究では，ゲームエンジンとプロシージャルモデリングを用い，低コストで拡張性の高い，協調型ドライビングシミュレーターの開発を行うものである．

2. システム開発環境

本システムは，様々な仮想道路環境を整備するため，拡張性の高いゲームエンジンと，プロシージャルモデリング及びオープンデータを活用したドライビングシミュレータとして開発を行った．今回は，自動車と自転車の同時操作がリアルタイムで反映可能な協調型ドライビングシミュレータとして開発を行うこととした．

開発環境として，ゲームエンジン Unity を採用した．Unity は，クロスプラットフォームに対応したコンピュータゲーム等の統合開発環境である．開発言語として，C#による開発が可能であるとともに，モデルや物理計算等の様々な Asset パッケージの利用ができるものである．また，各種形式の 3 次元モデルをインポートすることが可能であり，グラフィックエンジンによるリアルタイムレンダリングが可能である．

仮想実験コースのモデリング制作環境として，3DCG ソフトウェア Houdini を採用した．Houdini は，プロシージャルモデリングが可能であり、プログラミングによる 3 次元モデルの生成によって，手作業によるモデリングと比較して，仮想環境制作の作業効率が高いと考えられる．また，プログラムやパラメータに変更を加えることによって，ベースとなるモデルを基に，モデルの拡張やモデルの形状が変更可能となる．

また，仮想外部環境のモデリングには，オープンデータ PLATEAU を活用した．PLATEAU は，国土交通省が取りまとめている日本全国の 3 次元都市モデルの整備とオープンデータ化を目的としたプロジェクトである．地方自治体の発意に基づき，国土交通省が支援することで整備が進められ，これまでに，132 の都市でデータが整備され，現在も新たに整備が進められている．今回は，テストコースにおける背景建物のモデルとして，PLATEAU を使用することとした．

3. システムの構成と開発

本システムは，自動車と自転車の協調型ドライビングシミュレータとして開発を行った．一台の PC に，ハンドルコントローラを用いた自動車の操作と，サイクリングシミュレータを用いた自転車の操作の二系統で，車両操作の情報を入力する．入力された情報をもとに，仮想実験コース内でそれぞれの車両を移動させるとともに，各車両の運転者からの視点を，ディスプレイや HMD 等の個別に映像出力するものとした（図-1）

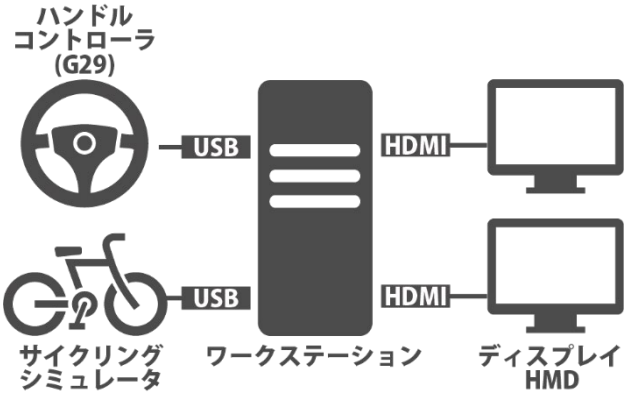


図-1 システムの構成

自動車モデルは，Unity の Standard Asset をベースにカスタマイズして，移動制御を行った．駆動方式は前輪駆動，後輪駆動，四輪駆動を設定可能であり，アクセルやブレーキ操作時のタイヤの回転数や車重による加減速，路面状況に対するサスペンションやトルクの値等を再現可能である．また，ハンドルの回転角に対する車両制御について，ハンドルコントローラの精度をもとに調節を行うことができる．車両モデルとともに，タイヤにもコライダを設置し，路面状況を受け取り，車両制動を反映させることとした．本仮想実験コースは，日本国内を想定しているため，車両モデルは右ハンドルのものとし，車内のモデリングを行った．また，運転手からの視点として，車内に仮想カメラを設置した．さらに，車内のサイドミラーとバックミラーの位置にも仮想カメラを配置し，これらのカメラ視点から見える映像を，ミラー設置面にリアルタイムで反映させるマテリアルを設定し，これらを再現した．HMD と連動することで，回頭行動により車内からの道路状況の確認行動を再現することが可能となる（図-2）．



図-2　自動車モデル運転席からの視点

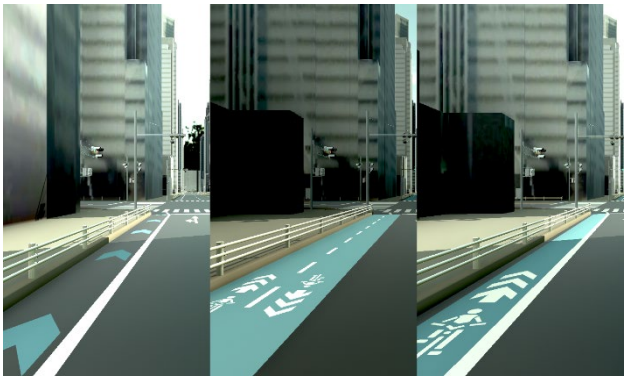


図-4　自転車専用道路モデルのパターン

自転車モデルは，車両モデルとして Unity Asset を利用した．サイクリングシミュレータと連携し，ハンドルによる進行方向の操作とともに，タイヤの回転数から速度を取得することとし，ペダルを漕ぐことで加速し，ブレーキにより減速するものとした．自転車モデルにも，車両，車輪，運転者にコライダを設け，接触処理を行うこととした．また，運転者の視点に仮想カメラを設置した（図-3）．それぞれの車両による運転者からの視点画面をデュアルディスプレイとして出力し，同一の PC 上での協調型シミュレータとして開発を行った．各車両の走行位置について，ログデータを取得するものとした．

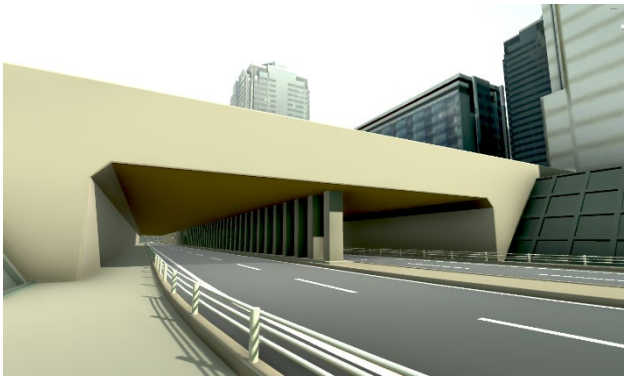


図-5　トンネル

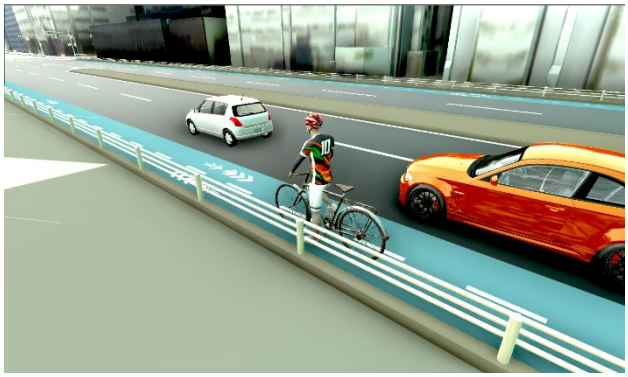


図-3　自転車モデル

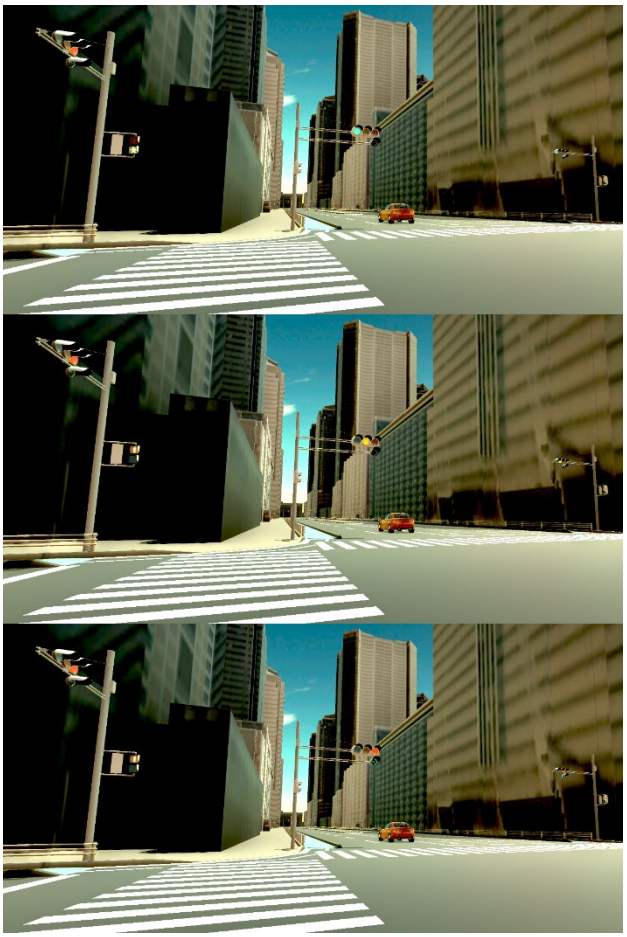


図-6　自動車及び歩行者用信号機

実験用道路モデリングを，Houdini を用いたプロシージャルモデリングで行った．基盤となる道路パターンや交差点等の 3 次元モデルを作成し，道路のパスを用意することで，歩道，車道とともに，パターンの異なる各種自転車専用道（図-4）やガードレール・縁石等を生成した．これらは，パラメータを変更することによって，道路幅員や自転車道の種類等を変更可能なものである．

仮想実験コースとして，各種自転車専用道モデルを作成した．また，交差点，合流，トンネル（図-5）などの作成を行い，交差点モデルでは，自動車用と歩行者用の信号機モデルを設置した．また，歩行者モデルと他車両モデルとして，あらかじめ設定したスプラインに沿って移動する NPC（Non Player Character）モデルを用意した．

背景となる建物モデルとしては，PLATEAU のオープンデータを使用した．今回のシステムでは，モデル詳細度として LOD2 のモデルを流用し，簡易軽量ではあるがテクスチャのある建物モデルを道路に沿って配置した．建物など背景となる要素は，運転操作において主たる注視点となるものではないため，LOD2 でも問題がないと考えられるが，今後，LOD3 モデルやフォトグラメトリなどによる実空間測量データの活用も検討している．

また，自動車用及び歩行者用信号機の設置を行った．これらは，一定の時間で切り替わるものとした．歩行者信号が先に点滅し赤色になった後，自動車用信号は青色から黄色へと変化し，赤色と右折信号が点灯され，その後再度，黄色表示を経て赤信号となる（図-6）．信号機の制御は，実験環境に応じた設定も可能なものとなっている．また，今後自転車用信号モデルを制作し，配置箇所を変更可能なものとしていく．さらに，信号や交通流に基づいて自律的に移動する自動車や自転車などの他車両と歩行者の再現を一部行った．実験環境の設定に応じて，これらのモデルの動きを設定していく．

4. まとめ

本システムは，ゲームエンジンを用い，低コストで一定程度の仮想道路環境の再現性を有した，自動車と自転車の協調型ドライブシミュレータの開発を行ったものである．今後，シミュレーション実験を行い，他のシミュレータや実環境での実験結果と比較するとともに，本シミュレータの課題抽出を行っていく．

また，昼夜間などの時間変化，天候条件の設定を行うこととする．さらに，背景となる外部環境モデルとして，実空間計測に基づいたフォトグラメトリや LiDAR の活用によるモデル開発についても検証を進め，より再現度の高い走行実験に必要な品質のモデルの作成と，ドライブシミュレータとしての汎用化を進めていく．

謝辞：本研究は，国土交通省道路局新道路技術会議の技術研究開発制度により，国土交通省国土技術政策総合研究所の委託研究「車道基本の自転車通行環境整備による交通事故特性と新たな道路交通安全改善策に関する研究開発」及び文教大学大学院情報学研究科共同研究費の助成を受けたものです．

参考文献

1) Chan, E., Pradhan, A. K., Pollatsek, A., Knodler, M. A., and Fisher, D. L.: Are driving simulators effective tools for evaluating novice drivers' hazard anticipation, speed management, and attention maintenance skills?, Transportation research part F: traffic psychology and behaviour, Vol.13, No. 5, pp.343-353, 2010.
2) Sullman, M. J., Dorn, L.,and Niemi, P.: Eco-driving training of professional bus drivers–Does it work?, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol.58, pp.749-759, 2015.
3) Milleville-Pennel, I., and Marquez, S.: Comparison between elderly and young drivers' performances on a driving simulator and self-assessment of their driving attitudes and mastery, Accident Analysis & Prevention, Vol.135, 105317, 2020.
4) Jeong, C., Kim, B., Yu, S., Suh, D., Kim, M., and Suh, M.: In-vehicle display HMI safety evaluation using a driving simulator, International journal of automotive technology, Vol.14, pp.987-992, 2013.
5) Weinberg, G., and Harsham, B.: Developing a low-cost driving simulator for the evaluation of in-vehicle technologies, Proceedings of the 1st International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, pp. 51-54, 2009.
6) Rong, G., et al.: Lgsvl simulator: A high fidelity simulator for autonomous driving, 2020 IEEE 23rd International conference on intelligent transportation systems, pp. 1-6, 2020.
7) Van Mierlo, J., Van den Bossche, P., and Maggetto, G.: Models of energy sources for EV and HEV: fuel cells, batteries, ultracapacitors, flywheels and engine-generators, Journal of power sources, Vol.128, No.1, pp.76-89, 2004.
8) Rossi, R., Meneguzzer, C., Orsini, F., and Gastaldi, M.: Gap-acceptance behavior at roundabouts: Validation of a driving simulator environment using field observations, Transportation research procedia, Vol47, pp.27-34, 2020.
9) Zolali, M., Mirbaha, B., Layegh, M., and Behnood, H. R.: A behavioral model of drivers' mean speed influenced by weather conditions, road geometry, and driver characteristics using a driving simulator study, Advances in civil engineering, Vol.2021, pp.1-18, 2021.
10) Papantoniou, P., Yannis, G., and Christofa, E.: Which factors lead to driving errors? A structural equation model analysis through a driving simulator experiment, IATSS research, Vol.43, No.1, pp.44-50, 2019.
11) Ali, Y., Sharma, A., Haque, M. M., Zheng, Z., and Saifuzzaman, M.: The impact of the connected environment on driving behavior and safety: A driving simulator study, Accident Analysis & Prevention, Vol.144, 105643, 2020.
12) 萩原亨, 杉谷慧, 加藤佑基, 遠藤幹大, 大廣智則：ドライビングシミュレータを用いた ACC 利用時の冬期路面におけるドライバのオーバーライドに関する研究. 自動車技術会論文集, Vol.50, No.4, pp.1095-1101, 2019.
13) Li, W., Zhang, H., Ni, D., Wang, Z., and Xiao, Y.: The Effect of Driver Fatigue on Takeover Reaction Time under Human-Machine Co-Driving. 7th International Conference on Transportation Information and Safety, pp. 1672-1677, 2023.
14) Huang, Z., Xu, J., Qin, X., Liu, Y., and Sheng, Q.: Study on the Influence of Anti-Slipping Layer Color on Driving Safety at the Tunnel Entrance, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 526, No. 1, p. 012214, 2020.

15) Park, C., and Kee, S. C.: Online local path planning on the campus environment for autonomous driving considering road constraints and multiple obstacles, Applied Sciences, Vol.11, No.9, 3909, 2021.
16) Dupuy, S., Egges, A., Legendre, V.,and Nugues, P.: Generating a 3D simulation of a car accident from a written description in natural language: The Carsim system, arXiv preprint cs/0105023, 2001.
17) 妹尾卓磨，河本献太：高精度レーシングシミュレータへの深層強化学習の応用: Gran Turismo Sophy，人工知能,Vol.38, No.5, pp.628-636, 2023.
18) 山口大助, 須田義大, 大貫正明, 織田利彦, 石川裕記, 小田崇徳：ユニバーサルドライビングシミュレータの臨場感向上の取り組み. 生産研究, Vol.60, No.4, pp.374-378, 2008.
19) Ghafarian, M., Watson, M., Mohajer, N., Nahavandi, D., Kebria, P. M., and Mohamed, S.: A Review of Dynamic Vehicular Motion Simulators: Systems and Algorithms. IEEE Access, vol.11, p.36331 - 36348 2023.

Development of a Cooperative Driving Simulator Using a Game Engine

Yasuo KAWAI and Shuichi MATSUMOTO

This study reports on the development of a cooperative driving simulator that combines the driving environment of a car and a bicycle using a game engine. This simulator reproduces a real-time driving environment in a virtual space and was developed as a low-cost and safe driving experiment environment. For the modeling of the virtual road environment, we used automatically generated modeling of the virtual road environment using the procedural modeler Houdini and a background model using the open data urban model PLATEAU. These 3D models were loaded into the Unity game engine to enable control of the vehicle models and modification of various parameters. This simulator realizes the cooperative operation of a car and a bicycle in a single system and provides a driving experience on the same virtual experimental course.