

## 没入ドライビングシミュレータでの狭路運転行動観察

## Observation of Driving Behavior on Narrow Road in an Immersive Car Driving Simulator

立山義祐 (慶大院)

山田純嗣 (慶大院)

野寄純平 (慶大院)

山本敬一 (東工大)

Yoshisuke Tateyama, Keio  
University

Junji Yamada, Keio University

Junpei Noyori, Keio University

Keiichi Yamamoto, Tokyo Institute  
of Technology糸田佳奈 (東京海上日動  
RC)北村憲康 (東京海上日動  
RC)

西村秀和 (慶大院)

小木哲朗 (慶大院)

Kana Kumeta, Tokio Marin &  
Nichido Risk ConsultingNoriyasu Kitamura, Tokio Marin &  
Nichido Risk ConsultingHidekazu Nishimura, Keio  
University

Tetsuro Ogi, Keio University

Key Words: *Virtual Reality, Immersive Display, Cave, Car Driving Simulator, Safty Driving*

We have developed an immersive car driving simulator combining an immersive display K-Cave and a car cockpit system with a steering force-feedback feature. An immersive car driving simulator enables a driver to feel distance from the car to objects such as walls, people or another cars, so the driver can operate difficult tasks such as driving along or turning to the narrow road. Experiments for a test subject was carried out to validate the immersive simulator and analyze the driver's behavior.

## 1. 序論

自動車ドライビングシミュレータは、運転者の訓練や運転行動観察に有用である。実車と実際のコースを使った観察実験とは違い、安全に観察が可能である上に、実車実験で正確な計測が困難な車両位置等の詳細なデータを精度良く記録することができる。ただ、シミュレータが運転者に提示しているのは、あくまでもシミュレーションであるので、実物の運転環境とは異なる要素が存在してしまう。特に映像提示に通常の2次元ディスプレイを使ってしまうと、運転者は対象物との距離感が掴めず、狭路運転や障害物回避が不可能となる。

本論文では没入ドライビングシミュレータについて述べる(図1)。没入ドライビングシミュレータとは、映像提示装置として没入ディスプレイ Cave<sup>(1)</sup>を用いて、視覚情報を豊かにしたドライビングシミュレータである。没入ディスプレイを利用すると運転者は距離感を把握することができるので、狭路走行や障害物回避走行が可能となると考えられる。



Fig. 1 A driver was driving in the K-Cave Car Driving Simulator.

開発した没入ドライビングシミュレータにより実際に運転者行動観察実験を行い、狭路運転時の運転行動観察が可能であることを確認した。

## 2. 没入ドライビングシミュレータの構成要素

本研究で開発した没入ドライビングシミュレータは、没入ディスプレイ KCave(図2)と自動車コックピット部を組み合わせている(図3)。比較的近くの物体との距離感を運転者に提示できるので、今までのドライビングシミュレータでは運転が困難だった、狭路走行、見通しが悪い交差点、ぎりぎりの障害物回避等の状況での運転者の運転行動観察が、没入ドライビングシミュレータでは表現可能になることが期待できる。また、視点位置追跡を行っているので、運転者の頭部位置も当然記録できるという利点もある。

KCaveの4面のスクリーンで囲まれた空間の中に配置された自動車コックピット部については山本らの記述<sup>(4)</sup>に詳しい。ここではKCaveとドライビングコースのコンテンツ制作プロセスについて述べる。



Fig. 2 An Immersive Display: K-Cave.

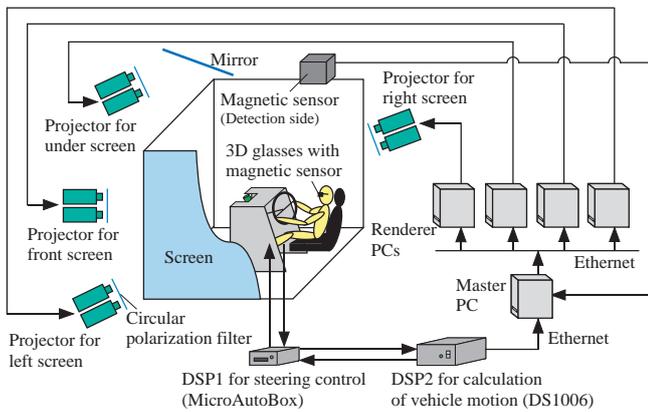


Fig. 3 K-Cave Driving Simulator System.

2-1 没入ディスプレイ: KCave 没入ディスプレイ Cave は、ユーザの視野を被う広視野角スクリーンに両眼立体視（両眼視差提示）と視点位置に応じたりアルタイムの映像生成（運動視差提示）を行う。よって Cave ユーザは、計算機が創り出す世界にあたかも没入したかのような感覚が得られる。

今回我々が開発した没入ドライビングシミュレータの映像提示装置として使用した KCave は、正面、左面、右面、床面の 4 面のスクリーンで構成されている。両眼立体視を実現するためにパッシブの円偏光方式を採用しており、各面に右目用と左目用の液晶プロジェクタが設置されている。使用する 8 台のプロジェクタは全て NEC 社製 NP2150J であり画素数は 1024 ドット × 768 ラインである。パッシブ偏光方式なので、フレームロック機能等の特殊なグラフィックハードウェアを必要としないし、プロジェクタも通常使用される液晶プロジェクタを利用している。

使用する計算機は合計 5 台で、各面につき 1 台の描画用計算機（計 4 台）で右目用と左目用の映像をレンダリングしており、5 台目の制御用計算機で映像内容の同期を実現している。5 台の計算機はギガビットイーサネットを通じて通信している。OS は Linux を利用した。また、ソフトウェアとして OpenCABIN ライブラリ<sup>(2)</sup> を利用することで、複数の描画計算機による単一没入空間映像の提示を実現した。

視点の 3 次元位置、及び 3 自由度姿勢をリアルタイムで計測するために、磁気式位置センサ Ascension Technology 社の Flock of Birds を利用している。Flock of Birds のレーザの一本を円偏光眼鏡に設置し、トランスミッタはユーザの頭上付近に固定されている。Flock of Birds により計測された視点位置情報が RS232C を介して時々刻々制御用計算機に送信される。

2-2 ドライビングコースモデル制作フロー 今回使用したコースは、実在する街をモデルに作成した（図 4）。ドライビングコースの 3D モデルの制作にはデファクトスタンダードな 3D モデラの一つである Autodesk 社の 3ds Max を用いた（図 5）。3ds Max が出力する OBJ ファイルをドライビングシミュレータが読み込み、運転者に提示されるシステムを構成した（図 6）。

一般に 3D モデラは、出力としては 2 次元画像あるいは 2 次元映像しか想定されていない。3D モデラが出力する 3D モデルファイルのファイルフォーマットは非公開であるか、あるいは明確に定義されておらず、2 次元の画像ファイルフォーマットと違って読み込みや書き込み、変換が困難であるのが現状である。例えば Google Sketchup の出力する OBJ ファイルは、3ds Max で読み込んででも正しく表示できない。

今回必要な機能は 3D モデラでテクスチャ付き 3D モデルを生成し、そのモデルを cave で正しく表示する機能である。



Fig. 4 A course model was created based on a real town.



Fig. 5 A course model was created using one of de-facto standard 3D modellers (Autodesk 3ds MAX).



Fig. 6 Created course model was displayed in our immersive car driving simulator.

我々は Autodesk 社 AutoCAD, Google 社 Sketchup, Autodesk 社 3ds Max が出力する 3D モデルファイルを精査し、3ds Max の出力する OBJ ファイルが我々の目的に最も適しているという結論に至った。このコース作成フローの確立により、デファクトスタンダードな 3D モデラ 3ds Max を使える人なら誰でも、没入ドライビングシミュレータ用のコースモデルの制作ができる体制が整った。

作成したコースは、実際の街の 450 m × 350 m の範囲であった（図 7）。

### 3. 没入ドライビングシミュレータによる運転行動観察

ドライビングシミュレータでは、車両運動は計算機による計算によって実現されている。また没入ディスプレイでは利用者の視点位置が磁気式位置センサで計測されている。よって没入ドライビングシミュレータでは、実車実験だと正確な計測が困難だった車両の位置姿勢、運転者の頭の位置姿勢情報を容易に記録することができる。ここでは、車両位置、車両の進行方向、車両速度、ステアリング回転角、



Fig. 7 The course size was about 450 meter × 350m. (この背景地図データは、国土地理院の電子国土 Web システムから配信されたものである。)



Fig. 8 EMR-9 in the K-Cave.

アクセルペダル・ブレーキペダル踏み込み量，運転者の頭部の位置・姿勢を記録する機能を実装した。

また，視点計測装置として株式会社ナックイメージテクノロジー社のモバイル型アイマークレコーダ EMR-9 を利用し，運転者が時々刻々何処を見て運転しているのか，記録した。運転者頭部への EMR-9 の装着と KCave の磁気式位置センサ付き偏光眼鏡の装着が両立することを確認した (図 8)。EMR-9 による視点の記録は，図 9 に示すように，視野カメラの映像に重畳されて記録されていた。

今回の分析で着目したのは狭路右折運転タスクである。図 10 に示すように，自転車としては車幅 1.8m，全長 4.9m の比較的大型の乗用車が設定された。また道路幅は最初の道路が 5.6m と，すれ違いが可能な道路であるものの，右折先の道路は幅 4m であり，実際の現場には電柱や植木の出っ張りもあるので，すれ違いは不可能であった。

運転者として 30 歳台男性が狭路右折運転を行った時のデータを図 11 と図 12 に示す。図 11 は時々刻々のアクセルペダルの踏み込み量，ブレーキペダルの踏み込み量，ステアリング舵角，車速，頭の回転角度，及び自転車の向きを示している。ステアリングを左右に切って障害物を避けた後，右折ポイントで大きくステアリングを切ると同時に自転車の向きが約 90 度回転している様子が読み取れる。また，図 12 は自転車の中心が通った軌跡を示している。障害物を避ける様子や右折の様子が読み取れる。また，本論文に載せるこ



Fig. 9 Driver's view movie recorded by EMR9.

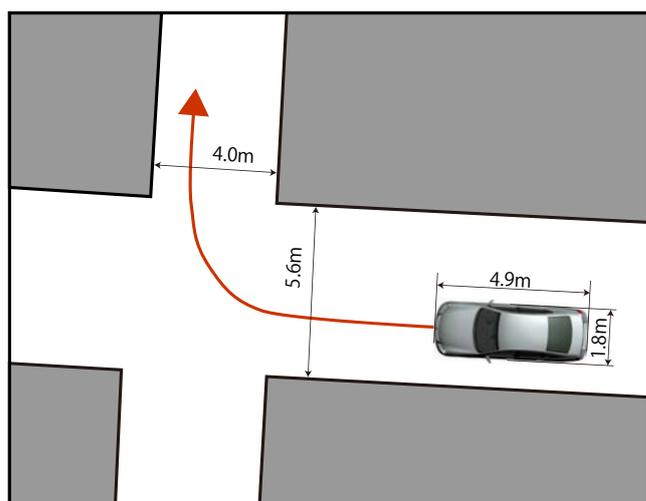


Fig. 10 Dimensions of the narrow crossroad in the test course.

とは難しいが EMR-9 の映像から視点の動きを読み取れた。図 11 からわかるとおり頭が左に回転していないが，視点は左にも向けられていて，左右の距離感を確認しながら狭路右折タスクを完了させていた。

#### 4. 課題と今後の展望

最大の課題としては，シミュレーション酔いの問題が挙げられる。20 歳台の被験者でも 6 名中 1 名，シミュレーション酔いを訴えた。高齢者だと酔いの問題はより顕著であると考えられる。どのようなコンテンツ，どのようなタスクで酔いが発生するのか，あるいは押さえられるのか，調べていきたい。

また，実際に様々な運転環境を実現していきながら運転者の運転行動を観察し，安全な運転のためには何をしていかなければならないのか，調べていきたい。

#### 5. 結論

運転者の運転行動を観測するために没入ドライビングシミュレータを開発した。現実の街の一部をモデルにコースを作成した。実際に運転者に運転してもらい，現実の街に存在する難しい狭路右折タスクが，没入ドライビングシミュレータでも完遂可能であることがわかった。

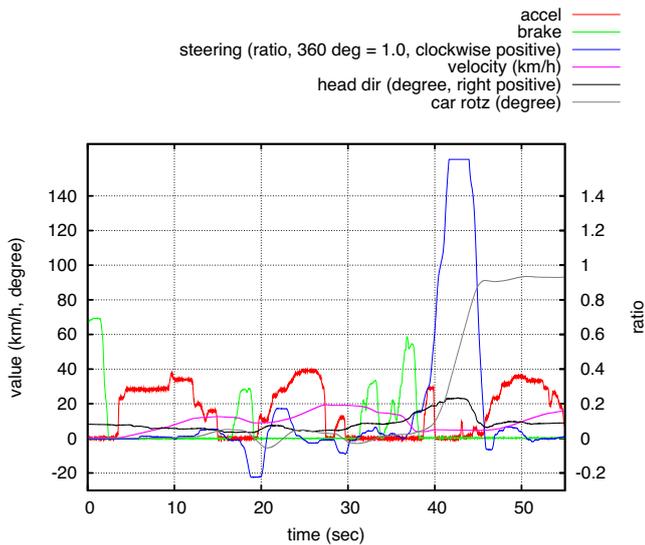


Fig. 11 Measured data of behavior of the driver and the car when the car turned right to the second narrow road in our immersive car driving simulator.

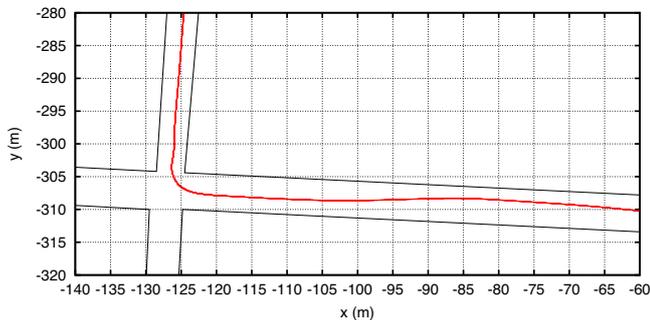


Fig. 12 A recorded trajectory of the center of the virtual car in our immersive car driving simulator.

#### 謝辞

本研究の一部は文部科学省グローバル COE プログラム「環境共生・安全システムデザインの先導拠点」及び科研費 23500154 の助成を受けて遂行されたものである。

#### 参考文献

- (1) C. Cruz-Neira, D.J.Sandin, T.A. DeFanti, Surround-Screen Projection-Based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE, Computer Graphics (Proceedings of SIGGRAPH '93), ACM SIGGRAPH, pp. 135-142, (1993).
- (2) 立山義祐, 谷川智洋, 廣瀬通孝, OpenCABIN ライブラリにおける情報共有機構, 日本バーチャルリアリティ学会第 12 回大会論文集, pp. 424-425, (2007).
- (3) Yoshisuke Tateyama, Hiroki Yamada, Junpei Noyori, Yukihiko Mori, Keiichi Yamamoto, Tetsuro Ogi, Hidekazu Nishimura, Noriyasu Kitamura, Harumi Yashiro: Observation of Drivers' Behavior at Narrow Roads Using Immersive Car Driving Simulator, The 9th ACM SIGGRAPH International Conference on VR Continuum and Its Applications in Industry (VRCAI 2010), pp. 391-395, Seoul, Korea, (2010).
- (4) 山本敬一, 森幸弘, 西村秀和, 立山義祐, 小木哲朗, 北村憲康, 3次元没入型ビークルシミュレータのシステム開発と応用, 日本機会学会 第 19 回交通・物流部門大会講演論文集 TRANSLOG2010, pp. 331-334, (2010).