

## 没入型ドライビングシミュレータを用いたドライバの

### 運転行動分析

山田 純嗣<sup>\*1</sup> 立山 義祐<sup>\*1</sup> 小木 哲朗<sup>\*1</sup> 桑田 佳奈<sup>\*2</sup> 北村 憲康<sup>\*2</sup>

山本 敬一<sup>\*1</sup> 野寄 純平<sup>\*1</sup> 西村 秀和<sup>\*1</sup>

#### Analysis of the driver's action using immersive driving simulator

Junji Yamada<sup>\*1</sup>, Yoshisuke Tateyama<sup>\*1</sup> Tetsuro Ogi<sup>\*1</sup>, Kana Kumeta<sup>\*2</sup>, Noriyasu Kitamura<sup>\*2</sup>,  
Keiichi Yamamoto<sup>\*1</sup>, Junpei Noyori<sup>\*1</sup>, Hidekazu Nishimura<sup>\*1</sup>

**Abstract** - Recently, increase of the car accident by senior citizen driver is a major issue in Japan that has rapidly become aging society. This study aims at developing a immersive driving simulator in which the behaviour of the senior citizen driver can be measured and the safe driving ability can be improved. In order to evaluate the effectiveness of the immersive driving simulator, the driver's behaviours were measured and compared between when he drove a car in the real world and when he operated the simulator.

**Keywords:** Driving simulator, Virtual reality, CAVE, eye tracking

#### 1. はじめに

近年、65歳以上の高齢者ドライバの事故が増加してきている。今後、高齢化の進行に伴い、高齢者ドライバが増加することは大きな社会問題となることが危惧される。そのため、実走行に近い運転状況を仮想世界に再現することで、高齢者ドライバの行動分析や安全教育、さらには予防安全技術の向上に資するドライビングシミュレータの開発が望まれている。

これまでのドライビングシミュレータの開発では、360度の映像を投影するもの[1]や3面スクリーンのもの[2]等、広視野ではあるが、2次元映像を用いていることが多く、ディスプレイに表示される映像の視点位置は固定され、ドライバの視点位置が反映されていない。一般的に高齢者の事故では視覚の老化に伴う距離を把握する深視力や視野の広さの低下が事故の要因として挙げられる。そこで本研究では、ドライバの視点の動きに応じて、投影する立体映像をリアルタイムに変化させることができるインタラクティブな3次元没入型ディスプレイ技術を活用したドライビングシミュレータを開発した[3]。本システムは、これまでのドライビングシミュレータとは異なり、両眼視差、運動視差の効果を利用することで、比較的近くの物体との距離感関係等を分かりやすく表示できるの

が特徴である。そのため、今までのドライビングシミュレータでは表現が困難だった狭路走行、見通しの悪い交差点におけるドライバの運転行動の観察が可能となった。

本論文では視線の動かし方と運転行動に注目して、実車を用いた実験とシミュレータを用いた実験の比較を行うことで、3次元没入型シミュレータの有効性を検証した。

#### 2. 3次元没入型ドライビングシミュレータシステム

走行映像を映し出す3次元没入型ディスプレイとしては、没入型ディスプレイ K-Cave を使用した。K-Cave は、正面スクリーン(2.10m×2.63m)、左右スクリーン(2.10m×2.10m)、床面スクリーン(1.05m×2.63m)から構成され、8台の液晶プロジェクタ(NEC NP2150J)による高精細の立体映像を大画面スクリーンに投影することで、没入感や臨場感の高い仮想空間を生成することができる。床面は、4面のスクリーンで囲まれた空間の中に運転席が配置される。図1に3次元没入型ドライビングシミュレータのシステム構成を示す。ドライバは、磁気センサ(Ascension Flock of Birds)を取り付けた円偏光メガネを着用し、この磁気センサによって、ドライバの視点位置の動きを検出することができる。検出された視点位置は制御用コンピュータに送られ、視点位置に対応した映像がリアルタイムに生成される。映像のレンダリングには、1スクリーンにつき1台ずつ合計4台のコンピュータ(Dell Precision T7400, CPU: Dual Core Xenon 3.33GHZ, NVIDIA Quadro FX3700X2)が使用される。使用したコンピュータのポリゴン表示能力は、おおよそ2.5億/秒である。レンダリン

\*1: 慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科

\*2: 東京海上日動リスクコンサルティング株式会社

\*1: Graduate school of system design and management, Keio University

\*2: Tokio Marine & Nichido Risk Consulting Co., Ltd.

グされた映像は、液晶プロジェクタから円偏光フィルタを通して、正面、左右のスクリーンは背後から、床面スクリーンは、天井のミラーを介して頭上から投影する仕組みとなっている。スクリーン1面に対して、左目用と右目用の映像に2台ずつのプロジェクタを使用する。利用者が3Dメガネをかけて運転席に座ると、図2に示すように視野全体に立体映像が広がって見える。運転席前方には自動車のボンネットが、左右にはサイドミラーが表示され、アクセルを踏み発進すると、視野全体に広がる映像が後ろに流れていき、高い没入感と臨場感の中で運転することが可能となる。

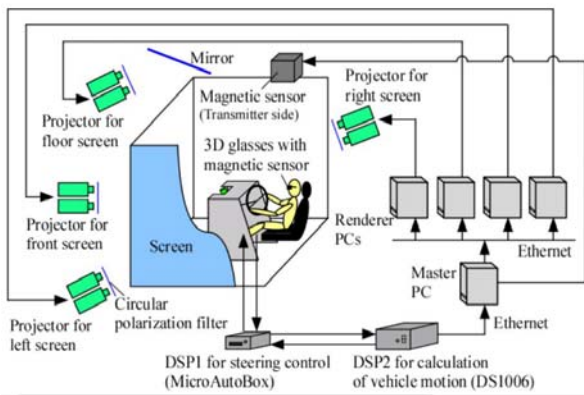


図1 CAVE ドライビングシミュレータの構成



図2 CAVE ドライビングシミュレータ

### 3. 実験方法

#### 3.1 コース設定

本研究では、開発した没入型ドライビングシミュレータの有効性を評価するため、実車運転時とシミュレータ操作時のドライバーの運転行動と視線の動きの比較実験を行った。コースとしては、実際に存在する横浜市日吉駅周辺のコースを設定した。このコースにおいて、高齢者ドライバーの運転行動を分析するのに適したチェックポイント1、2を設定した。

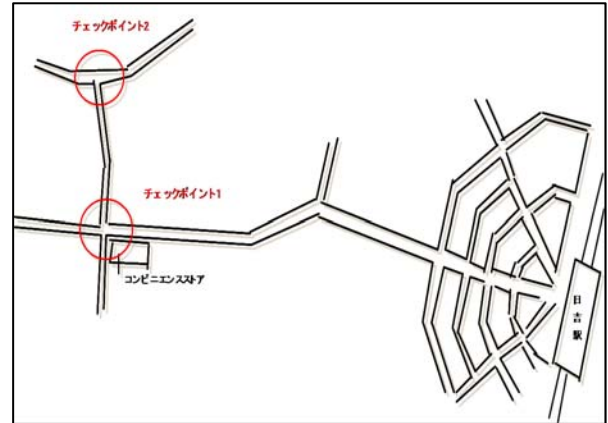


図3 コースとチェックポイント

今回は、没入型ドライビングシミュレータそのものの評価が目的であるため、チェックポイント1とチェックポイント2についてシミュレータの街と実際の街を30代男性の一般ドライバーに走行してもらった。なお、シミュレータでは、事前に走行練習を行ってシミュレータの操作に慣れてもらってから実験を行った。

#### 3.2 チェックポイント1

チェックポイント1は、図4のようにコンビニエンスストアがある交差点を狭路へ右折する場面である。右折する先は道幅が狭く、車両と両サイドの壁の間隔が非常に狭くなることによって、ドライバの注意深い運転行動が必要とされる。



図4 チェックポイント1



図5 シミュレータ上のチェックポイント1

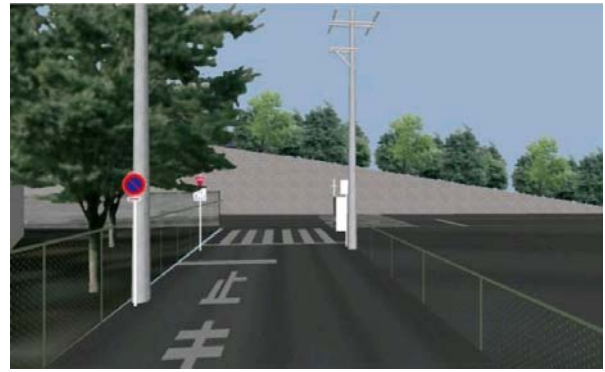


図6 シミュレータの障害物

### 3.3 チェックポイント2

チェックポイント2は、図7のように見通しの悪い丁字路を右折する場面である。この丁字路は左方の見通しが悪く、一時停止が義務付けられていて、右方と左方からの侵入車の十分な確認が必要とされる。

図8はシミュレータ上での場面を示したものである。



図7 チェックポイント2

図8 シミュレータ上のチェックポイント2

### 3.4 視線計測及び運転行動計測

ドライバの視線計測は、EMR-9(ナックイメージテクノロジー株式会社)を用いて行った。使用したEMR-9は、図9のような帽子型のヘッドユニットに装着された瞳孔/角膜反射方式を用いた眼球運動計測装置である。本装置で計測された眼球運動は、図10のように左目と右目の視線の位置とその値から演算によって両目の視線の位置として映像上に表示され、記録される。



図9 EMR-9と円偏光メガネ



図10 視線計測映像

またドライバの運転行動計測のために、ビデオカメラによる撮影を行った。実写の場合はビデオカメラを図11のように配置し、車の横方向の風景とドライバの正面、の記録を行った。これらの映像は視線計測映像と同期をとることで、ドライバの行動や注視点の分析を行うこと

ができる。図 12 はビデオ映像の動きをとった評価映像を示したものである。



図 11 車の横方向のカメラとドライバ正面のカメラ



図 12 全てのカメラの同期をとった映像

本実験では、この同期映像をもとにタグ付け法により、ドライバの行動分析を行った。この方法では、同期映像から視線の対象、時間（開始、終了、停留）、ハンドル操作、視線移動回数を図 13 のようなタグデータとして整理を行い、このタグデータからドライバの行動分析を行った。タグデータの時間の単位としては、映像に表示される分：秒：1/60 フレームと言う単位で記録されている。視線移動回数についてはチェックポイント 1 については右折時（ハンドル右回し始めから、左戻し終わりまで）に右折狭路の右壁を見ているところを「右+数字」、左壁を見ているところを「左+数字」とし、チェックポイント 2 については交差道路の右方を見ているところを「右+数字」、左方を見ているところを「左+数字」としている。

開始	終了	停留時間	視線	ハンドル操作	視線移動回数
10:10:10	10:11:11	1:01	前方	右回し始め	右1

図 13 タグデータ

## 4. 実験結果

### 4.1 チェックポイント 1

チェックポイント 1 では、実車実験の交通状況は、自転車走行者や歩行者等の障害物が存在していたが、シミュレータではロードコーンによって障害物を表現するという差異があったが、図 14 のようにシミュレータ上においても、図 15 のような実車の走行と同様に道路上の障害物を無視せずにきちんと確認して回避行動を行って運転している様子が観察された。



図 14 シミュレータ上の障害物回避



図 15 実車の障害物回避

開始	終了	停留時間	視線	ハンドル操作	視線移動回数
1523:38	1524:44	1:06	前方		
1524:46	1525:24	0:38	交差点左端		
1525:26	1527:46	2:20	前方		
1527:50	1528:38	0:48	交差点右端		
1528:42	1529:20	0:38	交差点左端		
1529:22	1529:32	0:10	前方		
1529:36	1530:04	0:28	交差点右端		
1530:14	1530:54	0:40	前方		
1530:56	1531:22	0:26	前方左端路端線		
1531:30	1531:52	0:22	バックミラー		
1532:00	1533:28	1:28	対向車		
1533:32	1533:52	0:20	交差点左端		
1533:56	1534:10	0:12	対向車		
1534:12	1535:06	0:56	前方		
1535:12	1536:36	1:24	対向車		
1536:54			右側し始め		
1536:42	1537:02	0:20	前方		
1537:14	1537:24	0:10	交差点左端		
1537:42	1538:06	0:24	交差点右端端	左1	
1538:06	1538:56	1:30	交差点右端手前	左1	
1540:10	1540:22	0:16	交差点右端端	左2	
1540:36	1540:56	0:20	前方左		
1541:02	1541:16	0:14	前方		
1541:26			左戻し始め		
1541:36	1542:24	0:58	前方左		
1542:46	1543:18	0:38	前方		
1543:46			右側し終わり		
1543:30	1543:48	0:18	前方右		
1543:52	1544:52	1:00	前方		
1544:46			左戻し終わり		

開始	終了	停留時間	視線	ハンドル操作	視線移動回数
3158:10	3159:56	0:46	前方		
3159:10	3159:56	0:46	前方		
3200:24	3200:44	0:20	交差点右端		
3201:06	3201:50	0:44	前方左		
3201:52	3202:06	0:14	前方左		
3202:12	3202:36	0:24	交差点右端端		
3202:42	3202:56	0:14	交差点右端端		
3203:00	3203:22	0:22	交差点右端端		
3203:26	3203:38	0:12	前方		
3203:42	3204:00	0:18	交差点右端端		
3204:06	3204:16	0:10	前方		
3204:22	3205:44	0:51:22	交差点右端端		
3204:26			右側し始め		
3205:50	3206:10	0:20	交差点右端手前		左1
3206:14	3206:34	0:20	交差点右端端		左1
3206:38	3206:56	0:18	交差点右端手前		左2
3207:00	3208:22	0:51:22	交差点右端端		左2
3208:32			右側し終わり		
3208:34	3212:14	0:38:40	前方		
3209:00			左戻し始め		
3210:56		0:30	左戻し終わり		
3212:22	3212:58	0:36	前方		
3213:14	3213:18	0:04	前方左		

図 16 チェックポイント 1 における実車実験のタグデータ (左) とシミュレータ実験のタグデータ (右)

図 16 にはチェックポイント 1 における実車実験とシミュレータ実験のタグデータを示す。

右折時の視線と運転行動としては、図 17 に視線移動回数と右折時間を示す。実車に比べ、シミュレータでは安心感があるためか右折行動に要する時間は多少短かったが、視線移動回数について、右角と左角を見た回数が順番は違うものの、同じであった。この左右確認の注意行動は、一般のドライバの個人差によって回数が異なることから、シミュレータと実車で同様の行動があらわれたことから、実車の運転行動を模擬するためのシミュレータとしてある程度の有効性を確認することができた。

	右	左	時間(s)
実車	2	2	8.87
シミュレータ	2	2	6.50

図 17 チェックポイント 1 における右折時間と視線移動回数

また、ドライバの安全行動を表す指標として、運転行動の中での安全確認のタイミングを挙げることができるが、チェックポイント 1 においてハンドルを回してから右壁と左壁を確認するまでの時間と停留時間を分析したものを図 17、図 18 に示す。ハンドルを回し始めてから左壁を見るまでの時間は、実車とシミュレータではともに 1.80sec で、ほぼ一致していた。

経過時間	実車	右1	右2	合計
		シミュ	1.40	
停留時間	実車	1.50	0.33	1.83
		シミュ	0.33	0.30

図 18 チェックポイント 1 における右壁確認のタイミングと停留時間

経過時間	実車	左1	左2	合計
		シミュ	1.80	
停留時間	実車	0.40	0.30	0.70
		シミュ	0.33	1.53

図 19 チェックポイント 1 における左壁確認のタイミングと停留時間

また、本シミュレータには実車と同様に右サイドミラーが付いており、狭路に右折侵入する際にはサイドミラーによる右壁との距離の確認が必要と思われたが、この被験者の場合は実車においてもシミュレータにおいても視線を向けていないことが分かった。

以上から、ドライバは狭路右折のタスクにおいては、シミュレータにおいてもほとんど同様の視線の動かし方と運転行動を確認することができた。

#### 4.2 チェックポイント 2

チェックポイント 2 では、シミュレータでは右折道路に左右からの走行車は存在しなかったが、実車の交通状況については、右方や左方からの侵入車が多いという差異があった。そのため実車では、右折できる状況になるまで時間がかかり、右折行動そのものは迅速になるという様子が見られた。

図 20 にはチェックポイント 2 における実車実験とシミュレータ実験のタグデータを示す。

開始	終了	停留時間	視線	ハンドル操作	視線移動回数
18:07:24	18:08:02	0:58	前方道路標示		
18:08:26	18:09:10	0:44	前方道路標示		
18:09:14	18:09:54	0:40	前方道路標示		
18:09:56	18:10:14	0:18	前方左視		
18:10:18	18:10:56	0:38	前方道路標示		
18:11:02	18:12:16	1:14	交差点左視		
18:12:18	18:13:00	0:42	前方		
18:13:08	18:13:18	0:10	前方右		
18:13:28	18:13:46	0:20	右方		
18:14:24	18:15:00	0:36	前方左		
18:15:28	18:16:02	0:34	右方		
18:16:48	18:17:00	0:12	前方左歩行者		
18:17:10	18:17:18	0:08	前方対象物		
18:17:22	18:17:44	0:22	前方左視		
18:18:00	18:18:18	0:18	右方		
18:18:52	18:19:54	1:02	前方左歩行者		
18:20:02	18:21:06	1:04	左方		
18:21:32	18:24:08	2:36	右方		
18:24:44	18:25:08	0:24	左方		
18:25:38	18:31:56	6:18	右方		
18:32:32	18:34:12	1:40	右方		
18:34:38	18:37:10	2:32	右方		
18:37:40	18:38:04	1:24	左方		
18:38:36			右視始め		
18:38:38	18:38:48	0:12	右方	右1	
18:40:14	18:40:32	0:18	左方	左1	
18:41:06	18:42:34	1:28	右方	右2	
18:42:20			左視始め		
18:42:58	18:44:14	1:16	前方		
18:44:06			左視終わり		

開始	終了	停留時間	視線	ハンドル操作	視線移動回数
32:27:52	32:31:38	0:36:46	前方		
32:31:42	32:32:00	0:00:18	交差点左視		
32:32:02	32:32:32	0:00:30	道路標示		
32:32:36	32:32:44	0:00:08	前方		
32:32:52	32:33:14	0:00:22	交差点左視		
32:33:18	32:33:30	0:00:12	前方		
32:33:36	32:33:52	0:00:16	前方右道路標示		
32:33:54	32:34:14	0:00:20	交差点右視		
32:34:18	32:34:24	0:00:06	前方右道路標示		
32:34:28	32:34:50	0:00:22	前方左		
32:34:54	32:35:14	0:00:20	前方		
32:35:18	32:35:44	0:00:26	交差点右視		
32:35:48	32:36:36	0:00:48	右方		
32:36:40	32:36:50	0:00:10	交差点右視		
32:36:54	32:37:08	0:00:14	交差点右視		
32:37:12	32:37:56	0:00:44	前方左		
32:38:00	32:38:08	0:00:08	前方左		
32:38:12	32:38:48	0:00:36	右方		
32:38:52	32:39:04	0:00:12	前方		
32:39:08	32:39:38	0:00:30	交差点左視		
32:39:42			右視始め		
32:39:42	32:41:24	0:01:42	交差点左視		
32:41:28	32:42:18	0:00:50	左方		右1
32:42:22	32:43:14	0:00:52	右方		右1
32:43:18	32:44:40	0:01:22	前方左		
32:44:44	32:45:22	0:00:38	右方		右2
32:45:26			右視終わり		
32:45:30			左視始め		
32:45:34	32:48:18	0:02:44	前方		
32:47:54		0:16	左視終わり		

図 20 チェックポイント 2 における実車実験のタグデータ

タ (左) とシミュレータ実験のタグデータ (右)

右折時の視線と運転行動としては、図 21 に視線移動回数と右折時間を示す。この図から、右方と左方を見た回数は実車とシミュレータで同じで、同様の運転行動を確認することができた。

	右	左	時間(s)
実車	2	1	4.50
シミュ	2	1	8.30

図 21 チェックポイント 2 における右折時間と視線移動回数

チェックポイント 2 においてハンドルを回してから右壁と左壁を確認するまでの時間と停留時間を分析したものを図 22、図 23 に示す。実車実験とシミュレータ実験ではかかった時間が大幅に異なるため、右方確認や左方確認のタイミングや停留時間はあまり共通性は見いだせなかった。

		右方1	右方2	
経過時間	実車	0.00	1.50	
	シミュ	3.10	5.13	
		右方1	右方2	合計
停留時間	実車	0.20	1.47	1.67
	シミュ	0.53	0.63	1.16

図 20 チェックポイント 2 における右方確認のタイミングと停留時間

		左方1
停留時間	実車	0.30
	シミュ	0.53
		左方1
経過時間	実車	0.63
	シミュ	1.83

図 21 チェックポイント 2 における左方確認のタイミングと停留時間

## 5. まとめ

本研究では、開発した没入型ドライビングシミュレータの有効性を検証するため、現実世界と同じ道路環境をシミュレータ上に構築し、実車運転時とシミュレータ操作時のドライバの運転行動及び視線の動きについて比較実験を行った。その結果、視線の動かし方と運転行動について、障害物を避ける行動や車輻と壁の幅を確認する安全行動については幾つかの共通点が見られた。これは、静止している対象物についてはシミュレータにおいても実車においても同様に認知して判断しているということがいえる。しかし、右方と左方からの侵入車の確認については、あまり共通点が見られなかった。これは、シミュレータでは実車の実験時と違い、動く対象物である右方と左方からの侵入車がないということを被験者が事前に知っているために、確認が疎かになってしまっている可能性がある。

今後は、一般ドライバだけでなく高齢者ドライバについて実験を行うことで、高齢者ドライバに対してのシミュレータの評価を行いたい。また、チェックポイント 2 については走行車を配置してドライバの安全確認のレベルを上げて実験を行いたい。

## 6. 参考文献

[1] 山口大助, 須田義大, 織田利彦, 大貫正明, 石川裕記, 洪一基, 研究用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, 自動車技術会春季学術講演会前刷集 No.61-09, pp.11-14, 2009

[2] 秋田時彦, 堤成可, 和田隆広, 土居俊一, センサ認識信頼度を考慮した車線変更支援システム, 自動車技術会春季学術講演会前刷集 No.61-09, pp.1-6, 2009

[3] 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, 日本機械学会交通・物流部門大会講演論文集, Vol. 19th, pp.331-334 (2010).