慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	没入ドライビングシミュレータによる高齢ドライバ向け運転行動観察システムの研究
Sub Title	Senior car driver's behavior observation system using immersive display
Author	立山, 義祐(Tateyama, Yoshisuke) 小木, 哲朗(Ogi, Tetsuro) 西村, 秀和(Nishimura, Hidekazu)
Publisher	
Publication year	2014
Jtitle	科学研究費補助金研究成果報告書 (2013.)
JaLC DOI	
Abstract	没入ディスプレイの没入世界提示性能について、スクリーン間の画面更新同期が与える影響について調べた。更新速度が遅くなったとしても全スクリーンで同期をとる方法が比較的有利ではあるものの、必ずしも非同期の方法を否定するものではないことがわかった。VR酔い対策に関して、本課題においてはコントラスト比を抑える事や、速度リミッタの調整、ブレーキカの調整等で対処した。没入ドライビングシミュレータによる運転行動観察の結果、一般ドライバに比べて高齢ドライバは、必要な安全確認行動を行わない傾向にあることがわかった。実車実験と比較して、安全かつ簡便にテストできる没入ドライビングシミュレータの有用性が確認できた。 We evaluated an immersive display system according to synchronization between multiple screens. We found that even if screen refresh speed became slow, synchronization of refreshing screens might be a good strategy for providing correct immersive world. But in some cases, asynchronization strategies might not be ineffective. We tried to develop some visual systems to minimize VR sickness. In this project, we lowered contrast-ratio of images and limited virtual car speed and brake force of it. We also conducted an experiment of car driver's behaviour observation using an immersive display system. Elder drivers had a tendency to eliminate safety checks in comparison to young drivers. We confirmed the effectiveness of an immersive car driving simulator.
Notes	研究種目：基盤研究(C) 研究期間：2011～2013 課題番号：23500154 研究分野：総合領域 科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース
Genre	Research Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KAKEN_23500154seika

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９、Ｚ－１９　（共通）

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

平成 ２６ 年　 ６ 月　 ９ 日現在

機関番号：３２６１２
研究種目：基盤研究(C)
研究期間：2011～2013
課題番号：２３５００１５４

研究課題名（和文）没入ドライビングシミュレータによる高齢ドライバ向け運転行動観察システムの研究

研究課題名（英文）Senior Car Driver's Behavior Observation System using Immersive Display

研究代表者
立山　義祐（TATEYAMA, Yoshisuke）

慶應義塾大学・システムデザイン・マネジメント研究科・助教（研究奨励）（非常勤）

研究者番号：３０５４３５５８

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　4,200,000円、（間接経費）　　1,260,000円

研究成果の概要（和文）：没入ディスプレイの没入世界提示性能について、スクリーン間の画面更新同期が与える影響について調べた。更新速度が遅くなったとしても全スクリーンで同期をとる方法が比較的有利ではあるものの、必ずしも非同期の方法を否定するものではないことがわかった。VR酔い対策に関して、本課題においてはコントラスト比を抑える事や、速度リミッタの調整、ブレーキ力の調整等で対処した。
没入ドライビングシミュレータによる運転行動観察の結果、一般ドライバに比べて高齢ドライバは、必要な安全確認行動を行わない傾向にあることがわかった。実車実験と比較して、安全かつ簡便にテストできる没入ドライビングシミュレータの有用性が確認できた。

研究成果の概要（英文）：We evaluated an immersive display system according to synchronization between multiple screens. We found that even if screen refresh speed became slow, synchronization of refreshing screens might be a good strategy for providing correct immersive world. But in some cases, asynchronization strategies might not be ineffective.
We tried to develop some visual systems to minimize VR sickness. In this project, we lowered contrast-ratio of images and limited virtual car speed and brake force of it.
We also conducted an experiment of car driver's behaviour observation using an immersive display system. Elder drivers had a tendency to eliminate safety checks in comparison to young drivers. We confirmed the effectiveness of an immersive car driving simulator.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：バーチャルリアリティ　ドライビングシミュレータ　没入ディスプレイ

１．研究開始当初の背景

研究開始当初は 3D テレビ､3D 映画が普及し始めた時期であった。商品の価格が安くなり、コンテンツも出てくるようになってきた。これらは両眼視差を用いて奥行き情報を提示するシステムであった。従来の 2D ディスプレイと比べると、一般人にとって、目新しさはあったが、その真の価値は未知数であった。一方、CAVE に代表される没入ディスプレイは、鑑賞者の鑑賞位置を逐一追跡し、複数の大画面を同期させて没入世界を提示するので、普通の両眼視差のみの 3D ディスプレイに比べて、より高級な仮想空間を提示することが可能である。スパコンから出力される複雑巨大情報の可視化のような分野で主に使用されてきたが、巨大で高価ということで、それ以外の分野では普及には至っていなかった。

一方で、自動車運転における高齢ドライバの事故率の高さが問題となっており、運転行動観察システムの実現が望まれていた。普及型のドライビングシミュレータは主に 2D ディスプレイを使う物であり、安全確認の際の乗り出し動作に対応できない。一方、高齢ドライバの弱点の一つとして、確認行動の省略が挙げられるので、乗り出し動作による安全確認行動は是非ともドライビングシミュレータとして対応させたい。没入ディスプレイでは乗り出し動作に対しても、鑑賞点追跡機能によって対応できる。よって、没入ディスプレイを用いてドライビングシミュレータシステムを構築すれば、高齢ドライバの運転行動観察システムが構築できるのではないかと考えた。当時我々は没入シミュレータのハードウェアを組み上げたばかりで、システムとして使える物にするためには、ハードウェアの面でも、ソフトウェアの面でも、さらに洗練させる必要があった。

２．研究の目的

没入ディスプレイの性能について客観的指標を提示することを目標とし、特定タスク達成率を元に人間にとっての没入ディスプレイの効果について客観的データを得る。特定タスクとしては社会的に意義深い、高齢ドライバの運転行動計測を行う。没入自動車ドライビングシミュレータで 20 歳代の若者や 60 歳以上の高齢者と、幅広い年齢層の運転行動の計測データを集めて比較することにより、高齢ドライバで減退してしまう運転能力を探る。実践的な計測システムの構築・運用を通じて没入ディスプレイの具体的な定量的効果を明らかにする。

３．研究の方法

没入ディスプレイ KCave のシステムの見直し検討を行った。また、没入ディスプレイの基本ソフトウェア OpenCABIN ライブラリを改良した。また、没入ディスプレイのスクリーン間同期に関する定量的評価を行った。

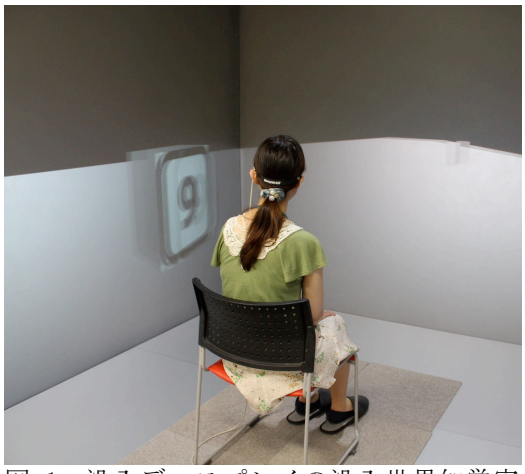

図 1: 没入ディスプレイの没入世界知覚実験の様子

さらに、没入ディスプレイ高齢ドライバの運転行動観察実験を行った。

本課題にて行った KCave システムの見直し検討について詳述する。具体的には、光学式位置計測装置の導入試験、ソフトウェアの改良を行った。光学式位置計測装置については、カタログスペックは mm 程度であったが、実測で数センチ程度あり、磁気式ほどではないにしても、自由に動き回って無矛盾な世界を提示できるという程ではなかった。原因としては導入した光学式システムの計測範囲が狭く、キャリブレーション時に設置する、座標系原点を定めるベースと測定範囲との距離があれば、誤差も大きいものであった。より高価な光学式システムを導入すれば改善する可能性もあるが、今回は計測装置誤差の影響が大きくなる観察者近くに仮想物体を配置しないこととして、位置計測誤差が没入世界知覚に与える影響を少なくすることとした。また、ソフトウェア改良については、スクリーン間同期を自由に設定できるよう改良した。

次に、没入ディスプレイの没入世界知覚実験について詳述する。没入仮想世界に 10 個の直方体オブジェクト(1 m×1 m×0.5m)を配置し、そこを 27 km/h の固定速度でウォークスルーする環境を作った（図 1 参照)。そこで、被験者に、その直方体の側面に描かれた一桁の数字を答えさせた。直方体オブジェクトは、被験者の左 2 m か右 2 m の位置に 10 m 間隔で出現し、どちらか一方にあるものの、どちらにあるかは各繰り返し回毎、被験者毎にランダムとした。

実験の際には、右スクリーン、正面スクリーン、左スクリーンの画面更新の方法を変えて 5 つの異なる条件で実験を行った。5 つのタイプの内訳は以下の通り：全スクリーンの画面更新同期が取れていて、画面更新速度が 75 Hz の normal タイプ、全スクリーンの画面更新同期がとれているが、画面更新速度が全スクリーン 2 Hz の slow タイプ、前スクリーンだけが 2 Hz で左右のスクリーンが 75 Hz の

Type	Front Screen	Left Screen	Right Screen
normal	75 Hz	75 Hz	75 Hz
slow	2 Hz	2 Hz	2 Hz
front-slow	2 Hz	75 Hz	75 Hz
left-slow	75 Hz	2 Hz	75 Hz
side-slow	75 Hz	2 Hz	2 Hz

表 1:没入世界知覚実験の画面同期条件一覧

タイプ	平均正答確率	標準偏差	95%信頼区間
normal	0.994	0.077	0.989-0.999
slow	0.986	0.117	0.979-0.993
front-slow	0.957	0.203	0.944-0.970
left-slow	0.977	0.150	0.968-0.986
side-slow	0.978	0.147	0.969-0.987

表 2: 没入世界知覚実験の結果（標本数は各タイプとも 1000、被験者数 20 名）

front-slow タイプ、左スクリーンだけが 2 Hz で残りが 75 Hz の left-slow タイプ、前スクリーンが 75 Hz で左右のスクリーンが 2 Hz の side-slow タイプの全 5 タイプであった。いずれも、75 Hz のスクリーン、2 Hz のスクリーンでは画面更新同期がとれていた。プロジェクタ間の映像信号同期はとっていなかった。

被験者は大学院学生で、男女合わせて 20 人であり、1 回あたり 10 ボックス、1 ケースあたり 5 回、一人当たり 5 ケースであった。よって、全部で 5000 ボックス分、1 ケースあたり 1000 ボックス分、5 ケースのデータが集まった。

この没入世界知覚実験の結果について、数値をまとめた表を表 2 に、グラフで図示したものを図 2 に示す。分散分析でスクリーン間画面更新同期タイプに関して危険率 5 %の有意差を確認した後、Tukey の多重比較検定で front_slow について、他の各タイプとの間に、危険率 5 %の有意差がある事がわかった。

この結果により、以下の結論を得た。重要なスクリーン(この実験の場合、front)が更新遅れを起こす（front-slow タイプ）と、全スクリーンが遅い場合(slow タイプ)よりも没入世界提示性能が悪くなった。また、重要なスクリーン（この実験の場合、front）さえ更新速度を速く保つことができたら（side-slow、left-slow タイプ)、全体的に遅い場合と比べて没入世界提示性能が悪くなるとは言えない事がわかった。

すなわち、スクリーン間の画面更新同期について、遅くなったとしても全スクリーンで同期をとる方法が、没入世界提示性能について比較的有利であるが、必ずしも非同期の方法を否定するものではないことがわかった。

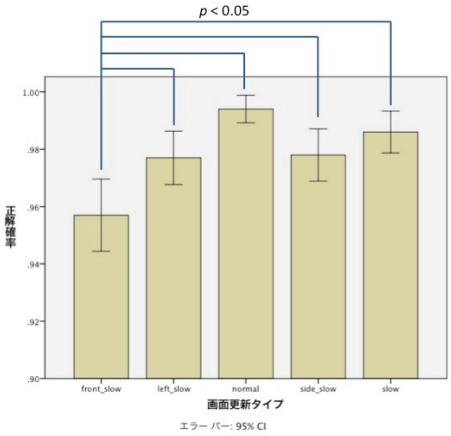

図 2:没入世界知覚実験の結果

図 3：没入ドライビングシミュレータによる高齢ドライバの運転行動観察実験の様子

次に、没入ドライビングシミュレータによる高齢ドライバの自動車運転行動観察実験について詳述する。実在の日吉の路地をモデル化した狭路コースを被験者に運転してもらった（図 3)。被験者には視線計測装置 EMR9 を装着した。EMR9 では帽子部に装着されたビデオカメラに重畳される形で視線が記録される。運転行動観察実験中に、被験者が実際に何を見たのか、逐一記録した。被験者は 65 歳以上の高齢ドライバ 8 名、一般ドライバ 8 名であった。今回観察の対象としたのは、二箇所の交差点での右折の際、左確認を行ったかどうかであった。両交差点とも、左側は見通しが悪く、安全確認行動を取ることなく右折するのは危険な状況である。今回の実験では特に、ランダムで移動する模擬対向車（実際には直径 1.2m 高さ 0.6m の半球形物体）を出現させ、仮想世界での自動車運転に緊張感を持たせるようにした。万一衝突する局面になった時、あわててハンドルを切る事により車の挙動が大きく変化して、その結果、VR 酔いを起こしてしまう危険があるので、被験者には衝突しても構わないと口頭で伝えてある。ただし、どの被験者も疑似対向車に衝突

確認行動の種類		高齢ドライバ		一般ドライバ	
		平均	標準偏差	平均	標準偏差
交差点1	左確認	0.68	0.47	0.91	0.29
	乗りだし	0.06	0.25	0.28	0.45
交差点2	左確認	0.64	0.49	1.0	0.0
	乗りだし	0.17	0.38	0.61	0.49

表 3: 没入ドライビングシミュレータによる高齢ドライバ行動観察実験結果。確認行動の平均確率と標準偏差。

しないよう運転していた。
運転行動観察実験の結果を表 3 に示す。交差点 1、交差点 2、左確認行動、乗りだし確認行動、いずれの場合も、一般ドライバの方が、高齢ドライバよりも確認行動をとる確率が高かった。この平均差は T 検定の結果、危険率 5 %で、有意であることが確認できた。

４．研究成果
没入ディスプレイの没入世界提示性能について、被験者実験を通じて人間への情報提示性能の客観的指標を得る試みをした。特に、スクリーン間の画面更新同期が情報提示性能について調べた。その結果として、更新速度が遅くなったとしても全スクリーンで同期をとる方法が比較的有利ではあるものの、必ずしも非同期の方法を否定するものではないことがわかった。
VR 酔い対策に関して、防止策候補を試したが、どれも有効性を確認することができず、本課題においてはコントラスト比を抑える事や、速度リミッタの調整、ブレーキ力の調整等で対処した。特にコース製作に関して、大きく旋回するようなコース作りは VR 酔いには良くなく、もしその必要がある場合は、なるべく近くに物を配置しない等の対策が必要であると考えられる。
没入ドライビングシミュレータによる運転行動観察の結果として、一般ドライバに比べて高齢ドライバは、必要な安全確認行動を行わない傾向にあることがわかった。今回の結果から、実車でも高齢ドライバが安全行動を省略する傾向にあるという結論を導くことはできないが、実車実験における重要な観察項目の一つとはなり得る。
実車実験と比較して、安全かつ簡便にテストできる没入ドライビングシミュレータの有用性が確認できた。

５．主な発表論文等
（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）
〔雑誌論文〕（計　０件）

〔学会発表〕（計　４件）
① Yoshisuke Tateyama, Tetsuro Ogi: Development of Applications for Multi-node Immersive Display using OpenCABIN Library, ASIAGRAPH 2013 Forum in Hawai'i, pp.67-70, Hilo, Hawaii, 2013.4.25-27.

② 立山義祐、西村秀和、小木哲朗：四輪自動車の低速運転行動観察のための没入ドライビングシミュレータ、第 56 回 CG・可視化研究会、慶應義塾大学日吉キャンパス協生館、2013.1.23.

③ 立山義祐、小木哲朗：OpenCABIN ライブラリの情報分配支援機構、第 17 回テレイマージョン技術研究会、pp.9-24、鳴子温泉、2012.6.7-8.

④ 立山義祐、山田純嗣、野寄純平、山本敬一、粂田佳奈、北村憲康、西村秀和、小木哲朗:没入ドライビングシミュレータでの狭路運転行動観察、第 21 回設計工学・システム部門講演会、pp.529-531、山形大学工学部、2011.10.21-23.

〔図書〕（計　０件）

〔産業財産権〕
○出願状況（計　０件）

○取得状況（計　０件）

〔その他〕
本研究で使用・開発した没入ディスプレイライブラリ OpenCABIN library の sourceforge.net のプロジェクト URL
http://sourceforge.net/projects/opencabin/

６．研究組織
(1)研究代表者
立山　義祐（TATEYAMA, Yoshisuke）
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・助教（研究奨励）
研究者番号：３０５４３５５８

(2)研究分担者
なし
(3)連携研究者
小木　哲朗（OGI, Tetsuro）
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・教授
研究者番号：００２８２５８３

西村　秀和（NISHIMURA, Hidekazu）
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・教授
研究者番号：７０２２８２２９