

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) *

—シミュレータ構築と効果検証—

玄葉 誠¹⁾ 原口 哲之理^{2) 5)} 青木 宏文^{3) 6)} 田中 貴紘^{4) 7)}

Study of the Human-vehicle System by a Driving Simulator with Stereoscopic Vision of Five Large Screens(First Report)
- Simulator Construction and Effect Verification -

Makoto Gemba Tetsunori Haraguchi Hirofumi Aoki Takahiro Tanaka

We construct a driving simulator (DS) to be used for the human-vehicle system research. It can reproduce the driving environment by immersive stereoscopic display which has five high brightness and high-definition screens. In this report, we describe the functional requirements and the effectiveness of the DS for the human-vehicle system research.

KEY WORDS: Human engineering, Driver condition, Driving simulator, Stereoscopic display (C2)

1. はじめに

近年、自動車に関する研究や開発において、DS(ドライビングシミュレータ)が利用される機会が多い。実車実験に比べて、運転状況設定やその再現、運転者観察が容易という点が実験に向いているからである。その一方、DSを使用した実験では、実車との違和感や、シミュレータ酔いが発生するといった問題もある。特に人間—自動車系研究においては、走行環境や車両諸元と運転行動の関係を解明するため、より自然な感覚で運転ができるDSが求められている。

名古屋大学では、文部科学省「地域資源等を活用した産学連携による国際科学イノベーション拠点整備事業(2012年度)」の採択を受けNIC(ナショナル・イノベーション・コンプレックス)を開所した。NICは産学官が連携して研究を行う為の研究施設であり、今後の少子高齢化社会に向けて、情報とモビリティが統合された革新的移動体「コミュニケーター」を創出する事を目的に各種の車両実験装置が設置されている。その一つとして、運転環境における視覚情報の再現性を重視しVR(バーチャルリアリティ)空間内での運転・車両走行模擬を実現した大型5面立体視DSを構築した。

*2015年10月22日受理, 2015年10月16日自動車技術会秋季学術講演会において発表。

- 1) (株)フォーラムエイト(108-6021 東京都港区港南2-15-1 品川インターシティA棟21F)
- 2)・3) 名古屋大学グリーンモビリティ連携研究センター/未来社会創造機構(464-8603 名古屋市千種区不老町)
- 4) 名古屋大学未来社会創造機構(464-8601 名古屋市千種区不老町)
- 5)・6)・7) JST/名古屋COI(464-8601 名古屋市千種区不老町)

大型スクリーン5面による本格的VR空間に動揺装置付きコクピットを組み合わせたDSは世界初(2015年6月現在、公開されているDSとして)のものである。本報告では、近年のDSの利点や問題点、大型5面立体視DSの機能要件や構成、立体視の検証実験について報告する。

2. 近年の実験用DS

2.1 DSの構成要素

研究や開発で使用されるDSは、小規模なものから大規模なものまで数多くある。まずはDSの構成要素について整理する。

(1) 運転席

運転者が座るシート、ハンドル/ペダルなどの操作入力装置、メーターやナビなど情報提示装置から構成される。実験用DSでは、市販車の運転席を改造して使用する場合が多い。

(2) 視覚装置、音響装置

運転中の風景を再現する大型モニターやスクリーン。人の視野角をカバーするように設置する。また、エンジン音や走行音など音の再現する音響装置も重要である。

(3) 動揺装置

運転者が乗った運転席を動かす装置。実際に動かす事によって、運転者が運転中に体にかかる加速度を再現する。

(4) 運転環境再現装置

コンピュータ内に、地形・道路・建物などから構成される仮想空間を構築し車両が走行する環境を再現する装置。昼間や夜間、晴天や雨天など、様々な状況を再現する。

(5) 交通流生成装置

仮想空間内の車両の流れを再現する装置。例えば、1時間あたり5,000台が走行する道路の車両群や、それらの信号で

の発進・停止、渋滞などを再現する。

(6) 車両運動計算装置

運転者のハンドルやペダル操作に伴い、仮想空間内での車両の速度や進行方向、発生する加速度などを計算する。エンジンやブレーキのモデルをソフトウェアで定義した装置や、現実のハードウェアと連携して実行する装置がある。

(7) 運転状況記録装置

運転者の操作量や自車の走行状態、他車両との距離などの情報を記録する。実験によっては、運転者の視線や脳波など生体計測を行う場合もある。

2.2 DS の例

主に実験や研究で使用される DS について、4 種類に分類して紹介する。

(1) 簡易型 DS (図 1)

ゲーム用ハンドル型コントローラとペダル、PC と液晶モニターから構成される DS。高齢者の運転適性検査などでも使用されている。手軽に低予算で設置できる事が特徴である⁽¹⁾。

(2) 据置型 DS (図 2)

ハンドル、ペダル、シートなどに実車部品を使い、よりリアルに運転状態を再現しようとする DS。複数モニターやスクリーンを使用し視野範囲をできるだけ大きくしている⁽²⁾。自動車教習所、大学や企業での研究に数多く用いられている。

(3) モーション付き DS (図 3)

動揺装置を持つ DS である。運転者が乗るシートだけを動揺装置に乗せたものから、実車ボディをそのまま動揺装置に乗せるものまで様々な形態がある⁽³⁾。

(4) 大型 DS (図 4)

モーション付き DS では表現できる加速度に制限がある為、より大きなあるいはより長い継続時間の加速度を再現する移動レールを加えた DS である⁽⁴⁾。



Fig.1 Simple DS



Fig.2 Stationary DS



Fig.3 DS with motion



Fig.4 Large Scale DS

2.3 DS の利点

DS を実験に使用する利点は以下のような点が挙げられる。

・実車では危険な状況や再現が難しい状況も DS なら容易に設定でき、しかも何度も繰返して同じ状況を再現できるので、多くの被験者で実験を行う事ができる。

・運転者を観察する場合、生体計測や視線計測装置など、現実の運転では危険な機器でも DS では使用可能である。

これらの利点を生かして、現在では以下のような研究で DS が使用されている。

(1) 運転者の行動分析、特性分析

近年、大きな問題となっている高齢ドライバーの事故分析やそれに対する支援⁽⁵⁾や、運転特性データベース化⁽⁶⁾などが行われている。

(2) 安全運転支援装置の研究開発

車に搭載する安全支援装置や、その為の基礎実験など、いきなり実車で試すには危険なものでも、DS では安全に実験する事ができる。例えば、シート振動刺激による運転支援装置⁽⁷⁾の研究である。

(3) 道路や交通環境の評価

高速道路のインターチェンジ構造、道路標識や道路表示の評価なども DS を使って行われている。

2.4 DS の問題点

現在の DS の問題点として、以下のような点が挙げられる。

(1) 実車との運転感覚の違い

DS を運転すると感じるのが、現実の自動車との違いである。たとえモーション付き DS や大型 DS であっても、現実の自動車を運転するのとは違う印象を受けてしまう。ハードウェアの構造的な違いや運転者が受ける情報の違いなど様々あるが、中でも一番現実と違うのは視覚情報である。人間が五感として得られる情報のうち、8~9 割は視覚情報といわれている。運転操作においても前方車両や障害物との距離を得るのも視覚からであり、非常に重要な情報である。DS では運転時の視野範囲をカバーする 3 面型、さらに全周囲の円筒スクリーンなど、様々な装置が用いられているが、現実の視覚との違和感は無くなってはいない。

違和感の原因の一つは、平面映像、という点である。人間の目は左右の目の視差により距離や形状を把握する(両眼視差立体視)。また、頭の位置や視点の移動によっても物と物の前後関係や位置、形状をより正しく把握する(運動視差立体視)。一方、DS で用いられる視覚映像は、運転席上の固定された視点からの平面映像であり、左右の目の視差もなければ、頭を動かしても物と物の重なりが変化しない。つまり両眼視差立体視も運動視差立体視もできない状態であり、この点が奥行き感や距離感を感じ難くさせ、違和感や認識がずれたりする大きな原因である。

(2) シミュレータ酔い

DS を運転すると、乗り物酔いのような症状(頭痛、吐き気、

発汗など)に襲われる場合がある。人によってはDSで走り出して数秒で気分がわるくなる場合がある。これはシミュレータ酔いと呼ばれ、視覚情報と実際に体に感じる状態が一致しない場合や、運転者自身がおこなった運転操作に対して予測した動きとDSの動きが一致しない場合などに発生すると考えられている。

人間自動車系の実験を行う際に、運転時の違和感やシミュレータ酔いは、実験の実施を難しくすると共に、結果の信頼性を損ねてしまう為、より自然な感覚で違和感なく運転できるDSが求められている。

3. 立体視によるDS構築

3.1 DSの機能要求

前章で述べた現在のDSの問題点を解決する為に、新たなDSを構築する事とした。その機能要求について述べる。

(1) 大型スクリーンによる立体視

視覚情報の違和感を改善する為に、没入型ディスプレイによる立体視映像をDSに用いる事とした。没入型ディスプレイとは、四角い部屋の壁や床をスクリーンとして映像を投影し、人は部屋の内側から映像を見る方式の視覚再現装置である。スクリーンに投影する映像は左右の目の視差を考慮したステレオ映像であり、人の頭の位置と向きを計測するヘッドトラッキングシステムを使用する事により、人の位置に合わせた視点からの映像を表示する。この仕組みにより両眼視差立体視と運動視差立体視を実現し、奥行き感、距離感を忠実に再現する事を目指す。

投影装置は、正面、右面、左面、床面の4面に4K解像度(4096x2160ピクセル)プロジェクタを、さらにサイドミラー用映像として背面にフルHD(1920x1080ピクセル)プロジェクタを使用する。リフレッシュレートは120Hzで左右の目の映像を交互に表示する。またヘッドトラッキングシステムには、運転席の中でも外でも連続的に位置を検出できるように、6個のサテライトカメラと、1つのコクピットカメラを設置する。図5に、没入型ディスプレイのイメージを示す。

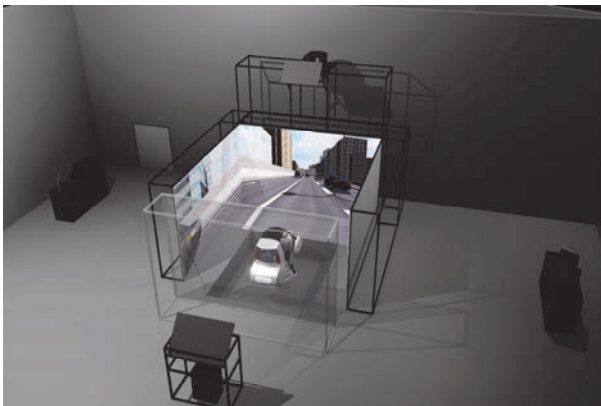


Fig.5 Immersive display

(2) 動揺装置

このDSでは動揺装置を用いて運転者への体感の再現も行う。ただし、実車と同じレベルの大きさの加速度まで再現するものではなく、あくまで運転操作に伴う加速度の発生を運転者に気付かせる程度の大きさとする。この理由は、加速度の体感は運転時における重要な情報の一つではあるが、人間は加速度を大きさの絶対値として捉えるのではなく、加速度の有無や方向として捉えているからである。したがって、発生させる加速度は比較的小さくてもよいので動揺装置は小型のものとなり、没入型ディスプレイの内側に設置可能となる。

使用する動揺装置はスチュワートプラットフォーム型のものとし、最大ペイロードは1,000kg、縦方向、横方向の平行移動の最大加速度は0.6Gである。動揺装置の性能を表1に、外観写真を図6に示す。

Table1 Specifications of Motion base

Axis	Range of movement	Maximum velocity	Maximum acceleration
Surge	±250mm	0.5m/s	6.0m/s ²
Sway	±250mm	0.5m/s	6.0m/s ²
Heave	±180mm	0.3m/s	5.0m/s ²
Roll	±21°	30.0° /s	500° /s ²
Pitch	±21°	30.0° /s	500° /s ²
Yaw	±22°	40.0° /s	400° /s ²



Fig.6 Motion base

3.2 大型5面立体視DSの構成

構築した大型5面立体視DSの構成を示す。

(1) ハードウェア

- ・コクピット

革新的移動体「コミュニケーター」をイメージした三輪車。

- ・プロジェクタ

4K. 120Hz, 3chipDLP, 3Dアクティブステレオ対応

- ・スクリーン

正面、右面、左面、床面：幅5400mm×高さ2850mm

背面：幅5000mm×高さ2850mm

- ・モーションベース

電動式スチュワートプラットフォーム、最大加速度0.6G

(2) ソフトウェア

- ・交通環境構築ソフト(3D-VRソフト)

- ・車両ダイナミクスシミュレータ(HILS)

- ・交通流シミュレータ

図7に構築した大型5面立体視DSの写真を示す。



Fig.7 DS with stereoscopic vision of five large screens

4. 大型5面立体視DSの効果検証

4.1 効果検証方法

大型5面立体視DSの立体視の効果を検証する為、立体視設定を変化させて走行する実験を行った。

立体視の設定は、視覚再現装置の設定項目である、目の間隔、の数値を変更する方法とした。目の間隔は一般的な人では65mmとされているので、通常はこの値を用いて視差を設定している。この値を0mmにすると、右目と左目の視差がなくなり、両眼視差立体視ができなくなる。ただし、ヘッドトラッキングシステムは動作させたままで頭の位置に合わせて視点は移動し、運動視差立体視は可能な状態とした。

被験者はいずれも運転免許を保有し、日頃から自動車を運転する機会のある、20代から60代の成人男性3名と成人女性1名の計4名である。運転初心者やペーパードライバは含まれていない。

4.2 実験方法

走行課題は、停車状態から発進し30km/hで走行、信号の無い交差点手前で一時停止、そこから再度発進する、というもので一回の走行距離は約350mである。一時停止の際は、できるだけ停止線の位置にあうようにし、停止時は必ず速度0km/hにするように指示した。図8にコース平面図を示す。

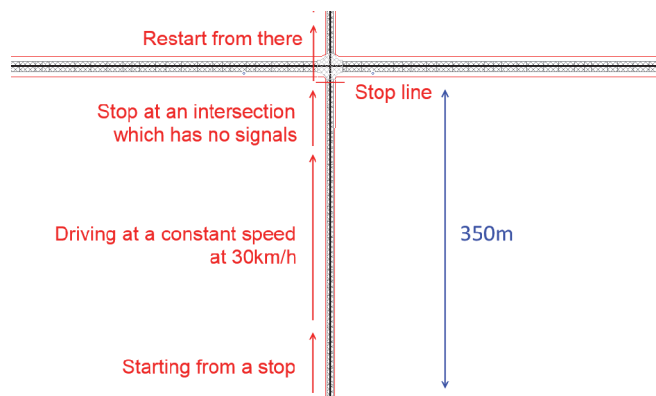


Fig.8 Specified driving pattern

道路環境は住宅街として、周囲の建物の構造をかえて、見通しが、悪い、普通、良い、の3パターンとした。図9に見通しの悪い環境を、図10に良い環境を示す。



Fig.9 Stop at the intersection (Poor Visibility)



Fig.10 Stop at the intersection (Good Visibility)

目の間隔の設定は、0mm, 30mm, 65mmの3段階とした。道路構造と目の間隔の組合せで9パターンとなり、被験者には各パターンを2回ずつ走行してもらった。

運転状況は、運転者車両の位置や速度などの情報をファイルに記録すると共に、コクピットなどに設置した4台のカメラ映像も合わせて記録した。

さらに、DSでの走行後に記入式アンケートで下記2つの質問をおこなった。

- A) 目の間隔で一番違和感がなかったのはどれか？
- B) 目の間隔の違いでどのような違いを感じたか？

なお、被験者はこの課題走行に先立ち、約1kmの直線道路で信号での停止を含む練習走行を行った。また、被験者の慣れを考慮して、被験者毎に目の間隔や道路環境の実施順番を変更するカウンタバーランスを実施した。

なお、本研究における実験は、名古屋大学未来社会創造機構の規定に基づき、実験倫理委員会の審査に代えて執行部会議での承認を受け、実験参加者に対するインフォームドコンセントの手続きを行った上で実施した。

4.3 実験結果

運転状況記録で、停止線に近づいていき最初に停車した(速度1km/h未満となった)地点での車両前輪中心と停止線までの水平距離を計測した。結果を表2に示す。距離は、停止線の手前で止まった場合が負、超えて止まった場合が正である。

Table2 Distance to the stop line

Subject	Eye separation [mm]	Poor Visibility		Normal Visibility		Good Visibility	
		1st [m]	2nd [m]	1st [m]	2nd [m]	1st [m]	2nd [m]
S1	0	3.46	0.95	1.34	1.17	1.26	0.58
	30	0.64	1.21	0.50	1.26	0.96	0.69
	65	0.53	1.14	1.32	0.72	1.44	1.06
S2	0	0.76	1.94	0.60	0.51	0.66	0.26
	30	1.04	0.64	0.76	0.07	0.08	0.81
	65	0.15	0.87	0.23	0.72	-0.03	0.56
S3	0	0.17	0.32	0.37	0.24	3.30	0.36
	30	0.43	0.34	0.23	0.33	0.34	-0.07
	65	0.08	-0.24	0.30	0.03	-0.90	-0.15
S4	0	0.29	1.87	-0.08	0.30	-0.10	-0.25
	30	-0.18	-0.17	0.40	0.34	-1.07	-0.06
	65	0.55	1.71	0.05	1.50	-0.97	-0.23

次に、停止線までの距離を、目の間隔と見通しで分類して平均した結果を表3および図11に示す。

Table3 The average distance to the stop line

Eye separation [mm]	Poor Visibility [m]	Normal Visibility [m]	Good Visibility [m]
0	1.22	0.55	0.76
30	0.49	0.49	0.21
65	0.60	0.61	0.10

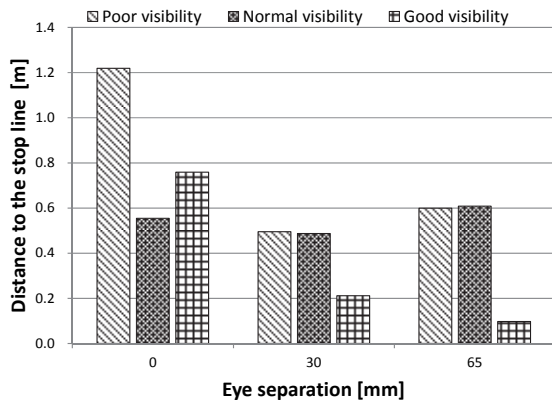


Fig.11 The average distance to the stop line (The Eye separation and Visibility)

グラフから得られる印象としては、見通しが悪い状況では、大きく停止線をオーバーし、逆に見通しが良い状況ほど、停止線に近く停止しているように感じる。目の間隔でも、0mmよりも、30mmや65mmの方が停止線に近い印象を受ける。

しかし、統計学的にこれらの効果の検定をすると、見通し、目の間隔共に、主効果および2要素間の交互作用はみられなかった。本実験では参加者数が限られていたため、今後サンプル数をもっと増やせば有意な差が得られる可能性もある。

次に、目の間隔にしぼり、2D(目の間隔 0mm)と3D(同 30mm, 65mm)に分けて平均を検討した。そのグラフを図12に示す。

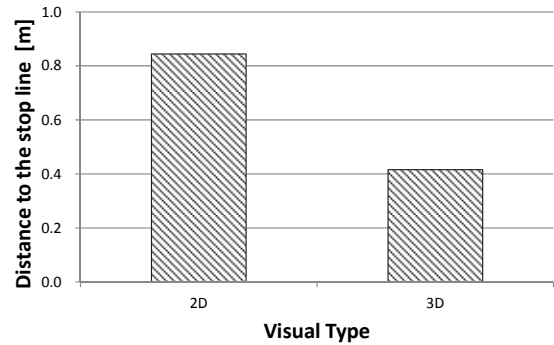


Fig.12 The average distance to the stop line (2D vs 3D)

この平均を統計学的に処理した。F検定の結果で有意差がないため等分散性があるので、通常のt検定で判断する。この場合 $t(34)=2.02, p<0.1$ であり、片側p値が0.0254であった。したがって、2Dと3Dの平均値に有意傾向が認められる。つまり、2Dよりも3Dの方が、距離感が把握しやすく、より正確に停止位置をコントロールできているといえる。

また、アンケート結果を以下に示す。

A) に対しては、3名が65mm、1名が30mmと回答。

B) に対しては、以下の回答があった。

「3D(65m)の方が、距離がつかみやすかった。」

「立体的に見えるような気がした、」

「0mmでは加速している感じがつかみにくかった。」

以上の結果からの結論として「適した目の間隔には個人差の可能性が考えられるが、全被験者が2D(0mm)よりも3D(30mmまたは65mm)で停止誤差が減少していることから、大型5面立体視DSの3D表現の有用性が示唆された。」と言える。

なお、本実験では被験者一人当たり2時間の時間を要した。慣れないDSでかなり長時間の運転となったが、ほとんどの被験者が特に気分が悪くなる事も無く運転でき、シミュレータ酔いは発生しなかった。

4.4 考察

(1) 他DSとの比較

この走行課題を名古屋大学にある従来型DS(3面モニタのモーション付き)で計測した実験結果がある。道路環境や走行方法は同じで、被験者は男性6名、女性6名。今回の実験とは被験者が異なるので単純に比較はできないが、参考の為、いくつかの指標で考察する。

まず、停止線までの平均距離の比較を図13に示す。従来型DSの平均距離約3.5mに対して、大型5面立体視DSでは1m以下である。4つの平均値の比較のため、走行条件を要因とする1要因分散分析の結果、 $F(3,44)=4.44, p<.01$ となり、条件の主効果が有意となった。そこで、Bonferroni法による多重比較の結果、従来型DSと目の間隔0mm、30mm、65mmの間に、それぞれ1%水準で有意差が確認された。被験者の

違いを考慮しても、大型5面立体視DSは、従来型DSよりも停止位置が正しくなる傾向があると言える。

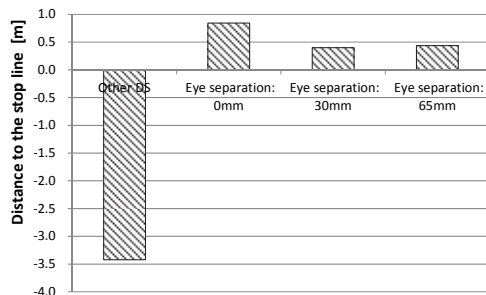


Fig.13 The average distance to the stop line (Comparison with the conventional DS)

次に、それぞれの計測で、最も停止線までの距離が短かった走行記録の交差点での一時停止、およびそこから発進時の速度変化のグラフを図14に示す。(道路環境の見通し条件は従来型DSが「ふつう」、大型5面立体視DSが「良い」と異なっているが、実験結果の統計的分析では道路条件の違いによる停止距離に有意差はない。)

従来型DSでは、実際には4m手前で減速しすぎ、加速して停止線に合わせている不自然な運転となっている。一方、大型5面立体視DSでは、停止線1mから減速してそのまま停止する自然な運転となっている。

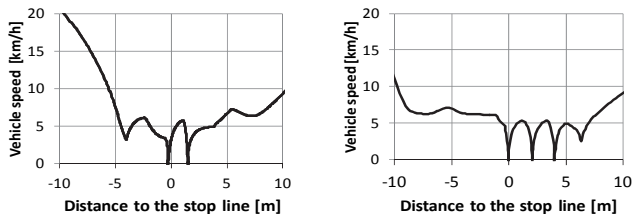


Fig.14 Speed change around the stop line (Left: Conventional DS, Right: this DS)

(2) 運転行動

被験者を撮影したカメラ映像をみると、運転中の姿勢変化に興味深い行動がみられた。その一例として、交差点での一時停止時の運転者姿勢を図15に示す。

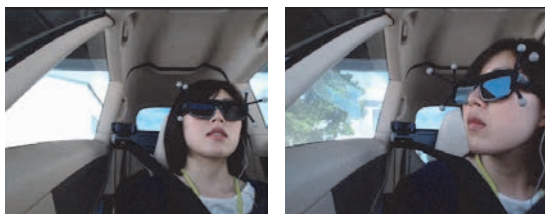


Fig.15 Position change during driving (Left: Usually, Right: Bend forward)

運転者は停止するまではシートに背中を付けた通常の姿勢であったが、そこから再発進する際、左右を見るだけにとどまらず体を大きく前傾させて覗き込む動作を何度も行っている。これは運動視差立体視により視点位置を移動すると新しい視覚情報が得られる(例えば、壁に隠れている車両が見えるようになる)からである。このような動作は現実の車両を

運転する際には無意識に行っているが、立体視を実現していない他のDSでは見られない行動である。この点においても大型5面立体視DSは現実の運転状況を再現できているといえる。

5. おわりに

本報告では、構築した大型5面立体視DSについて述べると共に、その効果検証について報告した。

大型5面立体視DSは視覚情報、特に奥行き感や距離感に着目し没入型ディスプレイでの立体視を採用した。その効果を検証した結果、立体視による視覚情報は平面表示によるものよりも運転操作の誤差が減少する傾向にあり、DSとしての有用性がある事がわかった。また、従来型DSよりも自然に実車に近い状態で運転できる事も確認できた。今後このDSの特性をいかして、様々な人間自動車系の研究に役立てていきたい。

謝辞

本研究は国立研究開発法人科学技術振興機構(JST)の研究成果展開事業「センター・オブ・イノベーションプログラム(名古屋COI:高齢者が元気になるモビリティ社会)」の支援によって行われた。合わせて本研究にご協力いただいた被験者の方々、名古屋大学の関係諸氏に心よりお礼申し上げる。

参考文献

- (1)小川圭一, 土井和広, 久坂直樹:交通安全対策の検討に対する簡易ドライビングシミュレータの応用可能性, 交通科学, VOL37, No. 1, p. 46-54 (2006)
- (2)井上隆, 近森順, 清水裕:定置型ドライビングシミュレータの開発, 自動車技術会論文集, Vol. 26, No. 2, p. 55-60 (1995)
- (3)下山修:ドライビングシミュレータの使い方, 自動車技術会シンポジウム資料, No. 06-05, p. 65-70 (2005)
- (4)米川隆, 阿賀正巳, 門脇美佐, 名切末晴, 坂口靖雄, 荒木厚:市街地走行で現実感のあるドライビングシミュレータの開発, 自動車技術会論文集, Vol. 39, No. 6, p. 29-34 (2008)
- (5)中野倫明, 山田宗男, 山本新, 小竹元基:ドライバの運転能力評価と高齢ドライバの支援, 自動車技術, Vol. 64, No. 10, p. 72-77 (2010)
- (6)青木宏文, 金森等, 山岸未沙子, 田中貴紘, 高橋一誠, 米川隆, 河野直子, 伊藤逸毅, 岩本邦弘, 尾崎紀夫, 寺崎浩子, 大日方五郎, 赤松幹之, 佐藤稔久, 小栗宏次, 河中治樹, 中川剛:運転寿命延伸を目指したドライバ運転特性研究(1)-高齢ドライバの人間・加齢・運転特性データベースの構築, 自動車技術会2015年春季大会学術講演会講演予稿集, No. 45-15S, p. 1091-1094 (2015)
- (7)大桑政幸, 倉橋哲郎, 藤枝延維, 津田太司, 服部彰:シート振動刺激による運転支援情報提示, 自動車技術, Vol. 64, No. 10, p. 90-95 (2010)