

車両ヨー方向の体感と映像の品質がドライビングシミュレータの運転違和感に及ぼす影響^{*1}

Effects of Image Quality and Representation of Somatic Sensation on Driving Feeling

浅野陽一^{*2} 内田信行^{*2}
Yoichi ASANO Nobuyuki UCHIDA

Abstract

Increasing simulator sickness when performing right or left turns has become a problem in driving simulators since a larger viewing angle was adopted. Most simulators cannot produce actual yaw movement. Furthermore, during turns at an intersection, the image projected on the screen is blurred so that the simulator reproduces the yaw movement as a computer graphics image in the reverse direction of a right or left turn. In this study, we investigated how each of two factors (reality of bodily sensation of yaw-direction and the image quality) affects subjective evaluation and gazing behavior while making a right or left turn. The experiment demonstrated that both bodily sensation and image quality are important factors for reducing simulator sickness.

1. はじめに

ドライビングシミュレータ（以下、「DS」という）の広視野角化に伴い、右左折時においてシミュレータ酔いの増大が問題となる。一般的に、酔いの原因は感覚不一致説（sensory conflict theory）^[1]により説明されている。これは、過去の経験による前庭、視覚、および体性感覚と実際の感覚の間にずれが生じることによって酔いが発生するというものである。DSにおいては、主に実車との体感加速度の違いが酔いを誘発すると考えられる。しかし、右左折時には、映像による旋回の模擬を行うため、ヨー方向の体感が得られないだけではなく映像のにじみによる映像品質の劣化も生じる。筆者らは、体感加速度の不一致に加えて映像の品質も酔いに影響を与えると考え、先の報告^{[2), 3)}では、右左折時の体感と映像にじみの改善を両立する手法を提案した。本手法では、旋回の模擬を映像ではなく運転席部自体を回転させるため、ヨー方向の体感と同時に、映像のにじみによる映像品質の低下を防止できる。主観調査の結果、従来の

定置型DSと比較して酔いの低減効果を確認したものの、その効果が体感の付与によるものなのか、映像品質によるものなのか、その寄与の程度については不明であった。

本報では、運転席部回転による酔いの改善要因と考えられる映像品質と体感の寄与度合いを調査し、酔い低減に有効なDS模擬方式を考察する。

2. 実験装置および実験条件

Fig. 1に実験装置を示す。本装置は、ACサーボモータによる運転席部およびプロジェクタ群のヨー回転の組み合わせにより次の4種類のDS模擬方式が可能である。第一に、運転席部およびプロジェクタ群を固定し、車両運動計算結果の並進運動および旋回運動の両方を映像によって模擬する方式（定置型条件）。第二に、キャビンは固定し、プロジェクタ群を旋回方向と逆向きに回転させる方式（プロジェクタ群回転型条件）。両者の模擬方式は体感が得られない点で同じであるが、定置型では車両運動計算の旋回運動をコンピュータグラフィックス（以下、「CG」という）によって模擬するのに対し、プロジェクタ群回転型では、プロジェクタ群自体を回転させるため映像のにじみ

*1 原稿受理 2007年10月2日

*2 (財)日本自動車研究所 予防安全研究部

が発生しない点で異なる。第三に、運転席部およびプロジェクタ群の両方を車両運動計算結果と同方向に回転させる方法（両回転型条件）。第四に、運転席部を車両運動結果と同方向に回転させ、プロジェクタ群は固定する方法（運転席部回転型条件）。両者の模擬方式は体感が得られる点で同じであるが、両回転型ではプロジェクタ群は車両運動計算結果と同方向に回転するため、旋回の模擬を行うためにCGを旋回方向とは逆向きに動かす必要がある。すなわち、同方式では映像品質の劣化が生じるのに対して、運転席部回転型では映像品質の劣化は生じない。これらの4種類の模擬方式の特徴をまとめるとTable 1のようになる。

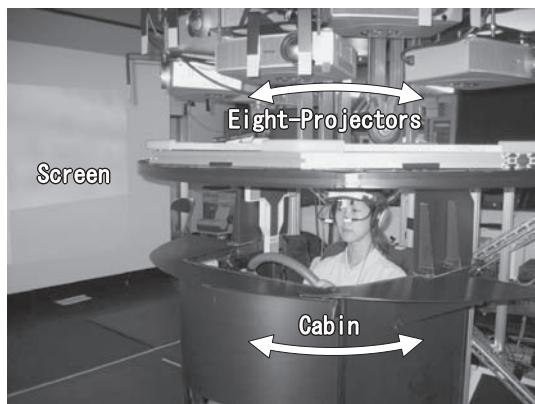


Fig. 1 Test equipment

Table 1 Effects of DS simulation method

Type of method	Direction of Turning※			Effect	
	Prj	Cab	CG	Bodily Sensation	Image
Fixed	Fix	Fix	Rev	Bad	Bad
Turning Projectors	Rev	Fix	Fix	Bad	Good
Both Turning	Cab	Com	Rev	Good	Bad
Turning cabin	Fix	Com	Fix	Good	Good

※Direction of turning to calculated yaw angle

Prj:Projectors, Cab:Cabin, CG:ComputerGraphics

Fix:Fixed, Rev:Reverse, Com:Common

3. 実験方法

3.1 走行コース

実験は市街地のデータベースを用い、八つの交差点において右折と左折を交互に繰り返すコースとし、走行時間は5分程度であった。なお走行車線は、交差点8に至る片側2車線の直線を除き、すべて片側1車線であり、幅員は3.58mであった。

3.2 実験手順

被験者は実験内容について説明を受けた後、操舵感覚および速度感覚をつかむため定置型、プロジェクタ群回転型、運転席部回転型、両回転型の4条件についてそれぞれ半分の実験コースを練習走行した。練習走行終了時に、ドライバの状態を把握するため酔いに関する主観評価を聴取した。その後、右左折時の視線移動を計測するため、アイトラッカーを装着し、各条件について本走行を実施した。また、各条件終了後には酔いに関する主観評価を聴取した。なお、日常の運転と同様の速度で走行する旨、ならびに交差点に設置された信号機の制御は行っていない旨を教示した。走行中には交差点の十分手前にて、右左折する交差点を指示した。条件間の順序効果を相殺するため、被験者ごとに実施順序を入れ替えた。なお、酔いを訴えた被験者に対して、定置型DS条件と回転型DS条件の間に主観的な酔いが低下するまで十分な休憩時間を設けた。

3.3 測定指標

3.3.1 主観評価

各実験条件終了後、酔いに関する主観評価としてSSQ (Simulator Sickness Questionnaire)⁴⁾を行った。SSQは酔いの症状に関するサブスケール16項目について、その症状が重い順に3から1点の評価を行う。その後、それぞれのサブスケールについて酔いへの影響が大きい順に規定された重みを乗じ、合計した値をSSQ-スコアとする。

3.3.2 視線移動

予備実験では、定置型のDS模擬方式において右左折終盤のめまいや視線方向が定まらないなどの内省報告を得た。このため、本実験ではアイトラッカーによる視線計測を行った。さらに、DS実験で得られた視線挙動データの比較条件として、実路走行時における視線挙動についても計測した。実路走行時では、それぞれ3回ずつの右左折、合計6ヵ所の交差点を含むコースを走行した。なお、道路幅員は約3mであり、多くは片側1車線であった。

実路走行実験に参加した被験者は、27歳から33歳の女性4名（平均：31.8歳、標準偏差：3.2歳）、25歳から54歳の男性6名（平均：33.8歳、標準偏

差：11.3歳）であった。

3.4 被験者

DS実験に参加した被験者20名のうち、4名は練習走行の時点で強い酔いを訴えたため本実験は行わなかった。また、2名の被験者は測定に使用したアイトラッカーの性能から、眼鏡および眼球形状による光の反射によって計測不可能であった。最終的な有効被験者数は26歳から58歳の男性14名（平均：39.9歳、標準偏差：9.5歳）であった。

4. 実験結果

4.1 主観評価（SSQ）

Fig. 2にシミュレータ酔いに関する主観評価であるSSQの結果を示す。各条件における走行終了後の主観評価聴取（5水準：練習直後、定置型条件終了後、プロジェクタ群回転型条件終了後、両回転条件終了後、運転席部回転条件終了後）による1要因分散分析の結果、DS模擬方式の主効果が認められた。5水準間での多重比較を行った結果、定置型条件と比較して、映像品質の劣化の防止のみを行ったプロジェクタ群回転条件では酔いの低減効果はみられず、旋回方向の体感のみを与える両回転条件では低減効果が得られた。ところが、練習直後以外のすべての条件と比較して最も酔いが少なかった条件は、映像品質の劣化を防止すると同時に、旋回方向の体感を与える運転席部回転条件であり、唯一練習直後と比較して主観的な酔いが悪化しなかった。

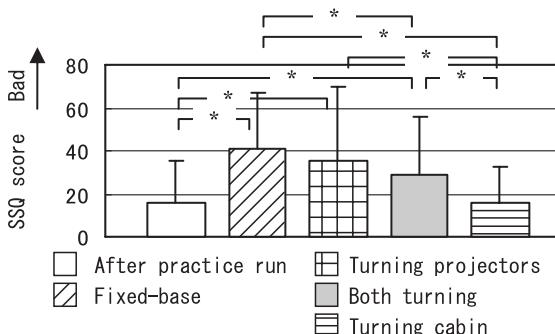


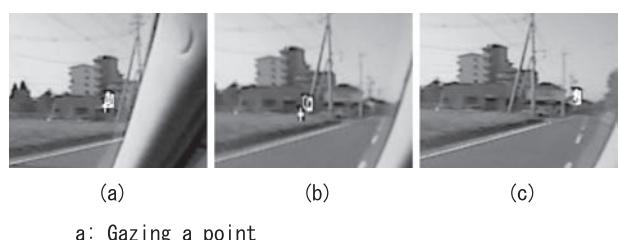
Fig. 2 Subjective evaluation on simulator sickness (*:p<0.05)

4.2 視線移動

10名の被験者について六つの交差点を走行させた実路走行時の視線移動パターンを調査した。その結果、Fig. 3のように、最初にある個所を注視し（a）、すぐさま旋回による風景の流れを追従する

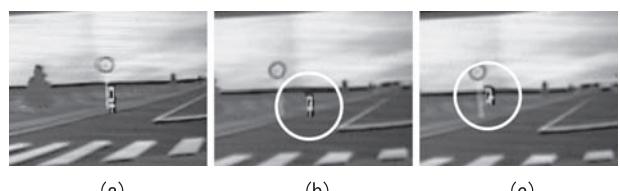
（b）。しばらく追従した後、進行方向の先へサッケードを伴って視線を遠方へ移動する（c）。旋回の終盤から直進状態になるまでこのような視線移動パターンを繰り返した。

ところが、定置型条件およびプロジェクタ群回転条件、すなわち体感を与えない条件では、実車とは異なる視線移動パターンが観測された。Fig. 4にその視線移動パターンを示す。最初にある個所を注視する点（a）は通常と同じであるが、注視した後、風景の流れを追従せず停留する（b）。しばらく停留した後、進行方向とは逆向きにサッケードを伴って視線を移動する（c）。この視線移動パターンの多くは交差点を抜け、直進状態に戻る直前に観測された。なお、同様の視線移動パターンが観測された1名については、交差点終盤から直進状態に戻るまで繰り返し観測された。



(a) Gazing a point
b: Same gaze point in scene (a)
c: Saccadic eye movement to ahead of turn

Fig. 3 Gazing behaviour when driving an actual car nearby an end of Corner (Sub.02, Right turn)



(a) Gazing a point
b: Retention at the gazing points
c: Saccadic eye movement back to opposite direction with ordinary behavior

Fig. 4 Unordinary gazing behaviour nearby an end of Corner (Sub.20, Fixed-base condition, Right turn)

このような通常とは異なる視線移動パターンの発生頻度を調査したところ、Fig. 5に示すように、定置型条件では4名、プロジェクタ群回転型条件では2名の被験者について、その現象が観測された。また、 χ^2 検定の結果、この現象が観測されなかつた両回転型条件および運転席部回転型条件と比較して定置型条件では有意に増大した。

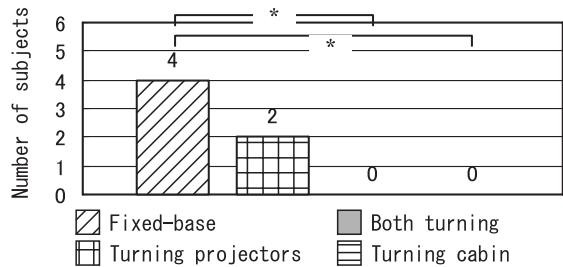


Fig. 5 Number of subjects observed unordinary gazing behavior (*:p<0.05)

5. 考察

SSQの結果 (Fig. 2) から、体感のみを改善する両回転型条件は、定置型条件と比較して主観的な酔いが低下するため、ヨー方向の体感の付与は、右左折時の酔いの改善に寄与すると考えられる。一方、映像のみを改善するプロジェクタ群回転型は、定置型条件と比較して改善効果は認められないものの、映像と体感の両方の改善がなされる運転席部回転型は、最も改善効果が高い。すなわち、ヨー方向の体感の付与は右左折時の主観的な酔いの改善に寄与し、映像品質はこの効果を高めることが期待できる。

右左折時の視線移動パターンを調査したところ、体感がない条件である定置型およびプロジェクタ群回転型において、実車では発生しない視線移動パターンが観測された (Fig. 3, Fig. 4)。その現象は、交差点終盤から直線状態に復帰する際、風景と視線の動きにずれが生じるというものであった。両回転型および運転席部回転型ではこの現象が発生しなかったことから (Fig. 5)，体感を与えることによって実車の視線パターンに近づくと考えられる。また、その現象が発生する頻度は、定置型においてのみ有意に増大し、プロジェクタ群回転型では有意差はなかった。すなわち、映像品質の改善によって風景と視線のずれを減少すると考えられる。

6. まとめ

本報告では、運転席部回転による右左折時の酔いの改善要因として、にじみによる映像品質の劣化防

止とヨー方向の体感付与について、その寄与度合いを調査した。その結果、以下の知見が得られた。

- 1) ヨー方向の体感を与えることによって、主観的な酔いを改善する。
- 2) 映像にじみの減少とヨー方向の体感付与を両立すると、体感のみを与えた場合よりも主観的な酔いを改善する。
- 3) ヨー方向の体感を与えることによって、実車の視線移動パターンに近づく
- 4) 体感が得られない場合であっても、映像のにじみを減少させることによって、実車とは異なる視線移動パターンを改善する可能性がある。

以上の結果から、体感の付与は模擬性能向上に有用であり、さらなる主観的な酔いの改善には映像のにじみを減少させることが重要である。

本報告に用いた実験装置では、ヨー方向の体感のみであり、横方向の体感が得られない。その運転感覚は、後部車輪がコーナ外側へ滑るような感覚となる。今後は、須田らの研究⁵⁾に用いられたように、ヨー方向の体感と車両の並進方向の体感を同時に付与し、両者の最適なバランスについて検討することが有用と思われる。

参考文献

- 1) Reason.J.T. and Brand.J.J. : Motion Sickness, London, Academic Press (1975)
- 2) 浅野陽一, 内田信行 : 運転席部回転による運転違和感の改善, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.6-04, p.19-22 (2004)
- 3) Y. Asano, N. Uchida : Improvement of Driver's Feeling by Turning Cabin Driving Simulator, Proceedings of the Driving Simulator Conference, DSC-NA2005, Orlando, Florida, p.230-239 (2005)
- 4) R.S. Kennedy et al. : Simulation Sickness Questionnaire, An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness., Int. J. Aviat. Psychol., 3-3, p.203-220 (1993)
- 5) Y. Suda, M. Onuki : Development of the Universal Driving Simulator for ITS Researches, Proceedings of the 12th World Congress on Intelligent Transport Systems (2005)