

# 論 文 要 旨

論文題目 「Study on Simulator Sickness in Immersive Virtual  
Environment and Proposal for Safety Guidelines」  
(没入型バーチャル環境におけるシミュレータ酔いと安全ガイ  
ドラインの提案に関する研究)

学位申請者 Chompoonuch Jinjakam

Immersive virtual environment (IVE) definitions of this research are 1) multiple large flat-screened, 2) can accommodate more than one user at the same time, and 3) different types of user as "driver" and "passenger". Therefore, head-mounted display (HMD), Concave screen, one large projection screen and a monitor screen are not IVE from these definitions. CAVE Automatic Virtual Environment (CAVE) is one type of IVE. The current CAVE used by only one user at one time. However, CAVE screen size is increasing in coming future. The larger CAVE can support more than one user simultaneously enter at the same time while these users see the screen from different positions ("driver" versus "passenger"). The previous published papers were less studying on simulator sickness in CAVE system. Furthermore, driver and passenger positions effect on simulator sickness in IVE have not been published. Therefore, this research purpose is proposing the safety guidelines which reduces the simulator sickness in an immersive virtual environment by study multiple factors of simulator sickness in an immersive virtual environment, and investigated their order of importance from factor loadings through subject experiments based on a simulator sickness questionnaire. To better determine the causal factors of simulator sickness in multiple-screened IVE, this research studied not only environmental factor effects on simulator sickness such as position, parallax, and number of display screens, but also subject factor effects such as age and height differences. A HoloStage™ experiment with various environmental conditions was used with a follow-up simulator sickness questionnaire and motion sickness history questionnaire evaluation. In addition, the heartbeat rate of ECG signal for physiological measurement also analyzed in the last experiment of this research.

Experiment 1 is the study of display screen and parallax effects. Experimental results show three-screened induced simulator sickness less than one-screened when comparing in simulator sickness questionnaire (SSQ) total score. However, the oculomotor is affected on simulator sickness from three-screened more than one-screened when parallax is 2.0 cm. This experiment results suggest to use three-screened IVE with pay attention to set proper parameter conditions.

Experiment 2 is the study of parallax, position, height difference, nationality, and age effects by using wide-road content. The most factor effects on simulator sickness in descending order as parallax, position, height difference, nationality and age. However, the wide-road content is not shown obvious image distortion to the passenger. Therefore, Experiment 3 is the study of position effect by using narrow-road content. Position, height difference, and age effect on simulator sickness are studied in this experiment. The most factor effects on simulator sickness in descending order as position, height difference and age. Finally, experiment 4 is the study of the important factor effect and their order. The results show the most factor effects on simulator sickness in descending order as parallax, position and height difference effect. Moreover, the relationship between SSQ and heart beat results was investigated in this experiment.

Regarding to the findings in these studies, three-screened displays produce less simulator sickness than one-screened displays but need attention to set proper parameters, e.g. should set parallax to 6.5 cm. Moreover, the simulator sickness can be reduced in multiple-screened immersive virtual environments by setting the tallest subject as the driver, and having the subject avoid the position where the screens connect together. Furthermore, the safety guidelines for experiment in immersive virtual environment and safety guidelines for IVE are proposed.

# 論文要旨

論文題目「Study on Simulator Sickness in Immersive Virtual Environment and Proposal for Safety Guidelines」  
(没入型バーチャル環境におけるシミュレータ酔いと安全ガイドラインの提案に関する研究)

学位申請者 Jinjakam Chompoonuch

本研究における没入型バーチャル環境 (Immersive virtual environment (IVE)) とは、複数の大型平面スクリーンから成り、複数のユーザが同時に入る事が出来、その役割が位置センサを装着したドライバとその他のパッセンジャとに分類できる環境をいう。そのため、ヘッドマウントディスプレイや凹面・球面型ディスプレイは研究対象外となる。CAVE (CAVE Automatic Virtual Environment) は IVE の代表的なものであるが、現在の多くは通常 1 名のユーザが利用する環境である。しかし近年このサイズが大型化しており、この大型の CAVE では複数ユーザの同時利用が可能となる。一方、バーチャル環境では、その特有の「シミュレータ酔い」の現象が生じるため、この研究が盛んに行われている。しかしながら、CAVE におけるシミュレータ酔いの研究は少なく、特に、大型 CAVE (本研究で定義する IVE) における複数ユーザとその役割に着目したシミュレータ酔いの研究は行われていない。そこで本研究では、IVE におけるシミュレータ酔いに関して、Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) に基づき、複数要因の影響とその重要度の順位付けを行うための実験を行い、シミュレータ酔いを低減するためのガイドラインを提案することを目的とする。シミュレータ酔いを誘発する複数の要因として、環境に関する要因 (ユーザ位置, 視差, スクリーンの数) だけでなく、ユーザに関する要因 (年齢, ドライバとパッセンジャ間の身長差) についても検討した。また、SSQ と Motion Sickness History Questionnaire の比較、心拍数とシミュレータ酔いの関係についても検討した。

実験 1 では、視差とスクリーンの数について検討した。その結果、3 面スクリーン環境は 1 面スクリーン環境よりもシミュレータ酔いが少ない事が SSQ のトータルスコアより示された。しかし、視差が 2.0cm の場合は、眼精疲労の項目において、3 面スクリーン環境が 1 面スクリーン環境よりも疲労が大きいという結果が得られた。この実験結果は、3 面スクリーン環境では現実環境と同じパラメータ設定とする必要がある事を示唆している。

実験2では、視差、ユーザ位置、身長差、国籍、年齢の影響について検討を行った。実験結果について主成分分析を行ったところ、シミュレータ酔いに大きな影響を与える要素の順は、視差、ユーザ位置、身長差、国籍、年齢の順であった。しかし本実験で利用したコンテンツは、スクリーン境界で生じるパッセンジャとドライバへの映像歪みの違いが不明瞭であったため、実験3においてパッセンジャとドライバの違い（ユーザに関する要因）について再検討した。

実験3では、ユーザ位置、身長差、年齢の影響について検討を行った。その結果、ユーザ位置と身長差が著しくシミュレータ酔いに影響を与える事が示された。

実験4では、実験3で用いたコンテンツにより、再度全ての要素について検討を行った。その結果、視差、ユーザ位置、身長差が最も重要なシミュレータ酔い誘発要素であることが示された。また、この実験では心電図の計測を併せて行い、シミュレータ酔いと心拍数の関係についても検討した。

これらの実験より、「IVEは1面スクリーンに比べてシミュレータ酔いを低減できる、ただし視差は現実と同等の6.5cmに設定する」、「最も身長が高いユーザをドライバとして設定する」、「ユーザ位置、特にパッセンジャの位置はスクリーン境界が視野に入らない位置とする」などの結果を最終的なガイドラインとしてまとめた。さらに、IVEでの実験方法に関する調査結果もガイドラインしてまとめた。