

## ニューラルネットによる個人性を導入したVR酔い対策システム

高木, 英行  
九州大学大学院芸術工学研究院

田中, 信壽  
九州芸術工科大学大学院芸術工学研究科

<https://hdl.handle.net/2324/4482760>

---

出版情報 : Proceedings of Annual Conference of SOFT Kyushu Chapter. 7, pp.111-114, 2005-12-10.  
Japan Society for Fuzzy Theory and Systems

バージョン :

権利関係 :

## B502

### ニューラルネットによる個人性を導入したVR酔い対策システム

九州芸術工科大学大学院芸術工学研究科 ○田中信壽  
九州大学大学院芸術工学研究院 高木英行

#### VR System that Minimize VR Sickness by Incorporating User's Personal Characteristics with Neural Networks

Nobuhisa Tanaka Kyushu Institute of Design  
Hideyuki Takagi Kyushu University

**Abstract:** We propose a VR system that incorporates each user's characteristics of VR sickness and presence using neural networks (NNs) to minimize VR sickness. The system estimates the optimum condition by combining an NN that learns user's characteristics of VR sickness and an NN that learns user's characteristics of presence. We evaluate the system with 15 subjects and show its effectiveness.

### 1. まえがき

VR環境は、利用の仕方によって不快感や疲労感ひいては疾病の誘発などVR環境独特の健康被害を及ぼす危険性が指摘されている[1]。この健康被害の中の1つである「VR酔い」は、強い不快感を伴って頭痛、眩暈、吐き気などの症状を発症させ、VR環境普及のボトルネックとなる可能性がある。

本研究では、ニューラルネットワーク(NN)を導入することで、VR酔いの抑止とVR環境の利点である臨場感のバランスが利用者にとって最適となるVR環境の条件を算出するVR環境最適化システムを開発している。

本論文では、本システムのメカニズムとその特徴を示し、本システムが算出する最適条件を適用したVR環境でのVR酔いの抑止と臨場感の向上のバランス、及び作業効率の評価結果を示す。

### 2. システムの概要

#### 2.1 本システムの対策方針

VR酔いは、VR環境で知覚する空間移動情報間に物理法則的な矛盾が存在することで発症する。視覚情報のみを提供するVR環境の場合、VR酔い発症の主原因は、視覚の空間移動情報と前庭覚及び固有覚情報の空間移動情報との間に生じる物理法則的な矛盾である。

本システムの対策方針は、視覚の空間移動情報を利用者の特性に合わせて設計することによって、利用者が知覚するこの矛盾を調節することである。また本研究では、身体の高さ方向の中心軸(YAW軸)を回転軸とした大地面と平行な回転表現を移動表現として取上げ、本VR環境の空間情報のパラメータである「角速度」と「画角」の2つの設計によってVR酔い対策を試みる。

#### 2.2 システムの特徴と概要

本提案システムの特徴は、(1)VR環境の設計パラメータ(角速度と画角)に対する利用者のVR酔い特性と臨場感特性から最適条件を決定する点と、(2)実用時間で簡易に健康面への影響が少ない事前測定によりこれら2要因の個人依存性を獲得する点にある。2つのNNを用いて最適VR環境条件を推定する提案システムの概要を図1に示す。また、本研究で用いる3変数を表1に定義する。

NN-Iは、過去の利用者におけるVR酔いの励起速度(表1)の平均値と標準偏差に対する同被験者らのVR酔い特性の関係を学習したNNで、利用者のVR酔い特性を推定することに用いられる。

NN-IIは、測定した利用者のベクシヨンの消失画角(表1)を学習したNNで、利用者の臨場感特性を推定することに用いられる。

本システムは、まず、任意の画角及び角速度を、利用者の用者のVR酔い特性推定用のNN-Iと臨場感特性推定用のNN-IIに入力する。次に両NNの出力値を拮抗させ、入力値の画角及び角速度の環境条件に対する利用者の適応度を算出する[2]。このプロセスを画角及び角速度の探索空間全体に対して行い、最も適応度の高い画角及び角速度の環境条件を見つけ出し最適環境条件として出力する。

#### 2.3 VR酔い特性の個人モデル

VR酔い特性の指標には、Simulator Sickness Questionnaire(SSQ)のTotal Score[3]を用いる。VR酔い特性を直接測定して得ることは、健康面への影響や手間を考えると現実的ではない。そこで、本システムは、この個人モデルを軽度のVR酔いの発症を捉えることで測定でき、かつ利用者のVR酔い特性が反映された特徴が現れるVR酔いの励起速度を事前に測定し利用する。

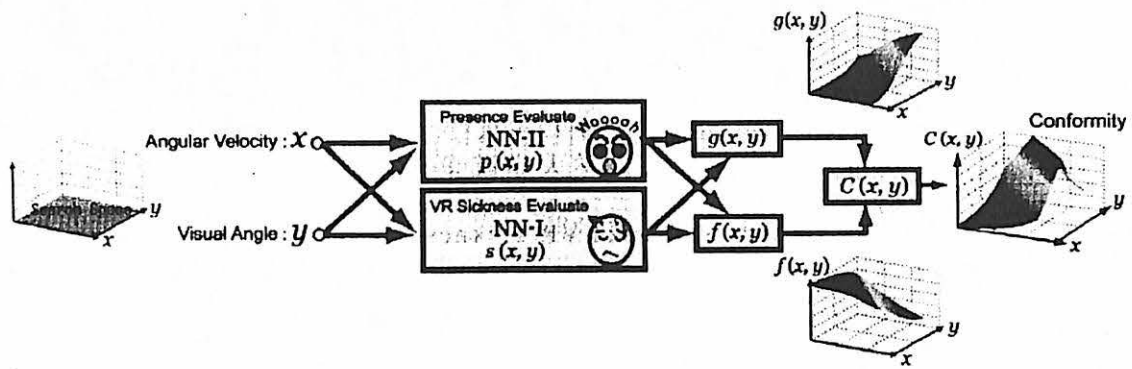


図1 NNを用いて個人性を反映させるVR環境最適化システム

表1 本研究で定義する3変数

変数	定義
VR酔いの励起速度 (Exciting Velocity of VR Sickness)	SSQの評価症状のうちいづれかの症状が発症する最も低い移動表現速度
ベクシヨンの生起率 (Vection Occurrence Rate)	ベクシヨンが生起している時間がVR環境提示時間に占める割合
ベクシヨンの消失画角 (Disappearance Visual Angle)	ベクシヨンが知覚されなくなる限界の画角の大きさ

具体的には、本システムは、過去の利用者の励起速度平均値及び標準偏差と同利用者が複数の特定の環境条件下(画角, 角速度)で実際に直接測定したSSQ Total Scoreとの関係を学習させたNNs (NNは、特定環境条件毎に用意)を用いて、同特定条件毎その条件下で利用者が示すことが推定されるSSQ Total Scoreとして抽出する。

次いで、この抽出された複数の同特定の環境条件下でのVR酔い特性 (SSQ Total Score) を学習させたNNを用いて、その利用者の任意の環境条件下で示すことが推定されるSSQ Total Score (VR酔い特性の個人モデル) を獲得する (図1中, NN-Iの働き)。

### 2.4 臨場感特性の個人モデル

臨場感特性の指標には、ベクシヨンの生起率 (表1) を用いる。本システムは、臨場感の個人モデルの獲得には、ベクシヨンの消失画角を事前に測定し利用する。特定の複数の角速度に対するベクシヨンの消失画角を測定 (一定速度で移動するVR環境を提示しながら一定角度の割合で画角を減少して測定) し、ベクシヨンの生起率を0とする。探索範囲で最も角速度が速く、画角の大きい環境条件下でのベクシヨンの生起率を100%と仮定し、これらの中点からベクシヨンの生起率50%の環境条件を内挿して得る。これら複数の特定環境条件(画角, 角速度)下での臨場感特性 (ベクシヨンの生起率) を学習させたNNを用い、その利用者が任意の環境条件下で示すことが推定されるベクシヨンの生起率 (臨場感特性の個人モデル) を獲得する (図1中, NN-IIの働き)。

### 2.5 最適環境条件の推定方法

VR酔い特性の個人モデルと臨場感の個人モデルが得られると、これらを合成し、その個人にとってVR酔いの抑止と臨場感の向上を最適なバランスで実現する最適環境条件を算出する。式(1)は、「VR酔いの発症し難さ」と「ベクシヨンの生じ易さ」を合成し、両特性の拮抗状態を推定する式で、本式の算出値が最大となる (x:角速度, y:画角) を最適環境条件として採用する。

$$C(x, y) = - \frac{f(x, y) + g(x, y)}{2} \dots\dots\dots (1)$$

$$f(x, y) = \alpha (s, p) \frac{\gamma \cdot SSQ_{max} - s(x, y)}{\gamma \cdot SSQ_{max}} \dots\dots\dots (2)$$

$$g(x, y) = \beta (s, p) \cdot p(x, y) \dots\dots\dots (3)$$

ここで、SSQmaxはSSQ Total Scoreの評価値スケールの最大値、 $\gamma$ は過去の利用者のSSQ Total Score  $s(x, y)$  から算出した当該VR環境のVR酔いの発症し易さの重み係数、 $\alpha (s, p)$ はSSQ Total Score  $s(x, y)$  とベクシヨンの生起率  $p(x, y)$  によって決まるVR酔い難さの重み係数、 $\beta (s, p)$ はSSQ Total Score  $s(x, y)$  とベクシヨンの生起率  $p(x, y)$  によって決まるベクシヨンの生じ易さの重み係数である。

本システムは、これらのメカニズムにより、求められるコンテンツ、あるいは、求められるVR酔いの安全基準に応じてVR酔いの抑止及び臨場感の向上のバランスを適宜調節できるという特長を実現し、設計するVR環境の仕様に沿ってその個人にとって最適な環境条件を自在に得ることができる。

## 3. 評価実験

### 3.1 目的

本節では、提案するVR環境最適化システムで得られたVR環境下でのVR酔いの抑止と臨場感の向上とのバランスの実現状況と作業効率を被験者実験で評価する。

### 3.2 実験環境

本実験で使用する実験環境を図2に示す。被験者は、液晶シャッター眼鏡(周波数110[Hz])をかけベクション状態報告用のコントローラを両手で持ち、両足尖及び踵が軽く接するように立つ。生成した時分割式立体視映像は、床上0.95[m]に設置した横1.6[m]、縦1.2[m]の単面スクリーンに背面投影する。被験者には半時計方向にyaw軸水平回転する図3の仮想立方体閉空間(チェッカールーム)を実験用コンテンツとして提示する。このチェッカールームの壁面には、白・黒・灰の3色からなる市松模様を配する。提示画面は縦横比3:4を常に維持する。

被験者は、事前にVR酔いの発症についてインフォームド・コンセントを得た22歳~47歳まで15名(男性10名、女性5名)である。全員が、正常な視力と正常な平衡感覚を有している。

### 3.3 実験方法

本実験は、以下に示す手順によって実施する。

手順1: 被験者に角速度 $[90^\circ /s]$ 、画角 $75^\circ$ のYAW軸-等角速度回転を行うVR環境を180[s]間提示する(画角: 水平画角)。被験者は、コントローラの十字キーで、ベクションを感じている状態(前方へ押し続けるよう指示)、感じていない状態(後方へ押し続けるよう指示)、そして判断がつかない状態(何もしないよう指示)、のいずれであるかを報告する。

また、画角に比例して直径が変化する赤球(直径が占める初期(画角: $75^\circ$ )時)視野角: $3.0^\circ$ )を視界(スクリーン)の中心に、ランダムに5~10秒間隔で0.2秒間だけ提示し、被験者は、コントローラのボタンを介して、赤球の視認の有無(視認次第、押すように指示)を報告する。コントローラの実操作については、被験者から操作法の理解と習熟の納得が得られるまで練習を行って実験に臨む。

手順2: 提示終了直後、SSQと感想や印象などの自由な聞き取り調査を行う。

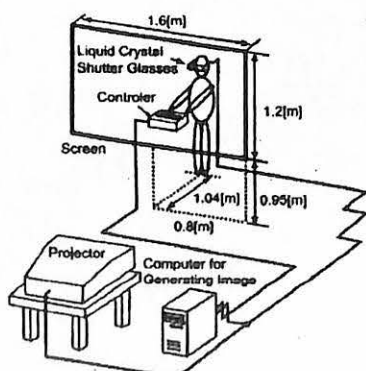


図2 実験環境

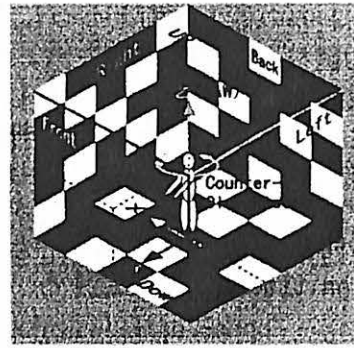


図3 実験用コンテンツ-チェッカールーム

手順3: 被験者に角速度が $0^\circ /s$ から毎秒 $1^\circ /s$ 増加するYAW軸-等角速度回転映像(max: $120^\circ /s$ )を提示し、VR酔いの励起速度を5回繰り返し測定する。最後にSSQを実施する。

手順4: 被験者に角速度90, 50,  $10^\circ /s$ のYAW軸-等角速度回転映像を提示し、画角を $75^\circ$ から毎秒 $1^\circ$ 減少させてベクションの消失画角を測定する。最後にSSQを実施する。

手順5: 手順3及び4から得られた各被験者のベクションの励起速度平均値及び標準偏差、ベクションの消失画角の情報をシステムに入力し、探索範囲(角速度: $0\sim 120^\circ /s$ 、画角: $0\sim 75^\circ$ )の(角速度、画角)をそれぞれ $1^\circ /s$ 及び $1^\circ$ 刻みでシステムに入力し、式(1)を最大にする最適(x:角速度、y:画角)を探索する。但し、手順II-1でVR酔いの症状が現れず励起速度が測定できない被験者に対しては、無条件に最適条件を(角速度、画角) =  $(120^\circ /s, 75^\circ)$ とする。

手順6: 手順II-3で得られた最適環境条件下とも手順1及び2を同様に行う。

## 4. 結果

図4に、角速度 $[90^\circ /s]$ 、画角 $75^\circ$ の条件下における被験者のSSQ Total Scoreとベクションの生起率の対比を示す。本環境条件下では、被験者の中にはSSQ Total Scoreが100を越える重度のVR酔い(強い吐き気や胃への不快感)を示す被験者が確認された。

図5に、本システムが算出した環境条件下における被験者のSSQ Total Scoreとベクションの生起率の対比を示す。

本システムが算出した環境条件下では、角速度 $[90^\circ /s]$ 、画角 $75^\circ$ の環境条件を適用したVR環境と比較して、ベクションの生起率の平均値をほとんど低下させずに(1%未満)、SSQ Total Scoreの平均値を下げる(12.5)ことができることが確認できた。また、この傾向は、高臨場感を生じ易いが同時に重度のVR酔いも発症してしまう被験者(No. 1~7)において顕著に確認でき、ベクションの生起率



の平均値は 2.9%の低下に抑えつつも、SSQ Total Score の平均値を 40.1 低下させた。

ここで、被験者がコンテンツに設定した赤球を視認してから、コントローラのボタンを押すまでの時間を反応時間(reaction time)と定義し、さらに実験終了直前の 60 秒間の平均反応時間から実験開始直後の 60 秒間の平均反応時間を引いた値を反応時間差(reaction time lag)と定義する。

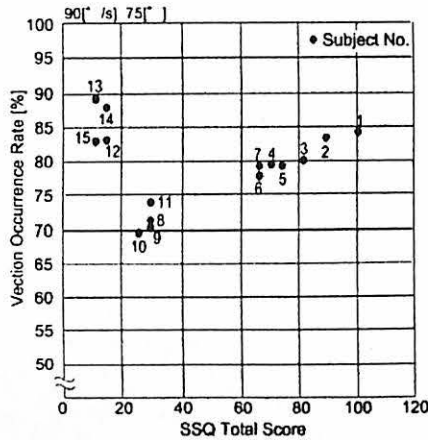


図 4 SSQ Total Score とベクションの生起率の対比 (角速度[90° /s], 画角 75[° ])

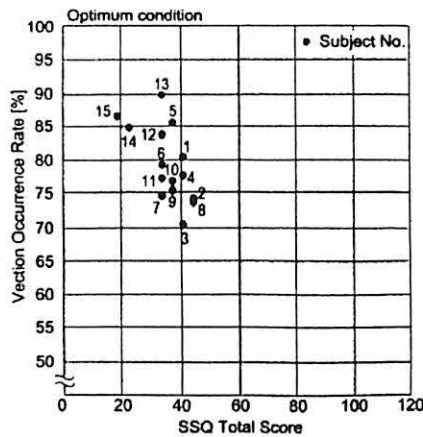


図 5 SSQ Total Score とベクションの生起率の対比 (最適条件)

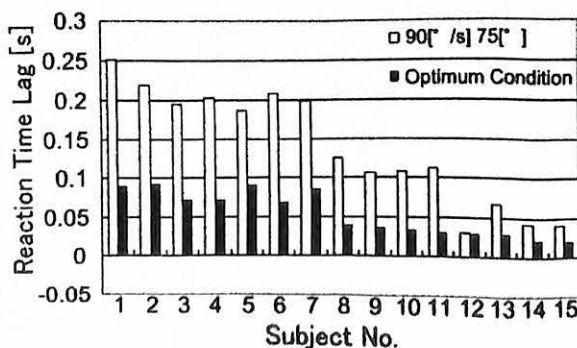


図 6 反応時間差の比較

この反応時間差は、本実験で設定した「赤球を視認後、ボタンを押す」というVR環境で設定した作業において提示開始直後と終了直前での反応時間の变化から、VR環境の利用が作業効率に与える影響を評価することを目的とし定義した指標である。図6に、[90° /s], 画角75[° ]の環境条件下と本システムが算出した環境条件下における反応時間差を示す。

最適環境条件下における反応時間差は、角速度 [90° /s], 画角 75[° ]の環境条件下と比較すると平均で 0.085[s]短縮することができ、作業効率の向上が確認された。

## 5. まとめ

第1に、[90° /s], 画角75[° ]の環境条件下の実験から、視覚情報のみを提供するVR環境では、視覚情報の空間情報の設計次第で、容易に利用者に対して重度のVR酔いを発症させることが確認された。

これは、VR 環境の設計では、臨場感の過度の優先や設計者の安易な仕様設計が重度の VR 酔いを発症させる危険性があることを示唆している。

第2に、本研究で開発したVR環境設計システムは、高臨場感を実現しながらも可能な限りVR酔いを抑止する環境条件を算出できていると考えられる。

これは、高臨場感を実現する環境条件が、即VR酔いを発症させる環境条件となるわけではなく、両条件間には個人の特性によって値や幅が異なる幾分かの-marginが存在していることを示唆し、本システムの手法が、その-margin内のVR酔いの抑止と臨場感の向上とのバランス状態を探索することを可能にしたといえる。

第3に、作業効率においても本システムが算出した最適条件下では、向上が確認できた。

## 【謝辞】

本研究は21世紀COEプログラムからの助成を受けた。

## 【参考文献】

- [1] 田中信壽: VR酔い対策の設計に求められる知見の現状, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol.10, no.1, pp.129-138 (2005).
- [2] Tanaka, N. and Takagi, H: Virtual reality environment design of managing both presence and virtual reality sickness, J. of Physiological Anthropology and Applied Human Science, vol. 23, no. 6, pp. 313-317 (2004).
- [3] Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S., and Lilienthal, M. G: Simulator sickness questionnaire: an enhanced method for quantifying simulator sickness., Int. J. of Aviation Psychology, vol. 3, no. 3, pp. 203-220 (1994).