

立体映像の人体影響の評価と設計指針

伊 福 部 達

Evaluations of Human Body Influenced by Three-Dimensional-Displays and a Guideline for Its Design

Tohru IFUKUBE

In order to formulate a guideline for the design of three-dimensional-displays used for a virtual reality environment, we have been investigating how three-dimensional -displays affect the human body. In this paper, an evaluation was made of the effects of viewing video movies and three-dimensional -images through HMDs and three-dimensional-displays on the visual and autonomic nervous systems. The evaluation parameters are sympathetic-parasympathetic nerve activity estimated from spectral patterns of heart rate fluctuations and a dynamic accommodation response of vision. Based on the findings obtained from the evaluation experiments, a guideline for the design of three-dimensional-displays and images presented through the displays were proposed at least for healthy young adults.

Key words: three-dimensional-display, virtual reality, visual fatigue, autonomous nerve activity, VR-sickness

現在の立体ディスプレイの多くは、視差がある2つの映像を両眼に提示する両眼視差方式を採用している。しかし、両眼視差は奥行きや立体形状の知覚に寄与する情報のうちの一部にすぎず、実際には、立体ではないものを立体と錯覚するヒトの脳の特性に頼っている。そのため、長時間にわたり立体映像を見た場合の脳への負担が懸念されている。

本報告は、(株)MRシステム研究所のプロジェクト「複合現実感システムに関する試験研究」の一環として進められた研究を要約したものであり、詳細は「立体映像の人体影響を探る」と題した著書¹⁾に示されている。

1. 評価の項目と方法

過去の文献による調査から、VR (virtual reality) 映像の評価にはストレスに関係する自律神経系、眼精疲労に関係する視機能、およびVR酔い(乗り物酔いに類似)に関係する平衡機能の3点に研究課題を絞った。ただし、VR酔いについてはあまりにもさまざまな要因が関与していることから、まず、自律神経系と視機能を中心にした人体影響を調べ、基本的なガイドラインを得たうえで、VR酔い

を軽減する一方法を提案した。

MRシステム研究所札幌分室に実験制御、刺激提示、生体計測のための3室を設け、下記のディスプレイおよび映像を用いて人体影響評価を行った。

- (1) ヘッドマウントディスプレイ(2D-HMD)とスクリーン映像(液晶プロジェクター使用)による2時間もしくは4時間の2Dビデオ映像

評価実験では、被験者は椅子にゆったりと座り、2D-HMDあるいはアーチスクリーンを使って2m先に52インチの画面で映像が見えるようにした。画面の明るさは普通のテレビ程度で、実験室は暗くした。

なお、2D-HMDにはキャノン製の自由曲面プリズム方式およびソニー製の凹面鏡光学系方式を採用し、映像としては字幕付きアクション映画3本を用いた。

- (2) 直視型3Dディスプレイに提示した30分の2Dと3Dの実写映像もしくはCG映像

評価実験では、被験者から60cmのところを実写映像もしくはCG映像を表示した。画面の明るさはコンピュータのモニター程度で、周囲は暗くした。

北海道大学電子科学研究所(〒060-0812 札幌市北区北12条西6丁目) E-mail: ifukube@sense.es.hokudai.ac.jp

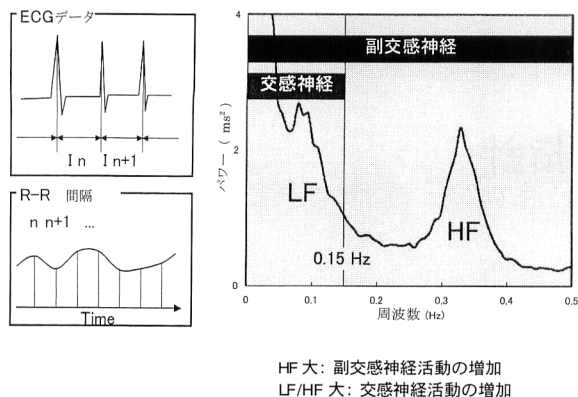


図1 自律神経系活動の評価方法。

なお、3Dディスプレイとしては(株)MRシステム研究所製のリアクロスレンチ方式直視型3Dディスプレイを用い、実写映像は二眼式の3Dビデオカメラを用いて撮影したビデオ映像、CG映像としてはCT-スキャンで得た人体各部の画像を3次元に再構成し、それが2分弱で1回転する立体映像である。

(3) ビデオシスルー HMD で表示した 3D のエム・アール (MR) 映像

評価実験では、(株)MRシステム研究所製のビデオシスルー 3D-HMD を通して実写 (静止した風景) と CG (動く標的) を重畳した 3D 映像を提示した。

(1), (2), (3) いずれも、自律神経系検査は映像提示中、視覚機能検査は映像の提示前と後とに分けて行った。

被験者は延べで 102 名の 19 歳から 27 歳の健全な男性および女性である。

2. 評価の結果

2.1 自律神経系への影響

自律神経系の評価では、まず、映像負荷中の血流、呼吸、心電図を計測した。また、心電図については心拍ゆらぎのスペクトル解析を行い、副交感神経の活動 (HF) および交感神経活動 (LF/HF) を評価した。解析結果から、映像負荷中に有意な変動例を多く認めるのは HF と LF/HF の値であることがわかった。

HF は、心電図ピーク間隔の時間的ゆらぎを周波数平面上で求めたときに呼吸周波数付近 (0.3 Hz) に現れる成分であり、リラックス状態が反映しているとされている。一方、LF は交感神経活動と副交感神経活動が反映されたものであり、LF/HF の大きさは主に興奮状態に対応する交感神経活動を反映しているとされている (図 1)。

(1), (2), (3) のいずれの評価実験でも、負荷中における LF/HF の平均値が負荷前と比較して増加したものの (図 2)、2D と 3D 間の比較では有意差がなかった。ところが、疲労を表す被験者の主観的な評価値を求めると、映像

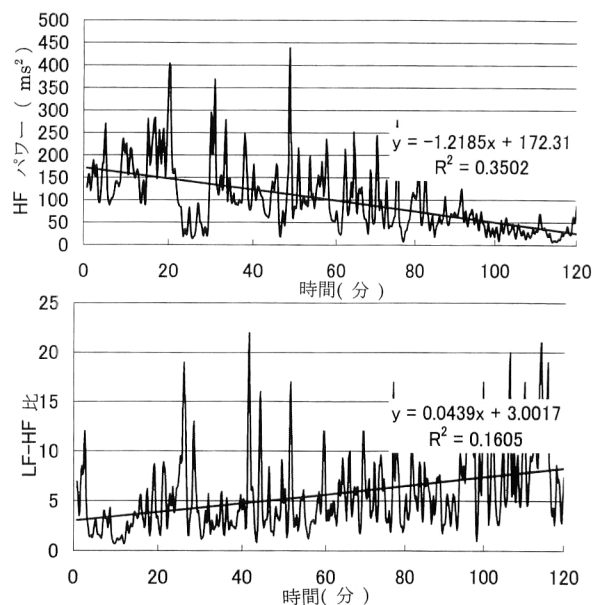


図2 自律神経系の活動例。HF (副交感神経系活動量): リラックス状態, LF/HF (交感神経系活動量): 興奮状態。

負荷後では 2D よりも 3D のほうで疲労が有意に大きいことがわかった。このことは自律神経系の評価に加えてより客観性と再現性があり、主観評価が反映されるような評価方法が必要になることを意味している。

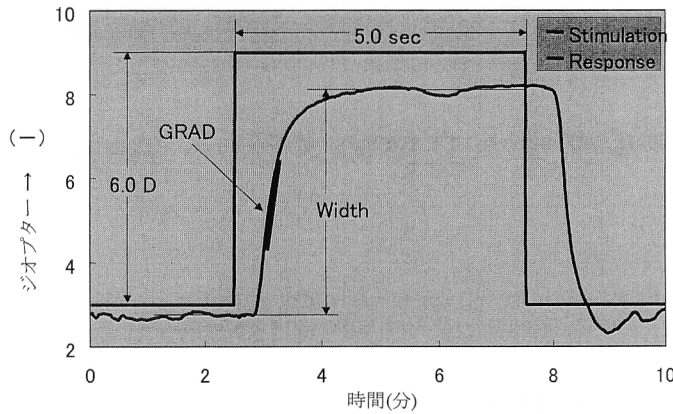
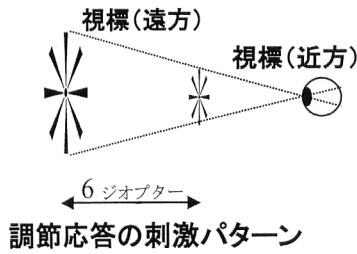
2.2 視機能への影響

次に、視機能に関する項目 (視力、屈折力、調節安静位、調節の準静的特性と動的特性、角膜屈折、涙液分泌量、瞬目頻度など) について予備実験を行ったところ、一個人におけるばらつき、個人差、定量性、客観性のすべてにおいて評価に使えるような有効かつ決定的な検査方法は見いだせなかった。ただし、他覚的調節力についてはさまざまな情報が含まれているので、さらに詳しく調べる必要があると判断された。

他覚的調節力とは、目のレンズ系の屈折による調節力を表す。ステップ応答検査では、米印のような視標の光学的距離を近方に瞬時に移動させたときに、被験者がすばやく焦点を合わせたときの水晶体の屈折力、すなわちレンズの厚み変化を調べる。

予備実験結果を踏まえ、種々のパラメーターの中から調節の立ち上がり速度 (GRAD: gradation) に注目した (図 3)。なお、現在の生理学的な知見によると、眼精疲労が大きくなり副交感神経の活動が低下すると、調節応答速度 (GRAD) が減少するといわれている。以下に、有意差が認められた例を示す。

実験を繰り返す中で、まず、2D-HMD を介してアクション映画映像を 4 時間にわたり提示したときの調節応答速度が、提示前に比べて、提示終了後 30 分で有意 (危険率 5%



GRAD:調節速度

図3 調節応答速度の求め方.

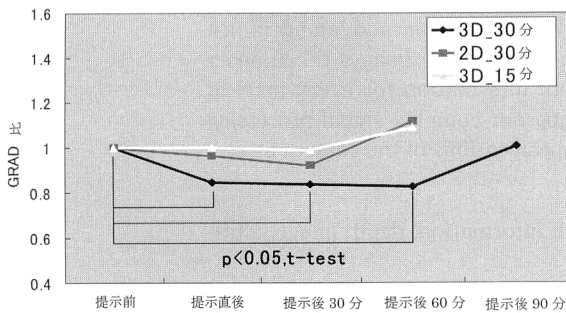


図4 調節速度 (GRAD) 変化. 3D直視ディスプレイ使用時. 実験条件: 3D直視 (30分と15分), 2D直視 (30分).

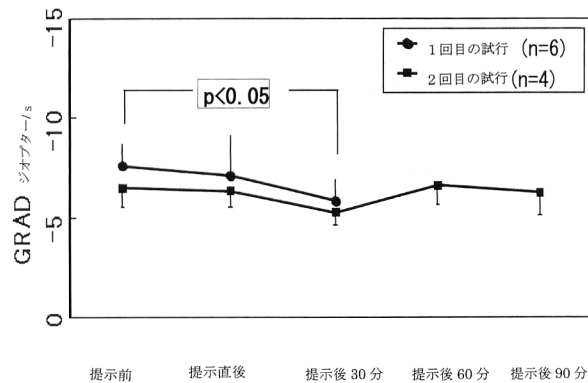


図5 調節速度 (GRAD) 変化. 2D-HMD装置による4時間映画.

以下)に低下するのを認めた(図4)。ただし、提示終了後60分ではもとの値に戻ることもわかった。

次に、CT-スキャン映像の場合、2D表示および3Dの15分表示では調節応答速度の有意な変化は認められなかったが、3D表示では提示終了の直後および30分後に調節応答速度の有意な低下(提示前比約80%)が認められた(図5)。ただし、提示終了後90分でもとの値に戻ることもわかった。

3. 考察とまとめ

調節応答速度が80%に低下したことは、たとえば、無限遠から眼前約17cmまでのターゲット移動に対して通常約1秒で調節が完了するヒトにとって、3DのCG映像を30分見た後では、調節が完了するのに1.2秒かかるということに対応する。このように、両眼視差だけを頼りにした3DのCG映像は、視機能を含む中枢神経系に何らかの負荷を与えていることが確認された。

以上より、現在の評価結果からは、少なくとも次のようなガイドラインを提示することができる。

- (1) 設計者に対しては、30分以上の立体映像を提示する前と後に調節ステップ応答検査を行い、提示後少なくとも120分間にわたり調節応答速度が回復しない場合には、立体ディスプレイ機器およびコンテンツの設計

を見直すべきであること。

- (2) 利用者に対しては、立体映像機器の使用にあたり、(1)の疲労回復に必要な時間よりも長く設定された休止時間が明示されていること。

このガイドラインは現在使われているディスプレイにおいて、健康な若者についてだけ適用できるものである。子供、老人、目などに障害のある者などについてはどうか、また、異なったタイプのHMDや直視ディスプレイはどうかについては今後とも調べる必要があり、さらにVR酔いを軽減させる方法を追求するという研究も重要になってくるであろう。今後は、これを「たたき台」として、もっと厳密で多角的なガイドラインを得る必要がある。

文 献

- 1) 鈴木康夫, 井野秀一, 恩田能成: 立体映像の人体影響を探る—VR環境構築の指針に向けて—, 伊福部達(監修)((株)MRシステム研究所, 2001) pp. 1-146.

(2001年11月27日受理)