

令和2年度学内公募研究（萌芽型）
〔研究紹介〕

フリッカー測定による両眼視野提示システムが
ユーザに与える負荷の基礎検討

水野 文雄¹⁾, 室岡 晴貴²⁾, 長橋 祥太²⁾

A basic study on workload induced by using the system to provide independent
views to both of eyes by critical flicker-fusion frequency

Fumio MIZUNO¹⁾, Haruki MUROOKA²⁾, Shota NAGAHASHI²⁾

Abstract

In previous work, we developed a system, “Virtual Chameleon”, that provide independent field of views to both eyes of a human user, and we conducted fundamental experiments to investigate human performance and conditions of user’s vision. From oral reports of users, the use of Virtual Chameleon posed binocular rivalry to visions of the users. In addition to it, the users of Virtual Chameleons under binocular rivalry often reported fatigue and malaise. In this study, to investigate workload with the use of Virtual Chameleons, we developed an experimental version of Virtual Chameleon which is equipped with an omnidirectional mobile device and can be controlled by touchpad devices, and we conducted a basic experiment using critical flicker fusion frequency as evaluation criteria. Six healthy volunteers (21-22 years old) with normal or corrected-to-normal vision participated in the study. The results showed the user of Virtual Chameleon increased workload.

1 はじめに

これまで我々は両眼を独立して動かす特徴的な視覚行動を行うカメレオンに着想を得て、カメレオンのような両眼独立運動を疑似的に実現するウェアラブルシステム、「バーチャルカメレオン」の開発を行ってきた [1]。バーチャルカメレオンは両手に把持するセンサの動きに応じて頭部に取り付けられた2台のカメラの姿勢角を独立制御し、カメラからの映像を両眼にそれぞれ独立して呈示することで擬似両眼独立視を実現する。また、我々は眼球運動の調整などの補完運動やサッカードをはじめとする特徴的運動に着目し、サッ

1) 東北工業大学工学部電気電子工学科

Department of Electrical and Electronic Engineering, Faculty of Engineering, Tohoku Institute of Technology

2) 東北工業大学工学部電気電子工学科（令和3年3月卒業）

Department of Electrical and Electronic Engineering, Faculty of Engineering, Tohoku Institute of Technology (Graduated in March 2021)

カードに類似する動作を行うシステム開発を行ってきた [2]。

バーチャルカメレオンを使用している間、2つの像のうちどちらか一方が優位に知覚され、時間とともにこの優位性が交替する両眼視野闘争 [3] が生じていることがユーザーの報告により確認された。さらに、バーチャルカメレオンを装着したユーザーの多くが疲労感や倦怠感を報告していたため、左右の眼に独立した視野が呈示され両眼視野闘争が生じるような状況では、ユーザーの視覚にはかなりの負荷がかかっていると考えられた。バーチャルカメレオンの使用により生じる疲労の定量評価は、擬似両眼独立視を実現する装置の開発を過程で非常に重要な要素となる。

精神的疲労の検査法として、人間工学および労働衛生の分野で広く利用されているフリッカー検査が挙げられる。任意の周波数で点滅する光源をヒトの視覚に呈示したとき、低周波数では点滅を知覚することができるが高周波数になるとちらつきが融合して点灯状態に見える。この点滅光がちらついて見えるか見えないかの閾値の周波数は、CFF (Critical Flicker Fusion Frequency)、あるいはフリッカー値と呼ばれ、精神的疲労の指標として用いられる。本研究では、バーチャルカメレオンの使用がユーザーにどの程度の心的負荷を与えるのか検討するため、専用システム開発を行い、CFF 測定実験を実施したので報告する。

2 実験装置

本研究ではユーザーの操作によるばらつきを低減し、一定方向の視野を得られるような機能と構造を有する CFF 測定専用バーチャルカメレオン (図 1) の開発を行った。フリッカー値測定用バーチャルカメレオンは台車、小型カメラ、カメラ姿勢制御デバイスおよび頭部に該当するカメラスタンドの姿勢制御デバイスおよび映像信号処理デバイスによって構成される。なお、床からカメラまでの高さを 1430 [mm] とした。

カメラ姿勢制御デバイス (図 2) はカメラモジュールを、2自由度ジンバル構造を有する専用設計の雲台機構に取り付け、さらに目盛付き支柱の梁上にスライド型クランプ構造の固定ジグで固定した。このような構成とすることで、瞳孔間距離に該当するカメラ間距離を定量的に変更することが可能となっている。カメラの姿勢制御を行うため、コマンド式

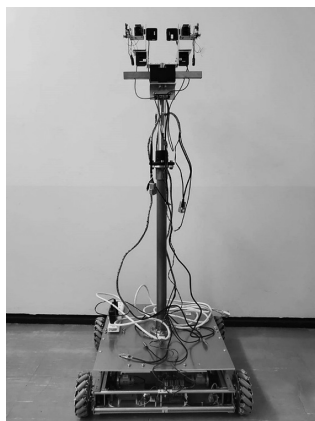


図 1 CFF 測定用バーチャルカメレオン

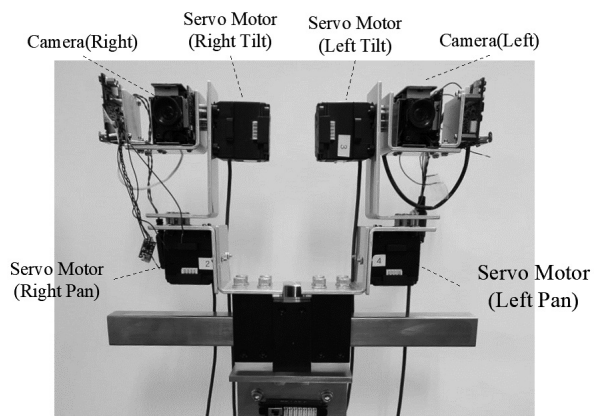


図 2 カメラ姿勢制御機構

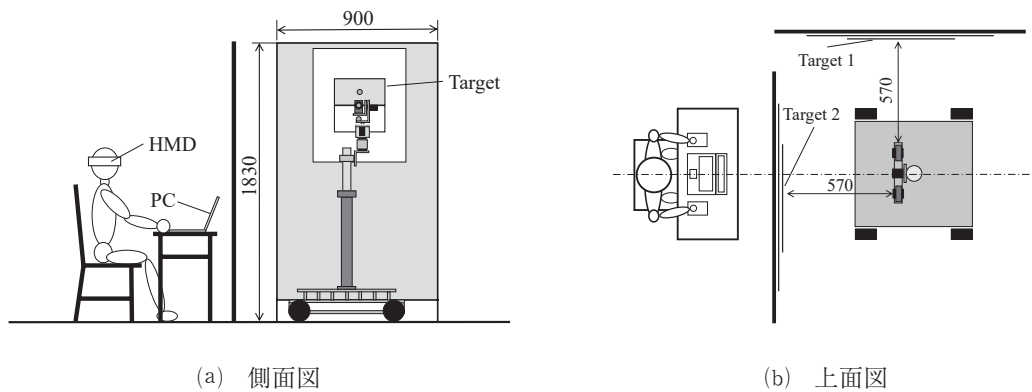


図3 実験構成図

サーボモータを使用した。カメラモジュールは、Sonyが開発したVISCA（Video System Control Architecture）プロトコルによる各種機能制御を可能とする光学防振機構搭載のカメラ（タムロン社、MP1010-VC、ズーム：10倍、解像度：1920×1080）を採用した。カメラ姿勢制御装置は、2台のトラックパッド（Apple社、Magic Trackpad）を用いて制御を可能とした。台車はメカナムホイール（土佐電子社製）を用いた四輪独立駆動による全方向移動機構となっている。

3 実験方法

バーチャルカメレオンの使用によるCFFの変化を検討するため、本研究では以下に述べる実験を行った。本実験の被験者は健康な成人男性7名（平均年齢：25.14歳SD7.70、晴眼者）を対象とした。

実験では図3に示すように、上面から見たときに直角となるようターゲットを貼り付けた衝立とバーチャルカメレオンを配置し、HMDを装着した被験者を着席させた。2枚のターゲットは図3(b)に示すようにターゲット1とターゲット2とし、実験に応じて変更した。ターゲットは半分が青色（C：100，M：50，Y：0，K：0）、半分が橙色（C：0，M：50，Y：100，K：0）となる2色の長方形で、2つの長方形を合わせた寸法はA3サイズ（297×420 [mm]）である（図4）。ターゲットに使用した青色と橙色は視野内で強いコントラストが生じるように補色の関係とした。なお、ターゲット図面は大判プリンタを使用して厚口コート紙に印刷した。さらに、ターゲットの上部と下部の中央に赤色LEDを配置し、点滅させることで実験中のユーザに視覚刺激を与えることが可能となっている。

CFF測定実験では竹井機器工業株式会社製フリッカー値測定器Ⅱ型（T.K.K.501c）を使用し、下降法[4]で測定を行った。CFFは装置装着前後に10回行い、その平均値を求めた。本実験の被験者は事前に本測定器を使用する事で、測定試験に慣れるようにした。ここまで述べた構成を基本として、以下に述べる条件のCFF測定実験を行った。

3.1 同一の像を両眼視する場合

はじめに、HMD装着そのものによる心的負荷を評価するためのCFF測定実験を行った。本実験ではターゲット1のみを配置し、ターゲット1の映像をHMD通じて被験者の両眼に呈示した。測定実験は、図5に示す手順を2回繰り返した。図5に示す手順を以下

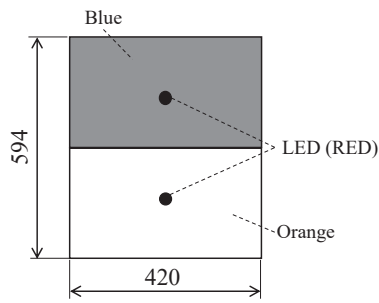


図4 実験ターゲット

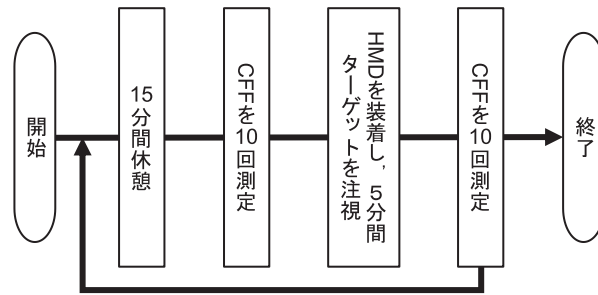


図5 実験手順

に述べる。

1. 被験者は15分間の休憩を取る。この際、PCやスマートフォンの操作や読書など、目に疲労を与えるような作業はさせないようにする。
2. CFFを繰り返し10回測定する。
3. ブランクスクリーン上のHMDを被験者に装着させる。
4. HMDのスクリーンを表示状態にし、被験者はHMDを通してターゲットを5分間注視する。
5. 2と同様にフリッカー値を測定する。
6. 繰り返しがあがる場合は、1に戻る。

3.2 同一形状・パターンであるが異なる2つの像を両眼独立視する場合

ここでは、同一形状および同一パターンではあるが、異なる2つのターゲットの映像を両眼に呈示させた場合の心的負荷を評価するためのCFF測定実験を行った。ターゲット1とターゲット2の位置に、同じ方向を向いたターゲットを配置し、被験者はHMDを通して2つの像を1つの像として見ることとした。なお、HMDを通して見たとき、2つのターゲットが重なって1つの像に見えるようカメラの姿勢角を調整した。このときのHMD画面の表示状態を図6に示す。右眼と左眼に呈示された映像は、異なるターゲットを呈示しているが、同形同パターンであるため、ユーザは一つの図を見ている状態となる。なお、実験は図5に示す手順に従い、5回繰り返した。

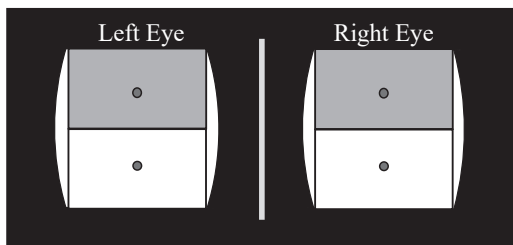


図6 同一パターンの異なる2つの像を呈示した場合のHMD画面の表示状態

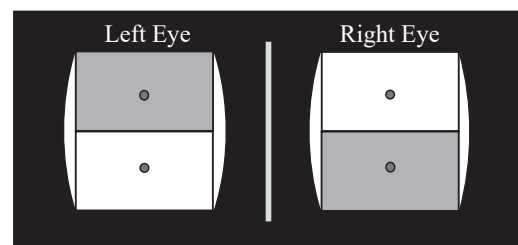


図7 2つの異なる像を呈示した場合のHMD画面の表示状態

3.3 装置使用時に2つの異なる像を両眼独立状態で見た場合

ここでは、明らかに異なる2つの像を呈示することで生じる両眼視野闘争による心的負荷を評価するためCFF測定実験を行った。ターゲット1とターゲット2の位置に、上下異なるパターンでターゲットを配置し、HMDを通して見て2つのターゲットが同一位置で重なって見えるようにカメラ姿勢を調整した。このときのHMDの表示状態を図7に示す。2つの像の位置は同一であるが、両眼に提示される像を異なるパターンとすることで両眼視野闘争を生じさせることとした。なお、実験は図5に示す手順に従い、5回繰り返し返した。

4 結果

図8～10に3.1～3.3節の実験で得られたCFFの経時変化を示す。縦軸がCFF、横軸が試行回数、点が被験者ごとのフリッカー値の平均値を表している。白色とグレーの箱ひげ図は、バーチャルカメレオン使用前後の結果を示している。また、装着前後のCFFを比較するためt検定を行った。3.2節および3.3節の実験結果に対する検定結果は2段階で示しており、有意差(*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$)となっている。

3.1節で述べた一つのターゲットを撮影した映像を両眼で視覚する行動前後のCFFの変化を図8に示す。t検定の結果、CFFの変化に有意差は見られなかった。そのためHMDの画面越しに両眼で同一の像を視覚する行為そのものによる心的負荷は少ないと考えられる。

図9は3.2節で述べた、同一形状および同一パターンである2つの異なる像をHMD越しに一つの像として両眼独立視する前後のCFFの変化を示している。グラフに示すように、1回目の測定と比較して2～5回目の測定には有意な差が生じた。したがって、装着前より装着後のCFFは減少し、さらに試行回数に応じてCFFは減少した。3.2節の実験では、左右に同一ターゲットを配置したが、環境光やLEDの配置状態など軽微な差異を含む像を両眼に呈示しているため、両眼視野闘争が引き起こされ、ユーザに負荷を与えたと考えられる。

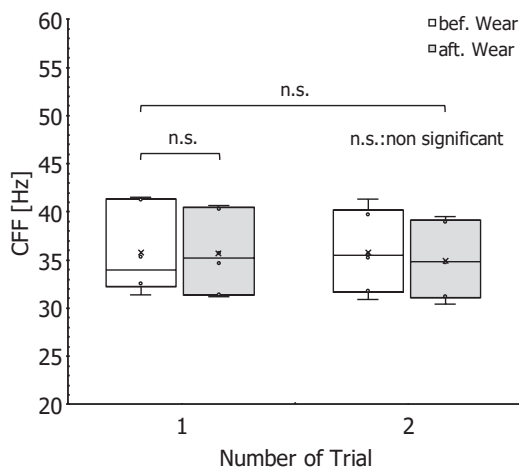


図8 3.1節の実験結果

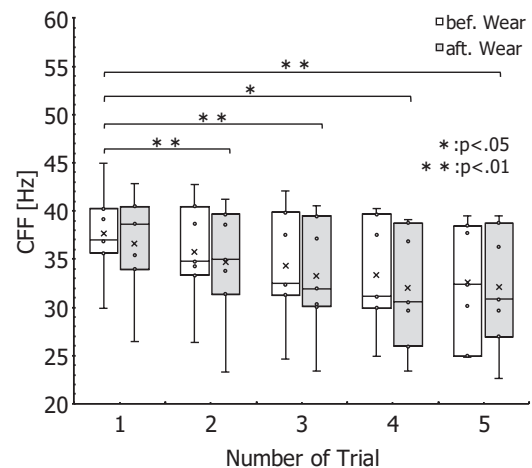


図9 3.2節の実験結果

図10は3.3節で述べた、異なる2つの像をHMD越しに両眼独立視を行う前後のCFFの変化を示している。図9のグラフと比較して、CFFの減少勾配が小さいものの、1回目の結果と2～5回目の測定後のフリッカー値に有意な差があった。しがたって、本実験でも両眼視野闘争の影響によりCFFが減少したと考えられる。

図9と図10のグラフを比較により、図9の結果の方がCFFの減少勾配が大きいことが分かる。微小な差のある像を両眼に提示して同一像として捉えるよりも、明確な差のある像を両眼に提示した場合の方がCFFの減少幅が少なく、ユーザの負荷が小さいことが示唆されている。

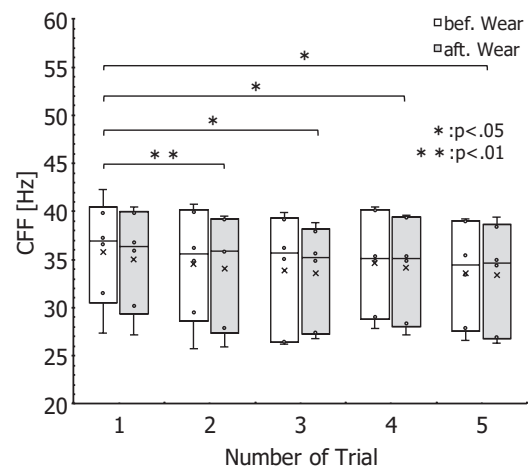


図10 3.3節の実験結果

5 おわりに

本研究では、バーチャルカメレオン着用による心的負荷の影響評価を行うため、CFF測定試験用のバーチャルカメレオンの開発を行い、CFFを指標とした基礎的な実験を行った。実験結果より、バーチャルカメレオン着用起因する両眼視野闘争による心的負荷が大きく試行回数に対して減少傾向を有することを確認した。また、両眼に呈示される像の差異が大きいと負荷が小さくなることが示唆された。

今後は従来型のバーチャルカメレオンの使用条件に近づけた条件下での測定や、提示画像の特徴量等の検討および異なる年齢層や性別の被験者を対象とした測定を行っていきたいと考えている。

謝辞

本研究は、東北工業大学学内公募研究（2020-01）の援助により行われたものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] Mizuno, F., Hayasaka, T. and Yamaguchi, T., "A Portable Device to Represent Different Views to Both Eyes", Proceedings of the 32nd Annual International Conference of the IEEE Engineering Medicine and Biology Conference, pp.3210-3213, 2010.
- [2] Mizuno, F., Hayasaka, T. and Yamaguchi, T., "Development of a System to Provide Different Fields of View to Eyes with a Function to Generate Rapid Movements", Proceedings of the 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering Medicine and Biology Conference, pp.5311-5314, 2013.
- [3] Blake, R. and Wilson, W., "Binocular vision", Vision Research 51 (7), pp.754-770, 2011.
- [4] 境信哉, 村井真由美, 青山宏, "フリッカー測定による作業負荷の評価 -七宝焼きとアンデルセン手芸の比較-", 山形保健医療研究, 第2号, 1999.