光学補正を用いた立体映像による眼精疲労の回復効果*

柴田隆史**, 河合隆史**, 李 在麟**, 金 相賢**,
大槻正樹***, 三宅信行***, 葭原義弘****, 岩崎常人*****

This paper describes effects of stereoscopic 3-D images with dynamic optical correction on asthenopia recovery. The authors have developed a stereoscopic 3-D display with dynamic optical correction. In this study, the authors carried out two experiments in order to examine the effectiveness of asthenopia recovery using the 3-D display. In experiment 1, visual acuity tests and asthenopic subjective symptoms were performed before and after viewing stereoscopic 3-D images on the display, and the degree of asthenopia recovery was evaluated. In experiment 2, the subjects were persons whose work basically involved using VDTs all day long. Experiments in asthenopia recovery were carried out in the evening. Measurements were also taken in the morning in order to determine normal daytime vision. Additionally, a refraction feedback function for presenting stereoscopic 3-D images on the display was used for making the viewer's distance vision more effective. The results of the experiments suggested that asthenopia recovery using stereoscopic 3-D images with optical correction was more effective than 2-D images. It was suggested that although these asthenopia recoveries might be temporary, viewing stereoscopic 3-D images with optical correction created refreshing sensations such as felt upon awakening.

本研究では、光学補正により観察者の調節を適切に作用させられる立体ディスプレイを用いて、立体映像を観察することによる眼精疲労の回復効果を検討した。実験1では、立体映像の観察前後に視力と眼精疲労の自覚症状を測定することで、回復効果の程度を検討した。そして、実験2では、一日中VDT作業を行っている事務職員を被験者として、朝の測定値および平面映像観察と比較することで回復効果を検討した。また、被験者の視覚状態に合わせて徐々に遠方視させることを目的とした刺激呈示のフィードバック機能を用いて、調節の緊張緩和を促した。実験の結果から、調節が適切に作用する立体映像は、平面映像と比較して、眼精疲労の回復効果が高いことが示された。本研究で得られた眼精疲労の回復効果は、一過性の反応であると考えられるが、見えがはっきりするような感覚や眠気がなくなるような爽快感は、調節が適切に呈示される立体映像により生じたのだと考察された。

(キーワード：立体映像，調節，眼精疲労，光学補正，ヒーリング)

1. はじめに

近年、テレビに加えてパソコンや携帯電話、PDA (Personal Digital Assistant) などが、日常生活における重

要な情報呈示機器となっており、これらを介して視覚情報メディアを利用することが生活の一部となってきた。パソコンを含めたコンピュータ利用による作業への影響については、これまでもVDT (Visual Display Terminal) 作業に関する多くの研究がなされており^{1,2)}、VDT作業ガイドラインの策定³⁾や対策などが検討されている。しかしながら、作業負担や負荷の軽減に関して言及されることは多いが、疲労の回復やストレスの解消などといったヒーリング (Healing, 癒し) の観点から、人間工学研究がなされることはまだ少ないといえる。生活の豊かさや快適性が議論される昨今、労働作業に従事する時間以外の生活環境に対する検討も必要とされている。

さて、パソコン利用の増加に伴い、眼精疲労や肩こり、頭痛などに悩む人が増加していると言われている。VDT

* 受付：2008年7月4日 受理：2008年11月10日

** 早稲田大学大学院国際情報通信研究科

Graduate School of Global Information and Telecommunication Studies, Waseda University

*** 株式会社ニコン

Nikon Corporation

**** 株式会社有沢製作所

Arisawa Manufacturing Co. Ltd.

***** 産業医科大学眼科学教室

Department of Ophthalmology, University of Occupational and Environmental Health

症候群と呼ばれる健康被害である。そのような症状には作業姿勢や室内環境、生活習慣などの複雑な要因が関わっているが、近方視の持続による筋疲労もその要因のひとつであることが指摘されている。平成16年8月に厚生労働省が発表した「平成15年技術革新と労働に関する実態調査」⁴⁾によると、コンピュータ機器を使用している労働者の割合は86.2%にも上り、仕事でのVDT作業で、身体的な疲労や症状を感じている労働者の割合は78.0%にもなるという。そして、その具体的な症状として、「目の疲れ・痛み」をあげる人が91.6%にも上ることが報告されている。前述の通り、パソコンに加えて、携帯電話などによるコンテンツ視聴やコミュニケーションがなされていることを考慮すると、視覚情報メディアの日常生活への浸透により、近いところを長時間見る機会がますます増加していくことが予測される。携帯電話やPDAは、手で機器を持つという利用形態を考えると、前腕長の約25cm程度あるいはそれよりも短い視距離で利用されると推測され、常に調節安静位よりも近方を見ていると思われるためである。

VDT作業のような近方視の持続による眼精疲労の発症は、毛様体筋が過度に長時間緊張していることが主な原因とされている。なお、眼科学では、眼精疲労と眼疲労は区別されて使用されることもある。すなわち、眼疲労とは休息により回復する疲労であり、眼精疲労とは一定時間の休息によっても十分に回復しえない疲労であるとされる⁵⁾。しかしながら、その区別を厳密に行うことは困難であるとされるため、本稿では、「眼が疲れる」という本人の訴えを基本とした疲労というように広義に捉え、眼精疲労という用語を用いることとする。

近方視の持続による眼精疲労を回復する方法のひとつとしては、遠方視をして毛様体筋を弛緩させることがあげられ、光学的に視標を近方と遠方へ移動させることによる回復効果⁶⁾や、立体映像を用いて視覚の遠方化を促すことで眼精疲労を軽減させる効果があること⁷⁾が報告されている。また、立体映像を用いた視機能トレーニングにより、奥行き知覚の精度が改善する可能性を示す報告⁸⁾や、VDT作業の疲労緩和やリラクセーション効果への応用可能性を示す報告^{9,10)}などがなされている。本研究では、観察者の調節を視標に対して適切に作用させることができる光学補正方式立体ディスプレイを用いて、調節の緊張緩和と賦活による眼精疲労の回復効果を測定した。本研究の目的は、遠方視を促す立体映像の観察による効果を、眼精疲労の回復と見え方の変化の観点から検討することであった。

2. 光学補正方式立体ディスプレイ

実験には、光学補正方式立体ディスプレイ¹¹⁾を用いた。当該ディスプレイは、光学系により焦点距離を変化させることで、立体像の奥行き方向の移動に対して光学補正を行うことができる。それにより、近方から遠方において、水晶体の調節の働きを適切に誘起させることができる。加えて、立体映像観察時の輻湊と調節の不整合¹²⁾を解決している。

調節を変化させるための光学補正量は連続的に変化させることができ、光学補正が可能な範囲は0から2.5 D (Diopter) である。ディオプタとは屈折力の単位であり、メートル距離の逆数で表される。人間の水晶体の観点から換言すると、例えば0 Dは無限遠を、2.5 Dは40 cm先を注視する屈折力に相当する。また、立体映像の呈示は、マイクロポール (μPol)¹³⁾を用いた偏光方式である。

3. 実験1

3-1. 目的

本実験の目的は、調節の奥行き手がかりが適切に呈示される立体映像を用いて、視標が近方と遠方とを繰り返し移動する映像刺激を観察することによる、眼精疲労の回復効果に関して検討することであった。

3-2. 方法

眼精疲労の回復効果は、映像観察前後に実施した5m視力検査の結果を比較することで測定した。被験者は、基本的に一日中VDT作業を行っている2例 (26歳男性、23歳男性) を対象として、月曜日から金曜日までの連続5日間の夕刻 (19時前後) に実験を行い、それを2週間にわたって実施した。つまり、被験者1例に対して10回の測定を個別に行った。なお夕刻に実施したのは、終日のVDT作業により被験者の調節機能が低下し、眼精疲労が生じていると推測したためである。被験者2例は正常な両眼立体視機能を有し、正視眼であった。また、映像観察の前後には、鈴木による眼精疲労の自覚症状に関する調査票¹⁴⁾を用い、自覚症状37項目に対して5件法での回答を求めた (表1)。そして、実験に際して観察前の自覚症状の結果を確認することで、被験者に眼精疲労が生じていることを確認した。加えて、観察後には半構造的インタビューを行うことで、映像の見やすさや観察中の印象、眼の状態などに関して調査した。

表1 眼精疲労の自覚症状項目

Tab. 1 Items of asthenopic subjective symptom.

番号	症状項目	番号	症状項目
1	眼が疲れる	20	かすむ
2	充血する	21	焦点が合わない
3	めやにが出る	22	頭痛がする
4	眼の圧迫感	23	眉間の部分が痛い
5	眼の奥が痛い	24	頭が痛い
6	眼が重い	25	頭を振ると痛い
7	眼の芯が痛い	26	頭がぼんやりする
8	眼を押さえると痛いが気持ちが良い	27	のぼせる
9	眼を開けているのが辛い	28	見つめていると気持ち悪くなる
10	涙が出る	29	はきけがする
11	眼が熱い	30	イライラする
12	眼が乾く	31	フラフラする
13	まぶしい	32	めまいがする
14	チカチカする	33	眠くなる
15	かゆい	34	肩が凝る
16	まぶたがピクピクする	35	胃の部分がだるい
17	見つめているとぼける	36	全身がだるい
18	チラチラする	37	眼がコロコロする
19	二重に見える

図1 観察中の屈折値の変化の一例 (実験1)

Fig. 1 A refraction change while viewing stereoscopic 3-D images in experiment 1.

呈示刺激は、山が映った自然の風景の中を、蝶（視対象）が前後に移動する立体映像であった。視対象は、初め観察者の眼前2.0 D（50 cm）の位置に再生され、その後、眼前2.5 D（40 cm）から0.5 D（200 cm）までの間での前後運動を3分間繰り返した。この再生範囲において被験者が立体像を明視できることは、あらかじめ等速度運動する視標を観察した際の調節を測定することで確認した。なお、視標移動速度は、調節の追従性を考慮して0.2（D/sec）にした¹⁵⁾。さらに、映像観察中の優位眼の屈折値を、立体ディスプレイに組み込んだ赤外線オプトメータ（Speedy, Nikon）により測定した。

5 m視力検査には、logMAR（log Minimum Angle of Resolution：最小視角の対数値）を用いた視力検査表を使

用した。logMARとは、国際的に用いられている視力検査表記であり、分単位での視角の常用対数により表記される値である。視標の大きさが等倍率で変化するという特徴があり、視力の段階的な判定が可能であるため本実験で用いた。検査においては、同じ大きさのランドルト環に対して2回以上検査し、連続して正答した場合にその視力を有すると判断した。また、焦点深度の変化による視力の変化を避けるために、検査においては眼を細めることなく自然に見るように教示した。なお、logMAR値において0.1段階で検査を行った。

3-3. 結果

映像観察中の屈折値の変化の一例を図1に示した。それ

図2 視力検査の結果

Fig. 2 Result of visual acuity test.

より、立体映像観察時の調節が、視標の位置に応じて変化していることが確認された。

被験者により、視力や調節域が異なるため、結果の解析は被験者ごとに分けて行った。そして、視力検査の結果の解析は、回復効果を明確化するために、logMAR値を小数視力値に変換した。いずれの被験者も、観察後に視力値が増加した(図2)。また、2例とも優位眼が左眼であったが、いずれも優位眼での増加が顕著であった。被験者Oに対して、測定時期(観察前、観察後)と左右眼(優位眼、非優位眼)を要因とした2要因の分散分析を行った結果、交互作用は認められず、測定時期の主効果に有意傾向($F=3.38$, $p<.10$)、および左右眼の主効果に有意傾向が認められた($F=3.64$, $p<.10$)。さらに、被験者Kに対して、測定時期(観察前、観察後)と左右眼(優位眼、非優位眼)を要因とした2要因の分散分析を行った結果、交互作用は認められず、測定時期の主効果に有意傾向($F=3.30$, $p<.10$)、および左右眼の主効果に有意差が認められた($F=70.57$, $p<.01$)。

眼精疲労に関する自覚症状調査については、観察前後で大きな変化はみられなかった。半構造的なインタビューでは、いずれの被験者からも「視力検査の時、映像観察後の方が、(ランドルト環が)はっきりと見える」という回答があった。また、「左眼(優位眼)において、特にはっきりと見える感じがした」との回答もあり、視力検査の結果と一致した傾向を示した。

4. 実験2

4-1. 目的

実験1から、調節の奥行き手がかりが適切に呈示される立体映像を用いて、近方視と遠方視を連続的に繰り返す

ことで、眼精疲労の回復効果がみられることが分かった。実験2では、朝の視力値を測定することで回復の変化と程度を明確にし、平面映像を対照条件とすることで立体映像の効果を測定することを目的とした。さらに、被験者の視覚状態に合わせて徐々に遠方視をさせることで、調節の緊張緩和を促す映像呈示方式の最適化を図った。

4-2. 方法

被験者は基本的に一日中VDT作業を行っている事務職員2例(27歳女性、28歳女性)とし、眼精疲労に関する測定を朝と夕刻に実施した。測定項目は視力および眼精疲労に関する自覚症状であり、実験後には半構造的インタビュー法により内省報告を求めた。なお、夕刻の測定は、映像観察の前後の2回行ったため、一日に計3回の測定を行った。また、朝の測定は当日のベースラインとしての参照を目的とし、朝と比較して夕刻における観察前の視力が低下していない場合は、測定の対象から外した。被験者2例は、本人所持のハードコンタクトレンズにより矯正されており、正常な両眼立体視機能を有していた。5 m視力検査および眼精疲労に関する自覚症状調査の方法は、実験1と同様であった。

実験条件には、立体映像を観察する条件(3D条件)と平面映像を観察する条件(2D条件)を設定し、呈示刺激には実験1と同様の映像素材を用いた(図3)。3D条件では、視標は初め2.0 D(50 cm)にあり1.0 D(100 cm)まで移動する。そしてその後、2.25 D(約44 cm)と被験者の視覚状態に合わせた遠方視標位置との間を前後移動させた。視標移動速度は0.2 (D/sec)であった。

被験者の視覚状態に合わせた遠方視標位置とは、被験者が明視できる遠方の位置であり、映像観察中の屈折値をリアルタイム測定して、それを映像呈示系へフィードバックすることで制御を行った。それにより、被験者は

図3 呈示刺激と実験の様子

Fig. 3 Image presentation and layout of experiment.

図4 屈折値のフィードバック方法 (左: 観察者がより遠方を観察できる場合, 右: 観察者が遠方を観察することが困難な場合)

Fig. 4 Refraction feedback method (Left: in the case that the viewer can look into the distance, Right: in the case that the viewer can not look into the distance)

明視できる範囲で無理なく徐々に遠方視することを促された。なお、フィードバックを判断するタイミングは、視標が最も遠方に移動した時点とした(図4)。その際の屈折値が、前回のシーケンスにおいて視標が最も遠方であった時よりも遠方にある場合は、その次のシーケンスにおける遠方の位置をより遠方に移動するように設定した。具体的には、直前の遠方位置よりも $+0.25D$ 遠方となるように設定した。また、前回のシーケンスの屈折値と同等あるいは近方であった場合は、遠方時の位置を変化させないように設定した。

一方、2D条件では、視標は $2.0D$ に固定されており、眼前 50 cm に通常の平面ディスプレイが設置されているのと同様であったが、映像呈示は3D条件と同様の立体ディスプレイを用いた。なお、いずれの条件も観察時間は3分間であった。実験は1日に1条件とし、被験者は各条件を無作為な順序で5試行ずつ行った。また、観察中の屈折値の測定は両条件で行った。3D条件においてはその屈折値が、刺激の遠方位置へとフィードバックされた。測定眼は優位眼とし、いずれの被験者も優位眼は右眼であった。表2に、実験1との相違点を示した。

表2 実験1と実験2の相違点

Tab. 2 Differences between experiment 1 and experiment 2.

	実験1	実験2
測定時期	夕刻(映像観察の前後)	朝, 夕刻(映像観察の前後)
条件	3D映像	2D映像, 3D映像
3D映像の刺激呈示方法	あらかじめ設定された近方と遠方の位置を視標が移動	屈折値のフィードバック機能により、被験者の視覚状態に合わせて視標を遠方化
被験者	VDT作業が多い学生	VDT作業に従事する事務職員

4-3. 結果

3D条件における映像観察中の屈折値変化の一例を図5に示した。それより、立体映像観察時に調節が変化していること、および、屈折値のフィードバック機能により遠方視が促されていることが確認された。図5の例においては、120秒後から遠方位置がより遠方に変化していることが分かる。

被験者により、視力や調節域が異なるため、結果の解析は被験者ごとに分けて行った。図6に被験者Nの視力検査の結果を、図7に被験者Mの視力検査の結果を示した。いずれの被験者も、3D条件においては、朝の視力値と同程度まで回復した。一方、2D条件においては、その傾向はみられなかった。被験者Nに対して左右眼ごとに、呈示映像(2D, 3D)と測定時期(朝, 観察前, 観察後)を要因とした2要因の分散分析を行った。その結果、いずれも交互作用に有意差が認められた(右眼: $F=10.09$, $p<.01$, 左眼: $F=14.18$, $p<.01$)。さらに、被験者Mに対して左右眼ごとに、呈示映像(2D, 3D)と測定時期(朝, 観察前, 観察後)を要因とした2要因の分散分析を

図5 3D条件における観察中の屈折値変化の一例（実験2）

Fig. 5 A refraction change while viewing stereoscopic 3-D images in experiment 2.

図6 視力検査の結果（被験者N）

Fig. 6 Result of visual acuity test (subject N)

図7 視力検査の結果（被験者M）

Fig. 7 Result of visual acuity test (subject M)

行った。その結果、いずれも交互作用に有意差が認められた（右眼： $F=16.77$, $p<.01$, 左眼： $F=7.71$, $p<.05$ ）。

眼精疲労に関する自覚症状調査の結果では、測定時期の違いによる大きな変化はみられなかった。しかしなが

ら、「頭がぼんやりする」と「眠くなる」の2項目において、3D条件で映像観察後に回復する傾向がみられた。さらに実験後のインタビューでは、いずれの被験者も3D条件での観察後に、鮮明に見えるということを報告した。

なお、自己申告による実験当日のVDT作業時間は、被

験者Nが平均5.7時間、被験者Mが平均2.7時間であった。また、パソコンを使った業務以外は主に書類を扱うデスクワークであり、いずれの被験者も日中に眼の疲れを感じることがあると報告していた。

5. 考 察

2つの実験により、立体映像を用いて効果的に遠方視を促すことによる、眼精疲労の回復効果を測定した。また、従来の立体映像は、調節という奥行き手がかりが呈示されないのに対し、本研究で用いた立体映像は、光学補正がなされることで視対象に応じて適切に調節が呈示されることが特徴であった。

実験1の結果からは、等速度で前後に移動する視標の観察により近方視と遠方視を繰り返すことで、観察前と比較して観察後の視力値が上昇し、眼精疲労の回復効果がみられることが分かった。これは、調節の緊張緩和と賦活による効果であると考えられた。また、2例の被験者のいずれも優位眼での上昇が顕著であり、インタビューでの見え方に関する主観的な回答とも一致していた。それは、実験開始時つまり観察前における5 m視力が、優位眼の方が低かった可能性も考えられたが、朝の視力も測定した実験2の結果からは、優位眼・非優位眼での顕著な変化はみられなかった。さらに、映像観察時における調節の追従性に優位眼・非優位眼での差異があり¹⁰⁾、それにより毛様体筋の緊張緩和に効果の差があった可能性も考えられたが、さらなる詳細な検討が必要である。

実験2の結果からは、立体映像を観察した条件では、観察後に朝と同程度まで視力値が回復しているが、平面映像を観察した条件では、ほとんど回復しないことが分かった。立体映像の条件におけるその効果は、視標を等速度で前後に移動させ、かつ、測定時における被験者の視覚状態に合わせた無理のない遠方視を促したことによる効果であると考えられた。また、眼精疲労に関する自覚症状調査からは、立体映像を見た場合には、「頭がぼんやりする」と「眠くなる」という症状項目の訴えが軽減される傾向にあることが分かった。これは、視力検査の結果と同様の傾向を示しており、調節が作用する立体映像による視覚系の遠方化と眼精疲労の回復効果が示唆された。加えて、立体映像に限らず、通常、映像を注視した後には眼精疲労の自覚症状が上昇する傾向にあることから考えると特徴的な結果であったと考えられる。調節の緊張緩和による効果が、気分や感情の状態変化へも影響を与える可能性が示唆された。

実験1および実験2で示された眼精疲労の回復は、一過

性の反応であると考えられるが、見えがはっきりするような感覚や眠気がなくなるような爽快感は、調節が適切に呈示される立体映像の観察により生じたのだと考察される。また本研究では、予備実験において、立体映像観察後に、ものがはっきりと見えて疲労感がなくなったという被験者の報告があったことから、眼精疲労の回復効果に関して、5 m視力検査および自覚症状調査を用いて評価した。そして、実験の結果より、調節の緊張緩和という観点からは、効果が示された。しかし、さらに詳細に回復効果を測定するためには、コントラスト感度や水晶体のステップ調節応答の測定、気分プロフィール調査などによる、多角的な検討が必要であると考えられる。また、本研究ではこれまでの知見と予備検討から最適だと考えられる呈示条件を設定し、回復効果の検討を行ったが、視標の再生範囲や速度、時間、呈示パターンなどのパラメータの違いによる影響を測定し、より効果的な呈示方法を検討することが必要である。加えて、回復効果の持続性に関しても検討することが必要である。

6. おわりに

近方視の持続による調節の緊張緩和という観点からは、視距離に応じてレンズの屈折力を調整したVDT作業用メガネを利用することで、作業中あるいは観察中に、眼精疲労の発生を軽減させる対策も考えられる。また、作業後あるいは観察後の対応ということでは、遠くの景色を見て自然に遠方視をするという方法も効果があると考えられる。しかしながら、今日のオフィス環境や作業環境を考えた場合、遠くの景色を眺められることは多いとは言えない。そのため、ディスプレイなどを用いて室内にいながら遠くの景色を見るのと同じ視覚状態を形成し、調節の緊張緩和を促せることは、眼精疲労の回復や気分転換、作業環境の改善ということからも重要になると考えられる。

さらに、調節の緊張緩和のために遠方視の状態を再現するという観点からは、レンズ系を用いて無調節で遠方視ができるような屈折力の調整を行うという、単純な方法も考えられる。しかしながら、そのような方法の場合、調節という点からは遠方視を再現できるが、その他の奥行き手がかり、例えば輻湊や両眼視差、網膜像の大きさなどを、適切に表現することが困難であり、奥行き手がかりに矛盾が生じる。立体映像観察時における輻湊と調節の矛盾により眼精疲労や違和感が生じることはよく知られており、視覚情報メディアの安全性という点からも、奥行き手がかりに矛盾が生じた視環境は望ましくないと

考えられる。そのため、本研究で用いたような、観察者の視覚系が考慮された立体ディスプレイの技術開発も重要であると考えられる。

VDT作業による眼精疲労は、様々な視覚生理機能の低下が複合した形として発症する。そのため、視力値の回復だけが必ずしも眼精疲労の消退を直接示すものではない。しかし、今回測定した視力値は遠見視力であり、その値の回復は調節緊張の緩解が生理的裏付けとして考えられる。眼精疲労の主な原因の一つは、調節の緊張にある。したがって、今回の視力値の回復は、眼精疲労が軽減した他覚的所見の一つであることを否定できない。さらに、本研究により、ヒーリングという点では眼精疲労の回復効果があることが示され、回復効果に伴う爽快感などの気分変化により、心理的な意味での癒し効果がもたらされる可能性が示唆された。今後は、多角的な評価による回復効果の検討に加え、立体映像を用いた刺激呈示装置の改良や呈示するコンテンツの検討などによる、実用性と有効性の検討を行っていくことが必要である。

謝辞

本研究は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の「産業技術研究助成事業」に係る研究開発課題により行われた。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 岩切一幸, 毛利一平, 外山みどり, 堀口かおり, 落合孝則, 城内博, 斉藤進: VDT作業者の身体的疲労感に影響する諸因子の検討, 産業衛生学雑誌, 46 (6), 201-212, 2004.
- 2) 渥美一成: VDT作業と眼精疲労, 眼科, 33, 19-26, 1991.
- 3) 厚生労働省: VDT作業における労働衛生管理のための

ガイドライン, 基発第0405001号, 2002.

- 4) 厚生労働省: 「平成15年技術革新と労働に関する実態調査」結果報告, 2004.
- 5) 岩崎常人: VDTと眼精疲労, 眼科, 38, 23-30, 1996.
- 6) T. Iwasaki, A. Tawara, N. Miyake: Reduction of asthenopia related to accommodative relaxation by means of far point stimuli, Acta Ophthalmol Scand, 83 (1), 81-88, 2005.
- 7) 太田啓路, 河合隆史, 柴田隆史, 岩崎常人, 三宅信行: 立体映像を利用した眼精疲労軽減の一手法, 映情学誌, 59 (10), 1534-1540, 2005.
- 8) 河村剛光, 吉儀宏, 工藤大介, 大庭輝之, 森重梅樹: 三次元映像を用いたトレーニングシステムの使用が深視力に及ぼす影響, 人間工学, 42 (1), 31-34, 2006.
- 9) 大森正子, 宮尾克, 長谷川聡, 石原伸哉, 石垣尚男, 田原博史: 立体映像に対する水晶体調節の測定, VISION, 16 (4), 223-226, 2004.
- 10) 大森正子, 渡辺智之, 高井城, 宮尾克, 中谷仁, 泉原雅之: 立体映像を利用したコンピュータ作業者のリラクゼーション, 3D映像, 14 (2), 43-46, 2000.
- 11) T. Shibata, T. Kawai, K. Ohta, M. Otsuki, N. Miyake, Y. Yoshihara, T. Iwasaki: Stereoscopic 3-D display with optical correction for the reduction of the discrepancy between accommodation and convergence, Journal of the SID, 13 (8), 665-671, 2005.
- 12) 江本正喜, 矢野澄男: 立体画像観視における両眼の輻湊と焦点調節の不一致と視覚疲労の関係, 映情学誌, 56 (3), 447-454, 2002.
- 13) 松廣憲治: μ Pol (マイクロボール) システム, コンバーテック, 28 (8), 2-5, 2000.
- 14) 鈴木昭弘: 眼疲労, 眼科, 23, 799-804, 1981.
- 15) 鶴飼一彦, 石川哲: 調節の準静的特性, 眼科, 87 (12), 1428-1434, 1983.
- 16) 伊比健児, 岩崎常人, 田原昭彦: 視機能異常と優位眼調節, 産業医科大学雑誌, 24 (1), 100, 2002.