

超多眼立体ディスプレイとその評価

名手久貴

通信・放送機構 高度三次元動画像遠隔表示プロジェクト

〒113-0001 東京都文京区白山 1-33-16-601

1. はじめに

本稿では、通信・放送機構 高度三次元動画像遠隔表示プロジェクト (H10～H14) で行われた研究成果の中から、視覚に関連する成果について述べる。本プロジェクトの目標は、人に優しく、自然な立体視ができる立体ディスプレイの開発であった。人に優しい立体ディスプレイを実現するためには、以下に述べる条件を満たす必要があると考えられる。

- ・メガネなどの装着物を必要としない
- ・観察者の移動に対応して、画像が変化する
- ・生理的に自然な立体視が可能で、観察中に疲れない

これまで開発されてきた様々なタイプの二眼式立体ディスプレイは、上記の問題をすべて解決しているとはいえない。特に、ほとんどの二眼式立体ディスプレイは、視覚に関連した「生理的に自

然な立体視が可能で、観察中に疲れない」という条件を満たしておらず、観察中に視覚疲労が発生する。視覚疲労が発生する主な原因の一つは、図1 (A) のように、調節がディスプレイ面に、輻輳が立体像に位置するため、調節と輻輳の位置が一致しないためであると考えられる¹⁾。

調節と輻輳の不一致を解消し視覚疲労が少なくなることが期待される立体表示方式として本プロジェクトでは超多眼立体表示方式を提案した²⁾。超多眼立体表示とは、図1 (B) のように単眼内に複数の視差画像を入射させる表示方式である²⁾。超多眼立体表示像を観察した場合、ディスプレイ面に焦点を合わせると多重像になるのに対して立体像に焦点を合わせるとクリアな像が観察される。このため、超多眼立体表示像を観察するとピント調節がディスプレイ面ではなく立体像に調整される可能性がある。これは、注視し、焦点を合わせた対象にはピントが合うが、それ以外の対象はボケて知覚されることを示している。

また、超多眼立体表示像を観察した場合、表示像内の注視対象の位置に応じて眼のピント調節が変化する³⁾。図2 (A), (B) は、単眼に二つの視差画像を提示している超多眼立体ディスプレイを観察している様子を示す。図2 (A) では観察者が立体像Tにピントを合わせている様子を示している。Tはディスプレイ上のT1とT2、立体像Sはディスプレイ上のS1とS2から構

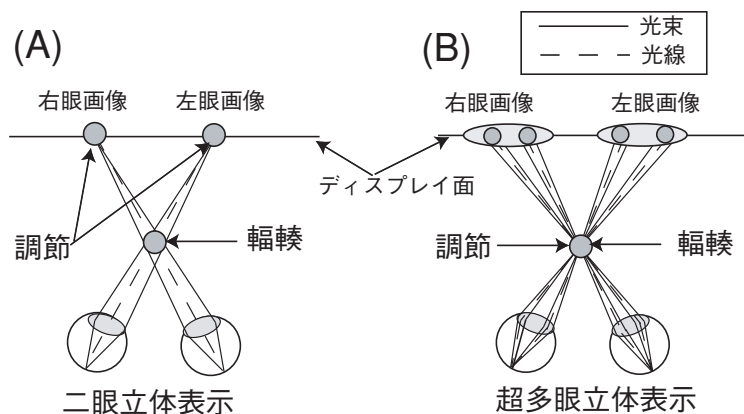


図1 (A), (B) は、それぞれ、二眼式立体表示、超多眼立体表示を観察している様子を示す。

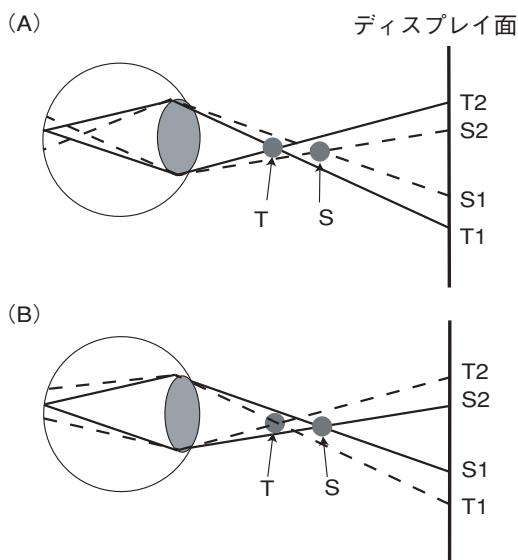


図2 (A)では、超多眼立体表示中のTを、(B)はSを注視している様子を示す。実際には、図1のように光束から立体像が構成されるが、図が煩雑になるのを防ぐため図2では光線から立体像を構成するように描いた。

成されている。Tにピントを合わせている時、Sに対してはピントがズれているため、Sを構成する光束は網膜上で1点に集束しない。同様に、観察者がSに焦点を合わせた場合、Tを構成する光束は1点に集束しない(図2(B))。

超多眼立体表示の特徴として、立体像の位置に調節が誘導される可能性があること、注視した対象以外の像はボケて知覚されることが挙げられる。また、注視対象を移動すると移動先の対象が鮮明に知覚される。これらの特徴は、自然な立体視に近いと考えられるため、視覚疲労の軽減が予想される。

2. 視覚実験で使用した超多眼立体ディスプレイ

本プロジェクトでは、集束化光源列 (Focused light array: FLA) 方式^{2,4)} や投影光学系扇形配列 (Fun like array projection optics: FAPO) 方式^{2,5,6)} を用いた超多眼

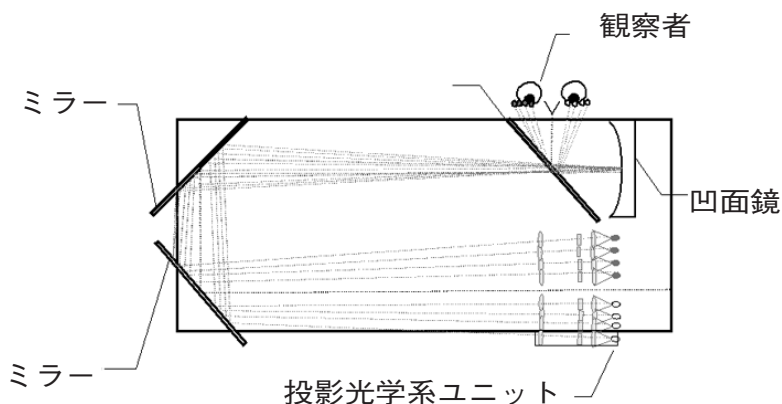


図3 FAPO方式を利用した超多眼立体ディスプレイ。

立体ディスプレイ等、いくつかのタイプの超多眼立体ディスプレイを試作した。これらの中で、視覚実験に用いたFAPO方式を用いた超多眼立体ディスプレイについて説明する。扇形に配列された複数のカメラ列から輻輳撮影された原画像は、扇形配列された投影光学系ユニット内のLCDに表示する(図3)。LCDの像は、凹面鏡に投影される。このとき、投影レンズの瞳面の凹面鏡による像の間隔が、眼の瞳孔サイズの半分以下にできれば、最低2つの視差画像が網膜上に投影されるので、超多眼条件を満足する。ただし、視覚実験では、

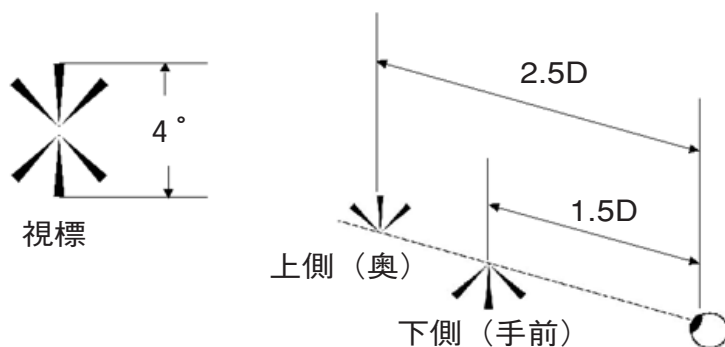


図4 実験で使用した視標。

LCDの解像度が低いので、LCDの変わりにフィルムを用いた。

3. 視覚実験

3.1 実験1

超多眼立体ディスプレイ (FAPO) の観察時、立体像の位置に調節が誘導されるかどうかについて確かめるため、超多眼立体表示観察時の被験者の調節値を測定した。

3.1.1 手順

被験者は、3つの観察条件(超多眼、二眼、実視標)の視標を観察した。視標には、ジューメンスターと呼ばれる拡大パターンを用いた(図4)。視標の上側の部分は観察者から1.5 Dの位置に、下側の部分は2.5 Dの位置に提示されるように提

示された。超多眼条件では、左右それぞれの眼に2つの視差画像が提示された。2つの視差画像の間隔は2 mmであった。二眼条件では、左右それぞれの眼に1つの視差画像が提示された。実視標条件では、撮影時に使用した撮被写体と同じ大きさの実視標を提示した。被験者は、それぞれの条件の視標の上側(奥)または下側(手前)を3秒間観察した。被験者は両眼で、それぞれの観察条件の視標の上側(奥)および下側(手前)を5回ずつ観察した。

3.1.2 結果

図5は、各条件の表示画像観察時の各時間における調節値の平均値を示す。横軸は経過時間(秒)、縦軸は調節値(diopter)を示す。超多眼条件、実視標条件では、手前を観察しているときの

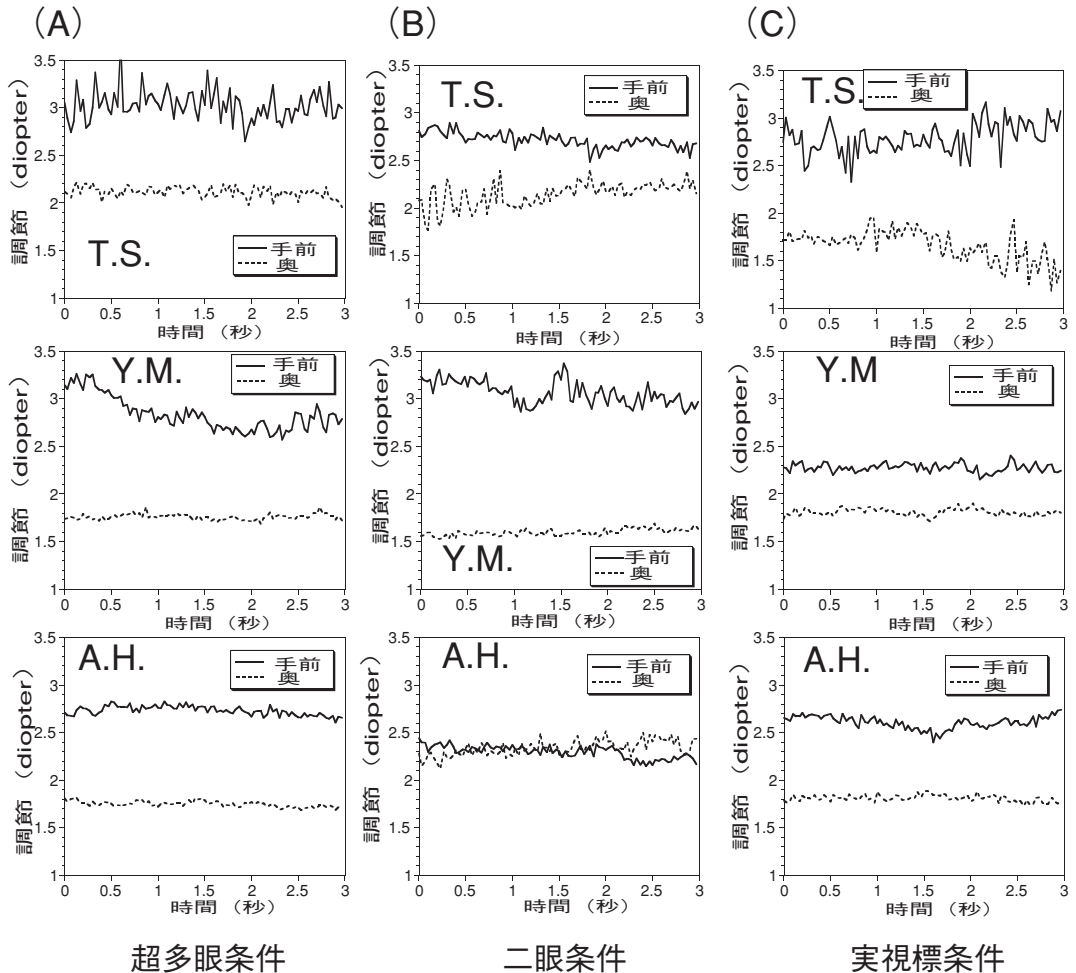


図5 実験1の結果。(A)列,(B)列,(C)列は、それぞれ各被験者の超多眼条件、二眼、実視標条件の結果を示す。

調節値は奥を観察しているときよりも大きかった。これは、超多眼条件を観察する場合、実視標と同じく視標の位置に応じて調節が誘導されることを示している。二眼条件では、奥と手前を観察しているときの測定値が一致する被験者(A.H.)と一致しない被験者(T.S., Y.M.)がいた。二眼立体表示観察時でも、視標に調節が誘導される被験者がいた原因として、本実験で使用したディスプレイの提示像における焦点深度の深さがあげられる。ディスプレイの表示像の焦点深度が深いために、二眼立体表示では調節が機能しなくなり、輻輳に誘導されたと考えられる。焦点深度の深い像による二眼式立体表示観察時に調節が輻輳に誘導されることは先行研究でも確かめられている⁷⁾。一方、二眼式立体表示

観察時、視標の位置の変化に応じて調節が変化しなかった被験者は、輻輳に調節が誘導されなかったと考えられる。

3.2 実験 2

実験 1 では、超多眼立体表示を観察したとき、視標の位置に調節が誘導されることが示唆された。しかし、輻輳性調節により視標に誘導される可能性があるため、調節本来のピント調節機能により変動しているとは断定できない。そこで、ピント調節機能により調節が誘導されるかどうかを確かめる実験を行った⁸⁾。

3.2.1 手順

実験手順は、単眼視である点を除いて実験 1 と同じであった。これは、正確な輻輳情報を被験者に与えないようにするためである。被験者は

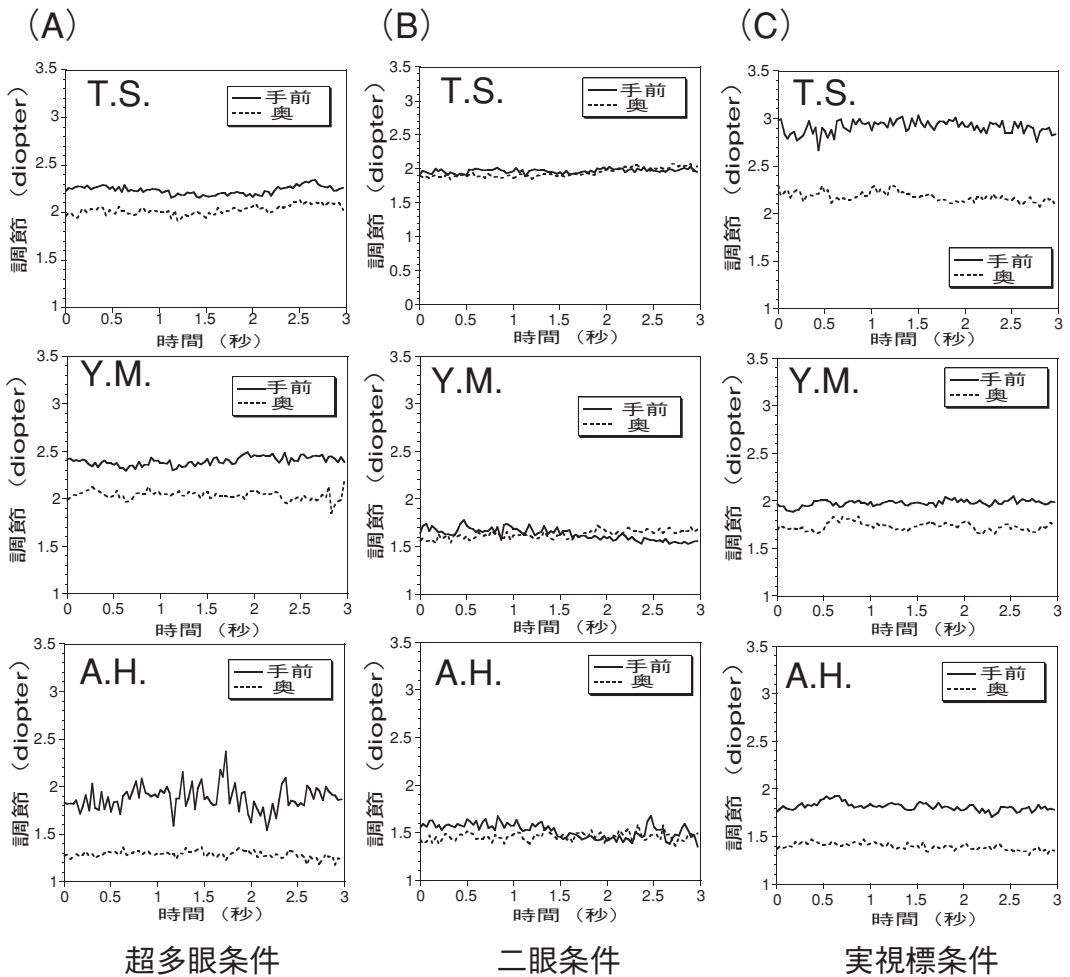


図 6 実験 2 の結果. (A) 列, (B) 列, (C) 列は, それぞれ各被験者の超多眼条件, 1 視差, 実指標条件の結果を示す。

3つの条件(超多眼条件, 1視差条件, 実視標条件)で視標を観察した。超多眼条件, 1視差条件, 実視標条件は, それぞれ実験1の超多眼条件, 二眼条件, 実視標条件に対応する。超多眼条件, 1視差条件では, 左目にそれぞれ2つの視差画像, 1つの視差画像を提示した。

3.2.2 結果

図6は, 各条件の表示画像観察時の各時間における調節値の平均値を示す。横軸は経過時間(秒), 縦軸は調節値(diopter)を示す。超多眼, 実視標条件では, すべての被験者で手前を観察しているときの調節値は奥を観察しているときよりも大きかった。一方, 1視差条件では手前を観察しているときの調節値は奥を観察しているときと同じであった。これらの結果は, 超多眼立体表示観察時, 輻輳性調節ではなく目のピント調節機能により調節位置が視標の位置に誘導されることを示している。

4. 超多眼立体ディスプレイの評価と視覚研究課題

視覚実験の結果から, 超多眼立体表示による像を観察するとき, 眼のピント調節機能により提示視標の位置に調節位置が誘導されることが示唆された。調節値が視標の位置に誘導されるため, ディスプレイ観察時, 視覚疲労が軽減することが期待される。ただし, 今回の実験では, 超多眼立体ディスプレイ観察時に疲労が軽減するとは断定できない。この問題は, 今後の課題としてさらに検討する必要がある。FAPOが, 1節で述べた理想的な立体ディスプレイの条件を満たしているかについて考察すると, 「メガネなどの装着物を必要としない」については, 裸眼で観察可能であるため条件を満たしている。FAPO観察時, 観察者の移動に応じて画像は変化するが, 現状では移動範囲は限定されているので, 「観察者の移動に対応して, 画像が変化する」については, 今後の改良が待たれる。今回の視覚実験から, 輻輳と調節の不一致が軽減されることが示唆されたため, 「生理的に自然な立体視が可能

で, 観察中に疲れない」については, ある程度満たしていると考えられる。ただし, 視覚疲労が軽減されることは, 今回の実験結果では確認されていない。これらのことから, FAPO方式を含む超多眼立体表示方式は, 現状, 理想的な立体表示の条件をすべて満たしていない。しかし, これまでの二眼立体表示方式では解消されなかった輻輳と調節の不一致という重要な問題を解消する点で理想的な立体ディスプレイになる可能性を持った立体表示方式といえる。

文 献

- 1) 須佐見憲史, 阿部真也, 梶木善裕, 圓道知博, 畑田豊彦, 本田捷夫:超多眼立体画像に対する輻輳, 調節反応. 三次元画像コンファレンス2000 講演論文集, 155-158, 2000.
- 2) 通信・放送機構:「高度三次元動画像遠隔表示プロジェクト」最終成果報告書. 通信・放送機構, 2002.
- 3) 名手久貴:各種立体ディスプレイ観察時の生体反応による評価. 3D映像, 16, 4, 16-21, 2002.
- 4) Y. Kajiki, H. Yosikawa and T. Honda: Three-dimensional display with focused light array. *Proceedings of SPIE*, 2652, 106-116, 1996.
- 5) H. Honda, D. Nagai and M. Shimomatsu: Development of 3-D display system by a fan-like-array of projection system. *Proceedings of SPIE*, 4660, 191-199, 2002.
- 6) 下松雅也, 本田捷夫:投影光学系扇形配列による立体映像表示装置 (FAPO) の小型化. 三次元画像コンファレンス2002 講演論文集, 81-84, 2002.
- 7) 渋谷岳人, 名手久貴, 須佐見憲史, 三橋俊文, 宋 玄鎬, 畑田豊彦, 本田捷夫:瞳孔入射光の広がり眼機能応答. 三次元画像コンファレンス2002 講演論文集, 121-124, 2002.
- 8) H. Nate, M. Shimomatsu, K. Susami, K. Iwane, T. Mihashi1, T. Hatada and T. Honda: Accommodative responses to the super-multi view (SMV) images. *Proceedings of the second conference on Vision*, 90, 2002.