



両眼視差と立体ディスプレイ

安 田 稔

NHK 放送技術研究所 〒157 東京都世田谷区砧 1-10-11

(1992年4月30日受理)

Binocular Disparities and Stereoscopic Displays

Minoru YASUDA

NHK Science and Technical Research Laboratories,
1-10-11, Kinuta, Setagaya-ku, Tokyo 157

1. ま え が き

立体感あるいは奥行き感をもたらす視覚要因は多数存在するが¹⁾, 両眼に投影される像の相違に基づく‘両眼視差’は重要なものの一つであり, 従来から立体画像装置においてはこの要因が最大限に活用されてきている。

両眼視とくに両眼視差に関わる性質に関しては, 心理学, および生理学の分野を始めとして従来から内外において多くの研究が進められてきている。また立体ディスプレイに関わる両眼視差の性質についての最近の研究の詳細な概観も行われている²⁾。

また立体ディスプレイそのものに関しても従来から種々の方式の提案および装置の試作が行われてきている。これらに関しては本誌の前項に詳しく述べられている。

したがって本稿においては, 両眼視差に関わる基本的な時間, 空間特性と画像条件との関わりや, 両眼視差を利用した立体画像装置について, NHK 放送技術研究所において行われてきている研究を中心として述べる。

両眼視差に関わる性質についての実験を行うためには立体画像を提示する種々の実験装置(立体ディスプレイ)が用いられる。これは, (a)標準方式のテレビの CRT ディスプレイ 2 台をハーフミラー合成して偏光眼鏡で眺める方式, (b) 1 台のディスプレイに左右画像を交互に提示し, これと同期して開閉するシャッター眼鏡でながめる時分割方式で当所で試作した 120 Hz 方式のもの(7.1 参照), (c)高精細画像を必要とするときは, 40 インチハイビジョンディスプレイ 2 台をハーフミラー合成する偏光眼鏡方式, (d)静止画で高精細大画面の効果を

調べるときは 8 インチ×10 インチのスライドプロジェクタ 2 台投射による偏光眼鏡方式, (e)ビデオプロジェクタ 2 台をスクリーン背面から投射する偏光眼鏡方式, (f)110 インチハイビジョンプロジェクタ 2 台の前面投射による偏光眼鏡方式などがある。

2. 両眼視差量と融合範囲

両眼に与えられる網膜像のずれは両眼視差とよばれる。両眼像にずれがあるとき一般には 2 重像として知覚されることになるが, このずれの量がある程度以内のときは両眼の像が融合して一つのものとして見える。このとき明確な奥行き感が知覚される。このずれの水平方向の範囲は古くから調べられていて³⁾ Panum の融合域と呼ばれる。この両眼視差の範囲としては視野中心部で視角で 20'~30' という値が示されている。

しかしこれらの結果は線状の刺激を用いて調べられているものが多いので, 日常接するパターンに類似して有限の大きさを持ったパターンに対して融合範囲を求めた。テストパターンとしては図 1 に示すように, 片眼では図形情報がなく両眼視ではじめて立体的に見えるランダムドットパターンと, 片眼でも図形として見える方形パターンとを用いて, まえがきに記した(b)の装置で調べた。このとき視距離は 200 cm, 液晶シャッター眼鏡を通して見たときの画面の平均輝度は 190 cd/m², パターンの大きさは視角 15.5°×15.5°, 中心部の正方形の大きさは 2°×2°である。立体視には水平方向のずれが重要であるが, 実際には入力系(カメラなど)の調整誤差などによって存在し得る垂直方向の位置ずれ(垂直視差)

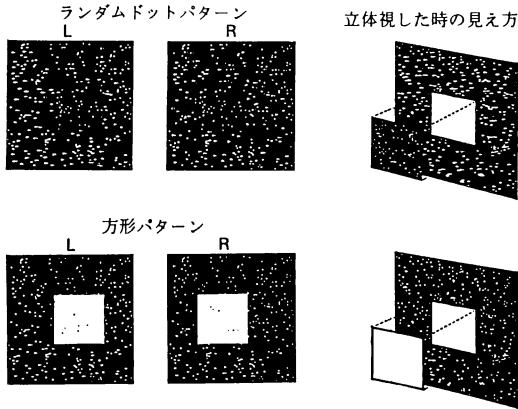
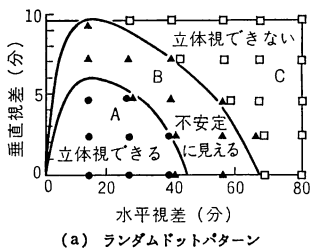
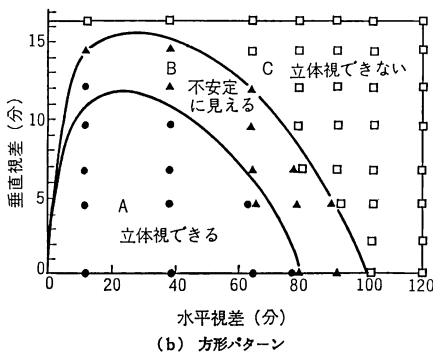


図1 実験に用いたランダムドットおよび方形パターン



(a) ランダムドットパターン



(b) 方形パターン

図2 両眼視差による立体視の成立範囲

を与えた場合についても調べた。両者のパターンに対するこの結果を図2に示す。水平の融合範囲は上記の結果より大きいこと、また垂直方向のずれに許容範囲があることが示されている⁴⁾。

上記は白黒のパターンの場合であるが、明るさを一定として色のみを変えた、いわゆる色度パターンについても同様の実験を行った。人間の色覚機構における二つの反対色信号に対応する赤-緑 (r-g, 主波長 495~495 nm) および黄-青 (y-b, 主波長 568~472 nm) の色相を選んで同様の特性を求めた⁵⁾。すなわちこの実験では図1のパターンにおける白と黒の部分が例えばそれぞ

表1 両眼融合の範囲 (水平視差) の比較

色相	白-黒	赤-緑	黄-青
ランダムドットパターン	42分	24分	26分
方形パターン	74分	59分	53分

れ明るさの等しい赤と緑などで置き換えられている。この結果、色度パターンの場合でも同様の特性が得られ立体視可能であるが、明暗のパターンの場合よりも図2のAの領域に対応する融合範囲が狭い。垂直視差ゼロのときのこれらの水平視差の範囲を比較すると表1のようになる。

3. 両眼融合の時間特性

3.1 両眼融合の成立時間

図2の結果を得たのと同じ条件で、図1に示したパターンを短時間提示したときの両眼 (水平) 視差と融合時間 (立体視が成立するまでの時間) の関係を求めた⁶⁾。被験者によるいくぶんの相違はあるものの、ランダムドットパターンの場合には視差が増えるに従い融合時間が急激に増加し、融合限界付近の視差 (60分付近) では、数秒~10数秒提示しなければ立体画像として融合できなかった。一方、方形パターンの場合には、ランダムドットパターンと比較して一般にその融合時間はかなり短く、視差が増加しても融合時間はそれほど増加しない。たとえば視差65分で0.2~0.4秒である。一般画像についてチェックしたところでは両者の中間に位置した。

3.2 時間周波数限界

図1のランダムドットパターンの中央の両眼視差に時間的な変化を与えると、正方形の部分が奥行き方向に運動するパターンとして知覚される。いま時間的に方形状に奥行き方向の変化を与えて、立体視できる限界の周波数を上記(b)の装置で求めた。この際白黒パターンのみならず2に述べた色度パターンの場合についても調べた。この際パターンが画面より手前方向のみに動く場合および奥方向のみに動く場合、さらに画面を中心として前後両方向に動く場合について調べた。この結果を図3に示す。なおこのときの水平方向の両眼視差の大きさは、視角 13' に設定されている⁵⁾。

この結果から、色度パターンの両眼視差の時間周波数限界は約 3 Hz となり、白黒パターンの 4~5 Hz に比べて低いことがわかる。

また両眼視差を時間的に正弦波状に変化させることによってランダムドットパターンを奥行き方向に種々の時間周波数で変化させ、立体視可能な最小の両眼視差を求

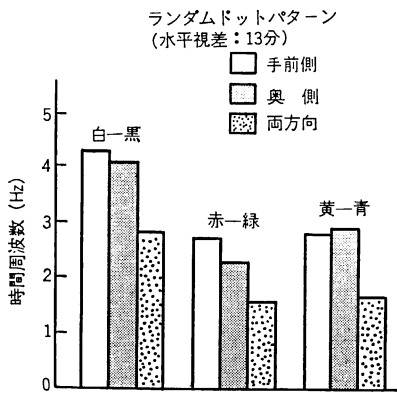


図 3 両眼視差の時間周波数限界

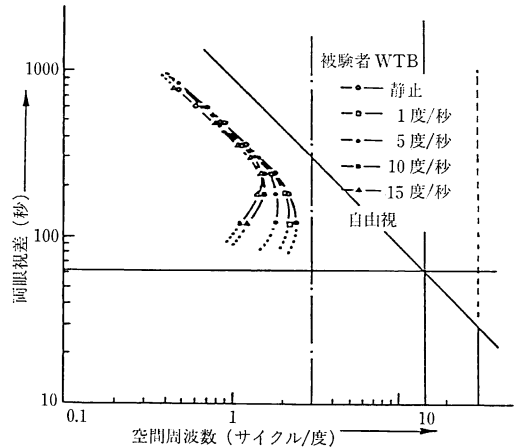


図 4 両眼融合限界の空間周波数特性

めることによって奥行き時間周波数特性が得られている⁷⁾。これによると時間周波数が 1~2 Hz のときに最高感度を示す (立体視可能な両眼視差量が小さい) という特性が得られ、明暗のパターンの場合と類似の特性を示すが、最高感度の周波数が後者の場合 10~20 Hz という値¹⁾であるのに比べてかなり小さい。

4. 奥行き空間周波数特性

4.1 融合域と融合限界

ランダムドットパターンに空間的に正弦波状の視差の変化を与えて、両眼視をしたとき奥行き方向に空間的に正弦波状に変化して見える (正弦波状の凹凸が見える) パターンを用い、立体視可能な最小の両眼視差を各空間周波数に対して求めることによって、奥行き空間周波数特性が求められる。

(a)の装置により求めた結果として、1 cycle/deg で最大の感度 (両眼視差が最小) で、3 cycle/deg 程度以上では立体視不可能という帯域通過形の特性が得られている⁷⁾。明暗のパターンの場合の空間周波数特性が 5 cycle/deg 付近で最高感度を示すこと¹⁾と比べかなり狭帯域である。

またランダムドットパターンで、明るさが一定で色のみが異なる色度パターンを用いて同様の奥行き空間周波数特性を求めた⁹⁾。この結果、視覚系の広帯域、狭帯域の色度軸とは少しずれているが、奥行き知覚に関しても広帯域、狭帯域の色度軸が存在することがわかった。また上記白黒の場合と同様に帯域通過形の特性が得られるが、最大感度の点は 0.5 cycle/deg 付近である。

奥行き空間周波数特性は、明暗の場合と異なり、両眼視差がある程度以上に大きくなると両眼融合ができなくなるという点で視差の大きい方にも限界を持つ。21 イ

ンチのディスプレイを用いた (a) の装置を用いて、白黒のランダムドットパターンを奥行き方向に空間的に正弦波状に変調し、また、このパターンを種々の速度で水平に運動させた場合について、両眼視差の最大の融合限界の空間周波数特性が求められている⁹⁾。この結果の一例を図 4 に示す。図は横軸が空間周波数、縦軸が両眼視差を示し、各曲線はパターンの運動速度の相違を表す。なおこの際の視距離は 200 cm、画面輝度は 7 cd/m² である。

これによると静止パターンの融合限界周波数は 3 cycle/deg 付近にあるが、速度の増大とともにこの融合限界周波数が低下することがわかる。しかしそれより低い周波数における融合可能な最大の両眼視差の限界は速度にあまり依存しないこともわかる。

4.2 明るさとコントラストの影響

奥行き空間周波数特性が平均輝度およびコントラストとともにどのように変化するかを 20 インチのディスプレイを用いた (b) の装置で調べた¹⁰⁾。ランダムドットパターンを種々の空間周波数で奥行き方向に正弦波状に変調し、2 m の距離から観察して、奥行きを検出できる最小の視差を求めた。平均輝度一定としてコントラストのみを変えた場合、およびコントラストを一定として平均輝度のみを変えた場合の結果について調べた。

この結果、コントラストを低下させたときの特性の低下は著しいが、コントラストが一定に保たれていれば平均輝度が低下しても奥行き知覚の弁別域の特性変化が少ないことがわかった。偏光フィルタや液晶シャッターを用いた立体システムは、一般にその光透過率があまり高くない。しかしこの場合コントラストの変化は少ないので、画面の平均輝度が視力の低下を招かない限り、これ

らを用いた眼鏡は奥行き感を損なうものではないことをこの結果は示唆している。

5. 画面の大きさとの関わり

5.1 融合範囲

(c)の装置および OHP を利用した投射装置を用いて、視距離を変化させたり、あるいは視距離一定として画角を変えたりして調べたところ、いずれの場合にも画像を見込む角度を大きくすると、両眼融合可能な最大の視差量が単調に増加するという結果が得られた¹¹⁾。

この場合、画枠全体が大きくなると同時に提示パターンそのものも大きくなっているため、この結果はどちらの効果に依存するのかの検討をすすめた¹²⁾。

(e)の装置を用いてランダムドットパターンの中央の長方形の領域に視差を与えて立体視可能とし、表示画面全体の大きさを一定にしてこの領域の大きさを変化させた場合、およびこの領域の大きさを一定に保って、背景の領域の大きさを変化させた場合について調べた。

表示画面の水平、垂直の視角を $70^\circ \times 55.4^\circ$ と一定に保ち、視差を与える長方形領域の垂直視角を 2.9° として、水平視角を大きくしてゆくと両眼融合可能な最大の両眼視差量も単調に大きくなり、視角が $30^\circ \sim 40^\circ$ でやや飽和傾向を示すという結果が得られた。一方視差を与える長方形の領域を水平 4.9° 、垂直 2.9° の視角に固定し、背景の領域の大きさを変化させた場合には両眼融合可能な視差の大きさに変化は見られなかった。なおこの際の輝度は 7 cd/m^2 であった。

これらのことから画面の大きさに伴う両眼融合可能な視差の増大は、提示指標の増大に由来することが推察される。

5.2 画角と心理効果

立体画像において画面の大きさが増大するとどのような心理効果をもたらされるかを平面画像との関連において調べた¹³⁾。(d)の装置を用いて画角を種々変化させた両者の画像をランダムに提示し、「立体感」、「迫力感」、「総合画質」の三つの心理要因に関して一対比較法により主観評価を行った。用いたのは4種類の一般画像で、その輝度は 50 cd/m^2 、視距離は 2.5 m である。

この結果の例を図5に示す。図から、立体画像の場合、心理効果は画角とともに増大し、 20° から 30° の画角で飽和傾向を示すことがわかる。平面画像の場合も画角の増大とともに緩やかではあるが心理効果の増大が認められる。しかしその評価値は立体画像のそれと比べると小さい。立体画像は取り上げたすべての要因に対して

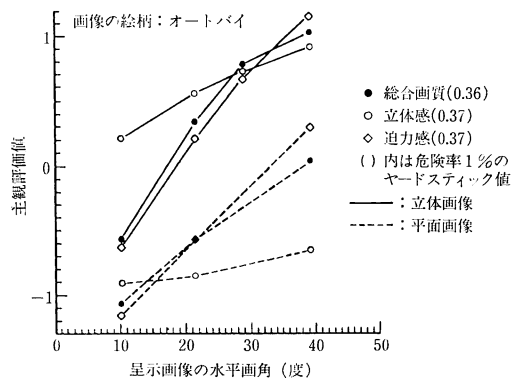


図5 画角と心理効果

平面画像より高い評価を受けており、図の例では同じ主観評価値の立体画像は平面画像に比べて約1/2の表示面積となっている。したがって立体画像は、同じ画面サイズの平面画像より大きな心理効果を与え、また、より小さな画面でも平面画像と同じ心理効果を与えうることが示唆される。

一方、立体画像の画面を大きくしたときどのような効果が誘導されるかを平面画像との対比において調べている。両者の画像の画角を $50^\circ \sim 70^\circ$ に変化させ、これらを左右に 18° の振幅で、約 0.14 Hz で往復回転運動させて、そのときの重心動揺の周波数分析を行った¹⁴⁾。これにより立体画像の場合には平面画像にはみられない 0.3 Hz 付近の特徴的なピークが生じ、画面サイズの増大とともにこの傾向が大となるという結果が得られている。

6. 画像条件との関わり

6.1 周波数帯域と画質

立体画像は、どちらか片側の画像を両眼でみる場合に比べて、画質がよく見えることが経験的に知られている。このことを検証するために(f)の装置を用いて、周波数帯域を 20 MHz 、 15 MHz 、 10 MHz に制限した立体画像と2次元画像とを作成し、一対比較法により評価を行った¹⁵⁾。このときの画面輝度は 10 cd/m^2 、視距離は画面高の3.5倍で 5.25 m であった。

この結果によると 15 MHz あるいはそれよりやや低い帯域の立体画像と 20 MHz の2次元画像とがほぼ同じ評価値となり、立体画像は同じ帯域の2次元画像より常に高画質となることが実証された。実際、立体画像においては、2次元画像に比べて輪郭がシャープで、かつ、きめが細かく知覚される。

またハイビジョンの静止画像を用いて、立体画像およ

び2次元画像を種々の方向に種々の帯域で制限し、25 MHz 帯域の画像を基準として7段階のカテゴリー評価を行った。この結果、立体画像は平面画像に対して約15%狭い帯域で同等の画質が得られること、立体画像を対角方向に帯域制限する際には、平面画像を水平方向に帯域制限する際の約30%の帯域で同等の画質が得られること、等の結果が得られている¹⁶⁾。

6.2 図形の縁の効果

立体画像と平面画像との画質の相違をもたらす要因を求めため、画質の主要因である‘鮮鋭さ’についての実験的検討を行った。

ランダムドットパターンの背景上に縦横の視角が $4^\circ \times 0.34^\circ$ の長方形二つを間隔 0.69° で平行に配置した平均輝度 1.0 cd/m^2 のパターンを作成した。このパターンの縁の部分に視角 $13'$ の両眼視差による奥行きを与えたものと与えないものをつくって、これらを 0.4 MHz までの種々の帯域のフィルタを通し、その鮮鋭さの主観評価を行った¹⁷⁾。この実験には 60 Hz で動作する(b)の装置を用いた。

この結果によると、縁に奥行きがないパターンでフィルタの帯域を 2 MHz から 1.5 MHz に変化すると評価はほぼ1ランク下がるが、この縁に奥行きを与えると元の評価に回復することがわかった。すなわち縁の縁で奥行きが急峻に変わるとその縁自体が鮮鋭に知覚される。これは像のボケが鮮鋭な奥行き縁によってマスクされるためとの解釈が行われている。この鮮鋭さの増加は遮断周波数で30~40%の増加に相当し、6.1の結果とも対応する。

6.3 背景の効果

日常空間においてものをながめるとき、注視点以外の大部分の物体は焦点深度からはずれ一般にぼけた像として網膜に投影されている。一方、立体画像の場合は、ふつう全面がシャープな2枚の画像が投影される。すなわち注視点以外にもピントの合った画像が網膜に投影されるという点が実空間の場合と異なっている。

立体画像を眺めるとき、実空間を眺めるときとは異なった印象を受けることがある。この要因として上記の点に関わりを持つか否かを検討するために、対象とする図形周囲の条件を変化させて両眼融合の範囲を調べた¹⁸⁾。

実験装置としては(b)の時分割装置で 60 Hz で動作するものを用い、画面中央に両眼視差を与える対象図形として白い正方形を提示した。背景が明と、暗の様な輝度の場合、および背景が両眼視差ゼロのランダムな大きさの長方形像で、これが鮮明な場合とこれにボケを与

えた場合、の4条件を設定した。また対象図形である正方形の大きさを、一辺が視角 0.9° および 2.7° の2とおりに選んだ。この実験における白レベルの輝度は 1.7 cd/m^2 、視距離は 110 cm であった。

上記の各条件の場合について両眼融合可能な視差の最大限界を求めた。この結果、背景が鮮明な方よりぼけた方が、さらには背景が一様になった方がこの視差の限界が大きくなることがわかった。また対象図形が大きい場合の方が小さい場合よりもこの限界が大きかった。

すなわち背景の手がかりの相違に応じて融合範囲が変化する。このことは実空間と立体画像の見え方の相違の要因の一つを示唆するものと推察し、見やすい立体画像の提示条件についての考察も行われている。

7. 立体画像装置

7.1 時分割立体ディスプレイ

左右の画像を交互に切り替えて提示したとき、この時間間隔が 50 ms 程度以内ならば、これに対応して左右眼をシャッターで開閉することにより立体視ができる。単純には現在のテレビの偶数フィールドと奇数フィールドとに左右の画像を割り当て、これに同期して左右眼が開閉するシャッター眼鏡をかけて見ることににより立体視をすることができる。しかしこの場合片眼は毎秒30枚の画を見ることになり、フリッカー(ちらつき)を感じ、また垂直解像度も半分に低下する。

このためフリッカーの感じられない条件を心理実験により調べ、この結果に基づいて、フィールドメモリを利用して4:1のインターレースで毎秒120枚で左右画像を交互に提示し、これに対応して液晶シャッター眼鏡で切り換えて見るシステムを製作した²³⁾。これによりフリッカーがなく垂直解像度の低下のない立体画像が表示でき、上述のいくつかの実験に利用している。

7.2 眼鏡なし立体ディスプレイ

立体ディスプレイは何らかの眼鏡を用いるものが多いが、できれば眼鏡を用いない方が望ましい。このため眼鏡を用いない方法についても検討を進めている。前項にも述べられているように、これにもいくつかの方法があるが、動画像表示可能で高画質を実現できる可能性のある方法としてまずレンチキュラー方式の装置の試作、検討を行った。

この方式を実現する場合、レンチキュラーシート(レンズ)とディスプレイとの全面にわたる正確な位置合わせが要求される。このため最近進展の著しい平面形のディスプレイに着目し、これらを利用した試作をすすめ

た.

まず対角長 12 インチのプラズマディスプレイを用い、2眼式(2方向の画像を表示)および4眼式(4方向の画像を表示)の立体(3D)システムを試作し、またエレクトロルミネッセント(EL)ディスプレイを用いた対角長9インチの5眼式3Dシステムを試作した。これらに関してシミュレーションおよび心理実験を行って見え方の評価を行った²⁴⁾。

上記システムはモノクロ表示であるが、進展の著しい液晶ディスプレイを用いて、フルカラーの動画表示可能な背面投射形対角長40インチの2眼式の立体ディスプレイが試作され²⁵⁾、1990年のNHK技研公開においても展示が行われた。

さらに最先端の技術であるハイビジョン用の液晶ディスプレイを用いて、4眼式で背面投射形対角長50インチのフルカラーシステムへと発展させ、より自然な立体感をもつ高画質の3D動画表示が可能となった²⁶⁾。このシステムは1991年のNHK技研公開において展示が行われた。

また、従来あまり省みられなかったパララックスバリア方式に注目し、液晶によってパララックスバリアを構成するシステムの試作、検討をすすめた。図6に示すように、このシステムでは2枚の液晶(LCD1, LCD2)を用い、一方を画像表示用、他方をパララックスバリア構成用としている。液晶を用いることによりパララックスバリアを任意に構成したり、消去したりすることが可能なため、任意の多眼式システムとしたり、部分的に立体

表示をしたりすることができ、またパララックスバリアを消去することにより2次元画像表示との両立性をもたせることもできる²⁷⁾。

8. む す び

両眼視差の性質に関連して、基本的な時間、空間特性や画像条件との関わり、立体ディスプレイなどについてNHKで行われている研究を中心として述べた。紙面の関係でここでは触れられなかったが、両眼視差によって引き起こされる調節²⁰⁾および輻輳²¹⁾機能についての研究も進められており、立体画像の場合でも、焦点深度内ならばピント調節が輻輳と連動して変化するという知見が得られている²⁰⁾。両眼視差と密接な関わりをもち、また奥行き感をもたらす重要な要因である運動視差に関してもいくつかの重要な性質が明らかにされている^{17,22)}。また網膜に対応する2枚の画像から奥行きを抽出して、物体の3次元表面を復元し、任意方向の画像を再構成できる神経回路モデルの研究も進められている¹⁹⁾。

立体画像システムの実現にはデバイスやディスプレイなどのハードウェア技術の進展に期待するところも大きい。立体画像は最終的にはあくまでも人間によって受け入れられるものであるから、視覚の性質を十分に把握して、視覚とよく整合したシステムとすることが重要である。

本稿に述べた結果からも立体ディスプレイシステムの構成に関する多くの重要な示唆が得られるが、立体視の性質に関しては未知の部分が多いので、自然で見やすく視覚的負担の少ない条件を明らかにするために、さらに種々の側面からの研究を進める必要がある。

文 献

- 1) 樋渡涓二編著：視聴覚情報概論(昭晃堂, 1987)。
- 2) S. Pastoor: "3D-television: A survey of recent research results on subjective requirements," *Image Commun.*, **4** (1991) 21-32.
- 3) K.N. Ogle: "On the limits of stereoscopic vision," *J. Exp. Psychol.*, **44** (1952) 253-259.
- 4) 磯野春雄, 安田 稔: "時分割立体視の成立条件", *テレビ誌*, **41** (1987) 549-555.
- 5) 磯野春雄, 安田 稔: "色度ランダムドットパターンの奥行き知覚", *信学論*, **J70-D** (1987) 1811-1818.
- 6) 磯野春雄, 安田 稔, 瀬戸茂之: "時分割立体視の融合特性", *信学技報*, **MBE 87-56** (1987) 25-30.
- 7) 長田昌次郎: "奥行き信号分離(NS)式立体画像装置と両眼立体視特性の測定", *医用電子と生体工学*, **20** (1982) 154-161.
- 8) 磯野春雄, 安田 稔: "色度パターンを対象とした視覚の奥行き空間周波数特性", *テレビ全大*, 1-5 (1988) pp. 9-10.
- 9) 矢野澄男, 鈴木健一: "動指標に対する両眼融合特性一両

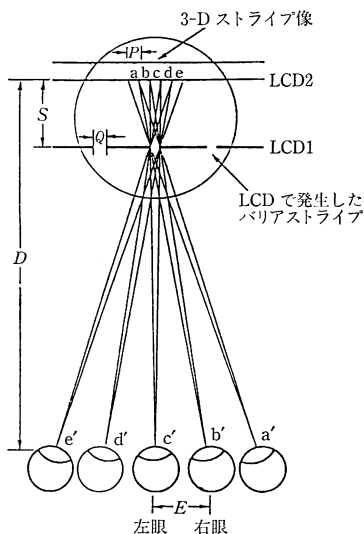


図6 液晶を用いたパララックスバリア方式の原理

- 眼融合可能な最大域と眼球運動一”, 信学論, **J74-D-II** (1991) 303-310.
- 10) 森田寿哉, 磯野春雄, 安田 稔: “視覚の奥行き周波数特性に及ぼす画面輝度及びコントラストの効果”, テレビ全大, 17-2 (1989) pp. 391-392.
 - 11) 長田昌次郎: “両眼式立体画像観視における両眼融合限界の画角および視距離依存特性”, テレビ誌, **43** (1989) 276-281.
 - 12) 矢野澄男, 三橋哲雄: “表示画面と立体視に関する一考察—視標の大きさと両眼融合特性—”, 信学技報, **IE 94-79** (1991) 41-48.
 - 13) 矢野澄男: “立体画像表示における画角の影響”, テレビ誌, **45** (1991) 1589-1596.
 - 14) 清水俊宏, 矢野澄男, 三橋哲雄: “広視野立体画像観察時における重心動揺に関する一考察”, テレビ誌, **45** (1991) 108-110.
 - 15) S. Yano and I. Yuyama: “Stereoscopic HDTV: Experimental system and psychological effects,” SMPTE J., **100** (1991) 14-18.
 - 16) 蓼沼 眞, 湯山一郎: “二次元領域で帯域制限した立体ハイビジョン画像の画質”, テレビ学技報, **VAI 91-40** (1991) 13-17.
 - 17) S. Nagata: “Visual effects in multidirectional stereoscopic images,” *Proceedings of the International Symposium on 3D Image and Arts*, 6-3 (1992) pp. 137-145.
 - 18) 長田昌次郎: “両眼視融合機能に及ぼす画像条件—環境効果—”, 信学技報, **MBE 91-116** (1992) 65-71.
 - 19) 藤井真人, 三宅 誠: “両眼視差抽出と3次元表面の復元”, テレビ誌, **45** (1991) 315-322.
 - 20) 比留間伸行, 福田忠彦: “調節応答から見た両眼融合式立体画像の観視条件”, 信学論, **J73-D-II** (1990) 2047-2054.
 - 21) 森田寿哉, 福田忠彦: “立体画像観察時における注視点の解析—奥行き方向の精度に関する考察—”, 第21回画像工学コンファレンス, 4-3 (1990) pp. 63-66.
 - 22) 星野春男, 比留間伸行, 山田光穂, 福田忠彦: “運動視差利得を変化させたときの視覚効果”, 信学論, **J73-D-II** (1990) 224-231.
 - 23) H. Isono and M. Yasuda: “Flicker-free field-sequential stereoscopic TV system and measurement of human depth perception,” SMPTE J., **99** (1990) 136-141.
 - 24) 磯野春雄, 安田 稔, 日下秀夫, 森田寿哉: “メガネなし3Dフラットパネルディスプレイの試作”, テレビ誌, **44** (1990) 591-597.
 - 25) 磯野春雄, 安田 稔, 三輪幸司, 金山秀行, 山田千彦: “40インチ液晶投写型メガネなし立体TVディスプレイ”, 第21回画像工学コンファレンス, 11-4 (1990) pp. 213-216.
 - 26) 磯野春雄, 安田 稔, 竹森大祐, 金山秀行, 山田千彦, 千葉和夫: “50インチ多眼式メガネなし3次元テレビジョン”, テレビ誌, **45** (1991) 1472-1474.
 - 27) 磯野春雄, 安田 稔, 笹沢秀明: “新しいメガネなし3Dディスプレイ—液晶アクティブ・バリア方式”, 信学技報, **IE-91-106** (1992) 49-54.