

没入形裸眼立体ディスプレイ TWISTER I の設計と試作

Immersive Autostereoscopic Display, TWISTER I
(Telexistence Wide-angle Immersive STEReoscope Model I)

正会員 國田 豊^{†*}, 尾川 順子[†], 佐久間 敦士[†],
正会員 稲見 昌彦[†], 前田 太郎^{††}, 館 暲[†]

Yutaka Kunita^{†*}, Naoko Ogawa[†], Atsushi Sakuma[†], Masahiko Inami[†], Taro Maeda^{††} and Susumu Tachi[†]

Abstract TWISTER I (Telexistence Wide-angle Immersive STEReoscope, Model I) is an autostereoscopic display that is designed for a face-to-face tele-communication system called "mutual telexistence." By rotating display units that consist of LED arrays and a barrier around a viewer, TWISTER I can display panoramic stereoscopic images that can be observed without the use of special eyewear. This "glassless" feature is essential for applying this apparatus to mutual telexistence because eye contact is important in non-verbal communication.

キーワード：メガネなし立体視, 没入形, パララクスバリア, テレグジスタンス

1. ま え が き

お互いに遠く離れた人間が、自然に面談できるシステムの実現は長らく望まれ、臨場感通信^{1),2)}を筆頭として、現在まで多くの研究がなされてきた。著者らも、利用者に遠隔地に入り込んだかのような感覚を与えるテレグジスタンス³⁾を発展させ、コミュニケーションに適用することを試みている⁴⁾。その実現のためには、いくつか解決すべき要素技術があるが、本稿では、特に視覚ディスプレイについての設計を述べ、その試作機 TWISTER I (Telexistence Wide-angle Immersive STEReoscope Model I) を紹介する。

面談コミュニケーションで用いる視覚ディスプレイは、観察者に高い臨場感を与えるために、広視野な立体画像を提示できる必要がある。そこで、近年は CAVE や CABIN に代表される広視野で、立体視の可能な多面ディスプレイを用いる試みがなされている^{5),6)}。この種のディスプレイは、等身大の人物像を提示できるため、自然な身振りを

使ったコミュニケーションが期待できる。また、人物を取り囲むように映像を提示するので、カクテルパーティのような人物間の複雑な位置関係を表現できる。しかし、立体視をするためには、液晶シャッタなどの特殊なメガネを装着する必要があるため、利用者の目の表情や目線を隠してしまうことになる。「眼は口ほどに物を言う」の言葉の通り、目の表情は、面談コミュニケーションにおいて不可欠なものであり、この状況は、好ましいことではない。よって、広視野・立体でありながら、メガネを必要としないディスプレイが理想である。

一方、メガネなしでの立体視が可能なディスプレイの代表として、パララクスバリア方式がある。パララクスバリア方式は、水平方向に交互に並べて提示された左右眼用の映像をスリット列を通して見ることで、右眼には右眼用画像、左眼には左眼用画像のみが観察できる仕組みになっている。最近では、レンチキュラーレンズを用いたもの¹²⁾や、イメージスプリッタ方式¹³⁾、リアレンチ方式¹⁴⁾と呼ばれるものも、ほぼ同様の原理を利用してメガネなしの立体視を実現している。ただし、この種のディスプレイで、バリアの縦縞が目立たないように映像を提示するためには、非常に細かいバリア(もしくはレンズ)を加工し、提示面との位置合わせを正確に行う必要がある。さらには、提示面で隣り合う左右用の画像が両方とも片方の眼に入るクロストークという現象が起こりやすく、観察者の視点位置を厳しく制限する原因となる。

これらパララクスバリアの問題は、空間解像度を向上させるために、提示面上の左右眼用画像を密に隣り合わすゆ

2000年7月6日、3次元画像コンファレンス2000で発表
2000年11月13日受付、2001年1月23日再受付、2001年1月30日採録
† 東京大学 大学院工学系研究科
(〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1, TEL 03-5841-6917)
†† 東京大学 大学院情報学環
(〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1, TEL 03-5841-6916)
* NTT サイバースペース研究所
† Graduate School of Engineering, Univ. of Tokyo
(Hongo 7-3-1, Bunkyo-ku, Tokyo, TEL 113-8656 Japan)
†† Interfaculty Initiative in Information Studies, Graduate School of
Univ. of Tokyo
(Hongo 7-3-1, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8656 Japan)
* Nippon Telegraph and Telephone Corporation

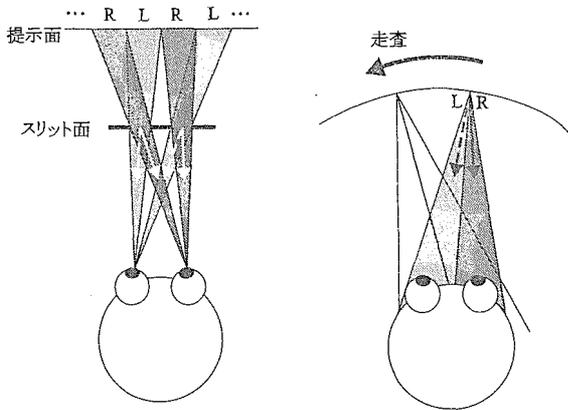


図 1 固定パララクスバリアと可動パララクスバリア
Fixed parallax barrier and dynamic parallax barrier.

えに生じると言える。そこで本稿では、比較的間隔をあけた左右眼用の光源とバリアを 1 つの提示ユニットとして、観察者の周りを走査するという手法⁷⁾を採用した。光源の間隔が空いているということは、静止した状態では空間的な解像度が低いことを意味するが、走査することにより、時間的な解像度で補う。そして、パララクスバリア特有の視点位置の制約を緩和し、広視野でクロストークのない立体視を実現することを狙っている。また、バリアが目障りであるという欠点も、知覚できない程度に高速回転させることで克服できる。

なお、スリットを円形に走査して視差画像を提示するという発想は、1940 年代にフランスの Savoye が発表した Cyclostereoscope¹⁰⁾ や TAO の全周形ディスプレイ¹¹⁾ と同様である。ただし、これらのディスプレイにおいて、観察者が円形走査の外側にいるのに対し、本方式は観察者が内側にいるために、パノラマ的な広視野映像を提示できる点が主な違いと言える。

2. 原理

2.1 可動パララクスバリア方式

まず、著者らが以前に提案した、パララクスバリア方式を発展させた立体映像の提示法⁷⁾について述べる。

図 1 左は、パララクスバリアによる立体映像の提示原理を示している。水平方向に交互に並べて提示された左右眼用の映像を、スリット列を通して見ることで、右眼には右眼用画像、左眼には左眼用画像のみが観察できる仕組みになっている。ここで、スリットの面に注目すると、開口部(アパーチャ)から左右の眼に指向性のある光線(の集まり)が提示されている。しかし、それは遮光部(バリア)を挟んでとびとびになっているために、スリットが十分に細くなければ目障りになる。また、片眼で観察できる映像は提示面の 1/2 の領域である。そこで、スリット面を液晶などを用いて電子的に制御して、開口部と遮光部をフリッカが知覚されない程度に高速反転させるとともに、提示面の左右映像の位置を反転させれば、時分割によりスリット面の

表 1 立体ディスプレイの方式と左右眼映像の分離方法
Method and principle of stereoscopic displays.

分離原理	ディスプレイ方式
時間的な分離	液晶シャッタ方式
空間的な分離	パララクスバリア、 レンチキュラレンズ
偏光、色などの光の性質	偏光メガネ、アナグリフ

すべての領域から、指向性のある光線を提示できる。また、頭部位置を計測し、バリアの位置と幅を調節することで、従来のパララクスバリアの問題であった視点位置の制約を解消することができる。このようなシステムでは、スリットに 1/60sec ~ 1/120sec 程度で応答するデバイスが必要であるが、近年は STN (Super Twisted Nematic) 形液晶や強誘電性液晶などにより実現されている⁹⁾。

一方、スリットを電子的に制御する以外にも、左右 2 眼ぶんの指向性のある光線を、実際に走査することにより、同様な効果が得られる。そして、円周上に走査を行えば、観察者を取り囲むように映像を提示できる。図 1 右にその様子を示す。この方式においても、観察者の頭部位置を計測して光線の方向を変化させれば、視点移動に対応した映像を提示できる。

本方式は、パララクスバリア方式のように光の直進性を利用し、遮光板により光路を遮ることで、空間的に左右眼への提示映像を分離している。一方で、スリット面、もしくは光源を走査する円周上のある点に注目すれば、時間をずらして左右眼への映像提示を行っているとも言える。ある 1 つの提示面を用いて、左右の眼への映像を分離する方法は、表 1 のように分類することができるが、本方式は、空間分割と時分割を組合せたハイブリッド方式としての位置づけとなる。

2.2 TWISTER I における提示法

本稿の試作機では、簡易的な実装として頭部位置追従は行わなかった。図 2 は観察者とディスプレイを上から見た図である。垂直方向に並べた 2 列の発光ダイオード(LED)と遮光板が 1 組で表示ユニットを構成する。

ここで、遮光板により右眼用の LED 列と左眼用の LED 列が、それぞれ片方の眼にしか入らないようになっている。すると、図中の領域 I では、右眼用光源からの光しか観察できず、領域 II は左眼用の光源しか観察できない。また領域 III は、クロストーク領域でどちらの光源も観察でき、領域 IV は、どちらの光源も観察できない。そして、各領域の境界は、円周の中心で交わるようにしている。このような状態で、表示ユニットを観察者を中心に回転させ、円筒状に走査を行うと、円周の中心付近にいる観察者に対して、広視野の立体映像が提示できる。

なお、表示ユニットは 1 つとは限らず、円周上に複数配置することが可能である。また、光源として必ずしも LED を用いる必要はないが、高速応答性と発光効率の良さから走査形のディスプレイに向いているうえ^(9), 11)などの例、

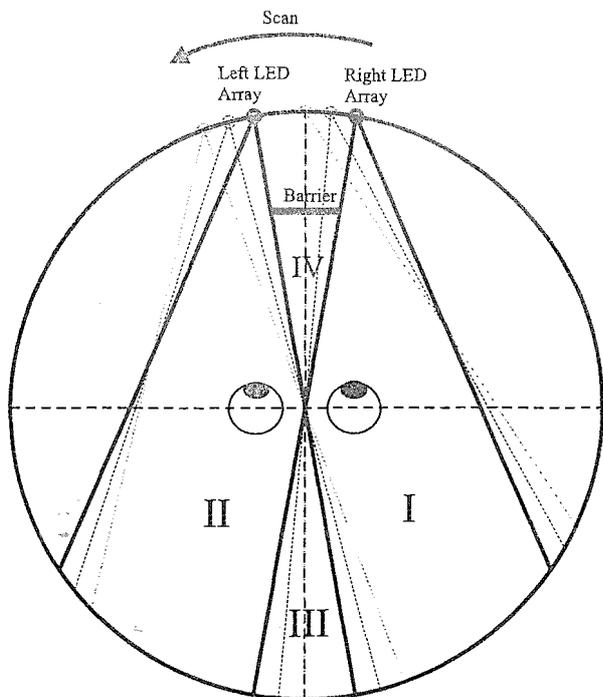


図2 バリアと光源列の走査による可動パララクスバリア式ディスプレイ
Dynamic parallax barrier method by rotating a barrier and light source arrays.

最近 GaN 系高輝度青色 LED の実用化により RGB 3 原色がそろい、フルカラー表示も可能である。ただし今回の試作機では、赤色 LED を用いて単色の表示を行った。

3. 設計

3.1 立体視域

試作機における実装では、頭部位置の追従を行わない。よって、立体映像が観察可能な位置は限られてくる。そこで、観察者のそれぞれの眼が位置すべき領域を求めてみる。図3のように、 R を光源が回る円周の半径、 ω を光源の指向角、 γ を中心から見たバリアの角度、 θ を表示ユニットの回転位置とする。ここで、 $l(\theta, \phi)$ を角度 ϕ における円の中心から右眼のあるべき領域 (図2の領域 I) の境界までの長さとする、ある θ において視点 (r_0, ϕ_0) が、この領域にあるための条件は、

$$r_0 \leq l(\theta, \phi_0) \quad (1)$$

さらに、 $-\Delta\theta \leq \theta \leq \Delta\theta$ の範囲をユニットが走査しても常にこの領域にあるためには、

$$r_0 \leq \min_{-\Delta\theta \leq \theta \leq \Delta\theta} l(\theta, \phi_0) \quad (2)$$

ここで $l(\theta, \phi) = l(0, \phi - \theta)$ を用いて、

$$r_0 \leq \min_{-\Delta\theta \leq \theta \leq \Delta\theta} l(0, \phi_0 - \theta) \quad (3)$$

$$= \min_{\phi_0 - \Delta\theta \leq \phi \leq \phi_0 + \Delta\theta} l(0, \phi) \quad (4)$$

となる。

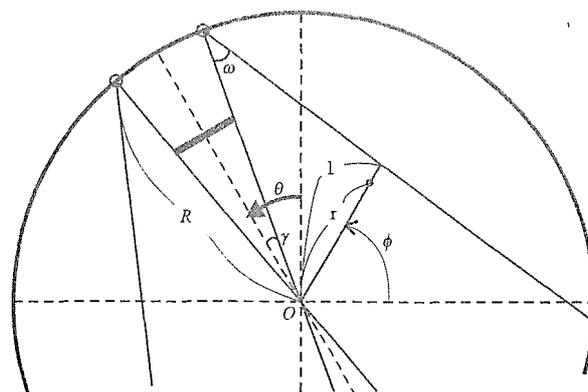


図3 視域の導出のための変数設定
Valuables setting for calculation of viewing areas.

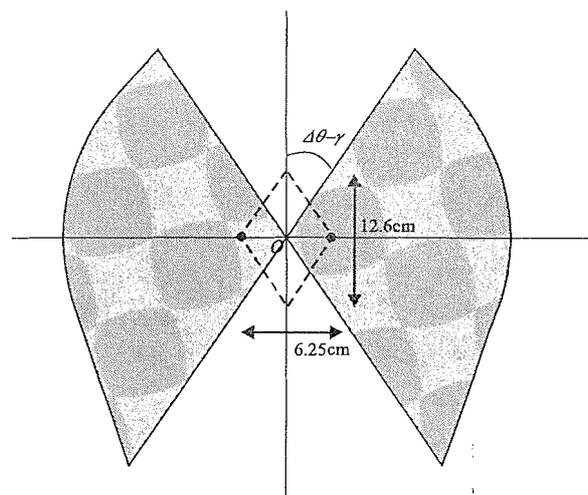


図4 視野角を 60° としたときの両眼の適視領域と、頭部移動可能範囲
Viewing areas and a head motion area when viewing-angle is 60° .

$$l(0, \phi) = \begin{cases} 0 & -\pi \leq \phi < -\frac{\pi}{2} + \gamma \\ R & -\frac{\pi}{2} + \gamma \leq \phi < -\frac{\pi}{2} + 2\omega - \gamma \\ R \cdot \frac{\sin \omega}{\sin(\frac{\pi}{2} + \phi + \gamma - \omega)} & -\frac{\pi}{2} + 2\omega - \gamma \leq \phi < \frac{\pi}{2} - \gamma \\ 0 & \frac{\pi}{2} - \gamma \leq \phi < \pi \end{cases} \quad (5)$$

(ただし $\omega > \gamma$ のとき) より、式 (4) を満たす右眼の視域を求めると、図4のようになる。なお、図4には左眼の視域も合わせて示しており、中心付近に眼間距離の日本人平均 6.25cm を黒点で表した。左眼の視域に左眼が、右眼の視域に右眼がそれぞれあるときに、観察者に立体映像を提示することができる。ここで、各パラメータの値はほぼ試作機に合せ、 $R = 600[\text{mm}]$ 、 $\omega = 15^\circ$ 、 $\gamma = 3.62^\circ$ 、 $\Delta\theta = 30^\circ$ とした。ここで、眼間距離が d の観察者の頭部運動の許容量は、 ω が十分に大きい場合には、左右に d 、前後に $\frac{d}{\tan(\Delta\theta - \gamma)}$ となる。すなわち、左右の移動量は眼間距離いっぱいになり、前後は視野角に依存する。例えば、眼間距離 6.25cm 、視野角 60° の場合、左右に 6.25cm 、前後

に 12.6cm となる。

3.2 時空間解像度のトレードオフ

本稿の立体提示法が、時分割と空間分割を組合せた方式であることはすでに述べた。そのような特徴ゆえに、時間と空間の両方のファクタが影響しあうため、システムを設計する際には、考慮する必要がある。以下では、両者の関係を定式化することを試みる。

f [Hz] を映像のフレームレート、 n を 1 周の画素数、 F [Hz] を光源の駆動周波数、 N を表示ユニット数、表示ユニットの角速度を ν [rad/s] とする。円周上のある地点をある表示ユニットが通過し、その画素を更新した $\frac{1}{f}$ 秒後には、次の表示ユニットが同一の画素を通過し、更新する。表示ユニット間の角度は $\frac{2\pi}{N}$ であるから、

$$\frac{1}{f} = \frac{2\pi}{N} \cdot \frac{1}{\nu} \quad (6)$$

また、表示ユニットが 1 周するのに $\frac{2\pi}{\nu}$ 秒かかり、1 秒あたり光源が F 回点滅するので、1 回の点滅で 1 画素を表現すると 1 周あたりの画素数は、

$$n = F \cdot \frac{2\pi}{\nu} \quad (7)$$

ここで 1 秒間にユニットが回転する回数を ψ とおくと、 $\psi = \frac{\nu}{2\pi}$ [Hz]。すると式(6),(7)より、

$$\psi = \frac{f}{N} \quad (8)$$

$$= \frac{F}{n} \quad (9)$$

さらに式(8),(9)から

$$f \cdot n = F \cdot N \quad (10)$$

が成り立つ。これは時間解像度と空間解像度の積が一定であるというトレードオフの関係を表しており、右辺は静止した状態を示している。 F は光源として LED を用いた場合、人間が必要とするフレームレートよりもかなり大きくすることができ、逆に N は画像を提示するほど大きくするためには従来のパララクスバリアのように精緻なスリット加工を必要とする。そこで、走査することにより、余分な時間解像度を不足している空間解像度に割り振っていると言える。

4. 試作機の実装

以上で述べた方式をもとに、試作 1 号機 TWISTER I (Telexistence Wide-angle Immersive STEReoscope, Model I) を実装した。図 5 にその概観を示す。

まず、回転体の内部に人が入らなくてはならないため、軸を上と下の両側から支えることができず、上から吊るして回転する構造をとった。回転体を吊す屋台は、高さ 2m のアングル材で組んだため、利用者はいすに座った状態で観察する。また、回転体は、軽く、丈夫で、安定して回転する必要があるため、アルミのチャンネル材で正六角形に上面を組

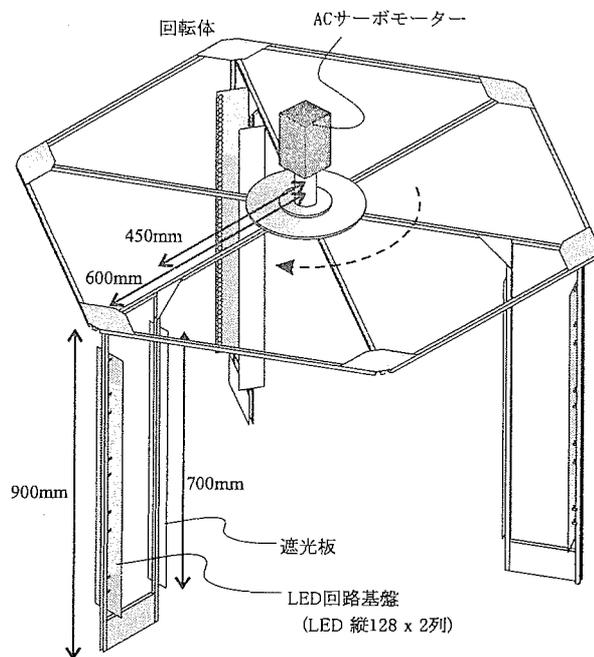


図 5 TWISTER I の概観
Overview of TWISTER I.

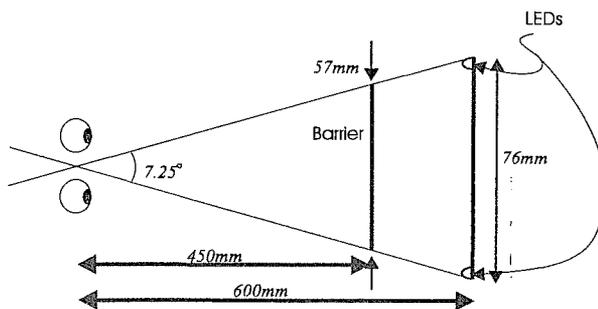


図 6 LED と遮光板の配置図
Layout of LED arrays and a barrier.

んだ。そして、頂点の 1 つおきに提示ユニットを取り付け、計 $N = 3$ とした。回転体を回す動力としては、AC サーボモーター (オリエンタルモーター製 KBLM460GD-A) を用いた。試作機の回転スピードは、 $\psi = 1$ [Hz] すなわち 60rpm 程度であるが、このモータの定格は、3000rpm であるため、ギア比 10:1 のギアボックスを用いて減速している。

提示ユニットは、1 列 128 ドット、左右 2 列の LED アレイとアルミ製の薄い遮光板から構成される。LED は GaAlAs 系の高輝度赤色発光で、パッケージの直径 $\rho = 3$ [mm]、アレイの回転半径 $R = 60$ [cm] である。LED の駆動には、マイクロコンピュータ (MICROCHIP 製 PIC16F873, 以下 PIC) を使い、1 つの PIC につき 32 個の LED を 1/4 ダイナミック駆動する。なお、PIC の間で点灯のタイミングは同期をとっている。また、PIC と LED の電源としては回転体に電池を載せて用いた。

ここで、回転スピード $\psi = 1$ [Hz]、提示ユニット数 $N = 3$ を式(8)に代入すると、フレームレート $f = 3$ [Hz]。一

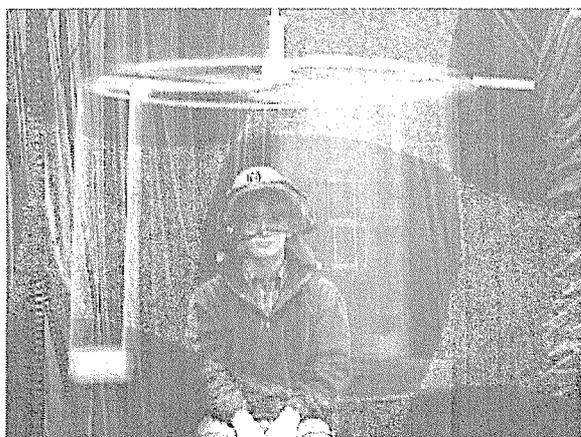


図7 TWISTER Iによる裸眼立体視の様子
Displaying autostereoscopic images by TWISTER I.

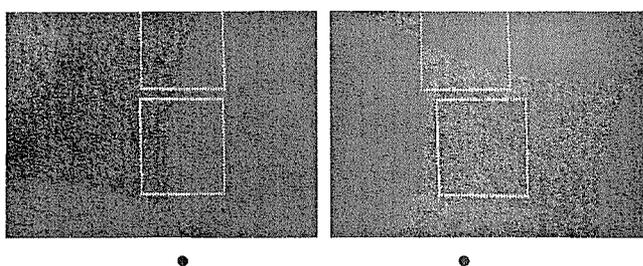


図8 立体視のテストパターン。左：左眼視点位置での映像、
右：右眼視点位置での映像
Stereoscopic test pattern. The left image for a left eye,
the right one for a right eye.

方、1周の画素数 n は式(9)を満たすようにLEDの駆動周波数 F をとることで決めることができるが、LEDの直径 $\rho = 3[\text{mm}]$ なので、これを円周上にしきつめた $2\pi R/\rho \approx 1257$ よりも多くとる意味はない。そこで今回は、 $n = 960$ として、 $F = 960[\text{Hz}]$ となる。ここで、LEDの駆動周波数は素子の性能上、MHz オーダまで可能であるから、余裕のある分をPWM変調などで階調を表現することも可能である。1周あたりの画素数は960ドットだが、今回は観察者の正面 60° の範囲で映像を提示しているため、結局は水平160ドット (60°)・垂直120ドット (57°) を表現できることになる。また、提示する映像のパターンはPICのメモリーに蓄えているため、動画像を提示するには至っていない。

ここで、LEDアレイと遮光板の配置を図6に示す。アレイ間の距離は76cmで、バリア幅は57cm、バリアとアレイの距離は15cmとし、各アレイと遮光板の端を結ぶ直線がちょうど回転の中心を通る。このように配置することで、中心におけるクロストークを最小にしている。

5. 実験

実際に試作機により、裸眼で立体映像を観察している様子を図7に示す。図中、観察者の装着しているヘルメットは、安全のためであり、立体視には寄与しない。

ここで、観察者が正しく立体視ができているかの実験として、図8のような図形を提示した。今回の実装では、提示ユニット数が少なかったため、周りが明るい状態では観察しづかった。よって、周りを暗くして実験を行なった。上下に2つの正方形を提示し、下の正方形は上に比べて視差が多くついている。よって、このようなパターンを立体視した際には、下の正方形が上の正方形よりも奥に知覚されるはずである。このようなパターンを、立体視機能の正常な男女被験者10名に対して提示したところ、すべての被験者が、正しくどちらが奥にあるかを言い当てることができた。

もしも回転速度が十分な速さでない場合、バリアの存在が知覚されたり、水平に隣り合う画素が仮現運動をしていると知覚されたり、両眼に入る対応点の時間的なずれにより立体視が成立しない、といった不具合が懸念される。しかし、今回の速度(60rpm)においては、そのような不具合は認められなかった。さらに特記すべきことは、本試作機では、アルミ板による遮光を行っているため、左右眼に提示している映像には、全くと言っていいほど、クロストークが生じていない点である。よって、完全に光を不透過にできない液晶シャッターや偏光板による立体表示に比べ、非常に明瞭な立体映像であるとの印象を受けた。

6. 課題と将来展望

6.1 高画質・高性能化

今回の実装はあくまでも試作的であったため、立体ディスプレイとして改善すべき点は多い。ここでは、問題点を挙挙するとともに、解決策について考察する。

(1) 輝度

まず、現在の試作機では光量が足りないため、部屋が暗くないと観察しづらい。

走査を用いている以上、LEDが静止している状態に較べて輝度が落ちるのは本方式の原理的な問題である。ただし、現時点では3つの提示ユニットを30程度に増やすことで光量を増やすことができる。これは、後述するように時間解像度を上げる効果もある。

次に、現時点での実装上の問題として、まず、1つのPICにつき32個のLEDを接続し、8個ずつ1/4ダイナミック駆動を行っていることがある。さらに、回路の設計上、LEDの駆動電流を十分に大きくとれなかったこともある。一方、街頭LEDディスプレイ用に、シフトレジスタと、定電流ドライバを組合せたICは現在、いくつか製品として入手できる。よって、このようなICを用い、LEDに十分な電流を流せば輝度は十分に高くなると考えられる。

一般にLEDは、街頭ディスプレイなどに用いられるほど輝度が高く、通常の2次元ディスプレイにすると数1000 $[\text{mcd}/\text{m}^2]$ 程度まで実現している。よって、CRTディスプレイの数100 $[\text{mcd}/\text{m}^2]$ 程度の輝度であれば、走査により数10分の1程度の光量の低減があっても実現可能であ

ろう。

(2) 空間解像度

視角に換算した空間解像度を大きくするには、発光素子を小さく、提示距離を大きくすればよい。このうち、提示距離は走査の回転半径で決定される。しかし、遠心力が2乗できてくるために、あまり大きくすることはできない。また、焦点距離と輻輳角の不一致の影響を低減するために、提示距離は1m程度の距離にすることが望ましい。この場合、20cm程度の距離から無限遠までの像を融像できることが知られている。

提示距離を1mとし、比較対照として高精細とされるCAVEやCABINに代表される包囲形ディスプレイを例にとって検討する。スクリーンの1辺が2500mm、提示する画像の画素数を、1024x1024ドットとすれば、中心から観察した場合の解像度は、視角にして約6.7分となる。そして、これと同じ視角を回転半径1mの走査で実現する場合、光源の1画素の大きさは約1mmとなる。LEDは半導体プロセスにより製造されるため、このスケールは実現可能な範囲であると考えられる。

(3) 時間解像度

時間解像度に関して、今回のフレームレートは、3Hzであるため、フリッカを知覚してしまう。人間がフリッカを知覚しない周波数の下限は、CFF(Critical Flicker Frequency)と呼ばれる。CFFは画面の明るさ、網膜上の像の位置などの影響を受けるが、一般的には60Hz程度あれば充分とされている。

ここで、フレームレート f は、回転速度 ψ 、表示ユニット数 N と式(8)を満たすように設定することができる。例えば、現在と同じ回転速度 $\psi = 1[\text{Hz}]$ で $f = 60[\text{Hz}]$ にするためには、式(8)から表示ユニットの数 $N = 60$ にすればよい。このように表示ユニットを増やす利点として、前述のようにディスプレイの輝度が高くなるということもある。

(4) フルカラー

表現力の向上を狙うと、フルカラー表示が望まれる。これは、RGB3原色のLEDを用い、さらに、階調をつければ実現できる。その際、RGBの発光位置に多少のズレがあっても、その方向が走査の向きと同じになるように配置すれば、時間をずらして同一位置で発光することができ、混色が可能となる。また階調は、PWMによるデューティ比、もしくは電流制御により表現することができる。ただし、階調をつけるために、LEDをPWM駆動すると、走査により発光する場所が、空間的にずれてしまう。このずれが許容できる範囲になるよう、十分な周波数でLEDを駆動する必要がある。

(5) 映像信号の転送

今回の試作機では、回転体に搭載したマイコンの内蔵メモリーに点灯パターンを記録している。しかし、動画像を表示するためには、実時間で回転体内部に映像信号を転送

する必要がある。

その方法としては、スリッピングか無線を用いるのが有望であろう。スリッピングでは、信号の他に電源供給も行うことができる。また、無線でも特に光を用いると、非常に大量のデータを、機械的な回転に伴うノイズの影響を受けずに送信することが期待できる。

(6) その他

今回は、視点位置が中心付近に制限されているため、視点追従をして運動視差を表現することが望まれる。また、現在、観察者は、ヘルメットを着用しているが、アクリルの防護壁を観察者と回転部との間に設置するなどして、安全性には特に配慮しなくてはならない。

6.2 撮像系との一体化

以上は立体ディスプレイとしての性能のみを考慮したが、我々の目指す遠隔面談システムでは、利用者がバーチャルな3次元空間を共有して、空間中のお互いの位置関係に応じた、お互いの姿を観察し合う状況を想定している。この場合、通信用のブースの中にいる利用者に映像を提示するだけでなく、その利用者の姿の撮影も行わなくてはならない。

そこで、撮像系に対しても本稿で述べた走査の手法が有効であると考えられる。すでに述べたとおり、本方式では、映像提示ユニットを比較的まばらに設置しているため、その間に撮影ユニットを置くスペースがある。そして、提示ユニットと撮影ユニットを交互に配置した状態で、利用者の周りを走査すれば、利用者に立体映像を提示しつつ、利用者の多視点画像が取得できる。この多視点画像をもとに、任意視点映像をリアルタイムで生成する技術¹⁵⁾¹⁶⁾を用いて、利用者の視点位置に応じた映像を相互に提示することで、想定する遠隔面談システムの実現が期待できる。

ただし、この場合の撮像ユニットは、通常のNTSCカメラではなく、いわゆる高速度カメラを想定している。例えば、毎秒1回転で1周あたり1000視点位置の画像を撮る場合、露光時間は最高で1/1000secとなり、このタイプのカメラだと、1,000Lx~10,000Lux程度の被写体の照度が必要である。これは、曇り空程度の状況であり、ディスプレイにCRTと同様な数100[mcd/m²]程度の輝度があれば、共存可能と考えられる。

本論文で想定している遠隔面談という用途を考えた場合、撮像・提示一体形であることは必須である。しかし、今後の研究で理論および実証により示していかななくてはならない問題であろう。よってここでは、提案した機械式走査機構が1つの解決策となることを示唆するにとどめておく。

7. む す び

本稿では、従来のパララクスバリア式の問題点を解決する立体提示の原理を述べ、その設計について論じた。そして、そのような原理・設計に基づいた試作機TWISTER Iを製作した。この試作機はまだ試作的な実装であるため、

単色の静止画しか提示できず、視点移動の追従も行わないが、観察者が特殊なメガネをかけることなく、広視野の立体映像を提示できることを示せた。また将来的には、表示用のユニットと共に撮影用のユニットを走査することで、中にいる観察者の多視点画像を撮影し、任意視点画像を生成することも見込まれる。これらの特徴から、今後の発展が見込まれる遠隔面談システムへの適用が期待できる。

〔文 献〕

- 1) 岸野文郎: “ヒューマンコミュニケーション-臨場感通信”, テレビ誌, 46, 6, pp. 698-702, (1992)
- 2) 志和新一, 岸野文郎: “臨場感会議のための広視野立体表示”, 信学技報 IE94-112, pp. 15-20, (1995)
- 3) 舘 暉: “ロボットから人間を読み解く”, 日本放送出版協会, (1999)
- 4) Tachi, Maeda, Yanagida, Koyanagi, and Yokoyama: “A method of mutual tele-existence in a virtual environment”, In *Proceedings of ICAT 96*, pp. 9-18, (1996)
- 5) Jason Leigh, Thomas A. DeFanti, Andrew E. Johnson, Maxine D. Brown, and Daniel J. Sandin: “Global tele-immersion: Better than being there”, In *ICAT97*, pp. 10-17, (1997)
- 6) 廣瀬通孝, 小木哲朗, 山田俊郎: “CABIN 間通信における人物像の合成手法”, 日本バーチャルリアリティ学会第3回大会論文集, pp. 199-202, (1998)
- 7) 國田豊, 稲見昌彦, 前田太郎, 舘暉: “相互テレレイジスタンスのための視覚ディスプレイ設計”, 日本バーチャルリアリティ学会第2回大会論文集, pp. 352-353, (1997)
- 8) Ken Perlin, Salvatore Paxia, and Joel S. Kollin: “An autostereoscopic display”, In *SIGGRAPH2000 Conference Proceedings*, pp. 319-326, (2000)
- 9) 回転式表示装置ルミスピンカタログ.
- 10) Ron Blum: “The cyclostereoscope”, *STEREO WORLD*, 10, 2, pp. 29-31, (1983)
- 11) 圓藤知博, 佐藤誠: “1次元光源列の回転走査による全周型リアルタイム3次元ディスプレイ”, 映情学誌, 53, 3, pp. 399-404, (1999)
- 12) 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”, テレビ誌, 44, 5, pp. 591-597, (1990)
- 13) 濱岸五郎, 甲谷忍, 坂田政弘, 山下敦弘, 増谷健, 井上益季: “イメージスプリッタ方式メガネなし3Dディスプレイ”, 映情学誌, 51, 7, pp. 1070-1078, (1997)
- 14) 猪口和隆, 能瀬博康, 森島英樹, 谷口尚郷, 松村進: “広い垂直視域を有するめがねなし3Dディスプレイ”, 3次元画像コンファレンス'98, pp. 28-33, (1998)
- 15) 國田豊, 稲見昌彦, 前田太郎, 舘暉: “多眼カメラを用いた任意視点人物像の実時間生成システム”, 信学論, J84-D-II, 1, pp.129-138, (2001)
- 16) Yutaka Kunita, Masahiko Inami, Taro Maeda and Susumu Tachi: “Real-time rendering system of moving objects”, In *Proc. the 1999 IEEE Workshop on Multi-View Modeling & Analysis of Visual Scenes (MVIEW'99)*, pp. 81-88, (1999)



くにした たかし
國田 豊 1996年, 東京大学工学部計数工学科卒. 1998年, 同大学院修士課程修了. 2001年, 同博士課程修了. 同年, 日本電信電話株式会社入社. 人工現実感などの研究に従事. 博士(工学).



おがわ なおこ
尾川 順子 2000年, 東京大学工学部計数工学科卒. 現在, 同大学院修士課程在学中. 人工現実感, センサフュージョンなどの研究に従事.



さくま けんじ
佐久間 敦士 2000年, 東京大学工学部計数工学科卒. 現在, 同大学院修士課程在学中. 人工現実感, むだ時間系の制御理論などの研究に従事.



いなみ まさひこ
稲見 昌彦 1994年, 東京工業大学生命理工学科卒. 1996年, 同大学院修士課程修了. 1999年, 東京大学先端学際工学専攻博士課程修了. 同年より, 東京大学国際・産学共同研究センター リサーチ・アソシエイト. ロボットおよび人工現実感の研究に従事. 博士(工学).



まえだ たろう
前田 太郎 1987年, 東京大学工学部計数工学科卒. 同年, 通産省工技院機械技研入所. 1992年, 東京大学先端科学技術研究センター助手. 1994年, 同大学院工学系研究科計数工学専攻助手. 1997年, 同専攻講師. 2000年, 同大学院情報学環講師. 人間の知覚特性と神経回路網モデル, マンマシンインターフェース, テレレイジスタンスの研究などに従事. 工学博士.



たち すむ
舘 暉 1968年, 東京大学工学部計数工学科卒. 1973年, 同大学院博士課程修了. 同年, 同大助手. 1975年, 通産省工技院機械技研研究員. 主任研究官, 遠隔制御課長, バイオロボティクス課長. マサチューセッツ工科大学(MIT) 客員研究員を経て, 1989年, 東京大学先端科学技術研究センター助教授. 1992年, 同センター教授. 1994年, 同大学院工学系研究科計数工学専攻教授. 盲導犬ロボット, テレレイジスタンス, 人工現実感などの研究に従事. 工学博士.