

P6 空間歪みを抑制したスケーリング可能な立体視システムについて

坂井 祐†

高橋 章††

石井 郁夫†

今井 博英†

牧野 秀夫†††

†新潟大学大学院自然科学研究科

††長岡工業高等専門学校

†††新潟大学工学部

1. はじめに

遠隔空間共有の典型的な医療形態として映像を見ながら行う遠隔作業がある。例えば、遠隔医療では静止画像、動画像など様々な単眼映像が活用されているが、造影写真の血管の空間構成など日常見慣れていない対象の場合は正確な空間把握が困難な場合もある。カメラで撮影した映像を利用する場合は観察者側の意図で視点を自由に制御して運動視差情報を得ることが困難なので、両眼視差立体映像の活用が空間把握に有効である。内視鏡や顕微鏡下の手術などの映像を通した空間作業では、作業の迅速化や誤操作防止のために正確な空間把握が欠かせない。そこで、本研究では、歪みのない空間表示と空間スケーリングが可能な立体映像撮影・表示システムの開発と実用的な立体表示装置の開発を行った。

2. 原理

撮影空間と表示空間を合同または相似にするためには、撮影空間と表示空間で $\theta = \theta'$ 、 $\theta_c = \theta_d$ としなければならない(図1)。この際、カメラの間隔 d_c と両眼間隔 d_d の比 d_c/d_d が空間の拡大率となる。特に d_c と d_d が等しい場合に撮影空間と同じスケールの空間を観察できる。表示系が撮像系におけるカメラ視点 C_l, C_r と撮像面 f_c の関係と合同になるように、観察者視点 E_l, E_r に対して仮想スクリーン f_v を考える。この仮想スクリーン上の投影像をCGを使って実スクリーン S に透視投影する。この方法により静的空間歪みの除去が可能である [1](仮想スクリーン方式、以下VSMと略す)。観察者の視点位置の移動に伴う動的空間歪みの除去には、観察者の視点位置を計測し、視点移動に仮想スクリーンを連動させて表示画像を変更する必要がある。計測した視点に連動して表示像を変更することで、任意の位置で観察しても常に撮影時との空間合同性が保つことが可能である。VSMではCGで画像を作る時も意図した空間をそのままの位置関係で観察できる。

3. システム構成

3.1 表示方式

高解像度レンチキュラ方式立体表示装置を開発した(図3.1)。レンチキュラ方式は立体視可能な視点位置が限定されるため、慣れが必要である。そこで、図3.1のようなフードを取り付け、容易に立体視域へ誘導すると共に没入感を高める構造にした。これによって、視

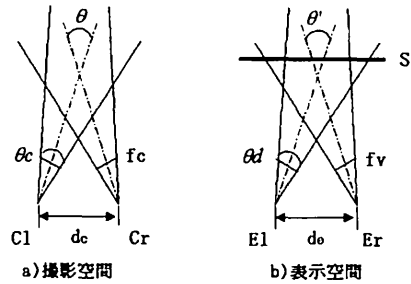


図1: 撮影空間と表示空間

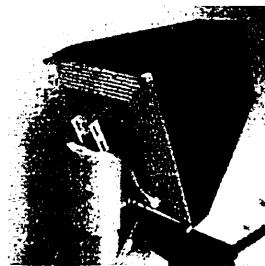


図2: レンチキュラディスプレイ

20型液晶ディスプレイ
横1024×縦1280画素
レンズの焦点距離:50cm
表面に512本のレンチキュ
ラレンズを配置

点位置の移動を抑制する事が可能になり、視線方向はディスプレイ中心にほぼ固定されると考えられる。したがって、動的空間歪みを効果的に抑制できる。

3.2 撮影方式

最大で10倍程度空間を拡大できるステレオ映像撮影システムを開発した(図3)。このシステムは2台の小型カラーデジタルカメラに光軸(カメラ)間隔を小さく設定可能な特殊な光学系を装着している(図4)。2個のレンズを対向させて、それぞれのレンズにプリズムミラー(PM)を固定する。PMはレンズ光軸を90°変換する。レンズフレーム先端が視野に入らないようにフレーム先端形状を絞り込んだピンホールレンズで、ひとみ径 $\phi = 2\text{mm}$ 、画角 $\theta = 40^\circ$ のとき d の最小値を約7mm(相似比は約10倍)にすることができる。図3のようにカメラを可動ステージ上に設置し位置の調整を行うことによって光軸間隔を変更し相似比調整ができる。図4のプリズムミラー同士が接する時に光軸間隔が最小になる。

4. 空間歪みに関する評価実験

通常、両眼立体視では静的空間歪みによって画像の周辺部ほど表示空間の歪みが大きくなる。仮想空間に配置した物体の姿勢・大きさを調整する作業を表示方式を変えて行ない、空間知覚の誤差を比較する実験を

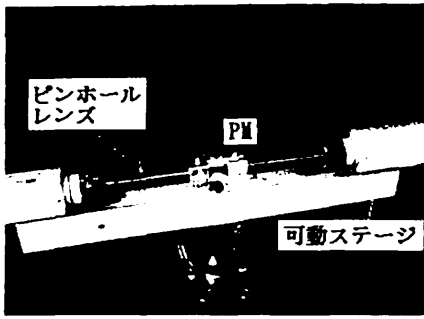


図 3: 撮影システム全体

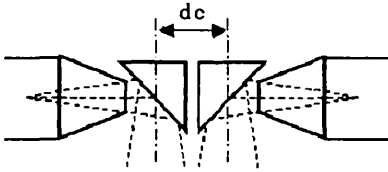


図 4: 撮影システムの光学系

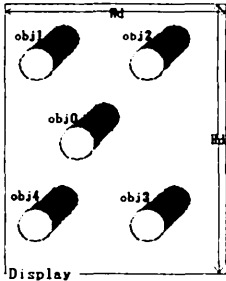


図 5: 実験:実画面面

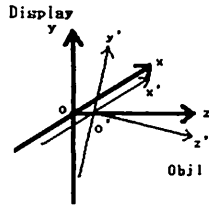


図 6: 実験:座標系

行なった。このとき、動的空間歪みにより更に精度が下がるのを防ぐために、図 3.1 のレンチキュラディスプレイを表示装置に用いた。実際のイメージを図 5 に示す。obj0~4 は、鉛筆のような形状の物体で、以下のような座標で表される (図 6)。

- xy 平面の原点に obj0 を配置する。obj0 を中心に x 軸に沿って $\pm W_d/6$ 、y 軸に沿って $\pm H_d/6$ [cm] 離れた位置に obj1~obj4 を配置する (図 5)。
- xy 平面を x 軸回りに -30° 回転させる。
- この平面を z 軸に沿って 5 [cm] 平行移動する。

観察者は、obj0 を基準として、obj1~4 を伸縮・回転し、全ての obj の長さ・回転角が同じに見えるように調整する。長さは 1mm 単位、角度は 0.1° 単位で操作できる。ただし、obj は図 6 で示す x' 平面上に乗っていて、 y' 軸周りに回転、 o' を基準に伸縮する。以上を VSM・平行法・交差法 [4] の順で行った。各方式の間には 1 時間から 1 日の間隔をおき、慣れと立体視の疲れから起こる影響を軽減した。交差法は幾何学的に最も歪みの少ない条件を用いて描画した。

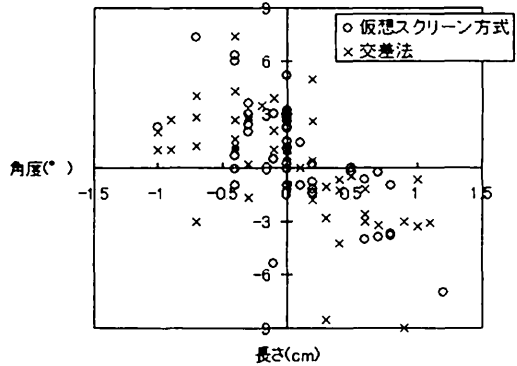


図 7: 誤差分布

表 1: 誤差の標準偏差

	VSM	交差法	平行法
長さ (cm)	0.57	0.64	0.77
角度 ($^\circ$)	3.36	3.26	4.25

5. 実験結果

両眼立体視に対する慣れが異なる 12 名の被験者から得られた誤差分布を図 7 に、誤差の標準偏差を表 1 に示す。分布範囲は同程度で、総合的に VSM の方がわずかに中心に偏っている。

- 実験順による慣れの影響で交差法が有利であった。
- 比較的幅と奥行きが狭い領域での実験であったので、交差法の本質的な歪みがそれほど表れなかった。

等の条件下での実験結果が同程度であること、両眼立体視に習熟した被験者では VSM の方が誤差が少ないことから VSM は交差法よりも誤差が少ないと思われる。なお、被験者へのアンケートでは VSM の方が触像しやすいという回答が多かった。

6. まとめ

用途に応じた立体映像観察環境として、高解像度眼鏡なし立体表示装置、高輝度没入型立体表示装置を開発した。空間スケールに対応しステレオカメラシステムを作成した。また、実験により仮想スクリーン方式は従来法と比較して空間の歪みが少ないことを示した。

- [1] 沢井研己, 石井郁夫, 高橋章, 牧野秀夫: “時分割ステレオビジョンにおける像の歪みの除去方法について”, 電子情報通信学会信学技報, OFS-97-34, IE97-72, pp7-12(1997.09)
- [2] Ian P. Howard, Brian J. Rogers: “Binocular Vision and Stereopsis”, Oxford University Press, 1995
- [3] 大越孝敏: “三次元画像工学”, 朝倉書店, 1991.7.10
- [4] 沢井研己: “時分割ステレオビジョンにおける像の歪みの除去方法について”, 平成 10 年度修士論文