

巡回式高解像度実画像ディスプレイ

Rotational high-resolution video image display

続 元宏¹⁾, 岩田 洋夫²⁾

Motohiro TSUDUKI and Hiroo IWATA

1) 筑波大学 理工学研究科

(〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1, tsuduki@intron.kz.tsukuba.ac.jp)

2) 筑波大学 機能工学系

(〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1, iwata@kz.tsukuba.ac.jp)

Abstract: We have developed high-resolution video image display. The display consists of 9 projection screens and 9 CCD cameras. The 9 CCD cameras are designed so that optical center of each lenses made in agreement, by using plane mirrors. The display provides 135 degree horizontal and 105 degree vertical video image. In order to correspond to rotational motion of human, this display is installed on the turntable which rotates around the user. In this way, all surrounded high-resolution video image was virtually realized. Our display is designed to be combined with locomotion interface (Torus Treadmill).

Key Words: video image display, immersive display, locomotion interface

1. はじめに

人工現実感における視覚呈示装置として、CAVEに代表される没入型ディスプレイ(Immersive Display:ID)の研究が盛んに行われている。このようなディスプレイでは、これまで主にCG画像による映像呈示がおこなわれてきた。しかし、近年CG表現の限界やテレグジスタンスへの利用から、IDに実画像を呈示する研究も行われるようになった。

このような研究は大きく2つに分類することができると考えられる。1つは「撮影と呈示をリアルタイムに行う」もので、主にロボットの遠隔操作の研究に用いられている。もう1つは「録画した映像を再構成して呈示する」もので、CGにかわる仮想空間の生成、複合現実感といった研究の対象となっている。それぞれに用途があり課題があるが、本研究では、主に前者を目的とした「巡回式高解像度実画像ディスプレイ」の開発を行った。(図1)

このディスプレイは、9台のカメラと9台のプロジェクタを用いた没入型実画像ディスプレイを、人間の周囲巡回するターンテーブル上に設置することにより、実質的に全周高解像度実画像映像を実現するものである。本稿ではこのディスプレイの設計思想および製作した試作機の構成について述べる。

2. 没入型ディスプレイと実画像

実画像をIDに呈示する上で、CGと最も異なる点は「撮像系」の存在である。IDの場合、一般のディスプレイに比べはるかに大きい視野角を持っているため、その視野角

をカバーするだけの画角を持ったカメラシステムを特別に設計する必要がある。

一系統のカメラを用いて撮影した全周映像を球面型IDに呈示する研究もすでに行われている[1]。この場合、映像のつながりがないため、違和感なく見渡すことができるが、どうしても解像度が低いものになってしまう。そこで、解像度を保持したまま広い画角を得るための手段として、複数のカメラからの映像をつなぎあわせるという手法がとられる。但し、この場合は映像のつながりに注意する必要がある。



図1 巡回式高解像度実画像ディスプレイ全景

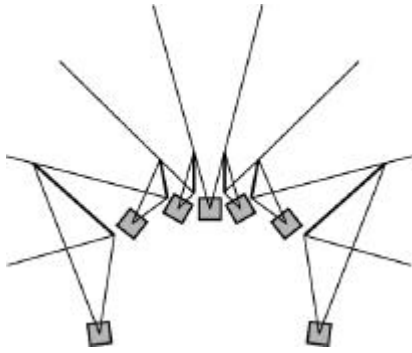


図2 配置の拡張例

カメラレンズには、それぞれに光学的な中心が存在し、その各中心がずれた位置にあった場合、映像を組み合わせたときにそのまま死角となってあらわれる。理想的には、すべてのカメラレンズの光学中心を一致させ、その中心を軸にレンズの画角の分だけカメラを回転させることが望ましい。しかし、カメラには物理的な体積が存在するため、単純に光学中心を一致させることは不可能である。そこで、平面鏡を用いて実際のカメラ位置と撮像系全体の光学中心を分離させる手法がとられる[2]。これまで、この手法を用いて、3台[2]、5台（両眼用で10台）、4台（両眼用で8台）[3]、6台のカメラを用いた実画像ディスプレイが実現されている。

3. 巡回式高解像度実画像ディスプレイ

3.1 設計思想

前述の手法を拡張することで、理論的には「画角が90度未満のカメラ」を「全周化するために必要な台数 - 1台」まで組み合わせることが可能であると考えられる(図2)。しかし、現実的には大きさや工作技術の面から、おのずと台数や視野角に制限が生じてくる。そのため、限られた視野角で空間全体を見渡すためには、何らかの方法で撮影の視点位置を回転させる必要がある。このとき、全周化されていない設置型ディスプレイの場合、使用者の前方の向きは固定であるため、撮影方向の回転による映像の変化のみが行われることになる。しかし、より自然な空間認識を行うためには、自分の足で体を回転させることによって見えの変化を得る、ということが重要であると考えられる。

以上の点をふまえ、本研究では、ある程度の解像度を保持しつつ没入感を得られる視野角を持つためのカメラの台数を設定し、人間の回転運動にはディスプレイを追従させる形で対応させることにより、実質的に全周高解像度実画像を実現させる手法をとった。

3.2 撮像系

巡回させることを前提にして考えたとき、人間が正面を向いているときに没入感を得られるだけの視野角を持っていればよいことになる。人間の最大視野角は水平200度垂直120度と言われているが、これまでの研究から水平100度以上あれば十分没入感を得られることが知られている。また、解像度に関しては、十分とは言えないがTV画面と同程度のもを目標においた。以上の条件をふまえた

うえで、現実的に製作可能と考えられる9台のカメラを、光学中心を一致させた状態で組み合わせた撮像系を設計し、その試作機の製作を行った。試作機の概観を図3に示す。試作機のためのCCDカメラとして、STC-540LS(センサーテクノロジー株式会社)を用いた。画角は水平方向45.4度、垂直方向34.8度。カメラレンズの光学中心はレンズ前端から約8mm奥である。このカメラを用いたときの撮像系全体の画角は、水平方向136.2度、垂直方向104.4度となり前述の条件を満たす。

次に、この試作撮像系の構成についてみていく。図4 a、b、c - (1)に中央以外の8台のカメラを左右、上下、斜めに分解した場合の3Dモデルをそれぞれ示す。また、図4 a、b、c - (2)にそれぞれの構成の特徴が最も分かりやすい方向からみた平面図を示す。左右、上下に関しては、文献[2]で用いられている配置とほぼ同様である。

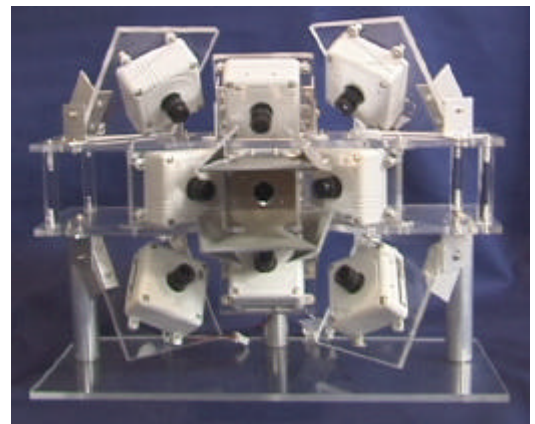


図3 試作撮像系の概観

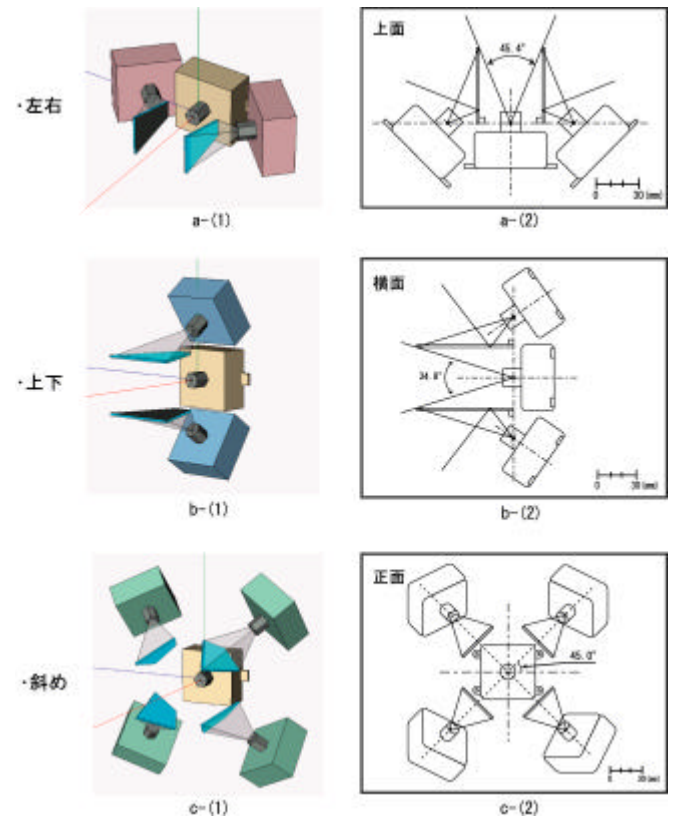


図4 撮像系の構成

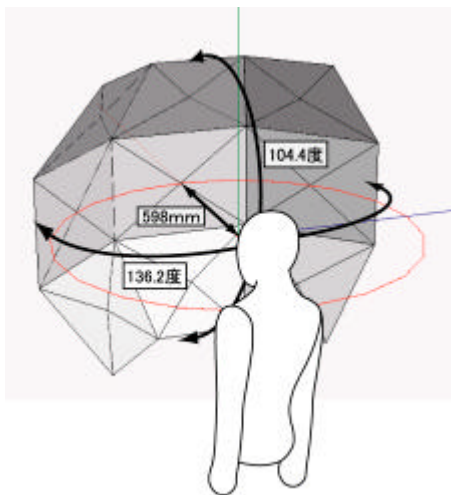


図5 9面スクリーンの構成

但し、工作の面を考慮し、平面鏡を中央カメラの光軸と平行になるように配置している。残りの4台のカメラに関しては、図4c(2)にあるように、正面から見たときに4台のカメラの光軸が中央カメラの水平方向、垂直方向に対して45度の傾きをもつように配置されている。こうすることで、配置に要する無駄な空間を減らし、撮像系全体の小型を実現している。なお、試作撮像系の大きさは、320mm(W)×270mm(H)×175mm(D)、重量は約3kgとなっている。

3.3 投影系

映像の投影に用いられるディスプレイは、撮像系の9台のカメラに1対1対応する9つのプロジェクタおよび平面スクリーンによって構成される。この9面体スクリーンは球面の接平面近似となっている。なお、この投影系の設計に際しては、文献[3][4][5]の「包囲型ディスプレイ」を参考にした。撮影された映像を歪みなく投影するためには、スクリーン平面の交わる角度をカメラの画角にあわせるように決定する必要がある。こうすることで、接平面近似された球面の中心に視点を持ってきたときに、前述の撮像系の光学中心からみた映像をそのまま見ることが可能になる。そのため、このときの視野角は撮像系の画角と同様、水平方向136.2度、垂直方向104.4度となる。また、1枚のスクリーンの大きさは水平方向500mm 垂直方向375mm、視点位置から平面スクリーンまでの視距離は598mmとなる(図5)。スクリーンのなす角は最大で145.2度、最小で134.6度となっている。これらの構成から、本ディスプレイの解像度は、NTSC信号を用いたときに視力換算で約0.2となることが分かる。これは目標であるTV画面と同程度と言える。

試作ディスプレイのためのプロジェクタとして、アクトビジョン(CASIO)を用いた。画角は水平方向60.8度、垂直方向47.4度、重量は約6.2kgである。TVチューナーを内蔵しており、VHF,UHF波を受信することができる。また、平面スクリーンにはトレッシングペーパーに透明のアセテートフィルムを接着し、強度をあげたものを使用した。

投影系全体の大きさは1630mm(W)×1630mm(H)×750mm(D)であり、全重量は約120kg(プロジェクタ約56kg、フレーム約60kg)である。

3.4 旋回機構

旋回機構部の構成を図6に、その概観を図7に示す。土台フレームは旋回機構部含めたディスプレイ全体を支えるものであり、アルミ製のフレーム(NICオートテック株式会社 アルファフレーム)によって構成されている。その上に1350mmの円が開けられた厚さ6mmのステンレス板を設置し、さらにその上にモジュール円1341mmのステンレス製環状内ギアとディスプレイ軌道固定のため

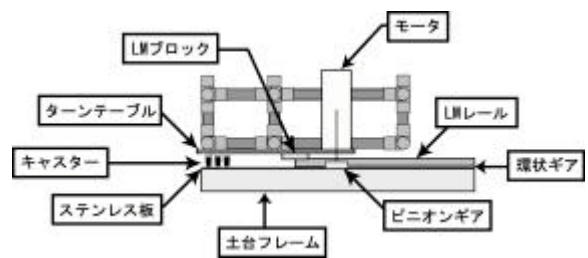


図6 旋回機構部

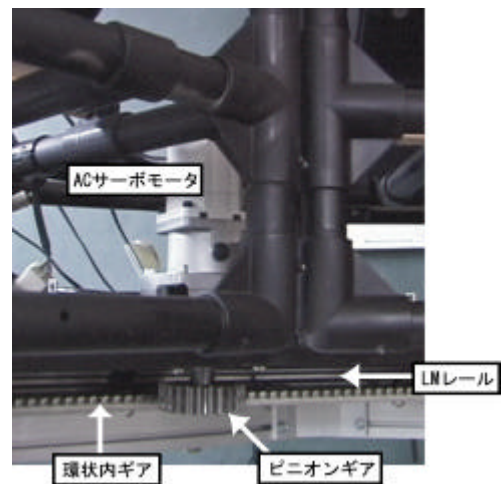


図7 旋回機構部概観

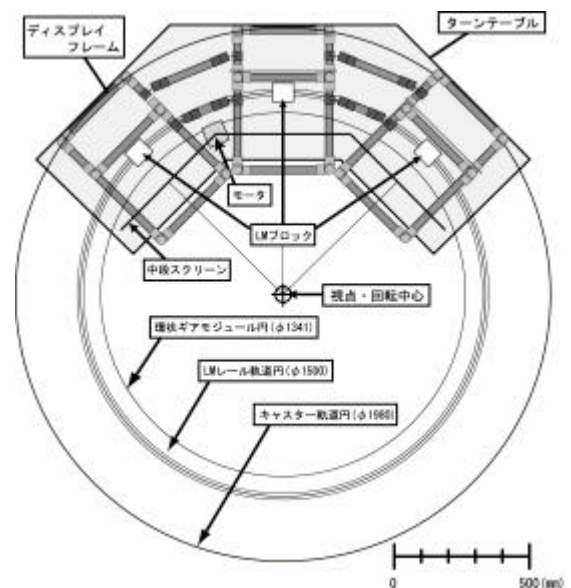


図8 旋回機構上面図

のLMレール(THK株式会社 HCR25A60/750R)6本を設置した。LMレールにはLMブロック3個を取り付け、プロジェクタ3台に対してLMブロック1個で支えるようターンテーブルと接続されている(図8)。ターンテーブル上には、ACサーボモータ(Panasonic MINAS A series MSMA04 ギヤドモータ)とディスプレイ本体を設置した。なお、このモータの性能は、定格トルク 1.3N.m、定格回転数 3000rpm、減速比 1/5 であり、半径 30mm のピニオンギアを取り付けてある。この構成により、理論上 125kg 重の物体を半径 675mm の円の上を、静止状態から 3.0 秒間で 1 周することができる。ターンテーブルの下側には、自重とモーメントを支えるために、キャスター 21 個を取り付けた。また、図 8 から分かるように、スクリーンの視点位置とターンテーブルの回転軸が一致するように設計されている。

3.5 映像の送信

本ディスプレイは、遠隔地におけるロボット等の操作を目標としているため、映像の送信は無線によって行われる。UHF 帯のうち 13,22,24,26,28,30,32,34,36ch をカメラの映像それぞれに割り当て、UHF トランスミッタ(VDC PC-3、13ch のみサンコー電子株式会社 SX-1000)で送信する。プロジェクタ側では、それぞれのカメラに対応するようにチャンネルを設定し、映像を受信する。なお、UHF チューナーはプロジェクタ内蔵のものを利用した。

実際に、カメラからの映像を無線によってスクリーンに入力した様子を図 9 に示す。

4. トーラストレッドミルとの統合

本研究で開発されたディスプレイは、歩行感覚呈示装置であるトーラストレッドミル[6]との統合を前提としたものである。トーラストレッドミルは 12 個の小ベルトを環状に配置した装置で、これを用いることにより、VR 空間における無限平面を実際に歩行して移動することができる。

トーラストレッドミルと旋回式高解像度実画像ディスプレイを統合することで、人間の回転動作を含めた歩行運動によるロボット等の遠隔操作を、高解像度没入型ディスプレイを用いて行うことが可能になると考えられる。

5. まとめ

本研究では、9 台のカメラを、光学中心を一致させた状態で組み合わせたカメラシステムを設計、試作し、それに対応したプロジェクションディスプレイと組み合わせることで高解像度広視野角実画像ディスプレイの実装を行った。さらに、そのディスプレイを、使用者を中心に旋回するターンテーブル上に設置することで、人間の回転運動に対応させた「旋回式高解像度実画像ディスプレイ」を設計し、その試作機の製作をおこなった。本稿では、本ディスプレイの設計思想、及び、試作機の撮像系、投影系、旋回機構部それぞれの構成について述べた。今回明らかになった問題点として、工作精度が挙げられる。設計上は各カメラの

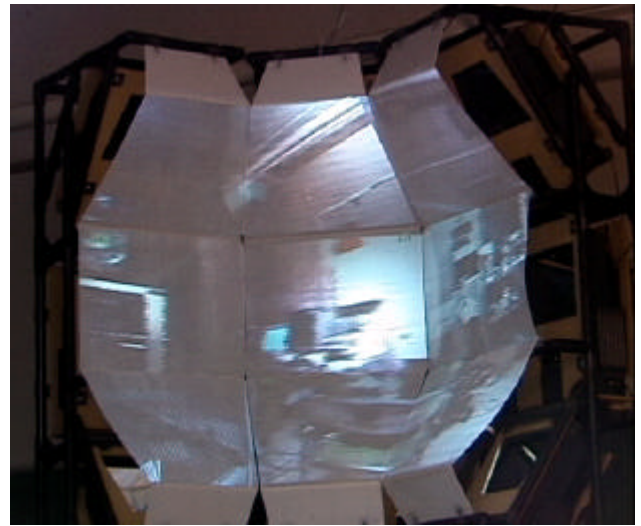


図 9 投影された映像

映像にずれはないはずであるが、工作精度の悪さから多少のずれが見られた。また、9チャンネル同時送信の影響と思われる画像のみだれも確認された。

今後は、人間の動作を計測するセンサを導入し、回転運動に追従するよう実装を行う。そののち、トーラストレッドミルとの統合による、ロボット等の遠隔操作システムの構築を行っていく。

6. 謝辞

研究を進めるにあたり、ご指導下さいました岩田洋夫助教授、矢野博明講師、および設計製作に協力して下さいました橋本渉助手に感謝の意を示します。また、試作機の製作に協力して下さいました筑波大学岩田・矢野研究室の皆様がこの場を借りて深く感謝いたします。

参考文献

- [1] 橋本渉,岩田洋夫:凸面鏡を用いた球面没入型ディスプレイ日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol.4 No3(1999)
- [2] 廣瀬通孝,遠藤隆明 中井恒介:はいれるテレビの開発と評価(第2報)第11回ヒューマンインタフェースシンポジウム論文集(1995)
- [3] Takashi Nishiyama, Hiroshi Hoshino, Kenshi Suzuki, Ryoji Nakajima, Kazuya Sawada and Susumu Tachi: Development of Surrounded Audio-Visual Display System for Humanoid Robot Control, ICAT '99(1999)
- [4] 星野洋,西山高史,仲島了治,澤田一哉:包囲型ディスプレイの開発、日本バーチャルリアリティ学会第4回大会論文集(1999)
- [5] 西山高史,星野洋,鈴木健之,徳永吉彦,篠宮弘達,館暁:人間型ロボット制御のための遠隔操作コックピット向けユーザーインタフェースの開発、日本バーチャルリアリティ学会第5回大会論文集(2000)
- [6] 岩田洋夫:全方向無限平面を用いたロコモーションインタフェース、日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol.5 No2(2000)