

基礎論文

回転式高解像度実画像ディスプレイ

續 元宏*¹ 岩田 洋夫*²

Rotational high-resolution video image display

Motohiro Tsuduki*¹ and Hiroo Iwata*²

Abstract: We have developed a rotational high-resolution video image display. This display is designed to be combined with omni-directional locomotion interface named Torus Treadmill. The display consists of 9 projection screens and 9 CCD cameras. The 9 CCD cameras are designed to have the same optical center, by using plane mirrors. The display provides 135 degree horizontal and 105 degree vertical video image. In order to trace rotational motion of the viewer, this display is installed on a turntable. In this way, surrounded high-resolution video image was virtually realized.

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

1. はじめに

近年、VR技術をロボット等の遠隔操作に応用する研究がさかに行なわれている。その代表的なものとして、国家プロジェクト「人間協調・共存型ロボットシステム」[1][2][3]が挙げられる。

この研究で用いられている「トレイグジスタンス型コックピット」は、これまでのトレイグジスタンス技術の蓄積による装着式マスターアームに、VRの分野で盛んに研究が行なわれている広視野多面型ディスプレイ、三次元立体音場といった各分野の技術が組み合わされる形で構成されている。また、使用者が腰掛ける座席はモーションベースとなっており、ロボットが移動する際の振動や加速度の変化といった情報が、前庭感覚として使用者にフィードバックされる。このシステムにより、高い臨場感のなかでロボットの遠隔操作を行なうことが可能になる。但し、このシステムはあくまで「コックピット」として構築されており、ロボットの移動は操作者の音声指示を入力することで行なわれる。すなわち、作業対象のある目的地までは「ロボットに乗って」移動し、到着したあとでトレイグジスタンスによる遠隔作業が行なわれることになる。また、モーションベースによって前庭感覚は呈示されるが、座席の正面方向は固定されているため、自らの足で体を回転

させることによる体性感覚は得られない。そのため、作業効率のよいユーザーインタフェースとしては、非常に優れたシステムと言えるが、人間が「世界を感じとる」必要がある場合、必ずしも最適とは言えない。

人間が世界を感じ取る、すなわちある空間を認識する場合、自らの足で歩行することで視覚情報の変化を得ることが重要になってくる。特に、体を実際に回転させることによって得られるの体性感覚、前庭感覚刺激は必要不可欠である[4][5]。このような歩行運動感覚を与える装置をロコモーションインタフェースと呼ぶ。ロコモーションインタフェースは、VR分野において視覚・聴覚・力覚・触覚に次ぐ研究対

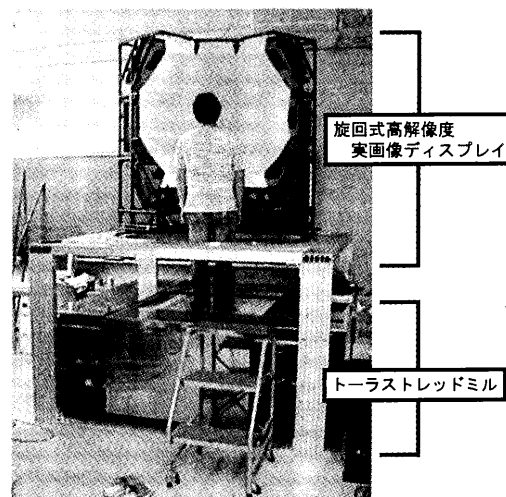


図1 システム概観

Fig.1 Global view of the system

*1: 筑波大学大学院修士課程理工学研究科

*2: 筑波大学機能工学系

*1: Master's Program in Science and Engineering University of Tsukuba

*2: Institute of Engineering Mechanics and Systems University of Tsukuba

象として、現在さまざまな装置が開発されている[5][6][7]。

現在、ロコモーションインタフェースを用いてロボットの遠隔操作を行なう研究も報告されている[8]。しかし文献[8]の研究では、遠隔地にいる人とのコミュニケーションに重点をおいており、現時点では視覚情報呈示には視野角の狭い HMD (Head Mounted Display) が用いられるのみである。

以上のような先行研究に対し、本研究は「人間の身体動作による入力インタフェース」と「全方位にわたる高解像度実画像呈示」を組み合わせることで、遠隔の世界を体で感じとることのできるシステムの実現を目標とする。

本稿では、その中でも、全方向ロコモーションインタフェースとの統合を前提として開発した視覚ディスプレイ「旋回式高解像度実画像ディスプレイ」について述べる。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、人間の周囲を旋回するターンテーブル上に設置することにより、実質的に全方位高解像度実画像映像を実現するものである。以降では、まず、関連研究をまとめつつ本システムの設計方針について述べる。次に、試作機について投影系・撮像系・旋回機構に分けて報告する。さらに性能評価のために行なった実験について述べ、最後に現状の問題点と今後の課題についてまとめる。

2. 関連研究と設計方針

前章の通り、本研究で開発する視覚ディスプレイは、全方向ロコモーションインタフェースとの統合を前提としている。その全方向ロコモーションインタフェースとして、本研究ではトーラストレッドミル[5]を選択した。これは、トーラストレッドミルが「自然に、自らの足で任意の方向に方向変換し歩行できる」という点において理想的な機構を持っているためである。トーラストレッドミルは12個の小トレッドミルをドーナツ状に並べて配置し、1つの大きなトレッドミルを形成することにより、無限平面を実現した装置である。この装置の特徴は、使用者が360度どの方向に歩行しようとも、可動範囲の中央に引き戻される点にある。そのため、前章で述べた空間認識に必要な体性・前庭感覚刺激を得るための、体の回転運動を容易に行なうことができる。

このようなトーラストレッドミルの利点を生かし、全方位にわたる視覚情報呈示を行なうためのディスプレイには、

- 1) 使用者がどの方向に向いても映像がある。
- 2) 常に没入感を得られる視野角を持つ。

3) 高い解像度を持つ。

という3つの条件を満たすことが求められる。

しかしここで、呈示する映像ソースが「実画像」であるという点に注意しなければならない。実画像の場合、視覚情報を「呈示する」以前に、それを「撮影する」ということも設計段階から考慮する必要がある。特に没入型ディスプレイの場合、一般のディスプレイに比べはるかに広い視野角をもっているため、それをカバーするだけの画角を持った特別なカメラシステムが必要となる。以上をふまえ、以降ではこのような広画角撮像系に関する先行研究についてまとめる。

2.1 広画角撮像系の分類

「広い範囲の映像を一度に撮影する」ための装置は、その手法から大きく2つに分類することができる。

2.1.1 1台のカメラに対して特殊なレンズ、鏡を使用

1つ目は、魚眼レンズや特殊な鏡を用いることによって、カメラ1台の画角そのものを広げる手法である。ここに分類できるものとして、まず HyperOmniVision[9]が挙げられる。これは、双曲面鏡を用いることで、全方位の画像を1台のカメラで取得することのできる装置である。適切なキャリブレーションを行なうことで、ヘッドトラッキング付 HMD による見回しを可能にしている。また、EnsphredVision[10]のための撮像系もこの分類に入る。EnsphredVision は、凸面鏡を用いることで、1台のプロジェクターで全方位球面スクリーンに映像を投影する装置である。このための撮像系として、文献[10]では回転楕円体鏡を用いた全方位画像取得カメラを提案している。撮像系と投影系がセットで設計されているため、キャリブレーションなしに全方位実画像呈示を行うことができる点が特徴といえる。

この分類における撮像系は、1台のカメラで全方位撮影ができるため、システムの構成がシンプルとなるという利点を持っている。しかし同時に、解像度が極めて低くなるという欠点を生む。

2.1.2 複数のカメラを使用

もう1つは、複数のカメラを組み合わせることで一度に撮影できる画角を広げる手法である。これは、前項のものと違い、通常のカメラ解像度を保持することができるという利点がある。しかしその反面、カメラの映像どうしのつなぎ目に注意する必要性が発生する。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、各映像をつなぎ合わせたときに、死角・歪み・映

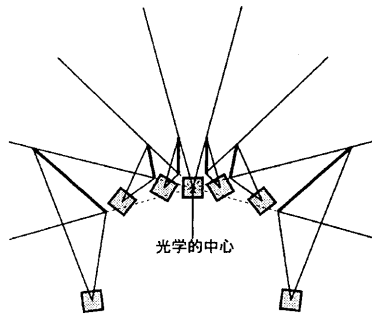


図2 拡張した配置の例

Fig.2 Example for the extended design of camera system

像の重複といったものが表われる。そのため、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、現実には不可能である。

この問題を解決する手法として、平面鏡を用いて実際のカメラ位置と撮像系全体の光学的中心を分離させるというものがある。この手法を用いたものとして、3台のカメラを用いた「はいれるテレビ」[11]、4台のカメラを用いた前章の「トレイグジスタンス型コックピット」用包囲型ディスプレイ[1][2]、六角錘ミラーと6台のカメラを用いた全方位カメラシステム[12]が開発されている。この手法の特徴としては、投影（呈示）系を各カメラに1対1対応するように設計することで、特別なキャリブレーションなしにつながり目のない広視野映像を生成することができる点が挙げられる。この手法を拡張することで、理論的には「全天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(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制限が生じてくる。

これに対し、光学的中心を一致させることをあきらめ、全天周化させることに重点をおいたカメラシステムも開発されている。その1つが GarnetVision 用の撮像系である[13]。GarnetVision は菱形12面体で構成された没入型ディスプレイであるが、この GarnetVision 用撮像系は、同じく菱形12面体の各面にカメラを取り付けた構成をしている。この構成により、全天周映像の取得が可能ではあるが、カメラマウントのため死角が大きいと報告されている。また、別のものとして SOS system[14][18]がある。これは、合計60台のカメラを用いて、全天周ステレオ画像を高解像度で一度に取得するシステムである。さらに「入れ子状」という特殊な構成でカメラを配置することで、カメラマウントを小さくし死角を少なくしている。但し、映像をつなぎあわせる場合は、全体として正20面体となるようにキャリブ

レーションを行なっている。
以上の分類を表1に示す。

表1 広画角撮像系の分類

Table 1 Classification of the camera systems for wide angle view

分類A	分類B	分類C
1台のカメラに対して特殊なレンズや鏡を使用	複数のカメラを組み合わせる	
	光学的中心を一致させる	光学的中心を一致させない
A1 : HyperOmniVision[9]	B1 : はいれるテレビ用撮像系[11]	C1 : GarnetVision用撮像系[13]
A2: EnspheredVision用撮像系[10]	B2 : 包囲型ディスプレイ用撮像系[1][2]	C2 : S O S system [14][18]
	B3 : 六角錘ミラーカメラシステム[12]	

2. 2 巡回式高解像度実画像ディスプレイの設計思想

本研究における実画像ディスプレイに求められる条件は、本章の冒頭で述べた通りである。これを考慮した場合、表1における分類Aの方式は条件3)の解像度の面でふさわしくない。分類Cの方式は3つの必要条件は満たしているが、死角による違和感が無視できず、またそれをなくすためにかかるキャリブレーションの時間も、遠隔操作という用途を考慮した場合、問題となる。そこで分類Bの方式を考える。この方式を詳しく見てゆくと、さらに「正面型」と「全方位型」に分けられる。「正面型」は1台のカメラの向きを正面とし、そのカメラの光学的中心を撮像系全体の光学的中心として、放射状にカメラを加えてゆく方式である(図3-(a))。表1のうち、B1がこれにあたる。この方式は、高い解像度を保持したまま水平、垂直両方向に画角を広げることができるが、構造上必ず「正面」が存在しその反対側を撮影することはできない。対して「全方位型」は、多角錐の面のうち、底面を除いた各面を反射鏡とし、その各面の像を対応するカメラで撮影することで、全方位像を撮影する方式である(図3-(b))。表1のB3がこれにあたる。この場合、撮像系全体の光学的中心は多角錐鏡の内部に存在する。この方式では水平方向には全方位に画角を広げることができるが、垂直方向に画角を広げることが困難である。垂直方向の画角も十分に確保するためには、カメラ1台の

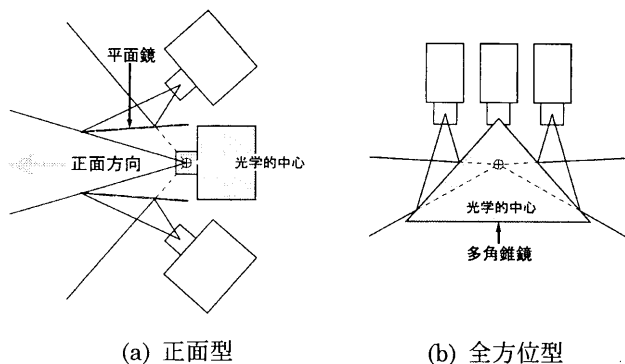


図3 光学的中心の合わせ方による分類

Fig.3 The classification depending on how to unite an optical center

画角を広げ、そのぶんカメラの数を減らさなければならぬ。そのため、結果として全体の解像度を下げることになってしまう。なお、B2は9面のスクリーンのうち中段3面に対しては「全方位型」を適用し、それらの光学的中心に合わせる形で下段中央面用のカメラが取り付けられている。そのため、形としては「全方位型」に近いが、特性としては「正面型」であるといえる。

以上の点を考慮し、本研究では分類B-「正面型」による広画角高解像度撮像系とそれに対応する投影系を、人間の回転運動に追従するよう回転させるという新方式により、本章の冒頭の必要条件を満たす実画像ディスプレイの構築を目指した。

3. 試作機の製作

3.1 撮像系

3.1.1 仕様目標

試作機の製作にあたっては、まず撮像系の仕様を決定する必要がある。ここで決定する画角や解像度が、そのまま投影系を含むシステム全体のスペックに影響を与える。

回転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十分な視野角を持っていればよいことになる。人間の視野角は水平約200度垂直120度といわれているが、これまでの研究から水平90度垂直70度で広視野の効果が飽和することが分かっている。また、体を動かさずに眼球と頭部の運動のみで無理なく情報受容が可能な「安定注視野」も水平90度垂直70度程度とされている[15][16]。そこで、この角度を撮像系全体の画角の目標とした。なお、本システムは歩行移動に対して十分な視野角を提供することを目標としているため、歩行前進中には頭部が正面に向いていることを前提としている。したがって、首を左右に振った状態における完全な

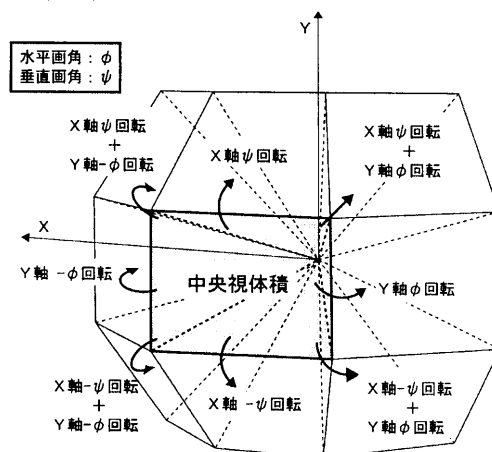


図4 撮像系全体の視体積

Fig.4 View volume of the camera system

没入効果を得ることは目標としていない。

次に解像度だが、全体の画角、及びカメラ1台の解像度を固定とすると、カメラの台数を増やせば増やすほど解像度は上がってゆくことになる。しかし前章で述べたように、現実には大きさや工作技術の面で台数に制限が生じるため、結局のところ、解像度は工作技術の限界に依存するといえる。本研究では、文献[2]の9面体包围型ディスプレイを参考に、1台のカメラを中心として、他のカメラの視体積を平面鏡で8方向に折り曲げる構成をとることとした。この構成により、通常のTV画面程度の解像度は保持されると考えられる。

3.1.2 設計手法

カメラの視体積は、辺の比が4:3の長方形を底辺とする四角錐によって表現される。カメラの物理的体積を無視した場合、理想とされる撮像系全体の視体積は、四角錐の頂点を中心として、それぞれの方向に画角のぶんだけ回転したものを統合した形となる(図4)。ここで、上段3つと下段3つの視体積は、隣り合う視体積との重複部分が発生する。この部分は投影時に削られることになるので、これらの視体積は底面が台形の四角錐として考える。

さて、現実にはカメラに物理的体積があるので、中央を除く8つの視体積は平面鏡によって折り曲げなければならない。このときの制約条件は以下の通りである。

- 1) 各カメラ、各平面鏡は互いに干渉してはならない。
- 2) 各カメラと撮像系全体の視体積は干渉してはならない。
- 3) 平面鏡は、対応するカメラ以外の視体積と干渉してはならない。
- 4) 平面鏡は対応する視体積を完全に遮らなければならない。

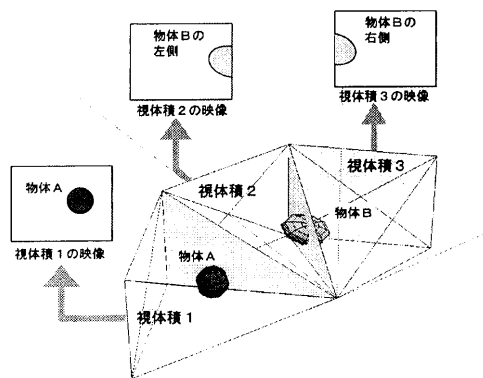


図5 設計手法の説明 1

Fig.5 The design technique 1

1) は物理的制約であり、2) 3) は撮像系自体が自らを撮影しないための条件、4) は死角を作らないための条件である。ここで、図4のように画角と視体積の回転角が完全に一致している場合、各視体積は互いに干渉しあうことはない。これは、ある物体が9つのうちいずれか1つのカメラの視体積内部にあるとき、その物体は他のどのカメラにも撮影されることはないということを意味する。例えば、図5のように物体と視体積が配置されたとき、物体Aは視体積1の内部に存在するので、それ以外の視体積に対応するカメラには撮影されない。逆に、物体Bのように複数の視体積の境界面と交わる場合のみ、それらの視体積に対応するカメラすべてに撮影される。これを平面鏡に当てはめたとき、対応するカメラの視体積からはみ出ない限り3) の条件を満たすことになる。また、条件4) から、平面鏡を含む平面とそれに対応する視体積との切り口は完全に平面鏡に含まなければならない。これらの条件から、平面鏡に求められる必要十分条件は、「対応するカメラの視体積と平面鏡を含む平面との切り口の形状をとる」ということになる(図6)。

この必要十分条件を満たす限り、平面鏡の位置・姿勢は任意に決めることができる。平面鏡の位置・姿勢が変化すると、それに対応するカメラの位置・姿勢が変化するため、カメラの位置姿勢もほぼ任意に決めることができる。そのなかで、1) 2) の条件を満たすような位置・姿勢を選定する。

工作のしやすさ、小型化を考慮し、9台のカメラと8枚の平面鏡の位置・姿勢を決定した結果が図7である。なお、本試作機では平面鏡として、裏面に反射面がある厚さ2mmのアクリル鏡を用いた。

3.1.3 試作機の仕様

前項の設計に基づき製作した試作撮像系の概観を図8に示す。本試作機に用いた CCD カメラは、STC-540LS(センサーテクノロジー株式会社)である。

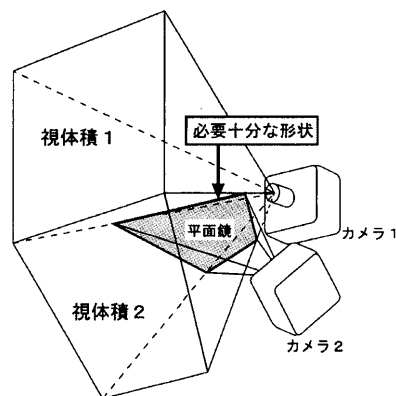


図6 設計手法の説明 2

Fig.6 The design technique 2

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 度となる。試作撮像系全体の仕様を表2に示す。

表2 試作撮像系の仕様

Table2 Spec of the camera system

画角	136.2度(H) × 104.4度(V)
有効画素数	約 200万画素
外形寸法	320mm(W) × 270mm(H) × 175mm(D)
重量	約 3 kg

3.2 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台のカメラそれぞれに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。なおこの9面スクリーンは球面の接平面近似となっている。撮影された映像を歪みなく投影するた

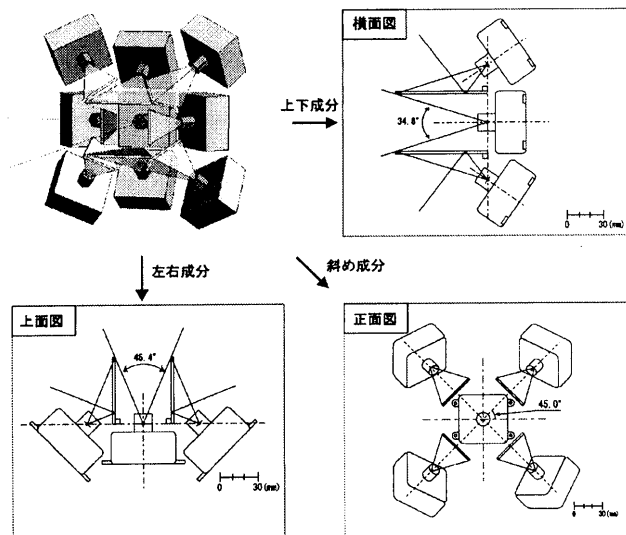


図7 撮像系の構成

Fig.7 Design of the 9camera system

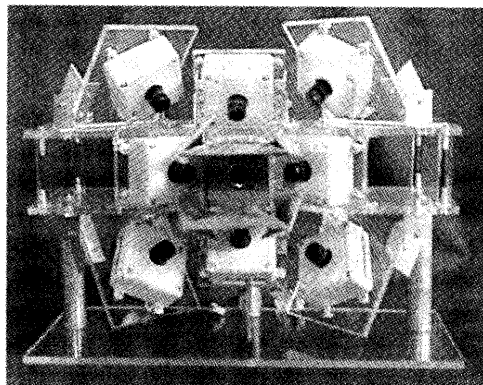


図 8 試作撮像系の概観

Fig.8 The prototype of the camera system

めには、スクリーンの構成を撮像系の構成にあわせるよう決定する必要がある。その結果設計された構成を図9に示す。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、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。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、本ディスプレイの解像度は、NTSC 信号を用いたときに角度分解能約 4 分、視力換算で約 0.2 となる。これは通常の TV 画面と同程度である。試作撮像系の仕様を表3に示す。試作投影系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ー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。

表 3 試作投影系の仕様

Table3 Spec of the display system

視野角	136.2度(H) × 104.4度(V)
解像度	角度分解能 約 4分 視力換算 約 0.2 (NTSC 信号時)
形状	9面多面体 (球面の接平面近似)
各面の大きさ	500mm(H) × 375mm(V)
視距離	598mm
外形寸法	1630mm(W) × 1630mm(H) × 750mm(D)
重量	約 120kg

3. 3 旋回機構

旋回機構の構成を図 10 に示す。土台フレームは旋回機構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φ1350mm 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φ1341mm のステンレス製内歯車とディスプレイ軌道固定のための LM レール (THK 株式会社

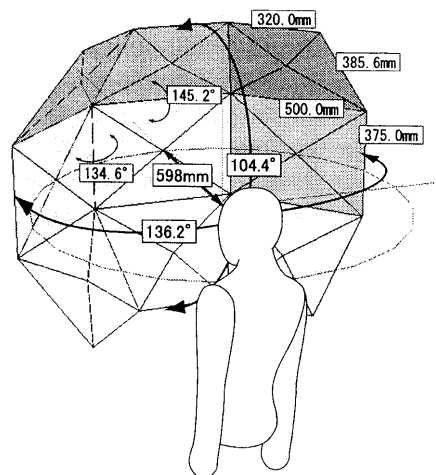


図 9 投影系の構成

Fig.9 Design of the display system

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。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、このモータの仕様(表4)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、最大加速度は約 420 度/秒・秒となる。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。なお、スクリーンの視点位置とターンテーブルの回転軸は、一致するように設計されている。プロジェクタ、モータの電源、モータの信号線は有線であるため、それらのケーブルはターンテーブルの回転軸上の天井付近でまとめ、ターンテーブルが同じ方向に回転しても絡まないようにしている。但し、スリッピングは用いていないため、ターンテーブルが同じ方向に回転しつづけるとケーブル自体がねじれてくる。これは、実用上致命的な問題にはならないが、定期的になねじれを戻す必要がある。

表 4 モータの仕様

Table4 Spec of the actuator

定格出力	0.4 (kW)
定格トルク	1.3 (N·m)
最大トルク	3.8 (N·m)
定格回転速度	3000 (rpm)
最大回転速度	4500 (rpm)

續・岩田：旋回式高解像度実画像ディスプレイ

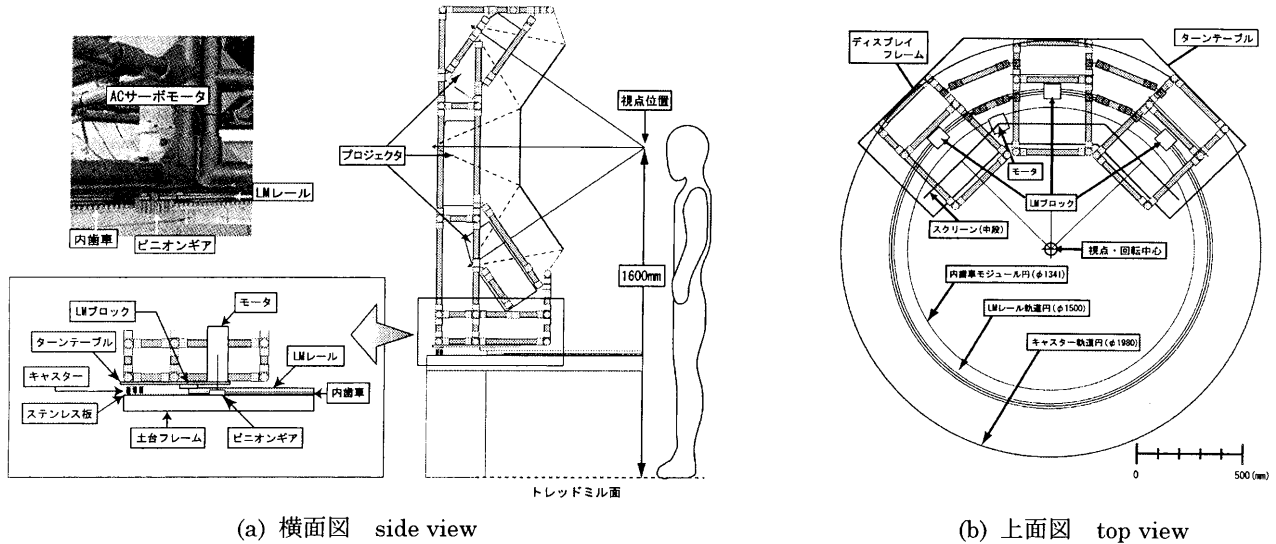


図 10 旋回機構の構成

Fig.10 Design of the actuator for rotation

3. 4 システム構成

現時点でのシステム構成は図 11 のようになる。本システムでは遠隔操作のためのインタフェースデバイスを目標としているため、撮像系からの映像は、無線によって投影系へ入力される。UHF 帯のうち 13・22・24・26・28・30・32・34・36 チャンネル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 アンテナはプロジェクタ内蔵のものを利用した。また、旋回機構のモータの制御は PC によって行なう。

4. 性能評価

4. 1 撮影系・投影系の評価

実際に、試作した撮像系で室内の風景を撮影し、その映像を UHF トランスミッタによって投影系に送信した。その結果スクリーンに投影された様子を図 12 に示す。

本稿における試作機は、完全に死角や重複部分のない映像は得られなかった。しかし、致命的に破綻する箇所もなかったので、理論的な正当性は確認できたと言える。この死角の原因としては、工作精度の悪さとアクリル鏡の厚みが考えられる。本稿における試作機では、アクリル鏡の厚みを無視し、反射面のみを平面鏡として設計している。そのため、ア

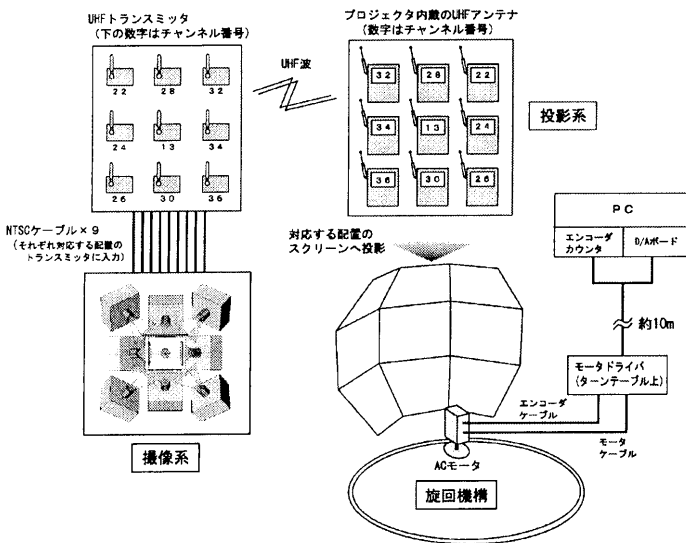


図 11 システム構成

Fig.11 Overview of the system

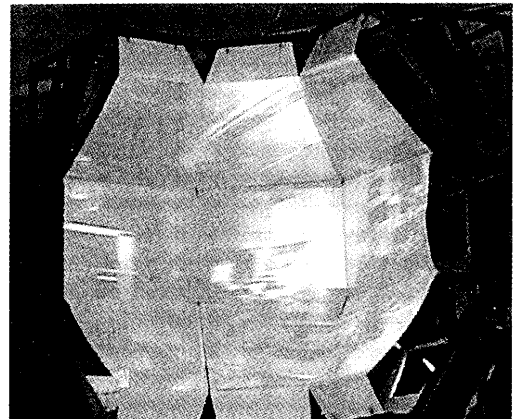


図 12 撮影・投影された映像

Fig.12 Captured and projected real image

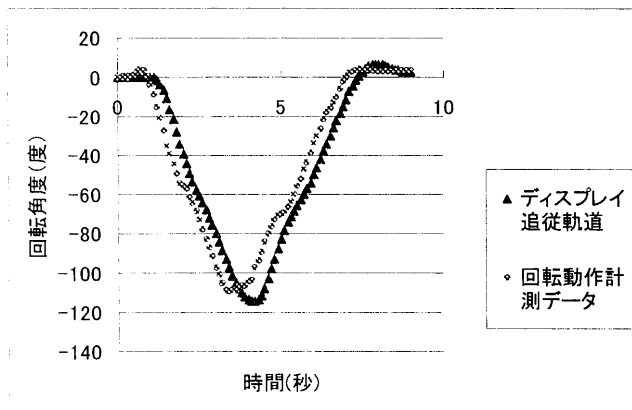


図 13 旋回機構の性能評価結果

Fig.13 Result of the performance evaluation for rotation actuator

クリル部分において光線が屈折し、それにより映像のつなぎ目に死角が生じる。アクリル鏡の厚みが2mmであるため、これから算出して死角の大きさは最大で約2.6mmとなる。この死角の大きさは撮影距離にかかわらず一定であるため、撮影距離が遠くなるほどその影響は小さくなる。理論上では撮影距離が2m以上になった場合、死角部分がカメラの解像度以下になり実用上問題がなくなるが、撮影距離がごく近い場合その影響を無視できなくなると考えられる。

また、時々映像の乱れが見られた。これは、9チャンネル同時送信による影響と考えられる。

4.2 旋回機構の評価

試作機の旋回運動の追従精度を検証するために、テストデータにディスプレイを追従・旋回させる実験を行なった。この実験は、研究の初期段階として、製作した試作機が「実際の人間の回転動作」に対応できるものであるかを調べることが目的である。そのため、テストデータとしては、センサによって実際の人間の回転動作を計測したものをを用いた。なお、本システムは歩行前進中には頭部が正面に向いていることを前提としているため、被験者の腰にセンサを取り付けてテストデータとした。

センサとしては、FASTRAK (Polhemus社)を用いた。このセンサは、磁気を用いて空間上の位置(x,y,z)と姿勢(roll,pitch,yaw)を計測することが可能である。被験者は、このセンサを腰に取り付け、静止状態から約4秒間で120度回転、さらに約4秒間で逆方向に回転し、元の位置にもどる。そのため、このときの平均角速度は30度/秒となった。このときの時間的回転角を計測し、それをテストデータとする。データのサンプリングレートは約33Hzで行なった。得られたテストデータを、計測時と同様に約33Hzで読み込み、その角度に追従するように

モータを制御する。

図13にその結果を示す。この結果から、0.5秒ほどの遅れがあるものの、この程度の速度であれば、ほぼ追従できているといえる。今回の平均角速度は30度/秒であるため、0.5秒遅れるということは、平均して約15度のずれが生じることになる。しかしこれは、視野のヘリの部分で起こるため、これを考慮したとしても目標視野角90度を満たしたまま追従できることになる。本ディスプレイが旋回するのは、観察者の視野からスクリーンが外れないようにするためであるので、この0.5秒程度の遅れは実用上問題ないと考えられる。この遅れが観察者に与える心理的影響の詳細な検討は今後の課題としたい。

5. まとめと今後の計画

本研究では、「人間の身体動作による入力インタフェース」と「全方位にわたる高解像度実画像呈示」を組み合わせることで、遠隔の実世界を体で感じることのできるシステムの構築を目指している。本稿では、特にこのシステムに用いられるべき視覚情報呈示装置の必要要素を挙げ、先行研究と比較しつつシステムに最適と思われる手法を検討した。その結果、トーラストレッドミルというロコモーションインタフェースとの統合を前提とした視覚ディスプレイ「旋回式高解像度実画像ディスプレイ」の開発に至り、その試作機の製作を行なった。その試作機的设计手法・構成について、撮像系・投影系・旋回機構に分割し述べ、そののうち試作機の性能評価を行なった結果について報告した。

実験で明らかとなった問題点としては、まず撮像系・投影系の工作精度が上げられる。今回の性能評価では、スクリーンのつなぎ目において、幾分死角や映像の重複が確認できた。これは、試作機の精度の悪さから発するものと考えられる。本ディスプレイは、その構成上極めて高い工作精度が必要とされる。そのため、ハンドメイドによる製作では完全に死角や重複部分をなくすことは困難であると考えられる。また、近影においてはアクリル鏡の屈折による影響も考えられる。前章第1節で述べたとおり、撮影距離が遠い場合は実用上問題にならないが、近い場合は無視できない影響が起こる。これを解決する手法として、平面鏡として表面に反射面のある金属製のものを用い、障害をなすエッジの部分を削り取るというものが考えられる。この点についても、工作精度の問題とともに今後検討していきたい。また、送信された映像に、時々乱れが見られた。これは、9チャンネル同時送信によるノイズと考えられる。そのため、今後カメラやトランスミッタの電源

續・岩田：巡回式高解像度実画像ディスプレイ

を、よりノイズの影響が出にくいものに変更する等の検討が必要である。巡回機構の追従精度評価実験では、約 30 度/秒の回転運動に追従できることが確認された。理論上では、これより速い速度にも追従できるはずであるが、そのためにはモータの能力を十分に引き出す、よりよい制御法が必要と考えられる。この点に関しても今後検討を行なってゆく。

本稿における評価実験では、人体センサとして磁気を利用したセンサを用いている。しかし、このセンサは本システムには最適とはいえない。磁気センサは、環状の金属内部では精度が極めて低くなるというのがその理由である。そのため、今後このシステムに適した人体センサを検討し、導入する予定である。そののち、トーラストレッドミルとの統合による制御を行なうとともに、撮像系を搭載するための巡回・移動機構を導入し、遠隔操作システムの実装につなげてゆく計画である。

参考文献

- [1] Takashi Nishiyama, Hiroshi Hoshino, Kenshi Suzuki, Ryoji Nakajima, Kazuya Sawada and Susumu Tachi: Development of Surrounded Audio-Visual Display System for Humanoid Robot Control, Proc..of ICAT '99 pp.60-67 (1999)
- [2] 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VR学会第4回大会論文集 pp.147-148 (1999)
- [3] Hitoshi Hasunuma, Hiroaki Kagaya, Masao Takatori, Jun Fujimori, Fumisato Mifune, Shigekazu Shikoda, Masami Kobayashi, Toshiyuki Itoko, Susumu Tachi: Development of Teleoperation Master System with a Kinesthetic Sensation of Presence, Proc. of ICAT '99 pp.53-59 (1999)
- [4] Bakker, N.H, Werkhoven, P.J. and Passenier, P.O., Aiding Orientation in Virtual Environments with Proprioceptive Feedback. Proc. of IEEE 1998 Virtual Reality Annual International Symposium, pp.28-33 (1998)
- [5] 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VR学会論文誌 Vol.5 No.2 pp.853-862 (2000)
- [6] 岩田洋夫、中泉文孝：凹凸面を呈示するロコモーションインタフェース GaitMaster、日本VR学会論文誌 Vol.5 No.2 pp.863-866 (2000)
- [7] 野間春生 他：能動的歩行操作に対応した歩行感覚提示装置の開発、日本VR学会論文誌 Vol.4 No.2 pp.407-416 (1999)
- [8] 野間春生、小山慎哉 他：体感通信環境 Tel-E-Merge: 歩行感覚提示装置による通信システムの実現とその課題、第19回日本ロボット学会学術講演会 (2001)
- [9] 尾上良雄、山澤一誠 他：全方位画像からの視線追従型実時間画像生成によるテレプレゼンス、信学技報 PRMU97-20 pp.151-157 (1997)
- [10] 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VR学会論文誌 Vol.4 No.3 pp.479-486 (1999)
- [11] 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 pp.263-270 (1995)
- [12] Jun Shimamura, Naokazu Yokoya, Haruo Takemura, Kazumasa Yamazawa: Construction of an Immersive Mixed Environment using an Omnidirectional Stereo Image Sensor, Proc. IEEE Workshop on omnidirectional Vision, Hilton Head, South Carolina, pp.62-69, June 2000
- [13] 岩田洋夫、野澤浩明：全立体角映像入力装置、第13回ヒューマンインタフェース学会大会論文集 pp.349-352 (1997)
- [14] B.Bobu Madhavan, Hideki Tanahashi, Caihua Wang, Kazuhiko Yamamoto and Yoshinari Niwa: Induction of a Real-time omnidirectional, stereo images acquisition system for Virtual Environment Applications, CGIM-2000 IASTED (2000)
- [15] 畑田豊彦：視覚効果による人工現実感、精密工学会誌 Vol.57, No.8, pp.22-26 (1991)
- [16] 畑田豊彦：仮想現実学への序曲—第2編空間視覚での心理物理学、pp.63-77 共立出版 (1996)
- [17] 西山高史 他：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インタフェースの開発、日本VR学会第5回大会論文集 pp.209-212 (2000)
- [18] 棚橋秀樹 他：全方向ステレオシステム(SOS)のステレオ情報を用いた空間イベントの取得、情報処理学会コンピュータビジョンとイメージメディア(2001)
- [19] 続元宏、岩田洋夫：巡回式高解像度実画像ディスプレイ、日本VR学会第6回大会論文集 pp.351-354 (2001)

(2001年10月25日受付)

[著者紹介]

續 元宏 (学生会員)



2000年筑波大学第三学群工学システム学類卒業。同年筑波大学大学院修士課程理工学研究科入学、現在に至る。

岩田 洋夫 (正会員)



1986年東京大学大学院工学系研究科終了、同年筑波大学構造工学系助手、88年同講師、93年同助教授、現在に至る。人工現実感に関する研究に従事(工学博士)