

# 頭部搭載型プロジェクタの研究開発

舘 暲 川上直樹

情報理工学系研究科システム情報学専攻

## 概要

実世界と計算機内の情報世界の高度な融合を実現するの画像提示技術として再帰性投影技術(RPT: Retro-reflective Projection Technologies)を提案し、これを実現する頭部搭載型プロジェクタ(HMP: Head-Mounted Projector)を開発した。

## 1 はじめに

頭部搭載型プロジェクタ(Head-Mounted Projector: HMP)は立体視の分野では比較的古くから研究されていた。しかし、従来の方法はいくつかの問題があった。まず、浅い焦点深度によりプロジェクタを頭部に搭載したにも関わらずスクリーンと頭部との距離を自由にとることができなかった。さらに、頭部搭載可能な小型のプロジェクタで通常のスクリーンに投影した場合は十分な輝度をとることができなかったこともあげられる。また、複雑な形状のスクリーンに映像の投影を試みる場合予め複雑な計算を行い映像に補正を与える必要もあった。再帰性投影技術は従来の頭部搭載型プロジェクタの問題を解決可能なシステムであるが、通常の大型のプロジェクタを利用したシステムで構成すると視点位置が固定され、自由な視点から物体及び空間を眺めることが困難となる。この問題を光学的・機構的に解決し、再帰性投影技術の頭部搭載化を試みた。<sup>[1]</sup>

本稿では過去に試作したプロトタイプを2機と本年度試作した1機を紹介する。1号機となる”model-1”は光学系の検証ならびに再帰性投影技術の可能性を考察する目的で市販のプロジェクタを改造することで試作する簡易版である。2号機となる”model-2”は頭部位置の機械的計測を行う。これは、再帰性投影技術の実装上の問題点となるであろう頭部位置の計測について、機械的リンクを用いることで高速かつ正確な計測を行い、頭部位置の計測のリファレンスとし、頭部位

置計測間隔・精度等に関する検証等を行う。頭部位置の計測には、磁気式やカメラやビジョンを用いたものがあるが、本試作機では、機械的計測を用いた。試作3号機となる”model-3”は小型化の可能性を検証するため、市販の小型HMDサイズを目標とした小型・軽量化版である。

## 2 HMPの試作

### 2.1 試作1号機(model-1)

市販の軽量小型液晶プロジェクタ(PHILIPS社製 LCP5200)を分解し、プロジェクションエンジンのみを取り出し、さらにワークスペースを広くとるためにセミフィッシュアイレンズを装着した上で自作アルミフレームを用いヘルメットに固定した。ハーフミラーはアルミフレームよりフレキシチューブを利用して固定した。図1,2は試作した頭部搭載型プロジェクタ model-1 である。提示可能映像は縦200ピクセル、横300ピクセルのRGBで総計180,000画素のフルカラーである。映像の投影画角は垂直方向24.0[deg]、水平方向35.4[deg]となっている。重量は現時点では4.65[kg]と長時間の作業にはやや重く、軽量化は最重要課題の一つであると考えられる。



図1 HMP model-1 概観



図2 HMP model-1 使用図

## 2.2 試作2号機(model 2)

試作2号機はカウンターバランス機構付き6自由度位置・姿勢計測リンクを用い、高速・精確な頭部位置計測を可能とした。また、HMPをより小型化するため市販の小型プロジェクタを頭部に搭載するのではなく、小型プロジェクタを自作し利用することを試みた。図3,4が今回試作した頭部搭載型プロジェクタ model-2, およびカウンターバランス機構付き6自由度位置・姿勢計測リンクである。HMP model-2はmodel-1にくらべ軽量であるにもかかわらず、高解像度、広視野の映像を提示可能である。さらに、リンク機構によりHMP自身の重量を補償しつつ頭部運動に同期したバーチャル映像を提示可能なAR(Augmented Reality)システムの試験的実装を行った。



図3 HMP model-2 システム外観

## プロジェクタ部

本システムの一歩の核といえるプロジェクタ部(図4)は、小型化、軽量化を図るため、自作したものを利用した。プロジェクタ部は光源、LCD、絞り、投影レンズ、ハーフミラーから成る。光源には、180[W]のメタルハライドランプを用いた。床面に設置した光源から2[m]長の光ファイバライトガイドを用い頭部LCDパネルまで導光することにより頭部搭載部の軽量化を図った。LCDには832x624[pixel]、0.7型の透過型カラー液晶パネルを左右各1枚ずつ利用した。投影レンズにはCマウントカメラ用のものを焦点距離が25[mm]のものと12.5[mm]の二種類を用いた。左右光学系の光軸は並行しており、投影映像のオーバーラップ率は無限遠で100%となる。なお、焦点深度の調節はレンズ付属の手動絞りを調節することによって行った。ハーフミラーはアクリル板に誘電体をコーティングしたものを利用した。

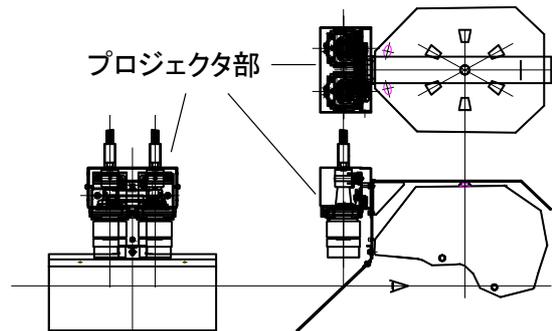


図4 HMP model-2 プロジェクタ部

以上の構成で試作したHMP model-2の諸元を表1に示す。12.5[mm]レンズ利用時の水平視野は60[deg]となり一般的なHMDと比較してもやや

広い視野となっている。また、一般的な広視野の頭部搭載型ディスプレイはアイリリーフが小さいため、眼鏡を着用した状態での装着は困難であり、視度調整機構を設ける必要があった。しかし、本光学系は広視野ながらアイリリーフが 70[mm]近くと大きいため、図 3 下の写真のように眼鏡を着用しつつ、の装着が可能となっている。さらに、スクリーン位置が 50[cm]のとき、瞳径は 20[mm]以上あるため、眼球の運動や装着ずれ、眼間距離の個人差の影響をうけにくくなっている。ファイバコードを除いた頭部搭載重量は 25[mm]レンズ使用時 1450[g]となり、model-1 の 4650[g]に比べ 1/3 程度の重量に押さえることに成功した。

表 1 HMP model-2 諸元

項目	仕様	
	f=25	f=12.5
解像度	832x624[ <i>pixel</i> ]	
アイリリーフ	70[ <i>mm</i> ]	
視野角(水平, SVGA 表示)	30 [ <i>deg</i> ]	60 [ <i>deg</i> ]
瞳径 (投影距離 50[ <i>cm</i> ], F8)	23.5 [ <i>mm</i> ]	22 [ <i>mm</i> ]
焦点深度(焦点位置 2[ <i>m</i> ], F4)	1.4-3.5[ <i>m</i> ]	0.7-∞ [ <i>m</i> ]
重量	1450 [ <i>g</i> ]	1650 [ <i>g</i> ]

### 位置・姿勢計測部

ARにおいて実空間とバーチャル空間とのレジストレーションは重要な課題である。特に、HMP の場合、頭部回転運動の計測誤差の影響が即提示映像の品位の劣化につながるといった頭部搭載型デバイス特有の問題も存在する。よって、本システムにおいては jitter や delay が少なく、高速で位置・姿勢を計測可能であり、さらに HMP の重量補償も同時に行うことが可能となる機械式リンクを利用した。

リンクの自由度配置、及び各節の可動域を図 5 に示す。

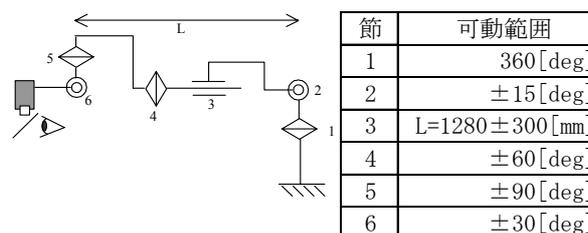


図 5 頭部位置計測リンクの自由度配置及び可動域

### 2.3 試作 3 号機(model3)

画素の開口度が小さく光利用効率の低い透過型液晶に代わり反射型小型液晶を用い、さらにレンズ系を独自に組み上げることにより頭部搭載型プロジェクタをより小型・軽量化を目指した HMP model-3 の製作を行った。反射型小型液晶は外光の反射によって表示を行うタイプの液晶であり、シリコン基板上に直接画素を形成する LCoS(Liquid Crystal on Silicon)技術を用いている。トランジスタや配線などの画素を制御する駆動回路を焼きつけた CMOS シリコンバックプレーン(反射板機能も含む)とガラスの間に液晶を挟んだ構造になっているため、画素間の配線による開口率の低下を防ぐことが出来、非常に高い効率で入射光を利用することが可能という特性を持っている。また画素そのものの大きさを小さく押さえることができるため、素子の大きさを小さくすることが出来、ウェアラブルなディスプレイのキーテクノロジーとして期待されている。反射型小型液晶を頭部搭載型プロジェクタの光空間変調素子として利用するとともに、投影光学系も独自に組み上げることにより、さらなる軽量化に成功した。

最終的な試作品では光源に白色 LED を用い、総重量 200g、解像度 SVGA 相当 (800x400 *pixel*)、視野角 40 度を実現している。また、従来はヘルメットにプロジェクタ部を固定していたため装着感が悪く、装着時に必要な時間もかかっていたが、model-3 ではヘアバンド型の固定具を用いることにより、髪の毛の長い女性等も簡単に装着可能となった。さらに、光源には白色 LED を用いているため、提示映像の輝度は model-2 に若

干劣るものの従来の家庭用 AC 電源ではなく小型ビデオカメラのリチウムイオン充電電池を電源として用いることが可能であるため、将来のウェアラブルな用途にも広く対応可能な実装となっている。図6に試作3号機(model-3)を装着している様子を載せる。

頭部搭載型プロジェクタ model-3は最初の試作機である model-1の20分の1以下の重量を実現し、本プロジェクトの当初よりの目標の一つである超小型軽量頭部搭載型プロジェクタの開発に成功した。

### 3. まとめ

昨年度は全周囲型の没入型高臨場感ディスプレイ TWISTER を試作し、本年度は実世界と情報世界の融合に適した HMP を試作した。来年度以降はこれらのディスプレイの改良を続けるとともに、これらを用いた実世界と情報世界の融合技術の研究やアプリケーションの開発を行い、最終的な研究の完了を目指す。また、最後に試作した3機の HMP の緒元を表2にまとめる。

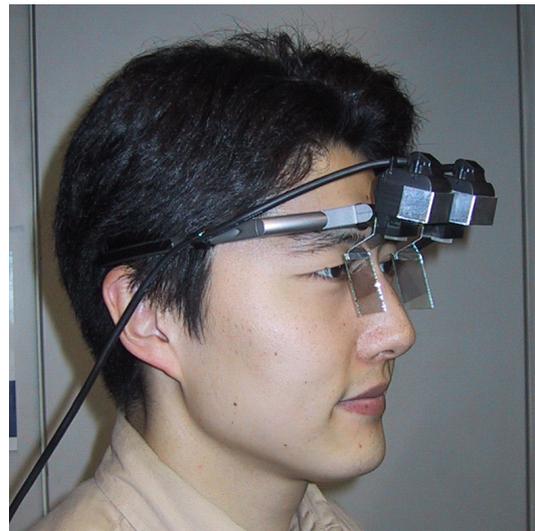
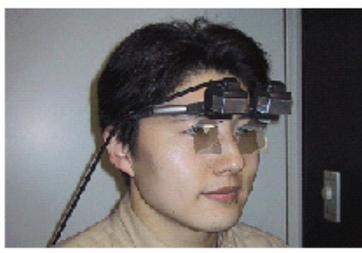


図6 頭部搭載型プロジェクタ model-3

### 参考文献

- [1] S. Tachi, Telexistence and Retro-reflective Projection Technology(RPT), 5th Virtual Reality International Conference (VRIC2003), Laval Virtual, 2003.

表2 本プロジェクトで開発した頭部搭載型プロジェクタ

	Model 1: 1998	Model 2: 1999	Model 3: 2003
			
重量	5.0kg	1.65kg	200g
解像度	300x200	800x600	800x600
水平視野角	35°	60°	40°
説明	プロトタイプ 小型プロジェクタを 改造して搭載	小型液晶 光ファイバ照明光学系 重力補償機構	超小型化 反射型小型液晶による コントラスト改善