

ISSN 0389-4010

UDC 629.7.072:

678.744.3

681.068.4

621.397

航空宇宙技術研究所報告

TECHNICAL REPORT OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TR-1257

模擬視界装置用ファイバー・ディスプレイの試作

若 色 薫 ・ 渡 辺 顯 ・ 川 原 弘 靖

1995 年 1 月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

目 次

概 要	1
1. はじめに	2
2. 飛行シミュレータ用模擬視界表示装置	2
2. 1 現用型模擬視界表示装置	2
2. 2 現用型模擬視界表示装置の問題点	3
3. 試作ファイバー・ディスプレイ	3
3. 1 構造	3
3. 2 受光部	4
3. 3 表示部	5
3. 4 解像度	5
3. 5 光学特性	6
3. 6 投写装置	6
4. 評価実験	7
4. 1 実験装置	7
4. 2 実験項目	10
(1) 照度	10
(2) 画質	10
(3) 視認角	10
(4) ディスプレイ接合状況	10
4. 3 実験結果	10
(1) 輝度	10
(2) 画質	10
(3) 視認角	12
(4) ディスプレイ接合状況	12
5. まとめ	13
参考文献	13
付録 1 飛行シミュレータ用模擬視界表示装置	14
1. 1 無限遠方式	14
(1) コリメータレンズ型	14
(2) 凹面鏡型	14
(3) 広視野型	14
(4) パンケーキウィンドウ型	14
1. 2 ビデオ投写方式	15
(1) 平面スクリーン型	15
(2) ドームスクリーン型	15
1. 3 HMD 方式	16
(1) 透過型	16
(2) 閉鎖型	16
付録 2 プラスチック光ファイバーの構造と特性	16
2. 1 構造と材質	16
2. 2 光の入放射と伝送	17
2. 3 特 性	17
2. 4 端面の加工	17

模擬視界装置用ファイバー・ディスプレイの試作*

若 色 薫^{*1} 渡 辺 顯^{*1} 川 原 弘 靖^{*1}

Preliminary Experiments of An Optical Fiber Display

Kaoru WAKAIRO, Akira WATANABE and Hiroyasu KAWAHARA

Abstract

At the National Aerospace Laboratory, the technological feasibility study of a dome screen display, which is able to give simulator pilots a very wide field of outside view, has been conducted. To provide this wide field of view, we designed a new display screen which itself could emit the light. We call this kind of screen "a self-luminescence display". For the self-luminescence display, we can use not only a CRT or a liquid crystal display, but also optical fibers. To investigate the applicability of plastic fibers for a self-luminescence display for use in flight simulators, we prepared a trial display. We made two displays of the same size, both of which were 900 mm in height and 1200 mm in length. The fiber's diameter is 0.75 mm, and the total number of fibers is 34,400 per display.

We tested the validities of a fiber display and reached the following conclusions.

- ① brightness is sufficient.
- ② angle of view is limited and too narrow for practical use.
- ③ picture quality is inferior.

Keywords : simulator, optical fiber, display system

概 要

航空宇宙技術研究所では、半径約10m以上のドーム型模擬視界表示装置内部にモーション装置を有する将来型飛行シミュレータの検討を行っている。

現在のドーム型模擬視界表示装置は、ドーム内面のスクリーン（球面スクリーン）に対してドーム内外からビデオプロジェクタにより模擬視界映像の投写を行っている。このため、投写方式特有の問題が起きている。

この点を改善する試みとして、将来型飛行シミュレータでは、スクリーンへの投写方式ではなく、スクリーン面自体が発光する自発光方式の模擬視界表示装置の検討を行っている。

今回、自発光方式の表示装置であるファイバーディスプレイを使用したドーム型ビデオ自発光方式による模擬視界表示装置の製作を検討するために、模擬視界装置用ファイバー・ディスプレイの部分試作を行った。

この結果、従来から航空宇宙技術研究所で使用している凹面鏡無限遠方式の模擬視界表示装置と比較して次の事が判明した。①輝度は同等である。②視認角度はやや狭い。③画質は劣る。④視認角度および画質の問題は製作工程に起因する。

なお、今回の試作では、ファイバー・ディスプレイを2面接合して、多画面化の評価も行ったが、試作した2面の表示部の結合は問題なく行え、多画面化が可能な事も判明した。

* 平成6年9月13日 受付 (received 13 September 1994)

*1 制御部 (Control Systems Division)

1. はじめに

飛行シミュレータの構成要素である模擬視界装置のうち視界映像発生装置は、現在では半導体関連の技術革新にともない電子デバイスで構成したコンピュータグラフィックス機器が主に用いられる。このコンピュータグラフィックス機器による視界映像発生装置は、CGI (Computer Generated Imagery) システムと呼称され、コンピュータグラフィックス分野における最先端技術を使用する。最新の CGI システムでは、写真映像をもとにしたフォトマッピングなどのテクスチャマッピング技術も加え、雲や雲海、田畑や市街地、波浪や波紋、火炎や煙埃などの映像発生が容易に行え、よりリアルな映像表現が可能である。

CGI システムで発生した映像（模擬視界映像）はビデオ信号の形式で出力するために何らかの表示装置（模擬視界表示装置）を用いてパイロット等に呈示を行う必要がある。コンピュータグラフィックスの分野では、CRT (Cathode Ray Tube) ディスプレイが表示装置として広く普及しているが、CRT 画面を直接見る方式ではパイロットからの視野角や焦点距離が実環境と異なり、臨場感に欠け、飛行シミュレータ用の模擬視界表示装置としては不向きである。このため、飛行シミュレータ用として、種々の工夫が行われた模擬視界表示装置¹⁾が各種開発されている。これらの模擬視界表示装置については次章以降で詳述する。

航空宇宙技術研究所では、従来より模擬視界表示装置も含めて将来型飛行シミュレータ開発構想（図 1.1）を進めており、この構想では半径 10m 以上ドーム型模擬視界表示装置内にモーション模擬装置を備えたものを考えている。模擬視界表示装置に関しては、内部でコックピットが移動するために、従来の投写方式ではなく、ドーム内壁が画像を表示する方式（ドーム型ビデオ自発光方式）の調査検討を行っている。ドーム型ではないビデオ自発光方式には、大型表示装置²⁾で採用されている小型 CRT 方式や液晶パネル方式などがあるが、ドーム型を構成することが可能と考えられるプラスチック光ファイバーによるファイバー・ディスプレイの部分試作を行い評価実験を行ったので以下に報告する。

2. 飛行シミュレータ用模擬視界表示装置

2.1 現用型模擬視界表示装置

現在、飛行シミュレータ用模擬視界表示装置としては、表 2.1 に示すように種々のものが考案されている。これらの詳細については付録 1 に述べる。

飛行時にパイロットが下界を注視することは、航空機の操縦では重視することである。特にヘリコプタの操縦では操縦手掛かりとして周辺視野情報の重要性が大きいために広い視野が必要である。そのため、近年の飛行シミュレータ用模擬視界表示装置では、広視野のものが多く利用される傾向にある。大型旅客機の操縦訓練用飛行シミュレータでは、広視野型無限遠方式の模擬視界表示

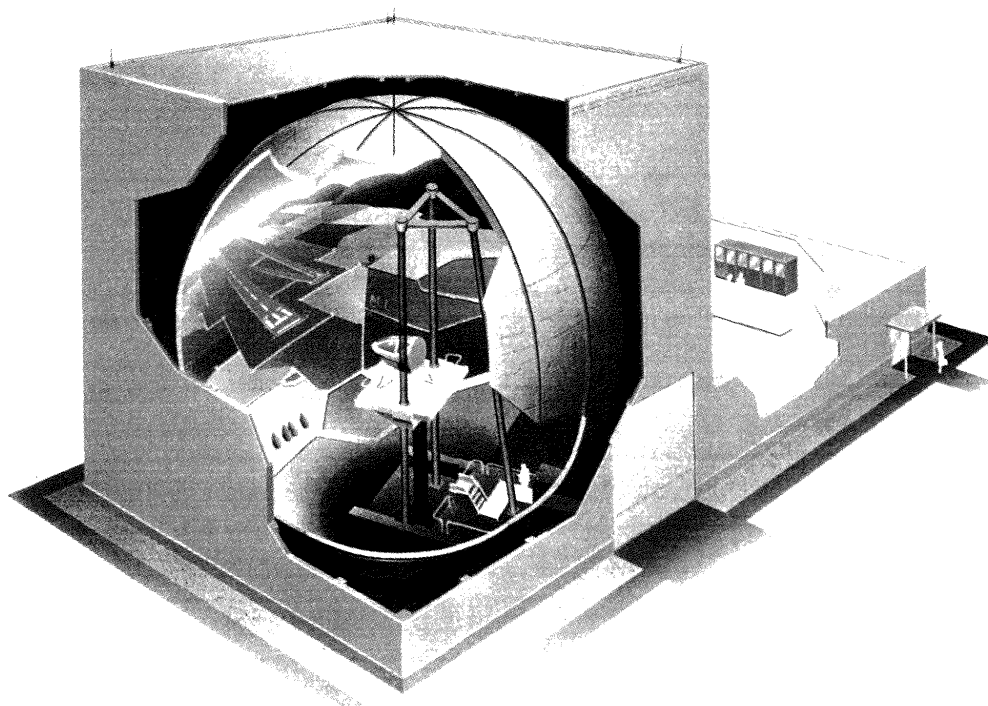
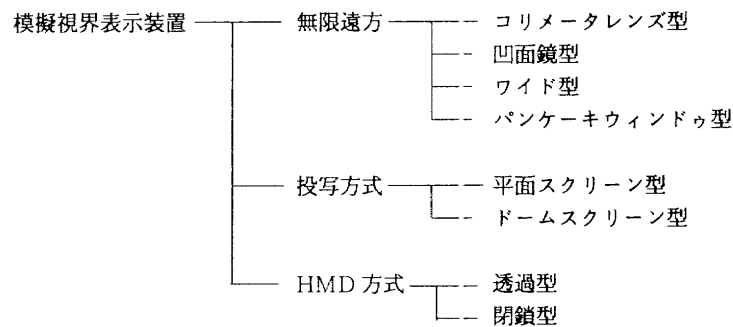


図 1.1 将来型飛行シミュレータ構想図

表 2.1 飛行シミュレータ用模擬視界表示装置の分類



装置が数多く使用されている。

また、小型高速機やヘリコプタの研究開発用シミュレータではドームスクリーン型投写方式の模擬視界表示装置が広く用いられている。

模擬視界表示装置で最も視野が広く確保できるのは、ドームスクリーンを利用した投写方式の模擬視界表示装置であり、通常ドームディスプレイと呼称する装置である。飛行シミュレータ用として国内を含めて広く利用されているドームディスプレイは、ドームの直径が 8 m から 9 m 程度の装置である。

ドームディスプレイでは、ドームの中心やドームの外側から球面スクリーンに対して投影を行うために広角系の特殊な光学レンズを使用することが多く、そのために映像輝度の低下が一般的傾向になる。ドームディスプレイでは、高輝度が得られやすく、かつ単眼のためレンズ系の改修が容易な、ライトバルブ型投写装置³⁾が今日まで多く用いられて来た。

大型旅客機の操縦訓練飛行シミュレータ用では、加速感を模擬するためにモーション模擬装置の利用が普及している。そのためにドームディスプレイに比較して小型で堅牢な広視野型無限遠方式の模擬視界表示装置が使用される。また、広視野型無限遠方式ではビデオ投写装置が必要となるが、模擬視界表示装置にはモーション模擬装置により常時振動が加わるため、ライトバルブ型に比べて輝度は低下するが振動に強い高輝度 CRT 型のビデオ投写装置が用いられている。

2. 2 現用型模擬視界表示装置の問題点

模擬視界表示装置では、十数年前と比較して電子技術の進歩発展により、高性能 CGI システムが開発され、優れた視界映像の模擬発生が可能になった。しかし、模擬視界表示装置については、ビデオ投写装置の性能が若干は向上しているものの、CGI システムの性能向上と比較して、基本的な機能の向上が図られてはいえない。特に広視野の模擬視界表示装置として利用されているドームスクリーン型ビデオ投写方式では、次の問題が

残されている。①投写方式のため、ドーム内に設置したコックピット等の影により、視界映像に死角が発生する。②投写方式のため、映像の輝度を高くするとドーム内反射のために見掛けのコントラストが低下する。③このほか、完全な球体のドームスクリーンとした場合には、内部で発生する音がすべてコックピットの設置してある中心部に集中するため騒音が強く感じられるなどの短所があり、現在でも性能の向上が望まれるところである。

問題①の解決法としては、ドーム内壁が直接発光するような自発光方式の表示装置を採用することが望ましいと考える。問題②に関しても明るい部屋でテレビジョン受像機が見られるようにビデオ投写方式に比べて自発光方式が優位と考えられる。問題③に関しては、ドーム構造の問題であり、残念ながら現状では今後の技術革新に解決を託す課題と考えている。

3. 試作ファイバー・ディスプレイ

将来型の模擬視界表示装置としては、ビデオ自発光方式によるドーム型模擬視界表示装置が望ましいと考えるが、付録 1 に示すように現在の電子技術では実用化の段階にはまだ達していない。しかしながら、実験段階としては、いくつかの方式を検討することは可能である。その一つの方式としてプラスチック光ファイバーを利用したファイバーディスプレイがビデオ表示装置として製品化⁴⁾⁵⁾されている。ファイバーディスプレイは、現在実用化されている他の自発光方式と比較して、表示面を自由な形状に加工ができる。その利点を活用してドーム型模擬視界表示装置の製作を検討するために模擬視界装置用ファイバー・ディスプレイ(図 3.1, 図 3.2)の部分試作を行った。以下に試作したファイバー・ディスプレイについて詳述する。

3. 1 構造

ファイバー・ディスプレイは、受光部、映像伝達部、表示部、投写装置により構成される。図 3.3 に構成図、図 3.4 に左側部分の構造図(右側部分は接合部を中心に

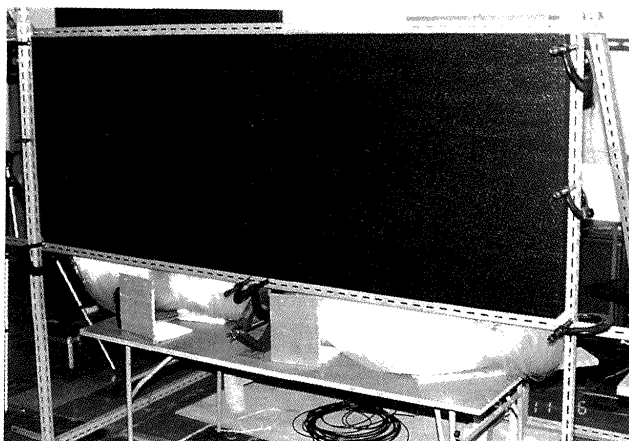


図 3.1 ファイバー・ディスプレイ外観図（正面）

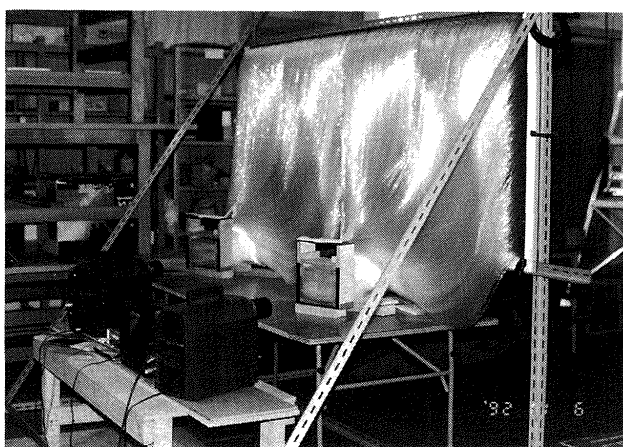


図 3.2 ファイバー・ディスプレイ外観図（裏面）

対称である。)を示す。映像受光部(図 3. 5, 図 3. 6), 映像伝達部, 映像表示部はプラスチック光ファイバーにより構成されている。

また, 今回の試作では, 実験に掛かる費用と実験に使用できる画素数から表示部サイズを 60 インチ型に設定した。

なお, 構造上, 映像表示部の形状は任意であるが, 試作品は製造工程を簡略化するために平板にした。

3. 2 受光部

スクリーン面とは逆の一端は受光部として各プラスチック光ファイバーを積み重ねて受光面とした。試作したファイバー・ディスプレイの受光部は次の様な工程で製作した。

① 直径 0.75mm のプラスチック光ファイバーを横一列に 100 本並べてシート状に加工する。

② シート状に加工したプラスチック光ファイバーを 86 枚積み重ねて 1 つのサブブロックにする。この際, プラスチック光ファイバーが倅積みになるように交互にずらしながら積み上げる。

③ 製作したサブブロックを田の字型に 4 つ組合わせて 1 つのブロックとする。

④ 受光面に当たる側を研磨加工し, 受光部とする。

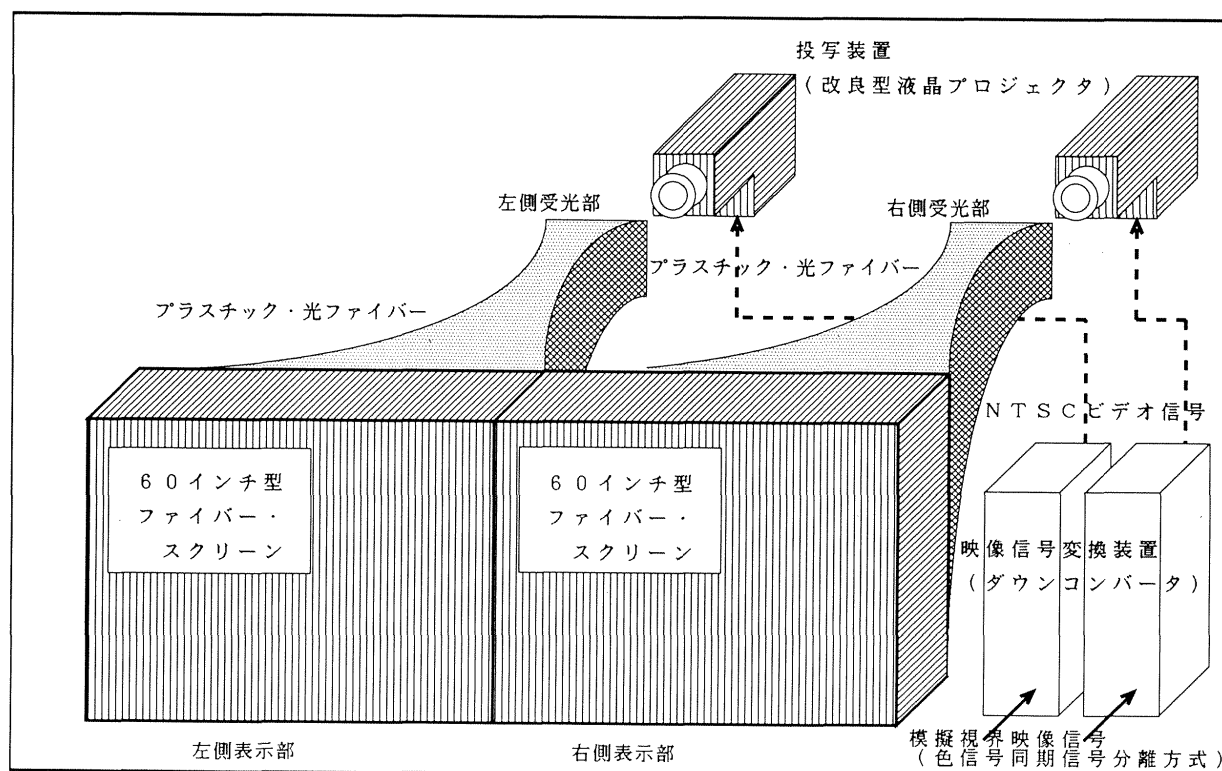


図 3.3 ファイバー・ディスプレイ構成図

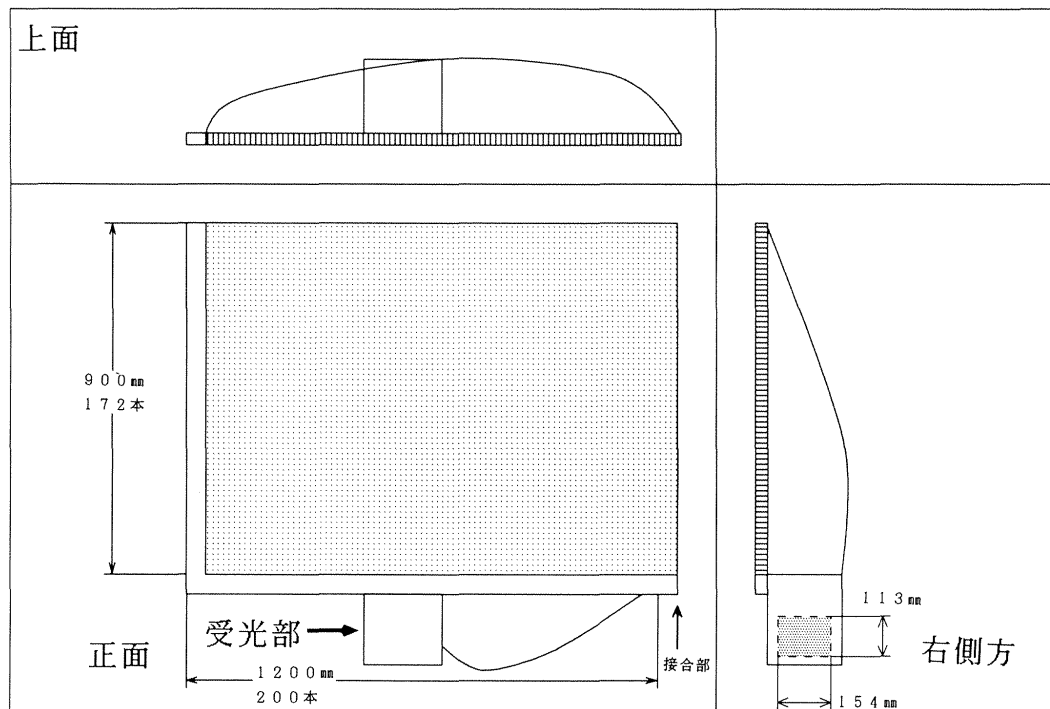


図3.4 ファイバー・スクリーン左部構造図

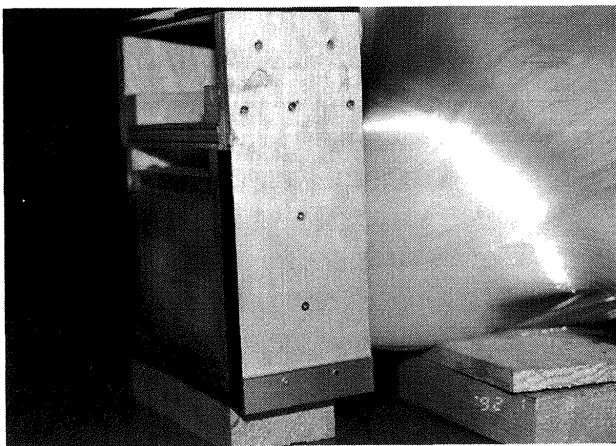


図3.5 受光部外観図

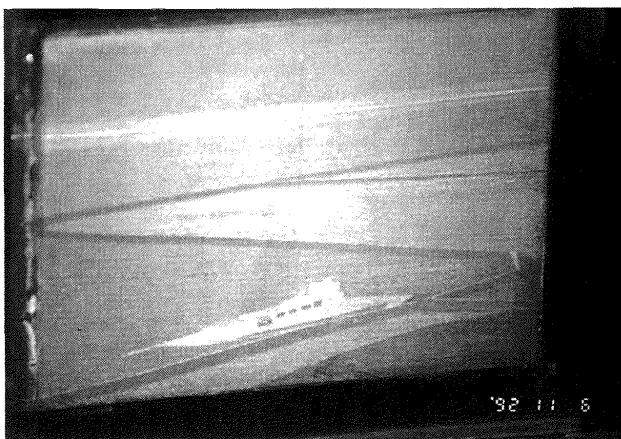


図3.6 受光面拡大図

3.3 表示部

表示部におけるプラスチック光ファイバーの配置間隔は、ファイバー・ディスプレイから視点位置までの距離を10mとして人間の裸眼による分解能⁶⁾をもとに検討した。人間の目の持つ最小分離閾は、視角で約1分である。したがって、10m先のディスプレイでは、約3mmとなる。

しかし、今回の試作では、表示部に貫通させた穴でプラスチック光ファイバー自身が傷つくことを避けるためにアクリル板（黒色）を表示部基盤に用いたために、アクリル板の強度の問題から左右の2台のファイバー・ディスプレイを接合する表示部の穿孔間隔を3mm以下にできず、プラスチック光ファイバーの配置間隔は1辺約6mmの三角形配列となった。図3.7に表示部の穿孔した貫通孔の配置を示す。

なお、6mmのファイバー配置間隔は20m離れば視角は1分となるが、10mの視距離では視角は2分になる。

3.4 解像度

ファイバー・ディスプレイの解像度は、ディスプレイに用いられるファイバーの本数に比例する。今回試作したファイバー・ディスプレイの表示部での配置間隔を縦5.23mm、横6mmとしたため、直径0.75mmのファイバーを34,400本用い、60型の表示部基盤（縦900mm、横1200mmの黒色アクリル製）に縦172段、横200列に配置した。したがって解像度は縦172本、横200ドット

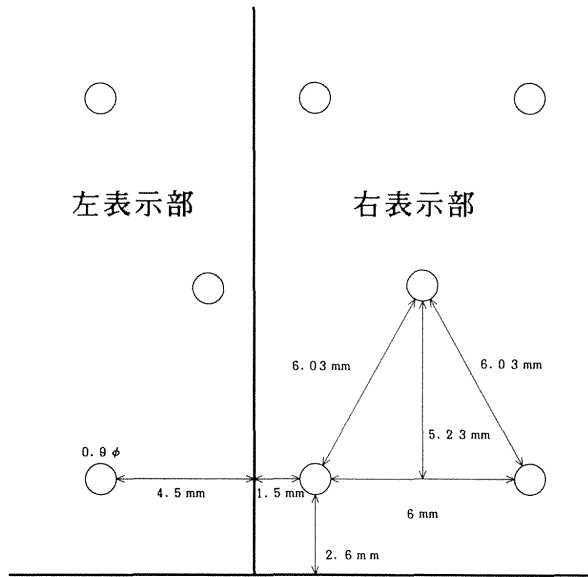


図 3.7 表示部穿孔図

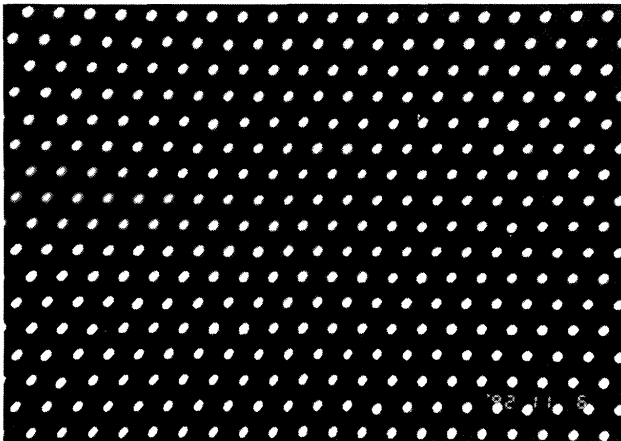


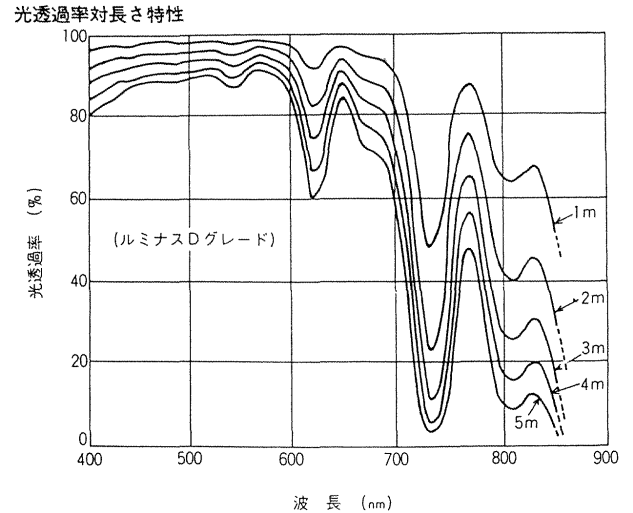
図 3.8 表示部拡大図 (正面)

トであり、一般のテレビジョン放送の画面と比較しても粗い画像といえる。図 3.8 に表示部の拡大図を示す。

3.5 光学特性

ファイバー・ディスプレイの光学特性は、プラスチック光ファイバーと投写装置の特性で決定される。使用したプラスチック光ファイバーの光透過率は、可視領域(380~780nm)において伝送距離 5 m 以下の場合、80%以上ある。ファイバー・ディスプレイでの伝送距離(受後部から表示部まで)は 3 m 以下であり、近赤外域以外の可視域ではプラスチック光ファイバーによる光透過率の影響は少ないと考えられる。図 3.9 にプラスチック光ファイバーの光透過率を示す。

また、端面を直角に切ったプラスチック光ファイバーからの放射光は約 30 度の指向性をもつため、今回の試作では先端部分を平たくつぶして乱反射を起こさせて放射光がなるべく散乱するようにした。



〔旭化成工業(株) ルミナス 資料 89/2 より〕

図 3.9 光透過率対長さ特性

一般的なプラスチック光ファイバーの光学特性については付録 2 に詳述する。

3.6 投写装置

ファイバー・ディスプレイは、通常のスクリーンに映像を映し出すことと同様に投写装置が必要である。また、ビデオ信号により映像を投写するために投写装置としては、ビデオプロジェクタを使用する。ビデオプロジェクタとしては、高輝度 CRT を使用したものが普及している、今回の試作では家電製品として発売されている液晶プロジェクタ⁷⁾を投写装置として用いた。

液晶プロジェクタは、高輝度 CRT を使用したビデオプロジェクタと比べて、地磁気の影響を受けない、光源が安定する時間が短い、ランニングコストが安価であるなどの特徴がある。図 3.10 に外観を、表 3.1 に性能を示す。

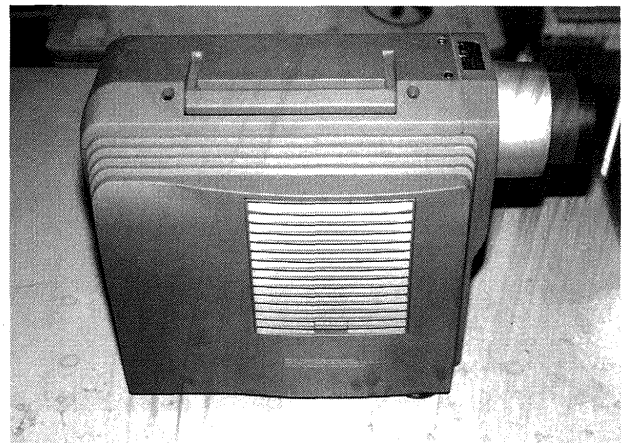


図 3.10 液晶プロジェクタ外観

表 3.1 液晶プロジェクタ仕様

製 造 会 社	シャープ(株)	
製 品 名	液晶プロジェクタ XV-H 1	
表 示 方 式	液晶パネル 3 枚 3 光原色シャッター方式	
液 晶 パネル	パネルサイズ	3 型 (縦 4.5cm×横 6.2 cm)
	表 示 方 式	透過型 TN 液晶パネル
	駆 動 方 式	TFT (薄膜トランジスタ) アクティブマトリクス駆動方式
	絵 素 数	89,505 画素 (縦 234×横 382.5)
レ ン ズ	固定焦点レンズ, F=4.5, f=90mm	
ラ ン プ	メタルハライド放電ランプ	
定 格 電 圧	AC100V	
定格周波数	50/60Hz	
消 費 電 力	197W	
使用温度範囲	5℃～40℃	
キャビネット	プラスチック	
外 径 寸 法	幅 21.9cm, 奥行 42.5cm, 高さ 31.4cm	
重 量	10.6kg	

4. 評価実験

4.1 実験装置

実験装置は、試作した 2 台のファイバー・ディスプレイ、模擬視界発生装置 (CGI システム)、2 台のダウンコンバータから構成される。図 4.1 にブロック図を示す。

なお、飛行シミュレータの視界映像発生装置が発生するビジュアル映像信号は高解像度の色信号同期信号分離式映像信号 (R, G, B, SYNC) であり、今回使用した液晶プロジェクタの入力信号が複合同期式のため、整合を取るためにダウンコンバータを使用して信号変換をした。ダウンコンバータは既存の装置を使用したため、同

表 4.1 計測機器仕様

項 目	仕 様
写真機本体	ミノルタカメラ(株)製, α7700i
使用レンズ	ミノルタカメラ(株)製αレンズ, AF50mmF1.4 レンズ構成 6 群 7 枚, 画角 (対角) 47°
使用フィルム	富士写真フィルム(株), SUPER-HG100
照 度 計	(株)横河電機製 LX-3 測定範囲 0.0～300 lx

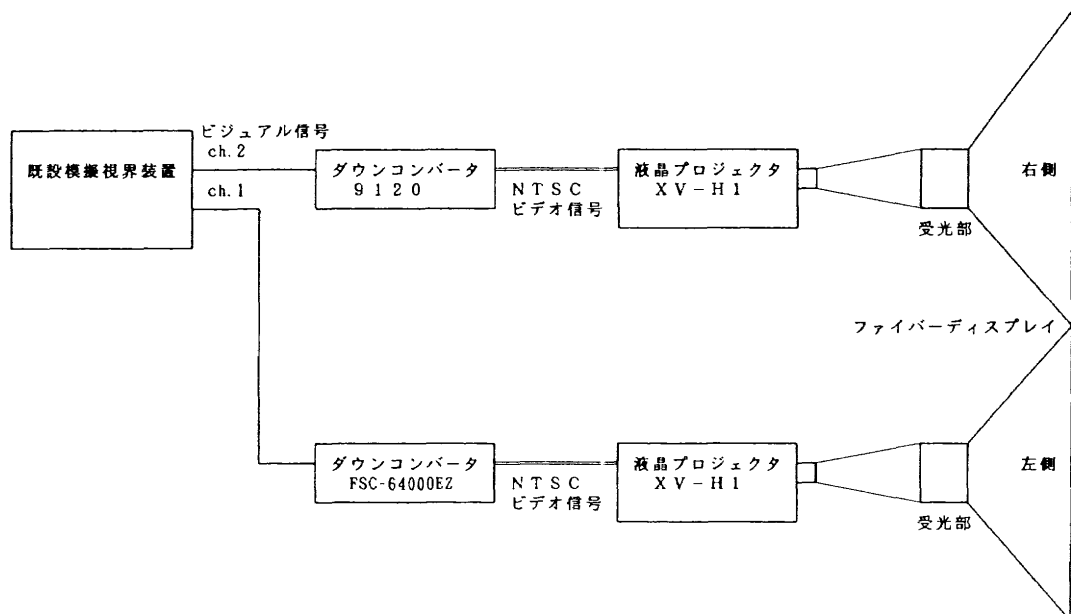


図 4.1 実験装置ブロック図

表 4. 2 ダウンコンバータ (その1)

製 造 会 社	(株) フォトロン	
製 品 名	フレームスキヤコンバータ FSC-64000EZ	
入 力 信 号	映 像 信 号	RGB アナログ信号 (512×512~1280×1024・30Hz~140MHz) バッファアウト 1 系統
	同 期 信 号	HD/VD セパレート信号, コンポジット SYNC 信号, グリーンコンポジット SYNC 信号の各フォーマットに対応, バッファアウト 1 系統
	同期信号周波数	水平周波数: 30~75KHz, 垂直周波数: 30~80Hz (インターレース/ノンインターレース)
	外部同期信号	VBS (NTSC コンポジットビデオ信号) GENLOCK 用
フ レーム バ ッ フ ァ	メ モ リ 容 量	R: 1536×1024×8ビット, G: 1536×1024×8ビット, B: 1536×1024×8ビット
表 示 エ リ ア	NTSC 方式: 640×480 ライン (画像圧縮出力), PAL 方式: 640×512 ライン (画像圧縮出力)	
A/D, D/A コンバータ	R・G・B, 各 8 ビット	
表 現 色	1677 万色同時表現	
出 力 信 号	コンポジットビデオ信号	VBS (1VP-P, 75Ω) × 2 系統, BNC コネクタ Y (1VP-P, 75Ω), C
	セパレートビデオ信号	R (0.7VP-P, 75Ω), G (0.7VP-P, 75Ω), B (0.7VP-P, 75Ω), BNC コネクタ
	コンポーネントビデオ信号	Y (1VP-P, 75Ω), R-Y (0.7VP-P, 75Ω), B-Y (0.7VP-P, 75Ω), BNC コネクタ
	Y / C ビデオ信号	Y (286mVP-P, 75Ω), YC358 業務用 S 端子コネクタ
	同 期 信 号	SYNC (4VP-P, 75Ω), BNC コネクタ
コ ン ト ロール	画像フリーズ ON/OFF, ダイレクト/ウインドウ表示モード切替え, 出力画面位置設定 (上下左右), スムージングレベル選択 (4 段階選択, フリッカ除去コントロール), アスペクト比変更 (5:4 [NARROW] or 4:3 [WIDE])	
	テストカラーバー出力 ON/OFF, セルフチェック (自己診断機能) ON/OFF, GENLOCK 時: H-PHASE 可変 ($\pm 3\mu s$ 以上), GENLOCK 時: SC-PHASE 可変 (360° 以上)	
定 格	電源/消費電力	AC100V~120V 50/60Hz 約 250W
	外 径 寸 法	本体: 160 (W) × 560 (D) × 430 (H), 縦置用スタンド: 230 (W) × 460 (D) × 80 (H) (標準)
風 量	重 量	約 15kg
	AC100V/50Hz 時: 約 1.84m ³ /min, AC100V/60Hz 時: 約 2.08m ³ /min	

表 4. 3 ダウンコンバータ仕様 (その 2)

製 造 会 社	クロマテック(株)
製 品 名	高速リアルタイム・ダウンコンバータ 9120
入 力 信 号	映 像 信 号 RGB アナログ信号 (512×512~1448×1024・50MHz~100MHz, 0.4~1.2VP-P) バッファアウト 1 系統
	同 期 信 号 HD/VD セパレート信号, コンポジット SYNC 信号, グリーンコンポジット SYNC 信号の各フォーマットに対応, バッファアウト 1 系統
	同期信号周波数 15~128KHz, 垂直周波数: 25~125Hz (インターレース/ノンインターレース)
	外部同期信号 VBS (NTSC コンポジットビデオ信号) GENLOCK 用
フ レーム バ ッ フ ィ ア	メ モ リ 容 量 R: 2048×1024×8 ビット, G: 2048×1024×8 ビット, B: 2048×1024×8 ビット
表 示 エ リ ア	NTSC 方式: 640×480 ライン (画像圧縮出力)
A/D, D/A コンバータ	R・G・B, 各 8 ビット
表 現 色	1677 万色同時表現
出 力 信 号	コンポジットビデオ信号 VBS (1VP-P, 75Ω)×2 系統, BNC コネクタ
	セパレートビデオ信号 R (0.7VP-P, 75Ω), G (0.7VP-P, 75Ω), B (0.7VP-P, 75Ω), BNC コネクタ
	コンポーネントビデオ信号 Y (1VP-P, 75Ω), R-Y (0.7VP-P, 75Ω), B-Y (0.7VP-P, 75Ω), BNC コネクタ
	Y / C ビデオ信号 Y (1VP-P, 75Ω), CY (286mVP-P, 75Ω)×2 系統, YC358 業務用 S 端子コネクタ
	同 期 信 号 SYNC (4VP-P, 75Ω)×2 系統, BNC コネクタ
コ ン ト ロール	入力信号自動判別, 変換モード切替え (H, N, L), 出力画面設定 (チルト・パン・ズーム),
	アスペクト比変更 (縦横とも 1.0~0.25 に圧縮可能), 赤外線リモコンによるモードコントロール可能,
	テストカラーバー出力 ON/OFF, セルフチェック (自己診断機能) ON/OFF, リモート制御 (RS-232C 1 系統, 専用リモート端子 1 系統)
	GENLOCK 時: H-PHASE 可変 (±5μs 以上), GENLOCK 時: SC-PHASE 可変 (±180° 以上)
定 格	電源/消費電力 AC100V~120V 50/60Hz 約 200W
	外 径 寸 法 本体: 445 (W)×470 (D)×176.5 (H), EIA 標準ラックサイズ・4U 型
	重 量 約 8.5kg

一機種とならなかったが、模擬視界映像信号を複合同期信号に変換するために整備した装置であるために信号変換に差異は無いものである。ダウンコンバータの使用による映像信号の遅れ時間は、最大2フレーム(30Hz×2・約66.7msec)である。表4.2, 表4.3に使用した2台のダウンコンバータの性能を示す。

4.2 実験項目

実験の概要を以下に述べる。

なお、実験で使用した測定機器の仕様を表4.1に示す。

(1) 照 度

白色の映像を表示し、照度計によりファイバー・ディスプレイの照度を測定する。

また、比較対象として航空宇宙技術研究所の飛行シミュレータで使用している凹面鏡型無限遠方式による模擬視界表示装置の照度も同様に測定する。

(2) 画 質

今回の実験では、暗室の都合で距離20mの位置を設定できなかったため、10m、5mで行った。ファイバー・ディスプレイから一定の距離(5mと10m)離れた視点位置(図4.2に示す、EP5mとEP10m)から、ファイバー・ディスプレイに対する観察と写真撮影を行い、感覚的評価を行う。その際、外光の影響を検討するため

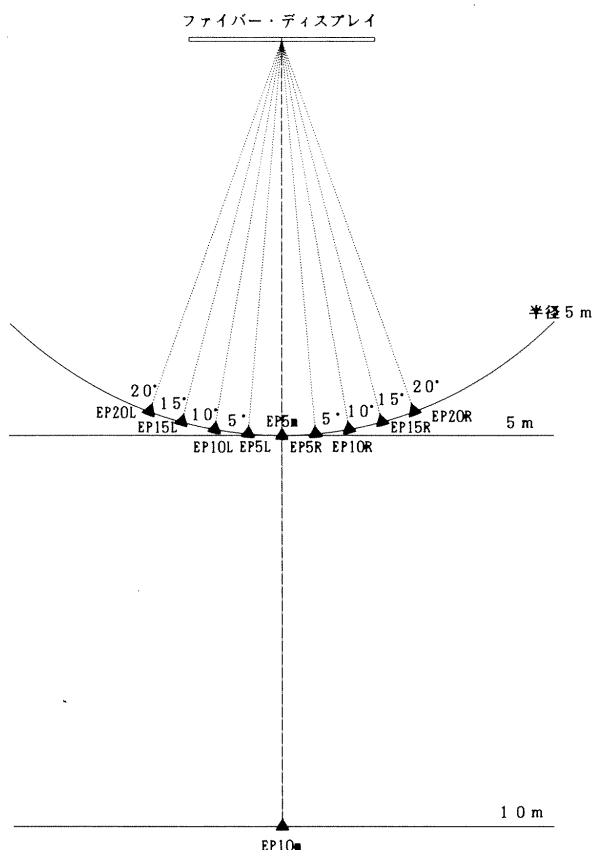


図4.2 実験時の写真撮影位置

に実験室の照明を変化させる。なお、写真撮影は35mmカメラに人間が被写体をはっきりと認識できる画角(47°)を持つ50mmレンズを用いて行う。

(3) 視認角

ファイバー・ディスプレイ中心に向かって5度おきに左右20度までの視点位置(図4.2に示す位置、EP20L, EP15L, EP10L, EP5L, EP5R, EP10R, EP15R, EP20R)から写真撮影を行い、視認角の状況を記録する。

なお、撮影には画質評価に用いたカメラシステムを使用する。

(4) ディスプレイ接合状況

ファイバー・ディスプレイを多面化してドーム方式の模擬視界表示装置を構築するために基礎的データを収集する。そのため、2台のファイバー・ディスプレイにより表示した模擬視界映像の接合状況を目視により評価する。

4.3 実験結果

(1) 輝 度

ファイバー・ディスプレイの輝度は、1m離れた位置において測定した結果、約10lxであった。

また、既設飛行シミュレータの凹面鏡型無限遠方式の模擬視界表示装置の輝度は、パイロット席の位置(ハーフミラーの中心から0.88mの位置)から測定して、約10lxあった。図4.3に凹面鏡型無限遠方式の表示例を示す。

(2) 画 質

視距離と実験室内の照明を変えた表示例を図4.4から図4.7に示す。なお、照明点灯時の実験室内の明るさは、約100ルクスである。

今回試作したファイバー・ディスプレイは、20m離れた距離において視角1分(目の最小分離閾)となるよ



図4.3 航空宇宙技術研究所で所有する凹面鏡型無限遠方式の表示例 [f 16 15sec]

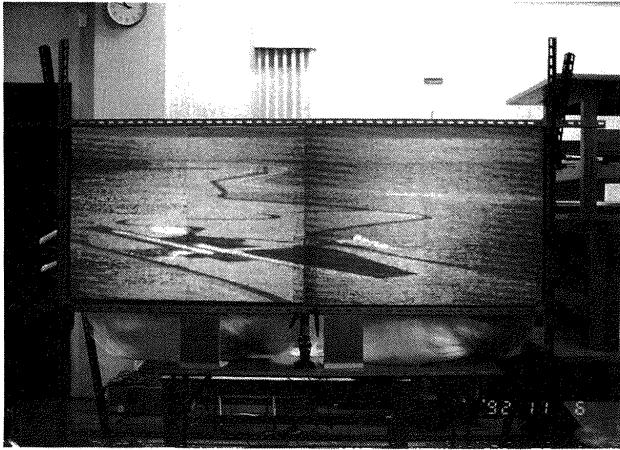


図 4.4 視点位置 5m の表示例 [f1.4 1/60sec]

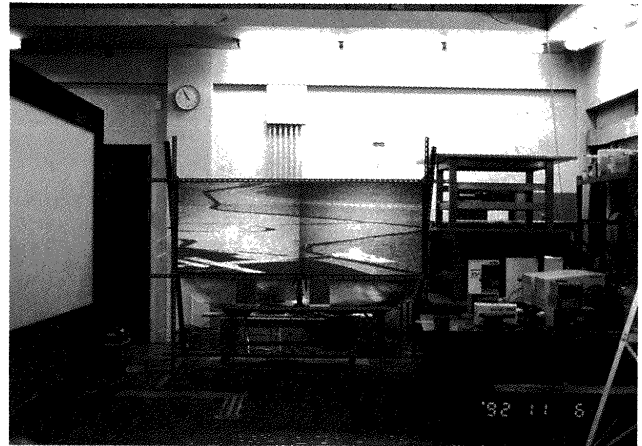


図 4.6 視点位置 10m の表示例 [f1.4 1/60 sec]

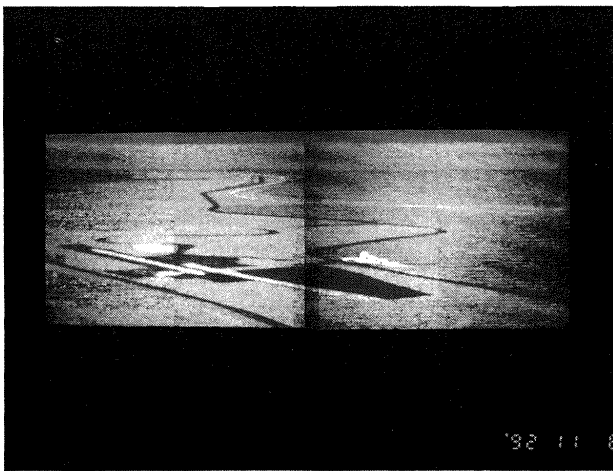


図 4.5 視点位置 5m の表示例（暗室内）
[f1.4 1/45sec]

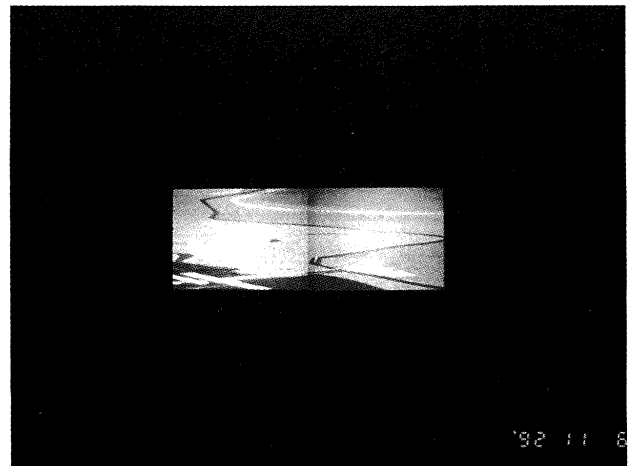


図 4.7 視点位置 10m の表示例（暗室内）
[f1.4 1/30 sec]

うに設計してあるため、距離 5m では粗さが目立つが、距離 10m では目の最小分離閾に近づくため粗さが目立たなくなっている。

ファイバー・ディスプレイから 20m 離れた位置からの評価は、実験場所の制約でスクリーンから 20m の距離を取れず実施できなかったが、実施可能としても、1 台のファイバー・ディスプレイの表示部サイズが 60 型（縦 900mm、横 1200mm）と小さいために、画角一定での撮影では評価映像の写真サイズが位置 20m では位置 10m の 4 分の一となり評価対象としての有効性が減少すると考えられる。

実験写真では、2 台のファイバー・ディスプレイそれぞれに画面のムラと中心部に立ての影が発生している。この原因は、プラスチック光ファイバーの両端面加工に起因していると考えられる。

まず、画面のムラの発生は次のことが原因と考えられる。発光面側の端面は、熱処理によりプラスチック光ファイバーの端面を釘の頭の様に潰してある（図 4.8）が、

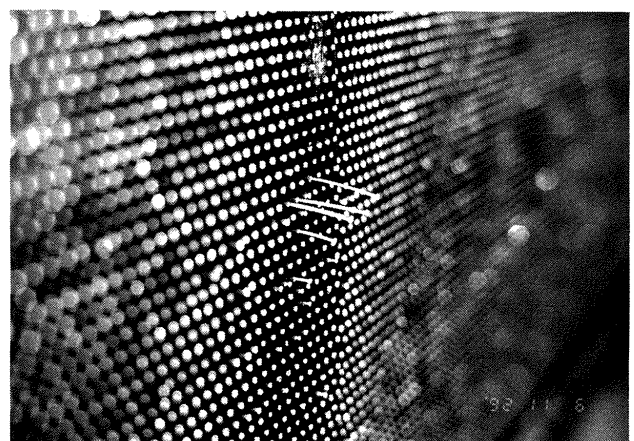


図 4.8 表示部拡大図（ファイバー先端部）

この処理が全てのプラスチック光ファイバーで均等に行われていない。また、プラスチック光ファイバーの端面そのものが表示部基盤に固定されておらず多少浮き上がっており、端面の方向が一定になっていない。そのため、個々のプラスチック光ファイバーの光軸がずれており、

その結果ムラが発生する。

また、縦の影の発生については、受光部の作製過程においてプラスチック光ファイバーのサブブロックを4つ組合わせるため、その継ぎ目のムラが原因と考えられる。

(3) 視認角

視認角の評価のために9箇所から撮影した写真を図4.9から図4.17に示す。

プラスチック光ファイバーの端面を熱処理により潰し、

散乱を多くするような工夫をしてあるが、左右 15° を越えるとやはり映像の劣化が顕著になっている。

コックピットがドーム型ファイバー・ディスプレイの中心に位置する場合には、この視認角は問題にならないと考える。

(4) ディスプレイ接合状況

模擬視界発生装置により左右2チャンネルの映像を発生し、2台のファイバー・ディスプレイで表示を行った。



図4.9 視点位置中央 0°

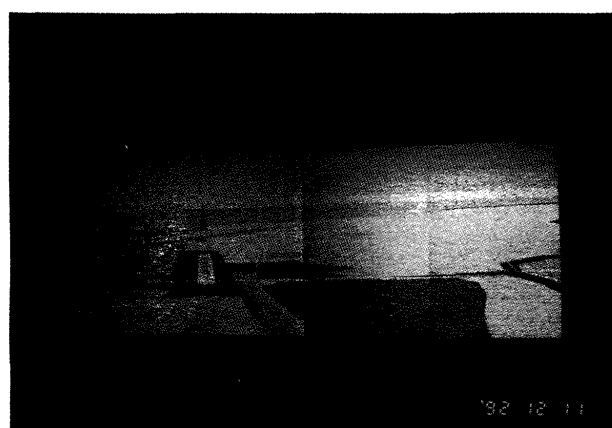


図4.12 視点位置右 15°

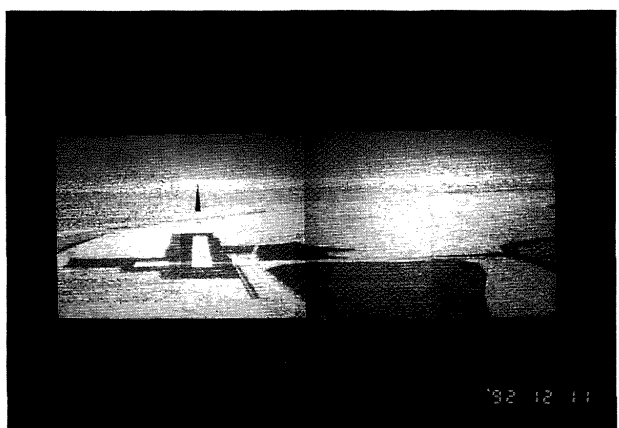


図4.10 視点位置右 5°

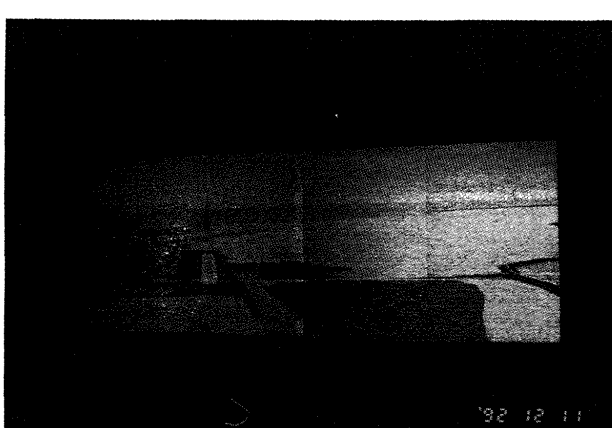


図4.13 視点位置右 20°

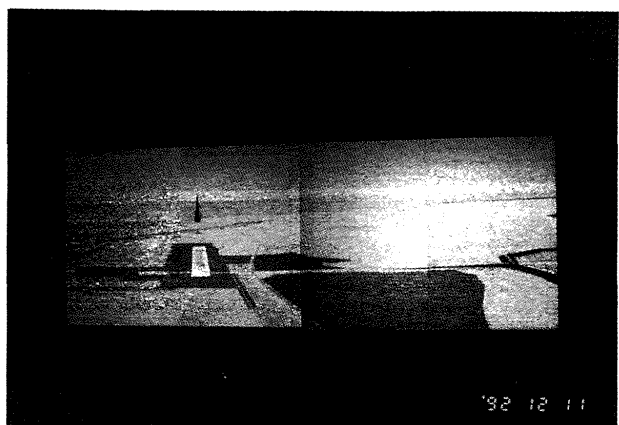


図4.11 視点位置右 10°

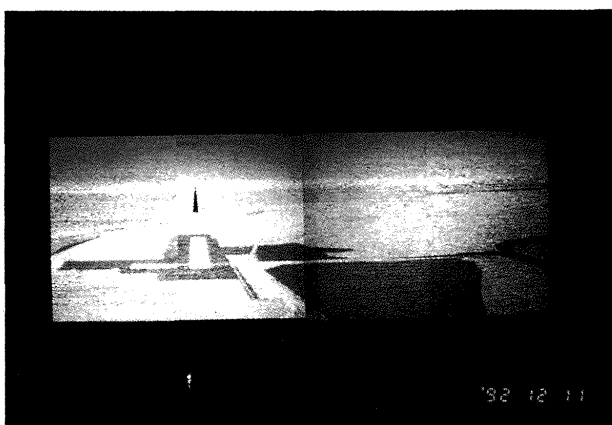


図4.14 視点位置左 5°

この際、模擬視界発生装置では左右の接合部分で若干のオーバーラップが発生するような模擬視界映像を発生し、プロジェクタの位置調整により受光部で左右の映像を接合させた。その結果、接合部分の映像は、前項の写真の様に違和感のないものとなった。

この様なオーバーラップした模擬視界映像を用いることで、ファイバー・ディスプレイの多面化は可能と考えられる。

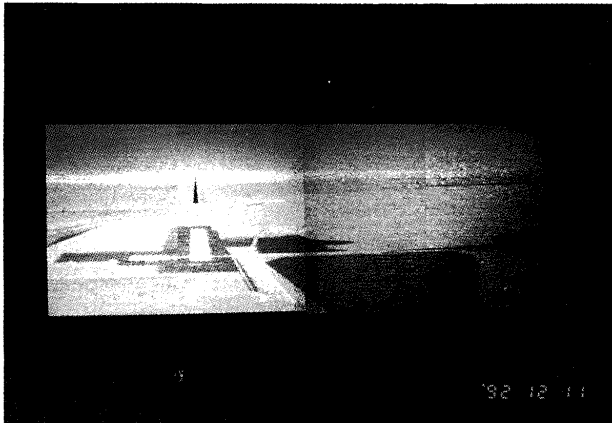


図 4.15 視点位置左 10°

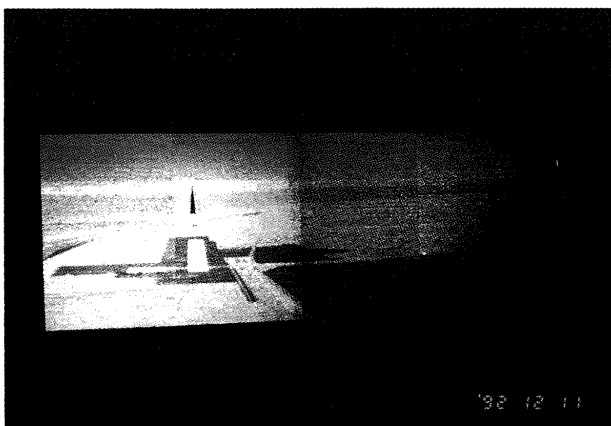


図 4.16 視点位置左 15°

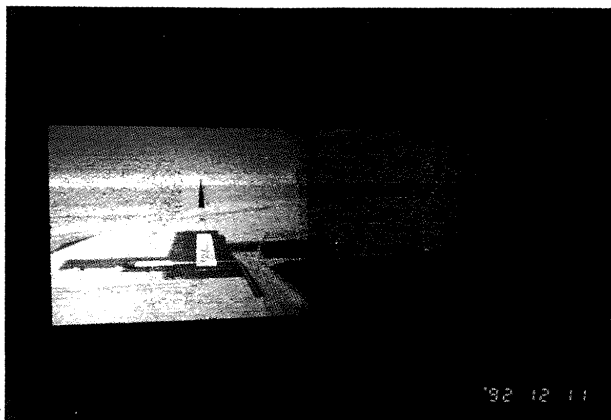


図 4.17 視点位置左 20°

5. まとめ

今回の模擬視界装置用ファイバー・ディスプレイの部分試作と評価実験の結果から幾つかの点が判明した。

ファイバー・ディスプレイは、液晶プロジェクタの輝度が高いためとプラスチック光ファイバーによる減衰が少ないために当所で使用している凹面鏡型無限遠方式の視界表示装置と同等の照度がえられた。

また、明るい室内で十分に映像が見られることから、スクリーンを用いる投写方式より、見掛け上のコントラスト低下は少ないと考えられる。

問題となるのは、ファイバー・ディスプレイを模擬視界表示装置として用いる際の画質である。画質については実験結果からもプラスチック光ファイバーの加工に依存する点が大いといえる。試作した 60 型ファイバー・ディスプレイでも加工上の問題が要因となって画質の低下が発生している。

模擬視界表示装置としてドーム形状のファイバー・ディスプレイを作製する場合、ファイバー・ディスプレイの表示部をドーム形状に加工する事は問題なく、多面化により大きなドーム型ファイバー・ディスプレイも可能といえる。

ただし、表示部の面積が増加するにつれて、使用するプラスチック光ファイバーの本数は膨大なものとなり、プラスチック光ファイバーの引回しや加工上の問題がより大きくなることが考えられる。この問題が技術的に解決されれば、ファイバー・ディスプレイによるドーム型ビデオ自発光方式の模擬視界表示装置の実現も可能性がある。

最後に模擬視界装置用ファイバー・ディスプレイの部分試作にあたって多大なるご協力を頂いた旭化成(株)アクリル市場開発室の宇田川彦衛氏、山上量氏ならびに(株)ミントに対して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 日本図学会編；CG ハンドブック，1989. 5, PP.337, 353, 森北出版.
- 2) 三菱電機(株)；三菱大型映像情報システム資料，1989. 9.
- 3) 松下電器産業(株)；タラリア PJ5055 カタログ，1984. 10. 20.
- 4) ミント(株)；ミント・ビジョン資料，1989. 3.
- 5) 三菱レイヨン(株)；ファイバービュー EO 資料，1990. 3.
- 6) 感覚・知覚心理学ハンドブック，1969. 8, PP.250-254, 誠信書房.
- 7) シャープ(株)；液晶ビジョン XV-H 1Z 資料，1990. 11.

付録 1 飛行シミュレータ用模擬視界表示装置

現在、飛行シミュレータで使用されている模擬視界発生装置は、コンピュータグラフィックス技術を利用した装置である。そのために視界映像の出力信号はビデオ信号であり、模擬視界表示装置にはCRTディスプレイやビデオプロジェクタなどの映像機器を使用することが一般的である。これらの映像機器を通常の方式で模擬視界表示装置として用いたのでは、焦点距離や視野角により違和感を感じる視界映像を呈示することになる。そのために飛行シミュレータ用模擬視界表示装置では、各種の光学系を利用して焦点距離の延長や視野の拡大を図り、より現実感のある映像呈示を行っている。現在までに利用されてきた諸方式^{1) 2) 3)}について以下に詳述する。

1. 1 無限遠方式

(1) コリメータレンズ型

付図 1. 1 に示すようにCRTディスプレイなどの映像表示装置の正面に凸レンズを置き、虚像を見せることで焦点距離を無限遠にしている。この方式の欠点は、一定の視野を確保するために直径の大きな光学レンズを用いることで装置が重くなることや、凸レンズで発生する色収差のためカラー映像には不向きな点である。そのため、凹面鏡型が実用化されてからはコックピットの前方に取

り付けられる模擬視界表示装置としては用いられていない。ただし、HMD方式では頭部に着用するために構造が簡単で小型なことから用いられる場合が多い。

(2) 凹面鏡型

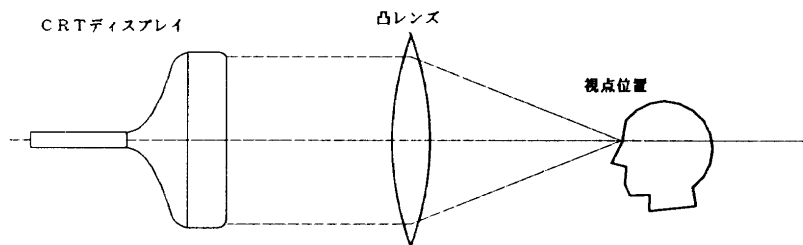
凹面鏡とビームスプリッタを組み合わせたもので、無限遠方式の代表的なものであり、飛行シミュレータ用として多く利用されてきた。CRTディスプレイは、凹面鏡の焦点位置に配しており、ビームスプリッタをとおしてCRTディスプレイに映し出された映像は虚像として呈示され、焦点距離は無限大となる。付図 1. 2 に構造を示す。

(3) 広視野型

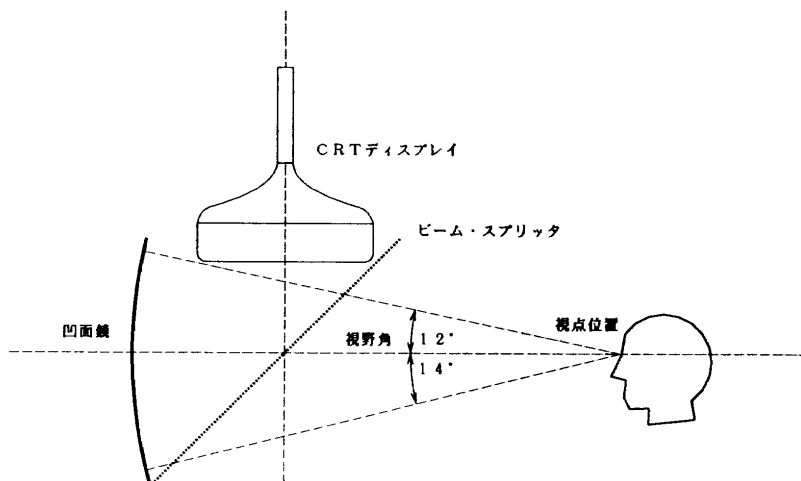
広視野型無限遠方式は、凹面鏡型を改良したもので、水平方向視野が約 200 度、垂直方向視野が約 50 度である。図のようにビデオプロジェクタにより透過スクリーンに映し出された映像を大型凹面鏡を用いて呈示を行う。この方式は、曲率半径の大きい凹面鏡を用いているため視野が広くとれ、正副両操縦士がそれぞれの正面に映し出される映像を互いに覗き見ることが可能となる。しかし、凹面鏡の光軸とパイロットの視線が若干ずれる構造となるために、投写画像に補正が必要となってくる。付図 1. 3 に構造を示す。

(4) パンケーキウィンドウ型

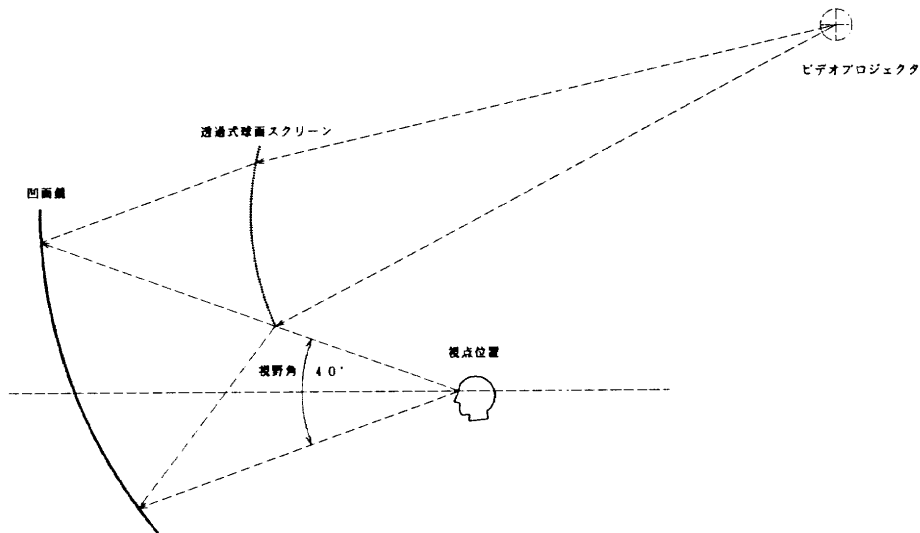
凹面鏡型の構成要素（CRTディスプレイまたはビデオ



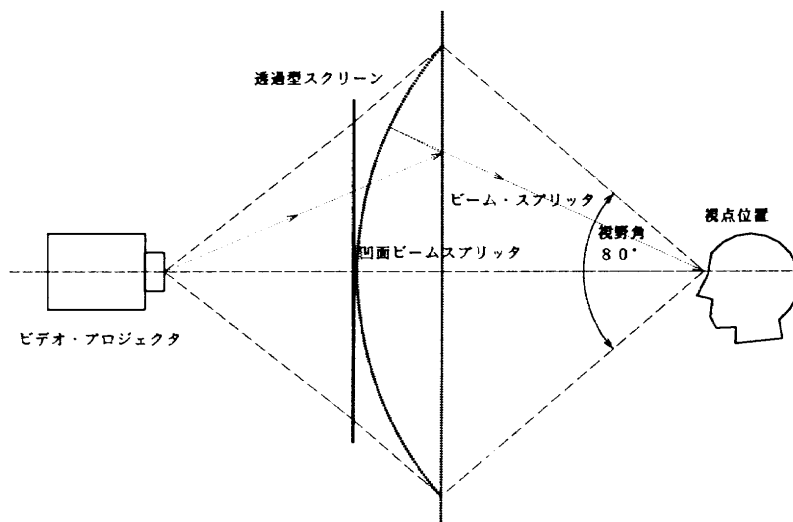
付図 1.1 コリメータレンズ型無限遠方式



付図 1.2 凹面鏡型無限遠方式



付図1.3 広視野型無限遠方式



付図1.4 パンケーキウィンドウ型無限遠方式

オプロジェクタ、球面ビームスプリッタ、平面ビームスプリッタ)を光軸にそって一直線上に配置した構造であり、表示装置自体はコンパクトな形状となる。しかし、凹面鏡の役目を果たす球面ビームスプリッタは透過率を50%にする必要や、CRTの映像を直視させないために平面ビームスプリッタに特殊な光学処理を施すために輝度の低下が問題となる。付図1.4に構造を示す。

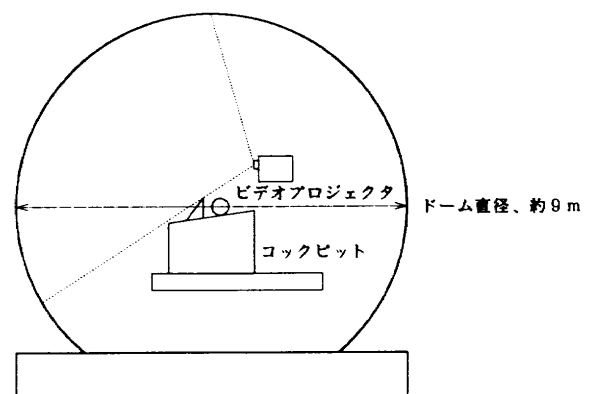
1.2 投写方式

(1) 平面スクリーン型

劇場用映画と同様な平面スクリーンにプロジェクタを用いて視界映像を投写するもので、焦点距離や視野角の問題で簡易型のシミュレータに用いられることが多い。

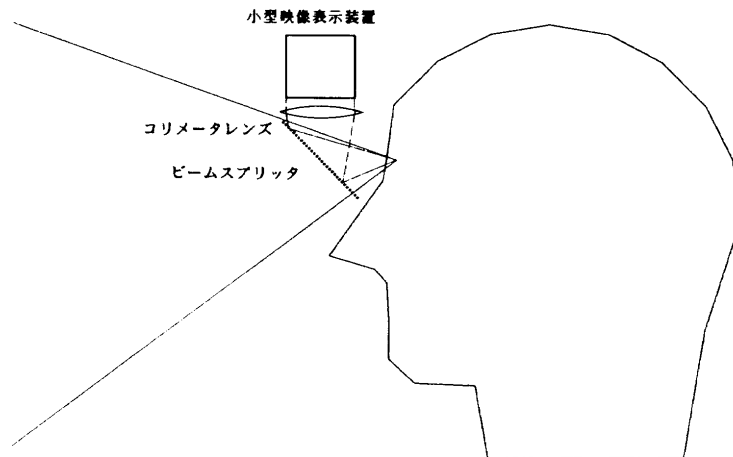
(2) ドームスクリーン型

球形のスクリーンに対して、内部または外部からビデオプロジェクタを用いて視界映像を投写する装置である。球形スクリーンのため広視野角が得られる反面、乱反射



付図1.5 ドーム型ディスプレイ構造図

によるコントラストの低下や内部に設置したコックピットによる影の問題などがある。主に広視野角が必要な小型高速機やヘリコプタのシミュレータに用いられ、ドーム直径約9 mのものが多く利用されている。付図1.5に構造図を示す。



付図 1.6 透過型 HMD 構造図

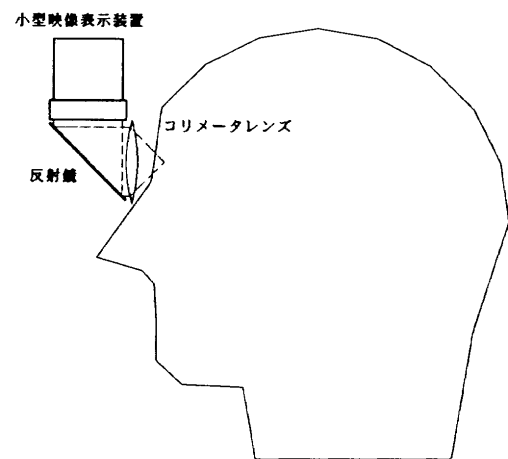
1.3 HMD (Helmet Mounted Display) 方式

(1) 透過型

ヘッドアップディスプレイの頭部取付型であり、模擬視界の表示装置として用いるのではなく、計器情報とともに模擬滑走路や模擬赤外線カメラ映像、模擬レーダー映像の表示を主に行う。透過型 HMD は付図 1.6 に示すように映像情報を表示する小型映像表示装置（小型の CRT や液晶ディスプレイなど）、表示映像を無限遠表示にするためのコリメータレンズ、外部視界と映像情報を重複させるためのビームスプリッタから構成される。

(2) 閉鎖型

近年、話題となってきたバーチャルリアリティ技術での利用が多い。外界からの視角情報を遮断して人工的な視界映像の呈示を行うために、左右両眼に対応した表示装置をもっている。左右の目が見える映像を人工的に発生することで両眼視差を利用した立体映像表示を行っている。表示装置としては、小型液晶パネルを用いたものや、光ファイバーにより表示映像を導いたものなどがある。構造は付図 1.7 に示すように透過型とほぼ同等であるが、計器盤等のコックピット内部を表示する関係上、焦点距離に関しては無限大にするよりも数メートルから数十メートル程度にすることが多い。



付図 1.7 閉鎖型 HMD 構造図

付録 2 プラスチック光ファイバーの構造と特性

ファイバー・ディスプレイの試作に用いた旭化成製ルミナス D グレード（一般用）プラスチック光ファイバー¹⁾の構造や特性、加工について述べる。

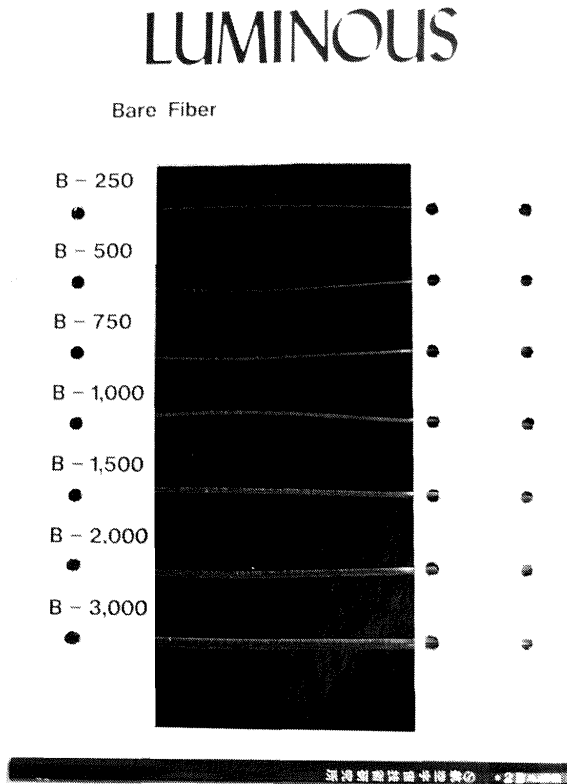
試作では直径 0.75mm のルミナス D グレードプラスチック光ファイバー（B-750）を使用した。付図 2.1 にプラスチック光ファイバーの外観を示す。なお、付図の 250 や 750 などの数字は、ファイバーの直径（ μm ）を表す。

2.1 構造と材質

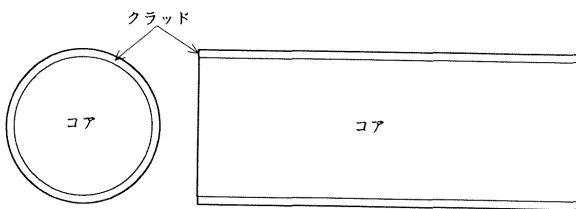
プラスチック光ファイバーは、ステップインデックス型マルチモードファイバーのため、高屈折率のコアと、その外側のより低屈折率のクラッドから構成される二重構造となっている。材質は、コアの成分がメタクリル樹脂（ポリメチルメタクリレート）、クラッドの成分がフッ素系ポリマーである。（付図 2.2 を参照）

参考文献

- 1) 川原；「視界模擬における無限遠表示装置の試作」，航技研資料，TM-467，1982. 8.
- 2) 若色，他；「飛行シミュレーション試験設備視界模擬装置の構成および機能・性能」，航技研資料，TM-581，1988. 2.
- 3) 日本図学会編；CG ハンドブック，1989. 5，PP.337-353，森北出版.



付図 2.1 プラスチック光ファイバー外観



付図 2.2 構造図

2. 2 光の入放射と伝送

プラスチック光ファイバーの持つ入射角は 30° 以下であり、それ以上の光はプラスチック光ファイバーに入射されず伝送は行われない。(付図 2. 3 を参照)

プラスチック光ファイバーの一端から入射した光はコアとクラッドの界面で全反射を繰り返しながらもう一端に伝送される。

伝送された光は、放射角約 15° でプラスチック光ファイバーから放射される。この放射角によりファイバー・ディスプレイの視認角が決定される。

また、偏光された光もプラスチック光ファイバーにより伝送させると、伝送光はファイバー内を不規則に反射を繰り返しながら通過するため偏光でなくなる。

2. 3 特性

ガラス（石英）光ファイバーに比較してプラスチック光ファイバーの特性は次のようになる。

- ① 可視光波長領域でフラットな導光性能を持つため、映像伝達に最適である。
- ② ガラス光ファイバーに比べて破断強度や伸度が高いため耐久性が良い。
- ③ ガラス光ファイバーに比べて大口径で開口数が大きく、加工が容易である。

2. 4 端面の加工

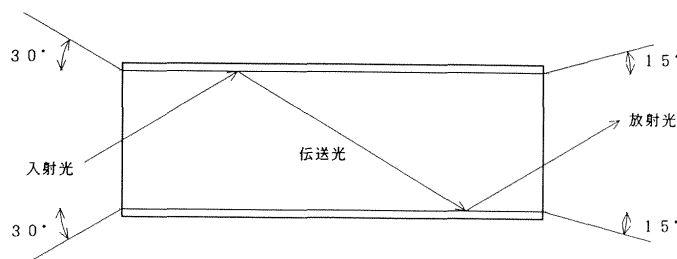
プラスチック光ファイバーをディスプレイ材料として用いる場合、端面に対する加工が必要となる。特に出力端は視認角を大きく取るために特殊な加工を施す必要がある。入力端は、切断後、研磨加工により鏡面化を行う。視認角を大きくするためには、出力端で伝送光をより散乱させる必要がある。そのために今回は、基礎実験のための試作ということで、熱処理により端面を潰して出力光を散乱させるという広く知られている方式を採用した。

その他の方法として次の様な方式²⁾が考案されているが、①の方式以外は実用化されていない。

- ① 端面を斜めに切断したり、エンピツ状に尖らせる。
- ② 端面をレンズ状に加工し、もしくはマイクロレンズをつける。
- ③ 端面を化学薬品処理によりスポンジ状にする。

参考文献

- 1) 旭化成(株)；ルミナス・プラスチック・ファイバー資料, 1990. 5.
- 2) 宮地抗一；プラスチック光ファイバーの応用技術, 電気書院, 1988. 2. 25.



付図 2.3 光の伝送

航空宇宙技術研究所報告1257号

平成7年1月発行

発行所 航空宇宙技術研究所

東京都調布市深大寺東町7-44-1

電話 三鷹(0422) 47-5911(大代表) 〒182

印刷所 株式会社 共 進

東京都杉並区久我山5-6-17

Printed in Japan