

NAIST-IS-DT-0561203

博士論文

非球面ミラー投写方式による大画面ディスプレイの
薄型化の研究

金山 秀行

2007年3月23日

奈良先端科学技術大学院大学
情報科学研究科 情報処理学専攻

本論文は奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科に
博士（工学）授与の要件として提出した博士論文である。

金山 秀行

審査委員： 千原 國宏 教授
横矢 直和 教授
眞鍋 佳嗣 助教授

非球面ミラー投写方式による大画面ディスプレイの 薄型化の研究*

金山 秀行

内容梗概

本論文は、背面投写型ディスプレイであるリアプロジェクションの奥行きを削減する新規なミラー投写光学技術の研究について述べたものである。

近年大型ディスプレイの民生用途への普及は目覚しく、国内においても LCD、PDP による大画面テレビの普及が一段と進んでいる。一方、LCD、PDP に続く第 3 のディスプレイとして、リアプロジェクションが注目を浴びている。リアプロジェクションは、比較的安価で大画面表示が可能という特長を生かし、従来から北米市場で大きなシェアを占めるに至っており、2006 年度に全世界で約 600 万台の市場が形成されている。この従来方式のリアプロジェクションは、7 インチ程度の小型 RGB 高輝度 CRT を三原色用に用いた所謂 3 管式と呼ばれるものが主流であり、これを投写レンズにより 40~70 インチに拡大投写したタイプが特に北米において受け入れられていた。しかし近年徐々に LCD、DMD などの 1 インチ以下の小型サイズで高精細な映像が表示可能なマイクロディスプレイ (MD) を用いたリアプロジェクションが増加し、市場出荷台数が 2006 年には CRT 3 管式を上回った。これらリアプロジェクションは、CRT 方式に比べ、地磁気によるレジストレーションズレが発生せず、高精細映像表示に適しており更には省電力の特徴を有し、今後のハイビジョン映像の普及に伴い、一層増加していくと考えられている。

*奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 情報処理学専攻 博士論文、
NAIST-IS-DT-0561203, 2007 年 3 月 23 日。

MD 方式のリアプロジェクションは、ハイビジョン時代に対応した大型高精細ディスプレイとして普及が期待されているが、直視型である LCD、PDP と比較して最も顕著に見られる差異は、本体奥行きサイズである。LCD、PDP は表示デバイスそのものが薄型で、TV セットとして奥行きは約 10 から 15cm 程度であり、設置においては従来の CRT-TV と比較し多大な優位性を有している。一方、リアプロジェクションは、MD に表示された映像を投写光学系により拡大投写するための光路長（投写距離）を必要とするため前述の直視型ディスプレイよりも本体奥行きが大きくなってしまふという課題を有していた。

この課題を解決するために従来の投写レンズに替えて新規な構造のミラー投写光学系を研究・開発しリアプロジェクションの本体奥行きの薄型化を図った。すなわち、新規な非球面ミラー投写光学系のシミュレーション解析を行うことで、奥行きを決定する最も大きい要因である傾斜配置されていた大型の背面ミラーを垂直配置とすることにより薄型化を可能とした。このシミュレーションに基づき成型法により非球面ミラーの試作を行い、必要な形状及び精度の測定解析を行った。さらに本投写光学系に適したスクリーンとしてオフアクシススクリーンを採用し、その形状の最適化やクロスレンチキュラーの搭載を行い、表示画面のゴースト低減や視野角の拡大を達成した。

これらの新しい研究開発により、以下の性能を有する薄型で高品位な映像を表示するリアプロジェクションディスプレイを実現した。50 インチの大画面でありながら奥行きは 30 cm と従来の 50 cm に比較して薄く、また輝度 $450\text{cd}/\text{cm}^2$ 、コントラスト 500:1、消費電力は 150W というディスプレイとして良好な結果が得られた。これにより、LCD、PDP 方式に次ぐ第 3 の大画面 TV としてのリアプロジェクション方式における重要な技術を開発した。

キーワード

液晶ディスプレイ (LCD)、プロジェクション、リアプロジェクション、大画面 TV、非球面ミラー

A Study on New Large Slim Display Based on the Aspherical Mirror Projection System *

Hideyuki Kanayama

Abstract

This paper describes a new rear-projection display system with a novel aspherical mirror projection system, in order to reduce the depth of the body. Recently, the large high-resolution displays are in great demand and flat LCD and PDP-TVs are spreading to the market. Regarding these flat TVs, in addition to improvement of image quality, a lower price and lower power consumption will progress in the near future.

On the other hand, rear-projection display with large screen is known as inexpensive display as compared with direct view LCD and PDP-TV. Moreover the image qualities such as brightness, resolution and so on have greatly developed to be watched with keenest interest. Until now, rear-projection displays with large screen have formed a large market in the US and this market became to about 6 milloins in 2006 all over the world. Several years ago, most of the rear-projection display was the so-called 3-CRT's method, consisted of high luminosity R,G,B's CRT of 7-inch size, and was projected with the projection lens from 40 to 70-inch.

Recently, the new rear-projection displays with micro-displays such as LCD and DMD which consists of small size of less than 1-inch comes into the market and they have come to show a high quality images. These new rear-projection displays have already larger markets than conventional projection displays in 2006.

The rear-projection displays with micro-displays have several adavantages compared to the conventional 3-CRT projections from the point of view of the earth magnetism insensitive, lower power consumption, and higher-resolution. Therefore, it is expected that a micro-display rear-projections will grow more greatly with the spread of a Hi-Vision images.

*Doctor's Thesis, Department of Information Processing, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, NAIST-IS-DT-0561203, March 23, 2007.

The micro-display projections have, however, a marked disadvantage of large depth of the display set; as for the LCD and PDP-TVs, there is only 10~15cm depth, therefore this is a big advantage as compared with the conventional direct-view CRT's TV. On the other hand, it is necessary for projection display to have a large projection distance to project images on the micro-display into the screen; the depth is due to this large distance and a large flat rear-mirror set obliquely, by which light path to screen is bended.

In this paper, considering the above situation, a new projection system using a novel aspherical mirror projection optical system is proposed in order to realize a thinner depth. The new system realizes the LC rear-projection display with thinner depth compared with a conventional projection lens system. At first, aspherical mirror projection optical system is simulated and analyzed and the following result is found out; it is possible to set the large flat rear-mirror in the display system vertically by introducing a new aspherical projection mirror system. As mentioned above, this large flat mirror has been set obliquely in conventional LC rear-projection display and a large depth has been mostly due to this oblique mirror. The aspherical mirror is a key-part of this rear-projection display and can be manufactured for trial to the required accuracy level by the method of resin mold whose shape and accuracy are simulated and analyzed.

In the newly developed projection system, the whole incident light to the screen reaches from the skew direction and as a result the brightness of the screen is reduced to a certain degree. Therefore a new "off-axis screen" is researched and developed to improve such problem. The screen assembly consists of an off-axis Fresnel lens sheet, vertically arranged lenticular sheet and horizontally arranged lenticular sheet. By the effect of the off-axis arrangement, the whole projected light can reach to observers. Moreover the ghost of images are greatly reduced and the viewing angle is extended compared with conventional screen.

By using these technologies we carried out development of a thinner LC rear-projection display with high quality images; the depth is 30cm in 50-inch screen size, which is thinner than the depth of conventional display of 50cm. Also the other specifications are satisfactory; the brightness is 450cd/m^2 , contrast is 500:1 and power consumption is 150 W. The technology of aspherical mirror is significant to push up the rear-projection display as the third large screen TV.

Key words: LCD, Projection, Rear-projection, Large Screen TV, Aspherical Mirror,

目次

1. 序論

1. 1	はじめに	1
1. 2	大画面ディスプレイの現状	3
1. 3	大画面ディスプレイにおける リアプロジェクションの位置づけ	5
1. 4	プロジェクション方式の現状	10
1. 5	プロジェクション方式の今後の動向	14

2. リアプロジェクションの原理

2. 1	はじめに	17
2. 2	各種マイクロディスプレイ	18
2. 3	光学エンジンと要素技術	22

3. リアプロジェクションの課題

3. 1	リアプロジェクションの現状	31
3. 2	従来リアプロジェクションの 奥行き限界	33

4. ミラー投写光学システム

4. 1	ミラー投写光学システムの優位性	37
4. 2	3枚ミラー投写光学システム	38
4. 2. 1	投写原理	38
4. 2. 2	3枚ミラーシステムの課題	43
4. 3	4枚ミラー投写光学システム	46

4. 3. 1	投写光学系	46
4. 3. 2	シミュレーション設計	49
4. 4	レンズ&ミラーハイブリッド 投写光学システム	55
4. 5	公差解析	56
4. 6	シミュレーション結果	58
4. 7	試作と性能評価	61
4. 7. 1	非球面ミラーの要求性能	61
4. 7. 2	ミラーの試作結果	64
5.	ミラー投写方式による薄型リアプロジェクション	
5. 1	オフアクシススクリーン設計・試作	65
5. 2	薄型リアプロジェクション	68
6.	結論	71
	謝辞	73
	参考文献	75
	研究業績	79
	研究論文	
	解説論文	
	国際会議	
	参考業績	
	工業所有権[特許]	

目次

1	大画面 TV (FPD) の市場への浸透	2
2	TV 画面サイズの変遷	4
3	各種ディスプレイのスクリーンサイズと解像度	5
4	ディスプレイの光効率比較	8
5	40 インチ以上の大画面ディスプレイ棲み分け	11
6	プロジェクションの投写光学系と リアプロジェクションとフロントプロジェクタ	12
7	プロジェクション方式の高解像度化	12
8	プロジェクション方式の高輝度化	13
9	各種ディスプレイデバイスによる TV セット電力	15
10	リアプロジェクションの市場規模予測	15
11	ディスプレイデバイスの分類	19
12	高温 p-Si LCD の構造	20
13	高温 p-Si パネルの外観	20
14	反射型 Si ベース LCD (LCOS)	21
15	反射型ミラーデバイス (DMD)	21
16	3 板方式ダイクロイックプリズム法	23
17	単板空間分割方式 1 体型ダイクロイックミラー法	24
18	単板空間分割方式 カラーグレーティング法	25
19	単板時分割方式カラーホイール法	25
20	ランプ構造と発光スペクトル	27
21	リフレクタ付きランプシステム	27
22	マイクロレンズアレイ技術	28
23	インテグレートによる画面の均一化	28
24	偏光変換技術	29
25	リアプロジェクションの画面サイズと奥行き	32

2 6	従来のリアプロジェクションの 折り返しミラーと奥行き	32
2 7	光軸シフト (従来レンズ方式)	34
2 8	投写レンズの光軸シフト	35
2 9	投写レンズの広角化	35
3 0	投写ミラー配置図	38
3 1	等価結像レイアウト図	39
3 2	(a) 凸レンズ 2 枚構成時での焦点距離と バックフォーカスの関係	40
	(b) 凸レンズ、凹レンズ各 1 枚構成時での焦点距離と バックフォーカスの関係	41
	(c) 凸レンズ 1 枚、凹レンズ 2 枚構成時での焦点距離と バックフォーカスの関係	41
3 3	3 枚ミラー投写光学系による リアプロジェクションと光路図	44
3 4	光学エンジンと M1 反射光束との干渉	45
3 5	4 枚ミラー投写光学系の基本構成	47
3 6	4 枚ミラー投写光学系による リアプロジェクション	48
3 7	光学系の設計フロー	50
3 8	バックフォーカス算出図	51
3 9	0.7 インチパネル用 4 枚ミラー +凸レンズ投写構成	56
4 0	0.7 インチパネル用 4 枚ミラー +凸レンズ投写光路図	57
4 1	0.9 インチパネル用 4 枚ミラー方式における 各ミラー面上のスポット形状	58
4 2	0.9 インチパネル用 4 枚ミラー構成の MTF	59
4 3	0.7 インチパネル用レンズミラー ハイブリッド構成の MTF	59

4 4	第4ミラー (M4) 上のスポット分布と スポット形状	62
4 5	スポット形状と面精度 (PV)	62
4 6	面精度 (PV) と MTF の関係	62
4 7	ミラー形状の誤差 (a) 模式図, (b) 画像歪	63
4 8	ミラー形状誤差と画像歪の関係	64
4 9	オフアクシススクリーン構成図	66
5 0	フレネルレンズの内部反射によるゴースト	67
5 1	スクリーン視野角実測値	67
5 2	リアプロジェクション色再現空間実測値と 他方式の比較	69

表目次

1	各種ディスプレイ比較・・・・・・・・・・・・・・・・	7
2	リアプロジェクションの光効率・・・・・・・・	8
3	各種分離・合成光学系・・・・・・・・	22
4	3枚ミラー方式リアプロジェクション仕様.....	45
5	0.9インチパネル用投写ミラー光学系仕様.....	49
6	システム上のパラメータと光束制御の関係.....	54
7	シミュレーション結果のまとめ・・・・・・・・	60
8	4枚ミラー投写光学系の基本仕様・・・・・・・・	69
9	リアプロジェクションTVの主な仕様・・・・・・・・	70

写真目次

1	プロジェクション方式の今後の展開・・・・・・・・・・	16
2	第4ミラー外観・・・・・・・・・・	64
3	リアプロジェクションTV外観・・・・・・・・・・	68
4	クロスハッチ画像・・・・・・・・・・	70
5	文字表示画像・・・・・・・・・・	70

第1章 序論

1.1 はじめに

近年、大画面で高精細なディスプレイに対するニーズが非常に高まっている。民生用 TV 市場においても、直視型液晶(LCD)TV やプラズマ(PDP)TV が価格の急激な低下とともに普及が進展している(図1)。2010年には新規購入TVはほぼ100%FPD(薄型大画面TV)になるであろう。一方リアプロジェクション方式のディスプレイは本来の低価格に加えて、最近画質面における技術革新が目覚しく、第三の大画面TVとして注目を集めている[1][2][3][4][5][6][7]。リアプロジェクションは従来CRT3管方式[8]が主流であったが、最近ではLCDや反射型素子などのマイクロディスプレイ(MD)を利用した方式が採用され、より高精細で高画質な映像が再現可能となってきた[9][10][11]。リアプロジェクションは北米市場では家庭用大画面TVとしてすでに大きな市場を形成している。本方式は低コストや低消費電力というメリットがあり、特に50インチ以上の大画面の領域でその特質が発揮されるからである。しかしながら本格的な普及のためには、従来のリアプロジェクションはその奥行きに問題があった。つまり映像の拡大投写に必要な光路長に起因して本体奥行きスペースが必要となり、本体薄型化に制約が生じていた。この点は、他の直視型LCD-TVやPDP-TVに対して最も差異の大きい点であり、今後の市場における地位を高める上でも、本体奥行き縮小は大きな課題である。

以上の課題を克服することを目的に、非球面ミラーを用いた新規なリアプロジェクション投写光学系を開発した。本光学系は、従来の投写レンズのみによる投写光学系とは異なる新規な非球面ミラー投写方式を開発することに

より、リアプロジェクション本体の薄型化を実現した。本光学系のキーパーツである非球面ミラーは樹脂成型による作製が可能であり、これに必要な形状及び精度の解析を行った。

さらに、本投写光学系に最適なスクリーンとしてオフアクシススクリーンを開発し、スクリーンのフレネル面の形状最適化やクロスレンチキュラーの搭載を行い、表示画面のゴースト低減や視野角の拡大を達成した。これら新しい技術の開発により、薄型で高品位な映像を表示するリアプロジェクションディスプレイを実現した。

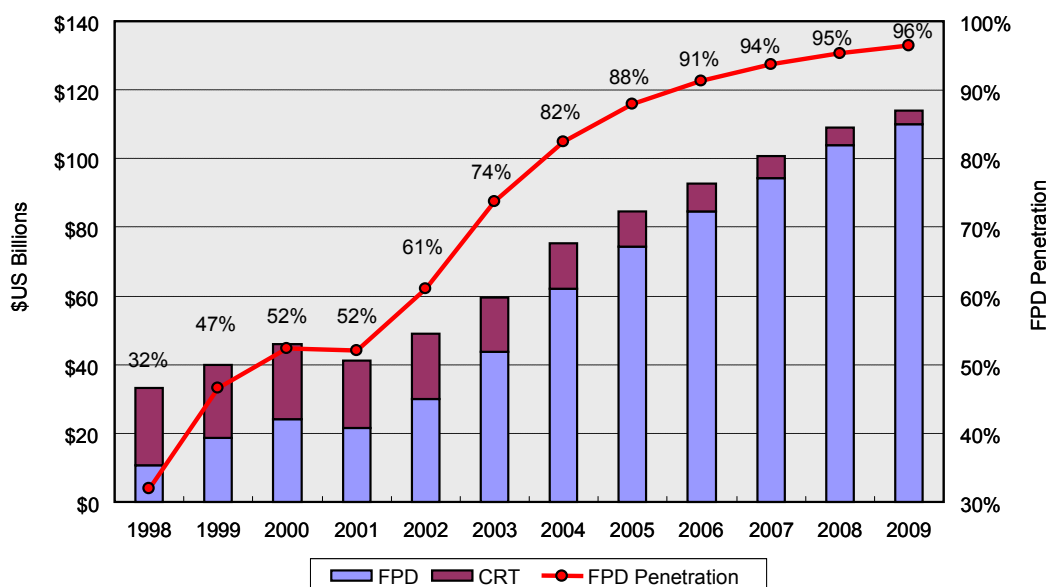


図1 大画面TV(FPD)の市場への浸透

(出典: DisplaySearch2005 Matsuno_FPD Market Overview)

1.2 大画面ディスプレイの現状

今日は情報化社会であり、我々は日常生活において非常に多くの情報を入手しながら生活をする様になって来ている。情報のうち 80%以上は視覚情報であり、この点からも電子情報を伝えるディスプレイの重要性は高まって来ている。従来の最も優れた電子情報ディスプレイは CRT (Cathode Ray Tube) であり白黒 TV からカラー TV、更にはハイビジョン TV までその貢献は非常に大きい。ハイビジョン映像は 40 インチクラスの大画面 TV ではじめて臨場感のある迫力ある映像を観察者に伝えることが出来、1950 年代に市場に出始めた TV は日進月歩で大型化の道を辿った (図 2)。よく知られているように CRT は 36 インチクラスが大型化の限界である。CRT が真空管であるという点が構造上、大型化に制限をもたらすばかりか、奥行きが非常に大きくなるという欠点も合わせて持っている。

40 インチの大画面の壁を越えるべく 1970 年後半より PDP (Plasma Display Panel) の研究開発がはじまり大画面薄型 TV として 1990 年代後半にようやく 40 インチ以上の TV が市場投入されるに至った。PDP は大画面という時代のニーズに応えるため NHK を中心とした関連企業グループが長年開発・改善を重ねた成果である。一方、1980 年代になると LCD の研究・開発が盛んになり 1990 年に入るとアクティブマトリクス技術の導入によって TV 映像を再生できるまで画質が向上した [12] [13]。当初 LCD はアクティブマトリクスに必要な TFT (Thin Film Transistor) を各画素に設ける必要のため歩留まりが悪く大型化は困難で、もっぱら薄型・高精細という特長を生かしたパソコン用のディスプレイ (10 インチ～15 インチ) として大きな市場を形成してきた。しかしパソコン市場の飽和と共に、PDP には遅れたが大画面 TV の巨大市場への進出が 2002 年以降始まった。これは巨大投資によって TFT の製造工程の技術が確立されたためであり LCD の画面サイズは 3 年で 1.35 倍に、解像度は 3 年で 1.7 倍になっている [14]。2006 年には 40 インチクラスの LCD-TV が市場に出ており、PDP との価格競争が激化している。画質等の性能面においては LCD, PDP 共に CRT と比べほとんど遜色のないレベルに達している。視野角、動画特性では PDP が優れており、消費電力、精細度ではやや LCD が優れていると言われている。また大画面ディスプレイは今後さらにフルスペックハイビジョンに向けた高精細化と共に、昨

今社会的なニーズとしての環境に負荷の少ない大画面 TV に向けた研究・開発が進められると思われる。即ち、持続可能な社会実現に向け以下の項目が TV 購入時のガイドラインとしてリストアップされ、グリーン購入の動きが始まろうとしている。

- 1) 使用時・待機時の消費電力が少ないこと。
- 2) 使用後の分解・素材のリサイクルが容易となる様に設計されていること。
- 3) 再生プラスチックが多く使われていること。
- 4) 鉛等の有害物質を極力含まないこと。

今後大画面 TV に対しては、このような環境に考慮した側面も重要視されていくことは間違いない。



図 2 TV 画面サイズの変遷

1.3 大画面ディスプレイにおけるリアプロジェクションの位置づけ

前述の様に、40インチ以上の実用化が困難な直視型CRTを除いたLCD、PDP、リアプロジェクションが現在大画面TV市場の主流となりつつある。本節では、大画面TVの性能・仕様という観点からリアプロジェクションを直視型のLCD、PDPと比較し、その位置付けについて考察する。

まず図3に各種ディスプレイのスクリーンサイズと解像度の関係を示す(ここではリアプロジェクションはマイクロディスプレイプロジェクションに包括して記載されている)。この図に示される様に、各方式に有利なスクリーンサイズと解像度はそれに用いられるデバイスの原理的な制約や製造条件に起因して決定される。これによるとリアプロジェクションは40インチ以上の領域に位置している。リアプロジェクションは光学的な拡大投写方式を用いるため、一部の光学系の最適化により様々なスクリーンサイズへの適応が可能である。従って製造設備等の投資によりスクリーンサイズへの対応が必要となる直視型のCRT、LCD、PDP-TVに比べ、リアプロジェクションは大画面化が容易な方式である。

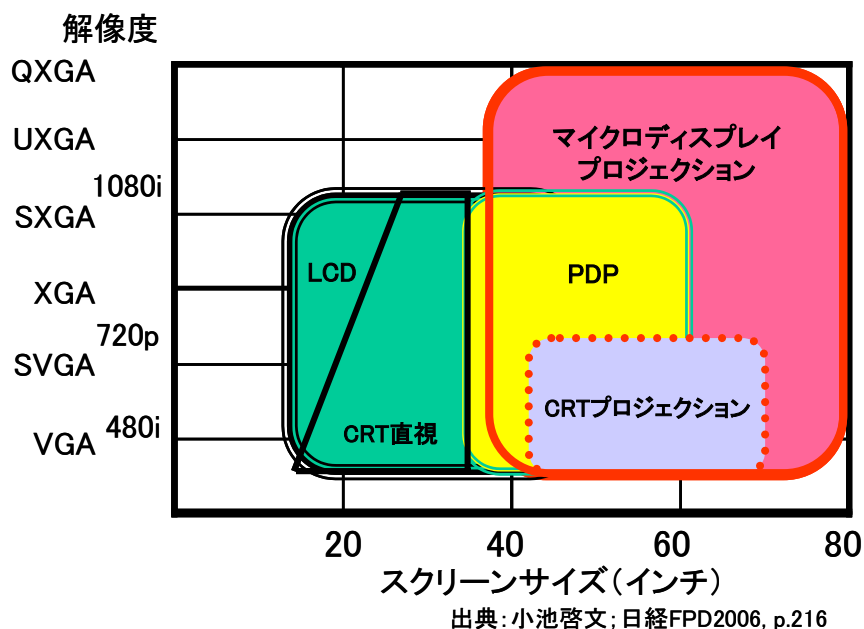


図3 各種ディスプレイのスクリーンサイズと解像度

また、解像度に関しても図 3 に示すようにリアプロジェクションディスプレイは画素の微細化が進み、解像度の点で一步ぬきんでている。例えば PDP は画素の構造上、ようやくフルハイビジョン解像度の商品が市場に投入されようとしているレベルである。大画面化と高精細化は時代の要求であり、この点からもリアプロジェクションは優位であることが分かる。

次にディスプレイとしての性能と画質に関する比較を行う。表 1 は性能緒元についてリアプロジェクションを PDP, LCD と比較したものである。画質においては視野角が PDP, LCD に比べ劣っている。リアプロジェクションの視野角が狭い理由は、投写レンズからの光を効率よく観察者の方向に出射するためにスクリーンのゲインを 3 以上に設定し、指向性を高くしていることに起因している。この点に関しては、ランプ出力向上により光出力が更に向上すればスクリーンゲインを 1 に近づけることが可能となり視野角を LCD, PDP 並みに広げることが可能と考えられる。

他の不利な点は光源の寿命であり、現状は数千時間でランプ交換を行って対応している。現在のランプ寿命は放電によるランプ電極の磨耗によるもので

- 1) 無電極ランプ
- 2) LED 光源
- 3) 半導体等のレーザ光源

のような新規な研究・開発中のランプが実用に供されると、この課題も早晚解決される。

他の画質面の性能に関してはコントラスト性能があげられるが、これも液晶配光膜の無機化や映像に適応した映像黒レベルの階調制御により改善が進みつつある。

一方設置スペースに影響する本体の奥行きに関しては、リアプロジェクションは他の 2 方式と比べて構造的に課題を有している。

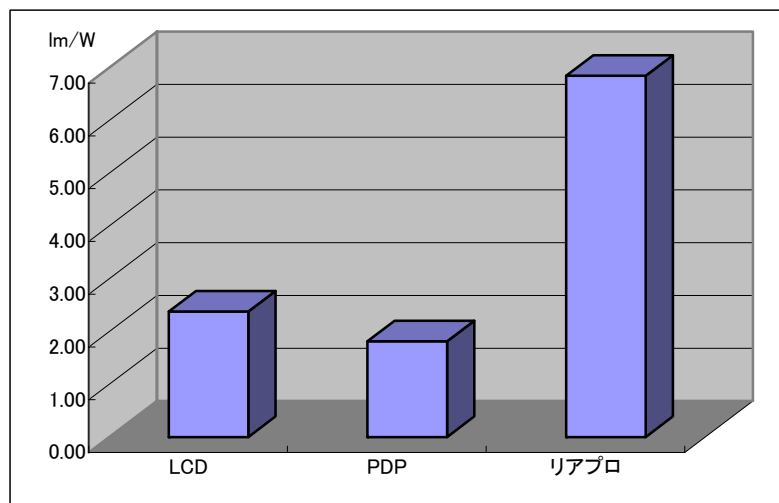
表 1 各種ディスプレイ比較

(寺本浩平; 日経 FPD2006, p.118)

		リアプロジェクション	PDP	LCD
大画面化		◎	○	△
消費電力	セット	◎	△	○
	パネル	◎	○	○
寿命	光源・バックライト	△	—	◎
	焼付性能	◎	△	○
奥行き		○	◎	◎
画質	解像度	◎	○	◎
	文字表示	◎	◎	◎
色再現性		◎	◎	◎
明るさ		○	○	◎
明所コントラスト		○	△	◎
暗所コントラスト		○→◎	◎	△→○
諧調性		○	○	○
視野角		△	◎	○
画面インチ単価		○	△	×

次に、光効率 (lm/W) という観点から比較を行なう。図 4 は 2006 年現在製品化されている LCD, PDP 及びリアプロジェクションの光効率を示したものである。これらを比較するとリアプロジェクションは他方式と比べ 2 倍以上光効率が良いことが分かる。これは発光効率の極めて良い UHP ランプやマイクロレンズ搭載のパネル等技術的改善が進展してきた事による。

表 2 には LCD リアプロジェクションの光効率の内訳を示している。LCD には偏光板が必須であり、ここで原理的に光量が 50%以下に減少するが、偏光変換素子により大幅に光をリカバーしている。またその他の光学部品でも大きな損失がないためディスプレイとしての全体の効率が良い。一方 LCD-TV においてはバックライトである蛍光管の効率は UHP 並みに高いがカラー化するための RGB 透過フィルタの効率が高々 30%に過ぎない。更に PDP に至っては、狭いセル空間での有効な陽光柱形成効率が悪いことに起因して、R, G, B 蛍光体励起のための紫外線の発生効率が 10%以下である。さらに前面ガラスパネルには長波長の可視光をもカットするフィルタを必要とする点も光効率を悪くしている。PDP の効率は現在実験室レベルで 5.0 lm/W までの効率アップが可能と言われているが、製品化される時期は未定である。



(L.F.Weaver;SID2006、SeminarLectureNote p.M-1,内田、内池 “フラットパネルディスプレイ”p. 475、三洋電機)

図4 デ스플레이の光効率比較

表2 リアプロジェクションの光効率 (三洋電機)

	効率 (%)	光効率 (lm/W)
UHP ランプ (リフレクタ込み)	100	60.00
偏光板	40	
偏光変換	180	
照明光学系	50	
LCD パネル	55	
投写レンズ	80	
反射ミラー	90	
スクリーン	80	
出射光	11.40	6.84

以上、リアプロジェクションを競合する PDP, LCD-TV と比較したが、画質面ではリアプロジェクションは視野角を除き他方式と遜色ないレベルに達している。

その他ランプ寿命に関しては、LED などの長寿命光源に関する研究が進められているが、もう一つの残された大きな課題として TV セットとしての奥行きがある。詳細は後述するがリアプロジェクションは表示原理上画像拡大のための光路長を必要とするため、ある程度の本体奥行きを必要とする。しかし大画面 TV の設置状態を考えた場合、LCD, PDP の様にディスプレイ本体が薄型であっても壁かけ可能な重量（約 10kg 以下）まで軽量化されない限り、実質的には奥行き約 30 cm 程度のスタンドに設置せざるを得ない。このような現実を考慮するとリアプロジェクションの奥行きを 30 cm 程度に薄型化することにより、LCD, PDP-TV に対する優位性が見えてくると考えられる。

1.4 プロジェクション方式の現状

リアプロジェクションはその特長である低価格で大画面が容易ということに加えて、省電力化、高画質化さらには、前述のグリーン購入の動きもあいまって、大画面 TV の一つとして普及が進んでいる(図 5)。また基本的な光学系をリアプロジェクションと同じくするフロントプロジェクタ(図 6)は 1990 年頃から業務用市場に出始め既に大きな規模に成長している。

図 7 はプロジェクション方式における解像度の改善を示している。開発当時は LCD パネル製造工程に a-Si (アモルファスシリコン) 法と高温 p-Si 法の 2 種類が混在しており、解像度も VGA (現状の TV の解像度) にも及ばなかった。その後信頼性の高い高温 p-Si 法が確立されると共に解像度も日進月歩を辿り、2004 年にはハイビジョンを超える水平 2000 ピクセル (画素数) の LCD パネルが開発され、2006 年には水平 4000 ピクセル超高解像度の LCD パネルがプロジェクション方式に供されるに至った。一方、大型 TV 用途の直視型の LCD や PDP は価格と技術的な問題でフルハイビジョン程度に留まっている。さらに解像度に関連してプロジェクション方式の優位な点は、R (赤)、G (緑)、B (青) の光の重畳合成でカラー画像を再生している点である。つまり白色の小さな点は R, G, B の同じ場所における重畳で形成されており小さな点の広がりも原理的には生じない。一方直視型の LCD や PDP は平面状にストライプあるいはモザイク形状に R, G, B の画素が配列されているため、白色表示の画素はプロジェクションの 3 倍に広がっている。白色に見えるのはスクリーンから離れた場合での目の解像度限界を利用したものである。大画面になればなるほど画素の大きさを目が分離区別できる距離は遠くなり色の解像感も劣化するとされている。RGB を重畳するプロジェクション方式では画面がいくら大型になろうとこのような解像度感の劣化は生じないという利点も併せ持っている。

更にプロジェクション方式では画面明るさの進歩も著しい(図 8)。開発から 10 年で 10 倍の明るさ (光量) に増加している。これは投写照明光学系の進歩や LCD パネル等マイクロデバイスの開口率の向上により光源からの光利用効率が向上した上に、光源として使用しているランプの著しい改善が進んだためである (2.3 項参照)。解像度と明るさの進歩は主に業務用途のプロジェクタにおいてなされた技術であるが、これらの技術はリアプロジェクション TV にも反

映されてきた。その結果リアプロジェクション TV の画質が向上し、普及するに至った。

またプロジェクション方式の利点の1つに製造時における設備投資額が少なく済むという点がある。直視型 LCD-TV 用の大型 LCD パネル製造には 1000 億円以上の巨額の設備投資が必要であり、PDP においても数 100 億円の投資が必要である。一方、リアプロジェクション TV 用の LCD パネルは高々1 インチ程度であり設備投資金額は桁違いに小さい。さらにスクリーンサイズの異なるリアプロジェクション TV に新たな設備を導入することなしに対応できるのも大きな特長である。

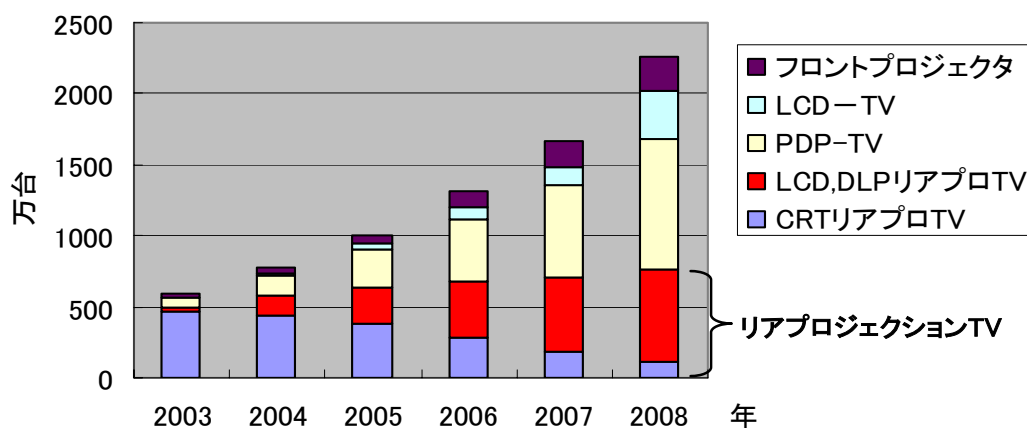
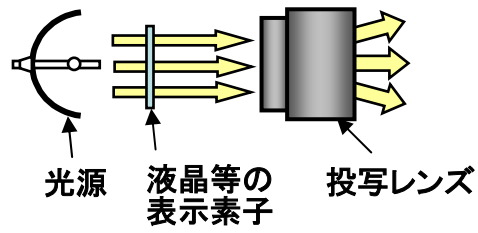


図 5 40 インチ以上の大画面ディスプレイ棲み分け

(出典:i-Suppli Television Systems Market Tracker 2005)



リアプロジェクションTV フロント
プロジェクタ

図6 プロジェクションの投写光学系と
リアプロジェクションとフロントプロジェクタ

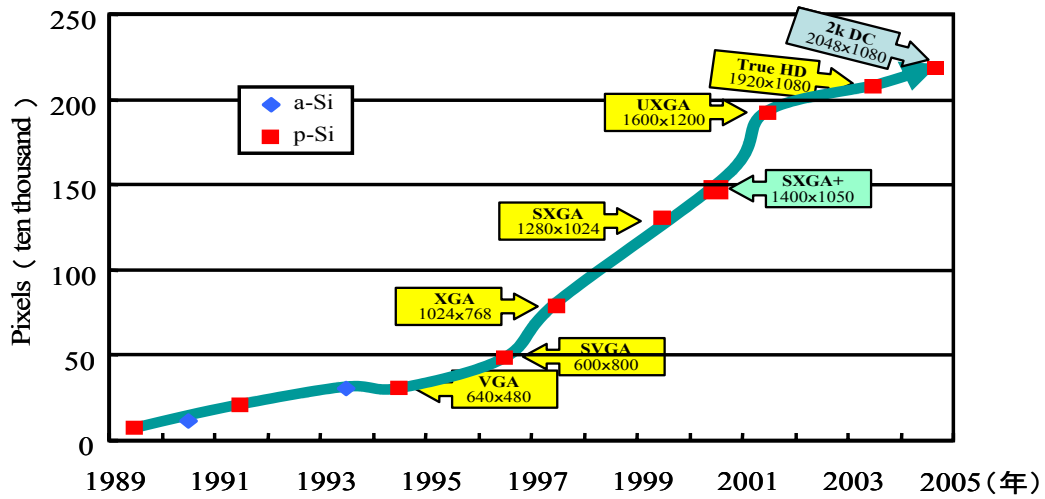


図7 プロジェクション方式の高解像度化 (三洋電機)

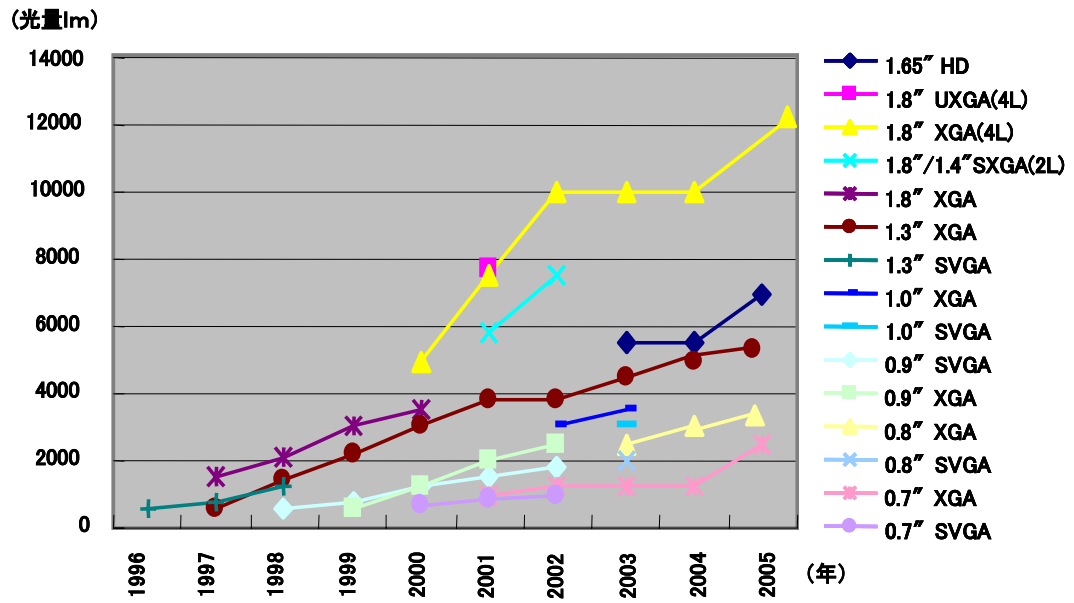


図 8 プロジェクション方式の高輝度化 (三洋電機)

1.5 プロジェクション方式の今後の動向

TV のスクリーンが大型化を辿る傾向のある今日、TV セットの省電力化が一層重要になって来る事は既に述べた。各種ディスプレイデバイスを利用した大画面 TV の消費電力（2005 年現在）を図 9 に示す。横軸はスクリーンサイズで縦軸は電力（W）である。2005 年に業界では 1 m² のスクリーンの大きさに 580W という基準を設けている。PDP は開発当初から LCD に比べ消費電力が大きいと言われてきたが、蛍光体の発光効率の改善や映像処理技術の改善もあり同じスクリーンサイズでは LCD と比肩するまでになったとも言われている。しかし LCD も PDP もスクリーンサイズと共に消費電力が増大するのは避けられない。

一方、40 インチ以上の大型で利用されているリアプロジェクションは LCD, PDP よりも消費電力が小さく、またスクリーンサイズが大きくなっても電力の増大がほとんど無いため、50 インチ以上のエリアにおけるその優位性は非常に大きい。これは投写光学系の調節だけでスクリーンサイズの変更が容易なためである。この様な利点を活かしリアプロジェクションの市場は今後さらに拡大が予想されている（図 10）。方式別には従来の CRT を用いた方式から、年率 20～30%の伸張が予想されるマイクロディスプレイ（MD）方式にシフトする動きが顕著である。

また、プロジェクション方式の大きな特長は、小型のディスプレイデバイスに光を入射し、100 インチ以上の大型のディスプレイまでシステムアップできる点にある。従ってフロントタイプの業務用ハイエンドプロジェクタがシネマ用途等向けに、さらなる高輝度・高解像度を伴って開発されて行くであろう。シネマ用途では、今後臨場感の向上目的で立体化の動きもあり、プロジェクションディスプレイのさらなる進展が期待されている。さらには一方で LED やレーザを光源とする超小型プロジェクタもエンターテインメントや車載用途として期待されている（写真 1）。

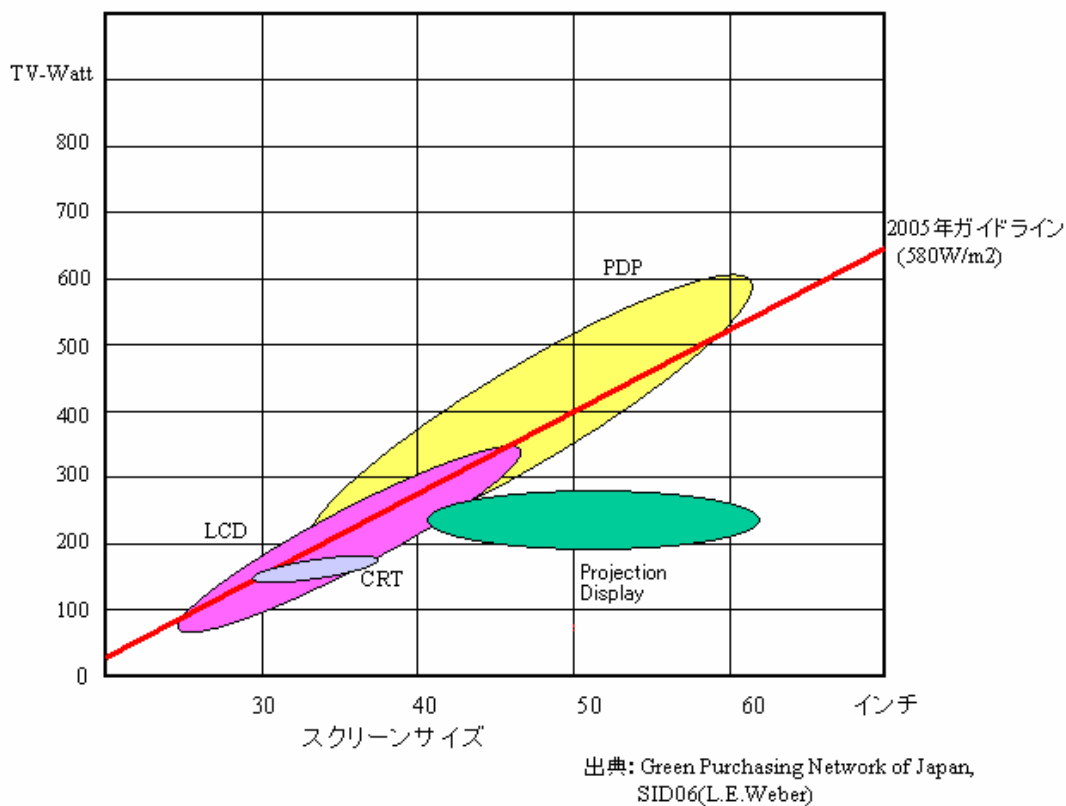


図9 各種ディスプレイデバイスによるTVセット電力

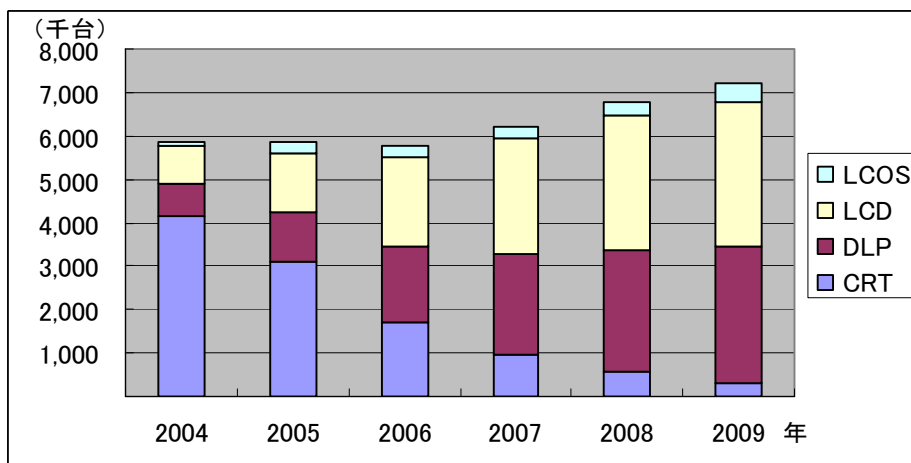


図10 リアプロジェクションの市場規模予測
(i-Suppli Television Systems Market Tracker 2005)



業務用高輝度プロジェクタ



小型パームトッププロジェクタ

写真 1 プロジェクション方式の今後の展開(三洋電機)

第2章 リアプロジェクションの原理

2.1 はじめに

前述の様に、リアプロジェクションはフロントプロジェクタと共に急速な技術進展を遂げ、LCD・PDP-TV と並んで大画面 TV として注目を集めている [1] [2] [3] [4] [5] [6] [7].

リアプロジェクションの要素技術である表示素子 (マイクロディスプレイ) を始め光学素子、光源などの要素技術の進歩は相乗的に影響し、輝度、解像度、コントラスト、色再現性といったディスプレイにとって必要な性能を向上させてきた.

本章では、リアプロジェクションの重要な基本技術であるマイクロディスプレイの原理について述べると共に、映像を拡大投写するための光学エンジンに搭載されている光学技術及びランプ光源に関して言及し、本格的な普及のための課題についても考察する.

2.2 各種マイクロディスプレイ

リアプロジェクション用ディスプレイデバイスに要求される特性は、小型・高精細で光の利用効率が良く、さらに高エネルギーの光照射に対して損傷が生じないという事である。図11に代表的なディスプレイデバイスを示す。ここではCRTを除くデバイスについて簡単に述べる。

① 高温 p-Si LCD (透過型液晶)

現在最も良く利用されている投写用ディスプレイデバイスである。マイクロディスプレイデバイスの中では最も量産実績があり信頼性も高い。表示サイズは対角約0.5インチから約2インチまでである。解像度のグレードとしては480i, VGA, SVGA, XGA, SXGA クラスからフル HDTV, UXGA クラスまでがすでに量産されている。透過型の本質的課題と言われた開口率による光利用効率の劣化も従来50%以下の開口率が一般的であったものが、画素マイクロレンズの搭載や液晶製造工程の改善により、現在では70%以上のもも存在し、画素の高精細化と高光利用率の両立が可能となってきた。

良く知られているように、LCDは画素ごとにTFT(Thin Film Transistor)が設けられたことによりコントラストや表示階調における高画質化が達成され、単なる文字表示用途からTVなどの動画表示が可能となった。このTFTについては、比較的容易な製造工程によるアモルファスシリコンを利用して大画面での歩留まりを向上してきた経緯がある。アモルファスシリコンは比較的低温の処理工程での製造が可能であるが、使用動作温度が低くプロジェクション用途には不十分であった。これを解決したのが“高温 p-Si LCD”である。本方式では p-Si を高温の工程で処理するため、LCD パネルの耐熱性、耐光性が著しく向上した。LCD プロジェクション方式が提案された1989年から1994年頃までは市場に両方式が混在していたが、現在は全ての透過型 LCD が高温 p-Si に置換えられている。その構造断面図を図12に、パネルサンプルを図13に示しておく。

② Si ベース液晶 (LCOS:反射型液晶)

高温 p-Si タイプより小型・高精細化が容易なデバイスである。構造的に Si 基板上に LSI 駆動回路、液晶層、反射ミラー部が設置されているため、

LCOS(Liquid Crystal on Silicon)と呼ばれている(図14参照)。

1インチ以下の小型サイズでSXGAクラスの高精細パネルが供給されており、更なる高精細化も計画されている。2000年にはすでに1.3インチでQXGAの高精細パネルも発表された。前述の様に駆動回路がアルミ反射電極の下に形成されているため画素の開口率が高いのも特長である。画質上課題であったコントラストに関しても、垂直配向液晶の採用による改善などの進展が見られる。製造工程が前記透過型パネルよりも単純であり低価格化が期待できる。また強誘電液晶を採用した高速応答パネルによる時分割の単板方式も提案されている。現在は、国内メーカーの他、特に米国・台湾ベンチャーを中心に盛んに開発されており、業務用途の高精細プロジェクタへの市場投入を始め、リアプロジェクションTVへの採用も進んでいる。

③ DMD(Digital Micro-mirror Device)

米国TI社が長年の研究の末、開発したデバイスで、反射型のフルデジタル表示デバイスである。各画素はマイクロミラー(約 $15\mu\text{m}$ 角)で構成され、このミラーが静電気力で変位することにより光の反射方向を2方向に変化させる(図15)。完全なデジタル駆動であり、しかもマイクロミラーの表示応答速度が $5\mu\text{sec}$ と高速であるためRGB時分割単板方式が可能である。LCDが単板方式実現に対して技術的な課題を残しているのに対し、DMDは既に実用化に対して高い実績を有している。解像度の点ではSXGAまでの高精細化が進められる一方、画素ピッチ自体も最近さらなる微細化が図られ、高温p-Siデバイスと並ぶ市場シェアを確保している。

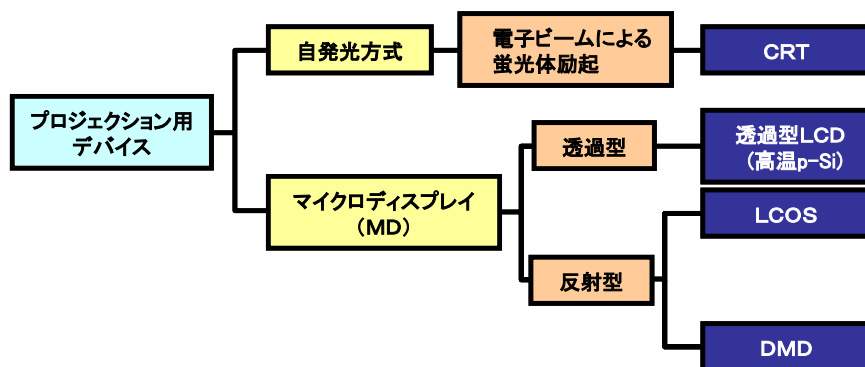


図11 ディスプレイデバイスの分類

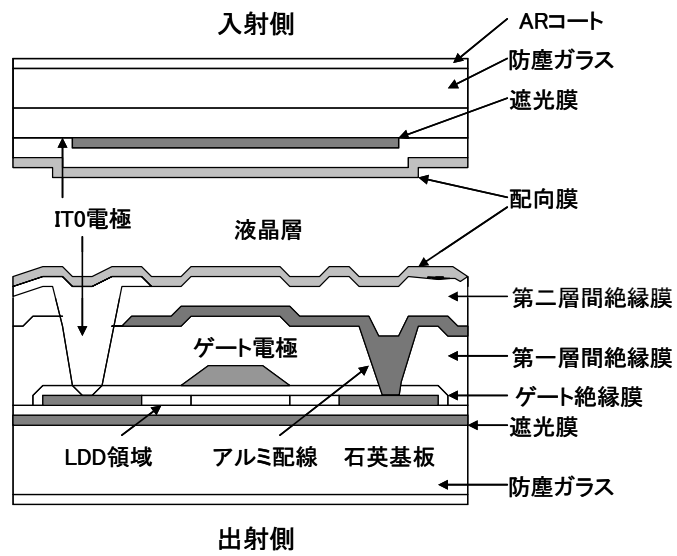


図 12 高温 p-Si LCD の構造



図 13 高温 p-Si パネルの外観

(1.3 インチ 1080p ワイド対応, セイコーエプソン資料より)

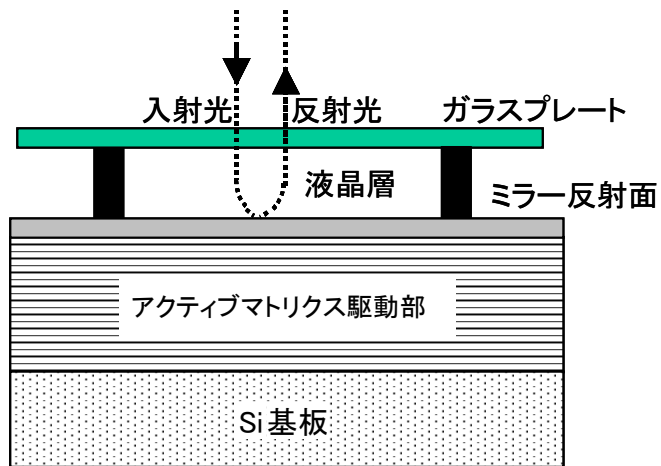


図 14 反射型 Si ベース LCD (LCOS)

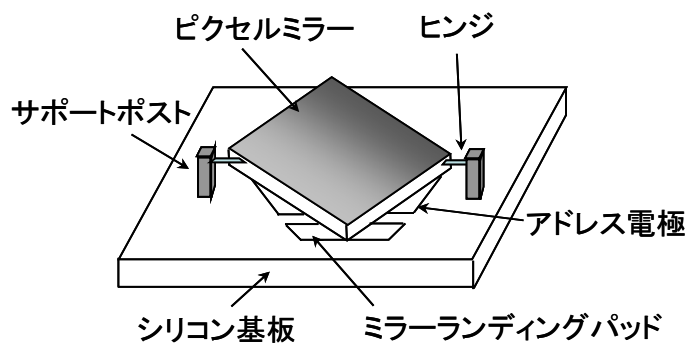


図 15 反射型ミラーデバイス(DMD)

2.3 光学エンジンと要素技術

光学エンジンは光源からの光を効率良くディスプレイデバイスに照射して投写光学系に導くためのプロジェクションの最重要部分である。以下に現在のプロジェクションシステムに採用されている最新技術について述べる。

①光分離・合成光学技術

一般にリアプロジェクションでは、白色光源から RGB 三原色への分光を行いそれらを小型ディスプレイデバイスに照射し、カラー表示を可能にしている。RGB 三原色への分離、およびディスプレイデバイスからの出射後の光合成方法については、使用するディスプレイデバイスにより以下の方式が提案されている（表3）。

表3 各種分離・合成光学系

方式	光学系	使用可能なディスプレイデバイス
1) 3板方式:RGB 用に3倍の表示素子を使用		
	<u>ダイクロイックプリズム</u>	<u>透過型 LCD、反射型 LCD、DMD</u>
	<u>ダイクロイックミラー</u>	<u>透過型 LCD</u>
	<u>その他のプリズム方式</u>	<u>反射型 LCD</u>
	<u>オフアキシス型</u>	<u>反射型 LCD</u>
2) 単板空間分割方式:1枚のデバイスに R,G,B 専用の画素を形成		
	<u>1体型ダイクロイックミラー</u>	<u>透過型 LCD+マイクロレンズ</u>
	<u>カラーグレーティング</u>	<u>透過型 LCD+マイクロレンズ</u>
	<u>ホログラムカラーフィルタ</u>	<u>反射型 LCD+ホログラム</u>
3) 単板時分割方式:1枚のデバイスで時間的に順次 R,G,B を再生		
	<u>カラーホイール</u>	<u>反射型 LCD(強誘電等)、DMD</u>
	<u>カラースイッチフィルタ</u>	<u>反射型 LCD(強誘電等)、DMD</u>

以下、アンダーラインで示した重要な方式について述べる。

3板方式 ダイクロイックプリズム法 [9] [10] [11] [12] [13]

フロントプロジェクタで開発された完成度の高いシステムであり透過型 LCD を利用したプロジェクタはほとんどこの方式である。性能的にも高精細、高輝度、高いコントラスト比が得られている。コア部品であるダイクロイックプリズムは、要求加工精度が高くコスト的にも改善の余地があり、部品として標準化がされていない（セットメーカーにより設計仕様が異なる）という課題があるが、2006 年業界でコンソーシアム（MDDP）が結成されたので今後標準化が期待される。反射型 LCD ではダイクロイックプリズムを使用しない分離・合成光学系が提案されており今後低価格な構成として期待されている。図 16 に 3 板ダイクロイックプリズム法の光学系を示す。

光源ランプから出た白色光は先ず 2 枚のダイクロイックミラーで R, G, B 光に分離された後、各 LCD パネルに入射する。パネルを出た光はダイクロイックプリズムにて合成されカラー画像となり投写レンズにて拡大投影される。

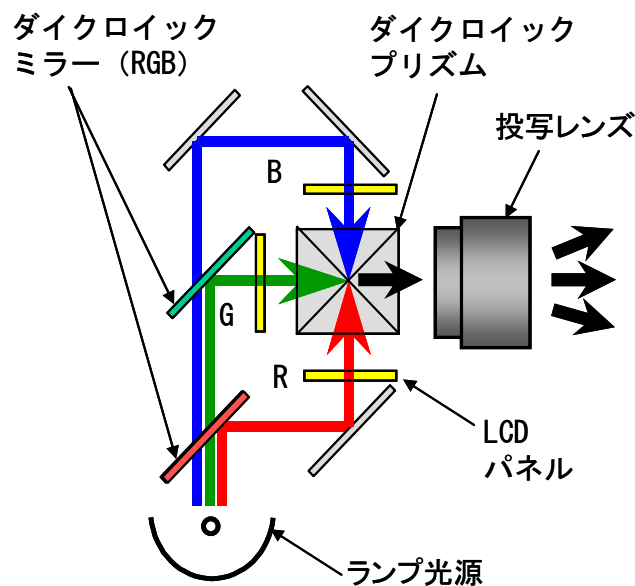


図 16 3 板方式ダイクロイックプリズム法

単板空間分割方式 1 体型ダイクロミックミラー法 [15] [16] [17]

入射光に対し角度の異なる 1 体化された 3 枚のダイクロミックミラーを用いて分離された R, G, B の光をマイクロレンズ付き LCD パネルに入射することにより 1 枚の LCD パネル上に R, G, B 用の画素を形成する方法である (図 17). LCD パネルが 1 枚で低価格なシステムであるという大きな利点を持っているが、1 枚の LCD で R, G, B 色全ての画像を表示するため解像度の点で不利であり、今後高精細 LCD の開発が待たれる。

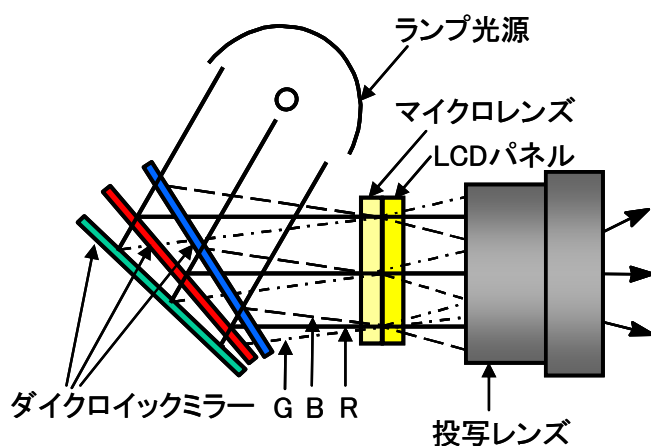


図 17 単板空間分割方式 1 体型ダイクロミックミラー法

単板空間分割方式 カラーグレーティング、ホログラムカラーフィルタ法

[18] [19] [20] [21]

R, G, B 三原色への分離手段に回折素子を用いた方法で、前述の単板 1 体型ダイクロミックミラー法以上に簡単で低価格化が期待できる。図 18 にその構成例を示す。本方式は高精細な LCD パネルが必要であるが R, G, B 三原色への分離を 1 枚の回折素子で行うため、光学部品コストが低減され、回折素子と LCD パネルとの間に高精度な位置合わせの必要が無いため構造的にも構造が簡単で、低価格プロジェクションシステムとして期待されている。一方で反射型 LCD パネルの上にホログラムカラーフィルタを装着した光学システムも開発され、50 インチリアプロジェクション TV に使用されている。

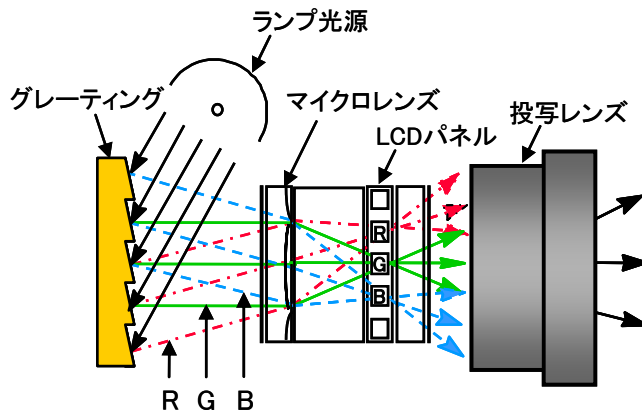


図 18 単板空間分割方式 カラーグレーティング法

単板時分割方式 カラーホイール法 [22] [23] [24] [25]

ディスプレイデバイスに DMD を採用する場合、この方式が適用される。カラーホイールは、円盤状の色分割されたカラーフィルタが回転して順次 R, G, B の光を高速応答表示可能な DMD 等の反射型素子に照射してカラー映像が表示される (図 19)。フロントプロジェクタですでに商品化されており、構造が簡単な光学系であるため低コスト化が重視されるリアプロジェクションTVへの応用も進められている。回転機構をなくした電子的な時分割カラーフィルタの開発報告もあるが、まだまだ研究段階であり、光源からの光利用効率が低いのが現状である。

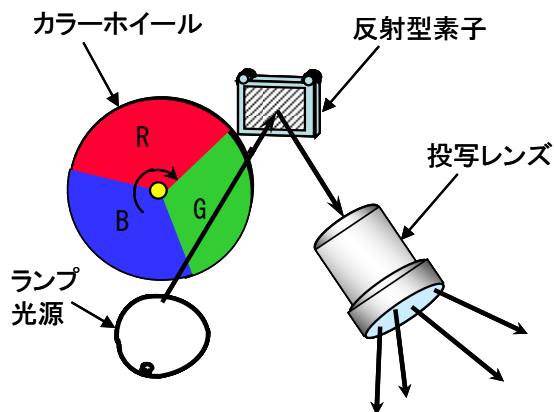


図 19 単板時分割方式カラーホイール法

② 超高圧水銀ランプ (UHP) 技術

プロジェクションディスプレイにおいては光源もまた重要な要素技術である。光源用のランプに要求されるのは、平行度の高い光線を発生し R, G, B 光を適切な割合で有し (高演色性)、発光効率が高く長寿命であることである。このような要求をほぼ満足しているのは超高圧水銀ランプ (UHP: Ultra High Pressure) である。特に良好な光の平行度と十分な光量はプロジェクションシステムの実用化に大きく貢献してきた。図 20 は超高圧水銀ランプの構造及び発光スペクトルである。高圧印加により電極間でアーク放電が発生し、励起された水銀とメタルハライドガスが発光する仕組みになっている。発光管はアーク電流により高温になるので耐熱性に優れた石英ガラスが使用されている。放電電極も耐熱性に優れたタングステンが使用されているが、アーク電流による摩滅が生じるので現状では数 1000 時間の寿命である。これはディスプレイシステムの寿命が数万時間要求されていることを考慮すると短く、現在はランプ交換にて対応している。またこのランプは R, G, B の可視光以外に不要な赤外と紫外の光も発生するのでこれらは照明光学系に入射しないよう多層膜光学フィルタで遮断される。光線を出来るだけ有効に利用するため反射膜付き放物面形状のリフレクタがランプ周りに固着されている (図 21 参照)。発生する光線の平行度を向上させるためにはアークギャップを出来るだけ小さくして“点光源化”することが重要である。ランプ寿命と点光源化は相反する要求であり、ギャップ 1.0~1.5mm のランプが現在主流である。

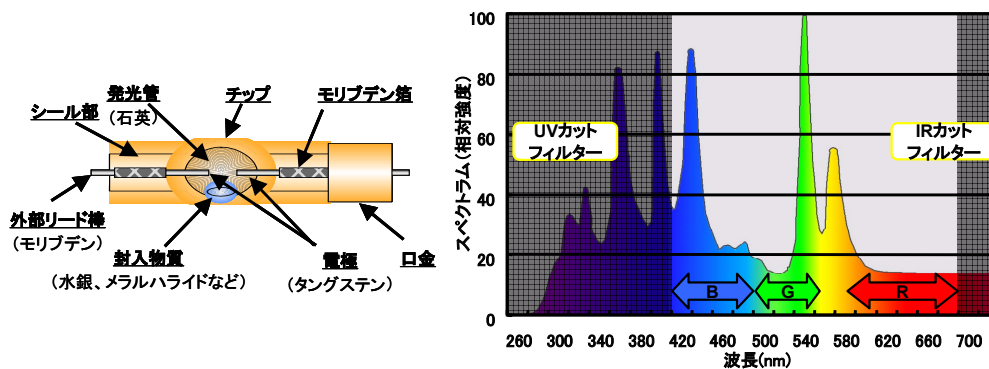


図 20 ランプ構造と発光スペクトル

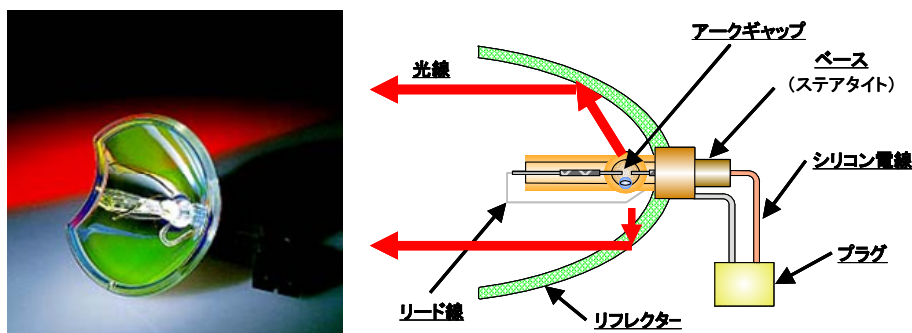


図 21 リフレクタ付きランプシステム

③ マイクロレンズアレイ技術

現在のプロジェクションシステムの主流である透過型 LCD パネルにおいては前述のように画素毎にトランジスタ (TFT) が設けられている。更にコントラスト向上のためのブラックマトリクス (BM) や配線等があるため実質的に入射光が通る開口率は多くの場合約 50% に留まっている。この実質開口率を向上させた技術が各画素に精度良く位置合わせされて設置されたマイクロレンズアレイである。この技術により実質開口率は約 1.5 倍に向上し、高輝度化に大きく貢献している。図 22 はこの様子を示したもので、画素に対応した BM に位置合わせされた凸レンズ状のマイクロレンズアレイにより入射光が集束され BM の開口を効率良く透過する。この技術は透過型 LCD に限らず表 3 に記載されている単板方式の空間分割法のパネルにも採用され高輝度化だけではなく色分離にも利用されている。

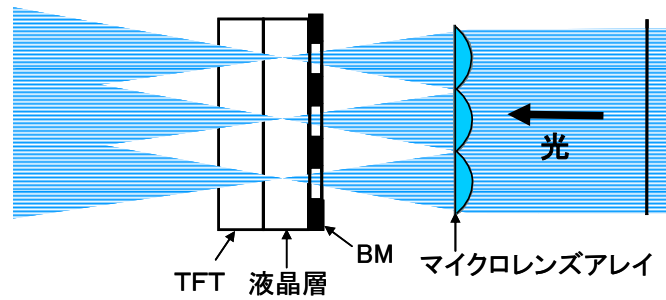


図 22 マイクロレンズアレイ技術

④ インテグレート技術

ランプから出た光束は分布を持つため一般に画面の中心程明るい領域が集中する．一方ディスプレイ画面としては均一な光量的分布が望まれる．これを達成した技術がハエの目状のレンズ群を用いたインテグレートである．インテグレートは第1、第2の2枚で構成され、第1インテグレートの各レンズに入射した光束は第2インテグレートにより LCD パネル全体に重畳して照射されるように設計されている（図 23 参照）．これにより第1インテグレートの各レンズに入射した明るさの異なった複数の光束は LCD パネル全面に集められるため積分され大きく均一化される．この技術によりプロジェクションの画質は著しく改善されたという経緯がある．

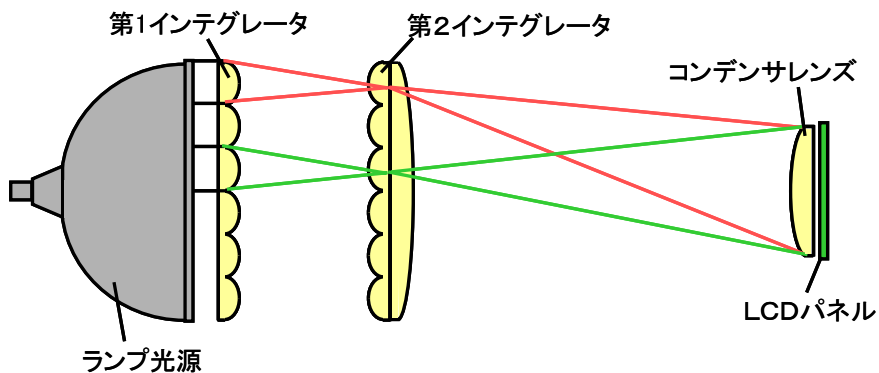


図 23 インテグレートによる画面の均一化

⑤ 偏光変換技術

ランプから出射される光は P, S 両偏光を等しく含んでいる. 一方 LCD パネルは、原理的に P 偏光か S 偏光の一方の偏光成分しか利用できない. 従ってランプからの光は 50% しか有効利用できないことになる. プロジェクション方式では図 24 の様に偏光ビームスプリッタ (PBS) と位相差板からなる偏光変換素子を前述のインテグレータ部に装着し、光量のリカバーを行っている. 具体的には P 偏光と S 偏光を先ず PBS で分離した後、位相差板により偏光方向を P, S どちらか一方に揃えることで LCD での光透過率を向上させている. これにより LCD を用いたプロジェクションディスプレイの輝度を著しく向上している.

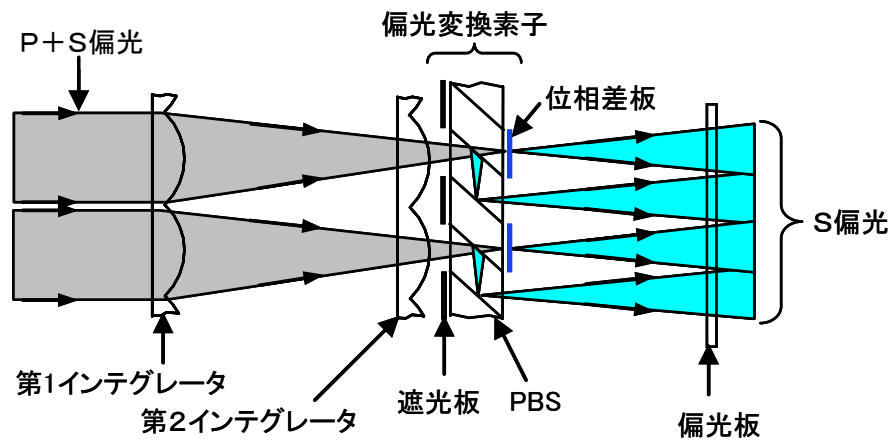


図 24 偏光変換技術

第3章 リアプロジェクションの課題

3.1 リアプロジェクションの現状

前章でとりあげた全ての要素技術がリアプロジェクションディスプレイに適用された結果、リアプロジェクションは、LCD, PDP の画質に匹敵するまでに至った。また TV はその普及率の高さにも起因して、家電商品の中でも年間消費電力の点では冷蔵庫について大きいだけに、リアプロジェクションの消費電力における優位性は今後の環境負荷低減に役立つものと思われる。

その一方でリアプロジェクションには直視型 LCD や PDP と比べて 2 つの不利な課題が残存している。1 つはリアプロジェクション TV の本体奥行きであり、他は光源用ランプの寿命が十分ではないという点である。後者の課題は従来の放電型のランプに代わって今後の LED やレーザ光源の開発によって早晩解決されると予想される。また一方の課題である奥行きに関して、従来のリアプロジェクション TV セットがどれくらいになるかを横軸画面サイズで調べたのが図 25 である。今後ハイビジョンの普及と共に 16:9 の横長スクリーンになると想定しても 40~50 インチで 40 cm 程度の奥行きが最低限必要とされ、LCD, PDP (本体は約 10 cm、設置スタンドを含めて約 30 cm) と比較して不利である。図 26 は従来方式のリアプロジェクションの光学系と本体奥行きの関係を示したものである。

奥行きの問題は本論文の主題として詳しくは後述するが、セットの背面に設けている大型の平面ミラーを斜めに配置せざるを得ないということに大きく起因している。この大型の平面ミラーを新しい光学系によって無くすか垂直に設置することができれば大幅に奥行きを軽減でき、リアプロジェクションの重要な課題を解決できる。

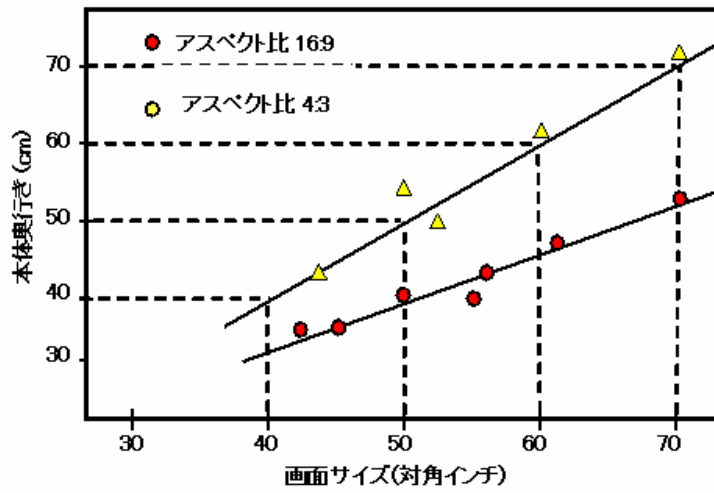
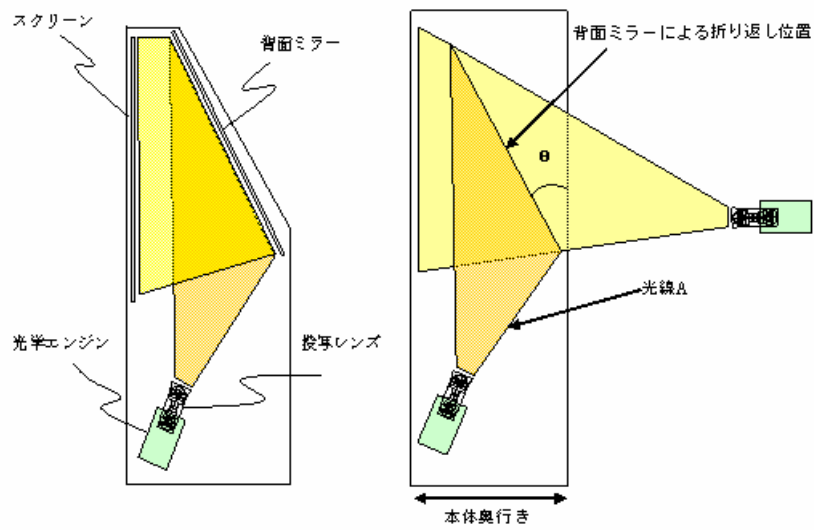


図 25 リアプロジェクションの画面サイズと奥行き



リアプロセット 背面ミラーによる折り返し

図 26 従来のリアプロジェクションの折り返しミラーと奥行き

3.2 従来リアプロジェクションの奥行き限界

図 26 に示す様に従来の一般的なリアプロジェクション光学系では光路折り返しのための背面ミラーが設置されているが、この背面ミラーの傾斜角度 θ は、本体奥行きを最小化と投写光線 A とスクリーンとの干渉回避を考慮して決定される。本体奥行きはこの背面ミラーの奥行き方向のサイズ ($\sin \theta$ に比例) によりほぼ決定される。ここで奥行きを更に薄くするためには背面ミラーの傾斜角 θ を小さく設定する必要がある。しかしながら、傾斜角 θ を低減しようとしても、光学エンジンとスクリーン下端との干渉が発生し、それが物理的限界となり一定以上の薄型化を図ることが不可能であった。投写レンズ方式による従来リアプロジェクションでは、この物理的限界によりスクリーンサイズと本体奥行きの関係が比例的に定まることになる。これにより LCD や PDP の薄型大画面 TV の奥行きと比較して不利であるのは明らかである。

従来投写レンズ方式においては本体薄型化の解決案として光軸シフトと投写レンズの広角化が実施されてきた。まず光軸シフトについて述べる。奥行きを薄くするためには上述の物理的干渉を避けながら背面ミラーの傾斜角 θ を小さく設定すればよい。図 27, 図 28 のように、一般的にプロジェクタでは投写レンズは LCD パネルに対してシフト(偏心)することにより最終のスクリーン投写位置を上部にシフトさせる事が可能である。この機能により、図 26 の背面ミラーの傾斜角度 θ を小さくすることが可能となり、奥行きを低減できる。ところがここで大きな問題がある。投写レンズのシフト量を大きくすると投写レンズ前玉の大型化を招き、色収差、歪曲収差、MTF などのレンズ性能を確保することが困難になる。そしてレンズの大型化はコストアップを招くことになる。もう 1 つの手段である投写レンズの広角化 (図 29) についても、光軸シフトと同様に投写レンズ前玉の大型化に起因する各種収差の補正限界が存在する。光軸シフトと広角化がなされても図 25 で示した奥行きが限界である。

本論文ではこの様な課題に鑑み、リアプロジェクションの奥行きを低減するために行った新規な曲面ミラー投写光学系に関する研究結果について述べる。加えて奥行き低減に伴いスクリーンに入射する光が必然的に斜めから鋭

角にならざるを得ないため、観察者に有効に光が到達しない現象が生じる。従ってミラー投写光学系の性能を十分に引き出す専用スクリーンの研究・開発もあわせて行ったのでその詳細を述べる。

その研究内容をまとめると以下通りとなる。

1. 新規なミラー投写光学システムの考案
2. 本方式のミラーシステムの光学設計
3. 設計に基づくミラーの試作・評価
4. ミラー方式に最適なスクリーンの設計・試作
5. 上記研究・開発技術を用いた 50 インチリアプロジェクション TV の試作

次章よりこれら研究内容の詳細を述べる。

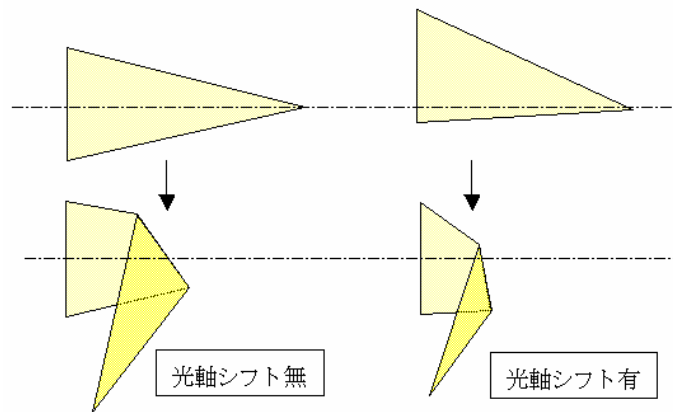


図 27 光軸シフト（従来レンズ方式）

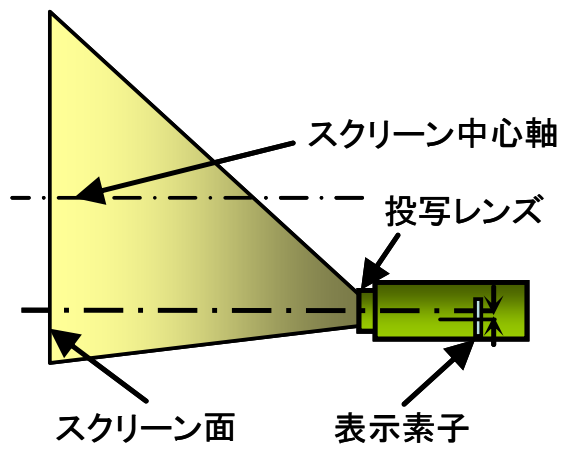


図 28 投写レンズの光軸シフト

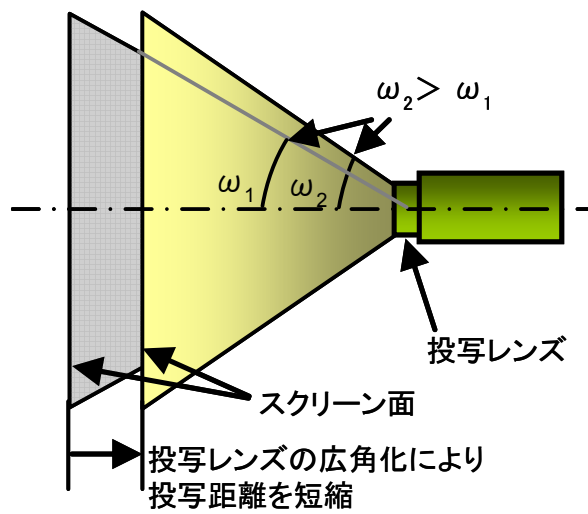


図 29 投写レンズの広角化

第4章 ミラー投写光学システム

4.1 ミラー投写光学システムの優位性

本節ではミラーを用いた投写光学系の優位性について論じる [29].

前述の様に、リアプロジェクションの薄型化を図る場合、従来型の投写レンズのみによる手法では、各種収差、レンズの大型化、コストアップを伴い、抜本的な薄型化に限界があった。一方でミラー投写光学系による薄型化には、以下の様な長所が存在することが判明した。

- ① 色収差特性における優位性：投写レンズ方式で薄型化を目的として大きな光軸シフトを行った場合、広角投写光学系の最終段に大きな負のパワーを持つレンズを使用する必要が生じ、これにより大きな色収差が発生する。これを補正するためには色消し用のレンズを複数枚使用する必要があり、困難な収差補正を伴うと共に、レンズ構成の複雑化、高コスト化を招く。しかしながら非球面ミラーは反射に基づく光束制御を行うために色収差が全く発生しないメリットがある。
- ② 画像歪補正における優位性：複数ミラーからなるミラー投写方式を構成した場合、各画角の光束が最終ミラー面上においてほぼ独立した位置に到達するため各光束の指向性を最終ミラーの面形状によって独立制御することが容易になり、映像の歪曲を補正するのに有効である。

今回この様な優位性をもつミラー投写方式として、複数の非球面ミラーからなる投写方式を研究・開発した。更に1枚のレンズとミラーのハイブリッド投写光学系をも開発したので以下に述べる。

4.2 3枚ミラー投写光学システム

4.2.1 投写原理

前節において非球面ミラーを利用した投写光学系はリアプロジェクションシステムにおいて大幅な薄型化に有効な技術であることの可能性を示した。本節ではこのような投写方式の原理について述べる。以下、事例として最初に開発した3枚の曲面ミラー投写光学系に関して述べる。

図30にミラー3枚の配置図、図31にレンズを用いたストレート系の等価結像レイアウト図を示す。

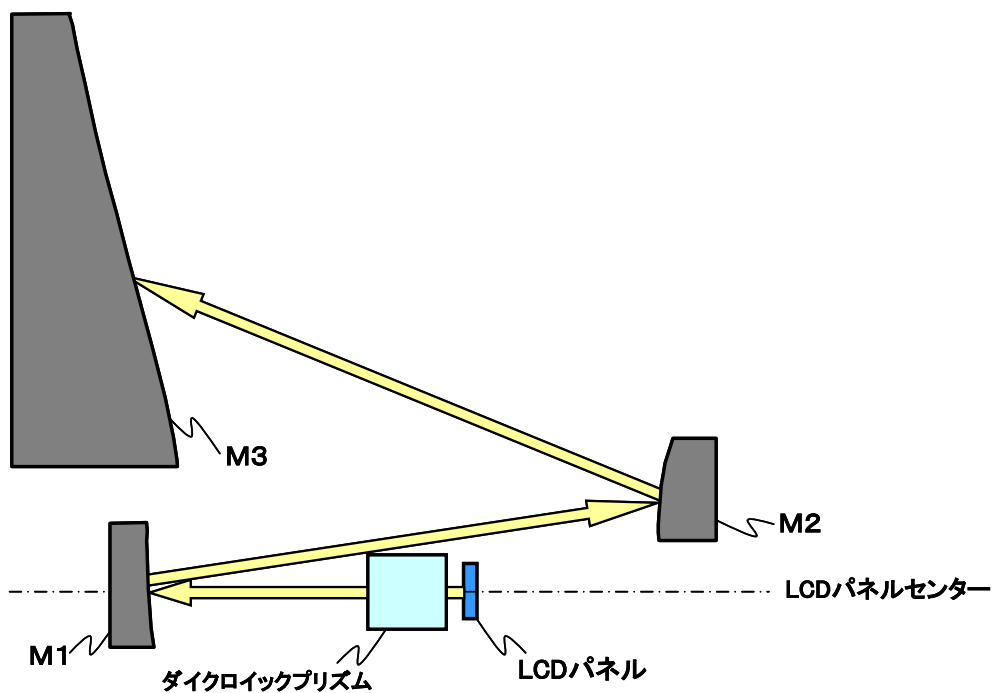


図30 投写ミラー配置図

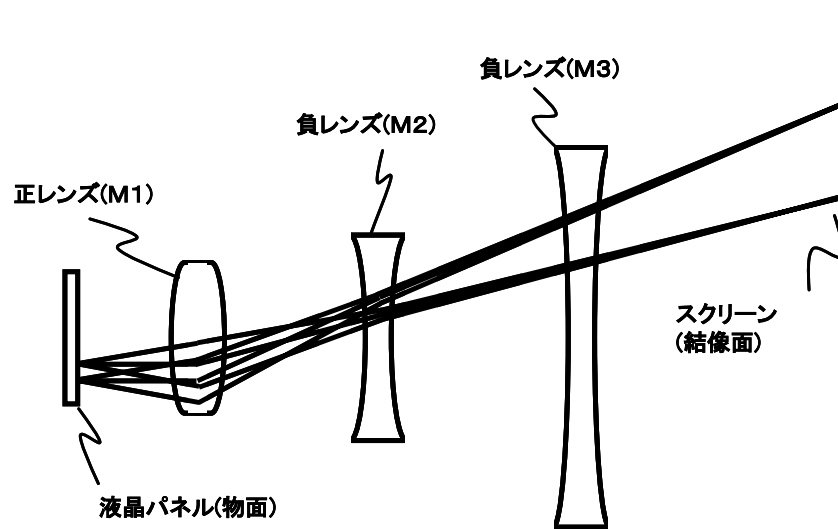


図 31 等価結像レイアウト図

本投写ミラー方式は図 30 にも示す通り、LCD パネルに対向して凹面ミラーが配置され、同様に互いに向き合うように凸面ミラー、凸面ミラーが設置され、計 3 枚のミラーで構成される。リアプロジェクション本体の薄型化を実現するため、投写光束を斜め上方に順次反射する必要があるため、各ミラーは偏心して設置される。ここでミラーそのものの形状は回転対象的な形状を有する必要は無く、有効領域のみを考えればよい。

① パワー配置

ここでは、3 枚ミラー間のパワー配置について述べる。

本開発では、3 板 LCD 方式を採用した。そのためダイクロイックプリズムのガラスブロック挿入スペースが必要となり投写光学系全体のバックフォーカスを確保する必要がある。

また本方式では図 30 に示すように、M1 で反射された光束が光学エンジン部、特にダイクロイックプリズムと干渉し易いため、投写レンズ方式よりもさらに長いバックフォーカスが必要となる。

光学系のバックフォーカスを延長するには、原理的に正のパワーのレンズに加えてスクリーン側に負のパワーのレンズが必要となる。

説明を簡単にするため、図 32(a) (b) にレンズ 2 枚構成での焦点距離とバック

フォーカスの関係を示す。

凸レンズ（正パワー）2枚の場合、図 32(a)に示す様に2枚のレンズにより決定される主点の位置は両レンズの中間に位置するため、焦点距離 f はバックフォーカス bf よりも大きくなる。一方、凸レンズ（正パワー）、凹レンズ（負パワー）の組み合わせで、いわゆるレトロフォーカス配置を採用すると図 32(b)に示す様に、凸レンズ2枚と同じ焦点距離 f を想定した場合、バックフォーカス bf が焦点距離 f よりも大きくなる。これにより正パワーのみで構成された光学系に比べ、正/負パワーの組み合わせではバックフォーカスが延長できる。従ってミラー投写光学系も光学エンジンとの光束の干渉を回避するため、LCD パネルから見て正パワー、負パワーの順に構成する必要がある。さらに、結像性能を見た場合、結像面湾曲を示すペッツバル和を考慮すると、各レンズの焦点距離を f_1, f_2, f_3 とした場合、その逆数となるパワー ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 の和で表されるペッツバル和を小さくする為には、正パワー1枚、負パワー2枚の構成がより望ましい。これにより後段の負パワーを司る凹レンズを2枚にパワー配分する構成を採用する（図 32(c)）。最終のミラー構成では LCD パネルに近い側に正のパワー（凹面ミラー）1枚を配置し、スクリーン側に負のパワー（凸面ミラー）2枚を配置することになる。

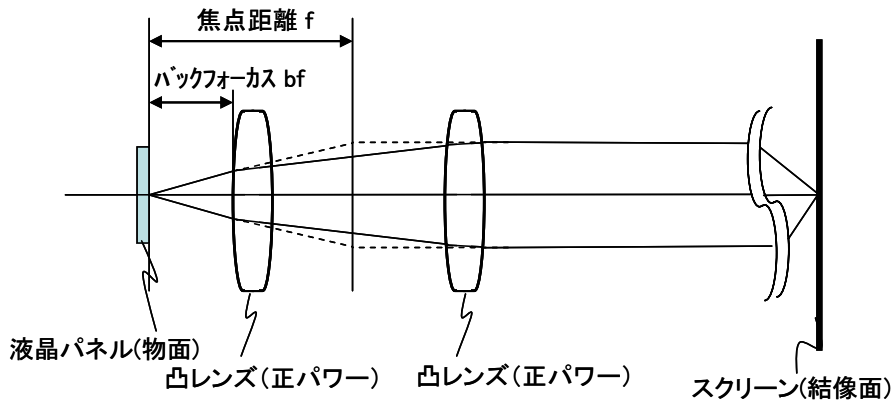


図 32(a) 凸レンズ 2 枚構成時での焦点距離とバックフォーカスの関係

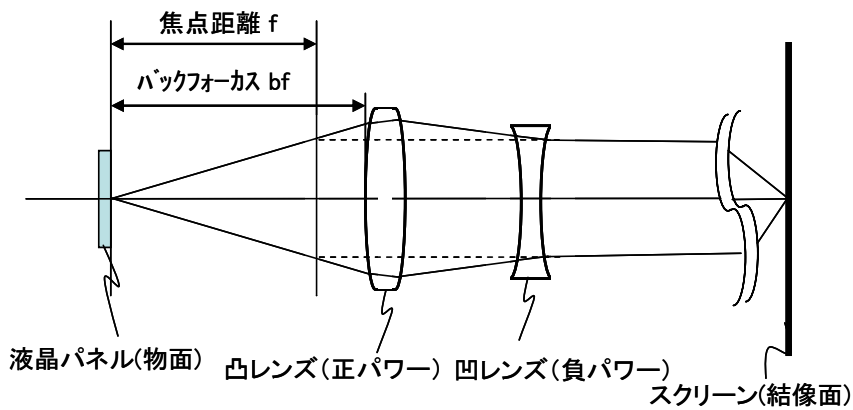


図 32 (b) 凸レンズ、凹レンズ各 1 枚構成時での焦点距離とバックフォーカスの関係

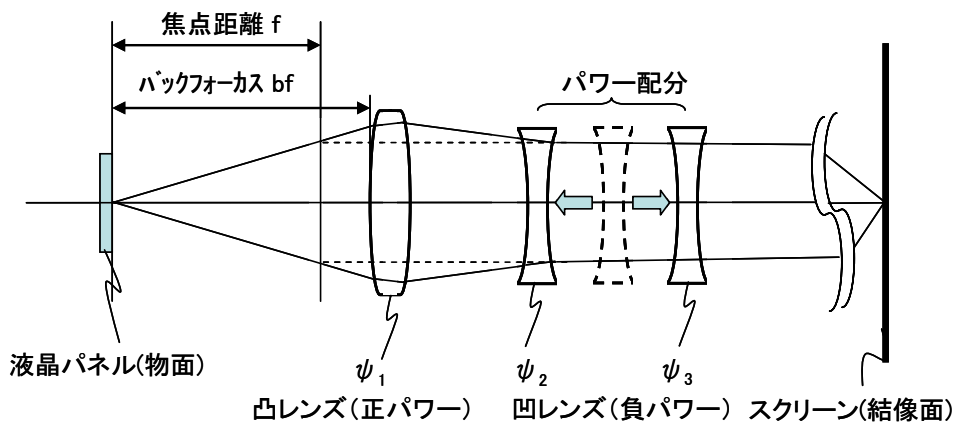


図 32 (c) 凸レンズ 1 枚、凹レンズ 2 枚構成時での焦点距離とバックフォーカスの関係

② 収差補正

このレトロフォーカス系の構成をとる本方式において各ミラーは収差補正上、明確な役割分担がなされ、唯一正のパワーを持つM1 でほぼ結像性能を制御する。そして負のパワーを持つM2、M3 にて拡大され、M3 では主にスクリーン上での歪みを補正する。前述の様にミラー投写光学系は各ミラー面で色収差が発生しないため、各ミラー面の非球面化により、投写レンズよりも少ない構成面で投写光学系の構成が可能である。

4. 2. 2 3枚ミラーシステムの課題

前記原理にもとづくミラー投写系をリアプロジェクション本体に配置した構成を図 33 に示す。主な仕様は表 4 の通りである。

光学エンジンから放射された光は、3 枚の非球面ミラーにより折り曲げられながら拡大投写され、スクリーンに到達する。この際、ミラー投写光学系の光軸を偏心した配置にすることで、光線が斜め上方に投写され、その結果背面ミラーの垂直設置が可能となり、光路長の有効利用と相まってリアプロジェクションにおける本体薄型化が可能となることが分かった。

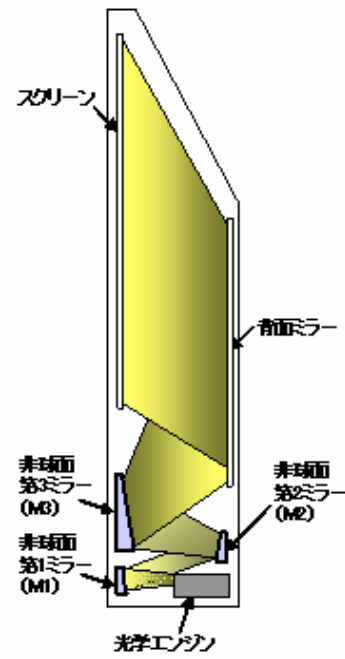
本リアプロジェクションの LCD パネルサイズは 1.3 インチ、スクリーンサイズは 50 インチである。このときの全体奥行きは 30cm となり薄型化を図ることが出来た(表 4)。

しかしながら、一方で本投写光学系は M1 ミラーから反射される光束と光学エンジン出射端との間に干渉が発生しやすい為に一定の F ナンバーより明るい条件での設計が困難であった(図 34)。

つまりこの干渉除去のために光学設計の自由度が低下すると共に、光利用効率の低下を招くという課題を有していた。

また、長いバックフォーカスを維持しながら F ナンバーを確保する為には M1 ミラーの大型化を招く。M1 ミラーが大きくなると製造上の面精度確保の点でも不利であり、球面収差、コマ収差の増大を招く。主に結像性能に大きく寄与する M1 ではこれらの収差を補正しきれなくなる。本光学系では F ナンバー 8.0 を採用し、M1 への光束照射エリアを小さくすることで収差補正を行ったが、これに伴い照明光学系においては平行光を取り出す設計が必要となり、ランプ光源からの光利用効率が劣化し画面が暗くなるという欠点を有することになった。これがミラー投写方式の欠点である。

次節では 3 枚ミラーの課題である光利用効率劣化を改善するために開発した 4 枚ミラー方式について論じる。



—3枚ミラー投写光学系—

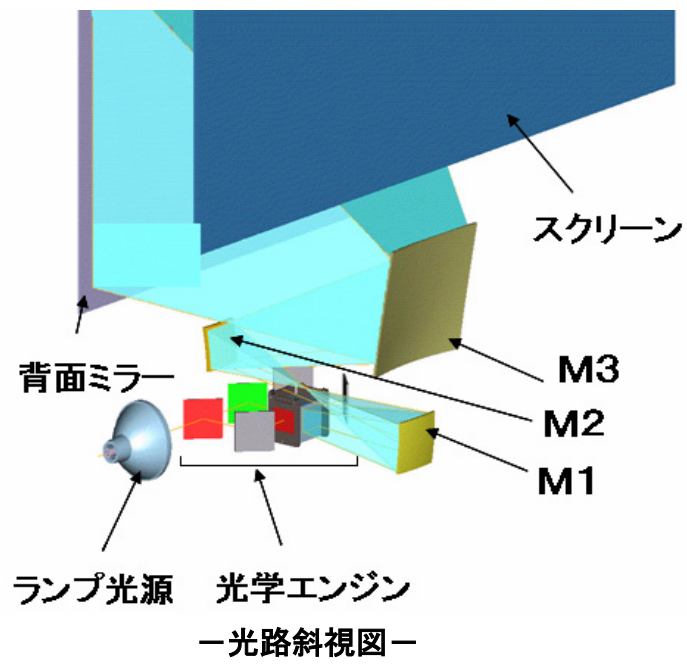


図 33 3枚ミラー投写光学系によるリアプロジェクションと光路図

表 4 3枚ミラー方式リアプロジェクション仕様

項目	仕様
表示素子	対角 1.3 インチ LCD パネル×3 枚 (3 板 LCD 方式)
投写画面サイズ	50 インチ
画面アスペクト比	4:3
LCD 解像度	XGA(水平 1024×垂直 768)
ミラー構成	非球面 3 枚
光学系奥行き	30cm
F ナンバー	8.0

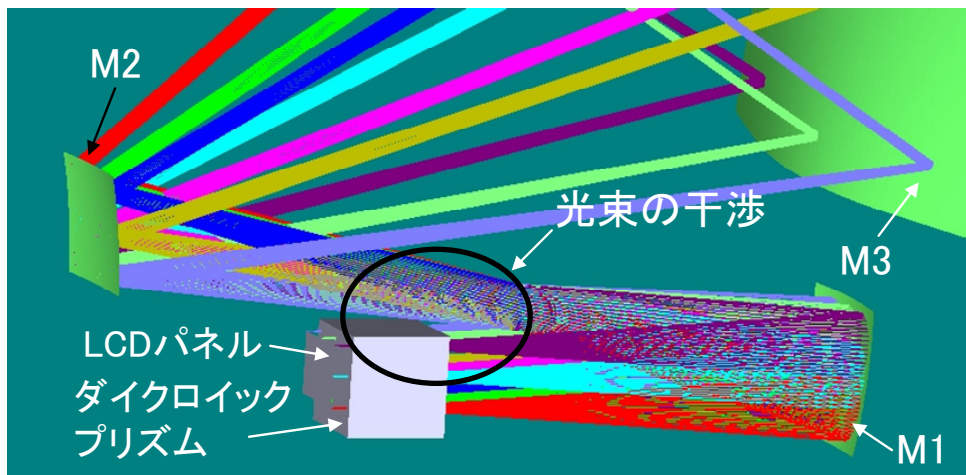


図 34 光学エンジンと M1 反射光束との干渉

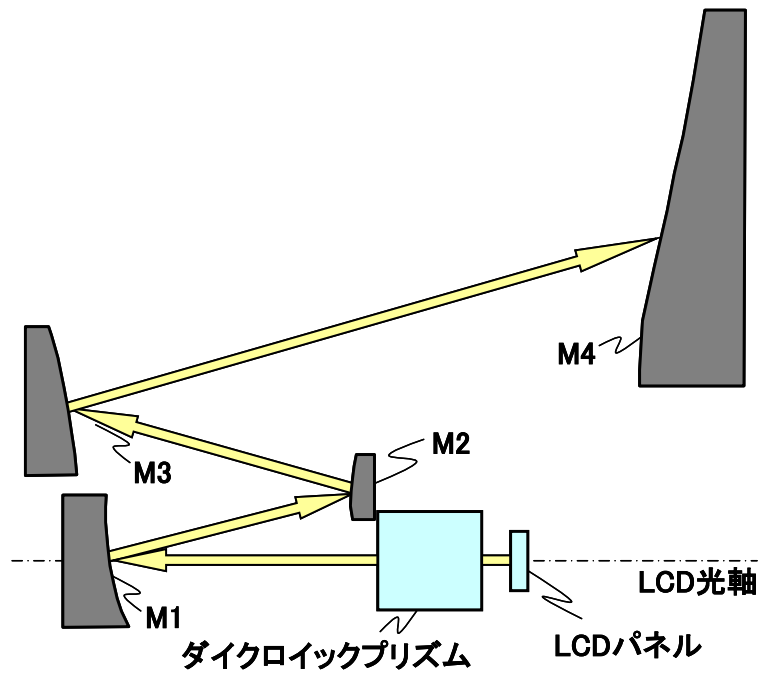
4. 3 4 枚ミラー投写光学システム

4. 3. 1 投写光学系

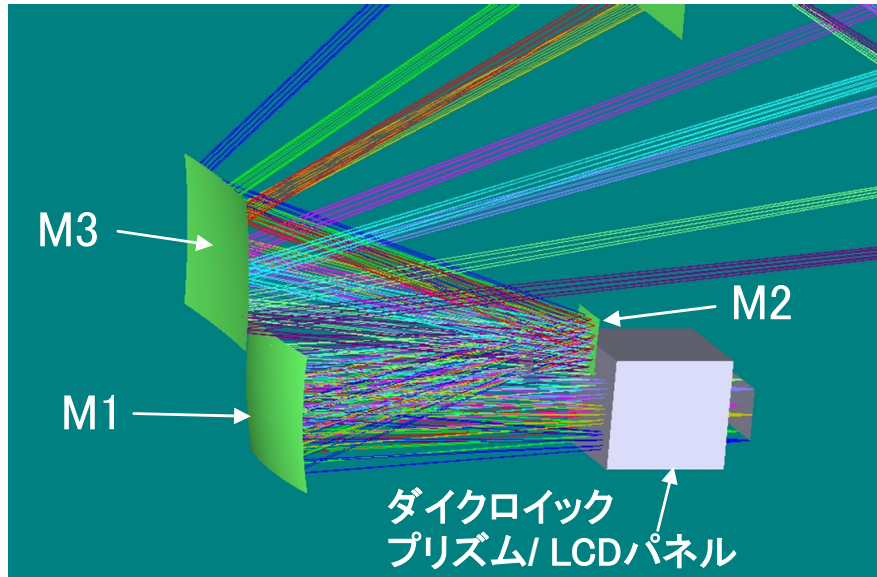
前述の課題を改善すべく、曲面ミラー4枚構成からなる光学系を研究・開発した。本節ではその詳細について述べる。その基本構成は図 35 に示す通りである。4枚の曲面ミラーのうち3枚を非球面 (M1, M3, M4)、残り1枚を球面 (M2) で構成した。本方式では従来のミラー3枚構成における第1ミラーと第2ミラーの間に新たな凸面ミラー (M2) を光学エンジン上部に設けている。これにより第1ミラー (M1) からの反射光束を光学エンジン上端でケラレることなく折り返すことを可能とした。これにより設計の自由度が向上し、収差補正が容易となった。収差補正の自由度が向上したためFナンバーの改善が可能となり、ミラー3枚構成では8.0が限界であったFナンバーを6.4まで小さくすることが可能となった。この様に照明系の明るさを確保することで、0.9インチの小型LCDパネルでも十分な明るさを得る事が可能となり、光学系の小型化との両立が可能となった。

この構成をベースに1枚の背面折り返しミラーを設置することによってリアプロジェクションの本体奥行きを低減した光学配置を図 36 に示す。本光学系においても、投写光束はスクリーンに対して斜めに投写される。この方式でも3枚ミラー構成と同様に斜め投写の効果により、図面に示すように背面ミラーを垂直方向に設置することが可能となり本体奥行き削減が可能となった。これにより、50インチの4:3の画面サイズで本体奥行き30cmの薄型化を達成することが可能となった。

次節において、4枚ミラー投写システム的设计手法に関する詳細を述べる。



—4枚ミラー投写光学系—



—4枚ミラー投写光学系 光路図—

図 35 4枚ミラー投写光学系の基本構成

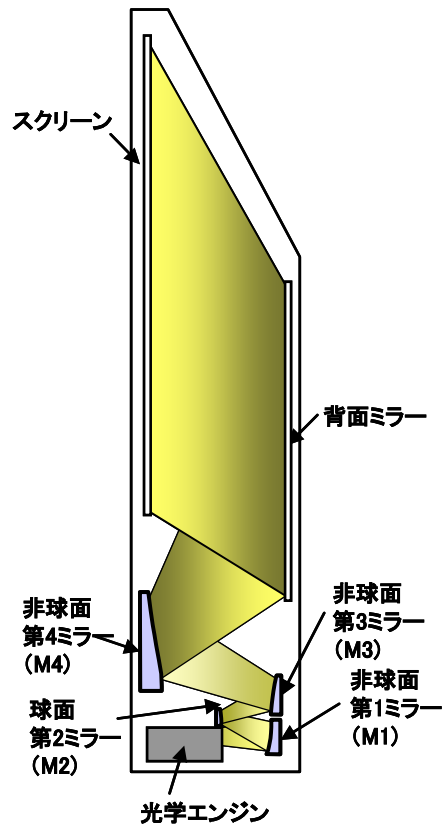


図 36 4 枚ミラー投写光学系によるリアプロジェクション

4.3.2 シミュレーション設計

本 4 枚ミラー投写光学系では、3 枚ミラー構成で採用した 1.3 インチ LCD から 0.9 インチへの小型化を図り、F ナンバーの改善により明るさを確保した。この 4 枚ミラー投写光学系のシミュレーション手法を以下に述べる。

①設計仕様

本投写ミラー光学系として要求される設計仕様を表 5 に示す。

表 5 0.9 インチパネル用投写ミラー光学系仕様

項目	仕様
LCD パネル	0.9 インチ XGA
投写サイズ	50 インチ
結像倍率	55.6
F ナンバー	6.4
照明系分散角	±4.5 度
解像度 (スクリーン上)	MTF 80%以上 (0.5 lp/mm)
ミラー系奥行き	300mm 以下

②設計手法

光学系を設計するにあたり、ミラー投写方式に対応したシミュレーション手法を新たに構築した。以下、設計フローについて述べる。

シミュレーションでは最終的に自動設計を実施することになるが、ミラー投写光学系は非球面が主体であり、コンピュータシミュレーションによる設計手法の新たな構築が必須である。まず設計初期段階では光学系の基本データである曲率半径、面間隔等のパラメータを変動量として設定する。次に最適化手法として評価関数(Merit Function)を定義する。これは評価関数の要素であるオペランドに、設計仕様を満たすための目標値あるいは境界条件を設定するものである。以下に、評価関数の式を示す。

$$\phi = \sum_i^n [W_i (F_i - \bar{F}_i)]^2 \cdot \dots \cdot (1)$$

ここで、 W : 重率(重み)、 F : 光学系の諸量、 \bar{F} : 光学系の諸量の目標値を示す。

評価関数では各オペランドは重み付けされ、この評価関数を小さくするこ

とで収差のない光学システムを構築していく。図 37 に光学系の設計フローを示す。

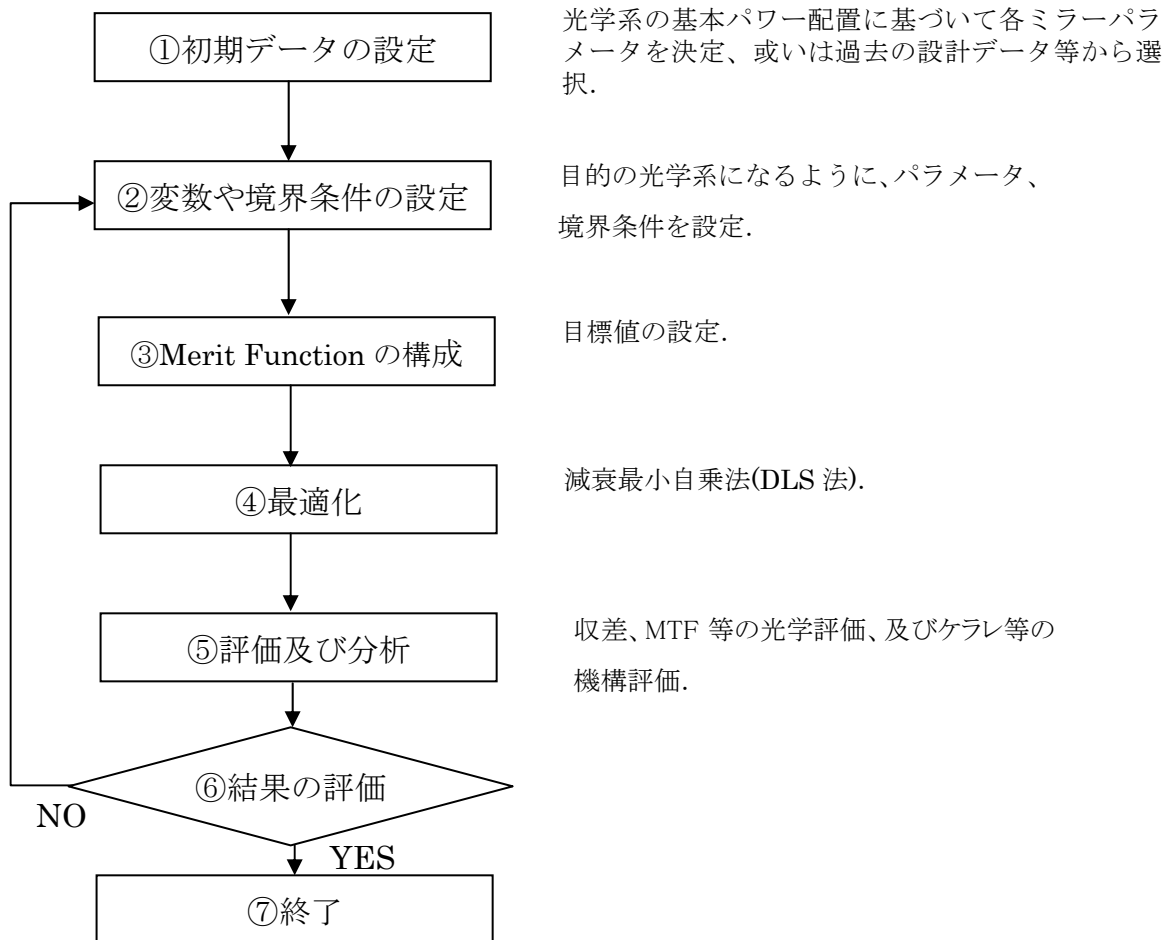


図 37 光学系の設計フロー

③設計手順

I. 初期データの設定

まず LCD パネルから M1 ミラーまでのバックフォーカス (bf) を図 38 の関係に基づき概略設定する. ここで、 θ は液晶パネルから出射される光束の分散角である. ミラーの加工限界、及び収差の補正限界より M1 上のスポット径は約 $\phi 20\text{mm}$ 以下にする必要がある. よって $bf = 10 / \tan \theta$ にて概算できる. ここでは θ は 4.5° であるので $bf = 127\text{mm}$ となる. しかしこれはあくまで概算であるので、設計過程で bf を小さくして M1 上のスポット径を小さくするように値を変更する必要がある. M1 上のスポット径を小さくすることは収差補正に有利であることは言うまでもない.

以上のようにバックフォーカスが概略初期設定されると、M1 の曲率は一意的に決まる. M1 からの反射光が M2 に入射するとき、プリズムからの出射光と干渉しないような M1 の曲率を設定する. これは実際の光線追跡により判断する. また、ミラー4枚構成では光学エンジンのダイクロプリズムと M1 からの反射光束との干渉を防ぐ為、新たにプリズム前に球面ミラー M2 を配置する. M2 は M1 からの反射光を 1.3 インチと同様のスポット径を M3 上に形成するためのリレー的な役割を果たしている. ペッツバル和との整合により、M2～M4 は負のパワーを持つ凸面ミラーとし、パワー配分を行う.

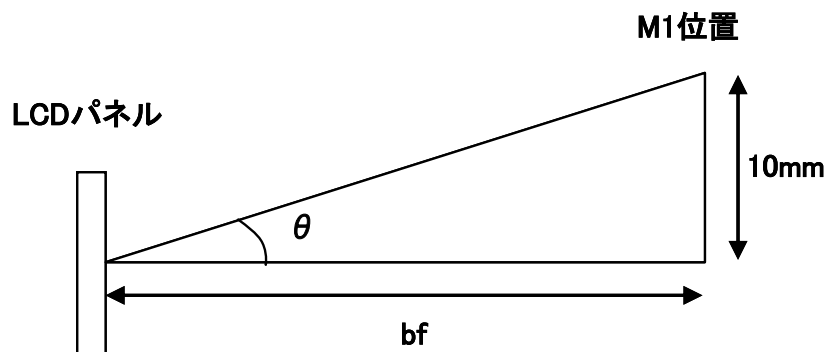


図 38 バックフォーカス算出図

II. 変数と境界条件の設定

本4枚ミラー光学系では非球面ミラーをM1, M3, M4の3枚とし、リレー的な役割を果たすM2は球面ミラーとする。ここで非球面の形状式を以下に示す。

$$Z(h) = \frac{ch^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2h^2}} + Ah^4 + Bh^6 + Ch^8 + Dh^{10} \cdot \dots \quad (2)$$

(但し、 $c=1/r$, c : curvature, r : radius, k : conic constant, A, B, C, D は係数)。非球面形状は r 、 k 、各係数(ABCD)により形状が決まる。よって本光学系の変数として、各ミラーの r 、 k 、各係数(ABCD)、及び各ミラー間隔が挙げられる。ここでは初期データ設定でのM1曲率以外のすべての面形状パラメータを変数とする。またミラー間隔は初期設定では固定とする。

III. 最適化関数 (Merit Function) の構成

最適化関数(MF)の設定は光学系の自動設計において最も重要なファクターであり、MFの設定が設計の完成度を左右すると言っても過言ではない。MFの要素は制限条件(Type)、目標(Target)、重み付け(Weight)があり、この3要素を設定する必要がある。しかし制限条件を無意味に設定することはたどり着くべき最適解を見失いかねない。よって、より最適な解にたどり着くために必要最小限の条件を定義するのがよい。ここでは以下の最低条件である(A)、(B)の2つの条件について定義する。

(A) : 投写サイズ

(B) : 結像性能

まず(A)の投写サイズの条件はスクリーン中央の主光線に対して、画面最外周の主光線との距離を指定することにより投写サイズを制限している。また(B)の結像性能の条件として、LCDパネルの1つのField(画素)からの光束に対して入射瞳を18分割するような光線についてそれぞれ横収差を軽減することで制限している。

IV. 最適化

シミュレーションソフトの”Optimization”機能により、変数指定及びMerit Functionを基に自動設計を実施し、指定されたMerit Functionが極小値にたどり着いたところで最適化を終了する。

V. 評価及び分析

自動設計の終了に伴い、評価を行う。光学的評価項目として MTF (Modulation Transfer Function)、スポットダイアグラム、歪曲の 3 つの評価を実施した。また、LCD パネル上のすべての点像を評価するのは非効率であるので、LCD パネルの中央、中央最上下端、左右の中央と最上下端の 9 ポイントにて評価を行った。

MTF は一定周期の正弦波状のパターンが光学系を通過して結像したときに、その像のコントラストの減衰度を示すもので、スクリーン上でのある空間周波数の正弦波の強度コントラストを以下の式に基づいて評価するものである。

$$C = (I_{\max} - I_{\min}) / (I_{\max} + I_{\min}) \cdots \cdots (3)$$

ここで I_{\max} はピーク強度

I_{\min} はベース強度

本設計仕様では 50” スクリーン上で XGA の解像度を表示する為、空間周波数 0.5lp/mm にて 80%以上を目標とした。

スポットダイアグラムは物面の 1 点から入射瞳を分割した格子点上の光線を追跡して像面上に点をプロットしたもので、像面上の点像の分布を評価することができる。スポットダイアグラムは MTF と深く相関があり、上記の MTF 目標値を満たすものはスポットサイズも収束する。

歪曲は光学ディストーション 1%以内を目標とした。

歪曲 (Dist) は以下の式で定義され、Merit Function にて設定を行ったスクリーンサイズ目標値からの偏差量を評価した。

$$\text{Dist} = (Y - y') / y' \times 100 (\%) \cdots \cdots (4)$$

ここで Y : 光線追跡による実際の像高

y' : 理想像高

また一方で、反射光束とミラー、或いはミラー同士のケラレ (特に本設計では M1 からの反射光束と M2、M4 とスクリーン) や、仕様奥行きサイズ内でのミラー配置の達成など諸項目のチェックを評価時に並行して行う。

VI. 結果

以上のステップにより最適な解が得られない場合は、再度Ⅱ項の変数や境界条件の設定を見直す必要がある。MTF と歪曲については、像高により最適解への収束度が異なるため Merit Function 上の Weight を適当な配分にする必要がある。

また、ミラー投写システムでは、反射光束のミラー及び本体装置内の部材への干渉をすべて回避する必要がある。反射光束を制御するためには各ミラー間距離、光軸シフト量等を適宜、再設定する必要がある。本シミュレーションでは、ミラー投写方式特有の制約条件を最適化パラメータとして用い、システム全体の最適化が効率的に行えるようにした。表 6 にパラメータと光束制御の相関関係を示す。

表 6 システム上のパラメータと光束制御の関係

パラメータ	効果
LCD パネル～M1 間	大きくとれば M2 とのクリアランスをより確保できるが、M1 巨大化、分散角制限を招く。
M1～M2 間	大きくとり、クリアランスを確保するのがよい。特にダイクロイックプリズムとの間隔は広く取り干渉を避ける。
M2～M3 間	大きくなれば M3 巨大化を伴う。
M3～M4 間	投写距離を確保するため、本体厚みまで広げて設定する。
M1 曲率	曲率が大きくなれば、反射光線仰角が大きくなり干渉に有利。しかし他のミラーのパワーも大きくなり、収差に影響大。

VII. 終了

以上のⅡ～Ⅵのサイクルを繰り返し、仕様を満たす、より最適な解を獲得したときに、設計を完了する。

4.4 レンズ&ミラーハイブリッド投写光学システム

さらに、より小型の LCD パネル (0.7 インチ) を用いて明るくする改善手段として集光レンズ (凸レンズ) を追加することにより、レンズ&ミラーのハイブリッド光学系を構築した。これにより、光学エンジンの小型化を図りながら、F ナンバーをさらに 4.5 まで小さくすることを可能とした。

0.7 インチ LCD パネル用投写ミラーの全体構成を図 39、40 に示す。0.7 インチ SVGA LCD 用の投写ミラーの設計手順は基本的には 0.9 インチ LCD パネル用と同様である。前述のように、ミラー投写方式では比較的長いバックフォーカスを必要とする。そのため LCD パネルから出射される光の分散角に制限がかかり、ランプ光源からの光利用効率が低下する。またこれに加えて LCD パネルサイズを 0.9 インチから 0.7 インチに小型化することにより、光利用効率は更に低下する。この解決手段として本方式では LCD パネル～M1 間にレンズを配置した。図 39 に示す様にレンズ 1 により LCD パネルからの出射光束は集光され、M1 ミラー上のスポットサイズはバックフォーカスを確保しながらも小さくすることができる。そのため LCD 照射面における分散角の制限が緩和され、照明光学系に対する設計上の負担が減少し、光利用効率向上につながる。

また、0.7 インチ LCD の採用により、バックフォーカスは約 99mm となり当初の 1.3 インチ LCD での 175mm と比べて画期的な小型化を図ることが出来た。

一方本投写システムが設計上他のミラー 3 枚、4 枚方式と異なる点は、レンズによる倍率色収差の発生である。本光学系ではレンズが挿入されているため、スクリーン上で RGB の画素ズレが原理的に発生する。基本的にレンズ部のパワーに比例して色収差が増加するため、設計では M1 の正パワーとのバランスを考慮し、最終的に G 色に対して、R, B 色の倍率色収差が 0.5 画素以内のズレに収まる様にした。

4.5 公差解析

設計が完了すると、その設計データに関して公差解析をする必要がある。公差解析には組立て公差と形状公差の2種類がある。

実際の光学系においてミラーは金物等により保持されており、これらの組立て精度により設計値における光学性能が大きく左右される。これが組立て公差である。また反射ミラーの加工による面精度、形状誤差も光学性能に大きく影響する。これが形状公差である。前者の組立て公差に関してはシミュレーション上でX,Y,Z軸シフト、及びX,Y軸チルトによるMTFの劣化度の検証を行った。後者の形状公差に関しては、別途開発した非球面解析ソフトにて算出した擬似形状誤差を乗じた非球面形状データをシミュレーションソフトに入力することにより検証を行った。

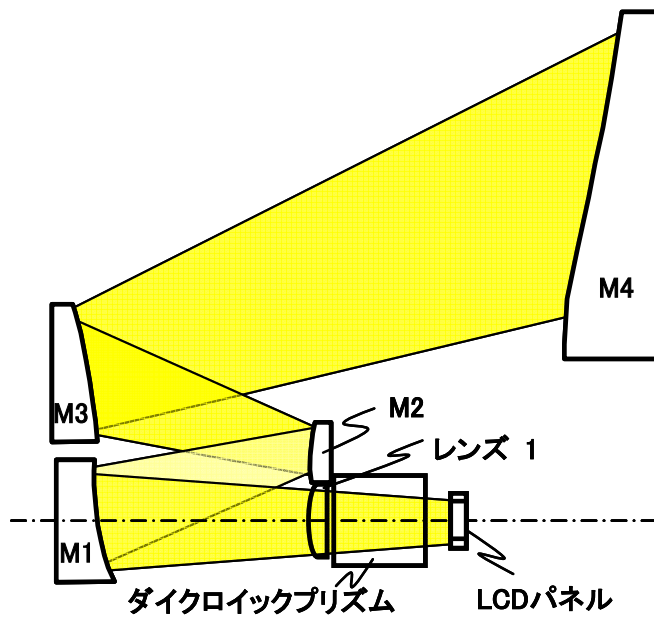


図 39 0.7 インチパネル用 4 枚ミラー+凸レンズ投写構成

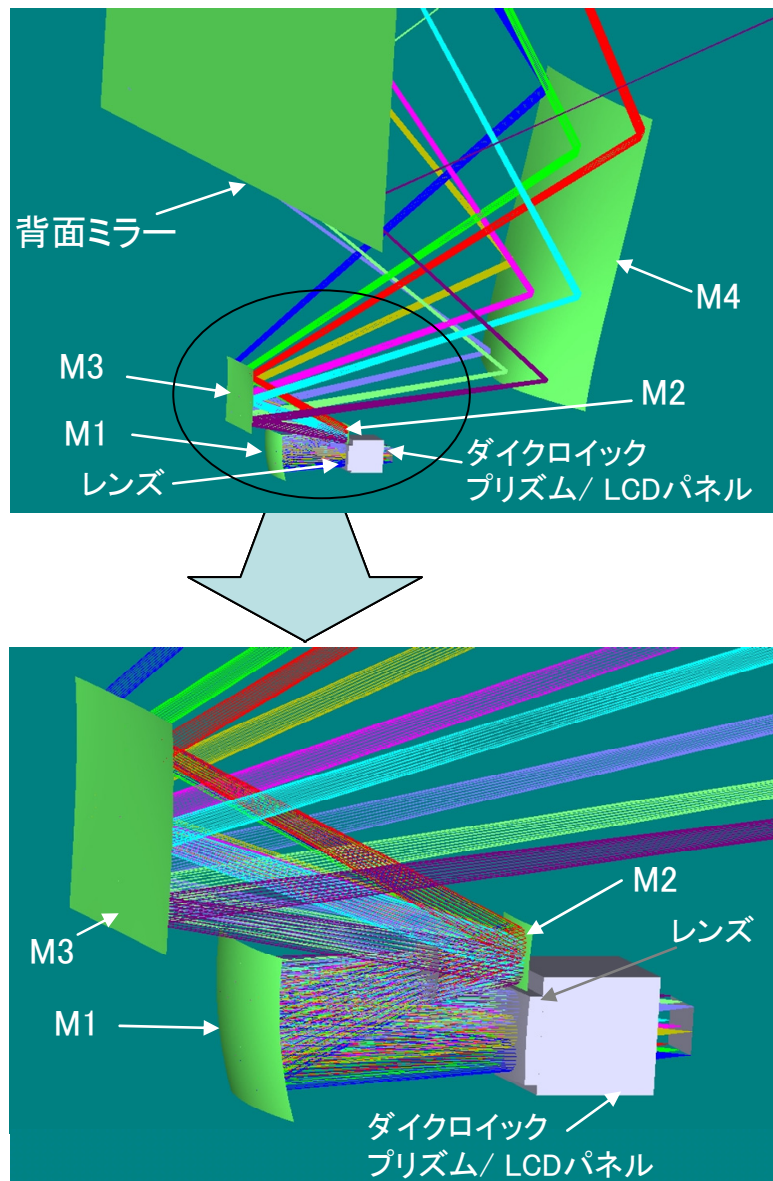


図 40 0.7 インチパネル用 4 枚ミラー+凸レンズ投写光路図

4.6 シミュレーション結果

本節ではミラー投写方式の光学特性に関するシミュレーション結果を示す。

① ミラー面上におけるスポット形状

図 41 に 0.9 インチ 4 枚ミラー方式の事例を示す。最終のミラーに進むにつれてスポット形状が小さくなってフォーカスしていく様子が分かる。

0.7 インチシステムにおいても同様のスポット形状が得られている。

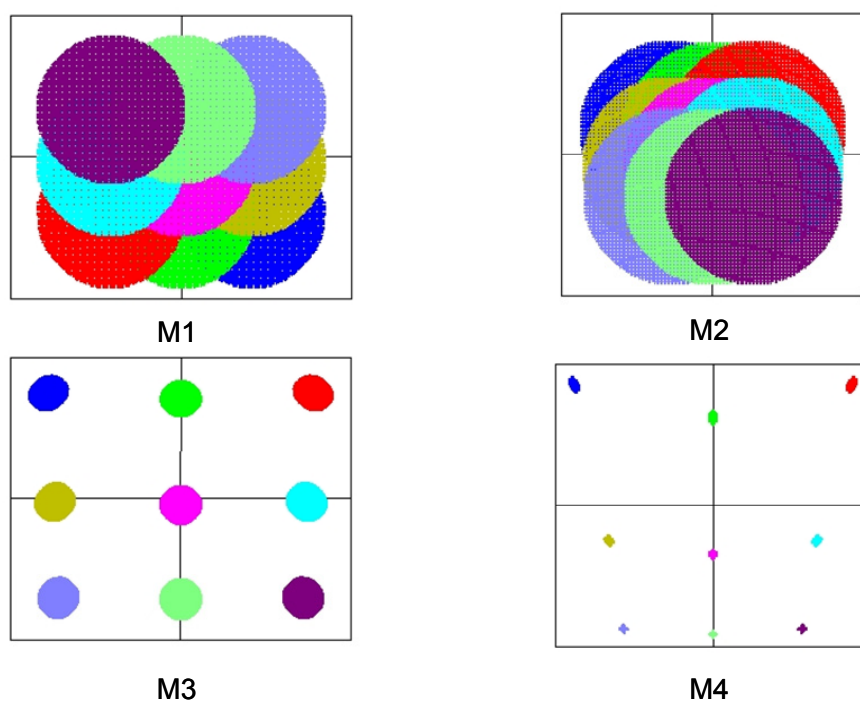


図 41 0.9 インチパネル用 4 枚ミラー方式における
各ミラー面上のスポット形状

② 4 枚ミラー方式における MTF (解像度) のシミュレーション結果を図 42、図 43 に示す。

MTF は必要な空間周波数でほぼ 80% レベルに到達しており LCD の画素を十分結像可能なレベルである事がわかる。

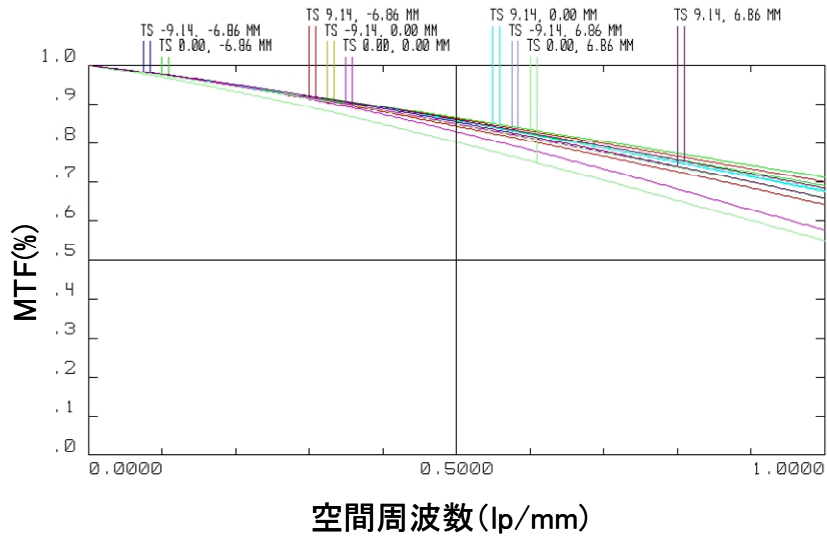


図 42 0.9 インチパネル用 4 枚ミラー構成の MTF

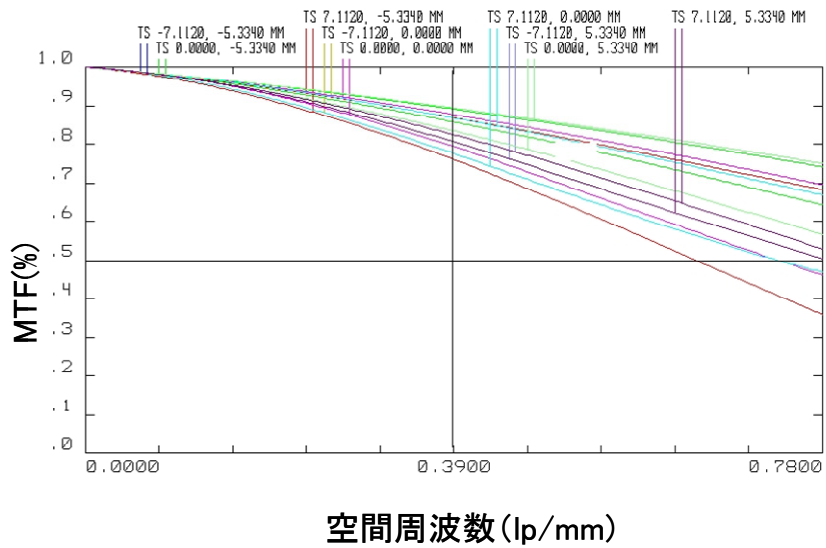


図 43 0.7 インチパネル用レンズミラーハイブリッド構成の MTF

③ 投写光学系の性能一覧

4枚ミラー方式において本設計により得られたシミュレーション設計データをまとめて以下に示す(表7)。ミラー投写方式を採用することにより、スポット形状(解像度)、ラスタ歪等の必要な性能を確保した上で、奥行き(筐体厚み)300mmへの薄型化を可能とした。

最近同様なミラーを用いた投写方式が提案されているが[26][27][28]、今回開発のミラー投写方式ではレンズとのハイブリッド方式によるFナンバーの改善を実現し、光量のアウトプットが大きく構成的にも簡単なミラー投写方式についての提案を行うことが出来た。

表7 シミュレーション結果のまとめ

投写システム	0.9"4枚ミラー		0.7"4枚ミラー+凸レンズ	備考
LCDパネルサイズ	0.9"		0.7"	
解像度	XGA		SVGA	
パネル出射分散角	4.5°		6.5°	
投写構成	非球面ミラー3枚 +球面ミラー1枚		球面平凸レンズ +非球面ミラー3枚 +球面ミラー1枚	
焦点距離(mm)	10.5		7.98	
スクリーンサイズ (対角インチ)	50		50	
バックフォーカス(mm)	130		36	パネル像面～ 前レンズ(ミラー)
高さ	約777mm		約838mm	パネル光軸～スク リーンセンター
MTF(スクリーン上)	80～86%(0.5lp/mm)		75～90%(0.39lp/mm)	
色倍率(スクリーン上)	R/G	≒0mm	0.43mm	RGB波長(nm) R:630、G:545、 B:470
	G/B	≒0mm	0.57mm	同上
	R/B	≒0mm	1.00mm	同上
光学ディストーション	0.2%以内		0.2%以内	
厚み(mm)	298		298	背面ミラー ～スクリーン
スクリーンセンター 入射角	50°		52.6°	

4.7 試作と性能評価

本節では前項のシミュレーション結果を用いて試作した非球面ミラーの性能に関して述べる。

4.7.1 非球面ミラーの要求性能

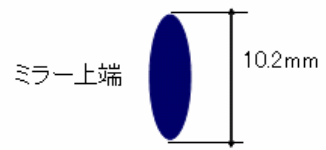
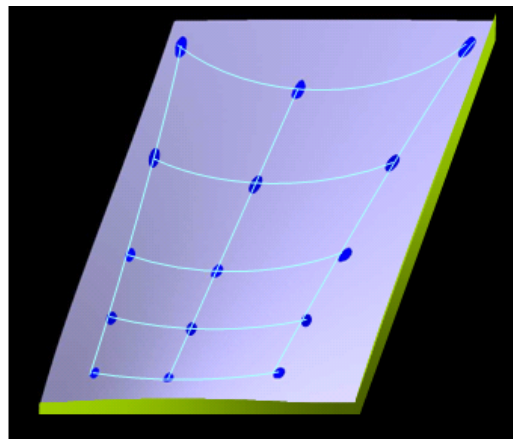
投写光学系のキーパーツである非球面ミラーには、様々な性能が要求される。そのうち最も重要なものは面精度である。ミラー面精度には、表面粗さと面形状誤差の2種類がある。ここではそれぞれに要求される性能について述べる。以下、ミラーサイズが最大であることから面精度の管理が最も要求される4枚ミラー方式の第4ミラー(M4)について説明する(図35、図36参照)。

① 表面粗さ

反射を伴う光学系においては、反射面上の表面粗さがその結像性能に影響を与える。非球面ミラーに必要とされる表面粗さをMTF (Modulation Transfer Function) によって解析した。LCDパネル上の画素から放射した光束は、第4ミラー面上に特定サイズのスポット形状となって照射される。そのスポットサイズは、ミラー面上の位置によって異なり図44のようになる。

ミラー上部ではLCD画素から放射された光束が楕円形状に伸張したスポット形状となり、ミラー下部では真円に近いスポット形状となっている。定量且つ具体的なミラー上端と下端のスポット形状は図44右側の様になる。所望の結像性能を得るためには最大スポット径を示すミラー上端でのスポット長軸径である10.2mmの範囲で表面粗さを管理する必要がある。

ここで図45に示す様にこのスポット長軸径範囲での表面粗さ(PV)が変化することによって画像の解像度を表すMTFがどのように影響をうけるかをシミュレーションした。その結果を図46に示す。グラフの縦軸はLCDパネルの画素ピッチから必要とされる空間周波数20lp/mmにおけるMTFを示す。横軸はスポットエリアの長軸径範囲におけるミラー表面のPV値を示す。これによると、十分な結像性能が得られるMTF60%以上を達成するためにはミラーは $1.25\mu\text{m}$ 以内のPV値が必要なことが判明した。



—第4ミラースポット分布—

—スポット形状—

図44 第4ミラー(M4)上のスポット分布とスポット形状

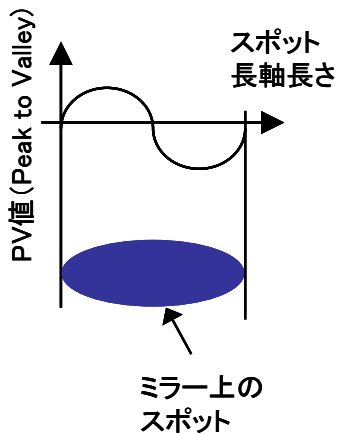


図45 スポット形状と面精度(PV)

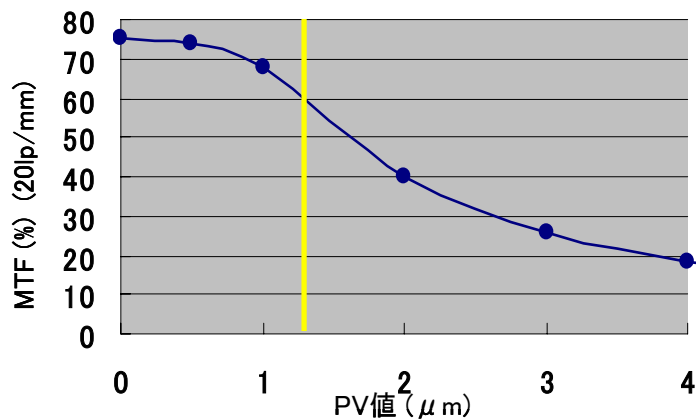


図46 面精度(PV)とMTFの関係

② 面形状誤差

第4ミラー上では、図44に示した様に、LCD画素から放射された光束が比較的分離して照射される。これにより非球面ミラー全体の形状誤差はスクリーン上での画像歪に影響を与え、特に画面上部での歪に影響を与える。製造誤差により図47(a)の様な形状誤差が発生しサグ量に変化が生じた場合、スクリーン上の投写画像は図47(b)の様な歪を生じる。

ミラー形状変化と画像歪の関係をシミュレーションにより求めると図48の結果が得られた。この図から50インチ画面の最大歪量を3mmと想定すると、

ミラーに要求される形状誤差は $40\ \mu\text{m}$ であることが判った。

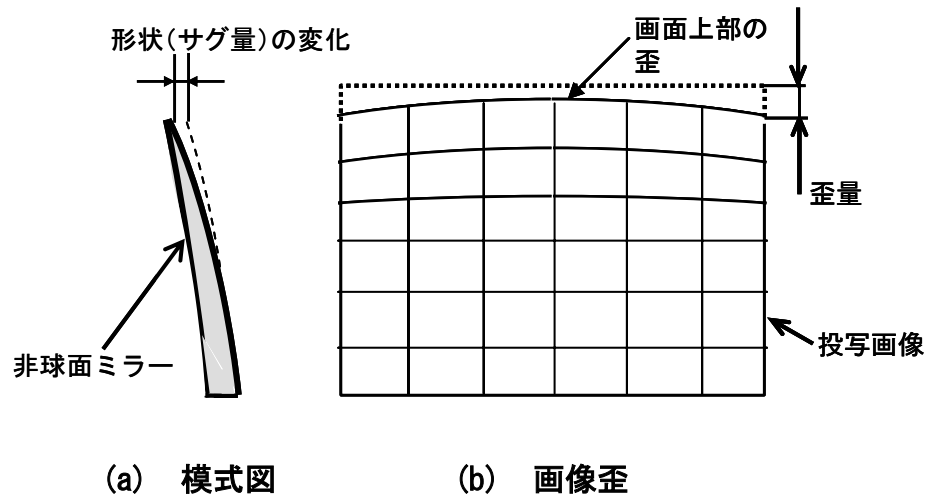


図 47 ミラー形状の誤差

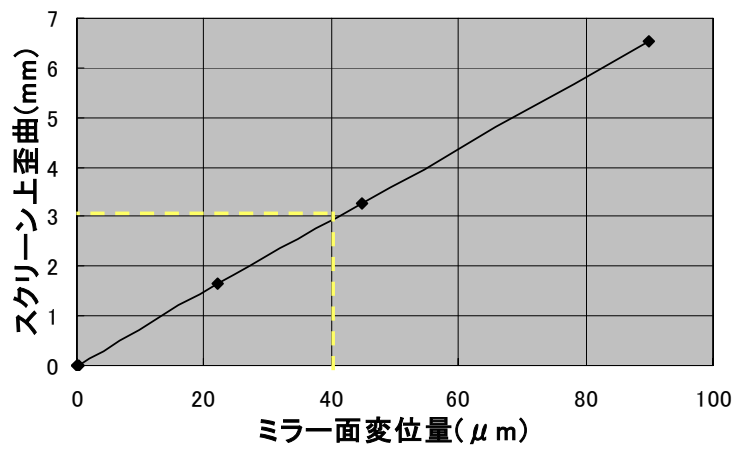


図 48 ミラー形状誤差と画像歪の関係

4.7.2 ミラーの試作結果

以上の面精度、形状誤差を目標値として、本非球面ミラーは樹脂成型により試作を行い、要求される MTF とミラー形状誤差を満たすことが確認された。試作ミラーを写真 2 に示す。本ミラーは温湿度変化による膨張の影響を最小限に抑えるため取り付け部ツバを一体化成型とした。

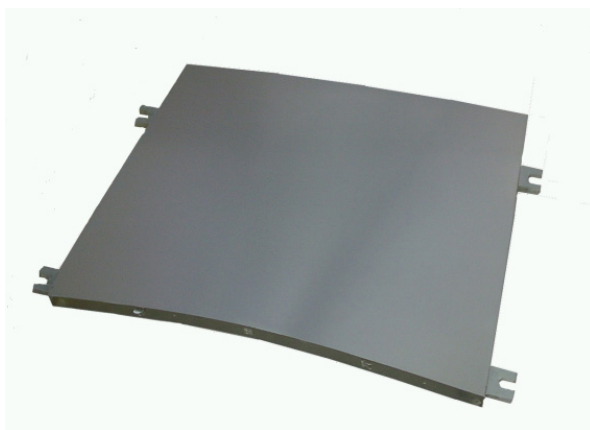


写真 2 第 4 ミラー外観

第5章 ミラー投写方式による薄型リアプロジェクション

上述の開発技術を用いて50インチのリアプロジェクションディスプレイの開発を行った。本章ではリアプロジェクションとしてもう一つの重要な要素技術であるスクリーンの開発について述べ、さらに開発したリアプロジェクションディスプレイの画質評価について述べる。

5.1 オフアクシススクリーンの設計・試作

本投写光学系は、スクリーンに対して光束が斜めに照射されるので、従来の同心円フレネルでは、観察者に対して表示画像が効率よく到達せず、均一な輝度分布を得ることが出来ない。そのため、本投写光学系に適合するスクリーンとして、新規にオフアクシススクリーンを開発した。オフアクシススクリーンは光軸を画面中心からシフトするもので、良好な画像の均一性をもたらすことが可能となる。図 49 にその構成を示す。

本スクリーンはオフアクシスのフレネルレンズと、垂直および水平に各々レンチキュラスクリーンが配列されたものを重ね合わせたクロスレンチキュラーの構成をとっている。スクリーン表示面の中心は、投写光学系の光軸からシフトしており投写映像を観察領域に有効に到達させるためフレネルレンズの最適設計を行った。しかしながら、オフアクシススクリーンでは図 50 に示す様にフレネルレンズ面のブレイズ角 θ が大きくなるため光線の内面反射によりゴーストが発生し、問題となる。ゴースト像は、スクリーンに入射した光が出射面であるレンズ面にて反射され、スクリーン裏面に再帰し、さらに異なった方向へ反射することにより発生する。これによって、スクリーン上の異なった領域に、同じ映像成分が表示されることとなる。

このゴースト像を低減するため、我々はスクリーンへの光入射角とフレネ

ルレンズのブレード角の関係を最適化する設計を行った。フレネルレンズ射出面のブレード角 l と屈折角 j' と入射角 i との間には以下の式が成り立つ。

$$j' = l - a \sin(\sin i / n) \dots (5)$$

ここで n はフレネルレンズ媒質の屈折率である。

フレネルの式によれば、屈折角 j' が 22 度から 28 度の領域にあるとき、スクリーンへの入射光を p 偏光とすると、その反射率は 2% 以下となる。この条件と上記の式を考慮し、我々は角度 i, j', l の間に最適な条件を見出しゴーストの低減を実現した。またクロスレンチキュラーの採用によりスクリーンの視野角拡大を実現し、垂直方向の視野角を図 51 に示すように従来型スクリーンと比較して大幅に改善することが出来た。

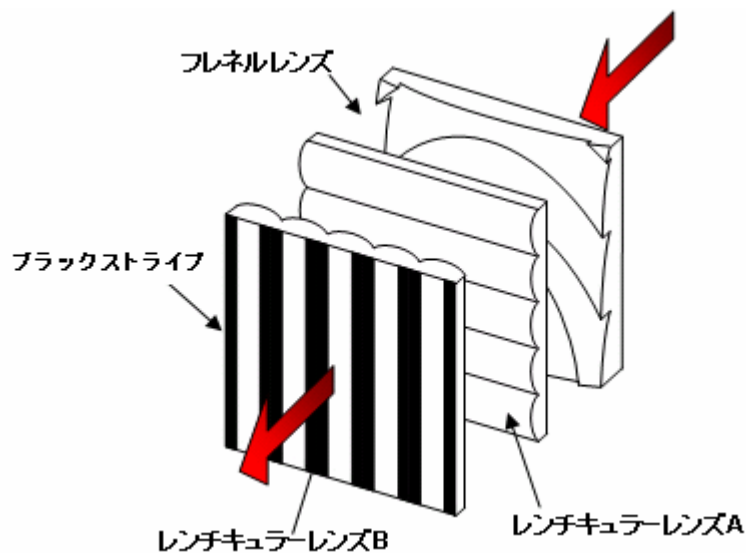


図 49 オフアクシススクリーン構成図

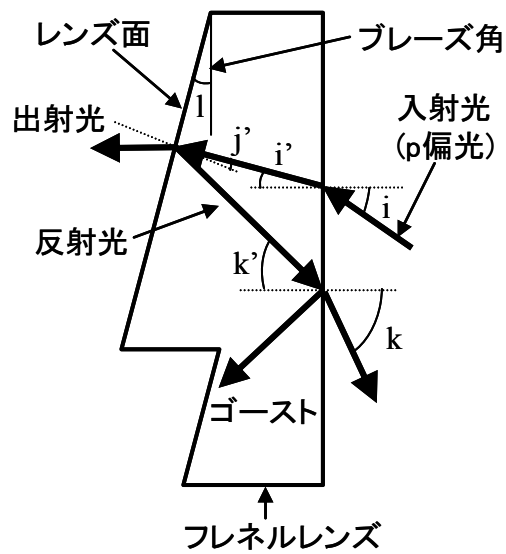


図 50 フレネルレンズの内部反射によるゴースト

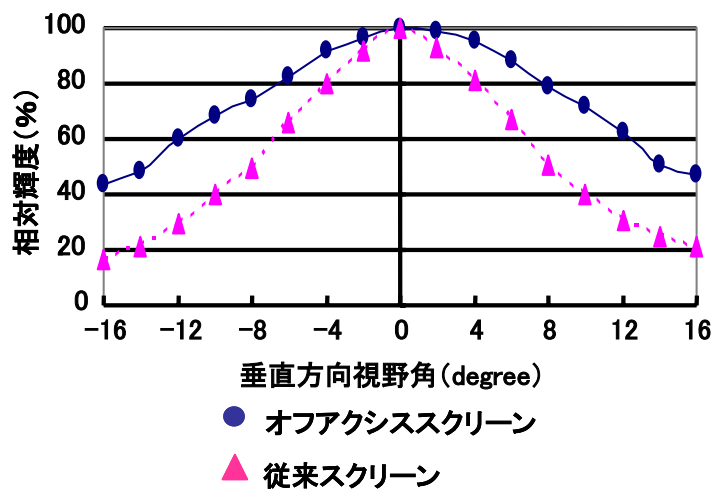


図 51 スクリーン視野角実測値

5.2 薄型リアプロジェクション

上述の開発技術に基づき、曲面ミラー4枚の投写光学系を有する50インチのリアプロジェクションTVの開発を行った。

0.9インチLCDを搭載した試作TVセットの投写光学系の仕様を表8に、またTVセットの概略仕様を表9に示す。外観は写真3に示す。本体奥行きは、新規非球面ミラー投写方式の開発により外形寸法で30cmの薄型を達成し、省スペース設置が可能なリアプロジェクションを実現できた。また本試作セットによる色再現空間を他方式の事例と比較した結果を図52に示す。これによると、PDP-TV、LCD TVと比較し、問題ない色再現領域を有していることがわかった。また、実画像の評価結果としてスクリーン上に表示されたクロスハッチパターンと文字表示画像を写真4、5に示す。これによると歪の殆どない画像がミラー投写光学系で得られていることが確認でき、また文字表示画像においても、LCDの画素ドットが分離され、解像されていることがわかる。4枚ミラー投写光学系が、リアプロジェクションに十分な性能を得ていることを確認できた。



写真 3 リアプロジェクション TV 外観

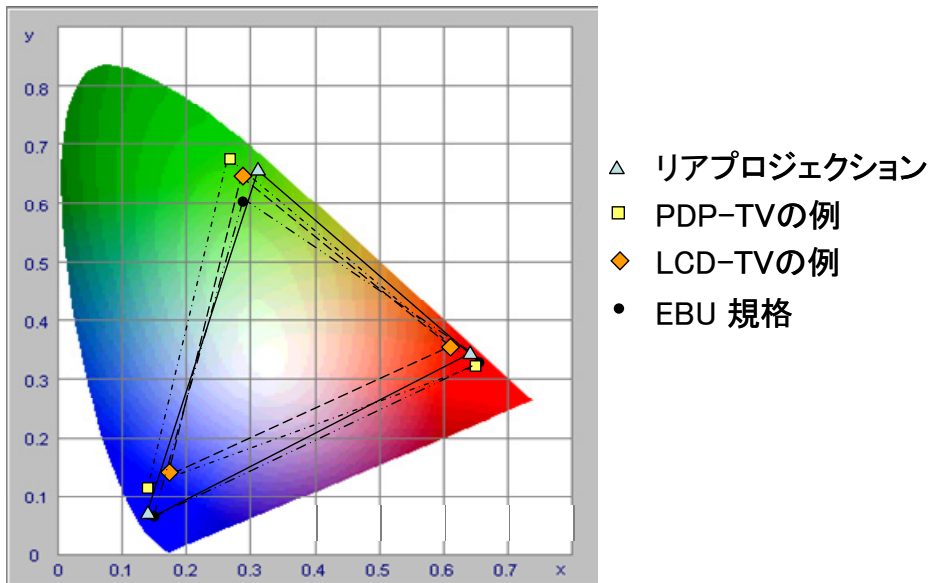


図 52 リアプロジェクション色再現空間実測値と他方式との比較

表 8 4 枚ミラー投写光学系の基本仕様

項目	仕様
表示素子	対角 0.9 インチ LCD パネル × 3 枚 (3 板 LCD 方式)
投写画面サイズ	50 インチ
画面アスペクト比	4:3
LCD 解像度	XGA(水平 1024 × 垂直 768)
ミラー構成	非球面 3 枚、球面 1 枚
F ナンバー	6.4

表 9 リアプロジェクション TV の主な仕様

画面サイズ	50 インチ(アスペクト比4:3)
輝度	450cd/m ²
コントラスト比	500:1
ランプワット数	150W
本体サイズ	1100(W) × 1600(H) × 300(D)(mm)

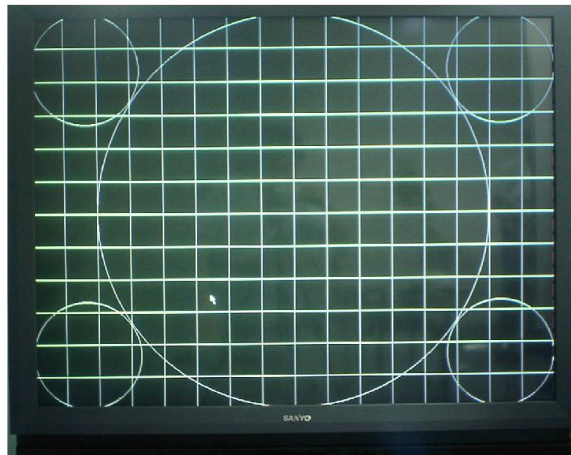


写真 4 クロスハッチ画像

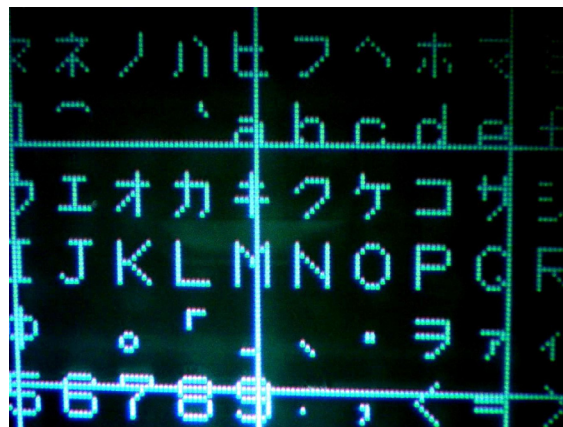


写真 5 文字表示画像

第6章 結論

新規な非球面ミラーを用いた新しい投写光学系を開発することにより、薄型リアプロジェクションディスプレイを実現した。また、本投写光学系に適合したオフアクシススクリーンを開発することにより、視野角の向上および均一性の向上を達成した。

本研究・開発で達成した技術は以下の通りである。

- ① 従来の投写レンズ方式では不可能なリアプロジェクションの薄型化に関し、従来に対して40%の縮小を実現するため非球面ミラー投写方式を開発し、シミュレーション技術を確立した。
- ② 本光学系では先ずミラー3枚方式でミラー投写光学系の確認を行った。ミラー4枚構成の採用、さらにレンズとのハイブリッド構成によりFナンバーの改善、輝度改善が図られることを検証した。
- ④ 本方式の非球面ミラーに必要な形状及び面精度の解析を行い、製造時の目標値を定めると同時に試作によりミラー面全体の形状精度で $40\mu\text{m}$ 、面精度で約 $1\mu\text{m}$ の精度が満足されていることを確認した。
- ⑤ スクリーンに対して光束が斜めに照射される本投写光学系の特性に適合するオフアクシススクリーンを開発した。
- ⑥ 上記開発技術を利用した奥行き50インチのリアプロジェクションTVセットの試作を行い画質評価した結果、輝度・色再現の点で他の大画面ディスプレイと同等の性能を得た。

以上、ミラー投写光学系の開発により薄型で高品位なリアプロジェクションが可能であることが実証された。今回開発した構成は、ミラーによる構成部品の少ない簡単な構成からなるものであり、コスト的にも有効な構成である。本開発技術により、今後リアプロジェクションが大画面TVの有力な方式としてさらに位置づけられると考える。

謝辞

本論文は、著者が奈良先端科学技術大学院大学在学中に研究発表、学会論文誌投稿した研究内容を論文としてまとめたものである。

同大学院大学の千原國宏教授には執筆にあたり数々の有益なご教示と同時に、心暖まる激励を頂きましたことに深く感謝いたします。

また、論文審査にあたり、適切な助言と御指導を頂きました横矢直和教授、眞鍋佳嗣助教授に心から御礼申し上げます。

本研究は、著者が三洋電機株式会社研究開発本部デジタルシステム研究所にて行ったものをまとめたものであり、研究の遂行、ならびに論文をまとめる機会を与えてくださいました三洋電機研究開発本部の津田信哉本部長、富田義数所長に厚く御礼申し上げます。

奈良先端科学技術大学院での論文執筆を始める機会を与えていただき、その後も暖かく見守っていただきました村田治彦部長に深謝いたします。

また、本研究の開始当時、公私にわたりご指導、激励していただきました船造康夫副室長(当時部長)に感謝いたします。

また、研究活動はもとより、論文作成にあたり、多大な協力をいただきましたデジタルシステム研究所の岸本俊一顧問を始め多数の方々に深く御礼申し上げます。

最後に、様々な協力をしてくださいました親愛なる家族に感謝いたします。

参考文献

- [1] 松山駿介、斉藤光一; "PDP テレビの普及へシナリオ再構築", Flat-panel display 2003, pp.152-154, 2003.
- [2] "2003 年 FPD 事業環境が一変", Flat-panel display 2003, pp.32-43, 2003.
- [3] "2004 液晶関連市場の現状と将来展望(上巻)", 富士カメラ総研, p.280, 2004.
- [4] 田村喜男; "フラットパネルテレビ市場", 第 6 回ディスプレイサーチフォーラム 2003(ディスプレイサーチ社), 2003.
- [5] 松野智吏; "テレビ市場(Part1)", 第 8 回ディスプレイサーチフォーラム 2004 (ディスプレイサーチ社), 2004.
- [6] Frederic J. Kahn; "Projection Display Technology and Market: US Prospective", International Display Workshops'96 (IDW'96), pp.415-418, 1996.
- [7] Leon Shapio; "ProjectionSystem Tradeoffs", International Display Workshops'97, pp.785-788, 1997.
- [8] S.Ogawa,M.Yano; "Prospects of CRT Projection Display", International Display Workshops'98, pp.409-412, 1998.
- [9] Shinsuke Shikama, Eichi Toide, Mitsushige Kondo; "A Polarization Transfomning Optics for High Luminance LCD Projectors", EuroDisplay'90 pp.64-67, 1990.
- [10] Masato Hatanaka,Yusaku Tagawa,Atsushi Iwamura; "High Luminous Efficiency Optical system for 3LCD Rear Projection TV", International Display Workshops'97, pp.793-795, 1997.
- [11] Tetsuya Kobayashi, Tsuyoshi Kamada,Takatoshi Mayama, Mari Hodate, Toshihiro Suzuki, Hisashi Yamaguchi; " High Brightness LCD Projector with High Transmission 3.2-in. SVGA TFT-LCD", INTERNATIONAL DISPLAY WORKSHOPS'98, pp.765-768, 1998.
- [12] F.Morin; "An Image Projector Using an Active Matrix Display",

- Eurodisplay'87 Sep., 1987.
- [13] S.Morozumi; "LCD Full-Color Video Projector", Society for Information Display'86 Digest, pp.375-378, 1986.
 - [14] Hiroaki Kitamura, Mitsutaka Morimoto, Hidehiko Katatoh, Masaya Hijikigawa; "Long Term Roadmap and Technology of TFT-LCD toward 2010", International Display Workshops'02, pp.291-294, 2002.
 - [15] 中西浩、浜田浩 他; "モザイクカラーフィルタを用いない高輝度単板プロジェクション方式", テレビジョン学会 情報ディスプレイ研究委員会報, IDY95-41, pp.1-5, 1995.
 - [16] H.Hamada; "Optical Systems for High-Luminance LC Rear Projection", Society for Information Display'96 DIGEST, pp.911-914, 1996.
 - [17] 貝瀬喜久夫; "液晶のリアプロジェクション TV への応用", 電子ディスプレイ・フォーラム 97(講演集), pp.322-325, 1997.
 - [18] 特許第 3416434 号; 金山秀行 他, 「カラー液晶表示装置」, 2003.
 - [19] 船造康夫, 金山秀行, 千原國宏; "回折格子を利用したプロジェクションシステム", 画像電子学会誌, Vol.33, No.6, pp.1132-1140, 2005.
 - [20] Y.Funazou, H.Kanayama, D.Takemori, Y.Furuta, T.Hachiya, T.Miwa, K.Yamauchi, K.Terada, S.Kishimoto ; "A New Rear-Projection Display Based on the Color Grating Method", Society for Information Display 1998, pp.199-202, 1998.
 - [21] T.Yamazaki, M.Tokumi, T.Suzuki, S. Nakagaki, S.Shimizu; "The Single-Panel D-ILA Hologram Devices for ILA Projection TV", International Display Workshops'00, pp.1077-1080, 2000.
 - [22] L.J.Hornbeck; "From Cathode Rays to Digital Micromirrors; A History to Electric Projection Display Technology", Texas Instruments Technical Journal, Vol.15, No.3, p.10, Jul-Sep, 1998.
 - [23] L.J.Hornbeck; "A Digital Light Processing Update Status and Future Applications", Proc.SPIE, Vol.3634, pp.158-170, January 28, 1999.
 - [24] Y.Masumoto, M.Wada, Y.Fushimi; "Simplified Projection TV Optics Using DMD", International Display Workshops'03, pp.1573-1576, 2003.
 - [25] F.J.Kahn; "The Digital Resolution in Electronic Projection Technology",

- Society for Information Display'00, pp.302-305, 2000.
- [26] J.Ogawa, K.Agata, M.Sakamoto, K.Urano, T.Matsumoto; "Super-short Focus Front Projector with Aspherical Mirror Projection Optical System", Society for Information Display'04, pp.170-173, 2004.
- [27] S.Shikama, H.Suzuki, T.Endo, M.Kuwata, T.Sasagawa; "Ultra-Thin Rear Projector", Society for Information Display'05, pp.1910-1921, 2005.
- [28] M.Kuwata, T.Sasagawa, K.Kojima, J.Arizawa, A.Miyata, S.Shikama, H.Suzuki; "Wide Angle Projection Optics for Compact Rear Projector", Society for Information Display'05, pp.1918-1921, 2005.
- [29] H.Kanayama, S.Yoshii, Y.Furuta, K.Arai, T.Miwa, K.Tateishi, S.Tanase, Y.Kurosaka, Y.Funazou, S.Kishimoto; "A New LC Rear-Projection Display Based on The Aspherical Mirror Projection System", International Display Workshops'00, pp.1041-1044, 2000.

研究業績

[研究論文]

金山秀行, 眞鍋 佳嗣, 千原國宏; “ミラー投写システムによる薄型リアプロジェクション”, 画像電子学会誌, Vol.36, No.1, pp.28-35, 2007.

[解説論文]

金山秀行, 竹森大祐, 吉居正一, 星野美保; “メガネなし 3D 液晶ディスプレイ”, SANYO TECHNICAL REVIEW, Vol.26, No.2, pp.8-15, 1994.

金山秀行, 竹森大祐; “立体液晶プロジェクタ”, ディスプレイ アンド イメージング 1995, Vol.4, pp.37-43, 1995.

金山秀行; “メガネなし3D ディスプレイ”, 光学技術コンタクト Vol.32, No.10, 1994.

金山秀行; “立体ディスプレイ先端オプティクス用光新機能素子技術に関する調査研究報告書”, 日本機械工業連合会, 日本オプトメカトロニクス協会, pp.106-109, 1995.

金山秀行; “LCDリアプロジェクションの光学技術とその動向”, 第48回応用物理学関連連合講演会, p.96, 2001.

[国際会議]

H.Kanayama, M.Maeda, T.Miwa, T.Ikeda, H.Murata, K.Chihara; "Ultra Small Projector with High Efficiency Illumination System", ICCE'06, pp.127-128, 2006.

H.Kanayama, S.Yoshii, Y.Furuta, K.Arai, Y.Funazou ; "Development of a New LC Rear Projection Display with an Aspherical Mirror Projection System", ICCE2001, pp.8-9, 2001.

H.Kanayama, S.Yoshii, Y.Furuta, K.Arai, T.Miwa, K.Tateishi, S.Tanase, Y.Kurosaka, Y.Funazou, S.Kishimoto ; "A New LC Rear-Projection Display Based on the Aspherical Mirror Projection System", International Display Workshops'00, pp.1041-1044, 2000.

H.Kanayama, D.Takemori, H.Hachiya, T.Miwa, K.Yamauchi, K.Terada, Y.Funazou, S.Kishimoto; "A New Rear-Projection Display Based on The Color Grating Method", Society for Information Display 1998, pp.199-202, 1998.

[参考業績]

船造康夫, 金山秀行, 千原國宏; "回折格子を利用したプロジェクションシステム", 画像電子学会誌, Vol.33, No.6, pp.1132-1140, 2005.

磯野春雄, 安田稔, 竹森大祐, 金山秀行, 山田千彦, 千葉和夫; "多眼式メガネなし 3次元ビジョン", 電子情報通信学会, Vol.J76-C-II No.1, pp.16-23, 1993.

磯野春雄, 安田稔, 竹森大祐, 金山秀行, 山田千彦, 千葉和夫; "50 インチ多眼式メガネなし 3次元テレビジョン", テレビジョン学会誌, Vol.45, pp.1472-1474, 1991.

磯野春雄, 安田稔, 竹森大祐, 金山秀行, 山田千彦, 千葉和夫; "40 インチ液晶投影型メガネなし立体テレビディスプレイ", テレビジョン学会誌, Vol.46, pp.518-525, 1992.

磯野春雄, 安田稔, 竹森大祐, 金山秀行, 山田千彦, 千葉和夫; "8眼式メガネなし3次元テレビジョン", テレビジョン学会誌, Vol.48, No.10, pp.1267-1275, 1994.

増谷健, 金山秀行; "メガネなし立体ディスプレイの開発", The Journal of Total Imaging Technology, Vol.7 No.2 pp.13-21, 1995.

増谷健, 安東孝久, 東野政弘, 金山秀行; "メガネなし3D ディスプレイの開発システム", 制御/情報, Vol.49, No.9, pp.351-356, 2005.

Y.Kurosaka, T.Miwa, T.Ikeda, H.Kanayama, Y.Funazou; "A Quiet LCD Projector with a Novel Cooling System Using Ionized Airflow", Society for Information Display'05, pp.910-913, 2005

Y.Kurosaka, M.Maeda, T.Miwa, T.Ikeda, H.Kanayama, H.Murata; "Ultra Small Wireless Projector with High Efficiency Collimator", EuroDisplay2005, pp.568-571, 2005.

M.Maeda, Y.Kurosaka, T.Miwa, T.Ikeda, H.Kanayama, H.Murata; "LED-Based Cable-less Projector with High Efficiency Collimation Optics", International Display Workshops /Asia Display'05, pp.1915-1918, 2005.

Yoshihiro Yokote, Kazuhiro Arai, Shoichi Yoshii, Takashi Miwa, Mineki Taoka, Toshiya Inuma, Hideyuki Kanayama, Haruhiko Murata, Yasuo Funazou; "A New Projection System based on the Light Scrolling Method for Motion Pictures", International Display Workshops'03, pp.1593-1596, 2003.

K.Arai, S.Yoshii, T.Inuma, M.Maeda, T.Miwa, Y.Yokote, H. Kanayama, Y.Funazou ; "A New Projection System with Scrolling Illumination for Motion Picture", Society for Information Display'03, pp.770-773, 2003.

Y.Kurosaka, T.Ikeda, K.Tateishi, H. Kanayama, K.Konishi, T.Obase, Y.Funazou;
"Development of Ultra-Compact Color Separation and Recombination System
Comprized of Only One Cubical Space", International Display Workshops'02,
pp.469-472, 2002.

T.Ikeda, Y.Kurosaka, K.Tateishi, H.Kanayama, K.Konishi, T.Obase, Y.Funazou;
"Development of a New LCoS Projector with Ultra Compact Color Separation and
Recombination System", Microdisplay2002, pp.14-17, 2002.

D.Takemori, K.Kanatani, S.Kishimoto, S.Yoshii, H. Kanayama ; "3-D Display
With Large Double Lenticular Screen", Society for Information Display'95,
pp.55-58, 1995.

H.Isono, M.Yasuda, D.Takemori, H.Kanayama, C.Yamada, K.Chiba;
"Autostereoscopic 3-D Display System With Wide Viewing Angles", Euro
Display'93, pp.407-410, 1993.

H.Isono, S.Yasuda, D.Takemori, H.Kanayama Chihiro Yamada, Kazuo Chiba;
"50-inch Autostereoscopic Full Color 3-D TV Display System", International
Society for Optical Engineering (SPIE), Vol.1669, 1992.

K.Yamauchi, H. Kanayama, T.Miwa, K.Takeuchi, N.Nakatani, Y.Marushita;
"High Resolution LC Video Projector" ICCE, pp430-435, 1990.

安東孝久, 金山秀行, 増谷健, 小山田健二; "7視点メガネなし立体ディスプレイ用
多視点映像統合装置の開発", 日本バーチャルリアリティ学会, pp.433-436, 2004.

磯野春雄, 安田稔, 竹森大祐, 金山秀行, 山田千彦, 千葉和夫; "8眼式メガネなし
3-DTV ディスプレイシステム", 3次元画像コンファレンス 93, pp.51-56, 1993.

磯野春雄, 安田稔, 竹森大祐, 金山秀行, 山田千彦, 千葉和夫; "40 インチ液晶投写型メガネなし立体 TV ディスプレイ", 第 21 回画像工学コンファレンス, 11-4 pp.213-216, 1991.

村田治彦, 沖野俊行, 金山秀行, 堀内浩, 宮永明; "小型電子スチルカメラの開発", ITEJ Technical Report, Vol.12, No.57, pp.31-36, Dec.22, 1988.

[工業所有権(特許)]

出願者(発明者)	公開番号	発明の名称	出願日
金山秀行 他	特開 S63069393	モアレ防止回路	1986/9/11
金山秀行 他	特開 S63238772	オートフォーカス機構	1987/10/1
金山秀行	特開 S63100620	光学式ピツクアップ装置	1986/10/8
金山秀行 他	特開 H02017704	カメラ	1988/7/20
金山秀行 他	特開 H02017724	カメラ	1988/7/18
金山秀行 他	特開 H02095324	ズーム機能付カメラ	1989/1/19
金山秀行 他	特開 H02219379	固体撮像素子の駆動方法	1989/2/20
金山秀行 他	特開 H02243070	オートフォーカスカメラ	1989/3/15
金山秀行 他	特開 H03012573	電子スチルカメラ	1989/6/20
金山秀行 他	特開 H03067216	液晶プロジェクタ	1989/8/7
金山秀行 他	特開 H04035492	立体映像表示装置の光学系調節方法	1990/5/30
金山秀行 他	特開 H04055084	投写型液晶表示装置	1990/9/14
金山秀行 他	特開 H04066993	小型ディスプレイ装置	1990/7/4
金山秀行 他	特開 H04123030	投写型液晶表示装置	1990/9/14
金山秀行 他	特開 H05034822	光源装置	1991/7/26
金山秀行 他	特開 H05103350	液晶立体プロジェクタ	1991/10/3
金山秀行 他	特開 H05236405	投写型表示装置	1991/7/30
金山秀行 他	特開 H06054348	立体テレビ電話装置	1992/7/30
金山秀行 他	特開 H06075212	液晶表示装置	1992/8/28
金山秀行	特開 H06148635	ディスプレイ装置	1992/11/13
金山秀行 他	特開 H06265818	眼鏡なし3次元画像表示装置	1993/3/16
金山秀行 他	特開 H06292241	立体撮像装置	1993/3/30
金山秀行 他	特開 H06311535	立体撮像装置	1993/4/20
金山秀行 他	特開 H06311537	投写型映像表示装置	1993/4/26
金山秀行 他	特開 H07015750	投写型映像表示装置	1993/6/24
金山秀行 他	特開 H07064043	投写型映像表示装置	1993/8/24
金山秀行 他	特開 H07261119	立体映像表示装置	1994/3/22

金山秀行	特開 H07059118	立体映像表示装置	1993/8/19
金山秀行 他	特開 H07099596	頭部固定型ビデオカメラ	1993/9/28
金山秀行 他	特開 H07287195	メガネ無し立体表示装置	1994/5/19
金山秀行 他	特開 H07311364	視点追従型立体表示装置	1994/5/18
金山秀行	特開 H07311365	立体映像表示装置	1994/5/18
金山秀行 他	特開 H08009421	立体映像装置	1994/6/20
金山秀行 他	特開 H08015795	投写型立体映像表示装置	1994/10/19
金山秀行 他	特開 H08062533	立体表示装置	1994/8/19
金山秀行	特開 H08076059	立体映像表示装置	1994/9/7
金山秀行 他	特開 H09080654	立体撮像装置の光学装置	1995/9/18
金山秀行 他	特開 H09236797	カラー液晶表示装置	1996/12/25
金山秀行 他	特開 H09258133	カラー映像表示装置	1996/3/18
金山秀行 他	特開 H09304851	立体映像表示装置	1996/5/10
金山秀行 他	特開 H11002782	映像投写装置	1997/6/10
金山秀行 他	特開 H10073724	カラー液晶表示装置	1996/12/26
金山秀行 他	特開 H10186273	液晶立体表示装置	1996/12/20
金山秀行	特開 H10177150	立体映像表示装置	1996/12/17
金山秀行 他	特開 H01078082	電子スチルカメラの自動露光制御方法	1987/9/18
金山秀行	特開 H01073835	アルバダフアインダ	1987/11/5
金山秀行	特開 H11095165	映像投写装置	1997/9/19
金山秀行 他	特開 H01055991	撮像装置	1987/8/26
金山秀行	特開 H01118712	光学式変位測定装置	1987/10/30
金山秀行 他	特開 H01118111	磁気記録式カメラの集点調節機構	1987/10/30
金山秀行 他	特開 H11305166	投写型映像表示装置	1998/4/21
金山秀行 他	特開 2000-029135	映像投写装置	1998/9/17
金山秀行 他	特開 2000-066135	映像投写装置	1998/6/11
金山秀行	特開 2000-098922	背面投射型表示装置	1998/9/21
金山秀行 他	特開 2000-101981	撮像表示装置	1998/9/21
金山秀行 他	特開 2000-206460	眼鏡無し立体映像表示装置	1999/1/11
金山秀行 他	特開 2000-284228	液晶プロジェクタ装置	1999/3/31
金山秀行 他	特開 2001-042461	背面投写型表示装置	1999/8/4
金山秀行 他	特開 2001-051345	照明光学装置	1999/8/4
金山秀行 他	特開 2001-100173	投写型表示装置	1999/9/29
金山秀行 他	特開 2001-255488	投写型車載映像表示装置	2000/3/14
金山秀行 他	特開 2002-318357	微小凹面鏡アレイ及び三次元映像表示装置	2001/4/20
金山秀行 他	特開 2002-303822	虚像光学表示装置及びそれを用いた三次元映像表示装置	2001/4/9
金山秀行 他	特開 2003-149738	単板型映像表示装置	2001/11/19
金山秀行 他	特開 2003-207740	背面投写型映像表示装置	2002/1/16
金山秀行 他	特開 2004-004463	投写型映像表示装置及び照明装置	2002/10/8
金山秀行 他	特開 2004-004505	投写型映像表示装置	2002/12/12
金山秀行 他	特開 2004-004613	投写型映像表示装置	2003/3/14
金山秀行 他	特開 2004-004618	投写型映像表示装置	2003/3/17

金山秀行 他	特開 2004-004619	投写型映像表示装置	2003/3/17
金山秀行 他	特開 2004-191767	投写型映像表示装置	2002/12/12