

投射型高精細ディスプレイ用投射レンズ

平田 浩二*・大沢 敦夫**・福田 京平***・吉川 博樹****・村中 昌幸*****・吉崎 功*

*日立製作所映像情報メディア事業部 〒244-0817 横浜市戸塚区吉田町 292

**日立製作所家電・情報メディア事業本部 〒244-0817 横浜市戸塚区吉田町 292

***徳島文理大学文学部コミュニケーション学科 〒769-2101 香川県大川郡志度町堂林 1314-1

****日立製作所マルチメディアシステム開発本部 〒244-0817 横浜市戸塚区吉田町 292

*****日立製作所生産技術部 〒100-8220 東京都千代田区丸の内 1-5-1

Optical Design of Hybrid Projection Lens for High Definition Projection Display

Kohji HIRATA,* Astuo OHSAWA,** Kyouhei FUKUDA,*** Hiroki YOSHIKAWA,****
Masayuki MURANAKA***** and Isao YOSHIZAKI*

*Division of Image and Information Media, Hitachi Ltd., 292, Yoshida-cho, Totsuka-ku, Yokohama 244-0817

**Division of Consumer and Information Media, Hitachi Ltd., 292, Yoshida-cho, Totsuka-ku, Yokohama 244-0817

***Department of Communication, Faculty of Literature, Tokushima Bunri University, 1314-1, Doubayashi, Sidocho, Ookawa-gun, Kagawa 769-2101

****Division of Multi-Media System, Hitachi Ltd., 292, Yoshida-cho, Totsuka-ku, Yokohama 244-0817

*****Division of Production Engineering, Hitachi Ltd., 1-5-1, Marunouchi Chiyoda-ku, Tokyo 100-8220

We have developed a hybrid projection lens composed of plastic elements and glass elements for high definition projection display. It is composed of 4 elements of plastic lens and two elements of glass lens. One of the features in this lens system is that chromatic aberration decreases very much by adopting glass doublet lens. Moreover, another feature of this lens system is that more precise compensation for focusing drift by temperature and humidity, which is the most important problem for plastic lens, was achieved and we have got good image quality to maintain high definition level. The good compensation for focusing drift was realized by a new method of optimizing the shape of aspherical plastic lenses besides the conventional methods.

1. はじめに

筆者らは、以前に投射型テレビ用の投射レンズとして、プラスチックとガラスを併用したレンズを開発した。これは、プラスチックレンズの最大の特長である非球面を最大限に活用しており、 $F=1.0$ と高輝度でありながら、半面角 39° という広角を実現し、セットを従来に比べて大幅に薄型化することができた^{1,2)}。性能面においても、現行放送(NTSC)対応としては、十分なレベルを実現することができた。

今回はこの技術を基に、コンピューター用端末に用いられる投射型高精細ディスプレイ用のハイブリッド投射レン

ズを設計した。一般に高精細ディスプレイの走査線は1,000本以上であり、NTSCに比べると約2倍以上であり、投射レンズも1,000本以上の解像度が必要である。この投射レンズは、プラスチックレンズの大きな課題である、温度、湿度の変化によるフォーカス性能の劣化を解決するために、従来用いられている手法のほかに、非球面形状を最適化するという新手法を導入した。

本論文では、新規に設計した投射レンズと、この温度、湿度による劣化を対策するための方法について述べる。

2. 投射型高精細ディスプレイ用投射レンズの設計課題

投射型ディスプレイは、投射方式の違いによりフロント

***E-mail: kfukuda@mb.kagawa-net.or.jp

タイプとリアタイプに分類される。家庭用としてテレビ画面を楽しむためには、外光の影響によるコントラスト性能の劣化が少ないリアタイプが主流となっている。以下リアタイプの投射型ディスプレイについて述べる。Fig. 1は、このリアタイプの代表的なセットの構造を示す断面図である。小型の投射管上に映し出された画像は、投射レンズによりスクリーン上に拡大投射される。また、光路折り返しのためのミラーが設けられており、セットを小型化する役目を果たしている。このようリアタイプの投射型ディスプレイでは、設置スペースを小さくするために、セットの薄型化が要求されている。薄型化するためには、投射レンズの画角を広げ、投射距離を短くすることが最も有効である。

投射型高精細ディスプレイ用投射レンズの主な設計課題は次の3点である。

- ① 高精細画像の投射に対応可能な高解像度の実現。
- ② 大画面でも十分な明るさを確保できるだけの大口径化。
- ③ コンパクトなセットを実現するための広画面角化。

3. 投射レンズの設計方針

2章で示した設計上の課題を満足する高精細ディスプレイ用の投射レンズを実現するためには、各レンズの収差補正の役割分担を設計の初期の段階で明確に設定する必要がある³⁾。今回の設計においては、単色収差の補正を蛍光面の非球面化と非球面プラスチックレンズにより行い、色収差はガラスのダブルレットレンズにより補正した。

4. 非球面プラスチックレンズの活用上の制約

非球面プラスチックレンズは、設計上の自由度が飛躍的に増える反面、温度、湿度等の使用環境の変化によって屈折率と形状が変化し、光学特性が劣化するという課題がある。このため、以下の方針で設計を行った。

- ① 全系の正のパワーのほとんどをガラスレンズに分担させ、プラスチックレンズのパワーを極力小さくする。
- ② プラスチックレンズの半径方向に肉厚差があると、均一な膨張にならず、収差が劣化しやすい。収差補正が低下しない範囲で、プラスチックレンズの肉厚が極力均一な形状とする。

5. レンズ設計

5.1 レンズ構成の決定

現行NTSC対応として、プラスチック非球面レンズ3枚、ガラスレンズ1枚から構成される投射レンズが開発さ

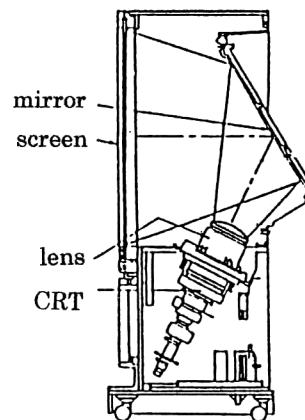


Fig. 1. Construction of rear-type projection display.

れている²⁾。これは、半画角が 39° と非常に投射距離が短く、薄型のセットを実現できる。今回筆者らは、広画面角を実現するために、このレンズを設計のスタートレンズとした。

高精細ディスプレイは空間周波数1,000 TV本の解像力が必要である。これを実現するには、解像力が約700本の現行NTSC対応の投射レンズに対して、画面全域にわたり単色収差を30%低減し、かつ低い周波数帯でのコントラストを改善するために色収差補正を行うこととした。このために、スタートレンズに対して以下のレンズを付け足した。

- ① 単色収差の補正のために、光束が最も広がるガラスレンズの外側に、非球面プラスチックレンズを1枚追加し、より高精度に単色収差を補正した。
- ② ガラスレンズをダブルレット化し、色収差を補正した。また、広画面角に際して最も問題となる像面湾曲の対策のために、現行のNTSC対応レンズと同じく蛍光面を湾曲した非球面としている。

5.2 フォーカス性能の温度、湿度に対する新補償法

投射レンズの投射距離を短縮(広画面角)すると、画面周辺部において高次のコマ収差が増大する。これを補正するためには、最もスクリーン側に位置するレンズの周辺部を凹形状とすることが光学設計上有利である。しかし、このようにするとプラスチックレンズの肉厚が均一な形状とならず、温湿度変化時に均一な膨張、均一な屈折率分布とならない可能性がある。また、厚みが均一でない成形のサイクルタイムが長くなり、量産性が劣化する。そこで、このレンズを2枚に分割し、温湿度変化に対してのフォーカス劣化が少ない構成を実現した。以下この原理をFig. 2を用いて説明する。ガラスレンズよりスクリーン側に位置するレンズaおよびレンズb(以下出射レンズ群と記述)において、近軸近傍(1)のレンズ形状をレンズパワーをもたない

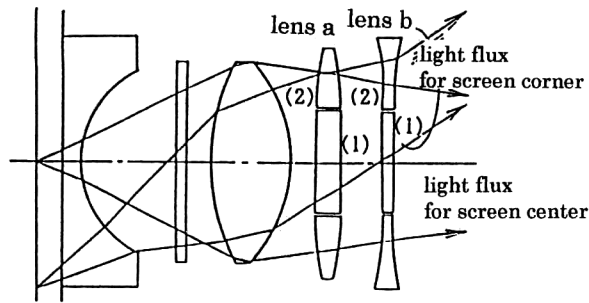


Fig. 2. Principle figure to decrease temperature and humidity dependency by the shape of output lens group.

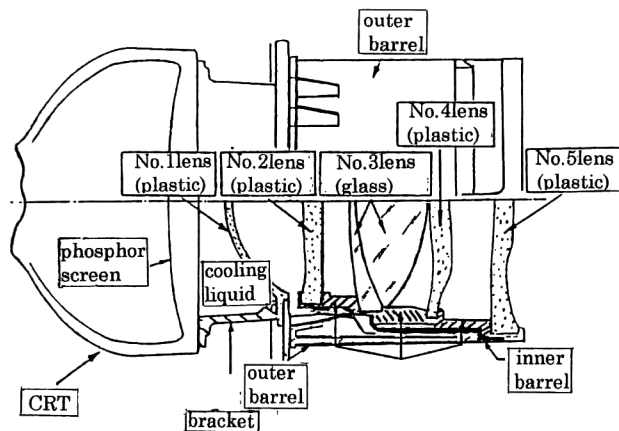


Fig. 3. Construction of new designed projection lens.

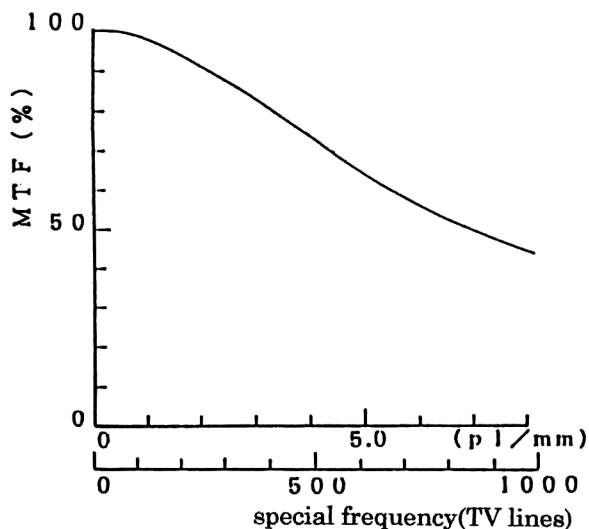


Fig. 4. Focusing characteristics of new designed projection lens (at the center on the screen).

均一肉厚な形状とし、かつ周辺部 (2) のそれぞれの局部的レンズパワーを、絶対値が等しい正のパワーと負のパワーとする。この構成により、温度、湿度変化によりそれぞれのレンズで発生する収差の劣化を相殺することができる。

Table 1. Results of design.

Items	Results of design	Conventional high definition lens
Focal length (mm)	86 mm	132 mm
<i>F</i> value	0.94	1.2
Magnification	9.4	9.5
Object height (mm)	62.5 mm	72.2 mm
Resolution	more than 1000 TV lines	more than 1000 TV lines
Relative corner illumination (%)	34%	26%
Distortion	5.4%	-0.3%
Projection distance	873 mm	1430 mm
Half picture angle	36°	25.2°

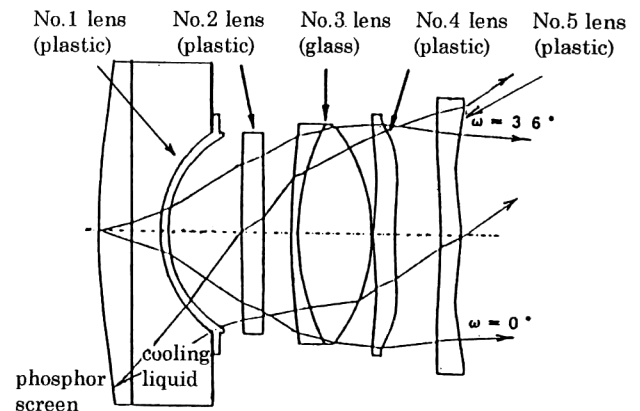


Fig. 5. Optical ray traces in new designed projection lens.

6. 設計結果

以上のようにして設計した投射レンズの構成を Fig. 3 に示す。非球面プラスチックレンズ4枚とガラスのダブルレットレンズからなる6枚という少ない構成枚数となっている。No. 2, No. 4, No. 5のプラスチックレンズは薄肉で極力均一な厚さとなっている。

フォーカス性能は Fig. 4 に示すように十分に高精細用に対応できるレベルを達成している。なお、Fig. 4 の横軸はスクリーン上の空間周波数 (TV 本) のほかに、投射管上での空間周波数 (pl/mm) についても併記した。設計諸元を従来の高精細用投射レンズと比較して Table 1 に示す。レンズの明るさについては、*F* 値からわかるように、従来高精細用投射レンズと比べて 60% 向上した。

また、画角については、従来レンズに対して 43% 拡大した。その結果、従来より大幅にセットの奥行きを薄くすることができる。

次に、設計レンズの温湿度変化によるフォーカス劣化対策効果について述べる。

温度、湿度が変化すると、材質の屈折率、形状が変化する。Fig. 3 の No. 4 レンズと No. 5 レンズが、材質の屈折

Table 2. Aberrations caused by lenses expansion by humidity absorption.

condition	screen center($\omega=0^\circ$)	screen corner($\omega=36^\circ$)	
		meridional	sagittal
a basis			
expansion of both of No4 lens and No5 lens			
expansion of only No4 lens			
expansion of only No5 lens			

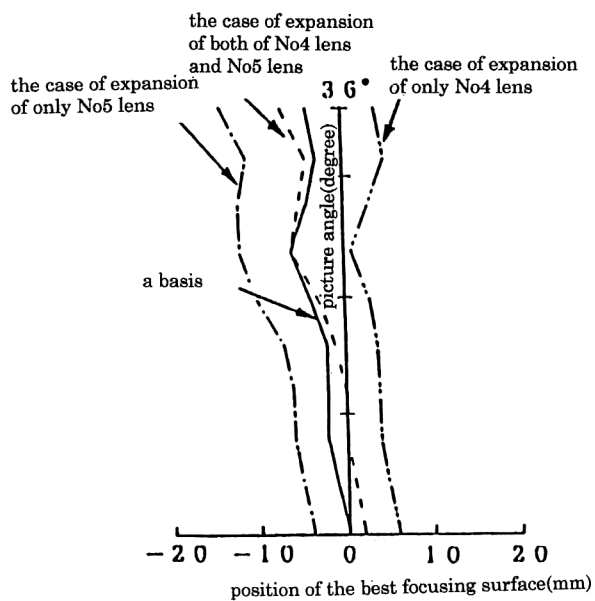


Fig. 6. The change of imaged surface by lenses expansion by humidity absorption.

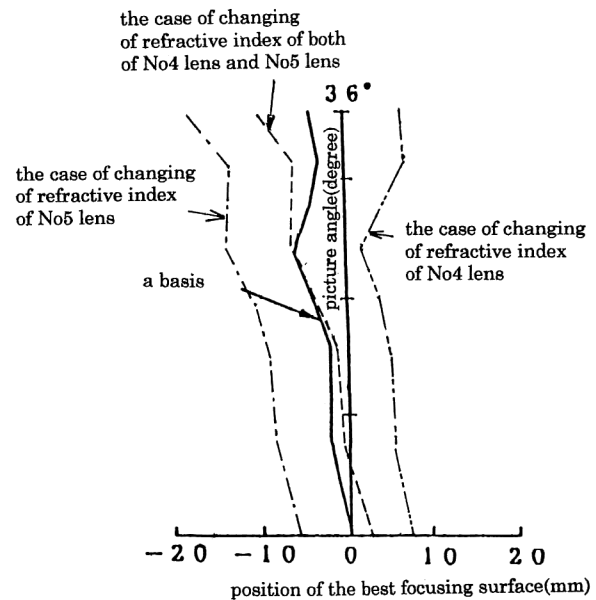


Fig. 7. The change of imaged surface caused by lens shapes changing brought by temperature.

率および形状が変化するとき互いにフォーカス劣化に対して相殺するように作用することを、シミュレーションで確認した。

まず形状変化についてのシミュレーション結果について述べる。実使用状態で生じる温度、湿度による形状変化は

鏡筒の保持方法、過渡特性等により、均一に膨張するものではないが、あまり力が加わらずかつ十分な時間が経過したときには、定常状態となり、均一な膨張になると考えられる。実際にレンズを鏡筒に組み込み、十分な時間恒温、恒湿層に置き、レンズの形状測定をしたところ、ほぼ均一

に膨張していた。均一膨張のもとでの光線追跡シミュレーションを行った。Fig. 5は画面中心で結像する光線と画面周辺部(画角=36°)で結像する光線の軌跡を示している。Table 2はNo. 4レンズを単独に変形させた場合、No. 5レンズを単独に変形させた場合、No. 4, No. 5レンズを同時に変形させた場合についての収差変化を、画面中心および画面周辺部について示したものである。また、このとき生じる像面湾曲の変化をメリジオナル像面について評価した。結果をFig. 6に示す。像面位置の移動量についても、No. 4レンズとNo. 5レンズは互いに逆方向であり、No. 4レンズとNo. 5レンズが同時に変形すると、相殺することがわかる。

両図より、設計で意図したように2枚のレンズが同時に変形した場合には、それぞれが単独に変形した場合に生じる収差劣化を互いに相殺するように機能することが確認できた。

次に屈折率変化についてのシミュレーション結果について述べる。温度、湿度の変化に対して、実使用状態ではレンズの全域にわたって屈折率が一樣に変化するわけではないが、No. 4, No. 5レンズとも薄肉になっているため比較的早く定常状態になると仮定してシミュレーションを行った。Fig. 7にメリジオナル方向の像面湾曲を計算した結果

を示す。No. 4レンズとNo. 5レンズはそれぞれ像面湾曲の移動方向が逆であり、お互いに打ち消し合っていることがわかる。

7. む す び

高精細用ディスプレイ用投射レンズを開発した。このレンズは、①プラスチックレンズ4枚、ガラスレンズ2枚のハイブリッド構成6枚という少ない構成枚数、②従来の高精細ディスプレイ対応レンズに比べて明るさが60%増大、③画角を43%拡大し薄型のセットを実現、④プラスチックレンズ問題点のひとつである温度、湿度変化によるフォーカス劣化を低減できるという特長を有する。

文 献

- 1) 村中昌幸, 竹下正道; “プラスチックレンズの技術動向”, 技術士, 274号 (1991) 63-65.
- 2) K. Fukuda, K. Hirata, H. Yoshikawa and M. Muranaka: “New optical system for projection TV with short projection distance,” Proc. SPIE, **1168** (1989) 261-271.
- 3) A. Osawa, K. Fukuda and K. Hirata: “Optical design of high aperture aspherical projection lens,” Proc. SPIE, **1354** (1990) 337-343.