

Super MEDIAGLOBE-II 4K用レンズの開発

Special Lens Developed for the Super MEDIAGLOBE-II 4K Planetarium Projector

廣瀬全利* 西垣順二** 竹内和浩**
Masatoshi HIROSE Junji NISHIGAKI Kazuhiro TAKEUCHI

要旨

近年のプラネタリウムは、星を映すだけでなくプロジェクターを使用し、星空、宇宙空間やコンピューターグラフィックス、ドーム全体に広がる映像等を投射出来る様になっている。その映像も臨場感や没入感を高めるため、4K×2Kというような高精細なパネルを持つプロジェクターが使用されるようになってきている。高精細パネルが持つ高い映像品質を余すところなくドーム上に再現するためには、以下の様な課題を解決する必要がある。

1. パネルの利用効率を向上させて、出来るだけ多くの表示画素をドーム上に投射出来るようにすると共に、プロジェクターの設置条件が変わっても、ドーム上に映像が投射できない部分を発生させないこと。
2. プロジェクターの投射レンズの解像力や倍率色収差といった光学性能をパネルの高精細化に対応した高いものとする。

我々は、上記2点の課題を解決した投射レンズを開発した。この投射レンズは、2012年4月オープンの「いしかわ子ども交流センター」に1号機を納入し、2012年5月22日にオープンした「コニカミノルタプラネタリウム“天空” in 東京スカイツリータウン®」にも使用されているデジタルプラネタリウムSuper MEDIAGLOBE-II 4Kに搭載されている。尚、Super MEDIAGLOBE-II 4Kとはドーム中央に2台のプロジェクターを配置し2分割された映像をつなぎ合わせてドーム全体に投射するシステムである。

執筆者



廣瀬全利



西垣順二



竹内和浩

* コニカミノルタテクノロジーセンター(株) 要素技術開発センター
** コニカミノルタプラネタリウム(株)

Abstract

In recent years, planetariums have been designed not only to project stars, but, using digital projectors, to also project images spreading over the dome such as starry skies, outer space, and other computer graphics. To enhance the sense of presence and the immersive effect of these projections, projectors using high-definition LCDs such as 4k x 2k LCD panels have been used.

In order to fully project the high quality images of a high-definition LCD panel, the following must be achieved:

1. As many display pixels should be projected on the dome as possible by improving the efficiency of use of the panel. At the same time, the entire projected images should fit the dome.
2. Optical properties such as image resolution and the reduction of the lateral chromatic aberration of the projection lens should be greatly improved.

Following these two achievements, we incorporated the lens in Konica Minolta's Super MEDIAGLOBE-II 4K, and this, the first such digital planetarium projection system to go into service, debuted at the Ishikawa Pref. Children Activity Center in April, 2012. A second was installed at the Konica Minolta Planetarium TENKU in TOKYO SKYTREE TOWN® in May, 2012. Each of these systems has two projectors positioned around the center of the planetarium, and the two images from these dual projectors are stitched together to cover the entire area of the dome.

In this report, the newly developed projection lens used in these projection systems is described.

1 はじめに

大型の施設で使用されるプラネタリウムは主に、星を投射する恒星投射機と映像を投射するプロジェクターから構成されている。そして、プロジェクターに搭載される投射レンズは、ドーム全体に映像を投射するため非常に広角となっている。

近年、プロジェクターで投射される映像は高精細にするために、高精細なパネルを持つプロジェクターを採用したり、複数台でドームに映像を投射する等様々な工夫がなされている。

ドームを1台のプロジェクターで投射する単眼式と呼ばれるデジタル映像機の初期世代機種であるSuper MEDIAGLOBE用の投射レンズの概略図をFig. 1に示す。投射レンズとパネルの間に色合成プリズムやカバーガラス等の光学部品 (Optical elements) 設置のため、焦点距離の約13倍もの長いバックフォーカスが必要となっている。

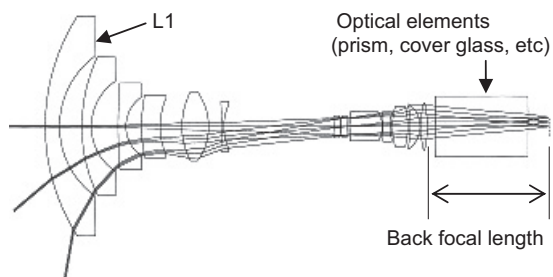


Fig. 1 Schematic lens configuration in the Super MEDIAGLOBE, Konica Minolta's first-generation, single projector system. Due to the installation of such optical elements as a prism and a cover glass between the projection lens and the LCD panel, a long back focal length approximately 13 times longer than focal length is required. The effective diameter of the lens L1 is 224.5 mm, much greater than the 19.3 mm diameter maximum usable area of the LCD panel.

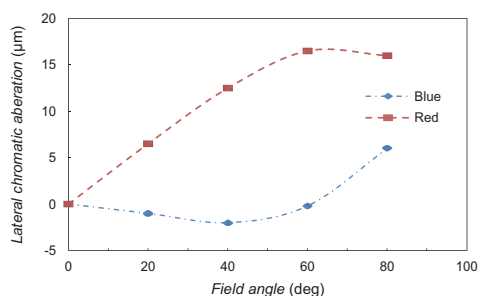


Fig. 2 Lateral chromatic aberration of projection lens in Fig. 1. The approximately 16 μm maximum lateral chromatic aberration and the 12.9 μm pixel pitch of the projector in the Super MEDIAGLOBE result in a color shift of more than one pixel.

投射レンズは、前方に負レンズを多く並べ光束を広げてから集光する、いわゆるレトロフォーカスの構成を取って長いバックフォーカスを確保している。この様に光学系の前方に強い負のパワーを設ける事が、倍率色収差を大きくしてしまう大きな原因となっており、同時にL1レンズを大きくしてしまう原因にもなっている。

このレンズの倍率色収差は、Fig. 2の通り、最大で約16 μmあった。Super MEDIAGLOBEで使用しているプロジェクターの画素ピッチは12.9 μmであり、投射したときに1画素以上の色ずれが発生している事になる。また、レンズサイズもパネルの最大使用範囲がφ19.3mmに対してL1の有効径がφ224.5mmと非常に大きくなっている。

このSuper MEDIAGLOBEやその後継機種であるSuper MEDIAGLOBE-IIの様な単眼式デジタル映像機は、ドームの中心付近にプロジェクターが配置されている。

この様な投射方式でのパネルの使用範囲 (Usable area) は、Fig. 3の通りパネルの短辺方向に内接する円形状内部となる。プラネタリウムで使用される高精細なプロジェクターのパネルはアスペクト比が横長の形状をしており、パネルを有効に使用出来ているとは言えなかった。

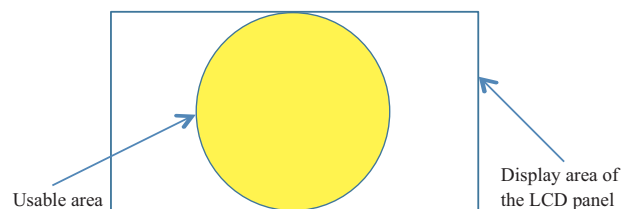


Fig. 3 Usable area of the LCD panel of a single-projector projection system. The LCD panel in a single-projector projection system is not used effectively.

本稿では、高精細な映像を得る為に以下の点を課題として新規投射レンズを開発したので、その内容について報告する。

- 1) パネルの利用効率の向上
- 2) 長いバックフォーカスと極小な倍率色収差の両立

2 Super MEDIAGLOBE-II 4K用光学系

2.1 パネルの利用効率の向上

2.1.1 プラネタリウムの構成

本レンズが採用されたコニカミノルタプラネタリウム“天空” in 東京スカイツリータウン®の投射システムの画像をFig. 4に、投射の模式図をFig. 5に示す。

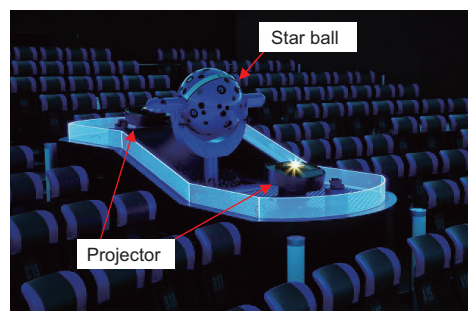


Fig. 4 The Super MEDIAGLOBE-II 4K projection system used in TENKU. The dual projectors on either side of the star ball project images that completely fill the dome.

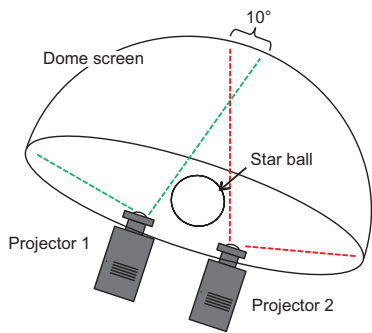


Fig. 5 The TENKU projection system.

ドームの中心に、星を投射する光学式の恒星投射機(スターボール)とその両側に配置されたプロジェクター2台で全天を投射している。その際、つなぎ目は天頂からそれぞれ5°ずつ、合計10°の領域がオーバーラップしている。

1台で約半分のドームを投射する事によりパネルの使用範囲は概略Fig. 6のようになり、Fig. 3と比較してパネルを広範囲で利用出来ている事が分かる。すなわち、2台のプロジェクターで投射する事によりパネルの利用効率が向上し、単眼式よりも2倍以上の高精細な映像を得ることが出来る。

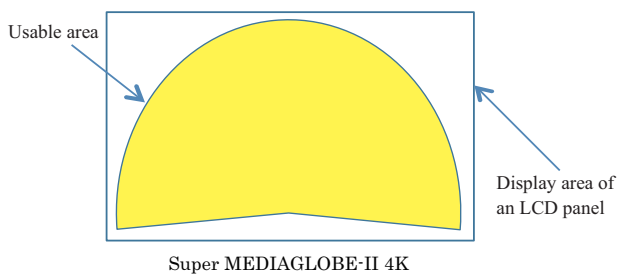


Fig. 6 The usable area of the LCD panel using the Super MEDIAGLOBE-II 4K's two projectors. The LCD panel is used effectively, resulting in an image with two times higher the definition of a single projector system.

2. 1. 2 最適な焦点距離の決定

2眼式のシステムは、前述の通りドーム中心から離れた場所にプロジェクターが配置されるが、プロジェクターの配置される位置は設置館毎に変わる。設置条件が違えば、ドームをカバーするために必要なレンズの画角やパネル上での使用範囲も変わることになる。

また、投射レンズの焦点距離は、短いとFig. 6の略扇型部、すなわちパネルの使用範囲が小さくなってしまふ。一方、焦点距離が長いと、パネル全域を使ってもドーム上に映像が投射されない領域が発生してしまう。

従って、使用する投射レンズには、想定される設置条件全てでドーム全体をカバー出来る画角を有し、それが無駄なくパネル内に収まる様な焦点距離を決定する事が要求される。

焦点距離を決定するために必要な条件をFig. 7に示す。まず焦点距離を仮決めし、様々な会場の、ドーム径(A)、ドームに対するプロジェクターの設置位置(B,C)の情報、

更にプロジェクターの角度(D)も調整して、パネル領域を出来るだけ無駄なく使い、且つドームの投射範囲をカバー出来ているかの確認を行う。そして、最も厳しい条件下でパネルを最大限に利用し、ドーム全体を投射できる画角を有する様に焦点距離を設定した。

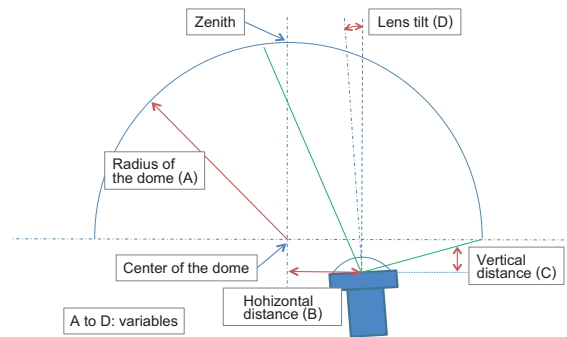
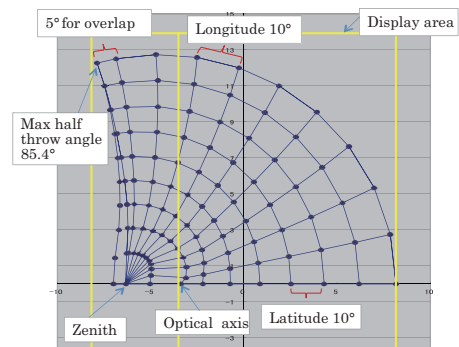
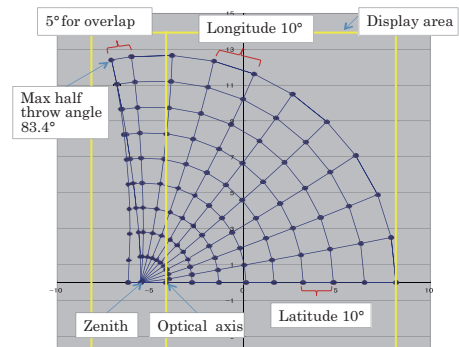


Fig. 7 Variables determining focal length. The optimum focal length for projection lens is required to obtain an appropriate throw angle to cover the entire dome, and the image area is fit into the panel.

設置条件、すなわち変数A～Dの違いによるパネルの使用領域の違い、及び最大画角の違いをCase1, Case2二つの例を用いてFig. 8に示す。



Case 1 - A: 6,000 mm, B: 1,600 mm, C: 700 mm, D: 5°



Case 2 - A: 8,100 mm, B: 1,200 mm, C: 1,000 mm, D: 1.3°

Fig. 8 Simulation results of usable area.

Case1, 2で設定したVariablesは、現存するドーム館に設置する事を想定した時の値であり、Case1は必要な画角が、パネル使用範囲とも最も広い条件であり、Case2は必要な画角、パネル使用範囲とも余裕のある設置条件である。

Fig. 8 の黄線の外枠はパネルの表示エリアであり、内部の黄線はレンズの光軸中心を示す為の線である。網目状の青線は設置条件を Case1, 2 に設定した時に、ドーム天頂 (Zenith) から緯度方向に 10° ピッチ、また、経度方向に 10° ピッチの点、及び 5° のオーバーラップのラインがパネル上でどこに位置するかを図示している。すなわち、扇型をした青線の内側がパネルの使用範囲となる。合わせて、画角が最大となるポイントとその角度を Max half of field angle として示している。

尚、Fig. 8 はパネルを縦長方向に図示しており、上下は対称のため下半分を省略している。

Fig. 8 の通り、設置条件によりドーム全体を投射するために必要な使用領域やレンズの画角が変わる事がわかる。また、最も条件の厳しい Case1 でパネルを右端から左端まで最大限利用出来ている。

本レンズは、この様に様々な設置館の条件に対応し、高精細なパネルの領域を可能な限り有効に使用してドーム全体に映像を投射する事を達成している。

3 長いバックフォーカスと極小な倍率色収差の両立

Super MEDIAGLOBE-II 4K で採用されているプロジェクターには、画素ピッチ 6.8 μm 、画素数が 4096 \times 2400 の液晶パネルが搭載されている。

Fig. 1 で示した広角レンズを、このプロジェクターに採用すると、投射したときに倍率色収差により約 2.5 画素のズレ、すなわち投射した星が完全に色ごとに分離する事になり、このプロジェクター用の投射レンズとしては不適切である。

そこで本設計では Fig. 9 に示すように、バックフォーカスの短い投射部 (Projection unit) と、長いバックフォーカスを確保するためのリレー部 (Relay unit) からなる光学系、すなわち光学系の中に 1 次結像面が存在する光学系を採用した。

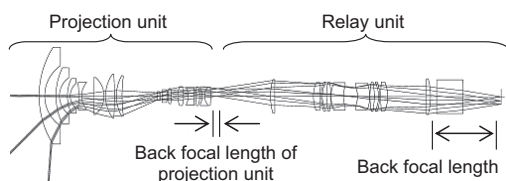


Fig. 9 Schematic lens configuration of Super MEDIAGLOBE-II 4K. In designing the lens for the Super MEDIAGLOBE-II 4K, an optical system composed of a projection unit with a short back focal length and a relay unit to obtain a long back focal length was adopted (a primary imaging surface exists in the optical system).

Fig. 9 中の 'Back focus of Projection unit' で示すように、従来の光学系で倍率色収差の主原因となっていた投射部のバックフォーカスは非常に短くなっており、焦点距離の約 1.1 倍程度である。そして、色合成プリズム設置等のために必要なバックフォーカスはリレー光学系を用いる事で確保している。

この長いバックフォーカスを確保するためのリレー光学系は左右対称となっており、原理的にこの部分で倍率色収差は発生しない。

その結果、本レンズの倍率色収差は Fig. 10 の通り、Fig. 2 と比較すると格段に小さく出来ていることが分かる。倍率色収差は、パネルの画素ピッチ 6.8 μm に対して最大で 1.5 μm と極めて高度な補正を達成し、高精細な映像の投射を可能にしている。また、投射部のバックフォーカスを短くしている事で、レンズ前方の負のパワーが小さくなっており、パネルの最大使用範囲 (光軸中心から最大像高を含む円の直径) が $\phi 26.2\text{mm}$ と従来に比べ約 1.36 倍となっているにもかかわらず、L1 の有効径を $\phi 166\text{mm}$ と従来光学系の 0.74 倍と小型化を達成している。レンズの作製費用は一定の大きさを超えると急激に高くなるため、これはコストダウンにも貢献している。

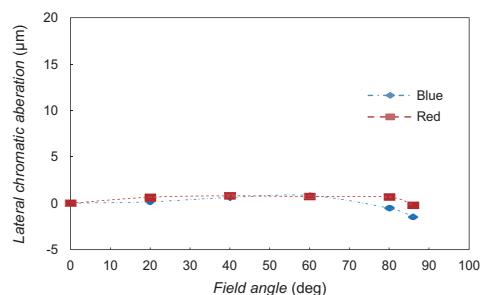


Fig. 10 Lateral chromatic aberration of the Super MEDIAGLOBE-II 4K projection lens. The lateral chromatic aberration is much smaller than that shown in Fig. 2.

一方、本構成はリレー部を設けていることで全長が長くなるというデメリットがあり、今後の課題である。

4 まとめ

高精細な 2 台のプロジェクターのパネルを最大限有効に利用し、且つ高い光学性能を持つ投射レンズにより、今までにない美しい星空と臨場感、没入感の高い迫力のある映像を創り出す事が出来た。

その結果、連日、日本全国からスカイツリータウンに集まる非常に多くのお客様に、わくわくする感動と驚きをお届けしている。また、2012 年 7 月に米国ルイジアナ州で開催された IPS (International Planetarium Society) で、「グローバルに見ても圧倒的なレンズ品質」と高い評価を頂いている。

今後は、光学系が長くなってしまいう原因であるリレー系を見直す事等により更なる小型軽量化、低コスト化を目指したい。