

単眼式 3D デジタルプラネタリウムの開発

新世代プラネタリウム Super-MEDIAGLOBE の開発

The Development of a 3D Digital Planetarium using a Single Lens Projection System

石橋 賢司*

Ishibashi, Kenji

藤村 真生***

Fujimura, Masao

西垣 順二*

Nishigaki, Junji

神原 弘之****

Kanbara, Hioryuki

兵頭 健一*

Hyoudou, Kenichi

高橋 保*

Takahashi, Tamotsu

瀧本 俊太**

Takimoto, Shunta

要旨

単眼式の3Dデジタルプラネタリウムを開発した。超高精細QXGA (2048×1536) プロジェクタを採用するとともに、ドーム上に精密に投映する160度魚眼レンズを開発した。また、恒星や惑星などの天体を3Dモデルにて作製し、リアルタイムに宇宙空間飛行をシミュレートできる3Dプラネタリウム機能及び、QXGA動画圧縮再生機能を搭載した。これにより、単眼式というコンパクトでありながら、高精細かつ、臨場感の高いプラネタリウムを実現した。

Abstract

We developed a 3D digital planetarium using a single lens projection system with a super high definition QXGA (2048x1536) projector and a 160 degree fisheye lens for precise image projection onto a dome screen.

In addition to constructing 3D models of celestial bodies such as fixed stars and planets, we also implemented QXGA video compression play function and a 3D planetarium function that enables space flight simulation in real time. The result was a compact, high-definition planetarium that totally absorbs its audience.

1 はじめに

コニカミノルタプラネタリウムでは、2001年世界で初めて、星像をコンピュータにて生成しプロジェクタと魚眼レンズにてドームに投映する、フルカラーデジタルプラネタリウム「MEDIAGLOBE」を発売した。従来の光学式に比較して、圧倒的に表現力が高く、広く教育分野に受け入れられている。

「MEDIAGLOBE」は小型ドーム（ドーム径3m～6m）向けであったが、これを発展させた、中型ドーム（推奨8m～12m）対応の「Super-MEDIAGLOBE」を開発した。

中型以上のデジタルプラネタリウムでは、より高い解

*コニカミノルタプラネタリウム(株) 技術部

**コニカミノルタオプト(株) オプティカルデバイス事業部

***大阪工業大学 電子情報通信工学科

****京都高度技術研究所 研究開発部

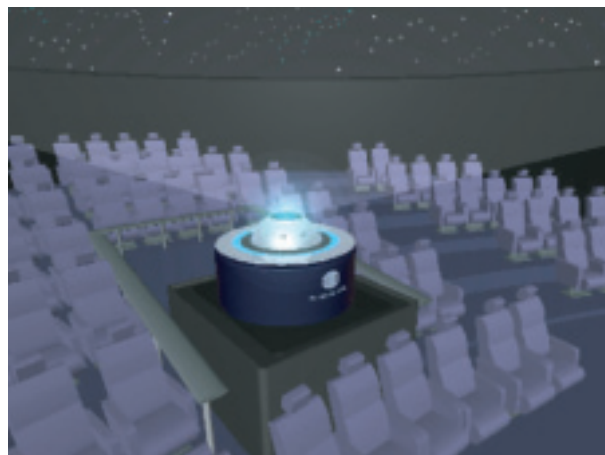


Fig.1 Installation image of "Super-MEDIAGLOBE"

像度と、明るさが要求される。分割投映方式（複数のプロジェクタの映像を連結して全天周に投映する方式）が一般的であるが、映像のつなぎ目の品位や経時変化に対するメンテナンス等の問題があった。また、システム面ではデジタル化に対応した、臨場感の高いプラネタリウムソフトウェアや動画コンテンツが強く求められていた。

本「Super-MEDIAGLOBE」は、超高精細なプロジェクタに対応する160度魚眼レンズの開発により、映像品位と信頼性の両立を、コンパクトに実現した。システム面では、天体を3Dモデルで構築しリアルタイムに描画をさせる3Dプラネタリウムソフトウェア、及び高精細な動画を圧縮伸長する機能を搭載し、感動を呼ぶ高度な演出を可能とした。

本稿では、「Super-MEDIAGLOBE」に搭載された、投映光学系、3Dプラネタリウム技術、QXGA動画圧縮再生技術、及びそれらを用いた演出例について報告する。

2 投映光学系

2.1 投映レンズ仕様

Table 1 に画角160度魚眼レンズの仕様を示し、その内容を決定順に述べる。

最大画角 $2\omega = 160^\circ$ は、ドームスクリーン及び他の機器との配置自由度確保より設定した。像円径は、プロ

ジェクタの画像表示素子（QXGA）の中央直径約1500pixel分の表示範囲から決まる。射影方式は等距離射影とし、1 pixel毎に、ドームスクリーン上で0.11°の等角度になるよう投映する。

焦点距離は、最大物体円径と画角から求まる。FNo.は、プロジェクタ照明系の能力から最大限明るくした。

また、プロジェクタのRGB 3板の表示素子を合成する光学系に対応し、入射瞳が無限遠となる、表示素子側がテレセントリックな構成で且つ、焦点距離に比べ非常に長いレンズバックを設定した。

外形、質量は、上記仕様と下記光学性能の達成できる最小を狙った。

Table 1 160° Fisheye Lens Specifications

focal length	7.03mm
F No.	3.5
field angle	$2\omega=160^\circ$
image circle	$\phi 19.35\text{mm}$
lens back	128mm(with prism)
projection type	equidistance projection ($r=f\cdot\theta$)
max diameter (lens diameter)	$\phi 305(\phi 233)\text{mm}$
total length	405mm
weight	11.8kg

2. 2 光学性能

Table 2 に光学性能を示す。

第一に、プラネタリウムとして全画面域で、画素サイズ0.013 mm角の1 pixelを、星の像らしく点に再現させる必要がある。40本/mmの解像力（Fig. 2）の維持と、周辺部の色にじみである倍率色収差（Fig. 3）を小さくすることで達成した。

第二に、全画面で歪み無く星座の再現をする為に、歪曲を十分小さくした。

第三に、正確な星の明るさを再現する為に、1 pixelで示す星の明るさが全画面で同じになる様に、開口効率100%のケラレの無い設計とした。

Table 2 Optical Performance

pixel size	0.013mm×0.013mm
required resolving power	40 line pairs/mm
chromatic aberration of magnification	red-green +0.006mm blue-green +0.009mm
distortion	0.16%
uniformity	vignetting factor 100%

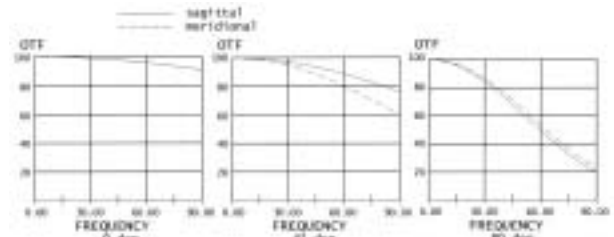


Fig.2 Optical Transfer Function (40 Line Pair/mm)

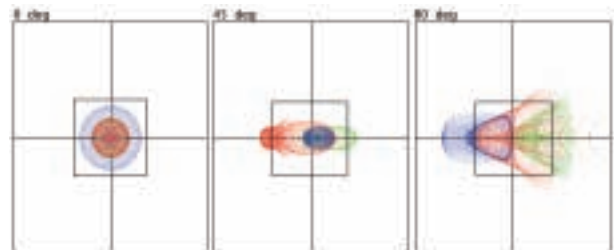


Fig.3 Spot diagrams

2. 3 構成、その他要点

構成の要点では、電動フォーカスとワンタッチで着脱できるマウント構成を、大口径レンズで達成するとともに、フォーカス機構を、全体繰り出しする直進とし、結像性能を維持した。

製造の要点では、組立時に多数のレンズを調芯（部品の精度によるガタを調整）し、更に投映した像面の傾きを見て、傾き補正できる鏡胴構成とした。これにより、点像のコマ状の劣化と、像面の傾きによるピンぼけを防止できた。

3 システム、描画系

3. 1 全体構成

計算機ソフトウェアとハードウェアを中心に見た、システム構成をFig. 4 に示す。3Dプラネタリウムソフトウェアと、QXGAサイズのMPEG 2 動画再生ソフトウェアを搭載し、さらに WWW ブラウザ表示にも対応している。映像生成を行い、プロジェクタにてドームに出力する「Image Generator PC（以下、描画 PC）」と、「描画 PC」のソフトウェアの動作を外部から制御する「Control PC（以下、制御 PC）」の2台の PC を用いる構成とした。

3Dプラネタリウムソフトウェアと MPEG 2 動画再生ソフトウェアは、天文計算、CG 画像合成及び動画再生に多大な演算処理能力を要求する。このため「描画 PC」には、Intel Xeon Dual プロセッサを用いた。また、Linux オペレーティングシステムを採用し、安定した動作を可能にしている。「操作 PC」は、一般的な Windows XP オペレーティングシステムを用いる。

「操作 PC」の出力画面から「描画 PC」を制御するソ

ソフトウェア：GUI (Graphical User Interface) と、プラネタリウム番組の自動実行機能は、Java 言語で実装予定である。「制御卓 (コンソール)」は、機械式スイッチやボリュームが実装され、オペレータの操作により番組実行を制御する。「操作 PC」とは シリアル通信を介して接続される。GUI、プラネタリウム番組そして「制御卓 (コンソール)」からの操作情報は、イベントハンドラソフトウェアを介して、「描画 PC」のソフトウェアの動作を制御する。

3. 2 3Dプラネタリウム

3Dプラネタリウムソフトウェアは、3つの画像処理技術で実現される。以下に3つの画像処理技術とその利用目的を示す。

- (a)古典的な2D CGの合成技術
→宇宙空間のスケールと文字の表示
- (b)ポピュラーな3D CG API「OpenGL Ver1.2」の3D形状射影・pixel変換技術
→一般的3D形状である星と人工衛星などの表示
- (c)描画ハードウェア駆動言語「Cg」¹⁾による柔軟な3D描画処理技術
→天体の落とす影や太陽の周りがあるフレアの現象、大気の色を表示

3Dプラネタリウムソフトウェアは仮想空間を構築し、11万8千個の恒星 (9.5等以上)、太陽系内惑星とその環、衛星、人工衛星、銀河の位置と形状などを保持している²⁾。この3Dデータには、星の自転・公転・固有運動などの情報も含まれており、視点位置と方向を任意に設

定することで、星の位置を正確に計算する。

これにより、半径2万光年の「恒星間飛行」、100万年に渡る恒星固有運動などの臨場感あふれるシミュレーション映像を、全天周にリアルタイムに再現する。地球上よりの視点しか再現できない従来のプラネタリウムと比較して、圧倒的に表現力が高く、より高度な宇宙の表現を可能とした。

3. 3 QXGA 動画再生

動画再生は、専用ハードウェアを用いることなくソフトウェアだけで、MPEG2形式で圧縮された最大QXGAサイズの動画を毎秒24フレームで再生する。ただしドーム上映に伴う制限としてQXGAサイズ (2048×1536 pixel) の長方形ではなく、一辺1536pixelの正方形の領域のみが再生の対象となる。

圧縮については、プラネタリウムでの上映で要求される高い画像品質を達成するため、専用のソフトウェアによるエンコーダを開発した。エンコード時に量子化係数とIフレームの周期を指定することで、再生時に得られるフレームレートと画像の品質、圧縮率を調整することができる。

また、動画再生ソフトウェアはマルチストリームの音声再生機能を備えている。10本までの音声ストリームデータを同時に再生し、6chのスピーカから出力を行なう。再生動画に同期した音声再生だけでなく、3Dプラネタリウムソフトウェアの生成するシミュレーション映像の進行に合わせた音声解説を提供する。

3Dプラネタリウムソフトウェアによるシミュレーショ

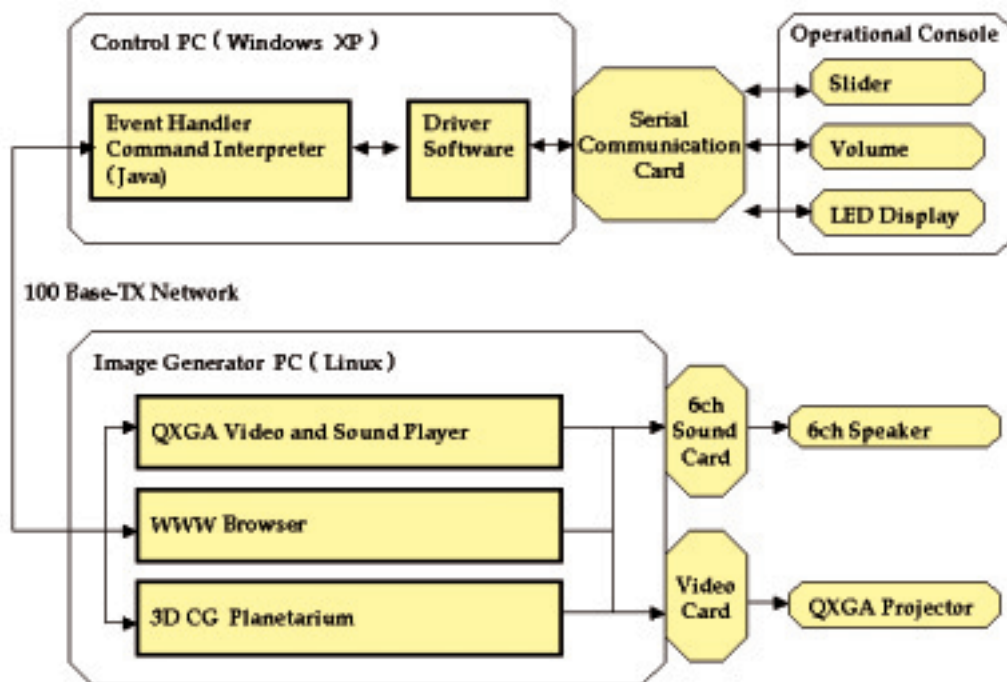


Fig.4 The System Block diagram of Super-MEDIAGLOBE System

ンの実行、動画再生、マルチストリーム音声再生、さらにWWWブラウザ表示は同時に行なうことが可能である。それぞれのソフトウェアは独立して制御できる。

4 演出例

4.1 3Dプラネタリウム演出例

Fig. 5は3Dプラネタリウム機能によって描画された木星とその衛星イオの映像である。木星を周回する軌道に視点を設定することにより、あたかも実際に木星の周りを周回しているような映像が全天周に投映される。

テクスチャには、ハッブル望遠鏡や探査衛星によって得られた映像を用いており、最新の科学的な知見を反映させている。

映像的な迫力だけでなく、科学的にも正確な表示を行なっている。木星はもちろん、イオ、エウロパ、ガニメデ、カリスト等の衛星にいたるまで、天文学的に正確に軌道計算され、正しい位置に表示される。陰影についても、太陽よりの光線を計算することにより忠実に再現されている。同様に、日食、月食などの天文現象も、時刻と視点を設定するだけで、容易に投映できる。

さらに、天体名や物理量などオブジェクト情報や、軌道線などの補助情報をあわせて表示し、天文学的な理解を高める。

これらにより、従来のように特別なコンテンツを用意しなくとも、容易に、科学的に裏づけされた迫力のある宇宙の姿を、演出可能となった。

4.2 QXGA 動画再生演出例

Fig. 6はハッブル望遠鏡の映像を、MPEG2動画再生ソ

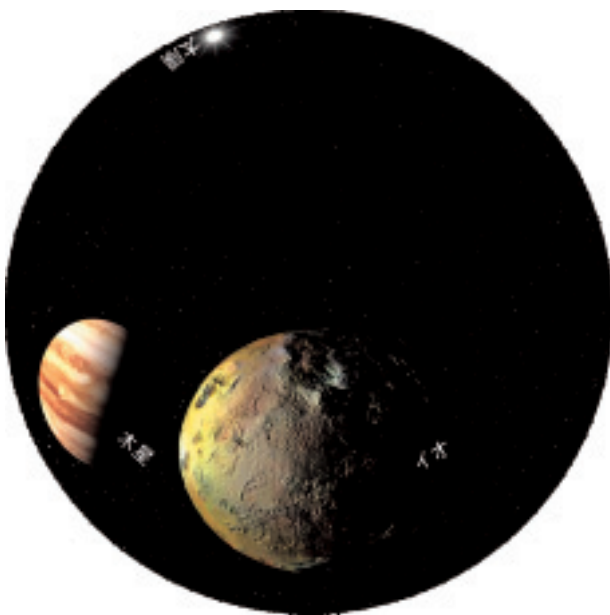


Fig.5 Image of Io and Jupiter by 3D planetarium

フトウェアを用いて再生した例である。このように複雑でリアルタイムでの描画が困難なオブジェクトの映像は、CGにて動画コンテンツとして製作することができる。

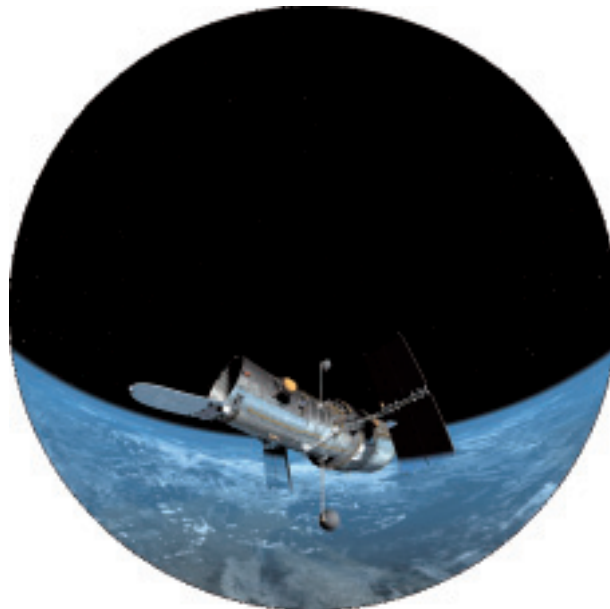


Fig.6 Image of Hubble Space Telescope by QXGA software decoder

QXGAという高解像度の動画の再生が可能となったことから、分割投映システムのような画像の分解作業と複数台の描画装置が不要となった。

プラネタリウムで上映される「番組」は、ストーリー性を持たせるとともに、全天周に投映される効果を十分考慮して製作する。CGによる番組制作過程も大幅に効率化することができた。

5 まとめ

以上、「Super-MEDIAGLOBE」に搭載された、投映レンズ、3Dプラネタリウムソフトウェア、QXGA動画圧縮再生ソフトウェア、及びその演出例を紹介した。

プラネタリウムは従来の星座を中心とした星空解説の場から、最新の科学的知見を臨場感高く表現する「劇場」へと大きく役割を変えようとしている。今後は、本稿で紹介した技術をさらに発展させ、感動を生むプラネタリウムの開発に努力したい。

●参考文献

- 1) Randima Fernando, Mark J. Kiigard, "The Cg Tutorial 日本語版", ボーンデジタル, 2003
- 2) Jean Meeus, "Astronomical algorithms", Willmann, 1998