論文

ドーム型シアターの特徴と必要な画質

Picture Quality in Dome Theaters

正会員 金澤 勝^{†1}, 正会員 濱崎 公男^{†2}, 正会員 西垣 順二^{†3},
竹内 和浩^{†3}, 正会員 原田 良三^{†1}, 今村 崇之^{†1}
Masaru Kanazawa^{†1}, Kimio Hamasaki^{†2}, Junji Nishigaki^{†3},
Kazuhiro Takeuchi^{†3}, Ryoza Harada^{†1} and Takayuki Imamura^{†1}

Abstract We are doing research to provide the sense of presence to viewers in dome theaters. A comparison between dome screens and flat screens, quantitative measurements in a current typical dome theater and subjective assessments with a large screen were conducted. First, calculations on image distortions, which are introduced in this paper, show that dome theaters can provide a large screen with fewer distortions than a flat screen. Contrast was measured in a typical large dome theater and it was found that contrast degrades with the projected image size. Lastly, the results of a subjective assessment with a large screen of 450 inches show that luminance and contrast ratio are crucial with large screens.

キーワード：超臨場感，ドーム型シアター，映像歪み，輝度，コントラスト比，画面サイズ

1. ま え が き

博覧会，展示会において，家庭では見ることができない画面サイズでの超高精細映像高臨場感音響上映が人気であり，超臨場感サービスの潜在的な需要があると考えられる．超臨場感を生じさせるためには，映像・音響機器が必要なだけでなく，視聴環境も重要な要である．超臨場感コミュニケーションに必須な超高精細映像・高臨場感音響の効果を充分引き出す環境として，映像と音響の空間へ観客を没入させるドーム形状のシアターは，理想に近いものと考えられる．これは，画面をみるときの視野が大きいほど臨場感が向上するとの知見があり，ドーム形状のシアターでは，大勢の観客と臨場感を共有しながら，視野をほぼ覆いつくす画面を表示できるからである．そこで，われわれはドーム型シアターによる超高精細映像表示と高臨場感音響再現による超臨場感システムの構築を目指して研究を進め

ている．今回，平面表示とドーム型表示での画面の違い，現在のドーム型シアターでの大画面表示の課題，大画面表示に必要な画質について知見を得たので報告する．

本論文は5章からなる．2章ではスクリーン形状の検討を行い，ドーム型シアターが大画面表示に向いている可能性があることを示す．3章で，ドーム型シアターで生じる画質劣化としてコントラスト比を取り上げ，プラネタリウムでのコントラスト比の測定結果を示す．4章では大画面表示に必要な画質として画面サイズと輝度，コントラスト比の主観評価実験結果を示し，5章にまとめを記す．ここで，通常「コントラスト比」は特定のパターンを表示したときの明暗部の輝度の比で定義されるが，本論文では表示された画面で黒と白の映像信号レベルに対応する輝度の比とした．

本論文での「大画面」とは，通常のテレビを見るのと同様な視距離（約2m）で十分な臨場感を得る画面サイズということで，100インチ以上を対象とする．

2. ドーム形状の特徴

一般に，画像は平面形状の画面に表示されるが，画面形状について検討する．シアターに観視者が1名だけであれば，その観視条件に合わせて画面を表示することができるが，観視者が複数いる場合は，ある観視者が基準となり，それとは異なる位置から画面を見る観視者が存在するため，観視位置の違いの影響を考慮する必要がある．次に想定する観視範囲で，観視位置の違いにより生じる画面の見え方の違いを最小にするスクリーン形状を検討する¹⁾．

2011年5月13日受付，2011年8月2日再受付，2011年11月11日採録

†1 財団法人NHKエンジニアリングサービス

(〒157-8540 世田谷区1-10-11, TEL 03-5494-2407)

†2 NHK 放送技術研究所

(〒157-8510 世田谷区1-10-11, TEL 03-5494-3357)

†3 コニカミノルタプラネタリウム株式会社 新製品グループ

(〒442-8558 愛知県豊川市金屋西町1-8, TEL 0533-89-3572)

†1 NHK Engineering Services

(1-10-11, Kinuta, Setagaya-ku, Tokyo 157-8510, Japan)

†2 NHK Science and Technology Research Laboratories

(1-10-11, Kinuta, Setagaya-ku, Tokyo 157-8510, Japan)

†3 Konica Minolta Planetarium Co., Ltd.

(1-8, Kanayanishi-machi, Tokyokawa-shi, Aichi 442-8558, Japan)

図1 基準観視位置と任意観視位置

Reference and other viewing positions. (a) Reference view position and screen, (b) arbitrary view position and screen.

2.1 観視位置の違いによる映像歪みの定義

以下のように観視位置の違いによる映像歪みを定義する。まず、仮想の映像シアターおよび基準となる観視位置 P を決める。この映像シアターに仮想の平面スクリーンを考え、その両端 $F1$, $F2$ をスクリーンの基準位置、仮想スクリーン上に測定用の複数の点 F_n を設置する。図1 (a) に示すように、この点 F_n と基準観視位置 P の相対的な角度を求め、これを観視位置と画面との基準の位置関係とする。次に、想定する観視範囲にある観視位置 Q から画面を見るとき、図1 (b) に示すように Q と仮想画面上の点 F_n の相対的な角度を求める。これらの角度と基準の位置関係での角度の違いをもとに、式 (1) で観視位置 Q における画面上の位置 F_n での歪み G_F を定義する。

このように今回は、映像歪みを角度で表現したが、これは異なった観視位置で同じスクリーンを見ることを想定したので、単純な長さよりは角度のほうが相対的な位置関係を記述できると考えたからである。

$$G_F = \left\{ \left(\frac{\theta_{F1n}}{\theta_{P0}} - \frac{\theta_{F1nq}}{\theta_{Q0}} \right)^2 + \left(\frac{\theta_{F2n}}{\theta_{P0}} - \frac{\theta_{F2nq}}{\theta_{Q0}} \right)^2 \right\}^{Gamma} \quad (1)$$

この中の $Gamma$ は定数で、以下の計算ではとりあえず 1.5 とする。

式 (1) を画面全体にわたって和を取った式 (2) を、観視位置 Q での映像歪み G と定義する。

$$G = \sum_F \left\{ \left(\frac{\theta_{F1n}}{\theta_{P0}} - \frac{\theta_{F1nq}}{\theta_{Q0}} \right)^2 + \left(\frac{\theta_{F2n}}{\theta_{P0}} - \frac{\theta_{F2nq}}{\theta_{Q0}} \right)^2 \right\}^{Gamma} \quad (2)$$

式 (2) を想定する観視範囲について計算することにより、映像歪みが小さい (画面を見やすいと考えられる) 観視位置の範囲を調べることができる。

基準の観視位置 P は、スクリーン下端から $0.25H$ (H : スクリーン高さ) 上で、スクリーン中央部から $0.75H$ 離れた位置として計算した映像歪み G の値を図2に示す。図で点線の領域は視距離 $0.6 \sim 3H$ の観視範囲で、後述の検討との比較用である。この図は、スクリーンと観客位置を上から見たもので、画面下側にスクリーンがある。観客の位置における色が濃いほど、その位置から画面を見たときに映像歪み

図2 平面スクリーンでの映像歪みの計算例
Example of image distortion with flat screen.

図3 映像歪みを最小にするスクリーン位置の計算条件
Calculation conditions to determine screen position to minimize image distortion.

が大きくなることを示す。このようにスクリーンに近いところでは、中央部から左右に離れると急激に映像歪みが大きくなる。

2.2 映像歪みを最小にする画面の形状

スクリーン形状が平面ではない場合に映像歪みを小さくできるのか検討する。図1の代わりに、仮想スクリーン上

図4 映像歪みを最小にするスクリーン形状の計算例
Example of calculated screen minimizing image distortion. (a) Side view, (b) plain view.

の点 F_n' を図3のように平面スクリーン上の点 F_n と基準観視位置 P を結ぶ直線上にとる。想定する観視位置全体で式(3)を計算することにより、映像歪みを最小にする仮想スクリーンの位置を求めることができる。

$$[F] = \text{Min} \left[\sum_F \left\{ \left(\frac{\theta_{F1n}}{\theta_{P0}} - \frac{\theta_{F1nq}}{\theta_{Q0}} \right)^2 + \left(\frac{\theta_{F2n}}{\theta_{P0}} - \frac{\theta_{F2nq}}{\theta_{Q0}} \right)^2 \right\} \right] \quad (3)$$

式(3)とは、式(1)で定義される仮想スクリーン上の点 F における映像歪みを、想定する観視位置全体で加算し、それが最小になる位置を再度 F とするものである。これをすべての仮想スクリーン上の位置について求めることにより、映像歪みを最小とするスクリーン形状を知ることができる。

基準の観視位置 P は、仮想の平面スクリーン下端から0.25H上で、仮想平面スクリーン中央部から0.75H離れた位置、想定する観視位置を同じ高さで仮想平面スクリーンからの距離が0.6~3Hとして、式(3)を計算して求めたスクリーン形状を図4に示す。このように映像歪みを最小にするスクリーン形状はドーム形状である。図4の形状に対し、基準観視位置 P からスクリーンとの距離を計算した。このスクリーン形状と、 P を中心としてスクリーン中央を通る球と比較すると、 P からの距離の差は最大でも25% (球の半径に対して)であった。また各観視位置から画面を見たときの映像歪みの大きさを図5に示す。平面スクリーンと比

図5 ドーム型スクリーンでの映像歪みの計算例
Example of image distortion with dome screen.

較して、スクリーンに近く斜めから見る場合の歪みを改善していることがわかる。

具体的にどのような画像として見えるのかをシミュレーションで確かめた。客席の最前列で中央部とスクリーン端の中間の場所で観視した場合のスクリーン上の画像の見え方を図6に示した。図6(a)が平面スクリーンの場合、図6(b)が図4の形状のスクリーンの場合である。図6(a)では斜めから見上げることによる歪みが大きいのが、図6(b)

(a) 平面スクリーンの画像

(b) ドーム型スクリーンの画像

図6 スクリーン形状と映像歪みの見えの例(シミュレーション)(最前列の右、画像はHD標準画像より)

Simulated images with different screens. (from Front right, Image is from HD standard charts) . (a) Image on flat screen, (b) image on dome screen.

では改善されているのがわかる。ただし、その改善の程度は大きくはないので、他の方策も必要である。

なお、今回求めた映像歪みに関しては、評価実験を行っていないので許容限などは不明であるが、筆者が画面を見る限りでは、映像歪みの大きさが1.0程度あれば我慢はできるが気になるレベルであった。

この章の検討をまとめると、以下となる。

- (1) 相対的に画像を近くで見る場合、スクリーン形状を平面から変えることにより、基準位置とは異なる場所で見た場合の映像歪みの見え方を改善できる。
- (2) スクリーン形状だけで映像歪みの見え方を改善するのは無理があり、観客の配置を映像歪みが大きくない場所に制限するなどの工夫が必要である。

3. ドーム形状での画質低下

画像をドーム形状の大画面に表示するときに、どのような課題があるのかを検討する。筆者らが調べた限りにおいては、ドーム型シアターの画質について具体的な記述がなされた文献がなかった。そこで、まず既存の大型ドーム型シアターの表示特性を測定し、課題があればその改善方法を検討することとした²⁾。

3.1 大型ドーム型シアターの表示特性

既存の大型ドーム型シアターの例として表1を選び、その表示特性を測定した。今回の映像測定とは直接関係ないが、スクリーンが音響透過特性を有するように、スクリーンは有穴で、音の反射を抑えるために裏面にはグラスウールが取り付けられている。シアター形状の平面図と側面図を図7に示す。図ではドーム形状が2重になっているが、内側が直径23mのドームで、外側はその作業用空間である。

3.1.1 スクリーン指向特性と輝度シェーディング

ドーム型シアターの映像表示は投射型ディスプレイで、

表1 測定した大型ドーム型シアターの概要
Specifications of large dome theater to be measured.

項目	内容
場所	豊川市、コニカミノルタプラネタリウム(株)社内 用途：実験、展示用
ドームサイズ	直径 23m 約 120 名収容可能
スクリーン	穴付きのアルミ板 裏面：グラスウール加工 穴の割合：14.5%

スクリーンの特性が表示特性に大きく影響する。まず基本となるスクリーンの指向特性を測定した。液晶プロジェクタを用いてスクリーンの一部を投射し、見る角度による輝度の変化を輝度計(トプコン、BM-5)で測定した。測定結果を図8に示すように、ゲイン約0.5でほぼ平坦な特性である。

次にプロジェクタをシアター中心部に設置してスクリーンを投射し(光出力の関係で一部のみ投射)、客席の複数の位置からの輝度を測定して、相対的な差(輝度シェーディング)を測定した。使用した機器は、スクリーン上の位置を測定するためのデジタルセオドライト(トプコン、DT-214)、輝度計(コニカミノルタ、LS-100)である。測定結果を図9に示すように、客席の位置によらずスクリーン上の輝度はほぼ一様(100~80%)であった。

このように、測定した大型ドームでは、スクリーンの指向特性が非常に広く、一様な輝度シェーディングを有することが確認された。

3.1.2 コントラスト比低下の測定

前節で示したように、既存の大型ドーム型シアターではスクリーン指向特性が非常に広いため、大画面表示をするほどスクリーンでの異なる場所での光の反射が影響して画面のコントラスト比が低下すると考えられる。そこで、スクリーンでの反射によるコントラスト比低下に着目し、ス

(a)平面図

(b)側面図

図7 測定に使用した大型ドーム型シアター
Large dome theater to be measured. (a) Plain view, (b) side view.

図8 大型ドーム型シアターのスクリーン指向特性
Screen characteristics of large dome theater.

図9 大型ドーム型シアターのシェーディング特性
Shading characteristics of large dome theater.

クリーン上にテストパターンを表示し、スクリーンの反射による天頂の輝度への影響を測定した。図10に測定の考え方を示す。スクリーンからの光の反射は、天頂に対して対称と考えられるので、図10 (a) の矩形パターンを投射した場合に天頂で生じる反射の影響は、天頂から同じ角度で矩形パターンと同じ面積の帯となる図10 (b) と等価である。したがって、シアター中心位置から見て、投射される矩形

パターンの4点の水平・垂直方向の角度を $(\theta_{H1}, \theta_{V1})$, $(\theta_{H4}, \theta_{V4})$, 矩形パターンの輝度を L_V , 矩形パターン以外は投射していない状態での天頂の輝度を L_C とすると、天頂からの角度が式 (4) で角度 1° の幅の白い帯による天頂の輝度 L_{C0} は式 (5) で与えられる。ここで θ_i はシアター中心位

図10 ドーム型シアターのコントラスト測定
Contrast measurement in dome theater. (a) Actual projected pattern, (b) equivalent projected pattern.

図11 大型ドーム型シアターでのスクリーン反射測定結果
Flare measurement in large dome theater.

置から見たときの天頂の角度である。

$$L_{c0} = \frac{L_c}{L_p} \cdot \frac{4 \times 360}{\{(\theta_{V1} - \theta_{V3}) + (\theta_{V2} - \theta_{V4})\} \cdot \{(\theta_{H2} - \theta_{H1}) + (\theta_{H4} - \theta_{H3})\}} \quad (4)$$

$$\theta = \theta_t - \frac{\theta_{V1} + \theta_{V2} + \theta_{V3} + \theta_{V4}}{4} \quad (5)$$

上記で測定値を換算して求めた θ と L_{c0} の関係を図11に示す。 L_{c0} はスクリーンの一部の領域から天頂への影響する黒レベル輝度であるので、天頂を中心に角度 θ の範囲で画像を表示したとすると、天頂での画像のコントラスト比は、この図で角度 $0 \sim \theta$ の範囲を積分した値の逆数となる。図11は角度が大きくなるにしたがって、反射の大きさが増大していることから、ドームシアターでは大画面表示にするほど、画像のコントラスト比が低下することが予想される。なお、角度が低い(天頂に近い 30° 以下の)領域では測定値がばらついてはいるが、これは投射で使用した矩形の信号が天頂に近いほど式(4)、式(5)の条件からずれるためと考えられる。そのため、角度が高い領域での近似を計算し 30° 以下に対してはそれを外挿した(図の点線)。以降の検討ではこの近似式を用いる。

図11が実際に表示コントラスト比に関係するのかを確かめるため、広角度投射用レンズを備えたプロジェクタを用いて、天頂部が黒で他は白100%の信号を投影し、投射パターンのドームに対する位置関係と画面中心でのコントラスト比を測定した。投射したパターンは、ドームに対して白地の部分が垂直方向で $-10 \sim 120^\circ$ (ドーム中央部から見て水平正面を 0° として)、黒窓はその中央部分で幅が約 30° であった。コントラスト比は、黒窓の部分での輝度と、全画面を白にした時の輝度の比で与えられ、それは5.35:1であった。

上記の投射画像は、画面の中心から角度約 15° の範囲が黒で、そこから角度約 65° ($= (10+120)/2$) の範囲が白であるパターンを投射したこととほぼ等価であろう。これを図11の測定と比較してみると、この図において、角度 $15 \sim 65^\circ$ の範囲からの反射になるので、角度 $15 \sim 65^\circ$ を積分する。

表2 ハイビジョン標準画像の平均輝度レベル
Average luminance level of HDTV standard pictures.

Title	Average luminance level *
Woman with Carnations	0.464
Yacht Harbor	0.199
Sweaters and Bag	0.403
Eiffel Tower	0.256
Hat Shop	0.269
Couple in Snow	0.476
Tourist Information	0.280
Tulip Garden	0.119
ChromaKey	0.257

*: Maximum value is 1.0

この値は約0.194となり、コントラスト比5.15:1に相当する。このように、大画面で実測したコントラスト比と、図11から予想されるコントラスト比が同程度であることから、スクリーンの反射によりコントラスト比が低下すると想定される。

3.2 考察

3.1節で測定したコントラスト比の劣化は、白信号を表示した場合のものである。実際に表示する画像はこれよりもずっと低輝度であるので、コントラスト比の劣化は少ないはずである。スクリーンでの反射に関係するのは画像の平均輝度であるので、実際の画像の平均輝度がどの程度の値かを調べた。ハイビジョン標準画像³⁾での値を表2に示す。このように、画像により平均輝度は大きく異なるので、表示画像を適切に選択することで、コントラスト比の劣化をある程度防ぐことができる。例えば、背景が明るい画像では、背景の部分だけ輝度レベルを低下させることにより、コントラスト比低下を防ぐことができる。

この章での検討結果をまとめると以下となる。

- (1) ドーム型シアターでは、大画面表示をするほどスクリーンでの反射によりコントラスト比は低下する。
- (2) スクリーンの指向特性が必要以上に広いと、コントラスト比の低下は大きい。
- (3) コントラスト比の低下は表示画像にも依存するので、大画面表示に適した画像を選択することが望ましい。

これらをまとめ、スクリーンの指向特性を $\pm 45^\circ$ 程度に抑えた(反射の影響が3.1節の半分)として、標準画像を投射した場合の表示画角とコントラスト比の関係を図12に示す。図で点線は、全白画像の場合を示す。

4. 大画面で必要な画質の検討

4.1 評価実験の概要

大画面表示では、3章で測定したコントラスト比のほか輝度の低下も問題になる。そこで、大画面表示と輝度、コントラスト比の関係を調べる評価実験を行った¹⁾。ここで使用したスクリーンは平面であるが、評価実験での視野角は約 100° あり、ドームに近い観視条件と考える。実験条

表3 主観評価実験の概要
Outline of subjective assessment.

Item	Contents
Subject to be assessed	Total, brightness, powerfulness
Method	7 grade similar to EBU method variant II Comparing to the reference picture +3: very (good), +2: (good), +1: slightly (good) 0: the same, -1: slightly (bad), -2: (bad) -3: very (bad)
Screen	Screen size: 450 inch in diagonal Resolution: 7680×4320 pixel
Viewing condition	Viewing distance: 4.2 m(0.75 H) Peak luminance: 25.3 cd/m ²
Images	Reference picture: 1920×1080 pixel(112.5 inch, other area is black) Assessment images: images with different size, luminance and contrast Size: 7680×4320 pixel(450 inch), 3840×2160 pixel(225 inch, other area is black) Luminance: 1.0, 0.5, 0.25, 0.125 of the peak luminance Contrast: 500:1, 100:1, 40:1, 20:1
Material	2 still pictures: landscape and art images
Assessors	18 non-experts

図12 ドーム型シアターでの画面サイズとコントラスト (計算値)
Picture size and contrast ratio in dome theater (calculated values).

件を表3に示す。暗室で大画面スーパーハイビジョン画像(450インチ, 7,680×4,320画素)を用いて, その中に埋め込んだハイビジョン画像(112.5インチ, 1,920×1,080画素)を基準画像とした。これに対して, 画面は大きいけど暗いまたはコントラスト比が低下した画像を表示し, 比較したときにどちらが良いか(総合評価), 明るく感じるか, 迫力が感じられるかを非専門家18名, 7段階で評価した。基準画像と評価画像の提示は, 2重刺激劣化尺度法Variant II⁴⁾を参考に, 基準と評価画像を2回ずつとした。評価画像は2種類の静止画像で, 輝度を変化させた例を図13に示す。

なお従来の研究結果に関しては, 例えば, 文献5)にCRTやフィルムのコントラスト比の測定結果が紹介されているが, 今回のような100インチを超える大画面で評価実験を行った例は, 筆者が調査した限りではなかった。

4.2 画面輝度の評価結果

通常の画質評価実験では評定者が10名程度で十分な精度が得られる。ところが, 今回の評価実験は, 単純な画質で

図13 評価画像の例 (画像は, アマナイメージングより)

Example of assessment pictures. (a) Reference picture, (b) 3840×2160, luminance 1.0, (c) 3840×2160, luminance 0.5, (d) 3840×2160, luminance 0.25, (e) 7680×4320, luminance 1.0, (f) 7680×4320, luminance 0.5, (g) 7680×4320, luminance 0.25, (h) 7680×4320, luminance 0.125.

はなく好み(好き・嫌い)も含めた評価をしたため, 評価結果が評定者によってばらつき, 標準偏差がほぼ1.0程度であった。このため, ほとんどの評価結果で有意差は出ていないが, だいたいの傾向をつかむことができた。

画面サイズと画面輝度による総合評価を図14に示す。縦軸が評価値, 横軸が画面サイズである。画面サイズは, 視野角で表記し, 60が3,840×2,160画素(スクリーン半分に表示, 225インチ相当), 100が7,680×4,320画素(450インチスクリーン全体に表示)である。輝度は, ピーク輝度に対して1.0, 0.5, 0.25, 0.125の条件とした。画像による評価値の違いも示すため, 平均とともに各画像での値も示した。図の太線が平均で, 同じ形状で細い線が各画像である。図の評

図14 画面サイズと輝度の総合評価結果(コントラスト500:1)
Assessment of total quality on picture size and luminance.
(contrast 500:1).

図16 画面サイズと輝度の「迫力」評価結果(コントラスト500:1)
Assessment of powerfulness on picture size and luminance.
(contrast 500:1).

図15 画面サイズと輝度の「明るさ」評価結果(コントラスト500:1)
Assessment of brightness on picture size and luminance.
(contrast 500:1).

図17 画面サイズとコントラストの総合評価結果(輝度1.0)
Assessment of total quality on picture size and contrast.
(luminance 1.0).

価結果より、輝度が1.0で画面サイズを大きくすると、総合評価が大きく上昇することがわかる。この傾向は、輝度を半分に低下させても大きくは変わらない。しかし、画面サイズ3,840×2,160画素では輝度が1/4、画面サイズ7,680×4,320画素では輝度が1/8になると、評価値は基準画像1,920×1,080画素とほぼ等しいので、大画面にする効果はほとんどないと考えられる。画面サイズ7,680×4,320画素とは基準画像の16倍の面積に相当するので、プロジェクタの光出力で換算した場合、輝度1/8を実現するためには光出力は基準画像の2倍必要であることを意味する。

次に、明るさの評価結果を図15に示す。ピーク輝度が低下しているにもかかわらず、画面が大きいほど「明るい」という評価になっている。この傾向は文献6)でも言われており、従来の評価結果と同じ傾向といえる。ただし、文献6)は50インチ以下の画面サイズで、画面サイズに応じて好ましい輝度を変化することを述べており、100インチ以上の画面サイズで、一般画像を用いて画面サイズに応じて知覚される明るさが異なることを示したのは、筆者が調べた限りでは本論文が最初である。画面サイズ7,680×4,320画素では輝度1/4、画面サイズ3,840×2,160画素では輝度1/2がほぼ基準画像に近い明るさと評価されているので、画面のサイズと感じる明るさはほぼ比例するといえる。

同様に迫力の評価結果を図16に示す。迫力は明るさには大きく依存せず、単純に画面サイズによって変化している

図18 画面サイズと輝度の総合評価結果(コントラスト40:1)
Assessment of total quality on picture size and luminance.
(contrast 40:1).

と考えられる。

4.3 コントラスト比の評価結果

コントラスト比の総合評価結果の例を図17に示す。縦軸が評価値、横軸が画面サイズである。図14と同様にコントラスト比が低下すると評価値も低下する傾向があるが、輝度の低下より影響が少ないと考えられる。ただ、コントラスト比が10近くまで低下すると評価値は1ランク程度低下する。また、コントラスト比が低い(40:1)条件での輝度と画面サイズの総合評価結果を図18に示すが、輝度が低いほどコントラスト比低下の影響が大きいように見える。

4.4 評価結果のまとめ

同じ輝度、コントラスト比であれば画面サイズが大きい

ほど総合評価は高いが、輝度やコントラスト比が低下すると評価値は下がり、ある程度以上の輝度とコントラスト比は必要という結果であった。

特に、輝度については、同じ輝度であるのに、画面サイズが大きいかほど「明るい」という評価が得られ、これが総合評価に大きく影響していると考えられた。繰り返しになるが、表3に示したように、基準画像はピーク輝度 25.3 cd/m^2 で通常の映画館での映画よりもやや暗い(映画の技術基準⁷⁾より)ハイビジョンの画像である。これとピーク輝度約 8 cd/m^2 で、画面サイズが縦横ともに4倍の画像がほぼ同じ程度に「明るい」と評価されていることは、多少輝度が低くても画面が大きければよい、という結果につながるものであろう。従来の知見(例えば、文献6))では、画面サイズと「明るさ」の関係は明らかではなかった。今回は450インチの大画面で暗室、一般画像(少なくとも今回実験に用いた画像において)の条件で、画面サイズが大きくなるほど「明るさ」が増すのを示すことにより、大画面表示での特徴がある程度は明らかにしたと考える。

今回は、ドーム型スクリーンを想定して、450インチの大画面での輝度・コントラスト比低下を暗室で評価した。ここで、表示装置が同じであれば大画面になるほど輝度が低下するのは平面スクリーンでも同じである。スクリーンが同じ面積であれば、ドーム型シアターは平面スクリーンよりも広視野角になる。また、図17よりコントラスト比が40:1以上あれば総合画質に大きな差はない。これより、ドーム型シアターは、コントラスト比を40:1以上取れるようにできれば、平面スクリーンよりも大画面表示に向いているといえるであろう。

5. む す び

ドーム型シアターは、平面表示と比較して映像歪みを小さくできることを示した。一方、ドーム型シアターでの大画面表示に伴う画質は従来定量的に検討されていなかった。今回は、特にコントラスト比の低下について既存シアターの特性を定量的に調べたが、今後とも既存シアターの特性測定は必要である。また、大画面表示での輝度、コントラスト比の確保は重要で、今回は輝度が低くても大画面表示の効果がなくなることを示した。大画面での必要な画質についても今後ともに検討を進めていく必要がある。このように、ドーム型シアターは、映像歪みを小さくできるため大人数での大画面表示を可能にする方法であり、輝度、コントラスト比を大きく(例えば、暗室、450インチスクリーンにおいては 10 cd/m^2 以上の輝度と40:1以上のコントラスト比)できれば、大画面表示として今後重要な表示方法になるであろう。

本論文により、ドーム型シアターで大画面表示をするときの課題について、概要を明らかにすることができたと考える。今後とも、ドーム型シアターなどでの超臨場感表示の研究が進展することを期待する。

最後に、この研究は、情報通信機構(NICT)の委託研究「超臨場感コミュニケーションシステム」の一環として行いました。ここに、関係者に感謝いたします。

〔文 献〕

- 1) 金澤ほか: “ドーム型シアターに向けた映像表示の検討”, 映像学雑誌, 35, 16, HI2011-61 (2011)
- 2) 金澤ほか: “ドームシアターでの映像表示コントラストの測定報告”, 映像学年大, 6-4 (2010.8)
- 3) “ハイビジョン用デジタル標準画像データ”, 映像学, http://www.ite.or.jp/shuppan/testchart_index.html
- 4) ITU-R規格ITU-R BT.500-10: "Methodology for the subjective assessment of the quality of Television pictures" (2000)
- 5) “テレビジョン”, コロナ社, p.20 (1989)
- 6) T. Fujine, Y. Yoshida and M. Sugino: "The relationship between preferred luminance and TV screen size", Proceeding of SPIE, 6808, pp.6808Z.1-6808Z.12 (2008)
- 7) "Design of Effective Cine Theaters", SMPTE技術資料EG18-1994

金澤 勝 1977年、北海道大学工学部卒業。1979年、大学院修士課程修了。1979年、NHK入局。1981年より、放送技術研究所に勤務。2011年より、(財)NHKエンジニアリングサービス研究主幹。ディスプレイの特性測定法、超高精細映像表示システム設計に関する研究に従事。当学会丹羽高柳賞論文賞(2004年)、前島賞(2005年)、当学会丹羽高柳賞業績賞(2006年)、高柳記念電子科学技術振興財団高柳記念奨励賞(2007年)などを受賞。工学博士。正会員。

濱崎 公男 1982年、九州芸術工科大学大学院芸術工学研究科情報伝達専攻修了。同年、NHK入局。音楽番組を中心に、国際賞受賞番組や国際共同制作などを含む番組制作に従事するほか、オーディオ機器や取音再生手法の開発に従事。2000年より、放送技術研究所にて、音響研究に従事(主任研究員)。正会員。

西垣 順二 1989年、名古屋大学工学部卒業。1991年、名古屋大学大学院修士課程修了。1991年、ミノルタ(株)(現コニカミノルタ(株))入社。色計測器、カラー複写機の画像処理・圧縮アルゴリズム開発、ASIC設計を経て、2000年、ミノルタブラネタリウム(株)(現コニカミノルタブラネタリウム(株))に移り、現在、デジタルブラネタリウムの研究開発、商品企画に従事。新製品グループリーダー、事業企画グループリーダー兼務、次長。正会員。

竹内 和浩 1994年、信州大学工学部卒業。1996年、信州大学大学院修士課程修了。1996年、ミノルタ(株)(現コニカミノルタ(株))入社。複写機のエレキハード設計を経て、2002年、ミノルタブラネタリウム(株)(現コニカミノルタブラネタリウム(株))に移り、デジタルブラネタリウムの設計、開発に従事。新製品グループリーダー。

原田 良三 1972年、山口大学工学部電気工学科卒業。同年、NHK入局。2006年、NHK退職。同年、(財)NHKエンジニアリングサービス。主に、放送技術の社会還元業務に従事。正会員。

今村 崇之 1998年、日本工学院専門学校音響工学科卒業。同年、(財)NHKエンジニアリングサービス入社。映像システムの設計、構築およびスーパーハイビジョンのコンテンツ制作に従事。