

# Digital Cinema NOW

## 映画館設計のテクニカルガイド 前編

川上 一郎

今年に入ってもドルビーシネマやシネコン独自のPLF (Premium Large Format : 20mを越えるスクリーンと立体音響を売り物にした没入感のある上映システム) スクリーン展開などのニュースが次々と報じられている。

今月号では、映画館設計の基本となるスクリーンと観客席の配置、映写機の投影光軸等々の技術的課題について紹介させていただく。なお、今月号では前編としてスクリーン関連の話題について紹介させていただき、後編では客席レイアウトや音響関係の話題を紹介していく。

最初に紹介していく内容は“How to Design a Cinema Auditorium”と題されている67頁のテクニカルハンドブックであり、欧州を中心に展開するUNIC (International Union of Cinemas) のRolv Gjestland氏が執筆している。

### スクリーンの設計指針

最初にスクリーンを検討する場合に、縦横のアスペクト比が問題となるが、デジタルシネマでは“Flat”と通称される1.85:1のアスペクト比と、“Scope”と通称される2.39:1のアスペクト比に大別される。

ただし、実際の上映では幕間広告などで4:3や16:9の映像が上映される場合もあ

るが、客席の照明を完全に暗くした上映では無いので、“Flat”と“Scope”上映での画面両端部の見切り部分の黒色カーテンによるカットマスク操作は必要とならない。

映画本編の上映に際しては、“Flat”と“Scope”の画面中心が同一であることが必須であるが、“Flat”の画角に対して“Scope”は上下が短くなるために上端・下端にもカットマスクを動作させる必要がある。

次に、両端を湾曲させたカーブスクリーンとするか平坦なフラットスクリーンを採用するかを選択がある。映写機の投射レンズの収差設計は平坦なスクリーンで収差が無くなるように設計されており、カーブスクリーンの曲率を上げ過ぎた場合には端部で収差が増幅されてくることになる。

図1-1にカーブスクリーンでの座席配置事例を示しているが、一般的に推奨されている曲率5%のカーブスクリーンでは、最前列の観客席では画面両端が視認できなくなる恐れがある。

図1-2は、映像上端が水平に投射されるように配置した場合のカーブスクリーンの末端が反り返る深さと、正面から見た場合のスクリーン下端での湾曲度合いを示している。

米国でのカーブスクリーン設置事例では、

投射光軸が垂直でカーブスクリーンを採用している場合が大半であるが、複合ビル内の都市型シネコンでは構造上の制約から、下向きに映像を投射しているにもかかわらずカーブスクリーンを採用し、しかも投射光軸に対する傾斜(チルト)を設けていないことから画面下部の両端に明らかな歪曲収差が発生してしまっている場合もある。

図1-3は、画像上端が水平となる下向き投影スクリーンでのチルト角度設定事例であるが、完全に投射光軸に対して鉛直面となることは困難であることから、チルト角度についても3度を目安に設定することが推奨されている。

スクリーンサイズの選定では、図1-4の客席最後列でのスクリーン視認範囲と、図1-5に示している客席中央列でのスクリーン視認範囲を参考にすることが必要である。

もっとも広幅となる2.39:1のScope上映で、最後列からスクリーン迄の距離が20mとすると、超小型スクリーンでは像高が4m程度で、スクリーン幅は9.6mが最大となる。また、同様にスクリーン迄の距離が30mの超大型スクリーンでは像高が10mを越え、スクリーン幅も24m超えとなって来る。

スクリーンの選定にあたっては、入射光量に対する反射光量の比であるゲインを決めなくてはならない。映画作品の最終的な仕上げ処理を行う試写室ではゲイン1.0の

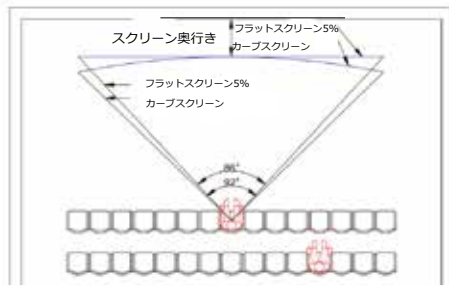


図 1-1 カーブスクリーンと座席

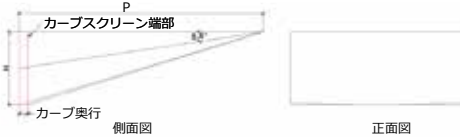


図 1-2 カーブスクリーンの曲率



図 1-3 チルトスクリーン

通称“ホワイトマット”スクリーンを採用するが、一般的な映画館ではゲイン 1.3 ~ 1.8 の比較的高いゲインのスクリーンが使用されている。また、RealD による 3D 作品上映専用スクリーンではゲインが 2.2 以上の通称“シルバースクリーン”が使用されている。

図 1-6 には、異なるスクリーンゲインによる相対スクリーン輝度と観察角度の関係を示しており、ゲイン 1.0 では観察角度が 60 度まで変化しても相対スクリーン輝度は 80% 以上を保っている。一方で、ゲイン 2.7 の高反射率シルバースクリーンでは観察角度 20 度で相対スクリーン輝度は 50% にまで低下し、観察角度 60 度では相対スクリーン輝度が実に 8% まで低下している。

図 1-7 はスクリーンメーカーの Harkness が WEB で公開しているスクリーンゲインと最適鑑賞座席位置のシミュレータによる計算結果で、左側はゲイン 1.4 の Harkness Perlux HiWhite で客席エリア全体が良好な鑑賞ができる状態となってお

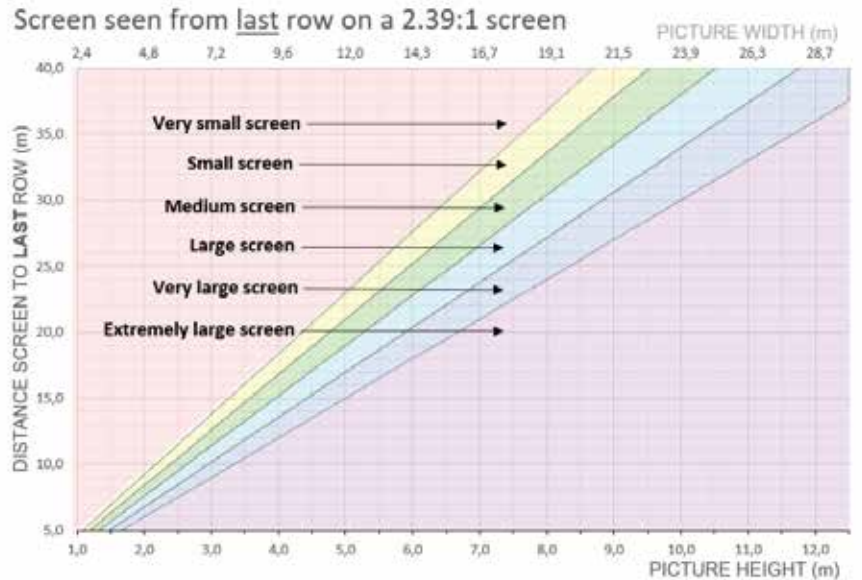


図 1-4 最後列での見え方

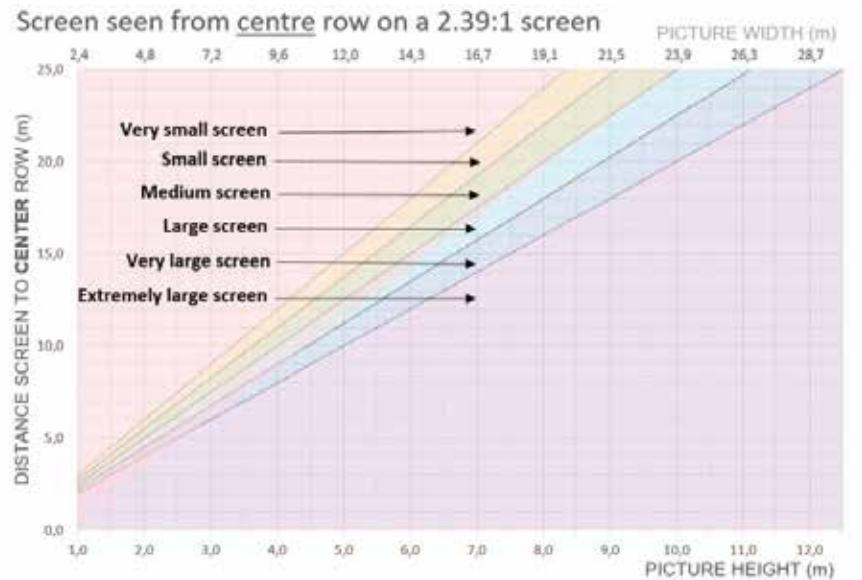


図 1-5 中央列での見え方

り、画面右側のゲイン 2.2 の Harkness Clarus220 では客席の左右両端は 5 列目まで鑑賞に適さない状態となっている。

この高反射率スクリーンによる反射率の視野角依存性は、輝度変化だけではなく、映像の階調再現が損なわれたり、色味のズレを引き起こしたりするので注意が必要である。

図 1-8 は映写室の機器配置事例であるが、中央にデジタルプロジェクタ、両側にフィルムプロジェクタを配置している映画館は数%にも満たないことから、実際には中央にデジタルシネマ上映用のプロジェクタ

と、スクリーンアダプタイジング用のデジタルプロジェクタ (HD 解像度の民生機が大半) を配置しているのが一般的である。

図 1-9 は、映写機の投影光軸の設計事例であり、映像上端部を水平にして、下向きにレンズシフトで上映している一例である。観客席をひな壇にするのか、見上げさせる形でスクリーンの中心に向けてセンター投影するのか等のさまざまなレイアウトが存在する

図 1-10 はスクリーンカットマスクの設計諸元である。アスペクト比 1.37:1 ~

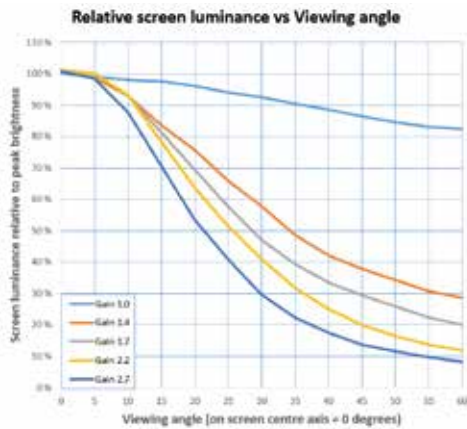
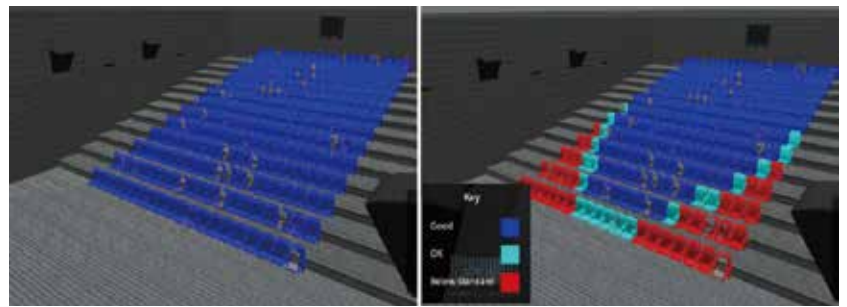


図 1-6 相対スクリーン輝度と観察角度



Hrakness Perlux HiWhite 1.40

Hrakness Clarus 220

図 1-7 スクリーンゲインと最適鑑賞位置

2.39:1 迄の 4 パターンである。左右のカットマスクは、それぞれの幅のカットマスクを天井部分からロールで降下させる方式と、幅方向に走行するガイドで展開する方式がある。

図 1-11 は劇場内の映写窓設置事例であり、映写室を設置している場合と、天井部に映写機を収納したボックスを吊り下げるいわゆるブースレス方式での設計事例である。デジタルシネマプロジェクタの光源がレーザレーザ+蛍光体方式に移行していることから、今後はブースレス方式での設置が主流になりそうである。

図 1-12 は、スクリーンに投射する光軸とキーストン歪みを示しており、スクリーンに対して垂直に投射すれば全く発生しないキーストン歪みが、垂直方向の下向きに傾斜投射するとスクリーンの下部では拡大される光学歪みが発生し、水平軸方向に傾斜した場合には両端のどちらかで扇型に拡大し、水平・垂直共に傾斜している場合にはいびつな台形状に投影されてしまう。

従って、映画館設計での最優先事項は投射光軸の検討に際して可能な限りスクリーン中心軸に近づけて投影することに加えて、選定したプロジェクタの投射レンズの光軸シフト機能でどの程度キーストン歪みが低減できるのかを入念に検討する必要がある。

図 1-13 には投影角度と投影距離、投影する最大像高と最大増幅によるキーストン歪みの関係式と相関図を示している。

図 1-14 は、映写室の防音二重窓の設計

事例である。映写室内側と観客席側とでガラスの傾斜角を変えているのは二重窓内部での共振音発生を防止する目的である。使用するガラスは光学グレードの透明性が高く光学歪みの無い素材に反射防止コーティングを両面に施工する必要がある。また、二重窓内部には吸音材の設置が必要で、ガラスウールをつや消しの黒色ネットで覆う施工が一般的である。

図 1-15 は、人の水平方向視野角特性であり、文字や数字を認識している視野角は 5～10 度の極めて限られた中心部のみであり、シンボル等の輪郭や特徴を認識するのは 5～30 度、そして色彩の認識範囲は 30～60 度である。

この認識範囲は輝度や周辺環境の影響により変化するが、映画鑑賞においては照明を落とした映画館内で 30 度程度の狭い視野角で映画を鑑賞していることになる。

日常生活の中では、意識せずに眼球が動き、周辺部の色彩や状況を補足して、いわゆる空間認識を行っていることから、人間の視野角がこんなに狭いとは思っていない。

図 1-16 は、客席最前列での視角歪みを示しており、スクリーン状に投影された円形パターンが、観客席の位置から画面中心の垂線に対する角度が大きくなれば投影された円の直径は  $1/\cos \alpha$  変形して視認されることになり、この角度が 35 度未満であることが推奨されている。45 度を越えると鑑賞に堪えないとされており、観客席最前列とスクリーン間の距離は最前列端部とスクリーン中心線との相対角度から決定し

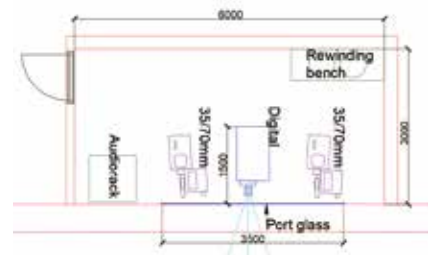


図 1-8 映写室の機器配置例



図 1-9 映写機の投影光軸事例

なくては行けない。

図 1-17 は垂直方向での視野角特性であり、リラックスした状態では水平から 15 度下向きに視線があるとされている。垂直方向でのシンボルなどの知覚範囲は 30 度であり、色彩の認識範囲は 70 度とされており、水平方向の視野角特性と合わせて、観客がリラックスした状態で映画を鑑賞できる観客席とスクリーン位置の相対関係を最大限考慮する必要がある。

図 1-18 は客席最前列での見上げ角度を示しており、床面から 1200mm に観客の視点があるとしてスクリーン中心に対する見上げ角度は 25 度未満となることを推奨している。

この推奨角度を超えた見上げ角度で映画を鑑賞することは首に対する過度の負荷を長時間強いることになるので特に注意が必要であるとされている。

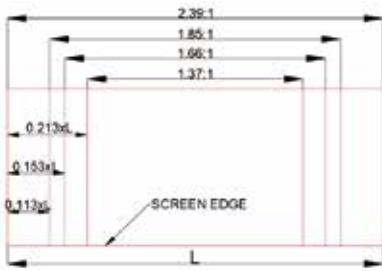


図 1-10 スクリーンカットマスク

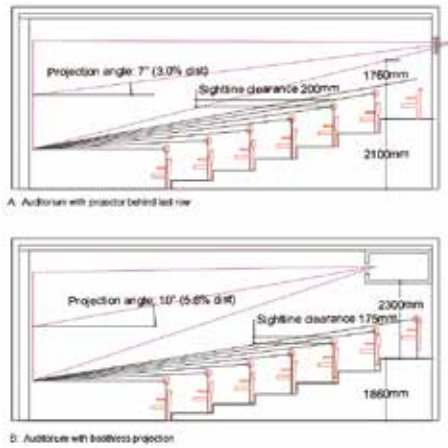


図 1-11 劇場内の映写窓設置事例

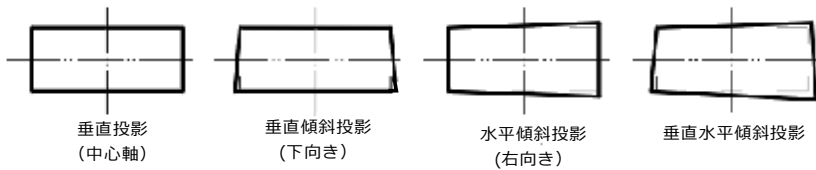


図 1-12 投影光軸とキーストーン歪み

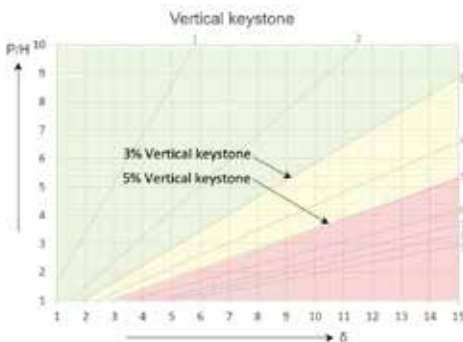


図 1-13 投影光軸角度とキーストーン歪み

$$\text{垂直投影歪み \%キーストーン} = \frac{H}{P} \times \tan \delta_v \times 100\%$$

$$\text{垂直投影歪み \%キーストーン} = \frac{W}{P} \times \tan \delta_h \times 100\%$$

$\delta$  = 投影角度 (垂直・水平)  
 $P$  = 投影距離  
 $H$  = 最大像高  
 $W$  = 最大像幅

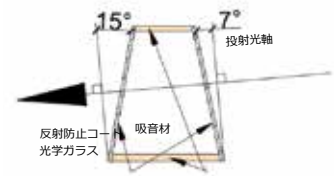


図 1-14 映写室二重窓の設計事例

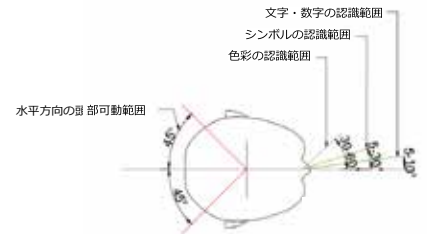


図 1-15 水平方向の視野角特性

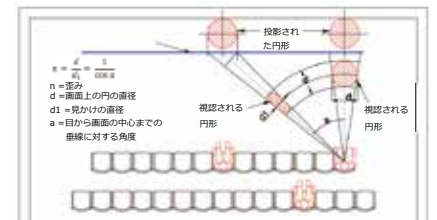


図 1-16 最前列での視角歪み

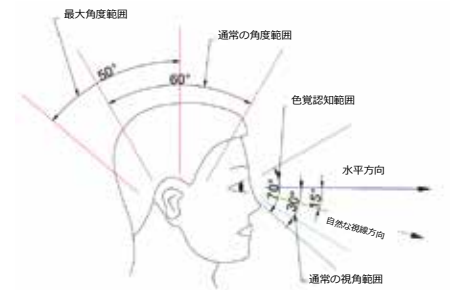


図 1-17 垂直方向の視野角特性

図 2-1 ~ 図 2-9 は、“20F Technology Committee On-Screen Light Measurement Study Group” として発表された報告書から引用している。

図 2-1 は ISO26431-1 での輝度測定ポイントである。一般的には、映像同期信号が入力されない状態でのプロジェクタ光量出力 100% のいわゆる全白と、光量出力 0% のいわゆる全黒の状態、スクリーン内の 9 箇所での輝度を測定し、スクリーン内の輝度均一性と合わせてコントラスト比を計測している。

この手法での最大の問題点は、プロジェクタによる光量出力の測定方法が投影レンズ取り付け口での光量計測を目的としており、映画上映における実際の映画上映時のコントラスト比と異なることにある。従って、図 2-2 や図 2-6・図 2-7・図 2-8・図

2-9 等に示されているように背景が黒の中に大きさを変えた白色マークを投影して、実際の映画上映時に近づけた状態で実効コントラスト比を計測する試みである。

図 3-1 に示しているのは、“It's not all black and white” と題した BARCO による技術資料からの引用である。プロジェクタから投影した白黒市松格子のパターンはスクリーンに投影されるが、映写室の窓による光量損失や観客席内部での光散乱により白部分の輝度低下やコントラスト比低下が発生し、さらにスクリーンから観客席側に反射した光束がスクリーンに向かって再帰反射することから、市松格子の黒部分の輝度が上がってしまい、結果として本来の投影した白黒市松格子のコントラスト比が低下してしまう現象である。

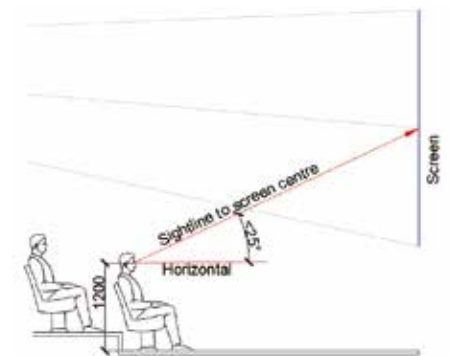


図 1-18 最前列の見上げ角

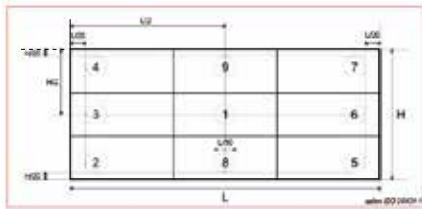


図 2-1 ISO26431-1 輝度測定ポイント

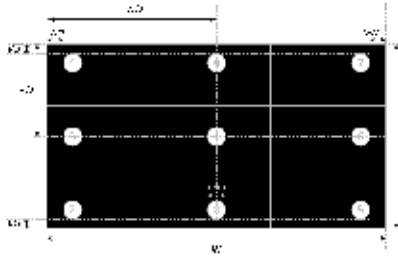


図 2-2 アスペクト比 1.85:1 での上中下測定パターン

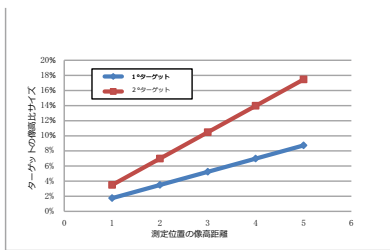


図 2-3 1度& 2度ターゲットの像高距離によるサイズ変化

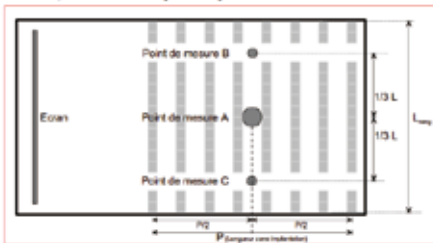


図 2-4 観客席内の測定箇所

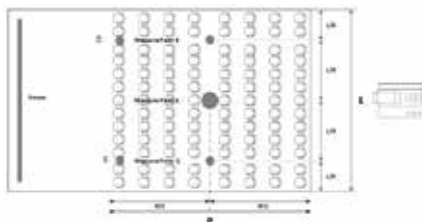


図 2-5 推奨された観客席内の測定箇所

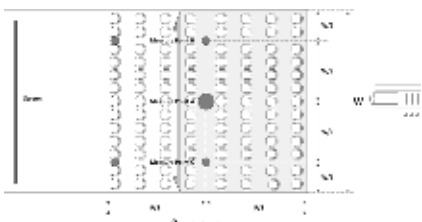


図 2-5 バルコニー席での推奨測定箇所

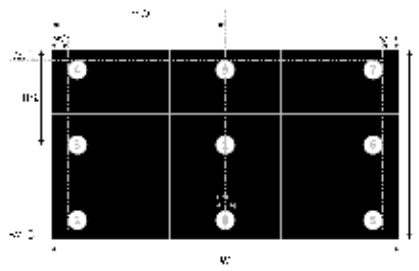


図 2-6 高さ方向 3分割の 9点測定パターン

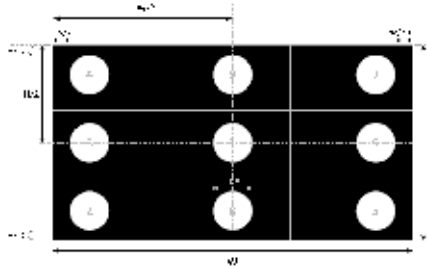


図 2-7 パターン直径が H/5 の測定パターン

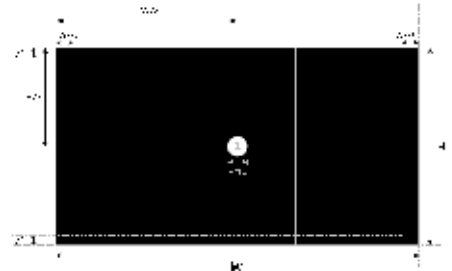


図 2-8 直径 H/10 の測定パターン

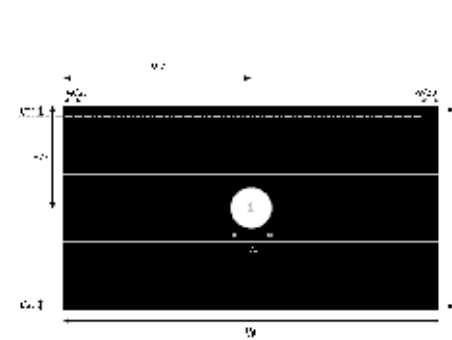


図 2-9 直径 H/5 の測定パターン

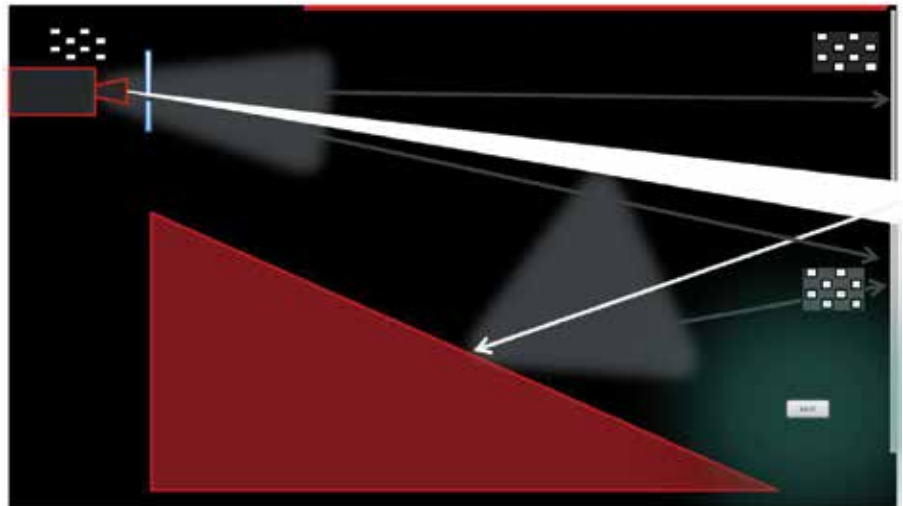


図 3-1 ANSI コントラストの計算モデル

図 3-2 は白黒市松格子の白色面積を 1%・10%・25%・50% (ANSI 規格) 変化させたテストパターンのイメージである。

図 3-3 は、図 3-2 によるテストパターンで、DLP プロジェクタでキセノンランプ光源を使用し、観客席側の反射率を 1%・2%・3% と変化させて測定した結果である。市松格子の白色部分面積が 10% では観客席側反射率で実効コントラスト比に有意差があり、20% ではほぼ変わらない値となっている。

図 3-4 は、BARCO による各種プロジェクタと光源の組み合わせで全白・全黒でのコントラスト比であるシーケンシャルコン

トラストと市松格子での ANSI 規格コントラスト比を比較している。

シーケンシャルコントラストでは反射型液晶素子による High Contrast LCOS が 10000 : 1 と極めて高い値であるが、実際の映像上映に近い ANSI コントラストでは 180:1 ともっとも低いコントラスト比となっている。

DLP+XENON の ANSI コントラスト比 250:1 は、筆者が関わったデジタルシネマ標準化技術プロジェクトでの実測値と近い数値であり、光源をレーザーに変えることで相対的な散乱が減少し、レーザー光源での ANSI コントラスト比は旧来製品よりは格段に向上したと報告されている。

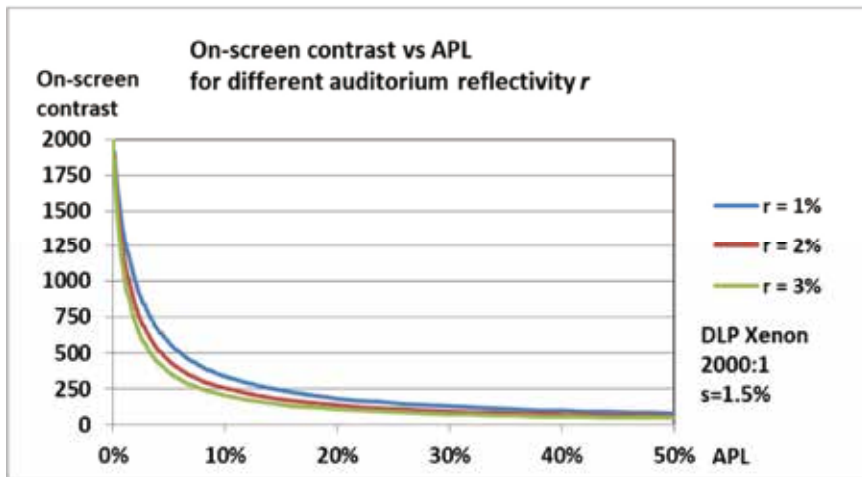


図 3-2 ANSI 近似パターンの白色面積変化パターン

Table 2: Sequential and ANSI contrast values for different projector technologies

Technology	Sequential contrast	Native ANSI contrast	Lens scatter coefficient s
DLP Xenon	2000:1	250:1	0.7%
DLP RGB (Barco)	2800:1	500:1	0.3%
DLP High Contrast RGB (Barco)	6000:1	1000:1	0.2%
DLP High Contrast laser phosphor (Barco)	5000:1	600:1	0.3%
High Contrast LCoS	10000:1	180:1	1.1%

図 3-3 ANSI 近似パターンによる観客席反射率の影響



図 3-4 シーケンシャル& ANSI コントラスト比較

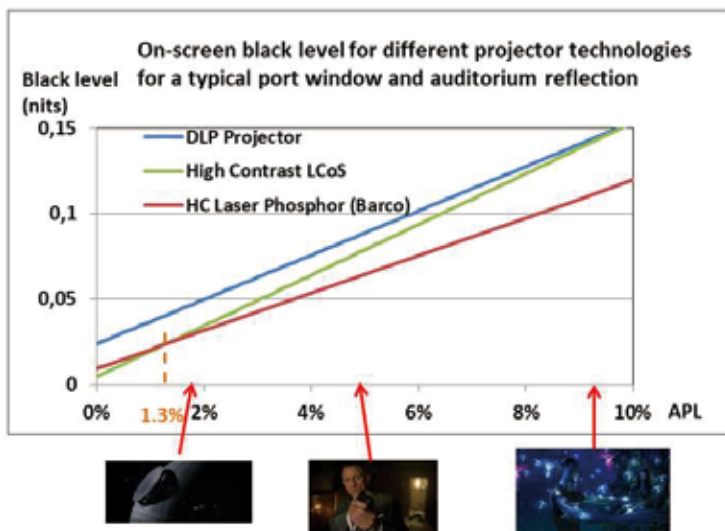


図 3-5 実映像での黒色輝度比較

図 3-5 は、実映像で黒色部分の輝度を比較した結果を示しており、市松格子の白色面積 1.3% で High Contrast LCOS と BARCO の HCL Laser Phosphor の黒色輝度 (nits) が一致している結果が報告されている。

実映像によるいわゆる“黒浮き”や、プロジェクタの性能による白色部分の輝度低下である“つぶれ”等々の、より感動を与える映像表現と繋がるスクリーンでの輝度・コントラスト測定方法については、今後も検討課題が多いことがうかがえる。

### 引用文献

- How to Design a Cinema Auditorium : Practical guidelines to architects, cinema owners and others involved in planning and building cinemas” , Rolv Gjestland, International Union Cinemas, [https://www.unic-cinemas.org/fileadmin/CinemaAuditoriumDesign\\_v1.0.pdf](https://www.unic-cinemas.org/fileadmin/CinemaAuditoriumDesign_v1.0.pdf)
- “20F Technology Committee On-Screen Light Measurement Study Group Report, 14 August 2014” , Society of Motion Pictures and Television Engineers
- “It’s not all black and white” , Goran Stojmenovik, 17/09/2018, BARCO White Paper
- “Guidelines for the Design of Effective Cine Theaters (Part I of a Proposed SMPTE Engineering Guideline” , SMPTE Tutorial Paper, by William Szabo
- “The importance of ANSI contrast ratio in Cinema” , Tom Bert, Barco White Paper, 2/07/2018
- “Barco AuroMax; room design guidelines” , Tom Bert, Barco Whitepaper, 4/10/2018
- “A Tool for the Design of Audience Space with Predetermined Visibility Performance” , MERT CRAMER, University of Waterloo
- “Dolby Atmos Specifications” , Issue 3, 201 Dolby Laboratories, Inc. S15/27842/28833

Ichiro Kawakami  
デジタル・ルック・ラボ