

プロジェクタの基本仕様について

川上 一郎

今月号では、プロジェクタの基本性能である光出力：ルーメン、コントラスト比についての詳細な解説と、InterBEE2018でもデルタ・アストロデザイン共同出展ブースで展示された 8K-DLP プロジェクタの話題について紹介していく。

図 1 は ANSI ルーメン測定での階調表示パターンで、図 2 がルーメン測定位置である。プロジェクタ出力の 100%でスクリーン内 9 箇所のルーメン値を測定して平均値を求める事が規定されている。フィルム映写機では、フィルム送り機構を停止し、かつフィルムを装着しない状態での測定が行われており、デジタルプロジェクタでも RGB 出力は全て 100%とし、同期信号も加えない状態で投影レンズ装着フランジ部分の全光束を測定することになっている。

映画スクリーンのサイズとゲインが決まると式 1 にスクリーン照度の基本式を示しており、ANSI ルーメンで示されるプロジェクタの全光束出力が投影レンズを経由してスクリーンへの入射光束となり、この入射光束にスクリーンの反射ゲインを乗算下値をスクリーン面積（平方フィート）で割り算するとスクリーン照度（ftL：フートランパート）となる。この基本関係式で DCI 基準の 14ft/L が達成

できる入射光束の値が計算できる。

実際の映像上映では、式 2 に示している実効入射光束の基本関係式でしめしているように DCI-P3 や Rec.709 の白色温度に調色された RGB の出力バランスで、かつ映像同期信号の含まれる水平・垂直のブランキング時間もある。さらに、投射レンズによる光量損失、映写窓の光量損失が関係してくることになる。垂直ブランキング時間の影響は映像同期時間の 4% 近くとなり、投射レンズの光線透過率と映写室と客席を隔てる映写窓の光線透過率もそれぞれ 5% 近い損失となってしまう。また、式 3 に示している実効スクリーン面積で示している映写フォーマットによる光量損失や、サウンドパーフォレーション（音響透過孔）の開口損失も関係してくる。

さて、上映中の映像のメリハリに最も関係してくるのが図 3 に示している ANSI コントラスト測定パターンである。白と黒の市松格子で構成されたテストパターンで式 4 に示している画面内コントラスト抑制要因の関係式から明らかなように、白部分から客席側に反射された光束が観客席の壁面・天井・床面、そして観客席からの再反射により黒部分の最低輝度を上げることから、映像作品上映中の“黒の締まり”に直結してくることになり、ANSI コントラストの黒が黒で無いことが最近になってやっと問題視されてきている。

家庭向け薄型テレビでは、見かけの明るさと、全面白表示・全面黒表示での全く無意味なコントラスト比が跋扈しているが、悪質な営業トークであり、映像に関わる製品を扱っている関係者としての矜持を疑うばかりである。全面白表示での輝度値を上げるために黄色表示画素を取り入れ Y : R : G : B とした製品を上市したのが会社再建前のシャープである。そして有機 EL テレビのパネルで主流

となっている韓国 LG 社の製品も白色画素が取り入れられており、W : R : G : B の構成で画素表示を行っている。韓国サムスンが歩留まりの問題で断念した RGB 画素構成での有機 EL パネル量産に対して、韓国 LG 社は白表示の有機 EL で画素を構成し、RGB は画素毎にカラーフィルターを上乗せする構造で歩留まり問題を解決し、さらに輝度問題を解決するために 4 画素構成のひとつを白色とすることにより商品化レベルで必要とされる輝度レベルを達成している。

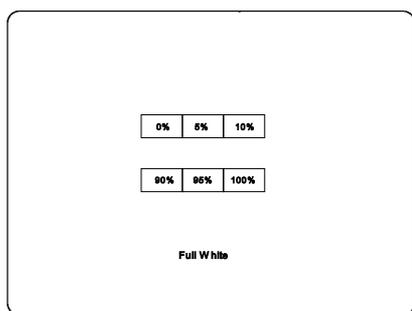


Figure 1

図 1 ANSI ルーメン階調表示

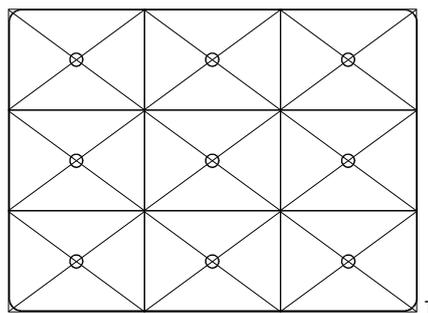


Figure 2

図 2 ANSI ルーメン測定位置

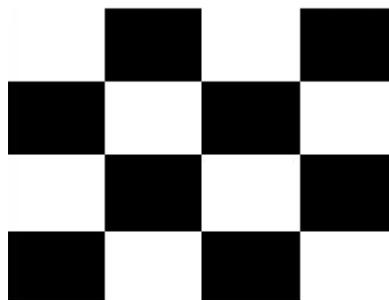
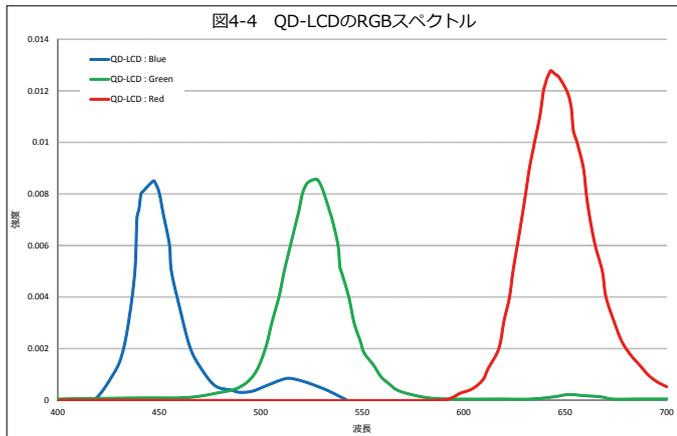
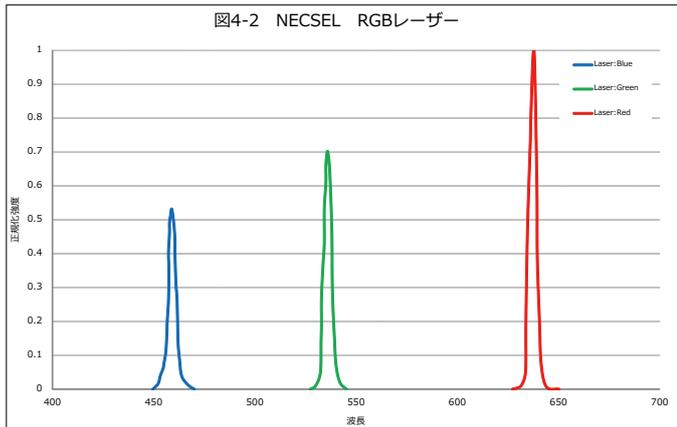
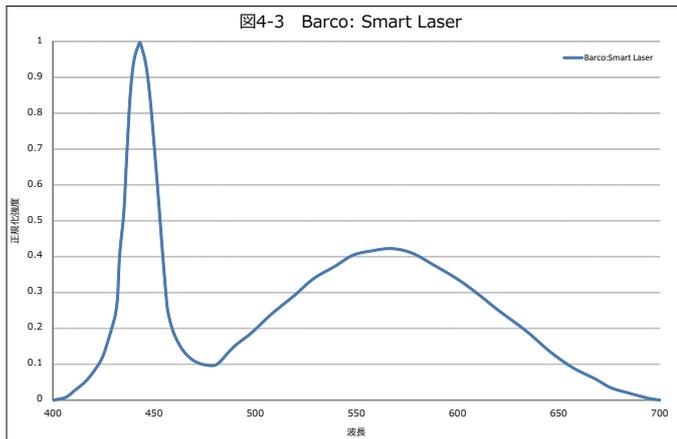
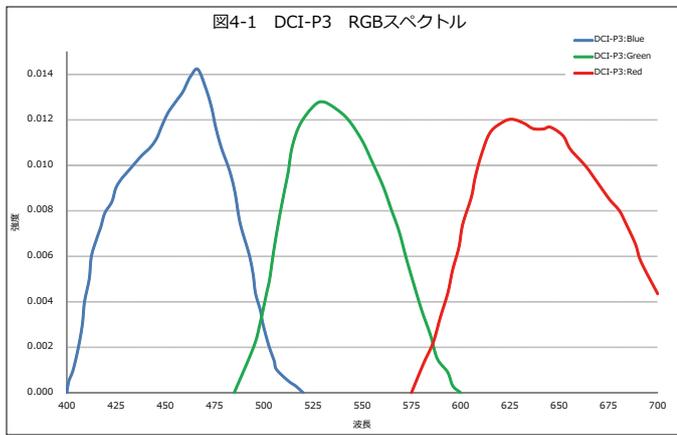


Figure1&Figure2 は ANSI(lumen) 測定方法 TBC93-2 より引用

図 3 ANSI コントラスト測定パターン



さて、液晶テレビではバックライトでの輝度制御が最も課題となっており、一画素毎にバックライトの輝度制御を行う事はコスト面から数百万円台の業務用マスモニ以外では実現不可能な技術である。したがって、全面白の表示ではバックライトを限界まで輝度をあげ、そして全面黒ではバックライトへの電流を完全遮断して“黒”

式1 スクリーン照度の基本式

$$\text{スクリーン照度} = \text{入射光束} \times \text{スクリーンゲイン} / \text{スクリーン面積}$$

スクリーン照度 (ftL: フットランバート)
 入射光束 (ANSIルーメン)
 スクリーン面積 (ft²: 平方フィート)

式2 実効入射光束

$$\text{実効入射光束} = \text{平均余命光束} \times \text{WB損失} \times \text{プランキング損失} \times \text{レンズ損失} \times \text{映写窓損失}$$

平均余命光束: 初期光束 50%に到達する迄の平均光束値 [ANSIルーメン]
 WB損失: 色温度補正に伴う光量損失
 プランキング損失: 映像同期信号に含まれる非映像提示期間
 レンズ損失: 投射レンズの光線透過率による損失
 映写窓損失: 映写室防音窓の光線透過率による損失

式3 実効スクリーン面積

$$\text{実効スクリーン面積} = \text{スクリーン面積} \times \text{映像フォーマット効率} \times \text{サウンドパフォーマンス開口率}$$

映像フォーマット効率: VISTA/Cinemascopでの有効映写面積比率
 サウンドパフォーマンス開口率: 音響透過開口部の延べ面積

式4 画面内コントラスト抑制要因

$$\text{黒浮} = \text{Xarena} + \text{Xlight} + \text{Xsc}$$

Xarena: スクリーン反射全光束 × 観客席反射率 / スクリーン面積
 Xlight: 観客席内照明のスクリーン入射光束 × 観客席反射率 / スクリーン面積
 Xsc: Xback × 非開口部面積率 / 非開口部面積 + (Xback / 開口部総面積) × 開口部比率
 Xback = 入射光束 × 非開口部面積比率 × スクリーン光線透過率
 + 入射光束 × 開口部面積比率 × バックヤード反射率

の輝度として測定している。その結果としてコントラスト比“100万：1”達成等の本来の映像表示では実現できないコントラスト比を堂々と喧伝する悪弊がまかり通っているのが家電業界の現状である。

数十万円の大型液晶TVでもバックライトのブロック制御は縦横64～256画素のブロックでしか輝度制御されていないので、HDR対応と表示されていても実際には高輝度が要求される場所では暗く、不必要な部分が明るくなってしまふことに加えて、いわゆる次世代圧縮技術と称されるH.264等の動画圧縮では圧縮画素ブロックが64～128であり、動画圧縮と表示側でのバックライト輝度制御の相乗効果ならぬ、制御不能な画質劣化を引き起こしていると言わざるを得ない。

民生用ディスプレイやプロジェクタでルーメン値やコントラスト比を声高に唱っている製品に限って、図3に示しているANSIコントラストを表示すると全く締まりの無い映像になることが大半であり悪質としか言いようが無い。また、最近ネットで話題となっているのが中国製プロジェクタのISOルーメンと称した9箇所平均ではなく、最高値のみを表示した製品をネット購入し、あまりにも低輝度なのに愕然としたとの話題である。この手の製品はルーメン値を測定するのが555nmをピーク感度とする比視感度特性関数を逆手に取って、このピーク感度付近に輝線スペクトルを配置した製品である。

フィルム映写機の時代では、大半の映写機が光源としてキセノンランプを使用していたことからANSIルーメンからのスクリーン照度計算に大きな問題は無かったが、レーザー光源の登場、そしてレーザー励起型蛍光光源も登場してきたことから、ルーメンとして計測される波長特性の問題が顕著となってきている。

図4-1はキセノンランプ光源によるDCI-P3の白色スペクトルである。DCI-P3は、昼光色軌跡から青緑側に外れた色度座標上に白色点を設定しているために青色成分と緑色成分の強度が強い特徴がある。ちなみに、昼光色軌跡上に白色点が設定されているDCI-P7では、RGB各色の強度はほぼ等価となっており、イベント上映での色温度設定ではRec.709より高いコントラストで投影できるとして支持されている設定である。

図4-2は、ウシオが買収したシネマ光源用半導体レーザー企業

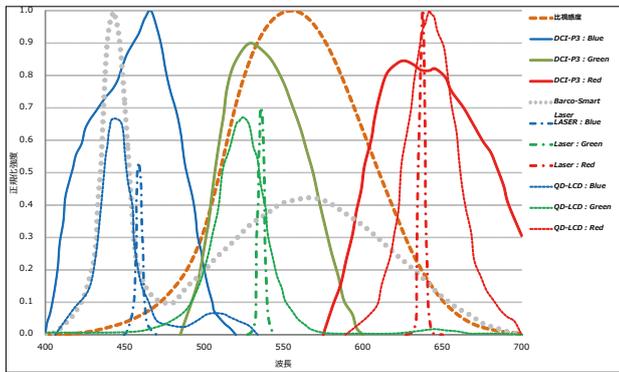


図5 比視感度との各種光源スペクトル相対比較

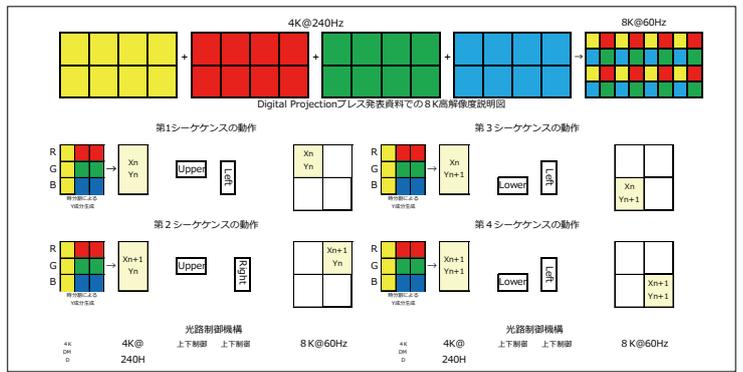


図6 Digital Projection 8K Laser の高解像度技術

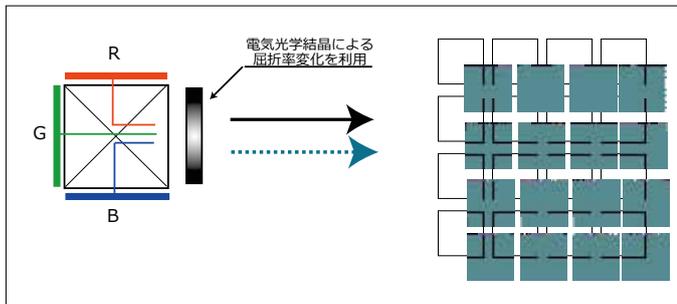


図7 JVC e-shift

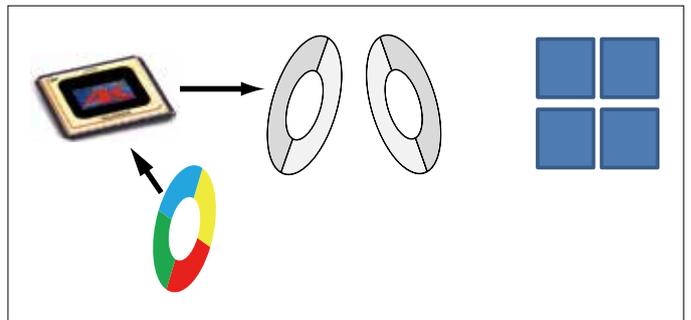


図9 YRGB カラーホイールとシフトホイール

$$\Delta y = t \sin \theta \left(1 - \frac{1 - \sin^2 \theta}{n^2 - \sin^2 \theta} \right)$$

Δy : 光路変位量
 t : アクチュエータ厚
 n : アクチュエーター屈折率
 θ : アクチュエータ変位角

<https://www.optotune.com/products/beam-shifting>

図8 アクチュエーターの一例

である NECSEL 社の RGB レーザー光源スペクトルである。相対輝度では、Red が強いがプロジェクタとしての光出力指標であるルーメンは前述のように 555nm をピークとした比視感度特性関数で規定されており、青色や赤色の輝線スペクトル強度が強くてルーメン値は上がらないジレンマがある。

図 4-3 は BARCO 社の資料から引用した青色レーザーにより励起した蛍光を利用した“Smart Laser”のスペクトルであり、比視感度特性関数にマッチングする形で蛍光体励起光が出力されていることがよくわかるスペクトル波形である。

図 4-4 は、中国の液晶ディスプレイメーカーが開発に注力している量子ドットカラーフィルタをバックライトに使用した液晶ディス

プレイのスペクトルであり、ナノサイズにまで微粒子加工した顔料で波長選別を行っていることから、従来技術による波長選別よりは RGB がきれいに分離されていることが良くわかるスペクトルデータである。ちなみに、中国以外の液晶ディスプレイメーカーは、より白色の演色性が高くなるように、紫外線側に発光スペクトルを設定した青色 LED で黄色蛍光体を発光させていることから、量子ドットカラーフィルタはほとんど採用されていない。

図 5 に示しているのが比視感度と各種光源スペクトルの比較である。555nm をピークとした山形の波形スペクトルが比視感度応答関数のスペクトルであり、XYZ 等色関数の Y 関数と等価となっている。この比視感度スペクトルに合致する部分が多いほどルーメン値は高くなることから、プロジェクタメーカー各社が選定する光源は、まずルーメン値を稼げること、次に安定性と寿命、そして光源の価格となってくる。

さて、NHK 技研の公開展示では JVC の 4K : D-ILA による“e-shift”（電気光学結晶による画素ずらし高解像度化技術）8K プロジェクションが、すっかりおなじみとなっているが、昨年の InterBEE で参考出展されていた Digital Projection 社の 8K レーザープロジェクターが製品化され、今年の InterBEE2018 でも展示されプレス発表も行われたので高解像度化技術について解説させていただきます。

図 6 の上段に示しているのが同社のプレス発表資料に掲載されている 8K 高解像度技術のブロック図であり、4K 解像度の黄色・赤色・緑色・青色を 240Hz で駆動し、上段左→上段右→下段左→下段右へと表示位置を移動させて 8K @ 60Hz の表示を実現しているとしている。このプレス発表を、単純に解釈すると 4K 単板の DMD チップに四色のカラーホールで光を当てて光学アクチュエータで上下左右にシフトさせて 8K 映像を生成しているとなるが、発表資料で記載されている 3 × flagship 1.38” DarkChip の構成で

はどのように実現できるかを推測したのが図6の下段に示しているシーケンスである。

まず、RGB三板の駆動回路に与える色信号はテレビ放送で用いられるYCbCrの色差信号生成ロジックを用いてY信号強度を計算し、RGBのDMDチップ駆動時間を一定の割合で時分割しY信号相当分の光出力を発生させ、残りの時間はRGB個々の色強度に応じた光出力を発生させる。この各ピクセルの光出力を上下シフト・左右シフトの光学アクチュエータによりDMD一画素分に相当する画素ずらしを順次行っていき8K解像度を実現する手法である。

この画素駆動時間を時分割せずにY信号の光出力を実現するには、Y信号専用のDMDチップを別途設置する手法も考えられる。

図7に示しているのは、JVCが商品化している“e-shift”光学エンジンのブロック図であり、D-ILAのRGBプリズムに電気光学結晶（電圧の印加により屈折率変化がおきる結晶）を配置し、半画素分対角方向に表示位置をずらすことにより画素境界部分のガタツキを無くして高解像度化する手法である。機械的な駆動部分を持たないことから耐久性や動作音の問題が無いことに特徴がある。

図8に示しているのは民生用UHDプロジェクタ等で用いられている光学アクチュエータの一例であり、optotun社の製品ではxy2軸の動作が可能で、装着する光学ガラスの材質を選定すれば図8に示すように平行移動する光軸距離を最適化することができる。

この数式に、100ミクロンの合成石英ガラスを使用し、500nm付近の屈折率1.51とシフト角9度を代入すれば光軸の平行移動距離は5.36ミクロンとなりDMDのピクセルピッチとほ

ぼ同等となる。

この機械的アクチュエータより安価に構成できるのが単板DMDチップによるプロジェクタで用いられているカラーホイールを光路に斜めに挿入するアイデアである。単板DMDチップによるプロジェクタではルーメン値を稼ぐために着色していない素通し部分を設けたり、NDフィルタ部分を設けることは良く行われているが、前述の8KプロジェクタでのYRGB構成で最も安価に装置構成を行うとすれば、YRGBの4色カラーホイールにより4K@240Hzの映像を生成し、上下方向シフト用のブランク部分とガラス部分の屈折ホイールを光軸に斜めに挿入し、同様に左右シフト用の屈折ホイールを挿入して同期回転させれば実現でき、家庭向け安価版の4Kプロジェクタでは高価な電気光学結晶を使わずに屈折ホールで光軸シフトを行っている製品の情報も散見している。

デジタルシネマの世界でも、8Kプロジェクタが話題になってくる可能性も充分にあるが、70ミリ映画で不朽の名作となっている“2001年宇宙の旅”が8KリマスターされてBS8K放送のお披露目で放送されるなどの話題もあり、昔の70ミリ映画封切館で味わった圧倒的な映像表現力がデジタルシネマで体験できる時代も案外近そうな予感がする昨今である。

Ichiro Kawakami
デジタル・ルック・ラボ

Cinegy マルチチャンネル・マルチフォーマット リアルタイムインジェスター Capture PRO



- Wrappers**
- AAC
 - Cinegy Daniel2 Raw
 - DV Raw
 - H.264 Raw
 - M2V
 - MOV
 - MP4
 - MPG
 - MXF AS02
 - MXF OP1A
 - MXF OPAtom
 - Raw
 - VANC
 - Wave
 - Y4M

- Audio Codecs**
- 16-bit PCM
 - 24-bit PCM
 - AAC audio
 - MPEG audio
- Video Codecs**
- Apple ProRes 422
 - AVC-Intra
 - Avid DNxHD
 - Cinegy Daniel2
 - Cinegy Daniel2 Nvidia GPU
 - Cinegy H.264
 - Cinegy MPEG-2
 - H.264 Nvidia GPU
 - MPEG-2 XDCAM EX 35 Mbit
 - MPEG-2 XDCAM HD
 - MPEG-2 XDCAM HD 50 4:2:2
 - Uncompressed Video
 - Y4M

- ・ネットワークにも対応したインジェスタプライアンスWindowsソフトウェア
- ・マルチチャンネル/マルチフォーマット/マルチプロキシ/マルチユーザーをシングルアプリでコントロール
- ・HDで最大8入力チャンネル、1入力チャンネルに対して最大8個のマルチコーデック同時収録
- ・OPAtom Avid形式MXF、Apple認証ProResキャプチャ対応
- ・キャプチャ先を複数指定可能
- ・Gangでグループ化、またカレンダーや時刻によるスケジューリング可能
- ・Sonyプロトコルデッキコントロール
- ・ドロップフレーム検出
- ・メインおよびプロキシ収録映像にBurn In Time Code可能
- ・新たに1080/23.98PsFと非圧縮コーデックに対応

伊藤忠ケーブルシステム株式会社
 クロスメディアソリューション本部
TEL.03(6277)1854
 〒141-0022 東京都品川区東五反田 3-20-14 高輪パークタワー