

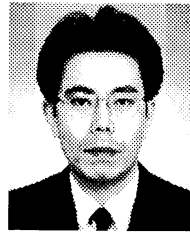


【技術解説】

# D-ILA™ プロジェクタ

森山敏尚

日本ビクター (株)



1 まえがき (ILA® から D-ILA™ へ)

HDTV 等の高精細電子映像を拡大表示したいという市場要望に応じて、1993年にILA®方式のプロジェクタを発売した。これは、当時CRT方式、透過型液晶方式に対して圧倒的な明るさと解像度性能の両立を実現させたプロジェクタであった。

ILA® (Image Light Amplifier) は空間光変調器の一種で強力な光源による読み出し光を高分解能CRTによる微弱な書き込み画像で変調する光増幅器であり、高解像度と高光出力を両立し、かつ垂直配向液晶の実用化で高コントラストを実現した。<sup>[1][2]</sup>

ILA® プロジェクタ最高位モデルILA-12Kは、光出力12000ルーメン、コントラスト1000:1、水平解像度2000TV本以上の性能を達成し、1999年米国にて「スター・ウォーズ・エピソード1」をエレクトロ投射技術により上映し観客に好評でプロジェクションの一つの大きな可能性を示すことが出来た。<sup>[6]</sup>

しかしながら、ILA®方式はCRTを用いているため、機器が大型化し高価になってしまうという課題があった。

近年、電子映像のデジタル化が進み、パソコンを使ったプレゼンテーションやCGなどに向けた画質（画素の忠実な再現）が重視されるようになり、さらにプロジェクタの小型化、取り扱い易さと低価格化がよりいっそう求められるようになってきた。

この課題を実現するため、日本ビクター (株) は反射型アクティブマトリックス方式液晶ライトバルブD-ILA™ (Direct-drive Image Light Amplifier) を開発し、1998年よりSXGA解像度にて「D-ILA™ マルチプロジェクタ」として発売している。

2 D-ILA™ デバイスの仕組み

2.1 構造

D-ILA™ (Direct-drive Image Light Amplifier) の基本構造を、図1に示す。

シリコン基盤上にCMOSプロセスで形成されたXYマトリックス配線で画素を選択し、表面を平坦化処理したAlミラーの反射画素電極に接続する。その上に配向膜 (液晶分子の方向を揃える) を形成する。一方、対向するガラス基盤には、透明電極層と配向膜を形成し、その間に垂直配向液晶を封入している。

このような構造は一般的にLCOS (Liquid Crystal on Silicon) 構造と呼ばれており、近年、反射型液晶ライトバルブとして開発競争が活発になってきている。

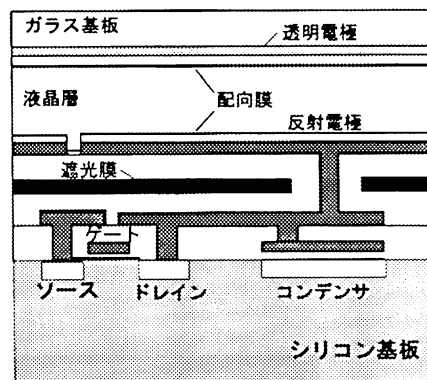


図1 D-ILA™ デバイスの基本構造

2.2 特徴

①高密度画素

画素アドレス選択部や信号線などは既存のICプロセスで確立された技術を使ったシンプルな構造であるため、画素ピッチの精細化は比較的容易である。

最高水平画素ピッチ7 $\mu$ mが実現されており、現在最も高密度に画素集積可能なライトバルブとなっている。<sup>[10]</sup>

②高開口率

アルミ反射画素電極が画素アドレス選択部や信号線の上に重なった立体構造を持っているため、光経路上無効となる画素電極間のギャップが狭く有効画素面積の割合(開口率)を大きくすることができる。ICプロセス技術の向上に伴って画素密度を高くしても光利用効率はほとんど低下しないという利点がある。

0.9型 (aspect 4:3) のD-ILA<sup>TM</sup> デバイスは、1365 $\times$ 1024個の正画素が13.5 $\mu$ mピッチ、0.5 $\mu$ mのギャップで並んでおり開口率が93%と高く、スクリーン上で画素構造が目立たない滑らかな画質が特徴である。

③高い消光比

ILA<sup>®</sup> で実績のある垂直配向液晶を採用しており、無信号状態で液晶による光の偏光乱れを生じないため高い消光比が得られている。<sup>[4]</sup>

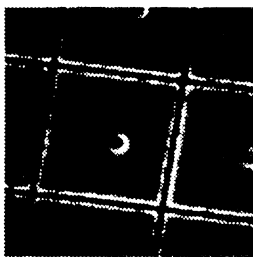


図2 D-ILA<sup>TM</sup>画素電極部

3 D-ILA<sup>TM</sup> デバイスの光学動作

3.1 光学要素

D-ILA<sup>TM</sup> は入射光を入力信号に従って偏光回転した反射光を出力するデバイスである。

基本光学系を図3に示す。照明光学系ではランプ光源から出た自然光照明光をPBS(偏光ビームスプリッター)などでs成分偏光のみ選択して、入射光とする。

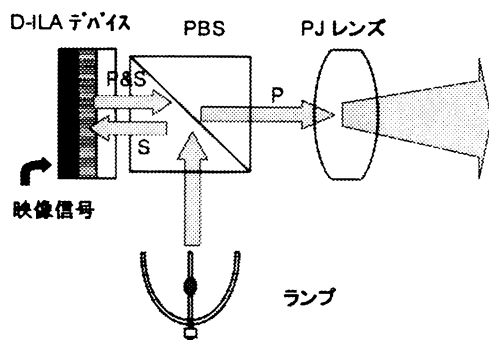


図3 D-ILA<sup>TM</sup> プロジェクタの基本光学系

入射光はD-ILA<sup>TM</sup> デバイスの液晶層を往復しながら通過する際に、映像信号に従ってs成分の偏光状態からp成分へと偏光変調された反射光となり出力される。

投影光学系でPBSはD-ILA<sup>TM</sup> デバイス反射光のp成分だけを選択透過し、透過光はPJレンズでスクリーンに結像する。ここでPBSは光を偏光変調から光強度変調に変換している。偏光変調されなかったs成分の反射光はPBSを反射してランプ側に戻りスクリーンに投影光は到達しない。

3.2 特徴

①高コントラスト比

D-ILA<sup>TM</sup> で採用している垂直配向液晶は、映像信号がないときには入射光の通過光軸と液晶分子長軸が一致して複屈折効果を示さないため入射光の偏光方向は変調されずに元のまま通過し波長依存性が少ないため、デバイス単体としてコントラスト比は数1000対1以上の実力があり、真の黒再現が得られる。

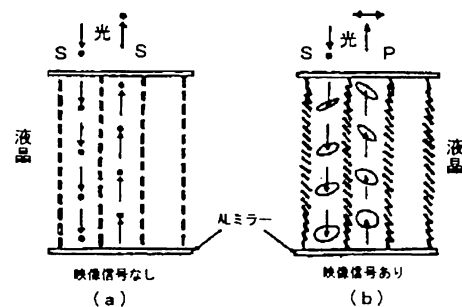


図4 垂直配向液晶の動作

②高速応答

反射型であるため液晶層は往復で作用し透過型の半分セルギャップで済み、液晶の立ち上がりから立ち下がりまでの応答時間は16ms以下 ( $\tau_r + \tau_d$ ) の高速応答が得られ動画再生にも適している。

③高光耐入力

光源から投影レンズまでの光経路は基本的に光吸収の少ない光学部品で構成されるので、ライトバルブ回りの温度上昇も少なく高光耐入力度で高光出力の実現が比較的容易である。

4 D-ILA<sup>TM</sup> プロジェクタの現状

4.1 仕様

これまで発売しているD-ILA<sup>TM</sup> プロジェクタの主なラインアップを図5に示す。

光学系は対角長0.9型のD-ILA™デバイスを用いた3板タイプで、SXGAをカバーしつつ4:3のアスペクトに拡張した1365×1024ドットの表示容量をもち、NTSCからVGA、XGA、SXGAまで正確なアスペクト表示が可能となっている。

光源は太陽光の可視域分光特性に近いキセノンランプで自然な色再現性が得られ、350:1以上というハイコントラスト比と10bitデジタルガンマ補正による優れた階調再現性を実現している。

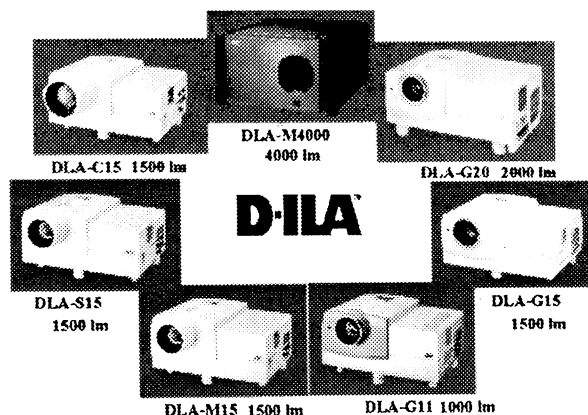


図5 D-ILA™ プロジェクタのラインアップ

汎用可搬型では、明るさとPJレンズのバリエーションの中からフロント投射・リア投射・マルチ画面など目的用途に応じて選ぶことができる。PJレンズの投射比は2:1-3:1ズームおよび固定焦点1.5:1と1:1があり、明るさは1000lmから2000lmまで揃っている。

大型固定設置型では、PJレンズは交換可能で本体側についているシフト機構によってスタック投影やマルチ画面などのシステムが容易に組めるような構造になっている。PJレンズは3:1-7:1ズームおよび固定焦点1.5:1と1:1の3種類があり、明るさは4000lmとなっている。

4.2 要素技術

①光利用効率

照明光学系の目的はランプの発光部分（アーク）を表示デバイスの上に効率よく集光することである。同じ光学系で比較すると点光源に近いほど集光できる光束が増え照明効率がよくなることは容易に想像できるが、照明効率の定量的な予測は困難で試行錯誤に頼らざるを得なかった。

見方を変えて発光部分の大きさと照明範囲を物体と像の幾何光学的関係に置き換えて捉えれば、照明光学系に収差がない場合その面積S、S'と角度u、u'の間には次式

のような関係が成り立つ。<sup>17)</sup>

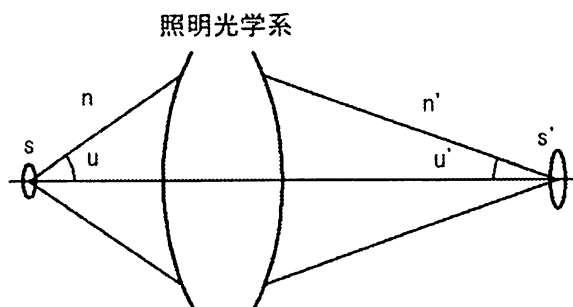


図6 幾何光学的関係

$$H = \pi \cdot S (n \cdot \sin u)^2 \quad (1)$$

$$H' = \pi \cdot S' (n' \cdot \sin u')^2 \quad (2)$$

$$H = H' \quad (3)$$

つまり、照明光学系において発光部と照明範囲の間には光学広がりH (etendue) が保存されると捉えられる。

このことより、投影光学系側から決まる開口数と表示デバイスの面積で決まる光学広がりをHd、光源から計算される光学広がりをHsとするとその間の効率Eが決まる。

$$E = Hd/Hs \quad (4)$$

この光学広がり (etendue) をシミュレーションで評価してランプ仕様の最適化と照明光学系の光利用効率の最適設計を行っている。

②照明光学系

可視域分光特性が太陽光に近いキセノンランプを光源に用いて自然な色再現性を得ている。フライアイインテグレート光学系を採用して、0.9型 aspect 4:3の照明範囲内に効率よく光を集めて均一な照度分布を得ている。

他方式に比べて光吸収の大きい部品はないけれども狭い範囲に大光量が集中するため温度上昇の問題があり、不必要な紫外線や赤外線を除去するためにランプ近くにフィルターやコールドミラーなどを配置して防止している。

照明光は片方の偏光成分しか投影光として使えない。そこで照明光の偏光をPBSで分離し偏光p成分をs成分に波長板で変換して元のs成分と合成し偏光方向を揃えることで照明光の偏光利用効率を向上させている。

③偏光補正

照明光の入射角度を広げて開口数を大きくすれば発光部の大きい大光量のランプが使えるため光学システムの光利用効率が飛躍的に向上する。しかし、照明光学系の開口数を大きくして光利用効率をあげようとするとPBSの偏光分離特性によりコントラストが低下してしまうという

課題がある。

この原因となる依存特性は、PBS入射ベクトルによって通過後の偏光方向がずれることと、PBS通過位置がD-ILA™で反射する前と後でコーンアングルの軸対称位置にずれて光線が戻って来るために発生する。これを低減するためPBSとD-ILA™の間に波長板を入れてPBS通過位置での入射光と反射光の偏光方向のずれを補正し揃えることで、コントラスト比350:1以上を得ている。<sup>[8]</sup>

④色再現

キセノンランプの連続白色光をダイクロイックフィルタでRGB成分に分解合成した色再現範囲を図7に示す。色再現範囲はSMPTE240Mを十分にカバーしている。

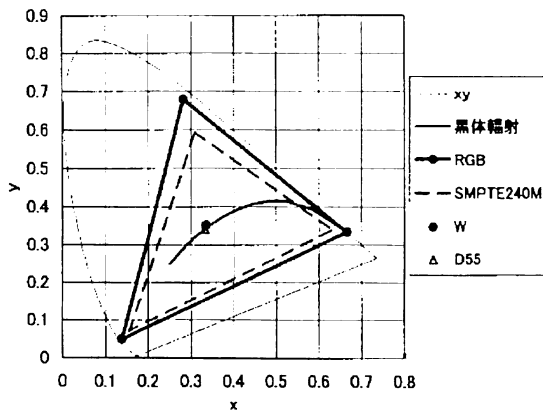


図7 色再現範囲

ここで、色合成プリズムに入射する偏光方向を変えることでRGB各色のダイクロイック膜の偏光透過率特性により色分解合成系全体の透過率を向上させることができ、一般的にSPS合成と呼ばれる。しかし、この場合投射光のG色と他のRB色の偏光方向は互いに直交し異なり、またSSS合成に比べRGB各色間の混色が増えるため色純度が若干低下する。このため、投射光の直線偏光状態を利用する偏光スクリーンや立体視システムに応用する際には注意が必要である。<sup>[9]</sup>

⑤投影光学系

投影光学系を構成する光学部品の表面で反射光が発生しD-ILA™に集光して戻るとD-ILA™は反射率が高く鏡のように作用するため1%の戻り光でもコントラスト100:1のゴースト像になってしまう。その場合、発生源となる光学部品表面の反射防止コート特性を最適化する事で対応している。

別の方法として投射レンズの後ろにゴーストバスター

(波長板)を入れると、戻り光は偏光方向が90度回転してs偏光となりPBSで反射してD-ILA™に全く戻らないようにできる。ただしこの場合投射光は直線偏光でなく円偏光になる。

5 D-ILA™の開発動向

D-ILA™デバイスはシリコン基盤上のCMOSプロセスにより形成されるため、画素の高密度化とデバイスの小型化に適し、まだ十分余裕を残している。現行のD-ILA™デバイスはサイズ0.9型正方形画素ピッチ13.5μmであるが、すでに図8に示すような仕様のデバイスを発表している。

項目	SX090	SX070	QX130
表示サイズ	0.9型	0.7型	1.3型
表示容量	1365x1024	1400x1050	2048x1536
画素ピッチ	13.5	10.4	12.9
コントラスト比	1000	1000	1000
応答速度	<16ms	<16ms	<16ms

図8 今後のD-ILA™デバイス

QXGA (2048 × 1536) は、HDフルスペック (1980 × 1080) を含み、解像度は従来のフィルム映写機に替わるe-Cinemaに十分対応する事が可能である。さらにデバイスサイズが1.3型と大きくなるためランプの光利用効率が向上し高光出力化が容易になっている。

一方、画素の高密度化をデバイスの小型化に振り向けたものは、光学エンジンの小型化によりプロジェクタの低価格化小型軽量化がよりいっそう進展すると期待されている。

さらに、表示エリア1.3型 (4:3) で画素ピッチ10μmの場合、表示容量はQ-SXGA (2730 × 2048) となり単なるフィルムの代替を越えた超高精細電子映像表現が可能になると期待されている。<sup>[10]</sup>

6 まとめ

デジタル電子映像の高精細化が進展していく将来においても、D-ILA™方式は高解像度と高光出力を両立させかつ高コントラストが得られる優れた方式である。高精細電子映像の真価は大画面表示による臨場感や情報の共有化などで、その要望は日々高まっている。

D-ILA™デバイスの高精細化とともに光学設計においては、光利用効率の最適設計と各光学部品性能の改良、および新しい光学システムの開発で、さらなる小型軽量化と高光出力、高コントラストの両立を実現するプロジェク

タの商品化を目指して現在開発推進中である。

#### 参考文献

- [1]中垣新太郎、W.P.Bleha "ILA ビデオプロジェクタ" テレビジョン学会技術報告 Vol.17 No.10 p.11 (Jan.1993)
- [2]三好忠義 "高輝度・高精細 ILA プロジェクタ" 応用物理学会 日本光学会 微小光学研究グループ 1994.10/17 Vol.12 No.3 p.31
- [3]W.P.Bleha "Image Light Amplifier (ILA) Technology for Large-Screen Projection" SMPTE Journal, Oct. 1997 p.710
- [4]H.Kurogane et al "Reflective AMLCD for Projection Displays: D-ILA" SID98 p.33 (1998)
- [5]辰巳扶二子 他 "D-ILA パネルモジュールを用いたプロジェクションディスプレイの光学系" 映像情報メディア学会誌 Vol.53 No.8 p.1122 (1999)
- [6]R.D.Sterling, W.P.Bleha "Electronic Cinema Using ILA Projector Technology" SID99 DIGEST p.216 (1999)
- [7]C.N.Stewart et al "Lamp and Optics Design Considerations in Short Arc Metal Halide Systems for LCD Projection" IDW'97p.797 (1997)

[8]特公平7-38050、"偏光ビームスプリッター装置とその装置を用いたライトバルブ光学装置"、松下電器産業株式会社

[9]米倉淳博 "色分離・色合成光学系" O plus E Vol.22 No.3 p.319 (2000)

[10]早川充 "ILA/D-ILA スーパープロジェクタの現状と将来"、FPD Expo Forum 2000 Session3 p.59 (2000)

#### 【略歴】

森山敏尚

日本ビクター株式会社、AV&マルチメディアカンパニー、プロジェクション&システムネットワークビジネスユニット、商品技術部

茨城県岩井市辺田 1106

1981年、東海大学大学院工学研究科光工学専攻修士課程修了。同年、日本ビクター(株)入社、中央研究所にて薄膜応用デバイスの研究開発の後、現在、AVSにてプロジェクタ光学系の開発設計に従事。