

# 投写型ディスプレイに 新しい生命を注入するレーザー

バリー・シルバースタイン、アンドリュー・カーツ

2D空間光変調素子と高効率固体レーザーの組み合わせは長年の願望であった  
映画のレーザー投写を可能にする。

レーザーが発明されたのは50年以上も昔のことだが、映画撮影の専門家は投写画像へのレーザー光源の利用を熱望してきた。1960年代の初め、可視レーザーはガルバノメータ走査ミラーと組み合わせ、この方式の装置は人間の眼が持つ連続性の感覚によって、アニメーション的な動画のスクリーン投写を可能にした。これらの装置は気体レーザーが使われ、とくに赤色の出力を1ワット以下の光パワーで得られるヘリウム・ネオンレーザーが使われた。

この状況は1970年代にレーザーパワーが数十ワットに増加したことで改良され、大型のクリプトンレーザーやアルゴンレーザーからの多波長の使用が可能になった。しかし、これらのレーザーは大量の電力、大量の水冷、多大な保守作業などが必要であった。また、これらの新しい高パワーレーザーにはレーザーの安全性の問題も提起され、観賞（および屋外や航空機などの移動体での使用）には高輝度ビームからの眼の保護が必要になった。

その代替法としての走査技術とレーザー技術が開発され、それらの実証も行われたが、なかでも画期的な出来事は1990年代の中頃におけるスタンフォード大学のデイビッド・ブルーム氏による回折格子ライトバルブ（GLV）の開発である。GLV（とシリコン・ライト・マシン社によりさらに開発が行われた）は

入射したレーザー光を画素ごとに回折し、高次の回折次数をフィルタリングして、オン状態とオフ状態を識別する。GLVリニアアレイによる一次元走査による画像がスクリーン上に投写され、2D画像が生成される。

2000年代の初め、米イーストマンコダック社（Eastman Kodak）は回折格子電気機械システム（GEMS）と呼ばれる代替技術を開発したが、このシステムは高次の回折次数をデバイスのアレイ方向からシフトアウト制御する特徴を備えていた<sup>(1)</sup>。GEMSを使用すると、その3つの線形画素変調素子、光パラメトリック発振器（OPO）レーザー光源およびガルバノメータ走査装置からなる高解像フルカラー結像システムからは完全2D画像の投写が可能になる（図1）。このシステムは実証に成功したが、レーザーの高コスト、高ビーム品質の必要性、レーザースペckル、レーザー安全性の懸念などのために商業化には至らなかった。

一方で、ディスプレイ産業は技術革

新を継続し、HDTV解像度のフラットパネルプラズマディスプレイと液晶ディスプレイ（LCD）が陰極線管（CRT）を置き換えた。これらの技術は時間の経過とともに成熟し、ウォールプラグ効率の改善、高輝度LEDバックライト、対角100インチに達するスクリーンサイズなどが実現された。

大画面投影（large venues）分野は、いまでもフィルム映写が使われているが、デジタルシネマイニシアティブ（Digital Cinema Initiatives, DCI）のスタジオ仕様の“2K”（2048×1080画素）や“4K”（4096×2160画素）解像度をもつ液晶オンシリコン（LCOS）またはデジタルマイクロミラーデバイス（DMD）空間光変調素子（SLM）を用いたデジタルプロジェクタへの置き換えが進行している。これらの変調素子はハロゲン金属ランプやLEDが映画以外の用途に使われ、キセノンランプが大画面投影の用途に使われている。これらの現在のディスプレイは信頼性と高品質が確保されている。そうであれば、レーザーはどこに適しているのだろうか？

## 大きい画像と小さいフットプリント

われわれはレーザーが大型投写型ディスプレイ分野を活性化すると確信している。フラットパネルディスプレイは対角100インチ以下のサイズの要求を

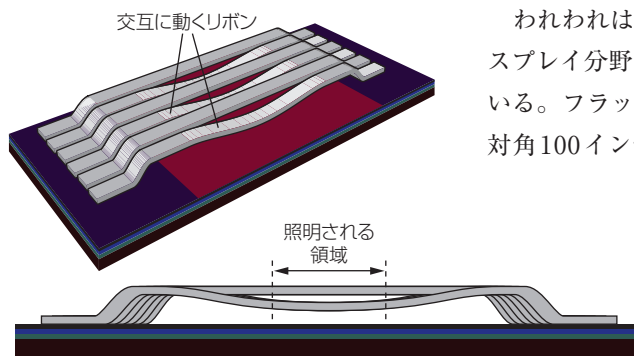


図1 コダック社の回折格子電気機械システムは回折リボンを使用して画素形成用のレーザー光を偏向する。

ほとんど満たしたが、対角70インチ以上のサイズになると、運搬上の問題に支配され、コストにも問題がある。なかでも、このように大きいガラスの出荷、輸送および据付は容易ではなく、コストと人手のかかる作業が必要になる。フラットパネルディスプレイはコントラスト比、走査速度および解像力がいずれも著しく改善され、3Dディスプレイも選択可能になったが、大型画面がより小さいフットプリント、つまり占有面積で得られることが究極的に要求されている。

このことが、例えば、新しいピコプロジェクトの開発を駆動している。10～50インチのディスプレイがポケットに入れて持ち運びできることは非常に望ましい。プロジェクトはサイズが小さくなると、エネルギー効率(電池の寿命)は増加し、コストは低下するので、ピコプロジェクトはより広く使われると予測される。しかし、現在のプロジェクトの多くは装飾壁面の邪魔になる照明光源の電源が必要になるので、このことがレーザーへの移行を妨げている。

画像投写産業は輝度が制約になる。明るさの十分な投写型装置はほとんど存在しない。表示品質が決定的に重要になる映画分野は環境を制御できる。つまり、周囲を暗くすると、投写輝度の限界が緩和され、観客は画面に集中するようになる。しかし、映写技師やスタジオ専門家の多くは、暗い劇場に置かれている映写機では暗すぎると考えている。一般の劇場は2Dディスプレイに対して11から14フィートランペルト(fL)の照射レベルを確保しているが、映画専門家の多くは100fL以上のスクリーン照度での観賞を望んでいる。

3Dディスプレイになると、この状況はさらに悪くなり、3D光学系にともなう付加損失が発生するので、劇場の多



くは4fLのスクリーン照度の確保に四苦八苦している。このような低い照度レベルになると、観客は2つの3D画像を融合し、画面の細部を観賞することに苦勞する。このことは映像産業に大きな課題をもたらしている。

この問題は現状の映写機がこれ以上の改善を期待できないことにある。アークランプ照明による映写機はすでに完全に最適化され、その光学系は実現可能な最高速度で光を捕捉し、必要な画像の解像度、コントラストおよび色彩が得られるように設計されている。また、アークランプは光出力と妥当な寿命がバランスよく得られるように最小のアーク間隙で構成されている。さらに、空間光変調素子はコスト低減のための小さい実装と素子寸法が強制されている。その結果としての面積効率、コスト制約および要求される品質パラメータのために、光学部品の設計者はスクリーン照度を光源の変更なしに増強することが不可能になった。

このことはf/2.4のレンズ系、6kWのアークランプおよびコストのかかる対角1.4インチの空間光変調素子からなる映写機のような高性能プロジェクトに対して当てはまる。ピコプロジェクトのように最小サイズで最大効率を目

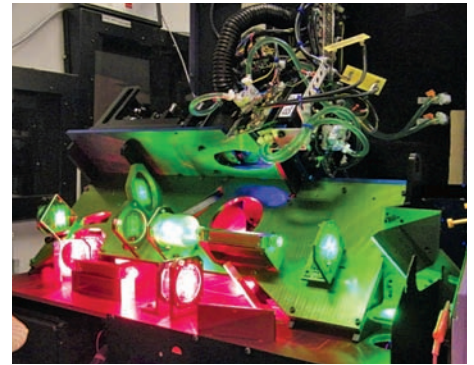


図2 コダック社のレーザー投写技術による3D映写機の試作品(右はその内部)は映画産業に対して、明るい3Dディスプレイ、高いコントラストおよび低い運用コストを実証している。

指す小型で低エネルギーの低価格プロジェクトにも当てはまる。したがって、変調素子と光学系の縮小およびコストの低減が必須になる。そのためには、より多くの光を捕捉し、システムの小型化を実現することが唯一の方法になる。

このことはレーザーにより実現される。ランプとLEDは比較的広い面積(>1mm)から広い角度(数十～数百度)の光を放射するが、固体レーザーは狭い面積から狭い角度の光を放射する。例えば、米ネクスセルインテレクトラルプロパティ社(Necsel Intellectual Property)の3W緑色レーザーは、約0.5°の発散角と0.1mmの放射直径が得られる。この小さい光源の面積効率を利用すると、光学設計者は最小のSLMの使用と光学系の小型化がより低いコストで可能となり、より高いコントラストの光学系を実現できる。

さらに、レーザーは狭いスペクトル帯域幅が映写機の色域を改善するので、色彩の拡大と色再現性の向上も可能になる。最も重要なことは、レーザープロジェクトは非常に高い電気-光エネルギー変換効率を得られ、より高い輝度をより低いエネルギー消費で(より低い熱発生も)実現できることにある。このレーザーのもう1つの特徴は並外れ

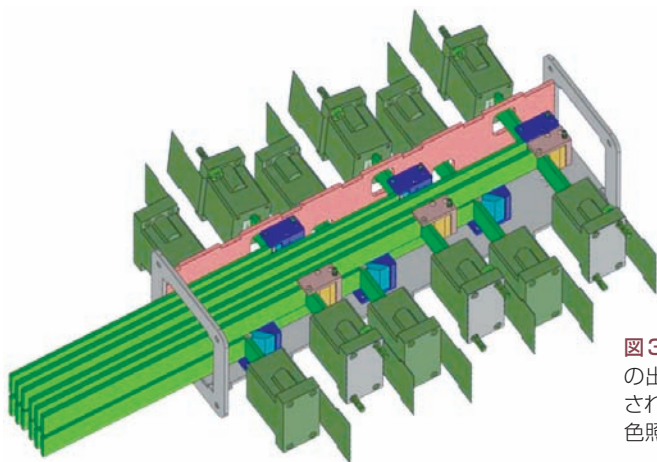


図3 12個のNecselレーザーの出力が自由空間で組み合わせられ、単色チャンネル用の強い単色照明光路を生成する。

て長い独自の寿命にある。その3万時間を超える長寿命が劇場や学校などのユーザーに対して運用コストの低減を可能にする。

### レーザーと2D空間変調素子

最適システムの実現には画像生成用のレーザービームの変調と走査よりも、結像素子としての2D SLMと照明光源としてのレーザーの組み合わせが重要になる。

米マイクロビジョン社 (MicroVision) を含めたいくつかの企業は2軸ガルバノメータを使用して優れたピコプロジェクタを開発したが、それらの走査光源は輝度が非常に高くパルス時間が短いので、光源フラックスが約25ルーメンを超えると、眼の損傷リスクが生じる。2D SLMと比較的低輝度のレーザー光源を組み合わせると照射時間を長くすると、安全リスクが大幅に減少する。また、高画質の実現に必要なスペックル低減の技術を適切に組み合わせると、安全リスクは通常の白色光プロジェクタと同様のレベルに低下する。安全リスクの低下によって、コダック社は大画面投影用レーザー映写機の販売認可を米国食品医薬品局 (FDA) から取得し、それぞれの設置場所での認可を不要にした<sup>(2)</sup>。将来は法律の改定と規制のさらなる簡素化が行われ、これらの装置の商品化は現実かつ容易になると考えられる。

幸いなことに、量産されるレーザーの

使用開始時のコストは光出力ワット当たり50ドル以下に到達し、プロジェクタ市場の迅速な拡大が可能になる信頼性も実証された。近い将来に、三菱電機 (東京) や日亜科学 (徳島) を含めた多数のレーザーメーカーは、ウシオ電機や独オスラムオプトセミコンダクターズ社 (Osram Opto Semiconductors) などのレーザー分野に参入したランプメーカーおよびフィンランドのエピクリスタルズ社 (EpiCrystals) や中国のCQレーザーテクノロジー社 (CQ Laser Technologies) などの多数の新興小企業と一緒に、ディスプレイ用のさまざまなレーザーを製品化するであろう。その競争が技術革新、商業化、電気-光変換効率の向上およびコスト低減を牽引し、プロジェクタのメーカーと消費者に利益をもたらす。

### 高輝度の実証

2011年の初め、コダック社は映画用の1万1000ルーメンのレーザープロジェクタを実証した。この映写機は非常に高いコントラストの2D画質が得られ、

その設計は偏光眼鏡による明るい3D機能が組み込まれ、レーザープロジェクタへの移行を可能にした (図2)<sup>(3)</sup>。この映写機は赤色、緑色、青色の3チャンネルにそれぞれ12個の3Wレーザーを使用し、それぞれの光を個別の積分バーで均一化して、それぞれのDLPデバイスに向けて (図3)。3色のカラーチャンネルはそれぞれに独自の簡単な偏光スイッチがあり、それらが交互に右と左の3Dモードの画像を生成する。光学系はf/2.4からf/6.0まで暗くなり、通常のプリズムコンバイナがダイクロイックプレートに置き換えられ、コントラストを改善し、コストを低減している。スペックルの減少は多数の技術にもとづいて装置の全体で行われ、光学機械的複雑さを減らしながら、高い電気-光変換効率を維持している。

このプロジェクタの試作品は受動3D機能を組み込みながら、従来のデジタルプロジェクタよりも高い輝度、効率、コントラストと同等のコスト構造を実現し、その動作コストも大幅に低減することを実証した。2011年に、この最高品質の映画用の技術はIMAXに対して独占的 (デジタル映画市場) にライセンスされた。特記したいことは、この技術はホームシアターやビジネス市場にも拡張性をもつことだ。そこでは上記の利点が投写画質の向上と3Dディスプレイを実現し、同時にコストの低減、エネルギー効率の改善および光源の長寿命化が可能になる。

### 参考文献

- (1) J.C. Brazas and M.W. Kowarz, "High-Resolution Laser-Projection Display System Using a Grating Electromechanical System (GEMS)," Proc. SPIE, 5438, 65 (2004).
- (2) FDA Variance, Number 2008V-0624 (December 2010); <http://1.usa.gov/zvt1JR>.
- (3) B.D. Silverstein et al., "A Laser-Based Digital Cinema Projector," SID Symp. Dig., 42, 326 (2011).

### 著者紹介

バリー・シルバースタイン (Barry Silverstein) は米イーストマンコダック社 (Eastman Kodak) エンタテインメント画像事業部の投写技術部長、アンドリュー・カーツ (Andrew Kurtz) はコダック研究所 (Kodak Corporate Research and Engineering) の上級研究員、e-mail: barry.silverstein@kodak.com。