デジタル・プロジェクション・ディスプレイに向けた高出力RGBレーザエンジン

ビル・ベック、イアン・リー

色調整可能な赤および緑のカラーモジュールと、緑色に対するスペックル除去技術を備えた、RGB（赤緑青）ライトエンジンを紹介する。同ライトエンジンは、2Dおよび3Dデジタルシネマなどの用途に適用可能な状態にある。

1950年代から、ハイエンドのプロジェクタ、特にシネマプロジェクタには、必要な照明を得るための手段としてキセノンアークランプが採用されてきた。これらのランプはエネルギー消費量が大きく、コストが高く、定期的な交換が必要である。長年にわたる研究開発を経て、現在ではレーザ照明が、2Dおよび3Dシネマやその他多数の応用分野に向けて商用提供できる段階に近づきつつある。

レーザ照明を採用する最初の試みは、20年も前のフライトシミュレータディスプレイだった。試行システムが開発されたが、次の4つの点において失敗に終わった。つまり、出力と効率が低いこと、求める波長で出力しないこと、映像を損なうスペックルノイズが発生すること、適切なプロジェクション技術がないことである。

これらの問題は現在、効率と輝度が高く調整可能な赤、緑、青（RGB）のレーザ技術、スペックル除去サブシステム、そして高性能デジタル・プロジェクション・システム向けに設計されたレーザ照射エンジンの組み合わせによって解決されつつある。その結果として、光源の寿命が長くなって、定期的に高価なキセノンランプを交換する必要がなくなり、消費電力が低くなって、ランプ消費電力量だけでなく、暖房、換気、空調（HVAC）の運用コストが削減される。

より最近では、すべての3Dシネマシステムにおける本質的に大きな光損失を補償するために、ランプの輝度を3倍にした光源が必要であることがシネマ業界において認識されている。また、

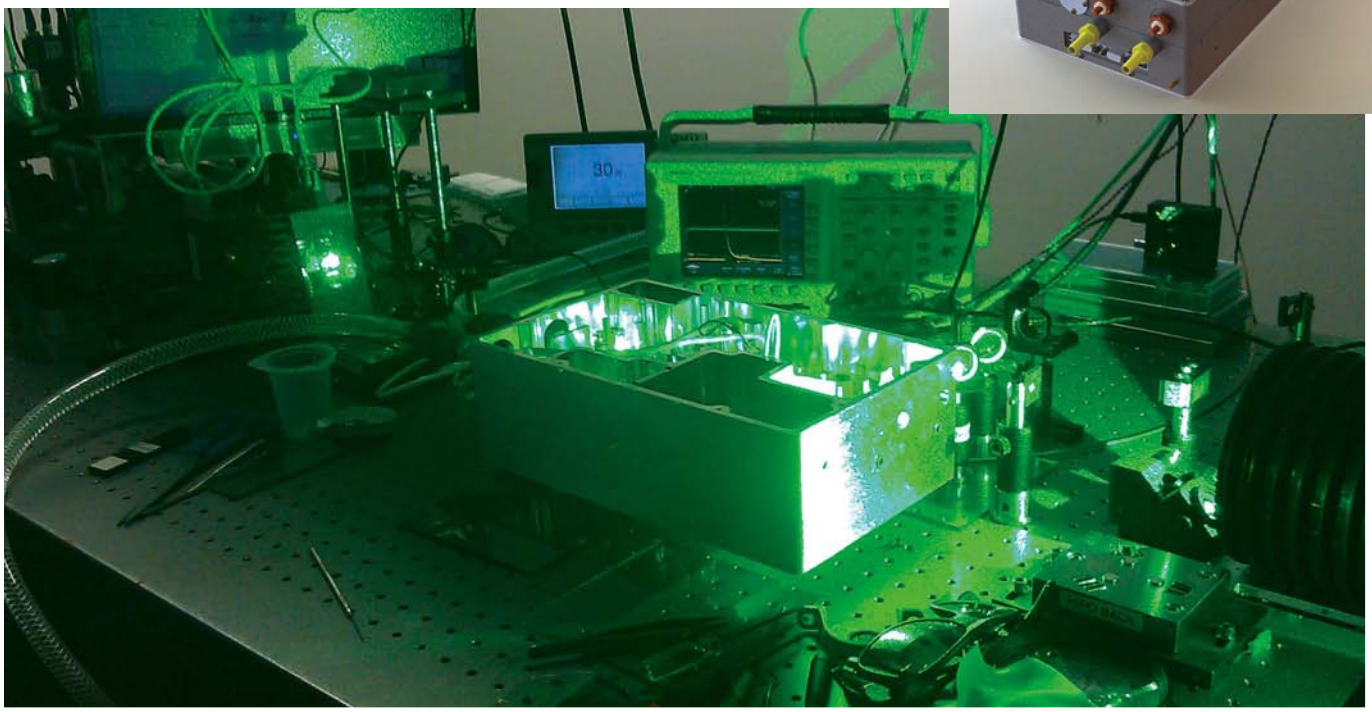

図1　レーザ実験室で動作する緑のカラーモジュール。右上の写真は、標準のカラーモジュールパッケージ。

3Dの導入によって、デジタルシネマへの移行が世界規模で加速する中、すべての商用レーザ照射システムが今後、新しく設置された膨大な数の2Dおよび3Dシステムに適応可能でなければならないことが明らかになっている。

米レーザライトエンジンズ社（LLE：Laser Light Engines）は、成熟したレーザおよび非線形光学技術を組み合わせて、多用途に適用可能なモジュール型の高出力RGBライトエンジンを開発した。同ライトエンジンは、レーザスペックルノイズを除去し、業界の画質水準を引き上げる。高いビーム品質によって、任意の既設デジタルシネマや、それと同等の性能を持つプロジェクタに対し、効率的な光ファイバ伝送を実現する。これによって、「オフボード照明（off-board illumination）」と呼ばれる斬新な使用モデルが可能となる。これは、リモートの高出力光源を必要とする、多くの看板やシミュレーションなどのマルチプロジェクタ応用において非常に重要なものとなる。

RGBレーザエンジンの要件

レーザプロジェクション応用の出力範囲は、3000 lm（LEDプロジェクションの実質的な上限）～10万lm（既存のデジタルプロジェクタの限界）である。ここで、3万5000～10万lmの範囲の出力は、デジタルプロジェクタにおけるキセノンランプの限界をはるかに上回っており、レーザでしか達成できないことは注目に値する。

必要となるレーザ入力電力は、RGB波長とプロジェクタのスループットの関数で表される。RGB原色が最適化されており、スループットが良好であると仮定すると、存在する応用分野の全範囲に対応するには、10～800 WのRGB合計出力電力が必要である。目標寿命としては、2万～5万時間が望ましい。

レーザエンジンは、7つのサブシステムで構成される。赤、緑、青のカラーモジュール、制御可能な電源、冷却、プロジェクタインタフェース、そしてシステム制御ソフトウェアである。複数のエンジンを組み合わせれば、IMAXスクリーンやテーマパークのアトラクションなど、非常に高い輝度が求められる分野に対応することができる。

スペックルを除去

シネマやディスプレイの用途に適した緑色レーザのカラーモジュールに求められる要件は独特である。出力、スペクトル、コスト、寿命の要件に対応するために、このようなモジュールの設計には革新的な技術が採用されるケースがますます増えている。LLE社の設計では、キャビティ内周波数2倍化やスラブ構造結晶といった、効率と熱管理を改善するための手法がいくつか採用されている。

当社が採用した設計手法では、ネオジムをドープしたフッ化イットリウムリチウム（Nd:YLF）を利得媒体として使用した。この材料を選択することによっていくつかの重要な利点が得られ、また、この材料はLLE社のレーザスペックル除去技術に必須である。周波数を2倍にしたNd:YAGやバナデート（$Nd:YVO_4$）レーザは、許容できるレベルの緑色光源として機能しない。ハリウッドのデジタルシネマ仕様で求められる非常に厳しい画質要件を満たさないためである。

当社の基本レーザカラーモジュールは、ダイオード励起でキャビティ内周波数を2倍にしたNd:YLFレーザを、30Wおよび50Wクラスの緑色出力に拡張する。これらのレーザには、高い

Laser Focus World JAPAN

Q e-DMプログラムをご存じですか？

Laser Focus World Japanのe-DMプログラムなら、業種・職種・購買関与製品・担当製品など、ご希望の対象者に限定してメール配信を行うことが可能です。
弊誌読者の皆さまは、レーザー／フォトニクス／オプトエレクトロニクス応用技術／製品の開発、研究、マーケティングなどに携わっている方だけ。
光産業に特化した専門誌ならではの広告プログラムです。

A こんなご要望にお応えできます。

■既存顧客以外に新製品DMを送りたい
■製品カタログを送りたい
■人材募集を行いたい
■研究者対象の製品アンケートを実施したい
■技術者限定でセミナー告知を行いたい

e-DM 広告掲載料金（税抜）

データ使用料金　@70円
（抽出条件1項目につき＋@10円）
データ配信料金　@20円

お問い合わせ・お申し込みは…
株式会社ICSコンベンションデザイン
電話：03-3219-3641　Email：led@ics-inc.co.jp

パルス繰り返し速度でQスイッチが適用される。ビーム品質は回折限界に近く、パルス幅は、出力のスペックル除去を可能にする追加の非線形処理を駆動するように設計されている。高いビーム品質によって、効率と信頼性が高く、直径の小さいファイバ伝送が可能となる。これは、組み込み照明とオフボード照明の両方において重要なことである。

LLE社の今後の計画には、スペックルを除去する高出力の緑色モジュールと、段階的なパワースケーリングとより小型のシステムを対象とする半出力のモジュールの両方が含まれている。また、Nd:YLFのσ偏光とπ偏光の両方を活用するデュアル波長の「super-despeckling」(高度なスペックル除去)も計画している。段階的出力と駆動波長はともに、同一の標準の6.4リットルモジュールに統合される予定である。

プロジェクション応用には、完全なRGBエンジン内に組み込んで制御することのできる、コンパクトで信頼性が高く、寿命の長いレーザカラーモジュールが必要である。そのようなモジュールのすべての種類が、成熟した800nm台のポンプダイオードバーをベースとする。当社のレーザモジュールは、密閉された標準のモジュール筐体に収容されたマニホールドによって液体冷却される。レーザ自体は、伝導冷却コンポーネントのみを使用することで、リークの可能性を低減している。設計は簡素化されており、部品数が最小限に抑えられていて、低コストで製造できるようになっている。

サイドポンプ型アーキテクチャ

レーザカラーモジュールは、ダイオードバー・サイドポンプNd:YLFスラブをベースとしている。このサイドポンプ型アーキテクチャによって、YLF利得媒体を介した吸収パスの分散ポンププロファイルが実現される。Ndのドーピングレベル、ポンプ波長、偏光、熱管理を最適化することによって、利得結晶上の熱負荷はほぼ均一になっている。スラブの占有面積は、薄いYLFスラブから熱を除去するための大きな表面積として機能し、1次元に近い温度勾配を実現し、スラブの伝導冷却を促進する。これによって、ポンプ出力とシステム拡張性が向上している。

このアーキテクチャでは、スラブを介したマルチパスのレージングビームパスを利用することによって、高いパルス繰り返し周波数においても高い利得を実現する。レージングモードは、コリメートされたポンプビームの厚みに合ったサイズと、Nd:YLFスラブを通る位置に調整されて、ポンプダイオードからの保存エネルギーに対する高い抽出効率を実現する。キャビティモードのサイズは、弱い円筒形レンズを用いて制御される。

Nd:YLFのもう1つの利点は、熱レンズ効果が低いことである。これによって、ポンプ出力を最大限にすることができるため、ビーム線あたりの緑色出力が非常に高くなる。YLF本来の複屈折性によって、複屈折補償の必要性や偏光解消による問題は軽減される。レーザには音響工学Qスイッチが適用され、システムの柔軟な制御が可能となっている。

レーザキャビティにおける1047nmまたは1053nmの光は、リチウムトリボレート(LBO:lithium triborate)結晶によるキャビティ内周波数2倍化を用いて緑色に変換される。レーザキャビティにおける比較的高いピーク出力によって、出力カップリングが最適化され、LBOにおけるパスあたりの変換効率はそこそこだが、全体的な変換効率は非常に高くなる。そのため、ポンプスポットサイズが比較的大きい、短くて低コストのLBO結晶が、IRから緑色への変換に使用可能である。LBOの温度をさらに引き下げ、スポットサイズが最大になるようにキャビティを設計し材料を選択することによって、被覆と結晶に対する応力を低減しており、それが、システムの信頼性と寿命の向上につながっている。

調整可能な赤色モジュール

コンポーネントの使用率と製造ボリュームを最大限に高めるために、緑色モジュールと同じコンパクトな筐体に収容されたレーザ発振器キャビティコアが、赤のカラーモジュールの基盤として使用されている。赤外線(IR)の生成には同一のダイオードバーポンプNd:YLFレーザを使用するが、LBOによる緑色への変換の代わりに、和周波数混合(SFM:sum frequency mixing)サブシステムを内蔵して、調整可能で、スペックル除去された、短波長の赤色光を効率的に生成している。この光源は、620nm未満の波長で出力を調整可能で、現在提供されている640nmの赤色ダイオード光源よりもはるかに高い発光効率を実現する。

赤のカラーモジュールのサイズとインフラストラクチャは、緑色モジュールと同一である。異なるスペクトル帯域にチューニングされた2つの赤色モジュールを使用することによって、効率の高いスペクトルフィルタベースの3Dが実現される。調整可能で広帯域の赤色モジュールを複数重ねて、それぞれ隣接するスペクトル出力帯域にチューニングすれば、映画館の3Dスクリーンにおいても赤色のスペックルを除去することができる。

図2　2012年の米国放送協会（NAB:National Association of Broadcasters）の「Technology Summit on Cinema」で開催されたイベント「3D Cinema Demo」において、デモが披露されたプロトタイプ・レーザエンジン。

青のカラーモジュールは、成熟した窒化ガリウムベースのレーザダイオードのファイバ結合をベースとする。低コストでマルチワットのこのようなレーザダイオードは、広範囲にわたる波長に対して提供されている。

当社では、523.5nmと526.5nmの出力を使用して、緑色点の調整を可能とする追加の非線形プロセスを駆動した。赤色点も調整可能である。原色を選択可能とすることによって、入力レーザワット数あたりの出力ルーメンを常に最大に保ちつつ、同一のエンジンを、いわゆる「Rec 709」（高精細度テレビジョン方式規格）のデジタルシネマと、レーザによって実現される色域の広い新しい色空間の両方に使用可能としている。

レーザエンジンには、12.6×4.1×7.9インチの筐体に収容された標準のRGBカラーモジュールが搭載されている（**図1**）。カラーモジュールは、レーザ、診断センサー、内部熱管理、イーサネットを介した外部エンジンとリモートネットワーク制御を可能にするロジックおよび通信基板で構成される。筐体は、19インチの標準の2.5RUラックマウント（奥行きは14インチ）に2つのモジュールを横に並べて収容するように設計されている（2つのモジュールを使用することによって、4万4000lmを超える、スペックル除去された緑色が生成される）。スタンドアロンのエンジンは、独自の外部電源と冷却システムを備える。

レーザカラーモジュールは小さな光学部品で構成されている。これらの部品は熱安定性を備えた筐体に直接、正確にテンプレート接合されており、調整や維持が必要なミラーは存在しない。部品数を削減し組み立てを簡素化することが、デジタルシネマ規格の商業的要件を満たすために必須であった。

カラーモジュールとエンジンはネットワーク接続が可能で、これによって光源に対する遠隔管理が可能となる（これは映画業界における古くからの目標だった）。RGB出力電力、カラーポイント、白色バランスなどのパラメータは、長期的なシステム輝度と画質の維持に向けて監視、分析、フィードバックすることができる。これは、ランプベースのプロジェクタにはいまだに欠けている機能である（**図2**）。

その他の応用分野

モジュール型で拡張性に優れたファイバ伝送のRGBレーザライトエンジンは、他のディスプレイや照明の用途にも適用できる。例えば、光ファイバケーブルを介してレーザ照明を、SSL（solid state lighting:固体照明）光源から最大300フィート離れた場所に提供することができ、高輝度で高解像度の大型看板における多くの応用が実現可能となる。

コンテンツ、音声、自動制御装置と同様に、照明を、サーバー筐体内にラックマウントすることができるようになった。また、純粋な照明分野においても、ランプの交換が不可能な環境や電線の敷設が望ましくない環境など、レーザ照明が有効となる多数の応用分野が存在する。

商標について
IMAXは、カナダのアイマックスコーポレーション社（IMAX Corporation）の登録商標。

著者紹介
ビル・ベック（Bill Beck）は米レーザライトエンジンズ社（Laser Light Engines）の創設者で、ビジネス開発担当エグゼクティブバイスプレジデント。イアン・リー（Ian Lee）は同社のレーザエンジニアリング担当ディレクタ。e-mail: bbeck@laserlightengines.com、ilee@laserlightengines.com。URL: www.laserlightengines.com。

LFWJ