

レーザー照明技術



研究ノート

山本和久*

Laser Lighting Technology
Key Words : Laser, Visible, Lighting

はじめに

レーザーの産業応用は加速しており、従来応用されていた光メモリ（光ディスク）、光通信、レーザー加工だけでなく照明、ディスプレイ、計測、医療・美容応用など多岐にわたっている（図1）。これはレーザーの高出力化・高効率化、多波長化、短パルス発生によるところが大きい。中でもこの5年で大きく市場を拡大したのは可視光レーザーを使用するレーザープロジェクタなどのレーザーディスプレイ分野である。また半導体レーザー（LD）のコスト低下などの波及効果として様々なレーザー照明応用の提案、市場導入が始まっている¹⁻³⁾。

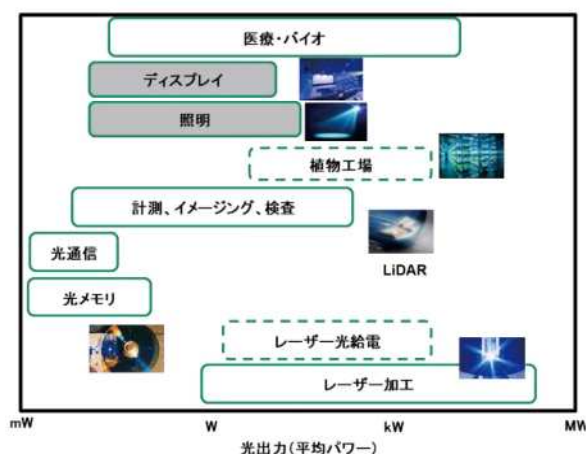


図1 レーザーの多岐応用



* Kazuhisa YAMAMOTO

1959年1月生まれ
大阪大学基礎工学部電気工学科
(1981年)
現在、大阪大学 レーザー科学研究所
教授 博士(工学)
専門/レーザー
TEL : 06-6879-8958
E-mail : yamamoto-ka@ile.osaka-u.ac.jp

1970年代当初はレーザー光源として気体レーザーを用いていたため消費電力が数10kWと極めて大きく1980年までに研究開発は縮小していった。21世紀になり赤、青、緑という3原色の可視光半導体レーザーが実用化し、商品化が始まった¹⁾。照明は白熱電球の時代が長かったが、蛍光灯がかなり長期にわたって普及しており、白色LED光源の登場まで気体光源が全盛期であった。気体光源は大きさ、寿命の点で優位な固体光源へと変わることとなった。現在固体光源であるLEDは一部レーザーへと置き換わりつつある。気体から固体は世の中の流れである。

表1 LEDとレーザーの照明応用時比較

	LED	レーザー
超小型化	△	○
高利用効率	走査	×
	指向性	△
	偏光	×
色範囲	△	○
高輝度化	×	○
配置、デザイン性 (ファイバ利用、引回し)	△	○

半導体レーザーは様々な特徴を有する。半導体レーザーとLEDの照明応用時の特徴比較を表1に示す²⁻⁴⁾。レーザーは点光源であり小型軽量性を有し、指向性があるため必要とところにだけ必要な光を届けることができる。レーザーは、発光面積が小さいため投写効率を高めやすく、また光源そのものが高効率・高輝度でもあることから、装置の小型化だけでなく低消費電力化も可能となる。光走査や偏光性を利用することもできる。さらにレーザーの単色性によりRGB規格比約2倍の広い色再現範囲を持った表示を可能にする。点光源であることは光ファイバーとの相性も良く、損失なく遠方に光エネルギー

を届けること、また散乱型ファイバーでイルミネーション的な照明も構成可能である。以上のようにレーザー照明は多くの特徴を持つため様々な応用展開が広がろうとしている³⁻⁵⁾。

我々の取り組みも含めたレーザーによる照明技術とその応用について以下紹介する。

レーザー照明技術

レーザー照明の光学系について説明する。図2にレーザー照明の基本構成を示す。バルク方式とファイバー利用方式があるが、図2ではファイバーを用いた構成を取り上げている。大きくは蛍光励起方式(図2(a))⁶⁾と多色レーザー方式(図2(b))に分かれる。

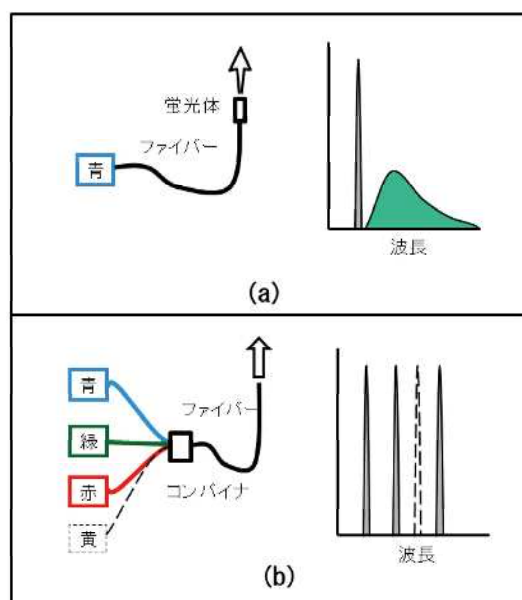


図2 レーザー照明の基本構成

多色レーザー方式は蛍光を用いない方式で、いくつかのレーザーで色を表現するもので、現在は赤、青、緑の3原色で白を表現する。しかし、赤、青、緑の3色だけでは平均演色評価数Raが50程度と問題となる。黄色も含めた4色にてRa90以上を実現できることを示している⁷⁾が、現在のGaN系半導体レーザーの最長波長は540nm近傍であり、In添加量を増やすことによる黄色領域580nmの発振が待たれる。

一方、蛍光励起方式は青色半導体レーザーで黄色の蛍光体(Ce:YAGなど)を励起し青色と混ぜるといった白色LEDと同様の構成となる。ファイバーを利用する方式はLEDでは困難な光源と発光点の位

置分離が可能となる。例えば青色レーザーをファイバーに結合し、出口部分に蛍光体を置いて白色とする。これにより光源部分で発生する熱は、照射部分近傍に伝わらない。

蛍光体としては、レーザーの特徴である高輝度性を活かすため熱との戦いになる。黄色蛍光体としてのCe:YAGがレーザー集光部分において温度上昇による蛍光量の低下(温度消光)を生じる。当研究室のアプローチとしてコンポジットセラミックスを用いることで散乱と放熱性に優れた蛍光体の実現されている⁸⁾。Ce:YAG蛍光体に、熱伝導率が高い添加物AlNを混合することによって温度消光を抑制している。

照明に対して障害となるのが、レーザー特有のスペックルノイズである。スペックルノイズは、レーザーの干渉性の高さによりスクリーンの微小凹凸の干渉によって生じる斑点状の画像ノイズである²⁾。映像や照明で重要となるのがカラースペックル²⁾であり、スクリーン上で表示される色とは異なる色むらが見られる。これを低減するために図3に示すようにレーザー光源のスペクトル、光学系、スクリーンのそれぞれで対策を試みている⁸⁾。

対策箇所	構成、方法	特徴
レーザー スペクトル	波長スペクトルを拡大	・外部で広げることの技術難易度は高い ・多重化(多数個使い)により低減が容易
光学系	<角度> 拡散板 レーザー → 振動 <偏光> 水平、垂直に分離	・ある程度の効果はある(完全ではない) ・最終段で入れることが多い
スクリーン	スクリーン レーザー → 振動	・ほぼ完全に消すことが可能 ・振動系が大がかり ・多層スクリーンも効果的

図3 スペックル低減技術

レーザー照明の応用

レーザーを用いた照明の応用について述べる。レーザー照明应用到に共通する点として超省エネというのがあるが、高輝度光を遠方に運び照射すること、色および波長を選択的に利用できるという特徴が利

用されている。

白色レーザー照明としてレーザーで蛍光体を励起し白色を出すものが製品化されている。以下紹介する自動車応用や業務用である。また青色をファイバーで伝送し先端の蛍光体を励起する方式は内視鏡用途で実用化されている。先端の発光部近傍で熱はほとんど発生しないという特徴がある。

レーザー照明（ディスプレイ含む）などの新しい応用としてユースケースを3つに分類した。走査型レーザー投射方式を用いるヘッドアップディスプレイ、携帯プロジェクタやヘッドマウントディスプレイ（HMD）のような超小型端末、2次元空間変調素子と高輝度レーザー光源を組み合わせるプロジェクタ、レーザーTVなどの高輝度表示装置、レーザーヘッドライト、情報表示照明などのレーザー照明である。NEDO プロジェクト（クリーンデバイス社会実装推進事業/最先端の可視光半導体レーザーデバイス応用に係る基盤整備）にてレーザーの優位性について検証を行った結果を表2に示す（対LEDとの比較）⁵⁾。すべての点でレーザーの優位性が実証された。

表2 レーザー照明関係応用比較検討結果
LEDと比較し、○優位、△同等、×不利、－関係なし

ユースケース	応用	消費電力 (省エネ)	色再現性 色強調性	超小型	高輝度 (高効率)	フォーカス スプリー	デザイン /最適配置
走査型 レーザー投射応用	ヘッドマウント ディスプレイ	○	○	○	－	○	○
	ヘッドアップディ スプレイ、 携帯プロジェクタ	○	○	○	○	○	○
高輝度 表示装置応用	映像・ホームプロ ジェクタ	○	○	○	○	○	－
	データプロジェ クタ	○	○	○	○	○	○
	レーザーTV	○	○	○	○	－	○
レーザー照明	照明	○	○	○	○	－	○
	ヘッドライト	○	－	○	○	－	○

以下優位性を示すことができた中でいくつかの照明応用について紹介する。

・自動車応用照明

自動車応用としては、レーザーは装置の小型化だけでなく低消費電力化が可能であり、ヘッドライト応用が広がりつつある。現在レーザーで蛍光体を励起し白色を出す方式が使われている³⁾。光を遠方に運び明るく照射することが第1世代での優位性である。第2世代ではADB（Adaptive Driving Beam）として部分投射や位置可変のため、走査型や空間変調などのレーザープロジェクタ技術が導入される。

ファイバーにより発光部から遠方へ照明光を運ぶことが可能というのはレーザーの大きな特徴であり今後導入が期待されている（第3世代）。低電力化だけでなく超小型であるためデザイン性にも優れている。色および波長を選択的に利用できるという特徴もあり、自動運転時に必要な色強調可能な注意喚起ヘッドランプなどに展開する（第4世代）。車から前方だけでなくレーザーを周囲に照射する注意喚起システムが考えられている。このシステムは高度センシング技術を用いて、他の自動車、通行人・自転車への注意喚起表示が同時に行うことができる。

・業務用照明

情報や映像を投射可能な照明がパナソニックにて2014年製品化された。今後検出系と組み合わせ必要な情報を必要な場所に照射するという展開が期待される。レーザープロジェクタの光学系を転用したもので、2000lm程度の明るさとなる。空間価値向上などが求められる照明では各種色温度の白色光の実現はもちろんのこと、シーンに合わせて種々の色表現をおこなうことが重要となる。

青色レーザーでの蛍光励起を用いて白色光でサーチライト、スポットライト的に用いる照明が実用化されている。従来のキセノンランプの1/4の電力で、8000lm（色温度6000K）の明るさを持ち、1km先を照射できる。

建物への外部からのデコレーション照明は工事も不要なため簡単に夜間の外観を変化させることができる。プロジェクションマッピング的な使い方で導入が始まっている。また、光源部を遠方に設置し必要部分に照射する道路照明やトンネル内照明も有効である。1ユニットで数十～数百のランプの変わりができるためメンテナンスの点でも有利である。道路照明ではディスプレイなどとは異なり、必ずしもすべての色を表現する必要性はないが、赤、緑、青の3原色レーザー光源を用いることができれば、事故時の注意色表示や渋滞状況などに合わせて最適な色での照明が可能となる。

・一般家庭用照明

最も実用化のハードルが高いのが一般家庭用照明である。演色性、色温度、コストなど課題は山積みである。蛍光体に関しては高演色性、広い色温度を実現するための材料開発が重要である。また、多色レーザー照明では走査型が有効であるが、演色性確

保のため黄色半導体レーザーの実現が待たれる。

最初は、特徴を活かして付加価値を付けたところからの導入が考えられる。業務用で展開している情報表示照明の家庭用展開はシーリングライトからのプロジェクション機能付加が導入の手がかりとなる。検出系と組み合わせ、必要な情報を必要な場所に照射するという展開が期待される。LiDAR (Light Detection and Ranging) は通常赤外レーザーが用いられるが、レーザー照明 (ディスプレイ) との兼用を提案、可視光半導体レーザーを用いた実証を行っている⁹⁾。レーザーによる光給電、空間光通信なども同様に可視光を用いて検討されており多数の機能が融合した可視光レーザー照明システム (図4は提案しているIoT照明ステーション) の実現が期待される。

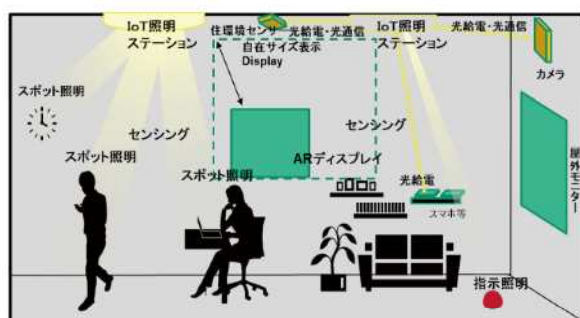


図4 IoT照明ステーション

おわりに

レーザーを用いた照明の更なる普及のための課題としては、発振波長域拡大、高演色蛍光体などあり、解決のための研究に今後も取り組む予定である。またコスト低減に関しては、市場形成と密接な関係があり、ヘッドランプなど遠方照射の次の応用が待た

れる。図5にレーザーを核とした融合化について示す。情報表示照明のような照明とディスプレイの融合は、今後センシング技術も含め大きく広がることが期待される。レーザー照明の今後は、機能融合の進展など新たな展開が楽しみである。

参考文献

- 1) 山本和久, “実用化が進むレーザーディスプレイ”, 応用物理 84, pp.635-637 (2015).
- 2) 黒田和男, 山本和久 編, “解説レーザー照明・ディスプレイ”, オプトロニクス社 (2016).
- 3) “レーザー照明・レーザーディスプレイ産業動向・市場予測レポート 2020”, オプトロニクス社 (2020).
- 4) 山本和久, “レーザ照明技術”, 電気学会誌, 136, pp.430-433 (2016).
- 5) 山本和久, “半導体レーザーの産業分野における新たな展開”, コンバーテック, 534, pp.40-43 (2017).
- 6) K. Yagasaki, H. Minemoto, K. Fujioka, H. Fuji and K. Yamamoto : “Ce:YAG composite ceramic phosphors for laser lighting”, Laser Display and Lighting Conference 2020, LDC11-04 (2020).
- 7) J. Kinoshita, H. Aizawa, A. Takamori and K. Yamamoto : “High Color Rendering Index using BGYR Four-color Laser Illuminants”, International Display Workshops 2016, PRJ1-4 (2016).
- 8) H. Yamada, K. Moriyasu, H. Sato, H. Hatanaka and K. Yamamoto; “Theoretical calculation and experimental investigation of speckle reduction by multiple wavelength lasers in laser projector with different angular diversities”, Journal of Optics 21, 045602 (2019).
- 9) M. Ishino, T. Kitamura, A. Takamori, J. Kinoshita, N. Hasegawa, M. Nishikino and K. Yamamoto: “Scanning 3D-LiDAR based on visible laser diode for sensor-integrated variable distribution lighting” Optical Review 26, pp.213-220 (2019).

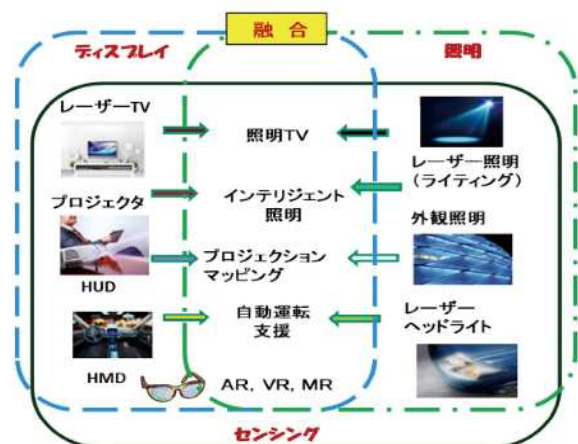


図5 レーザーによる機能融合