3章 広色域RGBレーザーバックライト液晶ディスプレイ

新倉 栄二†

キーワード：ディスプレイ，レーザー，広色域，液晶，Rec ITU-R BT.2020

1. まえがき

2015年3月から124/128度CSにて4K放送の商用サービスが、2015年12月にはケーブルテレビにて4K専門チャンネルの放送が開始され、家庭で高精細映像の放送が視聴できる環境が整い始めている。また、総務省のロードマップによれば、2020年に開催される東京オリンピック・パラリンピックでは、数多くの中継が4K/8Kで放送され、多くの視聴者が市販テレビで4K/8K番組を楽しんでいることを想定し、2016年にはBS17チャンネルを使った4K/8Kの試験放送が計画されている。4K/8Kスーパーハイビジョンの映像フォーマットは国際電気通信連合 (ITU: International Telecommunication Union) が定めるRec.ITU-R BT.2020 (以下BT.2020) で規定されており、特に色再現範囲については、実在する表面色の色域を表す測色データであるポインタカラー¹⁾を99.9%包含し、現行のハイビジョン (HDTV: High Definition Television) 映像 (Rec.ITU-R BT.709以下BT.709) の1.7倍 (CIE1976UCS色度図) という非常に広い色域としている (図1)。

これまで三菱電機では、ディスプレイの広色域化開発を行ってきた。今回、液晶ディスプレイのバックライト光源に光の三原色 (RGB) すべてに半導体レーザーを適用し、BT.2020が定める色域を98.1%カバー (CIE1976UCS色度図) する広色域な4K液晶ディスプレイをNHK放送技術研究所と共同で開発し²⁾、2015年5月に開催されたNHK技研公開および同年10月に開催されたCEATEC2015にて一般に公開した。本報では開発した広色域RGBレーザーバックライト液晶ディスプレイについて解説する。

2. ディスプレイ広色域化とレーザーバックライト

ディスプレイの広色域化には二つの方法が考えられる。一つは光源の色純度を高める、すなわち色度図に示される三角形の頂点をスペクトル軌跡上に近づける手法である。

図1 BT.2020/BT.709の色域とポインタカラー

もう一つが多原色化で、光源に光の三原色である赤 (R)、青 (B)、緑 (G) 以外の色を追加して、色度図に示される形状を多角形にする手法である。これまで三菱電機では、6原色LEDバックライト液晶モニターや6原色プロジェクションテレビといった多原色ディスプレイを開発してきた。2008年には、更なるディスプレイの広色域化を目指し、光源に三原色の可視光レーザーダイオード (LD) を採用したリアプロジェクション型テレビ「LaserVue」 (レーザーテレビ) を製品化した³⁾。レーザーテレビの色再現範囲はBT.709に対して175%の広色域であり、赤と青は半導体レーザー、緑は赤外発振させた基本波を波長変換して生成した。光源波長は、赤が640 nm、緑が532 nm、青が447 nmである。他に類を見ない色鮮やかな広色域テレビであったが、後に制定されたBT.2020の色域と比較するとカバー率は約92%に留まっている。これは、採用した青レーザーの波長が20 nm短かったことによる。

レーザーテレビ開発で培ったレーザーディスプレイ技術を最も普及している液晶テレビに適用したのが、レーザーバックライト液晶テレビである。2012年に一般ユーザーに販売され

† 三菱電機株式会社 先端技術総合研究所
"Wide Color Gamut RGB Laser Backlight LCD Display" by Eiji Niikura
(Advanced Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Corporation, Kyoto)

る民生用液晶テレビとしては世界で初めて半導体レーザをバックライト光源に搭載した液晶テレビLCD-55 LSR3（以下、LSR3と称する）を発売した⁴⁾。LSR3のバックライト光源は、赤は半導体レーザ、緑・青は両者の混合色であるシアン色LEDを採用した。赤色は視覚特性の面でも視聴者にアピールする色であり、従来の液晶テレビの色再現特性は、白色LEDの発光特性により他色に比べて赤色領域の色再現性が不充分であったことから、赤色の改善が最も効果的と考えた。最良のコストパフォーマンスを得る観点からも、赤のみレーザを適用し、緑・青光源については、新たにシアン色LEDを開発した。LSR3のバックライト光学系は、レーザ、LEDに応じて独立した2枚の導光板を用いたエッジ方式を採用し、両導光板を積層した構成としている。レーザはLEDよりも拡散性が低い特性を持つため、レーザ光源と導光板との間にサブ導光板を配することで拡散性を確保した。さらに、2014年にはレーザバックライトに4K液晶パネルを搭載した65型のLCD-65 LS1（以下LS1）を発売した。LS1のバックライト構成は、大画面化に対応するために新たに直下方式を開発し、シアン色LEDを最適化することで、BT.2020の色域カバー率は約85%に達している。

このように、三菱電機ではレーザバックライト技術を進化させてきた。

3. RGBレーザバックライト液晶ディスプレイ

2012年にBT.2020が制定され、ディスプレイ広色域化の具体的な指標を得た。BT.2020の定める色域ではRGBの各色度点がスペクトル軌跡上に存在するので、相当する波長は、赤が630 nm、緑が532 nm、青が467 nmとなる。バックライト光源の波長にこの波長を適用すればBT.2020の色域を再現できるので、現時点では単一波長で発光するレーザが最適であると考えた。これまでのレーザバックライトでは、赤の半導体レーザのみを用いてきたが、レーザバックライト技術をさらに進化させ、RGBとも半導体レーザを採用することとした。

3.1 RGBレーザバックライト

バックライト光源にレーザを適用する場合、先ず課題となるのは、発散角が小さくかつ発散角に異方性をもつレーザ光の均一化である。LED光の発散角は全方向に約120°（半値全角）なのに対して、レーザ光は直交方向で発散角が異なり、例えば、赤レーザの場合は、一方が約35°（同）、直交方向が7°（同）と異方性を持つ（図2）。発散角の異方性を考慮しつつ充分拡散し均一面発光するために、RGBレーザバックライトでは透明の基材に微量の拡散材を含有させた丸棒状の導光体（導光棒）を用いた。図3に導光棒の発光原理を示す。レーザ光源から入射された光は導光棒の端面から入射し、導光棒内を全反射しながら伝播する。伝播光が、導光棒内の拡散材に当たると散乱し、光の進行方向が変化するので、全反射条件を満たさなかった光が導光棒

図2 光源発散角の違い（イメージ図）

図3 導光棒の発光原理

外に出射される。出射光は導光棒の周方向に均一に広がり、蛍光管のように発光する。丸棒内での伝播光は、全反射する反射角が3次元的に変化すること、拡散材の散乱によって光を出射すること、によって発散角異方性の影響を無視できるレベルまで抑制している。LED等従来の光源にこのような導光棒を用いると、特に入射端面近傍で全反射条件を満たさない光が漏れ出し、大きな入光ロスが発生してしまう。すなわち、導光棒はレーザの発光特性に適した導光体と言える。また、導光棒から出射された光は導光棒の長手方向に光強度分布を持つが、導光棒内の拡散材含有濃度を調整することで、画面中央部が最も明るくなるよう最適化した。

バックライトにRGB三色レーザを用いるうえでのもう一つの課題は、色むらの抑制である。各色レーザ光源の光出力に応じて光源数を決めると色ごとに必要数量が異なることになる。その場合、1個の光源が照明する領域（面積）が色によって異なるので、色むらが生じ易い。そのため、RGBレーザバックライトでは、赤・緑・青各色の光源数を同数とした。導光棒の発光特性は光源波長による差異が小さいので、画面の上側から順番に赤、緑、青の順で発光するよう光源を配置した。図4に示すように、光源は導光棒

図4 導光棒および光源の配置

の片端に配置するので、画面の右側は赤、青、緑の順に、左側は緑、赤、青の順に並ぶことになる。導光棒はパネル面から所定の投射距離を確保してバックライトの底面側に配置し、空間で赤、緑、青を混色させる構成とした。また、光源は、画面全体を水平方向に複数分割して分割領域ごとに各色レーザーの光出力を制御することで、画面全体の色むらを抑制している。

RGBレーザーバックライトでは、レーザー光源は画面の左右両端部に配置するエッジ方式であるが、発光する導光棒は直下方式のようにバックライト底面に配置するので、エッジ/直下の両方式をミックスした独自のバックライト構成となっている。

3.2 光源

BT.2020が定める色域は色度図に示されるスペクトル軌跡上のRGBを三原色として規定されており、各色の波長はそれぞれ630 nm, 532 nm, 467 nmに相当している。RGBレーザーバックライトでは、この波長をターゲットとしてレーザーを選定した（ただし、赤レーザーは638 nm）。また、信頼性と取扱い易さの観点からもレーザー素子を金属製の容器（パッケージ）に封入したCANパッケージタイプを採用し、各色とも外形寸法が同じものとした。なお、パッケージのフランジ（ステム）部の直径はφ9.0 mmである。

3.3 カラーフィルタ

液晶ディスプレイとしてBT.2020の広色域特性を活かすためには、光源の色純度を高めることによるバックライト光の広色域化が必要であることはすでに述べたが、液晶パネル内部のカラーフィルタの最適化も必要となる。図5にカラーフィルタの透過特性と光源波長を模式的に示す。図中曲線で示すのがカラーフィルタの透過特性で、赤、緑、青、各色ともす野部分で透過帯域が重なりあっている。カラーフィルタの透過帯域と光源波長を比較すると、特に緑の光源光が青のカラーフィルタの透過帯域に重なっている。このような透過特性では、緑の光源光が青のカラーフィルタに混ざり込み色純度を下げる。混ざり込みを改善するため、図中点線で示すように、青のカラーフィルタを

図5 光源スペクトルとカラーフィルタの透過特性

調整し透過帯域幅を狭めた。この改善により、色の混ざり込みを回避しパネルによる色純度の低下を抑制した。

4. ディスプレイの光学性能

本ディスプレイの色域を測定した結果を図6の色度図(CIE1976UCS)に示す。BT.2020の色域をほぼカバーしており、色域のカバー率は98%であった。また液晶パネル越しに測定した光源波長はそれぞれ639 nm, 530 nm, 465 nmであった。レーザー光源単体の波長はBT.2020が定める色域の相当波長に合わせて選定しているので、液晶パネルを透過することで、特に緑と青の波長が2 nm程度短波長側にシフトしていたことになる。これは、カラーフィルタの透過特性の調整が充分ではなく、青のカラーフィルタに緑のレーザー光が混ざり込んだだけでなく、緑のカラーフィルタに青のレーザー光も混ざり込んでいたことを示している。カラーフィルタの透過特性をさらに狭帯域化できれば、BT.2020の色域カバー率を限りなく100%に近づけることが可能と考える。

5. むすび

三菱電機とNHK放送技術研究所は共同で、RGB半導体レーザーをバックライト光源に採用することで、BT.2020が定める色域にほぼ対応した超広色域な色再現性を実現したRGBレーザーバックライト液晶ディスプレイを開発した。このディスプレイは、2015年5月に開催されたNHK技研公開と、同年10月に開催されたCEATEC JAPAN 2015に出展、一般公開した。

今回開発したディスプレイは4K液晶パネルを搭載した構成であったが、現在開発が進んでいる8K液晶パネルを搭載することも可能である。今後のRGBレーザーバックライトの更なる進化が期待できる。

(2016年2月5日受付)

図6 開発品の色再現範囲

〔文 献〕

- 1) M.R.Pointer: "The gamut of real surface colors", Color Research and Application, 5, 3, pp.144-155 (1980)
- 2) E.Niikura, et al.: "Development of RGB Laser Backlit Liquid Crystal Display", IDW'15, pp1096-1099 (2015)
- 3) H. Sugiura, et al.: "65-inch, Super Slim, Laser TV with Newly Developed Laser Light Sources", SID08 Digest, pp.854-857 (2008)
- 4) E. Niikura et al.: "Development of Laser Backlighting LCD Television", IDW'12, pp287-288 (2012)

新倉 栄二 1992年，信州大学工学部精密工学科卒業。同年，三菱電機（株）入社。現在，同社先端技術総合研究所所属。映像表示機器のメカニズム開発，レーザーディスプレイ開発に従事。2012年，技術振興賞進歩開発賞受賞。