

## 6色のLED搭載で広色域と高演色性を両立させた4K・8K撮影用カラーLED照明器具

Color LED Luminaire with Six Color LEDs Offering Wide Color Gamut and High Color Rendering for UHD TV Shooting

羽生田 有美 HANYUDA Yumi 東 洋邦 HIGASHI Hirokuni 井手 渚紗 IDE Nagisa

4K (3,840×2,160画素)及び8K (7,680×4,320画素)解像度の超高精細度テレビジョン(UHDTV)放送の撮影用照明として、従来のハロゲンランプに代わり、カラーLED(発光ダイオード)を用いた照明器具の導入が図られている。ドラマなどの演出用途では、有彩色点灯時には広い色域が、白色点灯時には高い演色性が求められている。

東芝ライテック(株)は、日本放送協会(以下、NHKと略記)と共同で、赤、緑、青、アンバー、シアン、及びライムの合計6色のLEDを搭載し、各色を調光して加法混色することでUHDTV撮影の要求を満足するカラーLED照明器具を開発した。UHDTVで撮影した映像を、新たに作成した高彩度色票で評価した結果、4色のLEDを搭載した従来のカラーLED照明器具に比べ、有彩色点灯時には広い表現色域を、白色点灯時には高い演色性を持つことが確認できた。

Color light-emitting diode (LED) luminaires for ultra-high definition television (UHDTV) broadcasting at resolutions of 4K (3 840 x 2 160 pixels) and 8K (7 680 x 4 320 pixels) have begun to be introduced in recent years as an alternative to halogen luminaires. However, conventional LED luminaires have not fulfilled the requirements of videographers, particularly drama creators, and demand has been increasing for a wider color gamut in the case of chromatic lighting and higher color rendering in the case of white lighting.

In cooperation with Japan Broadcasting Corporation (NHK), Toshiba Lighting & Technology Corporation has developed a color LED luminaire for UHD TV shooting that incorporates red, green, blue, amber, cyan, and lime LEDs, making it possible to cater to this demand through the dimming and additive mixing of these six colors. From the results of experiments on UHD TV shooting using a newly developed high-saturation color chart with a wider color gamut than the Macbeth chart generally used for evaluating high-definition television (HDTV) systems, we have confirmed that this LED luminaire offers a wider color gamut for chromatic lighting and higher color rendering for white lighting than conventional color LED luminaires incorporating four color LEDs.

### 1. まえがき

テレビジョン(TV)撮影用の照明として、従来ハロゲンランプを用いた照明器具(以下、ハロゲン照明器具と略記)を使用していたが、省電力や光源の長寿命化などのメリットからLED化が求められており、ニュースや、バラエティー、情報番組などを撮影するスタジオでは、白色LED照明器具の導入が進んでいる。

一方、ドラマや音楽番組などの撮影では、演出のために照明を有彩色で点灯させる場面があり、カラーLED照明器具の導入が求められているが、あまり普及が進んでいない。それは、照明器具の設置台数を少なくするために、カラーLED照明で白色光も作成したいというニーズがあり、従来のカラーLED照明で作成した白色光では、TV撮影に十分対応できる高い演色性を実現できなかったためである。

特に、2018年12月に4K・8Kと呼ばれるUHDTVの放送が開始され、演色性についても従来の高精細度TV(HDTV)より高い水準が求められるようになった。また、UHDTVでは、

図1の国際照明委員会(CIE)が定めたCIE 1931  $xy$ 色度図に示すように、従来のHDTVに比べて表示色域が大幅に拡大した。このため、より鮮やかな映像表現を可能とするため、カラーLED照明器具においてもより広い表現色域が望まれた。

今回、東芝ライテック(株)は、NHKと共同で、有彩色点灯時には広い表現色域を持ち、白色点灯時には高い演色性を持つUHDTV撮影用のカラーLED照明器具を開発した。また、開発したカラーLED照明器具で照らした物体をUHDTVカメラで撮影し、UHDTVモニターで表示したときの映像による評価を行った。ここでは、これらの詳細について述べる。

### 2. 照明器具の光色設計

UHDTV撮影におけるカラーLED照明に求められる白色点灯時の演色性を明確にし、この演色性を実現するための搭載LEDを決定して照明器具を製作した。

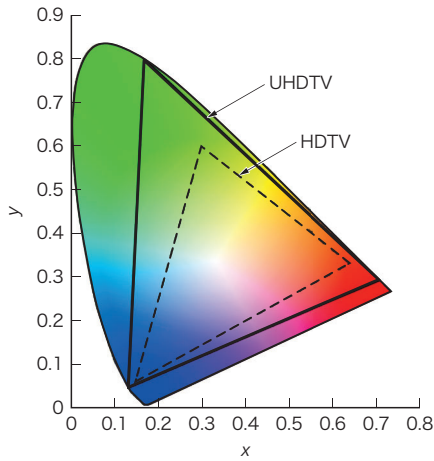


図1. HDTVとUHDTVの表示色域の比較

UHDTVでは、従来のHDTVに比べて表示色域が大幅に拡大した。

Comparison of color gamut of HDTV and UHDTV displayed on CIE (International Commission on Illumination)1931 xy chromaticity diagram

### 2.1 UHDTV撮影における演色性の要件

UHDTV撮影における白色LED照明の演色性については、技術資料のARIB TR-B40「超高精細度テレビジョンの番組制作における白色LED照明の演色性指標と推奨値」<sup>(1)</sup>により、平均演色評価数 $R_a \geq 90$ 、かつ赤色の演色性を示す $R_9 \geq 80$ が推奨されている。しかし、NHKの番組撮影スタッフからの聞き取り調査を行ったところ、 $R_a \geq 90$ かつ $R_9 \geq 80$ のカラーLED照明で照らした場合でも、「ハロゲン照明器具で照らした場合と比較して、映像上の青色や赤色の被写体の色が異なる」という意見があった。

また、ARIB TR-B40では、演色性の異なる白色LED照明で照射した際の、被写体の映像の見え方について被験者実験を行っているが、 $R_9$ が高い照明器具は青色の演色性を示す $R_{12}$ も高い傾向があった。一方、カラーLED照明については $R_9$ が高くても $R_{12}$ が低い場合があるため、カラーLED照明をUHDTV撮影で使用する場合には $R_{12}$ の指標も必要であると考えた。

この調査結果から、カラーLED照明の目標とする演色性を $R_a \geq 90$ 、 $R_9 \geq 85$ 、 $R_{12} \geq 80$ と定めた。また、撮影時に相関色温度も調整する場合があるため、相関色温度は2,000～8,000 Kの間で可変とし、その範囲で前述の演色性を満足する照明器具を開発することとした。

### 2.2 搭載LEDの検討

照明器具に搭載するLEDの光色を決めるにあたり、まず表現色域を広げるために、赤・緑・青の3色に加え、アンバー・シアンをLEDを搭載した。また、これにライムのLED



図2. 開発したカラーLEDフラッドライト

撮影時にベース照明で用いるLEDフラッドライトを製作した。相関色温度2,000～8,000 Kで、目標の演色性を満足する6色のLEDを搭載している。

Newly developed color LED floodlight for UHDTV shooting

表1. カラーLEDフラッドライトの演色性

Color rendering properties of color LED floodlight

条件	相関色温度 (K)	$R_a$	$R_9$	$R_{12}$
目標値	2,000～8,000	$\geq 90$	$\geq 85$	$\geq 80$
2,000 K	2,020	92	96	96
3,200 K	3,176	96	89	83
5,000 K	4,991	94	95	88
6,500 K	6,495	94	95	90
8,000 K	7,932	93	94	87

を加えることで分光分布の不足領域を補い、合計6色を加法混色することで白色光を作成した。

市販されているLEDからこれら6色の組み合わせを数種類用意し、混色シミュレーションにより各色を調光して合成し、目標値である相関色温度2,000～8,000 Kで $R_a \geq 90$ 、 $R_9 \geq 85$ 、 $R_{12} \geq 80$ を満足する組み合わせを抽出して選定を行った。

### 2.3 製作した照明器具の演色性

2.2節で選定したLEDを搭載し、撮影時にベース照明として用いられるフラッドライト(以下、開発器具と略記)を製作した。開発器具の外観を図2に、開発器具の演色性の評価結果を表1に示す。開発器具は、相関色温度2,000～8,000 Kで目標の演色性である $R_a \geq 90$ 、 $R_9 \geq 85$ 、 $R_{12} \geq 80$ を満足することが確認できた。

## 3. 撮影実験

開発器具の効果を検証するため、UHDTV撮影による2種類の実験を行った。

### 3.1 実験概要

- (1) 有彩色点灯時の表現色域 カラーLED照明器具

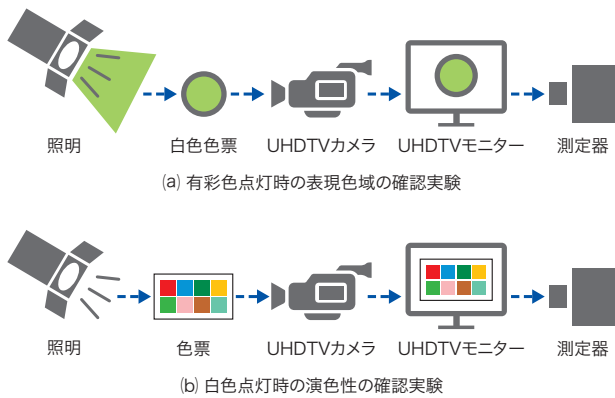


図3. 確認実験の構成

開発器具について、有彩色点灯時の表現色域と白色点灯時の演色性を、UHDTV撮影環境で評価した。

Configuration of lighting experiments

によって有彩色で照らした白色色票をUHDTVカメラで撮影し、その映像をUHDTVモニターで再生した画面に映った色票の色を測定した(図3(a))。

- (2) 白色点灯時の演色性 カラーLED照明器具によって白色光で照らした青色などの色票をUHDTVカメラで撮影し、その映像をUHDTVモニターで再生した画面に映った色票の色を測定し、基準光であるハロゲン照明で照らした場合との色差を評価した(図3(b))。

### 3.2 評価環境・機材

二つの実験では、照明器具で照らした色票をUHDTVカメラで撮影し、その映像をUHDTVモニターで再生した画面に映った色票の三刺激値を二次元色彩輝度計で測定した。図4に評価機器のブロック図を示す。ここで、UHDTVモニターの色再現性が評価結果を左右するため、放送局内で映像の最終評価に用いられるマスターモニターを使用した。

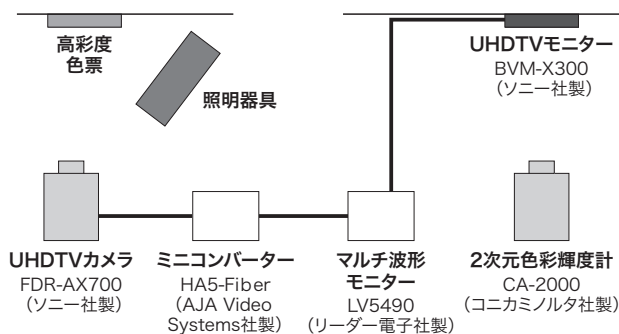


図4. 評価機器のブロック図

UHDTVカメラの映像をマルチ波形モニターで白飛びがないことを確認しながら、TV画面に映った色票の三刺激値を測定した。

Block diagram of test equipment

### 3.3 照明条件

撮影評価に使用した照明器具は、ハロゲン照明器具、開発器具、従来のカラーLED照明器具(以下、従来器具と略記)の3種類で、それぞれの演色性を表2に示す。従来器具は、2.1節で述べた聞き取り調査時に、「ハロゲン照明器具で照らした場合と比較して、映像上の青色や赤色の被写体の色が異なる」とのコメントがあった器具であり、白、赤、緑、青の4色のLEDを搭載している。

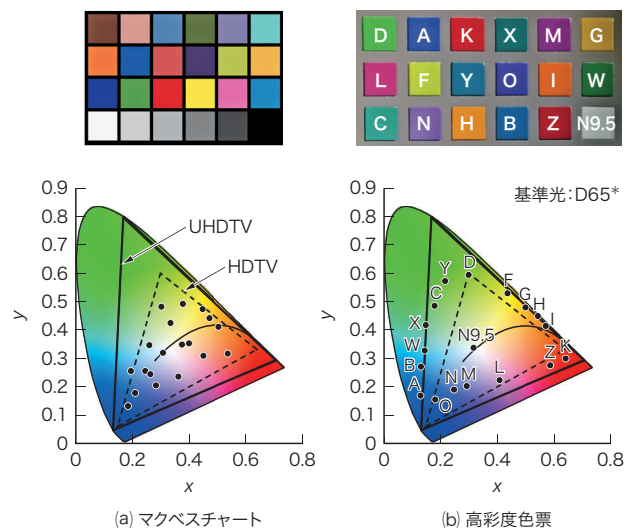
### 3.4 色票

1章でも述べたように、HDTVからUHDTVへの移行に伴い、TVの表示色域も拡大したが、現在、映像評価で一般に使用されているマクベスチャート(図5(a))の色票の色度は、ほぼHDTV時の色域範囲内であった。そこで、HDTV時の色域範囲外でも物体色の映り方を確認するため、図5(b)に示す高彩度色票を新たに作成し、撮影評価に使用した。

表2. 実験に使用した各照明器具の演色性

Color rendering properties of luminaires used in lighting experiments

照明器具	相関色温度 (K)	$R_a$	$R_b$	$R_{12}$
ハロゲン照明器具	3,176	100	98	99
開発器具	3,155	95	87	85
従来器具	3,206	96	79	82



\*平均的な昼光を表現する標準光源

図5. 一般のマクベスチャートとUHDTV撮影用に作成した高彩度色票

UHDTV撮影評価では、HDTVの色域範囲外でも物体色の映り方を確認するため、新たに作成した高彩度色票を使用した。

Common Macbeth chart and newly developed high-saturation color chart for UHDTV shooting

### 3.5 評価結果

- (1) 有彩色点灯時の表現色域 それぞれのカラーLED照明器具を各色で単色点灯して白色色票を照射し、UHDTVモニターに映った白色色票の色度を $xy$ 色度図上で結び、領域を比較した。結果を図6に示す。開発器具は、従来器具よりアンバーと緑の領域で表現色域が広いことが確認できた。
- (2) 白色点灯時の演色性 UHDTVモニター画像から、各カラーLED照明器具で照らした場合とハロゲン照明器具で照らした場合との色票の色差 $\Delta E$ を、CIE 1976  $L^*a^*b^*$ 均等色空間の明度と色度から算出した。また、算出に必要な基準白色は、高彩度色票の白色

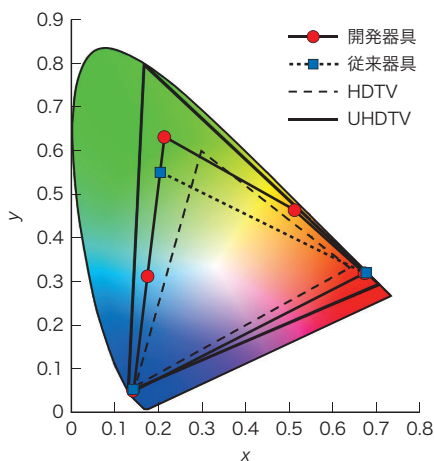


図6. 各照明器具の表現色域の比較

有彩色点灯時のUHDTV画像上の表現色域では、開発器具は従来器具に対し、アンバーと緑の領域で表現色域が広いことを確認した。

Comparison of color gamut of each luminaire

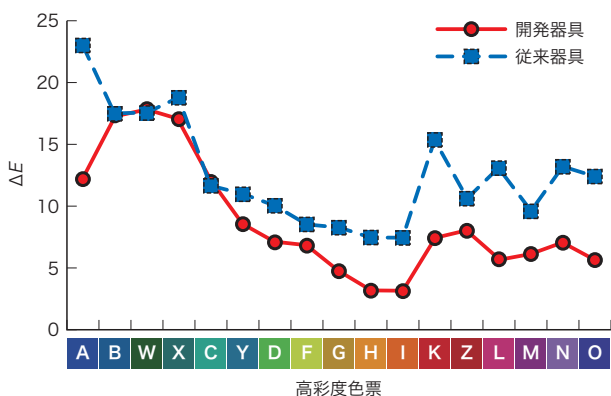


図7. 各LED照明器具とハロゲン照明器具との $\Delta E$ の比較

開発器具は従来器具に比べて、白色点灯時の色票画像におけるハロゲン照明器具との $\Delta E$ が小さかった。

Comparison of color differences between halogen luminaire and each LED luminaire

色票 (N9.5)とした。結果を図7に示す。開発器具は、従来器具よりも $\Delta E$ が全体的に小さくなることが確認できた。特に、A色票(青)とK色票(赤)では、 $\Delta E$ が8ポイント以上小さくなった。

これらの結果から、開発器具は、従来器具と比較して、UHDTV撮影時において、有彩色点灯時には広い表現色域を持ち、白色点灯時には高い演色性を持つことが確認できた。

## 4. あとがき

UHDTV撮影用に、有彩色点灯時には広い表現色域を持ち、白色点灯時には高い演色性を持つカラーLED照明器具を開発した。開発器具は、同じ明るさのハロゲン照明器具に比べて消費電力を約1/6に低減でき、省エネ効果も大きい。

この技術は、一般社団法人照明学会にも評価され、第17回(2019)照明技術開発賞を受賞した。この開発技術は、現在、既存のスタジオ照明器具を置き換えるための製品化に適用され、ラインアップの拡充を図っている。これらの照明器具により、ドラマや音楽番組用としてスタジオのカラーLED照明の置き換えを進め、UHDTV番組の自然な色表現や広い色域を生かした映像作りに貢献していく。

## 文献

- (1) 電波産業会、超高精細度テレビジョンの番組制作における白色LED照明の演色性指標と推奨値、2018、ARIB TR-B40 1.1版、23p.



羽生田 有美 HANYUDA Yumi  
東芝ライテック(株)  
システム事業部 システム技術部  
照明学会会員  
Toshiba Lighting & Technology Corp.



東 洋邦 HIGASHI Hirokuni  
東芝ライテック(株)  
研究開発センター  
照明学会・日本色彩学会・日本視覚学会会員  
Toshiba Lighting & Technology Corp.



井手 渚紗 IDE Nagisa  
東芝ライテック(株)  
サイバーフィジカルシステム推進部  
照明学会会員  
Toshiba Lighting & Technology Corp.