

減色混合およびグラデーション色を用いた可変カラーフィルターの基礎的検討

松 本 光 広

現所属：神奈川県横浜市神奈川区六角橋 3-27-1

(旧所属：久留米工業高等専門学校制御情報工学科 〒 850-8555 福岡県久留米市小森野 1-1-1)

Basis Examination of Variable Color Filter Using Subtractive Color Mixing and Gradational Color

Mitsuhiro MATSUMOTO

Current affiliation: Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering, Kanagawa University, 3-27-1, Rokkakubashi, Kanagawaku-ku, Yokohama, Kanagawa, 221-8686

(Former affiliation: Department of Control and Information Systems Engineering, Kurume National College of Technology, 1-1-1, Komorino, Kurume, Fukuoka, 830-8555)

This paper describes a variable color filter using gradational color filters. I apply the principle of subtractive color mixing using cyan color, magenta color and yellow color to the variable color filter. The variable color filter is made up of a cyan colored filter, a magenta colored filter and a yellow colored filter. The one colored filter is made up of two gradational filters. The two gradational filters are overlapped. The overlapped portion is even color. The overlapped portion is the variable color filter by varying overlapped portion of the gradational filters. I made the cyan colored gradational filters, the magenta colored gradational filters and the yellow colored gradational filters. I made up the variable color filter using the gradational filters. I measured spectral transmission to evaluate the performance of the developed variable color filter. I showed color shading of the developed variable color filter. I showed calculated spectral transmission by sixth-order polynomial approximation of measured spectral transmission in case of the one colored filters. The results have shown the usefulness in the developed variable color filter for varying the spectral transmission.

Key words: variable color filter, gradational color filter, transmission filter, subtractive color mixing, spectral transmission

はじめに

南條は、黒色のグラデーションを用いた可変の ND (neural density) フィルターを提案している¹⁾。透明なシートに、薄色から濃色まで連続して色の濃さを変化させたグラデーションを印刷する。2 枚のグラデーションの薄色側と濃色側を重ね合わせると、重ね合わせた部分の色の濃さは均一となる。薄色から濃色までグラデーションの重ね合わせる部分を変えることで、重ね合わせた部分の色の濃さを変化できる。しかし、シアン色、マゼンタ色およびイエロー色について、可変フィルターは提案されていない。

シアン色、マゼンタ色およびイエロー色を重ね合わせることで、減色混合の原理を用いたカラーフィルターを構成

できる²⁾。しかしシアン色、マゼンタ色およびイエロー色のグラデーションを用いて、それぞれの色の濃さを変化させる、可変のカラーフィルターは提案されていない。

インクジェットプリンターはインクのドットの密度で色の濃さを変化でき、ドットの密度を変化させることでグラデーションを印刷できる³⁾。シート状の表面にグラデーションを印刷するには、インクジェットプリンターが有効である。インクジェットプリンターを用いたカラー印刷の紙の表面について、反射する光の分光反射率の測定および分光反射特性の計算が研究されている。Rosen らは、シアン色、マゼンタ色、イエロー色、ブラック色、グリーン色およびオレンジ色を用いた印刷について、紙の表面におけ

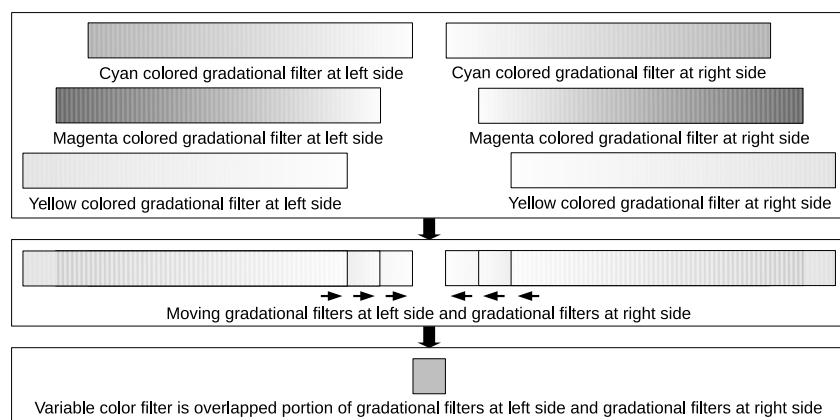


Fig. 1 Mechanism of variable color filter.

る分光反射率を測定して、スペクトル冗長性を評価した⁴⁾。Lino らは、紙の表面における分光反射特性を計算するために、2つのモデルについて計算式を構成し、計算結果および測定結果を比較してモデルの性能を評価した⁵⁾。しかし、紙の表面において反射する光ではなく、透明なシートにおける透過する光の分光透過率の測定および分光透過特性の計算は研究されていない。透明なシートにおける透過する光の分光透過率の測定および分光透過特性の計算から、可変のカラーフィルターの性能を評価できる。

スタジオおよび舞台の色替えは、照明器具の前面に各色のカラーフィルターを装着して、点灯する照明器具を変えることにより行われている。また、各色のカラーフィルターをつなぎ合わせてロール状にしたスクロール式の器具が開発され、これを照明器具の前面に取り付けることで1台の照明器具で複数の色替えが可能となり、現在でもあらゆる方面で使用されて一般的となっている⁶⁾。しかし、スクロール式の器具は、必要とする色のカラーフィルターを短時間で交換することが難しい。LED 照明を用いたスタジオおよび舞台の色替えは、自然なフェードインおよびフェードアウトができず、レンズ面で見える素子の色とそこから放たれる光の色が異なることから、普及していない⁷⁾。したがって、グラデーションの重ね合わせにより短時間で可変のカラーフィルターは、スタジオおよび舞台の色替え器具に応用できる。

本研究では、シアン色、マゼンタ色およびイエロー色の3色による減色混合、およびシアン色、マゼンタ色およびイエロー色のグラデーションを用いた、可変カラーフィルターを検討する。シアン色、マゼンタ色およびイエロー色のグラデーションフィルターを作製して、フィルターにおける薄色から濃色の変化を示す。作製した各グラデーションフィルターを用いて、これらを重ね合わせることで可変

カラーフィルターを構成する。構成した可変カラーフィルターを用いて、シアン色、マゼンタ色およびイエロー色をそれぞれ重ね合わせた場合について、重ね合わせ部において透過する光の分光透過率を示す。また、重ね合わせ部における色の濃さの変化も示す。シアン色、マゼンタ色およびイエロー色について、それぞれ重ね合わせ部において測定された分光透過率から各計算式を構成して、各計算式を掛け合わせることで可変カラーフィルターの分光透過率を計算する。

1. 可変カラーフィルターの構成

シアン色、マゼンタ色およびイエロー色の3色による減色混合、およびシアン色、マゼンタ色およびイエロー色のグラデーションを用いた、可変カラーフィルターを構成する。

1.1 構造と仕組み

Fig. 1 に可変カラーフィルターの仕組みを示す。可変カラーフィルターは、シアンのグラデーションフィルター、マゼンタ色のグラデーションフィルターおよびイエロー色のグラデーションフィルターにより構成される。可変カラーフィルターを構成する各色のグラデーションフィルターは、それぞれ薄色から濃色まで連続して色の濃さを変化させた透過型フィルターである。可変カラーフィルターを構成する各色のグラデーションフィルターは、可変カラーフィルター内の右側および左側において、グラデーションの薄色側を対向させて、かつ重ねて設置する。可変カラーフィルターを構成する各色の右側および左側のグラデーションフィルターについて、可変カラーフィルター内においてグラデーションフィルターを左右に移動させて、重ね合わせる。可変カラーフィルター内の重ね合わせた部分は、同色のグラデーションの重なりにより、均一な分布

- Cyan colored gradational filter
- Magenta colored gradational filter
- Yellow colored gradational filter
- Overlapped portion

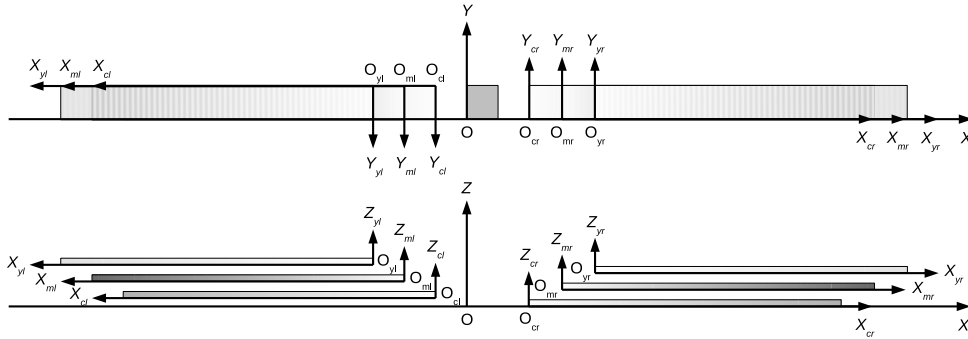


Fig. 2 Coordinate system of variable color filter.

の色の濃さとなる。各色のグラデーションの薄色から濃色まで、グラデーションフィルターの重なる部分により、各色のフィルターを透過する光の量が異なる。シアン色、マゼンタ色およびイエロー色のフィルターを透過する光の量の割合を変化させることで、減色混合の原理から、グラデーションフィルターの重なる部分を透過する光の分光透過率を変化できる。

1.2 座 標 系

Fig. 2 に可変カラーフィルターの座標系を示す。可変カラーフィルターの座標系は、原点を O とし、横方向を X 軸、縦方向を Y 軸、および高さ方向を Z 軸とした座標系を X - Y - Z とする。可変カラーフィルターを構成する各グラデーションフィルターの座標系は、シアン色を示す記号を c 、マゼンタ色を示す記号を m 、イエロー色を示す記号を y 、右側を示す記号を r および左側を示す記号を l として、それぞれの記号を組み合わせて示す。例えば、可変カラーフィルターを構成する右側のシアンのグラデーションフィルターの座標系は、原点を O_{cr} とし、横方向を X_{cr} 軸、縦方向を Y_{cr} 軸、および高さ方向を Z_{cr} 軸とした座標系を X_{cr} - Y_{cr} - Z_{cr} とする。可変カラーフィルターと可変カラーフィルターを構成するグラデーションフィルターの座標系における各軸は、それぞれ平行とする。可変カラーフィルターを構成するグラデーションフィルターは、横方向の長さを l 、縦方向の幅を w 、および高さ方向の高さを h とする。

1.3 重ね合わせ部

可変カラーフィルターは、可変カラーフィルターを構成する左側および右側の各色のグラデーションフィルターを X 軸方向へ移動させて、重ね合わせ部で重ね合わせることで実現する。なお、グラデーションフィルターの Y 軸方向および Z 軸方向は固定する。可変カラーフィルターにお

けるシアン色、マゼンタ色およびイエロー色について、グラデーションの薄色から濃色まで連続して色の濃さを変化させる可変数を p とする。可変数 p は自然数とする。例えば、可変数 p を 1 とすれば 1 段階の色の濃さとなり、可変数 p を 100 とすれば 100 段階で色の濃さを変化できる。重ね合わせ部の X 軸方向の範囲は $0 \sim l/p$ 、 Y 軸方向の範囲は $0 \sim w$ とする。可変カラーフィルターにおいて、シアンの濃さを変化させる可変値を n_c 、マゼンタ色の濃さを変化させる可変値を n_m 、およびイエロー色の濃さを変化させる可変値を n_y とする。各可変値は自然数とし、範囲は $0 \sim p$ とする。例えば、可変値 n_c を 0 とすればシアンの濃さはなく、可変値 n_c を p とすればシアンの濃さを p 段階で最も濃くできる。

可変カラーフィルターを構成する右側のシアンのグラデーションフィルターについて、原点 O_{cr} の X 軸方向の位置 x_{ocr} は、

$$x_{ocr} = \left(\frac{1 - n_c}{p} \right) l \quad (1)$$

と表せる。可変カラーフィルターを構成する右側のマゼンタ色のグラデーションフィルターについて、原点 O_{mr} の X 軸方向の位置 x_{omr} は、

$$x_{omr} = \left(\frac{1 - n_m}{p} \right) l \quad (2)$$

と表せる。可変カラーフィルターを構成する右側のイエロー色のグラデーションフィルターについて、原点 O_{yr} の X 軸方向の位置 x_{oyr} は、

$$x_{oyr} = \left(\frac{1 - n_y}{p} \right) l \quad (3)$$

と表せる。可変カラーフィルターを構成する左側のシアンのグラデーションフィルターについて、原点 O_{cl} の X 軸

Table 1 Parameters of variable color filter.

p	l [mm]	w [mm]	h [mm]	y_{ocr} y_{omr} y_{oyr} [mm]	y_{ocl} y_{oml} y_{oyl} [mm]	z_{ocr} [mm]	z_{omr} [mm]	z_{oyr} [mm]	z_{ocl} [mm]	z_{oml} [mm]	z_{oyl} [mm]
10	276.5	21	0.1	0	21	0	0.2	0.4	0.1	0.3	0.5

方向の位置 x_{ocl} は,

$$x_{ocl} = \left(\frac{n_c}{p} \right) l \quad (4)$$

と表せる. 可変カラーフィルターを構成する左側のマゼンタ色のグラデーションフィルターについて, 原点 O_{ml} の X 軸方向の位置 x_{oml} は,

$$x_{oml} = \left(\frac{n_m}{p} \right) l \quad (5)$$

と表せる. 可変カラーフィルターを構成する左側のイエロー色のグラデーションフィルターについて, 原点 O_{yl} の X 軸方向の位置 x_{oyl} は,

$$x_{oyl} = \left(\frac{n_y}{p} \right) l \quad (6)$$

と表せる. したがって, 可変値 n_c , 可変値 n_m および可変値 n_y を変化させることで, 可変カラーフィルターの重ね合わせ部において, 可変カラーフィルターを構成する左側および右側の各色のグラデーションフィルターを重ね合わせる位置を変化できる.

2. 可変カラーフィルターの性能

シアン色, マゼンタ色およびイエロー色のグラデーションフィルターを作製して, フィルターにおける薄色から濃色の変化を示す. 作製した各グラデーションフィルターを用いて, これらを重ね合わせることで可変カラーフィルターを構成する. 構成した可変カラーフィルターを用いて, シアン色, マゼンタ色およびイエロー色をそれぞれ重ね合わせた場合について, 重ね合わせ部において透過する光の分光透過率を示す. また, 重ね合わせ部における色の濃さの変化も示す. シアン色, マゼンタ色およびイエロー色について, それぞれ重ね合わせ部において測定された分光透過率から各計算式を構成して, 各計算式を掛け合わせることで可変カラーフィルターの分光透過率を計算する.

2.1 フィルターの作製

Table 1 に構成した可変カラーフィルターの各値を示す. グラデーションフィルターは, プリンターによりシアン色, マゼンタ色およびイエロー色のグラデーションを透明なプラスチックシートに印刷することで作製した. グラデーションフィルターにおけるシアン色, マゼンタ色およ

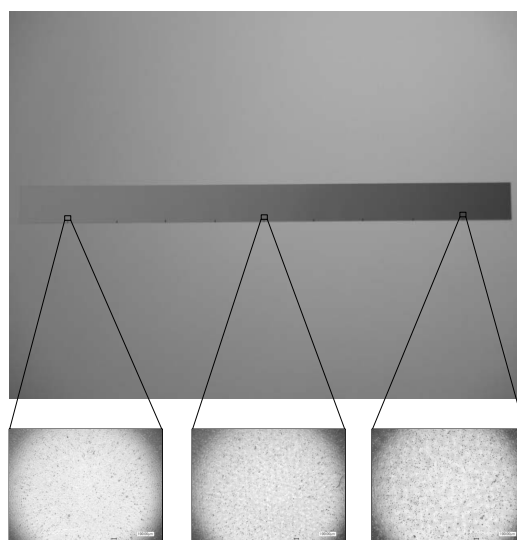


Fig. 3 Created cyan colored gradational filter.

びイエロー色のグラデーションは, プリンターにより印刷されるインクのドットの大きさにより表される.

プリンターは, セイコーエプソン社のインクジェットプリンター EP-306 を用いた. ドット状のインクを用いて, グラデーションを印刷する. ドットの密度は最大で 5760 dpi, 最小でゼロである. インクは, セイコーエプソン社のシアン色としてインクカートリッジ ICC70, マゼンタ色としてインクカートリッジ ICM70 およびイエロー色としてインクカートリッジ ICY70 を用いた. 各色のインクは, 顔料インクよりも透過する光の量が多い染料インクである. プラスチックシートは, コクヨ社のインクジェット用 OHP シート VF-1101N を用いた. 染料インクを印刷できるプラスチックシートである.

Fig. 3 に, 一例として作製したシアン色のグラデーションフィルターを示す. 作製した各色のグラデーションフィルターは, 薄色から濃色まで連続して色の濃さに変化している. グラデーションフィルターの一部を拡大した画像は, 実際の大きさが $3.5 \text{ mm} \times 2.6 \text{ mm}$ である. X_{cr} 軸方向, X_{mr} 軸方向および X_{yr} 軸方向の位置 x_{cr} , x_{mr} および x_{yr} は, それぞれ 27.65 mm , 138.25 mm および 248.85 mm である. Y_{cr} 軸方向, Y_{mr} 軸方向および Y_{yr} 軸方向の位置 y_{cr} , y_{mr} および y_{yr} は, それぞれ 1.5 mm である. なお拡大した画像は,

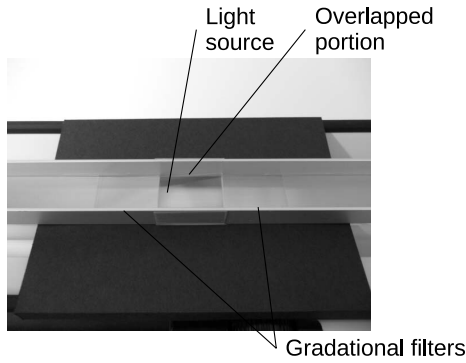


Fig. 4 Image of experiment environment.

キーエンス社のデジタルマイクロスコープ VHX-900 を用いて取得した。拡大した画像から、色の濃さは色のドットの密度により実現している。また黒い点は気泡であり、多数を確認した。

2.2 性能評価の方法

2.2.1 測定方法

Fig. 4 に実験環境を示す。実験環境において、光源より発せられる光を開発した可変カラーフィルターを用いて透過させて、透過した光の分光放射照度を、分光放射照度計を用いて測定した。また透過した光について、色の濃さの分布および変化を、カメラを用いて撮影した。

分光放射照度の測定には、コニカミノルタ社の分光放射照度計 CL-500A を用いた。光源の分光放射照度 $i_1(\lambda)$ および可変カラーフィルターを透過した光の分光放射照度 $i_f(n_c, n_m, n_y, \lambda)$ を測定する。分光放射照度 $i_f(\lambda)$ は波長 λ により、分光放射照度 $i_f(n_c, n_m, n_y, \lambda)$ は可変値 n_c 、可変値 n_m 、可変値 n_y および波長 λ により決まる値である。波長 λ の測定範囲は 400~700 nm で、10 nm ごととして、測定数 n を 30 とする。なお、受光部の直径は 10.5 mm であり、この範囲で平均化された分光放射照度 $i_1(\lambda)$ を測定する。光源は、東芝ライテック社のカラーイルミネーター用蛍光ランプ FL15N-EDL を用いた。出力は 15 W である。

Fig. 5 に実験で用いた光源の分光放射照度 $i_1(\lambda)$ を示す。可変カラーフィルターを透過した光の測定された分光透過率 $t_m(n_c, n_m, n_y, \lambda)$ は、

$$t_m(n_c, n_m, n_y, \lambda) = \frac{i_f(n_c, n_m, n_y, \lambda)}{i_1(\lambda)} \quad (7)$$

と表せる。なお、測定された分光透過率 $t_m(n_c, n_m, n_y, \lambda)$ は、可変値 n_c 、可変値 n_m 、可変値 n_y および波長 λ により決まる値である。

シアン色、マゼンタ色およびイエロー色のグラデーションフィルターについて、1色、2色および3色を重ね合わせた場合において、可変値 n_c 、可変値 n_m および可変値 n_y を

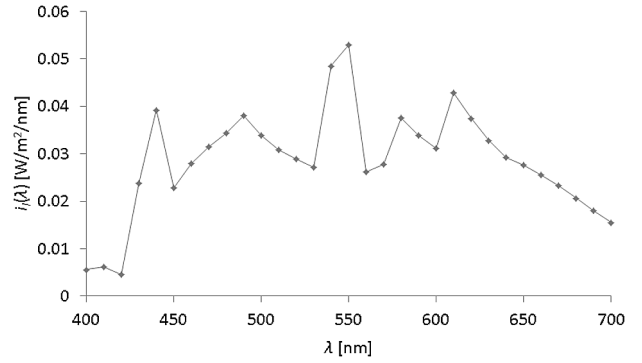


Fig. 5 Measured spectral transmission of light source used experiment.

変化させて、測定された分光透過率 $t_m(n_c, n_m, n_y, \lambda)$ を評価する。

2.2.2 計算方法

シアン色、マゼンタ色およびイエロー色のグラデーションフィルターについて、それぞれ1色を重ね合わせた場合において、測定された分光透過率 $t_m(n_c, n_m, n_y, \lambda)$ から6次多項式近似曲線を用いて、計算されるシアン色の分光透過率 $t_{cc}(n_c, \lambda)$ 、計算されるマゼンタ色の分光透過率 $t_{cm}(n_m, \lambda)$ 、および計算されるイエロー色の分光透過率 $t_{cy}(n_y, \lambda)$ を示す。なお、計算される各色の分光透過率は、各色の可変値および波長 λ により決まる値である。

計算されるシアン色の分光透過率 $t_{cc}(n_c, \lambda)$ は、波長 λ 、および可変値 n_c により決まる6次の係数 $c_{c6}(n_c)$ 、5次の係数 $c_{c5}(n_c)$ 、4次の係数 $c_{c4}(n_c)$ 、3次の係数 $c_{c3}(n_c)$ 、2次の係数 $c_{c2}(n_c)$ 、1次の係数 $c_{c1}(n_c)$ および0次の係数 $c_{c0}(n_c)$ を用いて、

$$t_{cc}(n_c, \lambda) = \begin{cases} c_{c6}(n_c)\lambda^6 + c_{c5}(n_c)\lambda^5 + c_{c4}(n_c)\lambda^4 + c_{c3}(n_c)\lambda^3 \\ + c_{c2}(n_c)\lambda^2 + c_{c1}(n_c)\lambda + c_{c0}(n_c) & (n_c > 0) \\ 1 & (n_c = 0) \end{cases} \quad (8)$$

と表せる。計算されるマゼンタ色の分光透過率 $t_{cm}(n_m, \lambda)$ は、波長 λ 、および可変値 n_m により決まる6次の係数 $c_{m6}(n_m)$ 、5次の係数 $c_{m5}(n_m)$ 、4次の係数 $c_{m4}(n_m)$ 、3次の係数 $c_{m3}(n_m)$ 、2次の係数 $c_{m2}(n_m)$ 、1次の係数 $c_{m1}(n_m)$ および0次の係数 $c_{m0}(n_m)$ を用いて、

$$t_{cm}(n_m, \lambda) = \begin{cases} c_{m6}(n_m)\lambda^6 + c_{m5}(n_m)\lambda^5 + c_{m4}(n_m)\lambda^4 + c_{m3}(n_m)\lambda^3 \\ + c_{m2}(n_m)\lambda^2 + c_{m1}(n_m)\lambda + c_{m0}(n_m) & (n_m > 0) \\ 1 & (n_m = 0) \end{cases} \quad (9)$$

と表せる。計算されるイエロー色の分光透過率 $t_{cy}(n_y, \lambda)$ は、波長 λ 、および可変値 n_y により決まる6次の係数 $c_{y6}(n_y)$ 、5次の係数 $c_{y5}(n_y)$ 、4次の係数 $c_{y4}(n_y)$ 、3次の係数

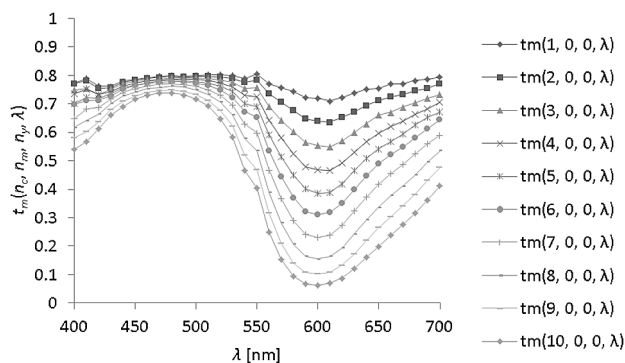


Fig. 6 Measured spectral transmission of variable color filter in case that cyan colored gradational filter is overlapped.

$c_{y3}(n_y)$, 2次の係数 $c_{y2}(n_y)$, 1次の係数 $c_{y1}(n_y)$ および0次の係数 $c_{y0}(n_y)$ を用いて,

$$t_{cy}(n_y, \lambda) = \begin{cases} c_{y6}(n_y)\lambda^6 + c_{y5}(n_y)\lambda^5 + c_{y4}(n_y)\lambda^4 + c_{y3}(n_y)\lambda^3 \\ + c_{y2}(n_y)\lambda^2 + c_{y1}(n_y)\lambda + c_{y0}(n_y) & (n_y > 0) \\ 1 & (n_y = 0) \end{cases} \quad (10)$$

と表せる. なお各可変値が0の場合は, 光がグラデーションフィルターを透過しないために分光透過率は各波長 λ で1となる. 1色, 2色および3色を重ね合わせた場合について計算される分光透過率 $t_c(n_c, n_m, n_y, \lambda)$ は, 分光透過率 $t_{cc}(n_c, \lambda)$, 分光透過率 $t_{cm}(n_m, \lambda)$ および分光透過率 $t_{cy}(n_y, \lambda)$ を用いて,

$$t_c(n_c, n_m, n_y, \lambda) = t_{cc}(n_c, \lambda)t_{cm}(n_m, \lambda)t_{cy}(n_y, \lambda) \quad (11)$$

と表せる. したがって可変値 n_c , 可変値 n_m および可変値 n_y を変化させることで, 可変カラーフィルターの重ね合わせ部を透過する光の分光透過率を計算できる. また式(1)~(6)を用いて, 可変カラーフィルターを構成する左側および右側の各色のグラデーションフィルターを重ね合わせる位置を決定できる.

2.3 性能評価の結果

2.3.1 測定結果

Fig. 6 にシアン色, Fig. 7 にマゼンタ色, Fig. 8 にイエロー色, Fig. 9 にシアン色およびマゼンタ色, Fig. 10 にマゼンタ色およびイエロー色, Fig. 11 にシアン色およびイエロー色, および Fig. 12 にシアン色, マゼンタ色およびイエロー色における, 測定された分光透過率 $t_m(n_c, n_m, n_y, \lambda)$ の変化を示す. 可変値 n_c , 可変値 n_m および可変値 n_y を変化させることで, 透過した光の分光透過率 $t_m(n_c, n_m, n_y, \lambda)$ が変化する.

Fig. 13 に, 一例としてシアン色, マゼンタ色およびイエロー色における, 可変カラーフィルターにおける色の濃さの変化を示す. 色の分布は均一となり, 可変値 n_c , 可

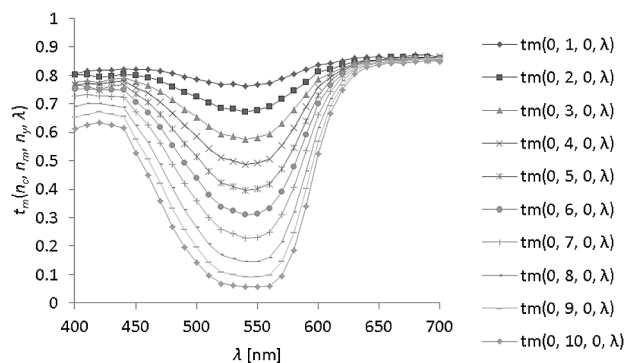


Fig. 7 Measured spectral transmission of variable color filter in case that magenta colored gradational filter is overlapped.

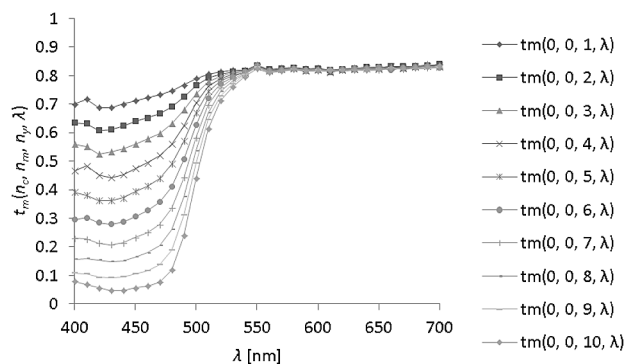


Fig. 8 Measured spectral transmission of variable color filter in case that yellow colored gradational filter is overlapped.

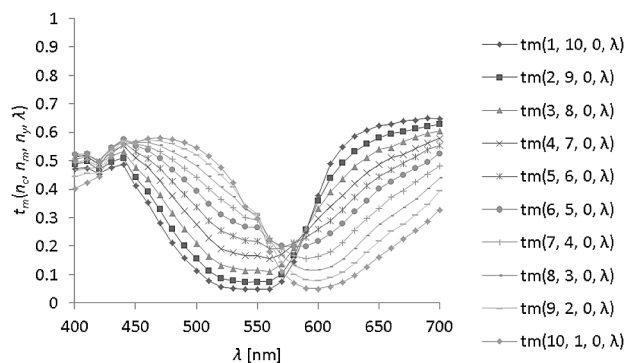


Fig. 9 Measured spectral transmission of variable color filter in case that cyan colored gradational filter and magenta colored gradational filter are overlapped.

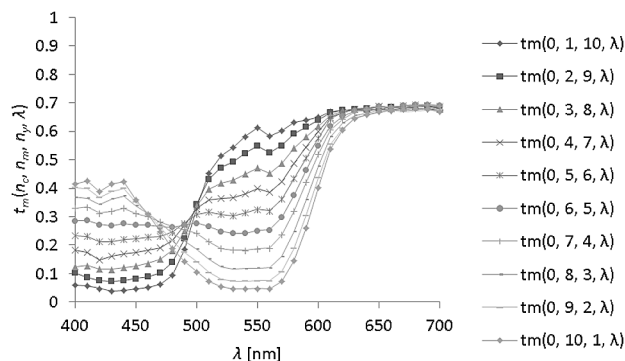


Fig. 10 Measured spectral transmission of variable color filter in case that magenta colored gradational filter and yellow colored gradational filter are overlapped.

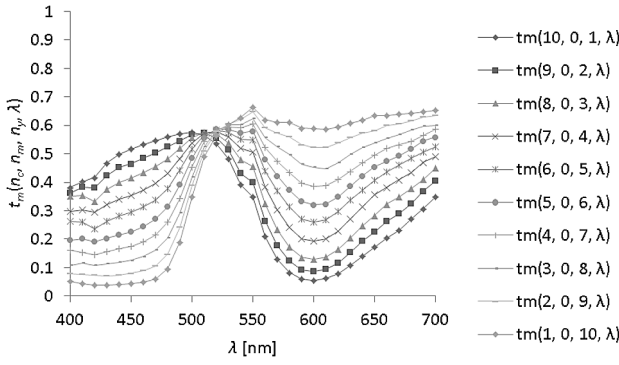


Fig. 11 Measured spectral transmission of variable color filter in case that cyan colored gradational filter and yellow colored gradational filter are overlapped.

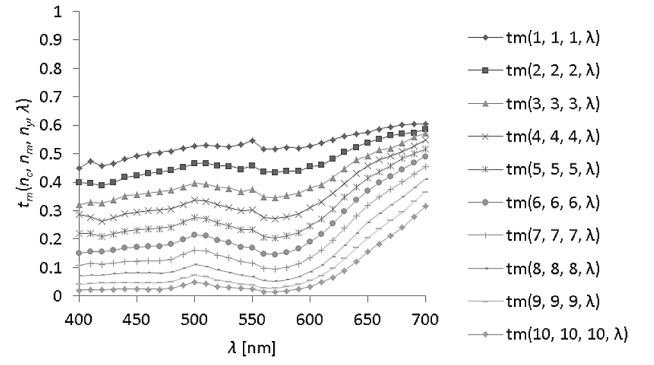


Fig. 12 Measured spectral transmission of variable color filter in case that cyan colored gradational filter, magenta colored gradational filter and yellow colored gradational filter are overlapped.

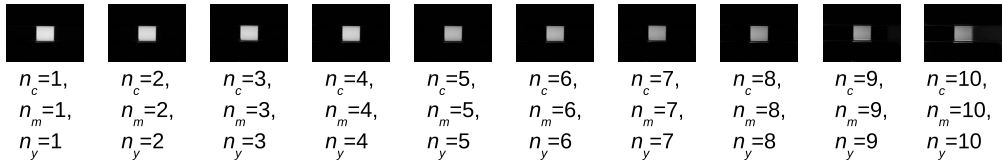


Fig. 13 Image of variable color filter in case that cyan colored gradational filter, magenta colored gradational filter and yellow colored gradational filter are overlapped.

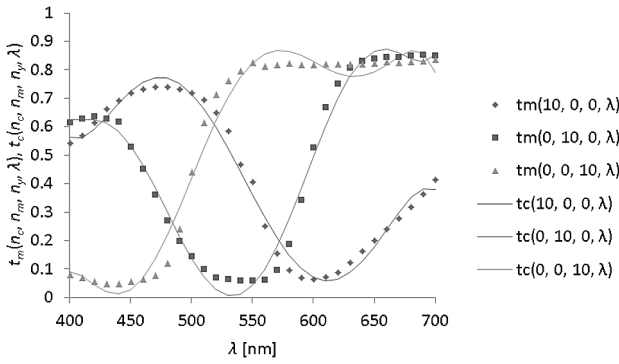


Fig. 14 Measured spectral transmission and calculated spectral transmission in case that one colored gradational filter is overlapped.

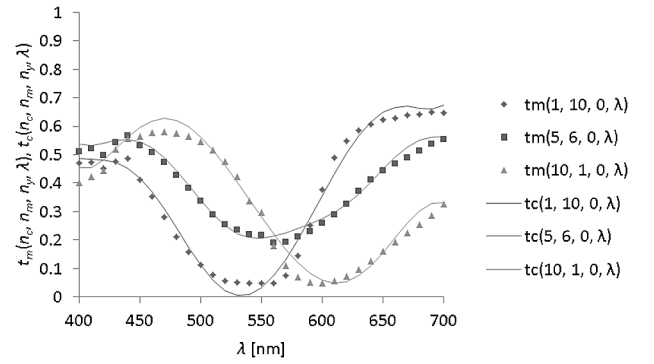


Fig. 15 Measured spectral transmission and calculated spectral transmission in case that cyan colored gradational filter and magenta colored gradational filter are overlapped.

変値 n_m および可変値 n_y を変化させることで、薄色から濃色まで色の濃さが変化する。

2. 3. 2 計算結果

Fig. 14 にシアン色、マゼンタ色およびイエロー色のいずれか1色、Fig. 15 にシアン色およびマゼンタ色の2色、Fig. 16 にマゼンタ色およびイエロー色の2色、Fig. 17 にシアン色およびイエロー色の2色、および Fig. 18 にシアン色、マゼンタ色およびイエロー色の3色における、測定された分光透過率 $t_m(n_c, n_m, n_y, \lambda)$ および計算された分光透過率 $t_c(n_c, n_m, n_y, \lambda)$ の比較を示す。Table 2 にシアン色、Table 3 にマゼンタ色、および Table 4 にイエロー色における計算された分光透過率 $t_c(n_c, n_m, n_y, \lambda)$ で用いた6次多項式近

似曲線の係数を示す。Table 5 に測定された分光透過率 $t_m(n_c, n_m, n_y, \lambda)$ および計算された分光透過率 $t_c(n_c, n_m, n_y, \lambda)$ の標準誤差 $e_s(n_c, n_m, n_y)$ を示す。誤差 $e(n_c, n_m, n_y, \lambda)$ は、
$$e(n_c, n_m, n_y, \lambda) = |t_m(n_c, n_m, n_y, \lambda) - t_c(n_c, n_m, n_y, \lambda)| \quad (12)$$
 と表せる。平均誤差 $e_a(n_c, n_m, n_y)$ は、

$$e_a(n_c, n_m, n_y) = \frac{1}{n} \sum_{\lambda=400}^{700} e(n_c, n_m, n_y, \lambda) \quad (13)$$

と表せる。標準偏差 $d_s(n_c, n_m, n_y)$ は、

$$d_s(n_c, n_m, n_y) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{\lambda=400}^{700} \{e(n_c, n_m, n_y, \lambda) - e_a(n_c, n_m, n_y)\}^2} \quad (14)$$

と表せる。標準誤差 $e_s(n_c, n_m, n_y)$ は、

$$e_s(n_c, n_m, n_y) = \frac{d_s(n_c, n_m, n_y)}{\sqrt{n}} \quad (15)$$

と表せる．標準誤差 $e_s(n_c, n_m, n_y)$ の最大は 8.241×10^{-3} である．したがって，6次多項式近似曲線による計算された分光透過率 $t_c(n_c, n_m, n_y, \lambda)$ を用いて，可変カラーフィルターの分光透過率を標準誤差 8.241×10^{-3} の範囲で計算できる．

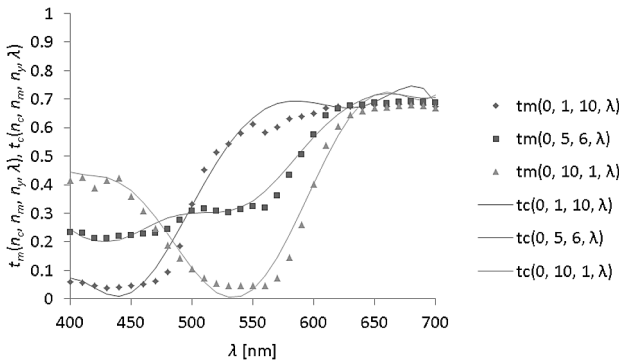


Fig. 16 Measured spectral transmission and calculated spectral transmission in case that magenta colored gradational filter and yellow colored gradational filter are overlapped.

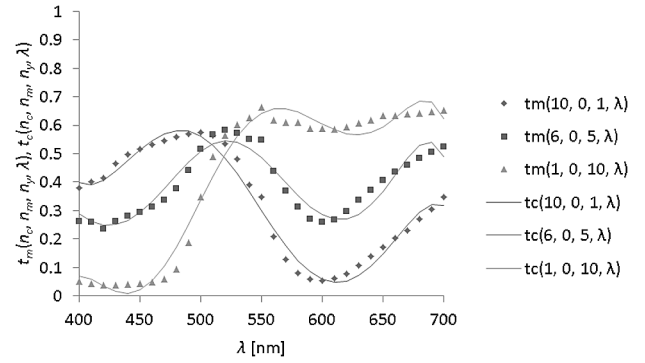


Fig. 17 Measured spectral transmission and calculated spectral transmission in case that cyan colored gradational filter and yellow colored gradational filter are overlapped.

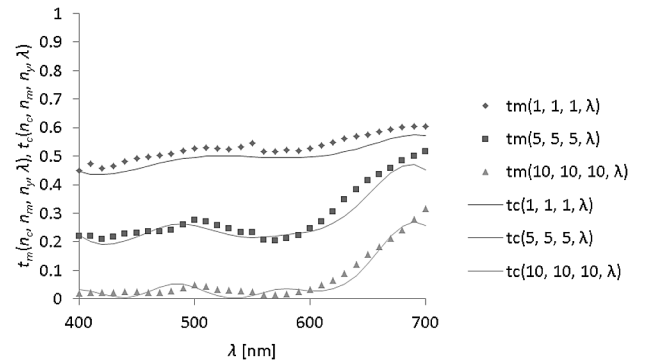


Fig. 18 Measured spectral transmission and calculated spectral transmission in case that cyan colored gradational filter, magenta colored gradational filter and yellow colored gradational filter are overlapped.

Table 2 Coefficients of polynomial approximation in case that cyan colored gradational filter is overlapped.

n_c	$c_{c6}(n_c)$	$c_{c5}(n_c)$	$c_{c4}(n_c)$	$c_{c3}(n_c)$	$c_{c2}(n_c)$	$c_{c1}(n_c)$	$c_{c0}(n_c)$
1	$-1.6673456 \times 10^{-14}$	$5.1598676 \times 10^{-11}$	$-6.5565921 \times 10^{-8}$	4.3766122×10^{-5}	$-1.6179972 \times 10^{-2}$	3.1401426	-2.4910234×10^2
5	$-5.7997307 \times 10^{-14}$	$1.7902976 \times 10^{-10}$	$-2.2716418 \times 10^{-7}$	1.5166496×10^{-4}	$-5.6211955 \times 10^{-2}$	1.0971883	-8.8099082×10^2
6	$-5.5012343 \times 10^{-14}$	$1.6705081 \times 10^{-10}$	$-2.0788403 \times 10^{-7}$	1.3563494×10^{-4}	$-4.8920714 \times 10^{-1}$	9.2463110	-7.1457428×10^3
10	$5.9720311 \times 10^{-15}$	$-3.6200449 \times 10^{-11}$	7.1940529×10^{-8}	$-6.7929943 \times 10^{-5}$	3.3556951×10^{-2}	-8.3913025	8.4004113×10^2

Table 3 Coefficients of polynomial approximation in case that magenta colored gradational filter is overlapped.

n_m	$c_{m6}(n_m)$	$c_{m5}(n_m)$	$c_{m4}(n_m)$	$c_{m3}(n_m)$	$c_{m2}(n_m)$	$c_{m1}(n_m)$	$c_{m0}(n_m)$
1	$2.4862291 \times 10^{-14}$	$-8.0748656 \times 10^{-11}$	1.0807587×10^{-7}	$-7.6274552 \times 10^{-5}$	2.9931795×10^{-2}	-6.1924330	5.285517×10^2
5	$1.3548756 \times 10^{-13}$	$-4.4084048 \times 10^{-10}$	5.9140737×10^{-7}	$-4.1861803 \times 10^{-4}$	1.6488185×10^{-1}	-3.4268383×10	2.9377971×10^3
6	$1.5109372 \times 10^{-13}$	$-4.9070732 \times 10^{-10}$	6.5691970×10^{-7}	$-4.6388679 \times 10^{-4}$	1.8222945×10^{-1}	-3.7764194×10	3.2272944×10^3
10	$1.4963364 \times 10^{-13}$	$-4.8496897 \times 10^{-10}$	6.4704729×10^{-7}	$-4.5473666 \times 10^{-4}$	1.7753310×10^{-1}	-3.6515016	3.0932533×10^3

Table 4 Coefficients of polynomial approximation in case that yellow colored gradational filter is overlapped.

n_y	$c_{y6}(n_y)$	$c_{y5}(n_y)$	$c_{y4}(n_y)$	$c_{y3}(n_y)$	$c_{y2}(n_y)$	$c_{y1}(n_y)$	$c_{y0}(n_y)$
1	$-7.4819363 \times 10^{-15}$	$2.2907564 \times 10^{-11}$	$-2.8517033 \times 10^{-8}$	1.8383339×10^{-5}	$-6.4274615 \times 10^{-3}$	1.1441190	-7.8969180×10
5	$-5.5005667 \times 10^{-14}$	$1.7603103 \times 10^{-10}$	$-2.3165664 \times 10^{-7}$	1.6029768×10^{-4}	$-6.1451485 \times 10^{-2}$	1.2365906×10	-1.01961432×10^3
6	$-7.9437314 \times 10^{-14}$	$2.5655390 \times 10^{-10}$	$-3.4124049 \times 10^{-7}$	2.3908852×10^{-4}	$-9.3009261 \times 10^{-2}$	1.9041247×10	-1.6023455×10^3
10	$-1.6081722 \times 10^{-13}$	$5.2669498 \times 10^{-10}$	$-7.1153155 \times 10^{-7}$	5.0724656×10^{-4}	$-2.0117612 \times 10^{-1}$	4.2078518	-3.6263591×10^3

Table 5 Standard error values between measured spectral transmission and calculated spectral transmission by polynomial approximation.

n_c	n_m	n_y	$e_s(n_c, n_m, n_y)$
10	0	0	5.750×10^{-3}
0	10	0	6.675×10^{-3}
0	0	10	8.241×10^{-3}
1	10	0	5.557×10^{-3}
5	6	0	2.894×10^{-3}
10	1	0	4.669×10^{-3}
0	1	10	6.727×10^{-3}
0	5	6	3.977×10^{-3}
0	10	1	6.079×10^{-3}
10	0	1	5.053×10^{-3}
6	0	5	6.010×10^{-3}
1	0	10	6.913×10^{-3}
1	1	1	1.591×10^{-3}
5	5	5	3.982×10^{-3}
10	10	10	3.665×10^{-3}

おわりに

本研究では、シアン色、マゼンタ色およびイエロー色の3色による減色混合、およびシアン色、マゼンタ色およびイエロー色のグラデーションを用いた、可変のカラーフィルターを検討した。シアン色、マゼンタ色およびイエロー色のグラデーションフィルターを、インクジェットプリンターおよびプラスチックシートを用いて実際に作製した。グラデーションフィルターにおける薄色から濃色について、色の濃さの変化を画像を用いて示した。作製した各グ

ラデーションフィルターを用いて、これらを重ね合わせることで可変カラーフィルターを構成した。構成した可変カラーフィルターを用いて、シアン色、マゼンタ色およびイエロー色をそれぞれ重ね合わせた場合について、重ね合わせ部において透過する光の測定された分光透過率を示した。また、重ね合わせ部における色の濃さの変化を、画像を用いて示した。シアン色、マゼンタ色およびイエロー色について、それぞれ測定された分光透過率から各計算式を構成して、各計算式を掛け合わせることで可変カラーフィルターの分光透過率を計算した。測定された分光透過率を6次多項式近似した計算された分光透過率を用いて、可変カラーフィルターの分光透過率を標準誤差 8.241×10^{-3} の範囲で計算できた。

文 献

- 1) 南條雄介：特開 2007-292828.
- 2) W. D. G. Cox: "Colour-mixture terminology," Color Res. Appl., **3** (1978) 93.
- 3) 井上幕雄："Web2.0 時代の DTP Vol.5 カラー出力機の階調表現について考える", 印刷界, **649** (2007) 28-32.
- 4) M. R. Rosen, E. F. Hattenberger and N. Ohta: "Spectral redundancy in a six-ink jet printer," J. Imaging Sci. Technol., **48** (2004) 194-202.
- 5) K. Lino and R. S. Berns: "Building color-management modules using linear optimization i. Desktop color system," J. Imaging Sci. Technol., **42** (1998) 79-94.
- 6) 臼井郁敦："スタジオ・舞台照明技術の動向", 照明学会誌, **88** (2004) 154-157.
- 7) 高見和義："ミュージカルの照明—この 10 年—", 照明学会誌, **95** (2011) 303-306.