

LED 照明ノーツ 24

レンズを使う 11

＜張り合わせレンズにおける色収差の除去＞

株式会社タイコ

牛山善太

前回は色収差を考えるうえで非常に重要な、アッベ(Abbe)数について解説させて戴いたが、このアッベ数と焦点距離を計算する近軸理論の組み合わせにより、薄いレンズ同志が密着した場合における、焦点距離の色収差除去のための条件を導くことが出来る。この条件は照明系をも含むすべての、多色の状況における、レンズ系配置の基本を示唆するものである。

1. 色収差を除去できる条件

前回、触れさせて戴いた通り、d 線(587.6nm)を中心として、C 線(656.3)、F 線(486.13)の焦点距離の色収差を考えれば、

$$\frac{\delta f'}{f'} = -\frac{n_F - n_C}{n_d - 1} \quad (24-4)$$

(24-4) 式右辺の逆数 ν_d をとり、正の値を考えると

$$\nu_d = \frac{n_d - 1}{n_F - n_C} \quad (24-5)$$

となり、この値を Abbe 数と呼んだ、硝材などの光学媒質の波長に依存した性質を表わす定数である。さて、(24-5) 式を焦点距離の変化の式、(24-3) 式、

$$\frac{\delta f'}{f'} = -\frac{\delta n}{n - 1} \quad (24-3)$$

に代入し計算すると

$$\delta f' = -\frac{f'}{v_d} \quad (24-6)$$

焦点距離も Abbe 数も限られた値の範囲にあるので、薄肉単レンズにおいては、必ず焦点距離の色収差が存在することが理解できる。

さて、ここで、独立した薄肉レンズを密着させて、薄肉合成系を形成する場合を考えてみよう。二つの薄肉レンズの焦点距離、Abbe 数をそれぞれ、 f'_1 、 f'_2 、 v_1 、 v_2 とする時、合成焦点距離を f' として、

$$\frac{1}{f'} = \frac{1}{f'_1} + \frac{1}{f'_2} \quad - (7)$$

よって、常にその値が 0 となる、以下の関数を考えることが出来て、

$$F(f'_1, f'_2, f') = \frac{1}{f'_1} + \frac{1}{f'_2} - \frac{1}{f'} = 0 \quad - (8)$$

よって、全微分をとって、

$$dF = \frac{\partial F}{\partial f'_1} df'_1 + \frac{\partial F}{\partial f'_2} df'_2 + \frac{\partial F}{\partial f'} df' = 0 \quad - (9)$$

各項の微分を夫々実行して、

$$dF = -\frac{\delta f'_1}{f_1'^2} - \frac{\delta f'_2}{f_2'^2} + \frac{\delta f'}{f'^2} = 0$$

よって、

$$\frac{\delta f'}{f'^2} = \frac{\delta f'_1}{f_1'^2} + \frac{\delta f'_2}{f_2'^2} \quad - (10)$$

(10) 式に (24-6) 式を代入すると、

$$\frac{\delta f'}{f'^2} = -\frac{1}{f_1'v_1} - \frac{1}{f_2'v_2} \quad - (11)$$

よって、(11) 式より焦点距離の色収差を除去する条件は、

$$\frac{1}{f_1'v_1} + \frac{1}{f_2'v_2} = 0 \quad - (12)$$

と得られる。Abbe 数は常に正の値であるから、必然的に一つの unit と見做せる密着系の場合には（密着しないと異なるので注意を要する。それについては別の回に触れさせて戴くこととする。）正負、焦点距離が逆になったレンズ同志の密着によってのみ、焦点距離の色収差が除去し得ることが理解できる。この理論は、薄肉系に近い、凸レンズ、凹レンズを張り合せたダブレットレンズにより、うまく具現化されている(図 1)。

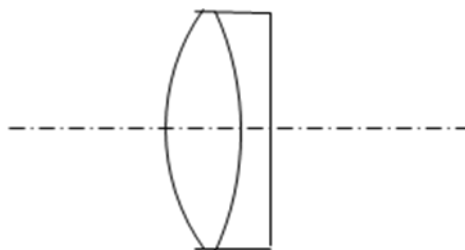


図 1 凸レンズと凹レンズによるダブレットレンズ

この時の、それぞれの薄肉系の焦点距離は、(7) (12) 式より、

$$f_1' = f' \frac{v_1 - v_2}{v_1}$$

- (13)

$$f_2' = -f' \frac{v_1 - v_2}{v_2}$$

となる。

2. 参考文献

- 1) 油 大作: 通信講座テキスト“光学技術の基礎講座”(トリケップス、東京、1993)
- 2) 小倉敏布: 写真レンズの基礎と発展(朝日ソノラマ、東京、1995)
- 3) 高野栄一: レンズデザインガイド(写真工業出版社、東京、1993)
- 4) 辻内順平: 光学概論 I (朝倉書店、東京、1979)
- 5) 松居吉哉: 結像光学入門(JOEM、東京7)1988)
- 6) 村田和美: 光学(サイエンス社、東京、1979)