



測色の歴史と発展 (9)

前号より続く

木村哲也
須賀茂雄

5.3.1 分光測色方法 (続き)

一般に分光測光器は、分散素子で大きく2つに分類される。分散素子としては、プリズム、回折格子が用いられることが多い。プリズム、回折格子の分散図を図55、図56、図57に示す。

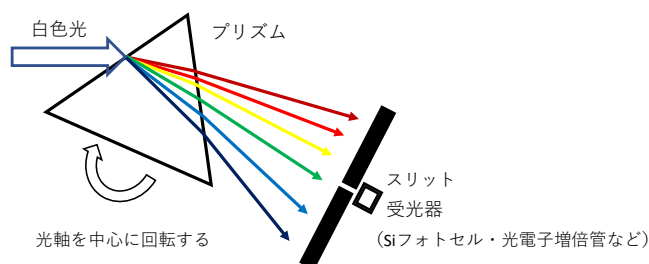


図55 プリズム使用のモノクロメーター方式による分光測色方法

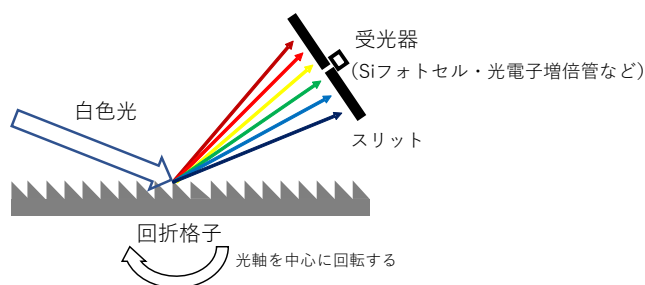


図56 回折格子使用のモノクロメーター方式による分光測色方法

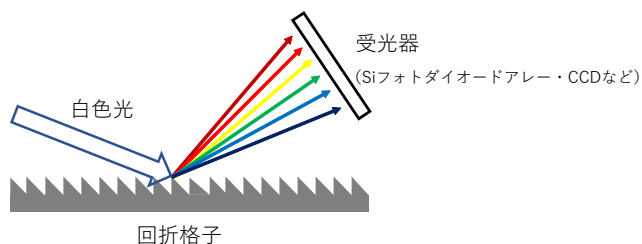


図57 回折格子使用のポリクロメーター方式による分光測色方法

分散原理の違いは、プリズムは波長により、材質の屈折率が異なることを利用しているのに対し、回折格子は規則正しい格子構造をもつ反射面により回折現象を利用している点である。分光測色方法には、モノクロメーターと呼ばれる、光を単色光に分解して波長を走査する機構（サインバーと呼ばれる）により波長毎の分光立体角反射（透過）率を測定する方式と、ポリクロメーターと呼ばれる、分散した光

をアレイ状の受光素子で一度に受光し、各素子の受光量から波長毎の分光立体角反射（透過）率を求める方式の2つがある。ポリクロメーター方式の分光測光器は、測定時間が極めて短いので、最近広く使用されている。その比較を表10に示す。

表10 モノクロメーター方式とポリクロメーター方式の比較

方式	モノクロメーター		ポリクロメーター
分散素子	プリズム	回折格子	回折格子
分散素子が受ける光	単色光	単色光	多色光
分散原理	波長の材質の屈折率の違い	規則正しい格子面を持つ回折	同左
測定波長範囲	広い	限定される	同左
光利用効率	高い (境界での反射や内部吸収が損失となるが、効率は高い。185～2500nmの波長範囲を一つで可能)	低い (同じ波長の光が高次光として分散する。プレーズ波長付近では効率が低い)	同左
測定時間	長い	瞬時	同左
受光器	Siフォトセル・光電子増倍管・光電管	同左	Siフォトダイオードアレー・CCD（電荷結合素子）
分解能	高い	低い (大きさによる)	同左
分散の温度依存性	大きい (温度により屈折率が変化する)	小さい (回折格子の変形のみ)	同左
分散の波長依存性	かなり異なる (紫外域では大きい、可視・赤外域では小さい)	ほぼ一定	同左
高次光	なし	あり	同左
迷光	少ない	多い (高次光、表面粗さによる、光学系内部の塵・埃、光学系内部面の反射)	同左
偏光	小さい	大きい	同左
光学系の大きさ	大型	小型	さらに小型

モノクロメーターでは、分光素子を2段にしたダブルモノクロメーター、3段にしたトリプルモノクロメーター等があるが、分解能は高くなるが出力が減じてくるので、注意する必要がある。一般的にモノクロメーター方式の分光測色方法は分解能に優れ、迷光を少なくできるという長所があるが、測定時間が長くなる。



ポリクロメーター方式の分光測色方法は瞬時に測定できる利点があるので、光源の分光放射照度測定には極めて便利であるが、分光測光器のもつ誤差には注意しなくていけない。分光測色方法では、表10の分光測光器の方式欄の各項目の違いによって測色値は左右されるので、その取扱には十分注意する必要がある。

分光測色方法については、以前は、分光測光器の性能が現在に比べて低かったので、NIST発行の波長校正用ディディミウム（ネオジウム）ガラスフィルターと分光光度計用パフォーマンスガラスフィルター（波長目盛、0%点、100%点、迷光の有無の確認）を測定確認していた²⁶⁾。JIS Z 8722:2009（色の測定方法－反射及び透過物体色）では、CIEに合わせ分光測光器の条件が記載されている²⁷⁾。

- ①波長範囲：一般に380～780nm
- ②有効波長幅：三刺激値の計算を5nmで行うときは、一般に 5 ± 1 nmとする。10nm間隔で行うときは、一般に 10 ± 2 nmとする。
- ③波長目盛：任意の呼び波長に設定したとき、その重心波長は呼び波長から1nm以内とする。
- ④測光目盛：測定値の $\pm 0.5\%$ とする。ただし、測定値が40%以下の時は絶対値で $\pm 0.2\%$ とする。ほぼ平坦な標準試料を繰り返して測定した平均値によって確かめる。
- ⑤繰返し性及び反復性：測定値の繰返し性は、その測定値の $\pm 0.2\%$ とする。ただし、測定値が50%以下の

時は絶対値で $\pm 0.1\%$ とする。また、同一の安定な物体色を、長時間経た後に同じ条件で測定した場合の反復性は、上記の繰返し性の3倍を超えてはならない。波長目盛については、特に赤のように急激に分光分布が変化する色の試料の場合、分光選択性による誤差が大きいため、重心波長は公称波長から1nm以内であることが求められる。スペクトルランプ（Hg、Cdランプなど）を用いて、狭い波長幅で輝線波長付近を細かく走査し、受光出力が最大になる波長を測定する。NIST分光光度計用パフォーマンスガラスフィルターから値付けしたガラスフィルター6枚を用いた測定結果を図58と表11に記す。

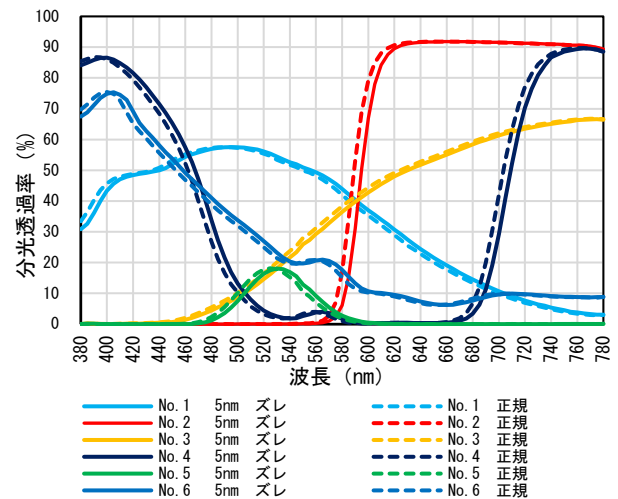


図58 ガラスフィルターの校正値と波長合わせがずれたときの測定結果

表11 ガラスフィルターの校正値と波長合わせがずれたときの測定結果

		X	Y	Z	x	y	ΔX	ΔY	ΔZ	Δx	Δy
No. 1	5nmズレ	40.47	47.22	62.35	0.2697	0.3147	1.11	1.15	-0.80	0.0048	0.0047
	正規	39.36	46.07	63.159	0.2649	0.3101	—	—	—	—	—
No. 2	5nmズレ	35.65	17.65	0.02	0.6686	0.3309	-4.58	-3.39	0.00	0.0123	-0.0123
	正規	40.23	21.04	0.03	0.6563	0.3432	—	—	—	—	—
No. 3	5nmズレ	31.48	28.00	2.42	0.5085	0.4523	-1.31	-1.72	-0.63	0.0084	-0.0010
	正規	32.79	29.73	3.05	0.5001	0.4534	—	—	—	—	—
No. 4	5nmズレ	13.72	5.28	68.74	0.1564	0.0601	0.89	0.72	5.14	-0.0021	0.0039
	正規	12.83	4.55	63.60	0.1585	0.0562	—	—	—	—	—
No. 5	5nmズレ	2.81	8.04	1.00	0.2372	0.6786	0.50	0.51	-0.40	0.0313	0.0087
	正規	2.31	7.53	1.40	0.2058	0.6698	—	—	—	—	—
No. 6	5nmズレ	21.66	20.79	61.46	0.2085	0.2001	1.12	1.06	2.83	0.0007	0.0006
	正規	20.55	19.73	58.63	0.2077	0.1995	—	—	—	—	—



図は、ガラスフィルター6枚の校正値と5nm長波長側へ波長合わせがずれたときの測定結果を示す。No.2の試料（赤）のようなシャープカットフィルターやNo.5（緑）のような550nm近辺にピークをもつフィルターの違いが大きく現れる。反射測定においても同様な傾向は現れるので、波長を合わせることは極めて重要である。JIS Z 8724:2020（色の測定方法）には、波長目盛が $\pm 1\text{nm}$ ずれると色度 x 、 y の値が0.002～0.003程度変動すると記載されている²⁸⁾。

波長幅については、スリットの有効幅、および試料の分光分布により生じる。有効波長幅は三刺激値を計算するときの波長間隔と等しくするのが望ましく、現在は5nm間隔で計算するときは $5 \pm 1\text{nm}$ で行われることが推薦されている。吸収による凹凸の激しい試料の分光立体角透過率分布を求めるときには、有効波長幅をさらに狭くする必要がある。

測光目盛については、検定された灰色フィルターを測定し確認する。測定値が40%以上の時は、その測定値の $\pm 0.5\%$ 以内、40%以下の時は絶対値でフルスケールの $\pm 0.2\%$ 以内であることが必要である。

迷光は分光測光器内で使用する光学部品（分散素子・レンズ・ミラーなど）についている埃や傷、光学系内面の反射などの光学的欠陥により生じる。特に回折格子で分散する場合は、多重回折・高次光による迷光を取り除かなくてはならない。ポリクロメーターにおいては、瞬時に全波長域の測光量を測定するので、迷光の影響を受ける可能性が高いので、十分注意する必要がある。

温度の影響については、分光測光器の設置されている場所の温度や試料の温度により、分光分布は変化することがある。一般的な傾向としては、分光分布が波長とともに高くなる場合は任意の波長における分光立体角反射（透過）率は温度が高くなるほど低くなり、分光反射（透過）率カーブの傾斜が大きいほど温度の影響は大きくなる。

5.3.2 完全拡散面の三刺激値

従来標準とされていた酸化マグネシウムの白色標準面の基準値は、前述（4.3項 反射率の標準）の過程で変更された。完全拡散面（白色）の分光立体角反射率（%）は、100.00と規定されたので、この値に標準のイルミナント又は補助標準イルミナント（4.2項 表7）とCIE 1931測色標準観測者（4.1.3項 表2）又はCIE 1964測色補助標準観測者の等色関数（4.1.4項 表3）を波長毎に乗じて、380～780nmの積和を求めれば、イルミナント別・視野別の完全拡散面のXYZ値が計算できる。表12に記す。

表12 イルミナント・視野別の完全拡散面のXYZ値

イルミナント	X	Y	Z	X_{10}	Y_{10}	Z_{10}
A	109.85	100.00	35.58	111.14	100.00	35.20
D ₆₅	95.04	100.00	108.88	94.81	100.00	107.32
C	98.07	100.00	118.22	97.29	100.00	116.14
D ₅₀	96.42	100.00	82.51	96.72	100.00	81.43
D ₅₅	95.68	100.00	92.14	95.80	100.00	90.93
D ₇₅	94.97	100.00	122.61	94.42	100.00	120.64

（次号へ続く）

【参考文献】

- 26) スガ試験機（株）技術資料 測色値の正確性について
- 27) JIS Z 8722:2009 色の測定方法—反射及び透過物体色
- 28) JIS Z 8724:2020（色の測定方法）