測色装置と調色計算装置の進歩

中 村 靖*・杉 山 春 夫*

1. 測色方式と装置

測色の方法は大きく分けて視感測色と光電測色に分けられる。さらに前者は標準色票との比較法と混合等色法に、後者は分光測色法と刺激値直読法に分けられる。色材関係（物体色）では比較法がよく用いられるが、正確さを目的とする場合は光電測色法を用いる。

1.1 比較法

標準色票との比較測色による方法は物体色の簡易測色に広く用いられている。この方法における注意点は

1. 照明，受光の幾何学的条件をはっきりしておく，
垂直照明—45°，または 45°—垂直 観察
拡散照明—垂直，または 45° 観察
2. 照明光には標準の光 C (6,774 K) から 5,000 K くらいの色温度で演色性のできるだけよい光源を用いる。これには自然光，標準白色光源（キセノンランプ）のほかに，色評価用純正色けい光ランプ（FL-40(20) S-W-EDL-50K）がある¹⁾。このランプは平均演色評価数：98 という高演色性を有し，印刷学会推奨規格に準拠しており，色物の観察に勝れている。演色評価数を表-1 に示す。
3. 標準色票と試料とは適当なマスクを用いて同面積にして比較する。マスクの色は N5，あまり試料が明るいときは白，暗い試料では黒を用いる。

1.2 分光測色法

分光特性から測色計算を行なう方法は物理的測色としては一番正確であり，合理的な方法である。しかし実際

には試料と，試料の使用条件その他により測定法も違って来る。たとえばマンセル表示されたペイント塗装の色見本板の保証期限が切れたが使えるか，と持ちこまれたとする。分光測色からマンセル値を求めると表示値と異なることがよくある。本当に色が変化したのか，値付けされた値が真値でなかったのか，値付け時の測定と照明受光条件が異なるのではないかと，判らない。この場合，JIS 標準色票を用い，比較法による値を求めるのが一番問題が起らないと考えるが，依頼者は不満そうな顔をする。測色を行なうにはどの測定器でどの条件で行なうか，を決めるのが測定者に課せられた一番の問題であって，それが決まればあとは装置を使ってだれにでもできる。

1.2.1 測光上の問題点²⁾

光沢のある反射試料の場合，入射光が試料表面で正反射をする成分がある。この反射光は色のつかない光であって，内部層に一旦入って拡散反射をする色光とは異なる。この反射成分を除いて測定するか，測りこむかにより分光反射率は異なり，光沢度と相関がある。これにより CIE および JIS では照明受光の条件を図-1 のように 4 種を規定している。

図-1 の I は拡散反射のみで，一番基本的な測光条件としている。これは 0°—45° 受光でも，その逆方向でもよい。II は正反射分を入射窓から逆にもどす方法で拡散分だけを測定する。しかし積分球の窓の大きさ，入射光のビーム角度，試料の平面性により，完全に正反射分を除くことがむづかしい。III は試料をかたむけて正反射成

表-1 色評価用ランプの演色評価数

ラ ン プ 種 類	基準光源 色 温 度	平均演色 評 価 数 R_a	特 殊 演 色 評 価 数								効 率 lm/W
			赤 R_9	黄 R_{10}	緑 R_{11}	青 R_{12}	肌色 R_{13}	木の葉 R_{14}	日本人 の肌色 R_{15}		
色評価用純正色 (FL- ₄₀ ²⁰ S-W-EDL-50K)	P 5100	98	90	95	98	95	98	98	97	55	

昭和 49.2.8 受理
Modern Trend of Colorimeter and Instrumental
Color-Matching

Yasushi NAKAMURA and Haruo SUGIYAMA

* 東芝総合研究所(株)
川崎市幸区小向東芝町 1 番地

図-1 分光測色における照明受光の条件

分まで測りこむ方法, IVは試料に拡散照明を行ない, 垂直受光を行なう方法, II'はキャップをはずすことによりIIの方法, はめることにより白壁ができてIIIの方法となる構造である。

この使い分けはたとえば垂直照明-45°直視の色物観察装置で見るときの比較標準用色紙とか, 昼光のようにあらゆるところから光が来る状態の所で眺めるとか, 試料の用い方により決めるのがよく, 前述の例では光電測色を行なうならば値付けをしたと同一条件で測色すべきである。しかし反射測定ではほとんど機器差がでると考えた方がよい。やはり視感比較によるのがよいかも知れない。

半透過試料の反射を測る場合背面光の処理が問題となる。背面に白紙または黒紙を重ねるか, 同一試料を2~3枚重ねるか, 暗箱を背面において完全吸収させるか, これらはやはり試料の使用目的により決めるべきである。

透過測定においても平行透過体は問題はないが, 拡散する試料では積分球を用い, その入射窓に接してとりつけ, 拡散透過光を全部集めなければならない。しかしこうして測定した結果がそのまま使えないときがある。なぜなら短波長と長波長で屈折が異なるため, 拡散体, とくに乳白ガラスなど, 使用状況によっては無意味なデー

タとなることもある。

1.2.2 標準

分光反射の標準としては JIS Z 8722 でも MgO 煙着面を用いることになっているが, 実用面では純度のよい MgO の粉末または硫酸バリウムの粉末がよく使われている。たとえば, われわれは超高純度, 試薬特級の MgO を圧着して好結果を得ている。

CIE では反射の標準として完全反射, 完全拡散の面を勧告している (1969 年)。しかし標準面の絶対反射率で目盛り校正をする必要があるためあまり実用されていない³⁾。

測色用の標準の光はこれまで A, B, C の三種であったが 1963 年 CIE の勧告として D₆₅ が追加された。これは色温度約 6,504 K の昼光の一樣相に相当するもので, CIE 合成昼光の算出式によって求められる。

1.2.3 最近の装置の進歩

分光光度計における最近の進歩には, 回折格子の多用化, 受光器の高性能化, 測色計算のデジタル化があげられよう。

分光素子として回折格子はまえから使われてはいたが製作が精密技術を要するためプリズム形が多かった。最近では製作技術の向上のためか回折格子形が断然増え, 低価格形分光光度計はほとんどこの形になった。この分光素子は等間隔波長目盛, 等波長幅のために製作の容易化と使いやすいという利点があるが, 高次の光が出ると, 迷光の多いのが欠点で, 製作上注意を要する。理想的には回折格子とプリズムの組み合わせがよく, Cary No. 14 形および島津 D 40 形などがある。

分光光度計用の可視域における受光器は, ほとんど光電子増倍管となっているが, 測色用としては可視域全域に感度を必要とするため, S4 (アンチモンセシウム) から S10 (ビスマス銀セシウム) へ, さらに S20 (マルチアルカリ) の光電面の光電子増倍管が使われ初めている。これにより 380~780 nm 付近まで受光器の交換なしに測定が可能となっている。

測色計算のためには分光反射率曲線から各波長ごとの反射率を読みとり, 照明光とスペクトル三刺激値を掛けて和をとるという積分計算が必要であるが, 従来はこれが手計算で行なわれていた。自動測色としては東芝カラーコンピュータ⁴⁾の選定波長法による計数形測色計算, 日立 EPR-2 形の機械的アナログ計算機による測色計算どがあったが現在は廃止され, 代って分光光度計の出力なを卓上計算機やミニコンに接続でき, 色度計算まで測定と同時にこなうことが可能という組み合わせ形の構成のものが発表されている。

図-2 測色用分光光度計の構成

この形式のものは図-2 に示すように分光器—受光器—記録計の組み合わせに A—D 変換器が装着され、デジタル計算を行なう。これらは積分球により照明受光条件のⅡおよびⅢを満足し、測色用と称しているものもある。また簡易形分光光度計に自動送り装置と A—D 変換器を装着し、電卓を接続した報告⁵⁾もある。少量の試料でもっとも手軽に分光測色を行なうには、手動形分光光度計にデジタル電圧計を組み合わせたもので波長ごとの測光値をプリンタに記録し、カードにパンチして計算させるのがよい。

ここで注意することは自動送りの場合の A—D 変換器の応答性であって、光出力の変化に正確に計測できる高速形でなくてはならない。しかし高速形は三桁までがせいぜいで、光電子増倍管の熱雑音などにより正確さが落ちるため、精密分光測光には測定波長で一旦止めて時間積分の測定を行なう方法が、分光放射測光（光源用）の分野では用いられている^{6,7)}。

1.3 刺激値直読形測色法

三刺激値を簡単に求めるには、 $\bar{x}_\lambda$, $\bar{y}_\lambda$, $\bar{z}_\lambda$ にそれぞれ一致する分光感度を持った受光器を用意し、光電出力を求めればよい。このように受光器の分光感度をスペクトル三刺激値に合わせることをルータ条件に合わせるといい、これによく近似させることは、この形の色彩計にとって一番重要なことである。しかし、完全に合うことは不可能なので色補正（色彩計を測定の色に近い標準板で校正するか、色補正係数をかける）の必要がある。

この方法にも物体色用と光源色用とがあり、物体色用はルータフィルタが A 光照明で C 光測色ができるように組み合わせてあるが、光源色用は分光感度がスペクトル三刺激値に合わせてある。測色方法の分類として $\bar{x}_\lambda$ を

$\bar{x}_{1\lambda}$ と $\bar{x}_{2\lambda}$ に分割し、 $\bar{x}_{1\lambda} \doteq K \bar{z}_\lambda$ において、 X_2 , Y , Z を測定し

$$x = (X_2 + kz) / (X_2 + kz) + Y + Z$$

$$y = Y / (X_2 + kz) + Y + Z$$

と求める三素子式と、 X_1 X_2 Y Z を求め

$$x = (X_1 + X_2) / (X_1 + X_2) + Y + Z,$$

$$y = Y / (X_1 + X_2) + Y + Z$$

を求める四素子式のほか、 $X + Y + Z = S$ とし、 $S = S_1 + S_2$, $S_{1\lambda} \doteq kz$ として

$$y = Y / (S_2 + kz), \quad z = Z / (S_2 + kz), \quad x = 1 - y - z$$

を求める $\bar{S}$ 三素子式がある。

刺激値直読形色彩計用受光器はほとんどセレン光電池であったが最近シリコンブルーセルや、ペンダイオードに移行しつつあり信頼度が高くなっている。一方半導体受光器は近赤外に感度が多いのでルータフィルタの設計がむづかしい。光電子増倍管を用いたものは高感度、高信頼性のものとして市場に出ている。

ルータフィルタの設計に電子計算機を用いて行なうことも行なわれている。われわれはマルチアルカリの光電子増倍管に組み合わせるルータフィルタを図-3 のように測色結果をフィードバックさせて設計している。すな

図-3 ルータフィルタ設計のフローチャート

わち、材料の色フィルタ、試験光とするための色フィルタ、試験用ランプなどのデータを読み、材料フィルタを受光器に組み合わせて試験光を測色し、誤差が多いと材料フィルタの肉厚を変えて測色し、これを繰り返して材料フィルタの最良のガラス肉厚を求める方法である。この設計方法は東芝色彩輝度計 BM-2 に導入し、実用して好結果を得ている。またけい光ランプの管理用色彩計のルータフィルタ設計にも実用し報告した⁸⁾。

2. 調色計算の理論的背景

測色装置で得られるデータは分光反射率あるいは三刺激値であるが、調色計算の最終的な解は色材（染料・顔料）の混合濃度値として与えられなければならない。したがって調色計算のためには両者を結び付ける関係式が不可欠であって、個々の対象に応じて様々な理論式・実験式が発表されている。最も一般的に使用されている関係式は着色層中に光の散乱係数（ S ）と吸収係数（ K ）を想定した二定数理論であり、次の三つの式に要約される^{9,10,12)}（図-4 参照）。

$$K/S = \frac{(1-R_\infty)^2}{2R_\infty} \quad (1)$$

$$(K/S)_M = \frac{C_1 K_1 + C_2 K_2 + \dots + C_q K_q + K_W}{C_1 S_1 + C_2 S_2 + \dots + C_q S_q + S_W} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} &= C_1 (K/S)_1 + C_2 (K/S)_2 + \dots \\ &\dots C_q (K/S)_q + (K/S)_W \end{aligned} \quad (2')$$

$$R_\infty = (R_0 - \rho_1) / \{ (1 - \rho_1) - \rho_2 (1 - R_0) \} \quad (3)$$

ただし R_∞ : 固有反射率

R_0 : 反射率測定値

ρ_1, ρ_2 : 界面反射率

K, S : 吸収係数, 散乱係数

C_i : i 番目色材の濃度

K_W, S_W : 白色色材あるいは下地布の K, S 値

$(K/S)_W$: $1 \sim q$ の色材を混合した時の (K/S) 値

式(1)はクペルカムンクにより導かれた式で二定数と固有反射率との関係を示し、式(2)は色材を混合した場

合の色材定数（ K, S ）の相加性を示し、式(3)は測定された反射率値と固有反射率との関係を示す。

二定数理論には少なからず近似や仮定が含まれ実際の場合と比較して必ずしも十分とは言えず、クペルカムンク以後もさらに理論的に厳密な関係式が発表され、多数の色材定数を仮定して解析したものや着色層の不均一状態をも解析の対象としたものなどがみられるが^{11,13,14,15)}、今日まで実用になっているほとんどの調色計算装置は、上記の三つの式あるいは、それをモディファイした関係式が使用されている。理論式の制約にもかかわらず、これらの式が応用されている理由は理論式の簡明さと実用上での便利さに大きな原因がある。多くの定数を仮定し、より厳密な理論式が導かれたとしても、これらの定数の値を具体的な数値として求める手段がなかったり、あるいは、その手段が非常に煩雑であったりすれば、実用性が著しくそこなわれてしまう。が、上記三つの式は分光反射率値さえ求めれば必要な定数値が定まり、定数相互には線形な加法性が成立するため等色方程式に容易に結び付けられる等、実用上大変便利な関係式である。

理論的により厳密な式が実用されない。いま一つの原因は着色過程の再現性をあげることができる。染色に例をとると、同一名柄の染料でもロット差による差異は大なり小なり存在するし、また繊維素材についても、たとえば羊毛について言えば産地や収穫時期などの差による染着状態の差は無視できないものがある。染色に限らず一般に調色を必要とする分野では、とうてい理論式に盛り込めない様なファクターが多く、厳密な理論式の適用を困難にしている。

二定数理論は制約も多く調色計算に必要十分とは言えないが、必要最小限の事は言い当てており染色、ペイント、プラスチック等の分野で広く実用されている^{12,21,28)}。個々の分野で対象に応じてモディファイされた式や実験的に導かれた式などについては、ここで述べてくれないのでそれぞれの文献をご覧いただきたい¹⁶⁻²¹⁾。

理論的、実験的に追求を深めて精度の高い調色計算を行なう努力がなされる一方で、調色計算装置を単なる処方計算だけでなく、色材コストの低減や着色物の品質管理の面においても有効に活用しようとする傾向が最近強い。経験にたよる調色では、どうしてもなじみの深い色材を使用しがちであり、種々の色材組み合わせを検討し最も安価な色材を使用する事は相当困難であるが、調色計算機を使用すれば、等色が許容範囲内に入りしかも価格が最も安い色材組み合わせを容易に見いだす事が

図-4 単純化した着色層のモデル

図-5 分光反射率による色の数値化と三刺激値による数値化の概念図 ($R_S \neq R_M$ の時 $X_S = X_M$ であれば条件等色)

できる。

人間が視感的に調色処理を行なう場合、条件等色（メタメリズム：ある照明光の下では色が一致して見えるが、他の照明光の下では大きい差が見える現象）が問題になり、品質管理面での大きなやみである。一般に調色計算装置は分光反射値レベルでの数値計算を行なっているため、種々の照明光源のデータを計算機内に記憶しておきさえすれば、ある一つの等色が他の照明下でどの程度ずれるか容易に予測する事ができる。

この様に調色計算装置を単なる処方計算だけでなく、色材コストの問題や品質管理の面などにも活用して、はじめて実用上大きい効果が得られると言えよう。

等色計算式は分光反射率の一致を考える方式（分光分布一致方式）と三刺激値（ X, Y, Z ）の一致を考える方式（三刺激値一致方式）が基本になる方式で、これは図-5に示すように色を数量化する基本的な二つの方法に対応するものである。計算の便宜や個々の欠点を補う目的で、簡略法や両者を組み合わせた方法も使用されている。

デジタル計算機の普及にともない、カラーマッチング関係の問題にもベクトル解析手法が多く使用されるようになった。色情報を多数（16点～32点）のサンプリング値からなる分光反射率値ベクトルと考える時、ベクトル手法の応用は非常に便利である。この手法を使用して上記の二方式を記述すると、以下の様に非常に簡潔に示され、かつ計算機プログラム化が非常に容易である²²⁻²⁴⁾。

○分光分布一致方式

この方式は可視波長範囲を 10nm 間隔あるいは 20nm 間隔でサンプリングした分光反射率値の一致を求めるものであるから、変換関数としてクベルカ・ムンク式（式（1））を使用すれば方程式は次の様に表わされる。

$$A \cdot C + F_W = F_S \quad (4)$$

ただし F_S ：ターゲット色の K/S 値ベクトル（ n 行）

F_W ：下地あるいは白色色材の K/S 値ベクトル（ n 行）

C ：色材の混合濃度ベクトル（ q 行）

A ：色材の K/S 値勾配マトリックス（ n 行 q 列）

n は波長軸上でのサンプリング点数、

q は混合色材数

式（4）でマトリックス A の行と列の次元が一般に異なるため、最小二乗近似で解 C （処方）を求めると

$$C = \{(G \cdot A)^t \cdot G \cdot A\}^{-1} \cdot (G \cdot A)^t \cdot G \cdot (F_S - F_W) \quad (5)$$

ただし、 G ：最小二乗近似の重み函数マトリックス

（ n 行 n 列・対角）

t ：転置行列

G は完全な分光分布一致が得られない時、視感的に重要な波長域に一致計算の重みを加える事により、視感的な一致効果を高めるのに効果がある。

式（4）は各色材の K/S 値が濃度 C に対し完全に線形であると考えて成立する式であって、ほとんどの色材は高濃度域で飽和状態になるなど十分に線形とは言えないが、この点に関しては勾配マトリックス A を 4～6 点の折線近似で表現する事により改善される。

○三刺激値一致方式とその簡便法

三刺激値一致方式は所定の照明条件下での三刺激値（ X, Y, Z ）の一致を考える方法であるが、三刺激値と色材濃度は線形な関係にないので、逐次近似計算を行なう必要がある。この計算式は次の様に表わされる。

$$T \cdot E \cdot D \cdot (A \cdot C_1 + F_W) = T \cdot E \cdot D \cdot F_S \quad (6)$$

$$T \cdot E \cdot D \cdot A \cdot \Delta C_i = X_S - X_{Mi} \quad i=1, 2, 3, \dots \quad (7)$$

$$C_{i+1} = C_i + \Delta C_i \quad (8)$$

ただし、 T ：CIE スペクトル三刺激値マトリックス

（3 行 n 列）

E ：照明光源の分光放射強度マトリックス

（ n 行 n 列、対角）

D ：微係数（ $dR/d(K/S)$ ）マトリックス

（ n 行 n 列対角）

X_S ：ターゲット色の三刺激値ベクトル（3 行）

X_{Mi} ：処方 C_i で得られる色の三刺激値ベクトル

A, F_W, F_S, C の意味と次元は式（4）の場合と同じ式（6）で最初の近似解 C_1 を求め、濃度 C_1 で定まる三刺激値 X_{M1} を計算した後に、式（7）で補正濃度値 ΔC_1 を求める。次に式（8）で二次近似解を C_2 求め、 X_{M2} を計算した後に式（7）で補正濃度値 ΔC_2 を求め、以下同様の計算を繰り返す。通常 3～5 回の繰り返し計算で解は十分に収束する。

三刺激値一致方式はこの様に繰返し計算が必要で計算に時間もかかるが、これに対して濃度刺激値一致法とも言うべき簡便法が考えられている。三刺激値 X は

$$X = k \cdot T \cdot E \cdot R \quad (9)$$

ただし、 R : 分光反射率値ベクトル (n 行)

k : 定数

と定義されるのに対し、濃度刺激値 Q を

$$Q = k \cdot T \cdot E \cdot F \quad (10)$$

ただし、 $F: K/S$ 値ベクトル (n 行)

Q : 濃度刺激値ベクトル (3 行)

と定義し、ベクトル Q の一致を考えるもので、この場合計算ステップ数は大幅に少なくなる。ただし Q の一致は必ずしも視感的な色の一致を意味しないから、メタメリズムの大きい場合には使用できない。

以上二つの基本的な方式について述べたが、それぞれ一長一短であって両者を結合させた等色計算方法も実用上意味を持っている。最小メタメリズム法と呼ばれる方法はこの考えによるもので²⁵⁾、これは三刺激値差がゼロ ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z = 0$) の付帯条件の下で、 $D = \sum (R_{Mj} - R_{Sj})^2$ を最小化しようとする方法で、等色方程式は次の様に示される。

$$\begin{cases} \partial F / \partial C_i = 0 & i = 1 \sim q \quad (q: \text{混合色材数}) \\ \Delta X = \Delta Y = \Delta Z = 0 \end{cases} \quad (11)$$

ただし、 $F = D + k_1 \Delta X + k_2 \Delta Y + k_3 \Delta Z$

k_1, k_2, k_3 : 乗数

$$D = \sum_{j=1}^n (R_{Mj} - R_{Sj})^2: R_M, R_S \text{ はマッティング色とターゲット色の反射率}$$

この方法は混合する色材数が多い場合に有効である。またこの方法はデジタル計算を通じて一般に良く使われる最適化手法の応用例と見る事ができる。

調色計算は複雑で量の多い数値計算が主体となるため、以上述べたほかにも多くの点でデジタル計算機手法が応用されている²⁶⁾。

3. 調色計算装置と小型計算機

調色計算装置は測色装置と計算機の組み合わせで構成されるが、実用に至った初期のころは現在のようにデジタル計算機が進歩しておらず、その価格も測色機と比較して著しく高いものであったため、もっぱらアナログ計算機が応用された。COMIC-1 型などのアナログ計算機を応用した装置は^{27,28)}、調色計算の理論を単なる理論に終らせることなく実用に至らしめた点で意義が深い。アナログ計算式の装置では、CRT 上に表示される反射率偏差 ($\Delta R_i = R_{Si} - R_{Mi}$) を最小にするように、手動で解を求める必要があるが、これに学習機械の手法を応用す

図-6 抄紙機におけるオンライン色制御のブロック図

図-7 オンライン色制御の応答特性例

れば式(5)に示すような最小二乗近似解が自動的に求まり、処理速度や計算精度の面で好結果が得られるなど、種々の発展・改良がなされて来た^{29,30)}。

最近のデジタル計算機の進歩にともない、一部の調色計算装置を除いてデジタル計算機の適用が多くなった。しかし着色工程のオンライン制御のように、単能機的使用にはアナログ計算式の装置が好んで使用されている。図-6 は抄紙機におけるオンライン・カラーマッティングのブロック図例である³¹⁾。この例では紙原料に二つの染料が添加され、抄紙機から出てきた紙は測色器で測定されてデータは計算機に送られる。計算機は測定された値 (a , b) と設定値の偏差 (Δa , Δb) から制御量 (ΔC_1 , ΔC_2) を計算し、添加される染料の量を調節している。図-7 は b の設定値をゼロ分時に一定量変更した時の過渡応答特性を示す図である。約 90 秒の不感応帯を経た後、時定数約 60 秒で制御系は応答している。変化が検出されてから定常に達するまで 5 分程度の時間を要しているが、オンライン・カラー制御の場合には色のマッティング精度だけでなく、制御系の応答速度も重要な関心事となる。

この実施例で使用された測定器はハンター色彩計 (ハンター・ユニット L, a, b の測定) であり、オンライン制御を考慮して測定器のキャリブレーションは 30 分間

表-2 アナログ計算機とデジタル計算機の項目別比較

	アナログ計算機	デジタル計算機
入力の形	物理量	符号
出力の形	曲線 (ペンレコーダなど)	数字, 文字, 図形
精度	0.01% が限度	任意
価格	安価	高価 (価格の幅が広い)
演算速度	同時的	逐次的
記憶	ほとんどなし	1kワード～ 10,000kワード
平均故障間隔	約 100,000H	約 10,000H
プログラミング	ほとんど不要	必要
能力	単能形	汎用形
拡張性	小さい	大きい

隔で自動的に実施されている。計算機はアナログ式の計算機であって、入出力関係は、

$$\Delta T = \begin{bmatrix} \Delta a \\ \Delta b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta C_1 \\ \Delta C_2 \end{bmatrix} = \mathbf{A} \cdot \Delta \mathbf{C} \quad (12)$$

であるから計算機の演算内容は $\mathbf{A}^{-1} \cdot \Delta \mathbf{T}$ となる。 $\mathbf{A}^{-1}$ の各コンポーネントの値は、取扱う染料に応じてあらかじめ計算機に設定される。このような簡単に単能的な演算は専用に設計されたアナログ演算器を使用すれば、非常に低コストで目的が達せられる。

調色制御に限らずアナログ計算器は主として制御用に使われる傾向が強いが、アナログ計算器とデジタル計算機を項目別に比較すると表-2 となる。

この表からも明らかなように、主として価格の問題を除くとデジタル計算機の方が色々の面で調色計算装置に好都合であると言える。

最近のデジタル計算機機著しい進歩と、価格の安い超小形計算機などの出現にともなって、調色計算装置にも主としてデジタル式の計算機が使用されるようになった。調色計算に使用されるデジタル計算機と言っても、特別の計算機が使用されるわけではなく、いわゆるプログラム内蔵方式の汎用デジタル計算機に調色計算用のソフト・ウェアを加え、測色装置と組み合わせて装置が構成されている。その意味では調色計算装置と呼ぶより、調色計算システムと呼ぶ方がふさわしいであろう。

デジタル計算機も多種多様であって、調色計算サイドから見た適・不適を挙げると、

○調色計算は調色現場と密接に關係して迅速に処理されなければならない。この事は測色装置と計算機をオンラインで結ぶなどして、計算機を調色関係専用にする

事が望ましいと言え、価格の低い超小形計算機（いわゆるミニ・コンピュータなど）が適している。

○調色計算は前に述べたように数値計算が中心で、その内容も比較的複雑で数値計算量も相当多い。数値計算スピードの遅い計算機で調色計算処理を行なうと、一つの調色計算に数十分～1時間もかかる事も起こり得て、実用上大きな支障になる。この点から見て数値計算のスピードは実用性に合うものが望まれ、具体的には浮動小数点乗除算がハード・ウェアで実行可能であれば十分である。

○調色計算関係のプログラムは比較的複雑であるから、計算プログラムのためにかなりの記憶容量（8kワード以上）が必要である。また調色計算には色材定数の記憶が不可欠であって、一色材あたりに150ワード程度で最低5kワードは必要となる。色材定数の記憶に必要なメモリーは装置を使うにつれて増加する傾向にあるから、ドラムやディスクなどサブメモリーによる記憶容量の拡張性が望まれる、等である。測色装置と価格面で大差のない超小形計算機やミニコンの中にも、上記の要求を十分満たすものが得られるようになっており、また最近ではミニ・コンより格段に低コストのマイクロ・コンピュータが実用段階に入るなど、デジタル計算機の小形化・低価格化はとどまる所を知らず、調色計算装置にも増々デジタル計算機が適用しやすくなっている。

デジタル計算機を使用した調色計算装置は、計算機の汎用性をいかして多様な機能を持たせ得る事や、また測色器や入出力装置をオンラインで結び操作性の良い装置が構成できる点に大きいメリットがある。

調色計算装置用に設計された測色装置と、デジタル

図-8 デジタル計算機を使用した調色計算装置のブロック図（東芝 CMS-101 の場合）

図-9 デジタル計算機を使用した調色計算装置の調色計算処理概略フロー図 (東芝 CMS-101 の場合)

計算機をオンラインで結び構成した調色計算装置例をブロック図で図-8 に示す³²⁾。この装置は測色装置 (可視波長域 400nm~700nm, 20nm 間隔の 16 点の分光反射率測定), 調色計算用操作パネル (ソフト機能の選択スイッチ, 色材指定スイッチなど), デジタル計算機 (コアメモリ 8k ワード, ドラムメモリ 8k ワード), 標準入出力装置 (タイプライタ, テープリーダ, テープパンチャ) で構成されている。測色器の取り扱いで一番やっかいなキャリブレーション (0%, 100% 合わせ) は計算機を通じて自動的に行なわれ, 計算機操作で煩雑なソフト機能の選択や記憶装置内の色材指定はすべて操作パネル上のスイッチを通じて処置できるなど, 測色器や計算機の専門的な知識がなくても容易に扱える非常に操作性の良い装置となっている。図-9 はソフト機能の概容を示す計算機プログラムの概略フローチャートであるが, 通常の処方計算 (第一処方計算, 補正処方計算) のほかに色材コストを評価基準とした最適色材組み合わせの抽出, 多数の照明光下での色差の推定計算, 通常の測色計算などが実行可能となっている。

この例に見られるようにデジタル計算機を応用した調色計算装置では, 操作性を良くし調色現場での実用性を高めるとともに, 単なる調色計算以外にも色材コストの低減や着色物の品質管理の面での利用が可能になり, 投資効率の高い装置が具体化されている。

参考文献

- 1) 花田, 杉山ほか: 東芝レビュー, 23, 513 (1968)
- 2) JIS Z 8722, 17, 日本規格協会

- 3) CIE 公式勧告集, No. 15 (E. 131), 1971.
- 4) 東, 森, 新倉: 照学誌, 46, 370 (1962)
- 5) 福田, 岡崎ほか: 島津評論, 30, 105 (1973)
- 6) 栗岡, 納谷ほか: 照学誌, 55, 11 (1971)
- 7) 杉山, 田中ほか: 東芝レビュー, 28, 950 (1973)
- 8) 杉山, 森ほか: 照学全国大会 (昭 45)
- 9) D. R. Duncan: The Color of Pigment Mixtures P. Physical Society, 42, 390 (1940)
- 10) P. Kubelka: New Contribution to the Optics of Intensely Light-Scattering Materials. Part I, J. O. S. A., 38, 448 (1948)
- 11) P. Kubelka: New Contribution to the Optics of Intensely Light-Scattering Materials. Part II, J. O. S. A., 44, 329 (1954)
- 12) J. L. Saunderson: Calculation of the Color Pigmented Plastics, J. O. S. A., 32, 727 (1942)
- 13) S. Q. Duntley: The Optical Properties of Diffusing Materials, J. O. S. A., 32, 61 (1942)
- 14) S. E. Orchard: Reflection and Transmission of Light by Diffusing Suspensions, J. O. S. A., 59, 1584 (1969)
- 15) T. P. Lin and K. A. Kau: Calculation of Reflectance of a Light Diffuser with Nonuniform Absorption, J. O. S. A., 60, 1252 (1970)
- 16) H. R. Davidson: Prediction of the Color of Fiber Blends, J. O. S. A., 55, 96 (1965)
- 17) D. G. Nickols: Precision of Determination of K/M Coefficients from Opaque Colorant, J. O. S. A., 55, 162 (1965)
- 18) T. Vickerstoff: A Computed Color Catalogue of Fiber Blends, J. S. D. C., 79, 604 (1963)
- 19) 村田, 今田, 中塚: 複合繊維染色のコンピュータカラーマッチング, 加工技術, 8, 1 (1973)
- 20) Y. Nakamura, M. Imooka and L. Mori: A New System of Instrumental Color-Matching and It's Application to Mixed-Yarn, JCIE Symposium, 1973, 18 (1973)
- 21) S. Minato, Y. Emori and I. Tsukada: Practical Application of K-M two-constant Theory for Color-Mixture, ACTA CHROMATICA, 5, 12 (1967)
- 22) E. Allen: Matrix Algebra for Colorimetrists, Color Engineering, 4, 24 (1966)
- 23) P. H. McGinnis: Spectrophotometric Color Matching with the Least Squares Technique, Color Engineering, 6, 12 (1967)
- 24) J. V. Alderson: Modern Physical Techniques in Color Formulation, J. S. D. C., 77, 657 (1961)
- 25) T. Bridgeman: The Color Matching, Die Farbe, 17, 114 (1968)
- 26) U. Gugerli: The Gradient Method—A Contribution to Metameric Color Formulation, J. S. D. C., 79, 637 (1963)
- 27) H. R. Davidson and H. Hemmendinger: A Colo-

- rant Mixture Computer, *J. O. S. A.*, 48, 230 (1958)
- 28) H. R. Davidson and H. Hemmendinger: A System of Instrumental Color Control for the Tertile Industry, *J. S. D. C.*, 79, 577 (1963)
- 29) A. E. Cutler: A New Colour-matching Computer, *J. S. D. C.*, 12, 601 (1965)
- 30) 永野, 大照: 学習機構を用いた自動色合せ計算機, 計測と制御, 11, 782 (1967)
- 31) H. H. Chao: The Development of Dynamic Color-Control on a Paper Machine, *Automatica*, 6, 5 (1971)
- 32) 芋田, 中村, 千葉: 東芝カラーマッピング・システム CMS-101 形, 東芝レビュー, 26, 1263 (1971)

塗料物性研究会の近況だより

桐 生 春 雄*

色材協会の専門研究会である塗料物性研究会も本年2月で第178回を迎えました。定例の例例例会が年平均11回ですから、約16年の歳月を経て続いていることになります。例会の講演要旨については、色材協会誌に掲載してありますので会員の皆様もご覧になっておられることと思います。

本研究会は、かつて本誌の編集委員長をやっておられた(故)井上幸彦東京工大教授が創始されたことは、ご存知のことと思いますが、ユニークな着想で、顔料・塗料・印刷インキ分野の多成分系の解析など、学問的に進められたことはなお記憶に新たなものがあります。

塗料物性研究会のメンバーも現在では余名の熱心な方々で毎月例会が行なわれ、ますます発展的に運営されていることは誠に同慶にたえません。また、海外から来日の外人の方々も、Dr. Meyers (米, Kent State University, Paint Research Institute 研究担当理事) Dr. Solomon (オーストラリア, CRS 主任研究スタッフ) および Dr. Beckwith (米, Federation of Societies for Paint Technology, 理事) などの特別講演もこの二年間に行なわれました。

最近、白油危機やエネルギー問題など、一方では日本列島に広がる環境汚染の問題など、1970年代は騒然としております。いずれも世界的に共通する諸問題であり、私共の携わる顔料・塗料・印刷インキの分野も例外ではありません。これらを考えますと、これからは国際的な協力と交流を積極的に目ざし、相互援助(ギブ・アンド・テーク)による問題の解決が大切かと思ひます。

この度、新会長として目黒先生(東京理科大学教授)にバトンタッチさせて頂いたのを折に、二、三近況をと

あえて拙筆をとりました。

1. 研究会テーマについて

塗料物性研究会は、本来研究会でありますので、テーマをきめて、そのテーマについて話し、互いに討議するのが一つの在り方ですが、同時に研究過程での失敗した手法や、測定苦心の状態——ある意味では、その過程では流動的ではあるが新しい何ものかを包含する——発表などもテーマとしては、大変貴重なものと考えます。このような項目について、少し掘り下げて討議した日本油脂の田中丈之さんの層間付着の評価法や大日本塗料の豊田常彦さんの付着性の評価など、いずれも物性研究室をつくって差し上げたい程のレベルの高い貴重な成果だと思ひました。ここに、二氏の着想に敬意を表する次第であります。このほか、本年色材協会賞をとられた関西ペイントの佐藤忠明さんのシリコンの色分け防止メカニズムの解析、畑敏雄先生の表面張力と界面張力の解析など、物性研論文集を作ったらどうかと感じました。

2. 研究会運営の資金計画について

企業と異なり研究会は本来資金計画は関係がないとお考えの向きもあろうかと思いますが、研究会を開くためには、第一に会場費、発表する資料のコピー代、講師の交通費、謝礼などどれ一つをとってみてもタダではすみません。これらは主として研究会費でまかなっているわけですが、近ごろのようにインフレの世の中では常に支出増に追われるのが普通です。色材協会からの援助資金も年間3万円から5万円に1昨年から増やして頂き本当に助かりました。これは運営幹事の実感でした。このほか、いくつかの会社で何人も会費として参加して頂き、数通りの会費を頂いていることや、外人を特別講師として招くための会社関係からの特別寄金などはとても

* 前塗料物性研究会委員長