

工業に於ける色の管理に就いて

角野正夫*

Colour Control in Industries

By Masao Sumino

Central Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

Abstract

In this article, the writer treats first of several problems in colours related to the control of industrial processes, or definitions of the control of machine finishing. Then, introducing theories concerning colour difference and the methods for the measuring of it, he describes new type recording spectrophotometer designed on the flicker method the writer and his coworkers developed. At the end, the mention is made as regards the simplified methods of the inspection of the colours suited to the industrial control and the possibility of developing far more simplified method of inspection is touched.

〔I〕 緒 言

最近製造工業界に於ても色彩に関する関心が急激に高まりつつあるが、関心の焦点を二大別すると次のようになる。一つは設計に関する問題で、他の一つは管理に関する問題である。

色の設計に関する問題としては

(1) 蛍光灯にどのような蛍光物質を使用すれば、用途に応じ最も経済的に明るく且つ感じのよい照明が得られるか。(蛍光灯の演色性の問題)

(2) 出来るだけ多くの色を再現するには、どのような原色材料を用いれば良いか。

(多色刷印刷、天然色フィルム、テレビ等の問題)

(3) 作業環境をどのように配色すれば安全衛生作業能率等が増進できるか。(カラーコンディショニング)

(4) 商品をどんな色にすれば良く売れるか。

等々をあげることができる。このうち(1)、(2)は比較的物理学的要素の多い問題で計測による定量的な取扱いが行われている。

色の管理に関する問題は、設計仕様書と一致したものを製造することが本旨であるから、

(1) 色彩を設計仕様書に表示する様式

(2) 原料検収並びに管理法

(3) 作業管理法

(4) 製品検査法

等に帰着する。従来色の研究は色の設計に関する問題に多くの発表がなされているが、本報告に於ては塗装を中心として製造工程の管理に関連ある色彩関係の諸事項を記述してみたい。

塗装面の色はこれに対する照明状態と塗装面の物理的性質並びにその周囲の状況、眼の性質並びに位置等により大略きまってくる。塗装面製作の管理の立場からはこれらの各種条件にかかわらず塗装面だけを同一仕様書で製作したものと交換しても色が変わったように感じなければよいのである。このためには製作された塗装面の物理的性質がどのような公差内に再成されていれば実用上差支えないかということ、並びにそれをどうして計測するかということが管理的立場からみた測色学の主要問題である。

塗装面の色に関連ある物理的性質は

(1) 光 沢 (2) 拡散分光反射率

の二つに分離して考えるのが合理的である。前者は主として「つや」感覚に関連し、後者は「つや」無しの状態に於ける色感覚に関連する。一般の状態では塗装面を観察するとき、前者による要素は照明の配光状態並びに眼の位置等により複雑に変化して後者に重畳する。それでこの二者を分離して計測しなければ妥当な判断は容易で無い。

光沢の計測には光沢度計を適用するのが普通である。普通の塗料ではつや出しの場合で入射光の数パーセントを整反射してつや感覚の原因となっている。

* 日立製作所中央研究所

拡散分光反射率が原因となつて発生する種類の色感覚を普通に「色」と称して、色彩論では専らこれに就いて議論が進められている。我々も以下この意味の色に就いて考えてゆきたい。

一般の色彩論で考えられている品物の色はこの品物を特定の照明（C照明）の下で見たときの色に就いてある。これによつて塗装面と色とは一対一対応するから、上述の色の設計という立場の研究には便利であるが、我々色の管理の立場からは不適當である。例えば第1図のような分光反射率をもつた二試料はC照明下ではほぼ同色であるが、電灯の下へもつてゆくと一方が青みがうつてみえるのに反し、一方は赤みがうつてみえる。このような二試料は工業製品としては同色ということとはできない。かゝる例は色彩研究所製標準色紙と各塗料メーカーの塗料との間に多数見出すことができる。

我々の立場からは常識的にいつて適用される可能性のあるあらゆる照明の範囲内に於て設計された見本の塗装面と許された範囲内の色の差しか発生しないような塗装を実施せねばならない。

〔II〕 色差に関する学説並びに計測法

色差を表示する式は種々の立場から検討されている。

Judd の式⁽¹⁾

$$\Delta E = \{ [7Y^{1/4} \{ (\Delta x)^2 + (\Delta \beta)^2 \}^{1/2} \cdot 10^2] + [10^2 \cdot \Delta(Y^{1/2})]^2 \}^{1/2} \dots (1)$$

$$\alpha = - \frac{2.4266x - 1.3631y - 0.3214}{1.0000x + 2.2633y + 1.1054}$$

$$\beta = \frac{0.5710x + 1.2447y - 0.5708}{1.0000x + 2.2633y + 1.1054}$$

x, y, Y; C.I.E. 定義の色座標並びに明度

Nickerson の式⁽²⁾

$$I = \frac{1}{5} C(2\Delta H) + 6\Delta V + 3\Delta C \dots (2)$$

H, V, C はマンセル記号の色相、明度、彩度

Balinkin の式⁽²⁾

$$I = \left\{ \left(\frac{1}{5} C \cdot 2\Delta H \right)^2 + (6\Delta V)^2 + \left[\left(\frac{20}{\pi} \Delta C \right)^2 \right] \right\}^{1/2} \dots (3)$$

Adams の式⁽³⁾

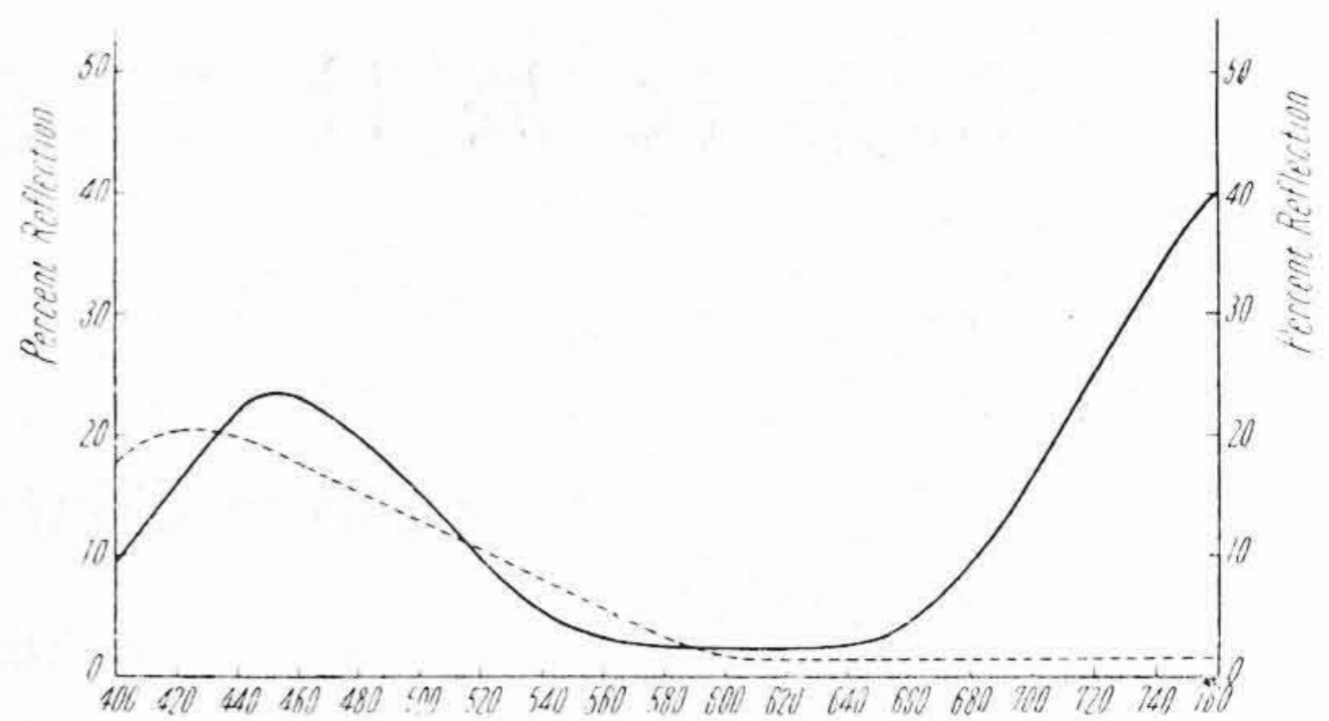
$$\Delta E = \{ (0.23\Delta V_y)^2 + [\Delta(V_x - V_y)]^2 + [0.4\Delta(V_z - V_y)]^2 \}^{1/2} \dots (4)$$

V_y はマンセル明度、Y から V_y を出すと同様 X, Z から V_y, V_z を出す。

(Nickerson の表あり。)

Godlove の式⁽⁴⁾

$$I = \{ 2C_1 C_2 [1 - \cos(3.6\Delta H)] + (\Delta C)^2 + (4\Delta V)^2 \}^{1/2} \dots (5)$$



第1図 屋光で見ると同色であるが電灯でみると異色になる試料対の一例。実線は色紙によく見られる型で赤くなる傾向をもち、破線は塗料に多い型で緑がかる傾向をもつ。

Fig. 1. Example of the sample pair, similar colour under daylight, dissimilar under tungsten lamps. Solid line is a sort of the most of the colour papers, going to red. Broken line is a sort of the most of the pain, going to green.

この ΔE 表示と I 表示との間には常係数の差はあるが、いづれも実験結果とは良く一致している。ΔE 表示の(1)及び(4)式が C.I.E. の色に関する係数を基準としており、分光反射率曲線からの計算が近道なのに対し、I 表示はマンセル記号の係数を基準としており、これが判つている場合に便利である。我々がこれらの式のいづれを選んで色の管理に使用するかは、その取り扱いの便利さを主にして考えて良いであろう。

我々が色を計測するには幾つかの方法がある。

(1) 試料をマンセル乃至は色彩研究所等で発行している標準色見本帖と視感によつて比較し、試料のマンセル番号乃至は J.E.S. の色番号を知る。この測定は C 照明下に於てのみ意味をもつ。

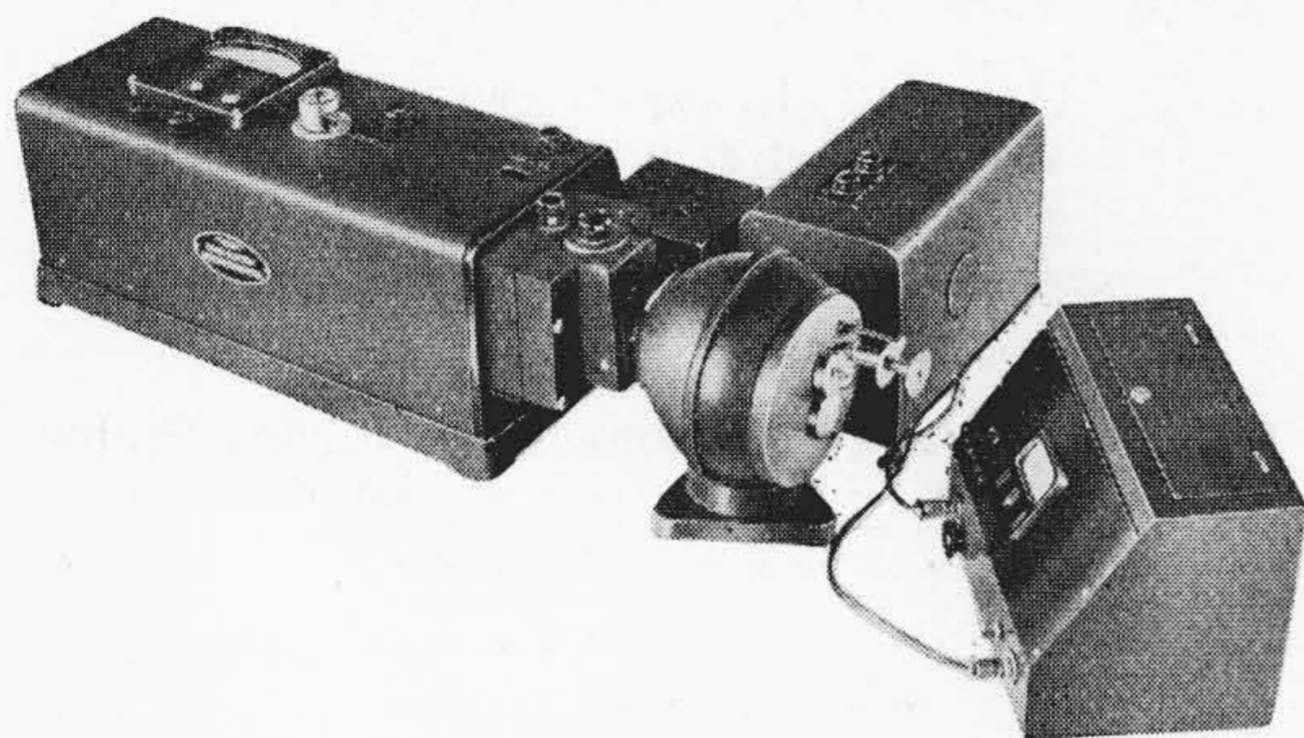
(2) 試料を分光光度計にかけて分光反射率曲線を求める。各照明に対する色を知りたいときには C.I.E. 規約に則り計算すれば x, y, Y 並びにマンセル番号をも求めることができる。

(3) 光電色度計等⁽⁵⁾と呼ばれている器具で、特定の照明に対する X, Y, Z 乃至はこれに関連ある量の近似値を直接測定することができる。

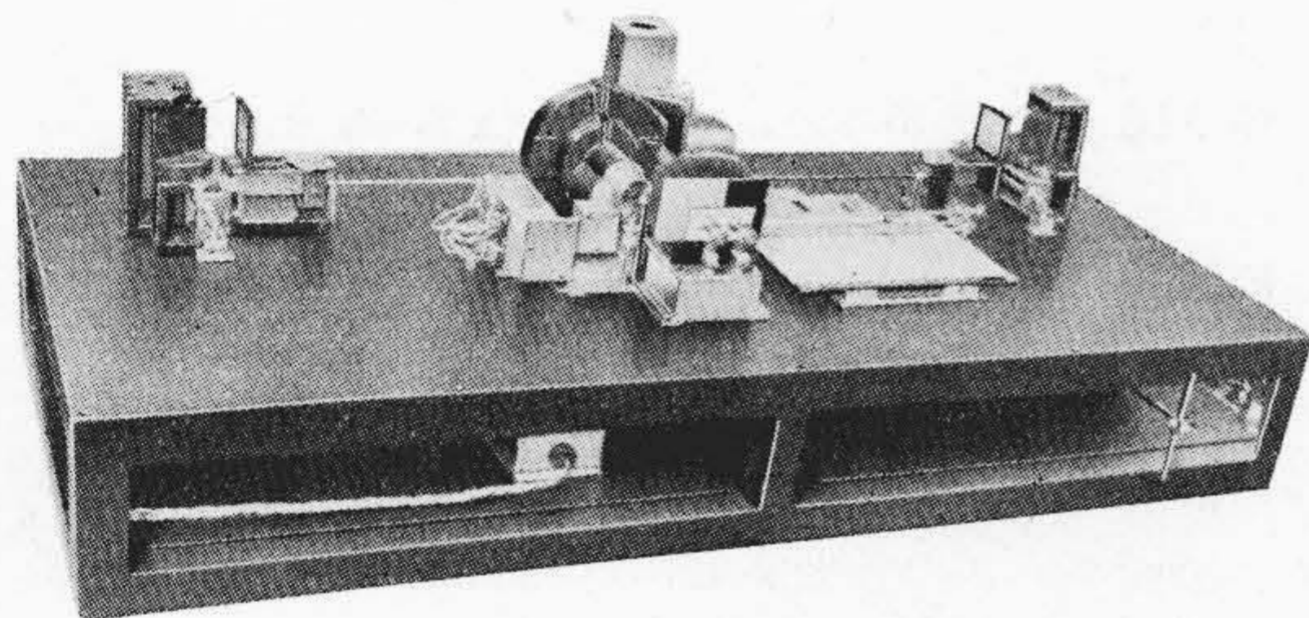
以上の諸方式のうち(1)の方法は最も簡便で、且つ上述の色差の式を直ちに簡単に適用できるから色の設計の立場からは極めて便利であるが、かゝる見本帖はあくまで C 照明に対する色見本であり、あらゆる照明条件下での色一致を問題とする工程管理的な計測としては適當でない。特につやのある塗装面に就いては色一致の判断が行いにくい場合がある。

光電色度計等による簡易計測法は、従来分光反射率測定が熟練と時間とを要したため代るべき方法として生れたものであつて、原理的に幾分かの無理があり、一般には計測精度も十分でない。

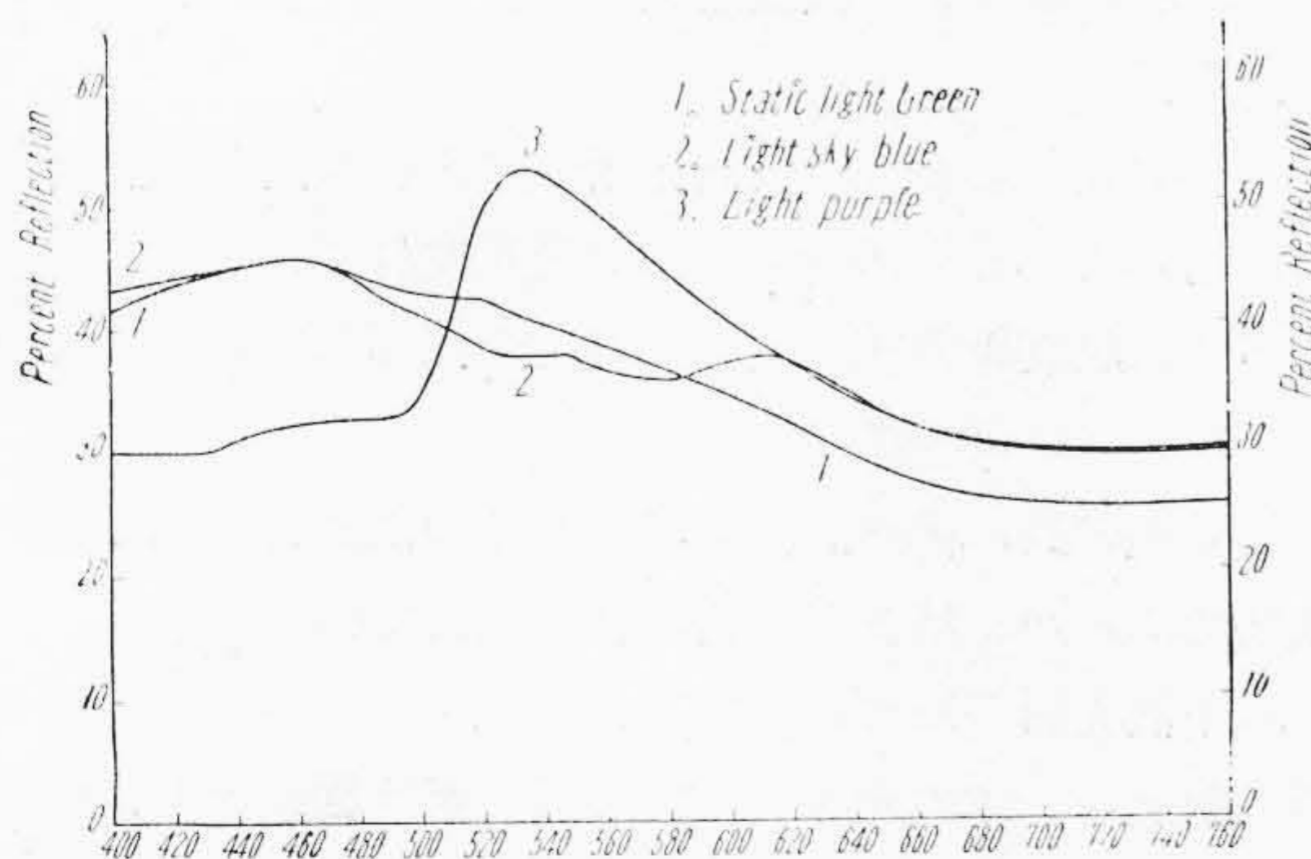
分光光度計は最近急激に発達普及した。そこで、今後は分光反射率曲線による色の管理が好ましいと考えられる。従来、写真測光法では精度保持困難で、König Marters 分光光度計等で視感測光しても一試料半日近く



第2図 日立分光光電光度計 EPB-R 型
Fig. 2. Type EPB-R Hitachi Photoelectric Spectrophotometer



第3図 日立自記分光光度計 (測色用)
Fig. 3. Hitachi Recording Spectrophotometer for the Colorimetry



第4図 日立標準塗料の分光反射率測定例
試料は全部日立扇風機用塗装色である
(1) 青嵐号 (2) 鈴蘭号 (3) 夕嵐号

Fig. 4. Spectrophotometric Datas of the Hitachi Standard Finishing. Every Samples are that of the Electric Fan

の時間をかけていた分光反射率曲線測定が、光電分光光度計では約 30 min, 自記分光光度計では約 3 min 間で測定完了しうるようになった。

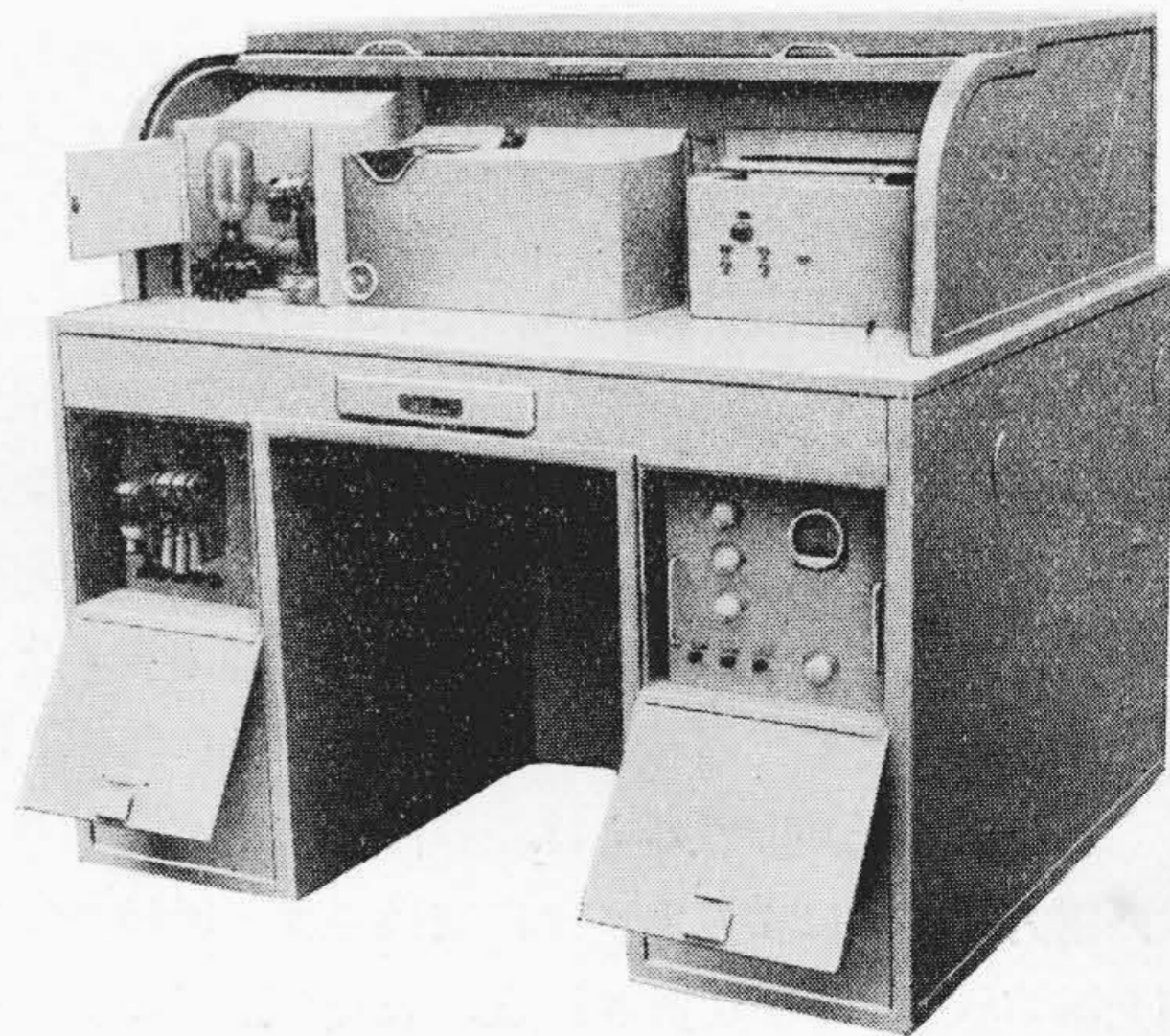
第2図は日立製作所で市販に供している光電分光光度計 EPB-R 型で、第3図は日立製作所中央研究所で試作した自記分光光度計 (3号機) である。これらは共に米国測光測色標準規格に適合する製品である。第4図は日立製作所に於て仮規格としている標準塗装の分光反射率の測定値である。

以下、今後最も多く使用されると思われる自記分光光度計に就いて解説する。

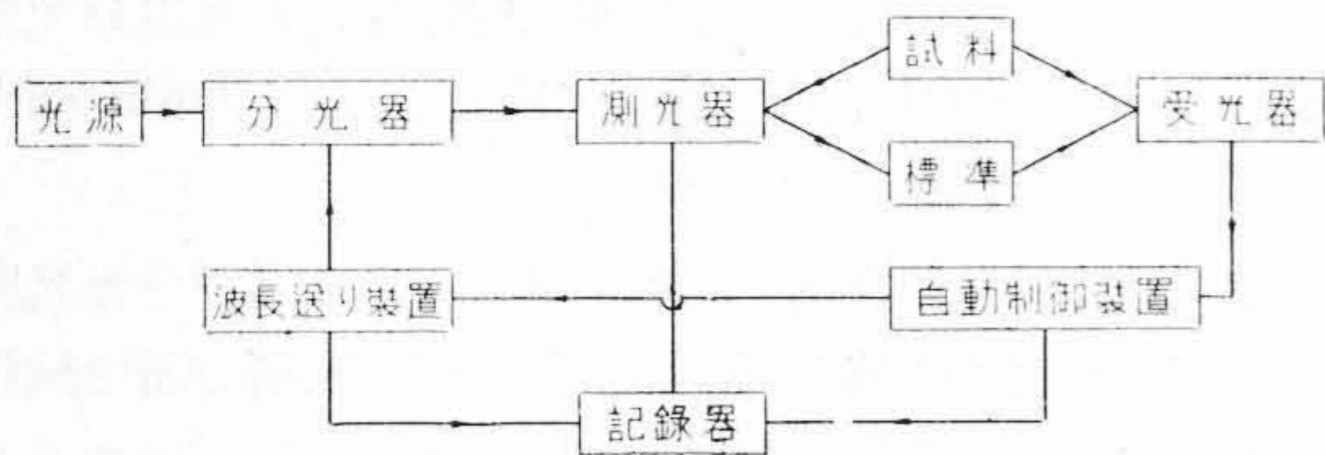
〔III〕 日立式自記分光光度計に就いて

我々は戦後三次にわたつて自記分光光度計の試作研究を行つたのであるが、第5図は第2次試作の紫外吸収用自記分光光度計で波長 220 m μ より 580 m μ 迄の間の試料の溶媒に対する分光吸収率曲線を 6 min で記録する。前出第3図の第3次試作の可視反射自記分光光度計は波長 400 m μ より 760 m μ 迄の間の試料の分光反射率曲線を 3 min で記録する。測定精度は I.C.I. 規格に適合している。第6図 (次頁参照) は自記分光光度計を光学器械的立場からみたブロック線図で、第7図 (次頁参照) はこれを自動平衡型計器の立場からみたものである。

まず第6図に就き説明すると、電灯乃至水素放電管の光をダブルモノクロメータにより既知波長の単色光とし、測光器に入れて交番に射出する既知強度比の二つの光束に分離し、試料及び標準の光学系を通して受光器に入射させる。もし偶然測光器の状態が試料の性質に適合していれば受光器からは何の検出信号も出ないが、一般には何らかの検出信号を出して、自動制御装置により検

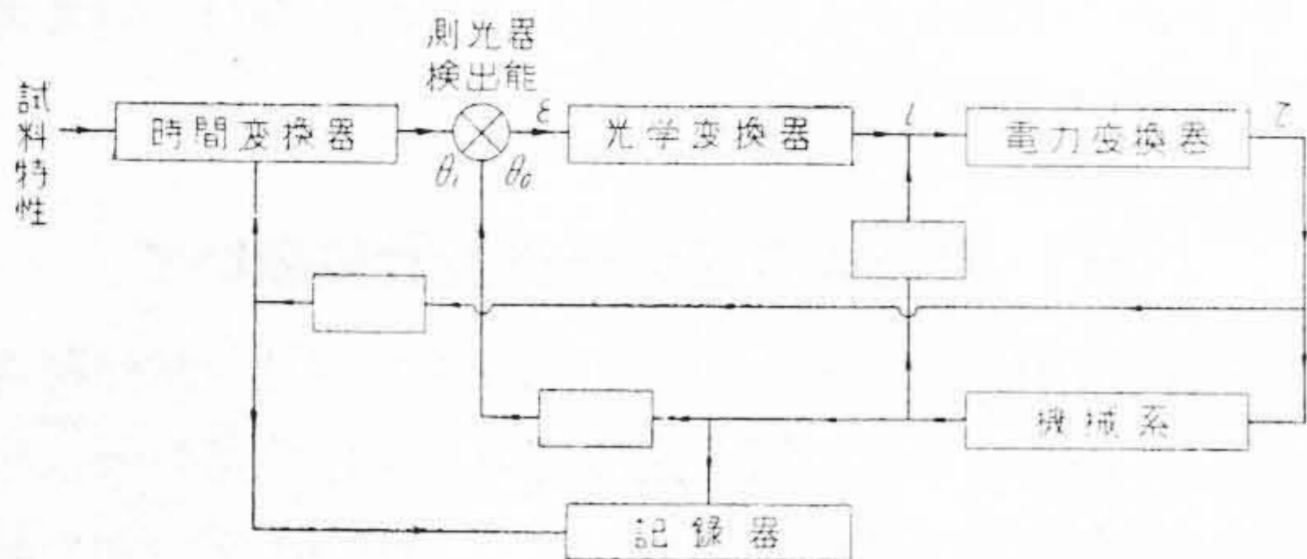


第5図 日立紫外吸収用自記分光光度計
Fig. 5. Hitachi Recording Spectrophotometer for the Ultraviolet Absorption



第 6 図 光学的立場からみた自記分光光度計

Fig. 6. Brock Diagram of the Recording Spectrophotometer as the Optics

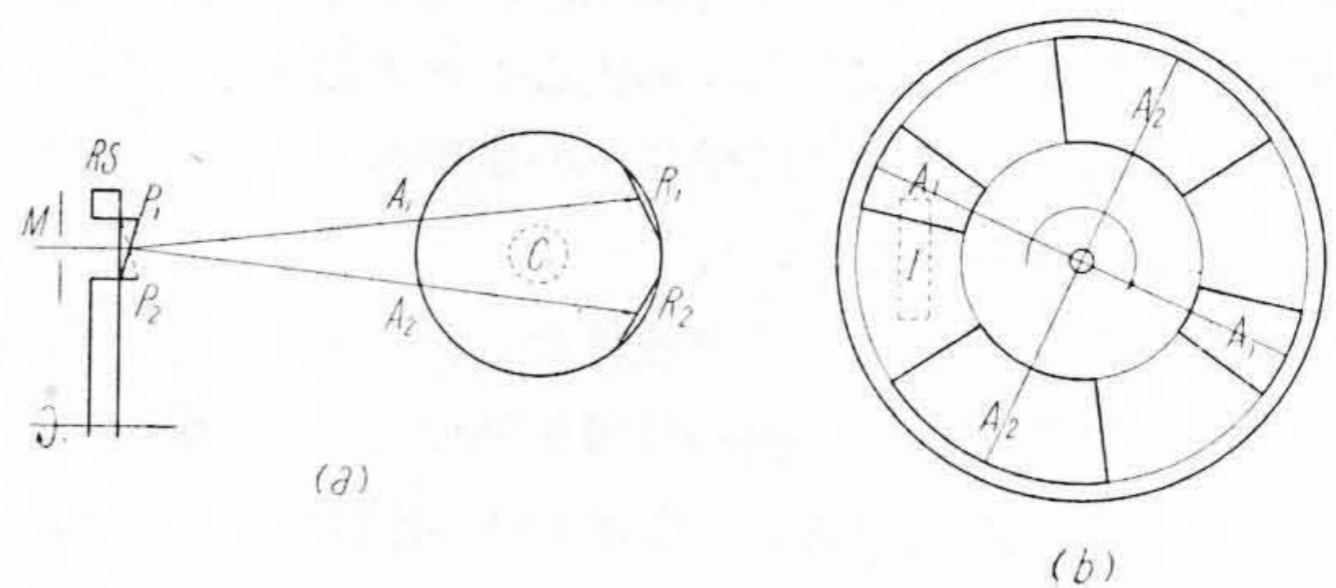


第 7 図 自動平衡型計器としての自記分光光度計

Fig. 7. Brock Diagram of the Recording Spectrophotometer as the Servomechanism

出信号が無くなる迄測光器を操作する。この測光器の制御された状態は試料の該単色光に対する測光値を示すもの故測光器と連動する記録器により記録用紙に記録される。波長送り装置で単色光の波長を変え且つ記録用紙を波長軸方向に送っている間、以上の状態が続き、分光特性が曲線として記録される。第 6 図に於て自動制御装置から波長送り装置に矢印が行っているのは、自動平衡型計器に宿命的な「時間遅れ」の現象に対し、鋭い吸収端をもつた試料に対しても大きな追尾誤差を出さぬよう、精度を維持しつつ最も早い波長送り速度を保つよう、速度制御をかけているためである。

次に第 7 図に就いて説明する。試料の分光特性は「波長を送る」という操作によつて、波長の函数から時刻の函数に置き換えられる。ある波長の分光特性は、ある時刻の測光値すなわち測光器のある状態を要求する。この値を θ_1 (希望値) とし、実際測光器は θ_0 なる状態にあつたとする。(θ_0, θ_1 は後述の如く測光器の位相角に相当する量である。) この差 $\epsilon = \theta_1 - \theta_0$ が測光器による検出値である。この量は現実には受光器に発生する信号光電流振幅 i で観測される。すなわち測光値に関する ϵ なる量が、光を媒介として電流 i なる形に変換されたことになる。第 7 図の光学変換器とはこの作用を示す。この i は次の電力変換器によりトルクに変換され、機械系により測光器の状態 θ_0 に変換される。波長変換器は、当然記録器及び光学変換器に影響をもち、亦検出値に応じて電力変換器出力その他で波長変換器を操作して、常に追尾誤差が許容値内にあるような程度に希望値すなわち試

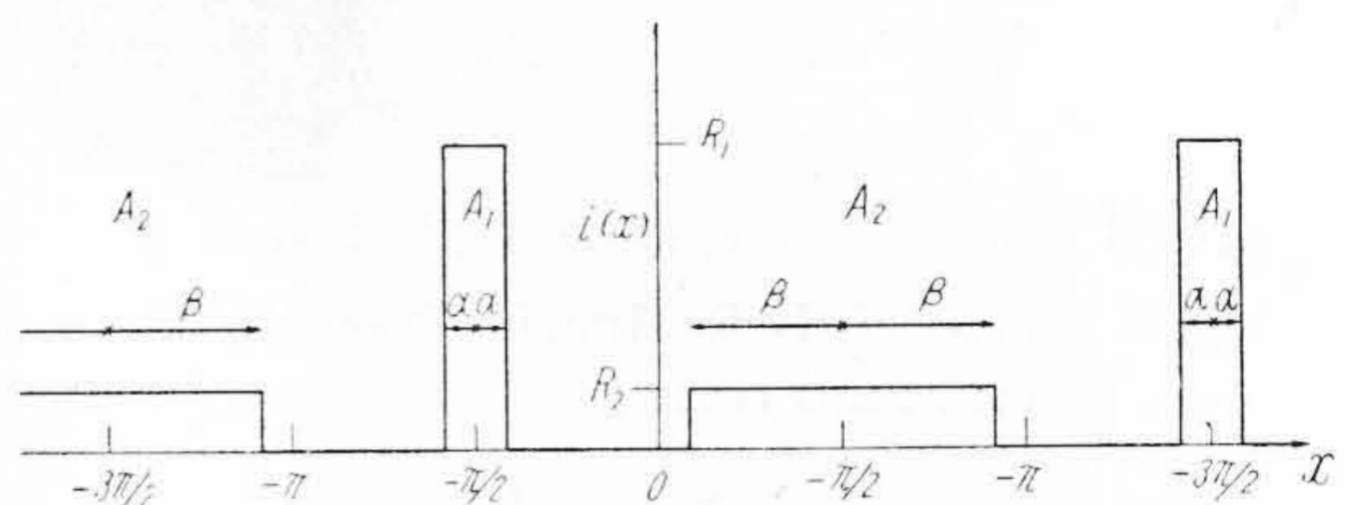


光 学 系 セ ク タ 面

第 8 図 光電測光用セクタの一例

(b) の窓 A_1, A_2 に (a) の P_1, P_2 なる偏角プリズムを貼りモノクロメータ M から出た単色光を (b) の I の如くに入射させ測光球の試料 R_1, R_2 にあてて光電管 C で観測する。

Fig. 8. Optics of the Photoelectric Flicker Sector



第 9 図 測光器による光電流波型説明図 (光束 1 本の場合)

Fig. 9. Wave Form of the Photometer Photoelectric Current for a Single Beam

料特性を変化させてゆく。追尾特性を良好ならしめるため、制御ループの各要素間には当然饋還小ループが加わってくる。以上が日立式自記分光光度計動作の概要である。この方式と G.E. の方式との差異の主要点をひろうと、

1. 単色器による波長選択の方法が若干異なっている。
2. 測光器として写真測光用セクタを改良した型を使用している。(G.E. では偏光光度計型)
3. 自動制御方式として比例型を使用している。(G.E. では on-off 型)

第 3 項の故に構成全部品にわたる理論的計算は比較的重要であるが、精度の検討には好都合である。

以下測光器の原理に就いてだけ簡単にのべる⁽⁷⁾。測光器入射光を一本の光束とした場合、第 8 図に示した如くにセクタ面に貼付けられた二種の偏角プリズムによつて二種の開きをもつセクタ窓を通つた光は標準試料と未知試料とに交照する。この結果積分球に取付けられた光電管には第 9 図のような波型の光電流を発生する。但し、第 9 図に於ては交照の一周期を 2π とするような時間の因子 x を使用しており、また二種の窓の中心間隔は正確

に π だけ離れているようあらかじめ製作されている。かかる光電流を x に就いて Fourier 級数に展開すると、常数を除き

$$i(x) = \frac{1}{\pi}(R_1\alpha + R_2\beta) + \frac{2}{\pi}(R_2 \sin \beta - R_1 \sin \alpha) \sin x + \frac{-1}{\pi}(R_1 \sin 2\alpha + R_2 \sin 2\beta) \cos 2x + \text{higher terms}$$

となる。ここに R_1 , R_2 及び α , β は両試料の反射率並びにこれにあたる光のセクタ窓のひらき角に相当する量である。そこで基本周期の交流分のみを取り出して観測すると窓のひらき α , β の間に $R_2 \sin \beta = R_1 \sin \alpha$ なる関係のあるときのみ振幅が 0 となり $R_2 \sin \beta$ がこの状態より大きいときは正の、小さいときは負の正弦波を生ずる。今 $\alpha + \beta = \pi/2$ なるようにセクタを製作しておけば、基本波振幅が 0 である条件は

$$R_2/R_1 = \tan \alpha$$

となる。これがかかる測光器の測光条件である。この α に相当するセクタの機械的実角を θ_1 とすると、セクタの角 θ_0 がつねに θ_1 に保たれるよう、上述の正弦波を検出値として先述の如く自動制御をきかせているわけである。参考までに、G.E. の Recording Spectroscope に於ては、第 1 偏光子の回転角を α とすると測光条件式は $R_2/R_1 = \tan^2 \alpha$ となつているが、我々の条件式と興味ある対比をなしている。

〔IV〕 分光反射率曲線の差による色の検査

分光光度計により計測された分光反射率曲線の示唆しているものは、あらゆる照明に対する呈色のみではない。紫外線の吸収の程度、並びに赤外写真に対する感度等もこれにより推定することが可能である。塗装一般の目的のためにはこれらの量も無視することは出来ないが、こゝでは主として色だけの立場から分光反射率曲線の差異と色差との関聯を検討してみることにする。

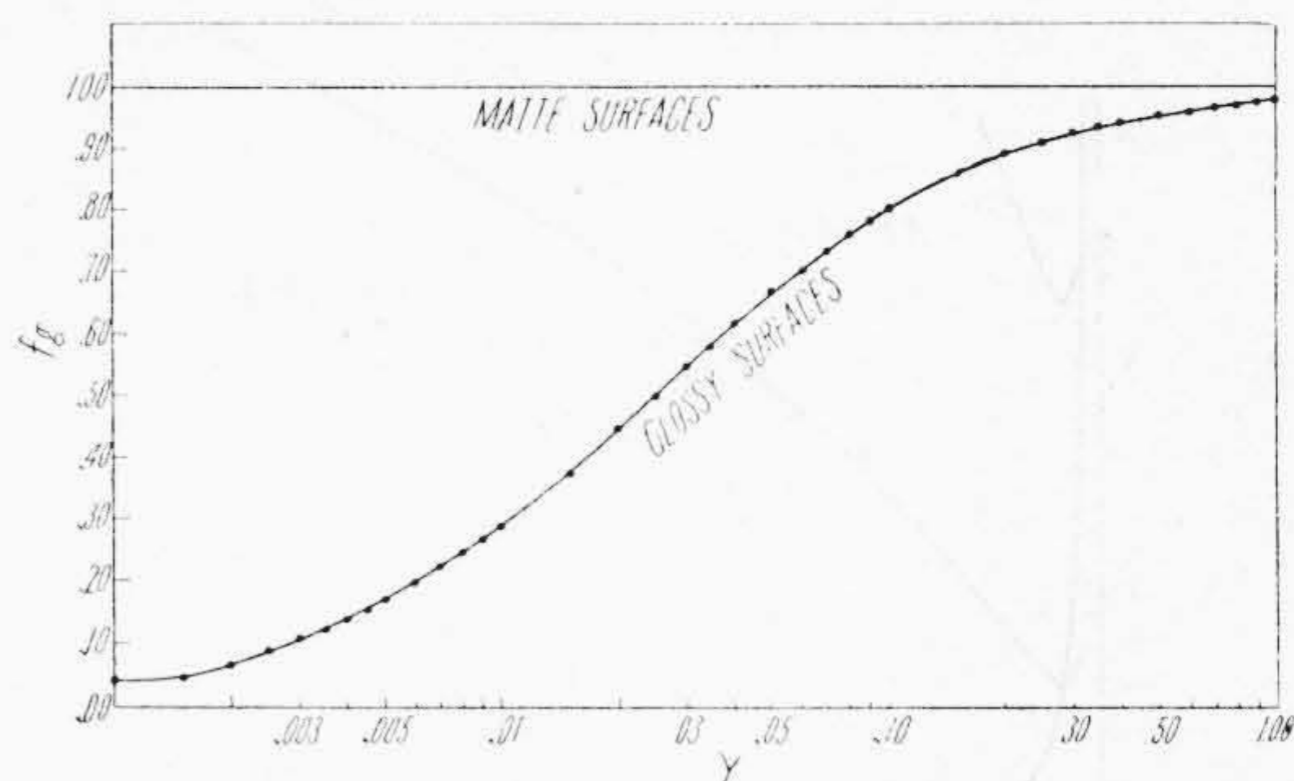
この場合色差の表式としては C.I.E. 係数を直接使用できる Judd の式もしくは Adams の式が好都合と考えられる。このうち Judd の式が一番古いけれども、塗装に関係ある諸条件を導入しやすいのでこれを採用する。Judd は色差を次のように表示した⁽¹⁾。

$$\Delta E = f_g \{ [k_2 Y^{1/4} \Delta S]^2 + [k_1 \Delta(Y^{1/2})]^2 \}^{1/2}$$

こゝに Y は C.I.E. 表示の明度で

$$\Delta S = \sqrt{(\Delta\alpha)^2 + (\Delta\beta)^2}$$

は Judd の U.C.S. 色図上に於ける色座標間の距離である。 f_g は光沢のある二試料の比較に際しては特に明度の低い場合色差判別力が低下することを考慮に入れる因子



第10図 光沢に対する係数 f_g

Fig. 10. Gloss Factor, f_g

第1表 Judd による k_1 の値

Table 1. Values of k_1 by Judd

比較二試料の相対位置状態	k_1 (単位 judd)
殆ど境界線なくひつつけて並べた時	120
狭いがはつきりした境界線のある時	90
ひろい巾のある部分でへだてた時	40
二試料を別々に観察する時	20
普通に比較すると考える時の便宜値	100

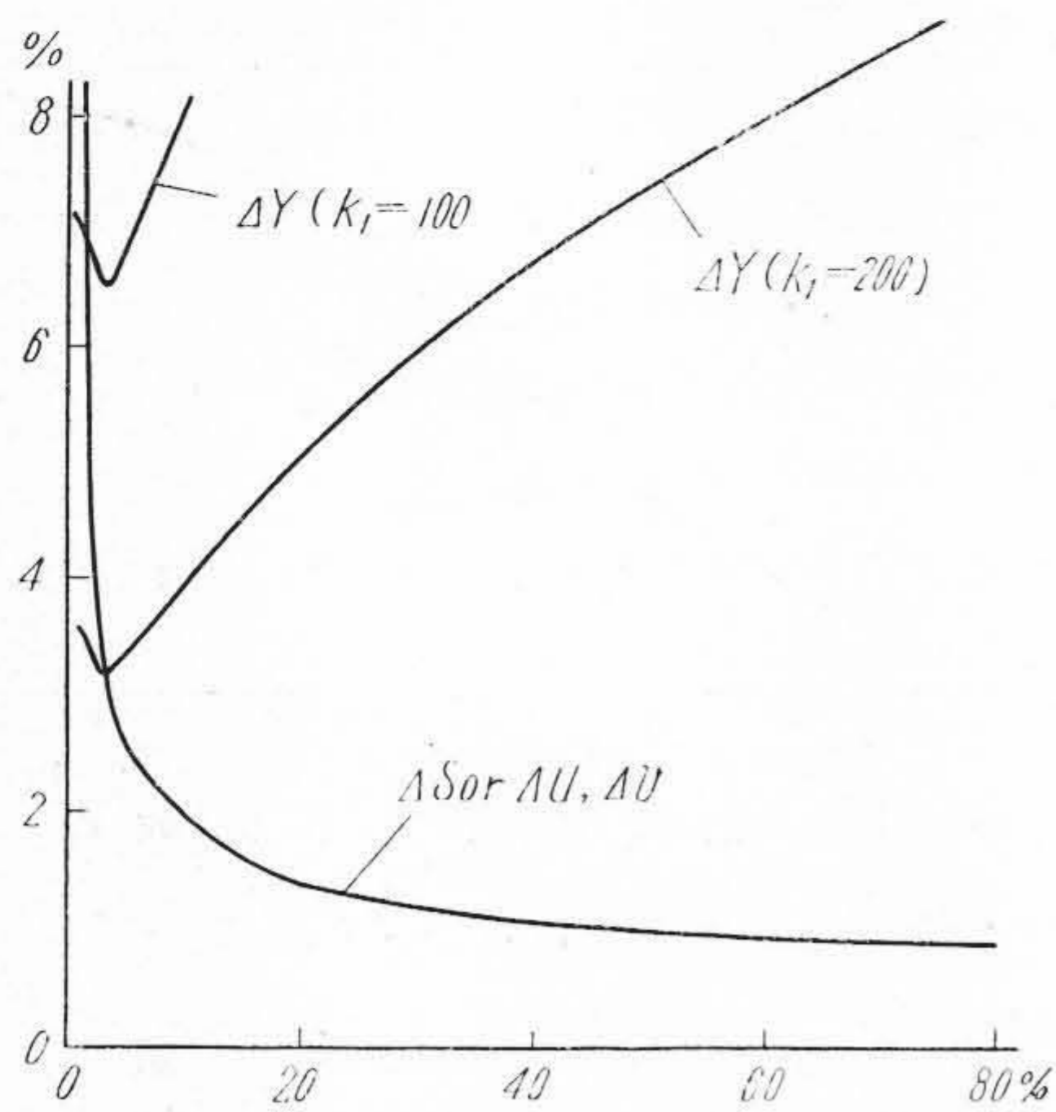
第2表 塗装管理に適用する k_1 の値

Table 2. Values of k_1 for the Finishing Control

塗料の使用目的	k_1 (単位 judd)
同一物体塗布の場合	100
塗布後同一物体に組み立てる所謂併注品の場合	50
一般筒別製品	20

であつて、普通の塗料に於ては第10図のような特性をもつ。 k_1 は比較二試料の相対位置による明度差判別力の相違を考慮した因子で ΔE を judd 単位で表わした際第1表の如き値をとると言われている。これを塗装に適用する場合、第2表の如くに選ぶのが妥当と思われる。 k_2 の値は judd 単位で表わすには 600 附近が良いとされている。(ΔS を Hunter の図表で計算するときには Judd の図表の約 1.16 倍となるので $k_2 = 700$ なる数字を採用し、また $k_1 = 100$ とすると前出第〔II〕章の Judd の式となる。これが一般には使用されているが、我々としては Judd の原式のまゝ使用の方が実用的と考えられる。)

Judd の U.C.S. 色図に於ける α , β は第〔III〕章に記した如く、 x , y からやゝ面倒な変換によつて導かねばならないので、色差の大きくない範囲ではこれと殆ど同じ結果を出す MacAdam の変換⁽⁸⁾を採用して差支えないと思われる。MacAdam の変換式は



第 11 図 色差 $\Delta E=5$ judd を単独に発生させるに要する明度差 ΔY 並びに色座標差 ΔS (又は $\Delta u, \Delta v$)

Fig. 11. Luminosity Difference ΔY and Chromaticity Coordinate Difference ΔS (or $\Delta u, \Delta v$) for the Colour Difference $\Delta E=5$ judd

$$\begin{cases} u=2x/(6y-x+1.5) \\ v=3y/(6y-x+1.5) \end{cases}$$

或いは

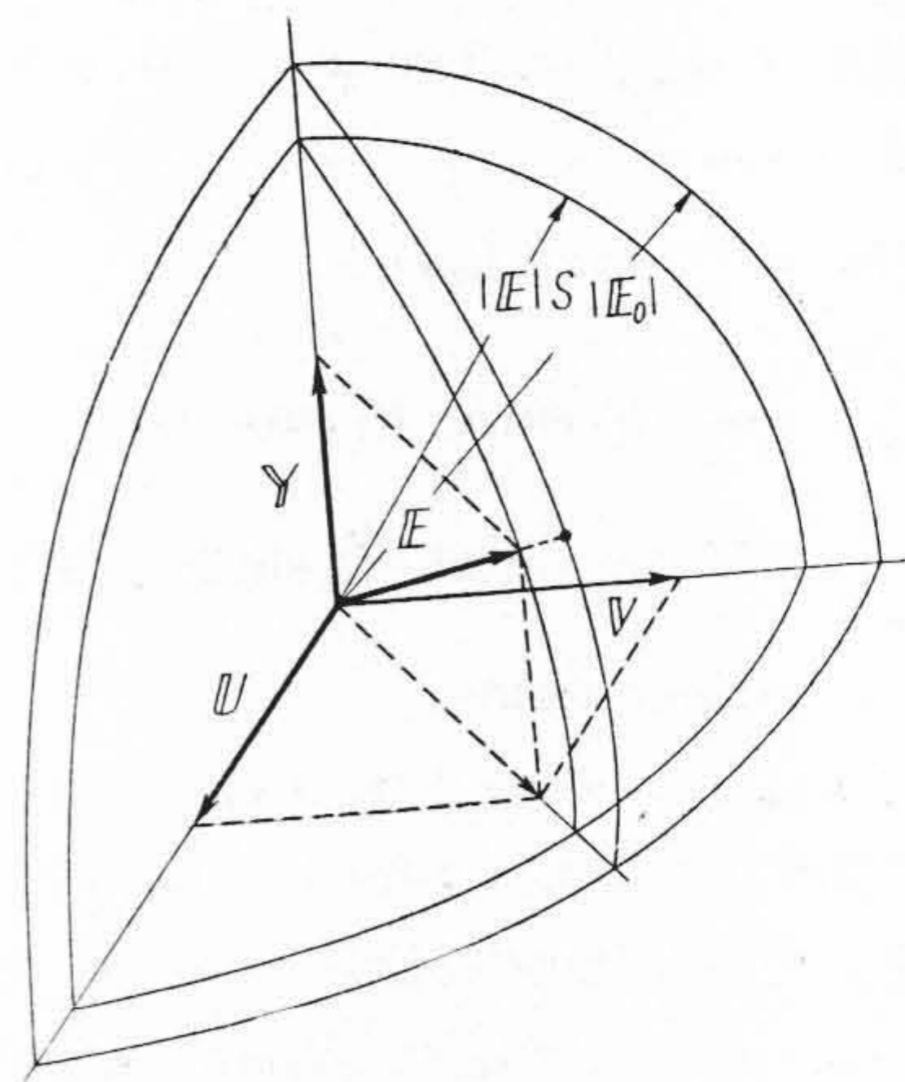
$$\begin{cases} U=2/3X, V=Y \\ W=-0.5X+1.5Y+0.5Z \end{cases}$$

で表わされる。これを用いると色差の小さい範囲で

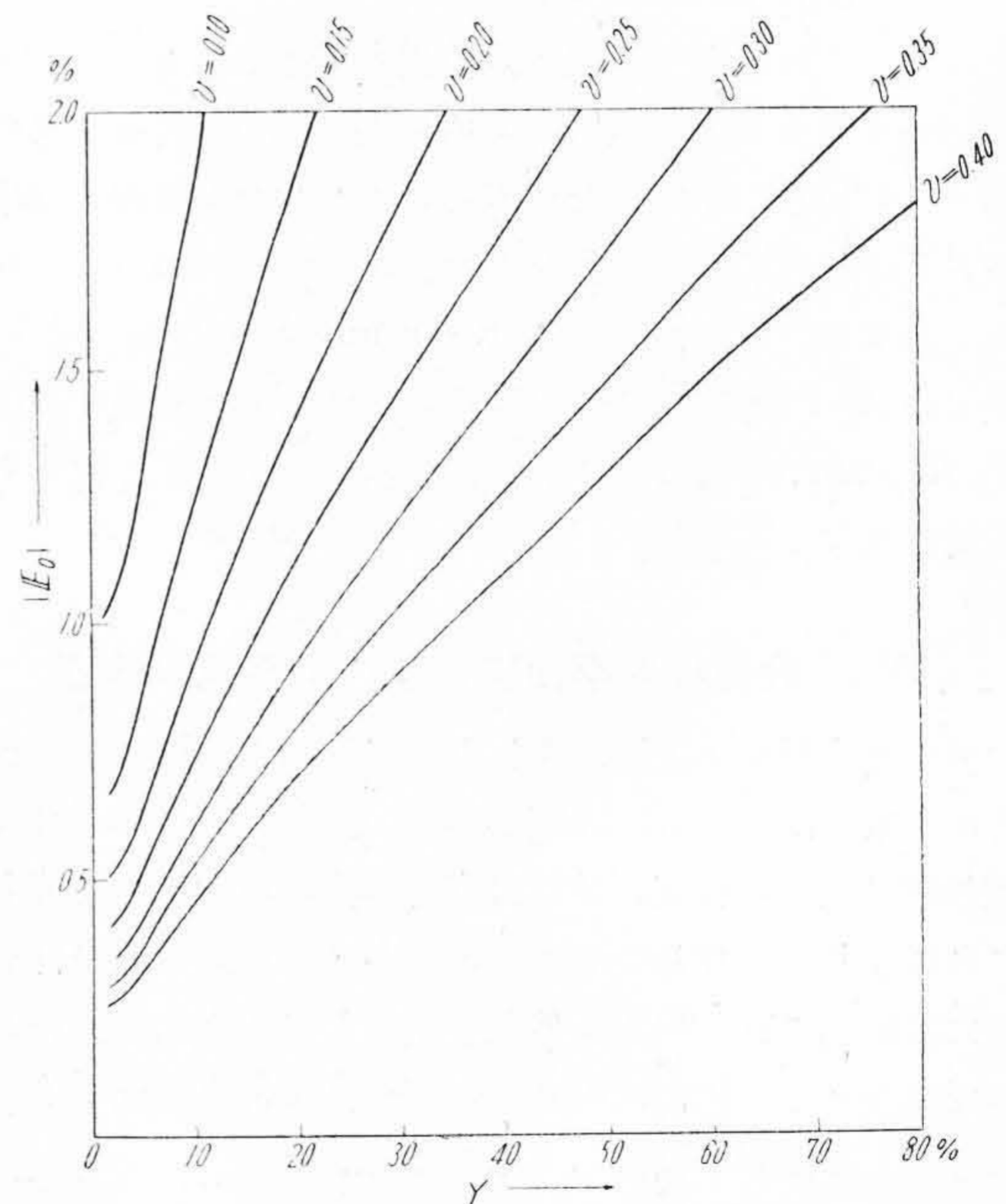
$$\Delta E=600f_g Y^{1/4} \left\{ (\Delta u)^2 + (\Delta v)^2 + \left(\frac{k_1}{1,200} \frac{\Delta Y}{Y^{3/4}} \right)^2 \right\}^{1/2}$$

となる。 $\Delta u, \Delta v, \Delta Y$ が各々単独で変化した場合、普通に許容色差の目安とされている $\Delta E=5$ に対応するこれらの値を各 Y の値に対して示したのが第 11 図である。 $Y \geq 20\%$ では ΔY は $k_1=100$ の第 2 表に於ける同一物体塗布の場合しか殆ど問題にならず、 ΔS が 1% 以内という検査条件でほぼ満足なことが判る。

実際に塗料の検査を行う際、分光反射率曲線から $\Delta u, \Delta v, \Delta Y$ 等を求めるには分光反射率曲線に対し色積分の計算を実施しても良いのであるが、色差の少ない二試料の比較に際しては似たような数字の差をとることになるので有効数字の多い計算を行なわねばならない割合に得られた結果に精度が確保できない。そこであらかじめ与えられた設計の塗装の分光反射率曲線と問題の試料のそれとの差の曲線から ΔE を求めるようにした方が単に計算技術上からも有利である。そのみならず、計測の立場からもこのことは必要である。すなわち現在の段階では分光反射率の計測器は箇々には再現性の高い計測値を得るにもかかわらず、計測器相互間の測定値の一致はか



第 12 図 検査値 U, V, Y, E の構成
Fig. 12. Inspection Values U, V, Y, E



第 13 図 各明度各 v 値に対する公差 $|E_0|$ の値
Fig. 13. Inspection Allowance $|E_0|$

ならずしも十分でない。例えば従来最も定評のある G. E. の Recording Spectroscope に就いても輸入された数台による計測値は 1% の桁ではかならずしも一致せず、日立製の分光光度計による計測値も各方面で実地に使用されている状況では G. E. のものによるバラツキの幅の中に入っている。このことはかならずしもこれらの器械が米国測光測色標準規格の精度 1/4% に適合していないということではなく、標準白の劣化、調整の不完全乃至

は記録用紙ののびちぢみによる 0%, 100% の違い等使用者側の不注意に帰する因子も多いと思われるが、現在の計測器を工程管理に使用する際にはこの程度の器械間偏差は許容せざるを得ないと考えられる。しかしながら、この偏差は同一器械でほぼ同時に類似二試料を測定してその差をとるときには殆ど消去されるのが普通である。このような見地から ΔE の表式は二試料の分光反射率差より算出するようにした方が実用的である。

さて $U+V+W=\Sigma$ とおくと

$$\Delta u = \frac{\Delta U - u\Delta\Sigma}{\Sigma}, \quad \Delta v = \frac{\Delta Y - v\Delta\Sigma}{\Sigma}, \quad \Sigma = Y/W$$

そこで色差の式は

$$\left(\frac{\Delta E Y^{3/4}}{f_g \cdot v \cdot 600}\right)^2 = (\Delta U - u\Delta\Sigma)^2 + (\Delta Y - v\Delta\Sigma)^2 + \left(\frac{k_1 Y^{1/4} \Delta Y}{1,200v}\right)^2$$

$$(\mathbf{E})^2 = (\mathbf{U})^2 + (\mathbf{V})^2 + (\mathbf{Y})^2$$

便宜のために併記したようなベクトル U, V, Y, E で上式の各項を代表させることにする。このとき

$$\mathbf{E} = \mathbf{U} + \mathbf{V} + \mathbf{Y}$$

という形で第12図の如くベクトル和を図式に計算するの

第 3 表 U, V, Σ に対する分光刺激値 $\bar{u}, \bar{v}, \bar{\sigma}$

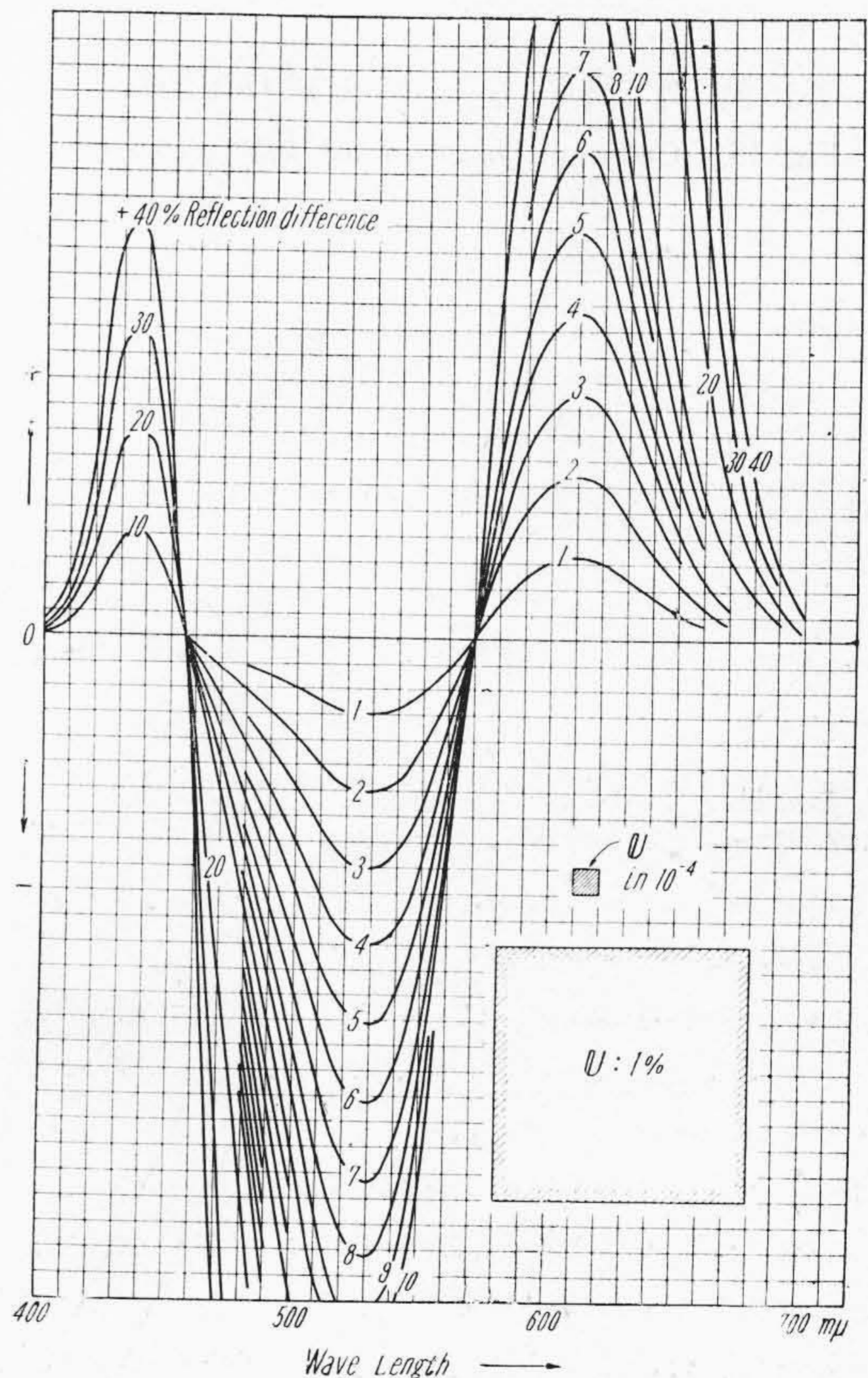
Table 3. Spectral Stimulus Values for U, Y, Σ

波長 (m μ)	C 照 明			A 照 明		
	$E_C \bar{u}$	$E_C \bar{v}$	$E_C \bar{\sigma}$	$E_A \bar{u}$	$E_A \bar{v}$	$E_A \bar{\sigma}$
	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-6}$
400	57	2	223	13	1	52
410	218	9	856	48	2	186
420	826	37	3,274	177	8	695
430	1,998	122	8,117	438	27	1,764
440	2,638	262	11,241	623	61	2,629
450	2,610	442	12,078	696	116	3,188
460	2,242	694	11,942	689	210	3,630
470	1,514	1,058	10,509	524	362	3,600
480	742	1,617	8,957	289	662	3,447
490	242	2,357	8,589	108	1,039	3,788
500	34	3,400	9,937	18	1,792	5,239
510	60	4,832	12,854	39	3,080	8,194
520	384	6,460	16,602	287	4,771	12,264
530	1,015	7,932	20,268	820	6,322	16,173
540	1,856	9,146	23,427	1,562	7,599	19,484
550	2,855	9,829	25,329	2,521	8,568	22,113
560	3,918	9,838	25,593	3,721	9,222	24,039
570	4,881	9,145	24,092	5,114	9,456	24,979
580	5,609	7,989	21,382	6,564	9,227	24,781
590	5,989	6,625	18,064	7,823	8,540	23,389
600	5,963	5,315	14,781	8,578	7,546	21,098
610	5,549	4,175	11,826	8,559	6,356	18,115
620	4,712	3,152	9,058	7,682	5,071	14,674
630	3,539	2,190	6,360	6,066	3,704	10,836
640	2,462	1,443	4,223	4,429	2,562	7,555
650	1,565	885	2,605	2,929	1,637	4,238
660	908	503	1,495	1,775	972	2,737
670	472	259	766	978	530	1,403
680	246	134	397	543	292	722
690	114	62	183	272	146	311
700	54	29	86	141	75	157

が実用的である。 u, v, Y は設計値であるから、測定された分光反射率曲線差に U, Y, Σ に応ずる刺激値 $\bar{u}, \bar{v}, \bar{\sigma}$ をかけて全波長に就き加算すれば $\Delta U, \Delta Y, \Delta \Sigma$ を算出することが出来、 $|\mathbf{E}|$ の値も計算できる。この計算は普通の色計算よりもはるかに少ない有効数字で十分である。これらの刺激値を第3表にかゝげる。

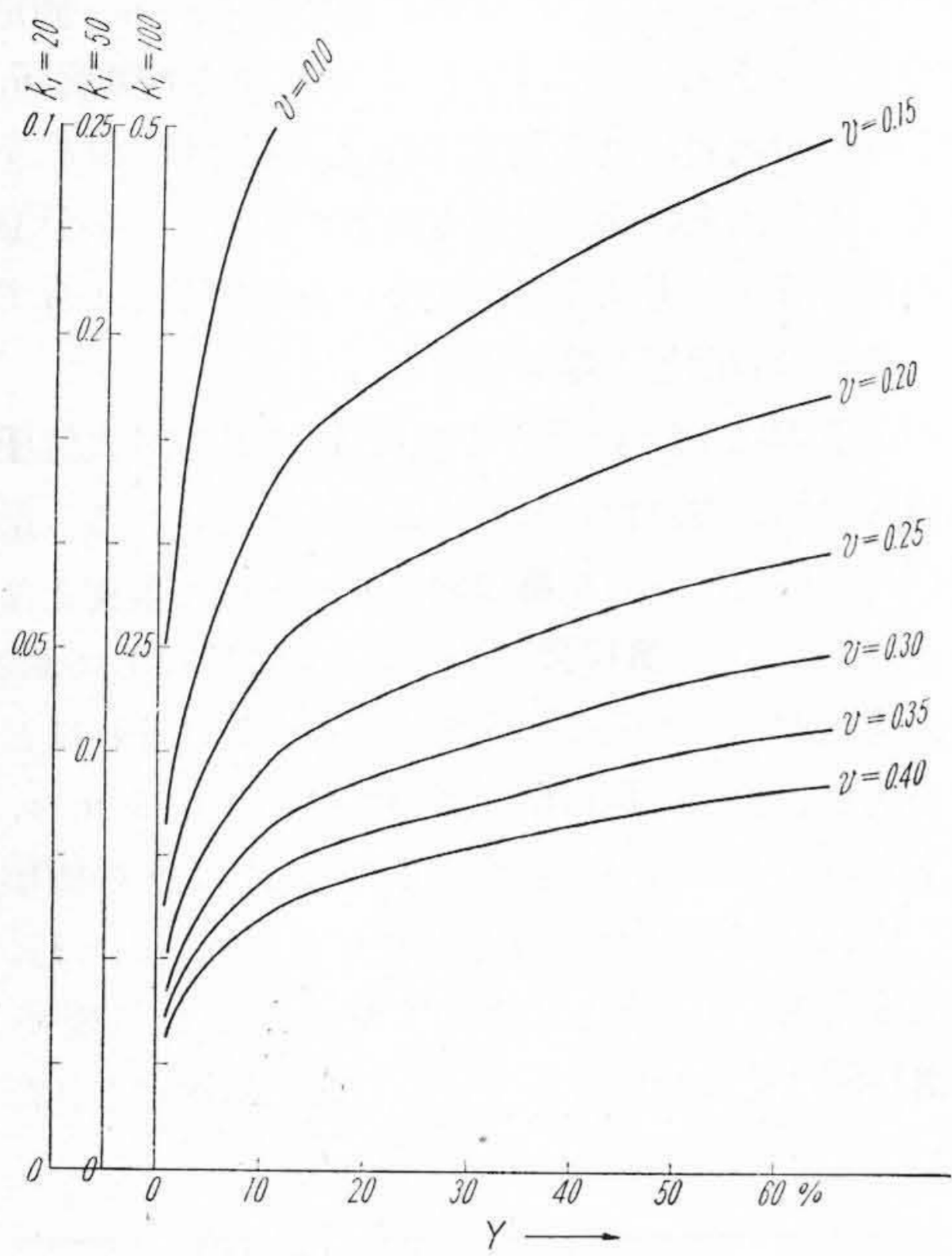
色の公差 ΔE を例えば 5 とすると $|\mathbf{E}|$ の許容最大値 $|\mathbf{E}_0|$ は第13図の如く設計色の v, Y によつて決定される。塗料に就いては普通は f_g を第10図の通りとつて差支えないと考えられるから、第13図に於てもそのようにしてある。

実際問題として生産に関係ある塗料の数はそれほど多くないから、適当な規格化によつて使用される u, v, Y の数も限定することができる。しかも U は u の種類数だけ、 V は v の種類数だけしか変化数が無いから U, V の刺激値曲線をあらかじめ作つておくことも可能である。第14図はその一例であり、この図上に測定された試

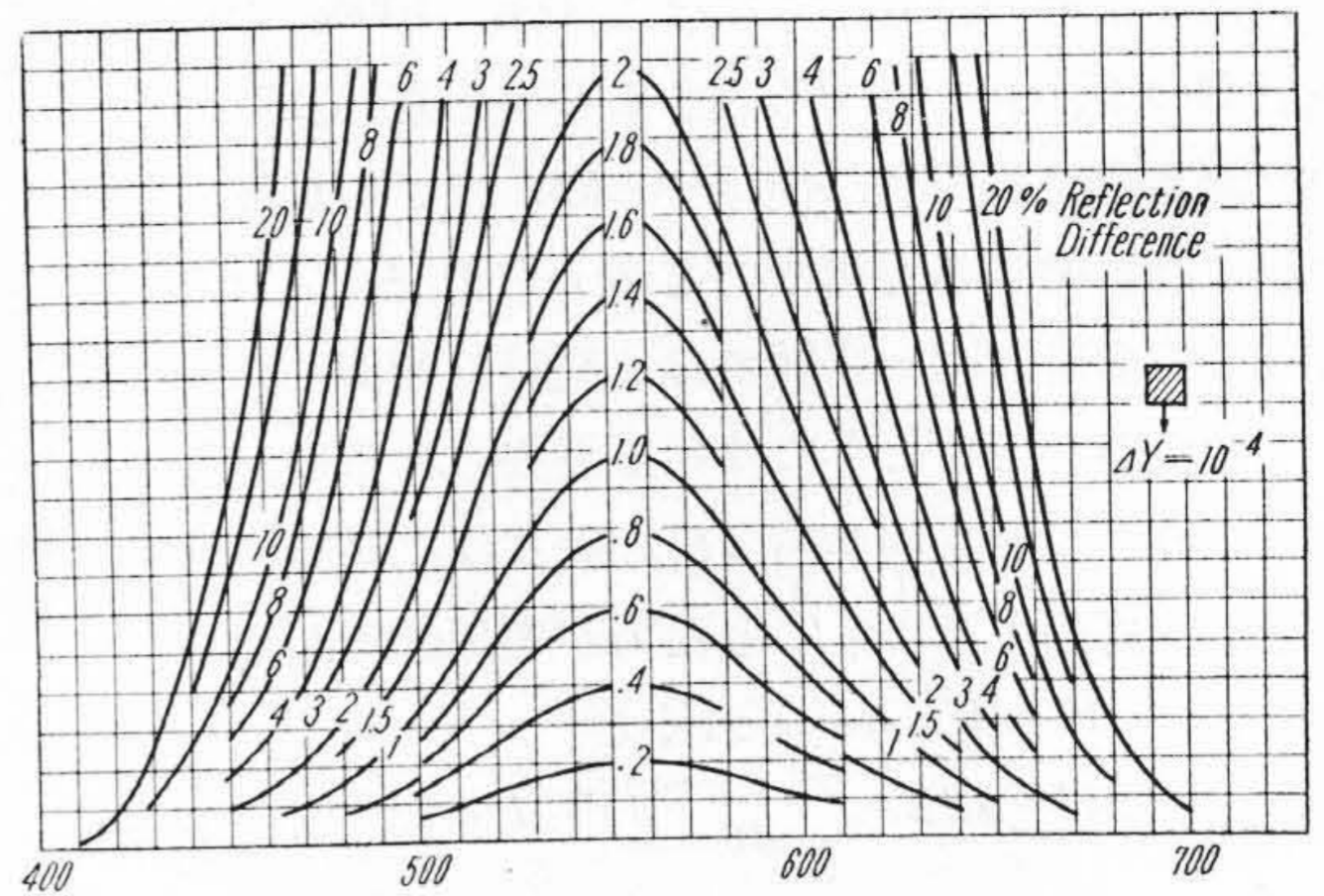


第 14 図 試料の反射率曲線差を記入して U を算出する計算図表の一例。これは C 照明無彩色用のものである。10 m μ 巾 0.01% のます目 100 箇で第13図の $|\mathbf{E}_0|$ 1% に対応する。

Fig. 14. Example of the Calculus Diagram for the U

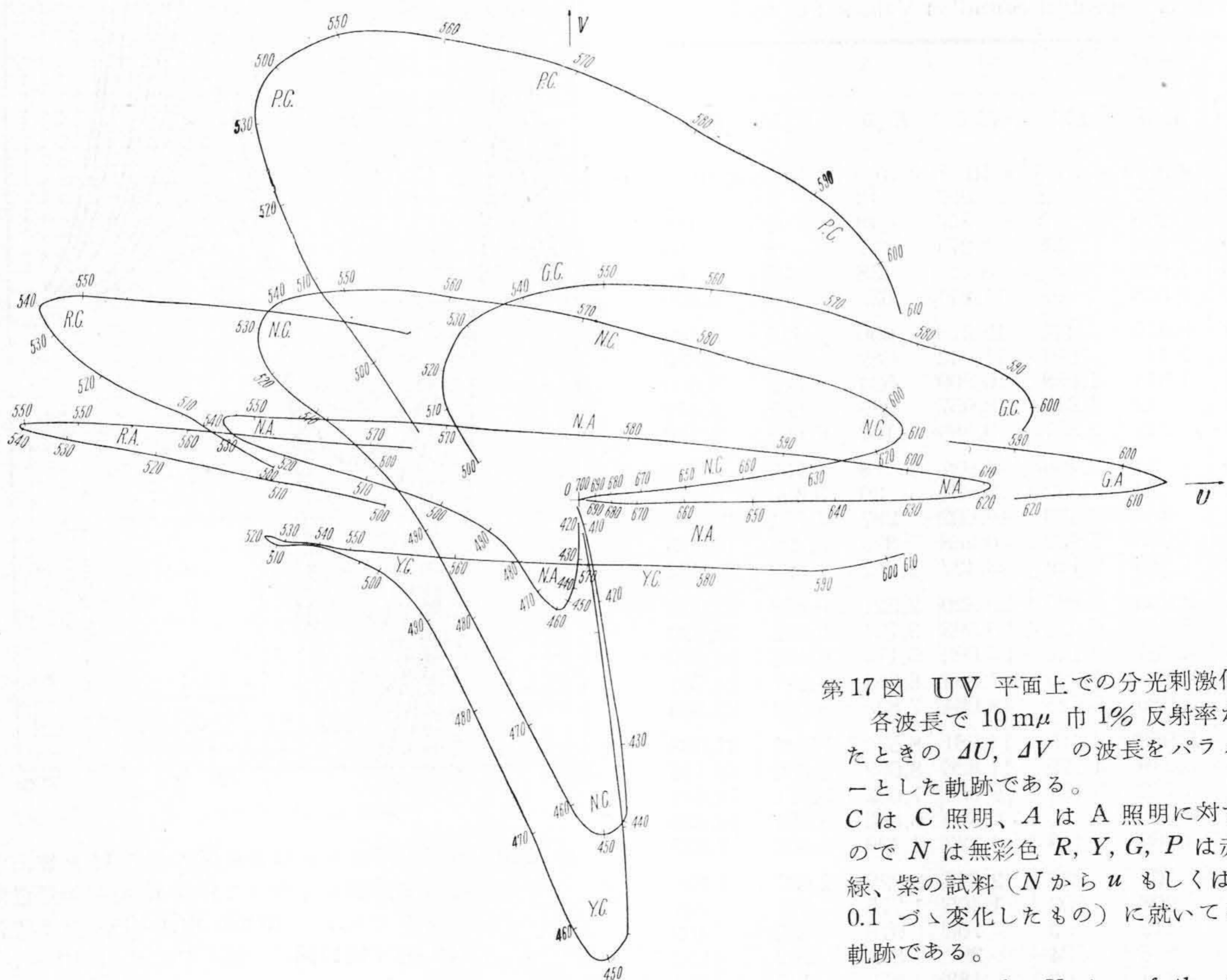


第 15 図 Y 項計算用の $k_1 Y^{1/4} / (1,200v)$
 Fig. 15. Calculus Diagram for $k_1 Y^{1/4} / (1,200v)$



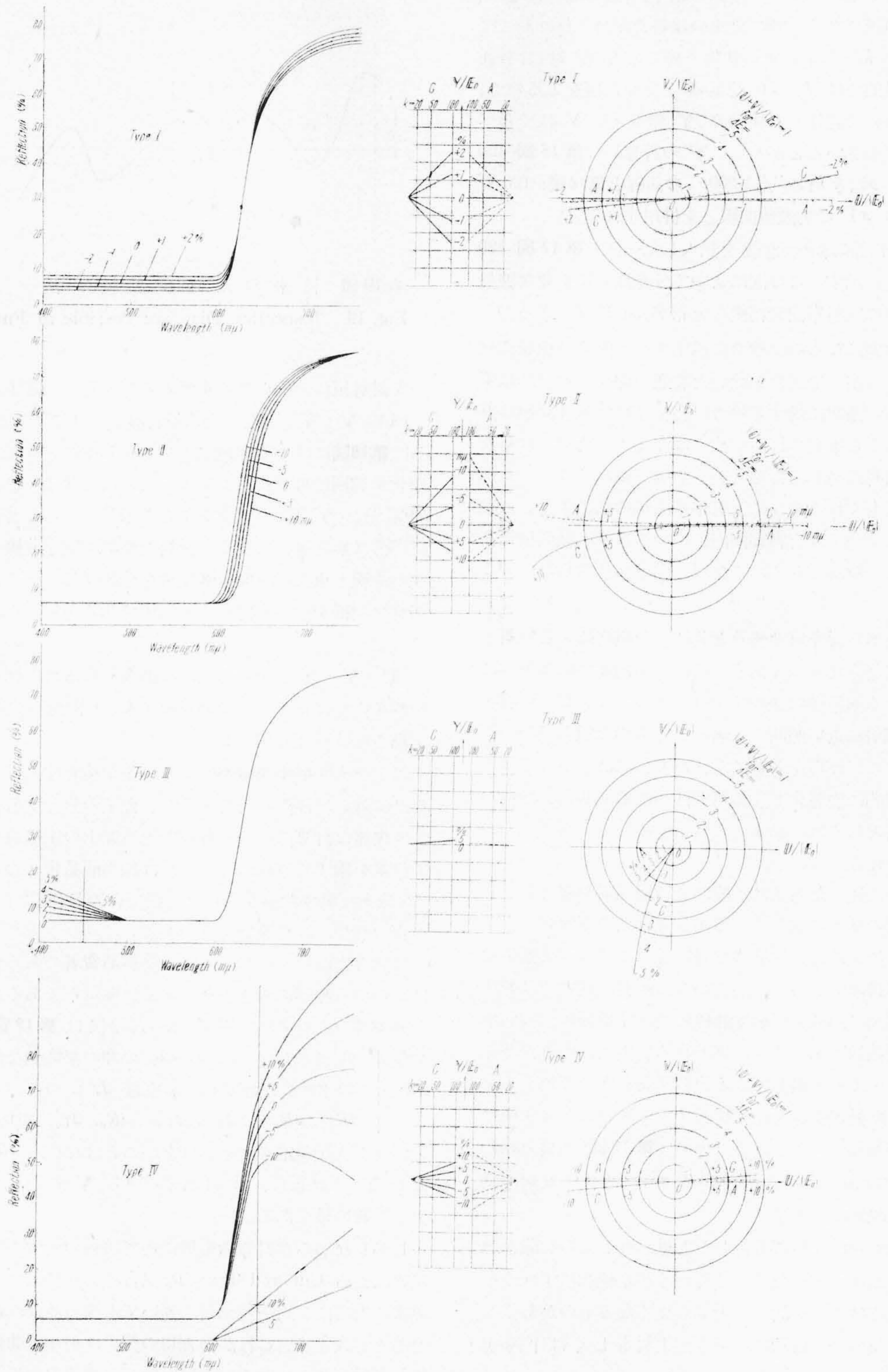
第 16 図 試料の反射率から ΔY を計算する図表例
 下右隅にハッチしたますめの単位で読めば十分精度が足りる。この図は C 照明に対す
 Fig. 16. Calculus Diagram for ΔY

料の分光反射率偏差を記入すれば方眼紙の目数を拾うだけの労力で十分の精度をもつて UY の値を決定することができる。またこのグラフをみることによつて試料をどうすれば設計色に近づけうるかの見当がつけやすい利点がある。このことは普通の色計算の方式では比較的判



第 17 図 UV 平面上での分光刺激値
 各波長で $10 \text{ m}\mu$ 巾 1% 反射率が増したときの $\Delta U, \Delta V$ の波長をパラメーターとした軌跡である。
 C は C 照明、A は A 照明に対するもので N は無彩色 R, Y, G, P は赤、黄、緑、紫の試料 (N から u もしくは v が 0.1 づゝ変化したもの) に就いてとつた軌跡である。

Fig. 17. Stimulus Vector of the Spectrum on the UV-plane



第18図 赤色ペイントの反射率変化の類型と検査図表

Fig. 18. Varied Types of the Red Paint Reflectivity and Its Inspection Diagrams

断しにくいものである。前述の如く、普通の場合は Y 項は殆ど無視できる。特に従来の塗料の調合工程に於ては熟練者が $k_1=120$ に近い状態で視ているのに対し、普通の使用目的では $k_1=50$ 乃至 20 といつた値をとるので、見本を与えて試作した塗料の Y 項は U, V にくらべて意外に小さいことが多い。 Y の計算には第 15 図(120 頁参照)の如き $k_1 Y^{1/4}/(1,200v)$ の曲線と第 16 図(120 頁参照)の ΔY の刺激値曲線とを併用すれば良い。

UV 平面に単色光偏差を記入した一例を第 17 図(120 頁参照)に示す。この図によつて分光測光に必要な波長精度並びに反射率測定精度の分布が良く理解できる。

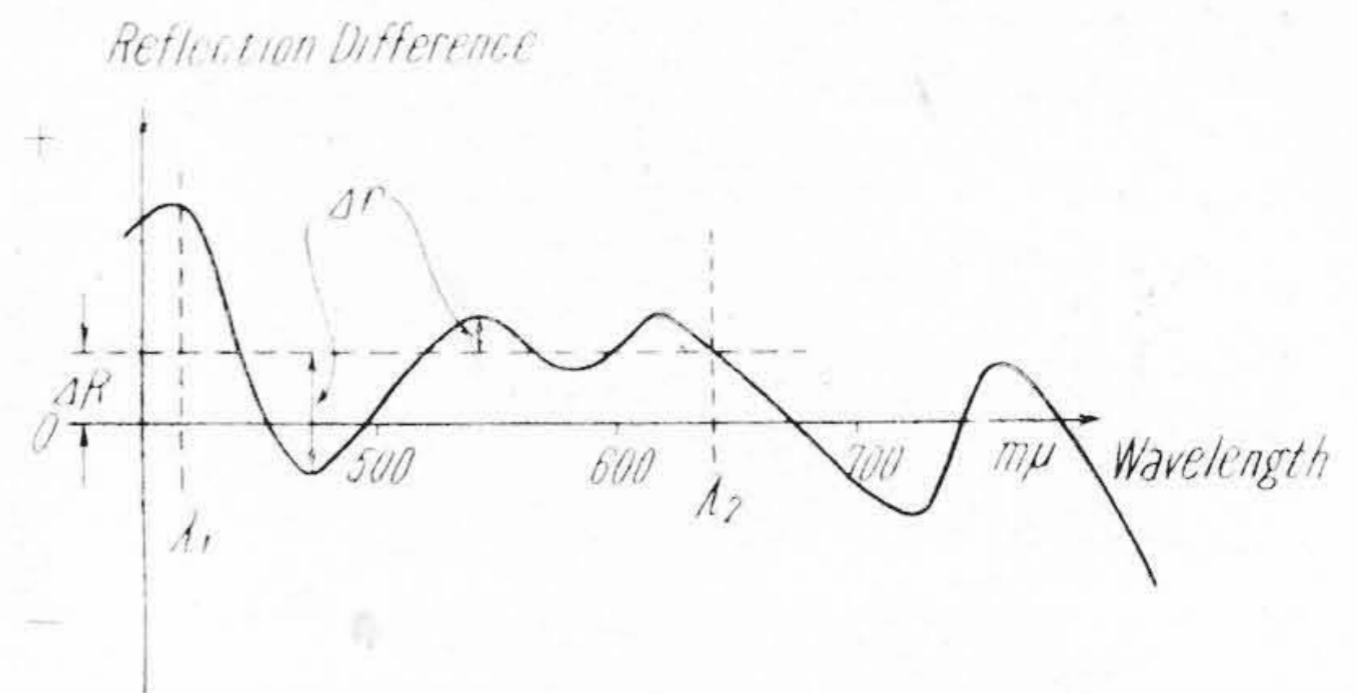
次に問題になるのは検査に適用すべき照明の種類に就いてであるが、蛍光灯を除いた普通の照明に対しては C 並びに A 照明に対する検査に合格すれば大体問題は無いであろうと推定される。我々は今までの研究では C 及び A 照明に対して合格という立場で進めてきていたので、後にもふれるように反射率差曲線の相当大きい振動も場合によつては許容範囲内に入つてきて、結局検査法としても一般論としてはこれ以上簡単にはならないようである。

併しながら蛍光灯の普及と共にこの照明による色差も無視出来なくなりつつある。特に工業用並びに事務用に使用される演色性の悪い蛍光灯に就いては、 C, A 照明等黒体輻射に近い照明とは著るしく異つた U, V の特性を示す。これらを考慮に入れた場合には、かゝる検査法を飛躍的に簡易化する可能性があると共に、塗料の色規格としてはこれまでより苛酷になるであろうことが予想される。

今までに述べた方法は一般的で各種顔料を混合した普通の塗料の検査に適しているが、混合前の原顔料、原塗料乃至はこれに近い状態の塗料に就いてはもつと簡単な検査法が可能である。即ち、かゝる塗料に就いては製造工程の諸因子が分光反射率曲線に及ぼす影響は比較的単純且つ組織的であるように思われる。例えば内外の多くの塗料メーカーが出している比較的高彩度の赤色ペイントの分光反射率曲線を比較検討すると次のような 4 種の典型的な傾向が見出される。即ち(第 18 図(前頁)参照)

1. $500 m\mu$ の附近は大體平坦であり、この反射率値が系統的に上下する。
2. Cut off は特に混色したと思われるものを除き急峻で途中に段がなく、波長だけが系統的にずれる。
3. 莖領域で系統的に反射率が高くなるものがある。
4. 赤領域で系統的に反射率が上昇もしくは下降する。

このことはこれらの試料を各種の褪色試験にかけた場合にもあてはまる。そこでかゝる塗料の一群の中のあるも



第 19 図 将来考えられる検査法

Fig. 19. Inspection Diagram Possible in Future

のを設計値にとるとこの 4 種の変化の各々に応ずる。

$(U+V+Y)/|E_0|$ なる量を図表とすることが出来る。第 18 図にはある赤色ペイントを基準にとり、4 種の変化を個別に理想化したものとこれに応ずる $(U+V)/|E_0|$ 及び Y/E_0 のベクトルとを示している。普通の場合 Y は殆ど無視できる。試料の反射率測定曲線を設計値の曲線と重ねて 4 種の変化量を分離することは、透明グラフ用紙を用いれば極めて簡単であるからこれに応ずる。

$(U+V+Y)/|E_0|$ を箇々に図表から求めて図上でその和を作れば良い。この絶対値が C, A 両照明共に 1.00 を越さなければ合格である。

以上分光反射率曲線差により色差を検査する実用的な方法に就いて述べたのであるが、従来の分光反射率曲線より複雑な計算によつて各種の色空間上の座標点を求めて色差を論ずる方法にくらべれば相当簡易化したとはいへ「分光反射率曲線をみれば一眼で合否が判る。」という検査の理想には程遠いようである。

日立製作所のように主として塗料消費者である立場ではあらゆる照明につき色差がある程度以下であるための十分条件のみを考えても良いから、例えば第 19 図の偏差曲線で例示した如くに $\lambda_1 \sim \lambda_2$ の間の平均的な偏差量 ΔR とこの平均的な値からの偏差量 Δr につき

$$|\Delta R| \leq \Delta R_0, \quad |\Delta r| \leq \Delta r_0, \quad \Delta R_0, \Delta r_0 \text{ 規格値}$$

というような規定が考えられないことはない。 ΔR は前述の Y に対応し、 Δr は前述の $U+V$ に対応するような性質の量である。

しかしながら塗料製造業界に於て顔料の管理不完全を視感による Cut and Try 的な調合により補なつて現況に於ては、同一色塗料に就いても原料並びに調合比の差異が大きく、これが検査時の分光反射率差曲線に複雑な振動を与えている。分光反射率差曲線の振動の山谷がなだらかであれば、上記のような決め方と先に述べた U, V, Y, E を用いる必要条件側から推した方法とは

結果に於て大差のないこと、第17図 UV 平面に於ける単色光偏差曲線等をも推定されるところである。しかし振動の山谷がするどい場合には十分条件側から出した振幅最大値 Δr_0 は必要条件として C, A 照明だけに就いて色差が所要範囲内であれば良いという立場からは過度に苛酷になる。但し先に述べた如く演色性の良くない蛍光灯に対する色差をも必要条件に入れると、十分両側に平衡のとれた Δr_0 が存在するようにも考えられる。かゝる ΔR_0 並びに Δr_0 が解きうれば、色に関する管理は極めて簡単になる故、目下各種の試料に就いて検討中である。これに就いては追つて報告することとし、本報告に於てはかゝる量が存在する可能性を示唆するにとどめたい。

〔V〕 結 言

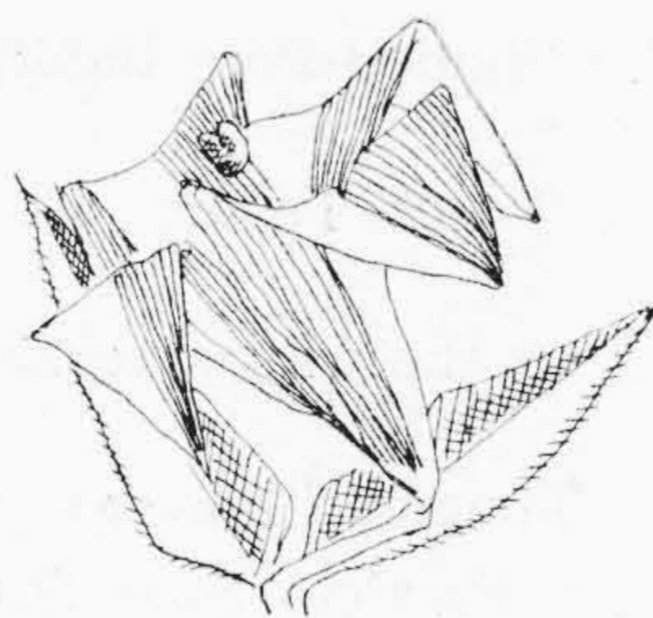
本報告に於てはまず塗装の管理に関する一般的な考え方を序したのち、色差に関する従来の学説並びに計測法を紹介した。次に我々の開発した自記分光光度計に就き略述した。最後に分光反射率曲線による実用的な塗装の色の検査法に就き研究した結果を報告し、更に原料に近い塗料の場合には簡便法が存することを例示し、亦極めて簡単な検査法の存在の可能性に就いてふれて将来の研究の方向を示した。

本研究は日立製作所中央研究所に於て、湯本清比古、河合鱗次郎両博士の御指導の下に、日月紋次博士以下日

立製作所塗装委員会の諸氏の御援助を得て遂行中のものである。亦、自記分光光度計の試作に際しては豊田博司元重役並びに鳥山四男前所長の並々ならぬ御配慮にあつかつた。擱筆にあたりこれらの諸氏に謝意を表す。亦自記分光光度計の試作に関しては現在日立製作所多賀工場におられる大和田勤氏をはじめとする実験室の諸氏、色の計測計算に就いては橋本章氏の御努力を忘れることはできない。

参 考 文 献

- (1) R.S. Hunter: J. Opt. Soc. Am. 32 518-519 (1942)
- (2) H.R. Davidson: J. Opt. Soc. Am. 41 1052 (1951)
- (3) E.Q. Adams: J. Opt. Soc. Am. 32 168-173 (1942)
- (4) I.H. Godlove: J. Opt. Soc. Am. 41 760 (1951)
R.S. Hunter: J. Opt. Soc. Am. 32 509-538 (1942)
- (5) G.C. Sziklai: J. Opt. Soc. Am. 41 321-323 (1951)
- (6) I.C.I.: J. Opt. Soc. Am. 41 431-439 (1951)
- (7) 角野正夫: 照明学会誌 37 18-20, 53-55 (昭28)
- (8) D.L. MacAdam: J. Opt. Soc. Am. 27 294-299 (1937)



THE HITACHI REVIEW

No. 4

Following the three successful publications, the forth Number of the Hitachi Review is now under editing and will be presented to you by the middle of July with interesting articles covering such a variety of scientific subjects that follow :

287.5kV Contrarc Circuit Breakers	<i>M. Kawayama</i>
Metal-Clad Switchgears (Okinawa Class)	<i>T. Ando</i>
Development of Hitachi Electron Microscopes	<i>M. Tadano</i>
400 kW Hitachi Explosion-Proof Induction Motors	<i>M. Yamamoto</i>
Hitachi High Temperature, High Pressure 8,000 HP Marine Steam Turbine and Its Appurtenance	<i>T. Kubota</i>
Type PH-1 Power Line Carrier Telephone System	<i>N. Nakatani</i>
Testing Method of the Stability of Hitachi Insulating Oils	<i>H. Takahashi</i>
Torque of Inclined Coil Type A.C. Meters	<i>M. Tsujita</i>
Vibration Oscillograms of Rotating Machines Trespassing Critical Speed	<i>H. Takabayashi</i>
Performance Analysis of the Shaded Pole Induction Motor	<i>T. Fujii</i>
Vibration Tests by Dynamic Truck Tester	<i>T. Ohashi</i>
Commutation Theory Based on the Characteristics of Brushes	<i>T. Ichiki</i>
Particle Size Distribution of Tungsten Powder (Part I) (Optical Method of Measuring the Particle Size Distribution Using a Photoelectric Tube)	<i>N. Ichiyama</i>

Price: ¥200 a copy Postage: ¥40

Publisher: Hitachi Hyoronsha, Hitachi, Ltd.
Marunouchi, Tokyo, Japan