

124形ダブルビーム分光光度計の諸特性

Characteristics of Model 124 Double Beam Spectrophotometer

皆川 定雄*
Sadao Minakawa

渡辺 寔*
Makoto Watanabe

赤松 貫之**
Kanji Akamatsu

要 旨

日立製作所では昭和42年1月に、124形ダブルビーム分光光度計をアメリカ、コールマン社に輸出したのをはじめとして、昭和43年5月現在すでに1,000台を完成し、国内、国外に納入して好評をえている。124形はアメリカをはじめ世界各地で販売することを目的として開発され、国産ではじめての本格的な普及形ダブルビーム分光光度計であり、低コストながらいくつかの特長を備えている。本稿は124形の構造、機能などについて述べたものである。

1. 緒 言

日立製作所では昭和32年EPS形自記分光光度計を完成した。以来三度におよぶモデルチェンジを経ながら、ダブルビーム分光光度計の高級機として好評を得てきた。一方、昭和38年139形手動式分光光度計が完成、高い信頼性をもつシングルビーム分光光度計として世界各地に向け販売されることになった。124形はこの二者の技術的成果を生かし、高い信頼性をもち測定に便利なダブルビーム分光光度計の普及形として計画されたものである。

昭和41年末、124形が139形を自動化し、EPS形を大幅にコストダウンした形で完成し今日に至っている。

2. 本 論

124形ダブルビーム分光光度計は次のような特長を備えている。

- (1) 従来高級機しか備えていなかった吸光度リニアという表示方法を採用して定量分析を便利にしたこと。
- (2) 吸収測定の専用機とし、試料系の応用性を高めるため、試料室を広くとったこと。
- (3) 普及形であるから低価格であることはもちろんであるが、特に操作を簡単にしたこと。

以下にまずその原理を述べ、次にその各部につき詳細に述べる。

2.1 分光光度計の原理

分光光度計では分光器により単色光を作り、それを対照 (re-

ference) と呼ばれる液 (通常は光を吸収しない) と、光を吸収する試料 (sample) とを通し、対照に対する試料の透光度を測定し、試料の濃度を求める定量分析を行なう。また波長を連続的に変え、そのおのののに対する透光度を求めてスペクトルをかかせ定性分析を行なう。

手動式シングルビームの装置では、単色光の光束が1本作られ、そこに対照と試料を手動で入れかえて測定するが、ダブルビームでは、単色光の光束が2本作られ、その一方は対照を通り、ほかの一本が試料を通る。そのおののの光量は、電気量に変えられ、その比が指示される。

ところで透光度 (transmittance) は試料濃度と一次的な関係をもたない。これは定量には不便であり、そのための吸光度 (absorbance) という量が重要になる。吸光度 (A) と透光度 (T%) には次のような関係がある。

$$A = -\log T/100 = 2 - \log T$$

この吸光度は試料濃度 C、試料の光路長 l に比例する。

すなわち $A = kcl$ (kは比例定数) … Lambert-Beer の法則。

このため試料濃度と吸光度の関係を示す検量線は直線となり、定量に便である。これまでの装置では、透光度が等分割目盛で示され、吸光度は対数目盛で示されるのが普通であった。

図1は吸収測定の原理を概念的に示したものである。

2.2 ダブルビーム分光光度計

図2は、124形を動作状態にセットしたところである。中央の本体には光源、分光器、試料室、受光器、増幅器、対数変換器などの電気系統および指示計器が組み込まれている。本体の右側にあるのは記録計で、指示計器が示す結果を記録する。本体の左側にあるのは安定電源であり、光源ランプを点灯するのに用いる。

本体の前面のつまみは、左から順に OPERATION SWITCH (電気系統を ON-OFF する。波長駆動モータを ON-OFF する)、SPAN ADJ (吸光度スケールのスペンを調整する。2個)、SCALE (吸光度のレンジを選ぶ)、ZERO (指示計数のゼロ合わせをする) となつて

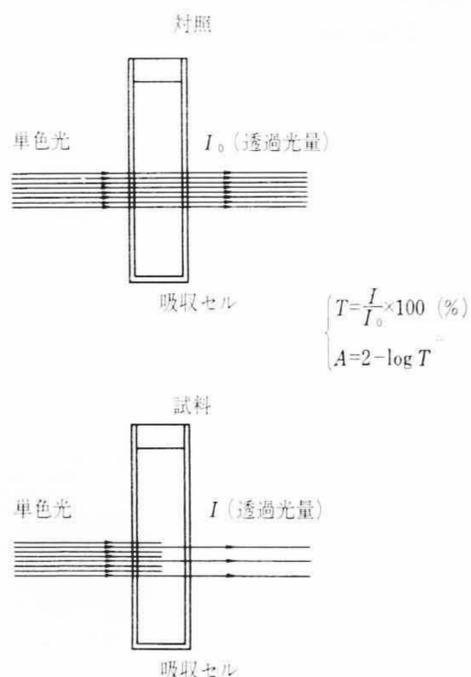


図1 吸収測定の原理

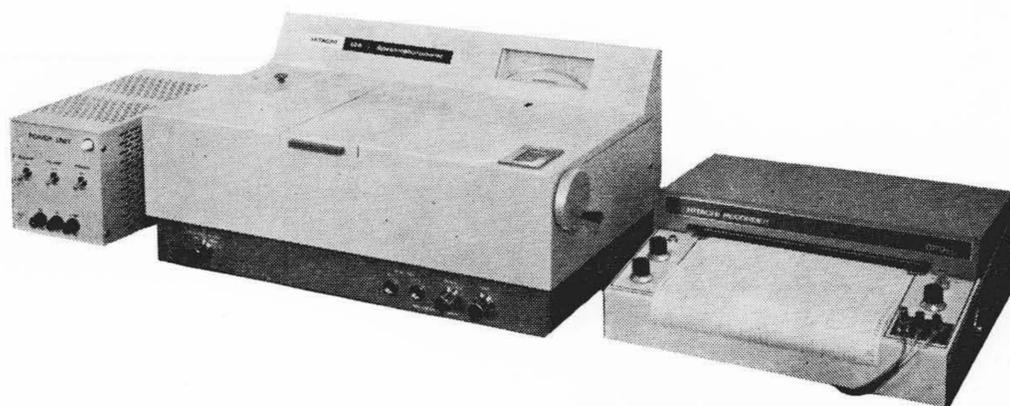


図2 124形ダブルビーム分光光度計

* 日立製作所那珂工場

** 日立製作所輸出第二営業所

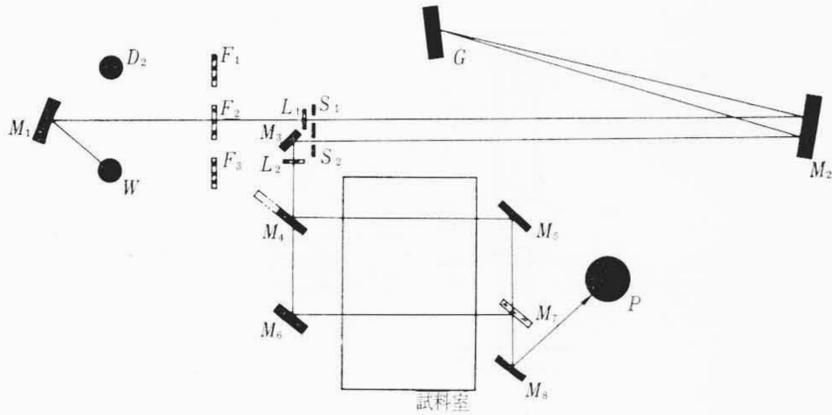


図3 光学系

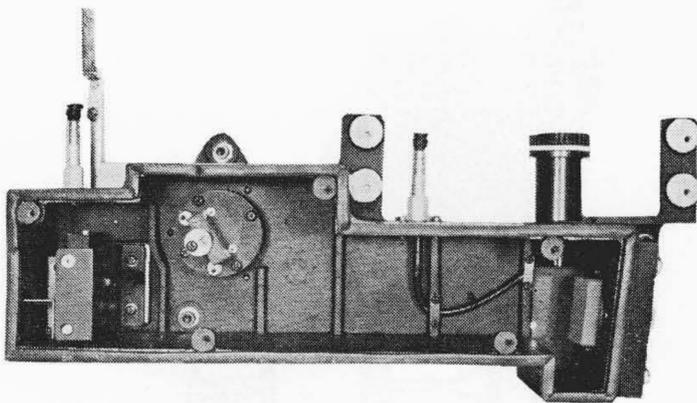


図4 分光器内部

いる。すなわち吸光度に関するつまみに重点をおいて装置前面に配列した。

本体右側のつまみは手前から順に、ABS-%T (吸光度の指示か透光度の指示かを選ぶ)、ABS %T、ENERGY (対照側の動作を止めてシングルビームとして使用する)、%T SPAN (スパン調整)、ZERO CHECK (透光度0の指示をたしかめる)となっており、これまでの分光光度計がおもにとってきた透光度に関するつまみはむしろ補助的なものと考えてある。

本体の上部には光源室用のふた、試料室用ふた。波長指示用窓があり、上部正面には指示計器を置き、結果を読みとる。

本体右側の波長ハンドルは波長を手動で選ぶときに使用する。記録計は指示値の記録または吸収スペクトルの記録に用いる。

2.3 光学系

図3に光学系を示す。

図において D_2 は紫外線を発する重水素放電管、 W は可視、近赤外用光源となるタングステンランプ、 M_1 は光源ミラーであり、このミラーの向きを外部からレバーで変更することにより、どちらのランプを使うかを選択する。図はタングステンランプを選択したところである。 F_1, F_2, F_3 はフィルタであり波長駆動系と連動して自動的に所要のフィルタが光路にそう入される。 L_1 は入射スリットレンズであり、コリメータミラー M_2 とあいまって光源ミラー M_1 の像をグレーティング G の上に作る働きをする。 S_1 は入射スリットで出射スリット S_2 とともに3段階に切り換えられる。そのおののに対して $2\text{ m}\mu$ 、 $1\text{ m}\mu$ 、 $0.5\text{ m}\mu$ の波長半値幅の単色光が得られる。 M_2 はコリメータミラーであり、この働きにより入射光束は平行光路となってグレーティングに入射する。 G は $1,440$ 本/mm のみぞ数をもつレプリカグレーティングであり、ブレイズ波長は $200\text{ m}\mu$ である。ここで分散された光は再びコリメータミラー M_2 を経て出射スリット S_2 上に入射スリットの像を作る。このスリットを通過した単色光は、ミラー M_3 により方向を変えられ、レンズ L_2 により収束されながら試料室へ向かう。 M_4 は半円形の回転ミラーであり、このミラーに光束が当たっているときは光はその進路を 90 度曲げられ、対照側光束として試料室内を通過する。 M_4 がさらに回

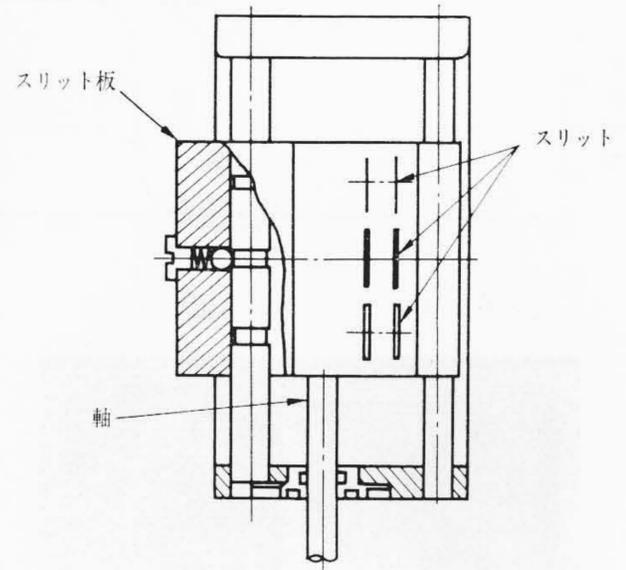


図5 スリット機構部

転して光束が当たらなくなると、光はまっすぐに進み、反射鏡 M_6 により 90 度方向を変えられて試料側光束となって試料室を通過する。対照側光束は反射鏡 M_5 により再び進路を変えられ、格子ミラー M_7 に入射する。 M_7 は 0.5 mm 間隔に幅 0.5 mm の反射面を持つスタレ状の格子ミラーであり、対照側光束はこの格子ミラーの空間をすり抜けて凹面鏡 M_8 に入射する。試料側光束は M_7 の反射面により向きを変えられて凹面鏡 M_8 に入射する。凹面鏡は光束を適当な大きさにしぼって受光器である光電子増倍管 P に入射させる。

この光学系は分光器により単色光を作り、それを2光束に分けて対照側、試料側とする方式を採用している。この分け方には、いろいろなやり方が考えられるところである。たとえば、EPS形では図3の M_4 と同様なミラーと、これと同期して回転する半円形ミラーを M_7 に相当する位置にもっておりダブルビームを作っている。

124形では格子ミラーを採用することにより、駆動部を M_4 1個所に制限することができた。

このためたとえば、EPS形の場合のように M_4 と M_7 の同期をとることに対してはなんにも注意する必要がない。またその機構も不要となり、装置がコンパクトにまとめられる。このような配置では対照側、試料側の光束の間隔は、かなり自由にとれるので、この間隔は 50 mm にとった。この空間は試料室にいろいろな付属装置を入れて特別な実験をするときに役立つものである。試料室の横幅は 110 mm あり、 100 mm までの光路長をもつ長吸収セルの設置が可能である。これは標準形のセルの10倍の長さであり濃度の低い試料を測定するとき有用である。

2.4 分光器

図4に分光器内部を示す。光学系はリトロ形に配置されており波長の選択はグレーティングの向きを回転させて行なう。波長駆動系は分光器室の底についている。グレーティングの回転角度は $195\text{ m}\mu$ から $800\text{ m}\mu$ まで波長を変えたとき 27 度 5 分 25 秒である。分光器内部には $195\text{ m}\mu$ より短い波長で測定するときにはじまになる酸素を追い出すために窒素を流し込めるようになっている。コリメータミラーは、その位置と方向の微動調整ができるように調整機構をそなえている。分光器は気密になっており、内部は乾燥状態に保たれる。

2.5 スリット機構

グレーティング分光器の性質として単色光の分散が波長によらずほぼ一定であることがあげられる。このためスリット幅を一定にしておくとの波長においてもほぼ一定の単色波長幅が得られる。このことは実際分析をするときに、いちいち波長幅を考慮するわずらわしさから解放される。124形では固定スリット幅を三段階に切り

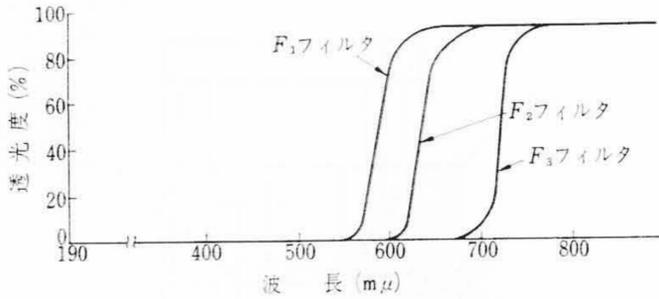


図6 カットフィルタの透光度特性

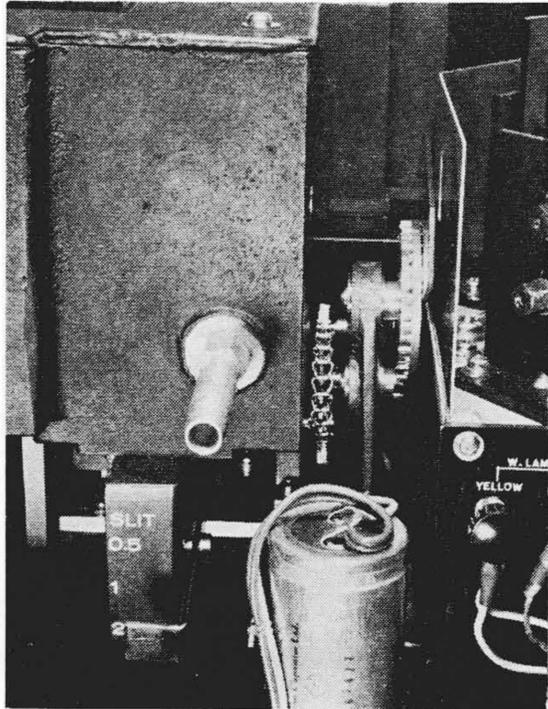


図7 フィルタ切換機構部

換えて $2\text{ m}\mu$, $1\text{ m}\mu$, $0.5\text{ m}\mu$ の波長半値幅が得られるようにしてある。図5はスリット機構である。レバーによりスリットは上下して所望のスリットが光路にそう入される。このとき重要なのは、スリットの位置に再現性があることであり、もし位置がずれると波長誤差となって現われる。124形ではスリットを縦に並べて切り換え再現性を高くしている。

2.6 フィルタ部

グレーティングはすぐれた分散素子であるが、光の干渉を利用して単色光を作っている原理から、どうしても2次光、3次光などの高次光が単色光に含まれるという欠点がある。すなわち、いま、波長を $800\text{ m}\mu$ にセットすると $800\text{ m}\mu/2=400\text{ m}\mu$ $800\text{ m}\mu/3=267\text{ m}\mu$ などの光が $800\text{ m}\mu$ の光にまざりこむ可能性がある。その可能性が実現するのは、まず光源からその波長の光が出ていることが必要であり、次にはその光を受光器が検知することが必要である。この二つが満たされたときは、この高次光は測定に影響するから、なんらかの手段を講じてこれを除去しなければならない。

124形では、図6に示すような透光度特性をもったフィルタを光路にそう入することにより、2次光を除去している。 F_1 フィルタは波長 $600\sim 650\text{ m}\mu$ で使用され、 F_2 フィルタは波長 $650\sim 700\text{ m}\mu$ 、 F_3 フィルタは $700\sim 800\text{ m}\mu$ で使用される。これ以外の波長域では前記のいずれかの条件が満たされないためフィルタは不要である。

このフィルタは波長駆動系と連動して、自動的に光路にそう入されるべきである。もしこれを手動にするならば操作がわずらわしいばかりでなく、人が常に装置についていなければならない。124形では、波長駆動系と連動する機構をもっている。すなわち、波長駆動軸の回転をチェーンによりフィルタ切換機構部に伝え所要の波長で自動的に切り換えている。図7はフィルタ切換機構部を示したものである。

2.7 波長駆動機構

図8に波長駆動系を示す。これはいわゆるサインバー方式といわれる。よく知られた方式であるが一応記述しておく。

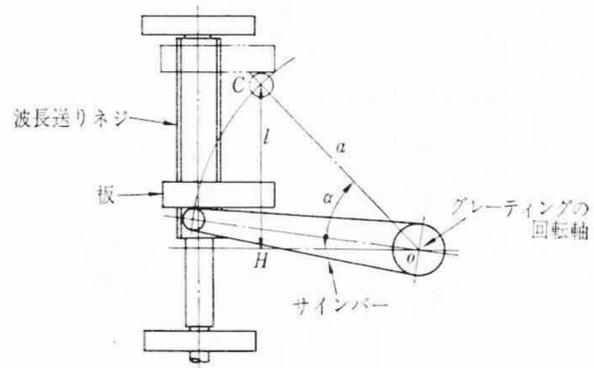


図8 波長駆動機構

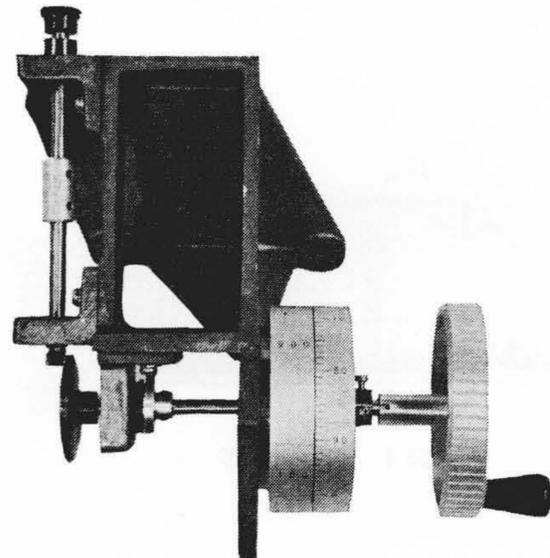


図9 波長ダイヤル

グレーティングを用いたリトロ形分光器においては、出射スリットから出てくる単色光の主波長は

$$2d \sin \theta = \lambda \dots\dots\dots (1)$$

で与えられる。ここに d はグレーティング定数で、124形の場合 $1/1,440$ 、 θ はグレーティングに立てた電線と入射光(出射光)のなす角、 λ は波長である。

また、図8から次の関係のあることは明らかである。

$$a \sin \alpha = l \dots\dots\dots (2)$$

ここに a はグレーティングを回転させるバーの長さ、 α はグレーティングの回転中心からバー送りネジにおろした垂線を基準とする回転角、 l は前記垂線を基準としてバーの先端の移動した距離である。

いま、 θ と α が一致するように組み立てるものとする(1)式と(2)式から \sin の項を消去して、

$$\lambda = \frac{2d}{v} \cdot l \dots\dots\dots (3)$$

となる。すなわち λ は l に比例するから、 λ は波長送りネジの回転に比例する。かくて、等間隔目盛をもった波長ダイヤルが簡単な機構で実現する。

図9には波長ダイヤルを示す。左側には $100\text{ m}\mu$ 単位の目盛が、右側には最小 $1\text{ m}\mu$ の目盛がきいてあり、いずれも等間隔である。波長選択は手動またはモータ駆動による。

2.8 光源室

図10に光源室を示す。波長域 $195\text{ m}\mu$ から $370\text{ m}\mu$ までの光源としては 300 mA 、 90 V の重水素放電管を用いる。光強度が一定に保たれるよう、電源からは 300 mA の定電流が供給される。 $370\text{ m}\mu$ 以上 $800\text{ m}\mu$ までの光源としてはタングステンランプを用いる。定格は 10 V 4 A であり、電源からは 10 V の直流定電圧が供給される。ランプを切り換えるには、ランプの位置を移動する方法もあるが、レバーの一振りでもランプが選べる光源ミラー切換方式を採用してあ

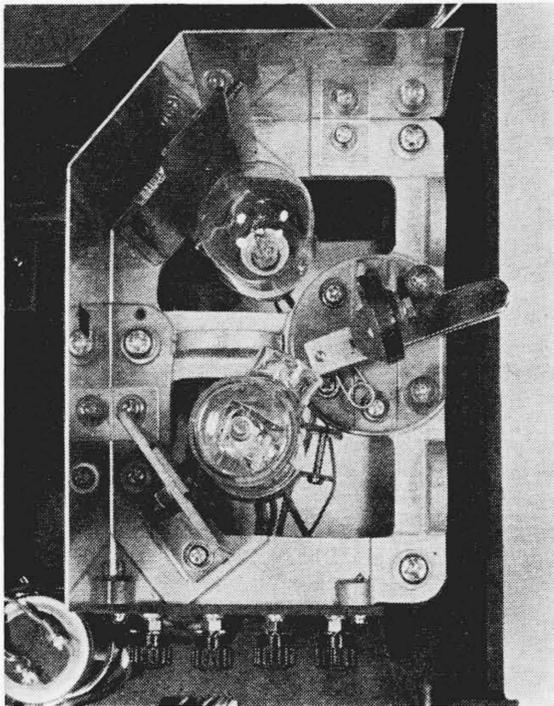


図 10 光 源 室



図 12 セルホルダ

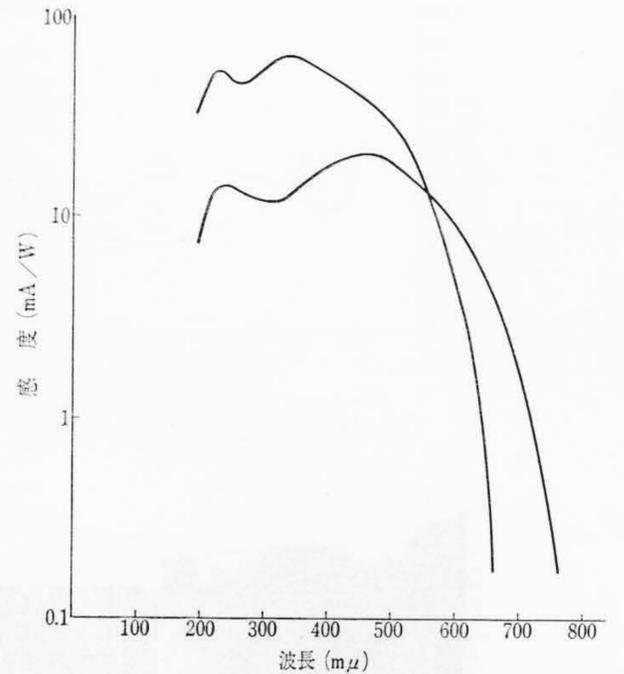


図 13 光電子増倍管の分光感度特性

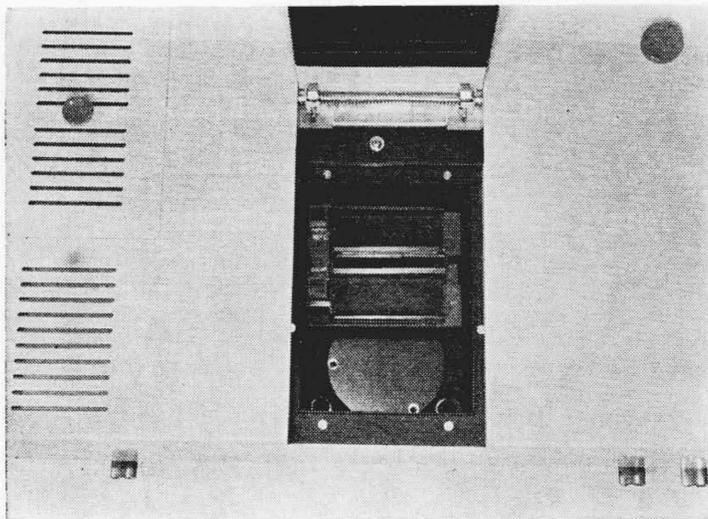


図 11 試 料 室

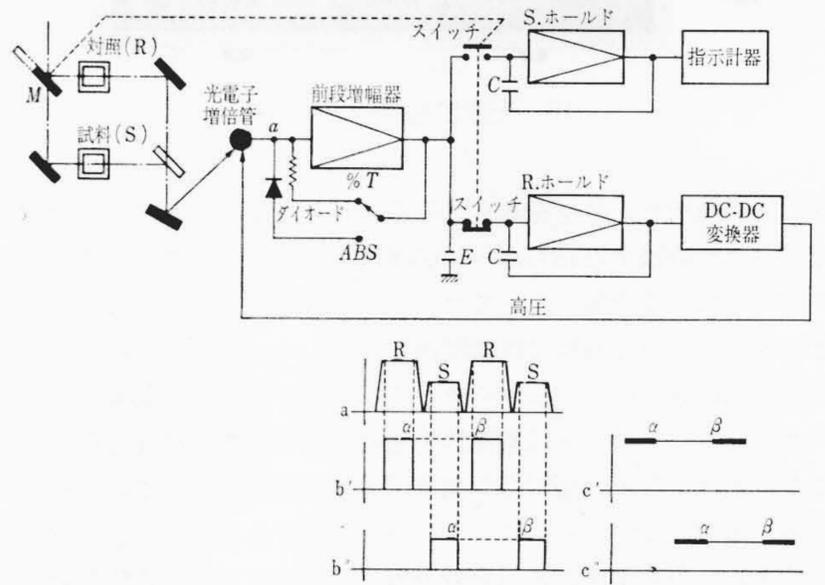


図 14 電 気 系

る。これはミラーの向きを使う方のランプに向けて、その光を分光器入射スリットへ導く。ミラーの焦点距離は光源の像が入射スリット上にできるように選んである。

2.9 試料室

図 11 に試料室を示す。試料室には対照液を入れたセルと試料を入れたセルが設置される。試料系に関するアクセサリを入れることができるように試料室は幅 110 mm、奥行 160 mm と広くとってある。標準的な使用法では対照、試料、おのおの 1 個のセルを設置して使用するが、4 個の試料セルを同時に設置できるアクセサリなどがその例である。図 12 はセルホルダである。

2.10 受光器

受光器には浜松テレビ社製 R-136 または R-106 光電子増倍管を用いている。これらの波長に対する感度特性を示したのが図 13 である。R-136 は 190 mμ から 800 mμ までというように広い波長範囲で応答できるのが特長である。対照側の光束も試料側の光束もこの 1 本の光電子増倍管に入射するが、前述したように時間的にずれているので信号は分離できる。

2.11 増幅器および対数変換器

図 14 に電気系を示す。光電子増倍管は図中の a に示すように対照を通過してきた光に応ずるパルス信号と、試料を通過してきた光に応ずるパルス信号を交互に連続的に送り出す。これらのパルスは高い負帰還をきかせてあるリニア前段増幅器にはいる。回路はすべてソリッドステート化されているが、ただ一つの例外がこの増幅器への入力部である。そこには超小形双 5 極真空管が低ノイズ、高イ

ンピーダンスゆえに採用されている。前段増幅器におけるループゲインは、負帰還回路の中に抵抗がはいる場合とダイオードがはいる場合とに分けられる。切換スイッチが %T のほうならば抵抗がつながれ、増幅器の出力は信号入力に対して高い直線性をもつ。この状態では装置はその指示計器上に %T リニアの表示をする。スイッチを切り換えて ABS にするとダイオード D が負荷となり、ループゲインを決定する制御因子となる。

ダイオードの順方向電圧対電流特性は、電流の対数に電圧が比例する。この対数特性を利用してアウトプットが吸光度に直線的に比例するように前段増幅器の利得を制御する。この関係の精度は等分割目盛の指示計器上で 0.5 の吸光度において ±0.005 にはいる。この変換を行なうことにより次のような利点が生まれる。まず第一に、対数関数抵抗とか、非円形ギャとか、高価なサーボ式自動平衡回路が不要となる。第二に、初段増幅器で変換してしまうことにより、高い吸光度における低いエネルギーレベルで動作できる。この系はまた一定のパーセンテージ精度を保ちながら吸光度 0~1 スケールから吸光度 0~2 スケールに切り換えることができる。そして等間隔のメータで直接吸光度を読むことができる。

2.12 ホールド回路

前段増幅器からの出力は、次の二つの同期リードスイッチ S (回転ミラーと同期をとってある) により分けられる。すなわち S は対照側パルスを対照側信号のチャンネルに、試料側パルスを試料側のチャンネルにふり分ける。この過程は図 14 の b'-b'' に示される。

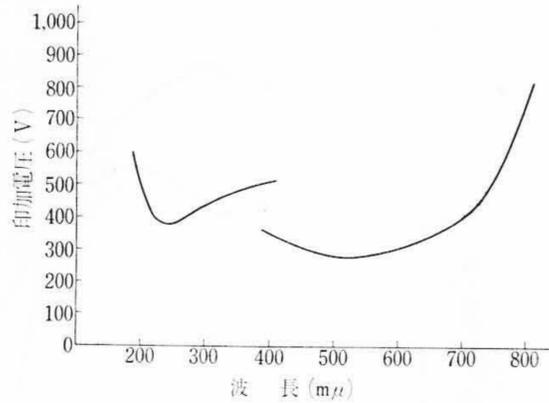


図15 波長と印加電圧の関係

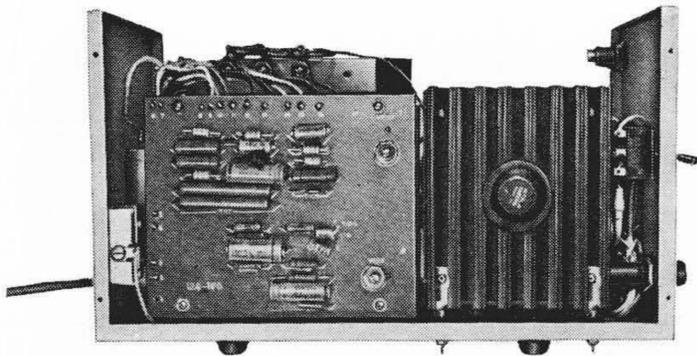


図16 光源用電源の内部図

まず対照側チャンネルを考えてみる。パルスはバイアスのかけられたピーク整流器すなわちホールド回路を通る。そしてパルスのピークに乗っている情報によってコンデンサも充電する。一方、ノイズとか他のよけいな情報には無関係である。ホールド回路の出力は、高周波 AC 電圧を生ずるマルチバイブレータの出力を制御するために使われる。この電圧は整流器を通り高い DC 電圧に変えられる。この電圧は光電子増倍管の印加電圧として使われる。このホールド回路の出力はまずメータフルスケールを示すある一定の基準電圧と比較され、その電圧の差が光電子増倍管の感度を定める印加をきめるために使われる。このため対照側シグナルのための光電子増倍管の出力は、波長や対照液のスペクトル透光度特性とは無関係に常に一定に保たれる。図15は光電子増倍管への印加電圧と波長の関係の一例を示したものである。

この方法は、試料室のカバーをあけて光電子増倍管に強い光を当てても光電子増倍管をそこなわないという利点をもつ。それは光量が増すと印加電圧が下がり、アノード電流を減らすことになり、結局必要な保護となるからである。

試料側チャンネルは同様なタイプのピーク整流器すなわち、ホールド回路をもち、試料透過光に応じたパルスを高い直線性をもちながら DC 信号に変える。さらに増幅したのち、この信号は透光度、または吸光度を等分割のメータ上に指示する。

2.13 指示系統

指示計器は 500 μA フルスケールの直流電流計である。定量分析の際、指示値はこのメータの等分割目盛から読みとることができる。

また、定性分析のとき、あるいは定量分析においても指示を読みとらず直接記録に残したいとき、あるいは試料の時間変化を追跡しようとするときなどは、記録計をつなぐことができる。この記録のための出力は適当なインピーダンスマッチをとって、出力メータ回路から取られる。10 mV フルスケールのリニヤ記録計があれば透光度、吸光度のいずれをも直線的に記録できる。等分割目盛は、対数の目盛に比べて読みやすく、吸光度の高いところで特に読みとり精度が高く、濃度が直観的に読みとれるなどの特長をもっている。

2.14 電 源

図16は光源用電源の内部図を示したものである。重水素放電管

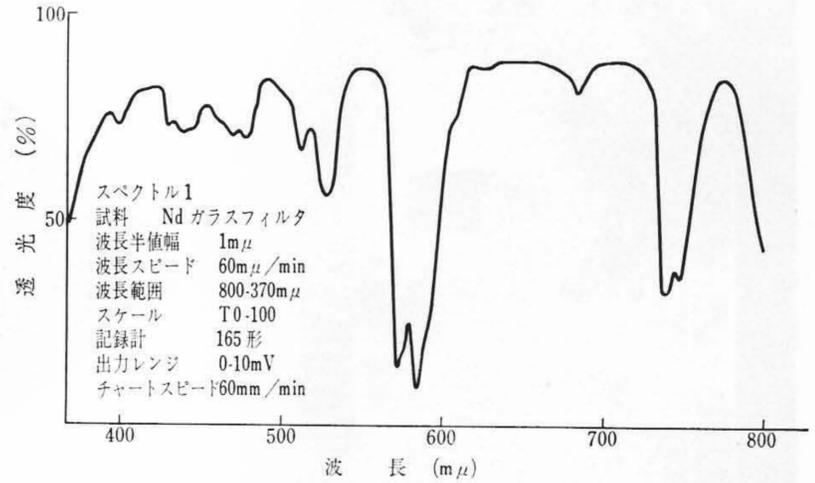


図17 スペクトル 1

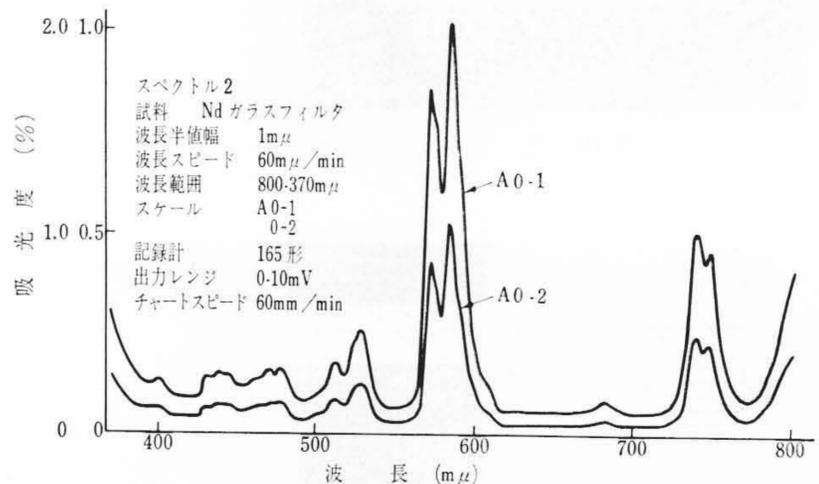


図18 スペクトル 2

用 300 mA の定電流とタングステンランプ用の 10 V 定電圧を供給するものであり、本体とは別になっている。これは電源から発生する熱が、本体の光電子増倍管や電気系統に影響しないようにするためである。

2.15 性能(仕様)

次に 124 形の仕様のうち主要なものを列記する。

- (1) 光 学 系 ダブルビーム
 リトロ形マウンティング
 グレーティング使用
- (2) 波 長 範 囲 195~800 mμ (R-136)
- (3) 波 長 半 値 幅 0.5 1.0 2.0 mμ 3 段切換
- (4) 波 長 精 度 ±0.5 mμ 全域
- (5) 測 光 精 度 ±0.5% T
 ±0.005 Abs, ユニット 0.5 吸光度において
- (6) 測定値再現性 ±0.2% T
- (7) 100%線の安定さ 240~700 mμ で ±1% T 以下
 200~700 mμ で ±2% T 以下
- (8) 表 示 波 吸光度, 透光度ともリニヤ
- (9) 波長駆動スピード 30, 60, 120, 240 mμ/min
- (10) 記録計またはデジタルボルトメータ用出力
 10 mV または 3 V

2.16 操作性に対する配慮

普及形としては操作が簡単であることは特に望ましい性能である。124 形はこの点に特に留意して設計してある。すなわち、つまみ類の数を最小限にとどめたこと、常時使うつまみをパネル前面に並べたこと。試料室を手前側においたこと、指示計器に傾斜を与えて読みやすくしたことなどがあげられる。

また記録計は別になっており、読みやすい位置に置いて使用することができる。

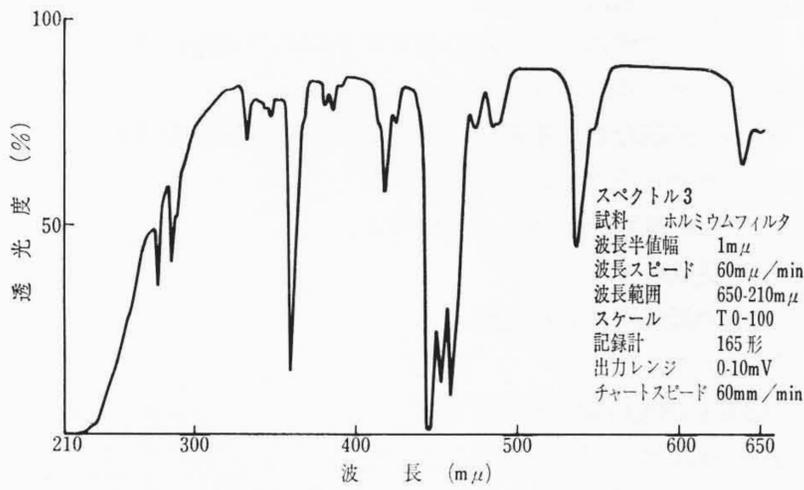


図19 スペクトル 3

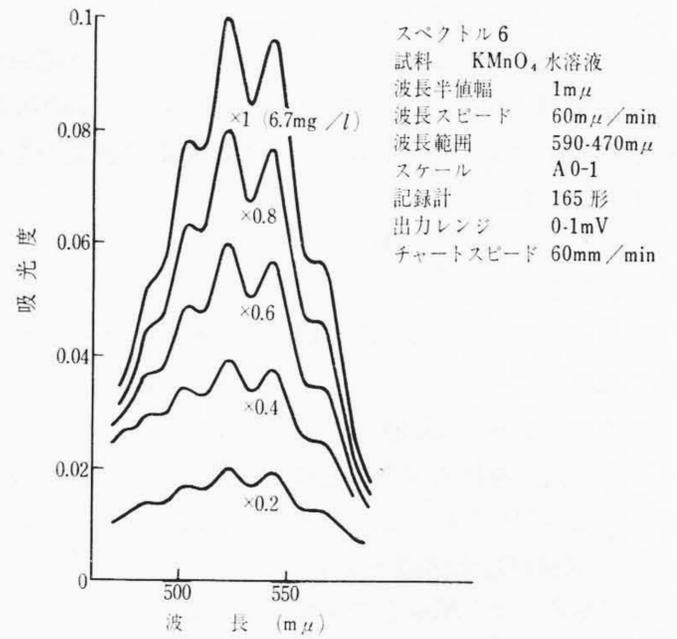


図22 スペクトル 6

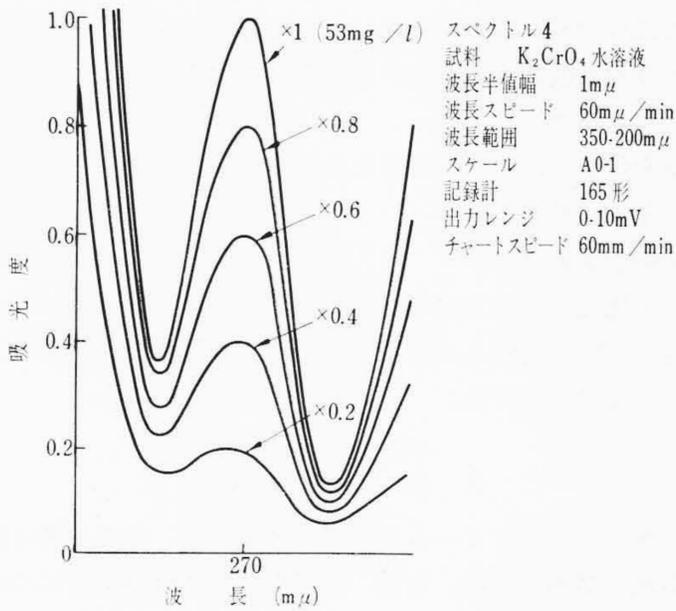


図20 スペクトル 4

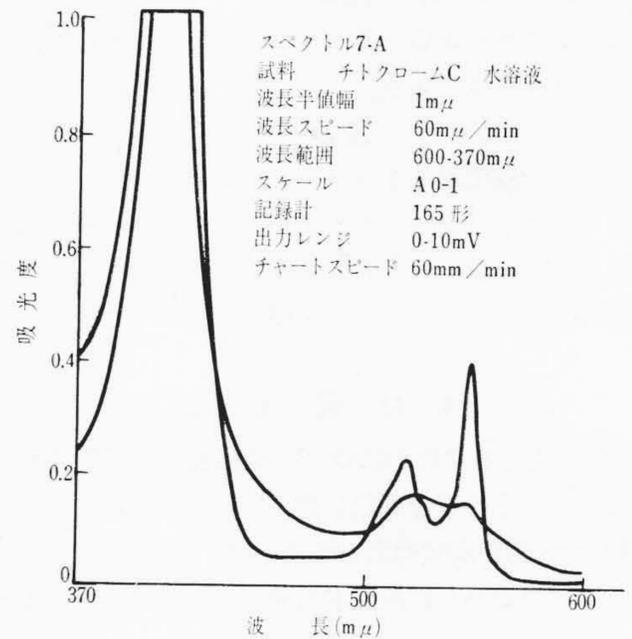


図23 スペクトル 7-A

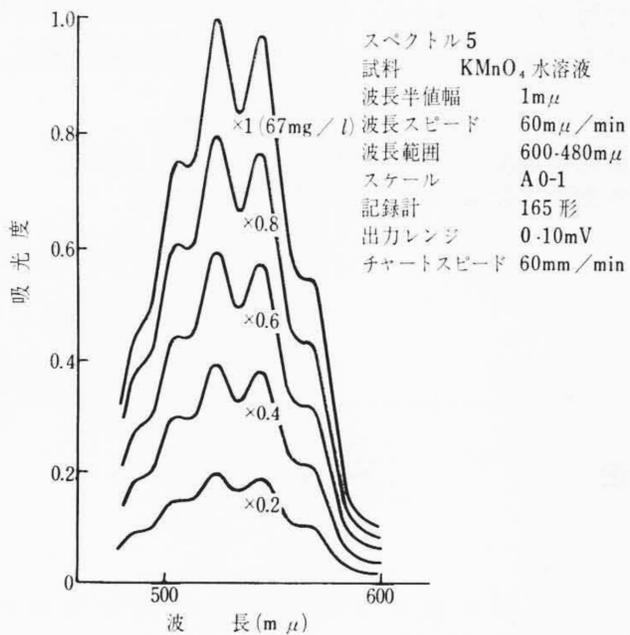


図21 スペクトル 5

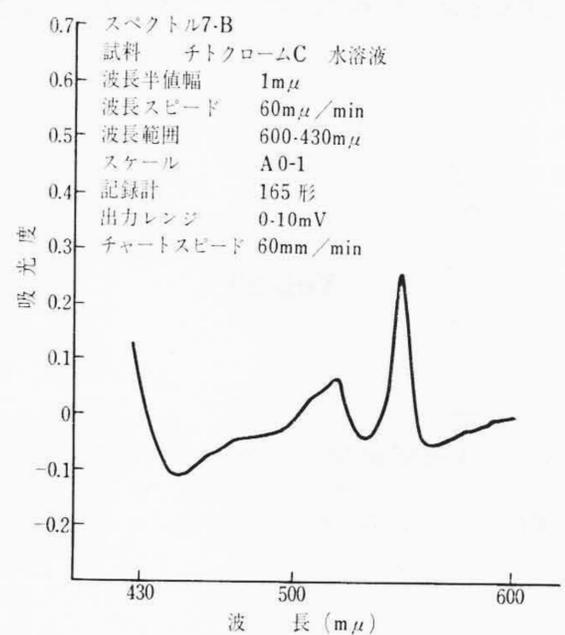


図24 スペクトル 7-B

3. 測定例

装置の性能を示すためにいくつかの測定例を示す。

(1) スペクトル1 (図17)

可視域において特異な吸収を示すのでなじみの深い Na ガラスの吸収を示す曲線である。これでわかるように 1 mμ の波長半値幅 (spectrol bandpass) は可視域における通常の最も狭い band を分離できることが明らかである。

(2) スペクトル2 (図18)

同じ試料フィルタを同じ bandpass で 0-1 Abs スケールと 0-2 Abs スケールでとったものである。このデータは 60 mμ/min

のスピードでとったが、30, 60, 120, 240 mμ/min のスキャンが
でき必要に応じて簡単に切り換えられる。

(3) スペクトル3 (図19)

領域を UV まで拡大してとった %T の例である。試料はホル
ミウムフィルタである。1 mμ の波長半値幅は可視域同様、鋭い
吸収バンドをよく分離していることがわかる。

(4) スペクトル4 (図20)

吸光度リニヤ表示における濃度とピークの高さの関係を示す Beer の法則が満たされていることがよくわかる。K₂CrO₄ 溶液は 53 mg/l の濃度を 1 として 0.8, 0.6, 0.4, 0.2 の濃度のものを作成して測定したものである。

(5) スペクトル5 (図21)

KMnO₄ の水溶液の可視域におけるスペクトルを示す。はじめに 67 mg/l の試料を作り、順次 0.8, 0.6, 0.4, 0.2 倍したものの測定例である。

(6) スペクトル6 (図22)

レコーダレンジを拡大することにより低濃度試料の正確な曲線が得られることを示す。ここでは 0—1 mV レコーダレンジが 6.7 mg/l の KMnO₄ 水溶液でフルスケールを示す。あとはこれの希釈液である。0.1 Abs をフルスケールにするアクセサリが利用できる。これによりフルスケール値を 0.1, 0.2, 0.5 にすることができる。

(7) スペクトル7—A (図23)

これはチトクローム C の曲線である。一方は酸化形、他方は還元形のチトクロームである。

(8) スペクトル7—B (図24)

これは上記の酸化形チトクローム C を対照とし、還元形を試料として差スペクトルをとったものである。このデータは、吸光度 0 の線を 0.5 のところまでずらしてとったものである。124 形では吸光度 +1.0~0 から +0.5~-0.5 までのレンジがとれる。

4. 付属装置

124 形の応用性を増すために種々の付属装置が開発され、または計画されている。それらを列記し簡単に説明する。

(1) 10 mm 循環水式恒温セルホルダ

セルホルダのまわりに恒温水を流して試料の温度を制御しながら測定する。

(2) ターレットセルホルダ

標準側では対照、試料おのおの 1 個のセルを使用するが、多数試料を測定するときのために、対照側 1 個、試料側 4 個のセルを設置する。

(3) ベース水冷付属装置

光源からの熱により試料の温度が上がるのを防止する。

(4) スケール、エクスパンダ

指示の微細な差を正確に読みとるため拡大表示をする。

(5) オパールガラスセルホルダ

にごった試料を効率よく測定する。

(6) 長吸収セル

濃度の低い試料を測定する。

(7) ミクロセル

0.3 ml の試料量で測定する。

(8) セルプログラマ

おもに酵素反応の追跡に使用するためのもので、設定した時間間隔で自動的にセル 4 個の切換えを行なう。

(9) 波長プログラマ

ある二つの波長間のくり返し波長走査、特定の三つの波長においてくり返し測定するための波長駆動をする。

(10) フローセル

試料を流しながら、その変化のようすを測定する。

(11) 積分球

反射率を測定する。

(12) 吸光度 0, 透光度 100% 補正装置

定性と同時に定量もできるように、より正確な吸光度 0, 透光度 100 の線を記録する。

5. 結 言

以上、普及形ダブルビーム分光光度計につき、その占める位置、原理、各部の構造、機能、性能、応用例さらに付属装置について記述した。

124 形は低価格で高級機の性能を備えた分光光度計で、その特長である吸光度リニヤ表示、広い試料室、操作の簡便さは付属装置の開発が進むにつれ、さらに有用さを増すものと期待される。

参 考 文 献

- (1) 実験化学講座：続 11 電子スペクトル (丸善)
- (2) 日本物理学会編：物理分析法 (朝倉書店)

Vol. 29

日立造船技報

No. 4

目 次

■論 文

- ・ディーゼル機関排気弁の熱および機械的強度について
- ・エレクトロガス溶接の実用化試験
- ・甲板パネル固有振動数の実験的調査

- ・K 形ブレースを有する鉄骨構造の復元力特性
- ・連続合成けたのたわみについて
- ・管工場の生産システムと管理システムの研究
- ・水平蒸発管の口径と流動様式について

……本誌に関する照会は下記に願います……

日立造船株式会社技術研究所
大阪市此花区桜島北之町 60 郵便番号 554