

# 日立100シリーズ, 200シリーズ分光光度計

## Hitachi Spectrophotometer, 100 Series and 200 Series

可視紫外域での普及形分光光度計として従来よりあったシングルビームの4機種、ダブルビームの2機種は、それぞれ別々に開発されたため、形状、性能などの面で統一性に欠けている。

上記全機種を同一時点で見直し、シリーズ設計する必要があった。

シリーズ設計をするに当たっては、全機種デザインの統一、同一部品の使用、性能のランク付け、人間工学的に考慮された機能性などに重点を置き設計を進めたが、このように同一時点で多数機種を見直すことにより、従来各機種の備えていた長所をすべての機種にもたせ、しかも取扱方法の共通化により、付属装置の共用化へと発展することができた。

遠山恵夫\* Tôyama Shigeo

栗本宏三\* Kurimoto Kôzô

秋友信雄\* Akitomo Nobuo

福田健二\* Fukuda Kenji

### 1 緒言

日立製作所で製作している普及形の可視紫外域分光光度計は、シングルビームとして101形、102形、181形、191形、ダブルビームとして124形、624形が挙げられるが、それぞれの開発時点が異なるため、その性能、機能、大きさ及びデザインのいずれをとっても統一性に欠ける欠点があった。今回のシリーズ設計の目的は、シリーズとして統一を図ることはもちろんであるが、光学系、機構系を最初から全く設計変更したもので、これらの特に新しい設計の基礎となった事柄、及びその結果について報告する。特に普及形の分光光度計として初めて採用した瀬谷・波岡マウンティングの凹面回折格子の採用は、分光器をシンプルにすること、迷光量を少なくすることの2点に非常に大きく貢献している。一方、ダブルビーム方式では100%ライン平坦度が重要な問題であるが、トロイドミラーの採用がこれに大きく貢献している。

### 2 新製品のランク付け

旧製品はシングルビームとして4機種、ダブルビームとして2機種あったが、シリーズ設計に当たっては、まずこれらの製品のランク付けをする必要がある。

表1は、新製品のランク付けを旧製品と対比させて表にまとめたものであるが、特にシリーズ設計に当たってはサンプルシッパーを従来の付属装置としての扱いから、一つのシステム構成品として昇格させた。これは、普及形分光光度計は最近その応用分野がますます広がり、それに従って使用法の専用化が進んできたが、特にサンプルシッパーは、臨床検査分野で重要で、最近では普及形の分光光度計の半数近くに付属しており、サンプルシッパーを組み合わせた専用機としての用途のほうが分光光度計単体としてよりも重要となってきたためである。

一方、ダブルビーム分光光度計では、その付属装置の多様性が最大の課題となるが、その場合、従来のように単に多数の付属装置をもっているだけではなく、それぞれをシステムとして昇格させた。この点については7で述べる。

図1はシングルビームの旧製品と新製品の対比を、図2はダブルビームの旧製品と新製品の対比を示すものである。これより旧製品のデザイン上の不統一さが、新製品ではほぼ完

表1 新旧製品のランク比較 旧製品の形式と、それに相当する新製品の形式の対比を示す。

区 分	旧 形 式 名	新 形 式 名
シ ン グ ル ビ ー ム	101	100-10
	102	100-20
	102+サンプル シッパー	100-21
	181	100-30
	191	100-40
	191+サンプル シッパー	100-41
ダ ブ ル ビ ー ム	124	200-10
	624	200-20

全に統一されたことが分かる。特に、主操作パネル、表示メータ、デジタルボルトメータ部、分光光度計側面などは完全に統一されている。これらの統一は、単に外観が良くなることだけでなく、むしろ各種付属装置の共用性、システム設計への極めて基本的な条件でもある。

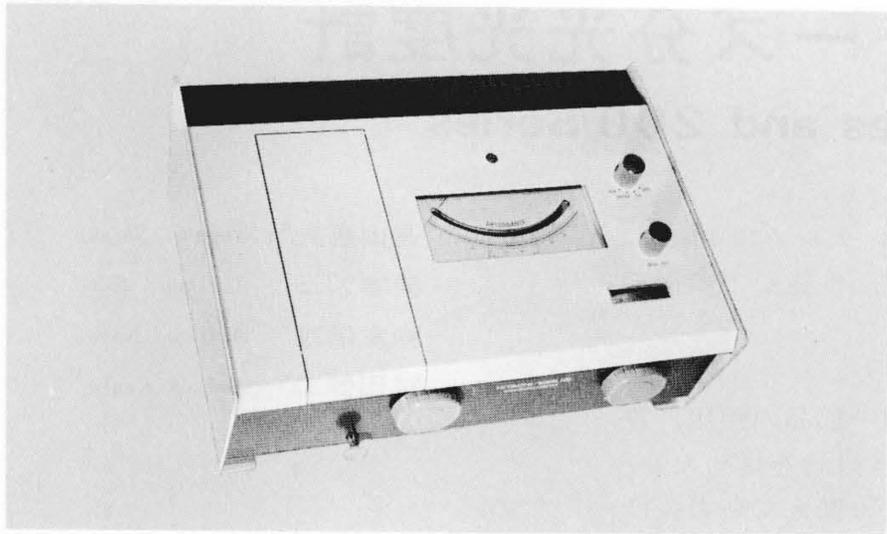
### 3 新旧製品の性能比較

表2は新旧製品の性能比較表を示すものであるが、これよりシリーズ設計後の新機種は、その相当する旧製品の性能に比較していずれも向上していることが分かる。特にシングルビーム形では迷光の少なさ、ダブルビームでは長時間の安定性という分光光度計にとって最も重要な性能が大幅に向上したことが分かる。

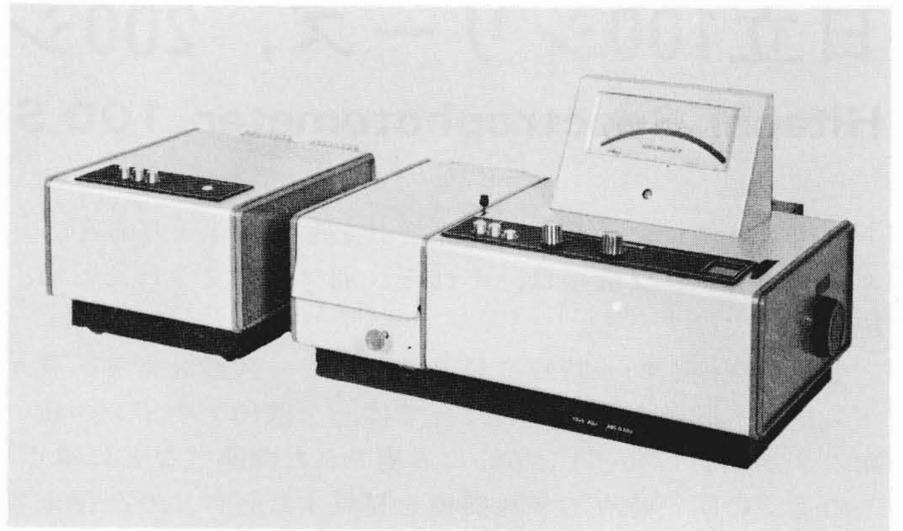
### 4 新旧製品の光学系比較

図3は旧製品の101形、102形、図4は181形、191形、図5はそのモデルチェンジである100シリーズの光学系を示す。これよりモデルチェンジ後は、すべて凹面回折格子を用いていることが分かる。図3、4、5の比較から分かる通り凹面回折格子を用いた光学系は、その光学素子(ミラーなど)が少なく、シンプルである。分光光度計の迷光は、主として回折格子、ミラーなどの表面からの散乱反射(スキヤッタ)に起因

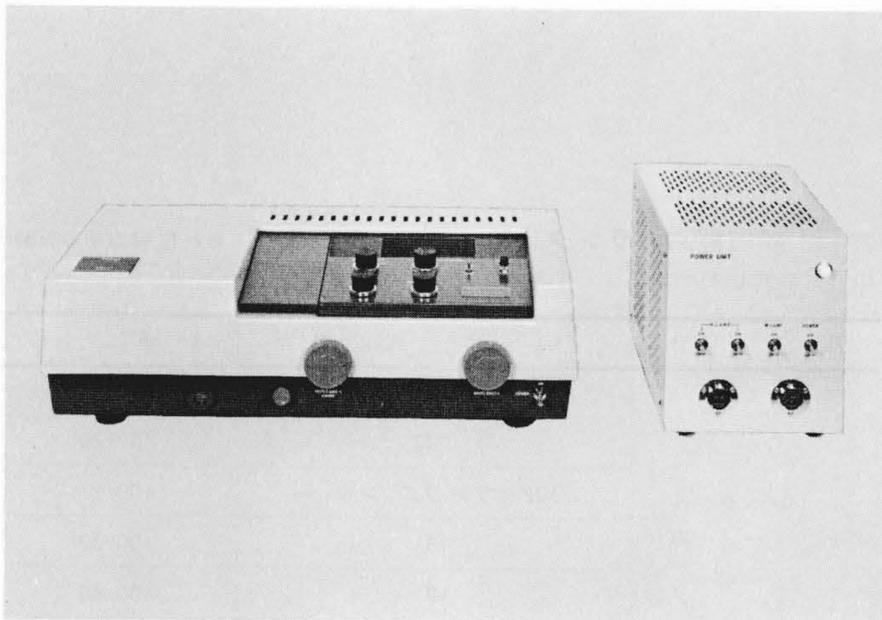
\* 日立製作所那珂工場



(a) 101形



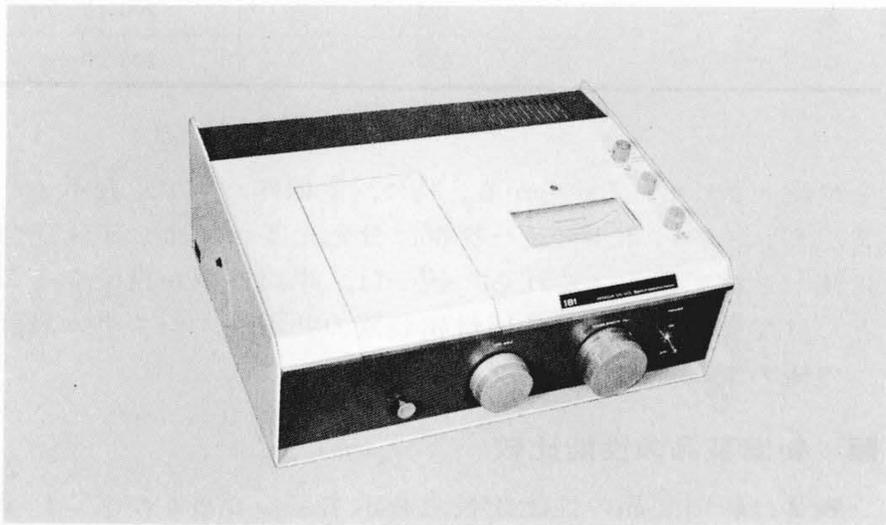
(e) 100-10形



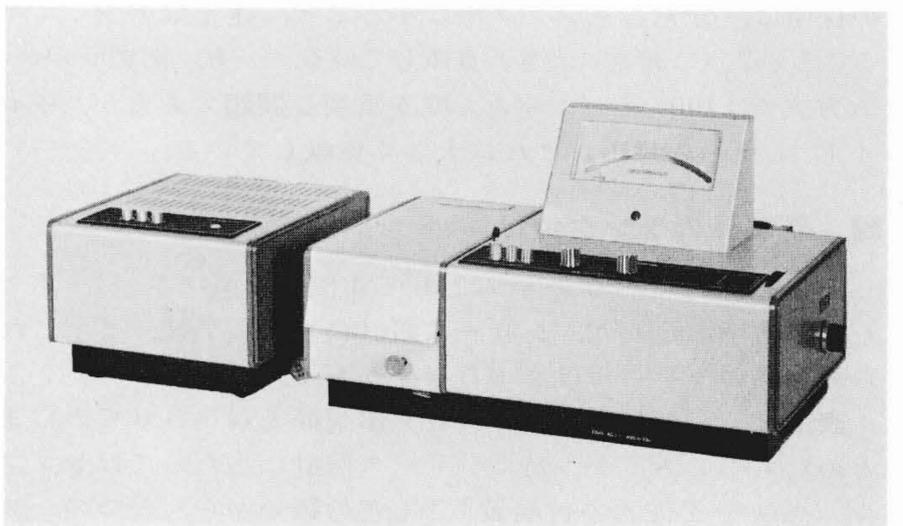
(b) 102形



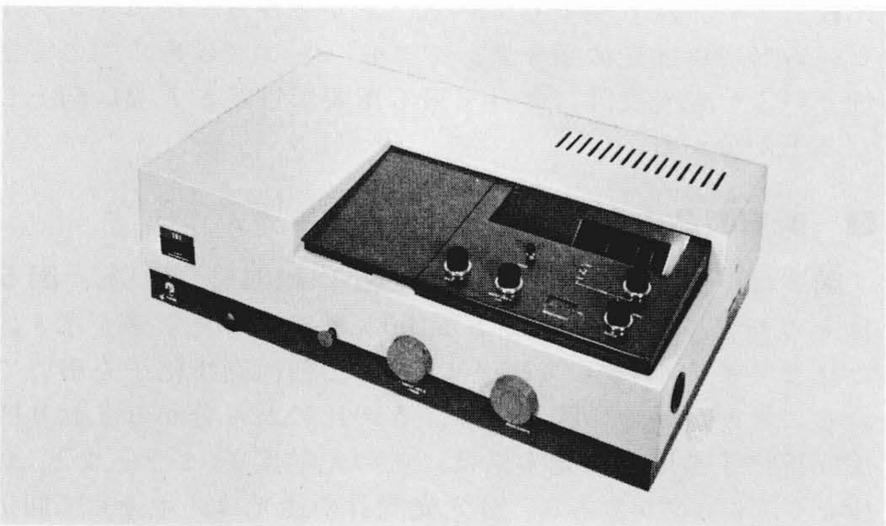
(f) 100-20形



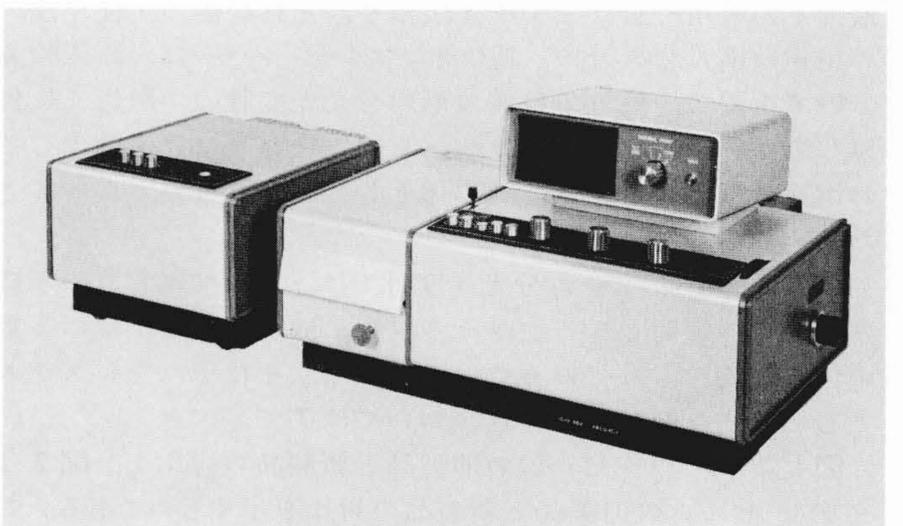
(c) 181形



(g) 100-30形



(d) 191形



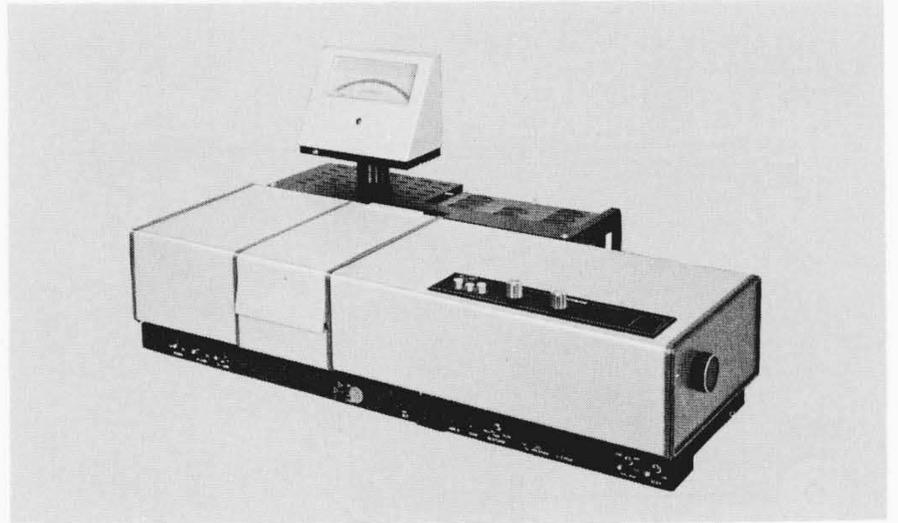
(h) 100-40形

注：(a)～(d)は旧製品、(e)～(h)は新製品

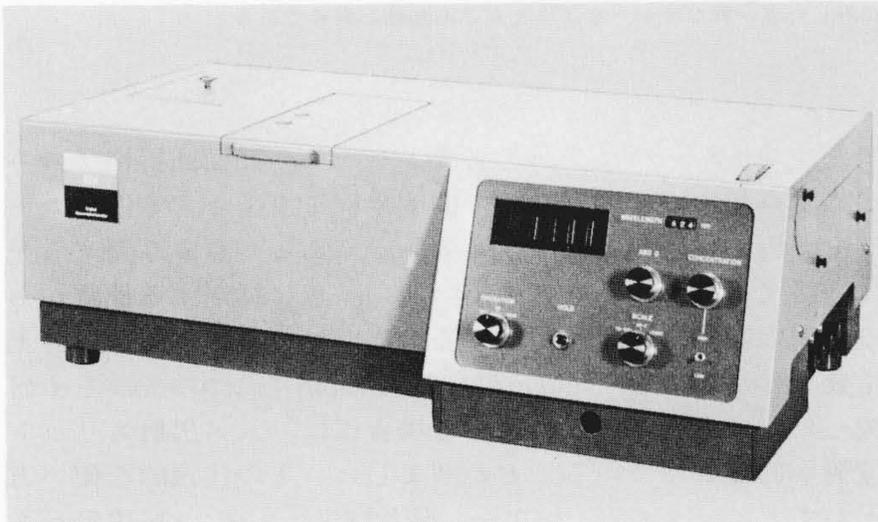
図1 シングルビームの新旧製品の対比 新製品は同一デザインで統一されている。旧製品の4機種は、それぞれ別々の時点で開発されたので、外観において不統一である。



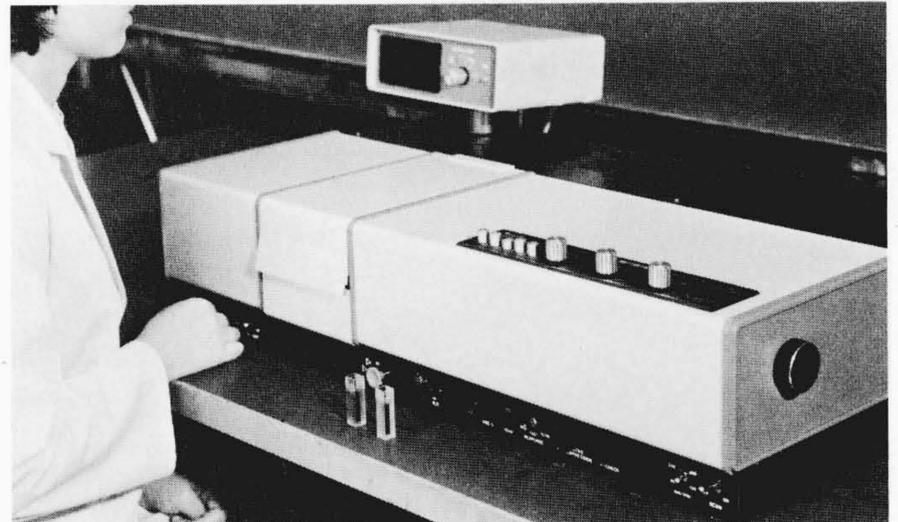
(a) 124形



(c) 200-10形



(b) 624形



(d) 200-20形

注：(a) (b)は旧製品, (c) (d)は新製品

図2 ダブルビームの新旧製品の対比 新製品の外観は100シリーズとも統一性がある。旧製品の2機種は外観が全く異なる。

表2 新旧製品の性能比較 新製品は、すべての面において旧製品の性能よりも優れている。

項目	旧製品		新製品	
	101(102)	181(191)	100-10(20)	100-30(40)
形式	101(102)	181(191)	100-10(20)	100-30(40)
波長範囲	220~900nm	200~900nm	200~900nm	195~850nm
波長精度	±2.5nm	±0.5nm	±2.5nm	±0.5nm
バンドパス	10nm	2nm	7.5nm	2nm
測光正確度	±1%T	±0.5%T	±1%T	±0.4%T
測光再現性	±0.2%T	±0.2%	±0.2%T	±0.2%T
迷光	0.5%(220nm)	—	0.1%(220nm)	0.1%(220nm)

(a) シングルビーム

項目	旧製品		新製品	
	124	624	200-10	200-20
形式	124	624	200-10	200-20
波長範囲	195~850nm	195~900nm	190~900nm	
波長精度	±0.5nm		±0.4nm	
バンドパス	0.25nm, 0.5nm, 1nm, 2nm, 4nm		0.2~4nm連続可変	
測光正確度	ABS0.5にて ±0.005ABS		ABS0~0.5 ±0.002ABS	ABS0.5~1 ±0.004ABS
測光再現性	—		ABS0~0.5 ±0.001ABS	ABS0.5~1 ±0.002ABS
ABS0安定度	—		0.001ABS/日	
100%T平坦度	±4.5%T	±1%T	±1%T	

(b) ダブルビーム

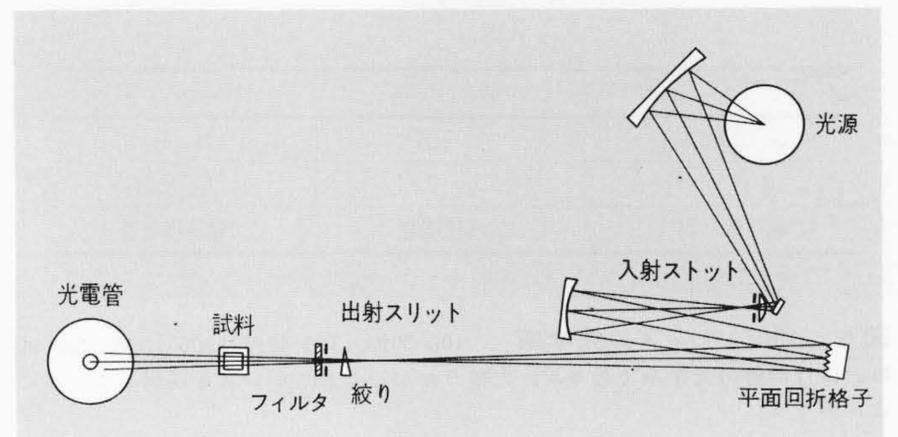


図3 101形, 102形の光学系 ギリーソン形マウンティング分光器を用いたシングルビーム分光光度計である。

するが、光学素子が少ないことより100シリーズが迷光の少ないことが推定される。

図6に旧製品の124形, 624形を、図7にそのモデルチェンジである200シリーズの光学系を示す。200シリーズでは、旧光学系の原形をほとんどそのまま残している。200シリーズで凹面回折格子を用いなかったのは、同シリーズで要求される高分解能を100シリーズと同一方式による凹面回折格子の使用法では達成することができないためである。

### 5 瀬谷・波岡マウンティング

凹面回折格子とは、凹面鏡の表面に回折格子が刻まれているもので、光の分散と同時に凹面鏡としての結像作用もある

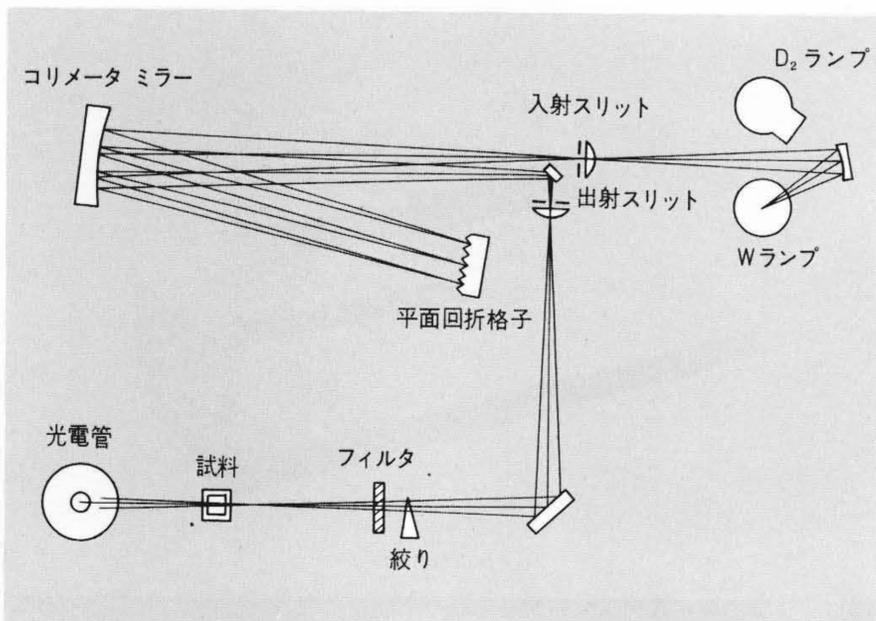


図4 181形, 191形の光学系 リトロ形マウンティング分光器を用いたシングルビーム分光光度計で, 101形, 102形とは全く異なる。

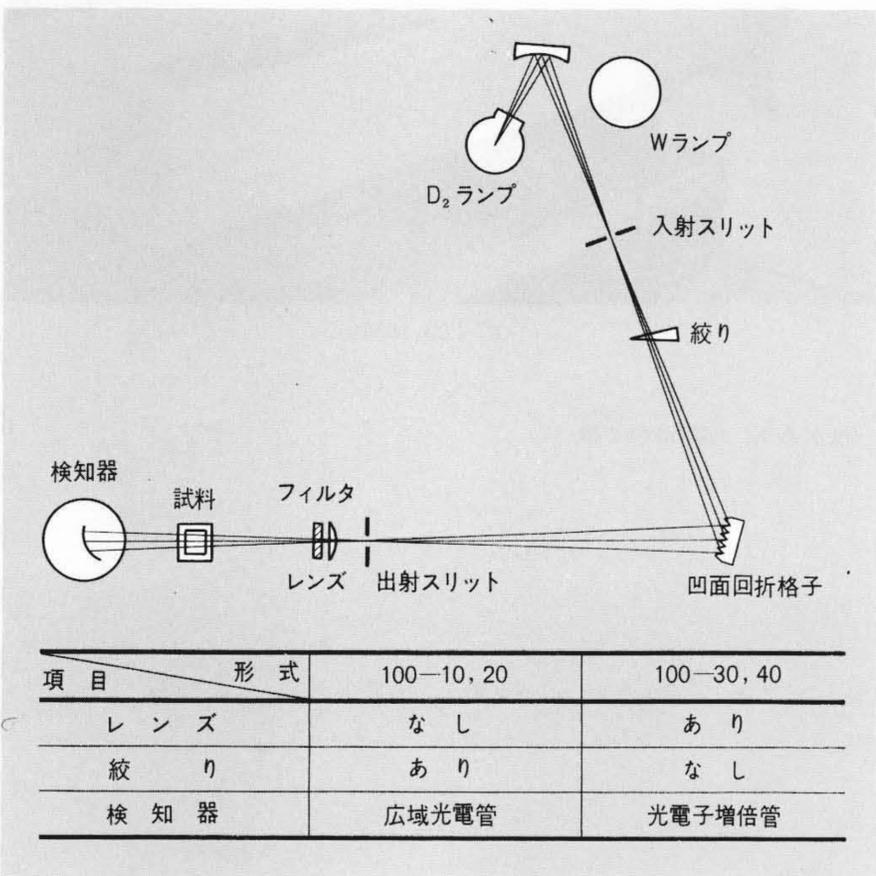


図5 100シリーズの光学系 100-30形, 100-40形は100-10形, 100-20形とほぼ同等の光学系であるが, 光絞りがなく, レンズを採用していることが異なる。

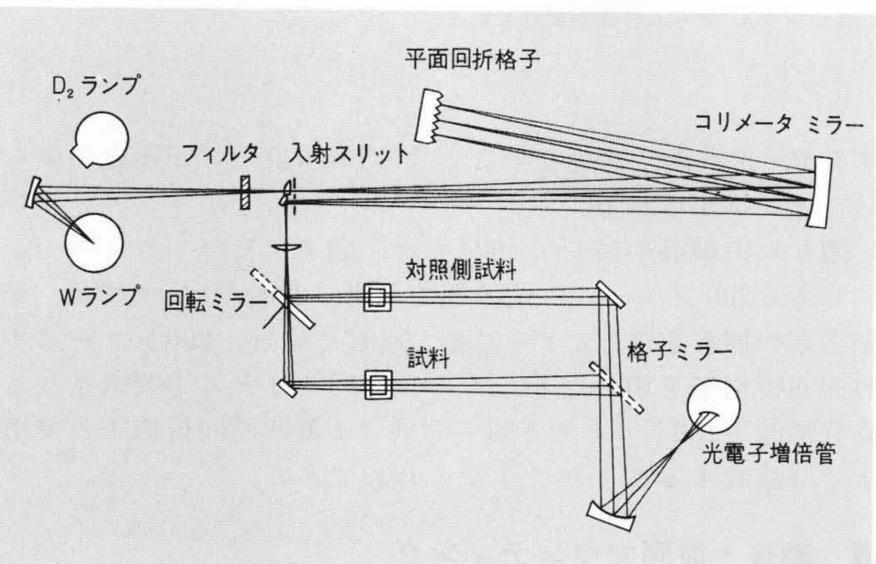


図6 124形, 624形の光学系 リトロ形マウンティング分光器を用いたダブルビーム分光光度計である。

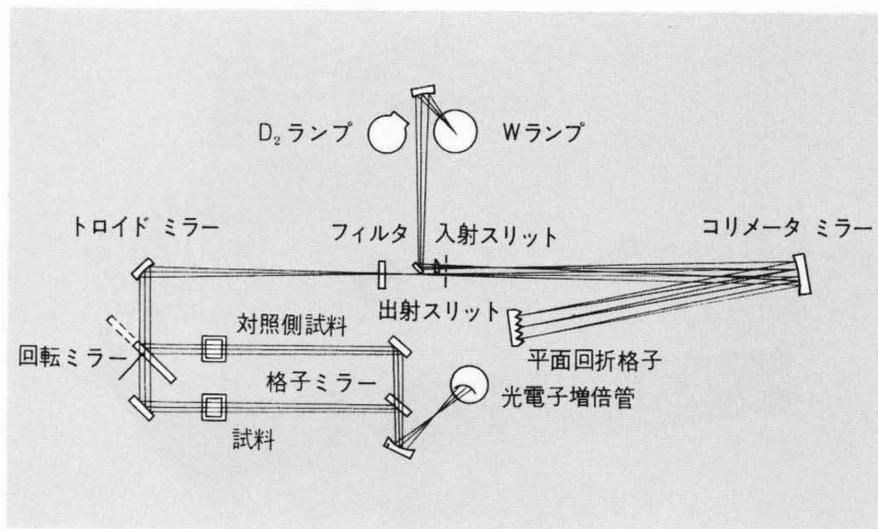


図7 200シリーズの光学系 124形, 624形に比べ, トロイドミラーを採用した点異なるが, 他はほとんど旧製品と同等である。

ので, コリメータミラーを必要としない。凹面回折格子のみに垂直で中心を通り, その曲率半径を直径とする円をローランド円というが, ローランド円上にある一点より発する光は, 必ず再びローランド円上の他の一点に結像する性質がある。凹面回折格子を使用する際, このローランド円は設計上重要なものである。Beutlerは凹面回折格子について詳しく研究したが, 分光器として用いる場合には, 入・出射スリット位置が固定されていることが望ましい。その代表的な使い方として, イーグル形, ベアード形及びジョンソン・尾中形があるが, 最もよく用いられるのは100シリーズで採用した瀬谷・波岡形である<sup>(1)</sup>(図8)。瀬谷・波岡形では両スリットと凹面回折格子のなす角度が約70度で, 凹面回折格子はその中心で回転する。この方式は, 機構が簡単で他の方式に比べて広い波長範囲で使用できることが特長である。但し, 入射角が大きいので非点収差が大きく, そのため, 出射スリット上で像がスリット方向に伸び, 強度が減少する。また, 全波長にわたって両スリットがローランド円上にあるわけではないので, 平面回折格子ほどには高分解能にはできない欠点がある。

しかし, この欠点も100シリーズクラスの分光器としては無視できる程度であり, むしろ迷光の減少などの利点のほうが大きい。

### 6 トロイドミラーの採用

200シリーズの光学系では, 分光器を出射した後, 二光束に分割し試料室を通った後, 再び一光束にする必要がある。一方, 分光器を出射した光束は広がる方向にあり, 検知器に到達するまでには受光面よりも広がるおそれがある。そこで通常は広がってゆく出射光を集光するため, 集光ミラー又はレンズを置くが, レンズは色収差があり波長とともに焦点位置が移動する。特に200シリーズのように二光束を一光束にするのに格子ミラーを用いている場合, 格子ミラー面上での光束の大きさが変化することは二光束の光量のバランスを狂わせる原因となる。そこで凹面の集光ミラーを用いるが, このとき集光ミラーの軸はずし角度が大きいと非点収差が大きくなり, 集光ミラーからの距離により光束の形状が変わるので, 試料部以前の光路に採用することは望ましくない<sup>(2)</sup>。

一般に軸はずし角度が大きい場合は, 集光ミラーとして非球面鏡が使用される。本装置では, トロイドミラーを採用することにより非点収差を取り除き, 試料部で収差の少ない光束を得ている。トロイドミラーとは, 縦方向と横方向で曲率半径の異なるミラーで, 200シリーズでは出射スリット後の集

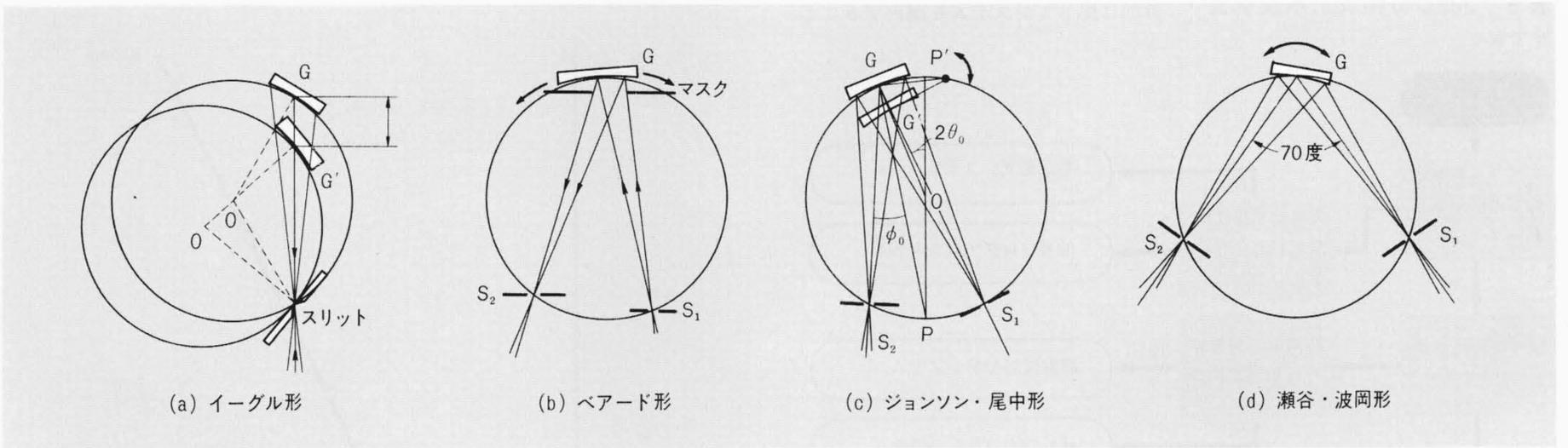


図8 凹面回折格子を用いた各種の分光器 構造がシンプルであるという点では瀬谷・波岡形マウンティングが最も優れている。

光ミラーに軸はずし角度45度のトロイドミラーを採用し、紫外域で色収差の大きいレンズの場合に比べ、100%T平坦度が大幅に改善された。

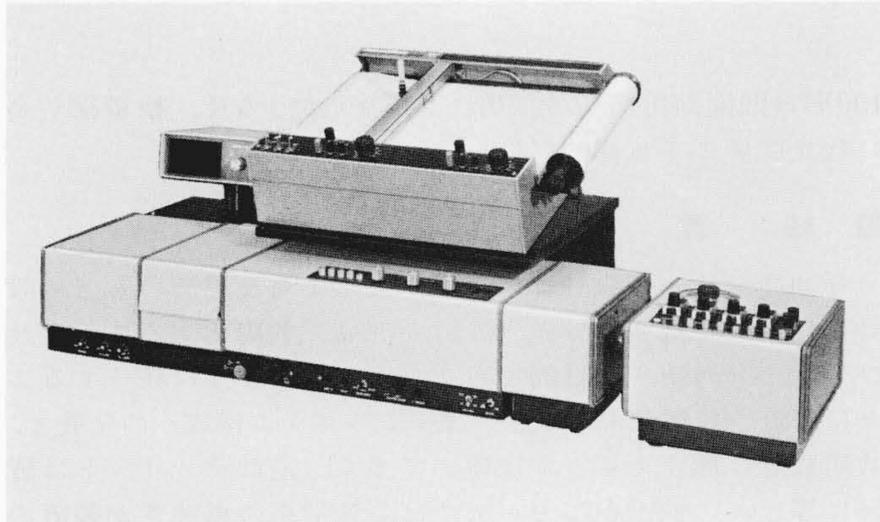
7 システム設計への発展

100シリーズ, 200シリーズのような普及形では、付属装置がどの程度完備しているかということが重要な問題である。旧製品はそれぞれ付属装置をもっていたが、製品間での付属装置の共用性に乏しく、しかも本体に組み込んだとき、本体の外観とマッチしなかった。今回のシリーズ設計に当たっ

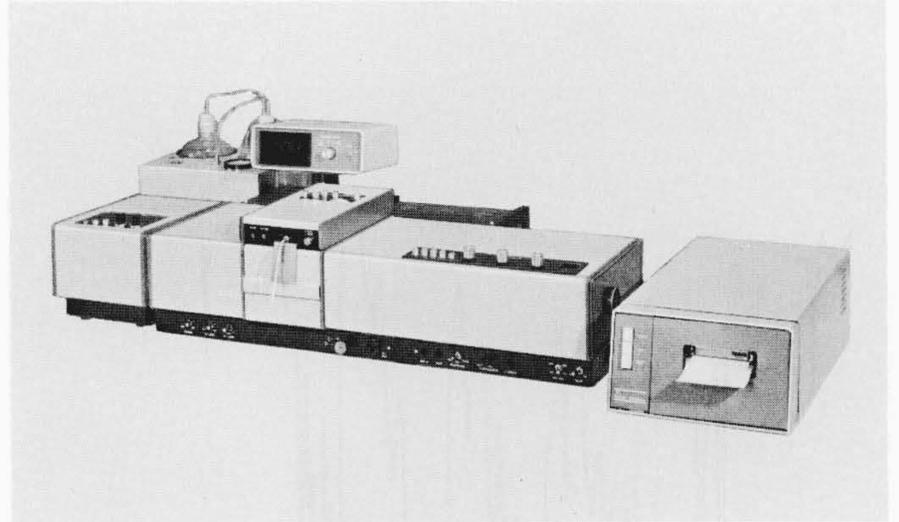
ては、本体の外観の統一はもちろん、付属装置との外観の統一を考慮し、シリーズ間での付属装置の共用性をもたせるため、試料部の統一、出力信号の統一を行なった。

また、システム設計の思想に基づき、付属装置を組み合わせた状態で一つのシステムを構成させた。

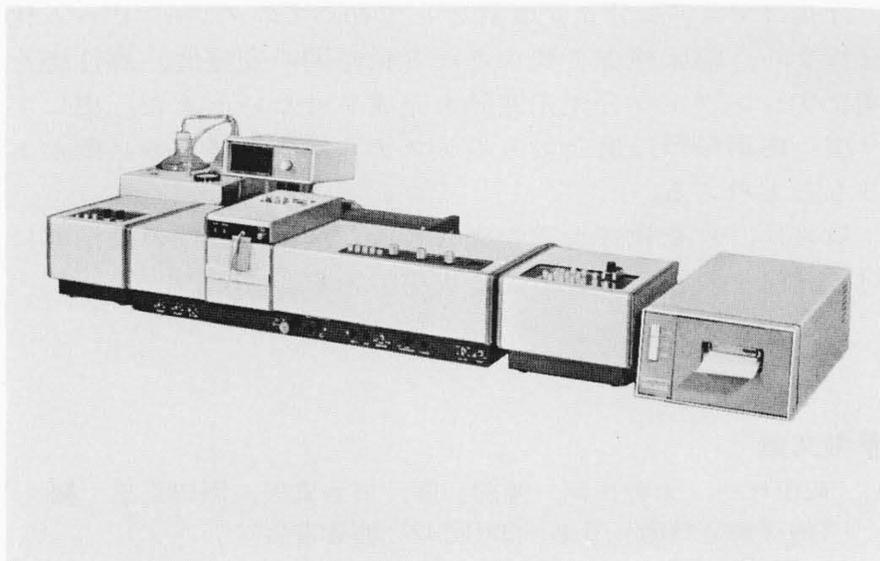
表3は200シリーズのシステムをまとめて示したもので、実際はメータ式(200-10形)とデジタル式(200-20形)があるので、合計18種類のシステム構成があり、更に今後もシステムを増やす方針である。図9にそのシステム構成の代表的な4種類を示す。



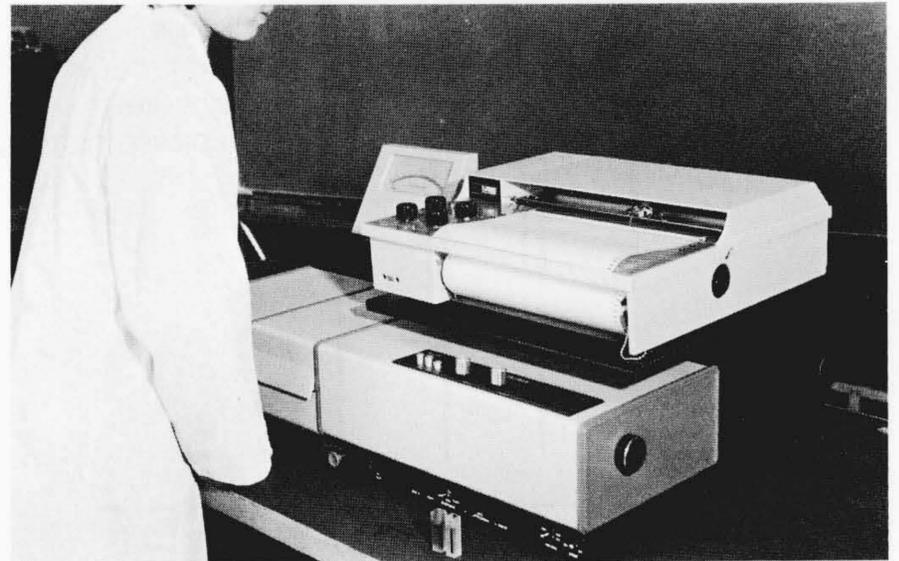
(a) 液長プログラムシステム



(c) サンプルシッパシステム



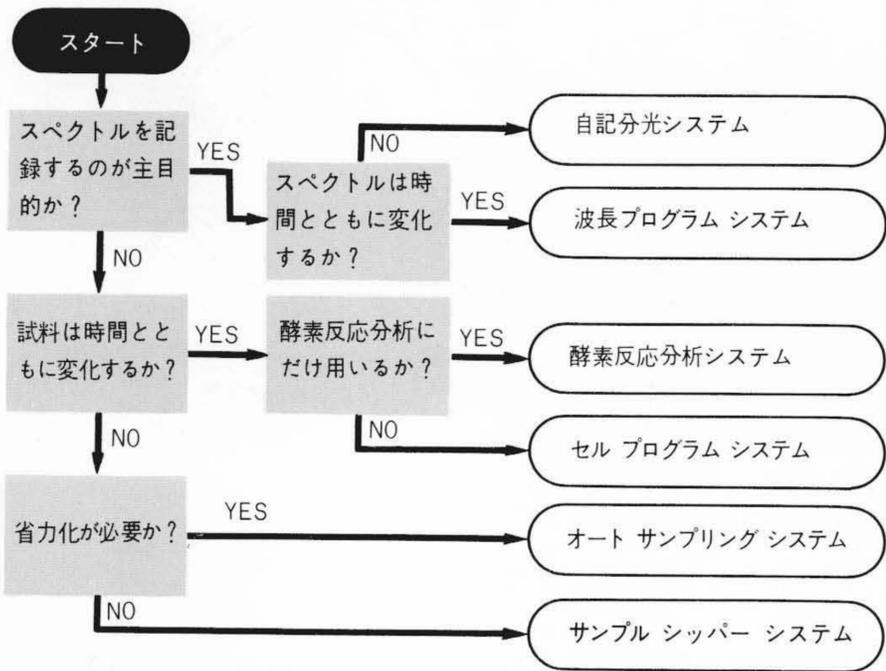
(b) 酸素反応分析システム



(d) 自記分光システム

図9 200シリーズのシステム各種 写真の4種を含め、合計18種のシステムが完備している。更に今後システムは増えてゆく。

表3 200シリーズのシステム 目的に応じてシステムを選択することができる。



8 性能測定

図10は200形によりベンゼン蒸気の透過率スペクトルを記録したもので、このとき分光器のバンドパスは0.2nmに設定されている。分光器の分解能のチェックにはベンゼン蒸気のスペクトル記録が最も有効であるが、これより200形が高い分解能をもっていることが分かる。

図11は100形により検量線の直線性を、性能的に最も厳しい波長域限界付近で確かめたもので、これより100形は吸光度(Absorbance) 2付近まで直線性が保たれることが分かる。

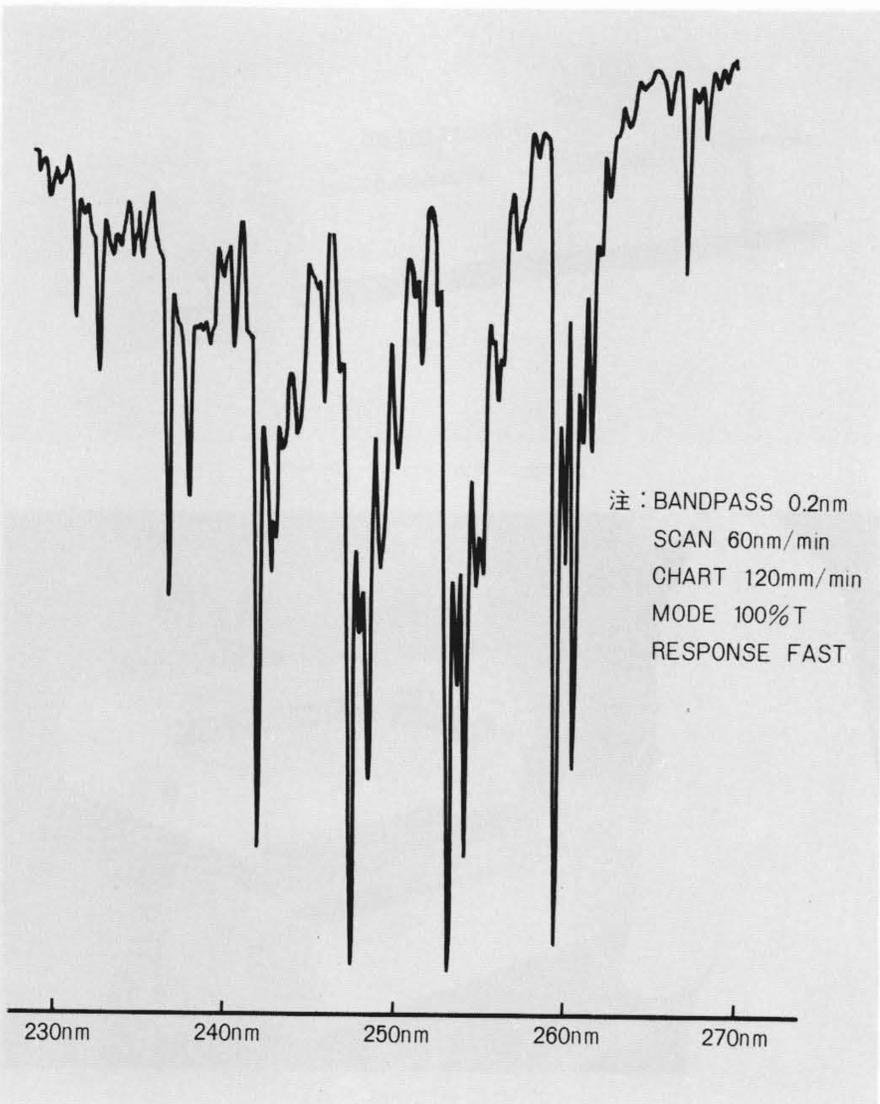


図10 ベンゼン蒸気の透過率スペクトル 分光光度計の分解能チェックの目安として使用される253nm近辺のスペクトルが完全に分離している。

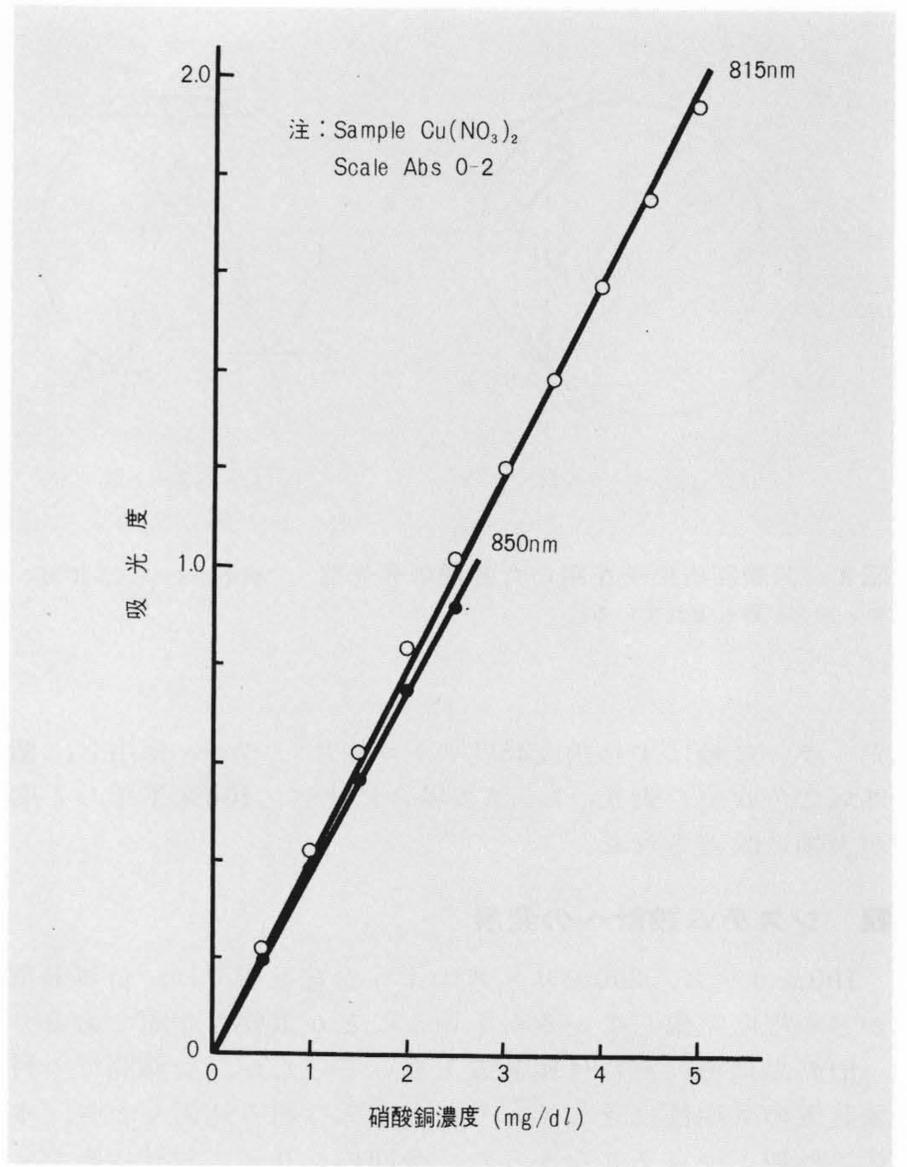


図11 100形の検量線の直線性 性能的に最も厳しい長波長端での検量線も、吸光度2付近まで直線性が保たれている。

100形は凹面回折格子の採用により迷光が少なく、検量線が高い吸光度値まで直線的に伸びる。

9 結 言

今回のシリーズ設計では、従来まちまちな思想のもとに設計されていた雑多な分光光度計の部品を共用化すること、及びデザインの統一が目的であったが、このように統一することにより、付属部品の統一、更にはシステム構成への発展と、共用設計に伴うメリットは極めて多く、逆にデメリットは皆無に等しい。また100シリーズでは、光学系の単純さが装置の性能を向上させるうえで非常に重要であることが分かった。

今後はマニュアル分光光度計として初めてのダブルビーム化を行ない、臨床検査で要求される長時間の安定度、高性能を満たすシンプルな分光光度計を完成させたい。また、更により広い応用分野に適合できるシステム構成を整える必要があるものと考えます。

最後に、東京教育大学の瀬谷教授、波岡助教授の御指導に対し、厚くお礼を申しあげる次第である。

参考文献

- 1) 飯田修一, 大野和郎, 神前 熙, 熊谷寛夫, 沢田正三 編: 「物理測定技術」 5巻, 39(昭42, 朝倉書店) 凹面回折格子について総説を述べている。
- 2) 筒井俊正, 神山雅英, 吉永 弘: 「応用光学概論」, 23(昭32, 金原出版) 収差について概要を説明している。