

赤外分光光度計の波長駆動機構

Wavelength Scanning Mechanism of Infrared Spectrophotometer

牧 野 勇 夫* 福 田 健 二*
 Isao Makino Kenji Fukuda
 岩 橋 勲* 稲 葉 雅 夫*
 Isao Iwahashi Masao Inaba

内 容 梗 概

赤外分光光度計に要求される分解能，すなわちスペクトル幅から必要な波長精度を計算して，波長駆動機構に許される工作精度に検討を加えた。徒来これらの分光器に対しては慣習的に決めた公差を採用していたが，今度われわれは計算によって要求される工作精度を決定した。

1. 緒 言

分光光度計の分光器においては，入射スリットの単色像を出射スリット上に作らせ，その単色光波長を連続的に変化させるために分散子を回転させるのが一般的方法であり，この回転機構の精度がスペクトル波長精度を直接に支配する。たとえばリトロー形プリズム分光器ではリトロー鏡を回転して出射スリットから出る波長を選択するが，プリズムの分散 $d\theta/d\lambda$ が一定の値をとらず，波長によって異なった値を示すので，それに適合した波長駆動機構を必要とする。

プリズムを最小偏角の条件で使用する場合，その分散は次式で示される。

$$\frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{2 \sin \frac{\alpha}{2}}{\left(1 - n^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}\right)^{\frac{1}{2}}} \cdot \frac{dn}{d\lambda} \dots\dots\dots (1)$$

λ : 波 長
 α : プリズムの頂角
 n : 屈折率

プリズムの分散 $d\theta/d\lambda$ は非直線的であるから，連続的に等波長あるいは等波数目盛で出射スリットから単色光を取出すためには，リトロー鏡を非直線的に回転させねばならぬ。そのため普通曲率半径が $d\theta/d\lambda$ または $d\theta/d\nu$ に比例したカムを回転させ，レバー機構によってリトロー鏡を回転して連続的に任意の波長を取出す。

回折格子分光器では入射角 ϕ ，回折角を ψ とすると

$$m\lambda = d(\sin \phi \pm \sin \psi) \dots\dots\dots (2)$$

m : 回折スペクトルの次数
 d : 格子定数

したがって回折格子を回転することにより上式の ϕ ， ψ が回転角だけ変化し，出射スリットから所要の波長が取出される。

特にリトローマウンティングの場合には $\phi = \psi$ となり，(2)式は

$$m\lambda = 2d \sin \phi \dots\dots\dots (3)$$

ゆえに回折格子の回転が等ピッチネジの送りに対し，正弦条件を満足する方式を採用すると，等波長のピッチで単色光が取出される。この方法はサインバー方式といわれている。また等波数に対しても

$$\frac{\nu}{m} = \frac{1}{2d \sin \phi} = \frac{1}{2d} \operatorname{cosec} \phi \dots\dots\dots (4)$$

ν : 波 数

となり，等ピッチのネジを使って等波数記録のできる逆サインバー方式があり，サインバー方式に比べていくぶん機構上複雑になる

が，いくつかの装置に実用されている。また回折格子分光器においてもプリズムと同様カムによって回折格子を非直線的に回転させ，等波長，等波数記録をうる方法も広く使用されている。

これらの波長駆動機構について分光器の出射光のスペクトル幅の $1/2$ を許容波長精度として，駆動系の機構部品に要求される精度を検討した。

2. プリズム分光光度計の波長駆動機構

分光器の性能としてたいせつなものは分解能と明るさである。有限のスリット幅で連続スペクトルを発する光源を観測するとき，出射スリットから出る光は単色光でなく，ある波数幅を持っており，その波数幅の $1/2$ がスリットのスペクトル幅 (Spectral Slit Width) $\Delta\nu$ であって，回折による $\Delta\nu_1$ と有限なスリット幅による $\Delta\nu_2$ の二つに分けられる⁽¹⁾⁽³⁾⁽⁴⁾。

(1) 光量を考えずスリット幅を無限小にした場合の分解能は，分散体の回折によって制限される極限值を持ち，Rayleigh Limit といわれるものである。

光学系全体が理想的にできている場合はこの Rayleigh Limit のみで決まり，リトローマウンティングでは

$$\Delta\nu_1 = \frac{1}{2\nu b \frac{dn}{d\nu}} \dots\dots\dots (5)$$

b : プリズムの有効底長

(2) 実際の分光器では，ある程度以上の光量を採り入れる必要があるため，有限のスリット幅を持たせねばならぬ。かりに光学系の収差がまったくない理想的な場合，このスリット幅を分散式からスペクトル幅に換算すると次式のようなになる。

いま入射スリット幅を S_1 ，出射スリット幅を S_2 とし，リトローマウンティングで最小偏角の条件を適用すると

$$\Delta\nu_2 = \frac{\left\{1 - n^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}\right\}^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{S_1 + S_2}{f}}{8 \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{dn}{d\nu}} \dots\dots\dots (6)$$

f : コリメータの焦点距離

一般にはスリット幅は $S_1 = S_2 = S$ で使用される。

実際のスリットのスペクトル幅は⁽²⁾

$$\Delta\nu^2 = \Delta\nu_1^2 + \Delta\nu_2^2 \dots\dots\dots (7)$$

で示される。赤外分光器においては光のエネルギー，すなわち検知器が検出する単色光エネルギーの量が大きく分解能を左右する。すなわち検知器のS/N以上の光量をうるためには検知器を十分作動させる光量を取出すスリット幅が必要になる。入射スリット幅 S_1 と出射スリット幅 S_2 が等しいとき，出射スリットから出るエネルギー W

* 日立製作所那珂工場

は⁽⁵⁾

$$W = \frac{B_\nu T_\nu S_\nu^2 l A}{f^3 D_\nu} \dots \dots \dots (8)$$

- B_ν : 光源の輝度 (Planck の黒体放射式より求まる)
- T_ν : 分光器の効率
- l : スリットの高さ
- S_ν : スリット幅
- A : 有効光束断面積
- D_ν : 角分散 $d\theta/d\nu$

W として検知器の最小識別感度を採用すれば、エネルギーの面から採りうる最小のスリット幅 S_ν が決める。このようにして算出されたスリット幅 S_ν を(6)式に代入して得られる $\Delta\nu_2$ は、この分光器で得られる最高の分解能を与える。赤外の場合、長波長域ではこの $\Delta\nu_2$ の値は一般に $\Delta\nu_1$ より大きい値をとるが、短波長域では同程度の値を示す。

波長2.5, 12 μ での $\Delta\nu_1$, $\Delta\nu_2$ の値を第1表に示す。

スリットを中心に所定の波数 ν があるときは、カムの精度、光学系の調整および光学材料などの総合精度を波長に換算して少なくとも $\pm\Delta\nu$ の精度に押える必要がある。

安全率を考慮して $\pm\Delta\nu/2$ を必要波長精度として採用した。

光学系の取差や光学調整が完全な場合は、この $\pm\Delta\nu/2$ の精度はほとんどカムの工作精度により決定される。この波長精度に対するカム高さ精度 ΔH_ν は次のような方法で求められる。

第1図において偏角を $\theta(\nu)$ 、リトロ鏡を回転するレバーの長さを L とすると、すべての波長において最小偏角の条件では、カムの高さ H_ν は

$$H_\nu = L \tan \theta(\nu) \dots \dots \dots (9)$$

ある波数 ν をはさんで波数 ν_1 , ν_2 を考え、この波数に対応するカムの高さを H_{ν_1} , H_{ν_2} とすると、カムの精度 ΔH_ν は

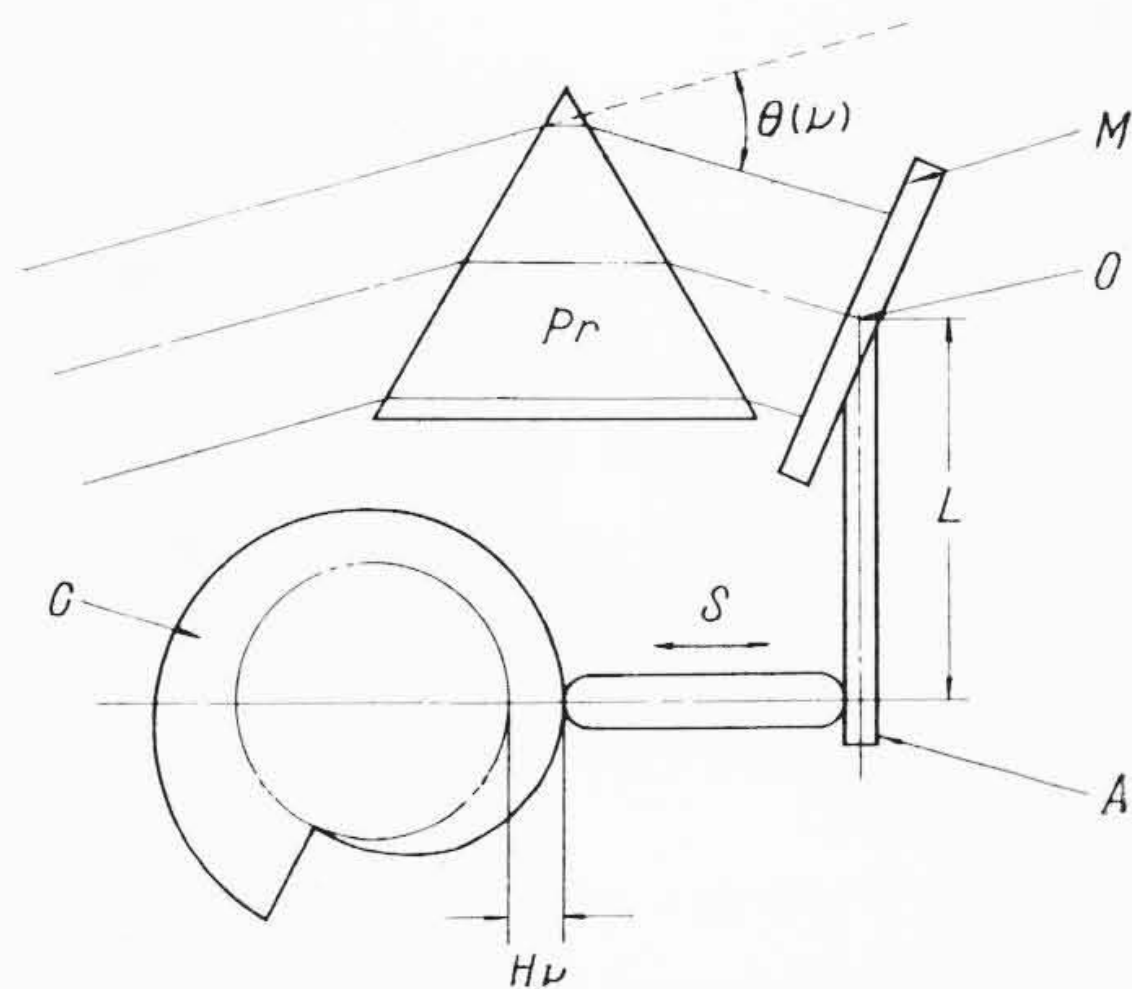
$$\Delta H_\nu = \frac{H_{\nu_1} - H_{\nu_2}}{\nu_1 - \nu_2} \cdot \frac{\Delta\nu}{2} \dots \dots \dots (10)$$

ただしこのカムの精度はスリット幅 S_ν が最小のときの値であり、普通の使用状態ではもっと広いスリット幅であるから、これだけの

第1表 $\Delta\nu_1$, $\Delta\nu_2$ の 値

λ	$\Delta\nu$	$\Delta\nu_1$ (cm^{-1})	$\Delta\nu_2$ (cm^{-1})	$\Delta\nu$ (cm^{-1})
2.5 μ		9.412	8.298	12.551
12 μ		0.564	1.347	1.461

NaClプリズム $\alpha=72$ 度 $f=300$ mm リトロ形



- P_r : プリズム
- S : スライダ
- O : 回転中心
- C : カム
- A : レバー
- M : リトロ鏡

第1図 プリズム分光器の波長駆動系

精度があれば十分である。LiF, NaCl, KBr各プリズムについて、上式に従って必要なカムの工作精度を計算した結果を第2表に示す。

3. 回折格子分光光度計の波長駆動機構

回折格子分光器における波長駆動機構には、ネジ送りによる方法とカムを使用する方法の二つがある。この二つの機構について解折した結果を述べる。

3.1 ネジ送り方式

波長域 1.5~26 μ を3枚の回折格子によって測定する回折格子分光器を考える。その光学系を第2図に示す。

回折格子の使用条件は第3表に示すとおりである。

第2図において、第1入射スリット S_1 はスリット幅固定で2mmとする。前置プリズム分光器の出射スリット S_2 は、回折格子分光器

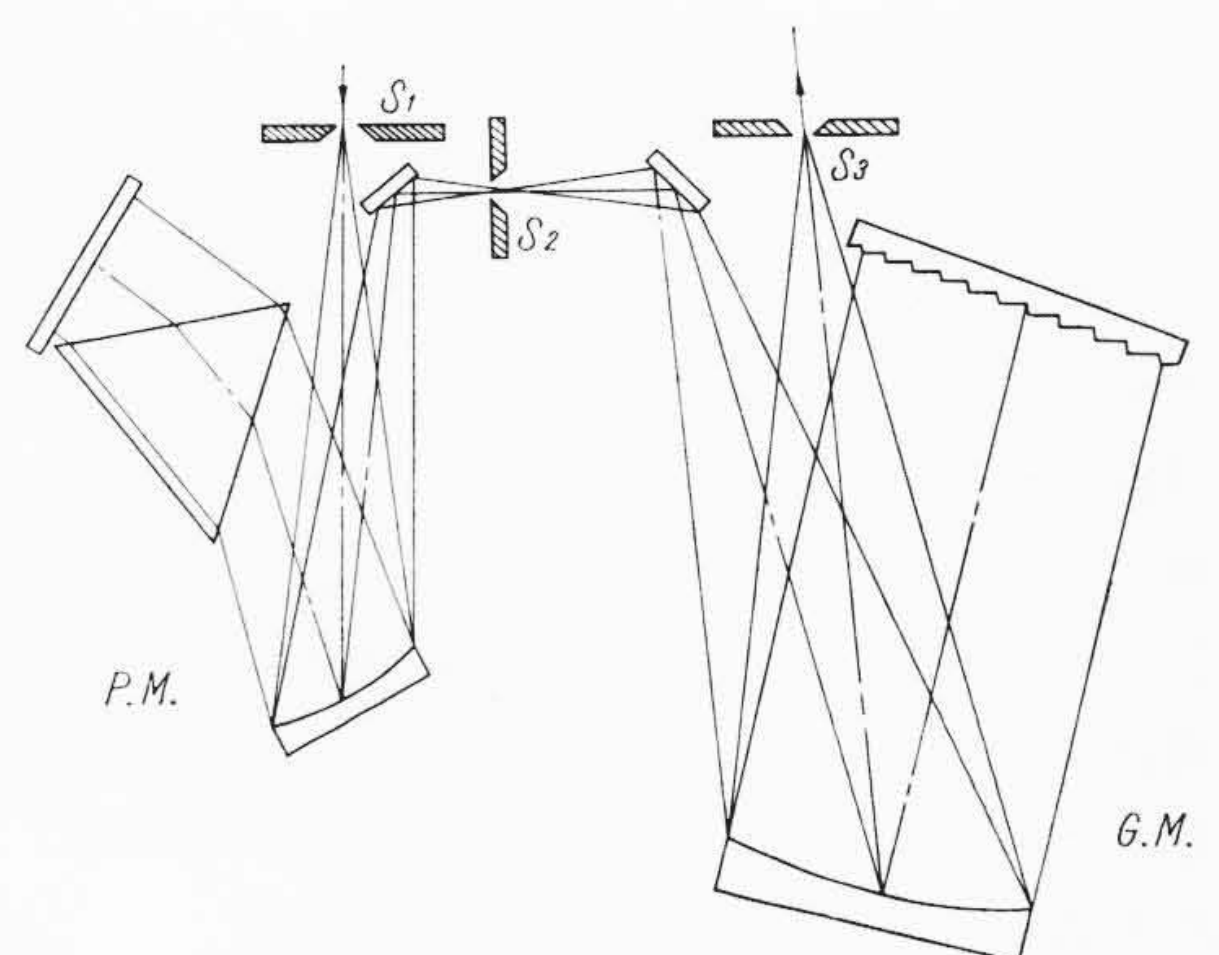
第2表 各種プリズムカム精度 $\Delta\nu/2$, $\Delta\lambda/2$ 当りのカム高さ

λ (μ)	ν (cm^{-1})	LiF prism		NaCl prism		KBr prism	
		$\Delta\nu/2$ 当り (mm)	$\Delta\lambda/2$ 当り (mm)	$\Delta\nu/2$ 当り (mm)	$\Delta\lambda/2$ 当り (mm)	$\Delta\nu/2$ 当り (mm)	$\Delta\lambda/2$ 当り (mm)
1	10,000	0.0090	0.0090				
2	5,000	0.0046	0.0041				
2.5	4,000			0.0024	0.0021		
3	3,333	0.0053	0.0052				
4	2,500	0.0072	0.0073	0.0035	0.0033		
5	2,000	0.0113	0.0081				
6	1,667	0.0315	0.0108	0.0054	0.0053		
8	1,250			0.0077	0.0079		
10	1,000			0.0116	0.0116		
11	909					0.0086	0.0086
12	833			0.0154	0.0160	0.0097	0.0098
14	714			0.0209	0.0241	0.0154	0.0146
15	667			0.0326	0.0353		
16	625					0.0174	0.0184
18	556					0.0202	0.0201
20	500					0.0236	0.0247
22	455					0.0335	0.0364
24	417					0.0432	0.0395
25	400					0.0562	0.0462

LiF プリズム $\alpha=85$ 度 $b=108$ mm $f=300$ mm
NaCl, KBr プリズム $\alpha=72$ 度 $b=90$ mm $f=300$ mm

第3表 回折格子の使用条件

回折格子	次数	波長範囲 (μ)
150本/mm	二次	1.5~4
150本/mm	一次	3~8
75本/mm	一次	6~16
40本/mm	一次	11.25~26



- P.M.: 前置プリズム分光器
- G.M.: 回折格子分光器

第2図 回折格子分光器の光学系

第 4 表 KBr 前置プリズムの $\Delta\lambda/2$ に対するカム精度

λ (μ)	$\Delta\lambda/2$ 当りのカム高さ (mm)
2	0.0914
5	0.0279
10	0.0768
15	0.0720
20	0.0768
25	0.1001

$S_1=2\text{ mm}$, $S_2=S_3$, $b=65\text{ mm}$, $f=190\text{ mm}$

第 5 表 回折格子分光器の波長精度 $\Delta\lambda/2$ と波長誤差 (ネジ送り方式) (単位 $\times 10^{-3}\mu$)

λ (μ)	回折格子	$\Delta\lambda/2$ の値	回折格子の交換による再現性	λ 送りネジの傾きによる影響		レバー長さの誤差	λ 送りネジ累積ピッチ誤差	$\Sigma d\lambda$
				横方向	上下方向			
2	150 L 2 nd	0.5271	0.1542	0.0628	0.0251	0.1000	0.0316	0.3737
5	150 L 1 st	0.8384	0.2997	0.1562	0.0626	0.2500	0.1664	0.9349
10	75 L 1 st	2.907	0.5995	0.3125	0.1250	0.5000	0.2528	1.790
15		4.027	0.5345	0.4687	0.1875	0.7500	0.5688	2.510
15	40 L 1 st	8.705	1.156	0.4707	0.1883	0.7500	0.2370	2.802
20		12.60	1.111	0.6250	0.2500	1.000	0.5570	3.543
25		25.09	1.0495	0.7812	0.3125	1.250	0.8651	4.258

$f=300\text{ mm}$ 刻線面積: $64 \times 64\text{ mm}^2$ プレズ角: 26 度 45 分
 スリット幅 S は最少識別感度により計算された値を採用
 回折格子で 150L とあるのは 150 本/mm を示す。

の入射スリットに相当し、出射スリット S_3 と同じスリット幅とし、検知器にはいるエネルギーが一定になるように、非直線抵抗板によって制御される。前置プリズム分光器について 2. と同様に $\Delta\lambda$ を計算して波長精度 $\pm \Delta\lambda/2$ に対するカムの精度を求めたものが第 4 表である。

スリット幅 S_1 は 2 mm で、 S_2 は次に述べる回折格子分光器の最小識別感度より計算されたものを採用した。

これだけのカム精度があれば S_2 から所要の波長の光が取出せることになる。

次に回折格子分光器の場合の分解能は下記の式によって計算される⁽¹⁾。

(1) エネルギーを考えずスリット幅を無限小にした場合、理論的分解能すなわち Rayleigh Limit はリトロマウンティングでは

$$\Delta\lambda_1 = \frac{\lambda}{mN} \dots\dots\dots (11)$$

N : 回折格子の全みぞ数

(2) スペクトル幅 $\Delta\lambda_2$ は回折格子の分散式から

$$\Delta\lambda_2 = \frac{d \cos \phi}{m} \cdot \frac{S}{f} \dots\dots\dots (12)$$

ゆえに実際のスリットのスペクトル幅は次式で与えられる。

$$\Delta\lambda^2 = \Delta\lambda_1^2 + \Delta\lambda_2^2 \dots\dots\dots (13)$$

プリズム分光器の場合と同様に (8) 式よりスリット幅を求め (12) 式に代入して得られる $\Delta\lambda_2$ と $\Delta\lambda_1$ より $\Delta\lambda$ を求めた。

この $\Delta\lambda$ の $1/2$ を必要波長精度とした。第 5 表は $\Delta\lambda/2$ の値を示す。次に回折格子テーブルおよびサインバーの精度に起因する波長誤差を検討する。

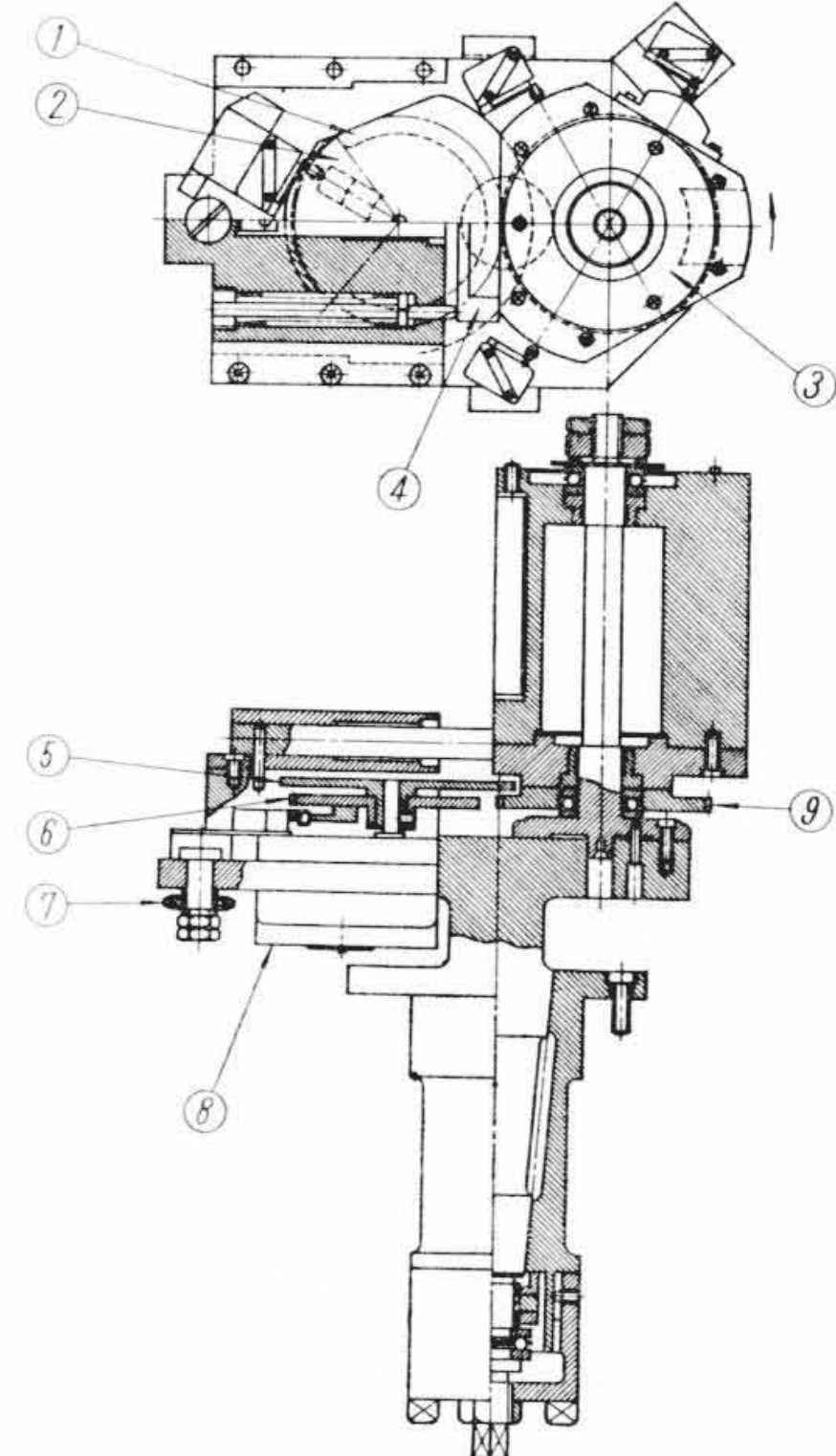
(a) 回折格子テーブルの回転による再現性

回折格子を 3 枚背中合わせに正三角形に取付け、各波長域ごとにその正三角形の中心垂線の回りに回転させて回折格子の交換を行なう場合、切換時における各回折格子の角度の再現性が波長の誤差となる。

波長誤差 $d\lambda$ は回折格子の分散式より

$$d\lambda = \frac{d \cos \phi}{m} \cdot d\phi \dots\dots\dots (14)$$

この角度誤差を 10 秒以下になるようにした場合の波長誤差を第



第 3 図 回折格子テーブルの構造図

5 表第 4 列に示す。再現性良く回折格子を交換する回折格子テーブルとして、第 3 図に示すような機構を考案した。3 枚の回折格子を (3) のホルダに背中合わせに正三角形に保持し、回折格子交換に際しては正三角形の中心を通る鉛直軸の回りに回転する。この回転はモータ (8) の回転軸に取付けられた切欠歯車 (120 度だけ歯を切っている) (6) と、回折格子ホルダ (3) の中心の鉛直軸に取付けられた歯車 (9) との連結で行なわれる。切欠歯車と同軸に固定されたカム (5) によって、回折格子位置固定ストッパ (4) に取付けられたピンを押して、ストッパを後方に引き、ホルダの回転軸を自由にする。切欠歯車の回転によりホルダは 120 度回転する。120 度の回転を終ると、カムがはずれてストッパはバネの作用で引きもどされ、回折格子面が正確に 120 度回転した位置にストッパ端面で押しつけて停止させる。波長駆動は、全系が回折格子の面を中心を通る鉛直軸の回りに回転することにより、回折格子への光の入射角を変えるようにしている。ストッパのストロークを 100 mm にとり、そのガタが 0.005 mm の精度で工作されたので、一つの面が一回転してふたたびもどってきたときの再現性を $0.00005\text{ rad} \approx 10$ 秒に押えることができた。

(b) サインバー波長送りネジの傾きによる影響

回折格子面に対し送りネジが左右方向 0.05 mm、上下方向に 0.02 mm 取付けの傾きがあると、送りネジの全長が 265 mm あるため、傾き角 $\Delta\alpha$ は

$$\Delta\alpha = \frac{5}{100} \times \frac{1}{265} \text{ rad} \quad \text{または} \quad \Delta\alpha = \frac{2}{100} \times \frac{1}{265} \text{ rad}$$

この $\Delta\alpha$ を回折格子の傾き $d\phi$ に換算すると、第 4 図より明らかのように

$$d\phi = \tan \phi \cdot \tan \phi_0 \cdot \Delta\alpha \dots\dots\dots (15)$$

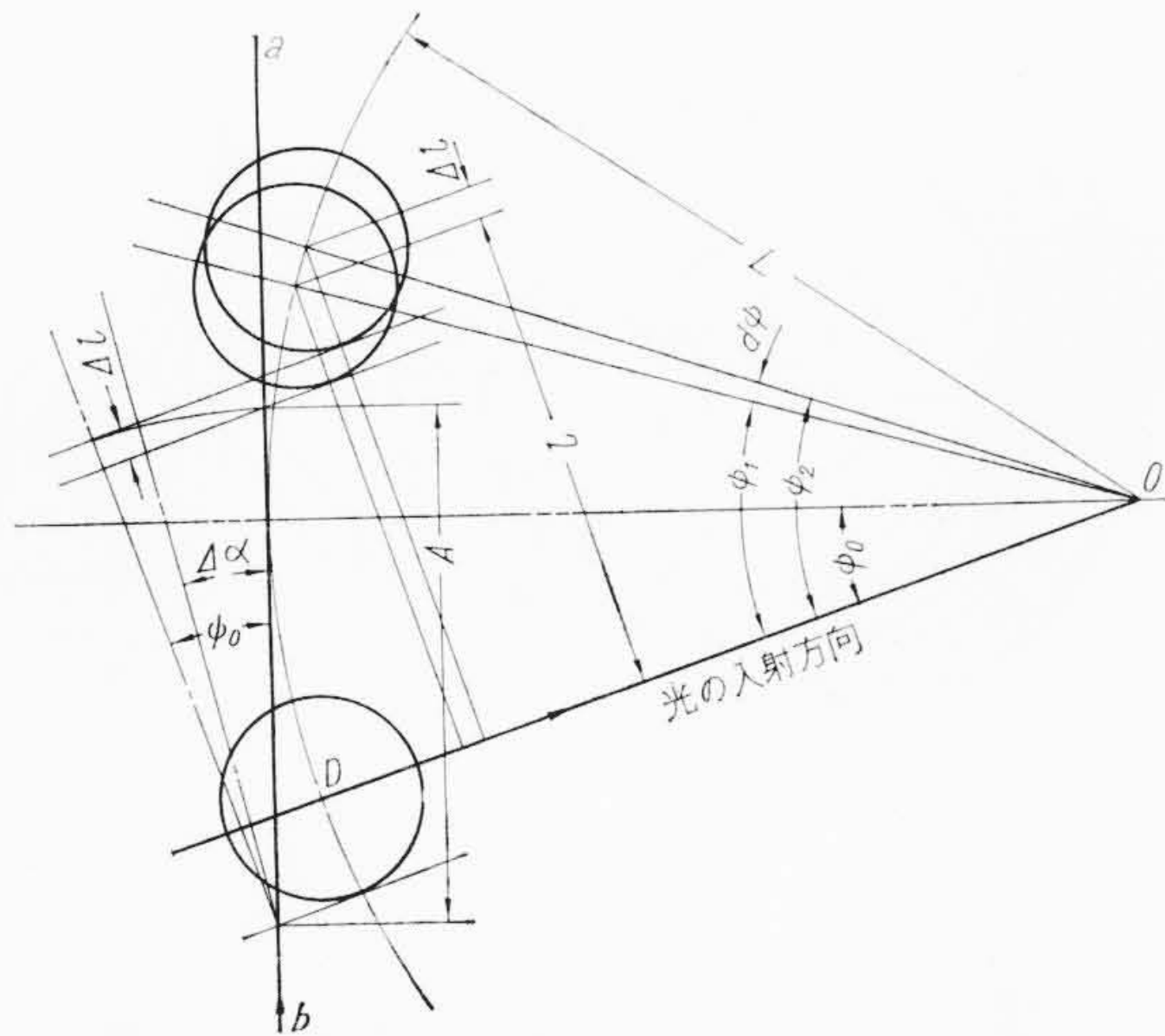
ϕ_0 : 送りネジ方向と回折格子への入射光に直角方向とのなす角 18 度 32.5 分

(15) 式で決まる $d\phi$ より、(14) 式を使って $d\lambda$ を計算した結果を第 5 表第 5 列に示す。

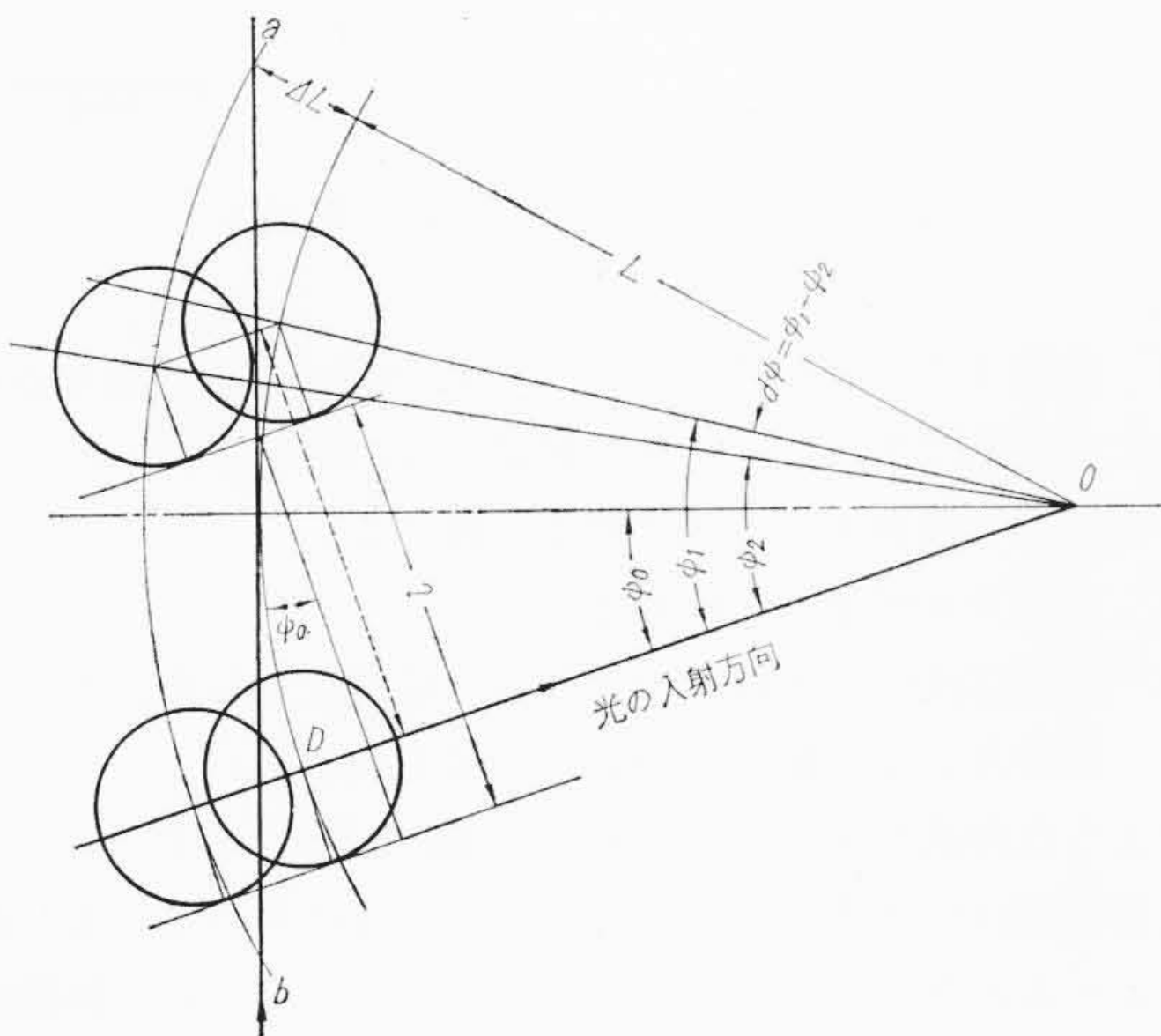
(c) 回折格子テーブルのレバーの長さ誤差による影響

レバーの長さ $L=100\text{ mm}$ で長さの誤差 $\Delta L=0.01\text{ mm}$ の精度で工作されたので、この場合の回折角の変化 $d\phi$ は第 5 図より

$$d\phi = \frac{\Delta L}{L + \Delta L} \cdot \tan \phi \dots\dots\dots (16)$$



ある入射角 $\psi_1 \doteq \psi_1, \psi_2 \doteq \psi_2$ の位置を考えると
 $\psi_2 = \psi_1 + d\psi$
 $\begin{cases} L \sin \psi_1 = l & \dots\dots\dots ① \\ L \sin \psi_2 = l + \Delta l & \dots\dots\dots ② \end{cases}$
 Δl の傾きがあったとすると
 $\Delta l = A \cos(\psi_0 - \Delta\alpha) - A \cos \psi_0 = L \sin \psi_1 \tan \psi_0 \Delta\alpha \dots\dots\dots ③$
 この3式より
 $d\psi = \tan \psi_1 \cdot \tan \psi_0 \cdot \Delta\alpha$
 ただし $\psi_0: 18^\circ 32.5'$ O : 回折格子回転中心
 ab方向: 送りネジ方向 円D: 回折格子テーブルのレバーのコロ
 第4図 送りネジの傾きによる影響



$\psi_2 = \psi_1 - d\psi$
 $L \sin \psi_1 = (L + \Delta L) \sin \psi_2$
 $d\psi = \frac{\Delta L}{L + \Delta L} \tan \psi_1$
 L : レバー長さ 100 ΔL : レバー長さ誤差

第5図 回折格子テーブルのレバーの長さ誤差による影響

(d) 波長送りネジの累積ピッチ誤差による影響

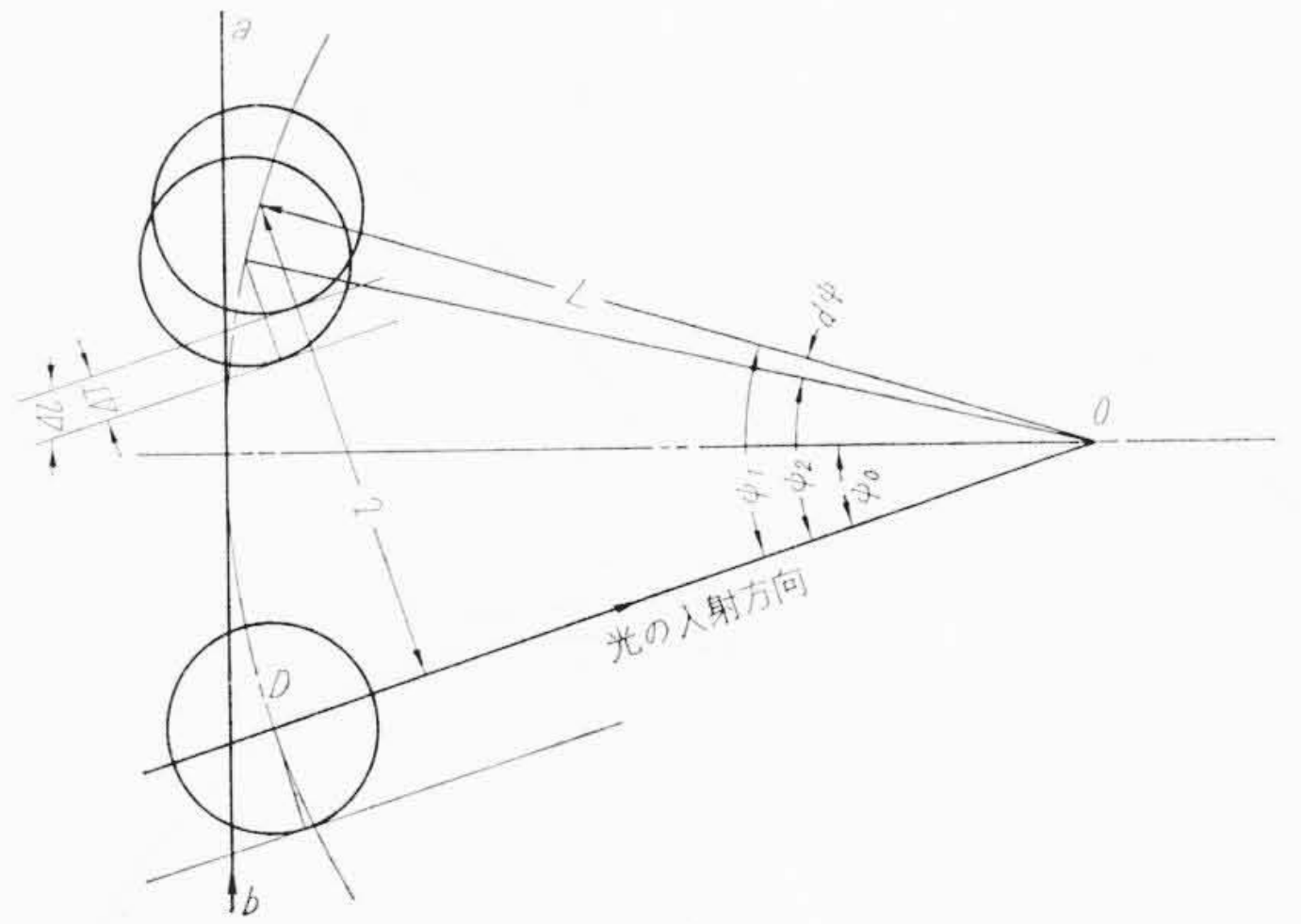
波長駆動に際し送り距離は 40 mm で累積ピッチ誤差はマイクロメータ 2 級相当のネジで 0.005 mm に工作された。今ある波長の位置で累積ピッチ誤差が Δl とすると第6図より

$$d\psi = \frac{\Delta l}{L} \cdot \frac{\cos \psi_0}{\cos \psi} \dots\dots\dots (17)$$

(c), (d)それぞれの波長誤差 $d\lambda$ の値は第5表第6, 7列に示す。

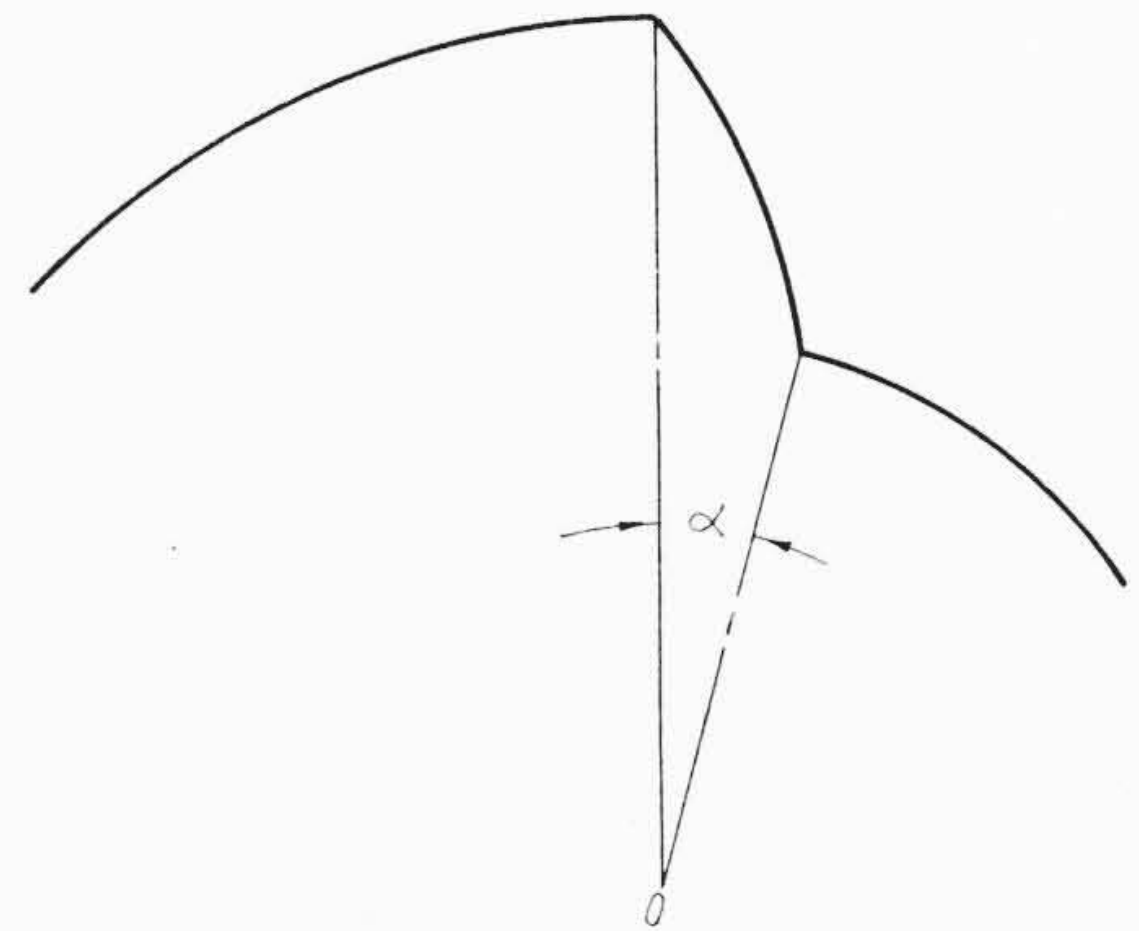
今これらの誤差が独立加算される最悪の場合は $\sum d\lambda$ で表わされ、分解能のほうから要求される $\Delta\lambda/2$ と比較すると 5μ を除いて各波長誤差は $\Delta\lambda/2$ より小さいことがわかる。

したがって波長送り機構の工作精度は(a)~(d)で示した値で作られれば十分であるといえる。波長誤差に大きく影響する部分は、第5表よりわかるようにレバーの長さによる誤差と回折格子テーブ



$\psi_2 = \psi_1 - d\psi$
 $L \sin \psi_1 = L \sin \psi_2 + \Delta l \cos \psi_0$
 $d\psi = \frac{\Delta l}{L} \cdot \frac{\cos \psi_0}{\cos \psi_1}$
 Δl : ピッチ誤差 $\Delta T = \Delta l \cos \psi_0$

第6図 送りネジの累積ピッチ誤差による影響



第7図 カムの死角

第6表 回折格子使用条件

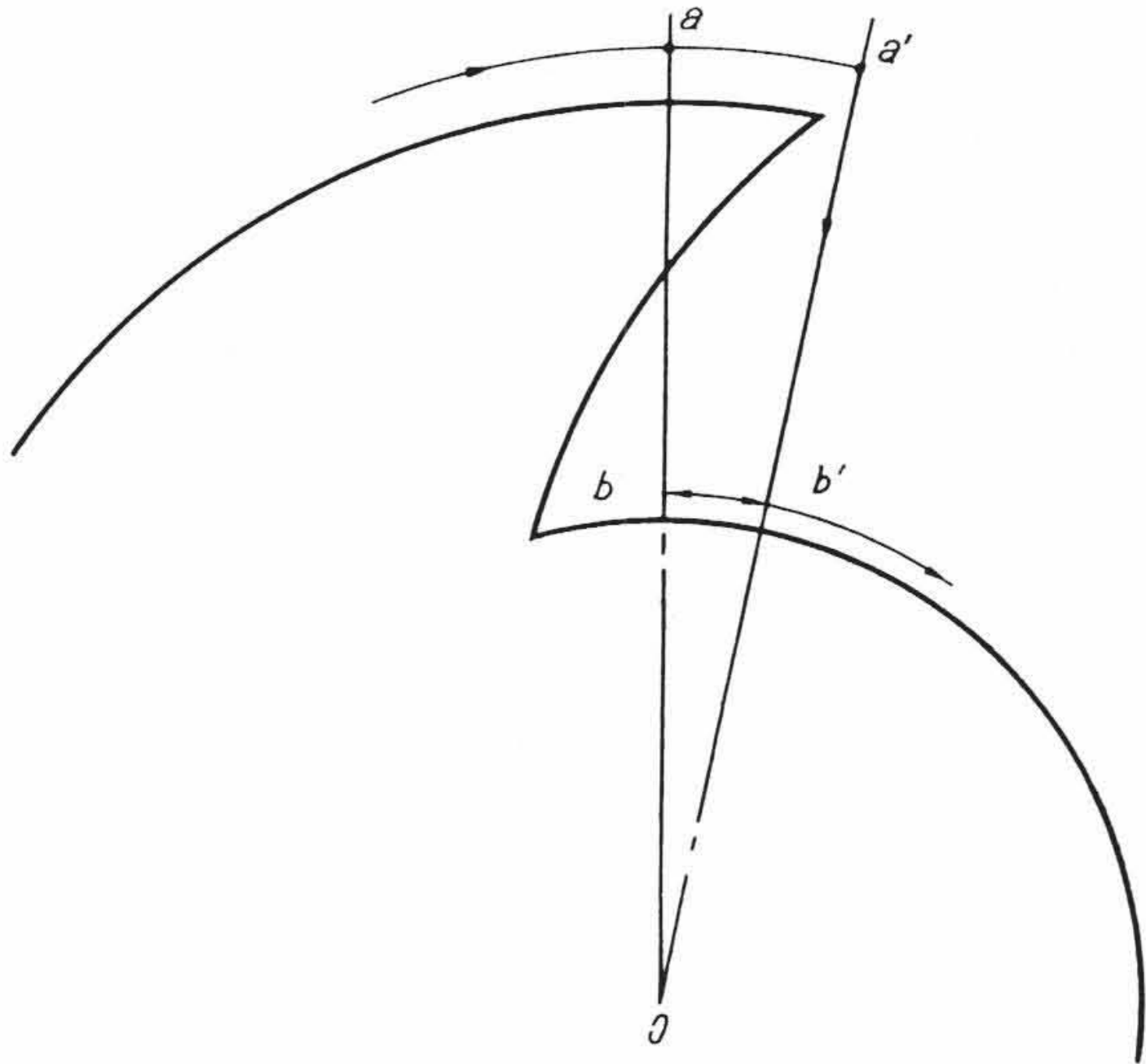
波数範囲 (cm ⁻¹)	光源	回折格子 (本/mm)
500~320	グローバー	30
320~227.5	グローバー	30
227.5~170	グローバー	20
170~142.5	グローバー	20
142.5~116.5	グローバー	20
116.5~80	超高圧水銀灯	8

ルの再現性であり、レバーの長さ L は許されるかぎり長いほうが良い。なお前置プリズム分光器の波長駆動と回折格子分光器のそれとは同期させる必要があるが、第4表の波長精度に必要なカム高さ精度は比較的低いので、普通のピッチ精度のギヤ連結で回折格子回転駆動系に機械連結すれば十分同期の精度が達成される。

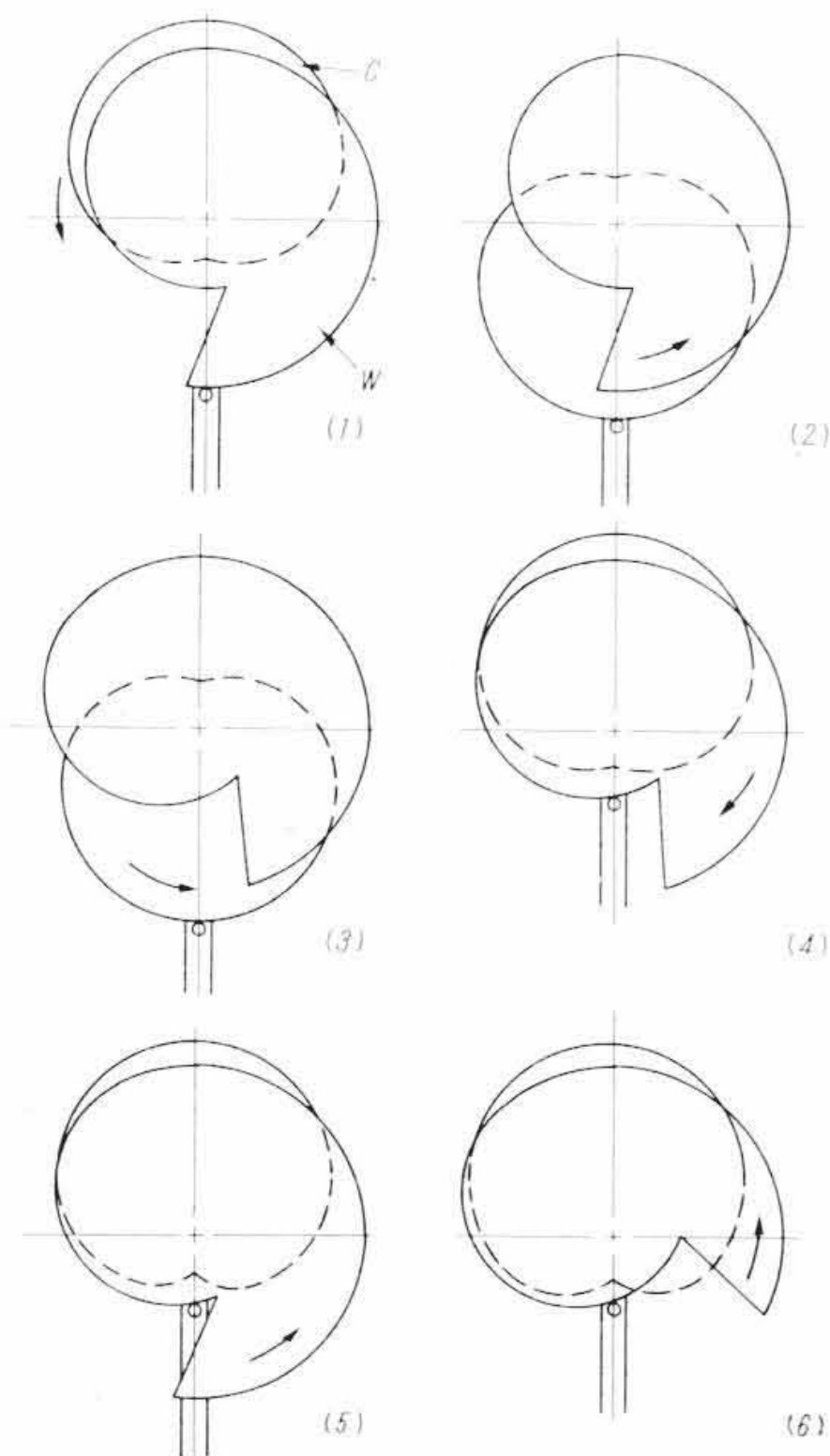
3.2 カム方式

等波数送りのカムによってレバーを押し上げ、回折格子を回転して波数走査を行なう駆動方式の精度を解析する。

回折格子、光源の使用条件は第6表に示す。使用する回折格子が3枚であるため、1枚のカムで波数走査を行なうには、カムの形状は紅葉形となる。1枚の回折格子が所要波数範囲を走査し終って、次の回折格子に切り換わる際には、レバーはカムの高い位置から低い位置に移動する。そのときレバーの接点に衝撃を与えることなく円滑に降すには、第7図のように角度 α の間を別の曲線で結ぶ必要がある。このような方法ではカムの回転角 α だけ波数走査に無関係な死角になる。波長をオーバーラップして記録をとりたい場合にはカムと記録計との連結をはずして逆進させる必要があるが、連結を



第 8 図 レバー接点の動作図



C: 補助カム W: 波数カム

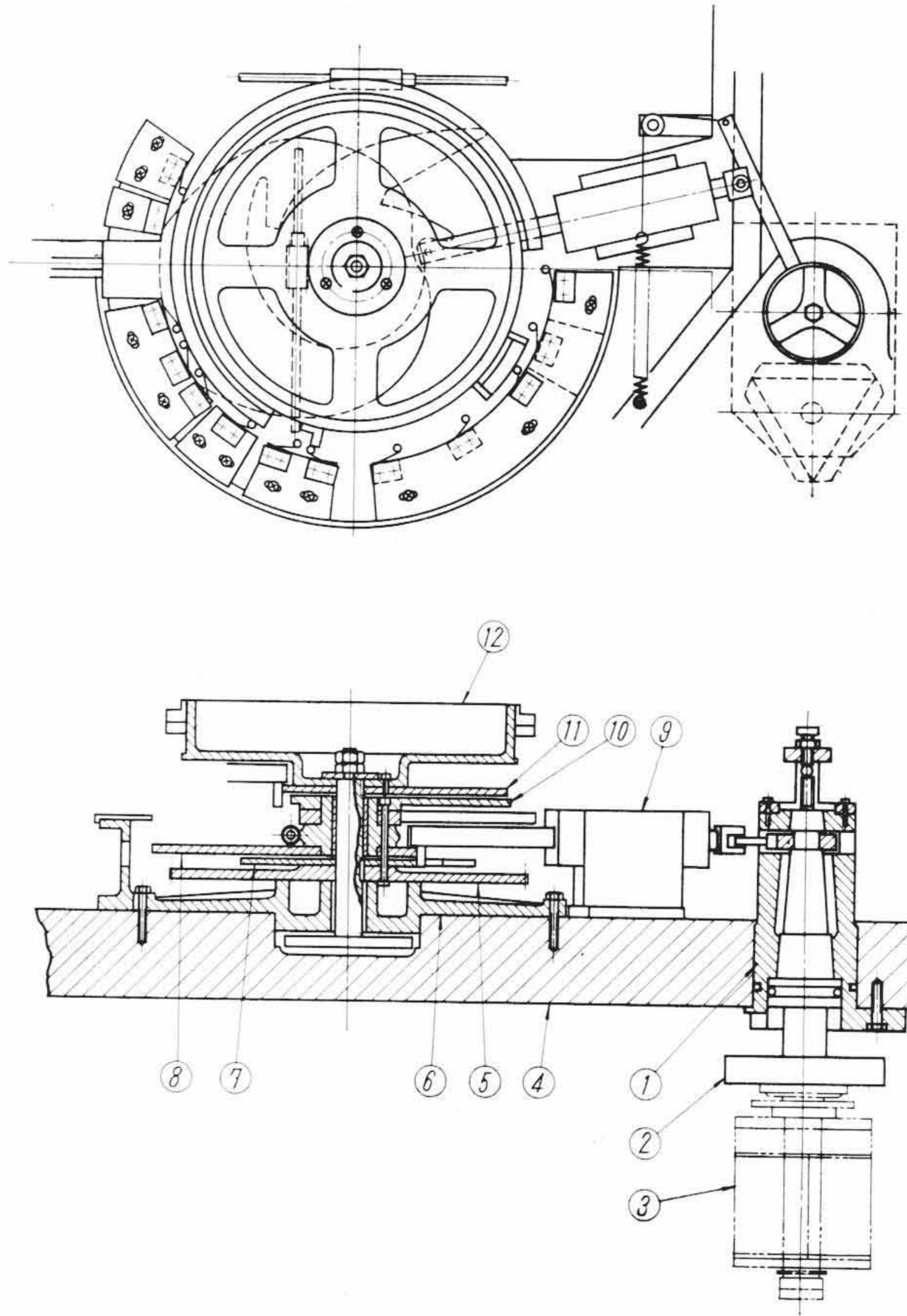
第 9 図 波数走査カムと補助カムの動作図

はずすことは構造も複雑になるうえに、すべりによる誤差はいるので望ましくない。この連結をはずすことなく記録計を逆転させるためにはカムも逆転させる必要がある。このために、回折格子が一波数範囲を走査完了すると、記録計のペンをチャートから離し、次いで補助カムが回転して回折格子の回転レバーを押し上げ、波数走査カムから回転レバーを切り離す。これは第 8 図の a 点で行なわれる。この状態で波数走査カムを aa' だけ回転させ、 a' の位置で補助カムを回転してレバーを b' の位置に降す。次に波数走査カムを逆転させてレバーを b の位置に持ちきたし、ここから次の回折格子の波数走査が開始される。この間波数指示計および記録計のチャート送り機構は波数走査カムの駆動系に連結されたままになっているから回折格子の位置再現性の誤差がないかぎり、波数ずれは生じない。

補助カムおよび波数走査カムの動作図を第 9 図に示す。

(1) では波数走査カムの最後の状態で、自動的に送りが止って補助カムが回転を始める。

(2) 補助カムが最高点に来たところで、レバーを波数カムから切り離して停止する。波数カムが回転を始める。



第 10 図 回折格子分光器の駆動系

(3) 波数カムの回転はレバーがカムの低い位置に降りるのに支障のない点まで来て停止する。補助カムが回転し、レバーは補助カムに沿って波数カムの低位置まで降りる。

(4) 波数カムが逆転を始める。

(5) 逆転は次の回折格子の出発点の位置まで行なわれる。

(6) 波数カムは正転を開始し、記録を始める。

このような方式を採用した駆動系を第 10 図に示す。

波数変換部は分光器ベース④の下部に取付けられている。波数駆動はウォームとウォームホイール⑤によって行なわれ、同軸に取付けられた波数カム⑦および補助カム⑧により、レバー⑨を押し上げて回折格子テーブル②を回転する。⑩、⑪はそれぞれスリットカムおよびその補助カムである。

このような波数駆動系について機構上波数誤差となる原因について検討してみる。

(a) 回折格子回転軸の偏心誤差

回転軸にはテーパ軸を採用しているため、 0.005 mm 以下の精度に押えられる。回折格子テーブルのレバーの長さは $L=100\text{ mm}$ であるから、角度誤差 $d\phi = \frac{0.005}{100}\text{ rad}$ となり、波数誤差 $d\lambda$ は次式によって計算される。

$$d\lambda = \frac{v^2 d \cos \phi}{m} \cdot d\phi \dots\dots\dots (18)$$

(b) 波数カムの回転軸のガタの影響

ガタは 0.01 mm 以下で、ボスの支持部長が 37.5 mm であるから、傾きは $0.01/37.5\text{ rad}$ である。この傾きをカムの高さとして換算すると、支持部ベースから波数カムまでの長さが 53.5 mm のため、 $53.5 \times (0.01/37.5) = 0.01426\text{ mm}$ となる。この値を回折格子回転角偏差に換算すると、カムの高さ H のとき

$$H = 100 \tan \phi' \dots\dots\dots (19)$$

$$\phi' = 30^\circ - \phi \dots\dots\dots (20)$$

ただし入射角および回折角が30度るとき、レバーの長さを100とし、カムの高さは内接円として100φにとった。

$$d\psi = d\psi' = \frac{\cos \psi'}{100} dH = 0.0001426 \cos^2 \psi' \dots\dots\dots (21)$$

上式により回転角偏差を出し、(18)式より $d\psi$ が計算される。

(c) 波数カム回転軸の偏心の影響

(1) 偏心がレバーと直角方向にきく場合

0.01 mm の軸偏心によるカム回転角に与える最大誤差は、カムの径が最小の内接円るときに生じる。いまカムの径を R 、カムの回転角を x とすると

$$dx = \frac{0.01}{R} \dots\dots\dots (22)$$

内接円 $R=50$ mm のとき dx は最大になり、最大の波数誤差を生じる。この場合の波数誤差はすべての波数において等しいと考えてよい。カムは $2.5 \text{ cm}^{-1}/2.1$ 度にとっているため

$$2.5 \text{ cm}^{-1} \times \frac{dx}{\frac{2.1}{180} \times \pi} = 0.01364 \text{ cm}^{-1} \dots\dots\dots (23)$$

(2) 偏心がレバー方向にきいた場合

$dH=0.01$ mm が直接カムの高さの誤差としてきく場合で、(21)式によって計算される。

そのほかの原因は、(a)、(b)、(c)で検討した波数誤差に比べてはるかに小さい値をとるので、無視して問題はない。

各項についての波数誤差の計算結果は第7表に示すとおりである。最悪の場合を考えてすべての波数誤差が独立加算されるとした結果を同表に $\Sigma d\psi$ として示してある。この結果は波長精度として要求される $\lambda/2,000$ 以下の値になっている。

4. 等波長、等波数変換記録計

前述したように、分光光度計の波長走査にはカム方式とネジ送り方式の二つが実用されているが、このカムの切削はきわめて高い加工精度(数μ程度)を必要とし、その取付組立調整は専門的熟練を要する。またサインバー、逆サインバー方式を用いたネジ送り機構も高い工作精度を必要とし、その組立調整も高精度を要する。そのため現在生産されている分光光度計においては、等波長目盛走査と等波数目盛走査を使用者が自由に交換使用することは困難とされている。わずかに駆動系付分散系をブロックとして取はずし、取付けをして目盛の切換えを行なっているに過ぎない。この困難の原因は分散系の駆動系そのものにおいて走査目盛りを変換しようとするために、その高い精度を保持することが困難な点にある。分散系の駆動範囲は、角度にしても長さにしても、比較的小さい物理量の変化範囲である。たとえば、カムによる駆動の場合、そのカムの高さの変化量は全波長域にわたってわずか数ミリメートルまたは十数ミリメートルである。これが記録紙上に数百ミリメートルに拡大記録される。したがって記録計においてこの走査目盛りを変換するならば、その変換機構は分散駆動系におけるよりはるかにゆるい精度で十分である。たとえば従来生産されている分光光度計を例にとってみる

第7表 回折格子分光器の波数誤差(カム方式)

ν (cm^{-1})	回折格子 (本/mm)	回折格子テーブル回転軸偏心誤差 (cm^{-1})	波数カム回転軸の偏心による影響 (cm^{-1})	カム回転軸の偏心による誤差		$\Sigma d\psi$ (cm^{-1})
				レバーと直角方向にきく (cm^{-1})	レバー方向にきく (cm^{-1})	
500 230	30	0.0398	0.1080	0.0136	0.0765	0.2379
		0.0067	0.0180	0.0136	0.0126	0.0509
230 125	20	0.0119	0.0338	0.0136	0.0237	0.0830
		0.0024	0.0057	0.0136	0.0040	0.0257
125 80	8	0.0093	0.0254	0.0136	0.0178	0.0661
		0.0035	0.0099	0.0136	0.0069	0.0339

と、記録紙全長700 mm に対し 0.5 mm の精度があれば十分であるから、ドラムの回転精度にして360度/1,400 あればよいことになる。波数と波長の関係は

$$\nu = \frac{1}{\lambda} \dots\dots\dots (24)$$

で逆数関係にある。今第11図において ΔOec と ΔOBb から

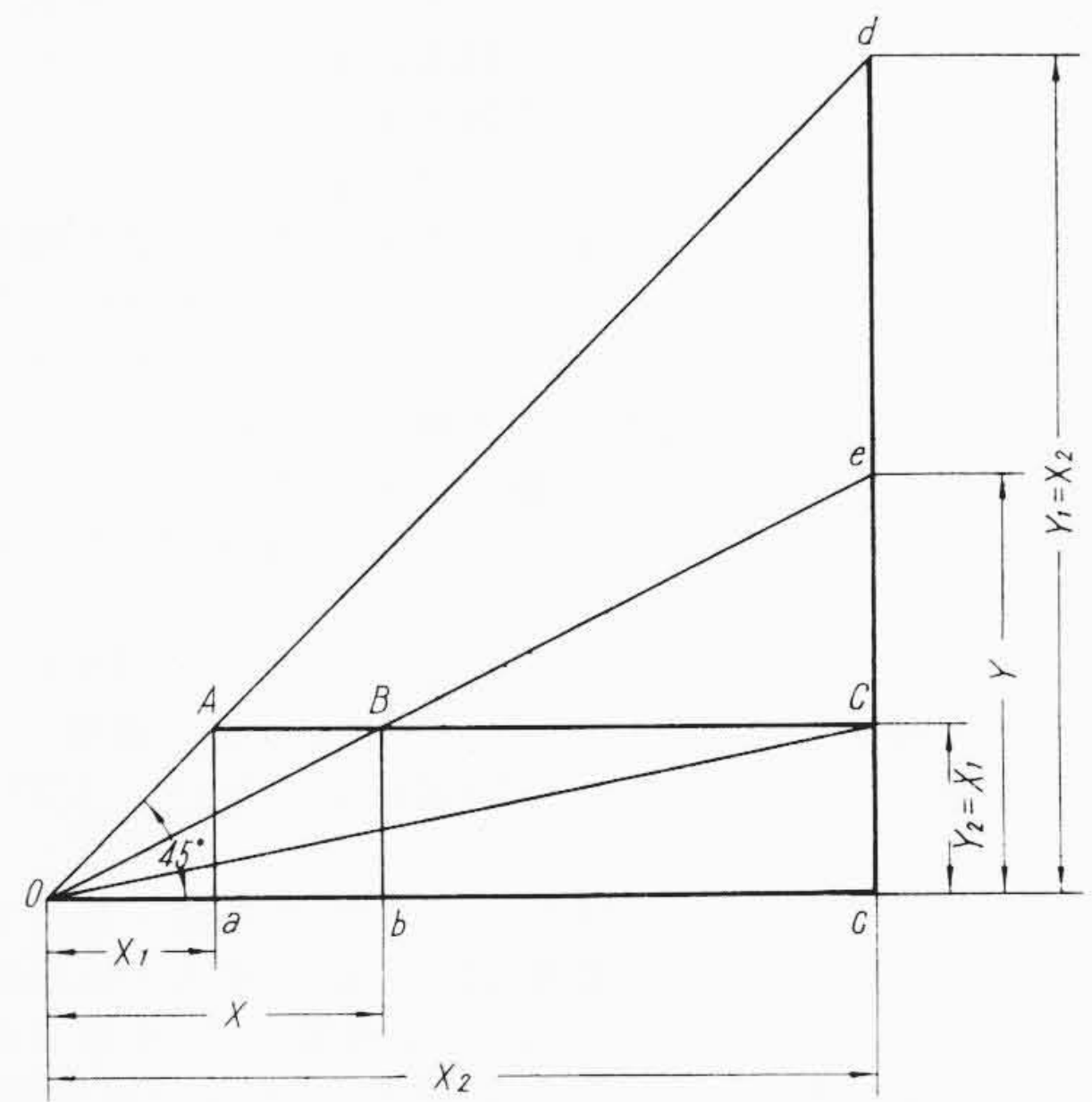
$$\frac{Y_2}{X} = \frac{Y}{X_2} \dots\dots\dots (25)$$

すなわち

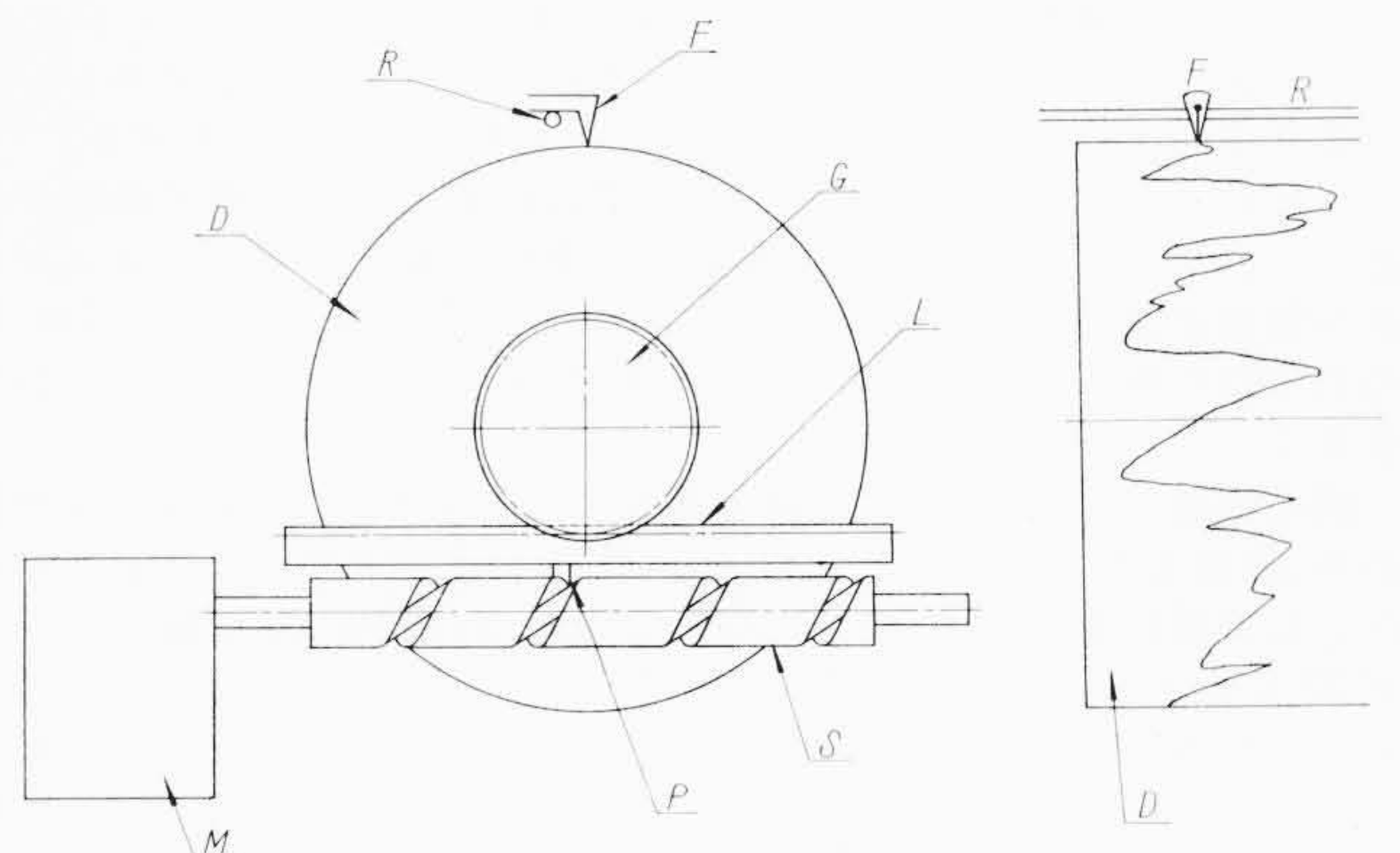
$$Y \propto \frac{1}{X} \dots\dots\dots (26)$$

なる関係をうる。

したがって今A点からB点まで送ると、d点はc点まで送られ、ちょうどA点からB点に等波長で送ったとき、dからcへは等波数で送ることができる。この原理を使って非線形ネジ(円筒カム)を切削し、このネジを使って記録計を作ると走査変換の記録計ができる。非線形ネジの切削は、O点を支点として回転するレバーOdを取付け、レバーにピンのガイド用のみぞを切っておく。AC方向に送りネジを取付け、ネジの回転で駆動するピンの出たナットを送り、ピンがレバーのガイドに沿って動くため、レバーは回転することになる。次にdc方向にフライスのベッドを取付け、レバーの回転によってレバーのみぞに植え込まれたピンとこのベッドとを連動させておくと、このベッドはdc方向に移動する。したがってベッド上に被削材を取付け、AC方向の送りネジの回転とこの被削材の回転



第11図 波長、波数、変換原理図



- M: 電動機
- S: 非線送りネジ
- L: ラック
- F: ペン
- P: 案内ピン
- D: 記録ドラム
- G: ピニオン
- R: ペンレール

第12図 等波長、等波数変換記録計

を連動させておくと、送りネジを送ることによって被削材は回転しながらベッドとともにネジの送りの逆数に比例して送られる。このような送りを加えながらカッタで切削すると非線形ネジが切られる。

このネジを使った走査変換記録計の原理図を第 12 図に示す。等波長送りの記録計のドラムの回転に同期して非線形ネジを回転させると、案内ピンの動きは等波数送りになっている。ピンを取付けられたラックにピニオンをかみ合わせ、ドラムを連動しておくと等波数送りの記録計が得られる。

5. 結 言

分光光度計の波長駆動機構各部の工作精度については、従来は慣

習的に経験による公差を採用し、どうしてこの公差を採用したかという基本が明らかにされていなかった。本文においては分光光度計の必要波長精度 $\Delta\lambda/2$ より逆に工作精度を計算し、駆動系各部に要求される公差を確定した。分光光度計はそれに要求される分解能に応じた工作精度を採用することが必要であり、この意味において本文がその一指針を与えるものと確信する次第である。

参 考 文 献

- (1) V. Z. Williams: Rev. Sci. Instr. 19, 135 (1948)
- (2) Svend Brodersen: J. Opt. Soc. Am. 43, 877 (1953)
- (3) 吉原邦夫: 分光研究 5, No. 2, 20 (1957)
- (4) 工藤恵栄: 分光研究 8, No. 2, 113 (1960)
- (5) J. Strong: Phys. Rev., 37, 1661 (1931)



特 許 の 紹 介



特許第 276627 号

渡 部 富 治

流 体 変 速 機 用 逆 転 機 の 保 安 装 置

鉄道車両などをけん引する機関車に流体変速機（トルクコンバータ）を使用する場合には逆転機を必要とし、その逆転機の切換操作は機関車が走行しないときおよびトルクコンバータが駆動状態にないときに行なわないと不時に逆行を起し、あるいはクラッチ機構その他の部分に損傷を与えるなどの危険がある。

従来のものでは一度トルクコンバータが駆動状態に入ると、クラッチシリンダをインターロック装置によりロックし、また機関の走行中にもロックしていた。しかし、クラッチシリンダ内のピストンがロックされる以前に移動してしまっていると、その後のロックは不可能である。同様な危険は電磁弁の故障により前記ピストンの両側に圧力が作用し、また作用しない場合にも生ずる。

この発明は上記の危険を除くための保安装置に関するものである。

ロックピストン 17、フリーピストン 16 およびバネ 18 をシリンダ 22 内におさめて構成したインターロック装置 6 は、導管 11b, 25, 24 を介して始動弁、保安ギヤポンプ（図示してない）、切換弁 15 にそれぞれ連結されている。

フリーピストン 16 にはバネ 18 および導管 25 を経て流入する圧油が下向きに作用するとともに、導管 11b を経て流入する圧油が上向きに作用し、またロックピストン 17 には導管 11b を経て流入する圧油が下向きに作用するとともに、切換弁 15 および導管 24 を経て送られる圧気が上向きに作用している。

この場合、導管 24 から送られる圧気によるピストン 17 に働く上向きの力は、導管 11b を経て送られる圧油によるピストン 17 に働く下向きの力、または導管 25 を経て送られる圧油によるピストン 16 に働く下向きの力とバネ 18 の力との和より小さいものとする。

したがって、ピストン 16, 17 のいずれにも下向きに働く油圧が作用していないとき、すなわち機関車が停止中およびトルクコンバータが駆動状態にないときのみ、ピストン 17 に働く圧気はバネ 18 の力に打ち勝ってピストン 17 を上昇させてロックを外すことができる。

図は電磁弁 13 が作動した瞬間時を示したもので、圧気は切換弁 15 の弁 20 を右方に押圧するため、弁 20 は点線で示す中立位置から右行した位置にある。弁 20 の右行により圧気は導管 24 を経てシリンダ 22 に流入し、バネ 18 の力に打ち勝ってピストン 17 を押し上げてロックを外す。同時にクラッチシリンダ 5 にも圧気が流入しそのピストン 5a を右方に押圧するため、ピストンロッド 23 は右行して中間位置にくる。このとき導管 11b, 25 からシリンダ 22 内に圧油は流入していない。

切換弁 20 の左右両側に圧力が作用しているとき、また作用していないか、あるいはその圧力の圧力が低下したときには、弁 20 はバネ 21, 21' の力により中立位置に戻されるため、ロックピストン 17 に上向きに作用する圧気は切換弁 15 から排出される。したがって、ロックピストン 17 はこれに作用するバネ 18 の力により押し下げられる。

この場合、クラッチシリンダのピストンロッド 23 の切り欠き 19, 19' のいずれか一方はロックピストン 17 の下位にあるから、そのピストンロッド 17a は前記切り欠きのいずれかにかん入してクラッチシリンダをロックする。

以上説明したこの発明によれば、機関車が走行中およびトルクコンバータが駆動状態にあるときには逆転機の切換操作が不可能であるばかりでなく、クラッチピストンを操作する電磁弁の故障による事故を未然に防止し、またクラッチピストンをロックするから保安上きわめて安全である。（野村）

