

自記オートコリメータの試作研究

本田 巨範 ・ 花井長四郎 ・ 高橋 政敏

An Investigation into the Trial Manufacturing of a Recording Auto-collimator

Masanori HONDA, Choshiro HANAI
and Masatoshi TAKAHASHI

Abstracts

A recording auto-collimator, using a telephoto lens as an objective and an array of silicon photodiodes as a light sensing element, is trial manufactured.

The highest sensitivity through an objective lens of 400 mm focal length is 8.9×10^{-6} rad. (1.8 sec.) per division on the recorded chart with maximum amplification of the recorder.

An angular sag of the table of a knee type milling machine caused by overhanging during its longitudinal travel is measured and recorded, and the instrument proved to have a satisfactory performance.

1. ま え が き

オートコリメータは角度の微小変化を光学的に高精度に測定する測定器の一つである。測定は反射像の動きを肉眼で読み取ることによって行われるので、眼の疲労による能率低下や読み取りの間違いは避けられない。

今回、シリコンフォトダイオード（以下 SPD と略称する）によって反射像の動きを光電変換し、自動平衡形記録計によってその変化を記録する自記オートコリメータを試作して好結果を得たので報告する。

2. 試作したオートコリメータの概要

2.1 オートコリメータの原理

Fig. 1 (a) はオートコリメータの原理を示すものである。光源①からの光線は集光レンズ②によって集められ、全反射プリズム③、スリット④、対物レンズ⑤を経て平面鏡⑥に達し、反射光は上とはほぼ同じ経路を逆に進み、対物レンズの集点面⑦上のB点にスリットの像を結ぶ。

平面鏡に微小の角度変化が起ると、像はBからB'に移動する。この移動量を δ とすると

$$BB' = \delta = 2f\theta \quad (1)$$

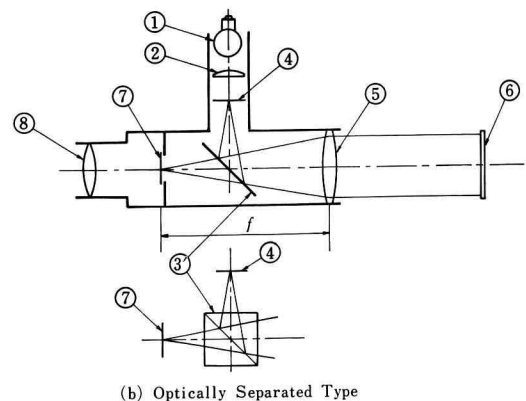
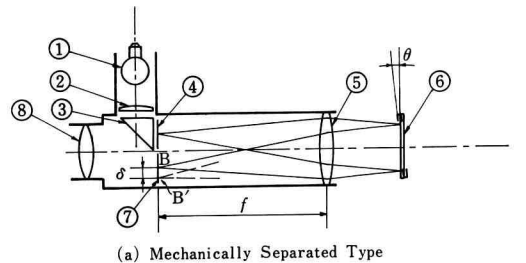


Fig. 1. Schematic showing the principle of auto-collimator.

ここに、 f : 対物レンズの焦点距離

θ : 平面鏡に生じる微小の角度変化

である。ここで、焦点距離 f が既知なら、像の移動量 δ を測定することによって角度変化 θ を知ることができる。

式 (1) において、 θ が秒単位すなわち 10^{-6} ラジアンのおーダであるとする、 f の大きさにもよるが、 δ はおよそ μm のおーダとなる。したがって、顕微鏡⑧によって像の動きを拡大して観測するのが普通である。

スリットとその像とを分離する方法としては、Fig. 1 (a) に示す方法のほか、Fig. 1 (b) に示すように半透鏡③を使用する方法もある。ここでは、(a) に示す方法を機械的分離法、(b) に示す方法を光学的分離法と、仮りに名付けることにする。光学的分離法では、最良の条件でも、像の明るさが機械的分離法の 25% に低下するという欠点がある。

2.2 試作したオートコリメータの構造

Fig. 2 は試作した自記オートコリメータの全構成を示すもので、大別して、光学部、増幅部、光源用電源部及び記録部で構成される。このうち、記録部は東亜電波工業製 U-EPR-200A 型自動平衡形記録計を使用した。

2.2.1 光学部

Fig. 3 に光学部の外観を示す。光学部は対物レンズと本体とに大別され、本体には光源ランプ、集光レンズ、全反射プリズム、スリット及び検出用受光素子が格納し

である (Fig. 4 参照)。

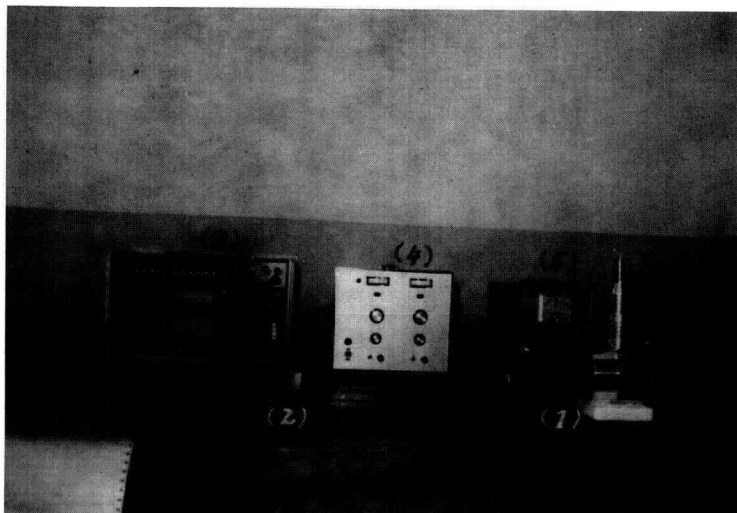
対物レンズとしては写真用望遠レンズを流用することとし、フランジバック寸法が 45.5mm、バヨネットの内径が 40mm と大きく、かつ、バヨネット部の加工が容易なことからアサヒペンタックス用の 200mm 1:4 と 400mm 1:5.6 とを選んだ。

なお本体とレンズとの接続用バヨネットは、中間リングの金具を流用した。

オートコリメータの対物レンズとして写真用望遠レンズを使用すると、次に述べるような多くの利点がある。

- (1) 光学的なレンズ構成により、焦点距離の長さに比較して機械的全長が短いので、コリメータとして組立てたときに重量がバランスして安定がよい。
- (2) 各収差が補正されており、約 40mm のイメージサークル内で極めて良好な像が得られる。
- (3) 一般に口径比が大きく明るい。
- (4) 各種の焦点距離のものが市販されている。
- (5) 測定の目的 (例えば所要の倍率など) に応じて、焦点距離の異なるレンズと取換えることが容易である。

Fig. 4 は本体の内部構造を示す。図中①の光源ランプは 12V 25W の自動車用電球を使用した。電源部の電圧は 8V から 2V 飛びに 14V まで可変とし、交流、直流に切替可能とした。直流には定電圧回路を付加してある。



(1) Optical unit (2) Mirror (3) Recorder
(4) Amplifier (5) Power unit

Fig. 2. Line-up of the Recording auto-collimator.

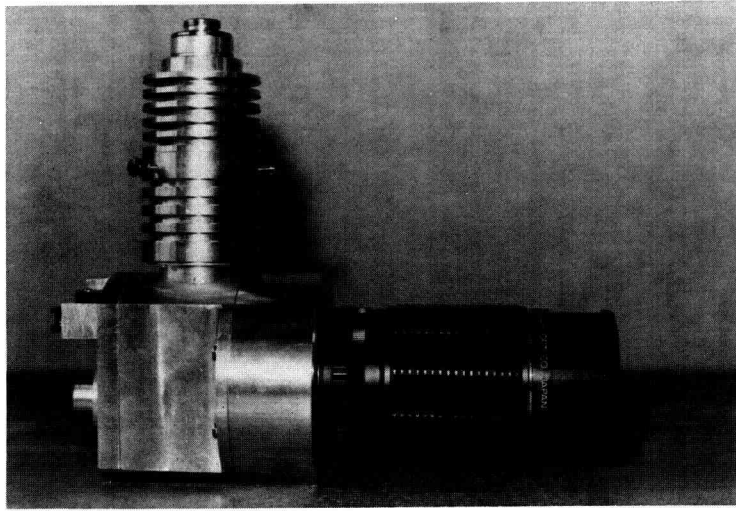


Fig. 3. Optical unit.

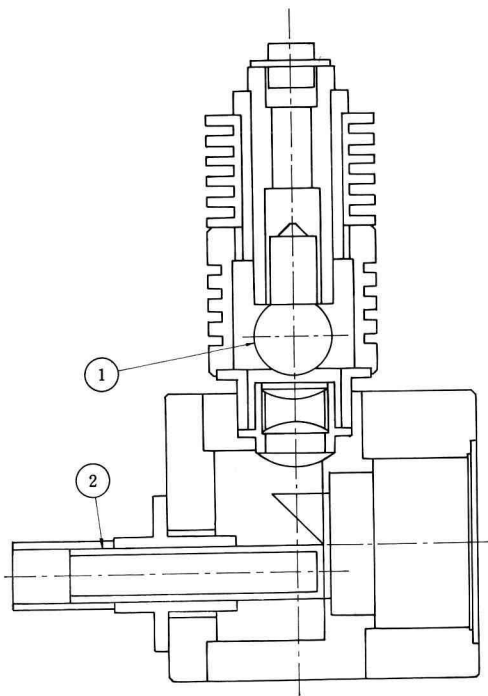


Fig. 4. Main body of optical unit.

②は SPD を取付ける台座で、先端の面を焦点面に一致させ、像の動きを検知するための受光素子を貼り付ける。

受光素子として一般に入手の容易なものは硫化カドミウム (CdS)、シリコンフォトダイオード (SPD)、セレン光電池、光電管、フォトトランジスタである。これらの中で、タンガステンランプの光に対して感度がよく、直線性がよく、応答速度が速く、電源を必要とせず、形状が薄板状である等、数多くの長所を備えている SPD を使用することにした。

使用した SPD はシャープ社製 SPD-550 で、その特性は、同社のカタログによると表1及び Fig.5 の通りである。

2.2.2 SPD の配置とスリットの形

像の動きを検出するための SPD は、X 方向及び Y 方向についてそれぞれ1個づつあればよいと考えられ勝ちであるが、予備実験の結果、1成分に対して1個の SPD では迷走光線の影響を強く受けて S/N 比が悪いことがわかった。そこで、1成分に対して2個の SPD を使用して、出力の差をとる、すなわち2個の SPD をプッシュプルに使用することによって、外乱の影響を相殺することにした。

感度不足が心配されるので、最終的には1成分に対して4個の SPD を使用し、Fig.6 に示すようにこれをダブルプッシュプルに作動させて、外乱の打消しと感度増大を計った。

像の動きは、X 及び Y の両成分を独立に検出する必要があるので、各成分に対してそれぞれ4個、計8個の SPD を十字形に配列し、これに対応するスリットの形

表 1 SPD-550 の 特 性

規 格		絶対最大定格		電 気 的 光 学 的 特 性			
素子の寸法 (mm)	有効受光面 積 (mm ²)	動作温度 (°C)	保存温度 (°C)	開放電圧 * (V)	短絡電流 * (μ A)	応答時間 (遅延) ** (ns)	指 向 性
2.0×5.0	10.0	-10~70	-10~80	0.35 min.	58 min.	1 typ.	無指向性

* CIE 標準光源 A (タングステンランプ) による照度 1000 lx にて

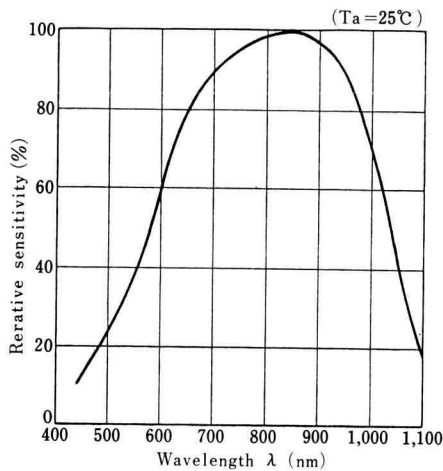
$R_L=1\text{ k}\Omega$ 

Fig. 5. Spectral sensitivity of SPD.

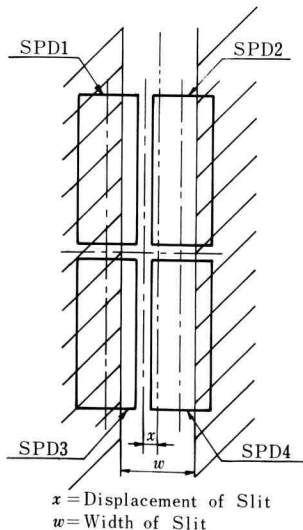


Fig. 6. Double push-pull arrangement of SPD.

も、幅×長=3×20mm の長方形を十字形に組合せたものとした。

スリットを照明するランプは、交流によるランプの明滅から生じるノイズを避けるために、最終的には直流で点灯した。電圧は 8V で十分であった。

2.2.3 増幅部

増幅部は、X, Y 各成分それぞれが次に掲げる機能を備えていなければならない。

- (1) 4 個の SPD の出力電流を電圧に変換増幅する。
- (2) 2 個の SPD の出力の符号を反転する。
- (3) 残りの 2 個の SPD の出力と上記の反転出力とを加え合せて、2 組の差出力を作る。
- (4) この 2 組の出力を加算し、記録計の前置増幅器を駆動できる電圧にまで増幅する。

これらの増幅及び演算には IC オペアンプを使用した。1 成分の全回路図を Fig. 7 に示す。

Fig. 8 は微小電流-電圧変換回路で、直線性をよくするために、SPD の出力をオペアンプの仮想接地点に接続し、短絡電流を増幅するようにした。このときの出力電圧 V_0 は

$$V_0 = R_1 \cdot i_D$$

となる。

3. 試 作 結 果

3.1 較 正

Fig. 9 は校正装置のブロック図、Fig. 10 は記録計で得た校正記録の 1 例、Fig. 11 は校正線図であり、400mm のレンズを装着した場合、記録紙上の 1 目盛が 1.8 秒 (8.9×10^{-6} ラジアン) となる。

3.2 実 測 例

試作したオートコリメータの性能を試す一つの方法として、ひざ形フライス盤のテーブルのたわみ角を測定してみた。テーブルの一端に平面鏡を取り付け、これに正対してオートコリメータを三脚上に固定する。その様子

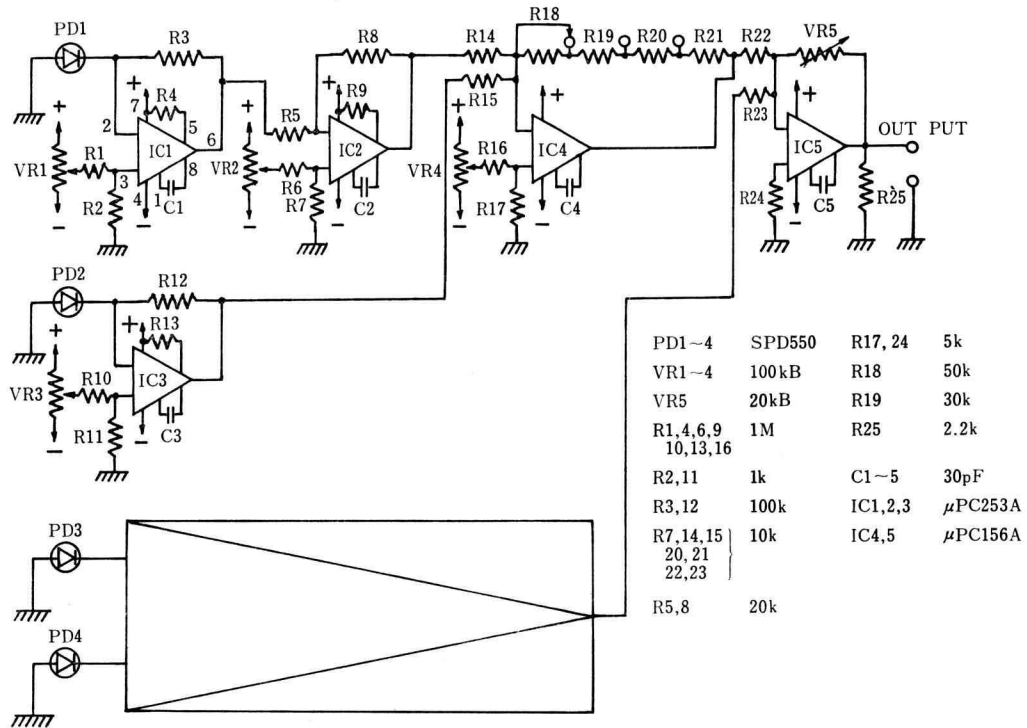


Fig. 7. Wiring diagram of 1 component.

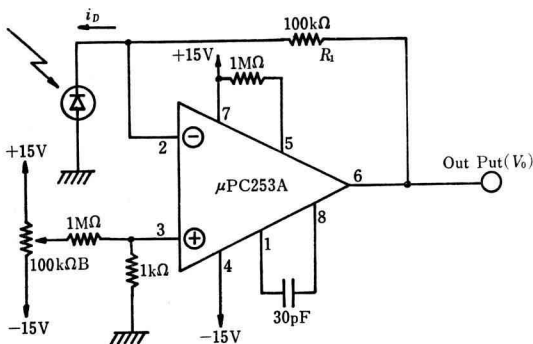


Fig. 8. Photo sensing amplifier.

を Fig. 12 に示す。

まずテーブルを動きの中央に置き、記録計をスタートさせると同時に、テーブルを手送りによって約 200mm 突き出し、しばらく停止させた後元の位置まで戻し、その間のテーブルの自由端のたわみによる傾斜の変化を記録する。

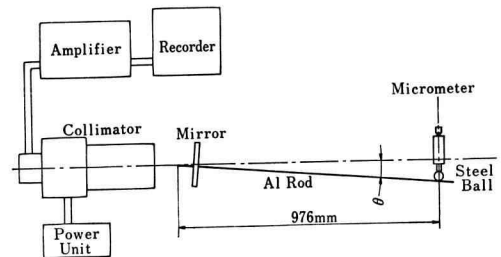


Fig. 9. Arrangement for calibration.

このようにして得た記録が Fig. 13 であり、このときのオートコリメータの条件は Fig. 11 の (b) と同じ、すなわち最高感度である。

Fig. 13 によれば全体にわたってノイズがあるが、較正時の記録 (例えば Fig. 10) と比較して、このノイズは地面からの振動であろうと思われる。突出時の 200mm と復帰時の 200mm との長さが異なるのは、記録計の紙送りの速度が一定であるのに対して、手送りの速度が往きと帰りとは異なるからである。テーブルの移動と記録紙

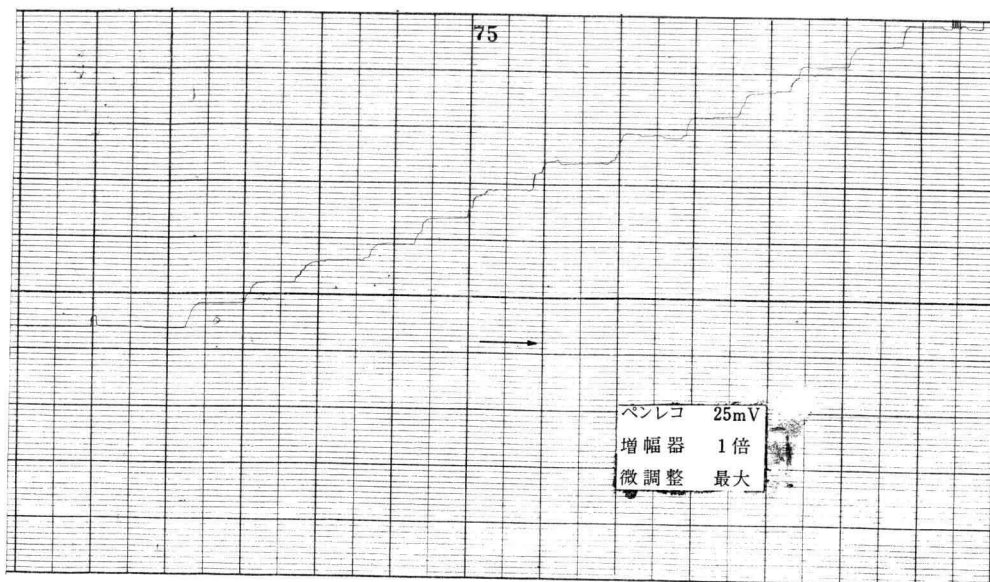


Fig. 10. Example of the record of calibration.

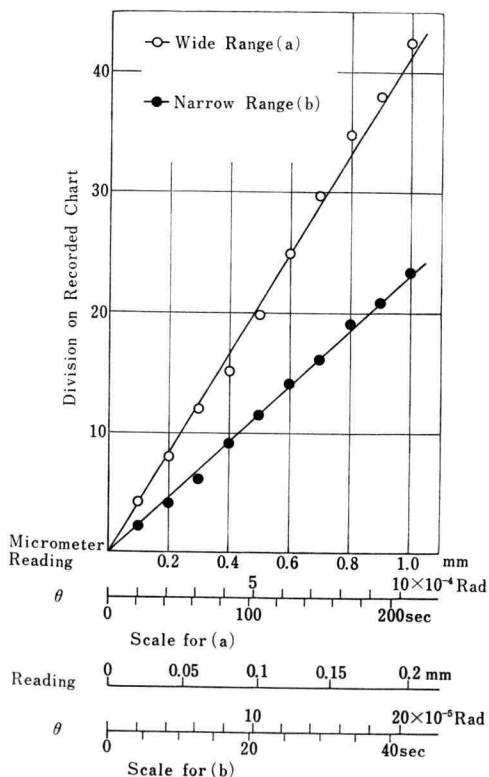


Fig. 11. Calibration curve.

の移動とを連動させればこのようなことは無い。

3.3 考察

3.3.1 感度

計画の当初は自記オートコリメータとしての記録計を含めた総合感度がどの程度になるか予想できなかった。したがって、少しでも感度を増大するために、1成分当り4個のSPDをダブルプッシュプルとして使用し、光の損失もなるべく少なくなるように、機械的分離法を採用した。

しかし、試作を終って性能試験を行ってみると感度は十分であった。したがって、光学的分離法を採用してSPDに達する光量が1/4に減少しても、Fig. 8の帰還抵抗 R_1 を大きくするか、さらには、光源の電圧を上げれば作動に差支えることがないと推測された。これを確かめるために、Fig. 14のように光学的分離法に改造して実験してみたが好結果を得た。

3.3.2 機械的分離法の欠点

機械的分離法によれば光量の損失は小さいが、スリット及びその像の両方が対物レンズの光軸から外れた位置にあるので、平面鏡の位置が対物レンズから遠いと、像にかげりが生じて測定の信頼性がなくなる。この欠点は、対物レンズの焦点距離が短いと著しくあらわれる。

光学的分離法ではこの欠点はない。

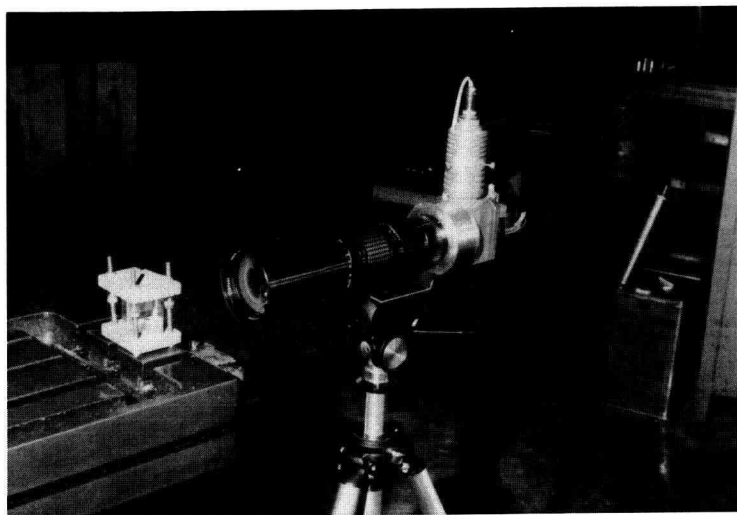


Fig. 12. Setup for measuring the angular sag of the milling machine table.

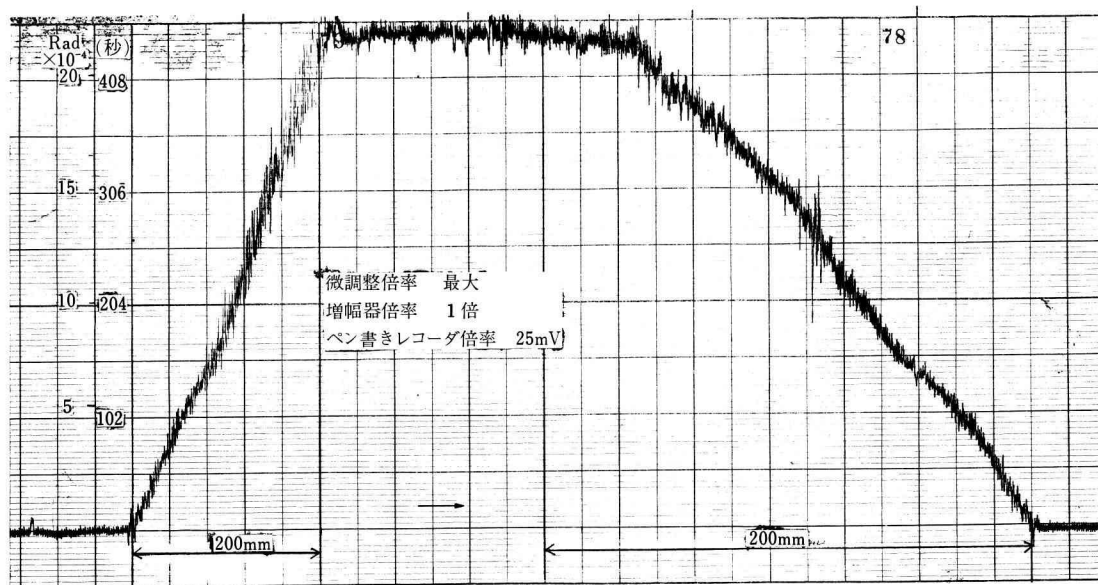


Fig. 13. Record of the angular sag.

4. 結 論

35mm 写真機用望遠レンズを対物レンズとして用い、SPDを反射像の動きの検出素子として使用した自記オートコリメータを試作した結果、ほぼ満足する結果を得

た。

SPDをプッシュプルに働かせることによって S/N 比を改善するとともに感度を高めることができ、総合感度の最高は記録紙上の1目盛に対して1.8秒 (8.9×10^{-6} ラジアン) であった。

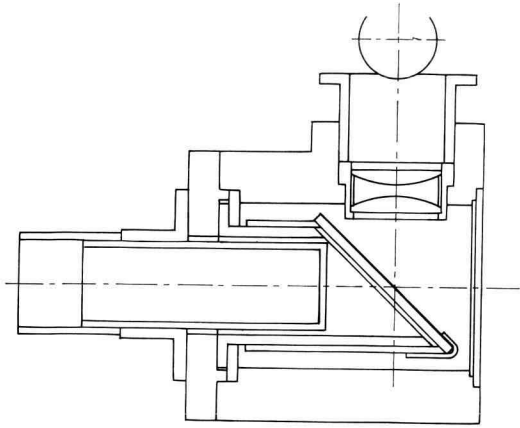


Fig. 14. Construction of optical separation Methods.

スリットと像の分離法として機械的分離法を採用すると、反射鏡と対物レンズとの距離が限定されるので、感度に余裕があるところから、光学的分離法を採用する方が賢明である。

この研究は、第1期生原田敦史、福島 武及び第3期生内海長人の卒業研究として行ったものの一部である。

参 考 文 献

オプトエレクトロニクス ハンドブック。シャープ半導体事業部編。