

フォトランジスタを用いた輝線検出器 の特性について

中 川 孝 之

Characteristics of the Apparatus to follow the
beam of Light, by the Phototransistor.

Takayuki NAKAGAWA

Cut of the phototransistor I have made the apparatus for the beam of the light. Then, by the theory of the diffraction about the light, and the experiments, I have found that the out put signal of its is connected with the distance between one transistor and another, and with of the light beam.

1. は し が き

二個のフォトランジスタを輝線をはさんで配置した検出部の出力信号と、検出部の位置の関係が明らかになれば、輝線追尾を目的としたサーボ機構の設計に利用できるばかりでなく、またこのようなサーボ系の運動状態を解析するのに用いることができる。

筆者はこの点に着目して、光の直進性と、波動性を考慮した上で、検出信号と光量の関係について解析した結果を報告する。

2. 光の直進性にもとづく検出特性

輝線をはさんで、二つの円形の感光部をもつフォトランジスタと、固定抵抗二個より直流ブリッジ回路を作り、⁽¹⁾ 二つの感光部をもつ検出部の位置とブリッジ出力信号の関係を調べた。

輝線の幅を $2d$ 、フォトランジスタ 中心間距離を $2a$ 、感光部が円形でその半径を r 、そして輝線中央を原点とし検出部中央が原点より x だけ変位したとき、出力信号の大きさは二個のフォトランジスタ感光部を照射する面積の差に比例するととして図-1 より次のように求まる。

$$\begin{aligned} S_1 &= 2 \int_{a-r}^{d+x} \sqrt{r^2 - (x-a)^2} dx \\ S_2 &= 2 \int_{-d+x}^{a+r} \sqrt{r^2 - (x+a)^2} dx \\ V &= k(S_1 - S_2) \end{aligned} \quad (1)$$

(1) フォトランジスタの照射感光面積を、それぞれ S_1, S_2 、検出信号の大きさを V 、そして比例常数 k とする。そこで(1)式の三つの関係から次の式が求められ

る。

$$\begin{aligned} V &= k \left\{ (x-a+d) \sqrt{r^2 - (x-a+d)^2} \right. \\ &\quad + (x+a-d) \sqrt{r^2 - (x+a-d)^2} \\ &\quad \left. + r^2 \left(\sin^{-1} \frac{x-a+d}{r} + \sin^{-1} \frac{x+a-d}{r} \right) \right\} \end{aligned} \quad (2)$$

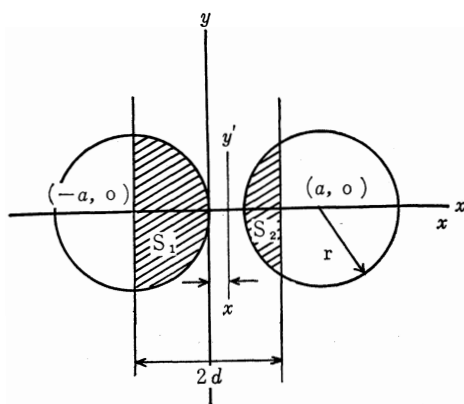


図-1

次に、フォトランジスタ中心間距離とスリット幅（輝線の幅）をどのように選べば、検出信号の変位に対する変化量（すなわち検出感度を）最大にすることが出来るかをしらべるため、 $a/d=1/\beta$ とし、感度最大ならしめる β の値を求めるには $dV/dx=0$ ならしめる β が求まればよい。計算の結果 $\beta=1$ となる。さらにこのとき、感度は $(dV/dx)_{x=0}=4kr$ となる。このことはフォトランジスタの大きさに感度は比例することを示している。また、(2)式から $\beta=1$ で、

$(\frac{d^2V}{dx^2})_{x=0} = 0$ であり, $x > 0$, $x < 0$, に対して $\frac{d^2V}{dx^2}$ の値は負, 正号をもつ値を取る。この事は検出信号の特性を示す曲線はS字形をなし, 変曲点は原点である事を示すものである。

次に $\beta \neq 1$ なるとき, 検出信号の特性を求めるためには, $a - d \equiv A$ とおき(2)式について, $x - A = x_0$, $x + A = x_1$ を用い, $V - x_0$, $V - x_1$ 座標系を考え幾何学的にその特性をあらわせば図-2の実線で示すようになる。この事を実際行なうには(2)式を次に示す二組の

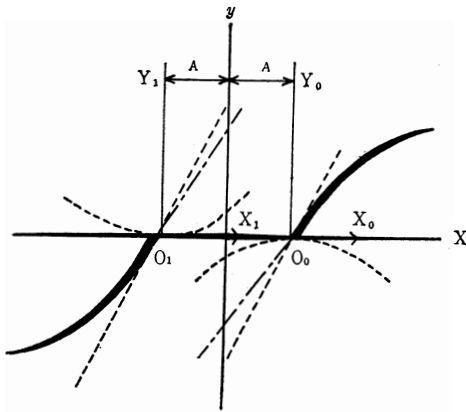


図-2

式に変換し, 新座標系に対しそれぞれの式を曲線であらわし, これ等を合成したのとして求められる。すなわち

$$V = k \left\{ x_0 \sqrt{r^2 - x_0^2} + r^2 \sin^{-1} \frac{x_0}{r} + x_1 \sqrt{r^2 - x_1^2} + r^2 \sin^{-1} \frac{x_1}{r} \dots \right\}$$

$$x_n \sqrt{r^2 - x_n^2} = x_n r \left\{ 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{x_n}{r} \right)^2 + \frac{1}{2.3} \left(\frac{x_n}{r} \right)^4 - \dots \right\}$$

$$r^2 \sin^{-1} \frac{x_n}{r} = r^2 \left\{ \frac{x_n}{r} + \frac{1}{6} \left(\frac{x_n}{r} \right)^3 + \frac{3}{40} \left(\frac{x_n}{r} \right)^5 + \dots \right\}$$

$n = 0, 1$

上記多項式の項数を適当に定め, 各項の値を新座標系に図示し, これ等の曲線の合成から検出信号の特性が定められる。

また一方 β の種々の特別な値に対し(2)式を数値計算によって, その特性を求めた結果を図-3に示す。これ等の特徴は実験からも充分にその傾向が認められ

る。

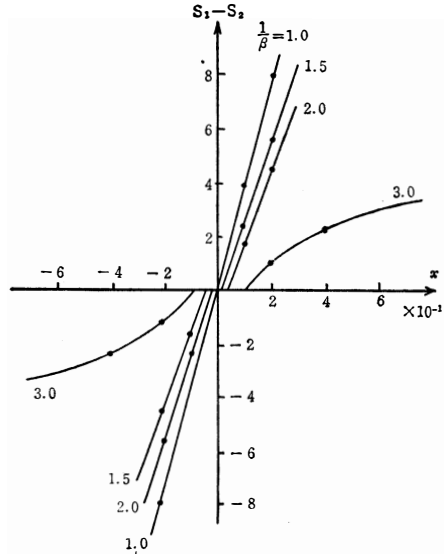


図-3

3. 光の波動性にもとづく検出特性

光の波動性は2.において陰になる方向へも回折のため光は到達するので, 解析はむずかしく複雑になる。いま, スリットは無限に長い直線の線をもつ遮板2枚で作られると見做し, 1枚の遮板の背後の明るさや, 明るい部分の明るさはどのように定まるかに関して, 光学や電磁波の廻折の理論を用いる⁽²⁾。この精細については省略し, ここで論ずるために必要な要点を述べると次のようである。

スリット背後の明るさ I は次式で定まる。ここで光の波長を λ , 光源スリット間距離 R , スリット幅 S スリットと観測点間距離を b とすれば,

$$I = \left\{ \int_0^v \cos \left(\frac{\pi}{2} v^2 \right) dv \right\}^2 + \left\{ \int_0^v \sin \left(\frac{\pi}{2} v^2 \right) dv \right\}^2$$

$$v = S \sqrt{\frac{2R + b}{Rb\lambda}} \dots \dots \dots (3)$$

となる。これは良く知られている関係で, 筆者はスリット幅 S の代りにそれ以外の物理量を含めた v の値を用い, これをパラメータとした(3)式の計算を電子計算機⁽³⁾によって求めた。これは数表にもあるが, 特殊な計算を別に行なう必要からこの事を実行した。

この結果を

$$x = \int_0^v \cos \left(\frac{\pi}{2} v^2 \right) dv \quad y = \int_0^v \sin \left(\frac{\pi}{2} v^2 \right) dv$$

xy 座標系に図示すると, v のいろいろの値に対して図-4が画かれる。これを一般に Cornu の Spiral と

呼ばれる⁽⁴⁾。

次にスリットは無限に長い縁を有する遮板が $v=v_0$ だけはないもう1枚の遮板がおかれて作られたものと考え、2枚の遮板背後の明るさを求めるには、1枚の遮板背後の明るさをそれぞれとめ、この明るさを合成すれば良い。このような考えで v_0 の値をいろいろ変化した場合（つまりスリット幅がいろいろ異った場合）の合成波の形は図-5の通りである。

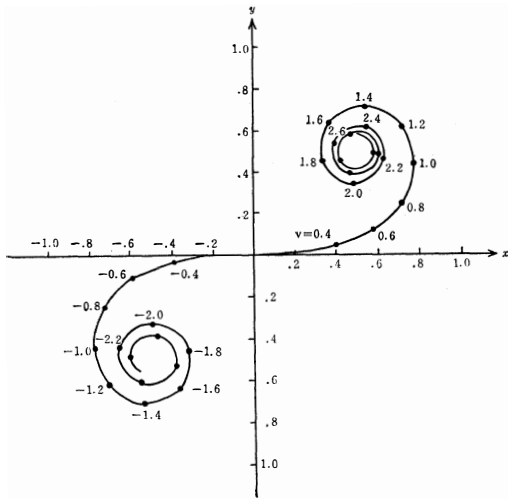


図-4

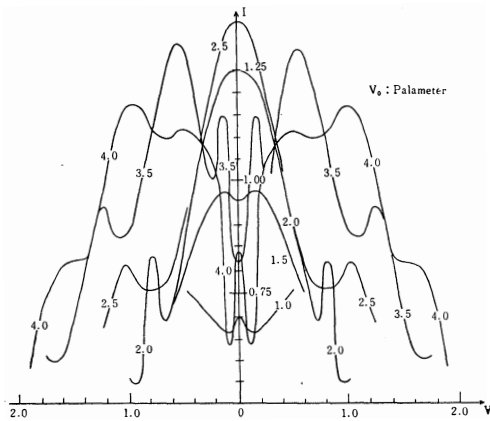


図-5

図-5から明らかなように、スリット背後の明るさは波動的である。

一方、検出器からの出力信号は、前に述べたように2個のフォトランジスタを用いており、これ等を照射する光量の差に比例した値であることや、感光部はある大きさを有していることから、その信号の値は、

$F(x) = \int f(x) dx$ の形にて表わされる。いま感光部の大きさを δ であらわし、検出信号の関数形を求めるには図-6と、いまの假定より

$$F(x) = \int_{x+\alpha}^{x+\alpha+\delta} f(x) dx + \int_{x-\alpha}^{x-\alpha+\delta} f(x) dx$$

を求めることによって目的が達せられる。ところでこ

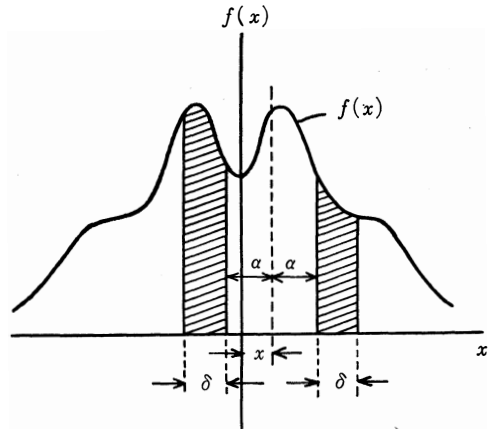


図-6

の計算は図式的な計算によらねばならない。

次にこの計算を数種類のスリット幅 v_0 に対応して求めたものを図示すると図-7が得られ、横軸は変位に比例する量であり、縦軸は検出信号 $F(x)$ に比例する量である。

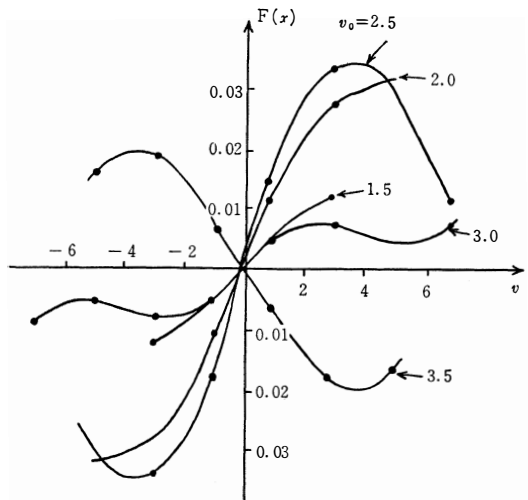


図-7

図-5, 7から分ることは検出信号の大きさを原点

附近に着目して見れば、原点において明るさが最大値を取る場合と最小値を取る場合があって、そのため検出信号の値は、変位の増加につれて増加する場合と、減少する場合が生ずる。これはスリット幅と2個のフォトランジスタより成る検出部の位置的構造に関係していることによる。いいかえると、スリット幅 v_0 のいろいろの値に対して、 $F(x)$ は原点付近で増加関数の性質をもつ場合が起こったり、減少関数の性質をもつ場合が起こったりする事を示すものである。さらにいいかえれば、スリット幅とフォトランジスタ間隔の関係はその組合せの条件によって、 $F(x)$ は特徴の全く異った特性をもち得ることを示している。

この性質はこのような検出部を有するサーボ系の運動に重要な特徴をあたえる点で注目しなければならぬわけである。

4. む す び

検出信号特性を求めるために行なったこれ等の解析結果は定性的に非常に実験によくあてはまるばかりでなく、このような検出部をもつサーボ装置の運動の解析を位相平面上で行なわせると、解析結果は定性的に良く実験⁽⁵⁾結果と一致することがわかった。

このような検出部の問題はサーボ装置設計上重要な役割を果すように思われるので、特に検出部の特性に検討を加えたわけである。

参 考 文 献

- (1) 筆者 第11回応用物理学会連合講演会講演予稿集 1 1964
- (2) 岩波講座, 物理と化学, 波動光学
- (3) 富山大学計算センターにて
- (4) (2)と同じ, 理化学辞典
- (5) 筆者, 第8回自動制御連合講演会予稿集 1965. 11

(昭和40.10.30受付)