光電的方法による微小間隙のデジタル測定*

新井 智一** 飯尾 元秀***

Digital Measurement of Small Gap Length by Photo-electric Method

Tomokazu ARAI, Motohide IIO

This paper describes an easy method and an instrument developed for a digital measurement of small gap length. The instrument consists of the optical system with a photo-electric transducer and the electronic circuit.

In the measuring system, small gap length is detected as transverse time of light spot on the gap, and the time is measured by counting the corresponding number of pulses from the reference clock oscillator.

It is examined experimentally that the relations between count error and frequency of the reference clock oscillator, the error due to misalignment of gap elements.

From the result of the experiment, it is said that this non-contact method enables the measurement of small gap length without any fixed datum, and that the measuring range of small gap length by the instrument is from about 0~1.2 mm, with error of 0.3%.

1. 緒 言

微小間隙をアナログ測定することは、長さ測定の基本として古くから行なわれており、その測定技術も確立している。それらのうち工場などにおいて簡便に測定するとなれば、すきまゲージ (JIS B 7524) を用いることによって、最小 0.01 mm の変化まで測定することができる。問題は人間の手を借りないでいかに省力化し、能率的に行なえるようにするかであろう。長さや微小変位を非接触で測定する方法¹⁾は種々あるが、微小間隙となるいろいろな制約を伴い、測定方法は限定されてしまう。筆者らの調べた範囲では、B.T. Mahurin ら²⁾が報告しているギャップ測定装置のみである。この方法はギャップの直角方向から空気を噴出させ、その流量をサーミスタの抵抗変化によって検出して、アナログ測定したものである。間隙測定ではないが、K. Oehlke が白熱している物体の寸法を非接触で測定した、ガラス繊維束を利用した方法³⁾も応用できるが装置が複雑になる。そこで筆者らは簡易な方法ではあるが精度の良い光電的な方法を試み、ほぼ目的を達成したので、ここに報告する。

2. 測定原理および試作装置

2.1 測定対象

測定対象にした微小間隙は、図1に示すような自動車

用点火装置に使われている点火プラグの電極間隙である。したがって電極間隙が適正でないと、所定の高電圧以下で火花放電が発生したり、あるいは火花放電が発生しなかったりするためエンジンが正常に働かなくなる。

このようなことを避けるためには、生産工程中で全数検査を行なわなければならないが、適当な測定装置がないため、抜き取り検査によって管理が行なわれている現状である。点火プラグは構造上より明らかなように、両電極面とも基準面として使えないこと、電極間隙を非接触で自動計測したいことなどが問題点であった。

2.2 測定原理

図1 点火プラグ断面図

図2 測定原理

*原稿受付 昭和47年2月25日。昭和46年度精機学会秋季大会学術講演会(昭和46年11月7日)にて発表。

**正会員 静岡大学工学部(浜松市城北3-5-1)

***静岡大学工学部

図2に示すように中心電極と接地電極との間隙 $g(\text{mm})$ を一定の明るさをもった直径 $d(\text{mm})$ の光束を一定速度 $v(\text{mm/sec})$ で移動させ、微小間隙を通過するに要した時間を $t(\text{sec})$ とすれば

$$t = \frac{g+d}{v} \quad (1)$$

である。したがって、 d および v を一定にすれば t は g に比例する。この通過時間 t をデジタル測定した。そのため光の電気信号への変換にはp-n接合光電池を用いた。

2.3 試作装置

装置の光学系を図3に示す。光源からの光線はレンズ1, スリットおよびレンズ2によって平行光線にされ、

図3 装置の光学系

被測定間隙を通過した光のみがレンズ3および掃引円板の穴を通過して光電池に照射される。この光学系による被測定間隙長の拡大率は13.85倍である。また掃引円板は直径21cmの黄銅製円板で、中心から10cmの距離に6mmφの穴がけられており、同期モータによって一定速度で回転するようにした。光源としてはタングステン電球を用いたので、光電池はシャープ(株)製のSPD-541を使った。この受光面積は20mm×10mmであり、上記のような使い方の場合、応答速度の遅れは問題にならない。また光電池を用いた第二の理由としては、点火プラグをセットした場合、間隙の位置のずれが予想されるが、これに対して比較的広い受光面積をもっているので十分対応できると判断したからである。

2.2で述べたように光電池受光面への光束の照射量は被測定間隙長に比例して変化するとともに、照射周期は掃引円板の回転数と穴の数によってきまる。試作装置での掃引円板の回転数は120(rpm)である。共電池出力は図4のブロック線図で示すような回路によってデジタル測定した。すなわち、矩形波状の光電池出力電圧(a)は増幅回路によって増幅され(b)、整形回路によって振幅2~3(V)の矩形波(c)としてゲート回路に入れる。また一方基準周波発振器からの負の半波電圧(d)もゲート回路に入れられるから、整形回路の矩形波電圧の幅に相当するゲート時間だけ、基準周波発振器の半波電圧は計数される。図5に試作装置の外観を示した。

2.4 装置の特性と検討

図4 検出部ブロック線図および波形

図 5 試作装置の外観

円板回転数: 120 rpm, 掃引穴径: 6 mm
光源・掃引モータ, 定電圧装置

図 6 基準周波数とカウンタの読みの偏差率との関係

図 7 光軸の傾きと出力との関係

光-電気量変換にあたって, 光電池は特殊な使い方をしたので, 以下に述べるように試作装置の特性を実験的に調べた。

間隙長を一定にして, 基準周波数 (kHz) とカウンタのばらつきとの関係を図 6 に示す。縦軸の偏差率は測定回数 50 回のときの標準偏差 / 平均カウント数 (%) である。この結果から明らかなように, 偏差率は基準周波数に無関係にほぼ一定である。したがって, 基準周波数の選定にあたっては, 偏差率は一定として任意に決めてよい。

図 7 は光軸と電極軸との角 ϕ が変化した場合, デジ

図 8 間隙の設定位置の相異による出力

タル出力にどれほどのカウント変動が生ずるかを調べた一例である。なおパラメータは間隙長 g をとった。図からわかるように, g には無関係に ϕ が $90^\circ \pm 3^\circ$ の範囲内であれば, カウント誤差はほとんど認められない。また図 8 は光電池の受光面における光の照射位置が移動した場合のデジタル出力を示したものである。間隙の初期設定位置の相異によって曲線は平行移動しているだけであるから, この程度の光の照射位置のずれがあっても出力は変化しない。

点火プラグの電極は投影機で拡大してみればわかるように, 平行していることはほとんど望めない。したがって, 一方の電極面に対して他方の電極が傾いている場合について, 傾き角 θ とデジタル出力との関係を調べたのが図 9 である。図のような設定状態は極端な場合であり, 電極の幅を b とすれば, 傾き角 θ によって実質的な間隙長増加分は $\Delta g = b/2 \cdot \tan \theta$ となるから, 光束の照射時間 t すなわちゲート時間も $\tan \theta$ に比例して増加し, カウント数の増加を伴うことになる。実験結果もこの関係を満足している。以上のように傾き角の影響は大きいから, 理想的には光束を点にしぼって電極幅 b の全面を走査して, 最小間隙長を指示すべきであるが複雑になるので, そのような方法はとらず, 電極の中心付近における平均間隙長を検出するにとどめた。

光電池出力パルス波形は掃引円板の穴の形状による影響を受けるものと考え, 面積は一定で, 形状のみ円, 正方形, だ円について調べたが顕著な相異は認められな

図 9 電極の傾き角と出力との関係

図 10 デジタル出力におよぼす掃引穴直径の影響

った。したがって、穴の形状については製作の容易な円を採用した。また穴の大きさについては、図 10 の例に見られるように、直径が小さくなれば光量は少なくなるが、出力変化は照射時間差となる。いま掃引穴直径 d_1 のときの通過時間を t_1 , $d_1/2$ のときの時間を t_2 とすれば

$$\Delta t \equiv t_1 - t_2 = d_1/2v \quad (2)$$

となり、間隙長には無関係に一定となる。したがって、デジタル出力 - 間隙長曲線は下側に平行移動するだけであり、実験結果もこの傾向を示している。また出力の減少量は面積比ではきかないから、図にみられるように比較的少ない。穴の大きさとデジタル出力との関係は以上のものであるが、後述の測定例にあるように点火プラグの間隙長は 0.6~0.7 mm の範囲がおもであり、この部分で直接関係と大きなカウント出力が得られるようにするため穴径としては 6 mmφ を採用することにした。したがって、間隙長のさらに小さいものの測定にさいしては穴径を小にするか、光学系の倍率をあげることによって直線部分を広げることが可能である。

つぎに装置の安定性にふれておこう。初めのうちは同期モータと光電池とを同一ケースに密封していたら、時間の経過とともに出力が減少した。よく調べたところ、この原因はモータからの発熱によるため、スイッチを入れてから、平衡状態になるのに光電池が 11°C も温度上昇することがわかった。そのためモータを空冷するようにしたら、デジタル出力は安定になった。

試作装置の電源電圧の変動に対する影響は、光源がもっとも大きい交流電源として 100(V) を用いているが、±5(V) の変動に対して約 ±2(%) の出力変動をともなうから、安定化電源を併用することが望ましい。

図 11 は試作装置の校正曲線である。この間隙長は光学顕微鏡によって測定した。図中の写真は各間隙長における光電池出力波形を示したものであり、また点線から左側の $g < d$ の範囲においては、光の回折現象のためにパルスの立ち上りが悪く、直線性もよくない。

図 11 試作装置の校正曲線

図 12 点火プラグの出力と間隙長との関係

3. 測定例

手元にあった点火プラグ (B-6H) 9 個をそれぞれ石こう台にのせて、電極の間隙長とデジタル出力との関係を測定したのが図 12 である。この点火プラグの許容間隙長範囲は、図の点線内であるから、デジタル出力に換算すれば 2025~2225 カウントの範囲内であることが必要である。したがって、この例の場合は、No. 1, No. 4 および No. 8 は合格であるが、他はいずれも不合格である。なお横軸の点火プラグの間隙長は光学顕微

鏡で測定し、また最小間隙長をもって各試料の間隙長とした。

4. 結 論

本装置は以下に列挙するような特長をもっている。

- 1) 簡単な構成であるが、基準面が変動するような間隙測定を非接触で行なうことができる。
- 2) 被測定間隙と光軸との直角度は $90^\circ \pm 3^\circ$ までは、その影響をうけない。
- 3) 間隙長の測定範囲は掃引円板の穴径 $6\text{ mm}\phi$ の場合は $0 \sim 1.2\text{ mm}$ で、カウント誤差は平均 $\pm 0.3(\%)$ である。

以上は間隙長を測定した例であったが、図 9 のような特性から、微小角度などの測定も可能である。

最後に研究の機会を与えられた日本特殊陶業 K. K. に感謝する。

参 考 文 献

- 1) たとえば宮崎孔友：無接触精密測定法，マシニスト，10～12 (1969) 73, 45, 42.
- 2) B.T. Mahurin & A.T. Wright: Gap measurement device, IBM Tech. Disclosure Bull., 10, 8 (1968) 1201.
- 3) K. Oehlke: Berührungslose Profilmessung von glühenden Material, ETZ-B, 17, 22 (1965) 745.