

# 光電的方法による微小長のデジタル測定に関する一考察

大 島 貴 充

## A Consideration on the Digital Measurement of Small Length by Photo-electric Method.

Takamistu OSHIMA

### 諸 言

自動化の発展にともなう、ライン上の製品の寸法を、ラインをとめることなく、自動的に精度良く測定する技術的方法が、今後、ますます要求されてくる。過去、幾多の方法が試みられたが、微小寸法の測定になると疑問なものが多い。本報は、ベルトコンベアにより送られてくる製品の寸法を、精度よく検出するために、従来から使用されている光電素子を用いる方法に、改良を加えることを目的としたものである。

しかしながら、実用面から考えて、特殊なベルトコンベアや測定箇所を設計製作することは、用途が特殊になるので望ましくない。従って、一般に搬送用として利用度が高いことと、製品とベルト間の密着性を考慮して、ゴムベルトコンベアの市販品を用いた。

図1に示すような装置をつくり、どの測定箇所が微小測定に一番適するかを調べ、そこにおける測定結果より、装置をどのように設計すればよいかを求めた。

### 実験装置及び測定方法

実験装置全体の略図を図1に示す。測定箇所はⅠ・Ⅱ・Ⅲの3ブロックである。このうち、Ⅱ・Ⅲのブロックは、現在一番多く測定に使用されている箇所である。

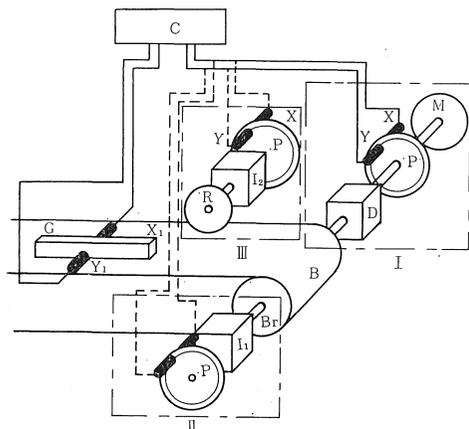


図1 実験装置

B : ベルトコンベア

B<sub>r</sub> : ベルトコンベア駆動軸

M : モータ

G : 被測長物

P : パルス発生装置 (ロータリーエンコーダと呼ぶ)

D : 減速装置 (減速比1/20)

I<sub>1</sub>・I<sub>2</sub> : 増速設置 (増速比20/1)

R : 検出用密着ローラ

X : 受光器 (フォトダイオード)

Y : 投光器

X<sub>1</sub> : 被測長物端面検出用受光器 (フォトダイオード)

Y<sub>1</sub> : 被測長物端面検出用投光器 (絞りレンズ付)

C : カウンタ

Ⅰ : 測定ブロックⅠ

Ⅱ : 測定ブロックⅡ

Ⅲ : 測定ブロックⅢ

ブロックⅠでは、モータ、ロータリーエンコーダ、減速装置、コンベア駆動軸の順に剛体結合されている。搬送用ベルトコンベアの速度はあまり早くないので、モータとコンベア駆動軸の間に、減速装置が入るのが普通である。ブロックⅡでは、ある回転数で回転するコンベア駆動軸、増速装置、ロータリーエンコーダが剛体結合されている。ブロックⅢでは、ある速度で移動しているベルト上より、検出ローラによって移動距離を検出する。ローラ、増速装置、ロータリーエンコーダは剛体結合である。ローラの直径は、ベルトとの間にスリップが生じないような大きさに設計してある。

ブロックⅠの装置を写真1に、ブロックⅢの装置を写真2に示す。

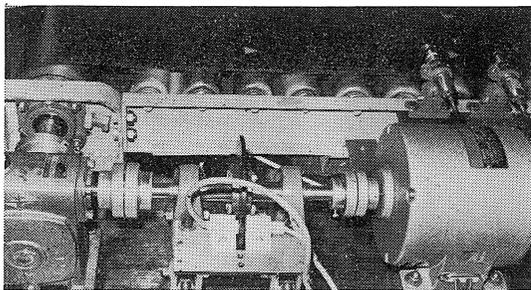


写真1 ブロック I

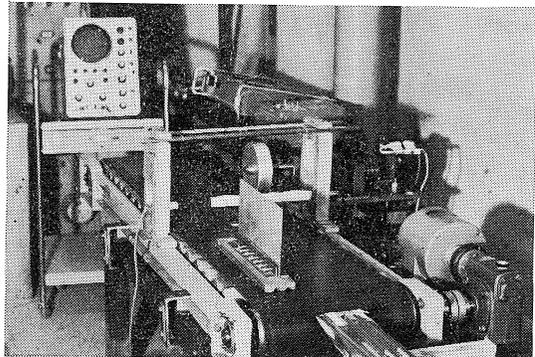
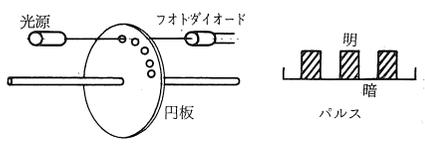


写真2 ブロック III

ロータリーエンコーダの原理図を第2図に示す。厚さ3mmの鋼製円板であり、円周上に、直径1mmの穴が2mm間隔で180箇あけてある。光源からの光は、1mmφの穴によって等間隔に遮蔽され、図のような光量のパルスが発生



第2図 ロータリーエンコーダ

する。長さを測定する場合、単位長あたりのパルス発生が多いほど、微小長の測定ができることになる。従っ

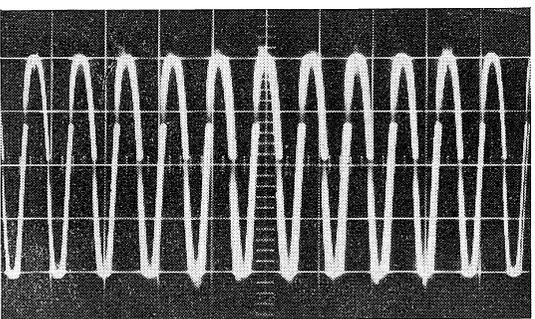


写真3 発生パルス  
 縦軸1目盛：500mv  
 横軸1目盛：0.1sec  
 製品速度：34cm/sec

て穴数は多いほどよく、製品の移動速度とロータリーエンコーダの回転速度の差が大きいほどよい。回転数を高くすると、穴を通過する光量が少なくなり、パルスの振幅が小さくなるから、光源の光量を大きくする。フォトアンプで増幅されたパルス信号を、写真3、写真4に示す、非常に正確なパルスが、発生していることがわかる。

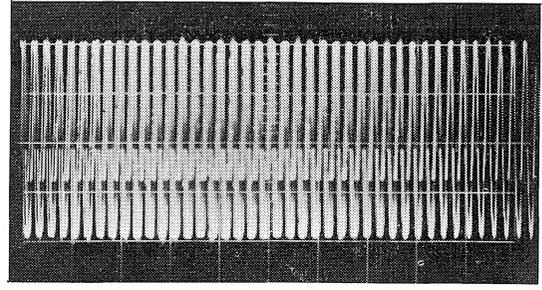
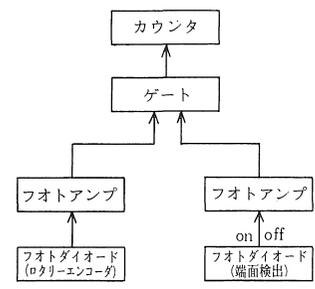


写真4 発生パルス  
 縦軸1目盛：500mv  
 横軸1目盛：0.1sec  
 製品速度：64cm/sec

測長原理のブロック図を、第3図に示す。



ベルトコンベア上の製品の端面が、端面検出用受光器  $x_1$  によって認知されると、onの信号がゲートを開き、ロータリーエンコーダからのパルス信号はゲートを通して、カウンタでカウントされる。製品の他端面が、受光器によって認知されると、offの信号がゲートを閉じカウントは終る。製品とベルト間のすべり、ロータリーエンコーダからベルトまでの機構のすべりやがたがなく、製品の中心軸が、光束  $Y_1-X_1$  に直角になるならば、軸方向の長さは正確に測定される。

測定可能な最小寸法

装置における製品の長さとの関係は次式で表わされる。

$$h_n \times P_n \times K = \pi \times r \times B_{r-n} - C$$

但し、

$h_n$  : ロータリーエンコーダの穴の数  $h_n = 180$

$P_n$  : ロータリーエンコーダの回転数 (rpm)

$K$  : 1パルスに対する被測長物の長さ (mm)

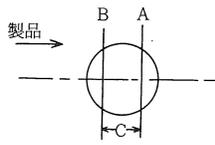
$r$  : (ベルトコンベアのローラの直径)  
+ (ベルトの厚みの2倍)(mm)  $r=121.0mm$

$C$  : 光束による補正項 (mm)

$B_{rn}$  : コンベア駆動軸の回転数 (rpm)

$$K = \pi \cdot r \cdot \left( \frac{1}{h_n} \right) \cdot \left( \frac{B_{rn}}{P_n} \right) - \frac{C}{h_n \cdot P_n} \dots\dots(1)$$

補正項Cは、端面検出器の on, off の信号が、製品の実際の端面を表わさないところから生ずる。第4図において、左方より移動してきた製品の端面は、Aで認知(暗電流がゲートを開く電流値になる)され、カウントが開始されるが、製品の他端面はBの位置で認知(暗電流がゲートを閉じる電流値となる)されるので、Cの長さだけ製品は短く測定される。補正項Cは



第4図 光束不感帯

被測長物の測定値の最小位が 1mm以上の大きさのときには問題にならない。しかし、1mm以下の寸法を要求するときには、補正項Cを正確に求めなければならない。Cはゲートを開閉する電流値(電圧値)がわかれば、簡単に求められる、この装置においては、 $C=0.46mm$ である。従って、測長された製品の長さLは

$$L = KN - 0.1055N - 0.46 \text{ (mm)}$$

但し、N: カウント数

となる。

また、この装置のデジタルエラーは、上式より、最大 0.1065 となる。

従って、装置が完全であれば、理論上、 $1/6mm$ の誤差内で測定ができる。

実験結果

表Iに、試片長 99.00mmのものを、ブロックI、ブロックII、ブロックIIIで測定した結果をのせる。

表より、測定誤差範囲は、ブロックIでは7パルス、ブロックIIでは9パルスであるが、内容的にはほとんど差がないといえる。ブロックIIIでは14パルスとなり、前者にくらべて測定値のらばつきが大きい。第II表に、各々の試片にたいする測定結果の誤差範囲を示す。移動速度32cm/secで30回試行した結果を表にしたものである。第1表、第2表より、ブロックIIIは他の測定ブロックにくらべ、測定精度があきらかにわるくなる。この装置では、ベルトの上より回転ローラで検出したので、ベルトの弾性の影響をうけ、ローラの接触圧が変動したことはたしかである。従って回転速度の変動が、増速機の歯車機構のバックラッシュの影響をより以上に大きくしていることも事実である。スチールベルトにして、検出ローラの下弾性変形を極力押え、バックラッシュの小さい

回数	ブロックI			ブロックII			ブロックIII		
	パルス	測定値 (mm)	誤差 (mm)	パルス	測定値 (mm)	誤差 (mm)	パルス	測定値 (mm)	誤差 (mm)
1	944	99.13	+0.13	943	99.02	+0.02	937	98.39	-0.61
2	945	99.23	+0.23	940	98.72	-0.28	943	99.02	+0.02
3	947	99.44	+0.44	945	99.23	+0.23	935	98.18	-0.82
4	943	99.02	+0.02	944	99.13	+0.13	941	98.82	-0.18
5	944	99.13	+0.13	941	98.82	-0.18	940	98.72	-0.28
6	945	99.23	+0.23	948	99.54	+0.54	936	98.28	-0.72
7	944	99.13	+0.13	945	99.23	+0.23	935	98.18	-0.82
8	941	98.82	-0.18	943	99.02	+0.02	930	97.66	-1.34
9	945	99.23	+0.23	944	99.13	+0.13	930	97.66	-1.34
10	947	99.44	+0.44	947	99.44	+0.44	938	98.49	-0.51

第I表 被測長物L=99.00mmの測定結果 被測長物移動速度 33cm/sec

試片長 mm	20.00	30.00	99.00	150.40	200.02	298.20
ブロックI	6	7	8	7	8	6
ブロックII	6	7	7	6	8	8
ブロックIII	16	16	14	34	20	17

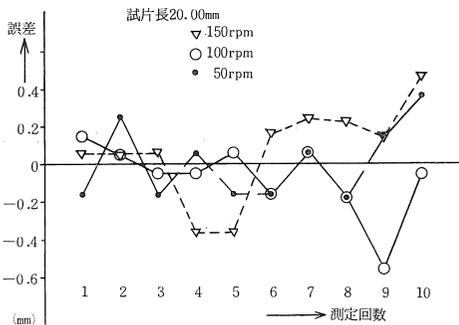
第2表、各々の評片の測定誤差範囲 被測長物移動速度 32cm/sec

増速機を使用しても、検出ローラとベルトの間のすべりの問題がのこる。ローラの下弾性変形を抑えれば、それだけすべりやすくなるといえる。すべりをなくするため、1種のラックとピニオンのような装置も存在するが、バックラッシュの問題が生ずる。従って、ブロックⅢは、微小寸法の測定にはあまり適さない測定箇所である。ブロックⅠとブロックⅡは、表より測定精度の面ではほとんどかわらない。ただ、精度のよい、増速比の大きい増速機が得がたいため、ブロックⅠにおける測定のほうが、微小寸法の測定においては、はるかに実用的である。

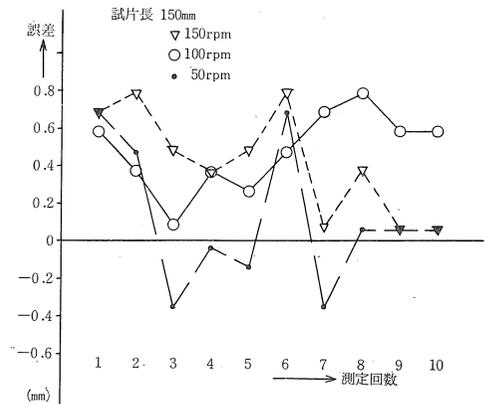
微小寸法の測定を(1)式にもどって考えてみると、 $K$ を小さくすればよい。つまり、 $r$ を小さくし、 $h_n$ と $(B_{rn}/P_n)$ の比を大きくすればよい。 $r$ は、コンベアの強度の面からあまり小さくできない。 $h_n$ は、回転円板の径を大きくすれば多くできるが、ロータリーエンコーダが大きくなる。穴径、スリット幅なども工作上的制限を受ける。従って、直径150mmくらいの円板で400~500パルスくらいである。 $(B_{rn}/P_n)$ は、ロータリーエンコーダの回転数とベルトコンベア駆動軸の回転数の比であるので、ブロックⅠの減速装置の減速比である。減速比の大きい減速機は簡単に入手できるので、 $K$ を小さくするには、減速比を大きくするのがいちばん手軽な手段である。従って、微小寸法の測定には、ブロックⅠが1番よいといえる。また、 $K$ をどんどん小さくしていった場合、測長物の長さは、カウンターの能力によってきまるから、コンベアの上を流れる製品の大きさには、一定の上限がつくことになる。

第5~7図は、ブロックⅠでの測定結果で、測定誤差におよぼす速度の影響を調べたものである。

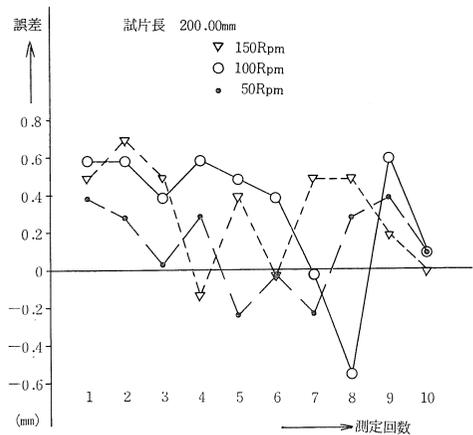
試片長20mm, 150mm, 200mmを用い、移動速度を32cm/sec (50rpm), 64cm/sec (100rpm), 96cm/sec (150



第5図、測定誤差と速度との関係



第6図、測定誤差と速度との関係

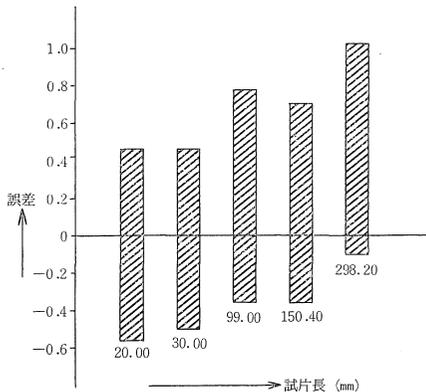


第7図、測定誤差と速度との関係

rpm)にかえて、各々、10回測定した結果である。第6図、第7図より、移動速度、32cm/secのときが、1番安定していることがわかる。従って、移動速度はゆっくりの方がよいことになるが、ベルトコンベアのローラ径やピッチに工夫をこらせば、突発的な測定値のばらつきをふせぐことができるから、32cm/sec~96cm/secの間は、速度の影響はわずかであるといえる。第6図の試片長150mmのとき、パルスのばらけかたの激しいのは、ベルトコンベアのローラ径が100mmで、ピッチが100mmであるので、試片が1個のローラにのるときと、2個のローラにのるときとの2つの状態が生じ、移動速度にむらを生じた結果と考えられる。150mmの試片についてのみ生じる特異現象であるので、ローラ径に注意をしなければならない。

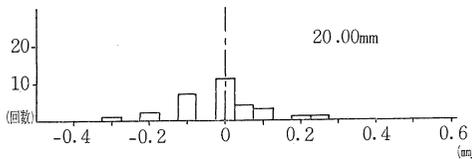
しかし、第8図より、全体の誤差範囲は他の試片とくらべて全く増加していないことがわかる。このことは、一定の誤差範囲内で、測定値が正規分布状ではなく、均

一に分布することを示す。

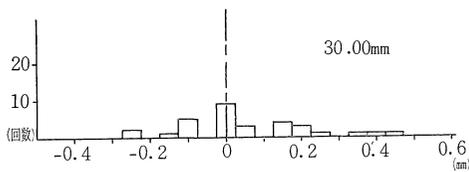


第8図, 測定誤差範囲32cm/sec~96cm/sec

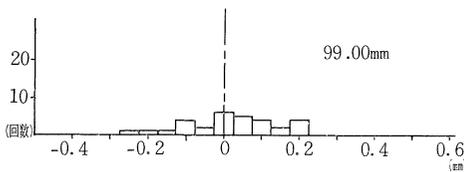
第9~14図は、30回の測定によって出現した測定値の頻度を縦軸にとり、横軸には、測定寸法を0.05mmづつまとめたものである。第9~11図は、ほぼ正規分布し、ピーク値が中央にある。試片長は20.00mm、30.00mm、99.00mmであるので、コンベアのローラのピッチよりもいずれも小さいものである。



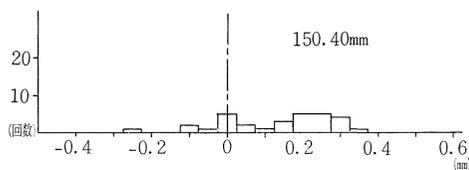
第9図, 測定頻度



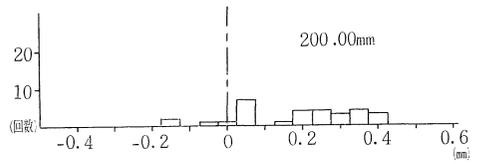
第10図, 測定頻度



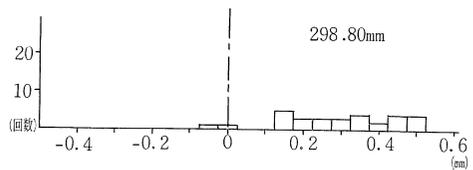
第11図, 測定頻度



第12図, 測定頻度



第13図, 測定頻度



第14図, 測定頻度

第12~14図は、試片長150.00mm、200.00mm、298.80mmのもので、いずれもローラのピッチよりも長いものである。測定値は、一定の誤差範囲内に均等に分布し、誤差範囲全体がプラス側に移動している。このことは、ローラの上を移動していく試片が、前回とまったく同じ状態を再現することは考えられないので、試片が長くなるほど、分布は均等化していくことを示している。誤差範囲のプラス側移動量をみると、試片の長いものほど大きくなっている。コンベア駆動軸とベルトの間のすべりも考えられるが、もしすべりとするならば、突発的に精度のわるい測定値がでて、第8図の誤差範囲が、試片が長くなるほど大きくひろがるはずである。従って、この原因はすべりではなく、理論式の係数によるものである。

$$L = KN = 0.1055N - 0.46$$

N: カウント数

において、定数の0.1055は少数第5位を四捨五入した数字である。従って、試片が長くなれば、数字のかくれた部分の影響がでてくることになる。装置を設計するにあたって、この係数を割り切れるきれいな数字にしても、できあがった装置では、しばしば設計どりの係数にならない場合が多い。従って、理論上計算される単位パルスあたりの長さには、各々の装置における特質を表す補正項δを考えに入れて、

$$K' = \pi \cdot (\delta \cdot r) \cdot \frac{1}{h_n} \cdot \left( \frac{B_{rn}}{P_n} \right) - \frac{C}{h_n \cdot p_n}$$

と補正して使用する。

実測値と理論値の差よりδをきめる。試片の長さLは次式によって求める。

$$L = K'N$$

N: カウント数

さて、Kを小さくする場合の補正項Cの影響を調べてみる。この装置ではKは

$$K = 0.1055 - 0.46/h_n \cdot p_n$$

である。従って、1パルスだけかぞえたとする

$$K=0.1055-0.46$$

となり、補正項Cの値が精度を支配してくる。端面検出装置が $1/10\text{mm}$ 以下の移動を検出するならば、被測長物は $1/10$ 以下の誤差で計測される。従って、端面検出装置の性能が微小寸法の測定を決定的に支配する。

### 結 言

1. 端面検出装置に、移動距離に対する分解能のよいものを使用する。  
被測長物は、検出装置の分解能まで、正確に測長される。
2. 微小寸法を測定する場合の、パルス発生装置は、モータと減速機の間に入れるのが望ましい。
3. 設計にあたり、要求される最小検出寸法は次式で求める。

$$K=\pi \cdot r \cdot \frac{1}{h_n} \cdot \left(\frac{B_{rn}}{p_n}\right) - \frac{C}{h_n \cdot p_n}$$

4. 微小寸法の測定においては、被測長物の移動速度を、1定範囲におさえる。
5. 微小寸法の測定においては、ベルトの下のローラの影響が無視できない。
6. 被測長物の長さは次式で求める。

$$L=K'N$$

$$K'=\pi \cdot (\delta \cdot r) \cdot \frac{1}{h_n} \cdot \left(\frac{B_{rn}}{p_n}\right) - \frac{C}{h_n \cdot p_n}$$

以上のことを考慮して、装置を設計すれば、1般の搬送用のコンベアラインにおいて、 $1/10\text{mm}$ のオーダーの正確な測定は可能である。