

# 絶縁皮膜に存在する開孔の検出器能力に対する一考察

金子富士男\*, 長坂秀雄\*

(1972年9月9日受理)

## Study on Ability of Many Holiday Detectors

Fujio KANEKO and Hideo NAGASAKA

**Abstract:** — Many holiday detectors (namely, DC type, AC type, Pulse type) were used for confirmation of pin-holes in thin insulating films. But in these detectors, floating of source voltage, discharge characteristic, out-put wave, internal resistance etc were not compared. We calculated these factors and had next opinions.

- 1) We saw large difference between observed value and value of meters of source voltage. So, the best measuring method of this voltage is must decided
- 2) Ability of detectors is increase as rise of out-put voltage, slow moving of probe, and low resistance of pin-holes. The neon tube is more sensitive than bell alarm or lamp as detecting method, but this shows error at higher voltage.
- 3) Definition of pin-hole is not yet decided, but this is very important item.

### 1. ま え が き

絶縁皮膜, 特にプラスチックフィルムは次第に薄膜で用いられるようになり, そのフィルムの開孔の有無の検出が重要なものとなってきた。金属板にプラスチックコーティングを施したとき, その形成皮膜に開孔ができたり, 割れ, キズ, 異物混入(特に金属片)や気泡形成があるとコーティング皮膜の性能を著るしく低下させる。こうした欠陥は一般にホリデー (holiday) と呼ばれ, 開孔をピンホール (pinhole) と呼ぶ。

これらを検出する機器はピンホールテスター, またはホリデーデテクターと呼ばれるもので, いずれも電気を利用したものである。本報はこれらデテクター (detector) の電気的特性を測定したものである。現在この種の検出器の名称は統一されておらず, テスター, デテクターの両方が使われている。しかし, 本報では以後デテクターと呼ぶことにする。

\* 茨城大学工学部電気工学科

### 1-1 デテクターの種類

現在プラスチック関係に使用されているものは湿式と乾式の2つに大別できる。

#### a) 湿式デテクター

電気抵抗を利用したもので、フェルト電極に水、またはアルコールを吸わせ、これで塗膜上を走査し、抵抗の変化により欠陥を見つけようとするもので、電圧は300V以下と低く、耐電圧の低い膜や、非常に薄い塗膜に対して使われる。

#### b) 乾式デテクター

高電圧による放電を利用したもので、基板を対極として、電極に高電圧をかけ、塗膜上を走査し、欠陥を通しての放電により、それを見つけようとするものである。

出力電圧により、1) 直流式 2) パルス直流式 3) パルス交流式 4) テスラコイル式がある。

### 1-2 デテクターに要求される機能

a) 湿式デテクターは出力電圧が低いので皮膜を破損させることはないが、内部抵抗は比較的高いものである。また、電極にしみこませた液体が十分にピンホール中に浸入していくことも大きな要因となる。

b) 乾式デテクターは皮膜に高電圧をかけるが、皮膜を高電圧で破損させないことや、また放電による焼損をできるだけおさえなければならない。そのため、電圧は必要以上に高くせず、且放電電流を少なくしなければならない。その反面、より確実に欠陥を見つけ出すためには電圧を十分に高くしなければならない。また使用に当っては高電圧の印加された電極を手につくものであり、安全性からも内部抵抗が十分に高いことが望まれる。

### 1-3 デテクターの概要

湿式、乾式とも 1) 出力電圧調整部 2) 電極(プローブ) 3) ピンホール表示部 とから構成されている。

#### 1) 出力電圧調整部

湿式では直流への変換と電圧の調整、乾式では高電圧の発生とその調整、および直流、パルス直流、パルス交流の調整である。電源は交流100Vが普通であるが電池と切換式にしたものなどがある

#### 2) 電極(プローブ)

被検体上を走査するもので、検体により電極先の形状はブラシ状、ヘラ状、針状等の種類がある。またこれに高電圧を開閉するリモコンスイッチや、ピンホール表示器が付いているのが普通である。

#### 3) ピンホール表示器

ピンホールを検出したとき、(電気抵抗が、ある値より低くなったとき、または放電が飛んだとき)それを表示するものでプローブの中に直列にネオン管を入れたもの、リレーを使ってブザーやランプを動作させるもの、他にカウンターを付けたものがある。

## 2 実験

### 2-1 実験に用いたデテクターの種類

表1に実験に供したデテクターの種類とその仕様を示した。ピンホール表示法でネオン管とあるのは出力回路に直列にネオン管の入っているものであり、ランプとあるのは、リ

レーによって電球が点灯するようになっているものである。

表 1 デテクターの種類とその仕様

機種		A	B	C	D	E	F	G
仕様								
分類		湿式	乾式	乾式	乾式	乾式	乾式	乾式
方式		抵抗式	放電式	放電式	放電式	放電式	放電式	放電式
出力波形		直流	直流	直流	直流	直流	パルス直流	パルス交流
定格出力 電圧		240V	300V~ 3KV	300V~ 3KV	0~20KV	3.7.10KV	0~25KV	0~23KV
表示 ホール 法	プローブ	ネオン管	ネオン管	ネオン管	—	ネオン管 プザー	ランプ	ネオン管
	本体上	プザー	プザー ランプ	プザー ランプ カウンタ	プザー ランプ	—	—	ネオン管
電源		交流100V 乾電池 240V	交流 100V	交流 100V	交流 100V	交流 100V	交流 100V	交流 100V カドニカ 電池 14V

## 2-2 測定方法

機種により測定項目が異なるため表2に測定項目を機種別に○印で示した。

表 2 測定項目

機種	A	B	C	D	E	F	G
端子電圧	—	—	—	○	—	○	○
端子電圧と 放電距離	—	—	—	○	○	○	○
負荷抵抗と端子 電圧及び、 電流	○	○	○	○	○	○	○
短絡時電流	○	○	○	○	○	○	○
内部抵抗	○	○	○	○	○	○	○
検出表示器特 性	○	○	○	○	○	○	—
ピンホールの 検出能力	—	—	○	—	—	—	—
放電特性	—	—	—	○	—	—	○

### (1) 端子電圧

デテクターの出力電圧は付属メーターに標示されるが、高電圧を直接示したのではなく、昇圧トランスの1次側電圧、その他の方法で低電圧を測り、高電圧に換算したものである。よって付属メータに示された標示電圧と実際の出力電圧を測定して比較した。

デテクターの電源容量が小さくまた波形がパルス波であったりするため静電圧計で直接測ることはできず、15kV以下では高圧分圧器を用い、シンクロスコープで測定し、それ以上の高電圧部分は「アダプター」を間に入れ、静電圧計で測定した。高圧分圧器の性能を表3に「アダプター」の回路を図1に示した。

表 3 高圧分圧器の性能

入力インピーダンス	約200M $\Omega$ , 20PF以下
入出力比	約 400:1

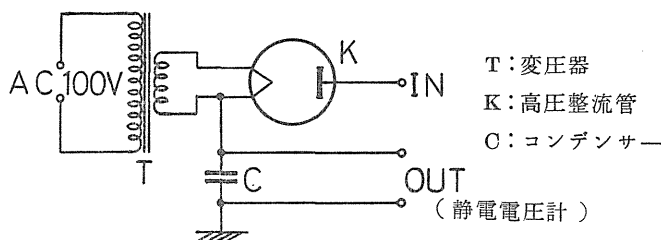


図 1 アダプターの回路

## (2) 端子電圧と放電距離

デテクターの内部抵抗はより高くなる傾向にあり、端子電圧の測定はより困難になる。更に標準電極を用いての放電を考えた場合、当然その特性は広く発表されている値と異なったものになることが予想される。むしろこれをデテクターの一つの特性として考えることができる。こうした点から端子電圧の測定も含め、付属メーターの標示電圧と放電距離を測定し発表されている値と比較した。

標準球電極(直径 20mm, 黄銅製の球状電極)の距離をはじめ「すきまゲージ」で一定に調整しておき、デテクターの出力電圧を零から徐々に昇げて行き、放電の発生する電圧を測定した。

## (3) 負荷抵抗と端子電圧および電流

湿式、乾式デテクターとも測定時に皮膜が破壊されるのを防いだり、測定者の安全保護のため内部抵抗(または、インピーダンス)が高くなっており、そのため出力回路に電流が流れた場合、電圧が降下してしまうようになっている。出力端子に負荷抵抗をつなぎ、電流を流したとき、その端子電圧との関係を測定した。

### (a) 湿式デテクターの場合

端子電圧の測定は真空管電圧計(入力抵抗 16M $\Omega$ )を用いた。電流は負荷抵抗と電圧計を並列にしたため、双方の合せたものを測り、負荷抵抗値は計算により補正を行った。

### (b) 直流放電式デテクターの場合

電流の測定は直接、電流計( $\mu A$ )により測り、端子電圧はオームの法測より求めた。

### (c) パルス放電式デテクターの場合

抵抗分圧法によりシンクロスコープで波高値を測定し、計算で電流、電圧を求めた。

## (4) 内部抵抗(またはインピーダンス)

電流の流れによる出力電圧の降下は内部抵抗を測っておくことにより知ることができる。また安全性、皮膜の保護の面からも知っておかなければならないものである。(3)の負荷抵抗と端子電圧、および電流の関係から電流と電圧の関係をグラフに描き、その傾きから求めた。

## (5) 短絡時電流

出力端子を短絡したとき流れる電流であるが、(3) の特性から放電式では負荷抵抗が $10^4 \Omega$  以下で電流値はほぼ一定値となる。実質的にこの一定になった電流値を短絡時電流とすることができる。直流式では電流計（内部抵抗，最大 $3k\Omega$ ）を直接つないで測定した。パルス式では適度な抵抗（ $20\sim 100\Omega$ ）をつなぎ、その電圧降下をシンクロスコープで測定した。

## (6) ピンホールの検出能力

実際に皮膜に存在するピンホールをどの程度確実に検出できるかを測定しようとしたものである。しかしピンホールの大きさ、形状は色々であり、どの大きさ、および形状から欠陥とするか等はまったくわかってないのが現状である。したがって直接ピンホールと関係づけて測定を行うことは不可能である。そこで次の2つの実験を行った。

## (a) 実験 1

出力端子に開閉スイッチと負荷抵抗を直列につなぎ一定間隔でスイッチを開閉したとき、負荷抵抗の値によりどの程度検出表示器（ブザー，ランプ）が確実に動作するかを求めた。

## 測定条件

使用機種：C（直流放電式）

スイッチング条件：250秒で70回開閉

スイッチ接続時間：0.33秒

## (b) 実験 2

測定装置の概略を図2に示す。

図2において、ポリプロピレンシート（A）に小さな穴を開けておき、回転板（B）に乗せる。電極（C，E）が穴の位置にくるように調整し、回転板（B）を一定速度で回転させ穴が電極間を通過するときデテクターの検出表示器が動作するか否かを測定した。電極間距離を一定として、印加電圧，回転速度を変えて測定した。

## 測定条件

使用機種：C（直流放電式）

電極：針対平板

電極距離：0.55mm

穴までの半径：180mm

測定時間：5分間

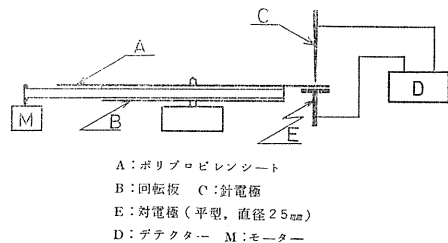


図2 ピンホール検出能力試験の装置

## (7) 検出表示器特性

ピンホールを検出したとき、それを表示するため、ブザーを鳴らしたり、赤ランプを点灯したりして警告する。このブザーの音量やランプの点灯時間を測定した。

## (a) ブザーの音量

ブザーより5m離れた地点で騒音計により測定した。

## (b) ランプ点灯時間（または、ブザーの鳴っている時間）

動作中ランプに印加される電圧をシンクロスコープに入れ測定した。

## (8) 放 特 電 性

図2の装置を用いて、電極に火花が飛んだとき、電圧の変動を抵抗分圧法により測定した。

## 2-3 測 定 結 果

## (1) 端 子 電 圧

結果を図3, 4に示した。図3の機種D(直流放電式)の場合は比較的電源容量が大きいこともあって、測定方法によらず標示電圧はよく一致した。図4は機種F(パルス直流放電式)の場合の結果であるが、測定方法により標示電圧と測定電圧にかなりの違いが認められ、分圧法では測定電圧が高く示され、他の方法は逆に低く示された。また、プローブに接続されたコードが長くなると著るしい電圧降下があることも認められた。

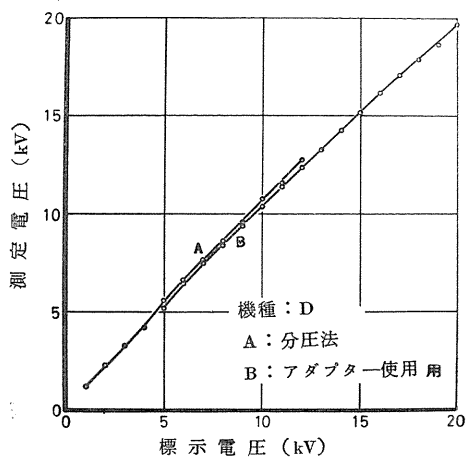


図3 直流放電式の場合の標示電圧と測定電圧の関係

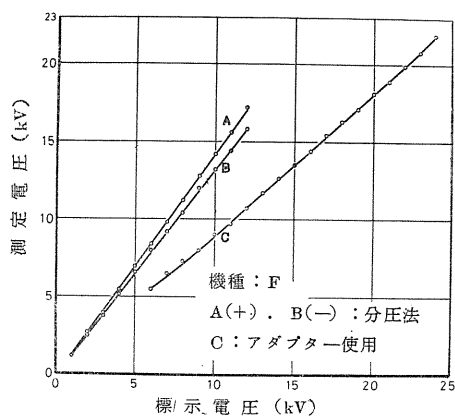


図4 パルス式の場合の標示電圧と測定電圧の関係

## (2) 端子電圧と放電距離

図5は機種D(直流放電式)の場合の結果を示したが発表されている表示値(破線)と測定値(実線)は比較的良好一致している。しかし、高電圧になると表示値と離れる傾向が認められた。またパルス放電式(機種F, G)の場合は2機種とも表示値と測定値の差はかなり大きかった。

## (3) 負荷抵抗と端子電圧, および電流

図6~8に各機種の測定結果を示した。いずれの機種も特性曲線はほぼ同じようなものとなった。また放電式デテクターは各機種とも負荷抵抗が $10^4\Omega$ で電流値はほぼ一定値となった。抵抗式(湿式デテクター, 図6)の場合の負荷抵抗対電圧の特性の傾きは他に比べ小さく、内部抵抗は放電式に比べ小さいことがわかる。

## (4) 内部抵抗(またはインピーダンス)

図9は直流放電式(機種D)の場合の電流と電圧の関係を示したが、特性は曲線となり、内部抵抗は一定値とならないで変化することを示した。また機種により夫々異った曲線を

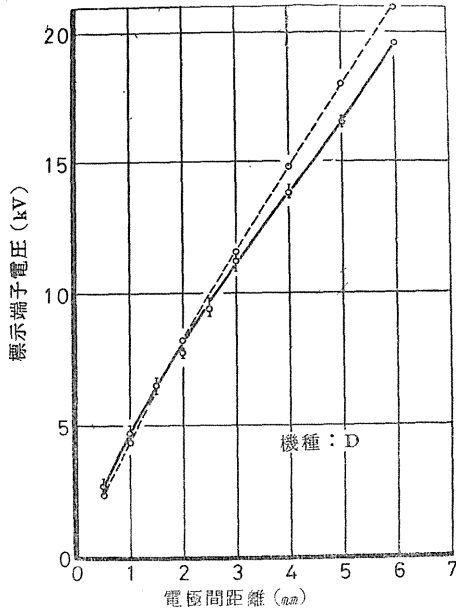


図5 直流放電式の場合の標示電圧と $E_{0.5}$ 放電距離

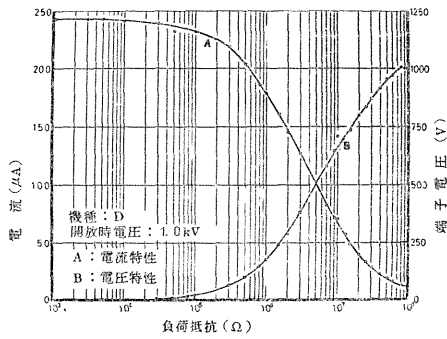


図7 直流放電式の場合の負荷抵抗と端子電圧と電流の関係

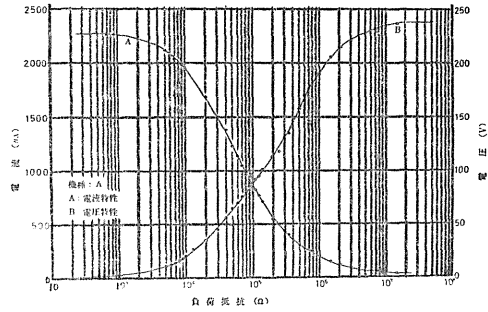


図6 抵抗式の場合の負荷抵抗と端子電圧と電流の関係

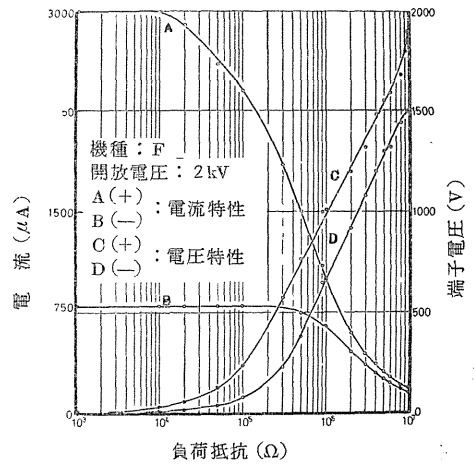


図8 パルス式の場合の負荷抵抗と端子電圧を電流の関係

示した。これらの関係から一定の電圧範囲内の電流変化を測って得た内部抵抗(またはインピーダンス)を機種別に表4に示した。

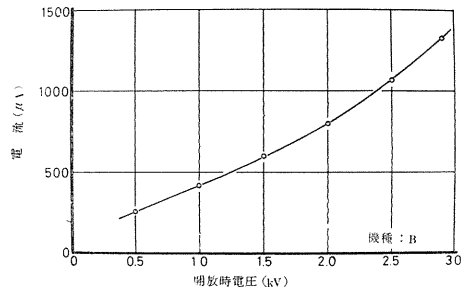


図9 直流放電式の場合の電流と電圧の関係

表4 機種別による内部抵抗

機種	A	B	C	D	E	F	G
単位	KΩ	MΩ	MΩ	MΩ	MΩ	MΩ	MΩ
内部抵抗	63 } 205	1.3 } 4.8	3.13 } 8.33	2.7 } 8.7	115.4	0.54 } 1.45	9.3 } 28

表4で内部抵抗は機種により、かなり異なっていることがわかる。また、機種Aは特に低い値であるが湿式デテクターであり、電圧自体も低いものである。機種Eは他に比べ特に大きな値を示した。

(5) 短絡時電流

図10に直流放電式(機種：B)の場合の開放時電圧と短絡時電流の関係特性を一例として示した。いずれの機種も電圧が高くなるほど電流も増す当然の結果となった。また表5に各機種の開放時電圧と短絡時電流の測定値を示したが、機種によってかなりの違いを示

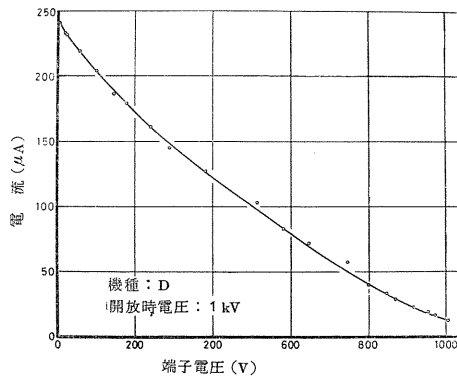


図10 直流放電式の場合の開放時電圧と短絡時電流の関係



した。また機種によっては最大出力時の短絡時電流は測定しなかったが表5の測定値より更に大きいと考えられる。

表5 開放時電圧と短絡時電流 (単位:  $\mu\text{A}$ )

機種 出力電圧 開放時電圧	A	B	C	D	E	F	G
	240 V	300V~ 3KV	300V~ 3KV	0~20KV	3.7.10KV	0~25KV	0~23KV
240 V	(1) 2270	—	—	—	—	—	—
1 KV	—	420.0	205.0	243.0	—	1250	—
2 //	—	800.0	380.0	521.0	—	2750	—
3 //	—	(2)1330.0	—	800.0	18.6	4380	—
4 //	—	—	—	1070.0	—	6000	700
5 //	—	—	—	1380.0	—	7750	800
6 //	—	—	—	—	—	9500	—
7 //	—	—	—	—	68.0	—	—
10 //	—	—	—	—	100.0	—	1000
15 //	—	—	—	—	—	—	1400
20 //	—	—	—	—	—	—	1800

(1) 電源 100V (2) 開放時電圧 2.9KV

### (6) ピンホールの検出能力

実験1の検出表示器(ブザー, ランプ)の動作能力を測定した結果を表6に示した。表では印加電圧(開放時電圧)と負荷抵抗値を変えたときの否検出数の割合を不良率として求め、また95%信頼限界を考慮した不良率範囲も合わせて示した。

表6 負荷抵抗による検出表示器の動作能力

電圧	負荷抵抗	検出数	否検出数	不良率	不良率の範囲
2KV	4 M $\Omega$	43	27	39%	29 ~ 50%
	3.75	43	27	39	29 ~ 50
	3.5	67	3	4.3	—
1.5	3.5	18	52	74	64 ~ 84
	3.0	36	34	50	37 ~ 61
	2.5	62	8	11	3.9 ~ 18.1
	2.25	69	1	1.4	—
1.0	2.15	51	19	27	18 ~ 36
	2.1	55	15	79	69 ~ 88
	2.0	62	8	11	3.9 ~ 19
	1.9	65	5	7	—
0.5	1.5	23	47	67	64 ~ 71
	1.3	46	24	34	23 ~ 45
	1.25	68	2	3	—

表7は実験2のピンホール発見に対するプローブの移動速度(この場合は図2の回転板Bの回転速度になる)、および印加電圧の影響の測定結果を示した。回転速度が遅い方、および電圧の高い方が検出力は良くなっている。

表7 ピンホールの検出能力

印加電圧 (KV)	1.7	1.5		1.4	
回転数 (RPM)	45	33 $\frac{1}{2}$	45	33 $\frac{1}{2}$	45
ピンホール通過数 (回)	230	170	230	230	230
検出数 (回)	229	161	99	43	8
否検出数 (回)	1	9	131	187	222
不良率 (%)	0.43	5.3	57	19	97

## (7) 検出表示器特性

表8に機種別に測定結果を示した。機種Eは特にブザーの音量が小さいため測定距離を10cmとした。

表8 検出表示器特性

機種	A	B	C	D	E	F	G
表示器	ブザー	ブザーランプ	ブザーランプ	ブザーランプ	ブザー	ランプ	—
動作時間 (秒)	0.63	0.1	0.1	0.1	—	1	—
ブザーの音量 (dB)	66	73~88	73~88	68	55	—	—

## (8) 放電特性

図11に直流放電式、およびパルス放電式の放電による電圧変動の測定結果を示した。図から電圧回復に直流放電式の場合は約0.05秒、パルス放電式の場合は1パルスで放電が飛び次のパルスで元の電圧に回復していることがわかる。(約0.07秒)

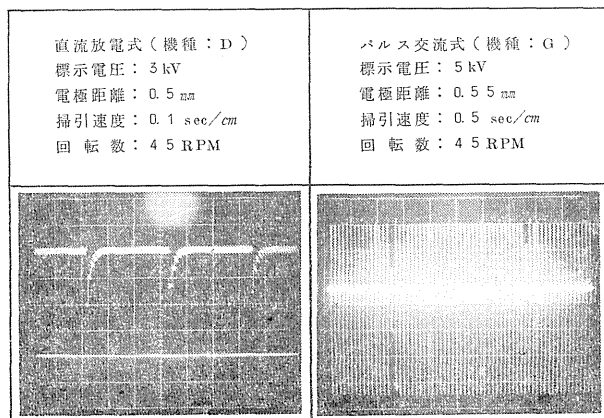


図11 放電による電圧変動

### 3 考 察

ピンホールデテクターは各種の面で多くの要求が出される。例えば1) 標示されている電圧は正確か, 2) 各種の条件で印加電圧は変化しないか, 3) 測定時に危険はないか, 4) 測定時に皮膜を破損しないか, 5) 存在するピンホールは完全に検出できるか等々である。この線にそって測定結果からデテクターの性能を考察してみる。

(a) メータに表わされる電圧は測定値と異なるのみならず, 測定法によっても大差を示すことがわかった。これは実際の測定にあたりプラスチック皮膜の電気特性や表面状態によっても変動することを示すものである。更にプローブに付属するリード線の影響も大きいことから電圧値に大きな疑問をいだく。

(b) 電極間距離により放電電圧が異なることは認められたが実際の測定では距離を 1~2 mm 以下におくので問題はすくないと言える。抵抗式デテクター(湿式デテクター)を用いた場合は負荷抵抗と電流との関係が相当にひびいているので誤差が入り易いので注意を要する。

(c) 内部抵抗が電圧により複雑な変動を示すのは誤差の入る要因を作るものである。一般に内部抵抗は大きく短絡時電流も小さく危険はすくないと思われるが, 中にこの電流の大きいものもあり注意を要する。

(d) 一般的に印加電圧の高いほど, プローブの走査速度のおそいほど, またピンホールの抵抗値の小さいほど検出能力は向上していることがわかったが, 特に後の二者の影響が大きい。

放電波形の影響も大きく, 直流式では放電後 0.05~0.1 秒たって元の電圧に回復するに對し, 240Hz のパルス式ではこれが 1/240秒で元に回復している。この値はプローブの移動速度を支配する。

検出表示器はブザーやランプのようなりレー使用のものに比べネオン管式は, はるかに感度はよいが出力電圧を高めていくと放電しなくとも点灯する欠点がある。また高電圧で測定するデテクターでは低電圧にしたときの検出感度が悪いのも欠点と言えよう。

(e) このような電気式デテクターではピンホールとは何かという問題がおきてくる。穴の径, 深さ, 形状のような外観的なものではなく, 電気特性により決定されてしまうおそれがある。例えば同一形状のピンホールであっても, プラスチックの物性やピンホール中の介在物の有無, 種類によって電気特性はかなり異なる。その場合, 抵抗値がどの程度のもを限界として検出するかも問題である。

表9は湿式デテクターの場合の検出表示器(ブザー, およびネオン管)が使用電源によ

表 9 検出表示器の動作する抵抗値, 電流値, および電圧値

表示器の種類	使用電源	負荷抵抗	電 流	電 圧
ブ ザ ー	AC 100V	100K $\Omega$	870 $\mu$ A	87V
	DC 240V	15K $\Omega$	1890 $\mu$ A	29V
表 示 燈 (ネオン管)	AC 100V	300K $\Omega$	440 $\mu$ A	130V
	DC 240V	130K $\Omega$	720 $\mu$ A	95V

AC : 交 流                      DC : 乾 電 池

り動作する抵抗値や電流を示したものであるが、これからもピンホールの定義を設定するのは困難である。化学的利用面からみたピンホールと電氣的測定によるピンホールとの相互関係を見いだすことが今後の課題のようである。

#### 4 ま と め

今回の実験はピンホールデテクターの電氣的諸特性を一応ピンホールという根本問題と切り離して測定したが、その特性は機種によってかなり異なっていることがわかった。特に出力電圧の測定が困難であることや、方法が統一されていないため機種の違いがあると予想される。そのため同じ試料を用いてピンホール試験を行った場合、互いに異った結果を出す恐れがあり、また、その大きな要因の一つと考えられる。更にピンホールの大きさや、電圧、走査速度とその検出能力の関係等の究明が必要と思われた。

この実験は樹脂ライニング工業会ピンホールテスト規格作成小委員会の協力を得て行ったものでデテクターを貸して頂いた、信光電気計装<sup>(株)</sup>、電測工業<sup>(株)</sup>、<sup>(株)</sup>新東洋機器、日本理学工業<sup>(株)</sup>および測定の進行にあたり御助力下さった、千代田化工建設<sup>(株)</sup>の青木茂氏に感謝致します。

#### 参 考 文 献

- (1) オーム社：新版電気計測便覧 329
- (2) S. M. Davidson：J. AWWA Vol 48 No 2 (1956) 121