

固体内ボイド放電と絶縁破壊との関係

The Breakdown of Dielectrics Resulting from Internal Discharge

依 田 文 吉*

Bunkichi Yoda

内 容 梗 概

電力ケーブルや電気機器巻線類の絶縁劣化の宿命的内因には通電電流による温度上昇と強電界で発生するコロナの二つが考えられる。前者は、熱劣化現象として、化学的に考察され、かなり明らかにされてきたが、後者の問題は、非常に複雑な要因をもっており、各所の研究がいとぐちについた段階である。

本論文はこの固体絶縁物の耐コロナ性を究明する一助として、ボイド放電の様相を放電図形で観察し、ついで固体の絶縁破壊への進展過程を考察した。

実験結果はきわめて暗示的であり、導体しゃへいに新しい意義が見出され、絶縁破壊に対する正ストリーマの役割がかなり明白になった。

また、固体絶縁物内の小さなボイドは交流の短時間破壊になんらの悪影響も与えないことが分った。

最後に、固体の絶縁破壊は気体中で発生した荷電粒子だけでは生じにくく、固体構造内部で生じた荷電粒子および電極からの粒子の供給が必要であることを提言している。

1. 緒 言

電気工学で問題となる絶縁破壊は実験室で精製された純粋な物質のものとは異なる。後者の材料の特性は主として物理学者の関心をひくが、工学を専攻するものにとっては参考となる程度に過ぎない。

なぜならば、電気機器に用いられる絶縁体の電気破壊は長期課電による熱劣化、外部媒質内の放電、絶縁体内のボイド放電、不純物などに基くものが大部分だからである。その上、複雑な絶縁体と電極の組合せを考えれば、これを一義的に単結晶、単一パルスによる現象から推測することは到底不可能である。

したがって、実用上必要なものは絶縁材料の現象論的考察であり、その現象を説明し、絶縁耐力の向上を暗示する物理的考察でなければならない。

このような立場から、固体の絶縁破壊に対して行われた従来の考察を列記してみると次のとおりである。

まず、第一に絶縁体中を流れる電流で発生する熱と放散熱の不均衡に基く熱破壊がある⁽¹⁾。この特長は

(1) 破壊が生じるまでに少なくともミリ秒以上の時間を要し、一般にはさらに長時間を要するので衝撃波では観測できない。

(2) 絶縁強度は試料の大きさや形状、電極構成などに依存している。たとえば熱放散がきわめてよい場合には絶縁強度も大きい。

(3) 印加電圧の周波数が高いほど破壊しやすい。などである。

第二にこれと同様な破壊現象が直流や衝撃波でも観測されることがある⁽²⁾。

この場合は

(1) 絶縁強度が課電時間によって著しく異なり

* 日立電線株式会社電線工場

(2) 熱放散が悪いような配列では試料の大きさや電極形状に無関係である。

絶縁破壊に対する第三の形式は intrinsic なものである。これは A. Hippel 氏⁽³⁾、H. Fröhlich 氏⁽⁴⁾、F. Seitz 氏⁽⁵⁾などにより開発されたもので、一般に

(1) マイクロ秒あるいはそれ以下の短時間で生じる。

(2) 試料の大きさや形状、電極材料やその構成に依存しない。

(3) 測定温度における物質固有の定数と考えられる。

この破壊過程はさらに多くの人達によって詳細に研究されたが、前述のとおり、これが必ずしも完全に現実の電気機器の絶縁破壊を説明できない難点がある。

さらに、このほかにも電気化学的反応や機械的破壊、あるいは以上の過程の組合せなどが考えられるため固体の絶縁破壊理論はきわめて多彩である。

そして最近においては絶縁材料の熱劣化や耐コロナ性との関連において、実用絶縁体の電気破壊がすなおに考えられるようになってきた。

さて、この報告では以上の関連を側面からながめ、筆者が従来の説を疑問とし解明したい点について二、三の考察を行うことにする。すなわち、

(1) 絶縁体中のボイド放電と金属電極間の気体放電の差異

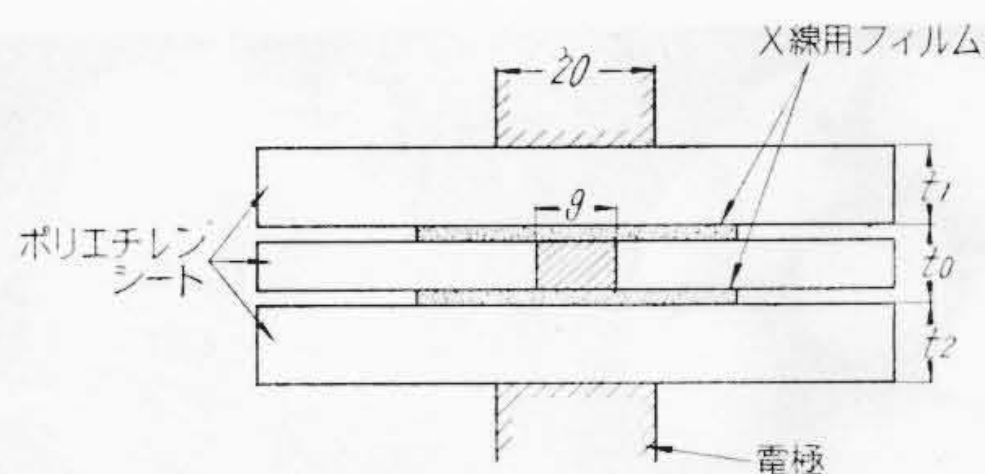
(2) 正ストリーマ破壊の確認

(3) 導体しゃへいの意義

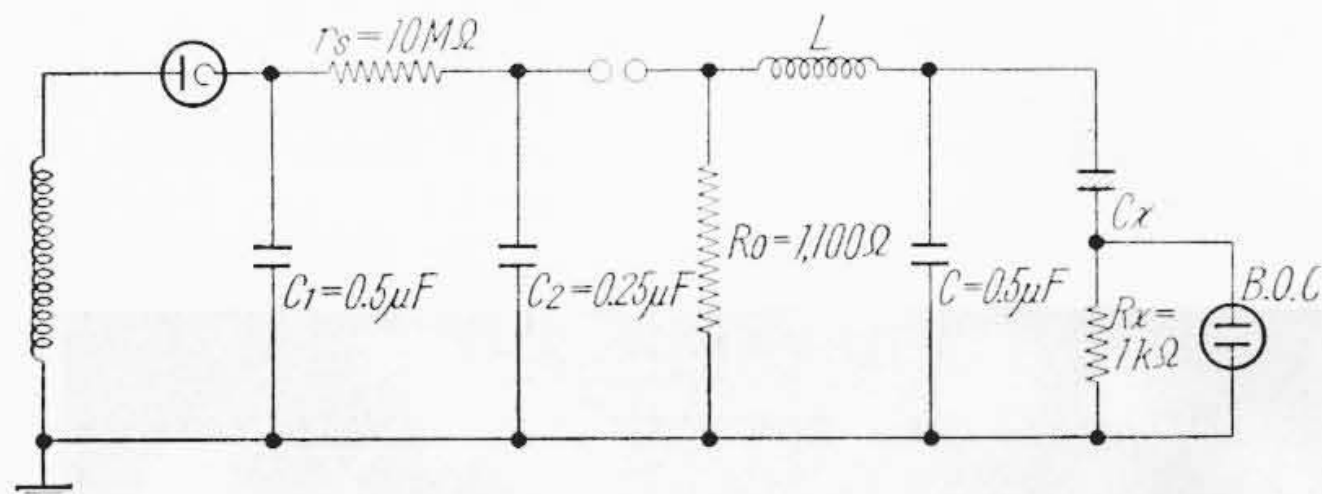
(4) ボイドの大きさおよび絶縁体厚と絶縁破壊電圧の関係

(5) 気体放電から固体の絶縁破壊への発展過程

などを研究する一助として、ボイド放電の様相を放電図形で観察し、ボイド放電から固体の絶縁破壊への機構



第1図 ボイド放電観測方法
(t_0 , t_1 , t_2 は可変)



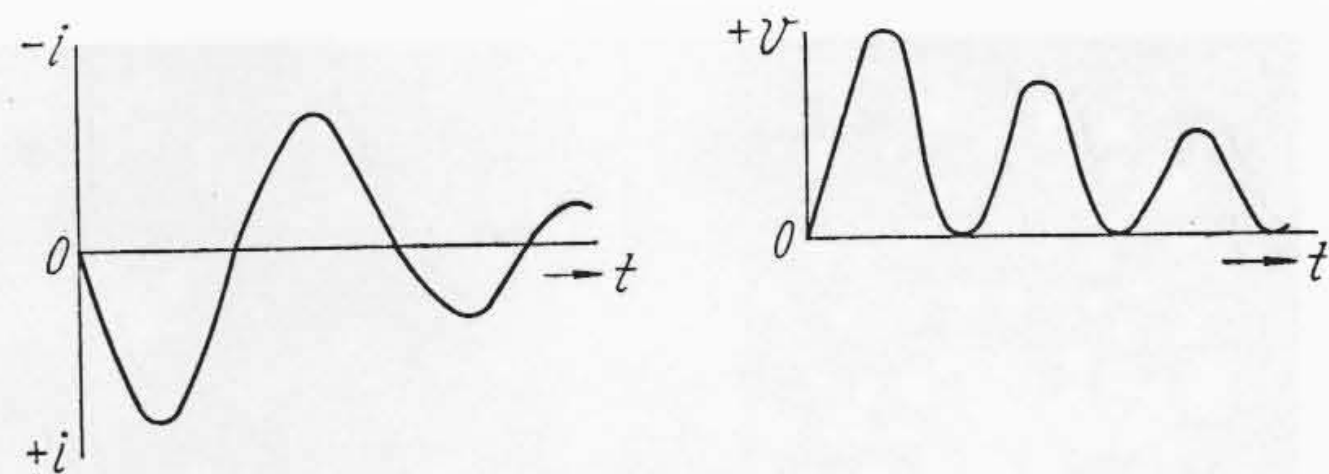
第2図 減衰振動電圧によるボイド放電観測回路
に関する筆者の意見を述べることにする。

2. 放電図形による観察

ここではボイド放電の様相を放電図形を撮影して観察する。実験方法は橋本氏が前に行ったとまったく同様である⁽⁶⁾ので、概略を示すことにする。ただし、実験試料は変化させ上述の目的にそうようにした。

2.1 実験試料

試料は第1図に示すように平板電極間にポリエチレ



(a) C_x の充電電流 (b) C_x の印加電流

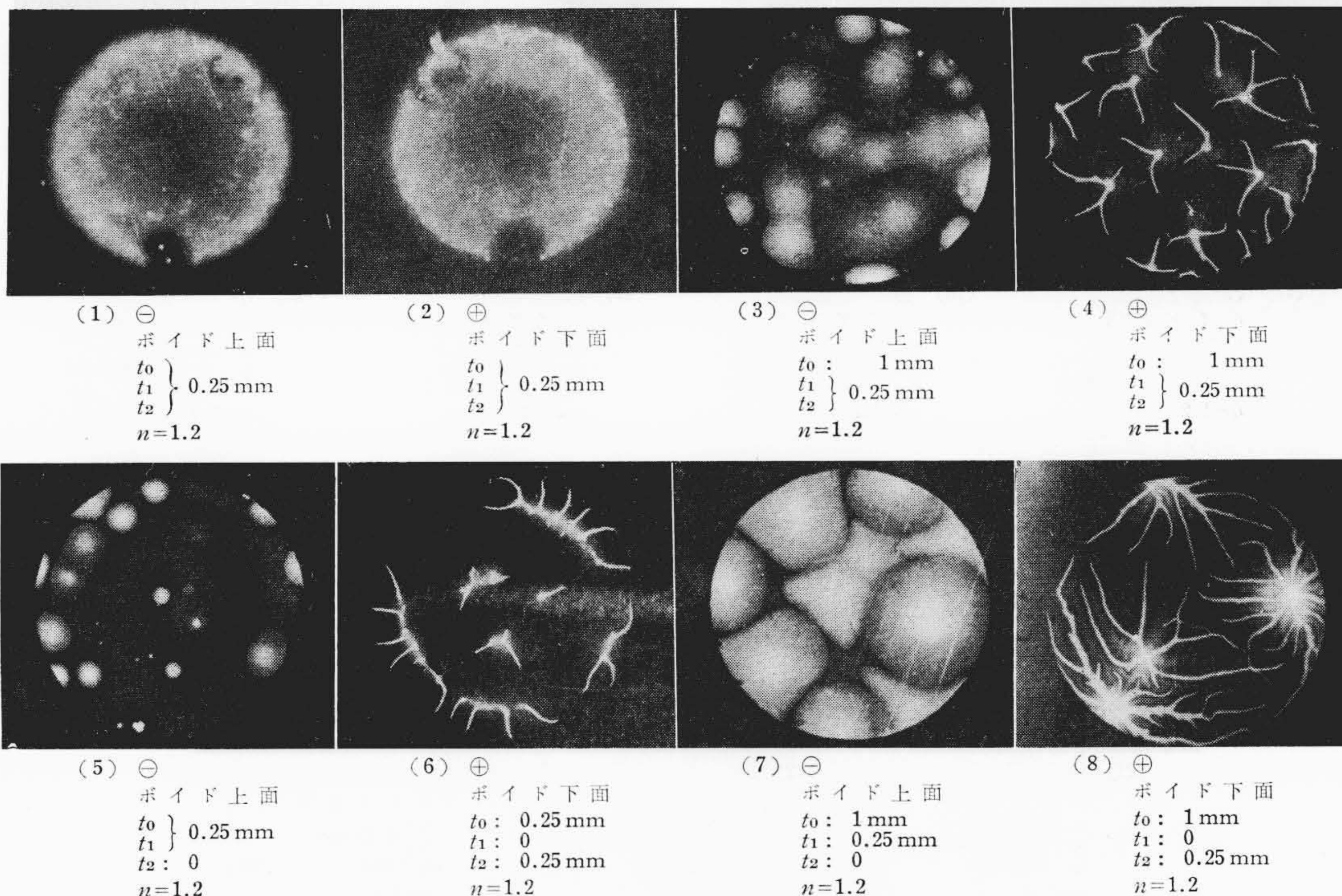
第3図 試料に加わる電圧、電流波形

ン、半導電性テープ、カーボン紙、およびX線用フィルムをはさんだものである。ボイドを形成するため、中間のシートは円形に打抜きフィルムの感光面はボイドの上または下とした。これらの操作は暗室内で行い、装置を全部絶縁油中に浸漬し、ボイド外部での放電を防止した。

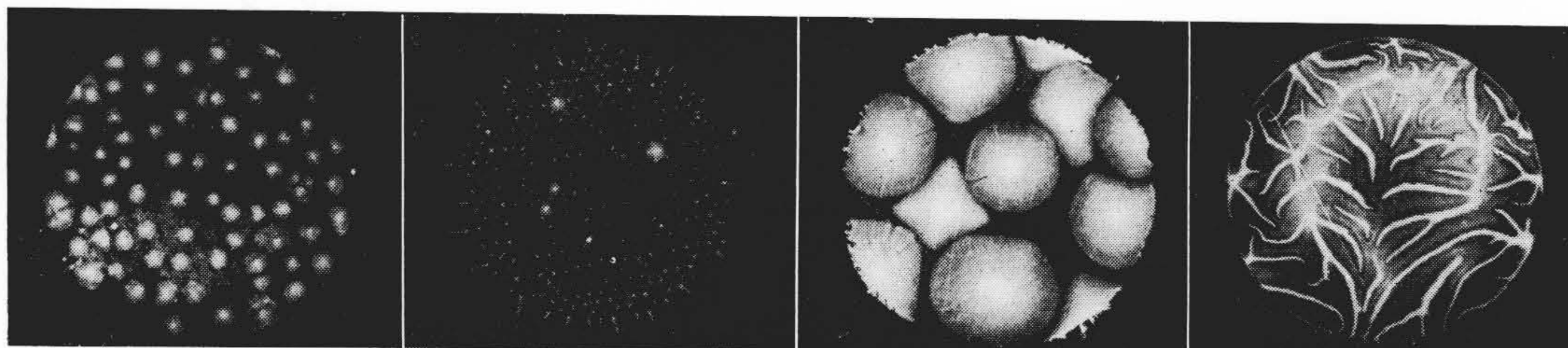
一方、室外で電圧を印加し、ブラウン管オシログラフで波形を観測した。印加電圧は各試料のコロナ開始電圧の1.2倍を原則とし、特にこの電圧効果を観測するものについては1.4~1.6倍とした。

2.2 印加電圧

印加電圧は確実にボイド放電を見分けうる波形、すなわち、電圧上昇の緩慢であることと、あまり多くの放電を行わないことが必要なので数サイクル程度の減衰振動電圧を使用した（この予備的検討もまた橋本氏により行われた）。この電圧発生回路は第2図、試料に加わる電



n は印加電圧のコロナ開始電圧に対する比である。
第4図 放電図形（その1）

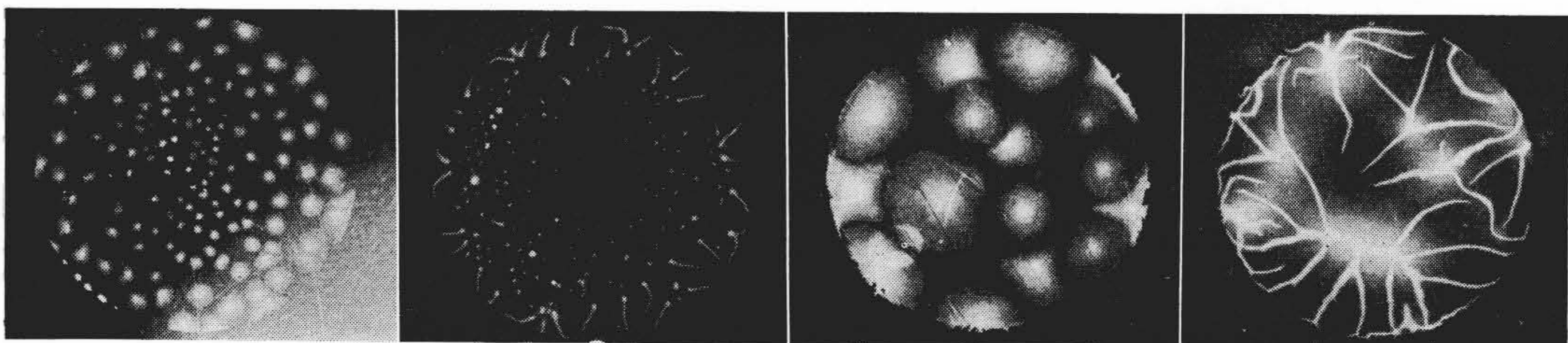


(9) ⊖
ボイド上面
 t_0 } 0.25 mm
 t_1 }
 t_2 : 導電性テープ(1枚)
 $n=1.2$

(10) ⊕
ボイド下面
 t_0 : 0.25 mm
 t_1 : 導電性テープ(1枚)
 t_2 : 0.25 mm
 $n=1.2$

(11) ⊖
ボイド上面
 t_0 : 1 mm
 t_1 : 0.25 mm
 t_2 : 導電性テープ(1枚)
 $n=1.2$

(12) ⊕
ボイド下面
 t_0 : 1 mm
 t_1 : 導電性テープ(1枚)
 t_2 : 0.25 mm
 $n=1.2$



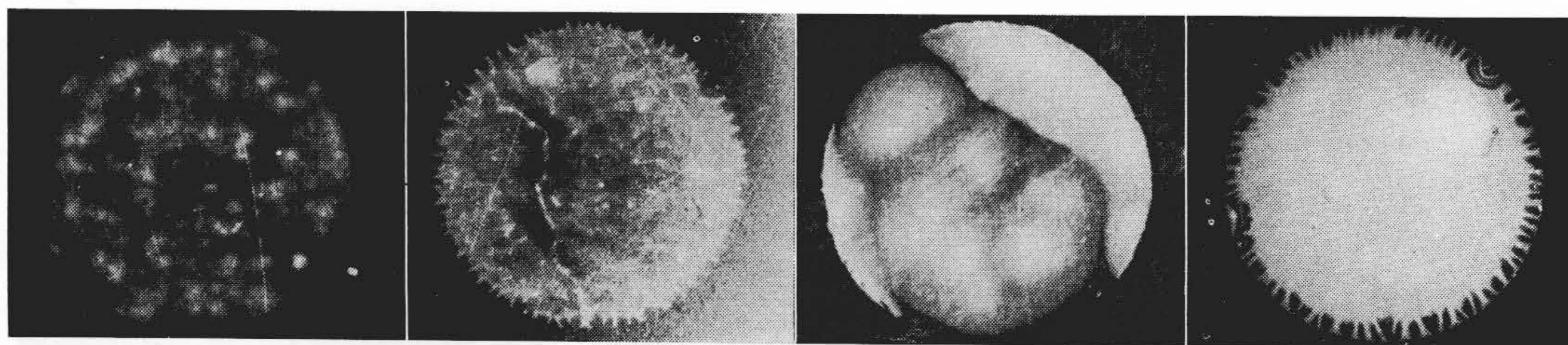
(13) ⊖
ボイド上面
 t_0 } 0.25 mm
 t_1 }
 t_2 : 導電性テープ(2枚)
 $n=1.2$

(14) ⊕
ボイド下面
 t_0 : 0.25 mm
 t_1 : 導電性テープ(2枚)
 t_2 : 0.25 mm
 $n=1.2$

(15) ⊖
ボイド上面
 t_0 : 1 mm
 t_1 : 0.25 mm
 t_2 : 導電性テープ(2枚)
 $n=1.2$

(16) ⊕
ボイド下面
 t_0 : 1 mm
 t_1 : 導電性テープ(2枚)
 t_2 : 0.25 mm
 $n=1.2$

第5図 放電図形 (その2)

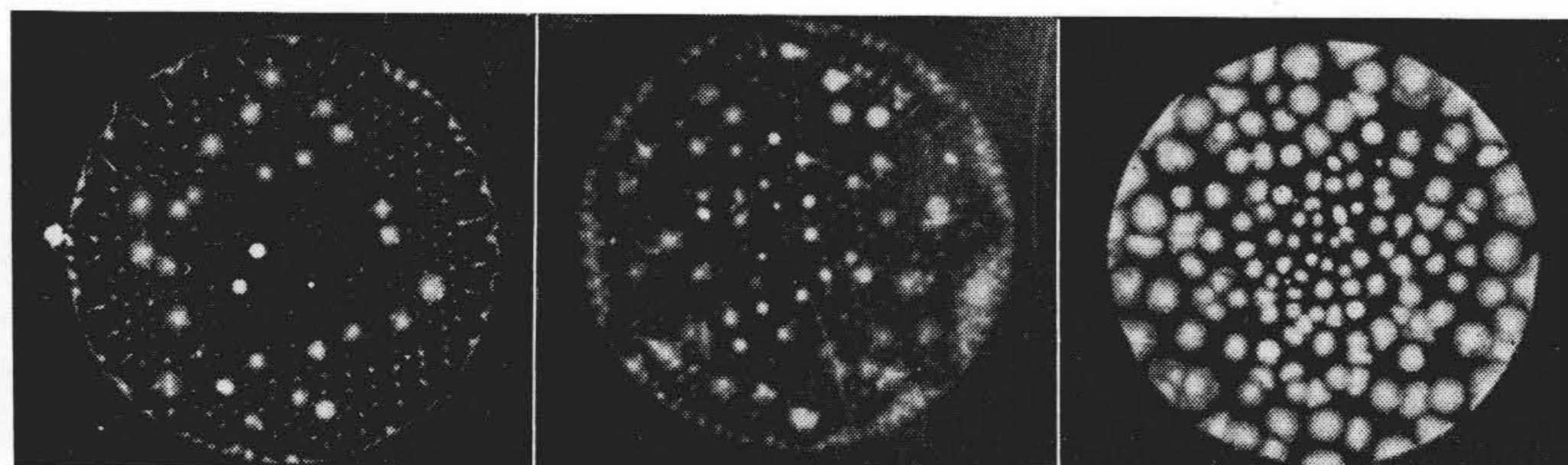


(17) ⊖
ボイド上面
 t_0 } 0.25 mm
 t_1 }
 t_2 : カーボン紙(1枚)
 $n=1.2$

(18) ⊕
ボイド下面
 t_0 : 0.25 mm
 t_1 : カーボン紙(1枚)
 t_2 : 0.25 mm
 $n=1.2$

(19) ⊖
ボイド上面
 t_0 : 1 mm
 t_1 : 0.25 mm
 t_2 : カーボン紙(1枚)
 $n=1.2$

(20) ⊕
ボイド下面
 t_0 : 1 mm
 t_1 : カーボン紙(1枚)
 t_2 : 0.25 mm
 $n=1.2$



(21) ⊕
ボイド下面
 t_0 : 0.25 mm
 t_1 : 導電性テープ(2枚)
 t_2 : 0.25 mm
 $n=1.4$

(22) ⊖
ボイド下面
 t_0 : 0.25 mm
 t_1 : 導電性テープ(2枚)
 t_2 : 0.25 mm
 $n=1.6$

(23) ⊖
ボイド上面
 t_0 } 0.25 mm
 t_1 }
 t_2 : 導電性テープ(2枚)
 $n=1.6$

第6図 放電図形 (その3)

圧電流波形は第3図のとおりである。

2.3 実験結果と考察

上記の方法で得られた結果を第4～6図に示す。このうち第4図はさきに橋本氏の行った実験の再現であり第5, 6図が新しく観測されたものである。

まず、第4図についてすでに得られている結果を列記しておこう。

- (1) 放電図形はヒトデ形と白くかすんだ円形の二種類に大別される。
- (2) 直列絶縁物の薄いほど放電図形が大きくまた数も多い。
- (3) ボイドの片面が電極のときには放電図形が非常に大きい。
- (4) 電圧の第2半波にパルスのないものでは放電図形は一種類だけである。

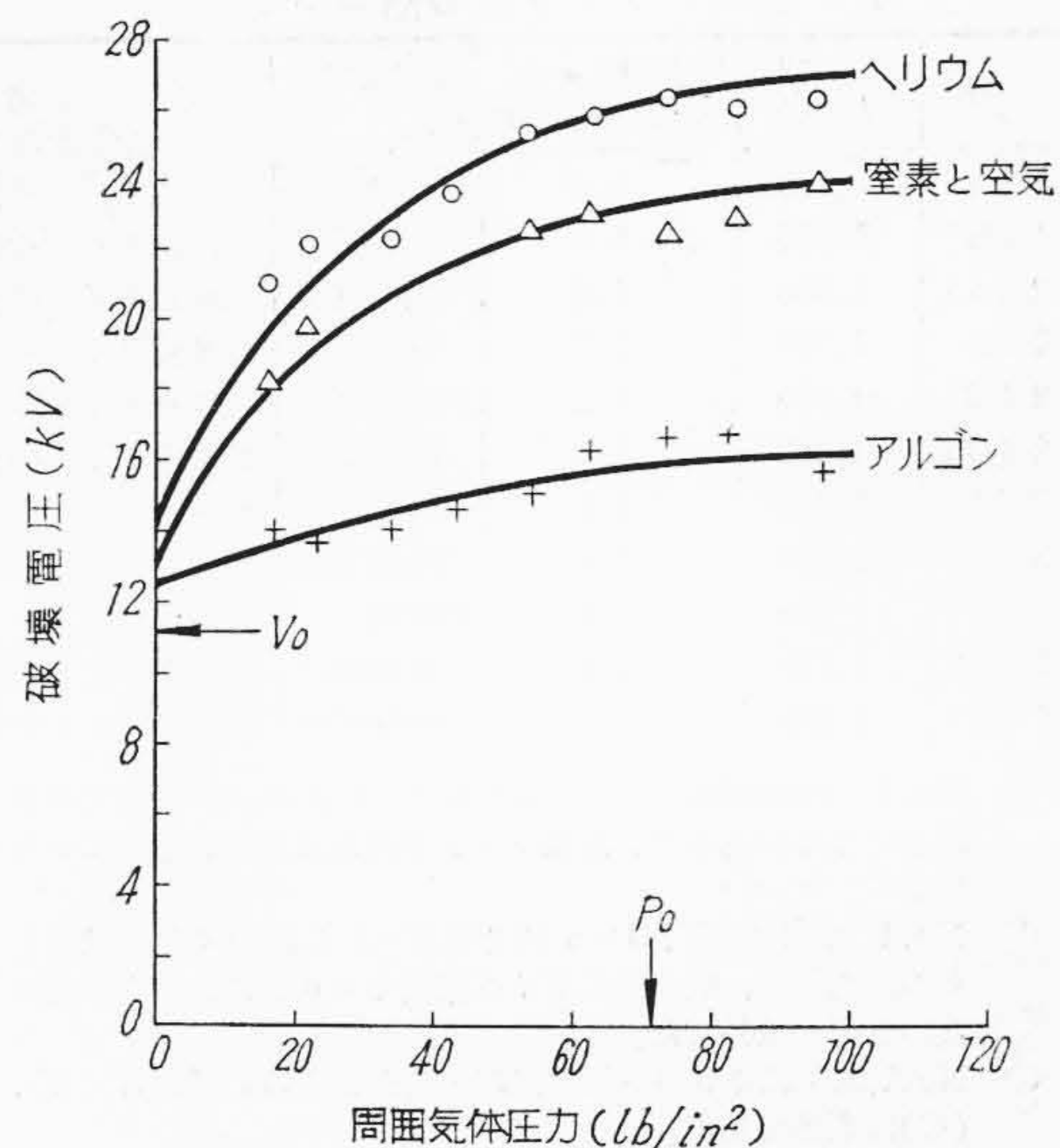
つぎに電極材料を変えて行った今回の実験から得た結果を考察する。

- (1) 半導電性テープを電極面上におくと、第5図からわかるように放電の数は増加するが、電極面上における沿面方向の伸びは少ない。このことは正負いずれの図形からも立証される。
- (2) カーボン紙を電極面上においた第6図の場合には第4図の絶縁体間の場合と同様にきわめて微小な放電が無数に生じているような図形が得られる。
- (3) ボイドが大きくなり、したがって印加電圧が増すと半導電性テープの効果は少なくなる。しかしながら負放電面積の比較からやはり沿面コロナの伸びは少ないといえる。
- (4) 第6図に示したように同一ボイド厚で印加電圧を上昇させると正放電数が増し、第2半波の負放電数も多くなる。
- (5) 同一ボイド厚で半導電性テープの厚さを増すと印加電圧が同一でもコロナ放電数は増加する(第5図)。

これらの結果からボイド放電の様相はボイド壁の材質で異なり、J. J. Thomson氏⁽⁷⁾ や H. C. Hall, R. M. Russek氏⁽⁸⁾らの考察に反して、絶縁体間の放電は金属体間の放電と若干異なるといえる。

しかしながら、初期放電が空間に既存する自由電子に基づくと仮定すれば両者の放電開始電界はおそらく同一であると考えられる。ただ電極材料の電気抵抗が高い場合には一発の放電に後続する電荷が少なく、この抵抗に応じて各所で橋絡してしまうのである。このほかにボイドが完全に密封されているか否かでも異なるが、いまはこの問題に触れないことにする。

このことはきわめて重要な事実を暗示する。すなわち発電機巻線やケーブル絶縁体中に存在するボイドのうち、絶縁強度を大きく左右するものは単に電界強度が強



第7図 Baker 氏の実験結果

いという理由だけではなくストリーマの進展から考えても導体直上にあるものだということである。

したがって、主として高電圧の電力ケーブルにおいて、導体を半導体で包む、いわゆる導体しゃへいの意義はより線効果を低減するという電極面の整形や絶縁体と導体の密着をよくしてボイドの生成を少なくするという効果のほかにストリーマの進展を阻止する第3の効果をもつものである。

3. ボイド放電から絶縁破壊へ

3.1 気体放電の侵入性

ここではボイド放電から固体の絶縁破壊への進展過程を考察する。古くから油中コロナは伸びやすいといわれているように液体中でコロナ放電が生じるとただちに絶縁破壊へ進展する。このことは固体についても同様に考えられるが、日常固体の絶縁破壊で経験されるように沿面の気体放電はなかなか固体の内部へ侵入しない。しかしながら液体中で発生したものは比較的固体内に侵入しやすく固体構造内部で発生したものはなお伸びやすいと考えられる。

最近このことに関連して W. P. Baker 氏は面白い実験を発表した⁽⁹⁾。セルローズ、トリアセテートとポリエチレンテレフタレートを変圧器油中および空気中で絶縁破壊させ第7図のような結果を得た。彼は固体シートの絶縁破壊は媒質によって著しく異なることから、もし空気の圧力をあげて変圧器油と同程度の絶縁耐力をもつようにすれば、両媒質中で測定される固体の破壊電圧は同一になると想像したのである。しかるに、実験の結果は予想と反し、空気圧力の増加に従ってシートの破壊強度は

第1表 クラフト紙の耐コロナ性

試 番	コロナ開始 電圧 (V)	印加電圧/コロナ 開始電圧	破壊までの 時間	備 考
No.1 (A)	1,550	1.4	26時間40分	破壊点ボイド中央
No.1 (B)	1,550	1.4	21時間10分	破壊点ボイド中央
No.2 (A)	1,550	1.4	3時間40分	破壊点ボイド中央
No.2 (B)	1,550	1.2	4時間50分	破壊点ボイド中央
No.2 (C)	1,550	1.2	10時間20分	破壊点ボイド中央
No.2 (D)	1,480	1.4	5時間10分	破壊点ボイド中央
No.3 (A)	1,400	1.4	2時間30分	破壊点ボイド中央
No.3 (B)	1,230	1.4	2時間30分	破壊点ボイド以外
No.3 (C)	1,380	1.2	48時間	非破壊
No.3 (D)	1,010	1.4	8時間10分	破壊点ボイド中央
No.3 (E)	1,050	1.4	12時間40分	破壊点ボイド中央

注：○ No.1 で印加電圧/コロナ開始電圧=1.2 が 30 時間で非破壊というのがあるが、記録レンジが異なるため図示していない。

○ No.1 で印加電圧/コロナ開始電圧=1.4 が約 4 分で破壊したのがあるが、破壊点がボイド縁端でコロナによるものではないと考え除外した。

○ No.1,2,3 はクラフト紙の処理を変えたもの。(A),(B),(C)は順番である。

ますます増加したのである。

この説明は後報すると記されているが、筆者はこれこそ気体放電がいかに固体中に侵入しにくいを示す好例と考えた。すなわち放電図形から想像されるように、もし正のストリーマの電極間橋絡によって絶縁破壊が生じると仮定すれば、気体中のイオン化で生じた正イオンの固体中への侵入は困難なのである。

しかしながら気体中で発生した正ストリーマの伸びが大きくなると、固体表面が侵食され変質する。この変質部分の存在により固体絶縁体に対する正イオンのバリヤ抵抗は小さくなると考えられる。最近、耐コロナ性は耐熱性に等しいとの意見もあるが、もしそうだとすれば熱劣化したゴムやクラフト紙の交流短時間破壊電圧が劣化前とほとんど変わらないことをどのように説明できるのだろうか。もちろんコロナ劣化は紫外線照射の意味ももつであろうし侵食により絶縁体の厚さも減少するといわれ

ている。しかし筆者は破壊電圧との関連においては熱またはそのほかのエネルギー粒子の衝撃を媒介としての表面変質(バリヤ抵抗を少なくする)の意義を主張したいと思う。

さて、バリヤ抵抗の小さくなった固体中へは気体中の正イオンが容易に侵入し、少なくとも課電初期においては破壊しないような低電圧においてさえもついに固体の絶縁破壊を生じることになるのである。

3.2 ボイド放電と絶縁破壊との関係

ここでは電力ケーブル用クラフト紙について実験した結果を紹介する。試料はクラフト紙の処理方法を変えたもの3種とし、第1図同様3枚を重ね合せて、中間の1枚に 6.5 mmφ の円形打抜部分を作りボイドとした。

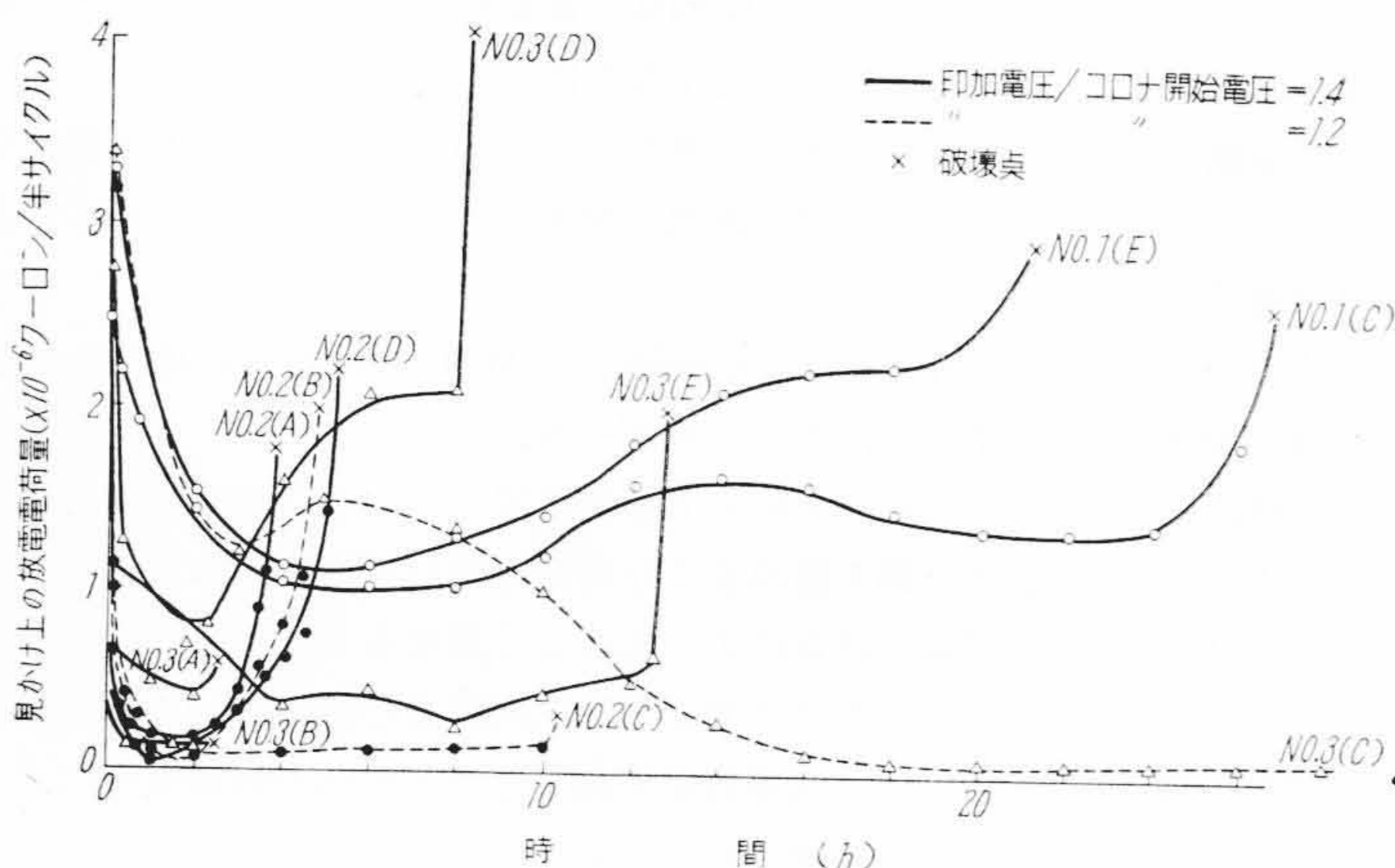
この試料を電極間にはさみ、デシケータの中にいれ、まず電圧を徐々に上昇させてコロナ開始電圧を測定した。その後、コロナ開始電圧の 1.2~1.4 倍の電圧を課電して破壊するまでの時間および放電電荷量を測定した。

第1表はこの結果を示したものであり、第8図は放電電荷量の時間特性である。大部分の場合、一度放電電荷量が減少し、次に増加して最後に絶縁破壊している。このはじめの減少は空間電荷の生成により、ボイドに加わる電圧が低下するためであり、後半の増加は長時間のコロナ侵食により絶縁体および金属電極から荷電粒子の供給が盛んに行われ破壊に至ると想像される。

さて第1表で得られた破壊点はすべてボイド中央であるが、これは実際ボイド端部では電界強度が弱いのである⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾。したがって、この部分の固体表面はコロナ放電によって侵食されにくい部分と考えられる。

ところが第1表に注記したように例外が一つある。これは課電後すぐ破壊したもので破壊点はボイド縁端である。これは放電のばらつきと思えばそれまでであるが、筆者はそうではなく、これこそさきに述べた気体放電が固体中に侵入しにくい証拠であると考え

える。実際、これに引続いて行った単一ボイドを含むポリエチレン、ビニル、ゴムなどの交流短時間破壊は電極縁端部で破壊した二、三の例外を除きすべて破壊点はボイド縁端であった。第2表にこの状態を示す。一般に交流の短時間印加では、熱劣化や化学変化の影響が少なく、電界強度だけで破壊が規定されられると考えられるにもかかわらず、電界強度の最も弱いボイド縁端部で破壊しているのである。あるいはボイド壁面には不純物が付着し、放電が生じやすいと反論されるかもしれない。し



第8図 クラフト紙の処理条件による耐コロナ性

第2表 ボイド含有ポリエチレンシート
短時間破壊特性

ボイド直径 6.5 mmφ, 電圧上昇率 500 V/s. 電極有効面積 20 mmφ

試番	試料厚さ (mm)	ボイド厚さ (mm)	コロナ開始電圧 (V)	破壊電圧 (kV)	破壊点
1	1.55	0.5		45.0	
2	1.51	0.5	2,950	41.0	ボイド端
3	1.56	0.5	3,150	47.0	電極端
4	0.79	0.27	2,300	36.5	ボイド端
5	0.78	0.27	2,300	41.0	ボイド端
6	0.76	0.25	2,300	40.0	電極端
7	1.20	0.60	2,900	38.0	ボイド端
8	1.21	0.62	2,700	40.5	ボイド端
9	1.20	0.61	2,650	33.0	ボイド端
10	1.56	1.02	3,850	32.0	ボイド端
11	1.49	0.95	3,800	31.0	ボイド端
12	1.54	1.00	3,850	43.5	ボイド端
13	1.21	0.27	3,300	47.0	電極端
14	1.21	0.27	3,150	49.5	ボイド端
15	1.20	0.26	3,300	48.0	電極端

かし、それならば、なぜ第1表の長時間破壊がボイド中央で生ずるのであろうか。

筆者の考察は次のとおりである。

すなわち、たとえばボイドのある場合の長時間破壊でも最終的には気体中で生じた正ストリーマのみでなく、金属電極から荷電粒子の注入の裏付けをもつ固体構造の中で生じた正ストリーマがボイド中の気体放電柱を通して橋絡しなければならないという考えである。

一方、交流短時間破壊のように固体絶縁物のコロナ侵食が前駆しない場合には固体構造中で生じた正ストリーマの最も貫通しやすい縁端部で破壊するのである。

したがって、ボイドの薄い場合には交流短時間絶縁破壊に及ぼす影響はほとんどないといっても過言ではない。実際、電極縁端部の破壊や、ボイド外での破壊の例外はこの想像を裏書するものである。第9図はこの事実を示したものであり、ポリエチレン中にある0.27 mm以

下のボイドは短時間の交流に対してなんら不利とならない。

なお、これらの実験中に観測された次の現象もこのことを立証する一助になると思う。

絶縁破壊電極装置の近傍に偶然コロナ測定用の端子が置かれてあり、これに接続されたブラウン管オシログラフを見ていると、低電圧においては何の異常もないが、高電圧になるに従って、微小パルスが観測される。おそらくこれは試料沿面そのほかの外部のコロナ放電による誘導であろう。

さらに電圧を上昇し、破壊寸前になると非常に大きい明白な単一パルスが何回か現われついに絶縁破壊するに至る。この単一パルスは試料中を流れる noisy な前破壊導電電流による誘導にほかならないと思われる（とうていボイド中の気体放電によるものとは考えられない）。

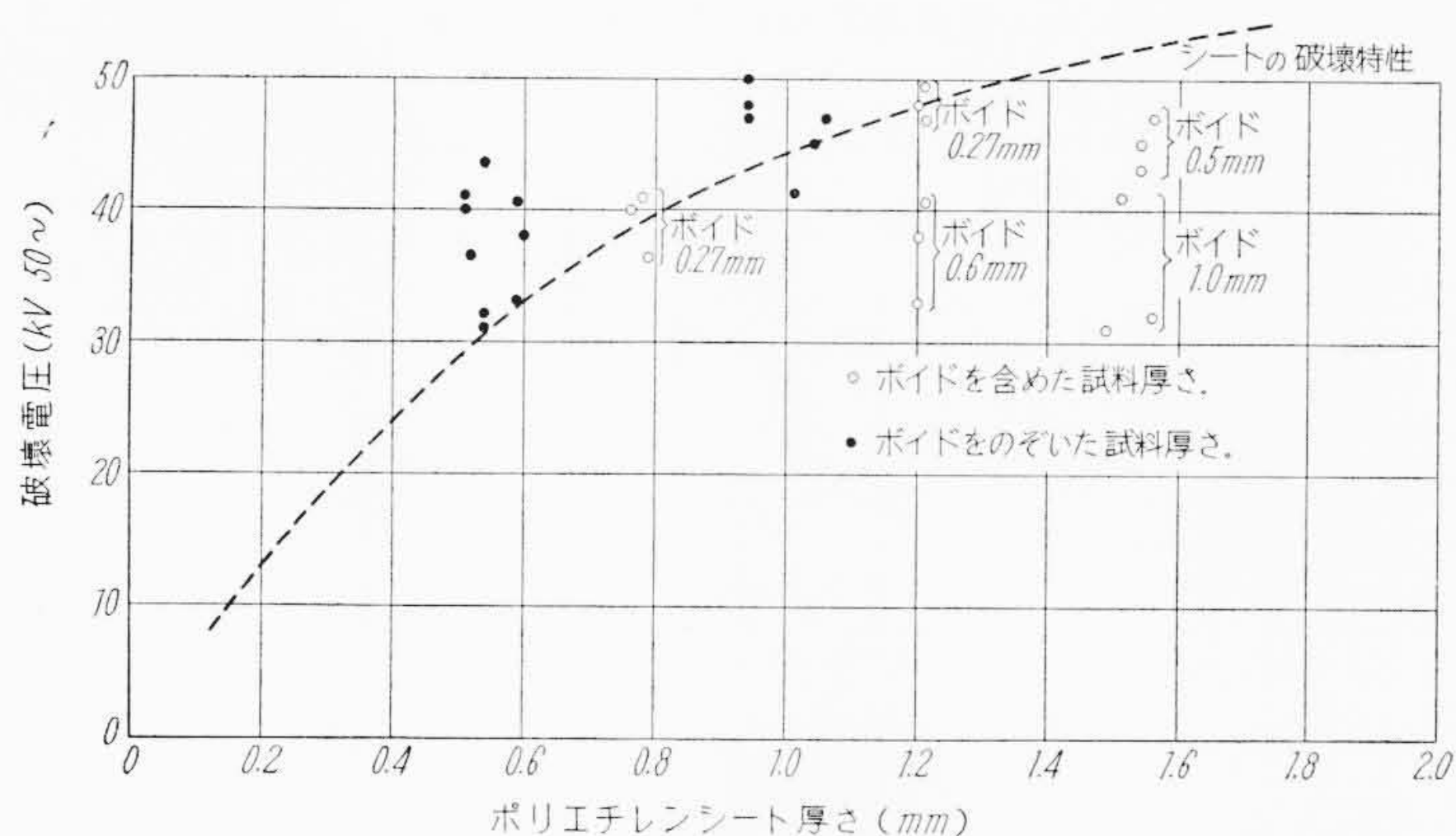
4. 結 言

以上の実験から得られた結果を列挙すると次のとおりである。

- (1) 電力ケーブルに用いられる半導電体による導体しゃへいの意義は、従来考えられていたもののほかに、正コロナ放電の伸展を抑制することにある。
- (2) 絶縁体中のボイド放電は、金属体間の気体放電と異なり、たとえ、放電エネルギーが同一だとしても、正ストリーマの伸びを少なくし、放電数を増す傾向がある。
- (3) ボイド放電による絶縁劣化は絶縁体の熱劣化や厚さの減少のみではなく、むしろ、絶縁体表面のバリア抵抗の減少に基く部分が大きいと想像される。
- (4) 小さなボイドは交流短時間破壊強度になんらの影響も与えない。
- (5) 固体の絶縁破壊においてもまた、気体同様に正のストリーマが支配的な役割を演じ、しかも、気体中で生じたものよりも固体中で生じた荷電粒子(エネルギーの大きい)のほうが絶縁破壊に対して決定的なものとなる。

これらの考察はさらに多くの実験により、立証されてゆかなければならないが、本実験結果の暗示することはあまりに多く、また興味深いものがあるので、取りまとめて報告した次第である。

筆をおくに当り終始ご指導とご激励をいただいた武蔵工業大学鳥山教授、日立電線株式会社久本部長、橋本主任ならびに実験を遂行された佐藤君に厚



第9図 ボイド含有ポリエチレンシート短時間破壊特性

くお礼申しあげる。

参考文献

- (1) K. W. Wagner: J. A. I. E. E. 41, 1034 (1922)
 (2) J. J. O Dwyer: Advance in Phys 349 (1958)
 (3) A. von Hippel: Zeit Phys. 98, 580 (1936)
 (4) H. Fröhlich: Proc, Roy, Soc. A160, 230 (1937)
 (5) F. Seitz: Phys. Rev. 76, 1376 (1949)

- (6) 橋本: 電学誌 77, 1357 (昭 32)
 (7) J. J. Thomson: Conduction of Electricity in Gases II 466
 (8) H. C. Hall, R. M. Russek: P. I. E. E. 101, (II) 47 (1954)
 (9) W. P. Baker: Nature 181, 1726 (1958)
 (10) J. H. Mason: ERA Report C/T 192 (1948)
 (11) J. H. Mason: P. I. E. E. 98, (I) 44 (1951)

日立製作所社員社外講演一覧

(昭和34年5月受付分)

講演月日	主催者名	演 題	所 属	講 演 者
34. 4. 27	日本建設機械化協会中部支部	日立ショベルの特殊性とその運営管理について	亀有工場	中 村 明
34. 5. 29	日本機械学会	圧力測定用ピックアップについて	亀有工場	富 田 忠 二
34. 6. 8	九州炭鉱技術連盟	バランス形圧縮機について	川崎工場	緒 方 剛
34. 6. 12	機械学会	自動車冷房装置について	栃木工場	喜 多 久 雄
34. 5. 20	日刊工業新聞社	トランジスタの実用回路	戸塚工場	西 山 静 男
34. 3. 2. ~4	国鉄中央教習所	ダイヤル平形継電器, 電鍵, 組立, 調整	戸塚工場	高 野 政 則 山 田 博
34. 5. 29	電気通信学会九州支部	アナログ計算機とその最近における諸問題	中央研究所	三 浦 武 雄
34. 6. 7	日本電子顕微鏡学会九州支部	日立における最近の電子顕微鏡の研究	中央研究所	木 村 博 一
34. 6/中旬	自動制御研究会	変調形サーボ系の伝達関数	中央研究所	川 崎 淳
34. 8. 29~31	学術会議応物学会他7学会	平行円柱の実験	中央研究所	堀 栄 一
34. 7. 25	高分子学会	高分子と水および水素結合性誘電体の誘電性	中央研究所	黒 崎 重 彦
34. 6. 24	日本規格協会福岡支部	直交配列を用いた実験計画	中央研究所	島 田 正 三
34. 6. 22~23	日本鉄鋼協会日本金属学会北海道支部	可鍛铸铁の切欠脆性	中央研究所	奥 本 武 臣
34. 5. 6	粉末冶金技術協会	原子炉燃料としての二酸化ウランの成形と焼結について	日立研究所	野 中 甲 蔵
34. 5. 26	窯業協会	電気集塵装置	日立研究所	諫 早 典 夫
34. 7. 3	学振耐熱金属材料委員会	2 $\frac{1}{4}$ GIMo 鋼熔接継手のクリープ破断強度に及ぼす後熱条件の影響	日立研究所	根 本 正 一 佐々木 良 一 八重樫 敏 雄
34. 5. 27	仙台通産局	日立高圧電磁接触器とその応用	本 社	井 上 清 二
34. 5. 27	仙台通産局	シリコンおよびゲルマニウム整流器について	本 社	井 上 清 二