

ボイド放電による空間電荷現象の基礎的研究(第1報)

その他(別言語等)のタイトル	A Fundamental Study of Space Charge under the Void Discharge
著者	小林 一義, 服部 耐吉, 沢 茂夫
雑誌名	室蘭工業大学研究報告
巻	5
号	2
ページ	527-536
発行年	1966-08-25
URL	http://hdl.handle.net/10258/3257

ボイド放電による空間電荷現象の 基礎的研究 (第1報)

小林一義*・服部耐吉・沢 茂夫

A Fundamental Study of Space Charge under the Void Discharge

Kazuyoshi Kobayashi, Taikichi Hattori and Shigeo Sawa

Abstract

In this paper, the authors intend to clarify the effect of space charge of the dielectrics through investigations under the void discharge. The experimental results are summarized as follows:

1. There are two kinds of mist-like figures: the first is primary mist-like figure, and the second is one induced by primary discharge.
2. Occasionally, negative streamer figure shows something like positive streamer under the void.

1. 緒 言

高電圧機器の絶縁物の構造,あるいは加工の工程において,また使用中の熱サイクルの膨縮,その他機械的,化学的原因等によりボイドが出来ると,ボイド内部においてボイド放電を起して絶縁破壊等の原因となる。

一般にボイド放電は各種の放電が重畳することが多く, $\tan \delta$ -印加電圧特性^{1),2),3)}, 電圧および電流波形^{4),5),6)}等の様に,電気的特性^{7)~12)}から,あるいは電荷図¹³⁾およびリヒテンベルグ像^{14)~17)}を用いる方法等の多くの研究がなされている。ボイド放電に関する研究は,ボイドが複雑な形状を呈していることと,現象が複雑なため多くの疑点を残している。

本報告は,電荷図を用いて,針対針電極の対称的配置で一個のボイド放電を発生させて,その機構を考察し,複数回の放電発生との関連性を考察した。同時に,ボイド放電の電荷図により,電荷図に特に顕著な霞状図形等について検討を加えた。

本研究の終局の目的は,一般誘電体に見られる空間電荷と総称される放電,帯電に関連する諸現象の基礎的研究に役立たせるにある。

* 室蘭工業大学,大学院,電気工学専攻学生。

2. 実験方法

試料としてエポナイト平板 15 cm×15 cm, 厚さ 1 mm, 2 mm, および, 3 mm を使用し, スペースとしてエポナイト板片, 厚さ 0.5 mm, 1 mm, 3 mm, および 5 mm を用い, 図-1 の様に配置した。

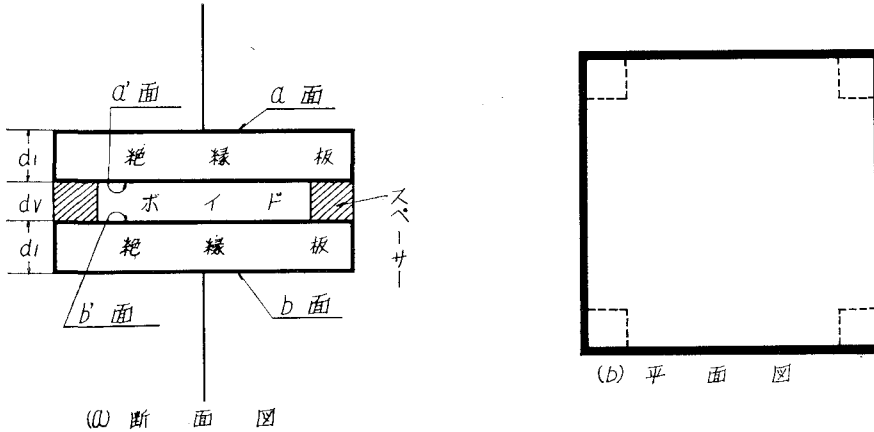
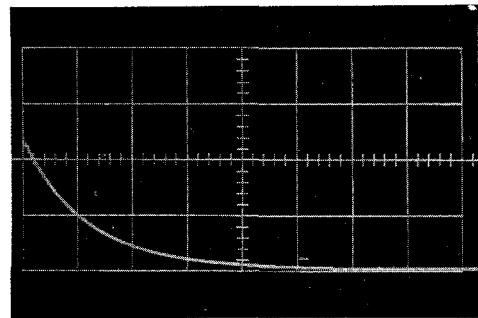


図-1

電極は針端電極として, 対称配置として単純化したが, 平板電極, 平円板電極等も用いて比較検討した。

電源には, 12~68 kV (波高値) の衝撃電圧を印加し, 印加電圧測定にはシンクロスコープ (SS-5302, 岩崎通信機) を用い, 写真撮影により測定を行なった。図-2 は印加した衝撃電圧波形である。

電荷図を得るには, 電圧印加後, 電極から絶縁板を取りはずし, 松樹脂と光明丹の混合粉末を散布して求めた¹⁸⁾。



横軸 50 μ sec/目盛

図-2 衝撃電圧波形

3. 実験結果とその考察

ボイド放電は, ボイド内のボイド放電によって発生する空間電荷の影響が, 強く放電形態に現われる。

今, 便宜上ボイド内で得られる正電極側の裏面, すなわち a' 面の図形を負ボイド電荷図, 負電極側の裏面, すなわち b' 面の電荷図を正ボイド電荷図と名付ける。

ボイド内が放電開始電圧に達すると, 電位傾度の最も強い部分において電離が始まるが,

暗室中でスペーサー間のボイド放電を観察すると、絶縁板表面において、まず、コロナの発生が認められ、またボイド内に絶縁板表面等と接触しない様に針金等を挿入すると、挿入物表面からもコロナが発生するのが認められる。

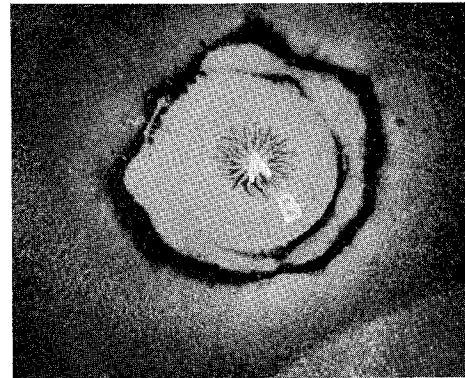
電離が始まってストリーマーが伸展する場合は、ボイド空間を放電するストリーマーと、板面を走る沿面ストリーマーとに分ける事が出来る。沿面ストリーマーが伸展する時、 b' 面上を走り、正のボイド電荷図を形成するところの沿面ストリーマーに沿って、このストリーマーに寄与する電子が正電極方向に引張られ、他方、 a' 面上を走り、負のボイド電荷図を形成するところの沿面ストリーマーに沿って、正電荷が負電極方向に引張られる結果、両者が交差し、励発、再結合等が生じ、発光すると考えられる。この交差位置は電子の速度が、正イオンの速度より大であるから a' 面に近い所に起ると考えられる¹³⁾。この交差により生じた空間電荷が、正ストリーマー、および負ストリーマーに重畳し、電圧降下に従

い¹⁷⁾、あるいは電圧降下後に、空間電荷による逆電界が強くなると容易に After discharge を起す様になる。

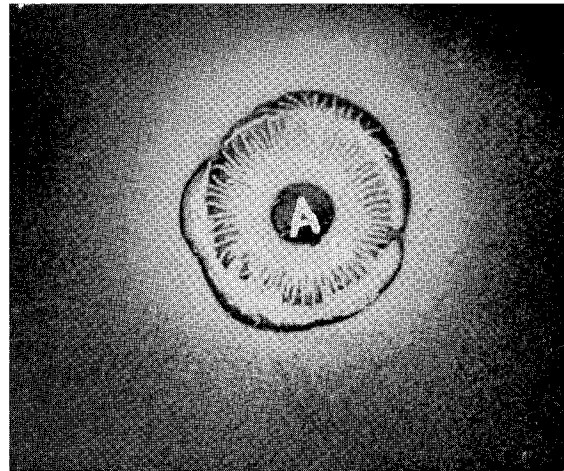
図-3は衝撃電圧 68 kV (波高値) を印加、 $d_1: 3\text{ mm}$ 、 $d_V: 5\text{ mm}$ の場合で、(a') 図の中央の放射状図形 A は、負性である B の After discharge により生じたもので、正の図形である。(b') 図の A は、正放電である B の After discharge によって生じた負性の図形である。

図-4は、(a) の裏面が (a') で、(b) の裏面が (b') であり、(a')、(b') の両図において、ボイド間隙 1 mm に対して沿面ストリーマーの長さ 8.5 mm (直径) の場合であるが、After discharge が起っていない。

印加電圧が高くなれば、After discharge が起り易く、ボイド内においては、空間電荷の

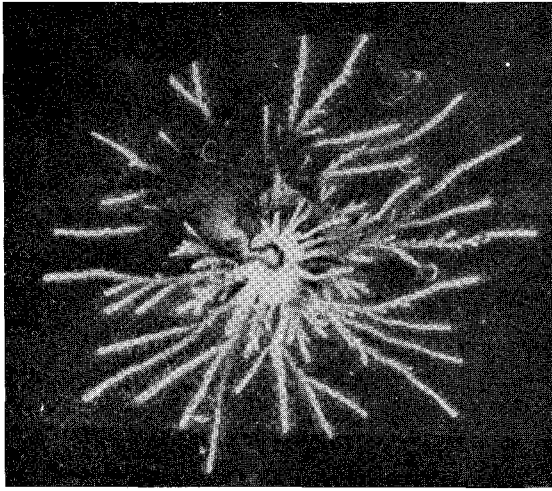


(a') 負ボイド電荷図

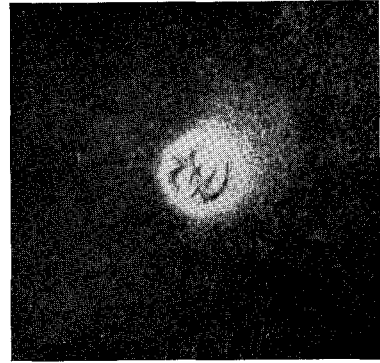


(b') 正ボイド電荷図
印加電圧 68 kV (波高値)
 $d_1=3\text{ mm}$ 、 $d_V=5\text{ mm}$

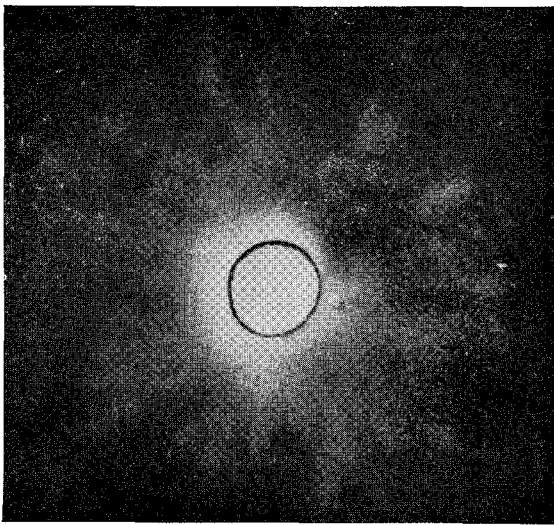
図-3



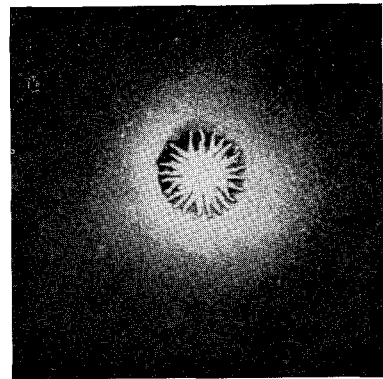
(a) 正電荷図



(b) 負電荷図



(a') 負ボイド電荷図



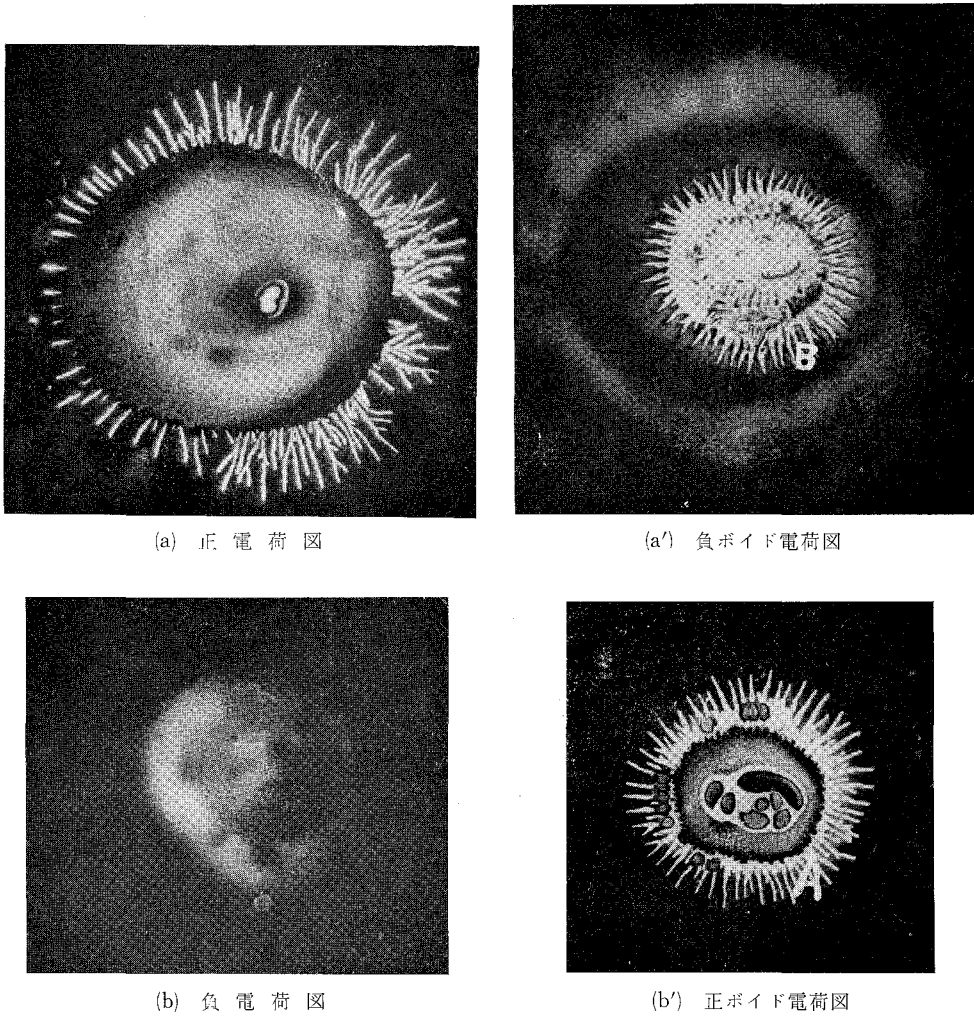
(b') 正ボイド電荷図

印加電圧 29 kV (波高値) $d_1=1$ mm, $d_2=3$ mm

図-4

影響が大となることが考えられる。この After discharge においても、正図形が負図形より大であるが、図-3, 4 で観察される様に、正ストリーマーと負ストリーマーの伸展がほとんど一致している。さらに、ボイド放電を発生させる電極の形状等によっては、負ストリーマーが正ストリーマーの様に樹枝状伸展を示すのを観察出来る。

図-5 は、平板電極を負に、針電極を正にした場合で、(a) と (a'), (b) と (b') が表、裏となっている。(b') における放射状図形 A は正ストリーマーであるが、(a') における放射状図形 B は



(a) 正電荷図

(a') 負ポイド電荷図

(b) 負電荷図

(b') 正ポイド電荷図

印加電圧 31 kV (波高値) $d_1=2\text{ mm}$, $d_2=1\text{ mm}$

図-5

光明丹で示される負ストリーマーで、伸びもほとんど等しく、空気中でも負ストリーマーが樹枝状に伸展することを示している。これは注目される現象であり、ポイド内の空間電荷の影響等に関連があるのではないかと考えられるが、更に研究をすすめていきたいと考えている。

印加電圧がある値を越えると、一次放電と After discharge と、これらによる空間電荷による二次的放電が重畳し合い、多数の放電の集合したものになる。この場合は、放電開始電圧に達する部分が複数個発生するために、沿面ストリーマーの伸展が同極性のストリーマーに抑制されて小となり、この様な場合は、沿面ストリーマーの伸展がポイド空間を放電するストリーマーの伸展より大であるとは限らない。

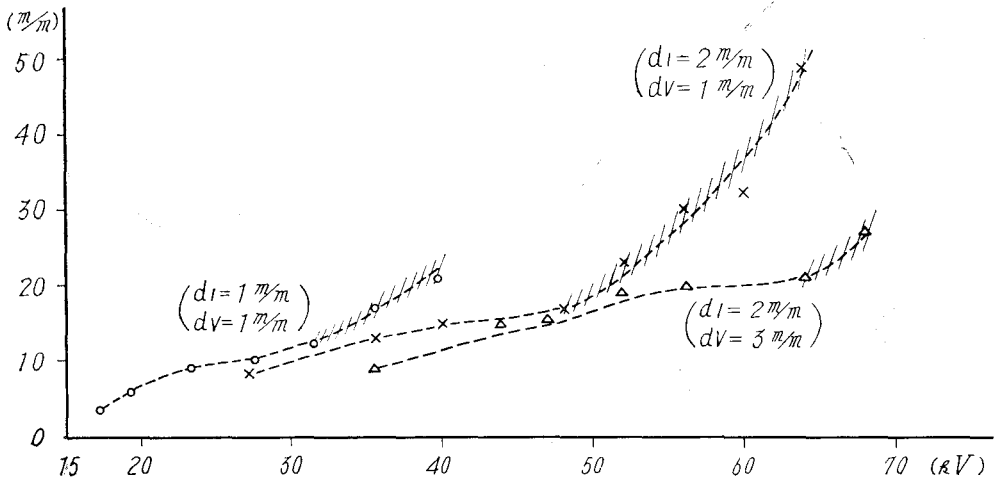
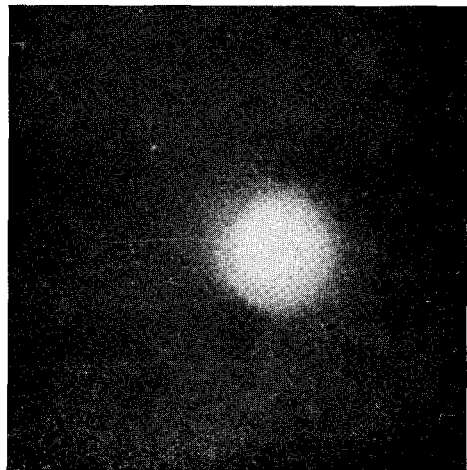


図-6 電圧—ストリーマー特性

図-6 は、電圧—ストリーマー伸展特性を示し、斜線部分是一个のストリーマーの直径でなく、放電面積全体の直径である。これによると、一个の放電発生の場合には、印加電圧の上昇に伴い伸展が大きくなる傾向を示す。しかしある程度以上の電圧になると、放電開始点がボイド内で複数個生じるために多数の放電が発生し、同極性ストリーマーの抑制作用が働き、各放電の伸展が抑制されるため伸びが小となる。特に、平板対平板電極の場合の様に、平等電界にては、竹村、杉田の両氏による様に多数の放電発生により、伸展の変化がほとんどないと考えられる¹⁴⁾。

次に、ボイド電荷図における霞状図形について考察すると、電荷図に関して発表されている研究の中には、放射状図形の他に霞状図形の存在を認めているが^{19),20)}、図-3, 4, 5の電荷図で観察される霞状の図形は、説明の便宜上、誘導図形²¹⁾と名付けると、図-7はボイド内において発生した正ボイド電荷図である。誘導図形が現われる裏面(電極側表面)を混合粉末を散布する前に、アルコール、ベンゼン等で湿らせて電荷を取除くと、その裏面に当然現われるべき誘導図形が現われない。図-4, 5の(a)と(a')に示される如く、絶縁板が薄くなる程、電極側である裏面の形状に対応して誘導図形が非常に良く現われる。電荷図を求める時、ボイドを壊す

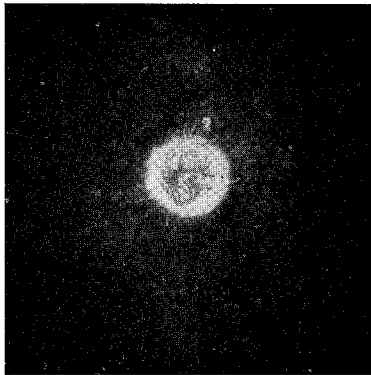


正ボイド電荷図
印加電圧 25 kV (波高値)
 $d_1=2\text{ mm}$, $d_v=1\text{ mm}$

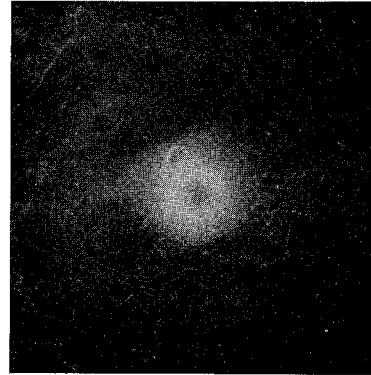
図-7

前に電荷図を求め、その後ポイドを形成している二板の絶縁板を離す時、一度形成した電荷図から混合粉末がはじかれる様に飛散するのが認められるが、これは誘導されて分布する電荷の帯電粉末の存在を示している。以上の事より、誘導図形を形成している粉末分布は、その裏面に相当する電極配置側の電荷の影響により形成されたものと考えられる。

正ポイド電荷図の場合、裏面に相当する電極側は負電荷図が形成されるのでポイド側は正に帯電している光明丹が分布する。さらに中央部には After discharge による正電荷が分布するため、負に帯電している松樹脂が分布すべきであるが、電子の影響が強いために、正電荷による影響が打消される結果、対応する裏面には光明丹が薄く分布するか、分布しない中性状態を示すと考えられるのが図-8である。またこの誘導図形は拡散的で、ぼけた状態であるが、電極、あるいは電荷からの距離が大になる程誘導図形の密度は小となる。負ポイド電荷図の場合



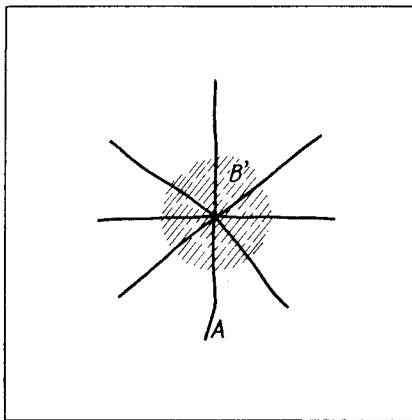
(b) 負電荷図



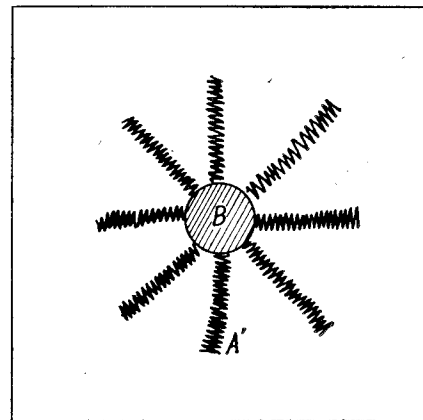
(b') 正ポイド電荷図

印加電圧 46 kV (波高値) $d_1=3$ mm, $d_V=5$ mm

図-8



(a) 正電荷図



(b) 負ポイド電荷図

図-9

合も極性が逆である他は同様に考えられる。しかし、両者を比較してみると、正ボイド電荷図に光明丹の分布が良く観察されるが、負ボイド電荷図における松樹脂の分布が希薄の傾向がある。これは粉末の物理的性質の他に誘導図形に関する正ストリーマーと負ストリーマーの電荷の分布にも関係があるのではないかと考えられる。この状態は絶縁板が厚い場合、あるいは印加電圧が低い程この傾向が目立つ。

ボイド放電が発生した場合、ボイド電荷図のストリーマーの周りに形成される誘導図形は、その形成に関しては同様に考えてよいと思われる。しかしこの場合、絶縁板の表、裏に電荷が分布するために、ストリーマーの周りに形成される誘導図形はその帯

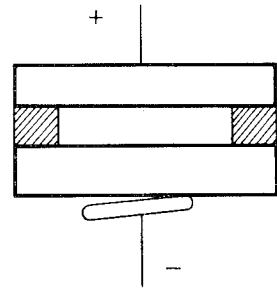
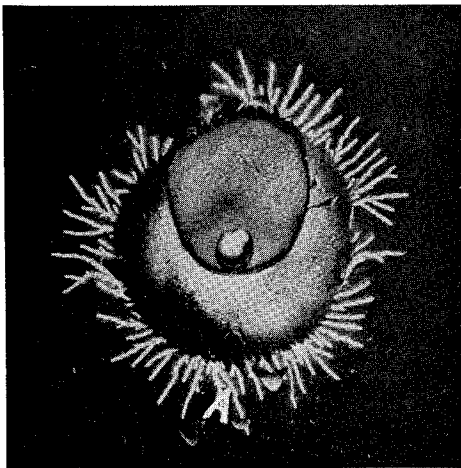
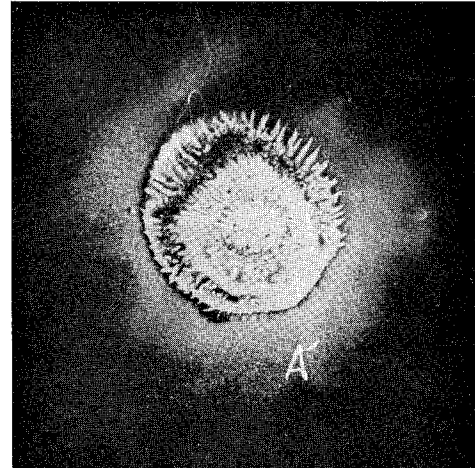


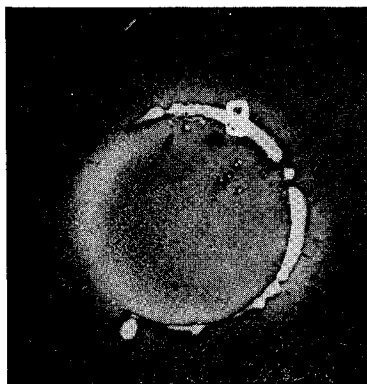
図-10



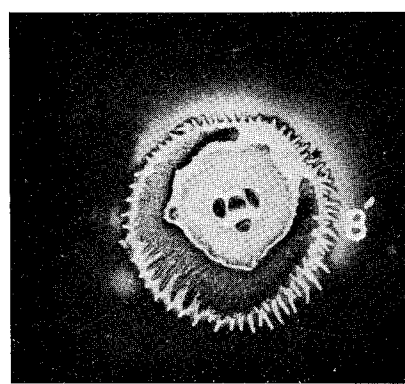
(a) 正電荷図



(a') 負ボイド電荷図



(b) 負電荷図



(b') 正ボイド電荷図

印加電圧 27 kV (波高値) $d_1=1\text{ mm}$, $d_2=2\text{ mm}$

図-11

電粉末がストリーマーの同極性粉末に反撥されてストリーマーとの間に粉末分布のない中性状態の部分が生ずる。一般にボイド内の絶縁板表面に形成されるストリーマーがその裏面の電極側に形成されるストリーマーより小であるが、ボイド電荷図における誘導図形は顕著に現われる。しかし図-9に示す様に、負ボイド電荷図の裏面に形成する正ストリーマーの樹枝状図形の間光明丹の分布が希薄であるが観察出来るのは、負ボイド電荷図の影響も加わっている様に思われる。図-9において、Aが正ストリーマーで、A'がAによる誘導図形、Bが負ストリーマーで、B'がBによる誘導図形である。次に図-10の様に針対平板電極を用い、平板電極の一端を離してボイド放電を観察すると図-11の如くなる。図-11において、(a')が負ボイド電荷図、(a)が(a')の裏面の正電極側の正電荷図、(b')が正ボイド電荷図、(b)が(b')の裏面の負電極側の負電荷図である。これにはボイド電荷図にも、電極側の電荷図にも各々対応した誘導図形が観察される。すなわち(b)のBに対して(b')のB'、(a)のAに対して(a')のA'等である。

以上の事より、同極性の粉末が表、裏対応して分布する事が認められる。この様な場合には、同極性粉末分布の片面にのみ電荷が分布していると考えられる。これら表、裏に分布する電荷の影響を無視して電荷図からだけで電荷の性質を論ずることは出来ない。また誘導による電荷分布、従ってこの電荷を示す粉末分布がかなりあると思われるので、特に類似の分布をなす霞状図形との区別は難しくなる。それゆえ電荷図の観察には誘導図形の現象を合わせて検討することが大切である。

4. 結 言

ボイド内のボイド放電は空間電荷の影響が強く働き、負ストリーマーの伸展が正ストリーマーと同等の伸展を示し、電極形状によっては負ストリーマーも樹枝状伸展を示すが、これは従来、特に指摘されなかった現象で注目すべき現象である。

一般にボイド放電は各種の放電の重畳と考えられるが、本文では一個の放電を主として扱っている。複数個の放電発生の場合には、同極性ストリーマーにより各放電の沿面に沿う伸展が抑制されるが、一個の放電の場合は伸展が相当大になることも考慮しなければならない。

またボイド電荷図において、従来述べられている霞状図形^{19),20)}の他に誘導図形が別個に現われるらしいが、その区別が難しい。この誘導図形も本来の電界に歪を与えるから、放電現象においてストリーマー伸展に抑制、または増進作用等の影響を及ぼすものと考えられる。

最後に、本実験に協力された松尾正孝助手、加藤栄一技術員に深謝の意を表す。

(昭和41年4月日受理)

文 献

- 1) 藤・竹村：電試彙報, **16**, 702 (昭. 27).
- 2) 池田・堀井・森田：電試彙報, **18**, 422 (昭. 29).
- 3) 池田・堀井：電学誌, **75**, 111 (昭. 30).
- 4) 藤・竹村：電試彙報, **14**, 283 (昭. 25).
- 5) 竹村：電試彙報, **14**, 544 (昭. 25).
- 6) 橋本：日立評論, **38**, 1421 (昭. 31).
- 7) 堀井：電試彙報, **21**, 199 (昭. 32).
- 8) 谷口・角田：電学論文集, 87 (昭. 32).
- 9) 川井・増田：電学論文集, 111 (昭. 35).
- 10) 川井・増田：古河電工時報 (昭. 35).
- 11) 井関・倉橋・松下：電学論文集, 53 (昭. 36).
- 12) 磯貝・井上：電学論文集, 49 (昭. 39).
- 13) 竹村・杉田：電試彙報, **15**, 30 (昭. 26).
- 14) 池田・堀井：電試彙報, **18**, 265 (昭. 29).
- 15) 橋本：電学論文集, 89 (昭. 32).
- 16) 大重・安藤：電学論文集, 90 (昭. 38).
- 17) 大重・安藤：電学論文集, 48 (昭. 39).
- 18) 鳥山：電学誌, **48**, 1177 (昭. 3).
- 19) 鳥山・斎藤：電学誌, **63**, 3 (昭. 18).
- 20) 鳥山・斎藤：電学誌, **63**, 536 (昭. 18).
- 21) 鳥山・沢：電学誌, **52**, 408 (昭. 7).