

インパルス沿面放電の電荷図長さ (II)*

— N_2-O_2 の混合比と Gleitbüschel 領域の電荷図長さ —

保 莉 和 雄**

菅 原 宣 義**

(昭和58年4月30日受理)

The Dust Figure Length of Impulse Discharges (II)

— The relation between the gas mixing ratio of
 N_2 to O_2 and the dust figure length for
the gleitbüschel region —

by Kazuo HOKARI and Noriyoshi SUGAWARA

In the previous paper, we reported the influence of the N_2-O_2 gas mixture upon the dust figure length of impulse surface discharges for the polbüschel region.

In this paper, we develop the experiment for the gleitbüschel region and compare this region with the polbüschel region. As a result, we report

- 1) the difference of the characteristic curves of the dust figure length between the polbüschel region and the gleitbüschel region for each polarity and
- 2) the polarity effect of the gas mixture on the characteristic curves for the gleitbüschel region.

1. 緒 言

窒素、酸素の混合気体中で、アクリル板上に立てた針電極にインパルス電圧を印加した場合、混合比が電荷図長さに影響し、Polbüschel 領域では両極性とも電荷図長さは窒素 100% 中が最も大きく、酸素分圧の増加に伴い、電荷図長さが、負極性では急激に減少し、正極性ではゆるやかに減少して酸素分圧 100% に至る事を先に報告した¹⁾。

今回は、さらに電圧範囲を広め、混合比の電荷図長さに及ぼす影響が、Gleitbüschel 領域についても Polbüschel 領域と同様であるか調べた。実験の結果、正、負両極性とも酸素分圧の高い方が Gleitbüschel が出現しやすい様であり、又、Gleitbüschel の場合、Polbüschel と比較して電圧の増加に対する電荷図長さの伸び率が大きいため、電圧の増加とともに Polbüschel と Gleitbüschel の区別をしない場合の電荷図長さは、混合比に対して V 字状を示すらしい事

* 昭和57年10月電気四学会北海道支部連合大会および昭和58年4月電気学会全国大会にて一部発表

** 北見工業大学電気工学科

がわかったのでその一部について報告したい。

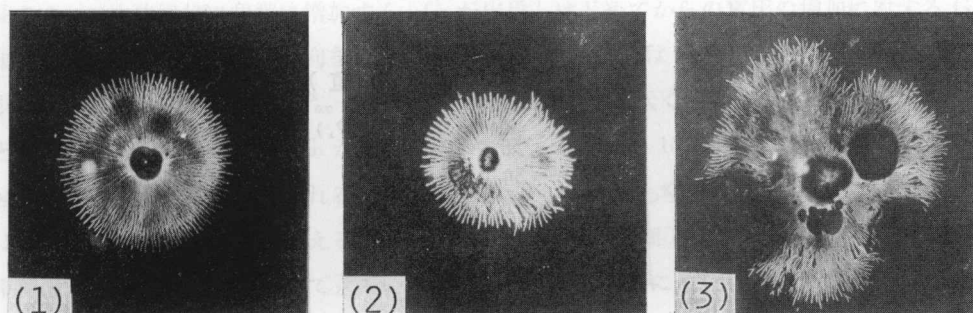
2. 実験方法

実験装置、方法は既報¹⁾と同様なので概略を示す。用いた針電極は140 mm×6 mmφで先端の曲率半径は0.5 mmである。試料板は3 mm×260 mm×260 mmの亚克力板で電圧印加毎に取り替え、洗浄、乾燥したもののうちから表面電位0.1 kV以内のものを使用した。背後電極は1 mm×280 mm×280 mmのアルミ板で、コロナ電流測定用の抵抗を通して接地しているが、フラッシュオーバーの危険のある場合には直接接地した。窒素と酸素の混合比は分圧で20%ずつ変え、空気中に相当する所は酸素21%で窒素79%とした。さらに、負極性においてPolbüschelの電荷図長さが急激に変化するような酸素分圧0~21%の間は5%ずつ変化させた。ガスの置換は、置換容器内を約0.4 Paまで排気した後、混合比の小さい方のガスを所定の分圧まで導入し、その後、混合比の大きい方のガスを導入して全圧は101.32 kPa一定とした。また各ガスは導入の際、吸湿管で除湿し、相対湿度は約0%とした。印加電圧は標準波形に近い衝撃電圧(1.1×36 μsec)で、正極性及び負極性について実験を行った。一つの測定点につき6回以上の実験を行いPolbüschelかGleitbüschelかは、電流波形を参考にして、主に電荷図によって判別した。

3. 実験結果と考察

3.1 PolbüschelとGleitbüschel

大気圧空気中における沿面放電の進展過程としては²⁾、電極に印加される電圧が、電極近傍の空気を電離するに足る電圧に達すると、電極周辺にグローコロナが現れる。さらに電圧を上昇するとPolbüschel(以後、P.で表す)と呼ばれる沿面コロナが現れ、それからさらに電圧が上昇するとGleitbüschel(以後、G.で表す)と呼ばれる沿面火花コロナに転移する。筆者等の研究においてそれぞれの状態に対応する電荷図形としては、沿面グローコロナはP.領域の実験において電圧の低い範囲で、P.の図形が得られなかった場合、電極の接触点に点状に混合粉末が付着する。しかし電極と試料板の摩擦によっても混合粉末が付着するため、電荷図形としては、定かではない。P.は、正極性では細い枝わかれを伴っているが比較的真直ぐなストリーマが中心から放射状に伸び、ほぼ円形となる。負極性では、周囲に花卉状に切り込みが入った円形で全体に粉末が付着する。G.の場合は、放電光写真等のリヒテンベルグ図形では、気中長ギャップ放電のリーダに似た樹枝状に伸展する光溝(Gleitstiel)が観測され、電荷図形では、この樹枝をおおう葉の様に光溝の部分からストリーマが伸展し、全体的に不規則な形となる。筆者等は電圧印加の際に電圧波形と同時にコロナ電流も観測している。電流波形と電荷図形の対応では、典型的なP.では単一のパルス電流波形が観測され、典型的なG.では数ケのパルス電流波形が観測される。この代表的なP.とG.の例を写真2の(1)、(3)に示す。典型的なP.やG.



(1) Polbüschel
電流パルス1ケ
 $V=36.2$ kV
 $DL=42$ mm

(2) Gleitbüschel
電流パルス2ケ
 $V=32.2$ kV
 $DL=41.5$ mm

(3) Gleitbüschel
電流パルス6ケ
 $V=36.2$ kV
 $DL=77$ mm

(V : 印加電圧, DL : 電荷図長さ)

写真1 空気中の Polbüschel と Gleitbüschel (正極性の場合)

は以上の様な特徴を有し明瞭に識別されるが、G. の出現しはじめの様な電圧では、P. の電荷図形の一部が突き出た様な図形や、P. が二つ重なって楕円形になった様な図形が得られる場合があり、この時電流波形は2ケのパルスが観測される場合が多い。この電流波形が2ケの時の代表的な電荷図形を写真1の(2)に示す。前述の典型的な例から推察すると沿面放電の進展過程は、まず電流波形の最初のパルスでP. が形成され、それ自身の残留電荷による電極付近の電界の緩和作用のためにP. の進展が停止し、その後電圧の上昇により再び電極近傍が電離可能な状態となると、P. の残留電荷の影響を受けながら再び電極からストリーマがP. を越えて進展してG. を形成し、2発目以降の電流波形として観測されるものと思われる。この様な事から筆者等は、写真1の(2)に見られる様なP. の図形が乱れ、電流波形が2ケ以上観測される場合にはG. とした。

3.2 窒素と酸素の混合比変化と電荷図長さ

3.2.1 負極性の場合

負極性の各印加電圧における混合比対電荷図長さの関係を図1に示す。図中に37.8 kVの場合のみ●印でP. を示してある。他の記号は各電圧のG. で、出現しはじめ付近では出現率が小さいため1~数ケの平均値である。又、37.8 kVの場合のみバラツキの範囲を示してある。以後、混合比は酸素分圧比 P_{Ox} で表し、 $P_{Ox}=(\text{酸素分圧}/\text{全圧})\times 100\%$ とする。負極性のG. は比較的低い電圧から $P_{Ox}=100\%$ で出現しはじめ、電圧の増加とともに、順次、 P_{Ox} の低い方でも出現しはじめる。混合比の変化に対する電荷図長さの変化は顕著であり、本実験のG. の得られている電圧範囲では P_{Ox} の増加に対しほぼ直線的にG. の電荷図長さが増大する様である。次にこれらのデータを混合比をパラメータとして電荷図長さの対電圧特性をみてみる。図2にこの関係を示す。図2中で●印は $P_{Ox}=100\%$ の時のP. を示す。その他の記号は各混合比におけるG. の電荷図長さの平均値を示す。 $P_{Ox}=100\%$ のP. に見られる様に、P. の電荷図長さは電圧の増加に対してわずかず直線的に増加するのに対し、G. の電荷図

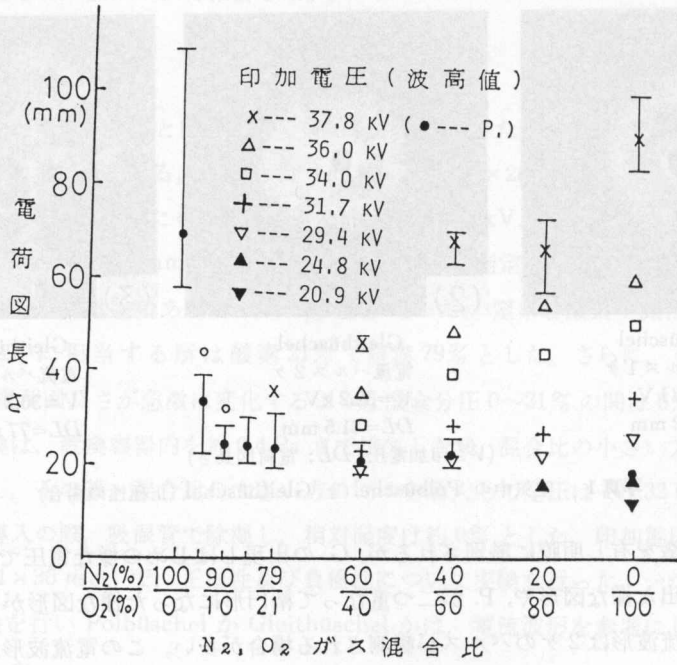


図1 窒素-酸素ガス混合比と電荷図長さの関係 (負極性)

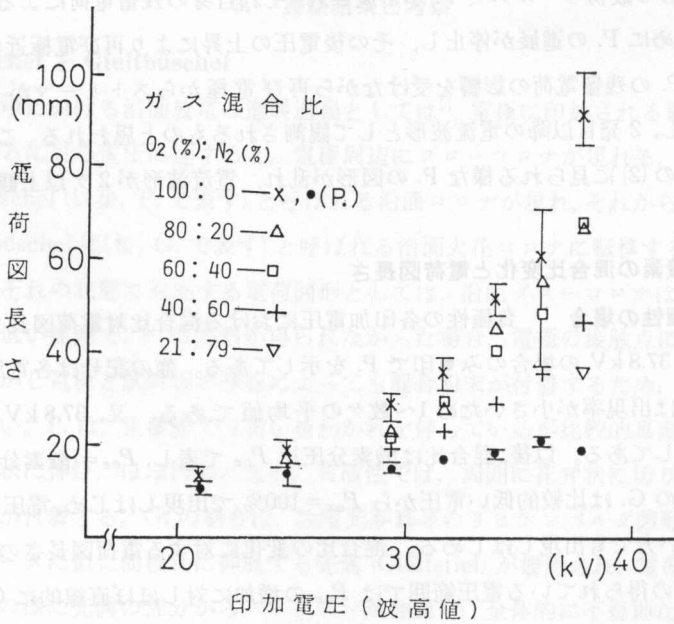


図2 印加電圧と電荷図長さの関係 (負極性)

長さは、二次曲線状に急激に増加する。G. が出現しはじめてからの電圧の増加に対する G. の曲線は各混合比とも同様の傾向を示し、混合比の変化の影響は G. の特性曲線よりも、G. の最小出現電圧に大きく影響し、 P_{ox} が大きい程最小出現電圧は低くなる様である。又、これまでのところ、 $P_{ox}=15\%$ 以下では G. が出現していない。 $P_{ox}=15, 10, 5\%$ では電圧をさらに増加させる事で出現する事が考えられる。しかし $P_{ox}=0\%$ すなわち窒素 100% の場合、電荷図長さは非常に大きく 100 mm を越えるものもあり、試料板の最短距離にかなり近づいてきている。電荷図形も真円ではなく乱れてきているが電圧の増加とともに連続的に変化してきており³⁾、酸素を含む場合の様に明瞭に区別できない。又、電流波形も単一パルスが観測される。この電荷図の乱れは、電荷図長さが大きくなるにつれ背後電極に近づき、試料板が正方形のためその周辺部では電界が異なるため、その影響を受けている事も考えられる。又、窒素は酸素の様な電子附着性を持たないため、電極から放出された電子は電極近傍で移動能力の小さな負イオン

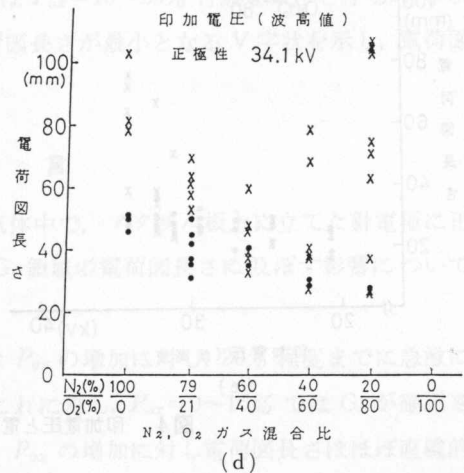
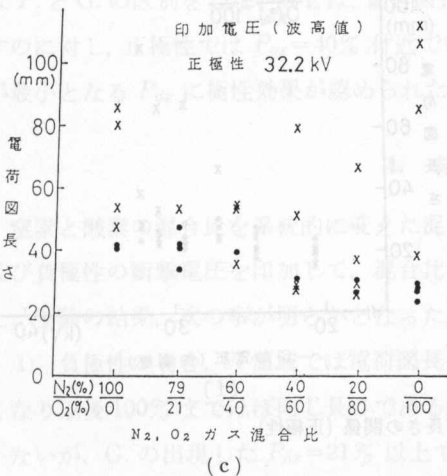
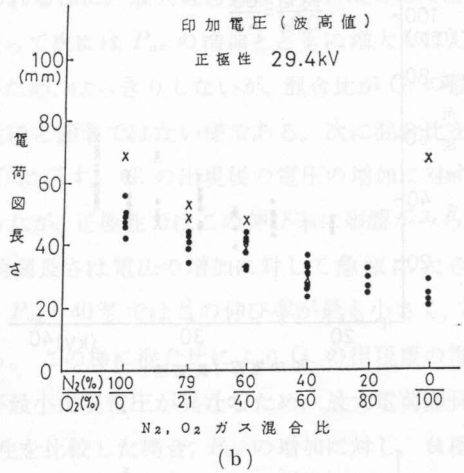
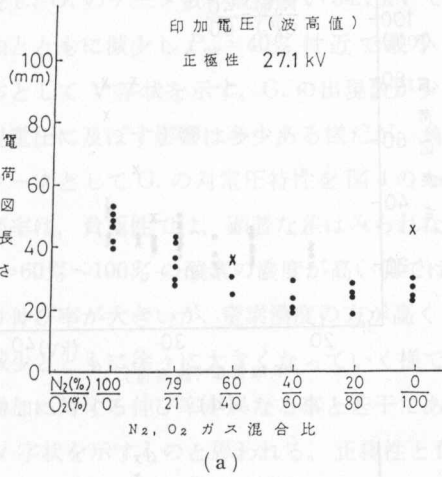


図3 窒素-酸素ガス混合比と電荷図長さの関係 (正極性)

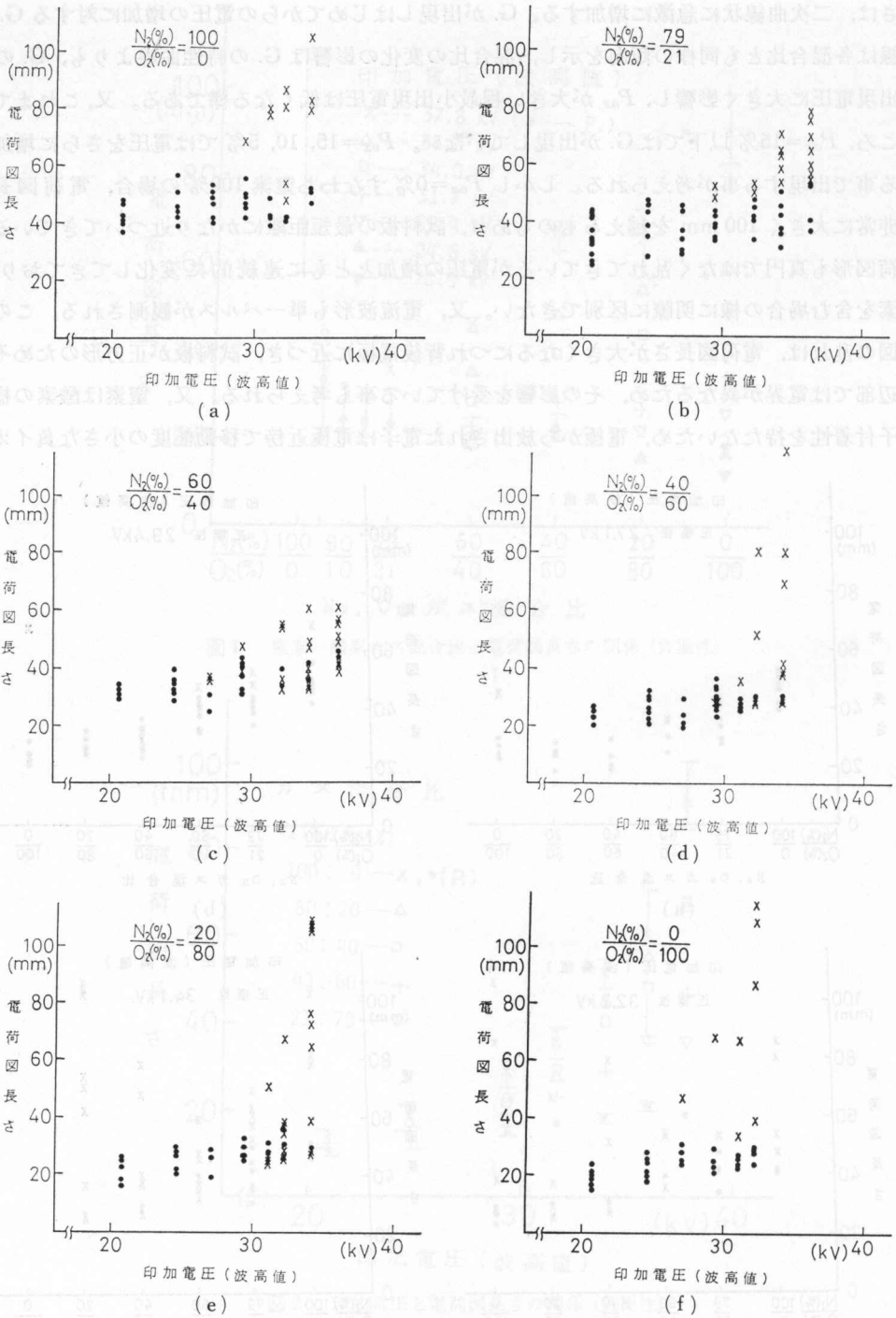


図4 印加電圧と電荷図長さの関係(正極性)

となり難く、電極近傍での電界緩和作用が小さい事と電子の移動能力が大きい事等を考えると、窒素中の沿面放電は酸素を含む場合の電荷図に見られる P. と G. という明瞭な区別を経る事なく連続的に進展し、フラッシュオーバーに至る事も考えられる。さらに、電荷図法が、電圧印加後の残留電荷の分布を記録するものである事を考えると、移動能力の大きな電子は放電終了後、印加電圧の波尾で電離を伴わずに半径方向に拡散している事も考えられるため詳細な検討は今後の課題としたい。

3.2.2 正極性の場合 正極性の混合比対電荷図長さの関係を図 3(a)~(d) に示す。正極性では負極性と比べて G. の出現率が小さくデータ数が少ない事と、バラツキが大きいため平均値はとらず、生データをそのままプロットした。×印は G., ●印は P. を示す。正極性では、27 kV 付近で G. が出現しはじめ、電圧の増加とともに出現範囲が広がり、G. の電荷図長さは急激に大きくなる。混合比の影響は最大電荷図長さに顕著に見られ、すべての混合比に G. が出現し、G. のデータ数の最も多い 34.1 kV で見られる様に、最大電荷図長さは、はじめ P_{O_2} の増加とともに減少し $P_{O_2}=40\%$ 付近で最小となって次には P_{O_2} の増加とともに増大しはじめ全体として V 字状を示す。G. の出現数が少ないため、はっきりしないが、混合比が G. の最小出現電圧に及ぼす影響は多少ある様だが、負極性ほど顕著ではない様である。次に混合比をパラメータとして G. の対電圧特性を図 4 の (a)~(f) に示す。G. の出現後の電圧の増加に対する伸び率は、負極性では、顕著な差はみられなかったが、正極性ではこの伸び率に影響がみられ、 $P_{O_2}=60\% \sim 100\%$ の酸素の濃度が高い側では電荷図長さは電圧の増加に対して急激に大きくなり伸び率が大きい、窒素濃度の方が高くなる $P_{O_2}=40\%$ ではこの伸び率が最も小さく、 P_{O_2} の減少とともに徐々に大きくなっていく様である。この様に混合比により G. の出現後の電圧の増加に対する伸び率が異なる事と若干であるが最小出現電圧が異なるため、最大電荷図長さが V 字状を示すものと思われる。正極性と負極性を比較した場合、 P_{O_2} の増加に対し、負極性では P. と G. の区別をしない場合は、電荷図長さは $P_{O_2}=10 \sim 20\%$ 付近を最小とする V 字状を示すのに対し、正極性では $P_{O_2}=40\%$ 付近で電荷図長さが最小となる V 字状を示し、電荷図長さが最小となる P_{O_2} に極性効果が認められた。

4. 結 言

窒素と酸素の混合比を系統的に変えた混合気体中で、アクリル板上に立てた針電極に正極性及び負極性の衝撃電圧を印加して、混合比が G. 領域の電荷図長さに及ぼす影響について調べた。実験の結果、次の事が明らかとなった。

1) 負極性の場合、P. 領域では電荷図長さは P_{O_2} の増加に対し、20% 程度までに急激に小さくなり以後 100% までほぼ同じ長さである。これに対し、 $P_{O_2}=0 \sim 15\%$ では G. が確認されていないが、G. の出現した $P_{O_2}=21\%$ 以上では、 P_{O_2} の増加に対し電荷図長さはほぼ直線的に増大する様である。

2) 正極性の場合, P. 領域では電荷図長さは P_{ox} の増加とともに漸減するが, G. 領域では $P_{ox}=40\%$ 付近まで電荷図長さが減少しその後増大して, 全体として V 字状を示し, その傾向は最大電荷図長さによりはっきり認められる。

3) P. と G. を区別しない場合の最大電荷図長さは負極性, 正極性とも混合比変化に対して V 字状を示し, 最小値を示す混合比は, 負極性では $P_{ox}=20\%$ 付近, 正極性では 40% 付近となり, 極性効果がみられる様だ。

以上の様な結果から, 空気の沿面耐圧を考えた場合, 空気の P_{ox} は約 21% であり, 両極性とも比較的耐圧の高い部分に位置すると思われる。近年, 高圧酸素治療室や, 潜水作業船等, 大気圧空気中とは異なった気圧, 組成の気体中で電気機器が用いられる機会が増えつつある様だが, 火災や誤動作の防止のために, この様な機器の絶縁設計には十分な注意が必要と思われる。

本実験の範囲では沿面フラッシュオーバは生じていないが, 沿面耐圧を評価するうえで沿面フラッシュオーバ電圧を求める事は重要である。G. の電荷図長さが試料板の沿面距離に達した時に, 沿面フラッシュとオーバが生ずるとする仮定のもとに沿面フラッシュオーバ電圧は, 絶縁物の固有容量と G. の電荷図長さを与える特性式から求められる^{2,4)}。窒素と酸素の混合比を変化した場合の沿面フラッシュオーバ電圧は, 前述の結果から, 負極性では $P_{ox}=20\%$ 付近, 正極性では $P_{ox}=40\%$ 付近を最大とする逆 V 字状になると推測されるが, 今後, 実験を行って検証してゆきたい。

終りに, 本実験に協力された本学卒業生, 村上卓也君と本行忠彦君に感謝する。

参 考 文 献

- 1) 保莉・菅原: 北見工大研報, Vol. 14, No. 1, p. 89 (1982).
- 2) 放電ハンドブック, p. 222, 電気学会.
- 3) 保莉・菅原: 昭和 54 年度電気四学会北海道支部連合大会講演論文集, No. 109.
- 4) 大木: 電気学会雑誌, Vol. 76, No. 808, p. 28 (1956).