

負極性直流沿面放電の電流*

菅原宣義**

(昭和56年4月30日受理)

Current of Negative DC Surface Discharges

by Noriyoshi SUGAWARA

Measures of voltage and current were made at the same time using an electromagnetic oscillograph. Surface discharges with and without a backing electrode using the needle-to-blade of a razor gap were taken. The experiments were performed in dry air of close to 0% relative humidity at 101.32 kPa pressure. Acryl resin was used in the sample plates as the electaical insulator.

In the results, the current pulse of the discharge without a backing electrode was of a high frequency and the current pulse of the discharge with a backing electrode was of a scattered nature. It was confirmed by the appearance of the frequency of the current pulse that the life time of charges accumulated on the insulator in the discharge using a backing electrode was longer than when the discharge was produced without a backing electrode.

1. 緒 言

今まで行なって来た電圧—電流特性および電流一周波数特性を求める実験^{1,2)}より、気中放電を基準にした百分率で印加電界緩和作用を定量化して求め、背後電極の有無によりこの緩和作用がどのように違うかを比較・検討した³⁾。その後、この緩和作用を逆電圧⁴⁾として表わし、背後電極の有無による大小関係を調べた所、気中放電を伴う寸前の電圧において、背後電極付きの逆電圧は背後電極なしのものよりもギャップ長に比例して大きくなり、印加電界緩和作用が大きくなる事が判った。このことは背後電極付きの蓄積電荷量が背後電極なしのものよりも多い事を示す。この蓄積電荷を形成する電荷を供給する電流が電圧変化に伴ってどのような状態であるのかを電圧と同時に観測するために電磁オシログラフを使用した。試料板はアクリル板を使用し、20 mm のギャップだけについて、背後電極なしと背後電極付きについて測定し、定性的な検討を行なった。実験雰囲気は、気圧が 101.32 kPa 一定で、相対湿度が約 0% の乾燥空気である。

* 昭和55年4月電気学会全国大会および昭和55年9月電気四学会北海道支部連合大会にて一部発表

** 北見工業大学電気工学科

2. 実験方法

実験装置の回路構成を図1に示す。印加電圧は、電磁オシログラフで最初に電流パルスが観測された電圧の約8割程度の低い電圧まで毎秒約500 V/sで昇圧し、その後昇圧幅約450 Vずつゆっくりステップ状に上げ、各ステップ毎に約三分間定電圧を印加した。印加電圧はデジタル電圧計の検出抵抗の電圧降下分として二心のシールド線で直流アンプへ入力し、電流は5.97 k Ω の検出抵抗の電圧降下分として検出し、これも二心のシールド線で直流アンプへ入力し、増幅後電磁オシログラフで観測した。直流アンプは三栄測器の6L5で、その周波数特性は出力によりDCから2 kHzまたは20 kHzまで変る。電磁オシログラフは横河電機のフォトコーダで直記式であり、使用した振動子の感度一様な($\pm 5\%$ 以内)周波数上限は1,000 Hzである。

実験容器内は、13.33 Paまで真空にした後に低温除湿した空気を二段のシリカゲルと一段の五酸化リンを通して送気し、気圧を101.32 kPa一定とした。この時の実験容器内の相対湿度は約0%である。

電極および電極の配置とこれらの処理方法などは前報³⁾と同じである。ギャップは20 mmである。放電状態は背後電極なしと背後電極付きの二通りである。背後電極付きの場合は、試料板と背後電極との接触性を良くするために、試料板の片面にスズを真空蒸着したものを使用した。

試料板は透明なアクリル板(120×120 mm、厚さ3 mm)を使用し、表面電荷の除去処理後乾燥したものを、実験毎に静電々位計の測定で ± 100 V以内のものを使用した。

実験方法の詳細に関しては前報³⁾を参照のこと。

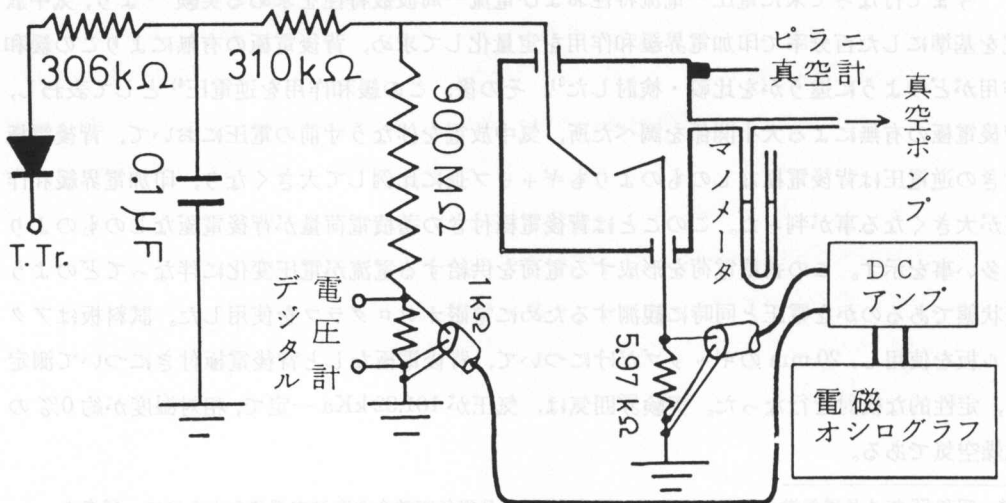
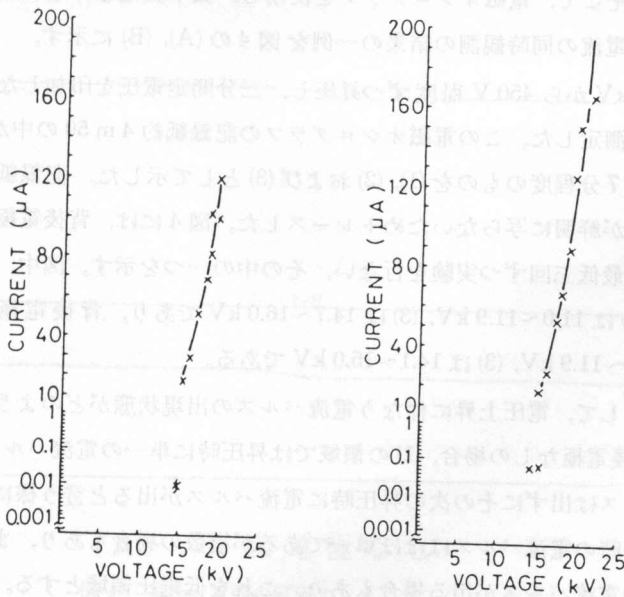


図1 実験回路の構成図

3. 実験結果および考察

図2と図3には、ギャップ長20mmの背後電極の有無による電圧—電流特性および電流—周波数特性をそれぞれ示す。これら図2と図3はそれぞれ同一の実験結果を図示したものであるから電圧—電流特性と電流—周波数特性は対応している。これら特性曲線のギャップ長による変化、印加電界緩和作用などの詳細に関しては前報³⁾に示した。図2の実線の様に、電圧—電流特性曲線が求まる電圧領域では図3の実線の様な電流—周波数特性曲線も求まる。この電圧—電流特性曲線は、同じギャップ長の気中放電の特性曲線と相似であり、また電流—周波数特性曲線は気中放電のそれとほぼ同じである。このことから、 $1\mu\text{A}$ 以上の電流が流れるような電圧領域では試料表面に蓄積した電荷の影響を受けながら気中放電状態となっている³⁾ことが判った。この蓄積電荷は、特性曲線が求まる以前の低い電圧で流れる微少電流により形成されるものと思われる。図2で、特性曲線の近傍のプロット点は $0.01\mu\text{A}$ オーダの微少電流である。これらのプロットに対応する電流—周波数特性のプロット点を図3に見出すことができる。背後電極なしでは3.5 Hz、背後電極付きでは40 Hzと70 Hzであり、気中放電を伴う場合の周波数よりも極めて低い。

図2のプロット点に現われた電流だけで全ての蓄積電荷は形成されず、もっと低い電圧から微少電流が流れて負電荷を形成し蓄積するものと思われる。これら低い電圧で現われる電流は、電圧—電流特性曲線を求めるために使用した可動コイル形直流電流計では読めず、特に電



(A) 背後電極なし (B) 背後電極付き

図2 電圧—電流特性

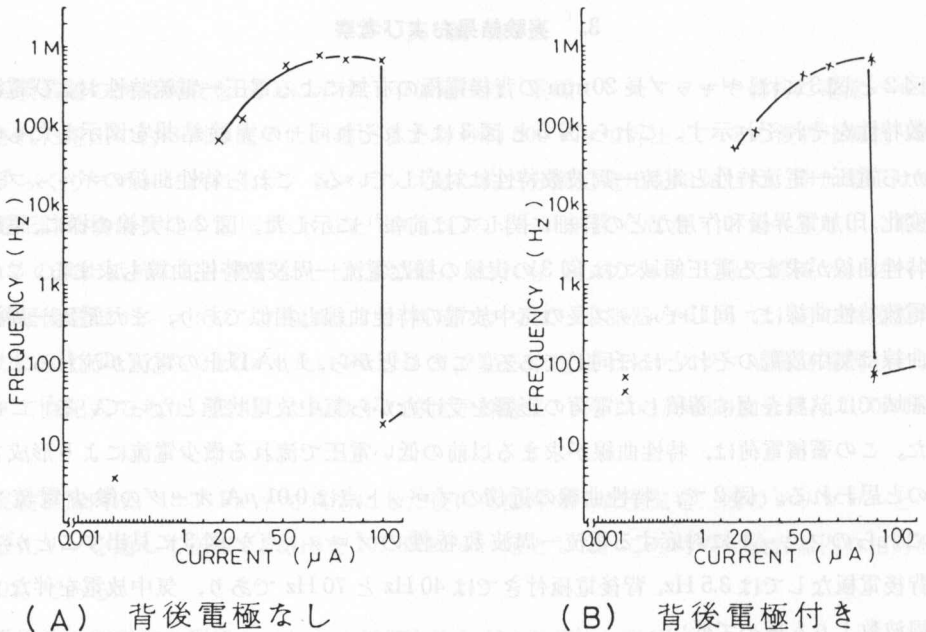


図3 電流—周波数特性

流がパルス状でその密度が低い場合は針が振れない。従って、パルス状電流の出現の有無が判り、電圧も同時に記録でき、さらに長時間に渡り連続して測定できるのは電磁オシログラフによる観測である。そこで、電磁オシログラフを使用し、気中放電を伴う以前の低い電圧領域で行なった電圧と電流の同時観測の結果の一例を図4の(A), (B)に示す。

図4は、約2kVから450V程度ずつ昇圧し、三分間定電圧を印加しながら気中放電を伴うまで連続して測定した。この電磁オシログラフの記録紙約4m50の中から、特徴的な電流出現パターンの約7分程度のものを(1), (2)および(3)として示した。記録紙を写真に写しても一本一本のパルスが鮮明に写らないためトレースした。図4には、背後電極なしと背後電極付きに関しそれぞれ最低三回ずつ実験を行ない、その中の一つを示す。図中、背後電極なしの(1)は3.8~4.7kV, (2)は11.0~11.9kV, (3)は14.7~16.0kVであり、背後電極付きの(1)は3.8~4.7kV, (2)は11.0~11.9kV, (3)は14.1~15.0kVである。

図4を参考にして、電圧上昇に伴う電流パルスの出現状態がどのように変化するかを見つめる。(A)の背後電極なしの場合、(1)の領域では昇圧時に単一の電流パルスが出現し、次の昇圧時には電流パルスは出ずにその次の昇圧時に電流パルスが出るという様にほぼ隔昇圧時にパルスが出る。昇圧時の電流パルスはほぼ単一であるが複数の場合もあり、また定電圧印加時の三分間にも単一の電流パルスが出る場合もあり、これを低電圧領域とする。さらに電圧を上げると毎昇圧時に複数個の電流パルスが出ると共に定電圧印加時の三分間にも電流パルスが出る中電圧領域を過ぎ、さらに電圧を上げると(2)に示す高電圧領域の初期となる。ここでは昇圧時

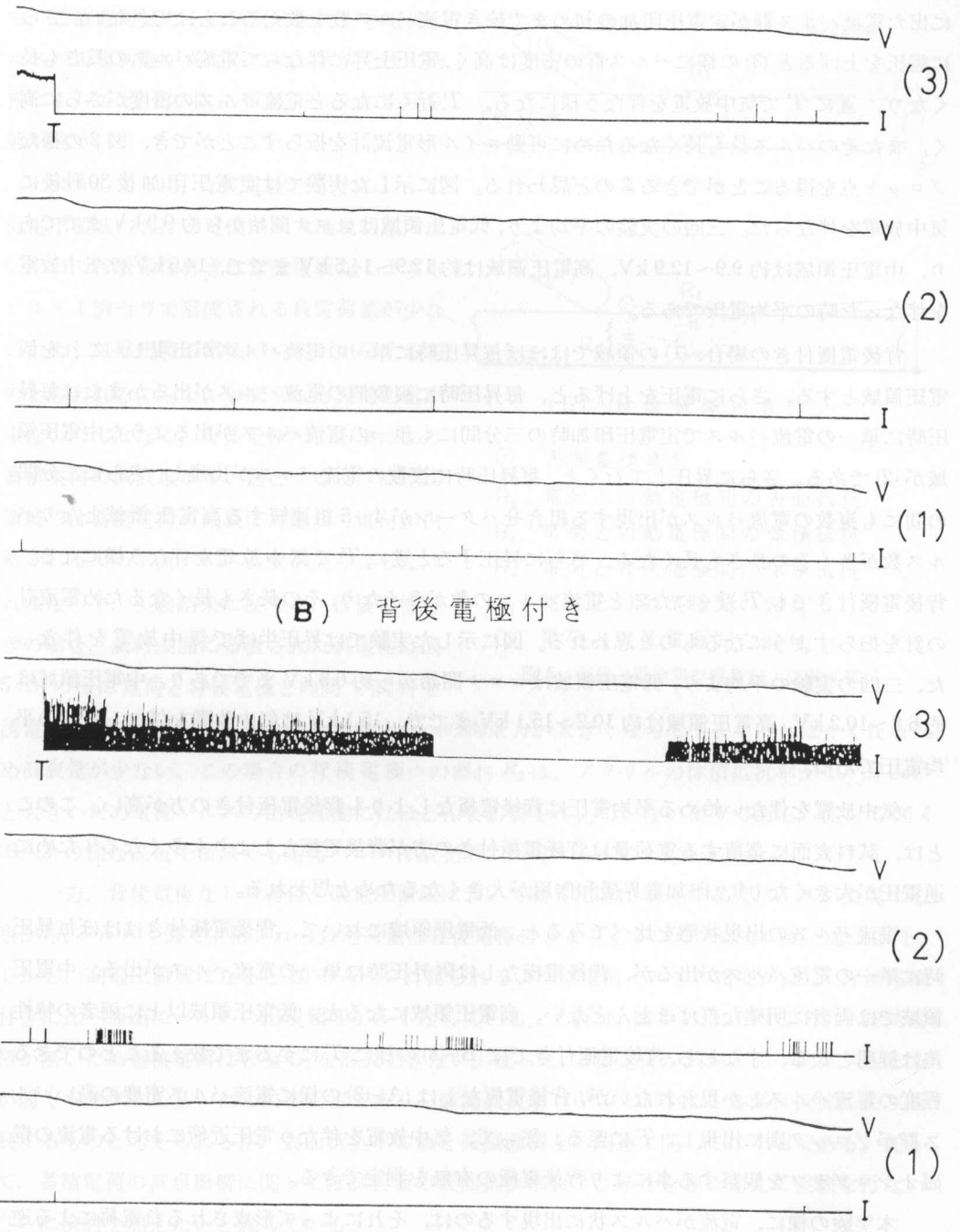


図4 電圧と電流の電磁オシログラフのトレース

に出た電流パルス群が定電圧印加の初めまで続き電流パルス数を数えることはできない。さらに電圧を上げると(3)の様にパルス群の密度は高く、電圧上昇に伴なって電流パルスの長さも長くなり、遂に T で気中放電を伴う様になる。 T 近くになると電流パルスの密度がさらに高く、またそのパルス長も長くなるために可動コイル形電流計を振らすことができ、図2の様なプロット点を得ることができるものと思われる。図に示した実験では定電圧印加後30秒後に気中放電を伴った。三回の実験の平均より、低電圧領域はコロナ開始から約9.9 kV までであり、中電圧領域は約9.9~12.9 kV、高電圧領域は約12.9~14.5 kV までで、14.5 kV は気中放電を伴った時の平均電圧である。

背後電極付きの場合、(1)の領域ではほぼ毎昇圧時に単一の電流パルスが出現し、これを低電圧領域とする。さらに電圧を上げると、毎昇圧時に複数の電流パルスが出るかまたは毎昇圧時に単一の電流パルスで定電圧印加時の三分間にも単一の電流パルスが出るような中電圧領域が(2)である。さらに昇圧して行くと、毎昇圧時に複数の電流パルスが出現し、さらに三分間の間にも複数の電流パルスが出現する組合せパターンが4~5組連続する高電圧領域となりパルス数が多くその長さも長くなる。さらに昇圧すると遂に T で気中放電を伴う様になる。背後電極付きでも T 近くになると電流パルスの数が多くなり、その長さも長くなるため電流計の針を振らすようになるものと思われる。図に示した実験では昇圧半ばで気中放電を伴った。三回の実験の平均より、低電圧領域はコロナ開始から約6.8 kV までであり、中電圧領域は約6.8~10.2 kV、高電圧領域は約10.2~15.1 kV までで、15.1 kV は気中放電を伴った時の平均電圧である。

気中放電を伴ない始める平均電圧は背後電極なしよりも背後電極付きの方が高い。このことは、試料表面に蓄積する電荷量は背後電極付きの方が背後電極なしよりも多くなる³⁾ ために逆電圧が大きくなり⁴⁾、印加電界緩和作用が大きくなるためと思われる。

電流パルスの出現状態を比べてみると、低電圧領域において、背後電極付きはほぼ毎昇圧時に単一の電流パルスが出るが、背後電極なしは隔昇圧時に単一の電流パルスが出る。中電圧領域では両者に明確な差はほとんどない。高電圧領域になると、低電圧領域以上に両者の特性差は鮮明となる。すなわち、背後電極付きでは(B)-(3)の様に T に至るまで数えることのできる程度の電流パルスしか現われないが、背後電極なしは(A)-(3)の様に電流パルス密度の高いパルス群がブロック別に出現し、 T に至る。従って、気中放電を伴う電圧近傍における電流の電磁オシログラフを観察する事により背後電極の有無を判定できる。

本実験の様に、電流がパルス状に出現するのは、それによって形成される負電荷による逆電界によって印加電界が弱められ、針先端からの電子放出が抑制されるためである。この後、電流パルスが出現するためには、蓄積電荷の減衰により印加電界緩和作用が弱まるか、又は印加電圧を高くするかして針先端の電界強度が電子放出可能な程度に高くなると新しい電流パルスが出る。これに伴ない、針先端前方にはさらに負電荷を蓄積して印加電界を緩和する。従っ

て、蓄積電荷量とその減衰特性により電流パルスの出現状態が異なるため、背後電極の有無によって図4の様に電流パルスの出現状態が違ふ。

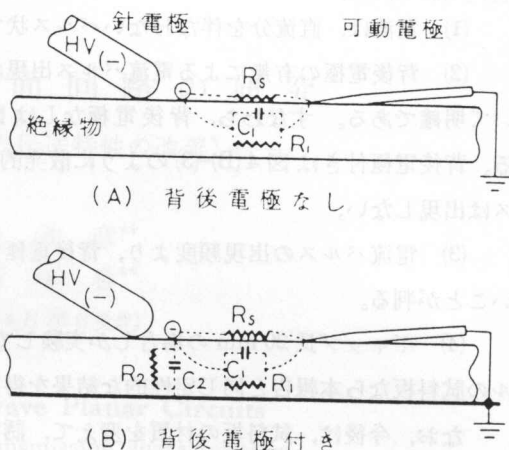
図4のように、背後電極の有無によって、低電圧領域における電流パルス出現状態の違いから、背後電極付きは背後電極なしよりもパルス1個当りで形成される負電荷量が少ないため、毎昇圧時に電流パルスが出現するものと思われる。もし、形成される負電荷量が少ないのではなく、背後電極が在る事により蓄積電荷の減衰量が多い為とすると、高電圧領域では蓄積電荷の減衰に対応して電荷が供給されるため電流パルス密度が高くならなければならない、実験結果に反する。背後電極付きの場合、試料表面に蓄積された負電荷は図5(B)の様に電荷と背後電極との間で試料を

誘電体として容量を形成するため試料表面への拘束力が大きくなってドリフトしにくくなるため減衰量が少ない。この場合の背後電極への漏れ R_2 は、アクリルの体積抵抗率が $10^{15} \Omega \text{cm}^5$)と大きい為電流パルスの出現頻度にはほとんど影響を与えていないようである。従って図4(B)-(3)の様な高電圧領域でも電流パルスは散発的に出現するものと思われる。

一方、背後電極なしの場合、低電圧領域において隔昇圧時に単一の電流パルスが出現する事から、パルス1個で供給される負電荷量は背後電極付きよりも多いのではないかとと思われる。しかし、高電圧領域になると図4(A)-(3)に見られるように電流パルスの密度が高く、背後電極付きに比べ極端にパルスの出現頻度が多くなっている。これは、図5(A)に示すように、背後電極が無い為蓄積電荷は容量 C_2 を形成できない。従って、蓄積電荷が試料表面へ拘束される力が弱くドリフトし易いため不安定であり、表面抵抗率($10^{16} \Omega \text{cm}^5$)による漏れ抵抗により減衰するものと考えられるが、表面抵抗率の値と減衰機構との関連に関しては不明である。従って、蓄積電荷の減衰機構に関しては試料板の表面抵抗率および厚さを種々変えて実験を行ないさらに検討を加えたいと思っている。

4. 結 言

電磁オシログラフを使用して、気中放電を伴う以前の沿面放電状態における電圧と電流の同時観測を行なった結果、次の様な事が定性的に判った。



⊖ : 表面蓄積電荷

R_s : 電荷と可動電極間の表面抵抗

R_1 : 電荷と可動電極間の体積抵抗

R_2 : 電荷と背後電極間の体積抵抗

C_1 : 電荷と可動電極間の容量

C_2 : 電荷と背後電極間の容量

図5 電荷と電極間の容量および漏れ抵抗

(1) 電流は、直流分を伴わないパルス状であり、低電圧領域では昇圧時に出現する。

(2) 背後電極の有無による電流パルス出現状態の違いは、気中放電を伴う電圧近傍において明確である。すなわち、背後電極なしは図4(A)-(3)のように電流パルスの密度が高くなる。背後電極付きは図4(B)-(3)のように散発的に出現し、数える事が可能な程度しか電流パルスは出現しない。

(3) 電流パルスの出現頻度より、背後電極付きの蓄積電荷の寿命は背後電極なしよりも長いことが判る。

(4) ギャップ長 20 mm の場合しか実験していないが、他のギャップ長についても、アクリルの試料板なら本報告と同じ定性的な結果を得るであろう。

なお、今後は、試料板の材質を変えて、誘電率、体積抵抗率、表面抵抗率が電流パルスの出現状態にどのように影響するかを調べる予定である。

最後に、本実験の実行に協力された本学卒研生の大場聡、六條昌一の両君に感謝する。

文 献

- 1) 菅原, 保莉: S 55 年電気学会全国大会, No. 117.
- 2) 菅原, 保莉: S 55 年電気四学会北海道支部連合大会, No. 81.
- 3) 菅原, 保莉: 北見工業大学研究報告, 第 12 巻, 2 号, 1981.
- 4) 菅原, 保莉: S 56 年電気学会全国大会, No. 125.
- 5) 鳳 誠三郎: 電気材料, p. 190, 1967, 共立出版.