

衝撃電圧による油中放電の研究 (I)

遠 山 尚 武
 中 村 文 彦
 松 尾 寿 夫
 大 重 力

Propagation Mechanism of Impulse Breakdown in Oil. (1)

Naotake TOYAMA
 Fumihiko NAKAMURA
 Toshio MATSUO
 Tsuyoshi OSHIGE

The breakdown of discharge in oil was investigated by using Lichtenberg figure technique when positive and negative impulse voltage ($1 \times 40 \mu\text{s}$) was applied to the point-to-plane gap, and many clear Lichtenberg figure and current pulse oscillograms were obtained.

In consequence, the length and average tip velocity of positive and negative streamer, glow and leader were measured.

As a result of analyzing these data, it was found that the breakdown process in oil was markedly different between positive and negative breakdown.

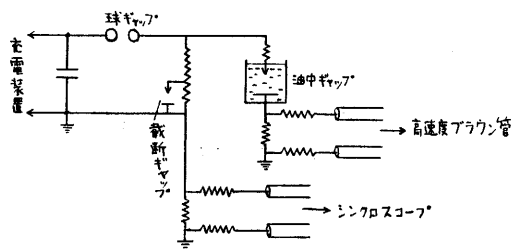
1. 緒 言

元来、油中放電における閃絡機構に関しては、気中放電に比べて実験上の困難さと、閃絡に影響を与える因子の複雑さのため、研究例も少なく、十分理解されていない。又一般的な油中閃絡の機構については以前より諸説があるが⁽¹⁾⁽²⁾ 衝撃電圧を印加した場合には気中におけると同様、streamer 放電が始まることが確認されている。しかし Tetzner氏によると、この Primary streamer は非常にゆっくりした速度で進展していると云われているが、⁽³⁾ 一方、著者の一人が光電子増倍管によって測定した短間隙における油中 streamer の進展速度は、 10^9cm/sec にも達し、このことから streamer が step を踏んで階段状に生成伸長するため、Tetzner 氏の測定は見かけの進展速度であるとの議論もあって、⁽⁴⁾ 詳細は未だ明らかでない。そこで筆者等は、この速度の遅い primary streamer が、雷放電における stepped leader と同様、step を踏んで対向電極に達しているものと予想し、これを確認すべく一

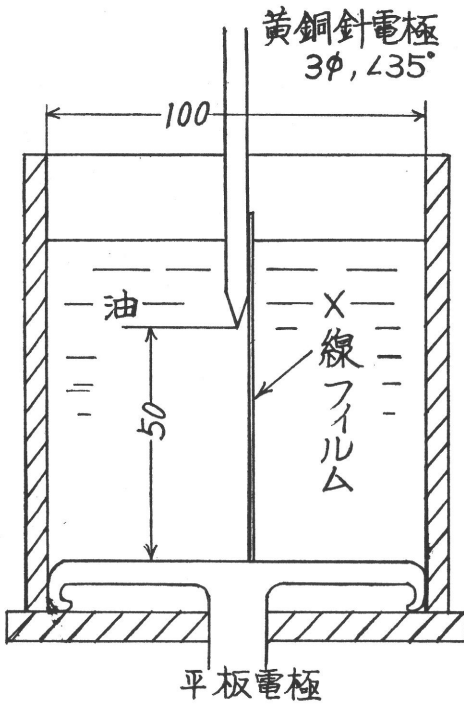
連の実験を試みているがその第一段階として、streamer 進展の様子を示す Lichtenberg figure の写真撮影に成功したので、その結果をここに報告する。

2. 実験方法

絶縁油中に配置された、間隙長 50mm の針対平板電極に、正及び負極性(標準波)の50%閃絡電圧(正の場合145kV, 負の場合185kV), 及びその付近の波高値を有する種々の長さの截断波衝撃電圧を印加し、第2図に示す様に、針電極の軸

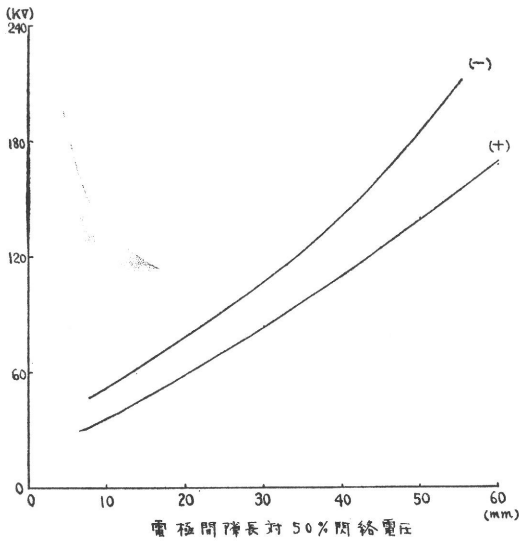


実験装置結線図



電極及びフィルム配置図

第 2 図



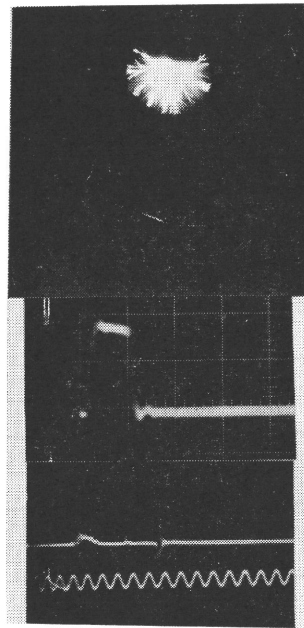
第 3 図

に沿って挿入された X線フィルム上の streamer の伸びを観測し、同時に高速度ブラウン管オシロスコープ、及びシンクロスコープでその時の電流波形、電圧波形を観測する。得られた Lichtenberg figure 上の streamer の伸びと截断電圧波形より、streamer の進展速度を解析した。尚、第 1 図はこの実験における装置の結線を示す概略図であり、第 3 図は油中の電極間隙長対 50% 閃絡電圧の関係を示したものである。

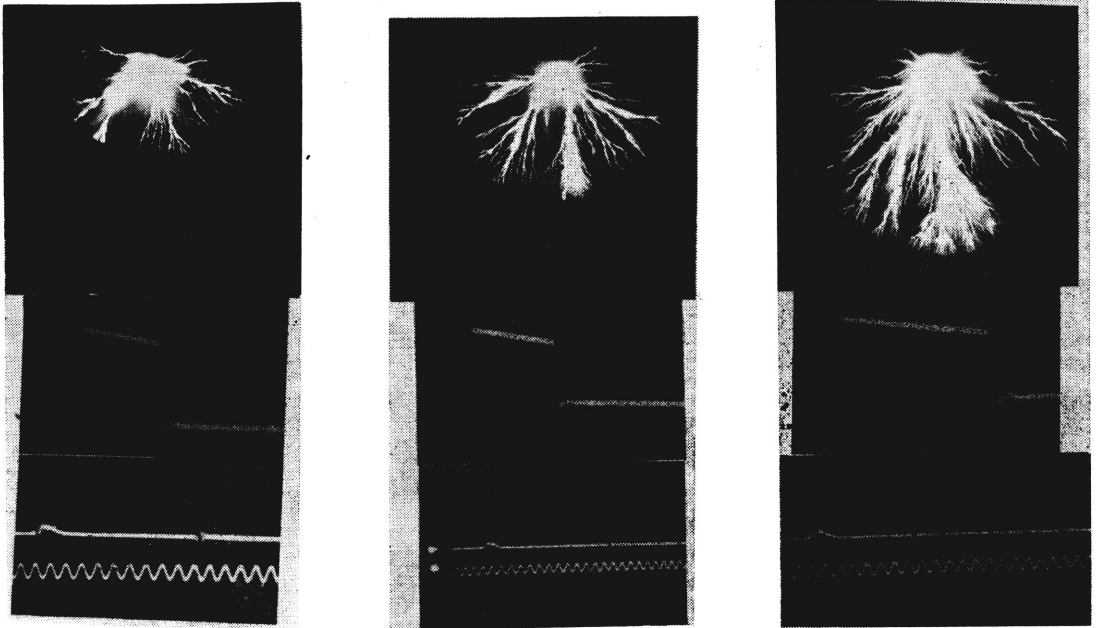
3. 実験結果

1) 針電極に正の衝撃電圧を印加した場合

第 4 図は 194kV (50%閃絡電圧を U_{50} とすると $1.33U_{50}$) の電圧を印加し、截断時間を変化して測定した Lichtenberg figure を示す。同図には Lichtenberg figure に対応する截断電圧波形、放電々流波形をも示す。



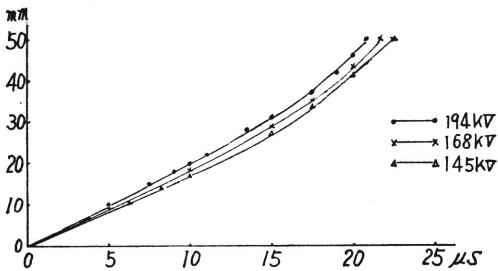
(a) 截断時間：5 μ s
Streamer の伸び：10mm



(b) 截断時間：10 μ s
Streamer の伸び：20mm
(c) 截断時間：13.5 μ s
Streamer の伸び：28mm
(d) 截断時間：18.5 μ s
Streamer の伸び：42mm

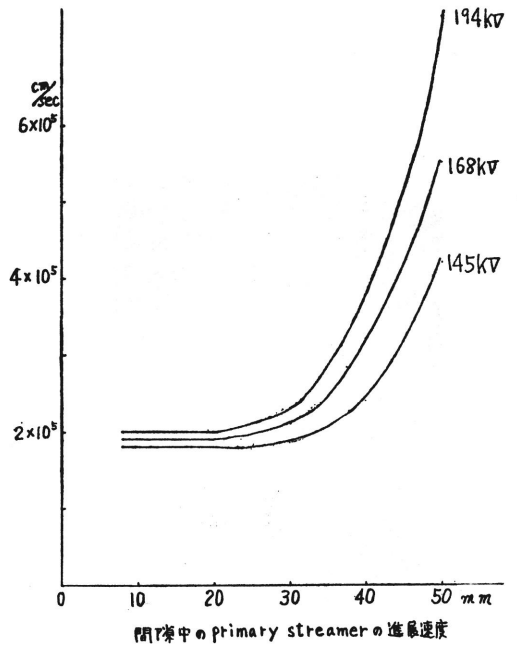
第 4 図 正の衝撃電圧 (194kV) による放電の時間的経過

第 5 図は截断時間と streamer の伸びとの関係を求めたものである。同図より、印加電圧を高くすば streamer の伸びは平板電極付近で著しく大となるが、一般には截断時間の比較的短い範囲内では streamer の伸びは電圧印加の時間にはほぼ正比例する。



第 5 図

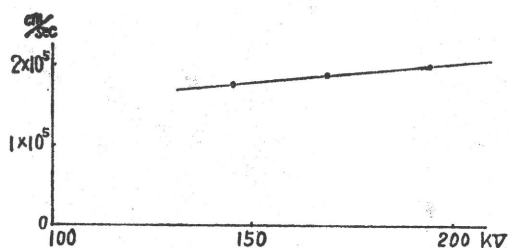
第 6 図は間隙中における streamer の進展速度を第 5 図から求めてプロットしたもので、空気中における streamer の進展と同様に平板電極に近づくに従って streamer の進展速度は急上昇する。



間隙中の primary streamer の進展速度

第 6 図

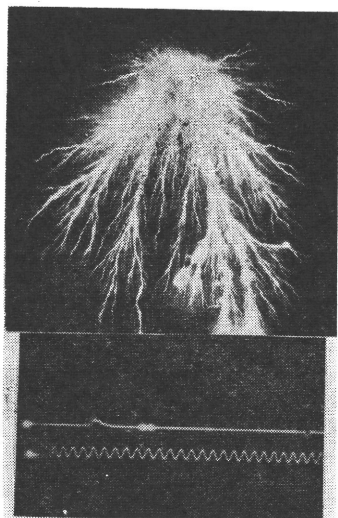
第7図は streamer の平均進展速度と印加電圧との関係を示すが、印加電圧の波高値と streamer の平均進展速度とはほぼ正比例する。



第 7 図

同一波高値、同一截断時間を有する衝撃電圧を印加しても streamer の伸びは必ずしも一定しないが、同時に測定した電流波形を観測する時、コロナパルスに続く電流パルスの数が多く現れる時、streamer の伸びは長いことが観測される。従って間歇的に現われる小さな電流パルスは、streamer が step を踏んで生成伸長するのに対応しているものと考えられるが、このことは更に光電子増倍管を用いて今後実験を行う必要がある。

第8図は、194 kV (1.33U₅₀) の印加電圧を 21μs の後に截断して撮影した Lichtenbergfigure



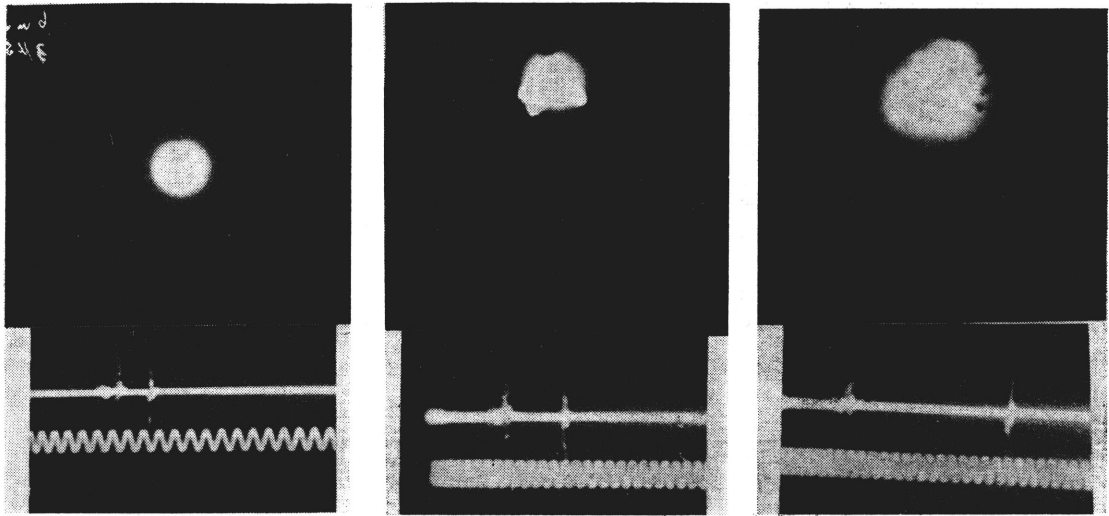
第8図 印加電圧：194kV，截断時間：21μs

である。図より明らかな如く streamer は完全に平板電極に到達しているが、完全閃絡は引き起していない。しかし截断時間を 21.5~23.0μs 以上にすれば完全閃絡に至る。このことから、Figure の streamer を仮に primary streamer と見なせば、気中の leader に相当する様な、secondary streamer は存在しないと考えられる。但し、平板電極に到達した streamer の幹は比較的大きくなっているため、気中閃絡における potential wave の様なものは存在するのではなからうかと思われる。この点についても光電子増倍管による詳しい観測が必要である。

2) 針電極に負の衝撃電圧を印加した場合

第9図は 185kV (1.0U₅₀) を印加し、截断時間を変化して測定した Lichtenberg figure を示す。この写真では光の強弱の違いが鮮明に再現されていない関係上判りにくいが、正の衝撃電圧を印加した場合と比べて著しく異なる複雑な放電機構を辿ることが認められる。すなわち、針電極に負の衝撃電圧が印加された瞬間、針端より球状に広がる negative glow が現れ、その後 3.5~4.5 μs 経ってから針端の直下 1mm 位の点より非常に強い光を放つ leader が現れ、この導電度の高い leader の出現によって negative glow がさらに増大進展する。印加電圧の波高値が 50% 閃絡電圧以下の場合には、この leader はせいぜい 10~20mm 位しか伸びないが、電圧印加後 10~20μs 経ってからこの leader 先端、あるいは negative glow 中の特に導電度の高い点より、negative streamer が現れ、negative glow と共に平板電極に向かって進展する。しかし negative glow 及び negativ streamer が平板電極に達しただけでは完全閃絡は起らず、glow あるいは streamer が平板電極上に達した点より、気中放電で云う positive leader が針電極側に急上昇して、先の針端より発した leader と合して初めて完全閃絡に至るものと思われる。第9図(e)にはこの positive leader が明らかに認められる。

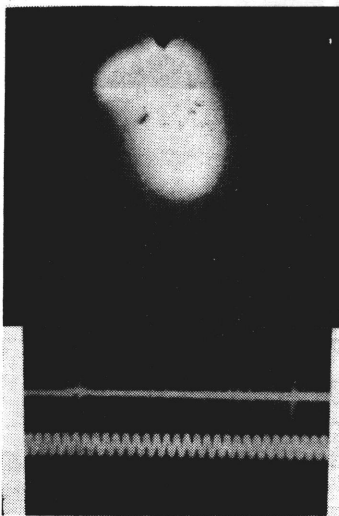
しかし一方、針電極に過電圧を印加した場合には、放電機構は上に述べた様な機構とは異り、次の様なタイプも現れる。すなわち、過電圧を印



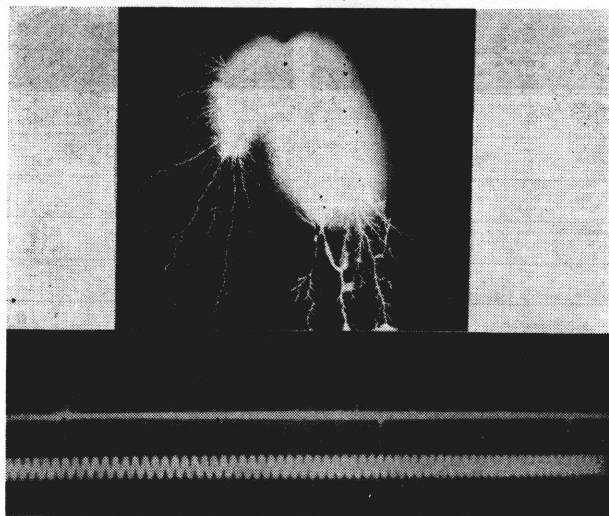
(a) 截断時間： $3\mu\text{s}$
glow の伸び：6mm

(b) 截断時間： $6\mu\text{s}$
leader の伸び：8mm

(c) 截断時間： $16\mu\text{s}$
glow の伸び：17mm,
leader の伸び：8mm



(d) 截断時間： $23\mu\text{s}$
glow の伸び：27mm
leader の伸び：11mm

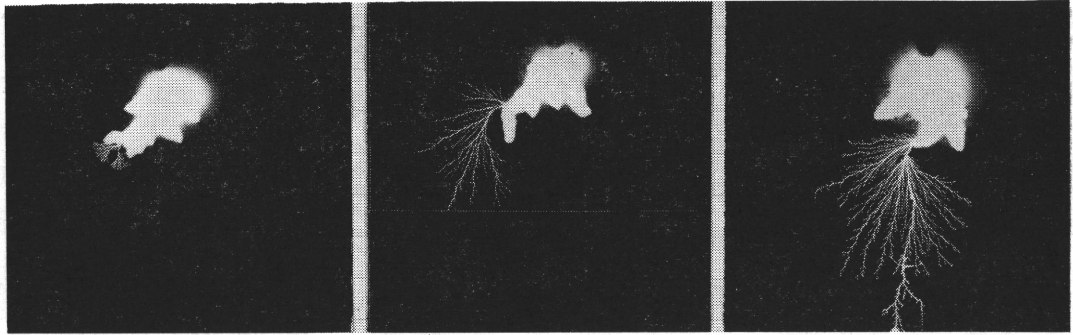


(e)

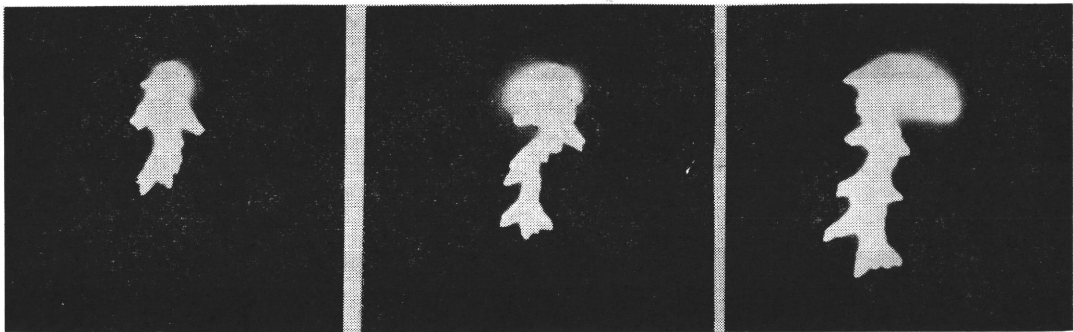
第9図 負の衝撃電圧 (185kV) による放電の時間的経過

加した場合には一般に negative glow の伸長はある程度以上で鈍ってしまうのであるが、この negative glow をつき破って leader が進展し、negative streamer を全く発生しないままこの leader 自身が平板電極に達して閃絡に至るとい

うタイプである。第10図 (a), (b) は 209kV (1.13 U_{50}) なる過電圧を印加した場合の Lichtenberg figure で、この異なる二通りの放電機構の差異を明らかに示している。



(a) 印加電圧：209kV

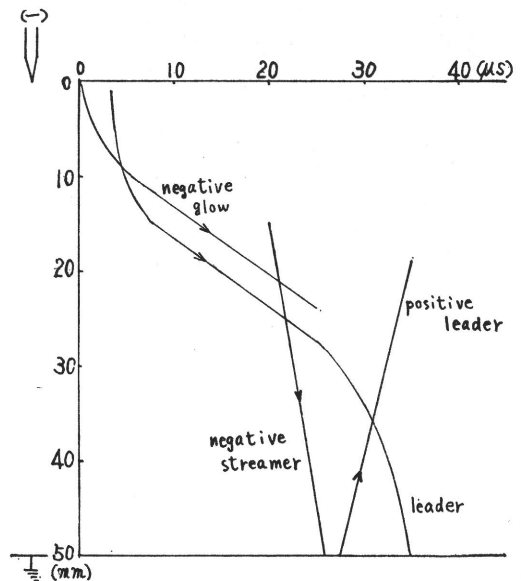


(b) 印加電圧：209kV

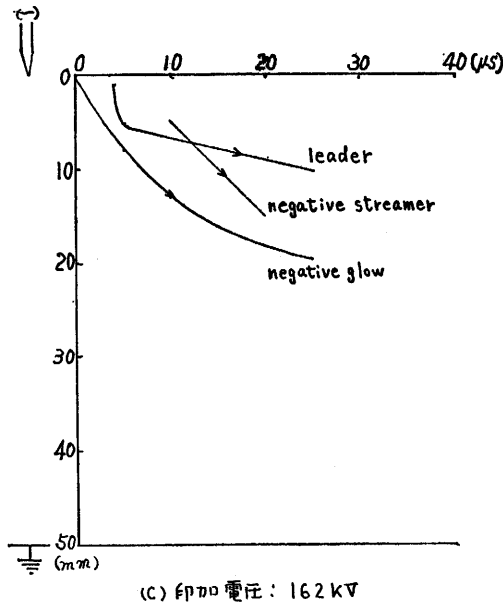
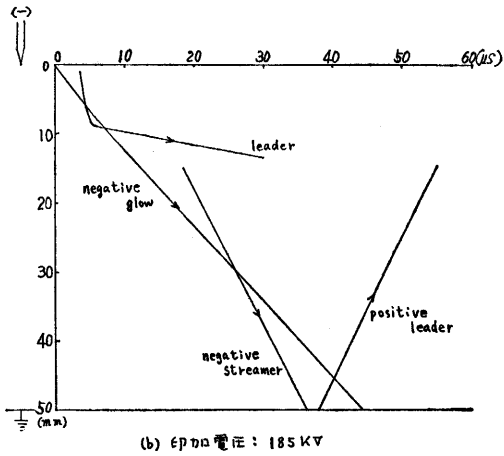
第 10 図

又第11図は種々の波高値を有する電圧を印加した場合の、電極間隙中の放電進展の様子を解析的に表わしたものである。同図(a)においては、leaderが平板電極に達して閃絡する場合と、negative streamerの作用によって閃絡する場合とが合わせて描かれているが、negative streamerが生ずる時にはleaderの伸長は針端より20mm付近までで停止する。さらに同図(c)に見られる如く、印加電圧が50%閃絡電圧以下の場合には、negative glow, negative streamer共に間隙中を途中までしか進展せず、勿論閃絡は起らない。

この図より又、負の衝撃電圧を印加した場合には、正の電圧を印加した場合と比べて、閃絡時間が1.5~3倍位長くなっていることも解る。すなわち、印加電圧が209kV, 185kVの時の閃絡時間はそれぞれ約 $35\mu\text{s}$, $55\mu\text{s}$ となる。



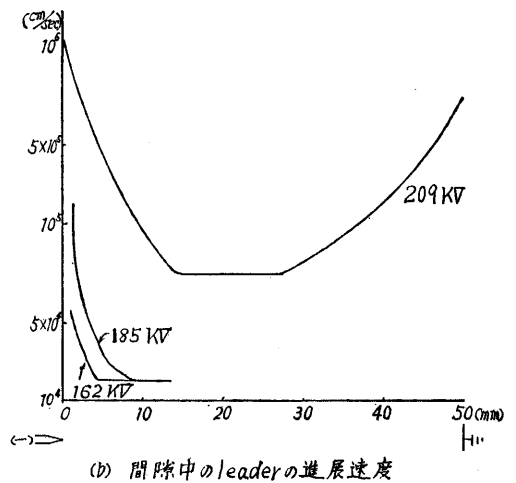
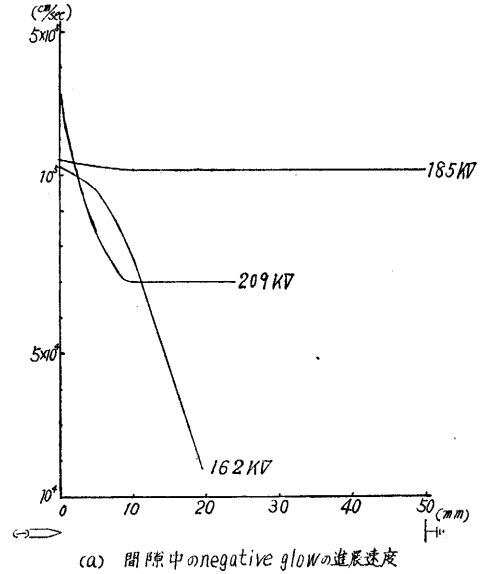
(a) 印加電圧：209kV



第11図 間隙中の放電進展の時間解析

第12図(a), (b)はそれぞれ、間隙中のnegative glow 及び leader の進展速度を第11図より求めて、印加電圧をパラメータとしてプロットしたものである。negative streamer の速度については、この streamer がある決った点、及び時刻より出発すると云う訳でなく、又全然生じない場合もあるので詳しく論ずることは出来ないが、平均進展速度としては大体、209kV ($1.13U_{50}$) 印加の時 5×10^5 cm/sec, 185kV ($1.0U_{50}$) の時 1.1×10^5 cm/sec, 又 162kV ($0.88U_{50}$) の時 1.0×10^5 cm/sec であって、50% 閃絡電圧の時の値を考

えると、negative glow, leader, 及び negative streamer の平均進展速度は正の衝撃電圧を印加した場合の primary streamer の平均進展速度の約 $\frac{1}{2}$ 程度になっている。



第 12 図

参 考 文 献

- (1) 電気学会編：放電現象
- (2) 電気学会編：放電ハンドブック
- (3) Tetzner: Arch, Elektrotechn. Bd 44, S.56 (1958)
- (4) Liao, Anderson: A.I.E.E. Transactions. P. 641 (1953)