

## 論 文

# 直流電圧印加導体から落下する水滴の形状と 水滴コロナ放電機構

原 雅 則\*, 金 子 正 光\*, 山 下 敬 彦\*\*, 赤 崎 正 則\*\*\*

(1980年6月19日受理)

## Mechanism of Corona Discharge and Deformation Process of Water Drops from a Wetted Conductor with DC High Voltage

M. HARA,\* T. KANEKO,\* T. YAMASHITA\*\* and M. AKAZAKI\*\*\*

(Received June 19, 1980)

Corona light on water drops dripping from a conductor was observed by using a rotating camera together with corona current and the drop shape, and corona onset mechanism on the water drop was investigated taking into account the air pressure and the drop size. The results show that the condition for the transition between the pure corona onset and the corona onset by the surface-disruption of the drop depends on the air pressure and the drop size, and corona discharge can start from the stable surface of the drop with a small radius of curvature even if ambient air is at atmospheric pressure in contrast with the previous reports (1) and (2). Moreover, the processes of corona discharge on distilled or tap water-drop were clarified under a wide range of the applied voltage.

### 1. まえがき

水滴表面からのコロナ放電に関して、すでにいくつかの研究がなされている。English<sup>1)</sup> と Dawson<sup>2,3)</sup> は毛管先端に作られた水滴上のコロナ放電を調べ、大気圧付近では水滴の不安定性によってコロナ放電が開始されるが、気圧を下げるとき安定な水滴表面上にコロナ放電が現われ、このときの水滴は正コロナに対して金属電極のような働きをするにすぎないことを示した。さらに、Dawson は大気圧中のコロナ開始における水滴表面の不安定性は、Taylor's instability であることを指摘した。赤崎<sup>4,5)</sup>、角田<sup>6,7)</sup> らは、直流送電線から落下する水滴上

のコロナ放電を送電線からのラジオ雑音と関連させて、おもにコロナパルス特性の面から調べている。また、原ら<sup>8,9)</sup> は水滴の変形過程、コロナ放電機構ならびに水滴の比電荷特性を調べ、それらの関係を明らかにしている。Macky<sup>10)</sup>、Arai ら<sup>11)</sup>、Barreto<sup>12)</sup> らも水滴の不安定性と水滴コロナに関する研究をしている。

しかし、コロナ光、コロナ電流、水滴の変形過程を同一条件のもとで総合的に調べた研究は少なく、また、コロナ開始機構の詳細も不明な点が多い。

本研究は、直流電圧が印加された同軸円筒電極系内の導体から落下する水滴上のコロナ開始機構ならびにコロナの進展特性を回転カメラによる流し写真、オシロスコープによるコロナ電流波形、水滴の変形過程を示すストロボ写真を用いて調べたものである。

### 2. 実験の装置と方法

図 1 は、今回用いた実験装置の概要である。同軸円筒電極系（外円筒内径 70 cm）は前報<sup>9)</sup> のものと同じで、中心導体として  $810 \text{ mm}^2$  の断面をもつ ACSR 導体を使った。落下中の水滴形状とコロナ電流波形との関

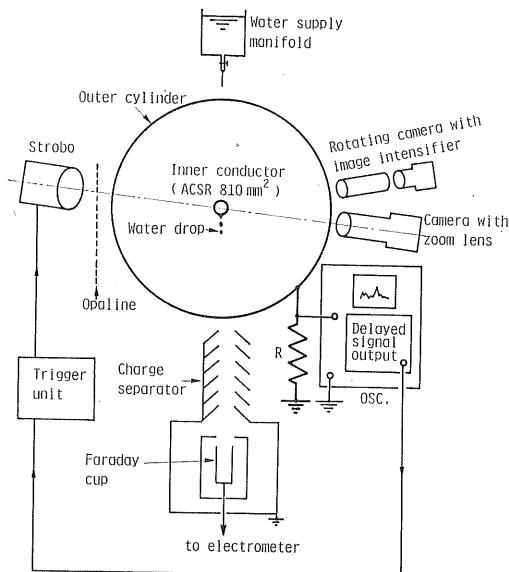
\*, \*\*, \*\*\* 九州大学 (812 福岡市東区箱崎)

Kyushu University, Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka 812, Japan

\* 工学部電気工学科 Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering

\*\* 大学院工学研究科 Graduate Course, Division of Engineering

\*\*\* 総合理工学研究科エネルギー変換工学専攻 Department of Energy Conversion Engineering, Graduate School of Engineering Sciences



R : resistor for current measurement, 5.1 k $\Omega$  or 220 k $\Omega$

図 1 実験装置

Fig. 1 Experimental set-up.

係を調べるために、コロナ電流でオシロスコープ（テクトロニクス 7633 または岩通 6200）をトリガし、オシロスコープの遅延回路を利用してコロナ放電開始後の任意の時刻にフラッシュランプを点灯し、そのときの電流波形に対する水滴のシルエットをズームレンズ付きカメラで撮影した。なお、帶電水滴による変位電流はコロナ電流に対して無視できる程度である。コロナ光は、イメージインテンシファイア（日立暗視スコープ、HS-690 型、最大光増幅率  $8.2 \times 10^4$ ）付きカメラを静止または手動で回転させることにより、静止または流し撮りした。カメラを手動で回転させたので、流し写真の流し速度は厳密にはわからないが、水滴の変形過程が水滴のシルエット写真からはっきりしているので、コロナ放電過程に関する情報を得るための支障はない。コロナ電流検出用抵抗（図 1 の R）には 220 k $\Omega$  と 5.1 k $\Omega$  の高周波抵抗を用いたが、これらの測定回路の実測時定数はそれぞれ 52.4  $\mu$ s、1.2  $\mu$ s である。したがって、5.1 k $\Omega$  の場合にはトリニティパルスならびにストリーマパルスの確認ができるが、電流パルス波形と振幅特性の詳細を議論できるほどの時定数にはなっていない。220 k $\Omega$  の検出抵抗の場合、電流パルス成分の検出は困難であるが、ゆるやかに変化する 0.1  $\mu$ A 以下の電流測定が可能であるので、おもに無パルス性微小電流の測定に用いた。

使用した水は蒸留水と水道水、ならびにそれらの混合物で、U字管と万能ブリッジで測定した 20°C における導電率は蒸留水で 2.4  $\mu$ S/cm、水道水で 250~280  $\mu$ S/cm であった。ここでは、蒸留水と水道水による実験結果を中心に述べる。

### 3. コロナ放電過程と水滴の形状

従来、導体から落下しつつある水滴上のコロナ放電に対し、コロナ放電に伴う音に関連してクラックリングコロナ、ヒッシングコロナの 2 種のコロナ形式が定義されており<sup>5)</sup>、著者らはさらに低い導電率の水滴の場合に音を伴わない無パルスのコロナ放電が存在することを指摘した<sup>13)</sup>。

水滴形状とコロナ放電発光過程との関係を詳細に調べると、次の三つの場合に分類できる。

- (a) 導体から離脱した水滴からのコロナ放電が最も活発な領域：コロナ開始電圧付近の電圧領域に対応する。
- (b) 導体から垂れ下がった水滴の円錐形先端からのコロナ放電が活発な領域：(a) 項の電圧以上で、導体表面の電界（水滴とコロナ放電が存在しないとしたときの計算値、以下同様）が約 10 kV/cm までの領域に対応する。
- (c) 導体から垂れ下がった水滴が短いとき（水の供給が途中で止められた場合に生じやすい）は円錐形先端からコロナ放電が発生するが、水滴先端が伸びたときは、ほぼ半球状の安定な水滴先端からコロナ放電が生じるか、霧化を伴う水滴のフィラメント上でコロナ放電が生じる領域（安定な水滴表面にコロナ放電が現われる領域）：(b) 項より高い電圧領域。

#### 3.1 導体から離脱した水滴からのコロナ放電が活発な領域

図 2 中の (A) は、いずれもコロナ開始電圧におけるコロナ発生時点（ストロボのトリガ系に約 1.5  $\mu$ s の遅れがあるので、厳密にはコロナパルスの立上り開始後約 1.5  $\mu$ s の時点）の水滴形状である。前報の図 9 で、印加電圧を上昇させたときコロナ開始電圧付近で主水滴の変形が急速に進み、ほぼ Taylor's instability における孤立水滴の形状になることを示した<sup>9)</sup>が、図 2 の (A) から明らかのように水滴の静電的不安定は導体から離脱した水滴の最初の振動周期中に生じており、コロナ開始をもたらすところの水滴表面の不安定確立に振動が寄与していることがわかる。このときのコロナ電流パルスは、正極性では蒸留水と水道水いずれの水の場合も単一のパルスであり、負極性では微小な少数のパルスからなっている。コロナ光は微弱で、イメージインテンシファイア上でわずかに検出できる程度であったので図には示していない。

印加電圧をわずかに上昇させると、水滴形状、コロナ

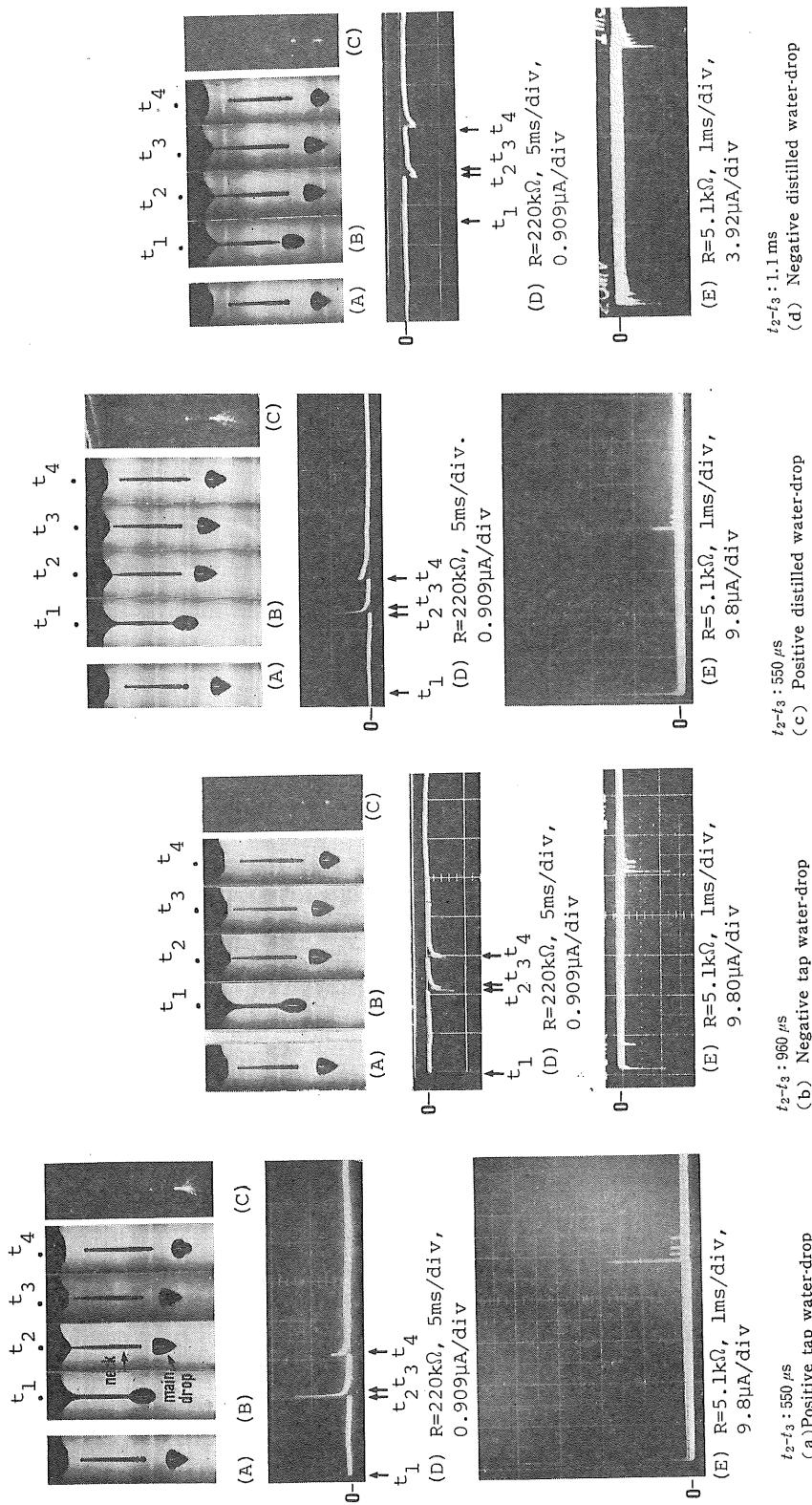


図2 コロナ開始電圧付におけるコロナ開始時の水滴形状、コロナ光ならびに電流バルス  
 Fig. 2 Drop shape, corona appearance and waveform of corona current around the corona onset voltage.

の発光、電流波形は図2の(B)～(E)のようになる。(B)図のシルエット写真  $t_1$ ～ $t_4$  は電流波形を示す(D)図上の各矢印で示した時点に撮影したものである。以下、水滴形状と電流波形の関係は図2と同様な方法で示す。(C)図は水滴が1回落下する間のコロナの静止写真を、また(B)図は電流のパルス成分を調べる目的で  $R=5.1\text{k}\Omega$  にして得た電流オシログラムである。図から明らかなように、水滴の静電的不安定は初め導体から離脱した主水滴上(図(B)の時点  $t_2$  の写真)、つづいて水滴首部の先端(図(B)の時点  $t_4$  の写真)で生じており、コロナ光の発生位置ならびにコロナ電流パルスの発生時点もこれらの不安定のそれらに対応している。なお、イメージインテンシファイアで得られる像には、装置内の収差による若干の歪があるので、水滴のシルエット写真とコロナ光の写真的縮尺率は、写真的あらゆる位置で厳密に一致しないが、発光の開始と終りになる位置をそれぞれに対応するシルエット写真の水滴先端と一致するように写真を焼き付けた。図2から次のことが認められる。

- (1) 正極性のコロナ開始電圧よりわずかに高い印加電圧において、導体から離脱した主水滴の不安定に伴って生じるコロナは、水の導電率には無関係に分枝を有するストリーマで、單一パルスを伴う。しかし、ストリーマの進展長と発光強度は、水の導電率が高くなるほど長く、かつ強くなる。離脱した水滴首部先端のコロナは、数個の電流パルスを伴っているが発光は微弱である。
- (2) 負極性の場合、フィルムの黒化度から調べたコロナ放電の発光強度は正極性の場合より強いが、進展長は短く、また分枝も認められない。コロナパルスは、主水滴ならびに水滴首部先端のいずれにコロナ放電が現われる場合も、最初のパルス振幅が最大で、後続のものはだいに小さくなる集団を形成している。
- (3) 図(B)の時点  $t_3$  における写真は、主水滴先端に丸みが認められる場合の水滴シルエットであるが、同図と同程度の曲率半径の丸みを生ずるまでの時間( $t_2$ ～ $t_3$ )は、正極性の場合が負極性の場合の約1/2である。これは、正コロナが負コロナより長く伸びるために、1発の正コロナ放電パルスに伴う電荷量、すなわち主水滴中の電荷中和量が負の場合より大きいためと考えられる。すなわち、コロナ放電の開始は水滴の不安定性によってもたらされるが、水滴変形の回復速度はコロナ放電機構に依存している。

### 3.2 導体から垂れ下がった水滴の円錐形先端からのコロナ放電が活発な領域

導体表面電界強度  $E_c$  が約  $5.5\sim 10\text{kV/cm}$  の領域で

は、水滴が導体から伸びているときに活発なコロナ放電が出現し、水の供給を止めたとき導体下部に溜った水滴先端からはコロナ放電は発生しない。水を供給している場合のコロナ放電は、常に円錐状に尖った水滴先端から発生している。換言すれば、静電的不安定を伴った水滴表面にコロナ放電が生じている。印加電圧がコロナ開始電圧に近い場合、正極性の水道水では水滴の静電的不安定の開始と同時にほぼ周期的に連続してコロナパルスが現われ、水滴先端は常に円錐状に尖っている。コロナは分枝をもつストリーマ状である(図3(a))。一方、正極性蒸留水の場合はほぼ周期的に変化する直流分(これをループと呼ぶことにする)の各周期の初期にパルス分が重畠した電流が現われる(図3(c))。一つのループ中の水滴先端の静止写真を詳細に調べると、図4(a)に示したように、パルス電流が出現する期間の水滴先端は円錐形であるが、直流成分のみの期間には円錐形先端からのフィラメントの成長が認められ、それが水滴から離脱するとき(同図中の矢印の状態)の速度は  $9\text{m/s}$  程度に達する。このフィラメント離脱後、水滴先端は丸くなり、電流もほぼゼロに減衰する。図4(b)では明瞭でないが、水滴先端が丸くなったときにはコロナ放電が休止している。

負極性の場合、水道水では正極性の場合と同様に電流パルスが連続して現われ、コロナ出現中の水滴先端は常に円錐形である(図3(b))。図3(b)では明瞭でないが、各コロナパルスは、最初振幅の大きなパルスが出現し、つづいてその数分の一の振幅のパルスが数個後続するパルス群からなっており、図3(b)の(D)では各パルス群の最初のパルスのみが見えている。一方、負極性蒸留水の場合は、周波数の非常に高い多数のパルスが集団を形成して出現し、その集団間では電流は一度ほとんどゼロまで減衰する(図3(d))。一つのコロナパルスの集団における水滴形状の変化を示したのが図4(b)で、電流パルスの周期が短くなつてコロナ電流が直流に近い状態になると水滴先端にフィラメントの崩芽が認められるが、正極性の場合のように長く伸びて離脱することはなく、水滴先端はフィラメントの衰退に伴つて丸くなる。図3(d)では、水滴先端が丸になった期間にコロナ放電光が存在しないことが明瞭に認められる。

印加電圧を上昇させると、図5に示したように主水滴と水滴首部の区別がはっきりしなくなり、コロナ放電はその先端部に現われる。正極性水道水の場合にコロナパルスを伴わない電流が流れる期間が存在することを除けば、コロナ放電と水滴形状の関係は図3、4とほとんど同じである。図5(B)の流し写真から明らかのように、水滴が導体から離脱したときにも水滴と導体間ならびに

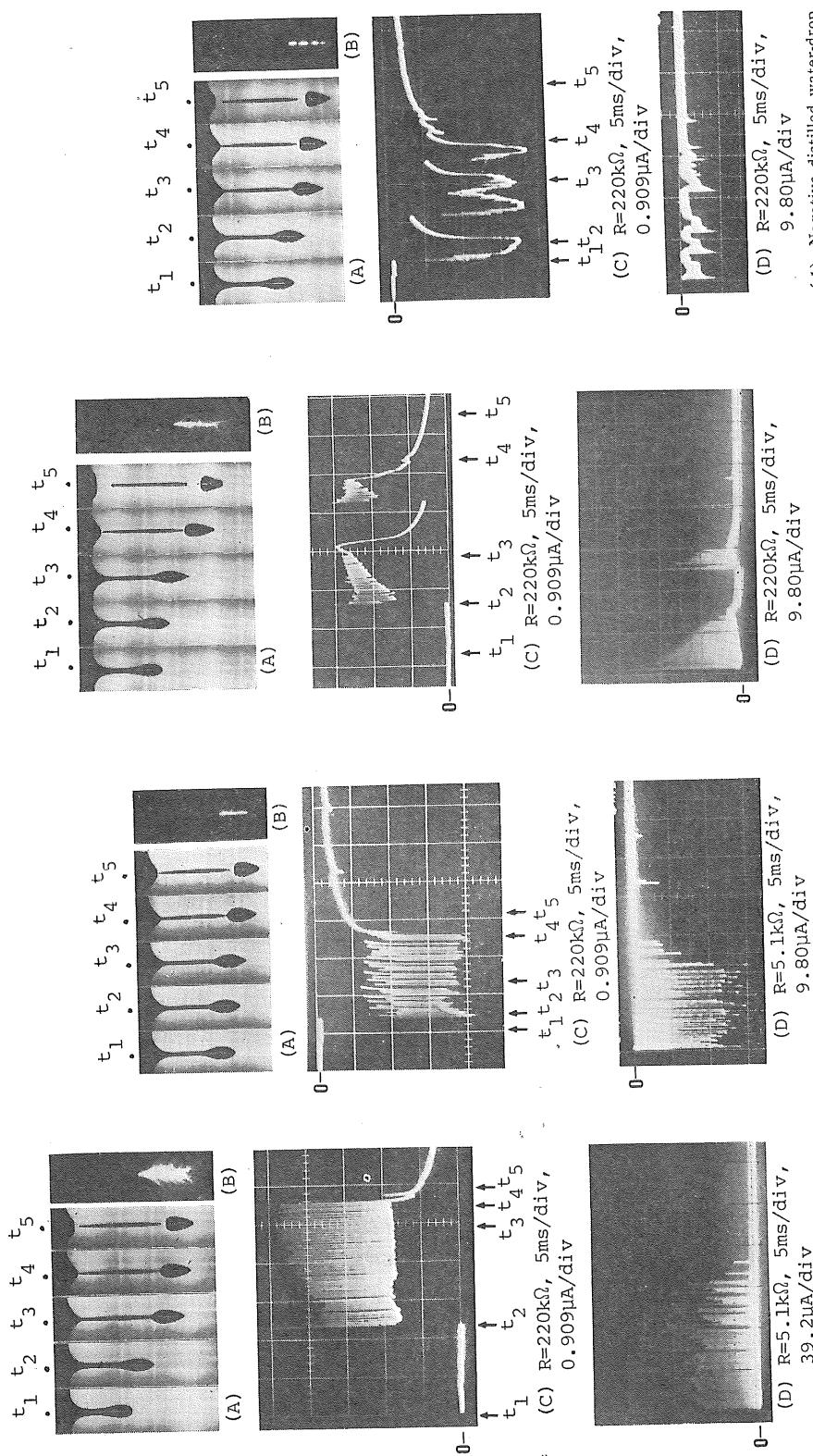


図 3 電線から垂れ下がった水滴の円錐状先端からのコロナ放電が活発な領域 ( $E_c=6.94\text{kV/cm}$ ) における水滴形状、コロナ光ならびに電流ペルス  
Fig. 3 Drop shape, corona appearance and waveform of corona current in the case of corona discharge appearing on the conical  
tip of the pendent water-drop ( $E_c=6.94\text{kV/cm}$ ).

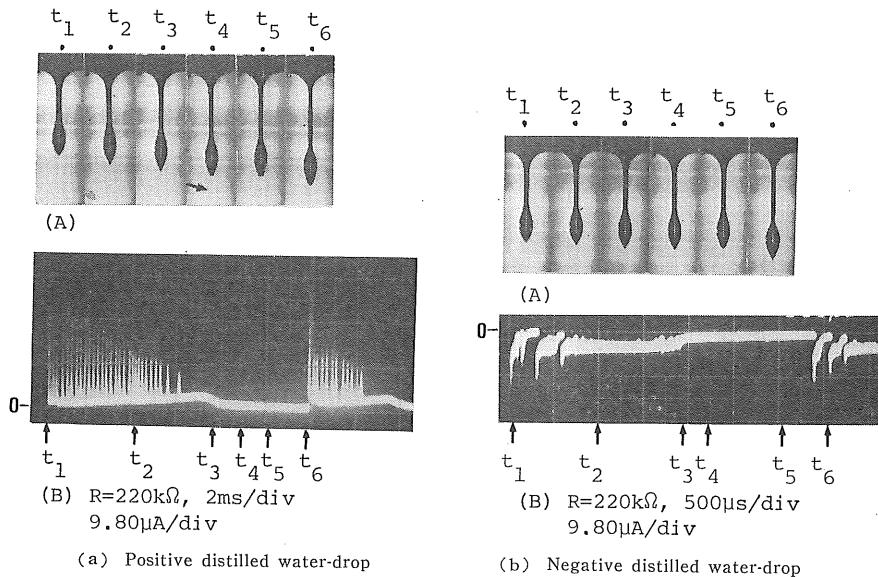


図 4 図 3 (b), (d) の最初の電流ループの期間中の水滴変形過程

Fig. 4 Deformation process of the drop in the period of the first current loop shown in Figs. 3 (b) and (d).

水滴先端でコロナ放電の発光が認められ、電流の衰退過程における電流パルスがこのコロナ放電に対応していることがわかる。

また、図 3~5 から上述のほかに次のことが認められる。

- (1) パルス性電流を伴う放電は尖鋭な円錐形の水滴先端にのみ現われる。
- (2) 無パルス性コロナは、フィラメントが水滴先端から伸びている状態で現われる。
- (3) 3.1 節で述べたと同様に、正極性のパルスを伴うコロナは分枝をもつストリーマであるのに対し、正無パルスコロナならびに負コロナは非常に狭い領域で発光するコロナである。また、一般に水道水の場合のほうが蒸留水のときよりコロナの発光強度は強い。

### 3.3 安定な水滴表面にコロナが現われる領域

導体表面の電界が約  $14 \text{ kV/cm}$  程度以上に高くなると、導体に供給する水を止めたときは導体表面に付着している水滴が円錐状突起を形成し、いずれの水滴ならびに極性の場合もパルスを伴う放電が現われる。ところが、水を供給して導体から垂れさがった水滴が変形を始めると、3.2 節で述べたよりも細い水滴が円錐状突起先端から成長し、次のような三つの放電形態を呈するようになる。すなわち、

- (1) 図 6 (a) のように、水滴先端からミストが放出され、無パルスに近いコロナ（静止写真(B)）またはパ

ルス性ストリーマ（静止写真(C)）が現われる。

- (2) 図 6 (b), (d) のように半球状先端をもつ細い円柱状水滴先端にコロナ放電が現われる。
  - (3) 図 6 (c) のように先端に霧化領域をもつ安定なフィラメントの側面上に無パルスコロナが現われる。
- 印加電圧を上昇させ、供給水量を大きくした場合は、図 6 (b), (d) のような形態になる場合が多い。

## 4. 考 察

### 4.1 コロナ放電開始機構

これまでの研究によって<sup>1-3)</sup>、大気圧空気中の水滴表面におけるコロナ開始は水滴表面の静電的不安定に伴って起こることが知られている。ところで、水滴が静電的不安定を生じるときの水滴表面の電界は、水滴半径に依存し、

$$E_s = 14.6 / \sqrt{r} \quad (\text{kV/cm}) \quad (1)$$

で表わされる<sup>2)</sup>。ただし、 $r$  は水滴表面の曲率半径(cm)である。

一方、水滴表面の不安定を伴わない場合のコロナ開始電界強度に関する研究は少ない。正コロナ放電の開始機構に電極表面の第 2 電離係数が含まれないことを考えると、従来の「電離指数がある一定値に達すれば水滴表面でコロナ放電が開始する」という考え方方が水滴の場合にも適用できると考えられる。著者らは、平行平板中で球状金属粒子が運動する場合のコロナ開始外部電界強度を数値計算で求め、それらが著者らの行なった実験値とよ

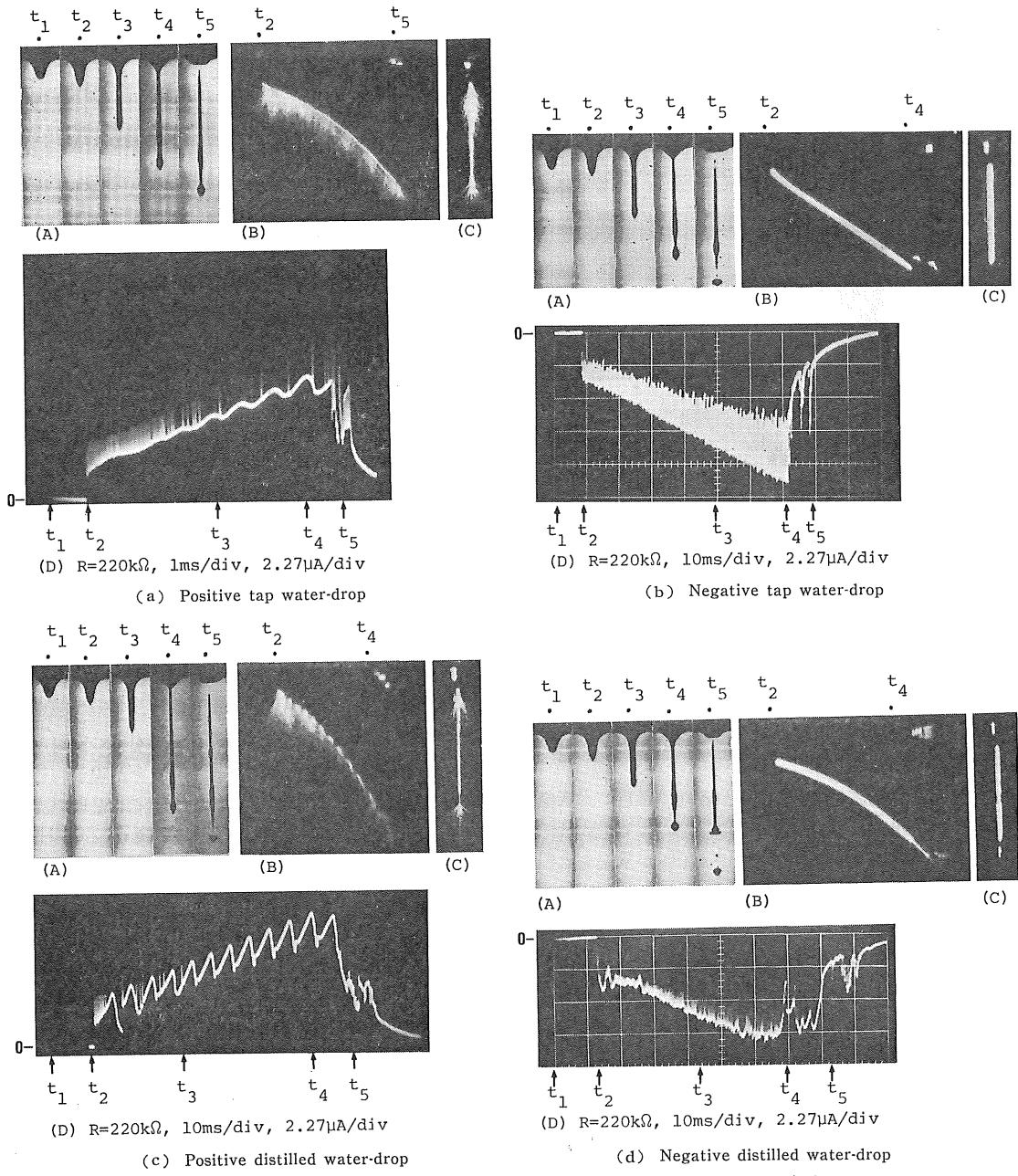


図 5 電線から垂れ下がった水滴の円錐状先端からのコロナ放電が活発な領域 ( $E_c=9.95 \text{ kV/cm}$ ) における水滴形状、コロナ光ならびに電流パルス  
(B): streak photograph of corona discharge, (C): still photograph of corona discharge.

(B): streak photograph of corona discharge, (C): still photograph of corona discharge.

図 5 電線から垂れ下がった水滴の円錐状先端からのコロナ放電が活発な領域 ( $E_c=9.95 \text{ kV/cm}$ ) における水滴形状、

コロナ光ならびに電流パルス

Fig. 5 Drop shape, corona appearance and waveform of corona current in the case of corona discharge appearing on the conical tip of the pendent water-drop ( $E_c=9.95 \text{ kV/cm}$ ).

く合うことを確かめた<sup>14)</sup>。この結果から粒子表面の電界を求めると、コロナ開始時の粒子表面の最大電界は

$$E_{cr}=31.05\beta(1+0.301/\sqrt{\rho r}) \quad (\text{kV/cm}) \quad (2)$$

となる。ただし、 $\beta$ は空気圧(atm)、 $r$ は粒子半径(cm)

である。水滴が変形しているときの水滴表面の電界分布は文献 14) で示した金属粒子近傍の電界分布と異なるが、(2)式はよく知られている同軸円筒電極ならびに線対平板電極で使われる Peek の式に近いものであり、円

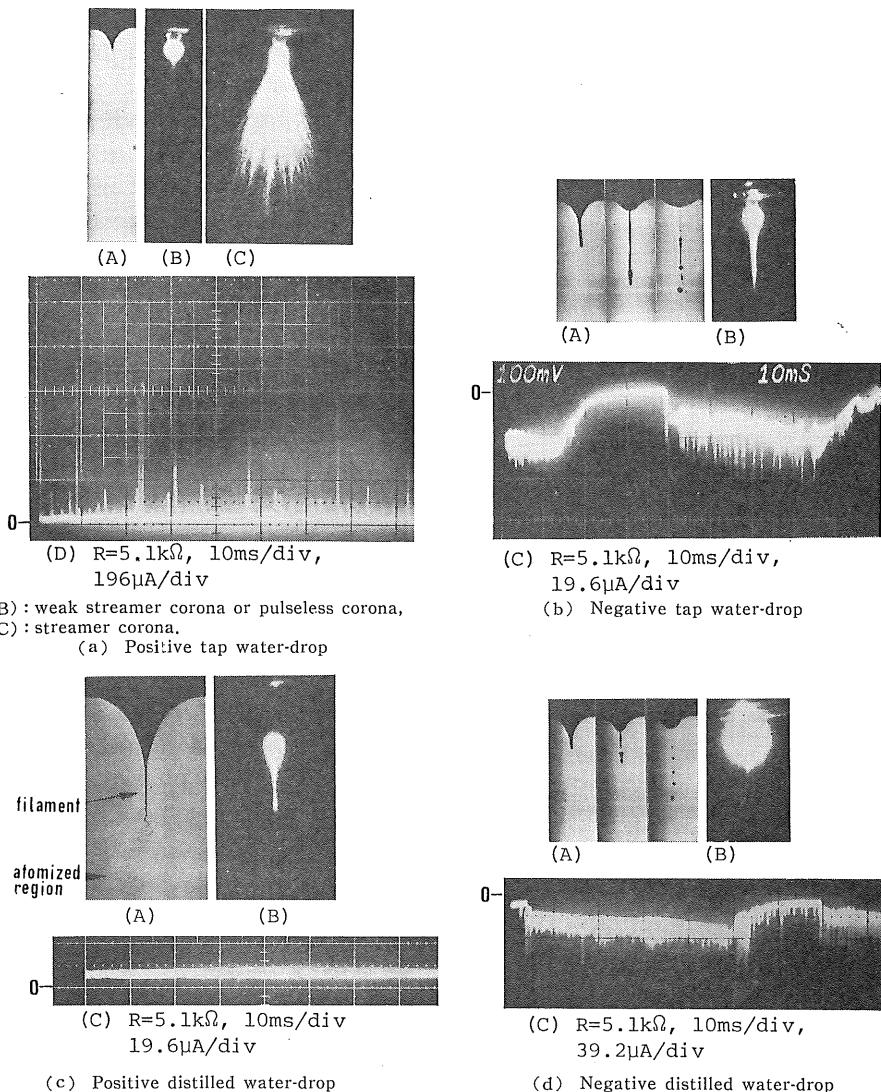


図 6 丸くなかった水滴先端からのコロナ放電が活発な領域の水滴形状、コロナ光ならびにコロナ電流

Fig. 6 Drop shape, corona appearance and waveform of corona current in the case of corona discharge appearing on the rounded tip of the pendent water-drop ( $E_c=18.4 \text{ kV/cm}$ ).

錐形になっていない水滴表面におけるコロナ開始電界強度の推定に(2)式が使えるものと考えられる。

したがって、コロナ開始機構からいえば、

- (1)  $E_s < E_{cr}$  なら、コロナは水滴の静電的不安定に伴って生じる。これをコロナ開始に対する水滴破裂モード (surface-disruption mode) と呼ぶ。
  - (2)  $E_s > E_{cr}$  なら、コロナは水滴の静電的不安定を伴わずに開始される。これをコロナ開始に対する純コロナモード (pure corona mode) と呼ぶ。
- の二つの場合が考えられる。 $p$ ,  $r$  を軸に取って、

surface-disruption mode と pure corona mode の領域を画くと 図 7 のようになる。これまでの実験研究では、大気圧空気中では必ず水滴の静電的不安定を伴ってコロナ放電が開始されることが認められていたが、図 7 は水滴先端の曲率半径が小さくなると大気圧空気中でも pure corona mode でコロナ放電が開始しうることを暗示している。English<sup>1)</sup> と Dawson<sup>2)</sup> は気圧を低下させることによって毛管先端の水滴で pure corona mode の存在を確認しているが、このモード開始時の実験データをプロットすると 図 7 のごとくなり、上記の推定と

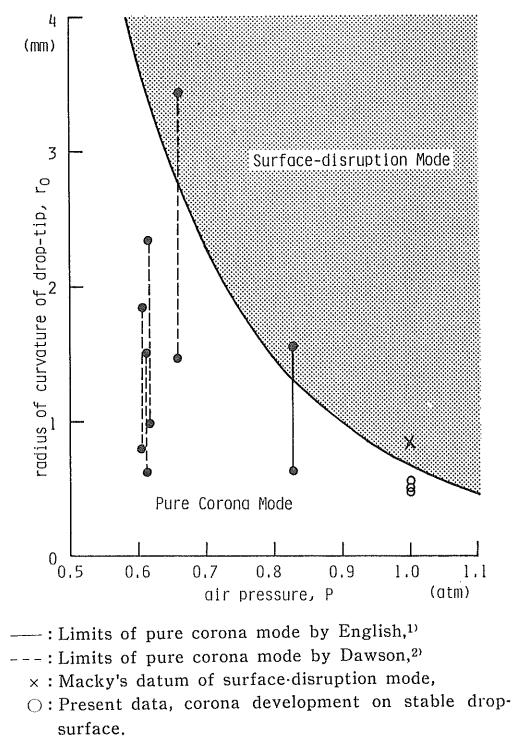


図 7 コロナ放電開始モード

Fig. 7 Corona onset mechanism as a function of drop radius and air pressure.

かなりよく一致している。ただし、pure corona mode 時の水滴先端の形状がはっきりしないので、いずれも Taylor's criterion 下にある橢円体形状の先端を仮定し、水滴先端曲率半径または水滴の短軸半径が毛管半径に等しいとして毛管先端の等価半球状水滴 (Taylor's criterion 下にある水滴と同じ体積をもつ半球) の半径を求めた。このために実験データに幅がある。Macky<sup>10)</sup> は各種の大きさの水滴で水滴の静電的不安定の研究を行なっているが、そのとき用いられた最小の水滴等価半径を示すと図 7 中の×印のようになり、値は surface-disruption mode の領域に入って本論文の推定と一致する。

#### 4.2 コロナ中の水滴形状

前報<sup>9)</sup>でも述べたように、本研究の実験条件下でのコロナ開始は水滴表面の静電的不安定（すなわち、水滴先端が円錐形になること）によってもたらされるが、次にコロナ開始電界以上で水滴先端形状がどのようにして決まるか考察してみよう。

導体から垂れ下がった水滴は、印加電圧の上昇とともに細くなるが、いま仮に半径  $r$  の先端曲率半径の水滴表面が(1)と(2)式で与えられるより高い電界下に置かれた場合を想定してみよう。ところで、最近のコロナ放電

の研究によって、コロナ放電中に置かれた電極表面の電界はほぼコロナ開始時の値に保たれることが知られている<sup>15)</sup>。したがって、いま考へている水滴上で  $E_s > E_{cr}$  ならば、水滴表面電界は  $E_{cr}$  に保持されるから水滴の不安定は起こらず、したがって丸い水滴先端にコロナ放電が現われることになる。 $E_s < E_{cr}$  の場合は二つの可能性が考えられる。すなわち、(1)水滴の静電的不安定を生ずる電界が達成されるから、水滴の不安定が生ずる、(2)コロナ放電が現われるとコロナ発光領域内の水滴表面の電界は均一にならうとし、水滴表面には一様な電気力が働くから、水滴先端は丸くなろうとする。ところが、活発なコロナ放電が発生している場合でも水滴が導体から長く伸びていない場合（この場合水滴先端の等価半径は大きい）、水滴は円錐状になり、先端がわずかに丸くなるにすぎない。このことは、上記(1)の可能性が実現されていることを意味する。すなわち、 $E_s > E_{cr}$  となる場合は水滴半径が一定ならば印加電圧が高くなっても安定な水滴表面でコロナが発生し、 $E_s < E_{cr}$  ならば円錐状先端にコロナ放電が現われるものと考えられる。

上述のこととは、逆に安定な水滴上にコロナ放電が現われるような水滴半径は、pure corona mode でコロナ放電開始が起こる場合の水滴曲率半径を与えていることを意味する。そこで、図 6 (b), (d) の(A)ならびにこれと同様な写真から得た丸い先端をもつ水滴先端曲率半径を図 7 に記入すると○印のようになり、pure corona mode の領域にはいって上記の推定と一致する。

図 6 (c) のような安定なフィラメント表面にコロナ放電が現われる可能性は Hoburg と Melcher<sup>16)</sup> によって確かめられているので、ここでの説明は省略する。

#### 4.3 水滴の比電荷特性とコロナ放電

導体から落下する水滴の比電荷特性を理解するには、水滴の不安定性、コロナ放電機構ならびにコロナ内の水滴形状などが大切な要素になるであろう。

前報<sup>9)</sup>で述べたように同報告の図 3 中の(A)点は水滴の静電的不安定が開始される条件であり、このときの比電荷  $M$  は多くの研究者によって議論されているところである。同図中の A から B の領域における  $M$  の著しい減少は、3.1 節で述べた導体から離脱した水滴上のコロナ放電による中和作用によることが今回の水滴形状、コロナ光ならびにコロナ電流パルスの観測から確かめられた。導体表面の電界を上昇させたときに観測される比電荷の飽和は、4.2 節で述べたコロナ放電内で安定な水滴表面が形成されることによる分裂水滴の粗大化、コロナ放電による水滴表面の電界緩和効果によるものと考えられる。

## 5. む す び

高増幅率のイメージインテンシファイアを装着した静止カメラと回転カメラを用いてコロナ放電光の時間的変化を記録し、同時にコロナ電流ならびに水滴の変形過程を観測して、直流電圧が印加された導体から落下している水滴上のコロナ放電を調べた。その結果、次のことが明らかになった。

- (1) コロナ放電開始機構には、水滴が金属電極のような働きをする pure corona mode と水滴の静電的不安定性による surface-disruption mode があり、従来、大気圧空气中では後者が確認されていたが、水滴先端曲率半径が小さくなると前者も起こりうることがわかった。また、二つの mode の境界は水滴の大きさと空気圧によってきまる。
- (2) 本研究の実験条件におけるコロナ開始は surface-disruption mode であるが、この場合、水滴の静電的不安定の確立に水滴の振動に伴う力も寄与している。
- (3) コロナ放電領域内の水滴形状には、水滴の静電的不安定を示す円錐形の場合と水滴表面が安定なことを示す半球状の場合、ならびにテーパ付き円柱の場合がある。与えられたガス圧のもとで、安定な水滴表面上でのコロナ放電は、水滴表面の曲率半径がコロナ開始機構の pure corona mode をもたらす水滴表面曲率半径程度以下に小さくなつたときに生じる。
- (4) 水滴の円錐形先端から生ずるコロナ放電はパルス性であり、細いフィラメント状水滴表面のコロナは無パルス性である。
- (5) 電圧が低い領域でのコロナ放電が生じている期間は、水滴の変形過程と密接に関係しており、したがって水滴の変形をきめる力学的パラメータで決まる。
- (6) 一般に、水の導電率が高いほど正コロナはパルス

性になりやすく、コロナパルス振幅も大きい。また、正、負コロナとも水の導電率が高いほど発光強度が強く、発光領域も広くなる。

- (7) 導電率が低い水の場合、正水滴の霧化現象が生じる電圧領域があり、この場合のコロナ放電は静かで無パルスコロナである。

最後に、本研究の実験遂行に協力された本学大学院修了生石辺信治君（現三菱電機）ならびに実験装置の製作に協力された堺巖裕技官に感謝する。また、本研究の一部は文部省科学研究費によつたことを記し、感謝の意を表する。

## 参 考 文 献

- 1) W.N. English : Phys. Rev., 74 (1948), 179.
- 2) G.A. Dawson : J. Geophys. Res., 74 (1969), 6859.
- 3) G.A. Dawson : *ibid.*, 75 (1970), 2153.
- 4) M. Akazaki : IEEE Trans. Power Appar. Syst., 84 (1965), 1.
- 5) 赤崎正則、林 石象：電気学会誌, 88 (1968), 909.
- 6) 佐藤芳夫、角田美弘、荒井健次：同上, 81 (1961), 1606.
- 7) 角田美弘、荒井健次：同上, 84 (1964), 1430.
- 8) M. Hara, S. Ishibe and M. Akazaki : J. Electrostatics, 6 (1979), 235.
- 9) 原 雅則、石辺信治、赤崎正則：静電気学会誌, 3, 3 (1979), 143.
- 10) W.A. Macky : Proc. R. Soc. London., Ser., A, 133 (1931), 565.
- 11) K. Arai and Y. Tsunoda : Mem. Fac. Eng., Kobe Univ., 14 (1968), 61.
- 12) E. Barreto : Aerosol Sci., 2 (1971), 219.
- 13) M. Hara, S. Ishibe, S. Sumiyoshitani and M. Akazaki : J. Electrostatics, 8 (1980), 239.
- 14) M. Hara and M. Akazaki : *ibid.*, 2 (1976), 223.
- 15) R.T. Waters, T.E.S. Rickard and W.B. Stark : Proc. Inst. Electr. Eng., 119 (1972), 717.
- 16) J.F. Hoburg and J.R. Melcher : IEEE Paper No. C73 165-8, IEEE PES Winter Meeting, New York (1973).