

論文

直流電圧が印加された導体から落下する 水滴の比電荷と粒径

原 雅 則*, 石 辺 信 治**, 赤 崎 正 則**

(1979年1月25日受理)

Specific Charge and Size of Water Drops Dripping from Conductors under High Direct Voltage

M. HARA,* S. ISHIBE** and M. AKAZAKI**

(Received January 25, 1979)

In rainy weather, charge carriers from a dc transmission-line conductor to ground consist of molecular ions produced by corona discharge and water drops which drip from the conductor or are charged on their way to ground. In this paper, the behavior of charged water drops dripping from the conductor and corona discharge on them were investigated to obtain a basic data on ion flow electrification phenomena in foul weather. Conductors used are smooth cylinders of 0.25, 0.5, 0.75, 1, 1.13, 1.6 and 2.25 cm radius and ACSR of 810 and 410 mm² cross section. Four distinct modes of specific charge of water drops were found and effects of flow rate of supplied water, conductor size and smoothness of the conductor surface on them were measured. Moreover, a relation among corona discharge, specific charge of water drops, dripping fashion of water drops and instability of the drop surface has been discussed.

1. まえがき

200 kV クラスの送電線が建設されて以来、送電線路上で生ずるコロナ放電によるラジオノイズ (RI), テレビノイズ (TVI) が、線路設計上考慮すべき重要な要素であった。最近、電力需要の増大に伴い、交流ならびに直流の UHV 送電方式が各所で検討されはじめているが、直流 UHV 送電線沿いの電気環境問題、とくに電線からの単極性イオンシャワーによる物体の帶電とそれに接触した人の受ける電気ショック、ならびにイオンシャワーを受ける動植物への各種の影響——イオン流帶電現象——が新たな検討課題として注目されている¹⁾。

晴天時のイオン流帶電現象では、チャージキャリアとして分子状イオンならびにクラスタ状イオンを考えておけば良いが^{2,3)}、雨天時には電線から落下する帶電した水滴がある。すなわち、晴天時には $E + W/k$ (ただし、 E : 電界、 W : 風速、 k : イオンの移動度) に沿ってイオンが運動するとしてイオン流帶電現象を解析すれば良いが、降雨時には電気力線のほかに空気の粘性力と重力

の力を受けて運動する水滴を考慮しなければならない⁴⁾。この場合、解析に必要な基礎データは電線から落下する水滴の比電荷 (帯電電荷量/水滴の重量) と粒径である。

従来、降雨時の送電線におけるコロナ現象については、RI, TVI ならびにコロナ騒音の面から多数の研究がなされている⁵⁻¹¹⁾が、イオン流帶電現象の解析に必要な水滴の比電荷と粒径に関する研究はほとんど見られない。一方、電界中の水滴のふるまいについては、物理学的観点からばかりでなく、静電塗装や雷雲発生機構などとも関連してすぐれた研究がなされている¹²⁻¹⁹⁾。また、水滴先端からのコロナ放電についてもいくつかの報告²⁰⁻²³⁾がある。

本研究では、直流送電線下のイオン流帶電現象に関連して、直流高電圧が印加されている導体から落下する水滴のふるまい、水滴の比電荷と粒径、ならびにそれらと水滴からのコロナ放電との関係について調べ、いくつかの新しい知見を得ることができたので報告する。

2. 実験の装置と方法

図 1 は実験装置の概要で、電極系は同軸円筒状である。外円筒電極は直径 70 cm、長さ 150 cm で、内部を観察できるとともに帶電水滴を取り出せるように金網製とし、電流測定用抵抗を通して接地した。その両端には直径 70 cm、長さ 25 cm の銅製保護円筒を外円筒電極と

*, ** 九州大学工学部 (812 福岡市東区箱崎)

Faculty of Engineering, Kyushu University,
Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka 812, Japan

* 電気工学科 Department of Electrical Engineering,

** エネルギ変換工学専攻 Department of Energy Conversion Engineering

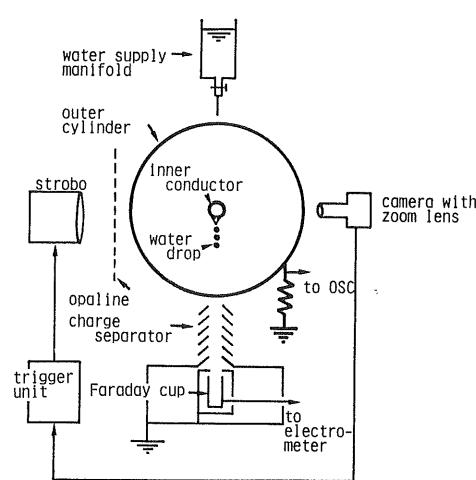


図1 実験装置

Fig. 1 Schematic diagram of apparatus for measuring electrical charge on water drops and photographing the dripping fashion of pendant drops.

表1 ACSRの仕様

Table 1 Specification of the ACSR conductor.

Cross sectional area (mm ²)	Number of strands		Diameter of strand (mm)	Maximum diameter (mm)	
	Aluminum	Steel		Alumi.	Steel
410	26/4.5		7/3.5	28.5	10.5
810	45/4.8		7/3.2	38.4	9.0

同一軸上に、電極から 1 cm 離して置き、直接接地した。内部導体は半径 r_c が 0.25, 0.5, 0.75, 1, 1.13, 1.6 ならびに 2.25 cm の円滑導体（黄銅製）と実用の ACSR で、ACSR の仕様は表1のごとくである。内部導体の接続部と末端部にはコロナ放電が生じないように保護環を設けた。電源はコッククロフト回路で、±150 kV までを内部導体に印加した。

わが国の降雨の導電率は 3~1,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 程度で、発生ひん度は海岸からの距離によって異なるが、~100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 程度が最も多い^{24,25)}。そこで、ここでは 267 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (20°C における値) の水道水を、図1に示したように外円筒上部に設けた水槽から内部導体上に落下させて実験を行なった。

電荷は、コロナ放電による分子状イオンと水滴上の電荷を分離するために、6 個のテープ付き円筒からなる電荷分離器を通してファラデカップに導き測定した。落下中の水滴形状は、1.8 μs の発光時間をもつマイクロフラッシュランプと Nikkor 200 mm レンズ付き静止カメラを用いて観測した。

水滴粒径の測定は、(1)重量と水滴個数の測定、(2)フラッシュランプとカメラによる静止写真をプロジェクタ (NIKON-6 CT 2) で拡大して測定、(3) 5,000 cs の粘性をもつシリコン油を塗布したスライドガラス上に水滴を捕集し、プロジェクタを用いて拡大して測定、の三つの方法を粒径に応じて用いた。シリコン油の粘度が大きいか水滴粒径が大きいとき、シリコン油膜に捕集された水滴は扁平な形になるが、本実験で用いたシリコン油と粒径の範囲では水滴はすべて油中で球形をしていた。

なお、すべての実験は内部導体を十分エージングしたのち行なった。この場合、内部導体表面電界が 30 kV/cm 程度までは導体下部に 1 個だけ水滴突起が形成され、電界が高くなると 2~3 個の突起が形成される場合があった。

3. 実験の結果と検討

3.1 コロナ放電と比電荷のモード

図2は円滑導体 ($r_c=1.6, 0.25 \text{ cm}$) と ACSR (810 mm²) に対する比電荷の測定結果で、その他の導体の場合もほぼ同様な特性を示す。同図で、 $r_c=1.6 \text{ cm}$ の円滑導体と ACSR に対しては測定値をプロットしたが、複雑になるので $r_c=0.25 \text{ cm}$ の円滑導体の場合は平均的値を実線で示した。図の斜線の部分は測定値がばらつく領域である。図2ならびに同様な他の内部電極による測定結果から、コロナ放電と比電荷のモードは図3のようにまとめることができる。

印加電圧がゼロから上昇すると、初めは電圧の上昇とともに水滴の比電荷も図3に示したように単調に増加し、内部導体表面の電界がある値に達すると同図中のA点で示したように比電荷が急に減少する。図の縦線は log で示してあるので、その減少は小さいよう見えるが、その値はA点の比電荷の値の 30% 以上になりうる。さらに印加電圧を上昇すると比電荷は低いレベルで複雑に変化し、ある極小値(図3のB点)を過ぎるとA点と同じ比電荷のレベル(B'点)に回復する。これ以上の電圧では極性効果が顕著になり、本研究で用いた内部導体の正極性では、導体表面の最大電界が 12~30 kV/cm の範囲で比電荷特性にシャープなピーク(C点)が現われ、比電荷の最大値は 10^{-4} C/kg のオーダーになった。一方、負極性では正極性の場合のようなピークは現われない。供給水の流量の比電荷に対する影響の詳細は3.4節で述べるが、流量が大きくなると正極性の場合も図3の点線で示したようにピークは現われなくなる。

ここでは、図3に示したようにA点以下の低電圧領域を比電荷のモードI、A-B' 間をモードII、B' 以上の比電荷にピークが現われるまでの領域をモードIII、ピーク

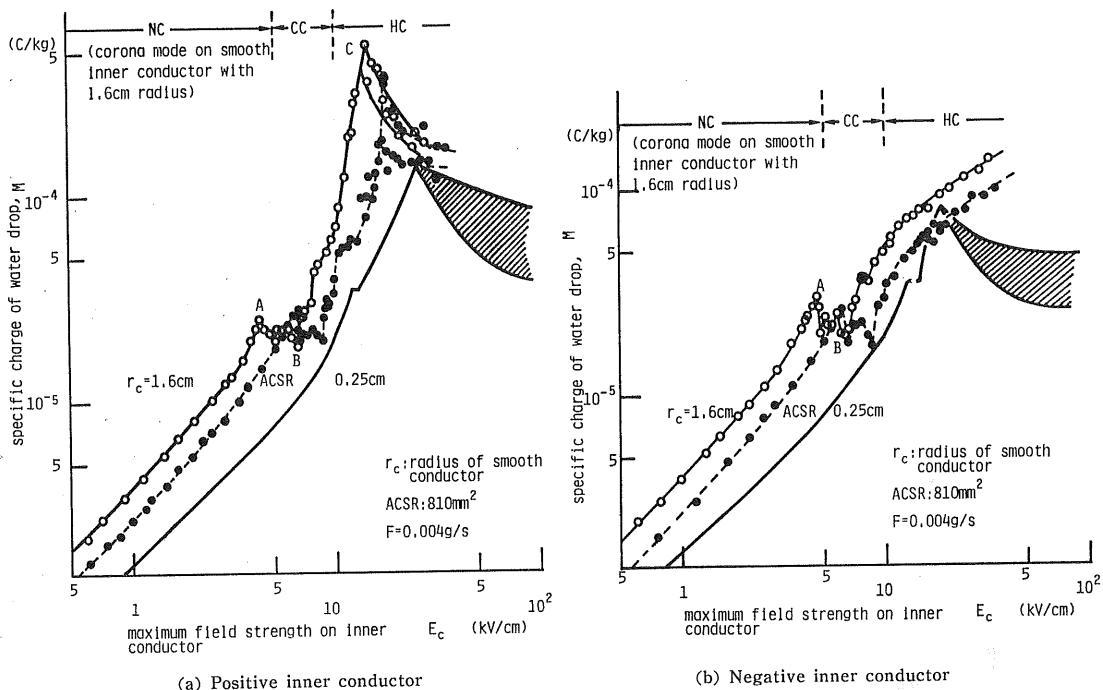


図 2 内部導体から落下した水滴の比電荷
Fig. 2 Specific charge of water drops dripping from inner conductors.

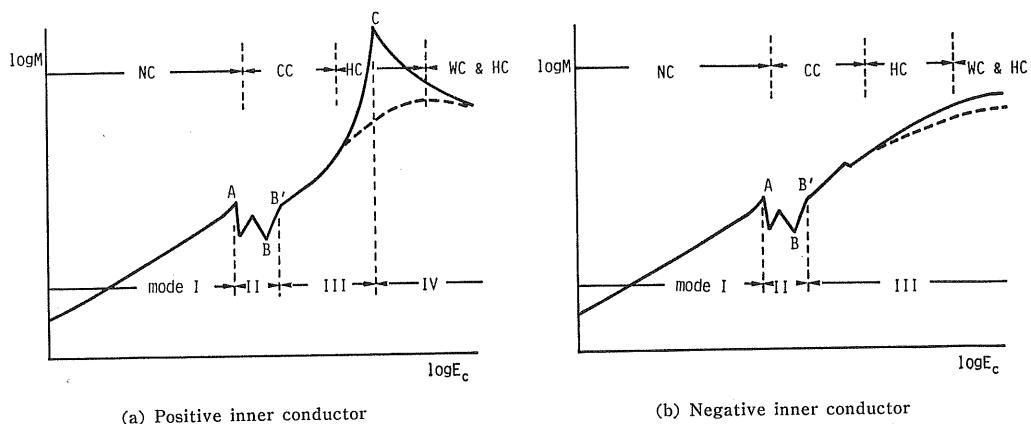


図 3 コロナ放電と比電荷のモード
Fig. 3 Modes of corona discharge and specific charge.
NC : No corona, CC : Crackling corona, HC : Hissing corona, WC : Wire corona,
— : Low flow rate of supplied water, - - - : High flow rate of supplied water.

点(正極性のC点)以上の領域をモードIVと呼ぶことにする。

一方、コロナ放電モードについてはすでにクラックリングコロナとヒッシングコロナの定義が与えられている⁸⁾が、内部導体径が小さくなると電線からもコロナ放電が現われるので、ここではコロナモードを次のように定義した。

非コロナ領域(NC)：コロナ放電が検出されない領域
クラックリングコロナ(CC)：水滴落下時にのみ発生するコロナ。したがって、このコロナ放電は水平に置かれた平行平板電極の下側の電極上に水滴を作ったBarreto²³⁾のような実験系では観測されない。
ヒッシングコロナ(HC)：電線への水の供給を停止したとき、電線下部に垂れ下がった水滴が円錐状にな

り、その先端からコロナ放電を生ずるようになるが、これと同じ種類のコロナ放電で連続に現われる。

ワイヤコロナ(WC)：電線表面から進展するコロナ以上のコロナ放電モードを図2 ($r_c=1.6\text{ cm}$) の円滑導体に対して) と図3に記入して比電荷のモードと比較すると、モードIとIIの境界とCCの開始電界とは非常に近い値となるが、その他のモード間の対応関係はない。

3.2 水滴の粒径

電線から水滴が落下するとき、その様子は印加電圧によって変わる。電圧が低い場合は図4(a)のように電線下の水滴は先端の主水滴と首の部分が分裂してできた小さい孫水滴からなり、電圧の上昇に伴って(b)図のようにその差別がはっきりしなくなる。いま、粒径の累積度数を累積対数正規確率紙にプロットすると、主水滴なら

びに孫水滴に対して実験値はそれぞれほぼ直線近似できる。そこで、両者の度数分布が対数正規分布に従うとして、累積度数が5~95%の範囲を縦線で、50%値をそれぞれの測定法にしたがった印でプロットすると図5のようになる。

図から明らかなように、主水滴の半径 r_d はモードIではいずれの場合もほぼ一定であるが、モードIIになると内部導体表面の電界上昇とともに急に減少する。比電荷に極性効果が現われるモードIIIの領域になると主水滴と孫水滴の大きさがほぼ等しくなり、粒径特性にも極性効果が現われる。正極性の場合は、比電荷のピーク点(C点)に対する導体表面電界のとき粒径が最小になり、さらに電界が上昇すると粒径が大きくなる。一方、負極性の場合、粒径は電界の上昇とともに徐々に減少する。水滴落下形態の詳細な写真観測による²⁶⁾と、正極性の場合の粒径が最小になる領域では、導体下部にできた円錐状の水滴突起の先端部が細く伸び、それが分裂して微小なミスト状水滴になっていることが認められる。電界を上昇させた正極性のモードIV、負極性のモードIIIでは円錐状水滴突起が上下に振動し、これに伴ってC点におけるより大きな水滴が形成される。

3.3 内部導体半径の比電荷とコロナモードに対する影響

内部導体表面の電界強度が同一でも、導体半径が変わると水滴に作用する外部電界強度は同じでない。一定の内部導体表面電界における水滴の比電荷は導体半径 r_c の関数になると考えられる。図6は、内部導体表面の電界強度をパラメータとした比電荷対導体半径の特性で、ACSRの特性については3.5節で述べる。また、同図には図3で示したA、B、C点における比電荷の値も示した。図から明らかなように、モードIの領域では r_c が大きくなると比電荷は線形に増加し、モードIIIの領域でも r_c が大きくなると比電荷は増加する傾向がある。モードIIとIVでは比電荷は複雑に変化する。

図7は、比電荷とコロナ放電の各モードの開始電界強度を示す。WCの開始電界強度は従来いわれているように

$$E_{WC}=30.5(1+0.305/\sqrt{r_c}) \quad (\text{kV/cm}) \quad (1)$$

で決まる²⁷⁾が、比電荷モードの開始電界強度は

$$E_1=K(1+H/r_c) \quad (\text{kV/cm}) \quad (2)$$

(ただし、 K 、 H は各モードに対して決まる定数)の形をしている。それぞれのモード開始電界強度に対する K 、 H を実験値に合致するように求めると表2のようになる。

3.6.1 項で述べるように、CCの開始はモードIIの開始と密接に関係しているので、CCの開始電界強度の実

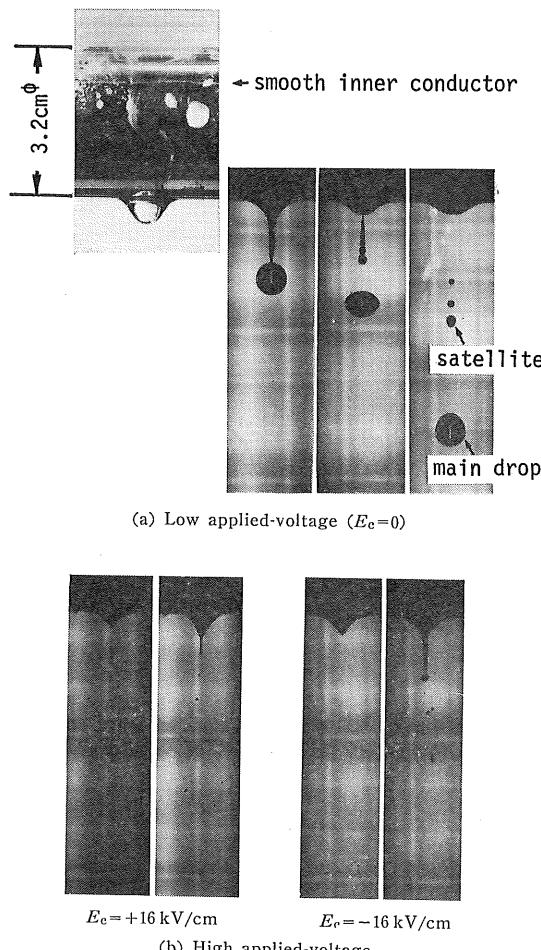


図4 電線からの水滴落下
Fig. 4 Dripping fashion of water drops from smooth conductor with various voltages.

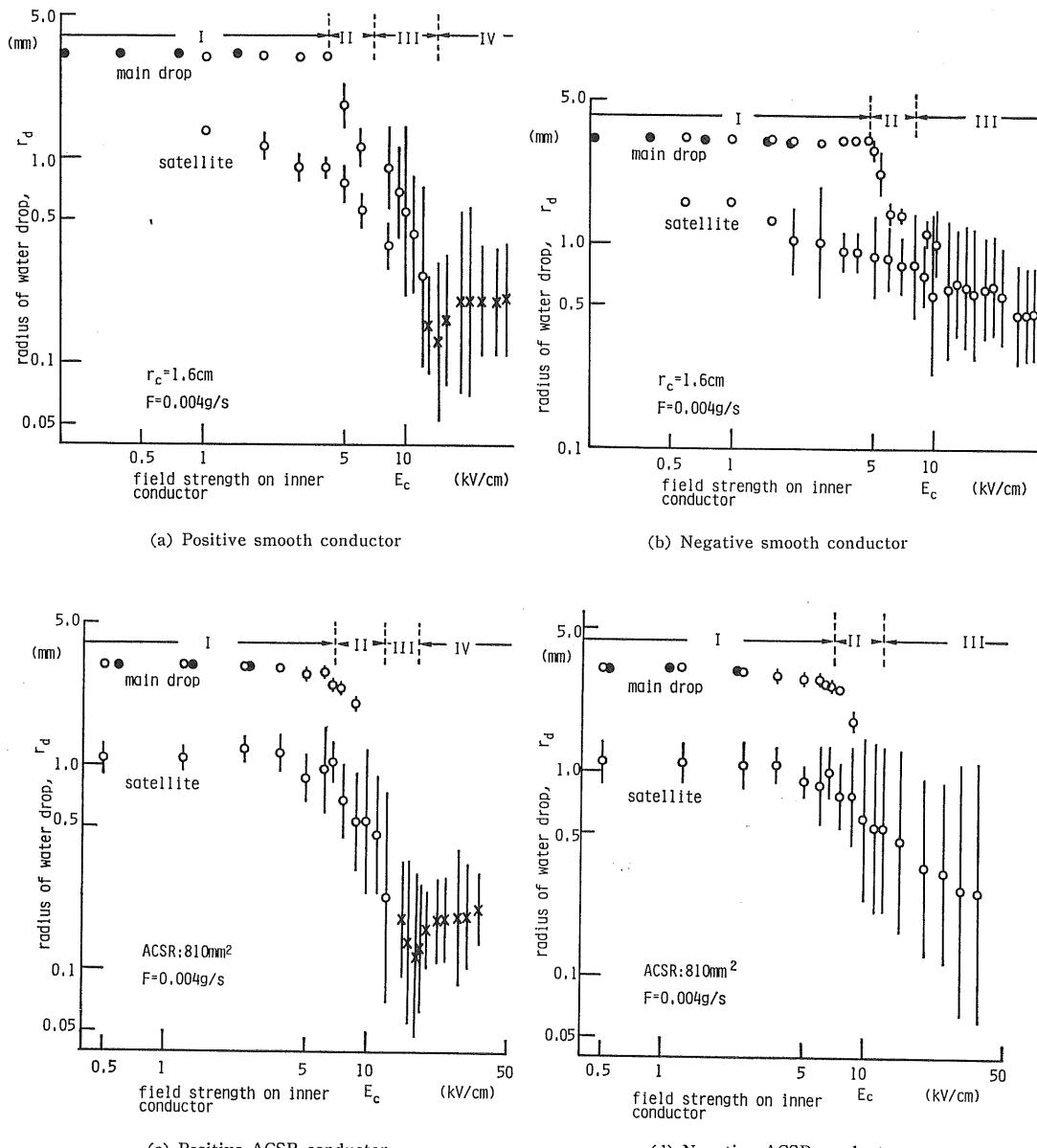


図 5 水滴の粒径対内部導体表面電界強度特性

Fig. 5 Size of water drops versus the maximum field strength on inner conductors.

Measuring methods; ●: Weight, ○: Still camera and projector, ×: Slide glass with silicon oil and projector.

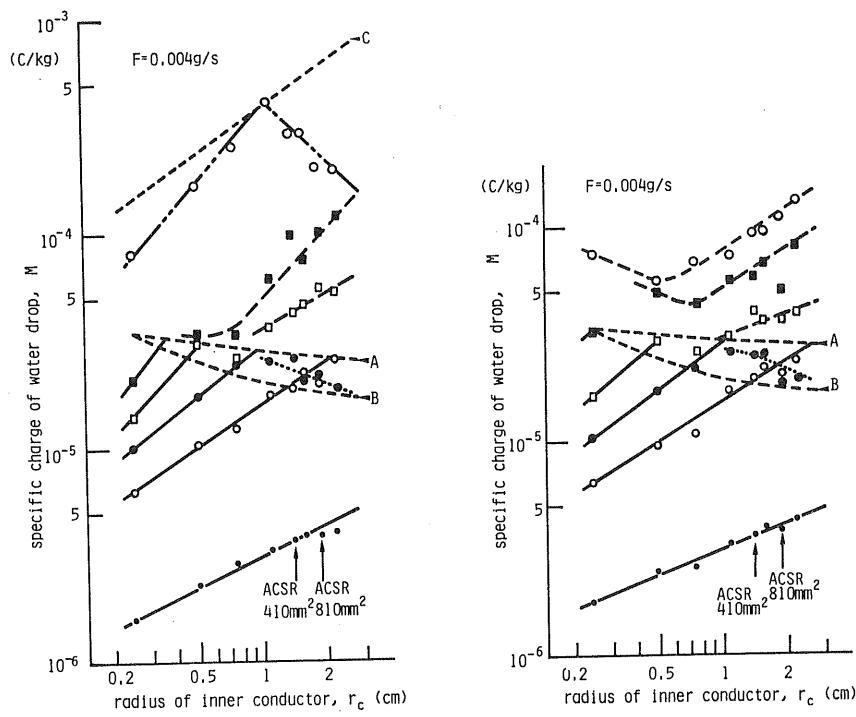
式も(2)式の形となる。

3.4 比電荷に対する供給水の平均流量の影響

2章で述べたように、30 kV/cm 程度までの内部導体表面電界では電線下部に突起が1個だけ形成されたので、ここで述べる供給水の平均流量 F は水滴突起1個当たりの平均流量と見て良い。ところで、実送電線では電線が撓んでいるので、電線から落下する単位長当たりの降雨

の平均流量は鉄塔間の位置によって変わる。一方、コロナ放電が現われると、その空間電荷によってその近傍にはコロナ放電が現われず、降雨時の電線上のコロナは10 cm オーダの間隔を隔てて現われることが知られている。

今、電線に衝突した降雨がその点の水滴突起から落下すると仮定すると、 $r_c=1.6 \text{ cm}$ 、降雨量 10 mm/h のと



(a) Positive inner conductor

(b) Negative inner conductor

図 6 比電荷対導体半径特性

Fig. 6 Specific charge versus radius of inner conductor.

— : Mode I, : Mode II, --- : Mode III, - - - : Mode IV, - - : Points A, B and C,
 · : $E_b = 1 \text{ kV/cm}$, ○ : 4 kV/cm , ● : 6 kV/cm , □ : 8kV/cm , ■ : 10kV/cm , ○ : 20kV/cm

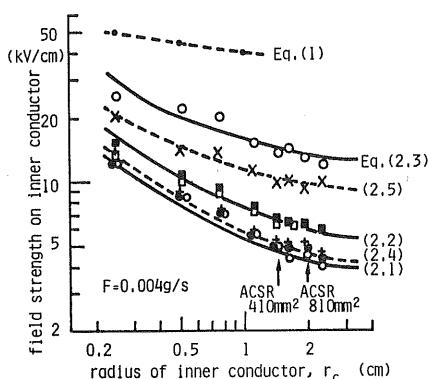


図 7 比電荷とコロナ放電の各モードの開始電界強度

Fig. 7 Field strength at the points A, B and C and at the start of the CC, HC and WC.
 + : CC (+, -), × : HC (+, -), · : WC (+, -),
 ○● : Point A(±), □■ : Point B(±), ○ : Point C(+).

きの平均流量は $0.00089 \text{ g/s} \cdot \text{cm}$ となる。したがって、強い降雨時のコロナ放電が生じている水滴突起 1 個当たりの流量は 0.0089 g/s 程度と推定される。そこで、この

表 2 (2)式中の定数

Table 2 Constant in Eq. (2).

Field strength	<i>K</i>	<i>H</i>	Eq. No.
E_A (at the point A)	3.2	0.69	(2.1)
E_B (at the point B)	4.5	0.667	(2.2)
E_C (at the point C)	11.3	0.42	(2.3)
E_{CC} (at the starting of the CC)	3.31	0.75	(2.4)
E_{HC} (at the starting of the HC)	8.5	0.353	(2.5)

領域を含む平均流量の範囲で比電荷に対する供給水流量の影響を測定した。その結果が図 8 で、正極性の C 点(ならびにそれに近い電界)以外では、 $10^{-3} \sim 10^{-2} \text{ g/s}$ の範囲で流量の影響は小さく、 $5 \times 10^{-2} \text{ g/s}$ 程度以上になるとモード II, III, IV では F が増えると比電荷は減少するが、モード I の低い電界領域では比電荷がわずかに上昇する。C 点付近の電界では、図中の黒丸印でプロットしたように顕著な流量の影響が現われるが、 F が $10^{-3} \sim 10^{-2} \text{ g/s}$ で飽和する。この特性と実送電線における前述

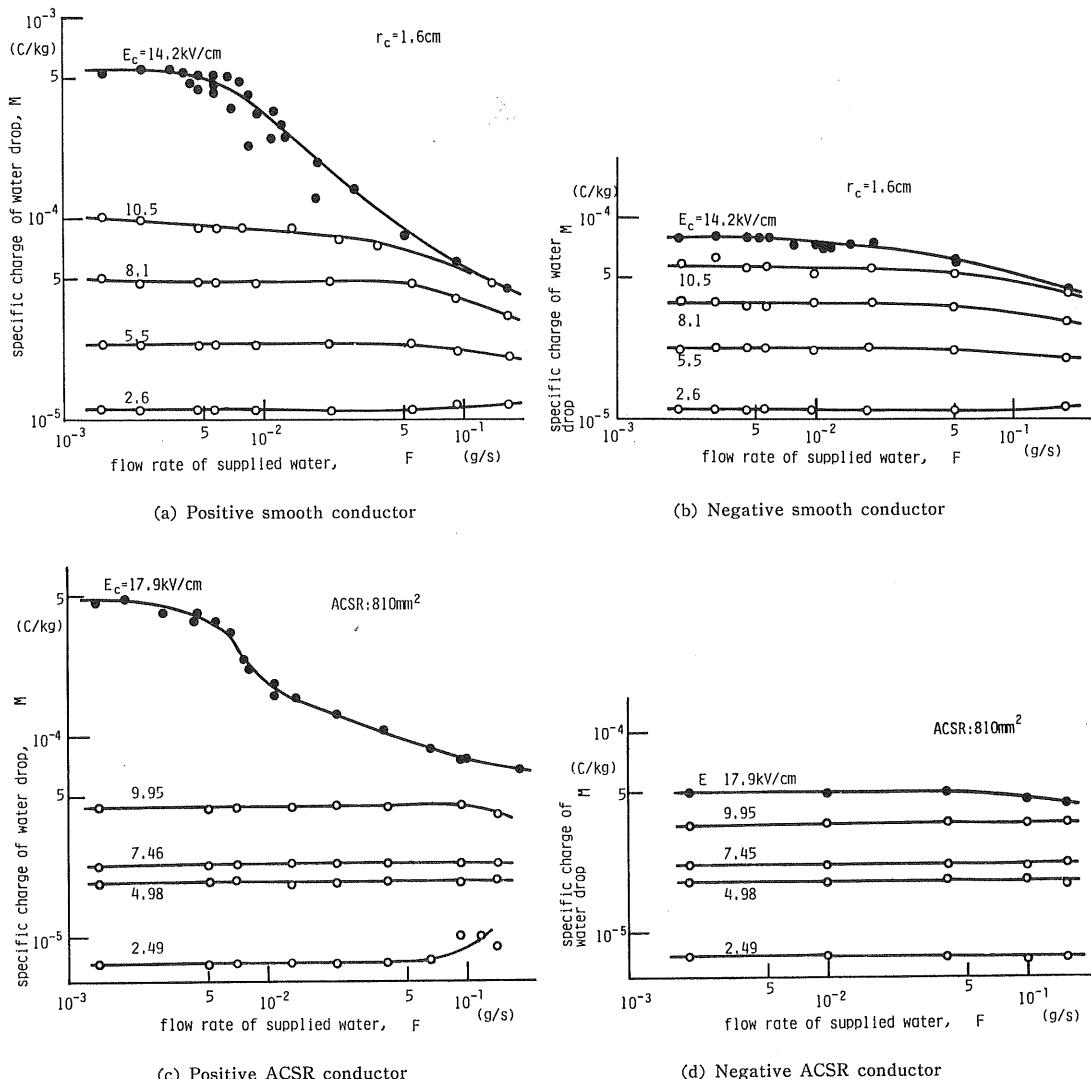


図 8 比電荷対供給水流量の特性
Fig. 8 Specific charge versus flow rate of supplied water.

の水滴突起 1 個当たりの流量の関係から、他の実験はすべて $F \approx 0.004 \text{ g/s}$ で行なった。

3.5 比電荷に対する内部導体表面状態の影響

3.4 節までに述べたことより、比電荷の電界、供給水の流量に対する特性、粒径の電界に対する特性は、定性的には円滑導体と ACSR に対してほぼ同じである。ところで、本実験装置での ACSR (810 mm^2) の最大表面電界は、同一電圧を印加した ACSR と同じ径をもつ円滑導体の表面電界の約 1.387 倍²⁸⁾ (410 mm^2 の場合は約 1.386 倍) である。より線によるこの電界増加が比電荷特性にどのように影響するかを次に調べてみよう。

図 6, 7 の ACSR に対する測定値は、ACSR の最大

直径の半分を r_c とし、より線による電界増加を無視してプロットしたものである。実験データをこのように整理すると、ACSR の実験値は円滑導体の場合の曲線によく載る。すなわち、ACSR における比電荷モードならびにモード II の開始と密接な関係にある CC の開始は、ACSR と同じ最大直径をもつ円滑導体のそれと同じになる。このことから、ACSR から落下する水滴の比電荷ならびに粒径は、電線表面の最大電界によるものではなく、より線による電界増加を無視した電界によって決まると考えられる。ACSR からの水滴落下形態についても上述と同様なことがいえる。一方、従来の研究により、WC の開始は電線表面の最大電界で決まることが知られてい

る。

以上のようなより線の効果は次のように説明されるであろう。

コロナ放電開始を決定する電界は、電子なだれ進展長の範囲内のそれであり、なだれ進展長は非常に短いので WC は電線表面の最大電界強度で決まるのに対し、水滴の比電荷ならびに粒径は（水の表面張力が一定であれば）水滴のうける外部電界強度で決まる。すなわち、図 4 からも推定できるように、水滴の変形に対しては電線から 0.5~3 cm 程度離れた位置の電界が問題になり、ここでの電界に対するより線の影響は少ない。

3.6 検討

3.6.1 水滴の不安定性と比電荷ならびにコロナ放電

電圧が印加されていない電線に上部から水滴を落下させると、電線下部に水滴が溜り、ついに自重により不安定となって落下する。

電圧が印加されると、水滴の表面張力、水滴の内部圧力、電界力、重力ならびにコロナ放電が現われている場合にはコロナ風による反動力によって水滴の安定限界が決まると考えられる。従来、電界が存在する空間での水滴の不安定性については次のようなものが知られている。

- (1) 帯電した球状水滴が、外部電界が存在しない空間で不安定になる場合 (Rayleigh's instability)¹²⁾
 - (2) 非帶電水滴が外部電界が存在する空間で不安定になる場合で、この場合の不安定は回転橍円体状水滴の主軸半径比が 1 対約 1.9 になったときに生ずる (Taylor's instability)¹⁷⁾
 - (3) 導電性物体上にある水滴先端が半角 49.3° (Taylor's angle) の円錐状になったとき、先端からミストと同時に H⁺ (正極性の場合), OH⁻ (負極性の場合)などの移動度の小さいイオンを発生する^{17, 23)}.
 - (4) (1)と(2)の複合状態¹⁸⁾.
- (1)と(2)は、空間に水滴が浮かんでいるような場合には明瞭に区別できるが、物体から水滴が垂れ下がっているような場合は区別がはっきりしなくなる。たとえば、細い管の先端に水滴が垂れ下がり、それに電圧が印加されているとすると、その水滴のまわりの電界分布は外部電界が存在する空間に浮遊する水滴の電界とも、また帶電浮遊水滴のまわりの電界とも異なる。本研究の水滴はこのような状態に近い。水滴先端の電界強度からいえば、(2)の場合のほうが(1)の場合より若干低いことが知られている²¹⁾ことから、(2)の不安定性が初めに起こると推定される。

ところで、電線から水滴が離れるとき、図 4 (a)でも示したように主水滴は低い印加電圧ではほぼ球形をして

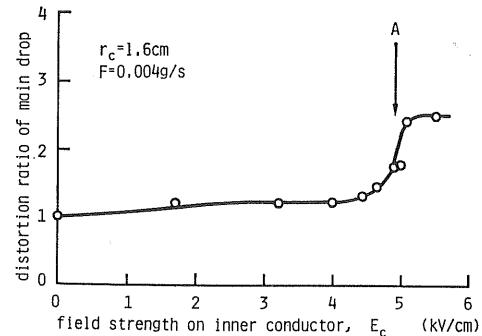


図 9 主水滴の主軸半径比

Fig. 9 Distortion ratio (major semiaxis/minor semiaxis) of main drop.

いるが、電圧が高くなるとしだいに扁長橍円体に近い形²⁶⁾となる。そこで、 $r_e=1.6\text{ cm}$ の円滑導体を用いて主水滴の主軸半径比を導体表面電界の関数として求めると図 9 のようになる。図から明らかなように、主水滴は図 3 の A 点に対応する電界付近で急に変形し、そのときの主軸半径比は 1 対 1.9 程度になっている。以上のことならびに、A 点で水滴が不安定になりはじめるとき（供給水を止めて水滴が安定を保つ最も大きな水滴突起）の水滴先端形状が橍円体に近いことから、A 点で Taylor's instability またはそれに近い上述の(4)の不安定性が生じているものと考えられる。

上述の(2)からも明らかなように、本来 Taylor's instability は外部電界中に浮遊する非帶電水滴で解析されているが、ここでは不安定性が生ずるときの水滴先端条件が本来の非帶電水滴における場合に近いと考えられるので Taylor's instability と呼んでいる。落下水滴の比電荷は不安定性が生ずるときの水滴表面の電荷密度で決まるが、Taylor's instability が生ずるときの電界と Rayleigh's instability が生ずるときの電界がほぼ等しいので、A 点における水滴の比電荷も Rayleigh's limit に近いと考えられる。このことを確認するために、比電荷と粒径の関係を図 2, 5 より求めたのが図 10 である。図から明らかなように A 点では Rayleigh's limit に近く、他の電界領域では Ryce によって与えられた値¹⁶⁾に近い。図 10 (a) の A 点が Rayleigh's limit に一致しているのは偶然である。すなわち、この値は孫水滴をも含んだ値であり、また r_e を変えると A 点の r_d が変化するが、このようにして求めた A 点の比電荷と粒径の関係は図 11 のようになり、 r_d が小さくなると Rayleigh's limit より小さくなっていることがわかる。

Dawson によれば、水滴の電界による不安定性はコロナ放電の開始をもたらす²¹⁾。本研究においても、水滴の

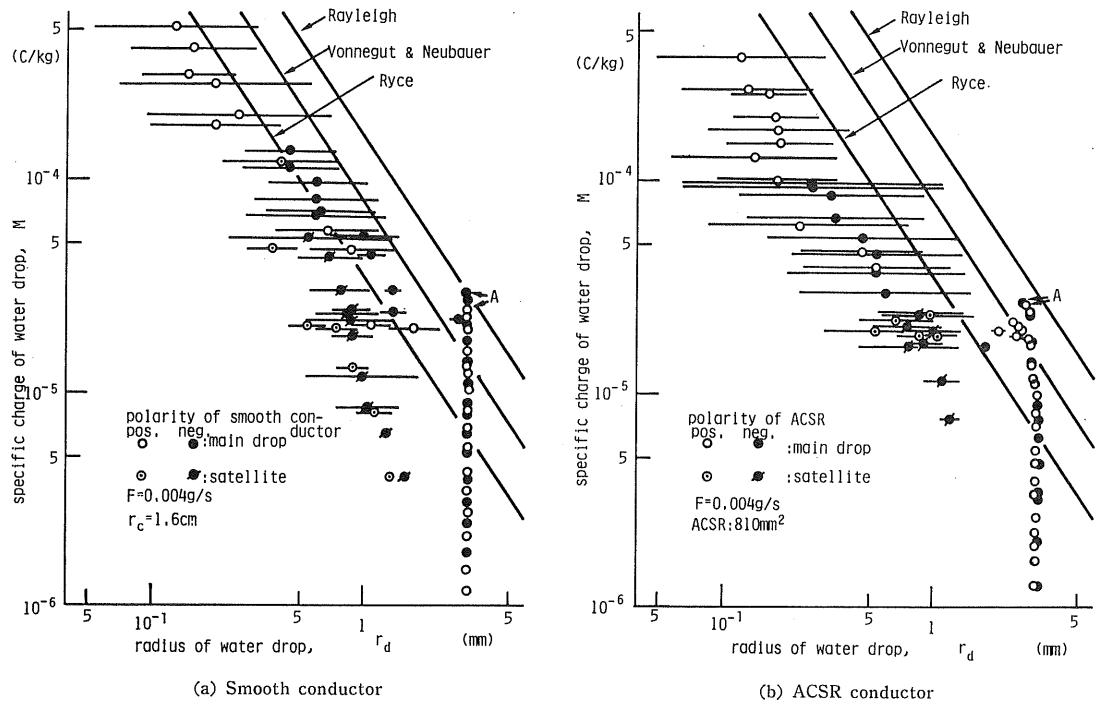


図 10 比電荷対水滴半径の特性

Fig. 10 Specific charge versus drop radius.

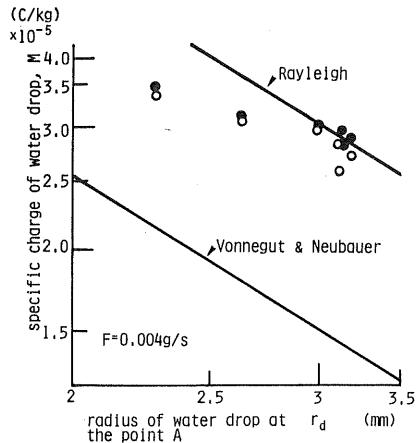


図 11 内部導体を変えて得たA点の比電荷

Fig. 11 Specific charge at the point A with various inner conductors.

電界による不安定性が始まったと考えられるA点よりわずかに高い電界においてCCが開始されており,Dawsonの結果と一致する。

水滴突起が円錐状になる上述(3)の不安定性の開始電界は、低い印加電圧のもとで大きな水滴突起を電線下部に作ったのち、供給水を止めて印加電圧を上昇させることによって確かめた。その結果、(3)の不安定性開始時の水

滴は Taylor's angle よりも常に小さい先端角を持っており、そのときの電界は HC 開始電界と一致し、(3)の不安定性開始による比電荷モードの変化は認められなかった。

3.6.2 比電荷モードと水滴落下形態

ここでは、比電荷が図 3 に示したモード II で低下する原因を中心に検討する。水滴の比電荷は、水滴が電線から離れる瞬時における水滴表面の電界強度と、水滴が電線から離れたあとに水滴から生ずるコロナ放電による電荷の中和量によって決まると考えられる。すなわち、コロナ電流と水滴落下形態との関係を調べると、強力なコロナ放電は水滴が電線から離れる前に生じているが、水滴離脱後にもコロナ放電が現われており、これによる中和量は無視できない。

図 12 は、比電荷の各モードに対する水滴が電線から離脱しているときの静止写真の例である。図から明らかのように、モード II では水滴の根本が初めて電線から離脱するのに対し、モード I と III では水滴の先端部が初めて離脱し、その後に首の部分が離脱・分裂することがわかる。すなわち、モード I, III では電界の強い水滴先端部が落下したのち、首の部分が充電されて離脱するのに対し、モード II では首の根本が先に電線から離脱するために、I, III におけるような首の部分の充電が起こらず、

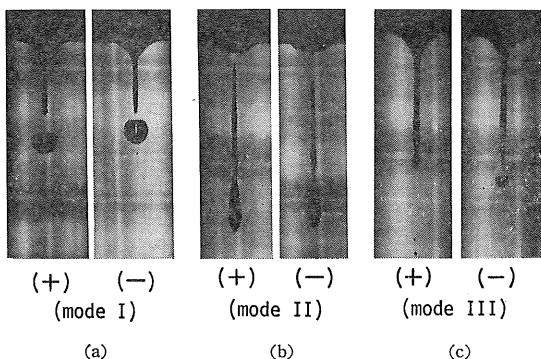


図 12 水滴の離脱時における形状

Fig. 12 Drop profile at the moment of its disruption.
 (a) $E_c=4 \text{ kV/cm}$, (b) $E_c=6.3 \text{ kV/cm}$,
 (c) $E_c=8 \text{ kV/cm}$.

モードIIでの比電荷の顕著な低下が現われたものと考えられる。

正極性のモードIVにおける比電荷の低下は、3.2節で述べた円錐状水滴突起が上下に振動し、水滴の粒径がC点より大きくなることによると考えられる。

4. む す び

從来、降雨中の直流送電線から落下する水滴に関する情報はほとんど得られていなかったが、本研究によって水滴の比電荷と粒径に関するデータが得られた。また、水滴の不安定性、比電荷モードならびにコロナモードの関係が明らかになった。

最後に、ACSRを提供くださった藤倉電線㈱、実験装置の組立てに協力された本学井上政実技官に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) G.D. Friedlander: IEEE Spectrum, Feb. (1977),

- 57.
- 2) M. Hara, N. Hayata and M. Akazaki: J. Electrostatics, 4 (1978), 349.
 - 3) M. Hara, H. Chishaki and M. Akazaki: *ibid.*, 6 (1979), 29.
 - 4) 原 雅則、赤崎正則: 昭和53年度電気四学会九州支部連合大会講演論文集 (1978), 107.
 - 5) L. Boulet and B.J. Jakubczyk: IEEE Trans., PAS-83 (1964), 508.
 - 6) M. Akazaki: *ibid.*, PAS-84 (1965), 1.
 - 7) 角田美弘、荒井健次: 電気学会雑誌, 84 (1964), 1430.
 - 8) 赤崎正則、林 石象: 同上, 88 (1968), 909.
 - 9) H.H. Newell, T.W. Liao and F.W. Warburton: IEEE Trans., PAS-87 (1968), 911.
 - 10) F. Inna, G.L. Wilson and J.D. Bosack: IEEE PES Winter Meeting, No. C73 164-1, New York (1973).
 - 11) J.E. Houburg and J.R. Melcher: *ibid.*, No. C73 165-8, New York (1973).
 - 12) L. Rayleigh: Philos. Mag., 14 (1882), 184.
 - 13) J. Zeleny: Phys. Rev., 10 (1917), 1.
 - 14) B. Vonnegut and R.L. Neubauer: J. Colloid Sci., 7 (1962), 616.
 - 15) C.D. Hendricks, Jr.: J. Colloid Phys., 17 (1962), 249.
 - 16) S.A. Ryce: J. Colloid Sci., 19 (1964), 490.
 - 17) G. Taylor: Proc. R. Soc. London, Ser. A, 280 (1964), 383.
 - 18) M.A. Abbas and J. Latham: Q.J.R. Meteorol. Soc., 95 (1969), 63.
 - 19) S. Ogata, K. Kawashima, O. Nakaya and H. Shinohara: J. Chem. Eng. Jpn, 9 (1976), 440.
 - 20) W.N. English: Phys. Rev., 74 (1948), 179.
 - 21) G.A. Dawson: J. Geophys. Res., 74 (1969), 6859.
 - 22) G.A. Dawson: *ibid.*, 75 (1970), 2153.
 - 23) E. Barreto: Aerosol Sci., 2 (1971), 219.
 - 24) 電気学会: 電気学会技術報告(Ⅰ部), 112号 (1975), 43.
 - 25) 電気学会: 電気学会技術報告(Ⅱ部), 48号 (1976), 4.
 - 26) M. Hara, S. Ishibe and M. Akazaki: J. Electrostatics, 6 (1979), 235.
 - 27) 電気学会: 高電圧工学, p.151, 学術社 (1946).
 - 28) 加賀谷誠一: 超高圧送電, p.184, 第8章, 日刊工業新聞社 (1961).