

交流コロナ雑音に対する水滴形状の影響

有馬 泉*, 渡辺 貞司**, 高木 伸之*

(1985年11月13日受理)

Effect of Waterdrop Shape on AC Corona Noise

I. ARIMA,* T. WATANABE** and N. TAKAGI*

(Received November 13, 1985)

We investigated the effect of waterdrop shape on AC corona noise. The results are summarized as follows: when the AC voltage was applied to a cage type coaxial electrode, a water drop on an inner conductor became more sharp at its tip and eventually made bursts at the tip. After those, the same procedure, sharpening and burst, is repeated periodically, giving a shorter periodic time than that for applying the DC voltage. Under the same potential gradient, the radio noise level in the period of the burst for applying the AC voltage is larger than that for applying the DC voltage. Because a lower height of a conical shape water drop just prior to the falling of a tiny water droplet for the AC field produces a higher potential at the close distance from the tip of the water drop in comparison with that for the DC field, that is, it implies that large corona pulses can be produced with somewhat ease for the AC field than for the DC field.

1. ま え が き

送電線の降雨時コロナ放電現象については、すでに多くの研究がある。これらの研究のうち、降雨時電線に付着した水滴からのコロナ放電については、同軸円筒の上方に設置された給水装置により、内部電極に水滴を形成し、その形状とコロナ放電との関係について考察されているものが多い¹⁻⁴⁾。また、コロナ放電による可聴騒音については、同軸円筒の内部電極に小穴を作り、そこに給水装置から水を供給して水滴を形成し検討している^{5,6)}。筆者らは、後者の方法で内部電極に1個の水滴を形成し、水滴の形状変化と直流コロナ雑音との関係について検討した⁷⁾。また、交流コロナ雑音については、前者の方法で内部電極に多数の水滴を形成し、雑音の基となるコロナパルス分布特性に重点をおき検討した^{8,9)}が、これらは雑音レベルの変動幅の少ない統計的特性である。そこで、さらに研究を進めるため前報⁷⁾と同じ測定系を用い、内部導体に形成された1個の水滴の形状変

化と交流コロナ雑音特性との関係について検討した。ここでは、これらの結果と前報⁷⁾の直流の場合との比較検討の結果について報告する。

2. 実 験 装 置

実験装置は、前報⁷⁾と同じなので、ここではその概略をのべる。かご形同軸円筒の外側電極は、直径1 cm、長さ1 mの平滑な銅パイプ30本で構成され、その外径は53 cmである。また、内部電極には、直径1.2 cmの平滑な銅パイプ1本を用い、それを3分割して中央部分の長さを20 cmとした。その中央部分の中心に直径2.5 mmの小穴を設け、そこに給水装置からビニールパイプで水を導き、小穴の部分に1個の水滴を形成させる。使用した井戸水の18°Cにおける導電率は、約50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ である。

雑音測定器は、電波技術審議会規格に基づく妨害波強度測定器 (KNM-402, 協立電子製) で、帯域幅は、10 \pm 1 kHz, 準ピーク充電時定数 1 ± 0.5 ms, 放電時定数 600 ± 120 ms である。また、コロナパルス分布特性の測定には、10チャンネル波高解析装置を用いた。

一方、水滴の形状は、光源 (写真用カラーフラッド, 100 V, 500 W) で照射した水滴のシルエットを、テレビカメラ測定系および高速度カメラ測定系で観測した。高速度カメラ測定系は、マクロレンズ (キヤノン FL 200 mm), 固定スリット, 回転スリットおよびフィルム巻

* 岐阜大学工学部電気工学科 (501-11 岐阜市柳戸1番1)
Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Gifu University, 1-1, Yanagido, Gifu, 501-11 Japan

** 岐阜大学工業短期大学部電気工学科 (501-11 岐阜市柳戸1番1)
Department of Electrical Engineering, College of Technology, Gifu University, 1-1, Yanagido, Gifu, 501-11 Japan

取装置などで構成され、この測定系の露出時間は 0.219 ms、毎秒当りのコマ数は約 226 コマであり、この測定系での測定可能時間は約 2 秒である⁷⁾。また、前報⁷⁾では、高速度カメラ測定系のマーカ回路より、周期 50 ms のパルスが発生し、LED を点滅させてフィルム上に時間目盛を記録した。今回は、印加交流電圧 (60 Hz) の位相をフィルム上に記録するため、交流波形の 1 周期に 1 回、一定時間 LED を点滅させる回路を付加した。また、通常の交流送電線の表面電界強度は 15~20 kV/cm 程度である⁸⁾が、以下の実験での印加電界は、交流電圧の波高値で 15~25 kV/cm の範囲とした。

3. 測定結果および考察

3.1 テレビカメラで観測された水滴の形状変化

電界が印加されないときの水滴の落下周期を 90 秒に調整し (3.2 節参照)、印加電界を一定にして内部電極の中央部に形成された水滴の形状変化を、テレビカメラで観測した。テレビカメラで観測された水滴の成長期間および破裂期間の定義は、前報⁷⁾と同じで、水滴の先端が先鋭化した円錐体となり、その先端部が光り始めたとき (t_1) を水滴破裂期間の開始とし、破裂した水滴の先端部が再び先鋭化したとき (t_2) を、水滴破裂期間が終了し同時に水滴成長期間が開始するとする。さらに、 t_1 と同じ状態になるときを、水滴成長期間が終了し、同時に水滴破裂期間が開始するとする。図 1 および図 2 は、それぞれ水滴の成長期間および破裂期間について、電界の大きさを変えて測定した結果で、いずれも 5 回測定したと

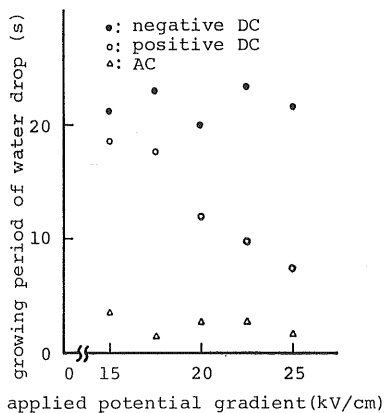


図 1 印加電界に対する水滴成長期間の変化 (水滴は電圧が加えられていないとき 90 秒間に 1 滴の割合で落下する)

Fig. 1 The measured variation of the growing period of water drop with the applied potential gradient. Drops are allowed to fall from the inner conductor at a rate of one per 90s when the voltage is not applied to the conductor.

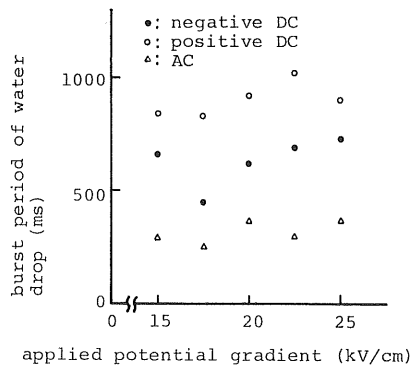


図 2 印加電界に対する水滴破裂期間の変化 (水滴は電圧が加えられていないとき 90 秒間に 1 滴の割合で落下する)

Fig. 2 The measured variation of the burst period of water drop with the applied potential gradient. Drops are allowed to fall from the inner conductor at a rate of one per 90s when the voltage is not applied to the conductor.

きの平均値で示した。また、比較のため直流電界印加時の結果⁷⁾も示したが、これは、交流電圧の波高値と直流電圧値とを等しくした場合で、以下交流と直流の場合の比較は、いずれもこの条件のときである。同図より、直流の場合の水滴成長期間は、同一電界では、正極性の場合のほうが負極性の場合より短い。交流の場合の成長期間は、正極性直流の場合より短い。一方、直流の場合の水滴破裂期間は、同一電界では、負極性の場合のほうが正極性の場合より短い。また、交流の場合の水滴破裂期間は、負極性直流の場合より短い。足立らは¹⁰⁾、同軸円筒の上方から針状ガラス管によって水道水 (導電率は 260 μ S/cm) を供給して、導体の下部に 1 個の水滴を付着させ、ヒissing コロナ放電 (水滴形状が円錐状となり、その先端にコロナ放電が連続して現われる) とクラッキングコロナ放電 (水滴落下時のみ現われる) の持続時間の印加電圧に対する特性について検討した。この場合の落下水量は、1 分間に 0.58 ml で筆者らの 90 秒間に 0.1 ml より多いが、印加電界が 15~25 kV/cm の範囲では、ヒissing コロナ放電の持続時間は印加電界の増加に対して、正極性の場合は減少し、負極性の場合はほぼ一定である。この傾向は、図 1 の直流の場合の水滴成長期間の傾向と同様である。また、クラッキングコロナ放電の持続時間は、同一電界では、正極性の場合が負極性の場合より長い。この傾向は、図 2 の直流の場合の水滴破裂期間の傾向と同様である。このようなコロナ放電と水滴の形状変化との関係については、3.2 節で検討する。

つぎに、電界が印加されないときの水滴の落下周期を

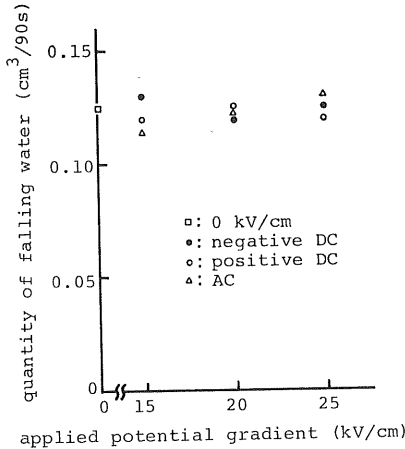


図3 印加電界に対する落下水量の変化
Fig.3 The measured variation of the net quantity of falling drops per 90s with the applied potential gradient.

90秒に調整し、印加電界の大きさと極性を変えて、落下水量を1mlが3cmで表示できるビュレットを用いて測定した結果を図3に示す。同図は、各電界ごとに15分間測定し、それらの値を90秒当りの水量に換算したもので、直流および交流電界印加の場合とも、印加電界の変化に対してほぼ一定である。このことと図1および図2の結果より、同一電界では、直流および交流電界印加の場合とも、90秒間当りの落下水量は、ほぼ同じであるが、交流電界印加時の水滴の成長期間および破裂期間とも直流電界印加の場合より短く、水滴の成長と破裂のくり返し周期は短くなる。この水滴破裂期間の水滴の落下状況をさらに詳細に検討するには、テレビカメラでは時間分解能が不足し明瞭ではないので、つぎに高速度カメラで観測して検討する。

3.2 高速度カメラで観測された水滴の形状変化
3.2.1 水滴落下周期と降雨量との関係

本実験で電界が印加されないときの水滴落下周期を90秒としたのは、つぎのようである。降雨量とコロナ雑音レベルとの関係については、多くの研究結果が報告されており、降雨量の増加とともに雑音レベルは増加し、降雨量が数mm/h以上では飽和する傾向がある¹¹⁾。一方、降雨量と同軸円筒での降水量との関係については、赤崎ら¹²⁾が、同軸円筒の上方に給水器およびコックを設け、コックの調整によって水滴落下頻度を制御し、送電線における対雨量特性に相当する落下頻度とコロナ雑音との関係で、検討した。その結果、雑音レベルは、水滴落下頻度の増加とともに増加し、約40~50滴/分以上で飽和する傾向があることを示した。筆者らも、水滴の落

下頻度を調整し、印加電界を変えて雑音レベルを測定した結果、雑音レベルは約20~30滴/分以上で飽和する傾向が得られた。本実験の目的は、1個の水滴の形状変化と雑音レベルとの関係を検討することであるが、水滴落下頻度を多くすると、この実験で使用した高速度カメラ測定系では、水滴の形状変化が観測できない場合がある。たとえば、電界が印加されないときの水滴落下周期を30秒(2滴/分)に調整した場合、印加電界15~25kV/cmで、水滴破裂期間の平均値は、正極性の場合0.6~2.2秒、負極性の場合0.4~1秒である。したがって、水滴落下周期が30秒では、水滴破裂期間が高速度カメラ測定系の測定可能時間(約2秒)より長くなる場合があるので、落下周期は90秒とした。

3.2.2 交流および正極性直流電界印加時の水滴の形状変化

図4は、印加電界を15kV/cmとし、内部電極に形成された1個の水滴が、落下する直前から落下直後までを含む約2秒間の水滴の形状変化を、高速度カメラ測定系で観測した結果の一部を示す。同図(a)は、交流電界印加時の水滴の形状変化で、 t_1 ではほぼ円錐状、 t_2 では円錐状の先端部が半球状となる。さらに、 $t_3 \sim t_4$ では、 $t_1 \sim t_2$ と同じ変化であるが、円錐状水滴の高さが大きくなる。 t_5 では、 t_1 および t_3 より円錐状の先端部が先鋭化し、 t_6 では t_5 で先鋭化した部分が半球状となり、それに続く部分は円柱状となる。その円柱状の部分の中心軸付近が光っているが、これは一種の円柱レンズとして作用し、その軸を含む平面上ではレンズに入射した光が屈折せず、そのまま透過するためである。 $t_6 \sim t_9$ で

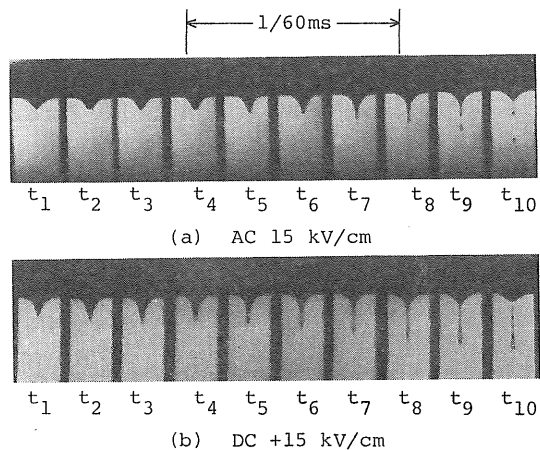


図4 微小水滴落下期間中の水滴の形状変化
Fig.4 The time variation of the shape of water drop in the falling period of the tiny water droplet.

は、円柱部分が細長く伸びて微小水滴となり、 t_{10} で導体に付着している水滴から離脱する。ここでは、 t_6 を微小水滴落下開始、 t_{10} を微小水滴落下終了とし、 $t_6 \sim t_{10}$ を微小水滴落下期間とする。同図(b)は、正極性直流電界印加時の水滴の形状変化で、 $t_1 \sim t_3$ で円錐状の先端部が先鋭化しながら円錐状水滴の高さが大きくなり、 t_4 で微小水滴が落下し始め、 t_{10} で微小水滴の落下が終了する。負極性直流電界印加時には、正極性の場合と同様な変化をするが⁷⁾、正極性の場合の $t_1 \sim t_3$ の状態が、負極性の場合には $t_1 \sim t_6$ と長く続き、水滴は長くなる。

交流電界を印加した場合、微小水滴落下前に $t_1 \sim t_2$ 、 $t_3 \sim t_4$ の状態をくり返すのは、つぎのように考えられる。同図に示した2コマは約8.84 msであり、印加電界(60 Hz)の約1/2サイクルに相当するので、たとえば、正の半サイクルの電界上昇部分で t_1 のように水滴先端部が先鋭化し、最大値を過ぎて減少し始めると t_2 のように先端部が丸くなる。つぎの負の半サイクルの電界上昇部分で t_3 のように再び先端部が先鋭化し、電界の減少部分で t_4 のように丸くなる。このように、微小水滴落下前の水滴成長の途中で電界が交番するため、 $t_1 \sim t_2$ 、 $t_3 \sim t_4$ の状態をくり返すが、 t_3 での円錐状水滴の高さが、 t_1 でのそれより大きく、 t_5 では水滴は成長し微小水滴が落下し始める。

つぎに、このような微小水滴落下期間が、図2の水滴破裂期間に何回含まれるかについて、印加電界の大きさを変えて測定した結果が図5で、5回測定したときの平均値で示した。直流電界15 kV/cmの場合の水滴破裂期間は、図2より、正極性で約0.86秒、負極性で約0.66秒である。また、直流電界15 kV/cmの場合の微小水滴落下回数は、図5より、正極性で約8回、負極性で約

3.5回である。このように、正極性直流電界を印加したときの水滴破裂期間は、同一電界では負極性の場合より長く、また、その破裂期間に含まれる微小水滴落下回数も、正極性の場合のほうが負極性の場合より多い。これについては、前報⁷⁾で考察したので、ここではその概略を述べる。同一電界では、1回の微小水滴落下期間は、正および負極性の場合ともほぼ等しいが、つぎの微小水滴落下直前までの時間は、正極性の場合のほうが負極性の場合より短い。これは、微小水滴落下直前の円錐状水滴の高さは、正極性の場合のほうが負極性の場合より短く(図6参照)、また、微小水滴落下期間の終了直前の円錐状水滴の高さ(図4(b)で t_9 、参考文献7)の図9(c)で t_{12})は、正および負極性の場合ともほぼ同じことから、1回の微小水滴落下期間中に落下する水量は、正極性の場合のほうが、負極性の場合より少なく、つぎに落下するまでの時間が短くなるためである。

一方、交流電界15 kV/cmの場合の微小水滴落下期間の回数は、図5より約5.1回で、正極性直流電界の場合の約8回より少ない。しかし、そのときの水滴破裂期間は、図2より約0.3秒であり、微小水滴落下期間の回数と水滴破裂期間との比すなわち、微小水滴落下期間が終了し、つぎの微小水滴落下期間が始まるまでの時間は、交流の場合のほうが、正極性直流の場合より短い。これは、つぎのように考えられる。図4より、交流の場合の微小水滴落下期間(同図(a)の $t_6 \sim t_{10}$)は、1コマが約4.42 msであるので約17.68 ms、正極性直流の場合(同図(b)の $t_4 \sim t_{10}$)は、26.52 msである。また、微小水滴落下直前の円錐状水滴の高さは(図4(a)で t_5 、同図(b)で t_3)、交流の場合のほうが正極性直流の場合より小さい。さらに、微小水滴落下終了直前の円錐状水滴の高さ(図4(a)および(b)で t_9)は、交流および正極性直流の場合ともほぼ同じである。したがって、1回の微小水滴落下期間に落下する水量は、交流の場合のほうが、正極性直流の場合より少なく、つぎに微小水滴が落下するまでの時間が、交流の場合のほうが短くなるためである。

3.2.3 微小水滴落下直前の水滴形状

図6は、微小水滴落下直前(図4(a)で t_5 、図4(b)で t_3)の水滴の形状について、直流および交流電界の大きさを変えて観測した結果を示す。同図より、直流電界印加時の円錐状水滴の高さは、同一電界では正極性の場合のほうが負極性の場合より小さい。また、交流電界印加時の円錐状水滴の高さは、同一電界では直流の場合より小さい。さらに、印加電界が高くなると、直流および交流電界印加の場合とも、円錐状水滴の高さは、小さくなる。この理由は、つぎのように考えられる。

電界が印加されないとき、導体に形成される水滴形状

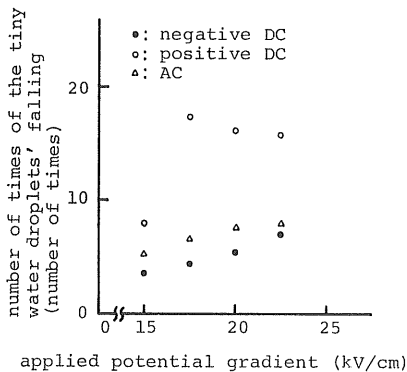


図5 印加電界と微小水滴の落下回数との関係

Fig. 5 The relationship between the applied potential gradient and the number of times of the tiny water droplets' falling.

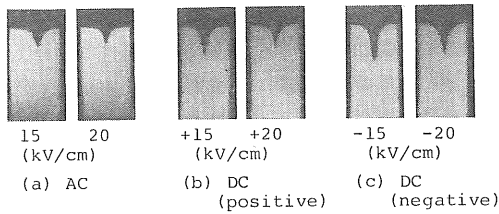


図6 微小水滴落下直前の水滴の形状

Fig.6 The shape of water drop just prior to the falling of tiny water droplet.

は、時間の経過とともに、水滴先端が半球状となり、それに続く部分は円柱状となる。そして、水滴の表面張力による内向きの力 P_s と水滴重量による外向きの力 P_h との平衡がくずれ、水滴先端部は半球状のまま、それに続く円柱部分が細長くなり、半球状の部分が球状となって落下する⁷⁾。電界が印加されると、それによる外向きの力 P_e が水滴先端部に加わり、水滴は円錐状となる。そして、時間の経過とともに P_h も増加し、水滴は円錐状のまま伸展し、その先端部から微小水滴が落下し始める。このような水滴の変形に寄与する P_s , P_h および P_e については、佐藤らの研究がある¹²⁾。すなわち、水滴の形を回転楕円体とし、その長軸半径を $m r_0$ 、短軸半径を r_0 として、 m を変化させたときの水滴面の圧力分布特性を求めた。その結果、コロナ開始前の電圧を印加したとき、無電圧時より電界方向に伸びようとする力が強く働き、 P_e の分布はとくに水滴先端で強くなっている。給水速度に比し水滴の伸びが速く、主滴が十分大きくならないうちに引き伸ばされる。また、電圧を上昇すると、 P_e はますます強くなり、水滴は細長く伸び、その伸びがある長さに達すると、先端が先鋭化しコロナパルスが出始める。その際、負コロナパルスは、水滴が先鋭化してからいっそう伸びて主滴が分離するまで続くのに対し、正コロナパルスは、先鋭化開始時および主滴の分離時前後においてみられ、その中間ではほとんどみられない場合もあるとしている。

佐藤らの示した電界を印加したときの P_e は、コロナ開始前は、ギャップ間の静電界により決定され、コロナ放電が活発な領域になると、それによる空間電荷電界も影響してくる。しかし、このようなコロナ放電による空間電荷電界は、水滴の形状が時間的に変化するので、定量的に求めることは困難である。そこで、ここでは、針対平板電極系でのコロナ放電による空間電荷電界について、定性的に考察する。針電極の極性によって、放電形態が異なるいわゆる極性効果の理由については、つぎのように説明される。すなわち、針電極が正の場合、針電極近傍で発生した電子なだれが陽極に達し、電子群が陽

極に流入すると、重い正イオン群が残留する。そして、その部分の電界を強め、しだいに電離作用が針電極から進展して樹枝状の正イオン群が残留し、コロナ放電は進展する。しかし、正イオン群の低電界領域への移動拡散と陽極近傍への電界緩和作用により、コロナ放電は安定に存在する¹³⁾。針電極が負の場合、針電極近傍に残留する正イオン群は、陽極側電界を弱める一方、電子群は負イオンを形成しながら低電界領域へ移動する。一方、針電極近傍の正イオン群の一部は、短時間に陰極に流入し、残りは陰極との間に高電界領域を作るが、その領域がせまいことと、負イオン群による陰極近傍の電界緩和作用のため、放電は進展しにくくなる¹⁴⁾。このように、針電極が正の場合、コロナ放電の発達段階においては、針電極近傍の正イオン群がその部分の電界を強め、進展しやすいことから、正極性直流電界印加時の P_e は、負極性の場合より大きく、微小水滴落下直前の円錐状水滴の高さは小さくなるものと思われる。原ら³⁾は、同軸円筒の上部に設けた水槽から水道水(導電率 $267 \mu\text{S}/\text{cm}$)を内部導体に落下させ、印加電界を変化させたときの導体から落下する水滴の比電荷と粒径について検討した。その結果、ある電界以上では極性効果が顕著になり、内部導体が正極性の場合、導体表面の最大電界が $12 \sim 30 \text{ kV}/\text{cm}$ の範囲で、比電荷特性にシャープなピークが現われ、負極性の場合にはそのようなピークは現われない。したがって、印加電界の上昇に伴う比電荷の増加率は、正極性の場合のほうが負極性の場合より大きいことなどを明らかにした。このような水滴の比電荷は、主として水滴が導体から離れる瞬間における水滴表面の電界で決まることを考慮すると、正コロナ放電の発達段階では、水滴先端近傍の電界が高くなると思われる。

つぎに、交流電界を印加した場合、たとえば、正の半サイクルでのコロナ放電の発達段階では、その前の負の半サイクルでのコロナ放電による負イオン群が、ある程度残留し、水滴先端近傍の電界を強める。福島ら¹⁵⁾は、UHV コロナケーシング内に複導体をおき、交流電界印加時のコロナ放電で発生したイオンの移動距離を求めた。すなわち、印加電界 $20 \times \sqrt{2} \text{ kV}/\text{cm}$ で移動度を $1.1 \sim 2.9 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ としてイオンの移動距離を求めたが、移動度を $2.9 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ としても、 5 ms ($1/4$ 周期)での移動距離は 50 cm 以下であり、複導体から外部導体までの距離 $3 \sim 3.5 \text{ m}$ に比し小さい。実際には移動度は $1.5 \sim 2.5 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 程度と考えられるので、イオンの移動距離はもっと小さいとしている。このように、交流電界印加時には、コロナ放電の発達段階で、前の半サイクルで発生したイオン群がある程度残留し、水滴先端近傍の電界を強めるため、直流電界を印加した場合より P_e は大

きく、微小水滴落下直前の円錐状水滴の高さは小さくなると思われる。

3.3 水滴の形状変化と雑音レベルとの関係

3.3.1 水滴の形状変化と雑音計出力波形

図7は、交流印加電界を17.5 kV/cmとし、内部電極に形成された1個の水滴が落下する直前から落下直後までを含む約2秒間の水滴の形状変化を、高速カメラ測定系で観測して微小水滴落下期間の回数を求め、同時に雑音計出力波形をオシロスコープで観測したものである。同図で、雑音計出力波形の下の波形は、パルス波高解析装置のゲート時間(1秒)で、また、その下の目盛は、何回かの微小水滴落下期間の開始点を表わす。同図の場合、微小水滴が落下する前(成長期間の一部)の雑音レベルは、約20 dBで、6回の微小水滴落下期間で雑音レベルは約39 dBに増加する。

そこで、このような微小水滴の落下期間の回数と雑音レベルとの関係について、印加電界を変えて求めた結果が図8である。同図のたとえば17.5 kV/cmの場合に示した1~5の数字は、微小水滴の落下期間の回数である。交流電界を印加した場合、17.5 kV/cmの場合のように、微小水滴の落下期間の回数が増加しても、雑音レベルは必ずしも増加しない。また、微小水滴の落下期間の回数がほぼ同じ場合(交流の場合4~5回と比較)、印加電界が増加すると雑音レベルは増加する。さらに、同一電界では、微小水滴の落下期間の回数は、交流の場合のほうが直流の場合より少ないが(先述の微小水滴の落下期間の回数と水滴破裂期間との比は逆)、雑音レベルは、交流の場合のほうが、正極性直流の場合より高い。このように、水滴破裂期間の雑音レベルは、破裂期間に含まれる微小水滴落下期間の回数よりも、印加電界

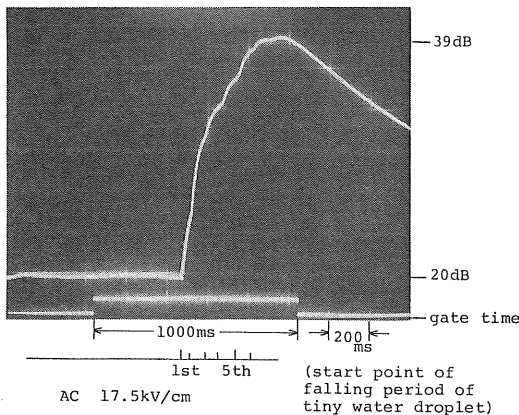


図7 雑音計出力波形と微小水滴落下期間の開始点との関係
Fig.7 The relationship between the wave form of radio noise and the start points of the falling period of the tiny water droplet.

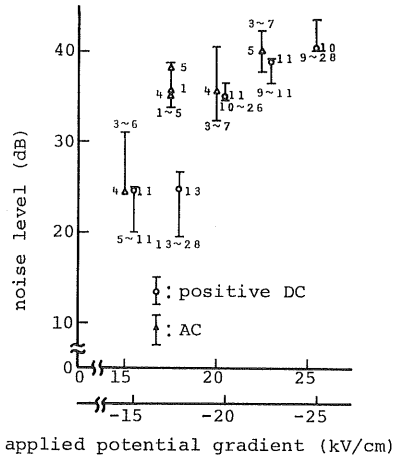


図8 印加電界に対する雑音レベルの変化(数値は微小水滴の落下回数)

Fig.8 The measured variation of the radio noise level with the applied potential gradient. Numbers denote the number of times of the tiny water droplets' falling.

の大きさおよび極性によって異なってくる。これについては、以下コロナパルス分布特性と雑音計のパルス応答特性を用いて検討する。

3.3.2 コロナパルス分布特性

図9は、交流印加電界が15 kV/cmの場合の雑音計出力波形の一例で、同図(a)は、パルス波高解析装置のゲート時間1秒を、雑音計出力波形の増加する部分より前(水滴成長期間の一部)に設定した場合である。また、同図(b)は、ゲート時間を雑音計出力波形の増加する部分(水滴破裂期間)に設定した場合である。水滴成長期間は、図1に示したように1秒以上であり、ゲート時間より長いので水滴成長期間中のコロナパルス分布は測定できるが、水滴破裂期間は図2に示したように、1秒以下であるので、水滴破裂期間終了後の成長期間中に発生したコロナパルスの一部も測定される。したがって、使用したパルス波高解析装置では、破裂期間中のみのコロナパルスを測定することは困難であるが、ここでは、コロナパルス分布特性を用いて定性的に検討するので、このように測定したものを破裂期間のコロナパルス分布特性とする。図10は、交流電界15 kV/cmを印加したときの水滴の成長期間および破裂期間のコロナパルス分布で、水滴破裂期間には、成長期間に比し波高値の大きなコロナパルスが発生する。また、同図に、直流電圧値と交流電圧の波高値を等しくした場合(20 kV/cm)の、水滴破裂期間のコロナパルス分布を示すが、交流の場合のほうが直流の場合より波高値の大きなコロナパルスが発生しやすい。これらについては、3.3.4項で考察する。

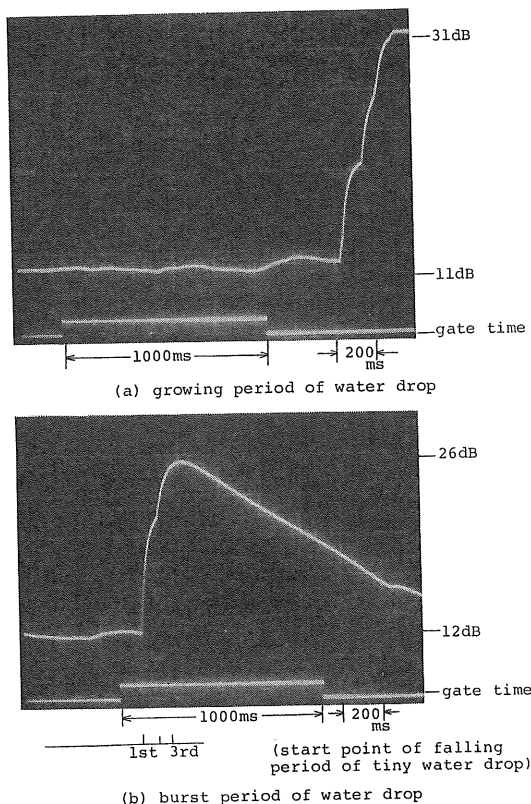


図9 水滴成長期間および破裂期間の雑音計出力波形
 Fig. 9 The wave forms of radio noise in the growing period and the burst period of water drop.

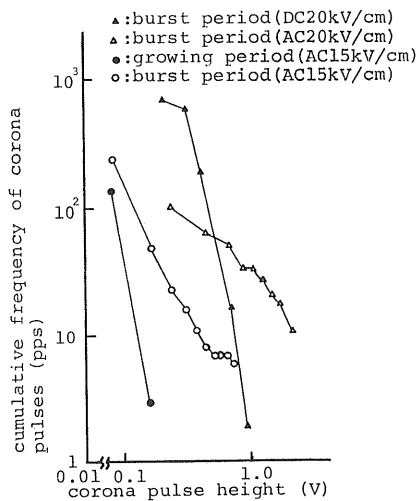


図10 コロナパルス波高値の累積頻度分布
 Fig. 10 Cumulative frequency distribution of corona pulse heights.

3.3.3 雑音計の特性

雑音計のパルス応答特性については、すでに報告した¹⁶⁾ので、ここではその概略を述べる。Nigolによると¹⁷⁾、準ピーク値での雑音レベルは、パルスの波高値、幅およびくり返し率などによって決定され、また測定器の帯域幅および準ピーク値時定数によっても影響されるが、規格に基づく測定器を使用すれば、雑音レベルを決定する因子は、前者のコロナパルス特性になる。コロナパルス特性については、種々検討されており、それらのデータを参考にして、使用した準ピーク値のパルス応答特性を検討した¹⁶⁾。その結果、パルス幅およびくり返し率を一定にして、パルス波高値を変化した場合、雑音計の出力は、パルス波高値の増加に対して直線的に増加する。また、パルス幅およびパルス波高値を一定にして、パルスくり返し率をたとえば 70 PPS から 10^4 PPS まで変化させた場合、出力は約 3 dB 増加する。したがって、波高値の異なる多くのパルスが存在する場合、雑音レベルは、程度の差はあるがパルス数よりパルス波高値に影響される。

3.3.4 正極性直流電界および交流電界を印加したときの雑音レベルの比較

直流電界を印加したときは、同一電界では、正極性の場合のほうが負極性の場合より、発生するコロナパルスの波高値が大きく、雑音レベルは高くなる⁷⁾。したがって、ここでは、正極性直流電圧値と交流電圧の波高値を等しくした場合の雑音レベルについて検討する。まず、直流電界印加時の水滴破裂期間の雑音レベルは、水滴成長期間より増加することは、すでに報告した⁷⁾ので、ここでは、交流電界印加の場合について述べる。図9に示したように、交流電界が 15 kV/cm の場合、水滴成長期間の雑音レベルは 11~12 dB であり、水滴破裂期間の雑音レベルは、26~31 dB である。これは、図10に示したように、水滴破裂期間には、成長期間に比し波高値の大きなコロナパルスが発生しやすいことと、雑音計のパルス応答特性から、雑音レベルはパルス数よりもパルス波高値によって影響されることなどのためである。つぎに、破裂期間中の雑音レベルの基となるコロナパルスの発生が、破裂期間中のどの部分であるかについて考察する。原らりは、直流電界が印加された同軸円筒電極系の、内部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機構について、コロナ電流波形と水滴の変形過程で検討した。その結果、導体から離脱した水滴からのコロナ放電は、コロナ開始電界付近で活発であり、導体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では、印加電界の増加に対して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ことなどを明らかにした。さらに、導体表面の電界が14 kV/cm以上になると、円錐状水滴の先端から落下する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場合が多いとしている。筆者らの場合と給水方法が異なるが、印加電界14 kV/cm以上での原らの水滴形状変化が似ていることから(参考文献4)の図6)、図4のように、導体に付着している水滴から離脱する水滴先端部分が先鋭化しているのは、その部分でもコロナ放電が発生していると思われる。

一方、正極性直流電圧値と交流電圧の波高値を等しくした場合の雑音レベルは、図8に示したように、交流の場合のほうが直流の場合より高い。これは、つぎのように考えられる。微小水滴落下直前の円錐状水滴の高さは、同一電界では図6のように、交流の場合のほうが直流の場合より小さいので、水滴先端から一定の距離だけ離れた点の電位⁷⁾は、交流の場合のほうが直流の場合より高い。したがって、発生するコロナパルスの波高値は、図10に示したように、交流の場合のほうが直流の場合より大きく、雑音レベルも高くなる。

4. む す び

テレビカメラおよび高速度カメラを用いて観測した水滴の形状変化と、同時に測定した水滴からのコロナ雑音特性との関係について、検討した結果を要約するとつぎのようになる。かご形同軸円筒の内部電極に形成された水滴は、電界を印加すると成長と破裂をくり返し、そのくり返し周期は、交流電界印加の場合が、直流電界印加の場合より短い。また、交流電界を印加した場合の水滴破裂期間の雑音レベルは、同一電界では直流電界印加の場合より高い。これは、交流電界を印加した場合の微小水滴落下直前の円錐状水滴の高さが、直流電界印加の場

合より低くなり、水滴先端から一定距離だけ離れた点の電位が高くなり、波高値の大きいコロナパルスの発生する機会が多いためである。

最後に、本研究にご協力いただいた本学大学院修士課程渡辺能康君(現在日立製作所)、中村一人君、本学学生山田雅春君(現在大隅鉄工所)に感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 角田美弘, 荒井健次: 電気学会雑誌, 84 (1964) 1430
- 2) 赤崎正則, 林 石象: 電気学会雑誌, 88 (1968) 908
- 3) 原 雅則, 石辺信治, 赤崎正則: 静電気学会誌, 3(1979) 143
- 4) 原 雅則, 金光正光, 山下敬彦, 赤崎正則: 静電気学会誌, 5 (1981) 142
- 5) F. Ianna, G.L. Wilson and D.T. Bosack: IEEE PES Winter Meeting, No. C73, 164-1, New York (1973)
- 6) J.F. Hoburg and J.R. Melcher: IEEE PES Winter Meeting, No. C73, 165-8, New York (1973)
- 7) 有馬 泉, 渡辺貞司: 静電気学会誌, 9 (1985) 104
- 8) 有馬 泉, 長田晋吾, 山村 豊: 電気学会雑誌, 89(1969) 769
- 9) 有馬 泉, 長田晋吾, 渡辺貞司, 山村 豊: 電気学会雑誌, 91 (1971) 2157
- 10) 足立宜良, 谷辺俊幸, 川崎元之, C. Luan Phan: 静電気学会誌, 5 (1981) 89
- 11) 沢田嘉嗣: 電気学会雑誌, 83 (1963) 1897
- 12) 佐藤芳夫, 角田美弘, 荒井健次: 電気学会雑誌, 81(1961) 1606
- 13) 鳥山四男, 稲田金次郎, 堺 孝夫, 室岡義広: 高電圧工学, コロナ社 (1968)
- 14) 大重 力, 原 雅則: 高電圧現象, 森北出版 (1973)
- 15) 福島充男, 澤田嘉嗣, 西山文彦, 原田 浩, 笹野隆生, 須永孝隆, 甘楽忠典, 田辺一夫, 鈴木 正: 電力中央研究所報告, 177088 (1978)
- 16) 有馬 泉, 長田晋吾, 山村 豊: 電気学会雑誌, 91(1971) 1680
- 17) O. Nigol: IEEE Trans. Power Appar. Syst., PAS-83 (1964) 524