

論 文

直流コロナ雑音に対する水滴形状の影響

有馬 泉*, 渡辺 貞司**

(1984年9月12日受理)

Effect of Waterdrop Shape on DC Corona Noise

I. ARIMA* and T. WATANABE**

(Received September 12, 1984)

The noise level generated by the corona discharge under DC voltage was investigated by observing the time variation of the shape of the water drops which were obtained by using TV camera and high speed camera. The results are summarized as follows; when the DC voltage is applied to the cage type coaxial electrode geometry, the tip of the water drop on the inner conductor is grown sharply as time goes on and then is burst, and these growth and burst of water drop are repeated alternately. In the growing period of the water drop, the positive noise level is higher than the negative noise level. This reason is that positive corona streamer develops more easily in comparison with negative corona streamer. Also, the noise level in the burst period of the water drop is higher than that in the growing period. This may be interpreted as follows. In the growing period, the corona discharge is generated from the tip of the water drop on the inner conductor. On the other hand, in the burst period, the corona discharges are generated from two points; the first is the tip of the water drop on the inner conductor and the second is the tip of the tiny water droplet coming off the water drop.

1. まえがき

送電線の超高压化に伴う問題の一つとして、送電線のコロナ放電による種々の障害があり、それらのうちとくにラジオ雑音および可聴騒音については、内外において多くの研究がなされている。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、同軸円筒の外側電極の上に設けられた給水装置により内部電極に水滴を落下させ、形成された水滴の形状とコロナ放電との関係について検討されているものが多い¹⁻⁴⁾。また、可聴騒音についての研究は、上述の方法では、水滴が内部電極や外部電極に落下するとき、音が発生するため、かご形同軸円筒の内部電極に小穴をあけ、そこに給水装置より水を導き、水滴を形成させて検討している^{5,6)}。

筆者らも、直流および交流コロナ雑音特性については、前者の方法を用いて、雑音の基となるコロナパルスの分布特性に重点をおいて検討した^{7,8)}。また、可聴騒

音に関する研究は、後者の方法を用いて騒音レベルを測定し、同時に雑音レベルも測定して、両者とコロナパルス分布特性との関連性について検討した⁹⁾。その際、供給水量を調整して水滴の落下周期を短く(500~1,500 ms)し、可聴騒音レベルや雑音レベルの変動幅の小さいところで、それらの統計的特性について検討した。さらに研究を進めるためには、水滴の落下周期を長くして、水滴の形状変化と可聴騒音あるいはラジオ雑音との関係を検討する必要があるが、2章で述べる高速度カメラによる測定系からなる音のため、可聴騒音レベルの測定と水滴の形状変化の観測とを同時に行なうことが困難なので、まず水滴の形状変化とラジオ雑音との関係について検討した。ここでは、それらの結果について報告する。

2. 実験装置と方法

図1に、実験装置を示す。かご形同軸円筒の外側電極は、直径10 mmの銅パイプ30本の両端を直径20 mmの円形パイプで固定したもので、その直径は530 mm、長さは1,000 mmである。内側電極は、直径12 mmの銅パイプを3分割し、中央部の長さは200 mmで、その中心に直径2.5 mmの穴があり、そこに給水装置からビニールパイプで水を導き水滴を形成させる。また、中央

*, ** 岐阜大学 (501-11 岐阜市柳戸1番1)

Gifu University, 1-1, Yanagido, Gifu, 501-11 Japan

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

** 工業短期大学部電気工学科 Department of Electrical Engineering, Junior Technical College

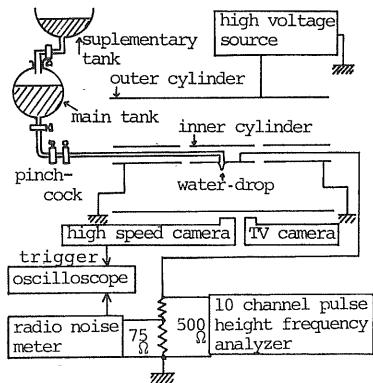


図1 実験装置

Fig. 1 Experimental set-up.

部は検出抵抗 500Ω を通して接地した。3分割した内側電極の両端部は長さ 800 mm で、中央部と絶縁して接地する。これは、かご形同軸円筒端部の電界の乱れをさけるためである。給水装置は、主タンクと補助タンクからなり、補助タンクにより主タンクの水面の高さをたえず一定に保ち、供給水量の調整は、開閉コックおよびピンチコックなどで行なう。

原らの直流電圧印加導体から落下する水滴コロナ放電についての結果によると⁴⁾、使用する水の導電率 (20°C で蒸留水 $2.4\mu\text{S}/\text{cm}$ 、水道水 $250\sim280\mu\text{S}/\text{cm}$) により、コロナ放電の発光強度、発光領域およびコロナパルスの振幅などが影響されるとしているが、本実験では、 18°C における導電率が約 $50\mu\text{S}/\text{cm}$ の井戸水を用いた。

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、 $10\pm1\text{ kHz}$ 、準ピーク充電時定数 $1\pm0.5\text{ ms}$ 、放電時定数 $600\pm120\text{ ms}$ である。コロナ放電により発生するコロナパルス分布特性は、10 チャンネル波高解析装置を用いて測定した。これは、検出抵抗両端に生じるパルス性電圧を、前置増幅器および主増幅器を通して波高弁別器 (10 台の比較器と基準電源で構成) で 10 レベルに分け、それぞれの単位時間当たりのパルス数を 10 台のカウンタでカウントするものである。

水滴の形状は、光源で照射した水滴のシルエットを、テレビカメラおよび高速度カメラを用いて観測した。テレビカメラによる測定系は、ニュービコンテレビカメラ (WV-1550、ナショナル製) および $1/100$ 秒までの時刻を表示するビデオタイマ (VTG-33、朋栄製) ならびにビデオテープレコーダ (NV-8950、ナショナル製) から構成されている。高速度カメラによる測定系は、図 2 に示すように、マクロレンズ (キヤノン FL 200mm)、固

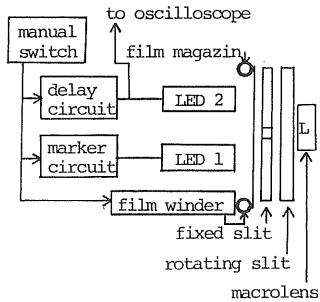


図2 高速度カメラ測定系

Fig. 2 Measuring system by using high speed camera.

定スリット、回転スリットおよび高速度フィルム巻取り装置などで構成される。この測定系の動作の概要は、つぎのとおりである。あらかじめ回転スリット駆動用モータを始動させた後、手動スイッチを操作すると、フィルム巻取り装置が作動し、同時にマーカ回路より周期 50 ms のパルスが発生し、これにより LED1 を点滅させ、フィルム上に時間目盛を記録する。フィルム速度は、フィルム巻取り装置の始動後約 400 ms でほぼ一定となるので、遅延回路により約 560 ms 遅れたパルスを発生し、オシロスコープをトリガさせ、LED2 により、フィルム上にその時刻を記録する。

また、回転スリットを用いた高速度カメラの露出時間は、スリットのある回転円板がスリットの幅だけ回転するのに要する時間であるので、円板の回転数、 $1,700\text{ rpm}$ と円板中心からスリット中心までの距離 102.5 mm より、スリット中心の回転速度は $18,247\text{ mm/s}$ となり、これとスリット幅 4 mm より、露出時間は 0.219 ms となる。さらに、回転スリットのある円板の回転数とスリット数 8 から毎秒当りのコマ数は、約 226 コマとなるので、各コマの重なりをさけるためには、フィルム速度は、 $1,356\text{ mm/s}$ 以上必要であるが、フィルムの長さをあまり長くすると、フィルム速度が低下するので、フィルムの長さは約 $3,000\text{ mm}$ とした。したがって、この測定系では約 $2,000\text{ ms}$ の現象が撮影可能である。

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

図 3 は、電界が印加されていないときの水滴の落下周期を $90,000\text{ ms}$ に調整し、印加電界を -17.5 kV/cm として、かご形同軸円筒の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結果である。同図の各コマの上部に表示された数字のうち、最後の 2 個の 2 桁は、たとえば同図 (a) の場合、録画開始後

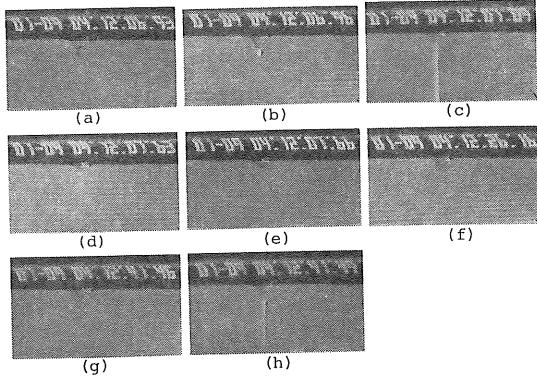


図3 テレビカメラによる水滴形状の時間的変化 (-17.5 kV/cm)

Fig. 3 The time variation of the shape of water drop obtained by using TV camera (-17.5 kV/cm).

6.93秒のフレームであることを表わし、他の数字はデータ整理のための印加電界や極性などの実験条件を表わす。

同図(a)では、水滴形状は先端が先鋭化した円すい形で、つぎのフレームの同図(b)では水滴の先端部分が光っている。これは、水滴の先端部分が破裂して光を反射したためと思われる。そして、隣接2フレーム間の時間差は1/30秒であるので、実際には水滴先端部分の破裂は、同図(a)と(b)の間で生じているが、ここでは、同図(a)をテレビカメラで観測された水滴破裂期間の開始とする。同図(c)は、水滴破裂期間の開始から160ms後の水滴の形状である。同図(d)は、水滴破裂期間の開始後700msの場合で、同図(e)は、そのつぎのフレームであり、両者とも水滴先端近傍に残像があるが、同図(e)のほうが同図(d)より水滴先端が鋭くなっているので、同図(d)で水滴の破裂期間が終り、同時に水滴成長期間が開始する。同図(f)は、水滴成長期間の水滴の先端が先鋭化している状態を示す。同図(g)と(h)は、同図(a)と(b)に同じ状態で、同図(g)の状態で水滴成長期間が終了し、同時に水滴破裂期間が開始する。

このような水滴の成長期間と破裂期間について、電界が印加されていないときの水滴の落下周期を90,000msに調整し、印加電界の大きさと極性を変えて観測した結果が、図4および図5で、いずれも5回測定したときの変動幅とそれらの平均値で示した。図4より、水滴成長期間は、同一電界では正極性の場合が負極性の場合よりも長くなり、同一電界では正極性の場合が負極性の場合より長くなる。

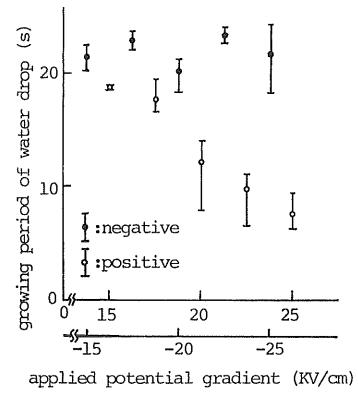


図4 印加電界に対する水滴成長期間の変化 (水滴は 0 kV/cm で90秒間に1滴の割合で落下する)

Fig. 4 The variation of the growing period of water drop with the applied potential gradient (the water drops fall from the inner conductor at rate of one drop per 90 under the potential gradient of 0 kV/cm).

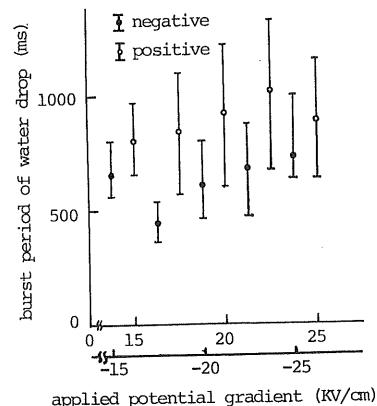


図5 印加電界に対する水滴破裂期間の変化 (水滴は 0 kV/cm で90秒間に1滴の割合で落下する)

Fig. 5 The variation of the burst period of water drop with the applied potential gradient (the water drops fall from the inner conductor at rate of one drop per 90 under the potential gradient of 0 kV/cm).

一方、電界が印加されていないときの水滴の落下周期を90,000ms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で表示されるビュレットを用いて測定した結果を図6に示す。同図は、各電界ごとに15分間測定し、それらの値を90,000ms当たりの水量に換算したもので、正および負極性の場合とも、90,000msの間の落下水量は、印加電界の変化に対してほぼ一定である。以上に述べた図4～図6の結果を要約

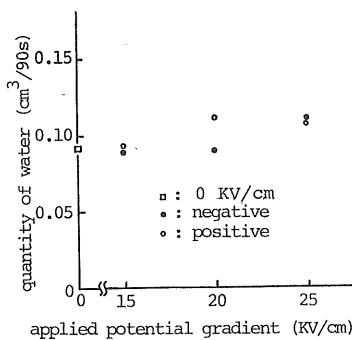


図6 印加電界に対する落下水量の変化

Fig. 6 The variation of the quantity of falling water with the applied potential gradient.

すると、つぎのようになる。すなわち、同一電界では、正および負極性の場合とも 90,000 ms の間に落下する水量はほぼ同じで、正極性の場合は負極性の場合に比し、成長期間は短く、破裂期間はいく分長い。したがって、正極性の場合の 1 回の破裂期間中には、比較的長い時間に少量の水が落下し、つぎに水滴が成長して破裂するまでの時間が短い。この傾向は、電界の増加とともに顕著となり、成長と破裂のくり返し周期が短くなる。それに対して負極性の場合の 1 回の破裂期間中には、比較的短時間に多量の水が落下し、つぎの成長期間は正極性の場合に比し長く、この傾向は電界が増加してもほとんど変わらない。

しかし、破裂期間中の水滴の落下状況は、テレビカメラでは時間分解能が不足し明瞭でないので、つぎに高速度カメラで観測して検討する。また、水滴の落下周期を短くして 30,000 ms とした場合、印加電界 15~25 kV/cm に対して、水滴成長期間の平均値は、正極性の場合

2,000~9,000 ms、負極性の場合ほぼ 9,000 ms であり、水滴破裂期間の平均値は、正極性の場合 600~2,200 ms、負極性の場合 400~1,000 ms である。このように、水滴の落下周期を短くすると、水滴破裂期間が高速度カメラによる測定可能時間 (2,000 ms) より長くなる場合があるので、以下の検討は水滴の落下周期を 90,000 ms として行なう。

3.2 高速度カメラで観測された水滴の形状変化

ここでは、電界が印加されていないときの水滴落下周期を 90,000 ms に調整し、印加電界の大きさと極性を変えて、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 2,000 ms の間の水滴の形状変化を、高速度カメラおよびテレビカメラで同時に観測した。図 7 は、印加電界が -17.5 kV/cm の場合の観測結果の一部を示したもので、同図(a)および(b)は、それぞれ高速度カメラおよびテレビカメラで観測した結果である。同図(b)の b_1 は、図 3 で定義した水滴破裂期間の開始時の水滴の形状を示し、 b_5 は b_1 より約 130 ms 後の水滴の形状を示す。また、同図(a)の a_1 , a_2 および a_3 は、微小水滴の落下開始時 (詳細は図 9 で述べる) の水滴の形状で、この場合、水滴破裂期間の開始から約 130 ms の間に微小水滴の落下が 3 回発生している。このような微小水滴の落下が、水滴破裂期間中に何回発生するかについて、印加電界の大きさと極性を変えて測定した結果が図 8 で、5 回測定したときの平均値と変動幅で示した。同図より、微小水滴の落下回数は、正および負極性の場合とも測定ごとの変動が大きいが、それらの平均値は、同一電界では正極性の場合のほうが、負極性の場合より多い。このことと、図 5 の結果について、微小水滴落下期間中の水滴の形状変化から考察する。

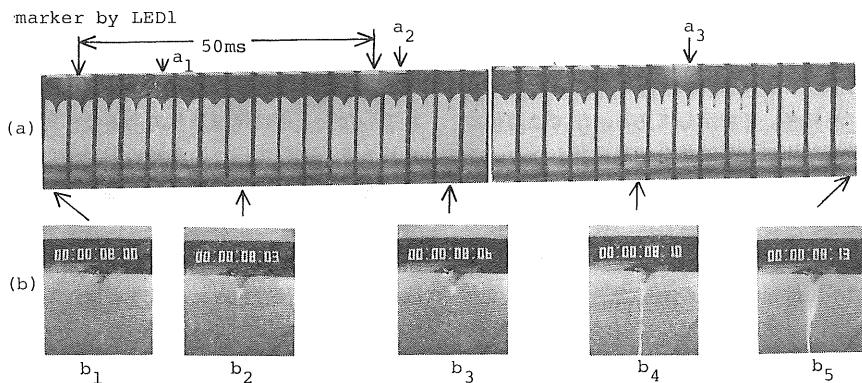


図7 テレビカメラおよび高速度カメラで観測された水滴形状の時間的変化 (-17.5 kV/cm)

Fig. 7 The time variation of the shape of water drop obtained by using TV camera and high speed camera (-17.5 kV/cm).

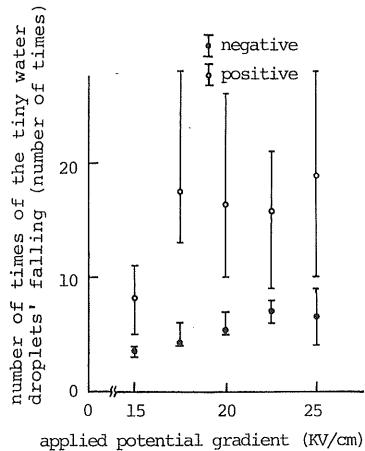


図8 印加電界と微小水滴の落下回数との関係

Fig. 8 The relationship between the applied potential gradient and the number of times of the tiny water droplets' falling.

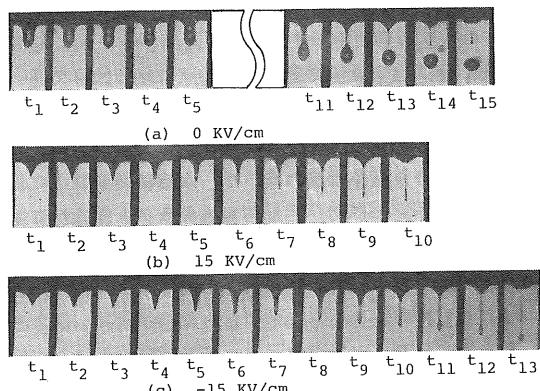


図9 微小水滴落下期間中の水滴の形状変化

Fig. 9 The time variation of the shape of water drop in the falling period of the tiny water droplet.

図9(a)は、電界が印加されていないときの水滴の形状変化を部分的に、すなわち t_1 から t_5 までと、 t_5 より 6 コマ後の t_{11} から t_{15} まで示してある。 t_1 では導体に形成された水滴から伸びた先端部分が半球状となり、それに続く中央部分が円柱状となっている。そして、円柱の中心軸付近が光っているが、これは円柱部分が一種の円柱レンズとして働き、その軸を含む平面上ではレンズに入射した光線が屈折せず、そのまま透過するためである。さらに、 t_5 では先端部分は球状に近づき、それに続く円柱部分の長さが短くなり、球状の部分の中心付近と円柱部分の中心軸付近の 2箇所が光っている。これは、先端部分の球状に近い部分が一種の球面レンズとして働き、その中心を通る光線のみが透過して光り、また円柱

部分の中心軸が短くなり、そこを通る光線によって光る部分が減少するためである。 t_5 以後は、先端部分の球状部分のみが光るようになり、それに続く円柱部分は細く短くなり、 t_{13} では、球状部分がそれに続く円柱部分から離脱している。

図9(b)は、印加電界が 15 kV/cm の場合の水滴の形状変化の一部分を示したもので、 t_1 での水滴形状はほぼ円錐状で、以後 t_3 までは円錐状の先端部分が先鋭化し、導体から水滴先端部分までの長さは長くなる。 t_4 では、いままで先鋭化した先端部分が、同図(a)の t_1 で示したような半球状となり、それに続く部分は円柱状となって、円柱状の部分が光っている。 $t_5 \sim t_6$ では、半球状の先端部分が円錐状となり、それに続く円柱部分は長くなる。 $t_7 \sim t_9$ では、円柱部分が変形し、 t_9 で先端部分が、長軸を回転軸とする回転だ円体の両端部分が先鋭化した形状となり、それに続く部分は細長い円柱状となる。 t_{10} では、先端部分とそれに続く細長い円柱状の部分が、導体に付着している水滴から離脱する。ここでは、図9(b)の t_4 から t_{10} までを微小水滴落下期間と定義する。

図9(c)は、印加電界が -15 kV/cm の場合の水滴の形状変化の一部分を示したもので、 t_1 から t_6 までは同図(b)の t_1 から t_3 までと同じ傾向で、同図(c)の t_6 のときの水滴の長さは、同図(b)の t_3 のときのそれより長い。 t_7 では、先端部分が円錐状となり、それに続く部分は円柱状で、その部分が光っている。 $t_8 \sim t_9$ では、円柱部分が長くなり、 t_{10} では先端部分の円錐状の部分と、それに続く円柱状の部分との境界付近が変形している。 t_{12} では、同図(b)の t_9 と同じような形状となり、 t_{13} では、先端部分とそれに続く細長い円柱状の部分とが導体に付着している水滴から離脱する。この場合、同図(c)の t_7 から t_{13} までを微小水滴落下期間と定義する。

以上図9に示したように、導体に付着している水滴から離脱し始めるときの水滴の先端部分は、電界が印加されていないときはほぼ球状であるのに対し、電界が印加されると、回転軸円体の長軸の両端部分が先鋭化した形状となる。これは、離脱した水滴からのコロナ放電のためと思われるが、これについては3.3項で述べる。

さて、同図(b)および(c)に示したように、正極性の場合、導体に付着している水滴の先端部分が先鋭化してから微小水滴落下期間の開始直前までの時間 ($t_1 \sim t_3$) は、1コマが約 4.42 ms (図7(a)で 50 ms に 11.3 コマ あるとして計算した) であるので約 8.84 ms となり、負極性の場合 ($t_1 \sim t_6$) は約 22.1 ms である。また、微小水滴落下期間の終了後、次に図9(b)および(c)の t_1

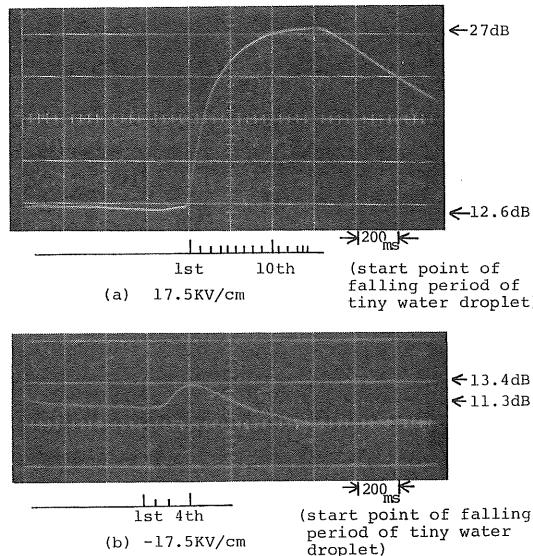


図 10 雜音計出力波形と微小水滴落下期間の開始点との関係

Fig. 10 The relationship between the wave form of the noise meter output and the start points of the falling period of the tiny water droplet.

のように水滴の先端部分が先鋭化するまでの時間（図示されていない）を求めるとき、正および負極性の場合、それぞれ約 30.9 ms および約 39.8 ms である。このように、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同じであるが（図 9 (b) の $t_4 \sim t_{10}$ および同図 (c) の $t_7 \sim t_{13}$ ），つぎの微小水滴落下期間までの時間は、正極性の場合のほうが負極性の場合より短い。これは、微小水滴落下期間の開始直前（図 9 (b) の t_3 と同図(c) の t_6 ）の水滴の長さは、正極性の場合のほうが短く、また、微小水滴落下期間の終了前（図 9 (b) の t_9 と同図(c) の t_{12} ）の水滴の長さは、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少なく、つぎに落下するまでの時間は短くなるためである。

3.3 水滴の形状変化と雑音レベルとの関係

前述のように、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、その水滴破裂期間中に、何回かの微小水滴の落下が発生する。ここでは、このような水滴の形状変化と雑音レベルとの関係について検討する。

3.3.1 水滴の形状変化と雑音計出力波形

図 10 は、電界が印加されていないときの水滴の落下周期を 90,000 ms に調整し、印加電界を $\pm 17.5 \text{ kV/cm}$ として、内部電極に形成された 1 個の水滴が落下する直

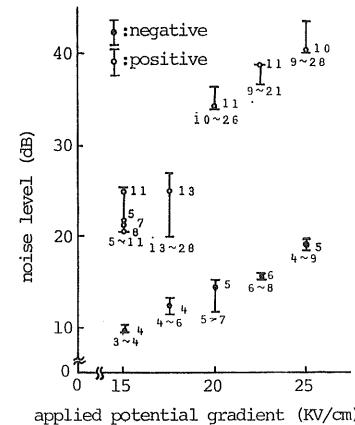


図 11 印加電界に対する雑音レベルの変化（数値は微小水滴の落下回数）

Fig. 11 The variation of the noise level with the applied potential gradient (the numeral is the number of times of the tiny water droplets' falling).

前から落下直後までを含む約 2,000 ms の間の水滴の形状変化を、高速度カメラで観測して微小水滴の落下回数を求め、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側にある目盛は、それぞれ微小水滴落下期間の開始点を表わす。

同図(a)の17.5 kV/cmの場合、微小水滴落下期間の開始前(水滴の成長期間中)の雑音レベルは、約12.6 dBで、15回の微小水滴落下期間中に雑音レベルは約27 dBに増加する。同図(b)の-17.5 kV/cmの場合、水滴成長期間中は約11.3 dBで、4回の微小水滴落下期間中に雑音レベルは、約13.4 dBに増加する。そこで、このような微小水滴の落下回数と雑音レベルとの関係について、印加電界の大きさと極性を変えて求めた結果が図11で、同図に示した数字たとえば15 kV/cmのとき5~11とあるのは、微小水滴の落下回数である。同図15 kV/cmの場合に示したように、同一電界で同極性の場合、微小水滴の落下回数が増加しても、雑音レベルは必ずしも増加しない。また、微小水滴の落下回数がほぼ同じ場合(正極性では10, 11および13回、負極性では4, 5および6回で比較)、正および負極性の場合とも、印加電界の増加に対して雑音レベルは増加する。さらに、同一電界で微小水滴の落下回数がほぼ同じ場合(たとえば、25 kV/cmで9回で比較)、正極性の場合の雑音レベルが負極性の場合より高い。結局、水滴破裂期間中の雑音レベルは、成長期間中よりも高く、正極性の場合その傾向が強い。また、破裂期間中の雑音レベルは、破裂期間中に含まれる微小水滴の落下回数よりも、そのときの印加電界の大きさと極性に影響される。これ

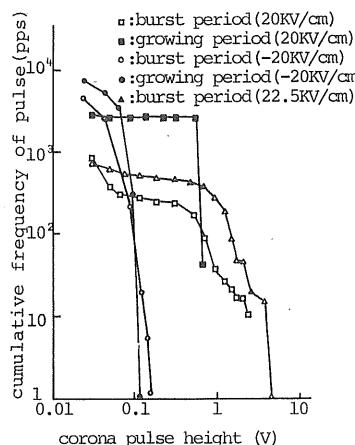


図 12 コロナパルス波高値と累積数

Fig. 12 Cumulative frequency of corona pulse vs. corona pulse height.

らの理由について、つぎにコロナパルス分布特性と雑音計の特性などを検討して考察する。

3.3.2 コロナパルス分布特性

水滴成長期間は、図 4 に示したように正および負極性の場合とも 10^3 ms 以上であるので、パルス波高解析装置のゲート時間を 10^3 ms として、コロナパルス分布特性を測定した。一方、水滴破裂期間は、図 5 に示したように $400 \sim 1,400$ ms であり、使用したパルス波高解析装置の最小ゲート時間が 10^3 ms であるので、破裂期間が 10^3 ms 以下であると、水滴破裂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、また、破裂期間が 10^3 ms 以上であると破裂期間の終了部分が測定できることになる。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分布特性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、このようにして測定したものを破裂期間中のコロナパルス分布特性とする。

図 12 は、コロナパルス分布特性の一例で、 $20\text{ kV}/\text{cm}$ の場合、水滴破裂期間中には、成長期間中に比し波高値の高いコロナパルスが発生する。また、 $-20\text{ kV}/\text{cm}$ の場合、水滴破裂期間中と成長期間中とでは、正極性の場合ほど顕著な差はないが、破裂期間中に発生するコロナパルスの波高値がいくぶん大きい。つぎに、成長期間中および破裂期間中とも、同一電界では、正極性の場合のほうが負極性の場合より波高値の高いコロナパルスが発生しやすい。さらに、同図には、 $22.5\text{ kV}/\text{cm}$ の場合の破裂期間中のコロナパルス分布のみ示してあるが、印加電界が高くなると、正および負極性の場合とも、成長期

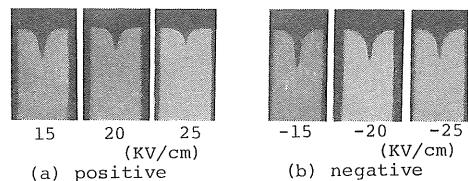


図 13 微小水滴落下直前の水滴の形状

Fig. 13 The shape of the water drop just before the start of the falling period of the tiny water droplet.

間中および破裂期間中に発生するコロナパルスの波高値はそれぞれ高くなる。

3.3.3 雜音計の特性

雑音計のパルス応答特性についてはすでに報告した⁸⁾ので、ここではその概略を述べる。雑音計の出力は、パルス幅およびくり返しパルス数を一定にして、パルス波高値を変化した場合、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、くり返しパルス数をたとえば 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、全体の雑音レベルは、程度の差はあるが、パルス数よりもパルス波高値に影響されることになる。

3.3.4 水滴成長期間中の水滴形状変化と雑音レベル

水滴成長期間中には、水滴の形状が刻々と変化するので、水滴の形状とコロナパルスの発生との対応関係は不明であるが、ここでは、図 9(b)の t_3 および同図(c)の t_6 のように、微小水滴落下期間の開始直前の水滴の形状で検討する。図 13 は、そのような水滴の形状について、印加電界の大きさと極性を変えて観測した結果である。同図より、同一電界では水滴の長さは、正極性の場合が負極性の場合より短く、また、同一極性では、印加電界が高いほど水滴の長さは短くなる。このような水滴が同軸円筒内の内部電極に形成された場合の水滴先端近傍の電位分布を計算で求めることは困難であるので、無限に広い平行平板ギャップ(ギャップ長 10 cm)の一方の電極に、先端角度が 40° の円錐状の導体を取り付けた場合について、突起先端からの距離と電位との関係を差分法により求めた。その結果が図 14 で、同図の曲線 a, b, c は、それぞれ円錐状導体の高さが $2, 4, 6\text{ mm}$ の場合である。同図より、突起先端から一定の距離だけ離れた点の電位は、突起の高さが低いほど高い。これらのことと図 13 の結果より、同一電界では正極性の場合が負極性の場合より水滴の長さが短く、水滴先端近傍の電位の傾きの減少が少ないので、コロナストリーマが進展しやすくなり、図 12 に示したように、発生するコロ

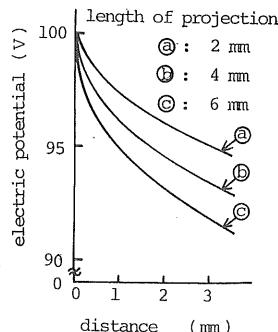


図 14 円錐状突起先端からの距離と電位

Fig. 14 The distance from the tip of the conical projection vs. electric potential.

ナパルスの波高値が高くなる。また、同極性の場合、印加電界が高いほど水滴の長さが短くなるので、上述と同様の理由で、発生するコロナパルスの波高値が高くなる。結局、これらのことと 3.3.3 項の雑音計の特性より、同一電界では、正極性雑音レベルが負極性雑音レベルより高く、また印加電界が高くなると、正および負極性雑音レベルとも高くなる。

3.3.5 水滴破裂期間中の水滴形状変化と雑音レベル

水滴破裂期間中には、図 8 のように多数の微小水滴落下期間が含まれ、発生するコロナパルスの波高値は図 12 のように成長期間中より高い。したがって、破裂期間中の雑音レベルは、成長期間中より増加する。つぎに、破裂期間中の雑音レベルのもと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。原らによると⁴⁾、約 14 kV/cm 以上の電界で導体に供給する水を止めたときは、水滴は円錐状突起を形成し、パルスを伴う放電が現われるが、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、印加電界および供給水量によって三つの放電形態が現われ、とくに印加電界を上昇させ供給水量を大きくした場合は、円錐状突起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。筆者らとは給水方法が異なるが、原らの水滴の形状変化と似ていることから（参考文献 4 の図 6）、図 9 に示したように、電界を印加すると、導体に付着している水滴から離脱する水滴の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ためと思われる。その際、同一電界の場合、正極性の場合が負極性の場合より、微小水滴落下期間の開始直前の水滴の長さが短く、離脱する水滴の先端部分の位置が内部電極に近いため、発生するコロナパルスの波高値は正極性の場合が高く、雑音レベルも高くなる。

4. まとめ

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放電による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。

(1) 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、正極性の場合の水滴成長期間は、同一電界では負極性の場合より短い。これは、正極性の場合、1 回の破裂期間中に落下する水量が少なく、次の成長期間が短くなるのに対して、負極性の場合、比較的短時間に多量の水が落下し、次の成長期間が長くなるためである。

(2) 正極性の場合の成長期間中の雑音レベルは、同一電界では負極性の場合より高い。これは、破裂直前の水滴の長さで正および負極性の場合を比較すると、正極性の場合が負極性の場合より短く、したがって水滴先端近傍の電位の傾きの減少が少なく、発生するコロナパルスの波高値が大きいためである。

(3) 水滴破裂期間中には、成長期間中よりも雑音レベルが増加する。これは、水滴破裂期間中に導体に付着している水滴から離脱する微小水滴の先端からもコロナ放電を生じるためである。また、同一電界では、正極性の場合が負極性の場合より、離脱する水滴の先端部分のコロナ放電が活発で、発生するコロナパルスの波高値が高く、雑音レベルは高い。

最後に本研究に種々ご協力いただいた本学大学院修士課程渡辺能康君、本学学生滝亮二君（現在プラザー工業株式会社）および小林雅彦君（現在川崎重工業株式会社）に感謝の意を表します。

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：同上, 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、金子正光、山下敬彦、赤崎正則：同上, 5 (1981) 142
- 5) F. Ianna, G.L. Wilson and D.J. Bosack : IEEE PES Winter Meeting, No. C73, 164-1, New York (1973)
- 6) J.F. Hoburg and J.R. Melcher : ibid., No. C73, 165-8, New York (1973)
- 7) 有馬 泉、長田晋吾、山村 豊：電気学会雑誌, 89 (1969) 769
- 8) 有馬 泉、長田晋吾、渡辺貞司、山村 豊：同上, 91 (1971) 2157
- 9) I. Arima and T. Watanabe : Sixth International Conference on Gas Discharge and their Application, Edinburgh (1980)