

## 論 文

# 直流コロナ可聴騒音への水滴形状の影響

有馬 泉\*, 渡辺貞司\*\*, 高木伸之\*

(1987年2月21日受理)

## Effect of Waterdrop Shape on Audible Noise Generated by DC Corona

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

(Received February 21, 1987)

We measured the level of audible noise from the water drop which is formed on the inner conductor of a coaxial cylindrical electrode applying positive and negative DC voltage. The results are summarized as follows; (1) The water drop alternately becomes growth then burst when DC voltage is applied to a coaxial cylindrical electrode. The level of the audible noise during the burst period is lower than that during the growing period for both positive and negative inner conductor with lower voltages. (2) With higher applied voltages, the level of the audible noise for high flow rate is lower than that for low flow rate independent of the polarity of applied voltage. (3) With lower applied voltages, the level of the audible noise is lower for positive inner conductor than that for negative one independent of the water flow rate. As the applied voltage is raised, the result is reverse to the above.

### 1. まえがき

送電線の超高压化に伴う問題の一つに、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可聴騒音については、実規模の試験送電線<sup>1-3)</sup>および試験ケージ<sup>4)</sup>などでの騒音レベル特性の測定や線路の最適設計に関する検討などが行なわれている。また、可聴騒音の基礎的研究として、棒対平板電極系におけるコロナ電流パルス波形と音圧レベル波形との比較検討<sup>5)</sup>やかご形同軸円筒系における水滴<sup>6)</sup>および突起物<sup>7)</sup>からのコロナ放電による騒音レベル特性の検討などが行なわれている。筆者らは、かご形同軸円筒の内部電極に形成された1個の水滴の形状変化と直流および交流コロナ雑音特性との関係について検討した<sup>8,9)</sup>。その際、水滴の形状変化の観測に用いた高速度カメラ測定系からの音のため、可聴騒音レベルの同時測定が困難であった。そこで、直流電界を印加したときの雑音レベルと可聴騒音レベルを同時測定し、先に報告した直流コロナ雑音に対する水滴形

状の影響<sup>8)</sup>の結果と比較検討したので、それらの結果を報告する。

### 2. 実験装置と方法

図1に実験装置の概略を示す。かご形同軸円筒の外側電極は、直径1cm、長さ1mの平滑な銅パイプ30本で構成され、外側電極の外径は53cmである。また、内部電極には直径1.2cm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20cmとした。その中央部分の中心に直径2.5mm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50μS/cmである。水滴の形状は、光源(写真用カラーフラッド、100V、500W)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<sup>8)</sup>。高速度カメラ測定系は、マクロレンズ(キャノンFL 200mm)、固定スリット、回転スリットおよびフィルム巻取装置などで構成され、この測定系の露光時間は0.219ms、毎秒当りのコマ数は226コマで、この測定系での測定可能時間は約2秒である<sup>8)</sup>。

可聴騒音レベルは、精密指示騒音計(ノード製、本体PS-113(D)形、音場形コンデンサマイクロホンCA-113形)およびレベル記録計(ノード製、RS-88形)を用いて測定した。かご形同軸円筒と騒音計マイクロホンは、

\* 岐阜大学工学部電気工学科 (501-11 岐阜市柳戸 1-1)

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 1-1)

Department of Electrical Engineering, College of Technology, Gifu University, 1-1, Yanagido, Gifu, 501-11 Japan

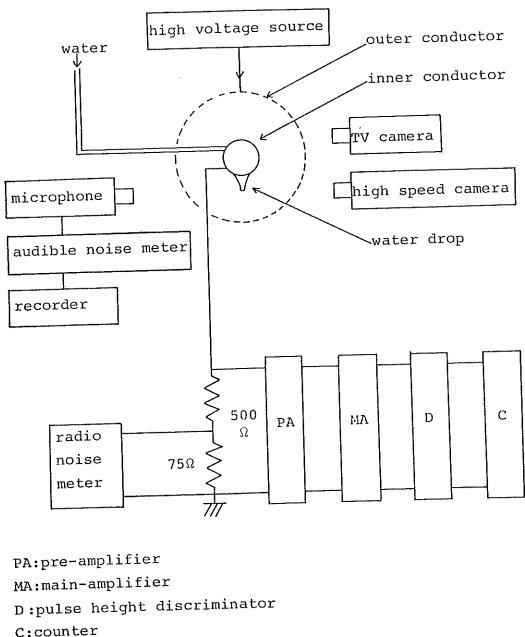


図 1 実験装置

Fig. 1 Experimental set-up.

幅 1.8 m, 奥行き 2.7 m, 高さ 1.8 m の暗室内において。暗室の壁、天井および床は、それぞれ外側から合板、スポンジなどの吸音材、プラスターボードの 3 重構造にした。その結果、暗室の暗騒音レベルは、約 27 dB である。また、マイクロホンの地上高は、内部電極に形成される水滴の先端近傍の地上高とほぼ同じとし、両者の間隔は 1 m とした。

雑音レベルは、電波技術審議会規格に基づく妨害波強度測定器（協立電子製、KNM-402、帯域幅  $10 \pm 1 \text{ kHz}$ 、準ピーク充電時定数  $1 \pm 0.5 \text{ ms}$ 、放電時定数  $600 \pm 120 \text{ ms}$ ）で測定した<sup>8)</sup>。また、コロナパルス分布特性は 10 チャンネル波高解析装置（前置増幅器、主増幅器、パルス波高弁別器およびカウンタで構成<sup>9)</sup>）で測定した。なお、通常の交流送電線の表面電界強度が  $15 \sim 20 \text{ kV/cm}$ <sup>10)</sup> であることを考慮し、内部電極に水滴がない場合の内部電極表面の電界を  $12.5 \sim 30 \text{ kV/cm}$  とした。また、以下の印加電界の極性は、内部電極の極性としたので、実際に外側電極に印加される電圧とは逆極性である。

### 3. 測定結果および考察

#### 3.1 直流電界を印加したときの水滴の形状変化

筆者らは、電界が印加されないときの水滴の落下頻度を 1 滴/90 秒に調整し、印加電界の大きさや極性の相違

による水滴の形状変化を、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<sup>8)</sup>。その結果、

(1) テレビカメラ測定系により観測された水滴の形状変化は、電界が印加されると、水滴の先端は先鋒化しながら円錐状に成長し、ついにその先端が破裂する。水滴は、このような成長期と破裂期をくり返し、正極性直流電界を印加した場合の成長期間は、印加電界  $15 \sim 25 \text{ kV/cm}$  の範囲で、印加電界の増加とともに減少し、負極性の場合の成長期間は、印加電界の増加に対してほぼ一定である。また、正極性の場合の破裂期間は、 $0.8 \sim 1 \text{ s}$  で、負極性の場合の  $0.45 \sim 0.6 \text{ s}$  より長い。

(2) 水滴破裂期間を高速度カメラ測定系で観測した結果、1 回の水滴破裂期間には何回かの微小水滴落下期間が含まれる。同一電界では、正および負極性の場合とも、1 回の微小水滴落下期間はほぼ同じであるが、つぎの微小水滴落下期間の開始までの時間は、正極性の場合のほうが負極性の場合より短い。したがって、1 回の破裂期間に含まれる微小水滴落下期間の回数は、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。

(3) 微小水滴落下直前の円錐状水滴の高さは、印加電界が高いほど小さく、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。

(4) 水滴の成長期間および破裂期間のコロナパルス分布特性を検討した結果、破裂期間には、成長期間に比し波高値の高いパルスが発生し、パルス数は減少する。

以上の結果を基に、可聴騒音レベルに対する水滴の形状変化の影響について考察する。

#### 3.2 水滴の成長期および破裂期における可聴騒音レベル

降雨時交流送電線から発生する可聴騒音は、電線表面のランダムなコロナ放電に起因するランダムノイズとコロナ放電による正および負イオンが電源の極性に応じて運動方向を反転するために生じる純音より構成され、前者は広帯域の周波数成分からなり、後者は  $60 \text{ Hz}$  の場合、 $120 \text{ Hz}$  のハムが最も顕著である<sup>11)</sup>。とくにコロナ騒音の場合は、中心周波数が  $2, 4, 8, 16 \text{ kHz}$  のオクターブバンドレベルが暗騒音レベルに比し大きくなり、騒音レベルが低い場合、中心周波数  $8 \text{ kHz}$  のオクターブバンドレベルに一定の補正値を加えたものを A 特性騒音レベルとする  $8 \text{ kHz}$  補正法<sup>12)</sup> がある。このように、可聴騒音レベルについては、可聴領域 ( $20 \text{ kHz}$  以下) の周波数スペクトラム分布特性の検討が必要であるが、ここでは、人間の聴覚特性に似た A 特性の聴感補正回路による騒音レベル  $\text{dB(A)}$  を用いて検討する。

図 2 は、電界が印加されないときの水滴落下頻度を 1 滴/分 (流量率  $0.2 \text{ cm}^3/\text{分}$ )、印加電界を  $\pm 20 \text{ kV/cm}$

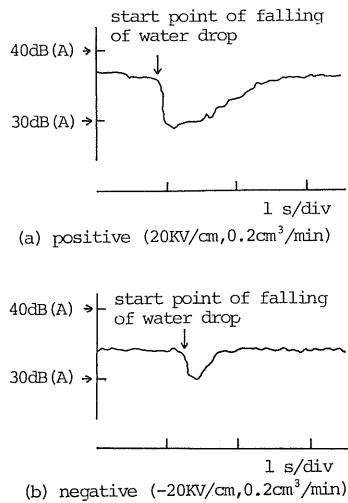


図 2 水滴の成長期および破裂期の可聴騒音レベル

Fig. 2 The level of audible noise for growing and burst periods.

としたときの騒音計出力波形（記録紙をトレースした）の一部を示す。同図は、テレビカメラ測定系で水滴の落下状況を観測しながら、水滴の落下前後の可聴騒音レベル dB(A) を測定した。同図(a)の正極性の場合、水滴成長期の可聴騒音レベルは、約 37 dB(A) で、水滴破裂期には約 29 dB(A) に減少する。また、同図(b)の負極性の場合、成長期の可聴騒音レベルは、約 34 dB(A) で、破裂期には約 30 dB(A) に減少する。このように、正および負極性の場合とも、破裂期の可聴騒音レベルは、成長期より減少する。一方、前報で報告したように<sup>8)</sup>、水滴破裂期の雑音レベル（準尖頭値）は、成長期に比し高く、図 2 の可聴騒音レベルの傾向と逆である。これらの理由について、コロナパルス分布特性を用いて考察する。

図 3 は、印加電界が  $\pm 20 \text{ kV/cm}$ 、水滴の落下頻度が 1 滴/分の場合のコロナパルス分布特性の一例である。同図より、正および負極性直流電界を印加した場合とも、水滴の破裂期には、成長期に比し波高値の高いコロナパルスが発生し、コロナパルス数は減少する。また、成長期および破裂期とも、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。赤崎らは<sup>10)</sup>、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とヒッシングコロナの 2 種のコロナ形式を定義し、クラックリングコロナ（水滴落下時のみ現われる）とヒッシングコロナ（円錐状水滴の先端にコロナ放電が連続的に現われる）のコロナパルスについて検討した。その結果、正極性の場合は、いずれも

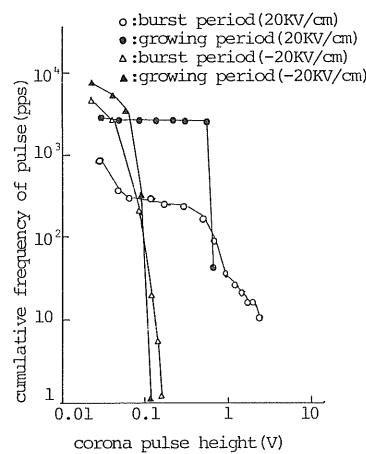


図 3 コロナパルス波高値の累積頻度分布 ( $\pm 20 \text{ kV/cm}$ , 1 滴/分)

Fig. 3 Cumulative frequency of corona pulse height ( $\pm 20 \text{ kV/cm}$ , one drop/min).

ストリーマパルスで、クラックリングコロナにはヒッシングコロナのパルスより波高値の大きいパルスが発生するが、その数はきわめて少ない。また、負極性の場合のクラックリングコロナは、トリニティパルスで、正ストリーマパルスに比し波高値ははるかに小さく、負極性の場合のヒッシングコロナのトリニティパルスより高いとしている。これらの傾向は、図 2 の成長期および破裂期のコロナパルス分布特性の傾向と同様である。このような成長期および破裂期のコロナパルス分布特性の相異は、つぎのように考えられる。

図 4 は、印加電界を  $-20 \text{ kV/cm}$ 、水滴の落下頻度を 1 滴/90 s 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 s 間の水滴形状変化を、高速度カメラ測定系で観測した結果の一部を示す。ここで、水滴の落下頻度を 1 滴/90 s としたのは、つぎの理由による。水滴の落下頻度を 1 滴/分とした場合、印加電界  $12.5 \sim 30 \text{ kV/cm}$  の範囲で、水滴破裂期間の平均値は、正極性の場合  $0.35 \sim 1.2 \text{ s}$ 、負極性の場合  $0.25 \sim 0.75 \text{ s}$  である。一方、高速度カメラ測定系の測定可能時間は、約 2 s である<sup>8)</sup>。したがって、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期間（成長期と破裂期を含む）の水滴形状変化を観測する場合、高速度カメラ測定系での測定可能時間を越える場合があるので、破裂期間のできるだけ短い水滴の落下頻度 1 滴/90 s (3.1(1) 参照) を選んだ。

同図(a)は、成長期の終り部分約  $30.9 \text{ ms}$  ( $T_1 \sim T_7$ , 1 コマが約  $4.42 \text{ ms}$ ) の間の水滴形状変化で、 $T_8$  で破裂期すなわち 1 回目の微小水滴落下期間が開始する（参考

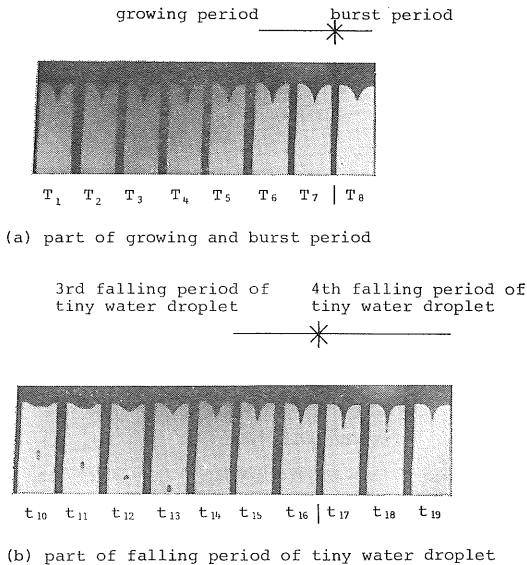


図 4 水滴の成長期および破裂期の形状変化 ( $-20 \text{ kV/cm}$ , 1滴/90秒)

Fig. 4 The change of shape of water drop during growing and burst periods ( $-20 \text{ kV/cm}$ , one drop/90 s).

文献 8) の図 9 参照). 同図(b)は、破裂期に含まれる第3および第4微小水滴落下期間のそれぞれの一部を示す(第3微小水滴落下期間の開始を  $t_1$  とし,  $t_{10}$  から示した). 同図(a)に示したように、水滴成長期の水滴形状は、先鋭化しながら円錐形となり、その円錐状水滴の高さは、同図(b)に示した微小水滴落下直前の円錐状水滴( $t_{14} \sim t_{16}$ )の高さに比し大きい. したがって、円錐状水滴の先端から一定の距離離れた点の電位の減少は、同図(b)の微小水滴落下直前の円錐状水滴のほうが少なくなり、波高値の高いコロナパルスが発生しやすくなる<sup>8)</sup>. 一方、同図(b)に示したように、破裂期に何回か含まれる微小水滴落下期間の水滴の形状は、微小水滴が落下後しばらくの間( $t_{10} \sim t_{12}$ ), 円錐形がくずれ扁平な形となり、その後再び先鋭化し始めて次の微小水滴落下期が開始( $t_{17}$ )する. このように、破裂期の水滴の形状変化は、先鋭化した円錐形と扁平な形のくり返しとなり、とくに水滴が扁平な形となったときは、コロナ放電が発生しにくくなるため、破裂期のコロナパルス数は、同図(a)のような成長期に比し減少する.

つぎに、このようなコロナパルス分布特性と可聴騒音レベル dB(A)との関係について考察する.

送電線より発生するコロナ放電によるラジオ雑音の測定は、CISPR, NEMA 規格などに従う準尖頭値計で行なわれているが、この値は耳に対する妨害の程度を基準

としたいわゆる心理的評価量であって、ラジオ雑音の理論的解析には適当でなく、むしろコロナパルスのエネルギーに対応した実効値測定も必要とされている<sup>13,14)</sup>. 筆者らも、ラジオ雑音の基は、送電線上各所に発生するコロナパルスであることから出發して、コロナパルスの波形、電線 1 条 1 m 当り毎秒発生するコロナパルス数および送電線路のサージインピーダンスを基に、コロナ雑音電界強度を計算する方法を提案した<sup>15)</sup>. すなわち、多くのパルスが存在する場合の雑音が実効値で表わされるとすると、コロナ雑音電界強度は、個々のコロナパルスの大きさに比例し、単位時間に単位長さ当たり発生するコロナパルス数の平方根に比例する. また、T.W. Liao らの棒対平板電極についての結果によると、コロナ雑音量 ( $\mu\text{V}$ ) は、パルスの高さに比例し、かつ頻度の 0.44 乗に比例する<sup>16)</sup>. そこで、コロナパルスの大きさを  $H_1, H_2, \dots, H_n$ , それぞれの発生数を  $N_1, N_2, \dots, N_n$  とし、コロナ雑音が実効値で表わされるとすると、雑音量は

$$RN(\text{rms}) = \left( \sum_{j=1}^n N_j H_j^2 \right)^{1/2} \quad (1)$$

に比例するとして、実効値計で測定した雑音レベルと比較検討した<sup>17)</sup>. その結果、両者は定性的によく対応していることを明らかにした.

一方、騒音計は、原理的には Fletcher-Munson の等感覚曲線に相当する周波数の重みを計器に組み入れて、音圧レベルを測定するもので、前述のように、騒音計の A 特性を用いて計測した数値を dB(A) と表示する<sup>18)</sup>. また、音圧は、媒質の圧力の変動分で、通常変動圧力の 2 乗平均の平方根(実効値)で表示し、問題となる音圧と基準音圧 ( $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$ ) の比の常用対数の 20 倍を音圧レベルとして表わす<sup>18)</sup>. そこで、コロナパルス分布特性より、(1)式を用いて求めた値を  $AN(\text{rms})$  とし、これを用いて可聴騒音レベル dB(A) の特性を考察する.

図 3 のコロナパルス分布特性より、 $AN(\text{rms})$  を求める際、 $H_j$  はつぎのようにして求めた. 図 3 の横軸は、パルス波高弁別器の入力レベルを、検出抵抗  $500\Omega$  の両端の電圧に換算したものである. 図 3 で、 $h_j$  のパルスが  $N_j$  個、つぎのレベル  $h_{j+1}$  のパルスが  $N_{j+1}$  個の場合、 $H_j = (h_j + h_{j+1})/2$  の波高値をもつパルスが  $(N_j - N_{j+1})$  個発生するとした. つぎに、印加電界が  $20 \text{ kV/cm}$  の場合の成長期および破裂期の  $AN(\text{rms})$  を求めると、それぞれ 30.2 および 15.3 となる. また、印加電界が  $-20 \text{ kV/cm}$  の場合の成長期および破裂期の  $AN(\text{rms})$  は、それぞれ 14.7 および 11 である. このように、破裂期の  $AN(\text{rms})$  は、正および負極性の場合とも、成長期より減少する. このこととコロナパルス分布

特性より、つぎのことがいえる。すなわち、破裂期には、成長期に比し発生するコロナパルスの波高値は高く、コロナパルス数は減少する。そして、コロナパルス数の減少が、可聴騒音レベルに与える影響が大きいため、破裂期の可聴騒音レベル dB(A) は、成長期に比し減少する。

一方、準尖頭値で表わされた雑音レベルは、パルス数よりパルス波高値に影響されるため、波高値の高いコロナパルスの発生しやすい破裂期雑音レベルが、成長期より高くなる<sup>8)</sup>。

### 3.3 可聴騒音レベルに対する降水量の影響

ラジオ雑音レベルは、降雨量の増加とともに増加し、降雨量数 mm/h 以上では飽和する傾向がある<sup>10)</sup>。また、同軸円筒の上方より給水した場合、雑音レベルは水滴落下頻度の増加とともに増加し、水滴落下頻度が 40~50 滴/分以上で飽和する傾向となる<sup>11)</sup>。筆者らの実験系では、水滴落下頻度が 20~30 滴/分以上で雑音レベルは飽和する傾向となる<sup>8)</sup>。そこで、可聴騒音レベルに対する降水量の影響を検討するため、水滴の落下頻度を 1~80 滴/分の範囲で変化させ、印加電界は 12.5~30 kV/cm とした。なお、水滴の落下頻度を 1~80 滴/分と変化させたとき流量率に換算すると、0.2~16 cm<sup>3</sup>/分となるので、以下流量率で表わす。

図 5 は、印加電界を一定とし、流量率を変化させたときの可聴騒音レベル dB(A) の変動を示すもので、測定回数 5 回の平均値と変動幅で表わした。同図(a)は、正極性直流電界を印加した場合で、27.5 kV/cm の場合の可聴騒音レベル dB(A) は、流量率の増加に対して減少する傾向がある。また、20 kV/cm の場合も、流量率が 0.2~1 cm<sup>3</sup>/分の間を除くと同様な傾向であり、流量率

0.2~1 cm<sup>3</sup>/分の間は変動幅が大きく平均値ではそのような傾向とはならなかった。さらに、12.5 kV/cm の場合の可聴騒音レベル dB(A) は、流量率の増加に対してその変化が少ない。同図(b)は、負極性直流電界を印加した場合で、-27.5 kV/cm の場合の可聴騒音レベル dB(A) は、流量率の増加に対して減少する傾向があり、-20 および -12.5 kV/cm では、流量率の増加に対する可聴騒音レベルの変化に、顕著な傾向はみられない。

Ianna ら<sup>7)</sup>は、印加電界 15~30 kV/cm、流量率 2~22 cm<sup>3</sup>/分で、音圧レベル dB(A) を測定し、正および負極性の場合とも、高電界で低流量率の場合、最も高い音圧レベルとなるとしている。たとえば、印加電界 30 kV/cm、流量率が 4 cm<sup>3</sup>/分のときの正および負極性の音圧レベルは、それぞれ 54 dB(A) および 46 dB(A) で、印加電界 15~30 kV/cm、流量率 2~22 cm<sup>3</sup>/分の範囲では最も高い。図 5 では、±27.5 kV/cm、流量率が 0.2 cm<sup>3</sup>/分で最も高い可聴騒音レベルを示し、Ianna らの傾向と同様である。この理由は、つぎのように考えられる。

図 6(a)および(b)は、それぞれ流量率に対する成長期間および破裂期間の変化を示し、印加電界はいずれも ±27.5 kV/cm である。成長期間および破裂期間は、テレビカメラ測定系で観測した。同図より、正および負極性の場合とも、成長期間は流量率の増加に対して減少し、破裂期間は増加する。そして、正極性の場合、流量率が 2 cm<sup>3</sup>/分になると、破裂期間は成長期間より長くなり、流量率が 4 cm<sup>3</sup>/分以上では、ほぼ破裂期のみとなる。一方、負極性の場合、流量率が 4 cm<sup>3</sup>/分になると、破裂期間は成長期間より長くなり、流量率が 6 cm<sup>3</sup>/分以上では、ほぼ破裂期のみとなる。同様に、印加電界

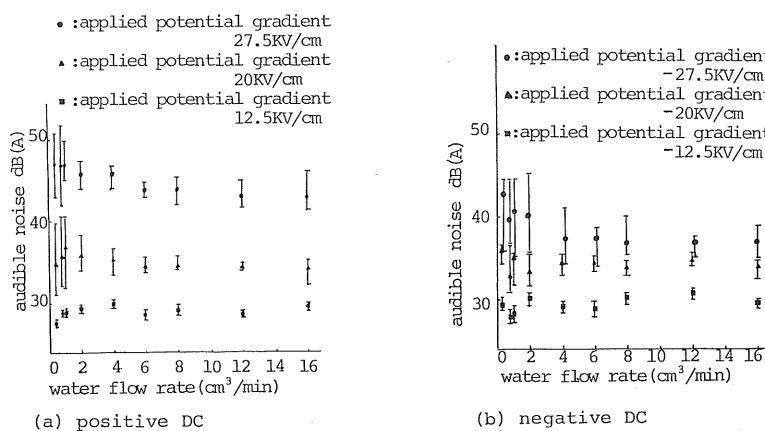


図 5 流量率に対する可聴騒音レベルの変化

Fig. 5 The variation of the level of audible noise with water flow rate.

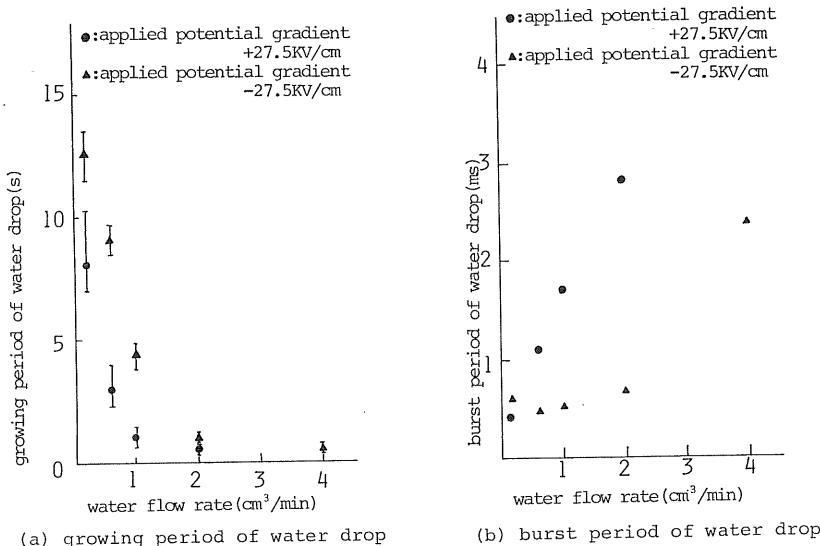
図 6 流量率に対する水滴成長期間および破裂期間の変化 ( $\pm 27.5 \text{ kV/cm}$ )

Fig. 6 The variation of the growing and burst periods of water drop with water flow rate ( $\pm 27.5 \text{ kV/cm}$ ).

が  $\pm 20 \text{ kV/cm}$  および  $\pm 12.5 \text{ kV/cm}$  の場合について成長期間および破裂期間を求めた結果、つぎのとおりであった。20 kV/cm の場合は、27.5 kV/cm の場合と同様な傾向であるが、-20 kV/cm の場合の成長期間および破裂期間は、流量率 6 cm<sup>3</sup>/分以上でそれぞれ 0.32 および 2.13 s である。また、12.5 kV/cm の場合の成長期間および破裂期間は、流量率 4 cm<sup>3</sup>/分以上でそれぞれ 0.1 および 0.22 s である。さらに、-12.5 kV/cm の場合の成長期間および破裂期間は、流量率 6 cm<sup>3</sup>/分以上でそれぞれ 0.3 および 0.27 s である。結局、 $\pm 27.5 \text{ kV/cm}$  および 20 kV/cm の場合は、ある流量率以上になると、破裂期のみとなる。一方、図 2 に示したように、破裂期の可聴騒音レベル dB(A) は、成長期に比し減少する。したがって、 $\pm 27.5 \text{ kV/cm}$  および 20 kV/cm の場合は、流量率が高くなると破裂期のみ現われ、可聴騒音レベルは、図 5 のように、低流量率の場合より減少する。

### 3.4 印加電界と可聴騒音レベル

図 7(a)および(b)は、それぞれ流量率を 0.2 および 16 cm<sup>3</sup>/分とし、印加電界の大きさと極性を変化させたときの可聴騒音レベル dB(A) を示す。同図は、いずれも測定回数 5 回の平均値で示した。同図より

(1) 印加電界が 12.5~20 kV/cm (以下低電界領域とする) では、正極性の場合の可聴騒音レベル dB(A) は、低および高流量率の場合とも、負極性の場合より低い。

(2) 印加電界が 22.5~30 kV/cm (以下高電界領域と

する) では、正極性の場合の可聴騒音レベル dB(A) は、低および高流量率の場合とも、負極性の場合より高い。

(3) 高電界領域では、低流量率の場合の可聴騒音レベル dB(A) は、正および負極性の場合とも、高流量率の場合より高い。

などがあげられる。(3)については 3.3 節で考察したので、以下(1)および(2)について考察する。

図 8(a)および(b)は、それぞれ流量率を 16 cm<sup>3</sup>/分とし、印加電界を 12.5 および 25 kV/cm とした場合のコロナパルス分布特性を示す。同図より、低および高電界の場合とも、正極性の場合のほうが負極性の場合に比し、発生するコロナパルスの波高値は高く、コロナパルス数は減少する。流量率が 0.2 cm<sup>3</sup>/分、印加電界が  $\pm 20 \text{ kV/cm}$  の場合のコロナパルス分布特性は、図 3 に示したが、図 3 で成長期および破裂期を含めると、低流量率の場合も、図 8 と同様な傾向である。

つぎに、流量率を 16 cm<sup>3</sup>/分とし、印加電界を 12.5~30 kV/cm の範囲で変化させたときのコロナパルス分布特性を求め、それらの結果より、AN(rms) を計算した結果を図 9 に示す。その際、コロナパルス分布特性は、水滴の成長期間および破裂期間を含む 10 s 間で測定し、毎秒当たりのパルス数に換算した。したがって、3.3 節でのべたように、流量率が 16 cm<sup>3</sup>/分の場合、高電界領域でのコロナパルス分布特性はほぼ破裂期間について求めた結果となり、低電界領域では、成長期間と破裂期間を含む期間のコロナパルス分布特性となる。

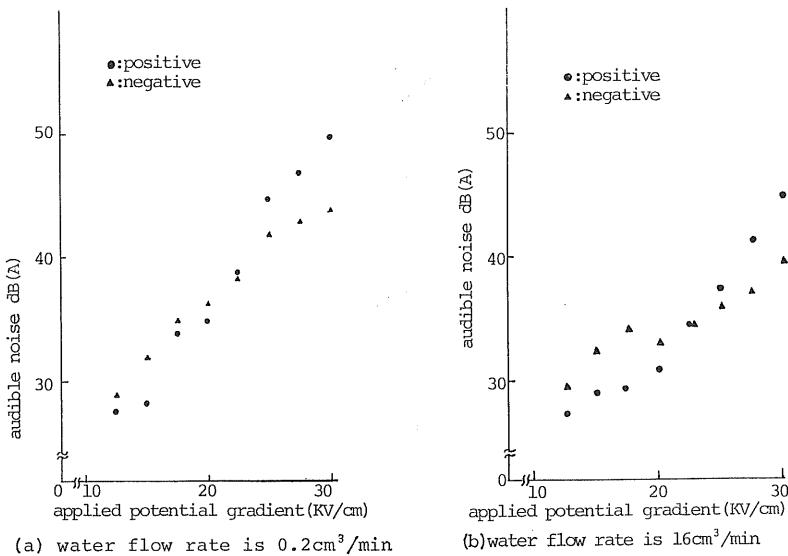


図 7 印加電界に対する可聴騒音レベルの変化

Fig. 7 The variation of the level of audible noise with applied potential gradient.

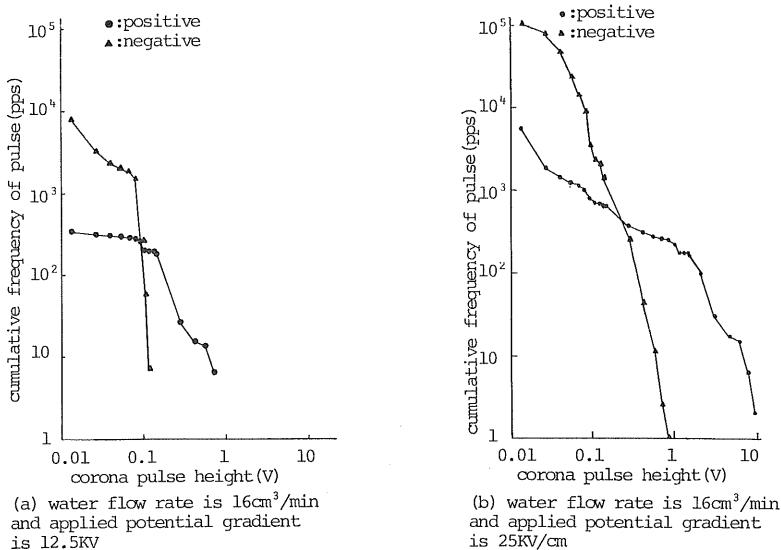
図 8 コロナパルス波高値の累積頻度分布 ( $\pm 25\text{kV}/\text{cm}$ ,  $16\text{cm}^3/\text{min}$ )Fig. 8 Cumulative frequency of corona pulse height ( $\pm 25\text{kV}/\text{cm}$ ,  $16\text{cm}^3/\text{min}$ ).

図 9 より、正極性の場合の  $AN(\text{rms})$  は、高電界領域では負極性の場合より高く、図 7(b)の可聴騒音レベル dB(A) の傾向と同じである。また、流量率が  $0.2\text{cm}^3/\text{min}$  の場合の  $AN(\text{rms})$  について、同様に求めた。その結果、印加電界  $\pm 25\text{kV}/\text{cm}$  の場合の  $AN(\text{rms})$  は、それぞれ  $37.7$  および  $18.9$  となり、図 7(a)の可聴騒音レベル dB(A) の高電界領域の特性と同じである。これらのことと図 8 のコロナパルス分布特性より、つぎのこと

がいえる。高電界領域では、正極性の場合のほうが負極性の場合に比し、発生するコロナパルスの波高値は高く、コロナパルス数は減少する。そして、コロナパルス波高値の増加が、可聴騒音レベルに対する影響が大きく、正極性可聴騒音レベルは、負極性の場合に比し高くなる。なお、正極性の場合のコロナパルス波高値が、負極性の場合に比し高くなるのは、3.1(3) でのべた理由による。

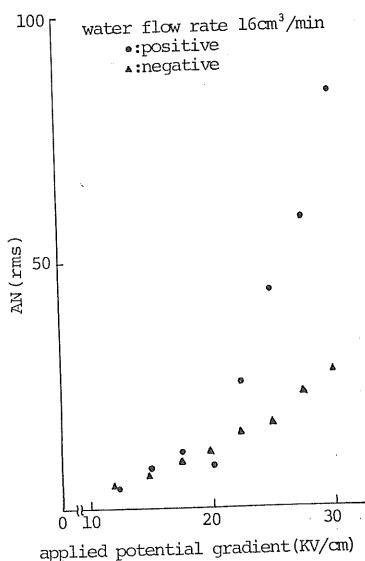
図 9 印加電界に対する  $AN$  (rms) の変化

Fig. 9 The variation of the  $AN$  (rms) with applied potential gradient.

つぎに、図 9 の低電界領域では、正および負極性の場合の  $AN$  (rms) の傾向は、図 7(b) の可聴騒音レベル  $dB(A)$  の傾向と一致しない。また、流量率が  $0.2 \text{ cm}^3/\text{分}$  の場合の  $AN$  (rms) を求めた結果、印加電界  $\pm 17.5 \text{ kV/cm}$  の場合の  $AN$  (rms) は、それぞれ  $20.2$  および  $12.9$  であり、図 7(a) の可聴騒音レベル  $dB(A)$  の傾向と一致しない。これらの理由は、つぎのように考えられる。原らの水滴先端からのコロナ放電による電流波形によると、印加電界  $\pm 9.12 \text{ kV/cm}$  の場合のコロナパルス波形は、それぞれ  $118 \sim 147 \mu\text{A}$  および  $-14.7 \sim -29.4 \mu\text{A}$  で、コロナパルス数は、負極性の場合のほうが正極性の場合に比し多い<sup>20)</sup>。また、印加電界  $18.4 \text{ kV/cm}$  の場合のコロナパルス波高値は  $100 \sim 580 \mu\text{A}$  であり、 $-18.4 \text{ kV/cm}$  の場合は  $-19.6 \sim -39.2 \mu\text{A}$  のものが多数発生している<sup>21)</sup>。一方、本実験で用いたパルス波高弁別器の最低入力レベルは、検出抵抗  $500\Omega$  の両端の電圧で  $0.013 \text{ V}$  (電流値に換算すると  $26 \mu\text{A}$ ) である。これは、印加電界  $12.5 \sim 30 \text{ kV/cm}$  の範囲では、 $30 \text{ kV/cm}$  の場合に最も大きい正コロナパルスが発生するので、これらの最大正コロナパルス波高値が測定できるよう設計したためである。したがって、低電界領域で負極性の場合、原らの結果のように、本装置の最低入力レベルより小さいパルスが多数発生しており、これらのパルスが測定されていない。したがって、 $AN$  (rms) による可聴騒音レベルの考察はできないが、原らの結果を考慮して、定性的に考察するとつぎのようになる。低電界

領域でのコロナパルス分布特性は、図 8(a) のように、高電界領域での傾向と同じである。すなわち、負極性の場合は、正極性の場合に比し発生するコロナパルスの波高値は小さく、コロナパルス数は多い。そして、コロナパルス数の増加が、可聴騒音レベルに対する影響が大きくなる。その結果、負極性可聴騒音レベル  $dB(A)$  は、正極性の場合に比し高くなるものと思われる。これらの点を明確にするため、今後パルス波高弁別器を改良し、 $AN$  (rms) による考察を進める予定である。

一方、準尖頭値で表された雑音レベルは、印加電界  $15 \sim 25 \text{ kV/cm}$  の範囲では、正極性の場合のほうが負極性の場合より高い<sup>8)</sup>。すなわち、高電界領域での正および負極性雑音レベルの傾向は、正および負極性可聴騒音レベルの傾向と同じである。しかし、低電界領域での正および負極性雑音レベルの傾向は、正および負極性可聴騒音レベルの傾向と逆となる。これは、準尖頭値で表された雑音レベルは、主としてパルス波高値によって影響されるのに対し、可聴騒音レベル  $dB(A)$  は、高電界領域ではパルス波高値に、低電界領域では主としてパルス数に影響されるためと思われる。

#### 4. まとめ

かご形同軸円筒の内部電極に形成された水滴の形状変化と可聴騒音レベルとの関係について、印加電界  $12.5 \sim 30 \text{ kV/cm}$ 、流量率  $0.2 \sim 16 \text{ cm}^3/\text{分}$  の範囲で検討した結果を要約すると、つぎのようになる。

(1) 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、正および負極性直流電界を印加した場合とも、破裂期の可聴騒音レベル  $dB(A)$  は、成長期に比し減少する。これは、破裂期には、成長期に比し発生するコロナパルスの波高値が高く、コロナパルス数は減少するが、コロナパルス数の減少の可聴騒音レベルに対する影響が大きいためである。

(2) 正および負極性直流電界を印加した場合とも、高電界で低流量率の場合の水滴の形状は、成長期と破裂期をくり返し、流量率が高くなると、成長期間は減少し、破裂期間は増加する。そして、正および負極性の場合、高電界領域でそれぞれ  $4$  より  $6 \text{ cm}^3/\text{分}$  以上の流量率になると、ほぼ破裂期のみとなる。したがって、破裂期のみ現われる高電界、高流量率の場合の可聴騒音レベル  $dB(A)$  は、成長期と破裂期を含む高電界、低流量率の場合に比し減少する。

(3) 低および高流量率の場合とも、低電界領域では、正極性の場合の可聴騒音レベルは、負極性の場合より低く、高電界領域ではその逆の傾向となる。

## 参考文献

- 1) E.R. Taylor, V.L. Chartier and D.N. Rice : IEEE Trans. Power Appar. Syst., PAS-88 (1969) 606
- 2) D.E. Perry : IEEE Trans. Power Appar. Syst., PAS-91 (1972) 857
- 3) N. Kolcio, J. Dipacido, R.J. Haas and D.K. Nichols : IEEE Trans. Power Appar. Syst., PAS-98 (1979) 1853
- 4) 福島充男, 澤田嘉嗣, 西山文彦, 原田 浩, 鈴野隆生, 須永孝隆, 甘樂忠典, 田辺一夫, 鈴木 正: 電力中央研究所報告, 177088 (1978)
- 5) 荒井健次, 西山 昇, 角田美弘: 放電研究, 85 (1980) 34
- 6) J.F. Hoburg and J.R. Melcher : IEEE PES Winter Meeting, No. C73, 165-8, New York (1973)
- 7) F. Ianna, G.L. Wilson and D.T. Bosack : IEEE PES Winter Meeting, No. C73, 164-1, New York (1973)
- 8) 有馬 泉, 渡辺貞司: 静電気学会誌, 9 (1985) 104
- 9) 有馬 泉, 渡辺貞司, 高木伸之 : 静電気学会誌, 10 (1986) 246
- 10) 赤崎正則, 林 石象: 電気学会雑誌, 88 (1968) 908
- 11) 井関 昇: 放電研究, 64 (1976) 22
- 12) 福島充男: 電力中央研究所報告, 177057 (1978)
- 13) F.J. Trebby : IEEE Trans. Power Appar. Syst., PAS-78 (1959) 522
- 14) M.M. Khalifa, A.A. Kamal, A.G. Zeitown, R.M. Radwan and S.E. Bedwaihy : IEEE Trans. Power Appar. Syst., PAS-88 (1969) 1512
- 15) Y. Yamamura, S. Oka and I. Arima : Technol. Rep. Osaka Univ., 10 (1960) 1
- 16) T.W. Liao, W.A. Keen and D.R. Powell : IEEE Trans. Power Appar. Syst., PAS-76 (1957) 538
- 17) 有馬 泉, 長田晋吾, 山村 豊: 電気学会雑誌, 91 (1971) 2157
- 18) 日本音響学会: 騒音・振動(上), コロナ社 (1978)
- 19) 澤田嘉嗣: 電気学会雑誌, 83 (1963) 1897
- 20) M. Hara, S. Ishibe, S. Sumiyoshitani and M. Akazaki : J. Electrostatics, 8 (1980) 239
- 21) 原 雅則, 金子正光, 山下敬彦, 赤崎正則: 静電気学会誌, 5 (1981) 142