

油中コロナ放電にともなう超音波の発生について

村 瀬 正 義 ・ 藤 井 求 ・ 鳥 取 孝太郎

On the genesis of Supersonic waves attend

Corona electric discharge in oil

Masayoshi MURASE : Motomu FUJII : Kôtarô TOTTORI

1. ま え が き

従来からコロナ放電により超音波が発生していることは周知の通りで、この超音波を人為的に制御できないものかと考え研究に着手したが、気中コロナの場合は超音波の捕捉が受波器のインピーダンス整合などの点で問題が多いため、まず基礎的研究として、油中コロナ放電における超音波発生の特長について測定し得たので報告する。

2. 実 験 方 法

図1に測定回路を示す。図中のオイルは高圧絶縁オイル（JISC 2101 方法で約 50KV）を使用し、油槽は縦 1m，横 2m，深さ 1m のものを使用した。

油槽の中に針対球（球直径 50mm）の電極を設置し、その両端に 0~70KV まで可変できる直流電源装置を接続し、針電極には負、球電球には正の電圧を加えて測定を行なった。

なお、球電極とアース間に 100K Ω の抵抗体を接続し、この抵抗体の両端から放電電流波形（Trichel pulse）を観測した。

超音波はチタン酸バリウム電歪振動子（208.3KHz or. 499.1 KHz）を受波器として測定を行なった。これらの Trichel pulse や超音波の波形はメモリースコープ（岩通 MS-5019A）を利用して観測した。

以上のような装置にて油中コロナにともなう超音波の諸特性を測定したが、まず最初に電歪振動

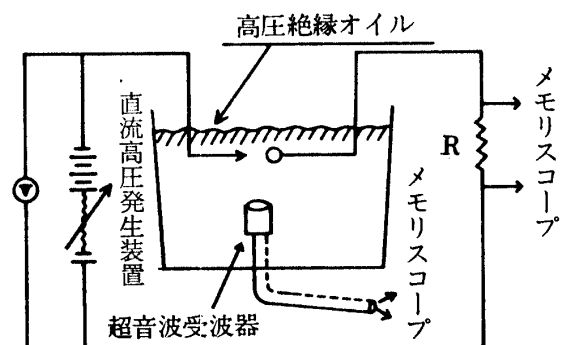


図1 測定回路図

子を通してメモリスコープに得られた波形がはたして超音波であるかどうか確認するため、受波器を電氣的にシールドして観測したが、ほとんど波形に変化が認められないことと、測定結果に指向特性が認められたので超音波の波形であると断定した。

3. 実験結果

図2は Trichel pulse と超音波波形の関係をメモリスコープで観測したものである。図中、上の波形は超音波波形、下は Trichel pulse を示す。この観測結果から1つの Trichel pulse で1つの超音波が発生していることが確認できる。

図3は Trichel pulse と超音波発生をシンクロスコープ（ナショナル Vp-541A）で観測したものである。発生状態が非常に不安定であるため同期がとり難く詳細な観測が困難である。

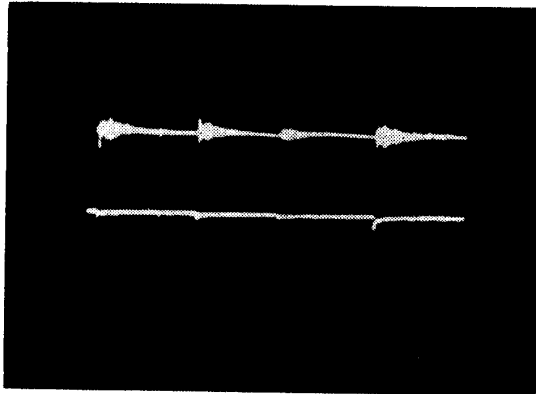


図2 $\left[\begin{matrix} 2 \text{ m sec} \\ 0.01 \text{ V/DIV} \end{matrix} \right]$
(Trichel pulse と超音波波形)

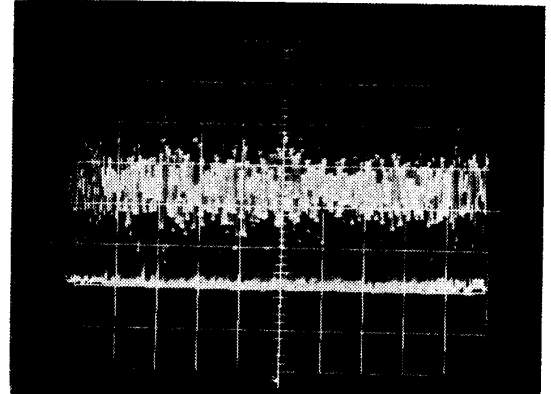


図3 $\left[\begin{matrix} 50 \mu\text{sec} \\ 5 \text{ mV/DIV} \end{matrix} \right]$
(Trichel pulse と超音波波形)

図4は超音波波形を拡大して観測したものである。

図5は図4よりも更に5倍ほど横軸方向に拡大したもので超音波の減衰振巾波形がよく観測できる。

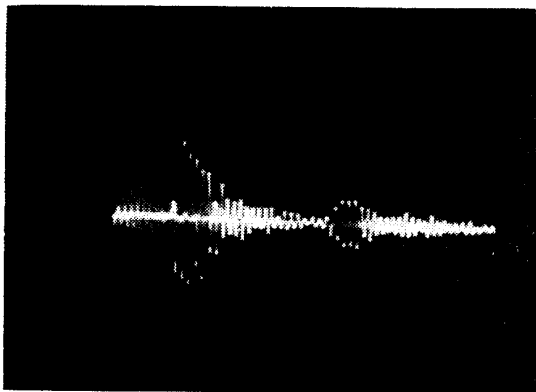


図4 $\left[\begin{matrix} 50 \mu\text{sec} \\ 0.1 \text{ mV/DIV} \end{matrix} \right]$
(超音波波形の拡大)

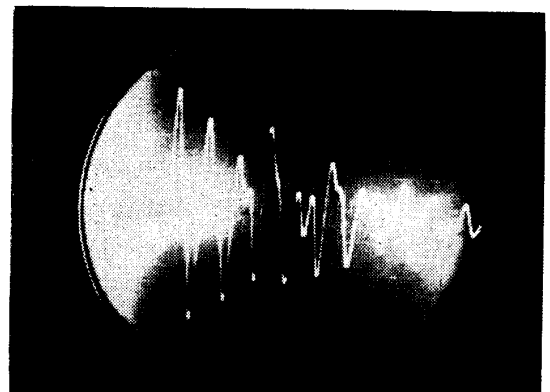


図5 $\left[\begin{matrix} 10 \mu\text{sec} \\ 0.1 \text{ mV/DIV} \end{matrix} \right]$
(超音波波形の拡大)

図6は時間の経過により超音波の発生状態がどのように変動するかを観測したものである。

図7は針対球電極間の Gap の変化に対する超音波発生電圧の関係を求めたものである。

図中の間欠的とは発生回数が毎分1000個程度以下の場合を云う。

図8は電極間 Gap を一定にした時の印加電圧と超音波発生頻度の関係を求めたものである。

図9は電極間 Gap を一定にして、印加電圧を変化した時の超音波の振巾の変化を求めたものである。

図10は印加電圧を一定にして、電極間 Gap に対する超音波の最大振巾の関係を求めたものである。

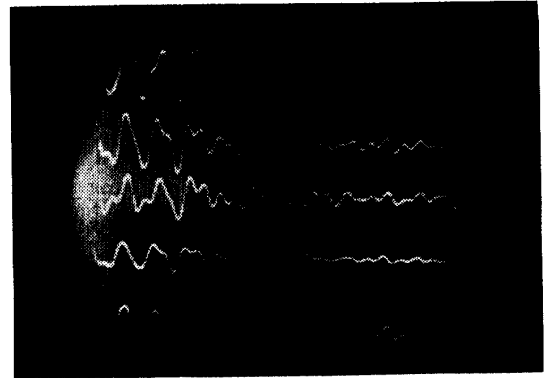


図6 $\left[\begin{matrix} 10\mu\text{sec} \\ 0.1\text{mV/DIV} \end{matrix} \right]$
(超音波発生の時間的变化)
上から下へと時間の経過に対する波形の変化を示す

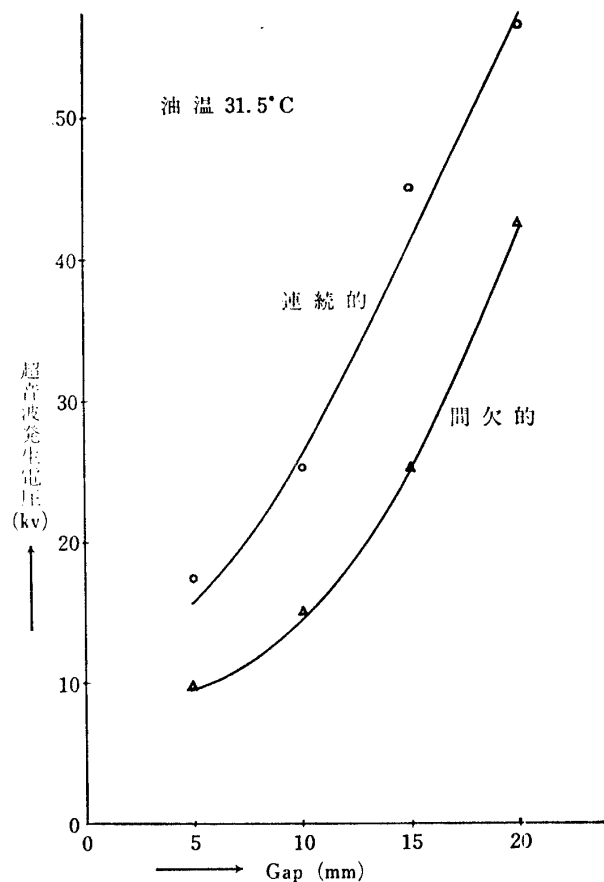


図7 (電極間 Gap —超音波発生電圧)

図11は印加電圧を超音波が連続的に発生する値まで上昇し、その点に達したら次に印加電圧を下降させて超音波の発生状態を求めたものである。

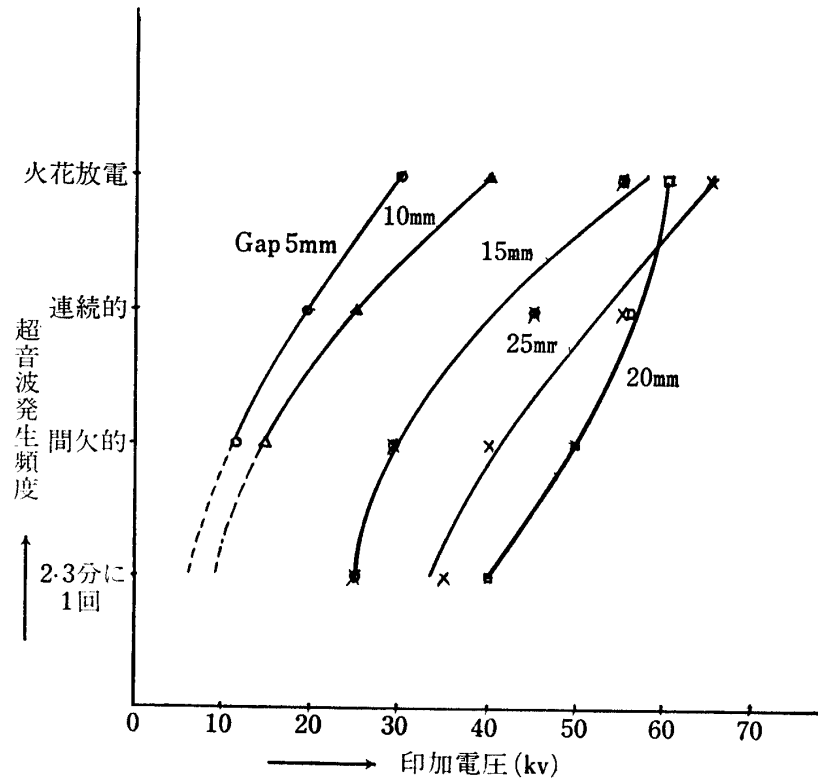


図8 (印加電圧—超音波発生頻度 Gap=一定)

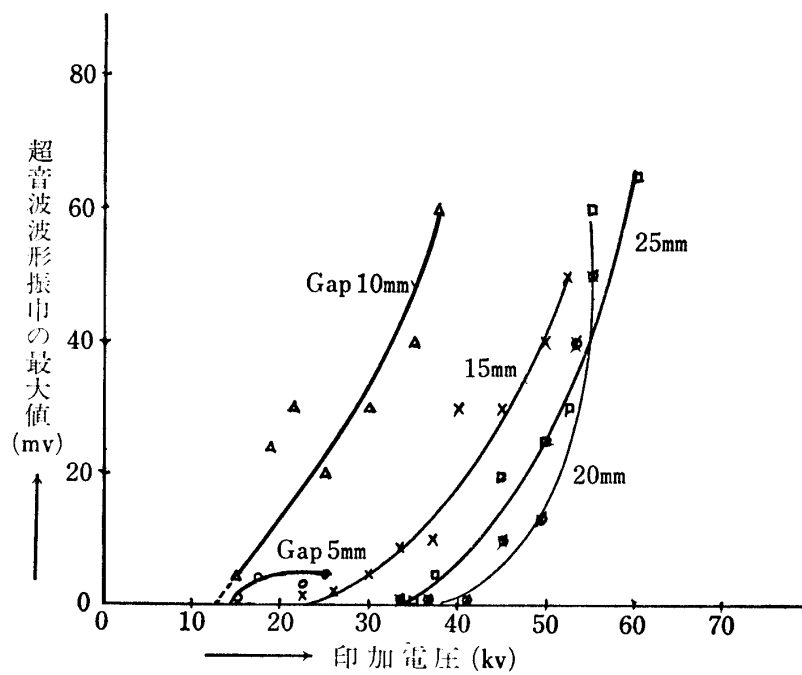


図9 (印加電圧—超音波波形の振巾の最大値) Gap=一定

油中コロナ放電にともなう超音波の発生について

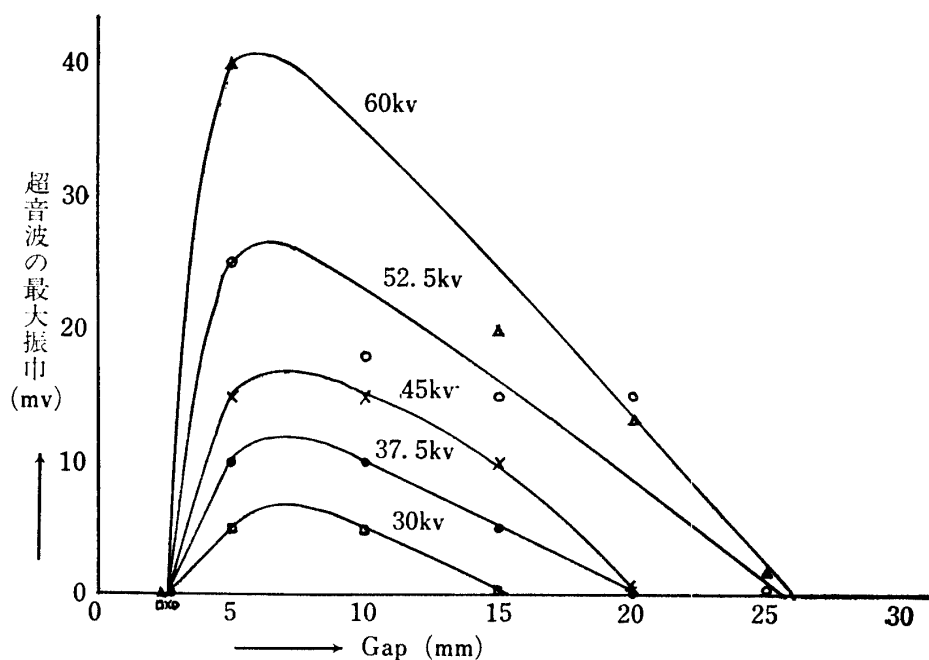


図10 (電極間 Gap—超音波の最大振幅) 印加電圧=一定

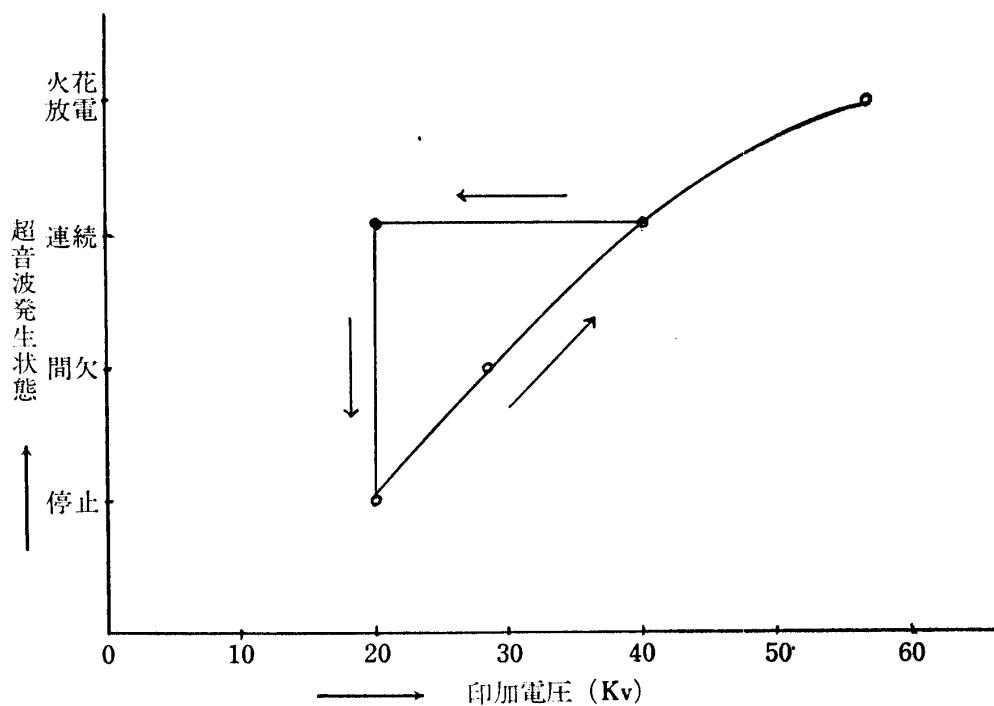


図11 (超音波発生のヒステリシス特性)

4. 考 察

この実験方法にて観測する超音波波形は非常に不安定なもので再現性に乏しい点が多々あるが、今回の場合メモリスコープを使用することにより波形観測が非常に容易になった。

図5の超音波波形から超音波の周波数を求めてみると、大体 **100KHz~200KHz** の成分が主体と

なっていることが判明した。

しかしこの結果は受波器の周波数特性が大きく影響して来ると思われるので、大体の傾向しかこの実験では判断できないと思う。

図6は時間の経過によって超音波がどのように変化するかを観測したものであるが、この結果からは周波数の変化はあまり大きくないが振巾の変化がかなり認められる。

図7の電極間 **Gap** の変化に対する超音波発生電圧の関係においては、油中コロナ特性¹⁾のコロナ開始電圧の関係とはほぼ類似しており、**Gap** にほぼ比例して超音波発生電圧が増大していることがわかる。

図8の印加電圧と超音波発生頻度の関係では、ほぼ印加電圧に比例して超音波発生頻度が増大していることがわかった。

しかし油中における超音波の発生は、コロナ放電によるものであり、そのコロナ放電の開始電圧は加電圧時間のほぼ関数となり明確な値はきめられず、発生する超音波はきわめて不安定で、超音波の連続発生時においても振巾の **max** と **min** とでは、かなり差があり明確な値を出すことはきわめて困難な事であるので図8は大体の傾向を求めたにすぎない。

このコロナ放電の開始電圧が加電圧時間の関数になる原因としては、丁度油の破壊電圧が時間と共に低下する原因と似ており、それは、

- (i) 電荷の走行時間
- (ii) 熱破壊
- (iii) コロナ劣化
- (iv) 油中の浮遊物

などがあげられるが、今回の実験条件では (i) (ii) は考慮の要なく、(iii), (iv) の影響が考えられるが、そのうち (iv) の影響がおもであろうと考えられる。すなわち時間が長いほど油中の浮遊物が電極下にくる機会も多くなり、より低い電圧でも、超音波の発生が頻繁に起ると考えられる。

従って **Gumbel** 氏²⁾ の限界値分布 (**Extremal distribution**) をすると考えられ、コロナ開始電圧 V と加電圧時間 t との関係は次式となる。

$$V_{t2} = V_{t1} - 1.80Sv \log \frac{t_2}{t_1} \quad (1)$$

($Sv : V$ の標準偏差
この分布では Sv は t に無関係である。)

すなわち V は $\log t$ に比例して低下し、その傾きは Sv の1.8倍で与えられる。

この実験では、電極間に固体絶縁物を入れないと油はフラッシュオーバー破壊し、したがってこれより直接に超音波の発生頻度を求めることができないので、安定した超音波を発生させるために電極間に固体絶縁物を入れて実験を進めた。

図9により超音波の出力は電極間の電位の傾きによって大きく左右されることがわかり、図10からは電極間の **Gap** が 5~10mm の間に最大出力の点があるということがわかる。

図11は印加電圧の昇降に対する超音波発生の一ヒステリシスの関係性を求めたもので、印加電圧を上昇させると超音波はまず間欠的に発生し、次いで連続的に出る、さらに電圧を上昇するとついに火花放電に移行するが、その手前の完全に連続に出る所より電圧を徐々に降下させて行ってもほとんど超音波の発生頻度は変化せず、印加電圧がある値まで下ると急に超音波の発生が止まるという現象である。この原因としては前に述べたコロナ放電の開始電圧が時間の経過とともに低下するという事が主なものであると考えられる。

5. ま と め

以上のように超音波の発生状態について色々な面から測定して来たが、いずれもコロナ特性とほぼ同じ傾向を示すことが確認できた。特に

(1) 超音波発生開始電圧は乾式絶縁におけるほど明確には定め難く、加電圧時間とともに低下する。これは油中浮遊物の影響であろうと考えられる。

(2) 超音波の発生頻度は電圧に対しほぼ指数関数的に増加する。これは間欠超音波発生段階では油中浮遊物の存在のためのものであり、連続超音波発生段階ではガス発生により油の破壊電圧や消滅電圧が変化するためのものである。

(3) 比較的高い電圧では一定電圧でも超音波発生状態は一定でなく、分解ガスが次の超音波の発生を助長する。そのためその後の超音波発生電圧は著しく低下する。

(4) 超音波発生開始電圧は乾式絶縁にくらべると相当高く、そのため一発あたりの超音波エネルギーは非常に大きい。

などがあげられる。

今後はこれらの諸特性をもとにして、電極の形状を変化した場合にどのような特性が得られるか検討を加え、さらに超音波の周波数分析を行なって超音波の人為的制御の足がかりとしたい。

参 考 文 献

1) 井関, 倉橋: 電気学会誌 p. 15 (1961)

2) E. J. Gumbel: Notional Bureau Standards No. 33 Applied Mathematics Series (1954)

(著者 電気工学科 昭和46年1月11日受理)