

# 強力定在波による放電発光部の挙動

日大生産工 (学部)      ○中村 雄人  
日大生産工 中根 偕夫・大塚 哲郎  
宮島 毅 ・ 坂本 滋

## 1. はじめに

音の動力的作用<sup>(1)</sup>(超音波)による各種の諸現象を実験的に検討し、今までに報告<sup>(2)~(6)</sup>してきた。

これらに関しては、今までに音圧130dB(音の粒子速度<sup>(1)</sup>では0.15m/s)以上の強力な定在波音場に各種の放電を発生させ、その挙動を観測することによって、音が放電に影響することが分かり、これらについて報告<sup>(7)~(13)</sup>してきた。

間欠スパーク放電は、スパーク放電が1秒間当たり数千回(回路条件等によって回数は異なる)間欠的に発生・橋絡・消滅を繰り返す、可視的には閃光が電極間を橋絡したように観測される放電であったが、音場中の間欠スパーク放電については発光部の可視的な観測に<sup>(9)(11)</sup>留まっていた。

そこでここでは、音響管内の定在波音場中に針電極、あるいは針対平板電極を挿入し間欠スパーク放電を発生させ、音の大きさと間欠スパーク放電の閃光の広がりとの関係を測定し、間欠スパーク放電の定在波音場中の挙動について検討を試みた。その結果放電は音の媒質の変位に依存することが明らかになったのでここに報告する。

## 2. 針電極を用いた実験

<2・1> 実験装置    ここで用いる平面進行波音場では、音圧及び音場の粒子速度の振幅は場所に無関係に一定となり、同一周波数で逆方向の平面進行波が共存すると干渉の結果、空間的に振幅分布の定まった振動となる。すなわち定在波音場となる。

実験では音響管<sup>(14)</sup>を用いてこの定在波音場を構成した。その音響管の概略を図1に示した。音響管の構造は、内径5cm、長さ50cm、肉厚5mmの内部が観察できる透明なアクリル製の円筒(中空状態)の一端を剛壁で閉止し、他端にスピーカーユニットを接続したものである。使用した音の周波数は660Hzを用いた。すなわち、音の周波数660Hzの定在波音場が音響管の内部に発生す

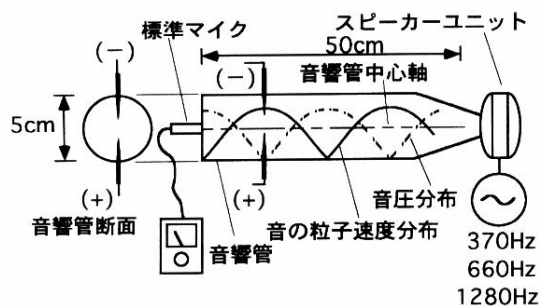


図1 音響管の概略

Fig.1 Schematic diagram of cylindrical acoustic tube unit.

る。また、定在波音場で圧分布と粒子速度分布には位置的に1/4波長の位相差が生じるので、図に示したような音圧分布と粒子速度<sup>(14)</sup>の分布が得られる。音圧分布と粒子速度分布の位置的な1/4波長の位相差を考慮して、音圧の腹の位置(音響管の閉止端)の音圧の実効値を $p_{rms}$ とすれば、粒子速度の最大の位置での実効値 $v_{rms}$ との間には次式(1)の関係がある。

$$v_{rms} = \frac{p_{rms}}{\rho c} \dots \dots \dots (1)$$

ただし、 $\rho$ は媒質の密度、 $c$ は音の伝搬速度を示し、今回は $\rho=1.20 \text{ kg/m}^3$ 、 $c=344\text{m/s}$ (20°C, 1atm)<sup>(15)</sup>を用いた。

この実験では、音響管閉止端に小穴をあけ、音の大きさを閉止端の位置で標準マイクを用いて音圧を測定し、式(1)で求めた音の粒子速度の実効値で示した。放電を発生させる電極と、その周辺の回路の概略を図2に示した。まず電極は、間欠スパーク放電を発生しやすくするために針率半径約60 $\mu\text{m}$ 、削り角25° 外径2mmのステンレス製の針を用いた。ギャップの長さは5~20mm範囲で変化させた。この電極間に、直流安定化電源装置を用いて高電圧を印加した。電圧は図中に示すように、

## Influence of High-Intensity Standing Sound Wave on Discharge Luminous Part

Yuto NAKAMURA, Tomoo NAKANE, Tetsuro OTSUKA,  
Takeshi MIYAJIMA, Shigeru SAKAMOTO

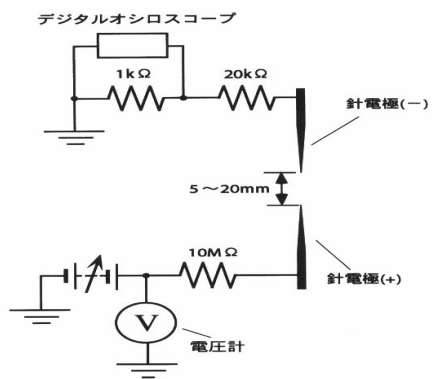


図2 電極と回路の概略

Fig.2 Schematic diagram of needle electrodes with those associated electric circuit.

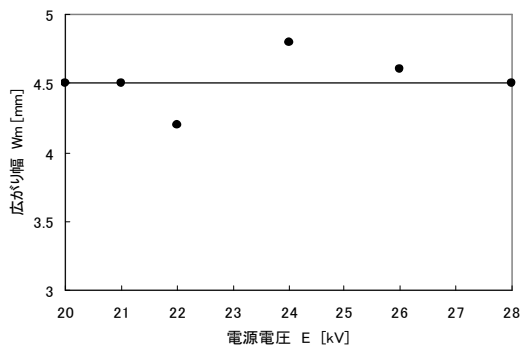
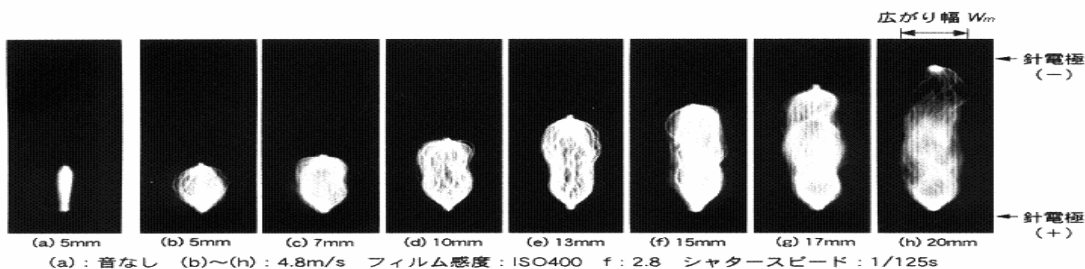


図4 電源電圧を変えた場合の間欠スパーク放電の拡がり  
Fig.4 The spread width of intermittent spark discharges varying the applied voltage at the gap distance of 10 mm with sound waves of the particle velocity of 4.8m/s.



(a) : 音なし (b)~(h) : 4.8m/s フィルム感度 : ISO400 f : 2.8 シャッタースピード : 1/125s

図3 ギャップの長さを変えた場合の間欠スパーク放電の閃光の様子

Fig.3 Variations of shape of luminous part of intermittent spark discharges with different gap length.

電源装置の+出力端子とアース間に電圧計(図中のVの計器)を挿入して電源装置の電圧を測定した。この電極を、図1に示した音響管に管の断面に対してほぼ中央の位置(管軸上)になるように挿入して実験を行った。

〈2・2〉 間欠スパーク放電の発光部の様子 実験では音響管の内部を周波数660Hz、音の粒子速度 4.8m/sの定在波音場とし、針電極を粒子速度分布の腹の位置に挿入し、ギャップの長さを5~20mmの範囲で変えながら間欠スパーク放電の閃光を写真撮影したところ図3が得られた。撮影条件は、装置を暗室に設置し静止カメラで絞りf2.8、シャッタースピード1/125秒とし、フィルム感度ISO400を使用した。なお、比較のためギャップの長さ5mmの場合の音波照射なしの写真を図中の(a)に示した。図中(b)~(h)はそれぞれギャップの長さが5~20mmの場合を示している。

この図から、間欠スパーク放電の閃光は1本の閃光が太くなるのではなく各閃光が図1中管軸に沿って左右に振らされていることが分かる。なおこの図から放電の閃光がギャップの中央部では広がり、針電極には集束する様子が分かる。この閃光が広がる現象は、電極を粒子速度の腹に位置させた場合に最も大きく見られ、節の位置ではほとんど見られないことも認識<sup>(7)</sup>してある。また図中に示したように、ギャップの長さを変えても変わらず一定広

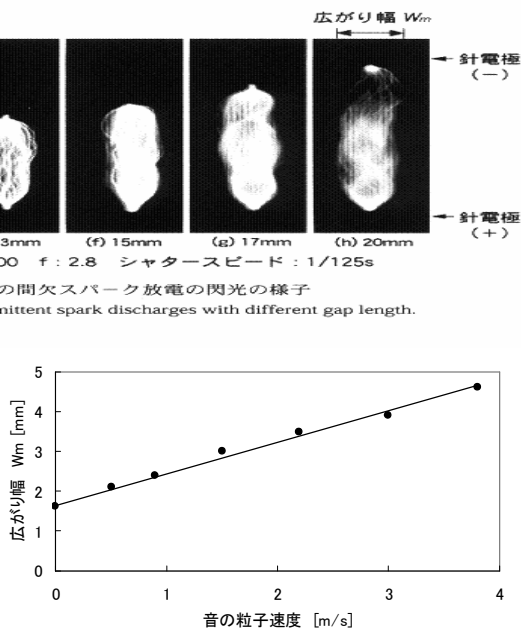


図5 音の粒子速度と間欠スパーク放電の閃光の拡がりとの関係

Fig.5 The shift of spread width of intermittent spark discharges varying the particle velocity of sound.

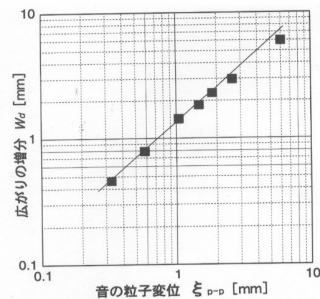


図6 音の変位振幅と間欠スパーク放電の閃光の拡がりとの関係

Fig.6 Relationship between spread width of intermittent spark discharges and amplitude of displacement of sound.

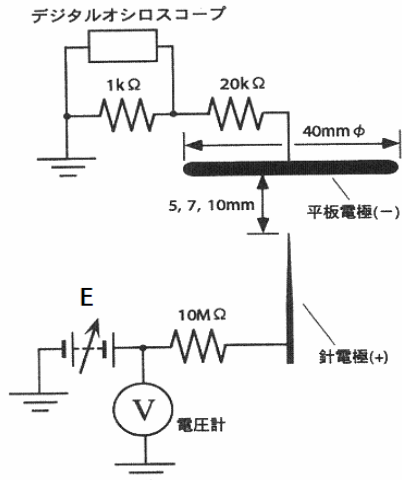


図7 針対平板電極の概略

Fig.7 Schematic diagram of positive-point-plane gap with its associated electric circuit.

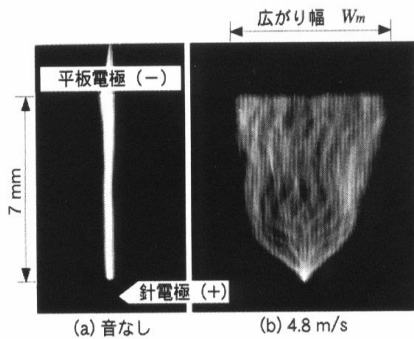


図8 ギャップの長さが7mmの場合の間欠スパーク放電の閃光の様子

Fig.8 The shape of luminous part of intermittent spark discharges on positive-point-plane gap with sound waves.

がりが同一の広がりを示す傾向があることが分かる。

また、図4に電源電圧を変えた場合の放電の広がり  $W_m$  を求めた一例を示す。図は、ギャップの長さが10mmの場合であり、横軸は電源電圧を示し、縦軸は放電の広がり  $W_m$  を示している。図より、電源電圧を変えても放電の広がり  $W_m$  はほぼ一定の大きさを示す傾向があると思われた。

**<2・3> 音の大きさと間欠スパーク放電の広がり** そこで、図3で用いたギャップの長さ5~20mmを用い、各粒子速度毎に放電の広がり  $W_m$  を測定した。すなわち、ギャップの長さに対する  $W_m$  の平均を求め、各粒子速度毎の  $W_m$  と照射した音の粒子速度との関係を図にしたところ図5が得られた。

図中の横軸は照射した音の粒子速度を示し、縦軸は放電の広がり  $W_m$  を示している。図より音の粒子速度とともに  $W_m$  が増加する傾向が見られた。

次に音の媒質である空気が音によって振動すると幅と放電の広がりとの関係を検討した。すなわち、空気の振動

する幅を音の粒子変位の振幅と考え、両者の関係を求めた。

まず、音の粒子変位の振幅のピークピーク値  $\xi_{p-p}$ <sup>(14)</sup> を式(2)によって求めた。

$$\xi_{p-p} = \frac{\sqrt{2}v_{rms}}{\pi f} \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 $f$ は音の周波数を示し、 $v_{rms}$ は音の粒子速度の実効値を示す。

次に、放電の広がり音による増分  $W_d$  を次式(3)で定義し  $\xi_{p-p}$  と  $W_d$  の関係を求めたところ図6が得られた。

$$W_d = W_m - W_0 \dots\dots\dots (3)$$

ただし、 $W_0$  は音なしのときの広がりをしめしている。

図中縦軸は放電の広がりの音による増分  $W_d$  を示し、横軸は音の粒子変位の振幅のピークピーク値  $\xi_{p-p}$  を示す。図より、 $W_d$ は  $\xi_{p-p}$ の増加に従い、ほぼ直線的に大きくなる傾向のあることが分かる。そこで、この傾向が

$$W_d = a\xi_{p-p}^n \dots\dots\dots (4)$$

の実験式で表せるものとする、

$$W_d = 1.3\xi_{p-p}^{0.96} \dots\dots\dots (5)$$

となった。このことから、今回の実験の範囲では  $n \approx 1$ で、粒子変位の1.3倍程度に放電が広がり、放電の広がりは音の粒子変位の振幅に正比例していることが分かった。

**3. 針対平板電極を用いた実験**

**<3・1> 実験に用いた電極形状** 次に、電極の概略を図7に示したように、電極を針対平板電極に変えて同様の測定を繰り返した。針電極は、図2と同じ針を用い、平板電極は直径4cm 厚さ2mm のステンレス製の円板を用いた。音場は 図1に示した音響管を用いて定在波音場とし、音の周波数は、音響管内が共鳴状態となった内の370、660、1280Hzの 3種類の周波数について実験を行った。なお、針対平板電極は2・1と同様に音響管内の粒子速度分布の腹の位置に挿入して実験を行った。

**<3・2> 間欠スパーク放電の発光部の様子** 図8はギャップの長さが7mm、音の周波数660Hzの場合の間欠スパーク放電の写真を示した。図中(a)は音なしの場合であり、ギャップの間を発光部が細く棒状に橋絡しているのが分かる。この状態に粒子速度4.8m/sの音を照射したところ、図中(b)に示したように間欠スパーク放電の閃光が扇子状に広がった。また、間欠スパーク放電の広がり  $W_m$  は図中に示したように、発光部の最大に広がった平板電極付近の部分の長さとした。なお、この閃光が広がる現象は、針対針電極の場合と同様に粒子速度の腹の位置で最も大きく見られる。

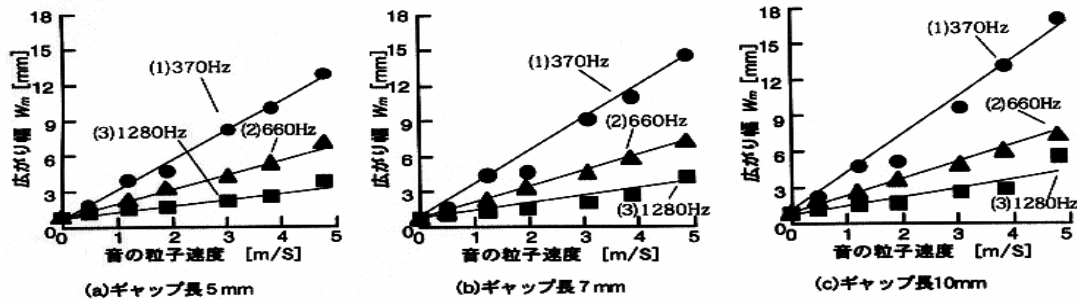


図9 音の粒子速度と間欠スパーク放電の閃光の拡がりとの関係（針対平板電極の場合）

Fig.9 The shift of spread width of intermittent spark discharges varying the particle velocity of sound on the variations of three different sound frequencies.

〈3・3〉 音の大きさと間欠スパーク放電の発光部の拡がりとの関係 そこで、ギャップの長さが5、7、10mmの3種類の場合について放電の拡がり  $W_m$  を測定したところ、図9が得られた。

図中の横軸は照射した音の粒子速度を示し、縦軸は放電の発光部の拡がり  $W_m$  を示している。図中(a)はギャップの長さが5mmの場合であり、図中(1)曲線は音の周波数を370Hzとした場合であり、(2)曲線は660Hz、(3)曲線は1280Hzとした場合である。

図より音の粒子速度に比例するように  $W_m$  が増加する傾向が見られる。また、粒子速度一定の条件では、周波数の低い方が放電の発光部の拡がり  $W_m$  の値は大きくなる特性が得られた。

#### 4・まとめ

以上をまとめると放電の発光部は、粒子速度分布の腹の位置で最も大きく広がる<sup>(7)</sup>ことから、放電は粒子速度の影響を大きく受けると考えられる。粒子速度と放電の閃光の拡がりとの関係を求めたところ、比例関係にあることが求められた。音の周波数を変化させた実験を針対平板電極について行ったところ、音の周波数による影響も見られ低い周波数程大きく放電の閃光は広がり、同じ粒子速度でもその拡がりの大きさが異なった。

次に、音の粒子変位の振幅  $\xi_{p-p}$  に注目して、粒子変位の振幅と放電の閃光の拡がりの増分  $W_d$  との関係をもとめたところ、音の周波数による影響は見られなくなり、粒子変位の振幅と放電の閃光の拡がりの増分との間には  $a$  を定数として、比例的な関係が得られた。

なおこの報告は、電気学会誌 120A,8/9号(2000) P. 785および静電気学会講演論文集'057P41と重複する部分がある。

#### 5・文献

(1) 実吉純一, 菊池喜充, 熊本乙彦, 超音波技術便覧 日刊工業新聞社 p.1, p.1(1953)

- (2) 安藤大, 中根偕夫, 大塚哲朗, 瀬谷浩一郎, “超音波による含水促進の試み” 日本音響学会平成10年度春季研究発表会講演論文集 p.1055-1056
- (3) 中根偕夫, 瀬谷浩一郎, 須山祐之, 尾崎哲則, “定在波音波を利用した菌の培養促進の試み” 日本音響学会平成8年度春季研究発表会講演論文集 pp.1111-1112(1996)
- (4) 中根偕夫, 瀬谷浩一郎, “超音波凝集を併用した電気集塵機の実験” 静電気学会誌 10.5, pp.331-339(1986)
- (5) 大塚哲朗, 中根偕夫, “定在波音場に置かれた羽車による回転エネルギーの検討” 日本音響学会1999年秋季研究発表会講演論文集 pp.1135-1136(1999)
- (6) 中根偕夫, “室内用ESPによる生菌除去の試み-超音波凝集作用を併用した場合-” 静電気学会誌 132(5) pp.260-265(1999)
- (7) T.Nakane, T.Hirata, K.Seya, “Behavior of Electric Discharge in Ultrasonic Field” Jpn.j.Appl.Phys. 26(Suppl. 26-1), pp.203-205(1987)
- (8) T.Hirata, T.Nakane, K.Seya, “Electric Discharge in Ultrasonic Field -Relationship between Particle Velocity of Sound and Spread Width of Discharge-” Jpn.j.appl.Phys. 30(Suppl.30-1), pp.54-56(1991)
- (9) 平田尚史, 瀬谷浩一郎, “間欠スパーク放電への音波照射” 電気学会誌 110-A(1) pp.98-99(1990)
- (10) 中根偕夫, 平田尚史, 瀬谷浩一郎, “強力定在波音場の高気圧グロー放電に及ぼす影響” 静電気学会誌46(11) pp.893-898(1990)