予備電離自己始動型放電電極

正員 堤 泰行 (茨城大)
 正員 沼田 義道 (日立製作所)
 非会員 長江 弘允 (日立製作所)
 非会員 弓野 真孝 (日立オートモティブエンジニアリング)

Pre-Ionized Self-Triggering Discharge Electrode

Yasuyuki Tsutsumi, Member (Ibaraki University), Yoshimichi Numata, Member, Hiromitsu Nagae, Non-member (Hitachi Ltd.), Mititaka Yumino, Non-member (Hitachi Automotive Engineering)

A strange and peculiar phenomenon was found in which pulse discharge inception voltage of a small gap decreased considerably by using an electrode with a dielectric. The dielectric was contact with an edge of the electrode which position was far isolated from the gap.

The discharge inception voltage decreased with increasing permittivity of the dielectric and with reducing distance between the discharge position and the electrode edge with the dielectric. Residual charge on the dielectric was observed after application of high pulse voltage enough to discharge the gap. Potential of the dielectric was adjusted by resistive connection between conductive paint on the dielectric surface and the electrode, and was shown to influence the discharge inception voltage of the gap. A light shield between the electrode edge with the dielectric and the gap also influenced the discharge inception voltage of the gap definitely.

These phenomena can be explained by pre-ionized self-triggering discharge. A peculiar point is that this electrode has no adjacent third electrode for triggering the discharge. The discharge is concluded to be triggered by UV ray from pre-ionization at a far isolated edge of its own electrode, stress of which is enhanced by adding a dielectric.

キーワード：放電，予備電離，始動，トリガ，点火，自動車，電波雑音

1. はじめに

通信システムの普及・多様化に伴い，機器から発生する電波雑音を抑制することが強く求められている。

自動車点火系用ディストリビュータでは，火花放電から出る電波雑音を抑制することが必要であり，このためディストリビュータギャップの放電電圧を低減することが有効であることは古くから知られている⁽¹⁾。放電電圧を低減するため，金属先端を剣山のようにした電極，金属表面にセラミックスを溶射した電極，金属と誘電体を張り合わせた電極，あるいは抵抗性セラミックスを電極としたものなど，種々の電極が考案され，その一部は実用されてきた⁽²⁾⁽³⁾。誘電体を用いる電極で放電電圧が低くなる理由は，誘電体の誘電率や誘電体表面の電荷により電極表面の電界が強まるためと考えられている⁽³⁾。実用されている電極は，厳しい耐久試験に耐えたものではあるが，放電によ

って電極表面が影響を受けるという宿命をもっており，希薄燃焼のための点火エネルギーの増強や製品の耐久性レベルをいっそう向上したいなどの要求に応えるため，更なる研究・改善が必要と考えられる。

本報告は，ディストリビュータ用電極の放電に関する研究中，著者の一人が偶然にも，放電部から離れた電極端に誘電体を配置することで放電電圧が大幅に低下するという奇妙な現象を発見し，その原因究明のために行った研究の結果をまとめたものである。

研究の結果，この現象は従来のディストリビュータ用電極とは放電電圧低減の原理が異なり，電極端部の予備電離によって主放電部の放電が始動するという予備電離自己始動型放電であることが判明した。

予備電離による紫外光によって主放電を始動させる技術は古くから知られているが，これらはすべて始動用の第3電極を備えている。例えば，エキシマレーザ用予備電離型

放電電極を例にとると、金網電極の裏側に誘電体を介して第3電極を配置し、金網電極の裏側で発生した予備電離によって表側の主放電を始動させる方式が用いられている⁽⁴⁾。本報告の放電電極には、予備電離用の第3電極はなく、誘電体によって自らの電極の電極端電界を高め予備電離を発生させる方式である。始動用第3電極や始動回路の配線もなく一つの電極に高電圧パルスを加えるだけで始動用予備電離と主放電を起こすため、従来知られている電極と区別して予備電離自己始動型放電電極と呼ぶことにした。これまで、このような電極について報告された例はない。

高電圧の近くに予備電離用第3電極を配置する必要がないため、ディストリビュータのように、回転部に高電圧、静止部に低電圧というように、高低圧回路が分離している構造の場合にも、適用することが容易である。

本方式の放電電極は、予備電離発生部と主放電部が離れているため、主放電によって予備電離発生部を劣化させる心配はほとんどない。このため、従来のディストリビュータ用電極に比べ耐久性の面で画期的な改善が図れるものと期待される。

2. 実験方法

〈2・1〉 電極構成 実験に用いた電極構成を図1に示す。(a)図は、放電電圧低減のための対策がなされていない基準とした電極構成であり、負の高電圧パルスが印加される供試電極と接地された対向電極の間に1mmのギャップを設けた構造となっている。この電極と周囲の接地金属との距離は10cmである。(b)～(d)図は電極部のみ記述しているが、(a)図と同様周囲の接地金属との距離は10cmである。ディストリビュータの放電ギャップの長さ

は通常1mm程度であるため、従来から1mmギャップの電極構成でディストリビュータ用電極の評価が行われている⁽²⁾。1mmギャップの放電電圧を下げるのが目的であるから、ディストリビュータ用電極の評価では、1mmギャップであればどのような電極構成、電極材料を用いて実験してもよい。供試電極は、厚さ1.5mmの板を図のような構造に切り出したもので材質は黄銅である。誘電体と接触することになる電極端は、30°の角度でカットされた形状となっている。この形状を用いているのは、本研究で述べる現象を偶然にもこの形状の電極を用いた実験で発見したためである。対向電極は、4mm角のアルミニウム角棒で、すべての実験で同じものを使用した。

(b)図は、(a)図の供試電極の端に誘電体を配置した電極構成である。誘電体はテフロン台の上にのせて図のように配置してあり、供試電極の電極端に接している以外は、電気的には浮いた状態になっている。放電部と誘電体間の距離 L を変える実験では、 L が異なる供試電極を作成し実験に用いた。 L は、数mm～数十mmである。この図からもわかるように、誘電体は放電が発生するギャップから離れた位置に配置されている。離れた位置に配置した誘電体によってギャップの放電電圧が大幅に低下するというのが特異な点であり、その原因究明を行うことが本研究の目的である。

(c)図は、誘電体表面のうち金属と接する点の周囲2mm以内を除き、6面すべて導電塗料で被覆し、導電塗料と金属部を抵抗を介して接続した構成を示す。この構成は、金属と誘電体との間の電位差を変化させる実験で使用した。

(d)図は、誘電体の電位を振動容量型電位計を用いて測定する場合の配置を示す。図に示すように、誘電体中央から2mm離れた位置に測定用プローブを配置し、プローブ中央の $\phi 1$ mmの穴が測定部となっている。この振動容量型電位計の時間応答性は2.5msである。この構成は、電極に高電圧パルスを1発印加した後の誘電体電位を測定する実験で使用した。

またこの図には、誘電体と接する電極端部で発生した予備電離の光が主放電部に届かないよう遮光板を設ける実験での遮光板の配置も示している。遮光板は、厚さ1mmのベークライト板を使用し、遮光板と供試電極との接合部は常温硬化エポキシ樹脂で肉盛り接着した。

〈2・2〉 誘電体の種類 実験に用いた誘電体の種類を表1に示す。放電電圧低減効果が大きい比誘電率13のフェライトを標準試料として各種の実験を行った。

〈2・3〉 高電圧回路 波頭長を変える実験以外は、すべて図2に示す高電圧発生回路を用いて実験した。これは、コイルの一次回路の電流をトランジスタでオン・オフすることにより、二次回路に高電圧を発生するものである。高電圧測定のために、供試電極に直接高電圧プローブ(テクトロニクス社製P 6016, 静電容量3pF, 分圧比1/1,000)を接続している。放電電圧は高電圧プローブに接

図1 電極構成

Fig. 1. Configuration of electrodes.

表 1 供試誘電体の種類

Table 1. Classification of tested dielectrics.

No	材料名	比誘電率	体積抵抗率($\Omega \cdot m$)
1	テフロン	2.3	1×10^{15}
2	シリコン樹脂含浸ガラス繊維	4.2	2.5×10^{13}
3	アルミナ	5.6 ~11.2	5×10^9 ~ 1.6×10^{11}
4	Mg-Mn-Zn 系フェライト	12 ~13	4.8×10^7 ~ 7.7×10^9
5	チタン酸化物系セラミックス	28 ~107	1.3×10^9 ~ 2.5×10^{12}

図 2 高電圧発生回路

Fig. 2. High voltage generating circuit.

図 3 放電電圧の経時変化

Fig. 3. Discharge voltage histories.

続したオシロスコープの画面の波形で、電圧が放電によって急低下する直前の波形から求めた。基準として用いた高電圧パルスの波形は、 $90 \mu s$ を半周期とする正弦波の半波である。パルス頻度は、4 気筒、1,500 回転/分のエンジンを想定し 50 パルス/秒を基準とした。

放電電圧は、図 3 に示すように、同一電極でも時間的に変動し、ばらつきが大きい。このため、図 4 以後の放電電圧の値は、10 分間放電電圧の変動を記録し、その平均値をプロットした。

3. 実験結果

〈3・1〉 放電電圧に及ぼす放電回数の影響 図 3 (a), (b) は、図 1 (a) に対応する基準電極の放電電圧の経時変化を二つの試料で測定した結果を示し、図 3 (c), (d) は図 1 (b) に対応する誘電体付き電極の放電電圧の経時変化を二つの試料で測定した結果を示す。それぞれ二つの試料を用いたのは、再現性を確認するためである。図 3 (a), (b) の基準電極の場合、最初の 10 秒は放電電圧が低めに出て、その後は $12 \pm 2 \text{ kV}$ のレベルに安定している。このように放電初期に放電電圧が低めに出るのは、電極に吸着したガスや不純物の影響といわれ、従来からも知られた現象である。

これに対し (c), (d) 図の誘電体付き電極の場合、放電電圧は最初から $5 \pm 1 \text{ kV}$ と低く、かつ安定している。放電部から離れた位置に誘電体を配置するだけで放電電圧が 12 kV から 5 kV に下がるという現象は、従来の知見では想像できない特異な現象である。この原因を究明するのが本研究の目的である。

誘電体を配置すると誘電体表面に電荷が蓄積され、その電荷が次の放電に影響を及ぼすことも考えられる。そこで、(c), (d) 図に示すように電荷が逃げるために十分な時間 (24 時間) 実験を中断し再課電する実験も行った。その結果、再課電の 1 発目の放電電圧が高くなるという傾向はなく、最初から放電電圧は 5 kV と低く安定していた。

図 1 で示した電極構成の幾何学的配置からも、誘電体の誘電率あるいは誘電体表面の電荷が放電部電極の電界を大幅に変えることは考えられないことである。

〈3・2〉 放電電圧に及ぼすパルス頻度の影響 図 4 は基準電極と誘電体付き電極を用いてパルス頻度を変え、放電電圧の変化を調べた結果である。放熱特性の悪い電極では、パルス頻度が大きくなると放電部の電極温度が上昇し熱電子を放出するため、放電電圧が低く安定することも考えられる。しかし、実験した範囲では放電電圧がパルス頻度によって変化することはなく、熱的現象によって放電電圧が低下したものではないことが確かめられた。

〈3・3〉 放電電圧に及ぼすパルス波頭長の影響 図 5 は基準電極と誘電体付き電極についてパルス波頭長を変え、放電電圧の変化を調べた結果である。波頭長 $0.7 \mu s$ と $4.9 \mu s$ の実験では、インパルス発生装置を用い、 $1.2 \times$

図 4 放電電圧に及ぼすパルス頻度の影響
Fig. 4. Effect of pulse repetition rate on discharge voltage.

図 5 放電電圧に及ぼすパルス波頭長の影響
Fig. 5. Effect of pulse front length on discharge voltage.

100 μ s と 10 $\times$ 100 μ s の波形を作り、放電電圧の 2 倍程度の過電圧を印加し、放電時の電圧と放電までの時間をオシロスコープの画面から求めた。波頭長 16.3 μ s の実験では、図 2 で述べた高電圧回路を用い、放電電圧の 2 倍程度の過電圧を印加し、放電時の電圧と放電までの時間を求めた。

図 5 のように、パルス波頭長が短いほど放電電圧が高くなるのは、従来から知られている現象である。これは放電の統計時間遅れ、すなわち放電に必要な初期電子の存在確率が時間が短いほど小さいためであると考えられている。誘電体を配置することで放電電圧が低下したのは、放電の時間遅れが小さくなったためとみることができる。パルス波頭長の長い高電圧パルスでは、誘電体がなくとも初期電子が供給されるので、誘電体配置の効果が低減している。

誘電体を付加することによって、高電圧波形自体が変わり立上りが遅くなれば、放電電圧が低くなることが考えられる。しかし、実測した結果、誘電体有無による波形の違いは全く認められなかった。

〈3・4〉 放電電圧に及ぼす放電部-誘電体間距離の影響

図 6 は、図 1 (b) で示した放電部-誘電体間距離 L と放電電圧の関係を示す。誘電体が放電部から離れるほど放電電圧が高くなり、30 mm 以上離ればほとんど効果がな

図 6 放電電圧に及ぼす放電部/誘電体間距離の影響

Fig. 6. Effect of distance between discharge portion and dielectric on discharge voltage.

図 7 放電電圧に及ぼす誘電体の比誘電率の影響
Fig. 7. Effect of specific permittivity of dielectric on discharge voltage.

くなっている。放電部の電極間ギャップは 1 mm であるので、放電部から 10 mm や 20 mm 離れた位置に誘電体を配置しても放電部の電界が大幅に変化するとは考えられない。これは、金属/誘電体間で予備電離が発生し、その光によって主放電が起こると考えれば説明可能な現象である。

〈3・5〉 放電電圧に及ぼす誘電体の比誘電率の影響

図 7 は、表 1 に示した各種誘電体について放電電圧を測定した結果である。ほぼ同一の誘電率をもった材料はほぼ同じ放電電圧になる傾向が見られた。比誘電率が 10 以上の材料を用いた場合に放電電圧が低かった。材料の体積抵抗と放電電圧との関係も調べてみたが、体積抵抗率の高いテフロンやシリコーン樹脂含浸ガラス繊維の放電電圧は高いものの、アルミナより体積抵抗率が高いチタン酸化物系セラミックスの放電電圧がアルミナの放電電圧より低く、材料の体積抵抗が高いほど放電電圧が高い傾向があるとはいえない結果であった。

金属と誘電体間の予備電離で発生した電荷は、誘電体表面に蓄積され、表面抵抗が高い場合には材料の体積抵抗と静電容量で決まる時定数で減衰するものと考えられる。実

験に用いた材料の時定数は表1の比誘電率と体積抵抗率から計算することができ、低体積抵抗率のフェライト以外の材料はすべて1秒以上長い場合は数時間の時定数であるため、毎秒50パルスのパルス間隔20msの間に電荷は減衰せずそのまま残留していると考えられる。従って、残留電荷がほとんど減衰しないほど十分高い体積抵抗率を有する材料を用いたため、体積抵抗率の値そのものの影響が出なかったものと思われる。

金属と誘電体との間の放電開始電圧は、1発目の放電による電荷が誘電体表面に残留するため、2発目以降の放電電圧に影響を与えることはよく知られている。本実験では、負極性高電圧パルスを毎秒50発の割合で連続して加えているので、負極性パルスの立上り時に予備電離が発生すると、その電荷によりパルスの波尾の時点でギャップに逆向きの高電界が加わり、逆向きの予備電離が発生するものと考えられる。すなわち、負極性のパルスだけを加えても誘電体表面に残留する電荷によってギャップには正負の電界が加わり、正負の予備電離が発生するようになる。金属と誘電体間にある微小な空気ギャップでは、誘電体の比誘電率が大きいほどギャップに大きな電界が加わり予備電離が発生しやすくなる。このギャップの予備電離によって主ギャップの放電電圧が低下すると考えれば、図7の結果は説明できる。

もし、誘電体表面の抵抗が非常に低くなれば、空気ギャップに電圧がかからなくなり、予備電離が発生せず主ギャップの放電電圧が高くなるという現象が起こるかもしれない。しかし図7に示すように、化学的に安定で表面抵抗が下がりにくい材料であるテフロンがもっとも放電電圧が高くなっていることからみても、誘電体の表面抵抗が結果に大きな影響を与えているとは考えられない。

〈3・6〉 放電電圧に及ぼす金属/誘電体間ギャップの影響

これまででは、図1(b)に示すように金属と誘電体を接触した状態で実験を行ってきた。図8は金属/誘電体間にギャップを設け、特性の変化を調べた結果である。

ギャップの長さが大きくなると放電電圧が上昇する傾向があり、ギャップの長さが0.08mmを超えると誘電体配置の効果が見られなくなった。これは、ギャップの長さ0.08mmを超えると金属/誘電体間で予備電離が発生しなくなるためと考えられる。

〈3・7〉 誘電体に加わる電位の影響

図1(c)に示したように、誘電体表面に導電塗料を塗り、導電塗料と金属間を抵抗を介して接続し、放電電圧を測定した結果を図9に示す。抵抗無限大（接続せず）では、導電塗料を塗らない場合と同様放電電圧は低く、抵抗0（銅線で接続）では、誘電体を配置しない場合と同様放電電圧は高くなった。抵抗1MΩ程度が効果あり・なしの分岐点となっている。抵抗値を小さくして誘電体と金属間に電位差が発生しないようにすれば、ここでの予備電離が起こらないため放電電圧低減効果がなくなるものと考えれば説明可能である。

図8 放電電圧に及ぼす金属/誘電体間ギャップの長さの影響

Fig. 8. Effect of distance between electrode and dielectric on discharge voltage.

図9 放電電圧に及ぼす誘電体/電極間抵抗値の影響

Fig. 9. Effect of resistance between dielectric and electrode on discharge voltage.

図10 高電圧印加後の誘電体電位

Fig. 10. Potential of dielectric after high voltage application.

〈3・8〉 誘電体電位の測定

図1(d)で示した方法でチタン酸化物系セラミックスに高電圧パルスを加え、その表面電位を測定した結果を図10に示す。誘電体電位の値そのものは測定位置によっても変わり、それほど精度がある値とはいえないが、電圧印加によって電位に変化が起こる点が重要である。電位の減衰時定数は誘電体の種類によ

って大幅に異なり、テフロンを用いて実験した場合は30分間でも電位の減衰は全く認められなかった。図10の結果は誘電体にある電荷が消失する現象を表している。電圧印加時に誘電体に電荷を与えているのは、電極端と誘電体との接触部分での部分放電であると考えるのが妥当である。

〈3・9〉 放電部と誘電体間の遮光の影響 金属電極と誘電体の界面で発生する予備電離による紫外線によって主放電が発生しているならば、この両者の間に遮光板を入れることにより、放電電圧低減効果をなくすることができるはずである。図1(d)に示したように遮光板を入れた結果、図11に示すように放電電圧が上昇することが確認された。

〈3・10〉 予備電離光の観察 これまでの実験結果は、金属電極と誘電体の間で発生する予備電離によって、主放電が始動するという仮説ですべて矛盾なく説明できる。そこで、実験装置全体を暗室に入れ、主電極と対向電極間ギャップを広げて主放電の発生を防ぎ、真っ暗な状態で電極端部での部分放電発生の有無を観察した。その結果、高電圧パルス印加時に電極端の誘電体との接触部で極めて微弱的な光が発生することを肉眼で観察でき、また、ASA 6000の高感度フィルムを用い5分間シャッターを開いた状態で予備電離光を撮影することができた。

図12はこの予備電離光と電極および主放電を重ねて撮

図 11 放電部/誘電体間遮光の影響

Fig. 11. Effect of light shield between discharge portion and dielectric.

図 12 予備電離の発光

Fig. 12. Light emission of pre-ionization.

影した写真である。

4. 考 察

以上の実験結果で、予備電離により主放電が始動していることは明らかになったが、ここではこの現象を簡単なモデルを用いて数式化し概略計算を行い、何が重要なパラメータであるかについて考察する。

電界が高くなる電極端部と誘電体の接触部は、直線状と考え、中心線をもつ円筒状モデルで電界の近似計算を行う。すなわち、半径 r_1 の円筒状導体の外側に、薄い空気ギャップを介して円筒状 (外半径 r_2) の誘電体が配置され、その外側に円筒状のアース (半径 r_3) があると仮定する。電界を正確に求めるには、電極の端部の R や誘電体の立方体形状、周囲のアース電位なども入力し、三次元の計算を行う必要があるが、ここでは、簡単のため解析解が得られる円筒モデルで近似した。

電極端部の薄い空気ギャップの電界 E は、次式で与えられる。

$$E = \frac{V}{r_1} \frac{1}{1/\epsilon_s \cdot \ln(r_2/r_1) + \ln(r_3/r_2)} \quad (1)$$

ここに、 V : 電圧、 ϵ_s : 誘電体の比誘電率

実験に用いた電極は、厚み 1.5 mm の板を切り抜いたものであるため、角を完全にとれば r_1 は最大 0.75 mm となるが、角落としを行っていないので、実際には平な先端の角に 0.03 mm 程度の R が付いた形状になっている。ここでは、等価的な R を 0.2 mm ($r_1=0.2$ mm) とした場合を基準条件として、 R を変えた場合の電界も計算してみた。実験状況を考えると、 $r_2=10.2$ mm (誘電体は 10 mm 角)、 $r_3=100.2$ mm (電極端とアース間距離は 100 mm 程度) を基準条件にとるのが妥当である。

(1) 式の分母は、平等電界に換算した等価的なギャップの長さである。比誘電率 ϵ_s と等価ギャップ長の関係を (1) 式の分母を用いて計算した結果を図 13 に示す。

この図で、等価ギャップ長 1 mm を上限としているのは、主放電部のギャップの長さが 1 mm であるため、予備放電による主放電の始動が起きない領域と考えたため

図 13 比誘電率と等価ギャップ長との関係

Fig. 13. Relation between specific permittivity and equivalent gap length (calculated).

ある。等価ギャップ長が小さいほど、低い電圧で部分放電が発生すると考えられ、この部分放電によって主放電が始動すると考えれば、図7の実測値は、図13の計算値と対比することができる。

図13の基準条件の計算値と図7の実測値がよく合致するのは、 r_1 として0.2 mmを選んだことにもよるが、比誘電率が1から10程度変化する間に放電電圧が大幅に下がるという傾向は、(1)式を導いた基本的な考え方、すなわち電極端に誘電体を配置することによって電極端の電界が高くなり、予備電離が発生するという説が正しいことを裏付けるものである。

図13には、基準条件に比べ電極端 R を1/2倍にした場合、誘電体厚みを1/2にした場合、対地間距離を2倍にした場合の計算結果も併記した。電極端 R を小さくすれば、誘電体を配置しなくとも部分放電が発生する可能性があるが、この場合にも誘電体を配置すればほぼ同じ倍率の放電電圧低減効果が期待されることがわかる。誘電体の厚みを薄くすれば放電電圧低減効果も小さくなる傾向がある。対地距離を2倍(100~200 mm)に変える効果は、誘電体厚みを1/2倍(10~5 mm)に変える効果と同程度であった。

同筒モデルは、概略計算のために用いているもので、計算結果の数値そのものの精度には疑問があるが、何が重要なパラメータであるかを明らかにするためには有効な手段である。上記の結果は、予備電離発生場所に近い電極端の R の影響が最も大きく、次に誘電体厚みの影響が大きく、離れた位置にある対地距離の影響は比較的小さいことを意味しており、この結果は、円筒モデルの代わりに同心球モデルを用い、電極端を適当な球に置き換えて計算しても、同じ結論を導出することができる。ここでは、このモデルの基礎となっている考え方、すなわち電極端に誘電体を配置することによって電極端の電界が高くなることを円筒モデルを例にとって説明しているのである。このモデル化によって、誘電体の比誘電率が1から10に変化すると放電電圧が大幅に変わるという図7の実験事実をより鮮明に説明できるだけでなく、本論文で実験検証されていない電極端 R 、誘電体厚みあるいは対地距離などのパラメータの重要性についても指摘することができた。本論文で明らかにした現象を実際に応用するには、これらの寸法関係をより定量的に解明する必要があるが、ここで提起したモデルの考え方が役立つことを期待するものである。

5. 結 言

自動車点火系ディストリビュータ用電極で、放電部から離れた電極端に誘電体を配置することにより、放電電圧が大幅に低下し安定化する特異現象を発見し、その原因究明を行った。

その結果、電極端と誘電体の間で予備電離が発生し、それが主放電を始動させる現象であることが明らかとなった。

この電極は、始動用回路や始動用の第3電極なしに一つの高電圧パルスを加えるだけで、予備電離により自己始動する機能を有している。

この電極は、放電電圧が低く安定するだけでなく、主放電による予備電離部の損傷がないため、原理的に耐久性が高く、低雑音ディストリビュータ用電極として実用化されることが期待される。

(平成7年4月10日受付、同7年8月25日再受付)

文 献

- (1) R. A. Shepherd, et al.: "New Techniques for Suppression of Automotive Ignition Noise", *IEEE Trans. Vehicular Technology*, 25, No. 1 (1985)
- (2) 堤・小野・藤井・長江・粕谷: 「セラミック抵抗体放電電極の電波雑音抑制効果」, 電学論 A, 110, 153 (平2-2)
- (3) 堤・小野・藤井・檜垣・石井: 「微小ギャップ放電からの電波雑音の抑制」, 同上 B, 110, 850 (平2-10)
- (4) 渡部: エキシマレーザの開発とその応用技術・例 (昭62) 応用技術出版

堤 泰 行 (正員) 1938年1月18日生。1960年3月九州大学工学部電気工学科卒業。同年4月(株)日立製作所日立研究所入社。以来、電力機器の絶縁研究および燃料電池の開発に従事。1989年3月退社。同年4月茨城大学工業短期大学部、1990年10月同工学部システム工学科教授となり、現在に至る。工学博士。電気化学協会会員。

沼 田 義 道 (正員) 1945年2月13日生。1963年3月水戸工業高等学校採鉱冶金科卒業。同年4月(株)日立製作所日立研究所入社、現在に至る。

長 江 弘 允 (非会員) 1943年1月6日生。1961年3月徳島工業高等学校機械科卒業。同年4月(株)日立製作所入社、現在に至る。電子情報通信学会会員。

弓 野 真 孝 (非会員) 1960年2月22日生。1978年3月茨城県立高萩高等学校普通科卒業。同年佐和産業入社。日立オートモティブエンジニアリング(株)を経て、現在に至る。