オゾン発生特性に与える放電ギャップ長ばらつきの影響

正員 北山 二郎* 正員 葛本 昌樹**
非会員 吉川 孝雄***

Effect of Discharge Gap Dispersion on Ozone Generation Characteristics

Jiro Kitayama*, Member, Masaki Kuzumoto**, Member, Takao Yoshikawa***, Non-member

In this paper, the effect of discharge gap dispersion on ozone generation characteristics of a tube type ozone generator is investigated quantitatively by calculation and experiment. It is clarified that off-centered electrode layout seriously affects the ozone generation characteristics. Therefore, it is extremely important for efficient and high concentration ozone generation to shape a uniform discharge space.

キーワード：オゾナイザ，放電ギャップ，高濃度オゾン

Keywords : ozone generator, discharge gap, high-density ozone

1. はじめに

近年オゾンの利用は，従来の上水処理分野に加えて，下水，パルプ漂白などの高濃度・大容量のオゾンが必要とする分野や，半導体にまで拡大しており，今後ますます適用分野の拡大が期待されている。このような背景の下，オゾン発生器に対しては，高濃度かつ大容量のオゾンを高効率で生成することが課題とされている。筆者らは，これまでオゾン発生器の性能向上に対し，放電ギャップの狭隙化が有効に作用することを，理論および実験を通じて明らかにした⁽¹⁾。性能向上のための狭放電ギャップ化にともない，放電ギャップの精度がオゾン発生器の性能に与える影響が大きくなると推測されるため，従来にもまして，放電ギャップの精度がオゾン発生特性に与える影響について詳細に検討する必要があると考えられる。

本論では，円筒型オゾン発生器を対象とし，実装置で起こりうる放電ギャップのばらつきを想定し，既報のオゾン発生特性解析コード⁽²⁾⁽³⁾を利用して，放電ギャップ長精度のオゾン発生特性に与える影響を定量的に検討した。特に，

円筒型オゾン発生器に特有の電極の偏芯挿入によるギャップ長ばらつきの影響については，実験とあわせて検討した。

2. 計算モデル

放電ギャップ長にばらつきが存在する時のオゾン発生特性は，ギャップ長の異なる領域における投入電力とガス流量の分布を計算し，これらの結果から各領域におけるオゾン発生器の動作条件を算定して，各ギャップ長に対するオゾン発生特性を個々に求めることにより得られる。

ここでは，本解析に使用する計算条件のうち，円筒型オゾン発生器で代表的な放電ギャップ長に対する放電電力特性とオゾン発生特性について述べる。

〈2・1〉 放電電力特性 オゾン発生器の放電部の等価回路を図1に示す。図中， C_d と C_g はそれぞれ誘電体電極と放電空間の静電容量であり， V^* は放電空間の放電維持電圧である。 C_s は回路の浮遊容量であり，ここでは C_d および C_g に比べて十分に小さく，放電電力特性に与える影響については無視することとした。

図1の等価回路で，放電空間に投入される電力 W は次式で与えられる⁽⁴⁾。

$$W = 4 \cdot f \cdot C_g \cdot V^* \left\{ V_{op} - \left(1 + \frac{C_d}{C_g} \right) \cdot V^* \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ここで， f ：電源周波数 [Hz]

V_{op} ：印加電圧波高値 [V]

である。

放電ギャップ長が変化すると，(1)式中の放電空間の静電容量 C_g と放電維持電圧 V^* が変化して，投入電力特性も変わる。放電空間の静電容量は，ギャップ長のみに依存する平

* 三菱電機(株) 生産技術センター
〒661-8661 尼崎市塚口本町 8-1-1
Manufacturing Engineering Center, Mitsubishi Electric Corporation
8-1-1, Tsukaguchihonmachi, Amagasaki 661-8661
** 三菱電機(株) 先端技術総合研究所
〒661-8661 尼崎市塚口本町 8-1-1
Advanced R&D Center, Mitsubishi Electric Corporation
8-1-1, Tsukaguchihonmachi, Amagasaki 661-8661
*** 大阪大学基礎工学部
〒560-8531 豊中市待兼山町 1-3
Faculty of Engineering Science, Osaka University
1-3, Machikaneyamacho, Toyonaka 560-8531

図1 放電部の等価回路

Fig. 1. Equivalent circuit of ozone generator.

図2 放電維持電圧とPd値

Fig. 2. Relationship between discharge voltage and Pd product.

板とみなすことにより、単位面積あたりの静電容量として

$$C'_g = 8.854 \times 10^{-12} / d \quad (2)$$

で与えられるものとした。

また、放電維持電圧 V^* については、放電ギャップ長とガス圧力の Pd 積との関係として実験的に調べた。

放電維持電圧の測定結果を図2に示す。放電維持電圧 V^* は、ギャップ長が変化しても、 Pd 積によってほぼ一義的に決定されることがわかる。この結果から、放電維持電圧 V^* を Pd 積の関数で表すと、

$$V^* = 906 + 20.73 \times (P \cdot d) - 5.22 \times 10^{-3} \times (P \cdot d)^2 \quad (3)$$

となる。

ここで、 P : 放電空間の圧力 [Pa]

d : 放電ギャップ長 [m]

である。

ここで、誘電体電極の単位面積あたりの静電容量 C'_d は、実験で使った比誘電率 $\epsilon = 5.5$ 、肉厚 $t = 1.5\text{mm}$ のガラス管では次式で与えられる。

$$C'_d = 3.07 \times 10^{-8} \quad (4)$$

図3 放電電力特性

Fig. 3. Discharge power characteristics.

(2)~(4)式を(1)式に代入すれば、個々の放電ギャップ長と圧力の組合せに対する放電電力特性を求めることができる。

図3に、放電ギャップ長を0.3mm、0.4mm、0.5mmとした場合の単位放電面積あたりに投入される放電電力 $[\text{kW}/\text{m}^2]$ と印加電圧波高値との関係を示す。一般に放電ギャップ長が短くなると放電維持電圧 V^* が低下する。一方、放電ギャップの静電容量 C_d は増加するので、ここで検討する放電ギャップ領域では、(1)式中の $(1 + C_d/C_g) \cdot V^*$ で表される放電開始電圧に顕著な差が見られない。このため、印加電圧が低い条件では、各ギャップ長に対する投入電力にほとんど差が見られない。(1)式より、投入電力特性線の傾きは放電維持電圧 V^* に比例するので、放電ギャップ長の増加にともなって直線の傾きは増大する。したがって、印加電圧の増加により放電ギャップの広い領域に電力が投入されやすい。ここで検討する条件では、印加電圧が6kVを越えるあたりから、この傾向が明確になる。ただし、印加電圧10kVの場合でも、放電ギャップ0.4mmを基準にした各ギャップ長での放電電力の変化は±10%程度であり、ギャップ長依存性は小さい。このように各ギャップ長に対して、同一印加電圧における投入電力に顕著な差が生じず、ガスの流れやすい長放電ギャップ域に電力が投入されやすいことから、ギャップ長ばらつきが存在した場合にも、オゾン発生特性に与える影響が小さいことが期待される。

〈2・2〉 オゾン発生特性 各ギャップ長におけるオゾン発生特性は、電子衝突によるオゾンの解離過程を考慮した解析により求める。前節での検討から、ギャップ長に対する投入電力密度の変化が小さいことがわかったが、解析結果の精度を高めるためにオゾン発生特性の電力密度依存性を考慮した。

本解析で考慮するギャップ長において、原料ガスを酸素とした場合のオゾン発生特性の解析結果を図4に示す。なお、解析手法の詳細については文献(2)を参照されたい。放電電力密度を $4\text{kW}/\text{m}^2$ とし、冷却は接地電極のみを水冷した片面冷却方式における結果である。放電電力密度を一定とした場合、 $150\text{g}/\text{Nm}^3$ 以下のオゾン濃度域では放電ギャップ長に対するオゾン発生特性の変化は極めて小さいが、オ

ゾン濃度が高まるにつれて、放電ギャップ長に対する依存性が顕著に現れることがわかる。例えば、オゾン濃度 180g/Nm^3 における放電ギャップ長 0.3mm と 0.5mm のオゾン発生効率を比較すると、それぞれ 125g/kWh , 71g/kWh と求められ両者には約 1.7 倍の差がある。筆者らは、文献(2)において放電ギャップ長 0.05mm から 1.2mm にわたる範囲で、上述の解析結果と実験結果との良い一致を確認している。したがって、以降の解析においては、放電電力密度に対する依存性を考慮したシミュレーション結果を用いる。

〈2・3〉 放電ギャップのばらつき 電極の形状精度や組立て精度に起因して放電ギャップ長にばらつきが存在するオゾン発生器のオゾン発生特性は、一様な放電ギャップが形成された場合に比較して、悪化することが一般的に知られている。これは、放電空間において局所的に放電ギャップ長の異なる領域が形成されることにより、各領域に流れるガス流量と投入される放電エネルギーに偏りが生じるためであると理解される。ガス流量と放電電力はオゾン発生特性を決定する重要な因子である。オゾン発生特性は主に、放電空間のガス温度と放電電力密度(W/S)、および放電電力とガス流量の比で与えられる比電力(Specific Energy ; W/Q_N)によって決定されるからである。放電空間において放電電力とガス流量に偏りが生じると、これらのパラメータも変化する。これにより、一様な放電ギャップが形成された場合のオゾン発生特性に比較して、ほとんどの場合で低下する。

本論で考慮する放電ギャップばらつきのモデルを以下に述べる。実際の装置においては、これらのばらつきが同時に存在しており、相互に影響を及ぼしている。そこで、性能低下に大きな影響を及ぼす因子を明確にし、その影響を定量的に評価した。

〈2・3・1〉 電極ごとの放電ギャップのばらつき 複数の放電電極を有する多管式オゾン発生器の放電ギャップばらつきのモデルを図5に示す。個々の放電電極は一様な放電ギャップが形成されているが、それぞれの放電電極の放電ギャップ長が異なる($d_1, d_2, \dots, d_n$)場合に相当する。この中で、最も短い放電ギャップ長を有する電極に形成された放電空

間の断面積を A_1 とし、他の電極の放電空間断面積を $A_2, A_3, \dots, A_i$ とする。オゾン発生器に供給される原料ガスの流量を Q_t とすると、各電極に流れる原料ガスの流量 Q_i は以下の式で表される(4)。

$$Q_i = \frac{A_i^3}{A_1^3} \cdot Q_t / \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_i^3}{A_1^3} \cdot N_i \right) \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここで、 N_i は i 番目の電極と同一の放電ギャップ長を有する放電電極の本数を表している。すなわち、添字 i は、ギャップ長の異なる電極の本数を表す。上式で与えられるガス流量と、各ギャップ長における放電電力特性から個々の電極に対する動作条件が決定される。この条件下におけるオゾン発生特性を先の解析で求め、それぞれのオゾン発生特性から多管式オゾン発生器の性能を推定する。

〈2・3・2〉 偏芯による放電ギャップばらつき 偏芯とは、図6に示すように接地電極管とこれに挿入される放電管の中心軸がずれて、放電ギャップ長に偏りが生じている状態を指す。

1本の電極で、放電空間の各領域での投入電力とガス流量が局所的に変化するために、基準となる放電ギャップ長が一様に形成された場合と比較して、オゾン発生特性が低下する。同図に示すように、接地電極管と放電管の中心軸が δ (偏芯量と呼ぶ) だけ鉛直下向きにずれた場合において、接地電極の水平軸を基準に、その上部を領域1、下部を領

図5 放電ギャップばらつきのモデル
Fig. 5. The model of discharge gap deviation.

図4 各ギャップ長におけるオゾン発生特性
Fig. 4. Ozone generation characteristics.

図6 偏芯による放電ギャップ長のばらつき
Fig. 6. Discharge gap dispersion by off-centered layout.

域 2 として、計算領域を二分する。それぞれの領域では、周上各点での放電ギャップ長が連続的に変化し、放電電力とガス流量が局所的に異なる。ここでは、計算の単純化のため、領域 1 の投入電力特性は最も長い放電ギャップ長 ($r_1 - r_2 + \delta$) で決定され、領域 2 については最も短い放電ギャップ長 ($r_1 - r_2 - \delta$) で決定されると仮定した。本仮定では、領域 1 と 2 への投入電力の配分が最も偏った状態となる。それぞれの領域に流れる原料ガスの流量は、(5)式で、ギャップ長の異なる電極が 2 本存在する場合に相当し、同式よりそれぞれの領域におけるガス流量を求めることができるので、これにより動作条件を決定し、オゾン発生特性を算出できる。なお、オゾン発生特性についても、領域 1 では最も長い放電ギャップ長 ($r_1 - r_2 + \delta$) で決定され、領域 2 では最も短い放電ギャップ長 ($r_1 - r_2 - \delta$) で決定されとした。

3. 解析結果

第 2 章で考慮した放電ギャップ長のばらつきによるオゾン発生特性の変化を解析した結果を以下に示す。

〈3・1〉 電極間のギャップ長ばらつきの影響 解析に用いた計算条件を表 1 に示す。放電電極の本数を 5 本として、それぞれが 0.3mm, 0.35mm, 0.4mm, 0.45mm および 0.5mm の放電ギャップ長を有するとして、平均放電ギャップ長が 0.4mm で、 ± 0.1 mm の偏差が存在する場合を想定した。

ここで電極 1 本あたりの放電面積を $S=0.295\text{m}^2$ として、5 本の電極全てが 0.4mm の一様な放電ギャップを形成してオゾナイザを考える。濃度 120g/Nm^3 、 150g/Nm^3 および 180g/Nm^3 のオゾンを生成する場合、図 4 より求められるオゾナイザの動作条件およびオゾン生成量は表 2 で与えられる。

これに対し、5 本の電極の放電ギャップ長が 0.3mm～0.5mm の範囲でばらついた場合の各電極における放電電力密度と(5)式より得られるガス流量および比電力の評価結果

表 1 計算条件

Table 1. Calculation condition.

Gap Width d	0.3mm～0.5mm
Gas Pressure P	0.17MPa
Water Temperature Tw	15℃
Power Density W/S	4.0kW/m ²
Frequency f	3000Hz

表 2 一様ギャップでの動作条件

Table 2. Operating condition at uniform discharge gap.

Ozone Conc. [g/Nm ³]	W/Q _N [W·min/Nl]	Q _N [Nl/min]	Ozone Yield [g/h]
120	44.9	26.6	956
150	65.9	18.1	814
180	101.0	11.8	637

を表 3 に示す。図 3 に示したとおり、ギャップ長が短いほど電力が投入されにくいことから、各電極に対する投入電力の偏りについては、ギャップ長 0.3mm で 3.5kW/m^2 、ギャップ長 0.5mm で 4.4kW/m^2 となって、およそ 1kW/m^2 の差が生じることがわかる。

表 3 に示した結果をもとに、上記のギャップ長ばらつきが存在する場合の各電極における電力密度を考慮したオゾン発生特性の解析結果を表 4～表 6 に示す。それぞれの表で (a)は各電極におけるオゾン発生特性、(b)は全体としての瀬

表 3 各電極の放電条件

Table 3. Discharge condition for each electrode.

Gap Width [mm]	Power Density [kW/m ²]	Gas Flow Rate [Nl/min]			Specific Energy [W·min/Nl]		
		120g/Nm ³	150g/Nm ³	180g/Nm ³	120g/Nm ³	150g/Nm ³	180g/Nm ³
0.30	3.5	10.2	7.0	4.5	101.6	148.3	229.1
0.35	3.8	16.3	11.2	7.2	68.8	100.4	155.1
0.40	4.0	24.1	16.5	10.7	48.9	71.3	110.2
0.45	4.2	34.4	23.6	15.2	36.0	52.6	81.3
0.50	4.4	47.4	32.5	21.0	27.4	39.9	61.7

表 4 電極ごとのオゾン発生特性と性能低下
(オゾン濃度：120g/Nm³)

Table 4. Ozone generation characteristics for each electrode (Ozone Conc.:120g/Nm³).

(a) 各電極の動作条件とオゾン発生特性

(a) The operating condition and ozone generation characteristics for each electrode.

Gap Width [mm]	Gas Flow Rate [Nl/min]	Specific Energy [W·min/Nl]	Ozone Conc. [g/Nm ³]	Ozone Yield [g/h]
0.30	10.2	101.6	196	120.0
0.35	16.3	68.8	160	156.5
0.40	24.1	48.9	129	186.5
0.45	34.4	36.0	103	212.6
0.50	47.4	27.4	83	236.1

(b) 性能の変化

(b) The change of performance

Average Ozone Conc. [g/Nm ³]	Total Ozone Yield [g/h]	Performance Decrease [%]
115	912	4.4

表 5 電極ごとのオゾン発生特性と性能低下
(オゾン濃度：150g/Nm³)

Table 5. Ozone generation characteristics for each electrode (Ozone Conc.:150g/Nm³).

(a) 各電極の動作条件とオゾン発生特性

(a) The operating condition and ozone generation characteristics for each electrode.

Gap Width [mm]	Gas Flow Rate [Nl/min]	Specific Energy [W·min/Nl]	Ozone Conc. [g/Nm ³]	Ozone Yield [g/h]
0.30	7.0	148.3	218	91.1
0.35	11.2	100.4	188	125.9
0.40	16.5	71.3	159	157.9
0.45	23.6	52.6	132	186.6
0.50	32.5	39.9	109	212.8

(b) 性能の変化

(b) The change of performance

Average Ozone Conc. [g/Nm ³]	Total Ozone Yield [g/h]	Performance Decrease [%]
142.2	774.2	5.2

表 6 電極ごとのオゾン発生特性と性能低下
(オゾン濃度: 180g/Nm³)

Table 6. Ozone generation characteristics for each electrode (Ozone Conc.: 180g/Nm³).

(a) 各電極の動作条件とオゾン発生特性

(a) The operating condition and ozone generation characteristics for each electrode.

Gap Width [mm]	Gas Flow Rate [NI/min]	Specific Energy [W·min/NI]	Ozone Conc. [g/Nm ³]	Ozone Yield [g/h]
0.30	4.5	229.1	229	61.9
0.35	7.2	155.1	208	90.2
0.40	10.7	110.2	186	119.5
0.45	15.2	81.3	162	148.1
0.50	21.0	61.7	140	176.7

(b) 性能の変化

(b) The change of performance

Average Ozone Conc. [g/Nm ³]	Total Ozone Yield [g/h]	Performance Decrease [%]
169.3	596.5	5.9

図 7 ギャップばらつきによる性能の低下

Fig. 7. Performance decrease by gap deviation.

オゾン発生特性を示す。

これらの結果から、検討した条件では 4~6% 程度のオゾン濃度の低下が見られると推測される。この解析においては、投入電力とガス流量に偏りが生じても、放電ギャップの狭い電極で比電力が増加するため、著しい濃度の低下には到らない。ギャップ長ばらつきによってオゾン濃度が低下した場合、原料ガス流量を減らして比電力を増加させることでオゾン濃度を増加させることができるが、オゾン発生量が減少する。この性能低下を回復させるために、原料ガス流量を一定にして、投入電力を増大する措置が採られる。ここでは、先の結果より得られたオゾン濃度の低下について、ギャップばらつきのない場合のオゾン濃度に回復させるに要する投入電力の増加率を求めた。計算結果を図 7 に示す。

図 7 より、放電電力(比電力)の増大によりオゾン濃度の回復を図るには、オゾン濃度 120g/Nm³ の場合で約 10%、150g/Nm³ の場合で約 20%、180g/Nm³ の場合で約 30% の電力増大が必要になる。すなわち、同じ濃度、発生量を確保する場合、一様ギャップに比較してそれぞれ同割合のオ

表 7 計算条件

Table 7. Calculation condition.

Gap Width d	0.4mm
Gas Pressure P	0.17MPa
Water Temperature Tw	15°C
Power Density W/S	4.0kW/m ²
Frequency f	3000Hz
Off-centered Length δ	0.05~0.3mm

図 8 オゾン発生に与える偏芯の影響

Fig. 8. Effect of off-centered discharge gap on ozone generation characteristics.

ゾン発生効率の悪化を招く。このように、高濃度域におけるギャップ長ばらつきの影響が極めて大きいことが理解される。

〈3・2〉 偏芯によるギャップ長ばらつきの影響

偏芯によるギャップ長ばらつきのオゾン発生特性に与える影響については、解析と実験の双方から検討した。解析に使用した条件を表 7 に示す。解析については、2 つの領域の代表ギャップ長を有する電極がそれぞれ 1 本ずつ存在すると仮定すれば、先に述べた電極間のギャップばらつきを有するモデルと全く同様の手法を用いることができる。

実験では、ガラス電極管の外周部の 3 箇所にステンレス製の薄板(幅 4mm×長さ 50mm)を貼り付けて、この板の厚みにより偏芯量 δ を変化させた。

表 7 に示した条件における実験および解析結果を図 8 に示す。偏芯量 δ=0 とした実験結果は、ガラス管の外周部に放電ギャップ長を一様化させるためのスペーサーを取り付けて測定した結果であり、解析結果との良い一致が見られる。故意に偏芯を生じさせた場合、オゾン濃度が高まるにつれて計算結果と実験結果に差が出てくるものの、オゾン濃度 150g/Nm³ まで両者には良い一致が見られており、本モデルによって偏芯のオゾン発生特性に与える影響を比較的高い精度で評価できることがわかる。高濃度域における計算と実験との差は、連続的に変化するギャップ長を考慮した二つの領域で、それぞれ最短および最長の放電ギャップで投入電力およびオゾン発生特性が決定されると仮定したこと起因すると考えられる。このように狭放電ギャップ長において、オゾン発生特性に与える偏芯の影響は、特

図9 偏芯によるオゾン発生効率の低下

Fig. 9. Efficiency decrease caused by off-centered layout.

に高オゾン濃度域で極めて大きいため、高濃度オゾン発生には偏芯量を抑えた電極系の構成が重要であることがわかる。

偏芯がある場合の各濃度におけるオゾン発生効率と、偏芯がない場合のオゾン発生効率との比を、図8に示した結果より算出した結果を図9に示す。偏芯量の増加にともなって、オゾン発生効率が大きく悪化しており、発生オゾン濃度が高いほど、効率の低下率が高まっていることがわかる。最高到達オゾン濃度については、図9に示すように、 $\delta=0.3\text{mm}$ では $\delta=0$ と比較し25%程度低下する。

以上の結果から、円筒多管式オゾン発生器の高濃度・高効率オゾン発生には、個々の放電管で形成される放電ギャップのばらつきを低減するとともに、接地電極と高圧電極の偏芯を抑えることが極めて重要である。

4. おわりに

円筒型オゾン発生器における放電ギャップ長ばらつきのモデル化から、投入電力と原料ガス流量の分布を考慮した解析により、種々のギャップ長ばらつきのオゾン発生特性に与える影響について定量的に評価した。また、偏芯による影響については、実験による検討も加えた。得られた結論は以下のとおりである。

(1) ギャップ長ばらつきが存在する場合には、一様なギャップが形成された場合に比べて、オゾン発生特性は必ず悪化する。

(2) ギャップ長ばらつきの影響は、高オゾン濃度域において顕著に現れる。放電ギャップ長 0.4mm では、オゾン発生器に運転条件によっては、 180g/Nm^3 以上のオゾン発生が不可能になる。

(3) 偏芯によるギャップ長ばらつきがオゾン発生特性に与える影響は極めて大きく、最高オゾン濃度およびオゾン発生効率が大幅に低下する。

(4) 高オゾン濃度域における性能の確保には、電極の保持方法が重要な因子となる。

(平成16年11月29日受付, 平成17年7月7日再受付)

文 献

- (1) M. Kuzumoto, Y. Tabata, K. Yoshizawa, and S. Yagi: "High Density Ozone Generation by Silent Discharge under Extremely Short Gap Length around $100\mu\text{m}$ ", *T. IEE Japan*, Vol.116-A, No.2, pp.121-127 (1996-2) (in Japanese)
葛本昌樹・田畑要一郎・吉沢憲治・八木重典:「 $100\mu\text{m}$ 級極短ギャップ下における無声放電による高濃度オゾン発生」, 電学論A, 116, 2, pp.121-127 (1996-2)
- (2) J. Kitayama and M. Kuzumoto: "Theoretical and Experimental study on ozone generation characteristics of oxygen-fed ozone generator", *J. Phys. D: Appl. Phys.*, Vol.30, pp.2453-2461 (1997)
- (3) J. Kitayama and M. Kuzumoto: "Analysis of ozone generation from air in silent discharge", *J. Phys. D: Appl. Phys.*, Vol.32, pp.3032-3040 (1999)
- (4) 電気学会オゾンナイズ専門委員会編: オゾンナイズハンドブック, コロナ社 (1960)

北 山 二 朗

(正員) 1969年3月1日生。1993年3月大阪大学基礎工学研究科修士課程修了。1993年4月三菱電機株式会社入社。生産技術研究所, 生産技術センターにてオゾンナイズをはじめとするプラズマ応用機器の研究開発に従事。工学博士。

葛 本 昌 樹

(正員) 1957年12月21日生。1980年3月名古屋工業大学工学部電気工学科卒業。同年三菱電機株式会社入社, 先端技術総合研究所にて, 主として放電を用いたガスレーザ, オゾンナイズ, 環境対策機器の開発に従事。工学博士。

吉 川 孝 雄

(非会員) 1941年7月31日生。1964年3月大阪大学卒業。1969年3月大阪大学大学院基礎工学研究科物理系専攻博士課程修了。宇宙用電気推進機の研究開発およびプラズマ・イオンによる材料加工に関する研究に従事。日本航空宇宙学会, 日本物理学会, 日本機械学会, 日本流体力学会, アメリカ航空宇宙学会会員。工学博士。