低圧無声放電式活性酸素発生機とその水処理への適用

正 員 田中 正明* 非会員 池田 彰**
 非会員 谷村 泰宏* 正 員 太田 幸治*
 正 員 吉安 一*

Active Oxygen Species Generator by Low Pressure Silent Discharge and its Application to Water Treatment

Masaaki Tanaka*, Member, Akira Ikeda**, Non-member, Yasuhiro Tanimura*, Non-member, Koji Ohta*, Member, Hajimu Yoshiyasu*, Member,

We have proposed the new water treatment using the active oxygen species such as an atomic oxygen with the oxidation power that is stronger than ozone. Based on the results of simulations we designed the silent discharge type active oxygen generator with a water ejector, which is operated on the discharge conditions of low pressure of 6.6kPa. and high temperature of about 200°C. The experimental results are as follows. (1) The yield of the active oxygen increases with the increase of the discharge tube temperature and the decrease of the gas pressure. (2) The life time of active oxygen is tens msec. (3) The active oxygen oxidizes efficiently the formic acid compared with ozone. It is assumed from these results that the active oxygen species having a strong oxidation power is generated.

キーワード：活性酸素，酸素原子，無声放電，オゾン，オゾナイザ，エゼクター，酸化，水処理

Keywords: active oxygen, atomic oxygen, silent discharge, ozone, ozonizer, ejector, oxidation, water treatment

1. まえがき

オゾンは強力な酸化剤として水処理，脱臭，脱色，化学合成などに古くから使われているが，最近ではオゾンの持つ特質から塩素に代わる酸化剤として健康や地球環境保護の観点からも注目され，その需要が急速に伸びている。著者らの研究所では大容量オゾナイザの開発に従事してきたが⁽¹⁾⁽²⁾，次のステップとしてオゾンよりも反応性に富む活性酸素を効率よく発生させるための新しいコンセプトを提案している⁽³⁾。ここで言う活性酸素とは酸素原子または準安定状態に励起された酸素分子であり反応性に富む酸素を示す⁽⁴⁾。放電により酸素原子などの活性酸素が発生することは良く知られている⁽⁵⁾。しかし活性酸素は一般にオゾンより寿命が短いので，水などの被反応物の近傍で発生させる必要があ

り，これまでに水中気泡内放電⁽⁶⁾⁽⁷⁾や水中へのガス注入ノズルにマイクロカソード放電部を組み込んだ装置⁽⁸⁾が報告されている。著者らは活性酸素をより効率的に発生させ，かつ発生した活性酸素を有効に水処理に利用するという観点から，発生させた活性酸素を直ちに水に溶解させることを可能にするエゼクター一体型放電管を新たに考案した。

本論文では，まず放電場における酸素の反応として酸素原子に注目し，その生成と消滅過程を反応式を用いてシミュレーションした。次に，これらの検討結果に基づいて水処理用としてのエゼクター一体型放電管を試作し，活性酸素の発生特性を調べた。また，難分解性物質として反応が単純なギ酸を用い，ギ酸に対する活性酸素とオゾンの反応性を比較検討した。

2. 活性酸素発生方式の提案

寿命の短い活性酸素は発生場所で直ちに水と反応させなければならないが，現地生産方式のオゾンと基本的に同じ範疇であり，実現化に違和感がない。オゾナイザでの放電空間では酸素原子や励起酸素などの活性酸素が発生するが，ここでは酸素原子に注目する。オゾナイザのオゾン生成は，

* 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 Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Corporation

8-1-1 Tsukaguchi-Honmachi, Amagasaki 661-8661
** 国立米子工業高等専門学校 物質工学科
〒683-8502 米子市彦名町 4448
Yonago National College of Technology
4448, Hikona-cho, Yonago 683-8502

の反応により、原理的にオゾンは一息酸素原子を経て生成される。ここで、(1)式で生成された酸素原子はオゾンより反応性に富むため酸素原子を直接水と反応させるのが合理的であると考えられる。(1)、(2)式の反応は通常のオゾンナイザの動作条件では μsec のオーダーで完了するが、(2)式は3体衝突反応であり、かつ温度に対して負の傾きをもつ反応速度定数のために低圧力、高温でこの反応は著しく遅くなる。すなわち、オゾンナイザにおけるオゾン発生に適正条件とは逆に”低圧・高温”の条件で放電させると酸素原子の利用が可能となると考えられる。また、発生させた活性酸素を水エレクトロで直ちに水と接触させることでその利用効率を高められると考えられる。

3. シミュレーションによる活性酸素発生の検討

放電による活性酸素発生のシミュレーションはオゾンナイザのような大気圧以上や半導体分野の酸素アッシャーのような0.1kPa以下の低圧力で検討されている。しかし、今回提案している様に水処理に活性酸素を適用させる場合、水の蒸気圧を考慮する必要がある、これまで検討されていない数kPaの圧力で、かつ数百℃の高温の条件での活性酸素発生の特性を知ることが必要である。ここでは酸素を原料ガスとして、放電空間での活性酸素の発生および非放電空間での活性酸素の消滅に関するシミュレーションを行った。

〈3・1〉 放電空間での活性酸素の生成 シミュレーションに用いた反応式を表1に示す⁹⁾。Mは放電空間の酸素など第3物体を表す。ここでは特性の概略傾向を知ることが目的としており、主要と思われる基本的な幾つかの反応式を用いて活性酸素の定常濃度について計算した。この結果の一例を図1に示す。シミュレーションの結果によれば、活性酸素種として $\text{O}({}^3\text{P})$ 、 $\text{O}({}^1\text{D})$ 、 $\text{O}_2({}^1\Sigma\text{g})$ 、 $\text{O}_2({}^1\Delta\text{g})$ などが得られるが酸素原子 $\text{O}({}^3\text{P})$ が最も高い濃度になり、以下この $\text{O}({}^3\text{P})$ を活性酸素として注目して検討する。図2は、酸素原子 $\text{O}({}^3\text{P})$ について定常値濃度(最大値) C_0 の圧力依存性を温度Tをパラメータとして示したものである。圧力Pが上昇すると

C_0 が低下し、温度Tが高くなると濃度 C_0 は大きく上昇している。この温度に関する知見は重要な意味を持ち、活性酸素発生機はその放電管の冷却構造においてオゾンナイザとは根本的な違いをもたらすものである。すなわち、オゾンナイザでは放電場が低温、高圧力になるほどオゾンは効率よく発生するが¹⁾、活性酸素を効率よく発生させるには、これとは逆に放電場を高温、低圧にすれば良いことが分かる。

〈3・2〉 非放電場での活性酸素の寿命 生成された活性酸素が放電空間から出た後の消滅について検討する。先に示した生成の計算において活性酸素が定常値になった後、電子に関する反応を除外して計算した結果の一例を図3

図1 放電場での活性酸素種の生成
Fig. 1. Generation of active oxygen in discharge area.

図2 ガス圧力と温度が酸素原子濃度に与える影響
Fig. 2. Influence of gas pressure and temperature on concentration of atomic oxygen.

表1 反応式

Table 1. Reaction formula.

Reaction formula	Reaction rate [cm, sec, K]
R1 $\text{O}_2 + e \rightarrow \text{O}({}^1\text{D}) + \text{O}({}^3\text{P}) + e$	$k_1 = 4.21 \times 10^{-9}$
R2 $\text{O}_2 + e \rightarrow \text{O}({}^3\text{P}) + \text{O}({}^3\text{P}) + e$	$k_2 = 1.55 \times 10^{-9}$
R3 $\text{O}_2 + e \rightarrow \text{O}_2({}^1\Delta\text{g}) + \text{O}({}^1\text{D}) + e$	$k_3 = 8.42 \times 10^{-8}$
R4 $\text{O}_2 + e \rightarrow \text{O}_2({}^1\Delta\text{g}) + e$	$k_4 = 8.86 \times 10^{-10}$
R5 $\text{O}_2 + e \rightarrow \text{O}_2({}^1\Sigma\text{g}) + e$	$k_5 = 2.08 \times 10^{-10}$
R6 $\text{O}({}^1\text{D}) + \text{O}_2 \rightarrow \text{O}_2({}^1\Sigma\text{g}) + \text{O}({}^3\text{P})$	$k_6 = 3.20 \times 10^{-11} \exp[67/T]$
R7 $\text{O}({}^1\text{D}) + \text{O}_2 \rightarrow \text{O}({}^3\text{P}) + \text{O}({}^3\text{P}) + \text{O}_2$	$k_7 = 2.40 \times 10^{-10}$
R8 $\text{O}({}^1\text{D}) + \text{O}_2 \rightarrow \text{O}_2 + \text{O}_2$	$k_8 = 2.65 \times 10^{-10}$
R9 $\text{O}({}^3\text{P}) + \text{O}_2 \rightarrow \text{O}_2 + \text{O}_2$	$k_9 = 1.90 \times 10^{-11} \exp[-2300/T]$
R10 $\text{O}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{O}({}^3\text{P}) + \text{O}_3$	$k_{10} = 2.12 \times 10^{-11} \exp[50629/T]$
R11 $\text{O}_2 + \text{M} \rightarrow \text{O}({}^3\text{P}) + \text{O}({}^3\text{P}) + \text{M}$	$k_{11} = 4.57 \times 10^{-15} \times T^{-1} \exp[-59740/T]$
R12 $\text{O}({}^3\text{P}) + \text{O}_2 + \text{M} \rightarrow \text{O}_3 + \text{M}$	$k_{12} = 2.50 \times 10^{-35} \exp[970/T]$
R13 $\text{O}({}^3\text{P}) + \text{O}({}^3\text{P}) + \text{M} \rightarrow \text{O}_2 + \text{M}$	$k_{13} = 2.20 \times 10^{-28} \times T^{-1.5}$
R14 $\text{O}_2({}^1\Delta\text{g}) + \text{M} \rightarrow \text{O}_2 + \text{M}$	$k_{14} = 2.29 \times 10^{-20} \times T^{0.8}$
R15 $\text{O}_2({}^1\Sigma\text{g}) + \text{M} \rightarrow \text{O}_2 + \text{M}$	$k_{15} = 4.50 \times 10^{-16}$

図3 非放電場での活性酸素の消滅
Fig. 3. decomposition of active oxygen in non-discharge area.

図 4 酸素原子の消滅時間

Fig. 4. Life time of atomic oxygen.

に示す。活性酸素濃度は時間とともに減衰しているのがわかる。ここで濃度が $1/e$ になるまでの時間を活性酸素の寿命 τ と定義する。図 4 は、酸素原子について τ とガス温度の関係求めたものである。例えば $P=6.65\text{kPa}$ 、 $T=600\text{K}$ では、酸素原子の寿命 τ は約 20msec であると推算される。

従って、生成された酸素原子を効率良く利用するためには発生した酸素原子を 20msec 以下で水などの被反応物質と接触させる必要があることが分かった。

4. 活性酸素発生機の構造

シミュレーション結果の知見に基づいて図 5(a)に示す水エゼクターと放電管を一体化した活性酸素発生機を考案した。同図(b)には水循環実験系を示す。水エゼクターと放電管を一体化することにより発生した短寿命の活性酸素を直ちに水に接触させる構造となっている。エゼクターのノズルの材質はステンレス鋼 (SUS304) で内径は $\phi 6\text{mm}$ 、スロート部分はセラミック製で内径は $\phi 8.5\text{mm}$ である。原料ガスは市販の酸素ボンベから供給した。図 6 は試作した実験装置の外観写真である。

水エゼクターのノズル部を接地金属電極にして、その同軸上に耐熱性の高い石英ガラス管 (外径 40mm 、厚み 2mm) を設置しており、この間の空間で低圧の無声放電を行わせる。ガラス管の外周には金属給電電極が密着している。放電ギャップ長 d は 15mm である。ここで放電場の平均温度 T と放電ギャップ長 d との間には $T \propto d$ の関係があり^(2,10)、オゾナイザでは放電場の温度を下げるため放電ギャップを 1mm 程度に短くして放電による温度上昇分を 50°C 程度以下に抑えている。これに対し、この活性酸素発生機ではオゾナイザとは逆に放電場の温度を高めるために放電ギャップ長をオゾナイザより一桁大きくした構造にしている。また、ギャップ長は 15mm と大きい放電部の圧力は数 kPa と低いため、 Pd 積はオゾナイザとほぼ等しく印加電圧も同等でありオゾナイザと同様の電源を用いることができる。ガス圧力 P は図 5(a)で示す位置に圧力計を設置して放電管内圧を計測している。放電実験では電源は 25kHz のインバータを用い、放電電力は電圧 V 、電荷 Q の VQ リサージュ図形から求めた。放電管のガラス表面温度は電氣的にフローティングさせた熱電対により測定した。

図 7 は、試作した装置のエゼクターによる放電空間の到達圧力を示したものである。例えば、水ポンプ圧力が 0.55MPa 、

図 5 実験装置

Fig. 5. Experimental setup.

図 6 実験装置の外観写真

Fig. 6. Photograph of Experimental setup.

図 7 エゼクターの性能

Fig. 7. Performance of ejector.

水量 50 L/min (Lは容積:リットル) のときに原料酸素流量 1.2 L/min (大気圧換算流量) のもとでは、放電空間圧力 $P=6.65\text{kPa}$ が得られた。以後、実験はこの条件で行った。

以上、エゼクターと放電管を一体化した構造の考案により、放電場の低圧力化、高温化と、発生した活性酸素を直

ちに処理水と混合させることが出来る装置を実現した。

5. 活性酸素の発生特性

〈5・1〉 測定方法 放電により生成した活性酸素の発生量はオゾンの測定と同様に酸化物測定における JIS 法に基づいた KI (ヨウ化カリウム) 法を用いた。反応は以下のように、オゾンの場合と同様と考えられる。

実験は、図 5(b)の循環水として 0.5%の KI 水溶液を用い、放電を行わせながら KI 水溶液を循環させ、発生した活性酸素と KI を反応させた。そして一定時間毎に、循環水の一部分(一定量)をサンプリングして 1/100 規定 (mol/L) のチオ硫酸ナトリウムで滴定を行った。

発生している活性酸素種の同定はしていないので、以下、この適定量Mを活性酸素発生量に対応する値として示す。実験は放電させながら水を循環しているのでMは単位時間あたりの発生量として表わされる。

このようにして測定した活性酸素の発生の実験結果を、オゾナイザのオゾン発生特性と比較しつつ次に示す。

〈5・2〉 放電入力の影響 図 8 は放電電力Wと活性酸素発生量Mの関係である。図中に放電管のガラス表面温度の測定結果を記入した。放電入力の増加に伴ってガラス温度も同時に上昇しているがMも直線的に増加している。ここでMはオゾンの場合には温度が高くなるとWの増加に対して飽和の傾向を示すが図 8 の結果はこれとは異なる。また、水タンクの溶液として純水を用いて循環させ放電を行わせた場合、エゼクターからの水出口において、オゾン臭は感知できず、オゾン検知管(楢ガステック、型名 18L)でも検出下限以下(0.05ppm 以下)であった。このことからオゾン以外の活性酸素が発生していると考えられる。

図 8 放電電力の影響

Fig. 8. Influence of discharge power.

〈5・3〉 ガス圧力の影響 図 9 に放電場のガス圧力と活性酸素発生量Mの関係を示す。ガス圧力が高くなるに従い放電電力が高くなっているにも関わらず活性酸素の発生量は減少している。これはオゾナイザのオゾン発生特性⁽¹⁾とは全く逆の傾向を示している。よって測定された活性酸素はオゾン以外のガスを含んでいると考えられる。

〈5・4〉 温度の影響 図 10 は放電管ガラス表面温度と活性酸素Mの発生の関係を示したものである。放電電力は10Wおよび23Wとして放電管をガラスウールの断熱材で覆うことで温度を変化させた。図より10Wの場合、23Wの場合ともに同一放電電力でも温度が高いほどMは増加しており、オゾナイザのオゾン発生特性⁽¹⁾とは全く逆の傾向が認められることからオゾン以外の活性酸素が発生していると考えられる。

〈5・5〉 活性酸素の寿命 活性酸素の寿命を調べるために、酸素の放電空間出口とエゼクターのスロット入口の間に存在する非放電部にセラミックのブロックを空間充填スパーサとして挿入して、非放電場の体積を変える事で活性酸素がエゼクターのノズル先端に達するまでの非放電場の滞在時間を変化させた。その結果を図 11 に示すが、非放電場滞在時間が長くなると活性酸素発生量は減少し、その半減期は 20msec 程度である。この結果からオゾンとは異

図 9 ガス圧力の影響

Fig. 9. Influence of gas pressure.

図 10 温度の影響

Fig. 10. Influence of glass temperature.

図 11 非放電場滞在時間の影響

Fig. 11. Influence of residence time in non-discharge space.

なる短寿命の活性酸素が発生していることが認められる。

以上の実験からオゾナイザのオゾン発生特性とは全く異なる特性の結果が得られており、発生しているガスはオゾンとは異なる寿命の短い酸化性の活性酸素種であると考えられる。実験で得られた特性からは発生しているガス種は酸素原子の挙動に似ているが活性酸素種の同定は今後の研究課題として残される。

6. 活性酸素の反応性の検討

〈6・1〉 実験方法 活性酸素の反応性をオゾンと比較する実験を行った。対象物質は、難分解性物質の一つであり、副生成物が少なく反応が単純であるギ酸を用いた。オゾンとギ酸の反応実験では、別途、オゾナイザで発生させたオゾンを今回試作した放電管（放電は停止）に流入させ、水エゼクターによるオゾンの水への混合条件を活性酸素の場合と全く同条件とした。実験は先ず KI 水溶液をタンクに満たして、上記の系でオゾンを活性酸素発生の場合の酸素流量と同じ 1.2 L/min（大気圧換算流量）で流入させた。そして一定時間毎にサンプリングして活性酸素の場合と同様にチオ硫酸ナトリウム滴定により注入オゾン量の時間的な変化量を測定した。次にギ酸を含む水溶液に変え、オゾン注入を行い、ギ酸の濃度の時間的な変化を計測した。

反応によるギ酸の減少量は、オゾンおよび活性酸素のいずれの場合も同様に、水溶液のギ酸濃度を有機物濃度計（堀島津製作所 TOC 計、型名 TOC-1100）で測定したのち、このギ酸濃度に水溶液量を乗じて求めた。

〈6・2〉 実験結果 図 12 は、上記の方法によりギ酸とオゾンおよび活性酸素との反応量（モル数）を測定したのち、これら活性酸素の供給量とギ酸の反応量の関係に整理したものである。なお、ギ酸を含む水溶液は 25L（リッター）で、ギ酸の初期濃度は 55mg/L であった。

活性酸素（最終的に O として反応）およびオゾンとギ酸の反応は(5),(6)式で表され、活性酸素およびオゾンとギ酸は

図 12 ギ酸に対するオゾンと活性酸素の反応性の比較

Fig. 12. Reactivity comparison of ozone and active oxygen to formic acid.

理論的には 1 対 1 の等モル反応と考えられる。

酸化性活性ガス

オゾン

図 12 に示したように、ギ酸 1 モルの分解に必要な活性酸素及びオゾンのモル数は、図 12 のグラフの傾きから求められる。実験値を最小 2 乗法で整理して、その傾きを求めると

$$[\text{活性酸素}]/[\text{ギ酸}] = 1.08 \text{ (mol/mol)} \quad (7)$$

$$[\text{オゾン}]/[\text{ギ酸}] = 1.47 \text{ (mol/mol)} \quad (8)$$

である。即ちオゾンおよび活性酸素のギ酸 1 モルの分解に必要なモル数はそれぞれ 1.47 および 1.08 となり、ギ酸の分解に対する活性酸素の必要モル数はオゾンより 27% 少なく済む結果が得られている。

以上のように、水エゼクターを用いて同様な混合条件において、オゾンおよび活性酸素とギ酸の反応を比較した結果、本実験で発生する活性酸素はオゾンよりも酸化反応性に富んだものと推察される。しかし、活性酸素及びオゾンとギ酸との反応性については、(5)式及び(6)式以外の副反応や水との反応分解なども考えられ、さらに詳細な検討が課題として残される。また今回、反応が単純であるギ酸の反応性について調べたが、さらに他の難分解性物質の分解性や活性酸素の有効な利用といった観点から種々の反応についての検討も今後の課題である。

7. まとめ

研究結果をまとめると次のようである。

(1) シミュレーションの結果、オゾン発生特性とは異なる活性酸素発生特性が得られ、低圧・高温の放電条件ほど

発生量が増加するという知見を得た。

(2) シミュレーション結果に基いて低圧力、高温で動作し、発生した活性酸素を直ちに水と混合できるエゼクター一体型の活性酸素発生機を試作した。

(3) 試作装置ではオゾン発生は認められず、オゾン発生特性とは全く異なる活性酸素発生特性が得られ、低圧・高温の放電条件ほど発生量は増加し、半減期が20msec程度の短寿命の活性酸素の発生を実験的に確認した。

(4) ギ酸(難分解性物質)に対する活性酸素とオゾンの比較反応実験を行った結果、ギ酸1モルの分解に必要な活性酸素の必要モル数はオゾンより27%少なくて済む結果が得られた。この結果から本実験で発生する活性酸素はオゾンより反応性に富んだものと推察された。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり元三菱電機㈱の田畑則一博士、中山繁樹博士には、コンセプトメイキングの段階から実験結果の議論まで、多くの有益な助言を頂きました事をここに感謝します。

(平成17年2月21日受付, 平成17年5月25日再受付)

文 献

- (1) N. Tabata and M. Tanaka: "Characteristics of ozonizers", *Proc. Inst. Electrostat. Japan*, Vol.7, No.3, pp.150-158 (1983) (in Japanese)
田畑則一・田中正明:「オゾンナイザの諸特性」, 静電学誌, 7, No.3, pp.150-158 (1983)
- (2) K. Ohta, N. Wada, and M. Kuzumoto: "Characteristics of Ozone Generation by Both Electrodes Cooling Ozone Generator", *TIEE Japan*, Vol.120-A, No.6, pp.695-700 (2000-6) (in Japanese)
大田幸治・和田 昇・葛本昌樹:「極短ギャップ両面冷却オゾン発生器によるオゾン発生特性」, 電学論 A, 120, 6, pp.695-700 (2000-6)
- (3) N.Tabata: "Consideration about Ozone Generation Method Using Electrical Discharge", *TIEE Japan*, Vol.117-A, No.12, pp.1200-1206 (1997-12) (in Japanese)
田畑則一:「放電によるオゾン発生法に関する考察」, 電学論 A, 117, 12, pp.1200-1206 (1997-12)
- (4) 化学大辞典編集委員会編: 化学大辞典・12 第2巻, p.436, 共立出版 (1963)
- (5) B. Eliasson, M. Hirth, and U. Kogelschatz: "Ozone synthesis from oxygen in dielectric barrier discharge", *J. Phys. D: Appl. Phys.*, Vol.20, pp.1421-1437 (1987)
- (6) T. Miichi, N. Hayashi, S. Ihara, S. Satoh, and C. Yamabe: "Ozone generation by Discharge inside Bubbles in Water", *TIEE Japan*, Vol.121-A, No.5, pp.448-452 (2001-5) (in Japanese)
見市知昭・林 信哉・猪原 哲・佐藤三郎・山部長兵衛:「水中気泡内放電によるオゾン生成」, 電学論 A, 121, No.5, pp.448-452 (2001-5)
- (7) T. Miichi, S. Ihara, M. Ishimine, S. Satoh, and C. Yamabe: "Generation of OH Radical by Discharge inside Bubble in Water", The Paper of Technical Meeting on Electrical Discharge, IEE Japan, ED-99-168, pp.27-30 (1999) (in Japanese)
見市知昭・猪原 哲・山峯真志・佐藤三郎・山部長兵衛:「水中気泡内放電による OH ラジカルの生成」, 電気学会放電研資, ED-99-168, pp.27-30 (1999)
- (8) A. Yamatake, K. Yasuoka, and S. Ishii: "Direct Water-treatment by DC Driven Micro-hollow Cathode Discharge", *IEEE Trans. FM*, Vol.124, No.11, pp.1021-1026 (2004-11) (in Japanese)
山竹 厚・安岡康一・石井彰三:「直流駆動マイクロホローカソード放電による水の直接処理」, 電気論 A, 124, 11, pp.1021-1026 (2004-11)

- (9) 電気学会技術報告書, II 部, No.127, pp.19-46 (1982)
- (10) J.Suehiro, M. Takahashi, Y. Nishi, W. Ding, K. Imasaka, and M. Hara: "Improvement of the Ozone Generation Efficiency by Silent Discharge at Cryogenic Temperature", *IEEE Trans. FM*, Vol.124, No.9, pp.791-796 (2004-9) (in Japanese)
末廣純也・高橋賢裕・西 祐也・丁 衛東・今坂公宣部・原 正則:「無声放電式オゾンナイザの極低温冷却による高効率化」, 電学論 A, 124, 9, pp.791-796 (2004-9)

田 中 正 明

(正員) 1948年8月25日生。1974年3月同志社大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了。1974年4月三菱電機㈱入社。以来、中央研究所、応用機器研究所、生産技術研究所、先端技術総合研究所で大容量オゾンナイザとシステム、イオンビーム薄膜形成装置、各種大出力レーザー、プラズマディスプレイ、など主として放電応用の研究開発および研究企画・管理に従事。工学博士(名古屋大学)。放電学会、レーザー学会会員。

池 田 彰

(非会員) 1948年11月3日生。1974年3月神戸大学大学院工学研究科化学工学専攻修士課程終了。1974年4月三菱電機㈱入社。2004年4月国立米子工業高等専門学校 物質工学科教授。現在、環境システムや人工光による植物生産システムに関する研究に従事。農学博士(大阪府立大学)。化学工学会、生物環境調節学会、植物工場学会等の会員。

谷 村 泰 宏

(非会員) 1964年11月9日生。1988年3月京都大学農学部卒。1989年11月、三菱電機㈱)に入社、先端技術総合研究所にて、放電生成物の利用した環境浄化機器の研究開発に従事。農学博士(京都大学)。防菌防黴学会、農業機械学会会員。

太 田 幸 治

(正員) 1967年11月17日生。1991年3月神戸大学卒業。1993年同大学修士課程修了。同年三菱電機㈱)入社、先端技術総合研究所にて、主としてオゾン発生器、有害ガス分解装置の開発に従事。

吉 安 一

(正員) 1948年1月22日生。1972年3月東京大学大学院電子工学科修士課程修了。1974年三菱電機㈱)入社。高圧アーク遮断機、半導体レーザー・光デバイス、高電圧絶縁材料、リチウムイオンポリマー二次電池、瞬低補償装置、固体高分子型燃料電池の開発に従事。現在、先端技術総合研究所技師長。工学博士(東京大学)。