

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：16101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420257

研究課題名(和文) 誘電体バリア放電型オゾナイザ内部のオゾンと窒素酸化物の生成過程解明に関する研究

研究課題名(英文) Investigation into the Generation Process of Ozone and Nitrogen Oxide in Dielectric Barrier Discharge Ozone Generator

研究代表者

寺西 研二 (Teranishi, Kenji)

徳島大学・ソシオテクノサイエンス研究部・准教授

研究者番号：80435403

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：産業用オゾナイザで問題となっているオゾンゼロ現象の機構解明と空気原料オゾナイザの生成効率改善を目標として、プラズマ中に照射したレーザー光の光透過率からオゾナイザ内部で生成されるオゾンと窒素酸化物の生成過程について調査した。空気原料オゾナイザを高いエネルギー密度領域で駆動すると、排出ガスのオゾン濃度がゼロになるDischarge poisoning (DP) が観測された。フーリエ変換赤外分光光度計による空気原料オゾナイザからの排出ガスの分析結果やレーザーをプラズマ中に照射して得られた光透過率特性から、DP状態にある場合とない場合のプラズマ中におけるオゾンと窒素酸化物等の生成過程について考察した。

研究成果の概要(英文)：In order to clarify the mechanism of ozone zero phenomenon and to improve the ozone generation efficiency of air-fed ozone generation, the generation process of ozone and nitrogen oxide in a dielectric barrier discharge (DBD) ozonizer is investigated by observing the transmittance of the laser beam propagating through the DBD plasma. Discharge poisoning (DP) regime, in which no ozone is obtained from the air-fed ozonizer, is observed when the ozonizer is operated under a high energy density condition. Generation processes of ozone and nitrogen oxide in the air-fed ozonizer with and without the DP regime are discussed by the results of the exhaust-gas analysis by the Fourier transform infrared (FT-IR) spectrophotometer and the laser absorption experiment in the DBD plasma.

研究分野：工学

キーワード：オゾン 窒素酸化物 オゾン発生器 誘電体バリア放電 レーザー光吸収法

### 1. 研究開始当初の背景

現在、産業分野で利用されるオゾン<sup>1</sup>は、誘電体バリア放電型オゾナイザにより生成されている。オゾンは酸素分子を含む放電プラズマ中において、解離した酸素原子が他の酸素分子と結合することで生成される。このためオゾナイザの原料ガスには、空気や酸素が用いられ、例えば、不純物を嫌う半導体プロセス等では高純度酸素ガスが、浄水場などの水処理設備では調達が簡便な空気原料が使用されている。しかし、放電プラズマ中でのオゾンの反応機構は複雑であり、現在、産業用オゾナイザにおいて、オゾン生成を阻害する2つの問題が存在する。

その1つは「オゾンゼロ現象」と呼ばれ、これは高純度酸素を原料としてオゾナイザを長時間連続運転した際に、生成オゾン濃度が徐々に減少しながら最終的には発生器からオゾンが生成されなくなる異常現象である。1994年に初めて報告<sup>(1)</sup>されたが、その詳細な発生機構は明らかになっていない。伊藤らは放電極のXPS解析を行った結果、プラズマ中の酸素原子が電極内部に浸食し、電極表面の状態変化がオゾンゼロ現象の発生に関与していると述べている<sup>(2)</sup>。また、オゾンゼロ状態からの回復には窒素酸化物の添加が有効であることも実証している<sup>(3)</sup>。このオゾンゼロ現象の発生機構解明には、オゾンゼロ状態にあるオゾナイザ中で生成されたオゾンが、プラズマ中のどこで消滅するのか、微量に添加した窒素酸化物が、どのような反応を起こしてオゾンゼロ現象を解消するのかを明らかにする必要があると考えた。

2つ目は、空気を原料としたオゾナイザを大電力で駆動すると、オゾナイザからオゾンが生成されなくなる現象である。これは「Discharge poisoning」(DP)と呼ばれ、オゾンゼロ現象とは異なる原理である。大電力で駆動した空気原料オゾナイザでは、空気中の窒素がプラズマ中で酸化され、窒素酸化物が過剰に発生し、これがオゾンを分解すると言われている。本現象の発生機構については、Kogelschatzら<sup>(4)</sup>や三菱電機の田中ら<sup>(5)</sup>により、NOとNO<sub>2</sub>がオゾナイザ内部で触媒的に作用しながらオゾンを消費する反応機構が提唱されている。この現象を正確に把握し、制御することができれば、空気原料型オゾナイザのオゾン生成効率改善を図ることが可能と考えられ、このためには、オゾナイザ内部の窒素酸化物とオゾンの生成や分解過程を明らかにすることが重要であると考えた。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、オゾンゼロ現象とDischarge poisoningの発生に大きく関与しているといわれているオゾンと窒素酸化物の数密度をin-situ測定することである。本研究では、可視光領域に光吸収帯を有するオゾン(O<sub>3</sub>)と2種類の窒素酸化物NO<sub>2</sub>、NO<sub>3</sub>の合計3種類の粒子に着目し、これらの分子

がプラズマ中においてどのように形成されるかを調査する。具体的には、3つの異なる波長のレーザー光をDBDプラズマ中に照射し、測定した光透過率と、3つの波長におけるO<sub>3</sub>とNO<sub>2</sub>、NO<sub>3</sub>の吸収断面積を用いて立てた3つのランバート・ベールの式を連立して解くことで、これらの3種類の分子数密度を決定する。このような測定を、オゾナイザ内部のガス流方向の各位置において行うことで、オゾナイザ内部のオゾンと窒素酸化物の生成・分解過程を明らかにする。これにより、オゾンゼロ現象の発生機構解明や空気原料オゾナイザの生成効率向上を目指すことが研究開始当初の目標であった。

### 3. 研究の方法

#### (1) オゾンと窒素酸化物の分子数密度決定法

図1にオゾンと窒素酸化物の光吸収断面積<sup>(6)・(9)</sup>を示す。同図より、可視光領域において、オゾンは600nm付近に光吸収断面積のピークを示すことがわかる。従って、このピーク波長に近い594nmのレーザー光を、酸素を原料として生成したプラズマ中に照射することで、オゾナイザ内部のオゾン密度を計測できる。一方、空気原料オゾナイザでは、オゾンに加え窒素酸化物が生成される。図1より可視光領域では、NO<sub>2</sub>やNO<sub>3</sub>による光吸収断面積が大きいことがわかる。従って、本研究では窒素酸化物の中でもNO<sub>2</sub>とNO<sub>3</sub>の分子数密度を計測するために、473nmと660nmのレーザーを用意し、3波長のレーザーを併用して求めた光透過率から、オゾン(O<sub>3</sub>)とNO<sub>2</sub>、NO<sub>3</sub>の分子数密度を計測する。

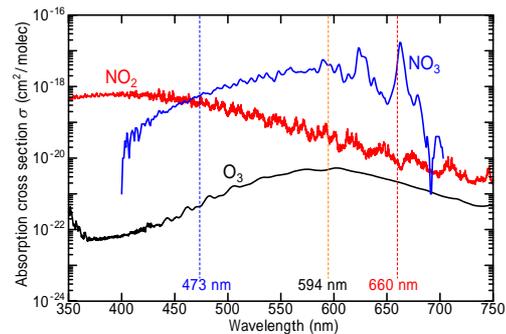


図1 オゾンと窒素酸化物の光吸収断面積<sup>(6)・(9)</sup>

O<sub>3</sub>やNO<sub>2</sub>、NO<sub>3</sub>が存在する放電空間に、波長λ、光強度I<sub>0</sub>のレーザーを照射し、その透過光をIとすると、光透過率I/I<sub>0</sub>はランバート・ベールの法則より次式で表される。

$$\frac{I_{\lambda}}{I_{\lambda,0}} = \exp[-\sigma_{O_3}(\lambda)n_{O_3}d] \times \exp[-\sigma_{NO_2}(\lambda)n_{NO_2}d] \times \exp[-\sigma_{NO_3}(\lambda)n_{NO_3}d] \quad \dots(1)$$

ここでn<sub>O3</sub>、n<sub>NO2</sub>、n<sub>NO3</sub>はそれぞれO<sub>3</sub>、NO<sub>2</sub>、NO<sub>3</sub>の分子数密度であり、σ<sub>O3</sub>(λ)、σ<sub>NO2</sub>(λ)、σ<sub>NO3</sub>(λ)は、O<sub>3</sub>、NO<sub>2</sub>、NO<sub>3</sub>の波長λにおける光吸収断面積である。dは光路長である。本研究では、473、594、660nmのレーザー光をDBD中に照射し、その光透過率を調査す

ることから、これらの波長をそれぞれ  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$  とすると(1)式より

$$\sigma_{O_3}(\lambda_1)n_{O_3} + \sigma_{NO_2}(\lambda_1)n_{NO_2} + \sigma_{NO_3}(\lambda_1)n_{NO_3} = \frac{1}{d} \ln[I_{\lambda_{1,0}}/I_{\lambda_1}]$$

$$\sigma_{O_3}(\lambda_2)n_{O_3} + \sigma_{NO_2}(\lambda_2)n_{NO_2} + \sigma_{NO_3}(\lambda_2)n_{NO_3} = \frac{1}{d} \ln[I_{\lambda_{2,0}}/I_{\lambda_2}]$$

$$\sigma_{O_3}(\lambda_3)n_{O_3} + \sigma_{NO_2}(\lambda_3)n_{NO_2} + \sigma_{NO_3}(\lambda_3)n_{NO_3} = \frac{1}{d} \ln[I_{\lambda_{3,0}}/I_{\lambda_3}]$$

...(2)

の連立方程式が成立する。ここで、左辺の3種類の分子の光吸収断面積は、図1に示すように既知であることから、右辺の3つの波長のレーザを用いて光透過率を測定すれば、 $O_3$ ,  $NO_2$ ,  $NO_3$ の分子数密度  $n_{O_3}$ ,  $n_{NO_2}$ ,  $n_{NO_3}$  を決定することができる考えた。

しかし現時点において、上述した3波長のレーザを併用したオゾンと窒素酸化物の同時測定の実験まで着手できていない。本報告では、594 nmのレーザを用いて検討した酸素原料オゾナイザにおけるオゾン密度分布とオゾンゼロ現象、ならびに空気原料オゾナイザで生じるDP現象に関する研究成果について述べる。

## (2) 実験装置

図2に実験装置の概略図を示す。25 mWのDPSSレーザ(Mambo, Cobolt社製)から放射される594 nmのレーザ光は、NDフィルタを用いてビーム強度を減衰させ、ビームスプリッタを用いて測定光と参照光に分割される。参照光は光検出器PD2により検出され、ロックインアンプ Lock-in amp 2 (Model 420, Scitec Instruments Ltd.) により、その強度を測定した。一方、測定光はピンホールを通してオゾナイザ内部のDBDプラズマ中に入射され、光検出器PD1とロックインアンプ(LI5640, (株)NF回路設計ブロック社製) Lock-in amp 1により、その光強度を測定した。本システムでは、レーザ光を測定光と参照光に分割し、2つの検出器とロックインアンプにより光強度を測定することで、光源自体のドリフトをキャンセルすることが可能である。

オゾナイザの放電部は、厚さ1 mmのアルミナ製誘電体バリア2枚とアルミニウム製背後電極により構成され、放電面積は30×45 mm、放電ギャップ長は1 mmである。オゾナイザの駆動用電源には、ネオンインバータトランス(NEON M-5, レシップ社製)を用

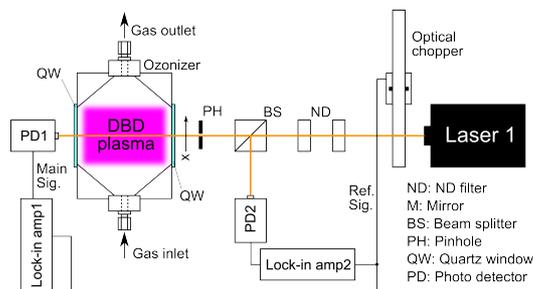


図2 実験装置図

いた。原料ガスは図中に示すオゾナイザのガス入口から供給され、放電空間中で生成されたオゾンや窒素酸化物はガス出口から排出される。図中に示す  $x$  はオゾナイザに供給したガスの流れる方向を示しており、オゾナイザは  $x$  ステージを用いて  $x$  方向に移動可能である。ガス出口にはオゾンモニタを接続し、オゾン濃度を記録した。また、オゾナイザから排出されるガス中の窒素酸化物の分析には、光路長8 mのガスセル(LPC-8M-G, 日本分光(株)社製)を有するフーリエ変換赤外分光光度計(FT/IR 4100ST, 日本分光(株)社製)を用いた。ここでは、オゾナイザから排出されたガスを一旦サンプリングバッグ内に回収した後、ガスセル内に導入してIRスペクトルを測定した。

## 4. 研究成果

### (1) 酸素原料オゾナイザにおけるオゾン密度分布とオゾンゼロ現象

先ず、図2のオゾナイザに99.8%の酸素を供給し、ガス流量や放電電力を変化させてオゾン生成を行った際の、オゾナイザ内部のガス流( $x$ )方向のオゾン密度空間分布を測定した。その結果、放電空間に供給された酸素が放電空間を通過する際にオゾン分子を形成し、その密度が増加する様子を観測することができた。オゾナイザへの供給ガス流量が低く、放電電力が高いほど、高濃度のオゾンが生成された。このような実験結果の妥当性を評価するために、68種類のプラズマ化学反応式を考慮したレート方程式解析により、オゾナイザ内部のオゾン密度分布を計算したところ、実験結果と計算結果は比較的良好一致を示すことがわかった。

一方、オゾンゼロ現象は高純度酸素を原料ガスとして高濃度のオゾンを生成した場合に観測されると言われている。また、最近の論文によると、両面とも誘電体バリアで覆われた電極においてもオゾンゼロ現象は発生することがわかっており<sup>(10)</sup>、オゾンゼロ現象の発生は放電電力  $P$  を放電面積  $S$  で割った放電電力面密度  $P/S$  に依存するとの報告もある<sup>(11)</sup>。表1に本研究で使用したオゾナイザとTaguchiらの論文<sup>(11)</sup>において使用されているオゾナイザの仕様の比較を示した。同論文<sup>(11)</sup>で使用しているオゾナイザは円筒電極構造であり、ガス流方向の長さが1 m以上と大型である。ギャップ長は0.3 mmである。この論文<sup>(11)</sup>において、オゾンゼロ現象は、初期オゾン濃度が261~272 g/Nm<sup>3</sup>の範囲で発生し、放電電力面密度  $P/S=0.2$  W/cm<sup>2</sup>以上で顕著に観測されていた。本研究においても、これらの仕様を可能な限り再現したオゾンゼロ現象観測用オゾナイザの開発を検討したが、円筒形の電極構造ではレーザが透過しないこと、光学システムの都合上大型のオゾナイザの設置が困難であること、さらに放電ギャップ長0.3 mmでは、レーザビームが上下の誘電体バリアに当たってしまうなどの問題が

表 1 オゾナイザの仕様比較

	本研究	Taguchi et al. <sup>(11)</sup>
電極構造	平板型(アルミナ-アルミナ)	円筒型(ガラス-ステンレス)
電極長さ [mm]	30	1000
ギャップ長 [mm]	1	0.3
酸素純度 [%]	99.999	99.99995
ガス流量 [L/min]	0.2	1~3.35
放電電力面密度 [W/cm <sup>2</sup> ]	0.85	0.1~0.3
エネルギー密度 [W・min/L]	57.5	200

懸念された。一方で、オゾンゼロ現象が放電電力面密度  $P/S$  に依存し、 $P/S=0.2 \text{ W/cm}^2$  以上で顕著に観測されているという事実に着目すると、本研究で使用しているオゾナイザは、小型であるが放電電力面密度  $P/S$  は  $0.85 \text{ W/cm}^2$  と Taguchi らの論文<sup>(11)</sup> のオゾナイザより約 3 倍大きい。このことから、本研究で使用しているオゾナイザを用いて長時間オゾン生成を行った際にも、オゾンゼロ現象が観測される可能性が十分考えられたため、現状のオゾナイザの長時間連続運転特性について検討した。

図 3 (a) は高純度酸素 99.999% の原料ガスを用いてオゾン生成を 13 時間生成し、オゾナイザの下流に設置したオゾンモニタにより測定したオゾン濃度の時間変化である。同図より、オゾン生成開始から 1 分後にオゾン濃度は最大の  $96.4 \text{ g/Nm}^3$  を示し、2.6 時間後に  $92.1 \text{ g/Nm}^3$  まで減少を続けたが、その後は緩やかに増加する傾向を示した。駆動開始から 2.6 時間後と 11.2 時間後にオゾン濃度が大きく低下しているが、この原因については理解できていない。放電からのノイズ等によりオゾンモニタが誤動作を起こした可能性が考えられ、オゾンゼロ現象とは無関係と考

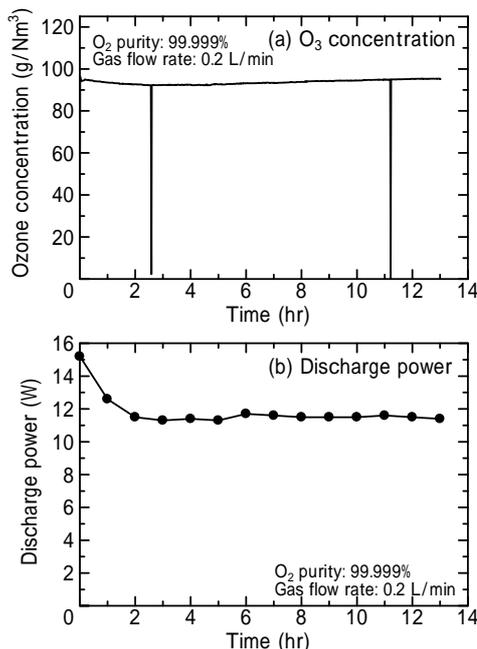


図 3 高純度酸素を原料としたオゾナイザの長時間連続運転

いる。同図中(b)に図(a)のオゾン濃度と併せて測定した放電電力の時間変化を示した。放電電力は駆動開始直後に最大の  $15.2 \text{ W}$  を示し、その後は 2 ~ 3 時間かけてゆっくり減少し、3 時間以降ではほぼ定常値を示した。この放電電力の定常値は約  $11.5 \text{ W}$  であり、駆動開始直後の 76% 程度まで減少したが、この原因については理解できていない。放電電力とオゾン濃度の時間変化の特徴は、それほど対応しないことが分かった。今回の実験では 13 時間の連続運転において、オゾン濃度が長時間かけて大きく低下するオゾンゼロ現象は観測されなかった。これは、オゾンゼロ現象の発生には、放電電力面密度以外にも重要な要素があることを示唆している。今後は、 $200 \text{ g/Nm}^3$  以上の高濃度オゾン濃度が生成可能なオゾンリアクタを製作し、オゾンゼロ現象発生時のプラズマ中におけるオゾンと窒素酸化物の挙動について調査する予定である。

(2) 空気原料オゾナイザ中で生じる DP 現象

オゾナイザに空気原料を供給した際のオゾンと窒素酸化物の生成過程を調査するために、図 2 のオゾナイザにガスボンベから圧縮空気を供給してオゾナイザを駆動し、排出ガスのオゾン濃度測定と FT-IR によるガス分析を実施した。図 4 は放電のエネルギー密度  $P/Q$  とオゾン濃度の関係をプロットしている。同図は、オゾナイザを駆動するネオンインバータトランスへの入力電圧を  $100 \text{ V}$  一定とし、空気中のガス流量を  $1.5$  から  $0.1 \text{ L/min}$  の範囲で調整することで  $P/Q$  を変化させて測定した結果である。同図より、 $P/Q$  が  $7.6 \text{ W} \cdot \text{min/L}$  以下では、エネルギー密度  $P/Q$  の増加に伴いオゾン濃度は上昇するが、それ以上の  $P/Q$  領域では、エネルギー密度を増加させるとオゾン濃度は低下していることがわかる。今回の実験では、エネルギー密度  $P/Q=82 \text{ W} \cdot \text{min/L}$  においてオゾン濃度が 0 となった。このように、空気原料オゾナイザを高いエネルギー密度領域で駆動した際にみられるオゾン濃度の低下は、プラズマ中において窒素酸化物の生成が顕著となり、これがオゾン分解のためと考えられる。特に、オゾン濃度が 0 となったエネルギー密度領域では、オゾナイザ内部が DP 状態にあるものと考えられる。

図 4 においてオゾン濃度が最大となった

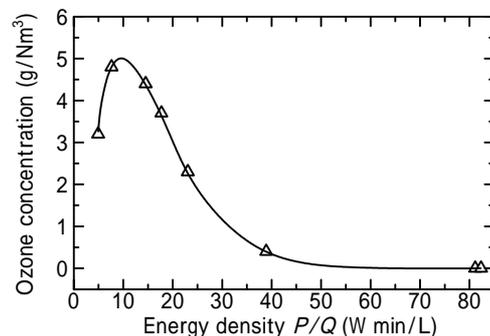


図 4 空気原料をオゾナイザに供給した際のエネルギー密度とオゾン濃度の関係

$P/Q=7.6 \text{ W}\cdot\text{min/L}$ と、これより小さい $P/Q=4.9 \text{ W}\cdot\text{min/L}$ ならびに、DP状態にあると考えられる $P/Q=82 \text{ W}\cdot\text{min/L}$ において得られた排出ガスのFT-IR分析結果を図5に示す。同図(a)と(b)より、DP状態にないと考えられるオゾナイザの排出ガス中には $\text{O}_3$ に加え $\text{N}_2\text{O}$ 、 $\text{N}_2\text{O}_5$ 、 $\text{HNO}_3$ 、 $\text{CO}_2$ による吸光度ピークが観測されたことから、これらの分子が含まれていることが示唆される。 $\text{N}_2\text{O}$ については、プラズマ中で生成される窒素の準安定励起分子 $\text{N}_2(\text{A})$ と $\text{O}_2$ 分子の反応により生成され<sup>(4)</sup>、 $\text{N}_2\text{O}_5$ はプラズマ中で生成された $\text{NO}$ や $\text{NO}_2$ 、 $\text{NO}_3$ がオゾンや $\text{O}$ 原子により酸化されたことで形成されたものと考えられる。 $\text{HNO}_3$ は空気中に含まれる水分と $\text{N}_2\text{O}_5$ が反応したことで生成されたものと考えられる。一方、図(c)のDP状態にあると思われるオゾナイザから排出されたガスのIRスペクトルを見ると、図中(a)や(b)で観測された $\text{O}_3$ や $\text{N}_2\text{O}_5$ 、 $\text{HNO}_3$ による吸光度ピークが見られなくなり、 $\text{NO}$ と $\text{NO}_2$ 、 $\text{HNO}_2$ の吸光度ピークが観測された。この結果から、DBD中で過剰に生成された $\text{NO}$ と $\text{NO}_2$ が触媒的に $\text{O}$ や $\text{O}_3$ が消費される反応が示唆され、図中(c)の $P/Q=82 \text{ W}\cdot\text{min/L}$ では、オゾナイザ外部にオゾンが排出されないDP状態にあるものと予想される。

図6は、図2の装置を用いて空気原料オゾナイザを動作させ、生成されたDBDプラズマ中に594 nmのレーザー光を照射して光透過率を測定した結果である。図中に3列で表示されたグラフは、左からそれぞれエネルギー密度 $P/Q=4.7, 9.76, 55.4 \text{ W}\cdot\text{min/L}$ として測定した結果である。最上段のグラフは、オゾナイザ下流に設置されたオゾンモニタによるオゾン濃度の測定結果を示し、その下から続く各列4つのグラフは、オゾナイザのガス流方向の各位置 $x=2, 10, 20, 28 \text{ mm}$ においてレーザー光を照射し、測定した光透過率の結果を表示している。本測定では、オゾナイザ動作時と非動作時に電極間を透過したレーザー光(測定光)の強度をそれぞれ $I$ と $I_0$ として

光透過率 $I/I_0$ を決定し、任意の時刻にオゾナイザの駆動を開始して、一定時間オゾン生成をした後、オゾナイザの駆動を一定時間停止するという操作を合計3回行った。

同図中のオゾナイザ下流で測定したオゾン濃度に着目すると、オゾナイザの駆動開始とともにオゾンが生成され、エネルギー密度 $P/Q$ が4.7, 9.76, 55.4  $\text{W}\cdot\text{min/L}$ においてオゾン濃度の定常値は、それぞれ2.2, 4.7, 0  $\text{g/Nm}^3$ であった。従って、 $P/Q=55.4 \text{ W}\cdot\text{min/L}$ においてオゾナイザはDP状態にあるものと予想される。一方、各位置 $x$ で測定した光透過率は、オゾナイザ動作中に減少しており、レーザー光がプラズマ中で吸収されていることが分かる。また、この光透過率の減少量は、 $x=2 \text{ mm}$ から $28 \text{ mm}$ に向かって増加していることも同図から読み取れる。従って、オゾナイザに供給された空気は、オゾンあるいは窒素酸化物の数密度を高めながら放電空間を移動し、排出されるものと予想される。今回の実験では、594 nmのレーザー光のみを照射しているため、観測された光吸収がDBDプラズマ中で生成された何の分子によるものかを考察することは困難である。しかし、図6のDP状態にないエネルギー密度 $P/Q=4.7$ と9.76  $\text{W}\cdot\text{min/L}$ の結果については、図5(a)と(b)のIRスペクトルにおいて排出ガスから $\text{N}_2\text{O}_5$ が観測されていることを考えると、プラズマ中にはオゾン以外にも $\text{NO}_2$ や $\text{NO}_3$ の存在が示唆され、これらの分子による光吸収を観測しているものと推察される。一方、図6中のDP状態にある $P/Q=55.4 \text{ W}\cdot\text{min/L}$ については、排出ガスのオゾン濃度が0であるにもかかわらず、プラズマ中での光吸収が、DP状態にない他の $P/Q$ の結果より大きく観測されている。DP状態にあるプラズマ中では、前述したように $\text{NO}$ や $\text{NO}_2$ による触媒的作用により、 $\text{O}_3$ と $\text{O}$ は殆ど存在しないと考えられることから、 $\text{NO}_3$

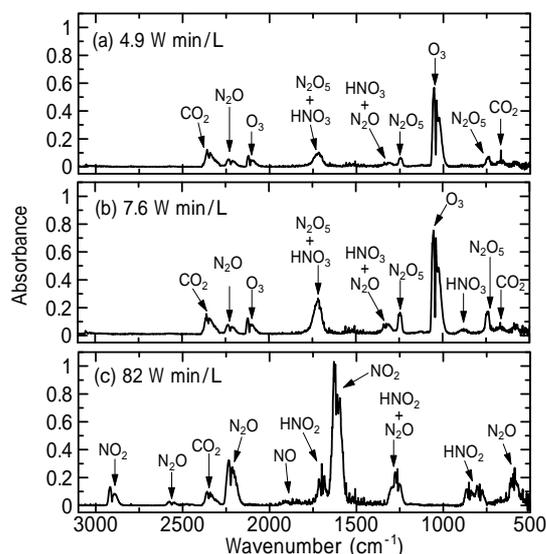


図5 FT-IR分析結果

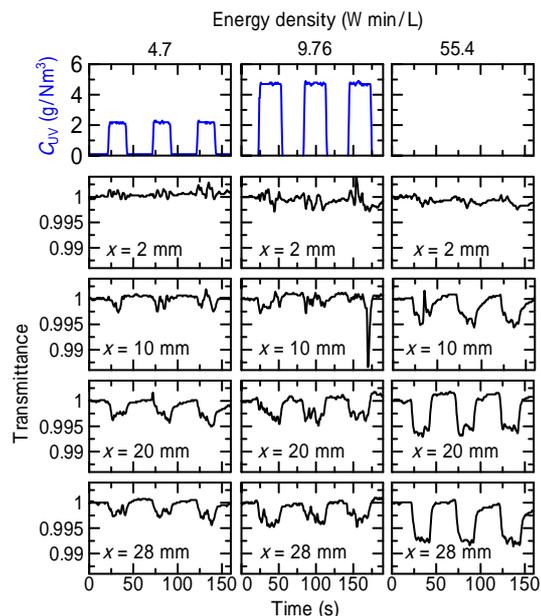


図6 空気原料オゾナイザ内部のプラズマ中に照射したレーザーの光透過率

は生成されないものと予想される。従って、DP 状態にあるオゾナイザ中で観測された強いレーザ光の吸収は、プラズマ中で過剰に生成された NO<sub>2</sub> 分子によるものと推察される。

今後は3つの波長のレーザを DBD プラズマ中に照射し、光透過率を調査することで、O<sub>3</sub> と NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub> の密度を分離して測定する予定である。

#### <引用文献>

- (1) K. Voigt *et al.*, Proc. Am. Water Works Assoc. Annual Conf., 885-900 (1994)
- (2) M. Taguchi *et al.*, Euro. Phys. J. Appl. Phys., 55, 13805 (2011)
- (3) 高野ら：電学 A, 125, 508-514 (2005)
- (4) U. Kogelschatz and P. Baessler, Ozone Sci. & Eng., 9, 195-206 (1987)
- (5) S. Yagi and M. Tanaka: J. Phys. D: Appl. Phys., 12, 1509-1520 (1979)
- (6) S. Voigt *et al.*, J. Photochem. Photobiol. A: Chem. 143: 1-9 (2001)
- (7) S. Voigt *et al.*, J. Photochem. Photobiol. A: Chem. 149: 1-7 (2002)
- (8) R. A. Graham and H. S. Johnston, J. Phys. Chem. 82: 254-268 (1978)
- (9) Keller-Rudek *et al.*, Earth Syst. Sci. Data, 5, 365-373 (2013)
- (10) 田口, 電学論 A, 134, 11, 585-590 (2014)
- (11) M. Taguchi *et al.*, Eur. Phys. J. Appl. Phys. 55, 13805 (2011)

#### 5. 主な発表論文等

##### [雑誌論文](計1件)

Hiroki Kumegawa, Kenji Teranishi, Kazushi Uemura, Naoyuki Shimomura and Haruo Itoh, Measurement of ozone density in dielectric barrier discharge-based ozone generator by laser absorption method, Proc. 31th International Conference on Phenomena in Ionized Gases (USB), 査読無, 2013

##### [学会発表](計7件)

吉本 優真, 松村 康平, 寺西 研二, 下村 直行, 空気原料誘電体バリア放電オゾン発生器におけるオゾンと窒素酸化物の生成特性, 平成 28 年電気学会全国大会, 2016 年 3 月 16 日 ~ 18 日, 東北大学(宮城県仙台市)

Kohei Matsumura, Hiroki Kumegawa, Kenji Teranishi, Naoyuki Shimomura and Haruo Itoh, Investigation of Ozone Density Distribution in DBD Ozonizer by Laser Optical Absorption Method, 14th International Symposium on High Pressure Low Temperature Plasma Chemistry, Sep. 21-26, 2014 Hotel Baltic (Zinnowitz, Germany)

松村 康平, 久米川 浩輝, 寺西 研二, 下村 直行, 伊藤 晴雄, レーザ光吸収法

を用いた DBD 型オゾナイザ内部のオゾン密度分布計測に関する研究, 平成 26 年度電気関係学会四国支部連合大会, 2014 年 9 月 13 日, 徳島大学(徳島県徳島市)

寺西 研二, オゾナイザ中のオゾン密度の in-situ 測定, 平成 26 年電気学会全国大会, 2014 年 3 月 18 日 ~ 20 日, 愛媛大学(愛媛県松山市)

寺西 研二, 久米川 浩輝, 松村 康平, 下村 直行, 伊藤 晴雄, 誘電体バリア放電型オゾナイザ内部のオゾン密度空間分布, 平成 25 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, 2013 年 10 月 19 日, 20 日, 室蘭工業大学(北海道室蘭市)

寺西 研二, 久米川 浩輝, 下村 直行, 伊藤 晴雄, 誘電体バリア放電型オゾン発生器内部でのオゾン生成過程の検討, 第 22 回日本オゾン協会年次講演会, 2013 年 8 月 8 日 ~ 9 日, お茶の水女子大学(東京都文京区)

#### [その他]

<http://pub2.db.tokushima-u.ac.jp/ERD/person/155803/profile-ja.html>

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

寺西 研二 (TERANISHI, Kenji)  
徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・准教授  
研究者番号：80435403

##### (2) 研究分担者

下村 直行 (SHIMOMURA, Naoyuki)  
徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・教授  
研究者番号：90226283

伊藤 晴雄 (ITOH, Haruo)  
千葉工業大学・工学部・教授  
研究者番号：90083849