

開発の目的はオゾンを効率よく発生させることのできる電極の構造です。

電極内のエネルギー状態とスペクトルの観測により、電極内の酸素の励起状態をシュミレーションできれば、電極の構造によってそれがどのように変化するかを考察する事ができ、酸素分子からオゾン分子に至る過程理解できると思います。

とはいっても現在考えている電極の構造はそれほど複雑なものではなく

図のようなスリット構造です。

これにより、スリットの重なりで酸素原子の解離を行いそれ以外の比較的低いエネルギー領域で酸素分子の励起およびオゾンの合成を行えと考えました。

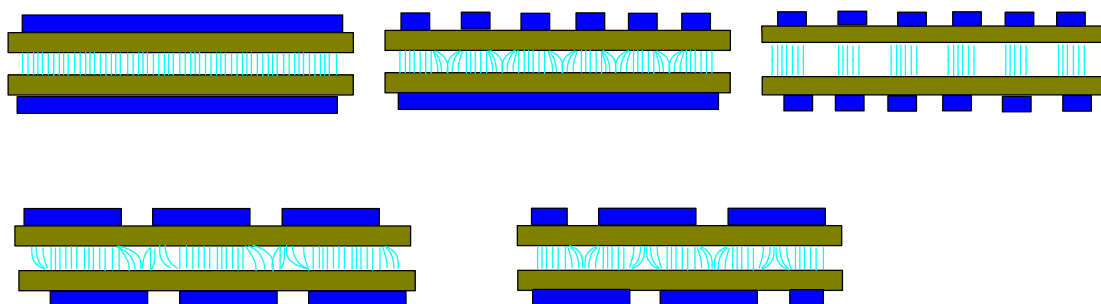
そのように考えた理由は

酸素原子の解離エネルギーとオゾン分解の吸収エネルギーが比較的近い

酸素分子も励起されたほうが反応がスムーズに進行する。

酸素原子の解離エネルギーは最適条件がありそれ以下でも以上でも反応が鈍る。

電極内に必要以上のエネルギーを当てると、酸素でなく窒素までも励起され窒素酸化物ができる。



現在実験に使用している電極・電源は商品化されたものを使用しています。

そして、それは他社から購入しています。

会社から与えられたテーマはオリジナルの電極・電源を商品化することでした。

そこから、私がオゾンと関わりが始まりました。

まず、それらの解析からスタートしました。

[1] 既存商品の解析

1. オゾン発生電極の構造

1-1. 断面構造

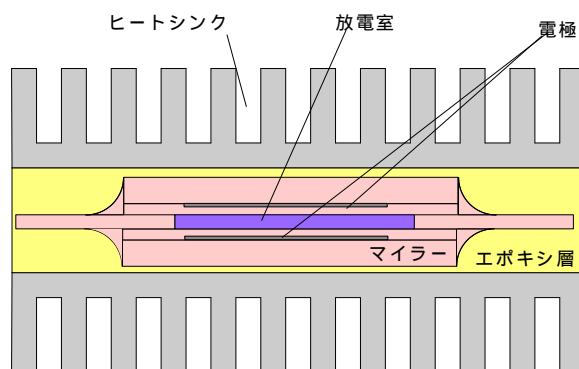
オゾン電極はステンレス製の電極があり、マイラーによって保護されている。

外周をエポキシ樹脂によって固められている。

放電室の放熱を悪くしている。そのため、その外にヒートシンクを付けても放電室の温度は下がらない。

ヒートシンクはマイナス電極（GND）に接続されている。

ヒートシンクを GND にすることで、電極から漏れる電気力線を吸収する



(図 1 - 1) 電極構造



(写真 1 - 1) 電極を分解した

全体として電気容量は 40 P F 程度です。

1-2. 放電面の構造

電極周辺の構造を（写真 1 - 1）にしめす。

向かって左側がステンレス製電極で、厚さが 約 1mm 一辺の長さが約 40mmです。

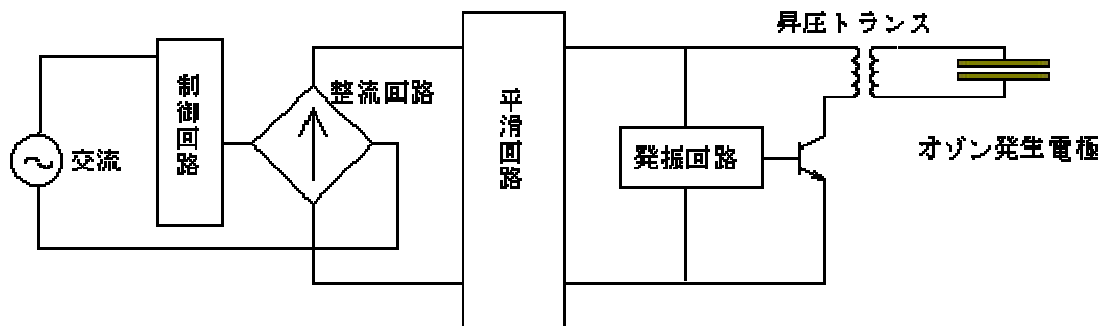
左側が電極を覆っているマイラーで、下部の出っ張りは、電線が通っている所です。

2．高周波昇圧電源の構造

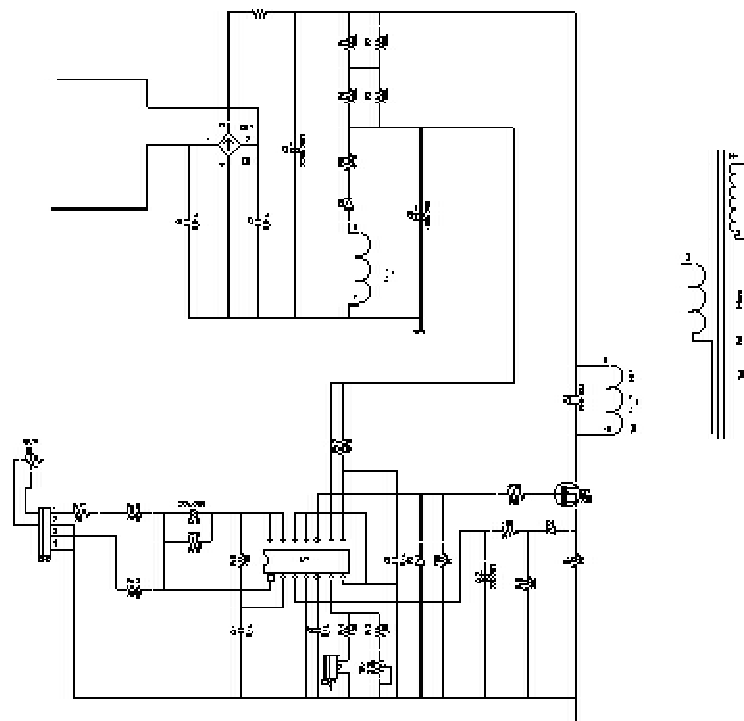
2．1 回路の構造

(図2)に昇圧回路の回路図を示します。

構造的には他励式発信回路で、ICで発信させ昇圧トランスで放電に必要な高周波・高電圧を作っています。



(図2 - 1)電源概念図

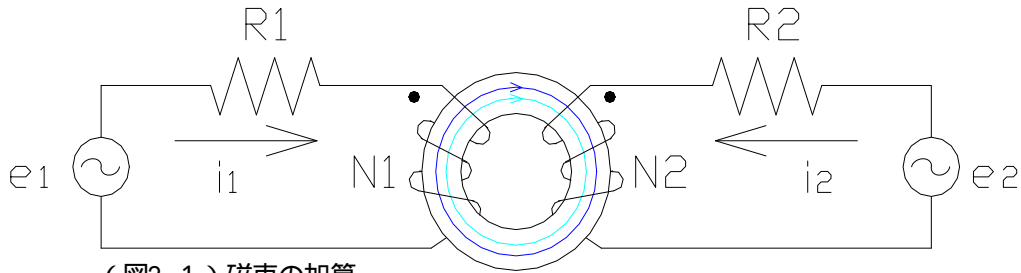


(図2 - 2) 電源回路

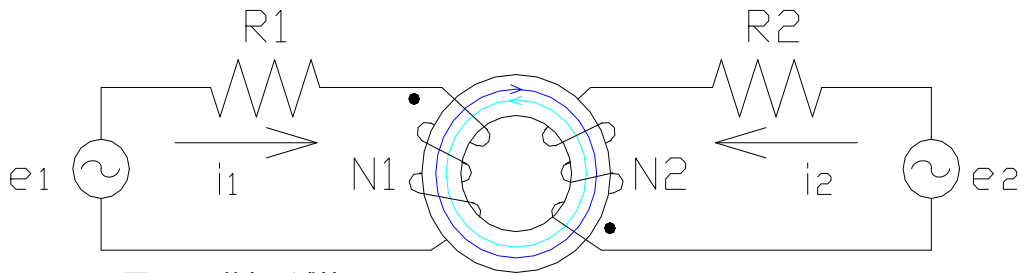
ここで、安定した発生をさせるには、共振条件を満たす必要があります。
測定では、4 KHz程度です。

2 - 2 トランス回路の基礎

(1) 磁束の加算



(図2- 1) 磁束の加算



(図2-2) 磁束の減算

$$V = V_1 + V_2 \dots \dots \dots (1)$$

$$e_1 = N_1 \frac{dV}{dt} + R_1 i_1 = N_1 \frac{dV_1}{dt} + N_1 \frac{dV_2}{dt} + R_1 i_1 \dots (2 - 1)$$

$$e_2 = N_2 \frac{dV}{dt} + R_2 i_2 = N_1 \frac{dV_2}{dt} + N_2 \frac{dV_2}{dt} + R_2 i_2 \dots (2 - 2)$$

$$N_1 \frac{dV_1}{dt} = N_1 \frac{dV_1}{di_1} \frac{di_1}{dt} = L_1 \frac{di_1}{dt} \dots (3 - 1)$$

$$N_1 \frac{dV_2}{dt} = N_1 \frac{dV_2}{di_2} \frac{di_2}{dt} = M \frac{di_2}{dt} \dots (3 - 2)$$

$$N_2 \frac{dV_1}{dt} = N_2 \frac{dV_1}{di_1} \frac{di_1}{dt} = M \frac{di_1}{dt} \dots (3 - 3)$$

$$N_2 \frac{dV_2}{dt} = N_2 \frac{dV_2}{di_2} \frac{di_2}{dt} = L_2 \frac{di_2}{dt} \dots (3 - 4)$$

$$e_1 = \dot{E}_1 \quad e_2 = \dot{E}_2 \quad i_1 = \dot{I}_1 \quad i_2 = \dot{I}_2 \quad \dots\dots\dots(4-1)$$

$$L_1 \frac{di_1}{dt} = jy L_1 \dot{I}_1 \quad L_2 \frac{di_2}{dt} = jy L_2 \dot{I}_2 \quad \dots\dots\dots(4-2)$$

$$L_1 \frac{di_1}{dt} = jy L_1 \dot{I}_1 \quad L_2 \frac{di_2}{dt} = jy L_2 \dot{I}_2 \quad \dots\dots\dots(5-1)$$

$$M \frac{di_1}{dt} = jy M \dot{I}_1 \quad M \frac{di_2}{dt} = jy M \dot{I}_2 \quad \dots\dots\dots(5-2)$$

$$\dot{E}_1 = jy L_1 \dot{I}_1 + jy M \dot{I}_2 + R_1 \dot{I}_1 \quad \dots\dots\dots(6-1)$$

$$\dot{E}_2 = jy M \dot{I}_1 + jy L_2 \dot{I}_2 + R_2 \dot{I}_2 \quad \dots\dots\dots(6-2)$$

$$\dot{E}_1 - jy L_1 \dot{I}_1 - jy M \dot{I}_2 = R_1 \dot{I}_1 \quad \dots\dots\dots(7-1)$$

$$\dot{E}_2 - jy M \dot{I}_1 - jy L_2 \dot{I}_2 = R_2 \dot{I}_2 \quad \dots\dots\dots(7-2)$$

L_1 、 L_2 の起電力は \dot{E}_1 \dot{E}_2 と方向が反対
 M による起電力も \dot{E}_1 \dot{E}_2 と方向が反対。

(1) 磁束の減算

$$e_1 = N_1 \frac{dV}{dt} + R_1 i_1 = N_1 \frac{dV_1}{dt} - N_1 \frac{dV_2}{dt} + R_1 i_1 \quad \dots\dots\dots(8-1)$$

$$e_2 = N_2 \frac{dV}{dt} + R_2 i_2 = N_2 \frac{dV_2}{dt} - N_2 \frac{dV_1}{dt} + R_2 i_2 \quad \dots\dots\dots(8-2)$$

$$\dot{E}_1 = jy L_1 \dot{I}_1 - jy M \dot{I}_2 + R_1 \dot{I}_1 \quad \dots\dots\dots(9-1)$$

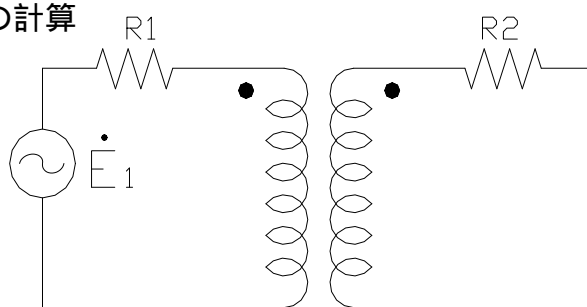
$$\dot{E}_2 = -jy M \dot{I}_1 + jy L_2 \dot{I}_2 + R_2 \dot{I}_2 \quad \dots\dots\dots(9-2)$$

$$\dot{E}_1 - jy L_1 \dot{I}_1 + jy M \dot{I}_2 = R_1 \dot{I}_1 \quad \dots\dots\dots(10-1)$$

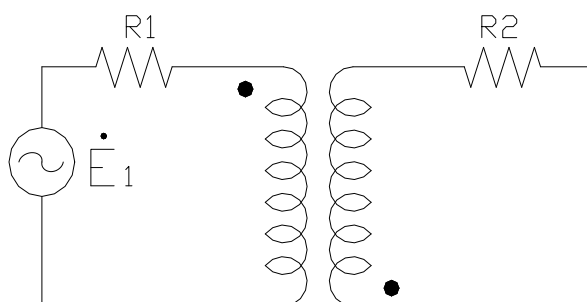
$$\dot{E}_2 + jy M \dot{I}_1 - jy L_2 \dot{I}_2 = R_2 \dot{I}_2 \dots\dots\dots (10-2)$$

L_1 、 L_2 の起電力は \dot{E}_1 \dot{E}_2 と方向が反対
 M による起電力も \dot{E}_1 \dot{E}_2 と同じ方向。

- (1) 自己インダクタンスによる誘導起電力は結合の如何によらず
電源電圧と同じ方向
- (2) 相互インダクタンスによる起電力は巻き方向と相手のコイルの電流の方向によって
変わる。
- (3) 誘導結合回路の計算



(図2-3) 極性が同じ



(図2-4) 極性が反対

(7 - 1) \ (7 - 2) より

$$\dot{E}_1 = jy L_1 \dot{I}_1 + jy M \dot{I}_2 + R_1 \dot{I}_1 = \dot{Z}_1 \dot{I}_1 - jy M \dot{I}_2$$

$$0 = jy M \dot{I}_1 + jy L_2 \dot{I}_2 + R_2 \dot{I}_2 = \dot{Z}_2 \dot{I}_2 - jy M \dot{I}_1$$

となる。ただし、

$$\dot{Z}_1 = R_1 + jy L_1 \quad \dot{Z}_2 = R_2 + jy L_2$$

とした。これより

$$\dot{\mathbf{I}}_1 = \frac{\dot{\mathbf{E}}_1}{\dot{\mathbf{Z}}_1 + \frac{y^2 \mathbf{M}^2}{\dot{\mathbf{Z}}_2}} = \frac{\dot{\mathbf{Z}}_2 \dot{\mathbf{E}}_1}{\dot{\mathbf{Z}}_1 \dot{\mathbf{Z}}_2 + y^2 \mathbf{M}^2}$$

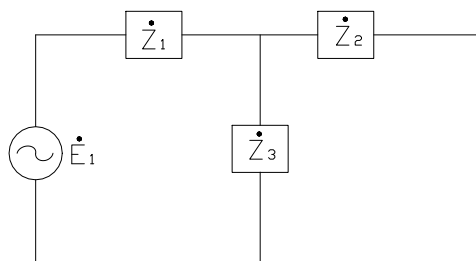
$$\dot{\mathbf{I}}_2 = \frac{jy \mathbf{M} \dot{\mathbf{E}}_1}{\dot{\mathbf{Z}}_1 \dot{\mathbf{Z}}_2 + y^2 \mathbf{M}^2}$$

$$\dot{\mathbf{E}}_1 = (\dot{\mathbf{Z}}_1 + \dot{\mathbf{Z}}_2) \dot{\mathbf{I}}_1 - \dot{\mathbf{Z}}_3 \dot{\mathbf{I}}_2$$

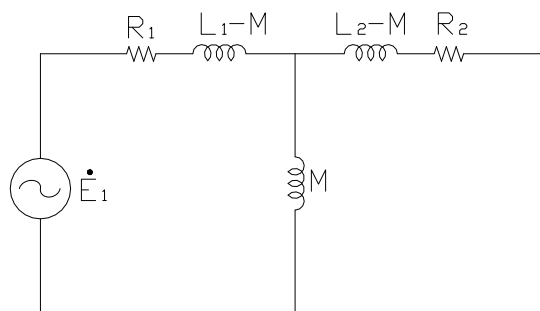
$$\dot{\mathbf{Z}}_1 = \mathbf{R}_1 + jy(\mathbf{L}_1 - \mathbf{M})$$

$$\dot{\mathbf{Z}}_2 = \mathbf{R}_2 + jy(\mathbf{L}_2 - \mathbf{M})$$

$$\dot{\mathbf{Z}}_3 = \mathbf{M}$$

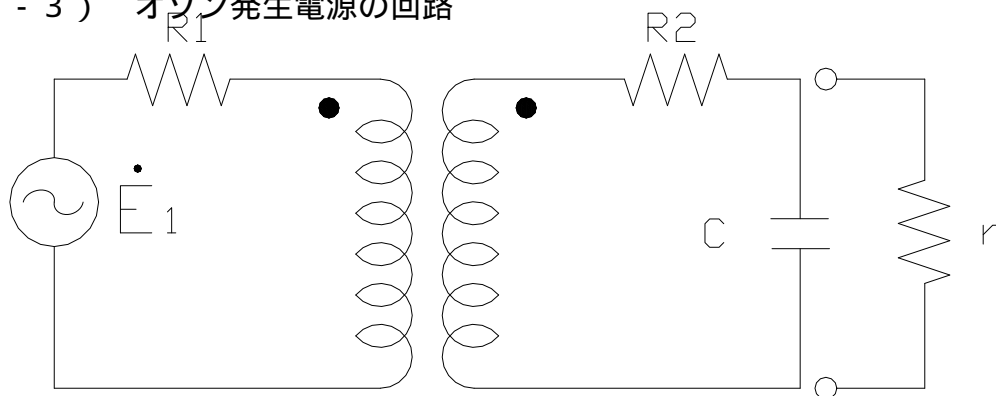


(図 2 - 5) 等価回路



(図 2 - 6) 等価回路

(2 - 3) オゾン発生電源の回路



(図 2 - 7) オゾン発生用電電減の等価回路

$$\dot{\mathbf{E}}_1 = jy \mathbf{L}_1 \dot{\mathbf{I}}_1 + jy \mathbf{M} \dot{\mathbf{I}}_2 + \mathbf{R}_1 \dot{\mathbf{I}}_1 = \dot{\mathbf{Z}}_1 \dot{\mathbf{I}}_1 - jy \mathbf{M} \dot{\mathbf{I}}_2$$

$$0 = j(y \mathbf{L} - \frac{1}{y \mathbf{C}}) \dot{\mathbf{I}}_2 - jy \mathbf{M} \dot{\mathbf{I}}_1 + \mathbf{R}_2 \dot{\mathbf{I}}_2 = \dot{\mathbf{Z}}_2 \dot{\mathbf{I}}_2 - jy \mathbf{M} \dot{\mathbf{I}}_1$$

[2] オゾン発生のメカニズムの検討

1. 反応過程の検証

オゾンについて書かれた専門書を読むと

「励起された酸素原子が酸素分子と衝突するとオゾンになる。」

と書かれています。しかし、放電電極内では、

酸素分子が励起される。(励起されない酸素分子のほうが少ないと思えるのですが。)

その一部が解離して、酸素原子になる。

励起された酸素分子と酸素原子が結合して、オゾンになる。

ここで、疑問は酸素原子が結合する酸素分子は、

「励起されている酸素分子と励起していない酸素分子と比べた場合どちらが反応が進むのか？」

と考えた場合、次の3ステップで行われると考えたほうが自然と思える。

酸素分子の励起

印加電圧の電圧と周波数によって励起効率がかわる。

この状態では不安定なので、元に戻り電極内は紫色に発光する

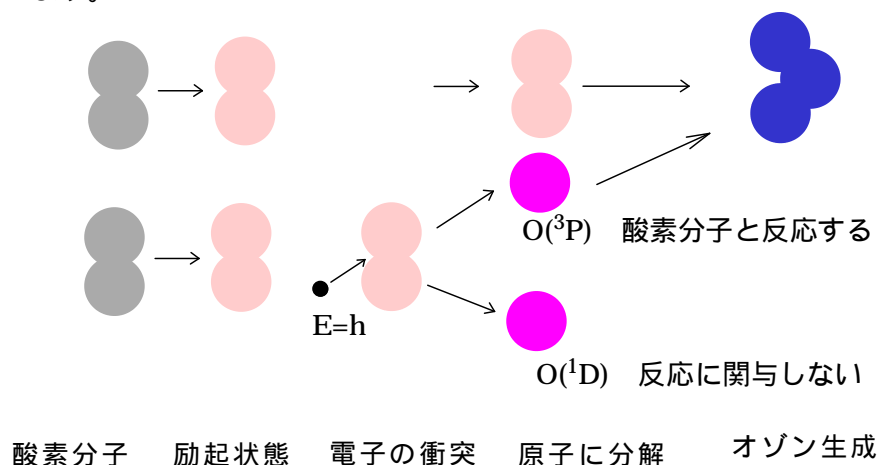
酸素原子の解離

電極間に一定電圧以上になると絶縁破壊が起こり、電子は電極から飛び出し、酸素分子に衝突 酸素原子に分解される。

酸素原子の融合

励起された酸素分子が分解された酸素原子を取り込む形でオゾンが生成される。

であるなら、上記 の過程は、 の過程より低いエネルギーレベルで行われるとおもいます。



(図2) オゾン発生の模式図

2. オゾン発生体の温度による発生能力の検証

オゾン発生に関して熱の影響を考察するため以下の実験を行った。

(1) 実験

OW-10 用オゾン発生体は (図 1) のようなヒートシンクが両面に取り付けてある。

実験は外部の影響が一番少ないヒートシンク

中央に熱伝対を取り付けて行った。

今回は変化を早く起こす為に、

発振周波数を共振条件でない 8 KHz とし

、ファン等での冷却も行わなかった。

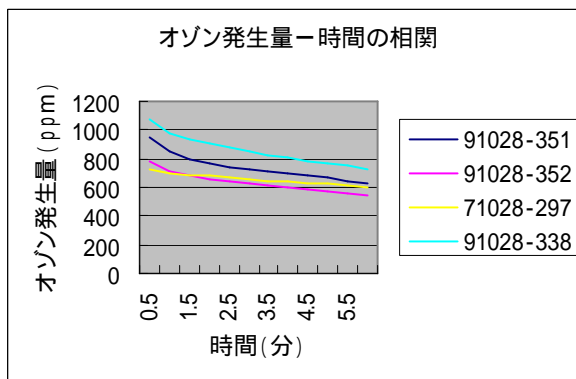
また、実験には発生体発生能力が少し低い

ロットアウト品で行った。

実験は以下の手順で行った。

(実験 1) 発生量の時間変化

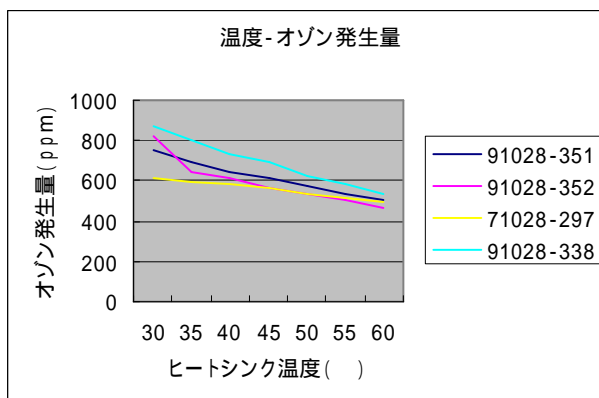
発生体を定常状態で動作させ、発生能力と時間との関係を調べた。



グラフ 3-1

(実験 2) 発生能力とヒートシンク表面の温度との関係

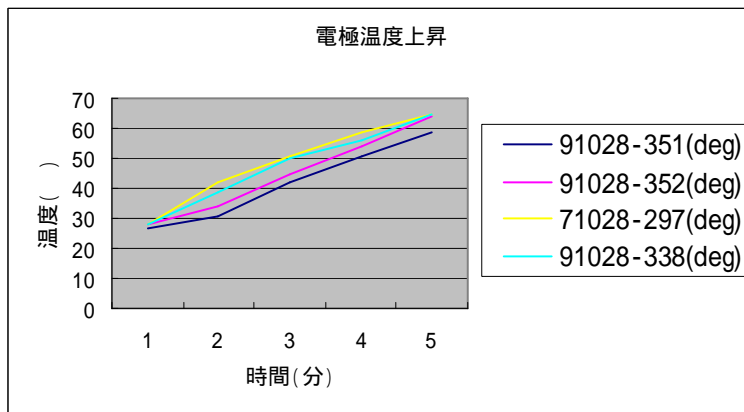
発生体を定常状態で動作させ、ヒートシンク温度と発生量の関係を調べた。



グラフ 3-2

(実験 3) ヒートシンク温度の時間変化

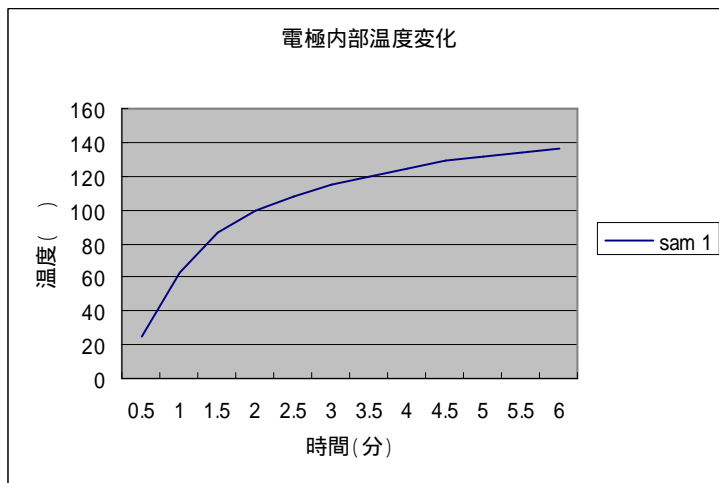
発生体を定常状態で動作させ、ヒートシンク温度の時間変化を調べた。



グラフ 3-3

(実験 4) 内部温度の時間変化

ヒートシンク内部に熱伝対を取り付け内部の温度の時間変化を調べた。



グラフ 3-4

(2) 考察

実験より以下のことがわかった。

- 1) オゾンの発生量は時間とともに減少する。
- 2) オゾンの発生量はヒートシンク温度に逆比例する。
- 3) 温度は時間とともに上昇する。
- 4) 発生体の内部温度は高温になる。

以上のことより、発生能力は温度に影響される。

また、現行の構造では、放熱が悪く、内部に熱がこもりやすい。

酸素を励起する要素として

温度による熱エネルギー

コロナ放電による運動エネルギー

が関係している。

つまり、次式が成り立つことが理解できる。

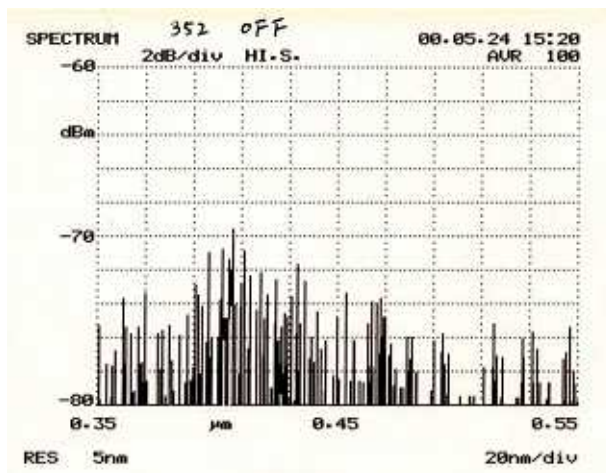
U （励起エネルギー）= E （放電による電氣的エネルギー）+ H （熱エネルギー）

4. 放電室の発光スペクトルについて

オゾン減少の原因を考察するために放電室内のスペクトルを測定した。

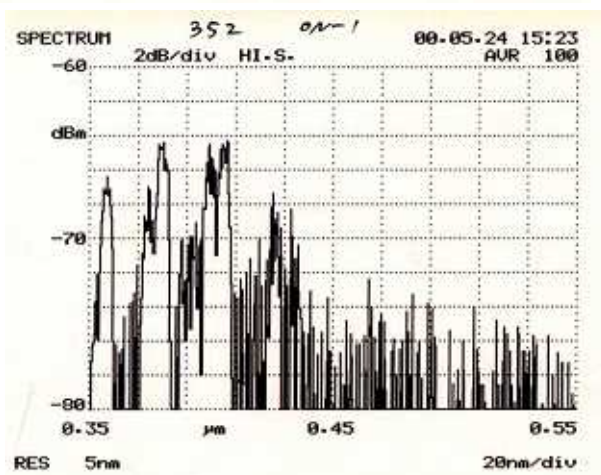
上記「3」の条件にて測定した。

但し、スペクトルとオゾン濃度は同時に観測できないので同じ条件で別々に行なった。



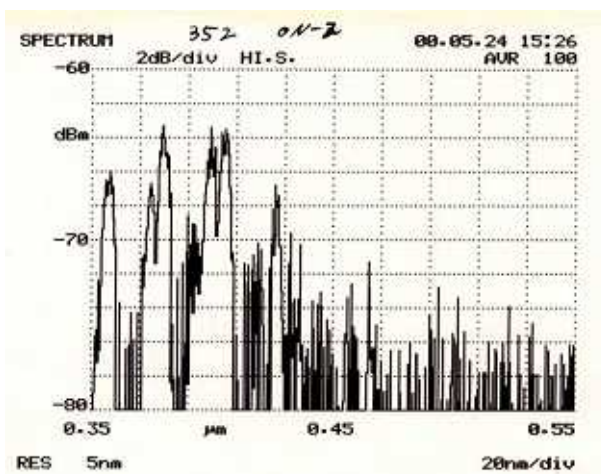
(グラフ 1)

電源投入前
暗黒状態でのスペクトル



(グラフ 2)

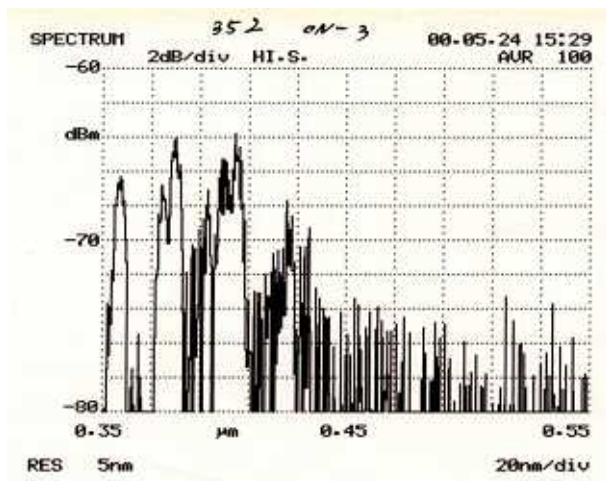
電源投入直後
オゾン発生濃度 1035 ppm
ヒートシンク温度 27.5



(グラフ 3)

電源投入 3 分後
オゾン発生濃度 737 ppm
ヒートシンク温度 34.4

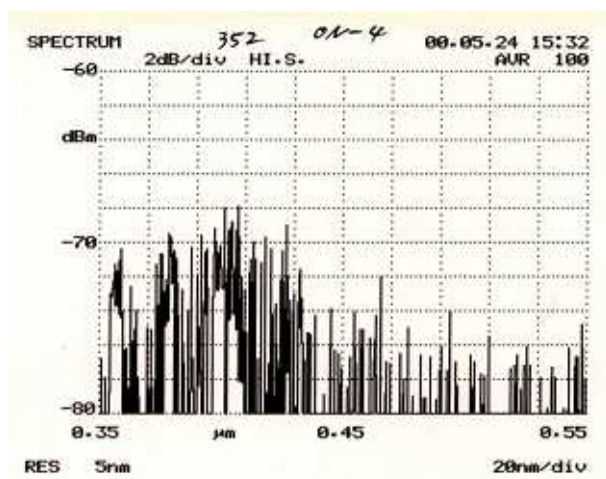
400nm 以下のスペクトルが盛んに発生している



(グラフ 4)

電源投入 6 分後
オゾン発生濃度 636 ppm
ヒートシンク温度 44.9

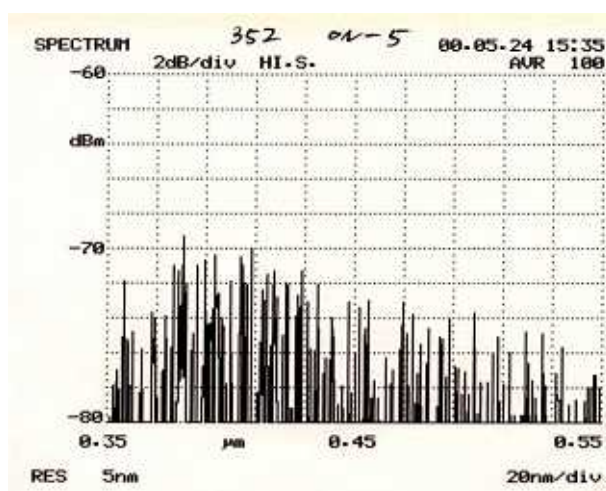
この領域でのスペクトルの
大きな変化は見られない



(グラフ 5)

電源投入 9 分後
オゾン発生濃度 567 ppm
ヒートシンク温度 54

スペクトルは 350,375,400nm,近傍
で僅か確認できる



(グラフ 6)

電源投入 12 分後
オゾン発生濃度 502 ppm
ヒートシンク温度 64

この領域でのスペクトルは確認で
ない

放電直後において（表 1）のスペクトルを確認できた。

波長 (nm)	強度 (dBm)
358	-68
376	-68
380	-60
400	-66
409	-66
414	-74
428	-72

放電 1 2 分後には、上記スペクトルは観測できなかった。

4. 考察

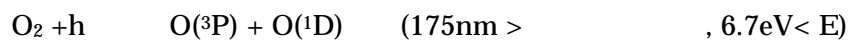
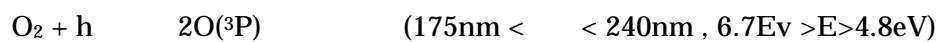
オゾン発生モデル（図 2）より

発生室内において、励起された酸素分子は

再び安定した酸素分子にもどる

電極より飛び出した原子が酸素分子に衝突して、酸素原子となる。

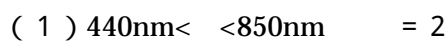
そして、その解離には次の 2 種類がある。



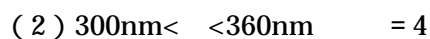
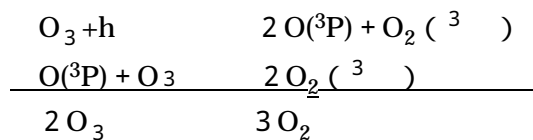
オゾン生成反応に重要なのは $\text{O}(^3\text{P})$ であり、 $\text{O}(^1\text{D})$ は反応にかかわらない。

オゾンが光エネルギーを吸収した時の分解反応を調べた、同時にその波長域の吸収帯を併記した。

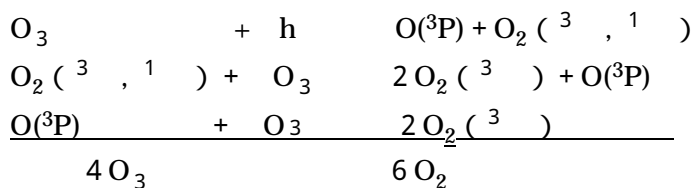
オゾンの分解反応



チャピウス吸収帯(Chappuis)

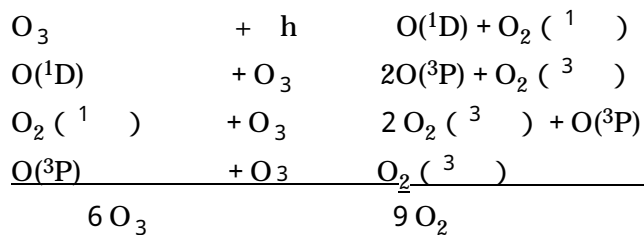


ハギンズ吸収帯 (Huggins)



(3) 200nm< <320nm = 6

ハートレイ吸収帯 (Hartley)



360nm < < 400nm の範囲はオゾン分解にかかわる吸収帯がない。

さらに、スペクトルの実験でもその範囲の巢スペクトルが観測できた。

計測器の性能で 350nm 以下の波長の観測ができなかったので、(Huggins)

と (Hartley) の吸収帯でのスペクトルの観測が必要ですが、

前期 の解離反応において()の波長域は (Hartley) 吸収帯以下

のエネルギーレベルにあり、分解反応を抑制できる。また、175nm 以下では

全期 の()の反応が進行する。

また、窒素分子の励起は表に示すように、6.17eV 以上のエネルギーを必要とする。

準位	X ¹ _g ⁺	A ³ _u ⁺	W ³ _u	A ¹ _u ⁻	a ¹ _g	W ¹ _u	E ³ _u ⁺
励起電圧 (eV)	0	6.17	7.32	8.52	8.54	9.02	11.88

窒素分子の電子励起状態

故に、()の範囲で反応で反応を進行させれば、効率よく、また不具合を誘発しやすい

NO_x の生成を抑えた反応が実現できる。

しかし、この反応は紙一重のところであり、現実的に実現するには、まだ難しい

ところがある。

そこで、もう少し深い実験と考察が必要となる。

5-1、オゾン発生に関するエネルギー変換

光の波長と、熱および電気エネルギーの関係を調べる。

プランクの関係および光速の関係より

$$E = h \cdot \nu$$
$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

が成り立つ、故に 1 分子におけるエネルギーと波長の関係は

$$E = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

また、電子ボルトで表すと

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda \cdot e}$$

1 mol あたりの気体分子の数はアボガドロナンバーより

$$N : = 6.02 \cdot 10^{23} \quad (\text{個})$$

であるから

1mol あたりに換算すると

$$E_{\text{mol}} = E \cdot N \quad (\text{J/mol})$$

これをカロリーに換算すると

$$1 (\text{Cal}) = 4.186 (\text{J/mol}) \quad \text{であるので}$$

$$E_{\text{mol}} = \frac{N \cdot E}{4.186} (\text{J/mol})$$

(参考) 必要な定数

$$\text{光速: } c := 2.9979 \cdot 10^8$$

$$\text{素電荷: } e := 1.6002 \cdot 10^{-19}$$

$$\text{プランク定数: } h := 6.266 \cdot 10^{-34}$$

$$\text{カロリー・ジュール換算 } 1 \text{ Cal} := 4.186 (\text{J})$$

(検算)

$$\text{O}_2 + e = 20 - 118 (\text{kcal})$$

この反応は 118kCal の吸熱反応である。これを元に吸収スペクトルのエネルギーと波長をもとめる

エネルギーは

$$E_{\text{mol}} = 118 \cdot 10^3$$

$$E = \frac{4.186 \cdot E_{\text{mol}}}{N}$$

$$E = \frac{4.186 \cdot (118 \cdot 10^3)}{(6.02 \cdot 10^{23})} \quad E = 8.2 \cdot 10^{-19} (\text{J})$$

$$E = \frac{8.2 \cdot 10^{-19}}{1.6022 \cdot 10^{-19}} \quad E = 5.13 \text{ (eV)}$$

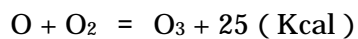
波長は

$$= \frac{h \cdot c}{E} = \frac{6.266 \cdot 10^{-34} \cdot 2.9979 \cdot 10^8}{8.2 \cdot 10^{-19}}$$

$$= 242 \text{ (m)}$$

となる。

次にオゾン発生反応は次式より



となり、発熱反応である。

このスペクトルを計算すると

1138 (mm) となる。

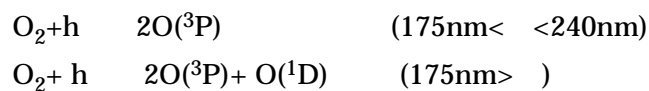
この 2 つの反応を比べると

$$118(\text{kcal}) - 25(\text{kcal}) = 93(\text{kcal})$$

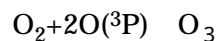
となり、スペクトル計算をすると約 320(mm)となる、これは前述の放電室内のスペクトルに近い値となる。(残念ながら 350(nm)のデータがないが) この領域のスペクトルは酸素の励起が関係していると推測される。

酸素原子、分子および窒素分子の電子励起状態をしらべる。

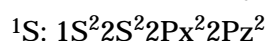
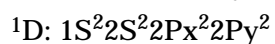
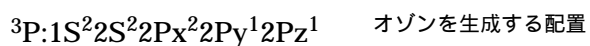
酸素の電離



オゾンの生成



(参考) 酸素原子のエネルギー状態



6 - 1 濃度測定

気体の状態方程式より

$$P V = n R T$$

P = 圧力 (atm)

V = 体積 (l)

n = モル数 (mol)

R = 気体常数 (0.082)

T = 温度 (°K)

において

$$n = \frac{P V}{R T}$$

モル数の定義より、分子量 M の気体が $m(g)$ 存在するとき、次の関係が成り立つ

$$n = \frac{m}{M}$$

ゆえに

$$\frac{m}{M} = \frac{P V}{R T}$$

$$m = M \times \frac{P V}{R T}$$

上記の式は単一の気体が $m(g)$ で、その時の体積が $V(l)$ である時の関係をあらわしている。

一定の体積 (V) 中にオゾンが単体で存在するとき上記の関係が成り立つ。

体積 V の中の混合気体の時、他の気体を取り除いた時のオゾンの重量を $X(g)$ とすると、

オゾンの濃度 d は

$$d = \frac{[\text{体積}(V) \text{ 中の他の気体を取り除いたオゾンの重量}]}{[\text{体積}(V) \text{ 中がオゾンで充満した時の重量}]} = \frac{X}{m} = \frac{X}{M} \times \frac{R T}{P V}$$

となる。これを (%) と (ppm) で表現すると

$$d = \frac{100 \cdot X}{M} \times \frac{R T}{P V} \quad (\%)$$

$$\frac{10000 \cdot 100 \cdot X}{M} \times \frac{R T}{P V} = \frac{1000 \cdot (1000 \cdot X)}{M} \times \frac{R T}{P V} \quad (\text{ppm})$$

重量の単位変換をすると

$$X' = 1000X \text{ (ng)}$$

$$d = \frac{1000 \cdot X'}{M} \times \frac{R T}{P V} \quad (\text{ppm})$$

測定された濃度より、その中に含まれるオゾン量を求めると

$$X' = \frac{d \cdot M}{1000} \times \frac{P V}{R T} \text{ (mg/L)}$$

ここで、体積を $V(L)$ から $V'(m^3)$ に単位変換する。 $\frac{V}{1000} = V'$

$$X'' = d \cdot M \times \frac{P V}{R T} \text{ (mg/m}^3\text{)}$$

レハズ

さらに これを、体積で割ると単位体積あたりのオゾン量を求めることができる。

$$\frac{X''}{V'} = d \cdot M \times \frac{P}{R T} \quad (\text{mg/m}^3)$$

ここで $M = 48$ であるから
 $P = 1 \text{ (atm)}$
 $R = 0.082$
 $T = 300\text{K}$

1 m^3 あたり $x \text{ (mg/m}^3\text{)}$ とすると

$$x = \frac{X''}{V'} = d \times \frac{48}{0.082 \cdot 300} = 2 \cdot d \quad (\text{mg/m}^3)$$

1分間あたりに流出するオゾンの量 $OZ(\text{mg/min})$ は

$$OZ = f \cdot x = \frac{f \cdot d \cdot MP}{1000 \cdot RT} \quad (\text{mg/min})$$

1時間あたりでは $OZ' \text{ (mg/h)}$

$$OZ' = \frac{60 \cdot f \cdot d \cdot MP}{1000 \cdot RT} \quad (\text{mg/h})$$

このオゾンが流水にすべて溶けるとすると

流水の流量を $w t (\text{l/min})$ とすると、そのオゾン濃度 $WZ \text{ (mg/l)}$ は

$$WZ = \frac{OZ}{w t} = \frac{f \cdot x}{w t} = \frac{f}{w t} \cdot \frac{d \cdot MP}{1000 \cdot RT} \quad (\text{mg/l})$$

ここで $P = 1$ とすると

$$WZ = \frac{f}{w t} \cdot \frac{d \cdot M}{1000 \cdot RT} \quad (\text{mg/l}) \text{ or } (\text{ppm})$$

あらためて、上式の間係を説明すると

オゾン発生体から $d(\text{ppm})$ のオゾンガスが $f(\text{L})$ 発生して、
 そのすべてが、 $w t(\text{L})$ の流水に溶けた時の濃度となる。

さらに $1 \text{ (m}^3\text{)} = 1000 \text{ (L)}$ であるから。

$$WZ = \frac{f}{w t} \cdot \frac{d \cdot M}{RT} \quad (\text{mg/m}^3)$$

となる。

6 - 3 オゾンガスの水に対する飽和溶解濃度

オゾンは、お湯に対する融解度が悪い。以下の理由によると考えられる。

オゾンガスは水に対する融解度を (%) とすると

水 1 ℓ に対して溶解オゾンガスの重量を m (g) とする。

融解度 は $\frac{m}{1000} \times 100$

{オゾンの溶解量} = (1 ℓ) * (溶解度) であるから

$$(1 \text{ ℓ}) = 1 \times$$

$$\{(\text{溶解オゾンガスの重量}) = [(\text{融解度}) / (\text{気体モルの体積})] * (\text{気体の分子量})\}$$

$$m = (1 / 22.4) * 48 \dots (1)$$

オゾンの分子量は 48 とした。

(1)はオゾンガス 100(%)の雰囲気におけるもので混合気体の場合、分圧比を掛ける必要がある。

ここで注入オゾン濃度を (ppm) とすると、

$$= 10000 / (10000 * 100) = 1 * 10^{-6}$$

また分圧に定義より 1 気圧分圧 0 p は

$$O_p = \text{これと (1) より}$$

溶解オゾンガス濃度を m

$$m = m' * O_p = (48/22.4) * 1 * O_p = (48/22.4) * 1 * 10^{-6} \dots (2)$$

$$= (48/22.4) * 1 * (1 * 10^{-6})$$

(検算)

これより、水温 30 の時、融解率は 36 (%) となので

今回のオゾンガス発生量は 50(ppm) とすると

$$m = (48/22.4) * 0.36 * (20 * 10^{-6}) = 0.033(\text{ppm})$$

6 - 3 室内オゾン濃度

供給量 (発生体能力) X (mg / h)

供給時間 t (h)

損失 漏れ a = *X

分解 b = *X

損失係数

放出オゾン量 Z (m g)

$$Z = (X - (a + b)) * t = (X - (\text{漏れ} + \text{分解}) * X) * t = (1 - (\text{漏れ} + \text{分解})) * X * t$$

$$= X \cdot t \quad (\text{kg} \cdot \text{h})$$

このときの室内の

体積 V (m^3)

濃度 P (mg/m^3)

P (ppm)

$$P = Z/N$$

$$p = P/2 = Z/(2 \cdot V) = X \cdot t/(2 \cdot V)$$

故に

$$t = p \cdot 2 \cdot V / (X)$$

(例題) 今 OPW550 を使って室内除去を行った時

室内 $V = 60$ (m^3)

オゾン発生量 $X = 700$ (mg/h)

損失係数 $= 0.2$

オゾン濃度 $p = 0.5$ (ppm)

業種	オゾン濃度
通流産業	0.01 ~ 0.5 (ppm)
食品加工	0.01 ~ 0.1 (ppm)
病院	0.01 ~ 1.0 (ppm)
畜産業	0.01 ~ 0.03 (ppm)
住宅	0.01 ~ 0.03 (ppm)
大型建造物	0.02 ~ 0.5 (ppm)

参考

とすると、オゾン発生時間は

$$t = 2 \cdot p \cdot V / (X) = 2 \cdot 0.5 \cdot 60 / (0.2 \cdot 700) = 0.42 \quad (\text{h})$$

となる。

6 - 4 飛散オゾンガスの計算

実際に発生するオゾンガスの濃度を wz' としてまた、

その溶けるオゾンガスの溶解度を oz' とすると

$$oz' = wt \cdot wz' \quad (\text{mg} / \text{min})$$

また、実際電極の発生量は

$$oz = \frac{f \cdot M \cdot d}{1000 \cdot R \cdot T} \quad (\text{mg} / \text{min})$$

となり、一分間あたりの空気中への飛散量 $od(\text{mg} / \text{min})$

と、一時間あたりの空気中への飛散量 $OD(\text{mg} / \text{min})$ は

$$od = oz - oz' \quad (\text{mg} / \text{min})$$

$$OD = 60 \cdot od \quad (\text{mg} / \text{min})$$

となる。

また 1m³ あたりの発生量に換算すると

$$wz = \frac{f \cdot d \cdot M}{wt \cdot 1000 \cdot R \cdot T} \quad (\text{mg/L})$$

であるから

$$d : = \frac{wz \cdot wt}{f} \rightarrow \frac{1000 \cdot R \cdot T}{M} \quad (\text{ppm})$$

また d は $d : = \frac{x \cdot R \cdot T}{M}$ であるので

$$x : = 1000 \cdot \frac{wz \cdot wt}{f} \quad (\text{mg} \cdot \text{M}^3)$$

となる

6 - 4 オゾンガスの発生量

オゾンガス濃度 d (ppm)

エアー流量 1 (リットル / 分)

とすると、一時間あたりのオゾン発生量 (X) は

$$X = 2 \cdot d \cdot 1 \cdot 60 / 1000$$

となる

250 の場合

$$d = 850 (\text{ppm})$$

$$1 = 4 \quad (\text{リットル / 分})$$

$$X = 2 \cdot 850 \cdot 4 \cdot 60 / 1000 = 408 \quad (\text{mg} / \text{h})$$

1.オゾン発生電極の試作

オゾン発生電極の解析結果より
(図1)に示す基板を試作した。
これを、(図2)のように張り合わせて
試験電極とする。

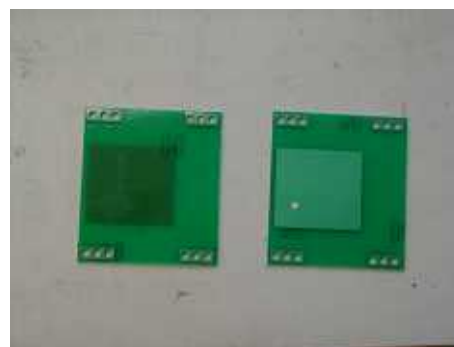
この電極を従来のオゾン発生電源に
取り付けた。(図3)

(図4)はその放電の様子。

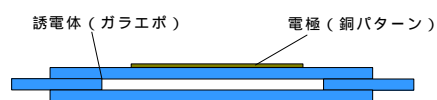
(図5)は放電電圧波形。

ピークのところで電流放出が
見られる。

(図6)は実験後の電極の様子
基板内のエポキシ樹脂が露出した。



(図1) 試作電極基板



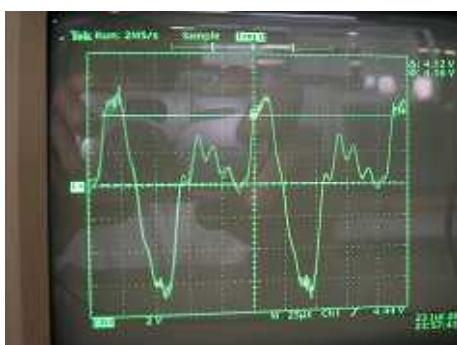
(図2) 試作電極構造



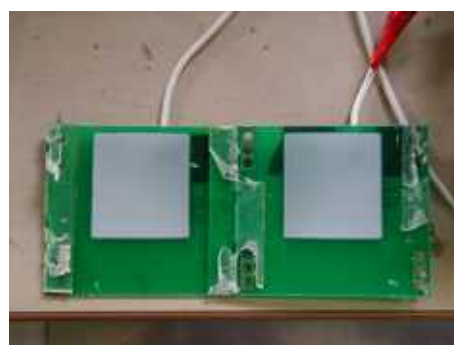
(図3) 実験風景



(図4) 放電の様子



(図5) 放電電流波形



(図6) 実験後の電極

2. 放電波形の比較

放電波形検証中ノイズ性波形があらわれる。

(図6 参照)

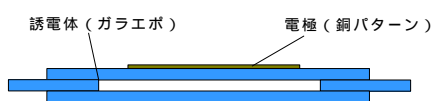
その検討の為、試作基板にて以下の実験を行った。

図5のように放電を抑える為、電極の間に誘電体(ガラス)を挿入して放電した。

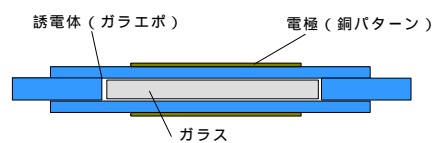


(図3) 試作基板

その時の波形が図7である。ノイズ性波形が確認できない。



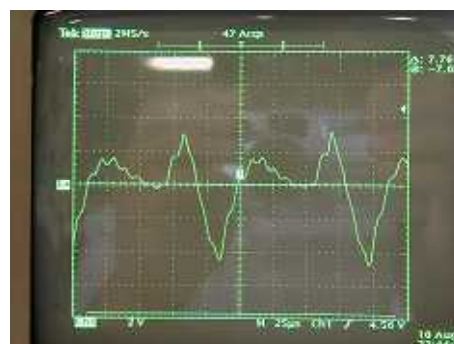
(図4) 試作基板断面



(図5) ガラスを挿入した



(図6) 図4の放電波形



(図7) 図5の放電波形

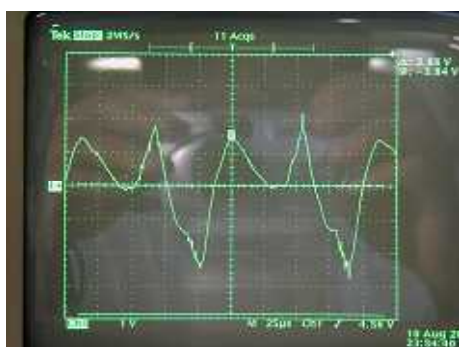
つまりこのノイズは電子の放電によるノイズである。



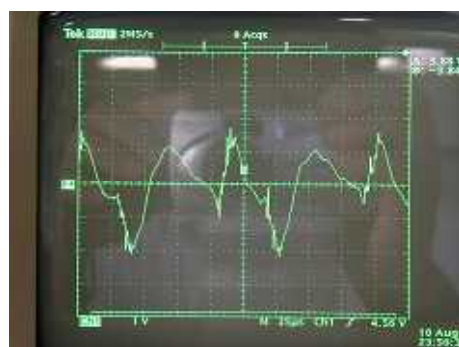
(図 8)



(図 9)



(図 10)



(図 11)

図 8 は従来の電極でその放電波形が図 10 です。

図 9 は新型の電極で図 11 がその放電波形です。

確かに、新型の方が優れているように思える。

しかし、放電すれば良いのではなく、酸素分子が励起したタイミングで放電させるのがよいとかがえる。

すると図 10 のほうが印加電圧のピークの近くで放電が起きている

しかし、図 11 では印加電圧の低いところから起きているため発生量は期待できない