

円筒型SPCPオゾナイザー技術資料

(株)増田研究所

1. 構造

株式会社増田研究所は、独自に開発したセラミックの表面に発生させる沿面放電によるプラズマ生成技術を Surface Discharge Induced Plasma Chemical Process (SPCP) と命名し、小型～中型のオゾナイザーとして製造・販売を行っている。SPCP オゾナイザーは図1に示すように高純度アルミナセラミックの外表面ないし肉厚内に円筒状の誘導電極を、また、内面に線状の放電電極を設けた構造のセラミック素子を用いているが、誘導電極と放電電極間に高周波の交流高電圧もしくはパルス電圧を印加すると放電電極よりセラミック表面に沿って沿面放電が発生する(図2)。この沿面放電は常温・常圧のガス中で電子温度(電子エネルギー)は高いが、イオン温度・中性分子温度は低い非平衡プラズマ(アーク放電・プラズマトーチなどの熱プラズマと対比される)を発生して、反応性に富むラジカルを大量に生成することができる。空気や酸素を原料ガスとしてこの沿面放電場を通過させると、酸素分子より酸素原子を効率良く生成し、その酸素原子と酸素分子が3体衝突により結合してオゾン分子が生成されるわけである。

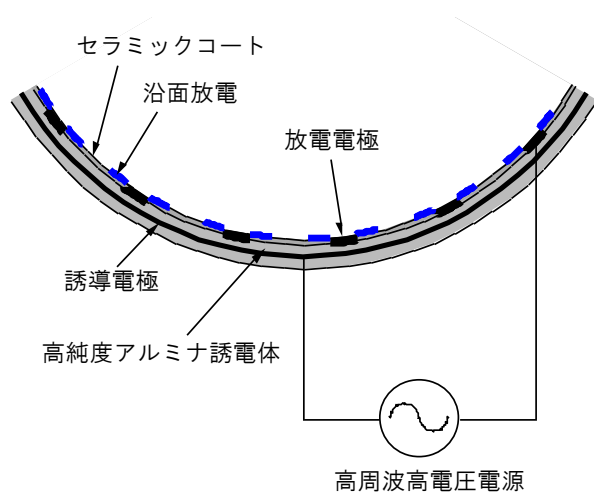


図1 SPCP オゾナイザーの電極構造

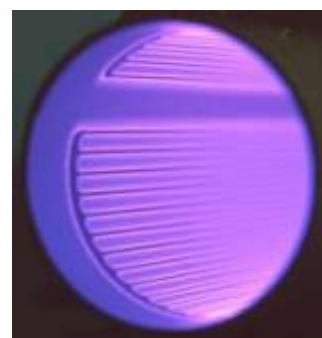


図2 沿面放電

2. 円筒型SPCP オゾナイザーの特徴

SPCP オゾナイザーは、前述の通りアルミナシート上にタングステンで放電電極と誘導電極を印刷し、アルミナシートとともに水素還元炉で一体焼結した複合セラミック素子(SPCPセラミック素子)を用いる。この時、タングステン電極とセラミックとの間にメタライズ層とよばれる中間層が形成され電極とセラミックが強固に接合される。また、沿面放電に

よるスパッタリングで放電電極が摩耗しないように内面全体にセラミックもしくはガラスのコーティングがされている。

SPCP セラミック素子には平板型ならびに円筒型があり、目的に応じて使用セラミック基板を選択できる。通常は、オゾナイザーとして用いる場合は円筒状の SPCP セラミック素子を用いている。

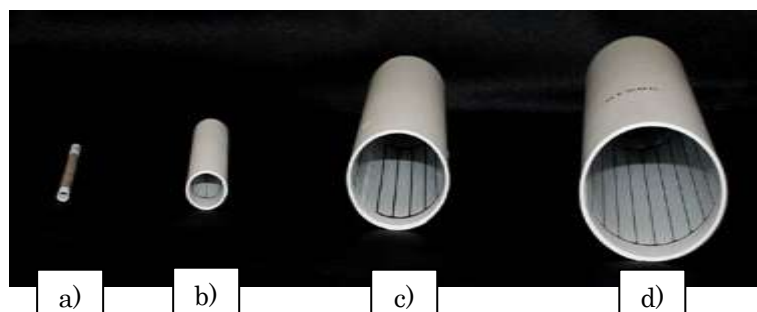
本 SPCP セラミック素子を用いたオゾナイザーの特徴は、

- 1) オゾン生成空間を効率良く冷却できること。
- 2) 電氣的・機械的・熱的に強固で信頼性が高く、寿命も長い。
- 3) 極低温にまで冷却でき、超濃度オゾンを生産することができる。

特徴 1) は、熱伝導率の良いアルミナセラミックを用いるうえに放電がセラミックに沿って発生するため放電空間を外部より効率良く冷却することができることによる。その結果、印加交流高電圧の周波数を無声放電型オゾナイザーの 1 桁以上高い ~ 20 kHz 程度まで大きくできる。オゾン生成量は周波数とともに増加するため、オゾン発生管単位体積当たりのオゾン生成量は大幅に大きくなり、オゾナイザーの小型化が可能となる。特徴 2) 3) は、アルミナセラミックとタングステンが広い温度範囲に渡って熱膨張係数が近く、アルミナセラミックの電氣的・機械的・熱的特性がそのまま発揮できることによる。また、放電電極は高純度のアルミナ薄層もしくはガラス被膜で放電による電極スパッタリングも防いでおり、オゾン発生管として非常に信頼性の高いものとなっている。特に、特徴 3) はオゾン発生効率ならびにオゾン発生濃度は低温になるほど、ともに上昇するため、超高濃度オゾン ($\sim 400\text{g}/\text{Nm}^3$) を生成することが可能となる。

3. 円筒型 SPCP セラミック素子の種類

円筒型 SPCP セラミック素子として基本的に図 3 に示す 4 種類（大きさ）がある。必要なオゾン濃度、発生量により用いる円筒型 SPCP セラミック素子を選択し、それに対応する容量の高周波高電圧電源と組み合わせてオゾナイザーを構成することができる。



- a) OC-05 : 6mm ϕ x 108 mmL; b) OC-20: 22mm ϕ x 130 mmL
c) OC-50: 56mm ϕ x 230 mmL; d) OC-70: 73mm ϕ x 300 mmL

図 3 円筒型 SPCP セラミックの種類

これらは全て冷却フィンを円筒型 SPCP セラミックの外周に取り付け、ファンで冷却する空冷式オゾナイザーとして使用する。ただし、d) C-70 に関しては、冷却方法として、水冷式、ヒートポンプ冷却式（ヒートポンプの蒸発器を直接 SPCP セラミックにとりつける）を選択することができる。

図 4 に示す様に OC-05 ()、OC-20、OC-50、OC-70 と円筒型 SPCP セラミック素子が大きくなると共にオゾン発生性能は増大する。使用する酸素流量も考慮し、必要なオゾン発生量に合わせて円筒型 SPCP セラミック素子を選択する。例えば、弊社で提供する PSA 酸素発生機は、1 ㍓/min、4 ㍓/min、8 ㍓/min があり、PSA 酸素発生機と組み合わせる場合は、PSA 酸素発生機のコストも含めて最も経済的なオゾナイザーシステムを提案できる。

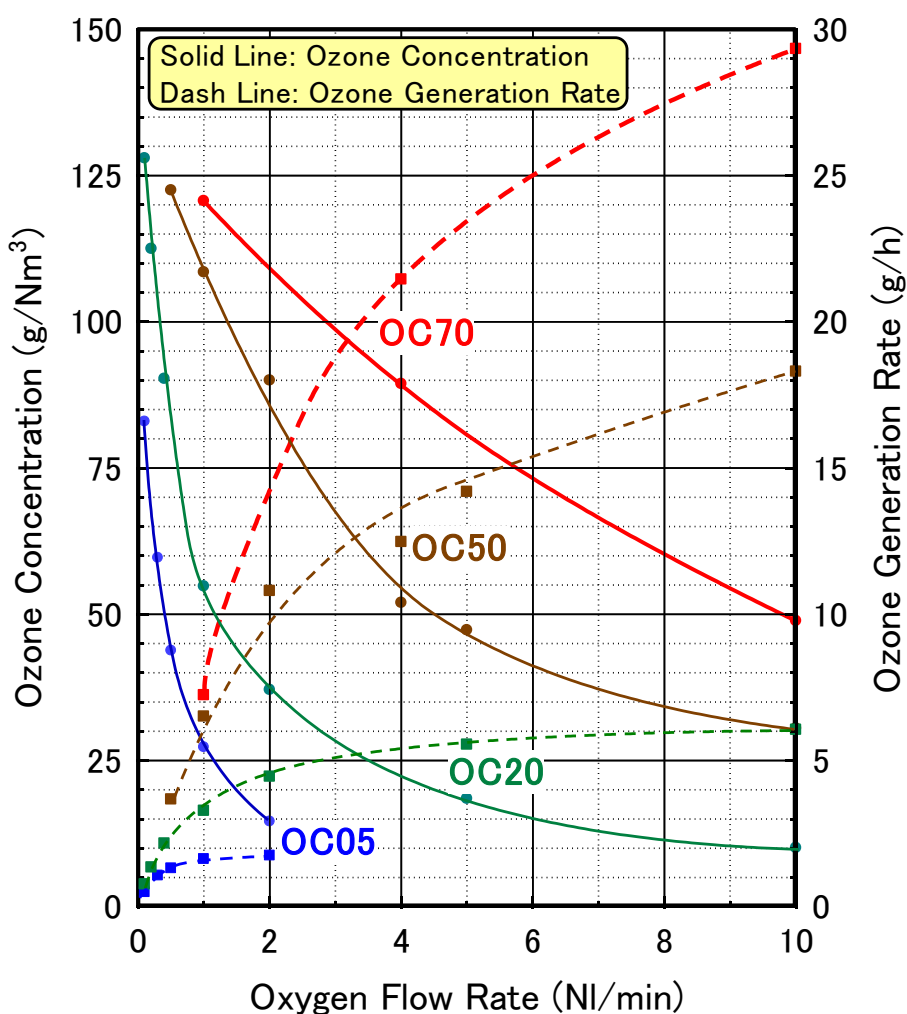


図 4 円筒型 SPCP セラミック素子の種類によるオゾン発生性能
(工業用酸素または PSA 酸素を使用)

4. 0C-70 の冷却方法のオゾン発生性能の変化

オゾン発生性能は円筒型 SPCC セラミック素子の温度により大きく変化する。例えば、0C-70 を空冷する場合、室温が 35°C に上昇すると 20°C の場合に比較して 10% 程度低下する。また、冷却方法を水冷 (0C-70 を直接冷却水に接触させる) した場合、さらに、ヒートポンプ回路の蒸発器を直接 0C-70 に接触した場合は 0C-70 の壁面温度が空冷に比較して大幅に低下するため、オゾン発生性能が増大する (図 5)。特に、酸素流量が低い場合において、オゾン発生濃度の大幅な増加が認められた。なお、図 5 において Air (図 5 の青ライン) は空冷を、Water (図 5 の緑ライン) は水冷を、HP1 (図 5 の茶ライン) はヒートポンプ回路を用い冷媒として R134A を用いた場合 (0C-70 の壁面温度が 10°C)、HP2 (図 5 の赤ライン) は同じくヒートポンプ回路と冷媒 R404A を用いた場合 (0C-70 の壁面温度が -30°C) を示す。なお、*O₂ Cooling* で示される赤点は導入酸素を -40°C まで冷却した場合を示す。この時、約 10% のオゾン濃度の増加が見込め 300g/Nm³ 以上の超高濃度オゾンが得られる。

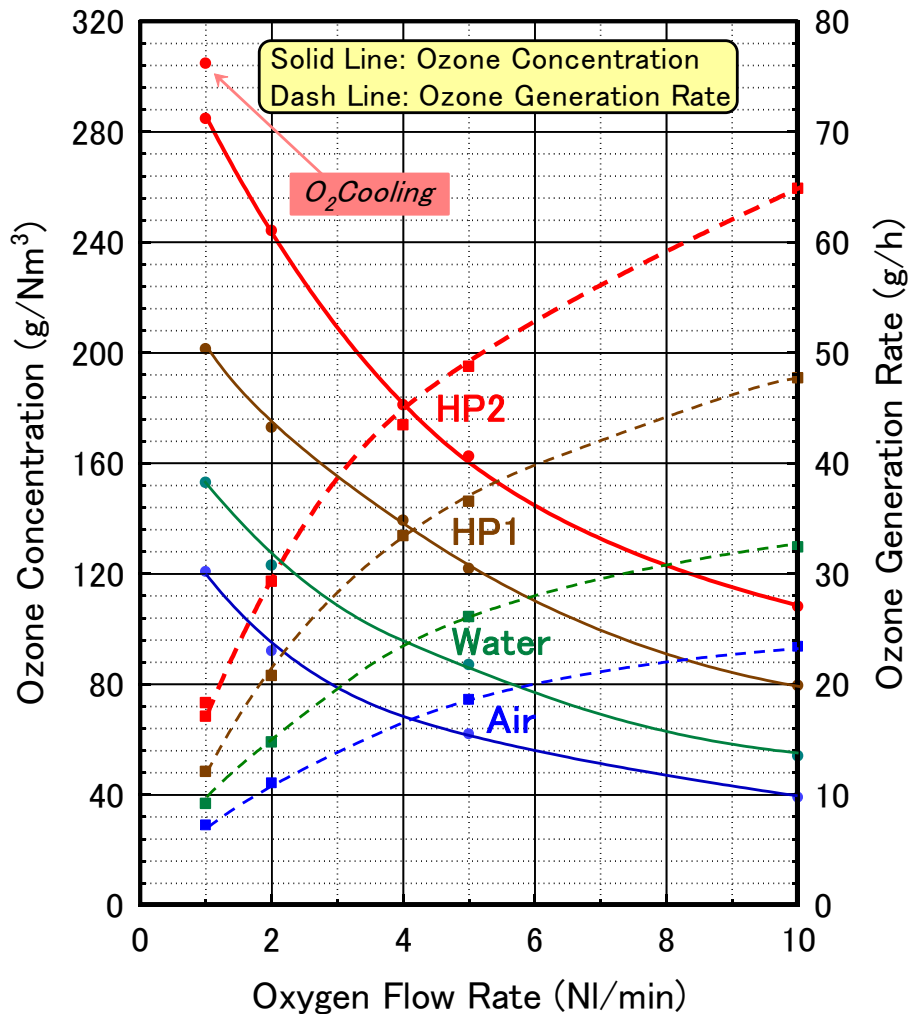


図 5 0C-70 の冷却方法によるオゾン発生性能の変化
(工業用酸素を使用)

5. OC-70 の直列接続本数を増加させた場合のオゾン発生性能の変化

円筒型 SPCCP セラミック素子は単独で使用することもできるが、直列に接続することで酸素流量を上げた場合に、発生オゾン濃度を大きく保つことができる。図6は OC-70（水冷）を2本（図6の緑ライン）及び3本（図6の茶ライン）を直列接続した場合を1本（図6の青ライン）のみ使用した場合の比較を示している。この場合も使用する酸素流量、特に PSA 酸素発生機との組み合わせで単独使用（または並列運転）した方がよいか、または、2本、3本と直列に接続した方がよいかを含めて最も経済的なオゾナイザーシステムを構築できる。

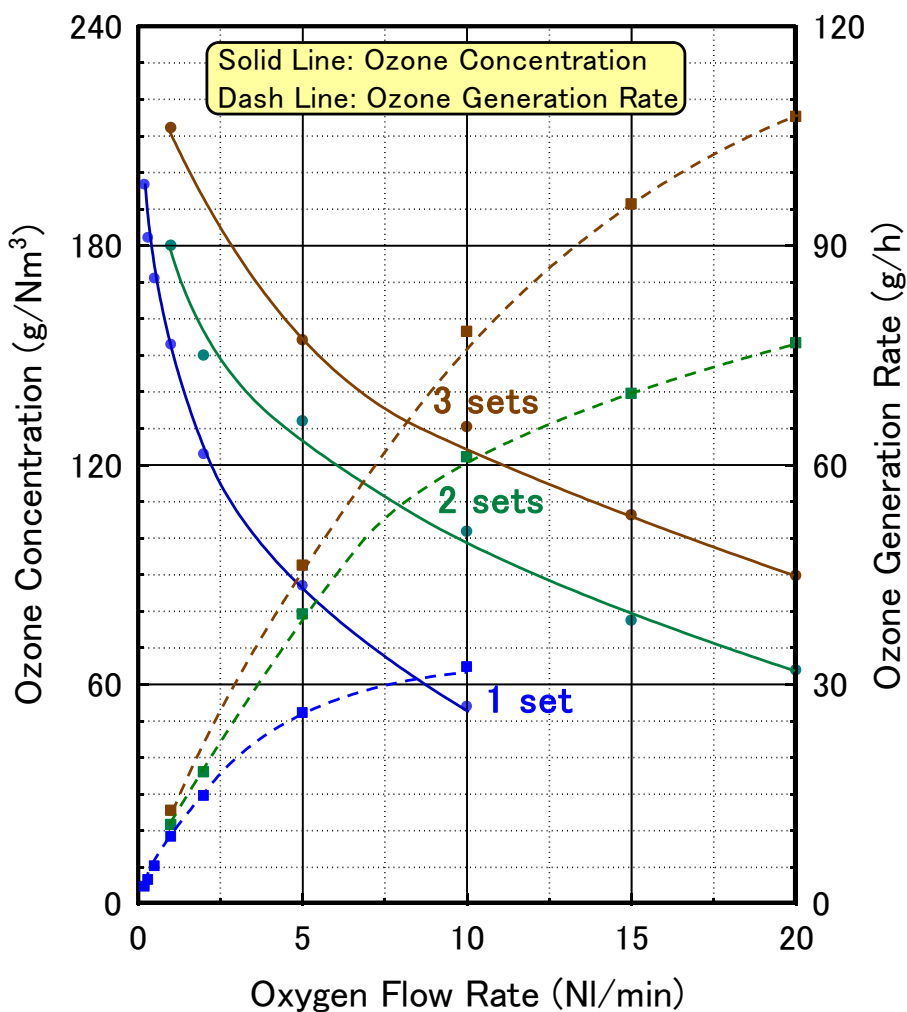


図6 OC-70の本数を増やした場合のオゾン発生性能の変化
(水冷、工業用酸素を使用)

図7はヒートポンプ回路と冷媒 R404A を用いた場合（0C-70 の壁面温度が-30℃）において、0C-70（放電電極間隔5mm）を2本（図7の緑ライン）及び3本（図7の茶ライン）を直列接続した場合を1本（図7の青ライン）で使用した場合の比較を示している。オゾン濃度ならびに発生量が水冷に比べ大幅な増加が認められ、3本直列酸素流量1ℓ/分の場合、400g/m³を越す高濃度オゾンが得られる。高純度酸素（99.9999%以上）を用いてもほぼ同程度のオゾン濃度が得られている。

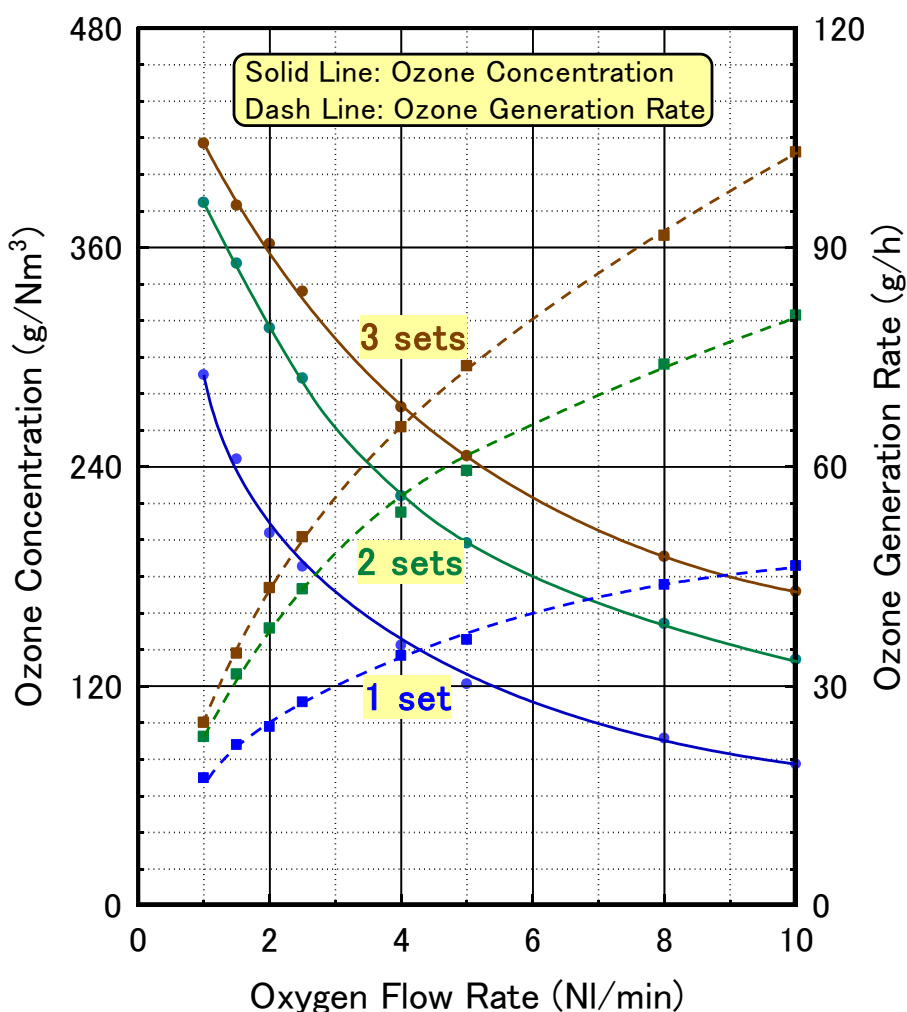


図7 0C-70の本数を増やした場合のオゾン発生性能の変化
（ヒートポンプ冷却-35℃、工業用酸素を使用）