

# 船内居住空間用商用電源を用いた大気圧プラズマ脱臭装置の開発

—プラズマ発生装置の開発—

佐久間 一行\*

## Development of atmospheric pressure plasma deodorizing equipment using commercial power supply for on-board ship living space

—Development of plasma generator device—

Ikko Sakuma\*

Compounds such as Dimethylsulfide generated by marine micro-organisms cause stench in coastal zone or on-board ship. The stench is sensory nuisance to cause healthy damage depending on a degree of the concentration. In on-board ship, deodorizing devices maintained by ship crews are required simple mechanisms and principles. I've just started this research, which aims to develop a deodorizing device for the stench by using atmospheric pressure plasma. Firstly, I manufactured plasma generator using two-dimensional electrode and carried out argon(Ar) gas discharge experiment. I also investigated difference in the existence of a gas wash bottle which adds odorant to plasma source gas. Ar plasma spectrum due to dielectric barrier discharge was observed by a spectrometer regardless of whether the bottle was used.

### 1. 緒言

船舶上や沿岸地域では、海水の成分由来ではない臭気が発生する。これは、海水中の微生物等の死がい分解されることで生じる硫化水素やジメチルスルフィド(DMS)[1]などの臭気を伴う化合物の影響である。臭気は、人間の感覚に作用するものであるため、その被害等には個人差があるものの、化合物の濃度によっては酸欠になるなどの人体への影響があり、感覚公害[2]として問題となる。また、ゴミ処理施設などでは、臭気を分解するために脱臭設備等が設置されているが、船舶においては限られた空間であることや洋上における故障対応は船員自らが実施する必要があることから、比較的簡便な構造である必要がある。

そこで、本研究では、こうした船舶上や沿岸地域での居住空間で取り込む空気の脱臭を目的とした大気圧プラズマを使用した脱臭装置の開発を行う。また、脱臭には、薬液洗浄、燃焼脱臭、吸着脱臭、オゾン脱臭などがあるが、本研究では、大気圧プラズマを利用することで、ガス、電極および電源と簡便

な装置で分解、脱臭できる装置を目指す。DMSの分解には、OHラジカル種が寄与する事が分かっており[3]、大気圧プラズマによるOHラジカルの発生は広く行われている[4, 5]。本研究では、大気圧プラズマ源の開発から臭気物質であるDMSの分解実験を行うことを目標に研究を行う。本論文では、実験装置およびプラズマ源の開発について述べる。

### 2. 実験装置

図1に大気圧プラズマ実験装置の概略図を示す。プラズマが生成される反応容器はパイレックスガラス製で両側をシリコン栓で封じており、ガスの流出入、電極の導入が出来る構造となっている。ガスは、洗気瓶を通すことで、実験装置に流入するガスに対して湿度などの液体の成分を含めることが可能である。臭気分解実験では、洗気瓶に水と臭気成分となるDMSなどを添加することで、プラズマの種ガスに臭気成分を含

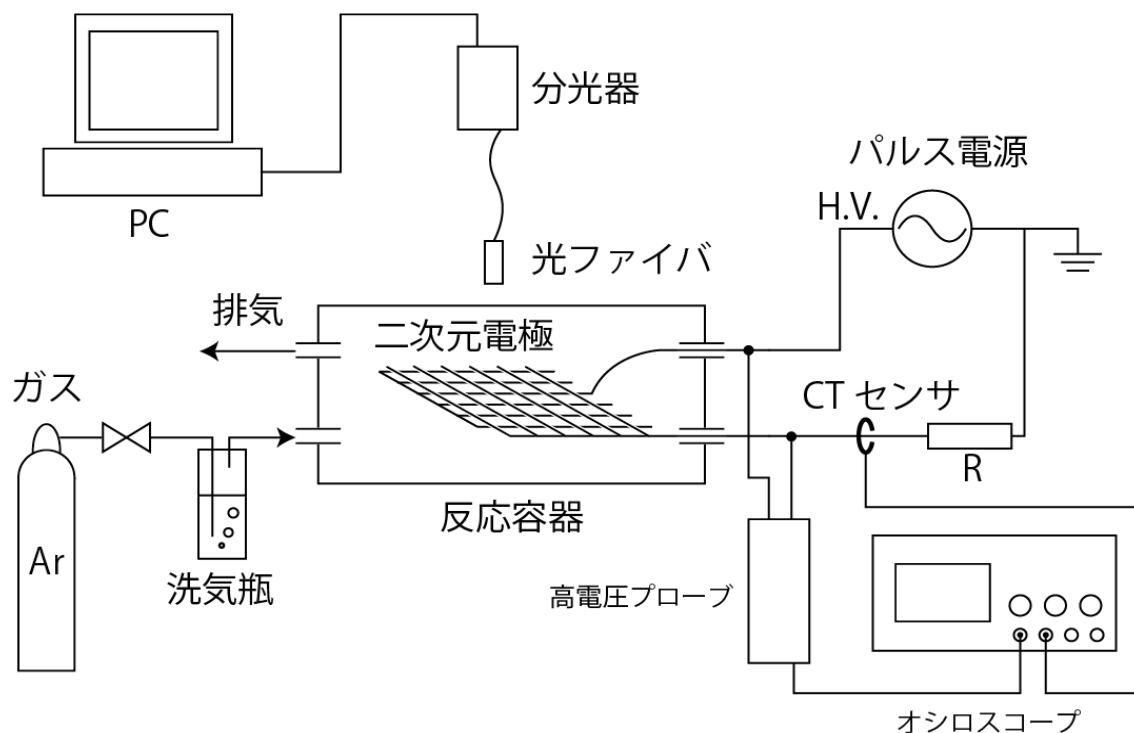
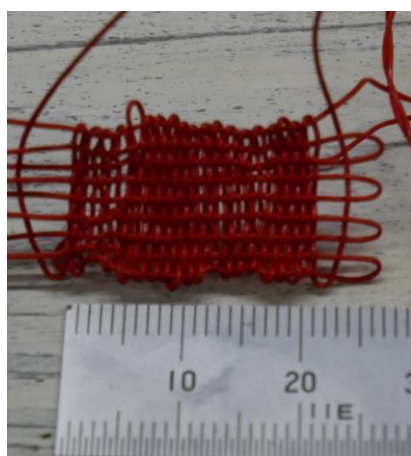
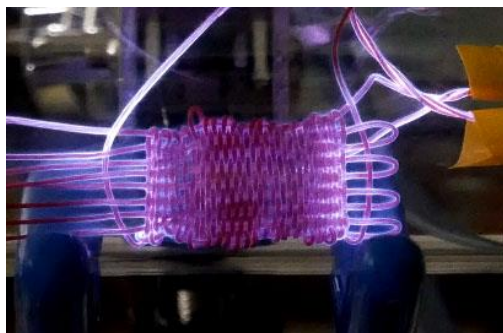


図1 実験装置概略図



(a) ファブリックシート電極

(b) Ar プラズマ放電時  
図2 二次元電極写真

ませで行う。本実験では、安定した放電を得るため準安定順位[6]の低い希ガスである Ar ガスを利用した。電極は、誘電体バリア放電[7]をさせるため、耐電圧の高いテフロン被覆線(TELEDYNE/REYNOLDS 社, 178-5132, 外径: 0.48 [mm], 導体径: 0.33 [mm])を用いた。図2に電極の写真を示す。大面積かつ形状が安定した電極として二次元電極であるファブリックシート電極[8]を作成した。ここでは、電極は 21 [mm] × 16 [mm]の大きさを持ち、縦糸の間隔は 1.4 [mm]で手作業によって製作した。これに、横糸に高圧線、縦糸は保護抵抗を経てアースへと接続し、電圧を印加した。放電時には、電極全体が Ar プラズマで覆われることが写真(図2(b))より分かる。一方で、電界が集中しやすいと考えられる両端などで発光が強くなっていることも分かる。電源は、将来的には商用電源を昇圧した電源を利用する予定であるが、本実験では、高電圧パルス電源(玉置電子工業株式会社製, TE-HVP1010K300-NP)を使用した。電源電圧波形は図3に示してあるように、パルス幅 5 [μs], 周波数 10 [kHz]の両極性パルスを持ち、負極性の電圧が大きい。実験では電圧を 2~7 [kV]の範囲で変化させて印加した。電極間に印加される電圧および回路に流れる電流の計測には高電圧プローブ(Instek 社製, GDP-050)およびCTセンサ(URD 社製, CTL-6-P-Z, 検出抵抗 100[Ω])を使用し、それぞれオシロスコープ(RIGOL 社製, DS1054)で波形を取得した。生成したプラズマの計測は、光ファイバによってプラ

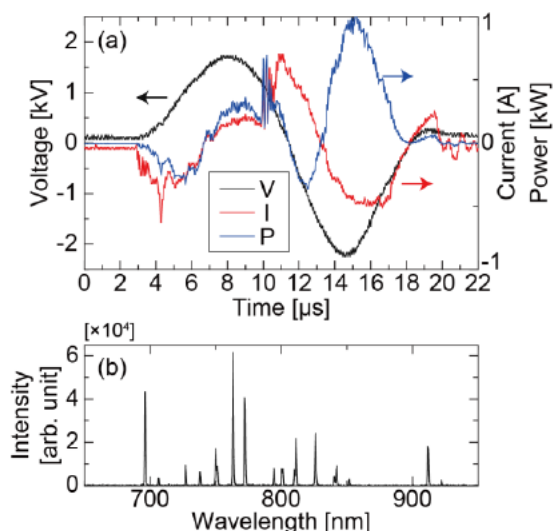


図4 Ar プラズマ放電波形：洗気瓶無し  
(a)Ar 流量：2 l/min, 電源電圧：5 kV, (b)プラズマ放電時の発光分光計測結果

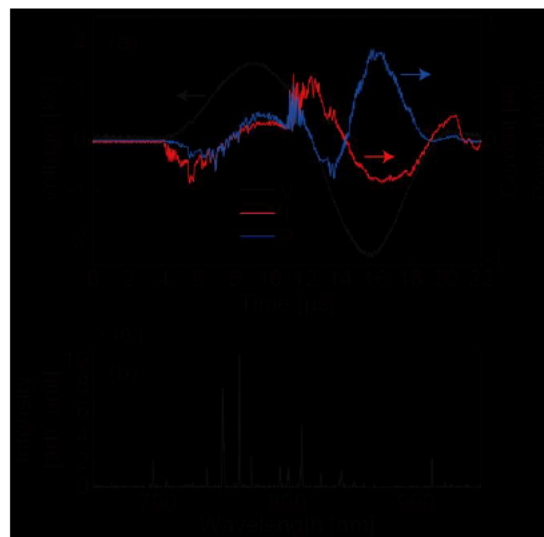


図5 Ar プラズマ放電波形：洗気瓶有り  
(a)Ar 流量：2 l/min, 電源電圧：5 kV, (b)プラズマ放電時の発光分光計測結果

ズマからの発光を採光し、分光器(Avantes 社製, Avaspec-3648, 計測波長：200–1100 [nm])による発光分光計測を行った。

### 3. 実験装置

#### 3. 1 パルス電圧放電実験

##### 3. 1. 1 洗気瓶無し

洗気瓶を通さない流量  $2 \text{ [l min}^{-1}\text{]}$  の Ar ガスを用いて放電実験を行った。電源電圧は  $2\text{--}5 \text{ [kV]}$  で変化した。誘電体バリア放電時の電極間電圧  $v(t)$ 、電流  $i(t)$  および電力  $p(t)$  として、図 4(a) に電源電圧  $5 \text{ [kV]}$  の時の放電波形を示す。ここで、電力は、各時間における電圧と電流の積より求めた。放電波形では、放電に伴い電流が流れていることが確認できる。電流の位相が電圧に比べ  $1 \text{ [μs]}$  程度ずれているが、これは電極の持つ誘導成分によるものと考えられる。また、電極間に印加される電圧は  $-2.2\text{--}1.7 \text{ [kV]}$  であり、電流は、 $-0.62\text{--}0.70 \text{ [A]}$  で変化しており、電力は最大  $\sim 1 \text{ [kW]}$  程度であることがわかる。分光計測結果について、図 4(b) に電源電圧  $5 \text{ [kV]}$  の発光強度の波長分布を示す。得られたスペクトルは NIST Atomic Spectra Database Lines Form[9] を参照して Ar I の原子線スペクトルであることを確認した。例えば、特に発光強度の強い  $763.51 \text{ [nm]}$  のスペクトルは Ar I の原子線スペクトルである。

##### 3. 1. 2 洗気瓶有り

次に、洗気瓶に通した流量  $2 \text{ [l min}^{-1}\text{]}$  の Ar ガスを用いた。湿気を帯びたことで、放電開始電圧が上昇しており、電源電圧は  $4\text{--}7 \text{ [kV]}$  の範囲で変化した。図 5(a) に電源電圧  $5 \text{ [kV]}$  の放電電圧、電流および電力波形を示

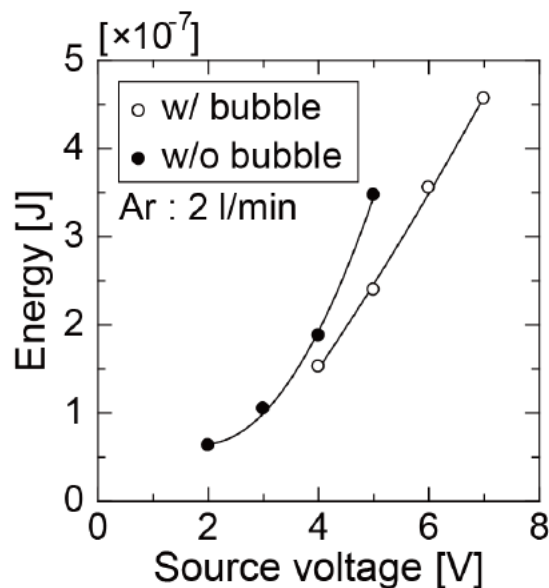


図6 電源電圧—消費エネルギー特性

す。電極間に印加される電圧は  $-2.3\text{--}1.5 \text{ [kV]}$  であり、電流は、 $-0.31\text{--}0.44 \text{ [A]}$  で変化しており、電力は最大  $0.7 \text{ [kW]}$  程度であり、Ar ガスが湿度を持つことで、流れる電流が減少していることが分かる。図 5(b) に分光計測結果を示す。Ar ガスが湿気を帯びることで、電流と合わせて発光強度も低下していることがわかる。

#### 3. 2 電源電圧—消費エネルギー依存性

放電実験によって得られた電力波形に対してサンプリング時間から、各時間における消費エネルギーを求めることが出来る。そこからさらに、その和を

計算することで放電による消費エネルギーが得られる。

$$E_c = \sum p(t) \times s$$

ここで、 $s$  [sec]はサンプリング時間、 $E_c$  [J]は1パルスにおける消費エネルギーを表す。

図6に電源電圧  $e$  と消費エネルギー  $E_c$  との依存性を示す。湿気の有無によって、電源電圧が異なるが、電力は Ohm の法則より、電圧の二乗に比例するため、図6のグラフについても2次多項式による近似曲線を描くと、一致することがわかる。ここから、電源電圧を上げることでより高温なプラズマを得られることが見込まれる。

#### 4. 結言

本研究では、大気圧プラズマによる臭気分解装置のプラズマ源の開発を行い、プラズマの生成に成功した。今後は、商用電源でのプラズマ発生を目指すと共に、実際に物質を分解する上で必要となる OH<sup>-</sup>などのイオンやラジカル種などの発生させるように放電条件やプラズマの種ガスの最適化を行う予定である。

#### 参考文献

- [1] 永尾 一平：低温科学 (72), 1-14, (2014).
- [2] 環境省環境管理局大気生活環境室：臭気対策行政ガイドブック, (2002).
- [3] 田中 茂：エアロゾル研究 (9巻, 2号), 120-126, (2014).
- [4] 飯島 崇文 他：東芝レビュー (61巻, 8号), 40-43, (2006).
- [5] 金澤 誠司 他：静電気学会誌 (34巻, 1号), 14-18, (2010).
- [6] O. Sakai *et al* : J. Phys. : Conference Series (86), 012015, (2007).
- [7] 佐藤照幸：プラズマ・核融合学会誌 (69巻, 2号), 102-110, (1992).
- [8] U. Kogelschatz : Plasma Chemistry and Plasma Processing (23, 1), 1-46, (2003).
- [9] NIST Atomic Spectra Database Lines Form : [https://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/lines\\_form.html](https://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/lines_form.html)