

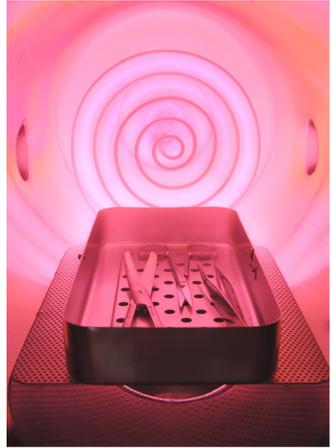
# 人と環境とに完全に安全無害な高速低温酸素プラズマ滅菌

1.株式会社ウドノ医機 / 2.九州大学 / 3.佐賀大学

## 背景および目的：

滅菌・殺菌や防衛技術は医療はもとより食糧の鮮度保持から農業に至るまで、地球上の生活のあらゆる場面で日常的に利用されています。一方、果てしない宇宙空間にありながら人間が生活できるのは非常に限られた密閉された空間です。今後宇宙船や宇宙ステーション内で恒常的に殺菌や防衛を行うためには、人と船内環境に無害で安全な滅菌技術が不可欠です。また、今後盛んになる惑星探査の際には、菌やウイルスを地球から持ち出さない・地球に持ち込まないことが求められます。従って、宇宙船の効率的な滅菌も宇宙探査には必要な技術となります。

酸素プラズマ滅菌法は短寿命の活性酸素により滅菌を行います。原料は空気のみで薬剤フリーであり、電気だけで動作します。滅菌後のプラズマは瞬時に空気に戻るため、薬剤の残留もなく環境にも無負荷です。本研究では、酸素プラズマ滅菌法を宇宙船内などの閉鎖空間で使用するための動作パラメーターの決定、および酸素プラズマによる宇宙船の滅菌の可能性を探ることを目的とします。



## 1. プラズマ応用技術による宇宙機外表面滅菌

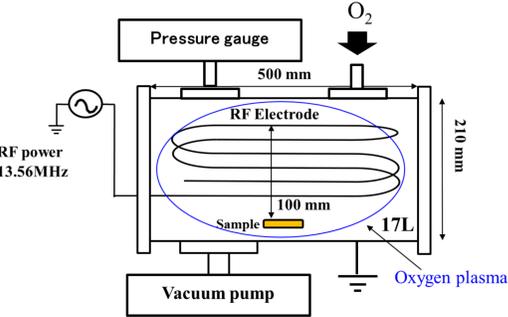
背景：生命探査を含む多くの宇宙機が地球上の細菌を付着させた状態  
→ 惑星汚染, 惑星検疫システム構築の重要性

目的：プラズマ応用による、宇宙機滅菌器の開発  
研究目標：宇宙機外表面に使用されているポリイミドフィルムに対して低圧高周波酸素プラズマを照射し、その滅菌特性および素材適合性を調査する。

### 実験方法：

真空チャンバー内で酸素ガスを用いた容量結合型プラズマを生成し、芽胞菌 (*Geobacillus stearothermophilus*) を塗布したポリイミドフィルムに照射することによって滅菌する。

### 実験装置図



実験1. 滅菌可能な条件を調査した。滅菌対象は芽胞菌を塗布したポリイミドフィルムで菌数は  $4.0 \times 10^3$  個。

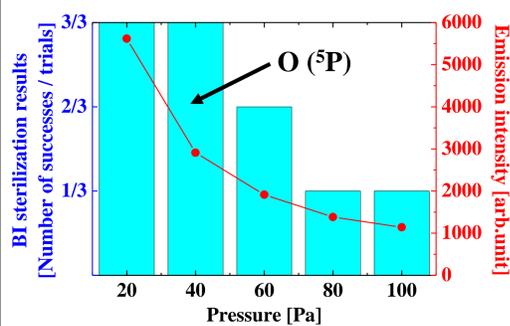
実験2. 滅菌処理中の発光スペクトルを計測し、滅菌因子を調査した。

実験3. ポリイミドフィルムに5時間の酸素プラズマ処理を行い、未処理に対する長時間処理後の化学組成の存在率変化をFTIRで調べた。

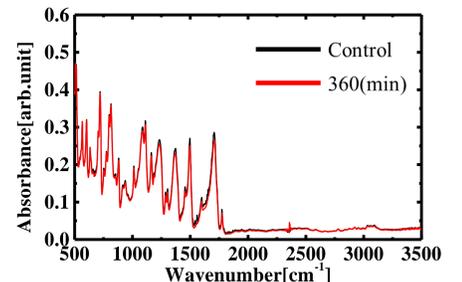
### 1. 滅菌評価 結果：

| BI 滅菌結果 | 20Pa | 40Pa | 60Pa | 80Pa | 100Pa |
|---------|------|------|------|------|-------|
| 120min  | 3/3  | 3/3  | 3/3  | 3/3  | 3/3   |
| 60min   | 3/3  | 3/3  | 3/3  | 3/3  | 3/3   |
| 30min   | 3/3  | 3/3  | 2/3  | 1/3  | 1/3   |

### 2. 滅菌因子の調査 結果：



### 3. 素材の化学組成変化 結果：



### 4. 素材適合性の評価 結果：

| 化学組成存在率 |        |
|---------|--------|
| C-C     | 99.30% |
| C-O-C   | 96.40% |
| C-N     | 94.40% |
| C=C     | 92.60% |
| C=O     | 92.90% |
| 全波数の平均  | 94.97% |

### 総括：

- 表面に菌数  $4.0 \times 10^3$  を塗布したポリイミドフィルムに対し、**低圧高周波酸素プラズマ照射で滅菌処理が可能**である。
- ポリイミドフィルム上の主な滅菌因子は**五重項酸素原子**であることが分かった。
- 長時間酸素プラズマ照射後のポリイミドフィルムの化学組成の存在率は**94.97%**と高い適性を示した。

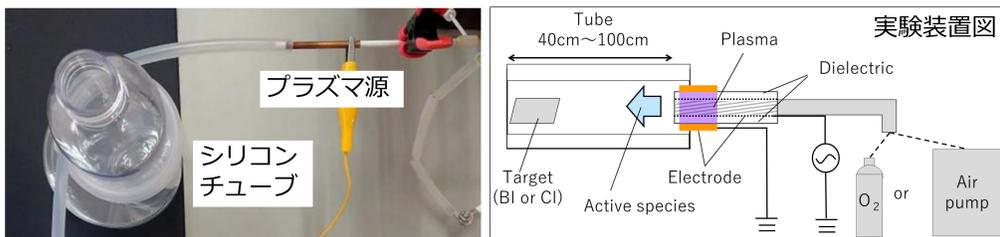
## 2. プラズマ応用技術によるチューブ内滅菌

背景：プラスチック製チューブの滅菌には、低温滅菌が可能な化学薬品を使用  
→ 薬害リスク, 薬品の除去に数時間以上必要

目的：プラズマ応用による、化学薬品を使用しないチューブ内滅菌の実現  
研究目標：内径2mm長さ100cmの細管内の細菌芽胞  $10^6$  個を不活化

### 新たに提案する滅菌方法：

大気圧空気プラズマから生成される中性な長寿命活性粒子（オゾン,  $\text{NO}_x$ ）をチューブ内に流通し、チューブ内壁を滅菌する。



実験1. 滅菌可能な条件を調査した。滅菌対象は紙状BIで菌数は  $10^4 \sim 10^5$  個。

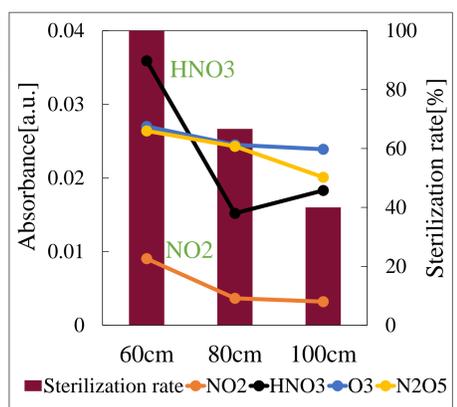
実験2. 内径4mmにおける滅菌成功率と生成気体の存在量をFTIRにて比較し、殺菌因子を調査した。

実験3. PET, ポリ塩化ビニル, シリコンゴムについて内径2mm長さ60cmのとき、未処理に対する10時間処理後の化学組成変化比率をFTIRで調べた。

### 1. 滅菌評価 結果：

| チューブ長 処理時間 | 40 cm | 60 cm | 80 cm | 100 cm |
|------------|-------|-------|-------|--------|
| 内径4 mm     |       |       |       |        |
| 15 min     | 0/3   | 0/3   | -     | -      |
| 30 min     | 3/3   | 3/3   | 1/3   | 0/3    |
| 60 min     | 3/3   | 3/3   | 2/3   | 2/5    |
| 内径2 mm     |       |       |       |        |
| 15 min     | -     | 1/3   | -     | 1/3    |
| 30 min     | -     | 3/3   | 2/3   | 1/3    |
| 60 min     | -     | 3/3   | 3/3   | 0/3    |
| 120 min    | -     | -     | -     | 3/3    |

### 2. 殺菌成分の調査 結果：



### 3. 素材の化学組成変化 結果：

|              | PET        | ポリ塩化ビニル     | シリコンゴム     |
|--------------|------------|-------------|------------|
| 最大組成変化率      |            | C=O + 26.3% |            |
| 酸化による最大組成減少率 | C-H - 9.1% | C-Cl - 7.7% | C-H - 5.2% |

### 総括：

- 目標である内径2mm長さ100cmでの滅菌を、菌数  $10^6$  個にて成功した。  
→ 菌数  $10^6$  個のサンプル作成に難あり。今後の課題である。
- 殺菌成分に  $\text{NO}_x$  があることが重要と分かった。  
→ 排気課題がある  $\text{NO}_x$  に頼らない、低圧酸素プラズマ滅菌法の確立が必要。
- 本滅菌方法は、シリコンゴムに対して高い素材適合性を示した。