

# 大気圧低温プラズマ生成装置の 開発および滅菌への応用

琉球大学 工学部 電気電子工学科  
教授 米須 章

# 従来 of 主な滅菌法とその問題点

## 高圧蒸気滅菌法

- 短時間での処理が可能
- × 耐熱性・耐湿性の低い器具の処理が不可能

## 酸化エチレンガス滅菌法

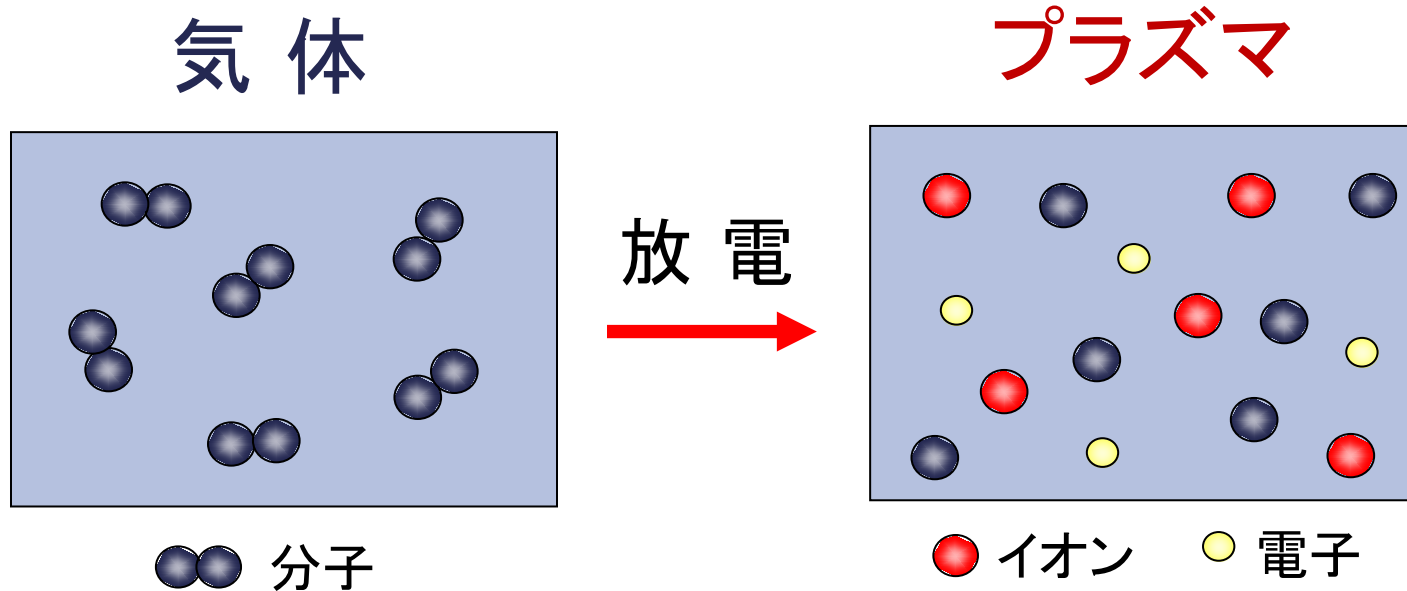
- 低温での処理が可能
- × ガスの残留毒性が高い
- × 処理時間が長い



従来技術に替わる新しい滅菌法

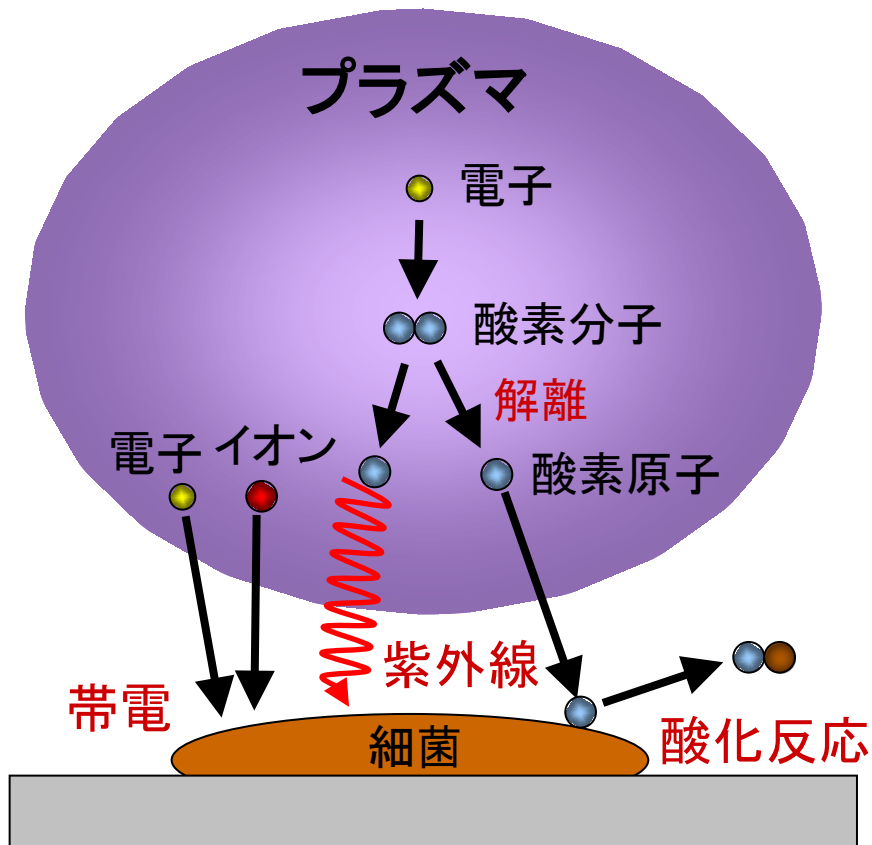
プラズマ滅菌法

# プラズマとは？



プラズマ中では、電子等が非常に高いエネルギー(数万度)を持ち、また、化学反応性に富んでいる。

# プラズマ滅菌法の原理



プラズマ中に発生する**酸素ラジカル**、**紫外線**、**荷電粒子**などの以下の作用により菌を死滅させる。

- 酸素ラジカル → 細菌の細胞との酸化反応
- 紫外線 → DNAへのダメージ
- 荷電粒子 → 細胞へ帯電し、静電気力による細胞膜の破壊

# プラズマ滅菌法の特長

プラズマ滅菌法は、他の滅菌法に比較して以下のような優れた特長を持つ。

- ・酸素ラジカルは残留性がなく、安全性が高い。
- ・ガス温度が低く、低温で滅菌処理できる。
- ・ドライプロセス。
- ・芽胞、ウイルス、真菌の滅菌が可能
- ・短時間での滅菌処理が可能

# 大気圧低温プラズマ

## 熱プラズマ

(熱平衡プラズマ)

電子温度  $\approx$  イオン温度  $\approx$  ガス温度

- ・ 通常大気圧力下で生成



## 低温プラズマ

(非平衡プラズマ)

電子温度  $\gg$  イオン温度  $\approx$  ガス温度

- ・ 通常低ガス圧力下で生成



## 大気圧低温プラズマ (大気圧非平衡プラズマ)

電子温度  $\gg$  イオン温度  $\approx$  ガス温度

- ・ 大気圧力下で生成
- ・ 低ガス温度

プロセス

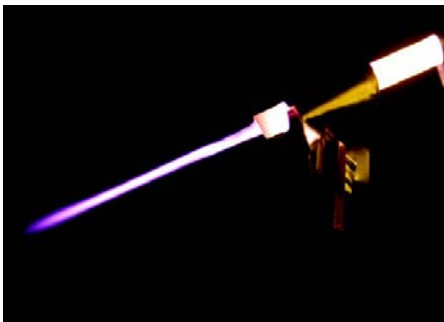
- ・ 連続処理
- ・ 低温プラズマ表面処理

# ハイブリッドプラズマ

## LF プラズマジェット

数kHz程度の電圧を電極間に印加し、生成されるプラズマ

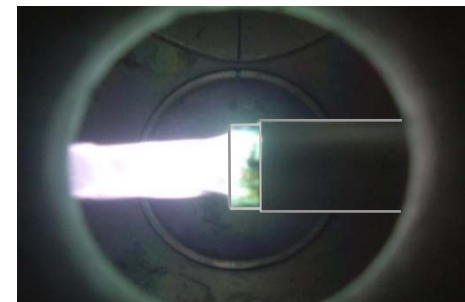
- ・ 大気圧低温プラズマ
- ・ 大気圧下でも生成が容易
- ・ 低ラジカル密度



## マイクロ波プラズマ

2.45GHzのマイクロ波をガスへ照射し生成されるプラズマ

- ・ 高電子温度
- ・ 高ラジカル密度
- ・ 大気圧下での生成が容易ではない。



# ハイブリッドプラズマ

LF プラズマジェット

マイクロ波プラズマ

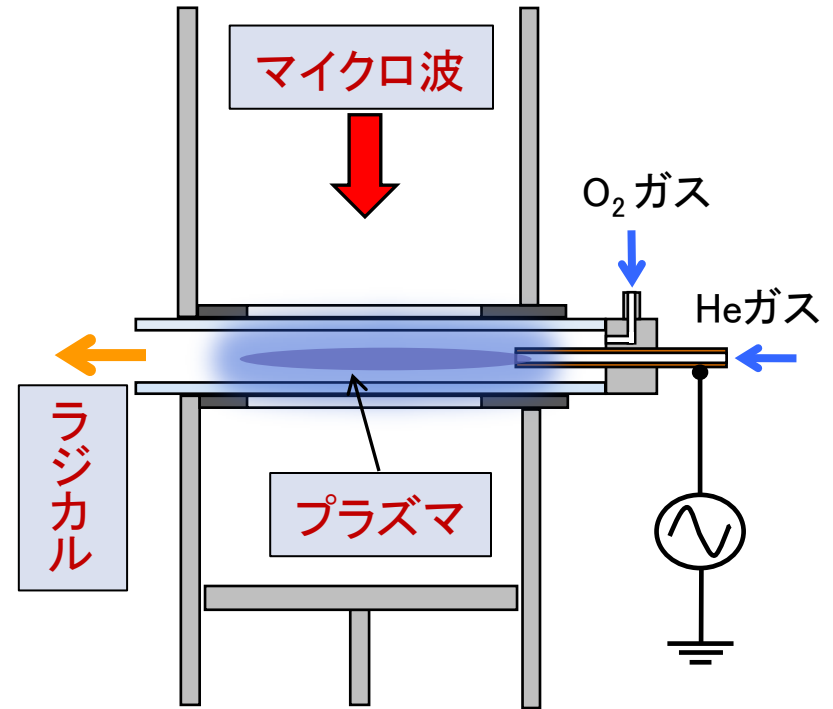
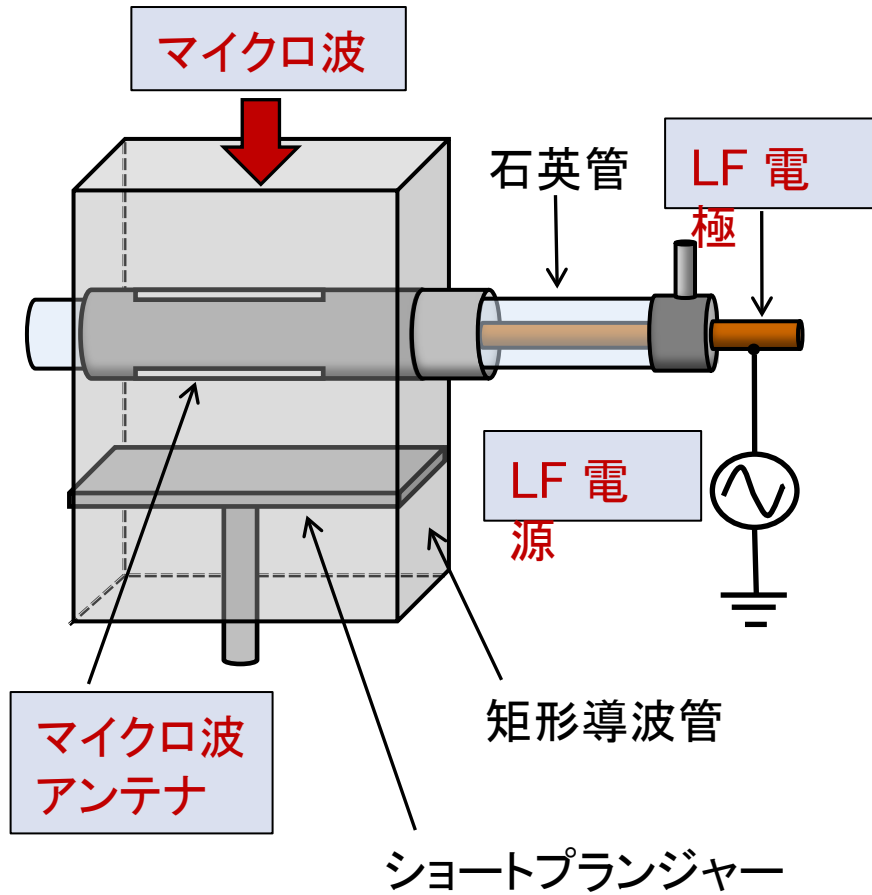
LF-マイクロ波  
ハイブリッドプラズマ

- ・ 大気圧低温プラズマ
- ・ 高ラジカル密度

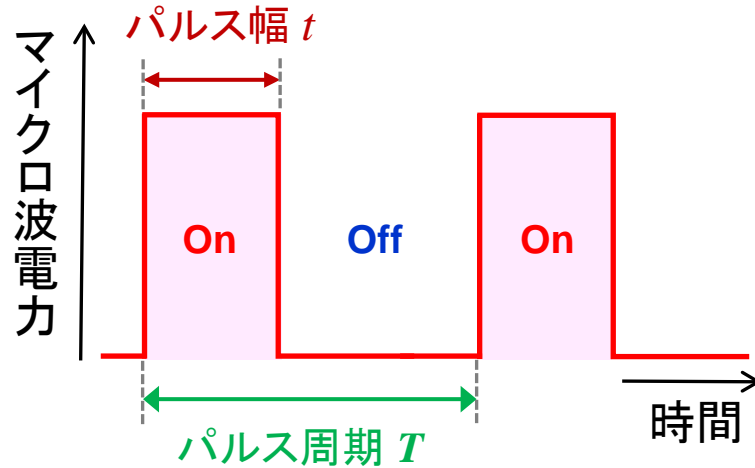
プラズマ滅菌



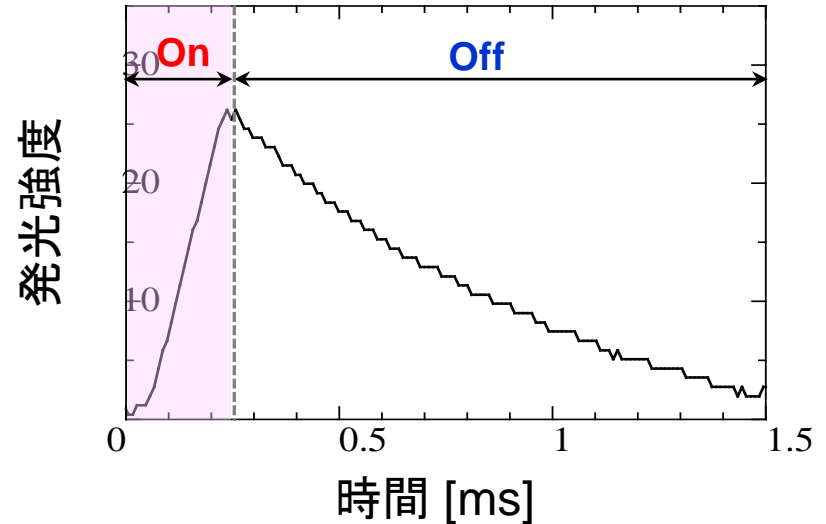
# 大気圧低温プラズマ生成装置



# パルス変調マイクロ波



$$\text{デューティー比} = \frac{t}{T} \times 100\%$$



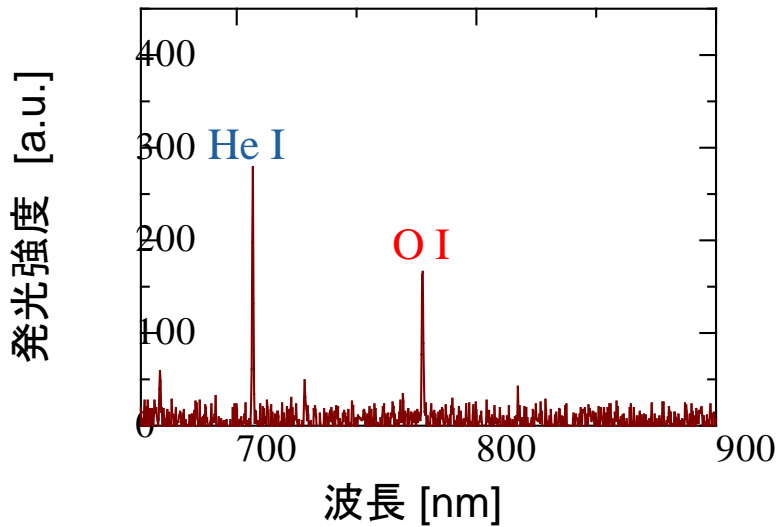
パルス幅 0.25 ms  
パルス周期 1.5 ms  
デューティー比 17%

パルス変調マイクロ波のデューティー比を変化させプラズマパラメータを制御。

# ハイブリッドプラズマ

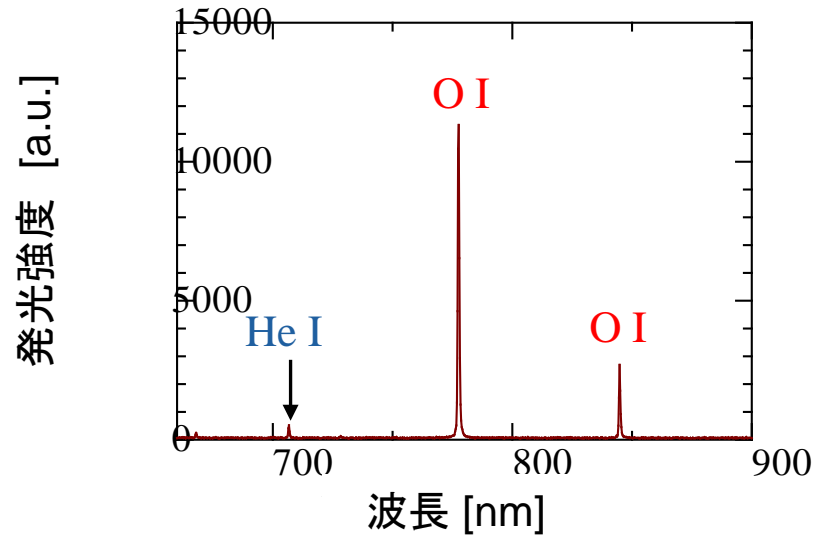
LF プラズマジェット

(LF電圧のみ)



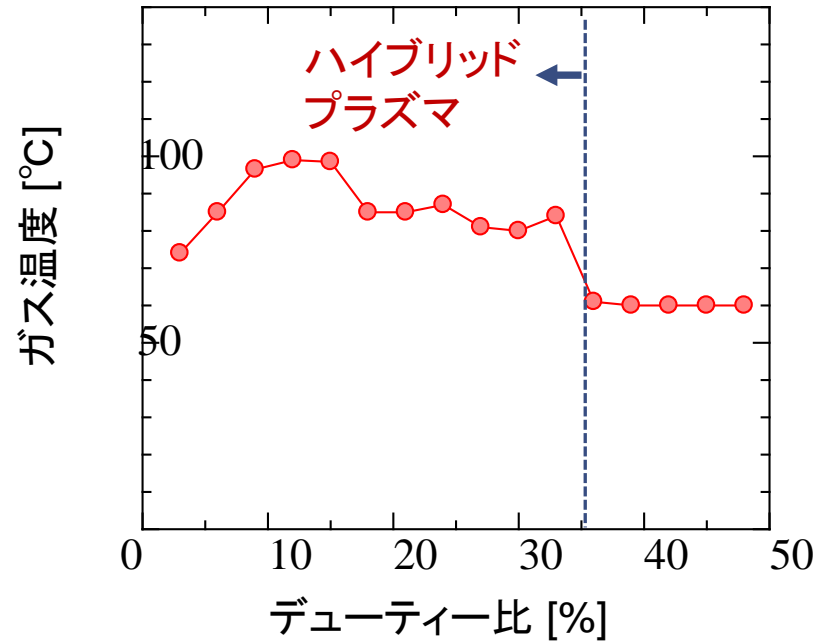
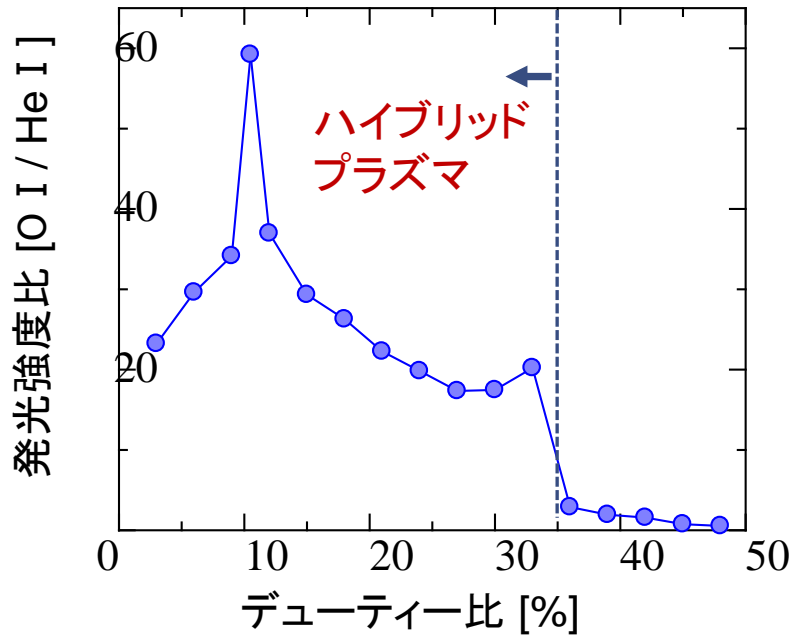
ハイブリッドプラズマ

(LF電圧 + マイクロ波)



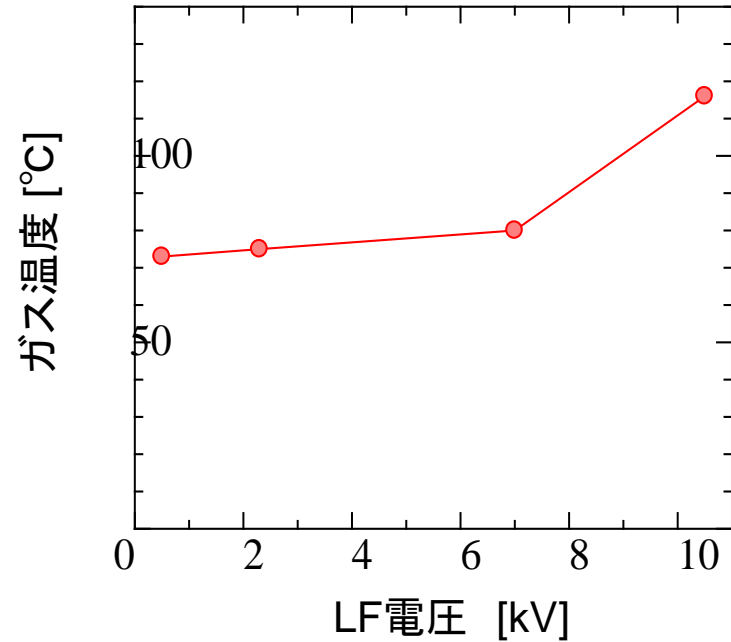
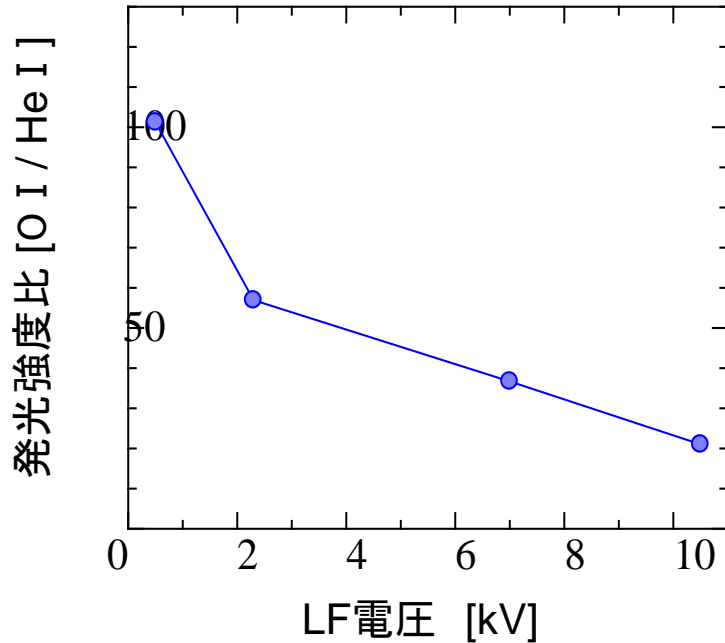
LFプラズマジェットに比べ、ハイブリッドプラズマでは生成される酸素ラジカル量が著しく増加。

# ハイブリッドプラズマ



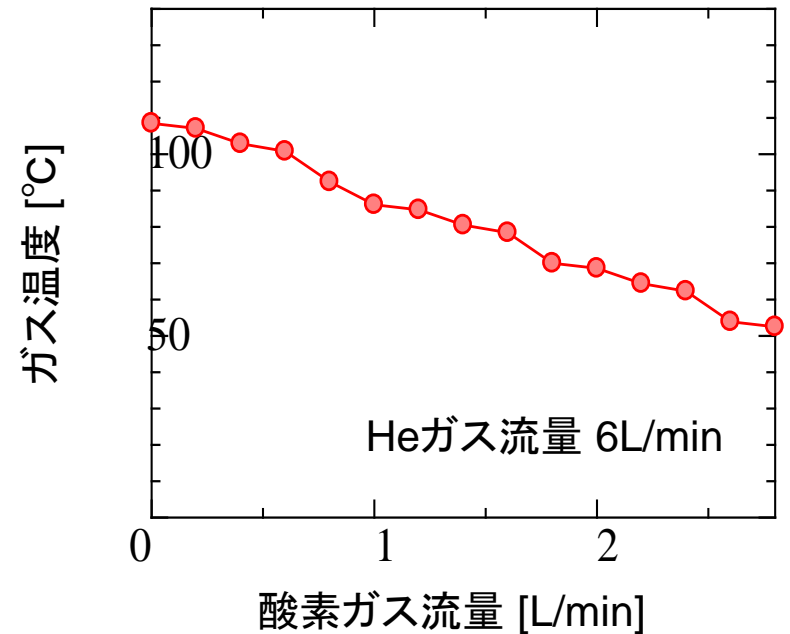
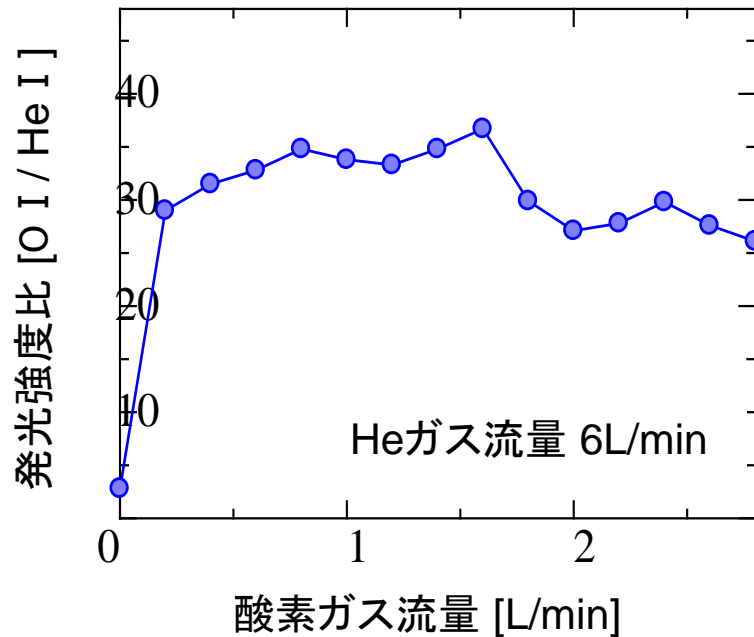
パルス変調マイクロ波のデュティー比により、酸素ラジカル生成量とガス温度が制御可能。

# ハイブリッドプラズマ



LF電圧を上昇させると酸素ラジカル量は減少し、ガス温度は上昇。

# ハイブリッドプラズマ

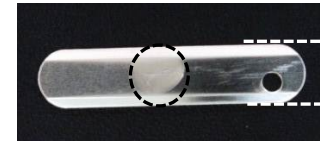


酸素ガス流量の上昇とともにガス温度は緩やかに減少。

# プラズマ滅菌試験

バイオロジカルインジケータ

- ・ *Geobacillus stearothermophilus* 菌
- ・  $3 \times 10^6$  CFU



5mm

プラズマ  
滅菌処理



培養

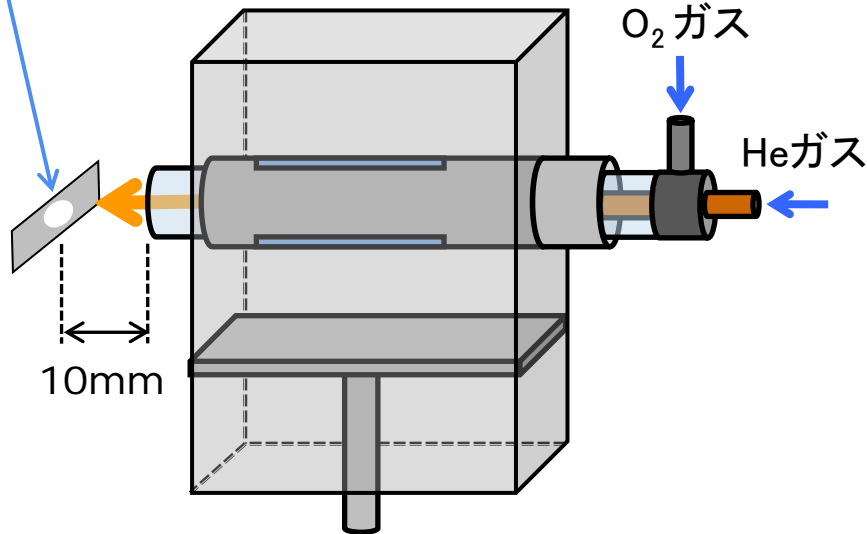
60°C  
72時間



失敗



成功



# プラズマ滅菌試験

## 実験条件

平均マイクロ波電力：50W

パルス幅：0.3msec デューティー比：20%

LF電圧：6kV

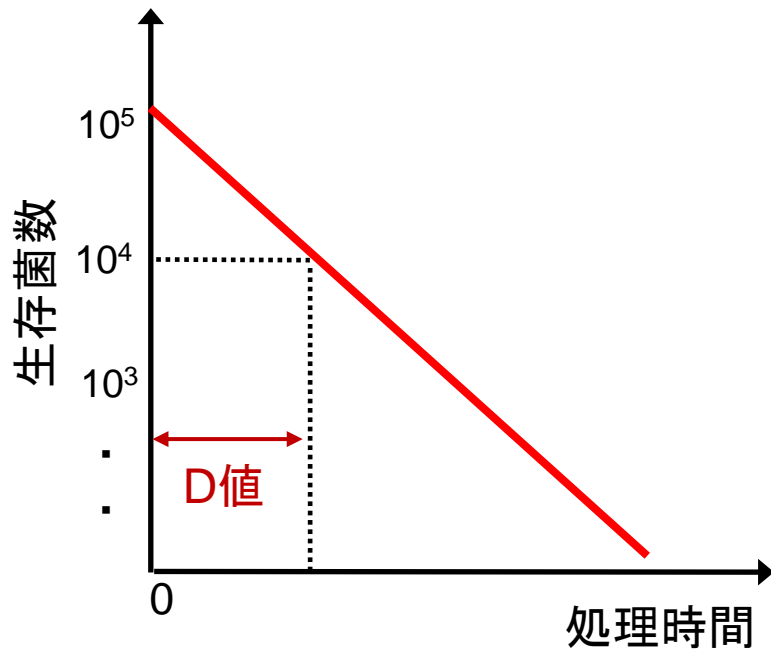
ガス流量：He 6L/min O<sub>2</sub> 1.5L/min

## 実験結果

処理時間 [min]	5	10	15
温度 [°C]	73	78	75
○ 成功 × 失敗	× × ×	× × ×	○ ○ ○



# D値による評価



本装置での滅菌試験結果より、

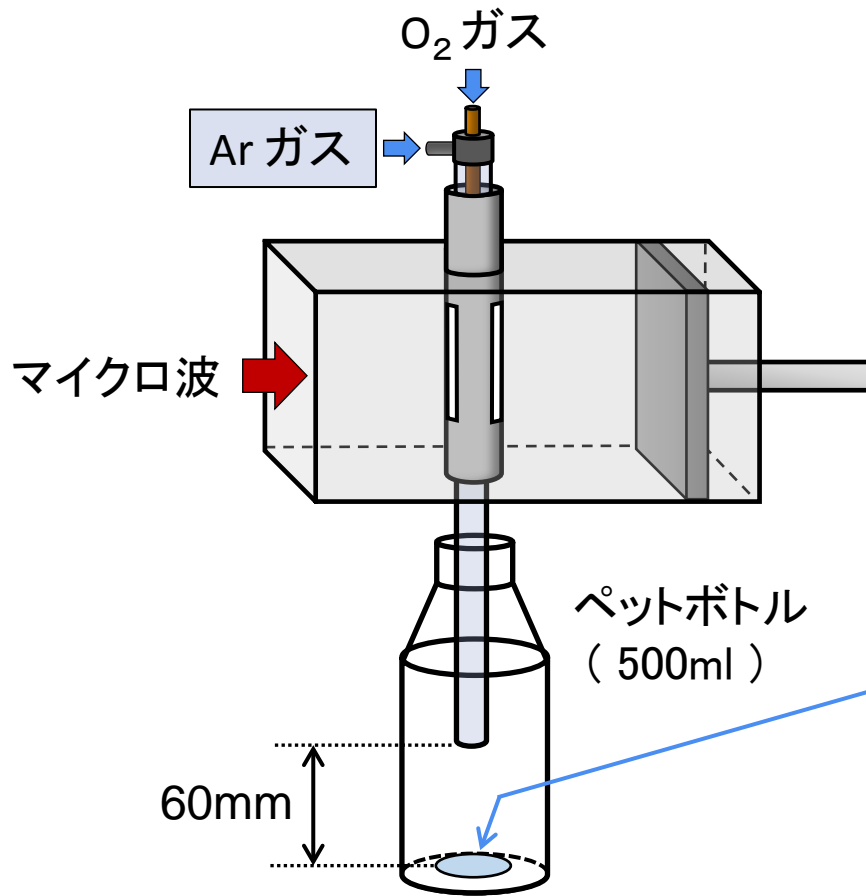
- *Geobacillus Stearothermophilus* 菌  
 $3 \times 10^6$  CFU
- 滅菌処理時間：15 min



D値：140 sec

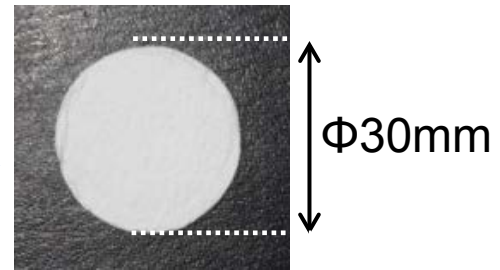
初期の菌数を10分の1にするのに必要な滅菌処理時間をD値という。

# ペットボトル内部のプラズマ滅菌



バイオリジカルインジケータ

- ・ 納豆菌
- ・  $1 \times 10^2$  CFU



# ペットボトル内部のプラズマ滅菌

## 実験条件

ガス流量 Ar : 6 [L/min] + O<sub>2</sub> : 0.2 [L/min]  
マイクロ波 平均電力 50[W]  
パルス幅 0.3[msec]      デューティー比 6%  
LF電圧 5[kV]

## 実験結果

処理時間 [min]	10	9	8
温度 [°C]	64	62	61
滅菌結果	○	○	○
オゾン濃度 [ppm]	0.126	0.124	0.123

# 想定される用途

- 食品容器等の滅菌  
例 プラスチック容器、ガラス容器
- 食品の滅菌  
例 粉末状の食品等
- 医療用器具などの滅菌  
例 耐熱性の低い器具の滅菌

# 実用化に向けた課題

- 滅菌処理時間短縮のための酸素ラジカル発生効率の向上
- プラズマの口径UP
- Heガスの代替としてArガスを用いた場合の滅菌特性の解析

# 企業への期待

本発明を用いたプラズマ滅菌装置の実用化に向け、関連企業との共同研究を希望します。

# 本技術に関する知的財産権及び 技術相談先

- 発明の名称 : プラズマ発生装置及びそれを用いたプラズマ生成法
- 特許番号 : 第5239021号(日本)  
第8,213,433号(米国)  
ZL200780007861.0(中国)
- 出願人 : 琉球大学
- 発明者 : 米須 章

# お問い合わせ先

国立大学法人 琉球大学

産学官連携推進機構

知的財産部門長

教授 近藤 義和

TEL: 098-895-8598

FAX: 098-895-8957

e-mail: [kondoyos@lab.u-ryukyu.ac.jp](mailto:kondoyos@lab.u-ryukyu.ac.jp)