


Kumamoto University

バイオエレクトリクスシンポジウム2011  
2011年3月10日  
熊本大学

## バイオエレクトリクスのための パルスパワー発生装置(電源)

熊本大学 大学院自然科学研究科複合新領域科学専攻  
バイオエレクトリクス研究センター(兼務)  
情報電気電子工学科(兼任)  
佐久川 貴志

*Global COE Program*  
(Global Initiative Center for Pulsed Power Engineering)



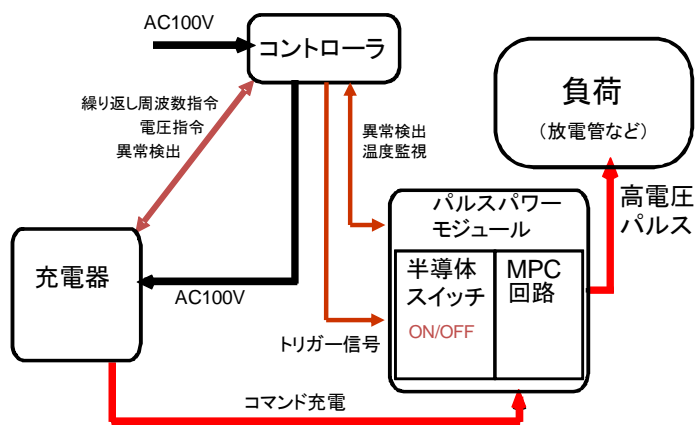
## 内 容

 Kumamoto University

- ◆MPC方式パルスパワー発生装置のシステム構成
- ◆細胞刺激・衝撃波生成に用いる小型MPC
- ◆大気圧プラズマジェット生成用パルス電源
- ◆細胞刺激に用いる高周波電源
- ◆パルスパワーによるシアノバクテリア処理装置

## 小型パルスパワー発生装置のシステム構成

Kumamoto University



### コンパクトパルスパワー発生装置の構成

MPC: Magnetic Pulse Compressor

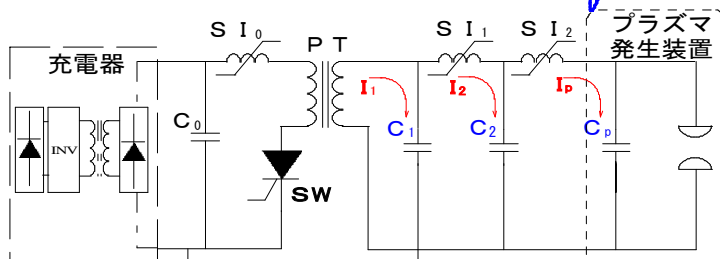
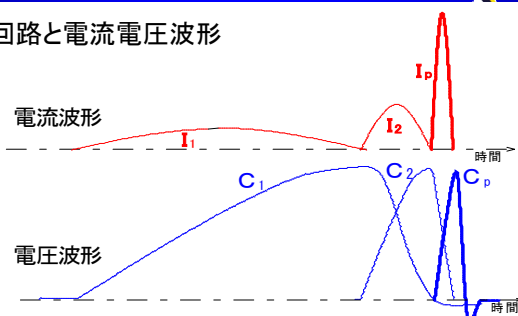
3

## MPCとは？

### 磁気スイッチを用いたパルスパワー発生回路

Kumamoto University

磁気パルス圧縮回路と電流電圧波形



4

## 磁気スイッチ用磁心材の種類

Kumamoto University

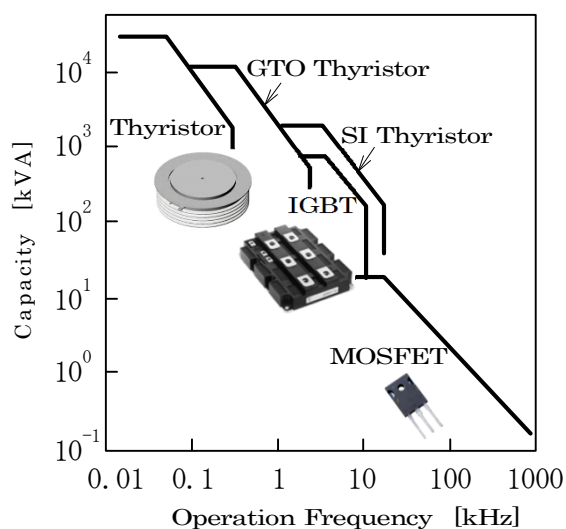
磁性材料	鉄基 ナノ結晶質 合金 (FT-1H)	鉄基 ナノ結晶質 合金 (FT-3H)	鉄基 アモルファス 合金(2605CO)	コバルト基 アモルファス 合金 (2714)	Mn-Zn フェライト
飽和磁束密度 $B_s(T)$	1.35	1.23	1.8	0.57	0.44
残留磁束密度 $B_r(T)$	1.22	1.09	1.6	0.52	0.26
初透磁率 (at 0.02T) $\mu_i$	-	-	14000	170000	5300
比透磁率 (at 100kHz) $\mu_r$	1500	5000	5000	80000	5300
飽和時比透磁率 $\mu_{rs}$	$\sim 1$	$\sim 1$	$\sim 1.3$	$\sim 1$	$\sim 3$
保磁力 $H_c(A/m)$	0.8	0.6	4	0.2	8
半周期(0.5us) コア損失 $P_c(J/m^3)$	860	710	1680	-	70
飽和磁歪 $\lambda_s (\times 10^{-6})$	2.3	0	35	0	0.6
キュリー温度 ( $^{\circ}C$ )	570	570	415	225	$> 150$
抵抗率 $\rho (\mu \Omega \cdot m)$	1.1	1.2	1.23	1.42	$1 \times 10^{12}$



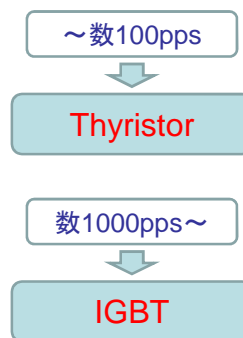
5

## パワー半導体スイッチングデバイスの進歩

Kumamoto University



半導体スイッチの容量と動作周波数の関係



6

## 小型パルスパワー発生装置の開発

Kumamoto University



コンパクトパルスパワー発生装置外観

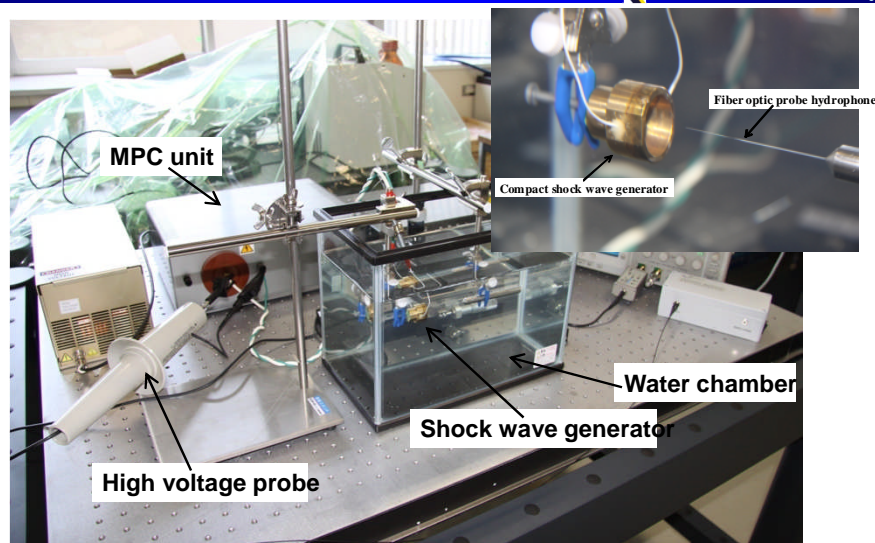
1J-1000pps type C-PPG

- ◆ Pulse energy : 1 (J)
- ◆ Peak voltage : 30 (kV)
- ◆ Voltage rise time : 40 (ns)
- ◆ Repetition rate : 1000 (pps)

7

## 衝撃波生成のためのパルスパワー発生装置

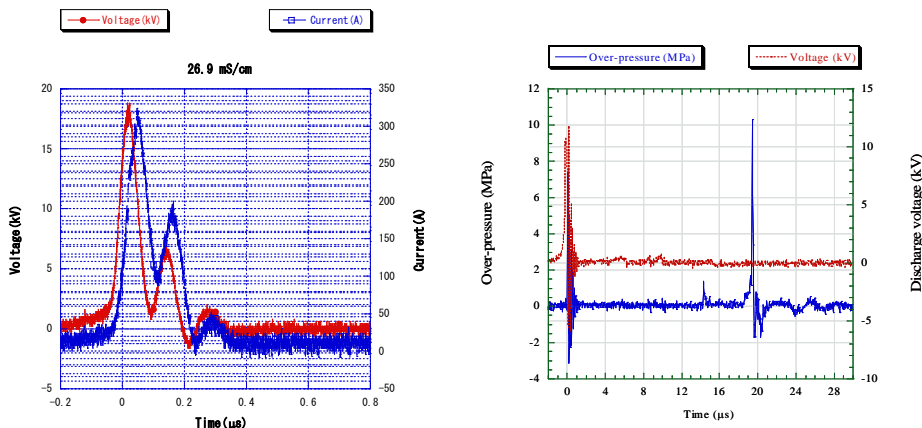
Kumamoto University



8

## 衝撃波生成のためのパルスパワー発生装置

Kumamoto University



Underwater discharge current and voltage waveforms. [26.9 mS/cm]

Over-pressure and discharge voltage waveforms.

9

## 小型パルスパワー発生装置の開発

Kumamoto University



コンパクトパルスパワー発生装置外観

### 1J-250pps type C-PPG

- ◆ Pulse energy : 1 (J)
- ◆ Peak voltage : 30 (kV)
- ◆ Voltage rise time : 40 (ns)
- ◆ Repetition rate : 250 (pps)

### 0.5J-500pps type C-PPG

- ◆ Pulse energy : 0.5 (J)
- ◆ Peak voltage : 25 (kV)
- ◆ Voltage rise time : 80 (ns)
- ◆ Repetition rate : 500 (pps)

10

## 大気圧ストリーマ放電プラズマ生成

Kumamoto University



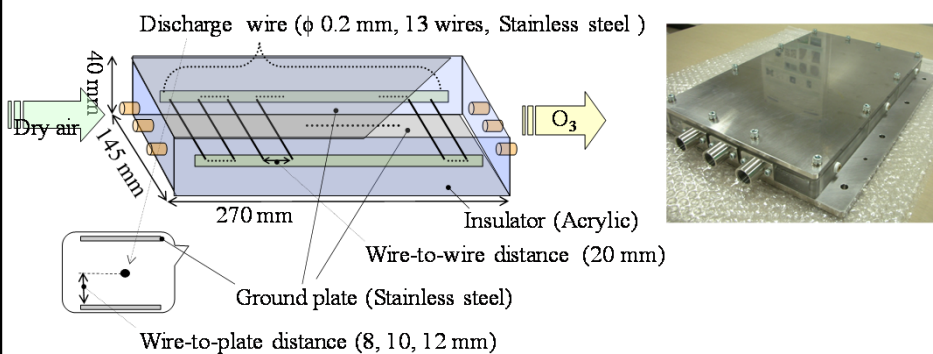
オゾン生成  
ラジカル生成

線対平板電極を用いた大気圧ストリーマ放電

11

## オゾン生成用小型放電管(線対平板電極構造)

Kumamoto University

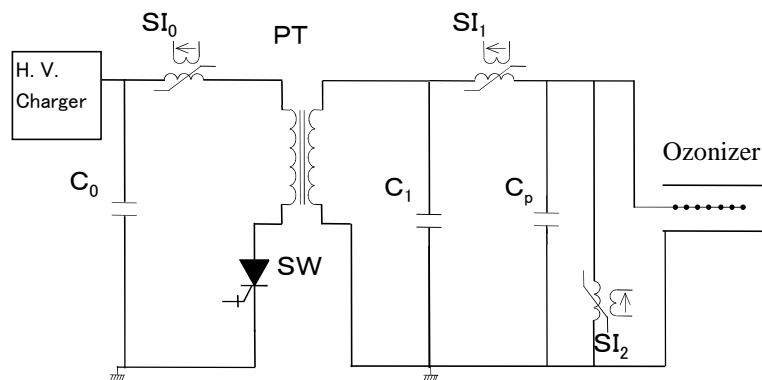


Schematic diagram of the compact ozonizer having wire-to-plate electrode.

12

## オゾナイザ用小型パルスパワー発生回路

Kumamoto University

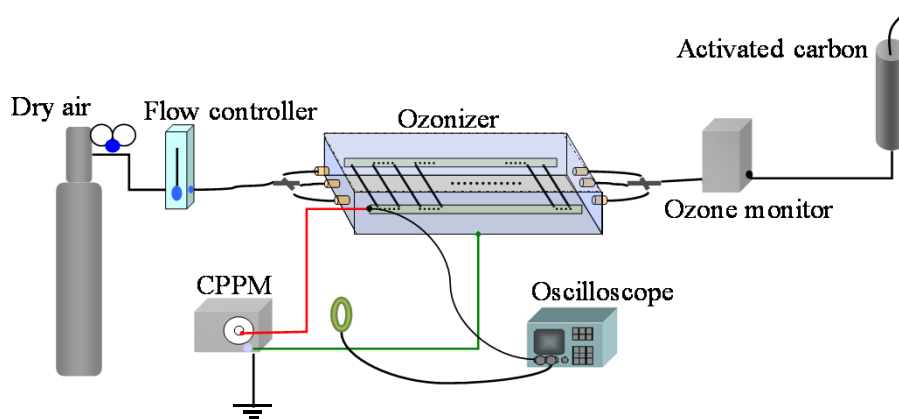


半導体スイッチと磁気パルス圧縮回路

13

## 小型パルスパワー発生装置を用いたオゾン生成

Kumamoto University



空気原料オゾン生成実験装置の構成

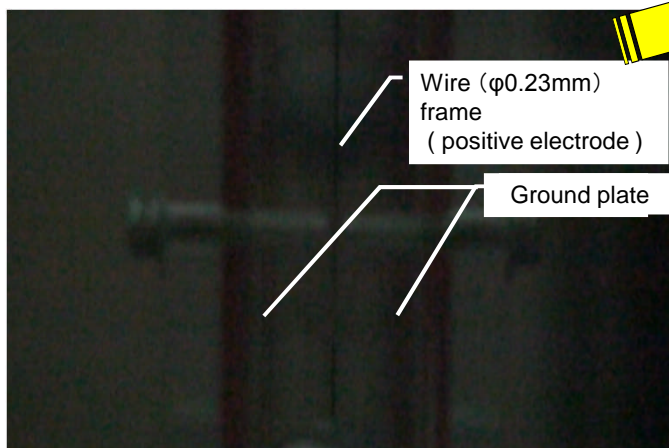
14

## ダブルプレート放電管を用いた 高繰り返し大気圧ストリーマ放電

Kumamoto University

Movie of streamer discharge

View side



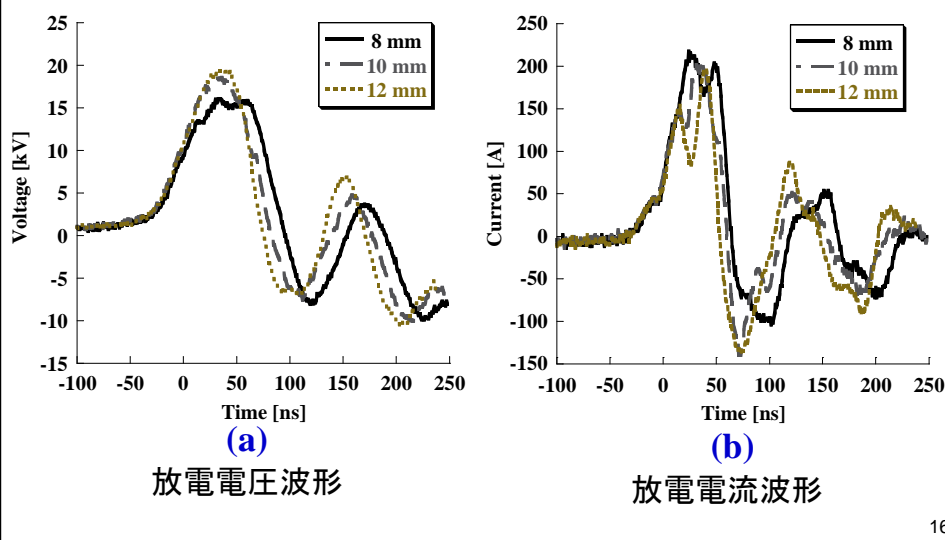
ダブルプレート放電管

Repetition rate: 500pps  
Dry air: 20L/min

15

## 小型オゾナイザーの放電電圧電流波形

Kumamoto University

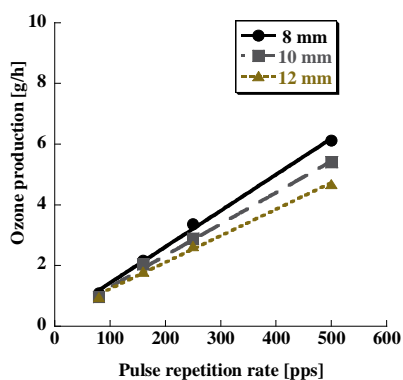


16

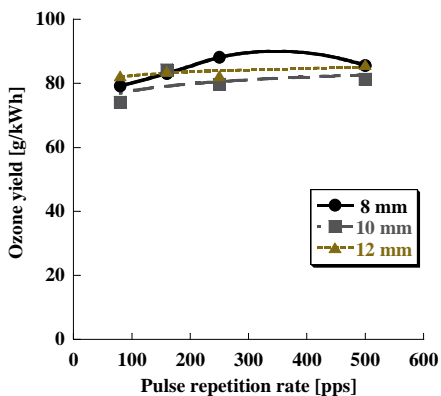


## 小型オゾナイザの特性（オゾン生成量と収率）

Kumamoto University



Ozone production for pulse repetition rate and different wire-to-plate distances



Ozone yield based on the input energy to the ozonizer for pulse repetition rate and different wire-to-plate distances

17

## 空気原料マイクロプラズマジェットの特徴

Kumamoto University

- |                |   |               |
|----------------|---|---------------|
| 1. 超局在性        | ➡ | 局在的な処理が可能     |
| 2. 低コスト        | ➡ | 真空装置が不要       |
| 3. 高密度・高反応性    | ➡ | 化学活性種による様々な応用 |
| 4. 大気圧中での熱非平衡性 | ➡ | 熱的に敏感な物質も処理可能 |
| 5. 空間的制約の拡大    | ➡ | 外気との遮断が不必要    |
| 6. 装置の携帯性      | ➡ | ポンペが不要        |

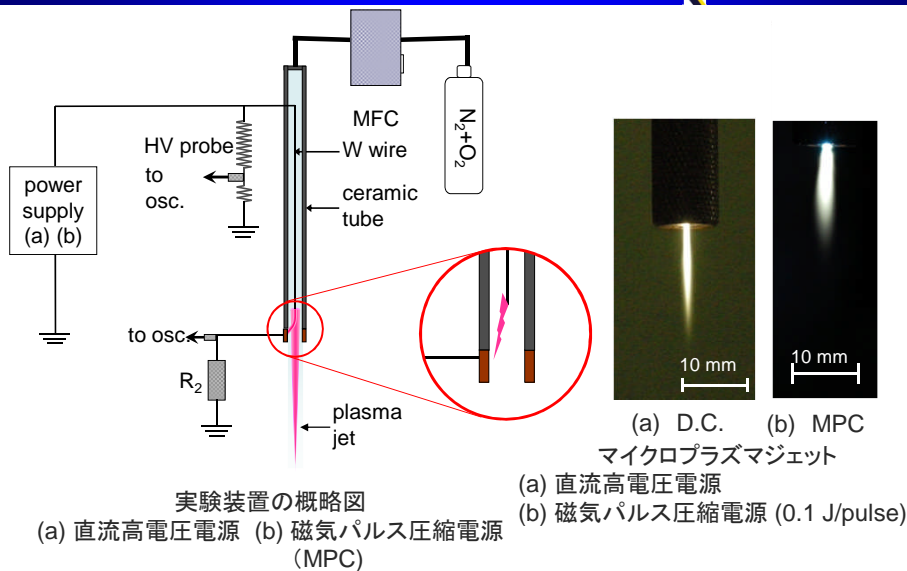
### 可能な応用分野

局所的歯科治療, 極細な管内表面の処理, 微生物処理, 半導体の局所的処理, 医療器具などの殺菌 etc.

18

## マイクロプラズマジェットの生成

Kumamoto University



19

## 磁気パルス圧縮回路を用いた マイクロプラズマジェットの生成

Kumamoto University



Generated microplasma jet

<Parameter of this setup>

Inner gap: 0 ~ 4 mm

Gas:  $N_2+O_2$

Flow rate: 0.4 ~ 2.0 L/min

Repetition frequency: 50 ~ 1000 pps

Diameter of ceramic tube: 0.4 mm

Diameter of W wire: 0.2 mm

20

## 高繰り返し小型パルスパワー発生装置

Kumamoto University



1000 pps 以上から 自己消弧能力のあるIGBT スイッチを適用

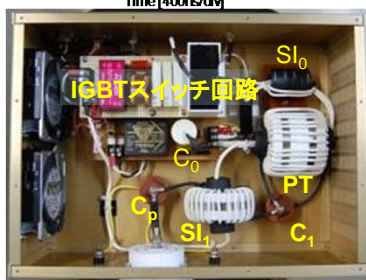
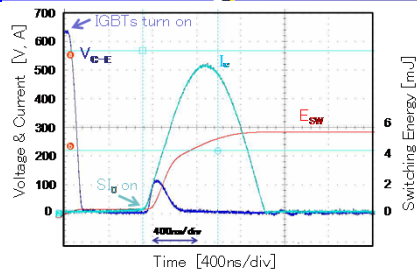
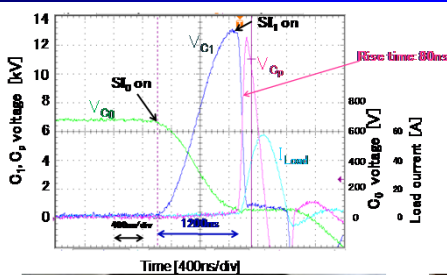
0.1J-2000pps type C-PPG

- ◆ Pulse energy : 0.1 (J)
- ◆ Peak voltage : 15 (kV)
- ◆ Voltage rise time : 80 (ns)
- ◆ Repetition rate : 2000 (pps)

21

## 半導体スイッチ(IGBT)と磁気パルス圧縮回路

Kumamoto University



IGBTスイッチと磁気パルス圧縮回路

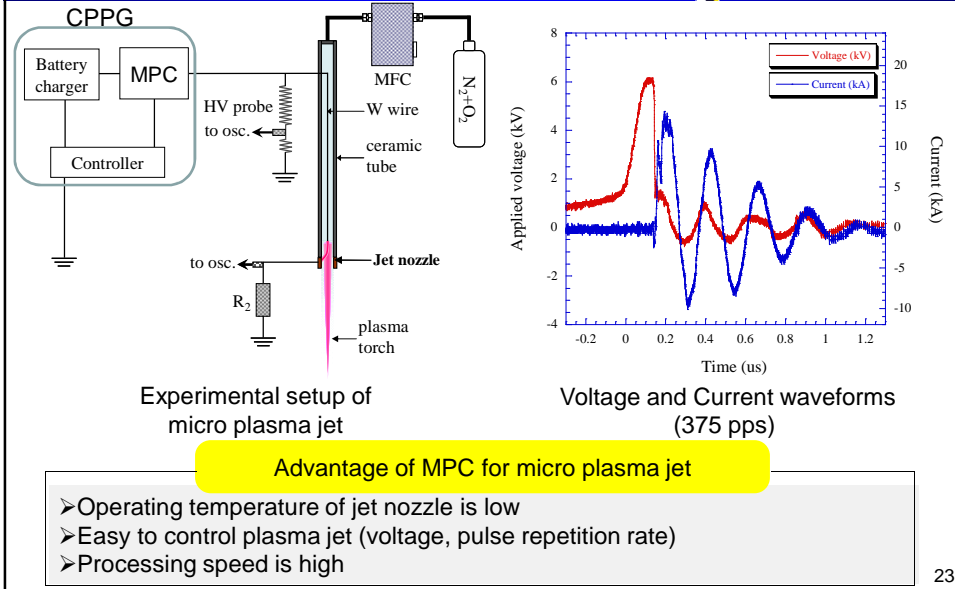


IGBTスイッチ回路

22

## 磁気パルス圧縮電源 (MPC)による マイクロプラズマジェット

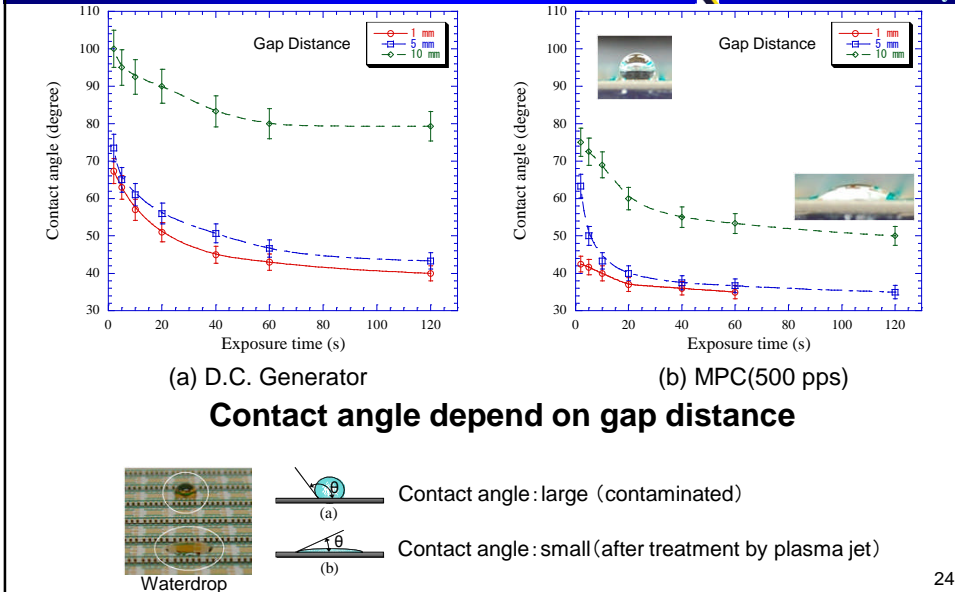
Kumamoto University



23

## ラジカル生成量の水接触角による評価

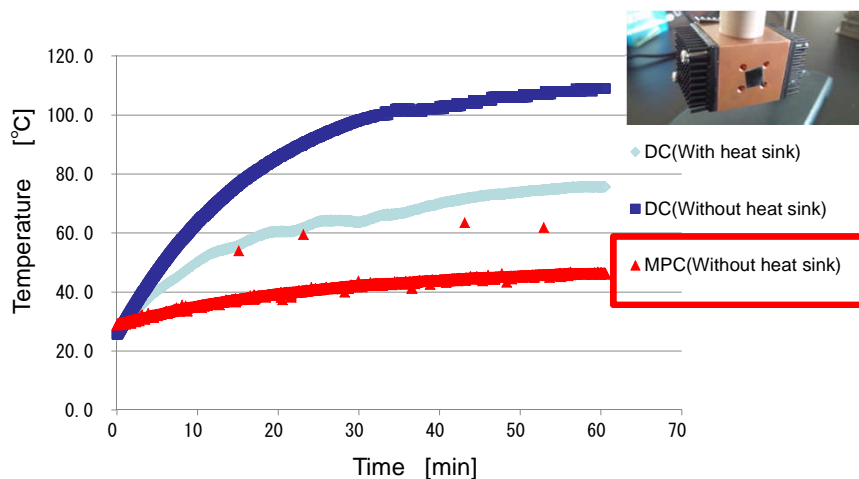
Kumamoto University



24

## 従来技術(DC)とのカソード温度上昇比較

Kumamoto University

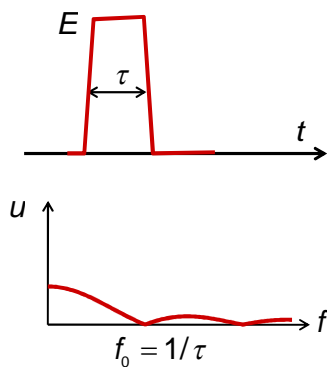


25

## 矩形波パルス／高周波高電界の発生方法

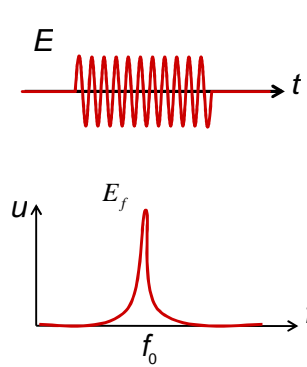
Kumamoto University

### 矩形波



- 電源構成がシンプルで作りやすい
- 超高電界を容易に発生可能
- 広周波数帯域

### バースト正弦波



- 狭周波数帯域 (高エネルギー密度  $dU/df$ )
- 周波数, 電界強度, 作用時間を独立に制御可能
- 理想的!
- 高出力高周波電源が必要

26

## ナノ秒パルス高電圧発生装置

Kumamoto University

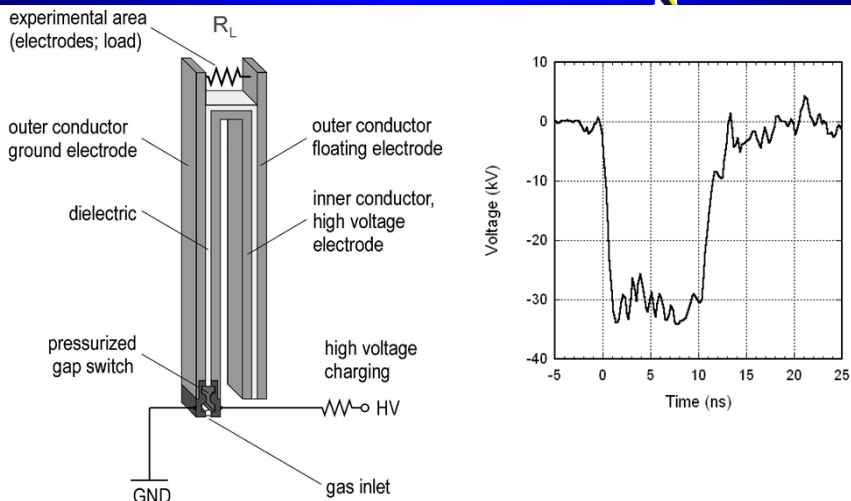


図7 ブルームライン型パルス電圧発生器と出力波形 [23]

27

## 顕微鏡用パルス高電圧発生装置

Kumamoto University

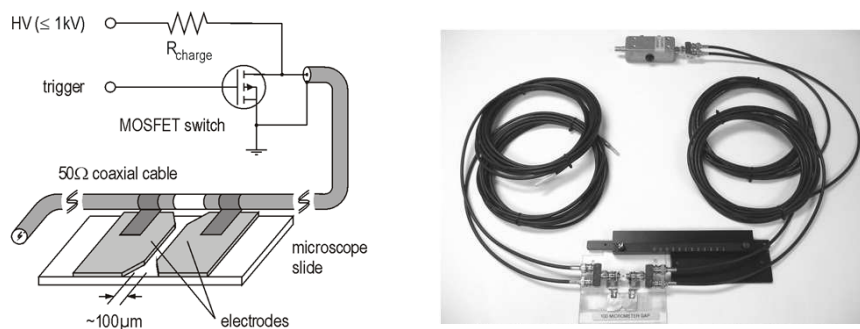


図8 顕微鏡観察用MOSFET駆動ブルームライン型パルス電圧発生器 [24]

28

## サブナノ秒パルス超高電圧発生装置

Kumamoto University

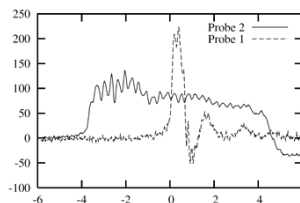
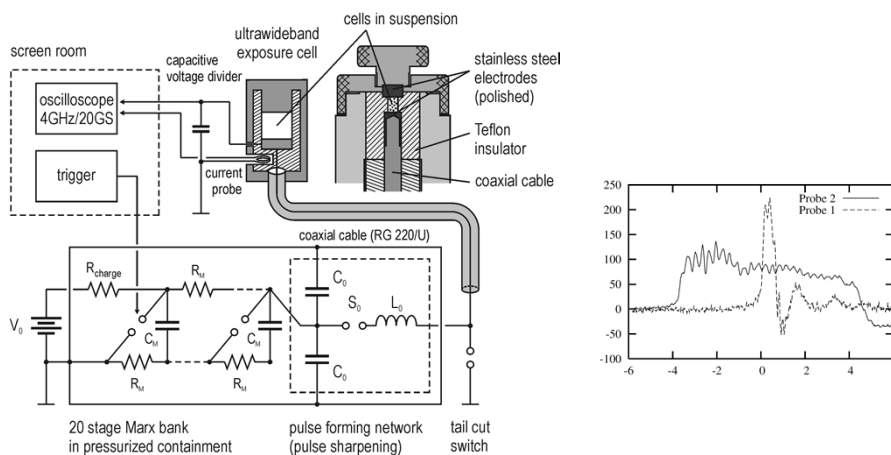
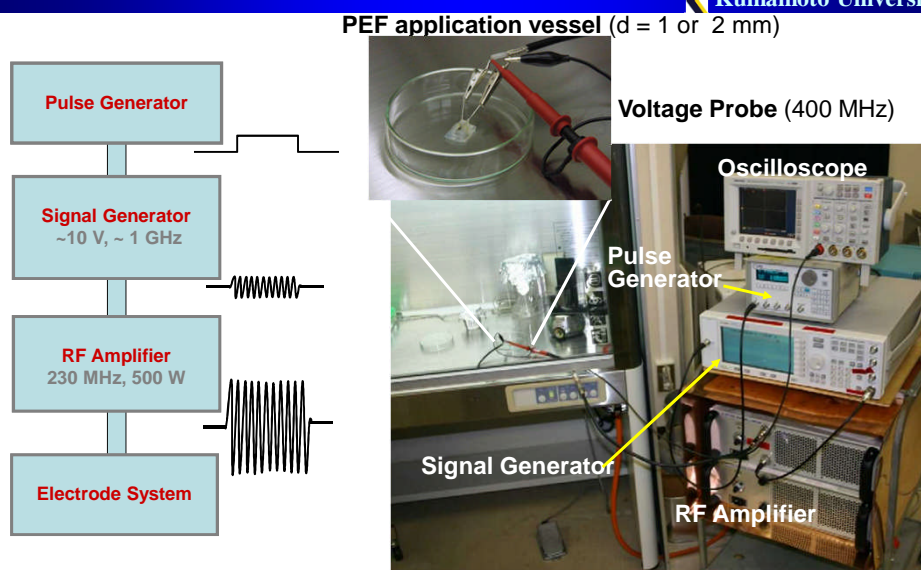


図9 サブナノ秒パルス高電圧発生器 [25]

29

## バースト高周波電圧発生装置

Kumamoto University



30

## Stolberg LPPA 13040W

Kumamoto University



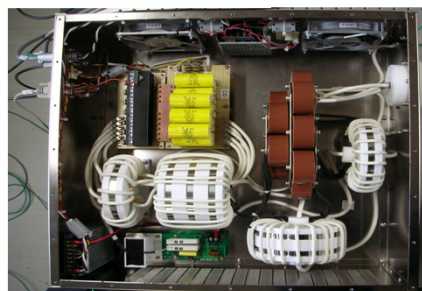
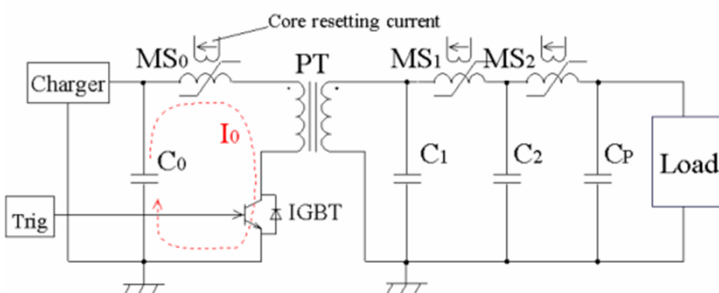
- Frequency 16.7~123.2 MHz
- Impedance 50 Ω
- Duty 10%
- Output Power 4000 W @Pulse  
200 W @CW
- Pulse width 10 ms @full power
- Rise/Fall time 400 ns / 80 ns

Cuvette 4mm

31

## 水中パルスストリーマ放電用パルスパワー電源

Kumamoto University



32



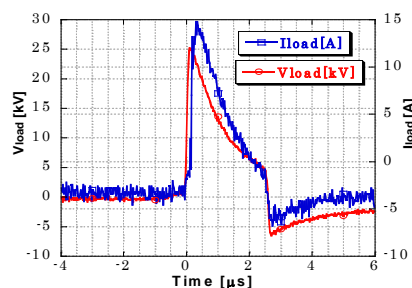
## 水中ストリーマ状放電プラズマ生成

Kumamoto University



水中ストリーマ状放電

アオコ(マイクロステイス)処理  
大腸菌殺菌

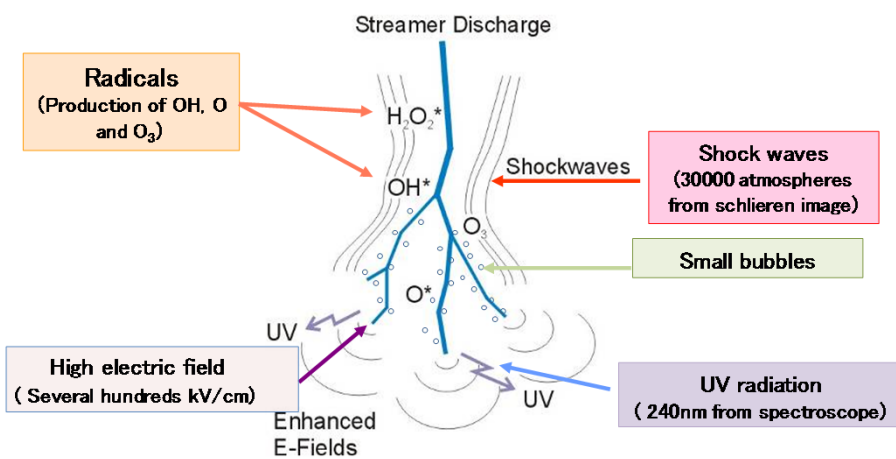


電流電圧波形

33

## 水中ストリーマ状放電の進展

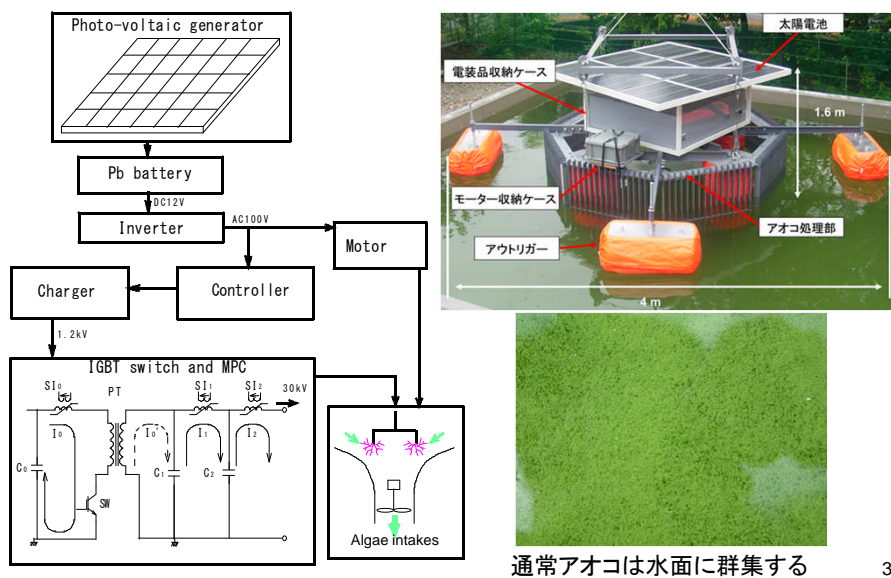
Kumamoto University



34

## 水中パルスストリーマ放電によるアオコ処理装置

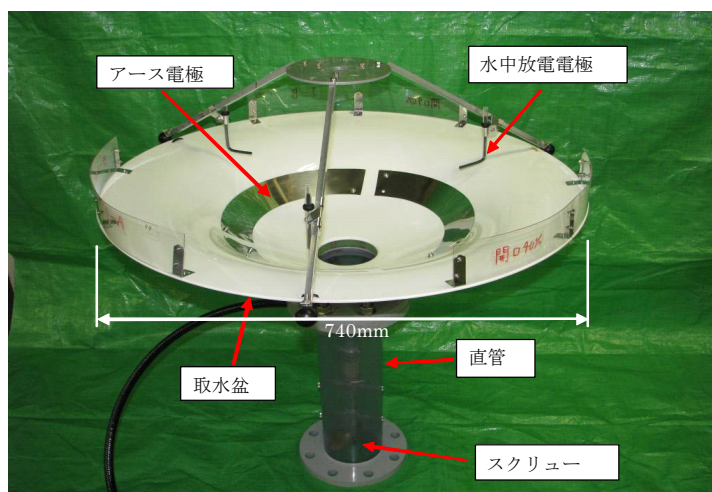
Kumamoto University



35

## 水中パルスストリーマ放電によるアオコ処理装置

Kumamoto University



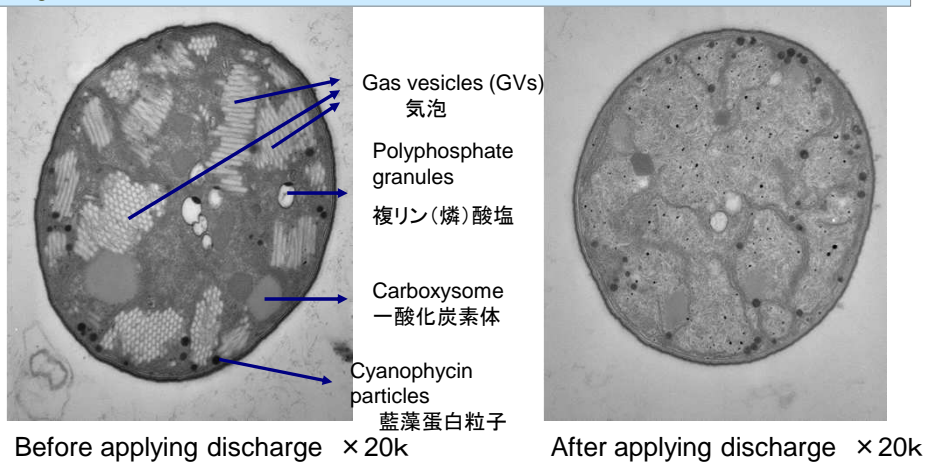
アオコ処理部

36

## アオコ(ミクロステリス)細胞のTEM像

Kumamoto University

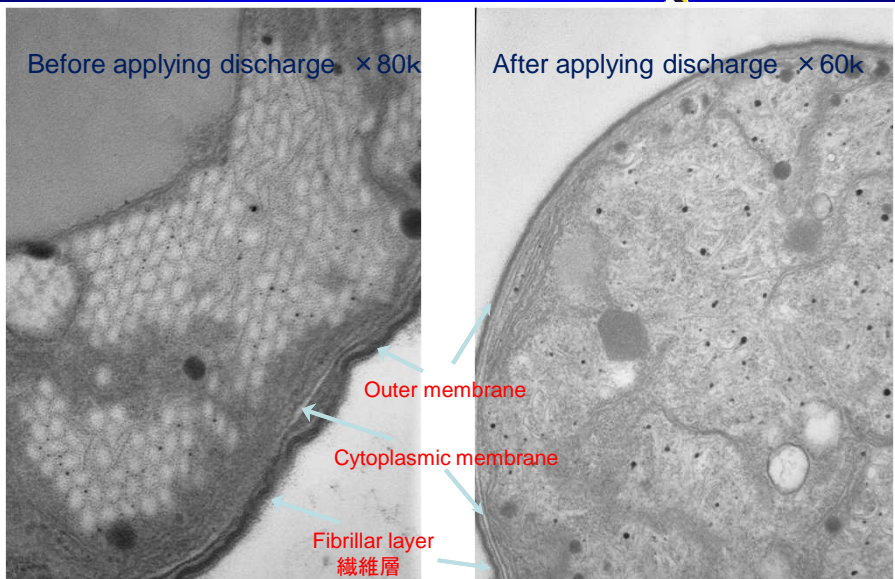
GVs are the special intracellular structure of the bloom-forming cyanobacteria genus. GV's filled with gas and cells can float toward water surface to position in optimal sun light condition for growth



37

## アオコ(ミクロステリス)細胞のTEM像

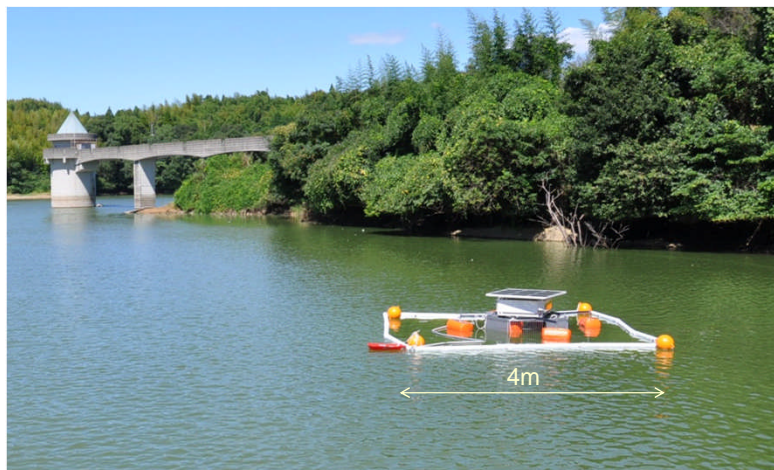
Kumamoto University



38

## 水中パルスストリーマ放電によるアオコ処理装置

Kumamoto University

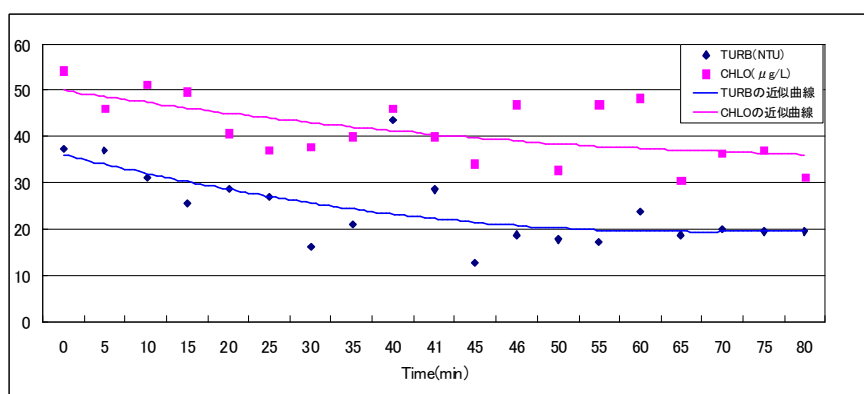


ダムでのフィールド試験

39

## 水中パルスストリーマ放電によるアオコ処理結果

Kumamoto University



ダムでのフィールド試験におけるクロロフィルaと濁度の変化

40

## 小型高繰り返しパルスパワー発生装置を用いたバイオエレクトリクス応用

Kumamoto University



大気圧ストリーマ放電



10mm  
プラズマジェット



水面放電



水中ストリーマ状放電



高繰り返し水中気泡内放電

- Ozone generation
- Shock wave generation
- Water treatment
- Enhanced E field generation
- Micro plasma jet generation

41

ご静聴ありがとうございました

42