

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560331

研究課題名(和文)高繰り返しパルスパワーを用いた環境浄化研究

研究課題名(英文)Study of environmental applications using high repetition rate pulsed power

研究代表者

佐久川 貴志 (Sakugawa, Takashi)

熊本大学・パルスパワー科学研究所・准教授

研究者番号：40398186

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：水環境浄化の研究ではアオコと呼ばれる有害藍藻類について、水中ストリーマ状放電を用いた新しい処理方法を確立した。これは薬品を用いない、環境負荷の無い処理方法として国際誌にも掲載された。実際のダム湖においてその実証試験を行った。実証試験の状況はテレビや新聞などの各メディアに取り上げられた。他に大気圧プラズマジェットを用いた大腸菌殺菌の効果検証を行い、実験的に殺菌効果の実証を行った。また、水面での高繰り返し放電によりH₂O₂の生成量向上に成功した。

研究成果の概要(英文)：For harmful cyanobacterial bloom called Aoko, was established a new processing method using an underwater streamer-like discharge in the study of water Environmental improvement. This results were also published in international journals (IEEE-TPS) does not use chemicals, as a processing method without environmental impact. I carried out the demonstration in the dam lake of Kyushu district. Status of the demonstration was featured in the media, such as TV and newspapers. To perform verification of the effect of E. coli sterilization using atmospheric pressure plasma jet to other, we demonstrated the bactericidal effect experimentally. In addition, we have succeeded in improving the production amount of H₂O₂ by high repetition rate pulsed discharge at the water surface.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電力工学・電力変換・電気機器

キーワード：パルスパワー

1. 研究開始当初の背景

従来のパルス放電プラズマの研究はパルスパワー発生装置の制約から単発あるいは低繰り返し現象を扱っていた。研究代表者はこれまでパワーデバイスを用いたパルスパワー発生装置開発を行い、それをリソグラフィ・光発生用の電源として実用化に成功し、マイクロプロセッサの高機能化と電氣的メモリの大容量化に貢献してきた。このように高繰り返しパルスパワー発生技術を通じて特に携帯電子機器の高機能化や小型軽量化に寄与してきた。これら高繰り返しパルスパワーの負荷はエキシマレーザや極端紫外光 (EUV) 発生高密度プラズマで、気体媒質中における放電プラズマを利用したものであった。環境浄化研究を考えると水中におけるプラズマの活用が不可欠となる。水中においては媒質密度や導電率等の電氣的因子が気体に比べると大きく異なってくる。そのためパルスパワー発生装置の出力インピーダンス、パルス幅や電圧の立ち上がり時間等が気体放電プラズマ発生とは大きく異なってくる為、水中放電プラズマの形態に応じてパルスパワー発生装置を最適化する必要がある。具体的な応用として大腸菌殺菌の他にアオコ (ミクロキスティス等) と呼ばれる藍藻類の異常増殖を水中ストリーマ放電プラズマにより防止しようというものがある。アオコによる水源の水質悪化が国内各地の水源や湖沼等で報告されている。アオコの被害は異臭、毒性、生態系破壊、景観 (濁り) 等でアオコ対策としては決定的な手法がないのが実情である。研究代表者らは環境負荷の小さな水質浄化 (水中パルス放電による殺菌や藍藻類の細胞不活化処理) に着目した。この方法によればアオコは死滅させず沈降するので回収などの後処理が不要となる。他にも水中放電を利用した大腸菌殺菌効果も確認しており薬品を用いない水質浄化やバイオ応用に貢献できる。しかし、今後の実用化を考えると高繰り返し水中放電プラズマ形態に応じたパルスパワー発生装置の電氣的パラメータの最適化研究が望まれる。

2. 研究の目的

気体や液体での高繰り返しパルス放電プラズマの挙動観察を行い、プラズマの制御因子 (繰り返し周波数、媒質の導電率等) とプラズマの形態 (ストリーマ放電、グロー様放電、アーク放電、気泡内バリア放電) との関係性を明らかにする。さらに応用研究として大腸菌、芽胞菌等や有害藍藻類を対象に、マイクロプラズマジェットや水中プラズマを用いた殺菌処理や藍藻類の細胞不活化処理の応用研究を行う。高繰り返しパルスパワー利用において放電プラズマ生成制御因子を最適化し、それぞれの応用でその高い化学活性場を効率的に利用した殺菌処理や藍藻類の細胞不活化処理研究を通して新しいパルスパワーの環境改善・バイオ分野への応用展開

を行う。

3. 研究の方法

高繰り返し気中および水中パルス放電プラズマを安定的に生成するためのパルスパワー発生装置の開発、プラズマ形態を任意に制御できるような高機能化を下記のスケジュールで行う。22年度に2nmの解像度を持つ透過型および走査型電子顕微鏡を導入しており (概算要求による予算処置) ナノレベルでの生体 (細胞内部組織など) 観察ができる環境を構築したので、バイオ応用研究としてはパルスパワーの作用を細胞レベルで解析できる体制が得られた。それにより、大腸菌殺菌やレジオネラ菌処理、シアノバクテリアなどの有害藻類細胞の処理メカニズムを細胞レベルで解明し、処理条件を明確にし、応用システムとしてパルスパワー発生装置と処理システムの実用化開発を行った。以上の事を3年間で達成。

4. 研究成果

パワーデバイスを用いたパルスパワー発生装置開発とそれを用いたバイオ、環境応用の研究を行った。パワーデバイスを用いることで従来の放電ギャップスイッチでは成し得なかったパルスパワーの高繰り返し発生制御が可能となった。さらにこれらパルスパワー発生システムの制御回路にPICやFPGA等のマイクロプロセッサを導入したことでパルスの繰り返しや強弱の制御のみならず1パルス毎の発生タイミングと強弱などのパラメータを独立に制御可能とした。このことは繊細で柔軟な制御を不可欠とする医療・バイオ応用の研究を進展させる上で極めて重要な技術であり、これまでの研究はパルスパワーの応用分野を医療やバイオに拡張するのに貢献したものと考える。研究代表者らはこれまで水中パルスストリーマ放電による環境負荷の小さな藍藻類処理を中心とした水質浄化研究を行った。この方法による藍藻細胞不活化メカニズム解明の研究と実際のダム湖での効果確認試験を進めてきた。その成果として高速衝撃波によるアオコのガス胞消失が確認された (図1)。ダム湖での効果確認試験では九州地域の複数のダムの協力を得て実施し (図2, 図3) 顕著な水質改善結果が得られ、その研究成果はTV (NHK, RKK, KKT) や新聞 (熊本日日, 朝日) メディアでも放映、記事として取り上げられた。しかし、試験期間が2日で処理エリアを36m²にしたもので実証試験に成功した (図3, 図4 参照)。また有害藍藻類 (アオコ) でもMicrocystisの種に関しては効果の検証が実施され、実用化に向けてこれら検証試験と (不活化) 処理後の生態系の長期調査の必要性が明確になった。他に水中アーク放電を用いた大腸菌殺菌効果の確認 (図5) をしており薬品を用いない水質浄化やバイオ応用に貢献できる。さらに気体放電プラズマを用い

た殺菌としては H₂O₂ 生成や強い酸化力の OH ラジカルの生成を行い、それぞれ吸光法と時間分解 (10ns) 分光法による計測に成功している。

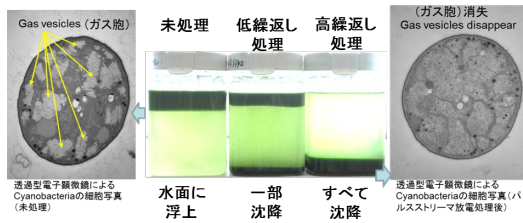


図 1 水中パルス放電による藍藻細胞不活化処理

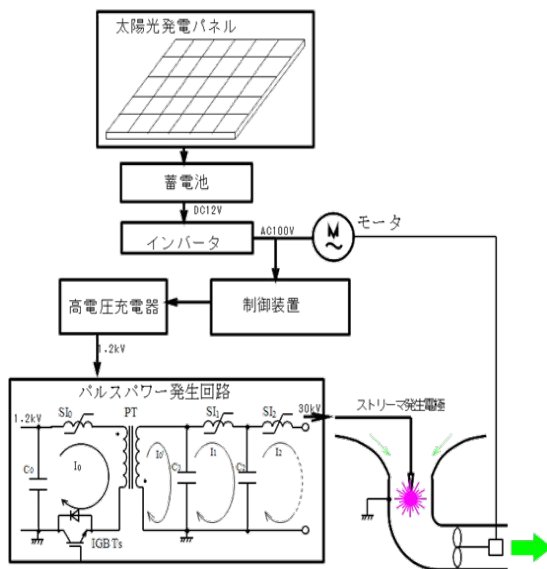


図 2 水質浄化処理システム

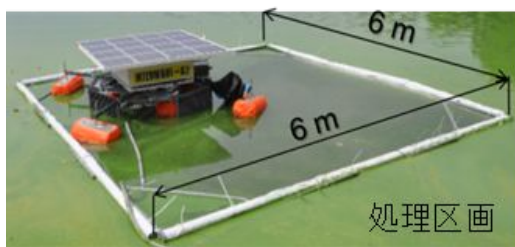


図 3 水質浄化処理装置と処理領域

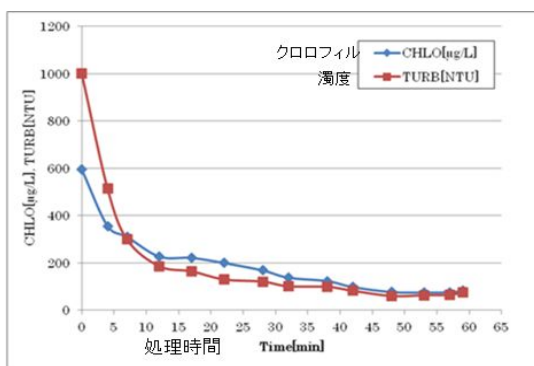


図 4 クロロフィル濃度と濁度の変化

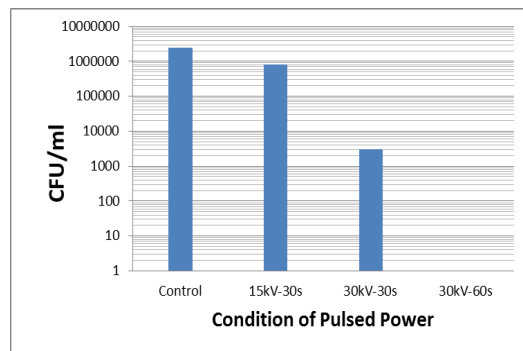


図 5 パルス放電による大腸菌処理結果

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

- [雑誌論文](計 10 件) 査読有り論文 10 件
T. Sakugawa, N. Aoki, H. Akiyama, K. Ishibashi, M. Watanabe, A. Kouda, K. Suematsu, "A Method of Cyanobacteria Treatment Using Underwater Streamer-Like Discharge", *IEEE Transactions on Plasma Science*, Vol.42, No.3, pp.794-798 (2014)
Ruma, N. Aoki, T. Sakugawa, H. Akiyama and M. Akiyama, "Hydrogen Peroxide Generation by Pulsed Discharge in Bubbling Water", *IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials* Vol.133, No.12, Sec. A, pp.636-641, (2013)
S. Gnapowski, H. Akiyama, T. Sakugawa and M. Akiyama, "Effects of pulse Power Discharges in Water on Algae Treatment", *IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials*, Vol. 133, No. 4, pp. 198-204 DOI:10.1514/ieejfms.133.198 (2013)
Ruma, P. Lukes, N. Aoki, E. Spetlikova, S. H. R. Hosseini, T. Sakugawa and H. Akiyama, "Effects of pulse frequency of input power on the physical and chemical properties of pulsed streamer discharge plasmas in water", *JOURNAL OF PHYSICS D: APPLIED PHYSICS* 46, doi:10.1088/0022-3727/46/12/125202 (2013)
D. Oshita, S. H. R. Hosseini, Y. Okuda, Y. Miyamoto, T. Sakugawa, S. Katsuki, H. Akiyama, "Time-Resolved High-Speed Visualization and Analysis of Underwater Shock Wave Focusing Generated by a Magnetic Pulse Compression Unit", *IEEE Transactions on Plasma Science*, Vol.40, No.10, pp.2395-2400 (2012)
Satoru Ueda, Tatsuro Sakamoto,

Takashi Sakugawa, Hidenori Akiyama, "Coaxial Magnetic Pulse Compression System to Generate Fast-rising Pulsed Power" (IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials) Published online in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com). DOI:10.1002/tee.21798 (2012)

廣野佳那子, 伊藤優太, 佐久川貴志, 秋山秀典, 上野崇寿 「小型高繰り返しパルスパワー発生装置の開発」 静電気学会誌 / "Development of Compact and High-Repetition Rate Pulsed Power Modulator" (Journal of the Institute of Electrostatics Japan), Vol. 36, No. 6, pp. 261-266 (2011)

秋山雅裕, 坂本達朗, 高橋克幸, 上野崇寿, 佐久川貴志, 秋山秀典, "FPGAを用いたパルスパワーの電圧制御", プラズマ・核融合学会誌 / "Voltage Control of Pulsed Power using FPGA", (The Japan Society of Plasma Science and Nuclear Fusion Research), Vol. 87, No. 10, pp. 724-727, (2011)

S. H. R. Hosseini, S. Iwasaki, T. Sakugawa and H. Akiyama, "Characteristics of Micro Underwater Shock Waves Produced by Pulsed Electric Discharges for Medical Applications", Journal of the Korean Physical Society, Vol. 59, No. 6, December pp. 3526-3530, (2011)

Masahiro Akiyama, Eri Shiraishi, Takashi Sakugawa, S. Hamid R Hosseini, Hidenori Akiyama, Nobuaki Shiraki, Shoen Kume: "Influence of 60 ns Pulsed Electric Fields on Embryonic Stem Cells" IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 18, Issue 4, pp. 1119-1123, (2011).

[学会発表](計 23 件)

Yoshihara, Ruma, N. Aoki, S.H.R. Hosseini, T. Sakugawa, H. Akiyama, P. Lukes "STUDY ON HYDROGEN PEROXIDE GENERATION BY WATER SURFACE DISCHARGE" Proceedings of IEEE International Pulsed Power & Plasma Science (PPPS2013), pp. 1141-1145 (June 20, 2013), San Francisco, USA

T. Sakugawa, T. Iwaishi, S.H.R. Hosseini, H. Akiyama, "INVESTIGATION OF PRE-IONIZATION AND ATMOSPHERIC PULSED DISCHARGE PLASMA" Proceedings of IEEE International Pulsed Power & Plasma Science (PPPS2013), pp. 92-96 (June 17, 2013), San Francisco, USA

S. Katsuki, M. Yano, N. Tanaka, K.

Mitsutake, M. Morodomi, K. Abe, T. Sakugawa, H. Akiyama: "Primary and Secondary Effects of Non-thermal and Thermal Electrical Pulses", 9th International Bioelectrics Symposium, Paper No. K-4 (September 7, 2012), Kumamoto, Japan

S. Matsumura, H. Akiyama, T. Sakugawa: "Development of Nano-Second Compact Pulsed Power Generator Using Diodes", 9th International Bioelectrics Symposium, Paper No. P-2B-12 (September 7, 2012), Kumamoto, Japan

T. Sato, T. Iwaishi, H. Akiyama, T. Sakugawa: "Development of High Production Compact Ozonizer Using Pulsed Streamer Discharge", 9th International Bioelectrics Symposium, Paper No. P-2B-9 (September 7, 2012), Kumamoto, Japan

Y. Matsumoto, T. Kajiwara, T. Sakugawa, H. Akiyama, A. Kouda, M. Watanabe, K. Suematsu: "Compact Capacitor Charger Using Resonant MOSFET Inverter for Repetitive Pulsed Power Generator for Bioelectrics", 9th International Bioelectrics Symposium, Paper No. P-2A-11 (September 7, 2012), Kumamoto, Japan

T. Tnabe, Y. Hagio, K. Ishibashi, T. Sakugawa, A. Kouda, K. Suematsu, H. Akiyama: "Development of a Nano-second Pulsed Electric Fields System Used for Biological Experiments", 9th International Bioelectrics Symposium, Paper No. P-2A-13 (September 7, 2012), Kumamoto, Japan

M. Inokuchi, T. Miki, T. Sakugawa, H. Akiyama: "Micro Plasma Jet for Environmental Applications", 9th International Bioelectrics Symposium, Paper No. P-2B-1 (September 7, 2012), Kumamoto, Japan

Ruma, N. Aoki, K. Yoshihara, M. Akiyama, T. Sakugawa, P. Lukes, H. Akiyama "Effect of Gap Distance on Hydrogen Peroxide Generation by Pulsed Discharge in Bubbling Water", 9th International Bioelectrics Symposium, Paper No. P-2B-4 (September 7, 2012), Kumamoto, Japan

Y. Hagio, T. Sakugawa, H. Akiyama: "Development of Compact Pulsed Power Generator for Bioelectrics", 9th International Bioelectrics Symposium, Paper No. P-2B-8 (September 7, 2012), Kumamoto, Japan

N. Aoki, K. Ishibashi, T. Sakugawa, H. Akiyama, A. Kouda, K. Suematsu:

“Cyanobacterial Bloom Treatment by Underwater Discharge Using Pulsed Power”, 9th International Bioelectrics Symposium, Paper No. P-1B-8 (September 6, 2012), Kumamoto, Japan

T. Onodera, D. Azumaya, Y. Kikuchi, M. Akiyama, T. Sakugawa, H. Akiyama: “Fundamental Research on Electrical Discharge in Water”, 9th International Bioelectrics Symposium, Paper No. P-1B-7 (September 6, 2012), Kumamoto, Japan

T. Sakugawa, N. Aoki, H. Akiyama, K. Ishibashi, M. Watanabe, A. Kouda, K. Suematsu, “A METHOD OF CYANOBACTERIA TREATMENT USING UNDERWATER PULSED STREAMER LIKE DISCHARGE” 4th Euro-Asian Pulsed Power Conference (19th International Conference on High-Power Particle Beams), pp. **, (October 4, 2012), Karlsruhe, Germany

Ruma, P. Lukes, N. Aoki, S. H. R. Hosseini, T. Sakugawa, H. Akiyama, “VARIATION OF PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF PULSED STREAMER DISCHARGE IN WATER WITH A PULSE REPETITION RATE OF INPUT WATER” 4th Euro-Asian Pulsed Power Conference (19th International Conference on High-Power Particle Beams), pp. **, (October 2, 2012), Karlsruhe, Germany

Hidenori Akiyama, Makoto Inokuchi, Hidetoshi Ishizawa, Tatsuro Sakamoto, Tomohiro Furusato, Takashi Sakugawa, Sunao Katsuki, Gnapowski Sebastian, Masahiro Akiyama, “LOW TEMPERATURE PLASMA PRODUCTION IN WATER, SUPERCRITICAL FLUID AND AIR FLOW AND ITS APPLICATIONS” 39th International Conference on Plasma Science), p.4A-7, DOI:10.1109/PLASMA.2012.6383936, E-ISBN:978-1-4577-2128-1 (July 9, 2012), Edinburgh, UK

Sebastian Gnapowski, Ruma, Hidenori Akiyama, Takashi Sakugawa, Masahiro Akiyama “ALGAE TREATMENT EFFECTS BY PULSE POWER DISCHARGE IN THE WATER” 39th International Conference on Plasma Science), pp. **, (July 9, 2012), Edinburgh, UK

M. Inokuchi, T. Sakugawa, H. Akiyama, “Spectroscopic observation of micro plasma jets generated by pulsed power” Proceedings of Power International Power Modulator and High Voltage Conference, pp.504-507 DOI:10.1109/IPMHVC.2012.6518791, E-ISBN: 978-1-4673-1222-6 (June 4,

2012), San Diego, USA

F.Tanaka, T.Iwaishi, T.Sakugawa, H.Akiyama: “Influence of gas flow rate and pressure in reactors on ozone production using a compact pulsed power generator”, Proceedings of 18th IEEE International Pulsed Power Conference, pp.1570-1573 (June 23, 2011), Chicago, USA

T. Sakugawa, Y. Matsumoto, Y. Itoh, H. Akiyama, K. Suematsu, A. Kouda, H. Watanabe, S. Baba, “Compact Capacitor Charger Using Resonant MOSFET Inverter”, Proceedings of 18th IEEE International Pulsed Power Conference, pp.1398-1401 (June 22, 2011), Chicago, USA

M. Yamanaka, S.H.R. Hosseini, D.K. Kang, T. Sakugawa, H. Akiyama: “EFFECTS OF PULSED ELECTRIC FIELD NUMBER OF EMBRYOIC DEVELOPMENT OF ORYZIA LATIPES”, Proceedings of 18th IEEE International Pulsed Power Conference, pp.1232-1237 (June 22, 2011), Chicago, USA

21 Y. Okuda, S.H.R. Hosseini, D. Oshita, S. Iwasaki, T. Sakugawa, H. Akiyama, “PRODUCTION OF UNIFORM UNDERWATER SHOCK WAVES BY PULSED ELECTRIC DISCHARGE” Proceedings of 18th IEEE International Pulsed Power Conference, pp.1216-1220 (June 22, 2011), Chicago, USA

22 Y. Ito, K. Kouno, T. Sakamoto, T. Sakugawa, H. Akiyama, “MINIATURE PULSED POWER GENERATOR USING A MAGNETIC PULSE COMPRESSION CIRCUIT” Proceedings of 18th IEEE International Pulsed Power Conference, pp.146-150 (June 20, 2011), Chicago, USA

23 Takashi Sakugawa, Satoru Ueda, Hidenori Akiyama “FAST RISE TIME PULSED POWER GENERATOR USING IGBTs AND COAXIAL MAGNETIC PULSE COMPRESSION CIRCUIT” Proceedings of 18th IEEE International Pulsed Power Conference, pp.140-145 (June 20, 2011), Chicago, USA

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計1件)

名称: 予備電離を用いたパルスストリーマ状放電プラズマ発生装置

発明者: 佐久川貴志、秋山秀典

権利者: 国立大学法人熊本大学

種類: 特許

番号: 特願 2013-125641

出願年月日：平成 25 年 6 月 14 日
国内外の別：国内

取得状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.ipps.kumamoto-u.ac.jp/>

6．研究組織

(1)研究代表者

佐久川 貴志 (SAKUGAWA Takashi)
熊本大学・パルスパワー科学研究所・准教授
研究者番号：40398186

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

秋山 秀典 (AKIYAMA Hidenori)
熊本大学・パルスパワー科学研究所・教授
研究者番号：50126827

勝木 淳 (KATSUKI Sunao)
熊本大学・パルスパワー科学研究所・教授
研究者番号：80233758

レザホセイニ セイエド ハミド (REZA
Hosseini Seyed Hamid)
熊本大学・パルスパワー科学研究所・教授
研究者番号：00543406