

ナノ秒パルスパワー技術開発と
環境・バイオ・リサイクル及び医療への応用

(課題番号 15206029)

平成15年度～平成18年度 科学研究費補助金 (基盤研究 (A))

研究成果報告書

平成19年3月

研究代表者 秋山 秀典

(熊本大学大学院自然科学研究科 教授)

目 次

I. はしがき	1
II. 研究発表	2
III. 研究成果	5
IV. 発表論文	7
[1] 水中パルスパワー放電を用いた廃回路基板のリサイクル	
[2] 線対平板電極を用いた大容量水中ストリーマ放電の特性	
[3] Propagation Velocity of Pulsed Streamer Discharges in Atmospheric Air	
[4] 人工呼吸器組込型 NO 生成装置の開発	
[5] パルスパワー方式排ガス処理に関する基礎研究 –NO 初期濃度による影響–	
[6] The Reactor Design for Diesel Exhaust Control Using a Magnetic Pulse Compressor	
[7] パルスアーク放電からの衝撃波進展特性	
[8] Zピンチ放電プラズマEUV光源	
[9] 半導体パルスパワー電源のプラズマ応用機器への適用	
[10] SOS ダイオードによる誘導性エネルギー蓄積型パルス電源	
[11] Dependence of Nox Removal by Pulsed Streamer Discharge on the Input Energy Density to Nitric Oxide Ratio	
[12] Novel Dual Marx Generator for Microplasma Applications	
[13] Separation of Metal from Metal-Plated Plastic by Pulsed Power	
[14] Optimizing Operational Parameters for Z-Pinch EUV Source by Artificial Neural Network	

- [15] EUV emission from gas discharge produced plasmas with solid tin as target
- [16] Shock Waves due to Pulsed Streamer Discharges in Water
- [17] Effects of an axial magnetic field on Z-pinch plasmas for extreme ultraviolet sources
- [18] 水中パルス放電方式骨材再生技術
- [19] Industrial Applications of Pulsed Power
- [20] 大容量水中パルスストリーマ放電を用いた大腸菌の殺菌
- [21] パルスパワーを用いたストリーマ状水中放電プラズマの生成
- [22] The Effects of Pulsed Streamerlike Discharge on Cyanobacteria Cells
- [23] Feasibility Studies of EMTP Simulation for the Design of the Pulsed-Power Generator
Using MPC and BPFN for Water Treatments

I. はしがき

パルス幅が 100 ナノ秒程度以上の高繰り返しパルスパワー発生装置の開発を行い、大気圧気体中及び液体中における大容量の放電プラズマの生成に成功した。このパルスパワー発生装置の利用は、環境、バイオ、リサイクル、医療福祉関係にまで発展し、新しい産業分野を形成しようとしている。

本研究目的は、本科研費終了後の産業利用を目指し、パルス幅をナノ秒と極短パルスにした高繰り返しナノ秒パルスパワー発生装置を開発することである。さらに、発生したナノ秒パルスパワーを用いて、気体中、水中及び固体中で放電プラズマを生成し、バイオ、生体、化学物質等との相互作用を調べ、ナノ秒パルスパワー応用としての次世代産業利用の基礎を築くことである。

課題番号 15206029

研究課題 ナノ秒パルスパワー技術開発と環境・バイオ・リサイクル及び医療への応用

研究組織

研究代表者 : 秋山 秀典 (熊本大学大学院自然科学研究科・教授)

研究分担者 : 勝木 淳 (熊本大学大学院自然科学研究科・助教授)

浪平 隆男 (熊本大学大学院自然科学研究科・助教授)

交付決定額(配布分)

(金額単位:千円)

	直接経費	間接経費	合計
平成 15 年度	11,500	3,450	14,950
平成 16 年度	11,100	3,330	14,430
平成 17 年度	10,500	3,150	13,650
平成 18 年度	3,700	1,110	4,810
総計	36,800	11,040	47,840

II. 研究発表

- [1] 中司宏, 廣岡達也, 勝木淳, 秋山秀典, “水中パルスパワー放電を用いた廃回路基板のリサイクル”, 電気学会論文誌 A, IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials. Vol.123, No.6, pp531-536, 2003.
- [2] 中司宏, 廣岡達也, 勝木淳, 秋山秀典, “線対平板電極を用いた大容量水中ストリーマ放電の特性”, 電気学会論文誌A, IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials. Vol.123, No.7, pp618-622, 2003.
- [3] T. Namihira, Douyan Wang, S. Katsuki, R. Hackam, and H. Akiyama, “Propagation Velocity of Pulsed Streamer Discharges in Atmospheric Air”, IEEE Transaction on Plasma Science, Vol. 31, No.5, pp.1091-1094, 2003.
- [4] 浪平隆男, 王斗艶, 勝木淳, 秋山秀典, 岡元和文, “人工呼吸器組込型 NO 生成装置の開発”, 電気学会論文誌 C, IEEJ Trans. EIS. Vol.124-C, No.1, pp.215-216, 2004.
- [5] 王斗艶, 浪平隆男, 勝木淳, 秋山秀典, “パルスパワー方式排ガス処理に関する基礎研究 -NO 初期濃度による影響-”, 電気学会論文誌 A(基礎・材料・共通部門誌), IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials, Vol.124, No.8, pp741-746, 2004.
- [6] Douyan Wang, Takao. Namihira, Koji Fujiya, Sunao Katsuki and Hidenori Akiyama, “The Reactor Design for Diesel Exhaust Control Using a Magnetic Pulse Compressor”, IEEE Transaction on Plasma Science, Vol. 32, No.5, pp.2038-2044, 2004.
- [7] 高木浩一, 向川政治, 藤原民也, 秋山秀典, “パルスアーク放電からの衝撃波進展特性”, プラズマ応用科学, Vol.12, pp.137-142, 2004.
- [8] 勝木淳, 佐久川貴志, 浪平隆男, 秋山秀典, “Zピンチ放電プラズマEUV光源”, Journal of Plasma and Fusion Research, Vol.81, No.4, pp.231-239, 2005.

- [9] 佐久川貴志, 浪平隆男, 勝木淳, 秋山秀典, 長田俊宏, 小金澤竹久 “半導体パルスパワー電源のプラズマ応用機器への適用”, Journal of Plasma and Fusion Research, Vol.81, pp.350-354, 2005.
- [10] 浪平隆男, 佐久川貴志, 勝木淳, 秋山秀典, “SOS ダイオードによる誘導性エネルギー蓄積型パルス電源”, Journal of Plasma and Fusion Research, Vol.81, No.5, pp.355-358, 2005.
- [11] Douyan Wang, Takao. Namihira, Sunao Katsuki and Hidenori Akiyama, “Dependence of Nox Removal by Pulsed Streamer Discharge on the Input Energy Density to Nitric Oxide Ratio”, Journal of Advanced Oxidation Technologies. pp.248-254, Vol.8, No.2, 2005.
- [12] Tammo Heeren, Takahisa Ueno, Douyan Wang, Takao. Namihira, Sunao Katsuki , and Hidenori Akiyama, “Novel Dual Marx Generator for Microplasma Applications”, IEEE Transactions on Plasma Science, Vol. 33, No.4, pp.1205-1209, 2005.
- [13] Hidenori Akiyama, Takashi Nagashima, Takao Namihira, Yoshihide Kato, Naoyuki Shimomura, Sunao Katsuki, and Takao Hisazumi, “Separation of Metal from Metal-Plated Plastic by Pulsed Power ”, 電気学会論文誌 A, IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials. Vol.125, No.12, pp.1006-1010, 2005.
- [14] Chaohai Zhang, Sunao Katsuki, Takashi Sakugawa, Akira Kimura, Haruhiko Fukumoto, Takao Namihira and Hidenori Akiyama, “Optimizing Operational Parameters for Z-Pinch EUV Source by Artificial Neural Network”, Japanese Journal of Applied Physics, Vol.44, No.7B, pp.5544-5546. 2005.
- [15] Chaohai Zhang, Sunao Katsuki, Hideki Imamura, Hiroyuki Horita, Takao Namihira and Hidenori Akiyama, “EUV emission from gas discharge produced plasmas with solid tin as target”, Journal of Physics D: Applied Physics, 38, pp.4191-4195. 2005.
- [16] Sunao Katsuki, Keiichi Tanaka, Taisuke Fudamoto, Takao Namihira, Hidenori. Akiyama and Hansjoachim Bluhm, “Shock Waves due to Pulsed Streamer Discharges in Water”, Japanese Journal of Applied Physics, Vol.45. No.1A, pp.239-242, 2006.

- [17] Sunao Katsuki, Akihiro Kimura, Yoshihiro Kondo, Hiroyuki Horita, Takao Namihira, Takashi Sakugawa, and Hidenori Akiyama, “Effects of an axial magnetic field on Z-pinch plasmas for extreme ultraviolet sources”, *Journal of Applied Physics*, 99, 013305. 2006.
- [18] 浪平隆男, 中島一行, 黒木香里, 友田祐一, 勝木淳. 大津政康, 重石光弘. 村上彰, 喜屋武毅, 佐久川貴志, 秋山秀典, “水中パルス放電方式骨材再生技術”, *電気学会論文誌A, 基礎・材料・共通部門 (IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials)* Vol.126, No.3, pp.197-198, 2006.
- [19] Hidenori Akiyama, Taisuke Fudamoto, Sunao Katsuki, Takao Namihira, Takashi Sakugawa, “Industrial Applications of Pulsed Power”, *IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials*. Vol.125, No.9, pp.717-722, 2005.
- [20] 札元泰助, 浪平隆男, 勝木淳, 秋山秀典, 今久保知史, 真島隆司, “大容量水中パルスストリーマ放電を用いた大腸菌の殺菌”, *電気学会論文誌A, 基礎・材料・共通部門 (IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials)*, Vol.126, No.7, pp.669-674, 2006.
- [21] 佐久川貴志, 山口崇弘, 山本邦博, 崔再九, 喜屋武毅, 浪平隆男, 勝木淳, 秋山秀典, “パルスパワーを用いたストリーマ状水中放電プラズマの生成”, *電気学会論文誌A, 基礎・材料・共通部門*, Vol.126, No.7, pp.703-708, 2006.
- [22] Zi Li, Shunsuke Sakai, Chiemi Yamada, Douyan Wang, Sungjin Chung, Xiaofei Lin, Takao Namihira, Sunao Katsuki, and Hidenori Akiyama, “The Effects of Pulsed Streamerlike Discharge on Cyanobacteria Cells”, *IEEE Transactions on Plasma Science*, Vol. 34, No.5, pp.1719-1724, 2006.
- [23] Jaegu Choi, Takahiro Yamaguchi, Kunihiro Yamamoto, Takao Namihira, Takashi Sakugawa, Sunao Katsuki, and Hidenori Akiyama, “Feasibility Studies of EMTP Simulation for the Design of the Pulsed-Power Generator Using MPC and BPFN for Water Treatments”, *IEEE Transactions on Plasma Science*, Vol. 34, No.5, pp.1744-1750, 2006.

Ⅲ. 研究成果

これまでの研究成果の概要は下記のようなものである。

超短パルス高繰り返しパルスパワー発生装置の開発

- ナノ秒パルスパワー発生装置を開発し、その特性を調べた。ナノ秒パルスパワー発生装置として、油を媒質に用いたブルームライン線路方式を用い、反転用スイッチとしてSF₆充填ギャップスイッチを用いた。ブルームライン線路の充電電源として、パルス幅が100ナノ秒の磁気パルス圧縮方式パルスパワー発生装置を用いた。
- ナノ秒パルスパワー発生装置のさらなる高繰り返し化のため、反転用スイッチとして磁気スイッチを用いた回路のシミュレーションを行い、動作することを確認した。
- スパークギャップの代わりに、BJT (Bipolar Junction Transistor) を用いて、ミニチュアマルクス発生装置を試作し、その特性を調べた。

パルスパワーを用いた高気圧気体中、液体中及び固体中での放電プラズマ生成

- 高気圧高温領域まで制御可能な容器を作成し、二酸化炭素の状態を気体、液体、超臨界流体まで変えることができた。
- 気圧と温度を変えることにより、気体、液体、超臨界流体まで状態を変えることが可能な放電プラズマ反応容器内において、大容量放電プラズマ生成条件を明らかにした。
- ナノ秒パルス幅を持つパルスパワー発生装置を用いて、大気圧空気中における放電進展の様子を明らかにした。さらに気体の種類を変えて実験を行い、同様に放電プラズマ進展の様子を明らかにした。
- パルスパワーで生成された大容量水中放電プラズマの温度と密度計測を行った。
- パルスパワー生成放電プラズマを高ダイナミックレンジストリークカメラで計測し、その生成過程を明らかにした。

高繰り返しパルスパワー発生装置の利用

- ナノ秒パルスパワー発生装置を用いて、自動車からの排ガス処理に関する研究を行い、パルス幅が 100 ナノ秒の場合と比較して、高効率であることが分かった。
- パルスパワーを用いた廃棄物のリサイクル、特に金属めっきプラスチックから金属とプラスチックを分離することにより、リサイクルの可能性を実験的に示した。効率よく分離するため、パルス放電で生ずる衝撃波を有効利用した。
- パルスパワーによって水中ストリーマ状放電をつけ、湖沼のアオコや赤潮の殺藻を行った。水中ストリーマ状放電によりアオコの細胞内ガス胞がつぶれ湖沼の底に沈むことが分かった。その際、細胞自身は死滅することではなく、太陽光などの条件が合えば、ガス胞が再生することも分かった。
- パルスパワーにより空気から NO の生成を行い、医療現場で使える装置の開発を目指した実験を行い、同時に生成される NO₂ の処理に関する新しいアイデアが必要なことが分かった。
- パルス電界によりがん細胞のアポトーシス誘発実験を行い、サブナノ秒パルス電界を用いるとアポトーシスが誘発できることを確認した。

IV. 発表論文

- [1] 水中パルスパワー放電を用いた廃回路基板のリサイクル
- [2] 線対平板電極を用いた大容量水中ストリーマ放電の特性
- [3] Propagation Velocity of Pulsed Streamer Discharges in Atmospheric Air
- [4] 人工呼吸器組込型 NO 生成装置の開発
- [5] パルスパワー方式排ガス処理に関する基礎研究 –NO 初期濃度による影響–
- [6] The Reactor Design for Diesel Exhaust Control Using a Magnetic Pulse Compressor
- [7] パルスアーク放電からの衝撃波進展特性
- [8] Zピンチ放電プラズマ EUV 光源
- [9] 半導体パルスパワー電源のプラズマ応用機器への適用
- [10] SOS ダイオードによる誘導性エネルギー蓄積型パルス電源
- [11] Dependence of Nox Removal by Pulsed Streamer Discharge on the Input Energy Density to Nitric Oxide Ratio
- [12] Novel Dual Marx Generator for Microplasma Applications
- [13] Separation of Metal from Metal-Plated Plastic by Pulsed Power
- [14] Optimizing Operational Parameters for Z-Pinch EUV Source by Artificial Neural Network
- [15] EUV emission from gas discharge produced plasmas with solid tin as target
- [16] Shock Waves due to Pulsed Streamer Discharges in Water
- [17] Effects of an axial magnetic field on Z-pinch plasmas for extreme ultraviolet sources
- [18] 水中パルス放電方式骨材再生技術
- [19] Industrial Applications of Pulsed Power
- [20] 大容量水中パルスストリーマ放電を用いた大腸菌の殺菌
- [21] パルスパワーを用いたストリーマ状水中放電プラズマの生成
- [22] The Effects of Pulsed Streamerlike Discharge on Cyanobacteria Cells
- [23] Feasibility Studies of EMTP Simulation for the Design of the Pulsed-Power Generator Using MPC and BPFN for Water Treatments