

機関番号：17401

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2008～2012

課題番号：20246053

研究課題名（和文）サブナノ秒パルスパワー技術開発と環境・バイオ・リサイクル・微細加工・医療への応用に関する研究

研究課題名（英文）Development of sub-nano second pulsed power technology and its application to environment·bio·recycle·fine manufacturing·medical treatment

研究代表者

秋山 秀典（AKIYAMA HIDENORI）

熊本大学・大学院自然科学研究科・教授

研究者番号：50126827

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電力工学・電力変換・電気機器

キーワード：電気エネルギー変換、パルスパワー

1. 研究計画の概要

パルス幅が数十ナノ秒の高繰り返しパルスパワー発生装置の開発をこれまで行ってきた。この装置を用いて、大気圧気体中、水中及び固体中における大容量の放電プラズマの生成に成功した。数十ナノ秒のパルスパワー発生装置を用いた産業応用は、夏季に発生する湖沼でのアオコ処理等の環境浄化、新しい遺伝子導入法等のバイオ技術、高効率コンクリート内骨材分離等のリサイクル、次世代半導体リソグラフィ用極短紫外光源等の超微細加工、癌治療等の医療にまで発展しつつある。最近ではダイオキシン処理装置、脱臭装置、殺菌装置、水処理装置、医療用NO源、岩盤調査装置等多くの分野で製品化、或いは製品化が試みられており、新しい産業分野を形成している。

本研究では、5年後の産業利用を目指し、パルス幅を更に減少させて、ナノ秒以下と極短パルスにした高繰り返しサブナノ秒パルスパワー発生装置を開発する。さらに、発生したサブナノ秒パルスパワーを用いて、高気圧気体中、液体中、超臨界流体中及び固体中で放電プラズマを生成し、その特性を調べると共に、バイオ、生体、化学物質等との相互作用を調べる。また、サブナノ秒パルスパワーを直接癌細胞や腫瘍に照射して、アポトーシスを誘導することによる新しい癌治療方法の開発や、多能性分化能を持つES細胞（胚性幹細胞）に照射して分化制御を行うなど、サブナノ秒パルスパワー応用としての産業創生を行う。さらに、パルスパワーのバイオへの作用とその環境・医療への応用という新しい分野であるバイオエレクトロニクスの間創生に寄与する。

2. 研究の進捗状況

平成20年度は、1000pps (pulses per second) で動作する磁気パルス圧縮方式パルスパワー発生装置の開発とそれを充電器としたサブナノ秒パルスパワー発生装置の開発を行った。一ショット当たりのエネルギーは0.1Jと小さいが、2000pps (pulses per second) で動作させた。軽量にするため、空気冷却を用いた。出力電圧は15kVであるが、高周波に対応した磁性体を用いたトランスを出力端に置くことにより、高電圧化している。さらに、一ショット当たり4Jのパルスパワー発生装置も開発済みである。磁気パルス圧縮方式パルスパワー発生装置を充電器とし、電圧の立上がり時間が600psのサブナノ秒パルスパワー発生装置を開発した。LCR回路を用いたが、Lを同軸状として、可能な限り小さくすることにより達成した。

平成21年度は、開発したパルスパワー発生装置を用いて、高気圧気体中、液体中、超臨界中及び固体中で放電プラズマを生成した。超臨界流体中においては、超高圧・超高温中に放電プラズマ生成のための電極をどのように挿入するかが大きい問題であったが、これまでの研究をもとに、最適のものに改良した。さらに、生成された放電プラズマを分光計測及びレーザー計測により観測した。放電プラズマと周囲媒質の間の高エネルギー密度現象として、10000気圧を超える衝撃波、MV/cmを超えるような超高電界、ラディカル原子分子、高強度光放射等があり、これらの現象を計測した。また、ナノ秒パルスパワーを細胞に照射して、細胞内作用部位の制御を行った。計測には、現有の共焦点走査型顕微鏡、セルゾータ付フローサイトメーター、マイクロインジェクタ付全焦点顕微鏡等を

駆使して行った。

平成22年度は、サブナノ秒パルスパワーをヒラ細胞（人間の子宮がん細胞）に照射して、共焦点顕微鏡で15分ごと7日間形態変化を観測すると共に、フローサイトメーターを用いて、アポトーシスが起きていることを確認した。さらに、楕円体ミラーによってパルスパワーを集束し、がん細胞への影響を調べ、有意差を確認した。また、万能細胞と言われているES細胞に、パルスパワーを印加して、細胞分化への影響を調べ、新しい作用因子となることを明らかにした。最初に、ES細胞の死滅が起こる電界強度と印加回数を調べた後、細胞分化への影響を調べた。更なる実験が必要ではあるが、細胞分化への影響が認められた。超臨界流体中放電プラズマ現象の解明に関しては、レーザ干渉計を用いて観測し、放電プラズマの進展状況や衝撃波の発生について明らかにした。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

研究計画通りに研究が進んでおり、その成果はレフェリーのある学会誌に33編掲載されていることから、おおむね順調に進展しているとした。

4. 今後の研究の推進方策

平成23年度は、パルスパワーの応用研究、最終年度の平成24年度は、研究成果の産業創生とバイオエレクトリクスの特許書の執筆が計画されている。平成22年度までの基礎研究とは研究手法が異なるので、企業との共同研究を積極的に進めることにより、達成する。

5. 代表的な研究成果

（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33件）

うち査読付論文（計33件）

- ① M. Akiyama, T. Sakugawa, S. H. R. Hosseini, E. Shiraishi, T. Kiyama, and H. Akiyama, “High-Performance Pulsed-Power Generator Controlled by FPGA”, IEEE Transactions on Plasma Science, Vol. 38, No. 10, pp. 2588-2592, 2010.
- ② S. Katsuki, K. Mitsutake, M. Yano, M. H. Akiyama, H. Kai, T. Shuto, “Non-thermal and transient thermal effects of burst 100 MHz sinusoidal electric fields on apoptotic activity in HeLa cells”, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 17, No. 3, pp. 678-684, 2010.
- ③ D. Wang, S. Okada, T. Matsumoto,

T. Namihira, H. Akiyama, “Pulsed discharge induced by nano-seconds pulsed power in atmospheric air”, IEEE Transactions on Plasma Science, Vol. 38, No. 10, pp. 2746-2751, 2010.

- ④ T. Kiyama, M. Sasaki, T. Ihara, T. Namihira, M. Hara, M. Goto, H. Akiyama, “Pulsed Breakdown and Plasma-Aided Phenol Polymerization in Supercritical Carbon Dioxide and Sub-Critical Water”, Plasma Process. Polym., Vol. 6, pp. 778-785, 2009.
- ⑤ N. Nomura, M. Yano, S. Katsuki, H. Akiyama, K. Abe, S.-I. Abe, “Intracellular DNA damage induced by Non-thermal Intense Narrowband Electric Fields”, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 16, No. 5, pp. 1288-1293, 2009.

〔学会発表〕（計60件）

- ① H. Akiyama, “Medical and Environmental Applications in the field of Bioelectrics”, 7th International Bioelectrics Symposium, June 24, 2010, Marriott Waterside hotel, Norfolk, VA, USA. （招待講演）
- ② H. Akiyama, “Medical, Biological and Environmental Applications of High Performance Pulsed Power”, International Power Modulator and High Voltage Conference, May 26, 2010, The Westin Peachtree Plaza Hotel, Atlanta, GA, USA. （全体講演）
- ③ H. Akiyama, “Phenomena of Discharge Plasmas in Water Produced by High Repetitive Pulsed Power Generator”, 4th Japan/US Symposium On Pulsed Power And Plasma Applications, August 5, 2010, Sheraton Princess Kaiulani Hotel, Honolulu, Hawaii, USA.
- ④ H. Akiyama, “Source for ns pulse”, 8th International Bioelectrics Symposium, June 26, 2009, University of Missouri, USA. （招待講演）
- ⑤ H. Akiyama, “Goal and Achievements of the COE Program on Pulsed Power at Kumamoto University”, 35th IEEE International Conference on Plasma Science, June 16, 2008, Congress Center Karlsruhe, Germany. （全体講演）