

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 19 日現在

機関番号：54502

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560350

研究課題名(和文) 小型同軸マルクスで発生するメガワット級大電力短パルスマイクロ波を用いた滅菌処理

研究課題名(英文) Research on sterilization with irradiation of high power microwave produced by coaxial Marx generator

研究代表者

橋本 好幸 (HASHIMOTO, YOSHIYUKI)

神戸市立工業高等専門学校・電子工学科・教授

研究者番号：20270308

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円、(間接経費) 870,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、同軸構造のマルクス装置を作製し、仮想陰極発振器を用いて大電力パルスマイクロ波を発生させ、それを指標菌等へ照射してその滅菌効果について検証することである。まず、同軸マルクス装置を作製しその動作解析を行った。次に仮想陰極発振器で発生するマイクロ波の周波数の算出を行い約18GHzになることがわかった。大電力パルスマイクロ波を指標菌に照射し、その滅菌効果について検証を行った。しかし、現時点では、その滅菌効果について有効である実験結果は得られなかった。今後は、更に安定したマイクロ波を生成できるように装置の改良を行い、滅菌効果について検証を行っていく予定である。

研究成果の概要(英文)：I researched on sterilization with irradiation of a high power pulsed microwave produced by a virtual cathode oscillator using a coaxial Marx generator. The -360kV coaxial Marx generator was assembled and output characteristics of the Marx generator were estimated. Microwave frequency produced by the virtual cathode oscillator was calculated to be about 18 GHz. I irradiated a biological indication with the microwave and inspected it about the sterilization effect. But effective results about the sterilization were not obtained.

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：パルスパワー マイクロ波 滅菌 マルクス回路 仮想陰極発振器 電子ビーム

1. 研究開始当初の背景

現在、滅菌法としてはガス法、加熱法、プラズマ法、照射法などがあるが、医療機関で用いられる主な滅菌法として、ガス法と加熱法である。ガス法では、酸化エチレンガスを用いるものが主流であるが、酸化エチレンガスは人体に強い毒性と発がん性を有しており、滅菌業務従事者の安全性が問題となっている。また、加熱法は多くの細菌に有効であるが、非耐熱性の樹脂材やシリコンゴム、および非耐湿性の器材には不適である。これらの問題点を解決する方法として、プラズマを用いた滅菌法が開発されている。これは、放電プラズマによって細菌の細胞膜に高電界を印加することで細胞を死滅させる方法である。しかし、プラズマ滅菌法では、滅菌する器具が直接プラズマに触れることでの表面劣化や、一度に多量の器具を滅菌することが不可能であるなどの問題がある。

そこで、本研究では、パルスパワー装置で発生する大電力パルスマイクロ波(HPM)に注目した。HPMは、放電プラズマと同様に、その照射によって細菌に高電界を印加することが可能である。更に、放電プラズマでは細菌の細胞膜までしか電界を印加できないが、HPMは非常に高周波であるため、HPMの高電界は細胞膜の内部(細胞質)にまで浸透し、細菌の死滅確率が増加すると期待される。

2. 研究の目的

本研究では、コンパクトパルスパワー装置として同軸構造のマルクス装置を作製し、仮想陰極発振器を用いて大電力パルスマイクロ波(HPM)を発生させる。そして、発生したHPMを指標菌等へ照射して、その滅菌効果について検証することを目的とする。

3. 研究の方法

図1に実験装置の概略図を示す。大電力マイクロ波発生用の電源には、-360kVの同軸マルクス装置を用いる。仮想陰極発振器用のダイオードには、ポイントピンチダイオードを用いる。陰極はステンレス球(直径10mm程度)を用い、陽極はアルミ箔または穴あき板を使用する。真空室は、ロータリポンプとターボ分子ポンプにより、 10^{-4} Pa程度まで排気する。同軸マルクスを高電圧充電器で充電し、高電圧パルサーでギャップスイッチをトリガーするとダイオードから電子ビームが発生する。電子ビーム発生と同時に仮想陰極が形成され、マイクロ波が発生する。発生したマイクロ波は、円筒導波管で金網シールドされた照射室へと導かれ、TM01モードからTE11モードへ変換後にホーンアンテナにより、指標菌が塗布されたバイオロジカルインジケータ(BI)へ照射する。照射後のBIは、低温インキュベーターで4時間~1週間培養し、滅菌効果を測定する。マイクロ波の電力、周波数、照射回数等の実験パラメータを変更し

て照射実験を行い、滅菌効果を測定する。マイクロ波照射で得られた結果と、その他の滅菌法で得られた結果を比較検討し、大電力パルスマイクロ波照射による滅菌効果について評価を行う。

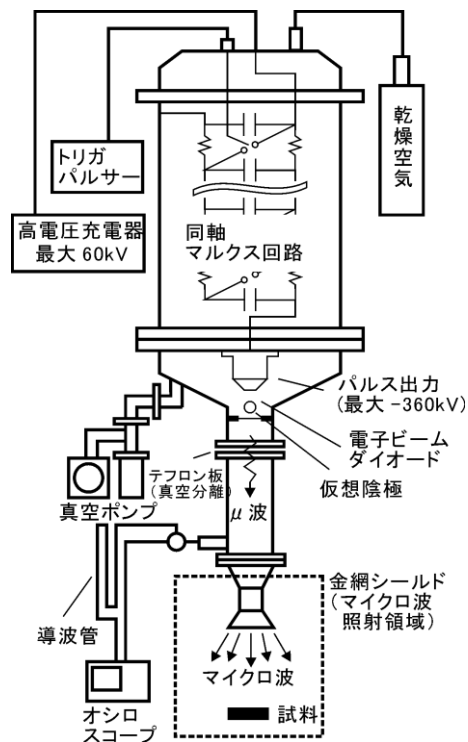


図1 実験装置の概略

4. 研究成果

1) 同軸マルクス装置の作製

同軸マルクス装置を作製するにあたり、等価的な電気回路を用いて、その動作解析を行った。負荷抵抗を5Ωとした場合、マルクスの出力電圧および電流の最大値が、それぞれ130kVおよび28kAと計算された。同様に、負荷抵抗を15Ωとした場合の出力電圧および電流は220kVおよび17kA、負荷抵抗を25Ωとした場合は270kVおよび12kAと算出された。また、負荷抵抗が15Ωの場合の出力パルス幅は半値幅で約100nsであった。以上の計算結果から、作製する同軸マルクス装置の動作について、おおむね把握することができた。

図2に、実際に作製した同軸マルクス装置の外観を示す。マルクス電源の1段のユニットは、充電抵抗(10kΩ)、円筒型のコンデンサユニット、ギャップスイッチで構成される。円筒金属容器内部に、このユニット6段を直列に接続することで同軸マルクス電源を構成した。よって、充電電圧を60kVとすると、無負荷時の出力電圧は-360kVとなる。コンデンサユニットは、セラミックコンデンサ(耐圧40kV, 2nF)2個を直列接続したものを並列に並べて構成され、1ユニット当たりの耐圧80kV、容量28nFである。同軸マルクス装置を構成するために使用したコンデンサの

総数は 312 個、合成容量は 1nF、蓄積エネルギーは 195J、出力インピーダンスは約 15Ω となる。



(a) 装置内部 (b) 装置外観

図 2 作製した同軸マルクス装置の外観

2) 仮想陰極発振器で出力するマイクロ波の算出

同軸マルクスの出力電圧、陰極半径およびギャップ長の概算を求めるために、理論式を用いてマイクロ波の発生条件を算出した。それらの結果から、陰極半径を固定した場合、仮想陰極発振器によるマイクロ波発生 の 閾 値 となるダイオード電圧およびダイオード電流は、ダイオードギャップ長を短くすると小さくなることがわかった。また、ダイオードギャップ長を固定した場合は、マイクロ波発生 の 閾 値 電 圧 と 電 流 は、陰極半径が大きくなると小さくなることがわかった。また、ダイオード電圧が 100~300kV の領域では、マイクロ波が発振するギャップ長と陰極半径の比は 0.2~0.25 となることがわかった。更に、図 3 に示すように、陰極半径を 10mm とした場合、ダイオード電圧が 100~300kV

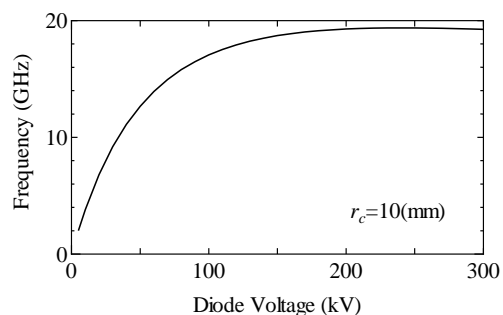


図 3 マイクロ波の発振周波数の計算値 (陰極半径 $r_c=10\text{mm}$ の場合)

の範囲でマイクロ波の発振周波数は約 18GHz となることがわかった。

3) マイクロ波照射による滅菌効果の検証

大電力パルスマイクロ波を指標菌に照射し、その滅菌効果について検証を行った。しかし、本研究で用いた仮想陰極発振器は電子ビームの変動に影響を受けやすいため、安定したマイクロ波の発生を行うことができなかった。また、発生したマイクロ波の電力についても正確な測定ができなかったため、その値を把握できていないが、当初の想定よりも小さいと思われる。これらの理由から、大電力マイクロ波を指標菌に照射したものの、現時点では、その滅菌効果について有効である実験結果は得られていない。

そこで、今後の研究では、電子ビームの生成をより安定化させるとともに、マイクロ波発生 の 最 適 条 件 を 再 検 討 し、発生するマイクロ波の電力の安定化と高出力化を図る。その後、再度、マイクロ波を指標菌に照射し、その滅菌効果について検証を行っていく予定である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

① Yoshiyuki Hashimoto : "Generation of High Power Pulsed Microwave by Coaxial Marx Generator", National Institute for Fusion Science, 査読無, NIFS-PROC-94, 2013, pp.7~11

② 橋本好幸 : "仮想陰極発振器を用いて滅菌用大電力マイクロ波の発生", プラズマ応用科学, 査読有, Vol.20, 1, 2013, pp.55~58

③ 橋本好幸 : "仮想陰極発振器を用いた滅菌用大電力マイクロ波発生における発振条件の考察", 神戸市立工業高等専門学校研究紀要, 査読有, No.51, 2013, pp.179~182

[学会発表] (計 8 件)

① 橋本好幸 : "電子ビーム生成用小型同軸マルクスの動作解析", 電気学会パルスパワー研究会資料, PPT-13-66, 2013, pp.1~4

② 橋本好幸 : "同軸型マルクス装置を用いた滅菌用大電力マイクロ波の発生", 電気学会研究会資料プラズマ・パルスパワー合同研究会, PPT-11, 71-90, 2013, pp.67~70

③ Yoshiyuki Hashimoto : "Study on -360kV Compact Marx Generator for High-Power Microwave Applications", ADVANCES IN APPLIED PLASMA SCIENCE, Vol.9, 2013, pp.69~70

④ 橋本好幸 : "360kV 小型同軸マルクスの

動作解析", 平成 25 年度電気学会・基礎・材料・共通部門大会要旨集, 2013, pp.239

⑤ 橋本好幸, 石田裕太郎, 住本優哉 : "大電力マイクロ波発生用小型同軸マルクスの動作特性の評価", 平成 25 年電気学会全国大会講演論文集第 1 分冊, 2013, pp.182

⑥ 橋本好幸, 石田裕太郎, 住本優哉 : "大電力パルスマイクロ波を用いた生体の活性化に関する研究", 神戸高専産学官技術フォーラム' 12 講演論文集, 2012, pp.23~24

⑦ 橋本好幸 : "仮想陰極発振器を用いた大電力短パルスマイクロ波の発生", 平成 24 年電気学会全国大会講演論文集, 1, 2012, pp.201

⑧ 橋本好幸 : "パルスパワー装置で発生するメガワット級大電力短パルスマイクロ波を用いた滅菌処理", 神戸高専産学官技術フォーラム' 11 講演論文集, 2012, pp.55~56

6. 研究組織

(1) 研究代表者

橋本 好幸 (HASHIMOTO, Yoshiyuki)
神戸市立工業高等専門学校・電子工学科・教授

研究者番号 : 2 0 2 7 0 3 0 8