

令和 2 年 6 月 23 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06292

研究課題名(和文) 超短パルス高電界がん治療法のための磁気スイッチによる高電圧パルス列形成と細胞効果

研究課題名(英文) Generation of high voltage pulse train using magnetic switch for cancer treatment method by ultra-short pulse high electric field and its effect to cells

研究代表者

南谷 靖史 (Minamitani, Yasushi)

山形大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：10323172

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：超短パルス電場によるがん治療を実現するための高周波バーストパルス高電界発生装置の開発を行った。磁気スイッチを用いた非線形伝送線路により複数の単一パルスを連続的に出力するバーストパルス発生器を同軸構造とすることで、周波数を13MHzから150MHzに増加させた。そしてバーストパルスをがん細胞に適用すると、同じ条件下では単一パルスよりも細胞死が起きることを示した。さらに両極性バーストパルス発生器の開発を行い、2つの周波数の重畳が細胞死を起こすのに効果的であることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で単一周波数を持つ高周波バーストパルスを発生できる装置を開発したので、超短パルス電界がん治療法研究に使用することが可能となった。これにより、細胞の意図した部位に高電界を印加することが可能となり、細胞の部位ごとの電界応答を調べることが可能となった。この成果により、これまで知ることができなかったパルスの何がどこに作用してがん細胞にアポトーシスを起こしているのかを明らかにすることができ、医学的見地からのアポトーシス誘導の研究が進むことが予想される。

研究成果の概要(英文)：We have developed a high frequency burst pulse high electric field generator to realize cancer treatment using an ultrashort pulse electric field. The frequency was increased from 13 MHz to 150 MHz by using a coaxial structure to the burst pulse generator that continuously outputs multiple unipolar pulses through a non-linear transmission line using a magnetic switch. Then the burst pulse was applied to cancer cells. It was shown that cell death more occurs under the same conditions than that of a single pulse. Furthermore, we have developed a bipolar burst pulse generator and showed that the superposition of two frequencies is more effective in causing cell death.

研究分野：パルスパワー工学

キーワード：高周波バーストパルス 磁気スイッチ 非線形伝送線路 がん治療 がん細胞 アポトーシス ネクローシス 単一周波数

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

現在、日本人の死因第1位はがんであり、3人に1人はがんで死亡している。人間の身体の細胞は日々分裂、増殖、アポトーシスを繰り返している。アポトーシスとは、異常が発生または老化した細胞において、細胞がまるで自殺するかのように自然に消滅してしまう細胞死のことである。アポトーシスがうまく機能すれば、異常が生じた細胞は増殖できずに処理され消滅する。ところが、栄養不足、毒物、外傷などの外的環境要因によって遺伝子に突然変異が生じると、アポトーシスが作用せず死亡すべき細胞が死滅しなくなる。このようにして生じた過剰な細胞のうち、命を脅かすものをがんと呼ぶ。

がん治療には外科治療、化学治療、放射線治療などが行われているが、いずれも人体に対する負担が大きく、脱毛、食欲不振、嘔吐、疲労感などの副作用を伴うため問題となっている。そこで近年、副作用を伴わない可能性のあるがん治療として、パルスパワーを用いることが注目されている。これは、がん細胞にナノ秒パルスパワーによる高電界(数十 kV/cm)を印加することでアポトーシスを引き起こせることが最近の研究で明らかにされたことによる[1]。時間幅が数ナノ程度の極短パルス電界は数十 MHz の以上周波数成分を持っており、この高周波のパルス電界を細胞に印加すると細胞にアポトーシスを誘導できると考えられている。

ナノ秒パルス高電界が細胞に与える効果の研究はアメリカでも21世紀から始まった研究で、日本でもここ10年ほどでようやく始まったばかりであり、医学研究者でナノ秒オーダのパルス高電界でがんを治療する研究をしている人はいない。これはナノ秒のパルス高電圧を発生する装置が存在していないため、ナノ秒オーダの高電圧パルス印加するという発想がなかったためと考えられる。本研究でがん細胞に効果のあるコンパクトな高強度高周波パルス電磁波発生装置を開発し医療研究者に提供できれば医学的な見地からの研究が日本でも進むことが期待できる。

### 2. 研究の目的

超短パルス高電界がん治療法とは、がん細胞にナノ秒オーダの高電界(数十 kV/cm 程度)を印加して、細胞にアポトーシス作用を再生させ、手術することなしにがんを治療する方法である。この方法においては、超短パルス高電界の持つ周波数成分、電界強度が細胞小器官に与える効果を調べる必要がある。そして、患部にどのようにして高電界を印加するかが重要であり、本研究の最終目標はこれらの解明と、そのような高電界を印加できる装置の開発である。そのため、本研究課題では超短パルス高電界による非外科がん治療法におけるパルス高電界印加装置の検討、及びがん細胞への効果の確認を行う。

### 3. 研究の方法

次の5つのテーマについて順次研究を行った。

#### (1) 磁気スイッチ型非線形伝送線路バーストパルス発生装置の出力パルス列の均一化

この研究で使用する方法では電磁波の放射効率を考えると単一周波数の複数の振動パルスを有するバーストパルスを提供する方が望ましい。また、バーストパルスにすることにより細胞に与えるエネルギーも増し効果的と考えられる。そこで、これまでの研究で我々は、図1に示すような可飽和リアクトルの磁気飽和を利用した磁気スイッチ型非線形伝送線路(NLTL: Nonlinear transmission line)によるバーストパルス発生装置を開発している。この装置は線路のLC段数分の独立したパルスを連続で出力することが可能であり、出力周波数も数10MHzを超える出力が可能である。しかし出力されるバーストパルス列の最初のパルスの大きさが2番目以降よりかなり大きく、バーストパルス列の大きさの均一性に問題があった。そこで均一な大きさのバーストパルス列が出力できるよう、装置の改良を行った。

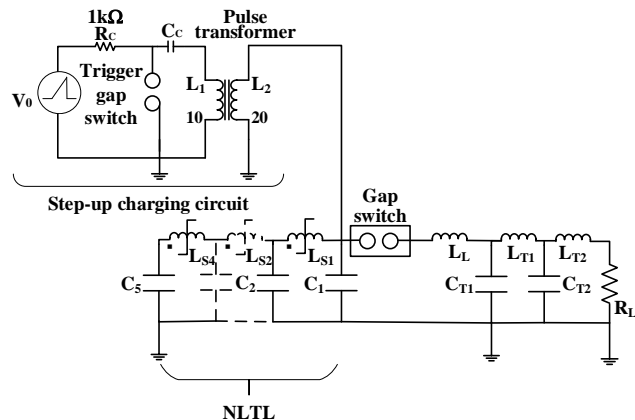


図1 磁気スイッチ型非線形伝送線路バーストパルス発生装置

#### (2) 磁気スイッチ型非線形伝送線路高周波バーストパルス発生装置のコア材質の検討

この非線形伝送線路で磁気スイッチは、梯子型線路から出力される方形波を各段で遅延させ分離するために用いられており、遅延時間は電圧時間積(VT積)で決まる。したがって、バーストパルス生成において重要となるのは磁気スイッチのコア材質のスイッチとしての性能である。高周波に対するコア材質の飽和磁束密度、残留磁束密度が大きいほど、VT積を保ったままインダクタンスを小さくすることができるため、より高周波なバーストパルスを出力できる。したがって、バーストパルスの高周波化を図るためには、短時間の電圧変化に対するスイッチング特性の優れたコア材質が必要となる。磁気スイッチは主に磁気パルス圧縮回路で用いられている。しかし、報告された磁気パルス圧縮回路で圧縮したパルス幅は半値で50ns程度であり10ns

以下のパルス幅まで圧縮した例はない。さらに我々の回路のように複数の磁気スイッチをバースト動作させ 100MHz 以上の高周波振動を得た例はない。そこでまず、本研究の装置で使っている 100ns 以下で電圧変化する回路条件で数種類のコア材の VT 積を測定し、磁気スイッチ型バーストパルス発生装置の 100MHz 以上の高周波化に適したコア材を選定した。

### (3) 単パルスと比較したバーストパルスの優位性の調査

この方法では、電磁波の放射効率を考えると供給波形は方形波や減衰波ではなく、単一周波数のパルスを供給する方が望ましい。また我々は単発のパルスを繰り返し細胞へ供給するよりも、連続的な供給が可能なバーストパルスを加える方がより効果的であると思われる。これまでの研究で開発した図 6 に示す装置は、可飽和リアクトルの磁気飽和を利用した磁気スイッチ型非線形伝送線路(NLTL : Nonlinear transmission line)は線の LC 段数分の独立したパルス、すなわちバーストパルスを生成することが可能である。そこで作成した装置で実際に HeLaS3 細胞へ印加し、バーストパルスをがん治療に使うことの優位性を示すため、細胞に単パルスを印加した場合と、バーストパルスを印加した場合の細胞死の比較を行った。バーストパルスと単パルスと同じ条件下（電界強度、供給電力、印加時間）でがん細胞へ印加した場合、バーストパルスの方がアポトーシス誘導に優位性があることを示した。

### (4) 磁気スイッチ型非線形伝送線路高周波バーストパルス発生装置の両極性パルス出力化

これまでの研究で我々は、可飽和リアクトルの磁気飽和を利用した磁気スイッチ型非線形伝送線路(NLTL : Nonlinear transmission line)によるバーストパルス発生装置を開発している[2]。この装置は線路の LC 回路により、LC 段数分の独立したパルスを連続で出力することが可能であり、その LC 振動の周波数成分を強く持つバーストパルスを出力することが可能である。しかし、単一極性のパルスを連続出力すると、そのパルス列数に起因した低周波成分が表れる。そうすると、バーストパルスに目的の周波数成分だけでなくそれよりも低周波の成分も重畳してしまい、単一周波数ではなくなり電磁波の送信効率が落ちてしまう。また、細胞への周波数の効果を見る上でも 2 つの周波成分が重畳してしまふことにより、どちらの周波数が細胞に影響を与えているのかわからなくなってしまう。そこで、我々は磁気スイッチ型 NLTL により単一の周波数成分のみを持つ両極性のバーストパルスを発生する回路（図 2）を開発した。

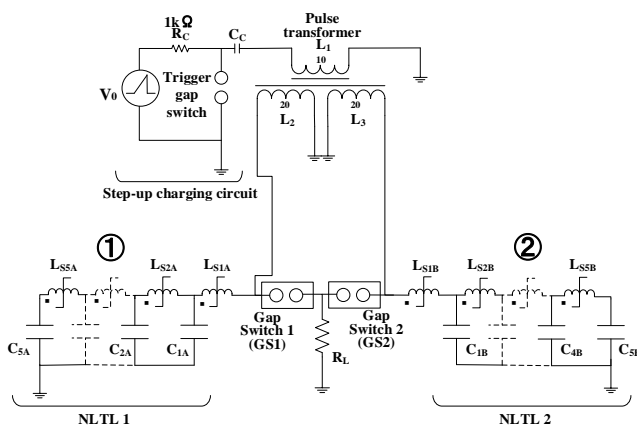


図 2 両極性バーストパルス発生回路

### (5) 高周波バーストパルスががん細胞へ与える影響における低周波重畳の効果

この方法では、電磁波の放射効率を考えると供給波形は方形波や減衰波ではなく、単一周波数のパルスを供給する方が望ましい。またパルス単発で繰り返し細胞へ供給するよりも、連続的な供給が可能なバーストパルスを加える方がより効果的である。しかし、単極性バーストパルスにはそのバーストパルス幅に起因した低周波成分も含まれる。そのため、目的の周波数成分の他にパルス幅分の低周波成分も重畳し、細胞への周波数効果検証時、効果的な周波数がどれかわからない。そこでここでは、単極性と両極性のバーストパルスを細胞に印加した場合の細胞死割合の違い、単極性バーストパルスに含まれる低周波成分が細胞死に与える影響について調べた。

## 4. 研究成果

ここでは(4)の磁気スイッチ型非線形伝送線路高周波バーストパルス発生装置の両極性パルス出力化についてのみ述べる。

### (1) 両極性バーストパルス発生回路からの出力波形

図 3 に両極性バーストパルス発生回路を動作させた場合の負荷に印加された出力波形を示す。図のように二つの単極性バーストパルス発生回路からの出力が半周期ずれて重なることにより正負に振動するバーストパルスが実現できていることがわかる。しかしながら図 3 に示す波形は二つの単極性バーストパルス発生回路の出力がうまく半周期ずれた場合の波形であり、ギャップスイッチの動作が放電現象であるため放電開始

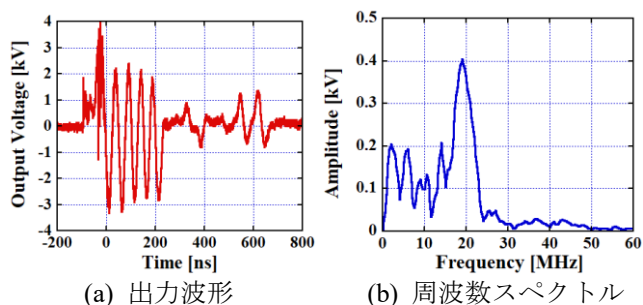


図 3 両極性バーストパルス発生装置からの出力波形とスペクトル (good).

のジッタが大きく、実際には半周期ずれていない図4に示すような波形も存在する。図4にその分類分けした波形を示す。図4(a)は正極性のパルスが早く出過ぎた波形、図4(b)は負極性のパルスが早く出過ぎた波形、図4(c)は正極性が早く出過ぎて正極性と負極性のパルスが完全に分離した波形、図4(d)は負極性が早く出過ぎて正極性と負極性のパルスが完全に分離した波形である。これ以外に正極性パルスと負極性パルスが完全に重なって波形が全く出ない場合がある。図5に500回パルス出力を試行したときに、GS1とGS2のギャップ長を両方とも0.7mmに設定後、正極性に充電した側のギャップGS1のギャップ長を延ばしていったときの両極性のパルスの出力確率と図4に示した両極性にならなかった波形の出力確率を示す。両極性パルスになる確率は正極性からパルスが始まる場合と負極性からパルスが始まる場合両方合わせても50%ほどしかない。GS1とGS2の放電開始のばらつきが大きく、両極性になるタイミングが合わないと考えられる。今後二つの回路の同期がとりやすい原理のスイッチに変える、ギャップスイッチは一つしか使わない等の改善が必要である。そのため回路1と回路2の同期がとりやすいスイッチへと改良を行った。

(2) 両極性バーストパルス発生装置のスイッチの改良

### ① スイッチ改良の概要

ギャップスイッチGS1とGS2の放電開始のばらつきが少なく同期がとれないと正と負のバーストパルスの出力タイミングがずれてしまい両極性バーストパルスの発生確率は高くない。GS1とGS2の同期を取れやすくするため、GS1またはGS2がまず先に放電を起こしたときの放電発光がもう一方のまだ放電を起こしていないギャップスイッチを照射し、光トリガとして働くような一体化構造に変更した。図6にGS1とGS2の構造を示す。GS1、GS2ともに電極は真鍮平板対M4のステンレスネジで、3気圧に加圧されたSF6ガスで満たされている。GS1とGS2の電極は直線状に配置されておりグラウンド電極を共有するようになっている。グラウンド電極はその真ん中にGS1とGS2の高圧電極がお互いに見えるように穴が開いている。この穴を通して片方のギャップが放電したときの放電光がもう片方のギャップを照射し放電を誘発する。グラウンド電極の厚さ、穴径は種々変えて実験を行っている。

このスイッチの改良に伴い両極性バーストパルス発生回路の回路素子の値の変更も行った。それはGS2に接続されている磁気スイッチL<sub>S2A</sub>のコア断面積を他のコアの断面積の半分としたことである。ただし飽和後のインダクタンスは変わらないようにコイルの径、巻き数は同一とした。この場合、磁気スイッチL<sub>S2A</sub>が磁気スイッチL<sub>S1A</sub>より早く飽和するため負極性のバースト

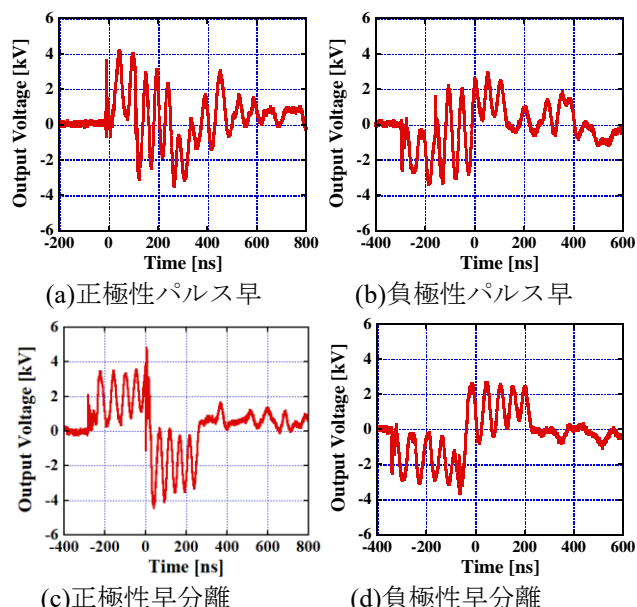


図4 両極性バーストパルス発生装置からの出力波形 (bad).

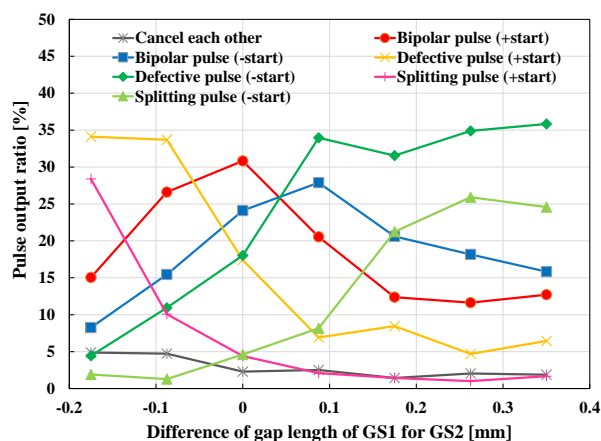


図5 両極性パルスの出力確率と波形ずれの確率。

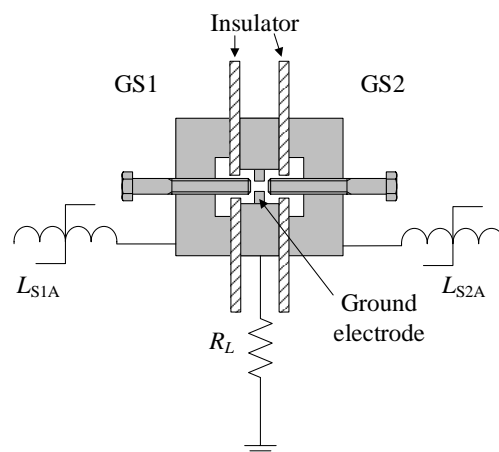


図6 スイッチ改良後のGS1とGS2の構造図

パルスが発生する。この穴を通して片方のギャップが放電したときの放電光がもう片方のギャップを照射し放電を誘発する。グラウンド電極の厚さ、穴径は種々変えて実験を行っている。

パルスの方が半周期先に出る両極性バーストパルスとなる。

②改良したスイッチによる両極性バーストパルスの発生特性

図7にグランド電極の厚さを2.5mm, 穴径を3mmとしたときの両極性バーストパルスの出力確率を, 正極性に充電した側のギャップGS1のギャップ長を変えて測定した結果を示す。図5と同様にGS1とGS2のギャップ長を両方とも0.7mmに設定後にGS1のギャップ長を変えている。GS1とGS2が同時にオンするように設定し, 磁気スイッチ $L_{S2A}$ を他の磁気スイッチコアの半分に設定したこの回路の場合には, スイッチの動作が多少ずれて正負のバーストパルスが重なり打ち消すような動作をした場合でも打ち消された波形の後に両極性バーストパルスが出力される現象が起こった。この波形を図8に示す。これは正負のバーストパルスが負荷部分で重なって出力を打ち消した後, 反対側のバーストパルス発生回路に進展し, そのキャパシタを再度逆極性で同時に充電し, その後もう一度各磁気スイッチの飽和により再度バーストパルスが負荷に進展するからである。このとき磁気スイッチ $L_{S2A}$ のコアが半分の断面積であるため, 今度は正極性に充電された回路2が先に動作を始め, 半周期遅れて負極性に充電された回路1の磁気スイッチ $L_{S1A}$ のコアが飽和するため, 必ず正極性から始まる両極性バーストパルスが出力される。

図7よりGS1とGS2を同じ長さに設定した場合92%という高確率で正負のバーストパルス発生装置のタイミングがしっかり合った負極性から始まる両極性バーストパルスが出力されている。GS1あるいはGS2が先に放電しても, その放電発光により, 残りのギャップも, ばらつきなしに同時に放電を起こしていることを示している。これより, GS1とGS2の一体化構造による光トリガ方式を用いることにより安定した両極性バーストパルスを得ることが可能となった。

一方, 両極性のバーストパルスが出力されるという観点からすると, GS1を-0.0875mmずらしたときの方が, 負極性から始まる両極性バーストパルスの割合は66%であるが, 半周期ずれて打ち消し後に両極性バーストパルスになった場合の割合32%, 1周期ずれて正極性から始まる両極性バーストパルスの割合の2%を全て足すと両極性のバーストパルスになる確率は100%となり全てのパルスが両極性バーストパルスとなることがわかる。GS1を-0.175mmずらしたときでも負極性から始まる両極性バーストパルスの割合48%, 半周期ずれて打ち消し後に両極性バーストパルスになる場合の割合32%, 1周期ずれて正極性から始まる両極性バーストパルスの割合16%を全て足すと96%となり, ほとんどのパルスが両極性のバーストパルスになることがわかる。さらにGS1を-0.2625mmずらしたときでも負極性から始まる両極性バーストパルスの割合9%, 半周期ずれて打ち消し後に両極性バーストパルスになる場合の割合22%, 1周期ずれて正極性から始まる両極性バーストパルスの割合59%を全て足すと90%となり, かなりの高確率で両極性のバーストパルスになることがわかる。このようにGS1とGS2の2つのギャップ長が同じではなくても両極性バーストパルスが高確率で出力されるということはGS1とGS2のギャップ長の設定に厳密さが要求されないことを示しており, 装置設計が楽になる。

#### 参考文献

- [1] S. J. Beebe, P. M. Fox, L. J. Rec, K. Somers, R. H. Stark, K. H. Schoenbach, "Nanosecond Pulsed Electric Field (nsPEF) Effects on Cells and Tissues: Apoptosis Induction and Tumor Growth Inhibition", IEEE Trans. Plasma Science, Vol. 30, pp. 286-292, 2002.
- [2] H. Sato, K. Yasu, K. Nukaga, Y. Minamitani, "Development of a high-power burst pulse generator based on the sequential operation of magnetic switches," IEEE Trans. Plasma Sci., vol. 47, no. 1, pp. 977-984, 2019.

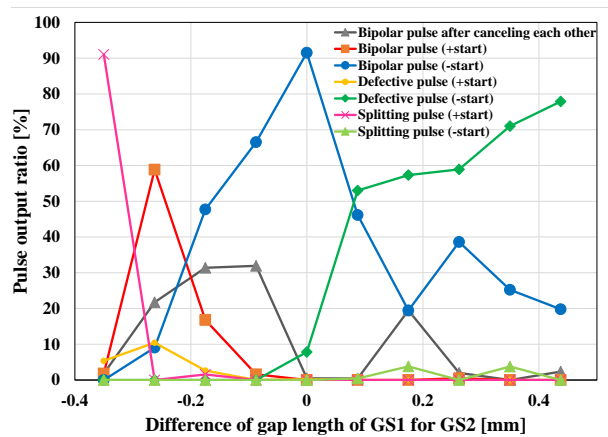


図7 スイッチ改良後の両極性パルスの出力確率と波形ずれの確率。

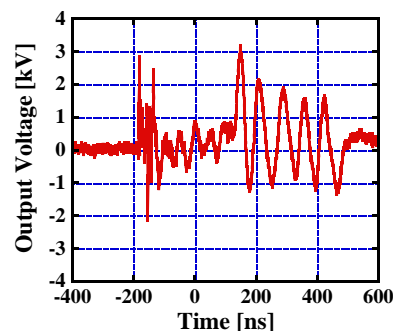


図8 一度正負のバーストパルスが重なって打ち消された後出力された両極性バーストパルス。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Hiromi Sato, Keita Yasu, Ken Nukaga, Yasushi Minamitani	4. 巻 47
2. 論文標題 Development of High Power Burst Pulse Generator Based on Magnetic Switch for Bioelectrics Application and Its Output Characteristics	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Transaction on Plasma Science	6. 最初と最後の頁 977-984
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Hiromi Sato, Yasushi Minamitani, Yusuke Fujiwara, Nobuaki Ohnishi, Sunao Katsuki	4. 巻 1
2. 論文標題 Investigation of Superiority of High Power Burst Pulse as against Single Pulse	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of 2018 IEEE International Power Modulator and High Voltage Conference	6. 最初と最後の頁 477-481
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 佐藤浩美, 南谷靖史	4. 巻 139
2. 論文標題 がん治療を目的とした磁気スイッチ型非線形伝送線路バーストパルス発生装置における出力パルス列の均一化	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電気学会論文誌A	6. 最初と最後の頁 188-189
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejfms.139.188	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 佐藤浩美, 南谷靖史, 大西伸明, 藤原裕介, 勝木淳	4. 巻 139
2. 論文標題 がん治療を目的とした高周波バーストパルス印加時の細胞形態変化の周波数特性	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電気学会論文誌A	6. 最初と最後の頁 281-282
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 佐藤浩美, 安啓太, 南谷靖史	4. 巻 139
2. 論文標題 磁気スイッチ型非線形伝送線路高周波パーストパルス発生装置のコア材質の検討	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電気学会論文誌A	6. 最初と最後の頁 307-308
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 佐藤浩美, 安 啓太, 南谷靖史, 大西伸明, 藤原裕介, 松林恭平, 宮川大輝, 勝木 淳	4. 巻 PST-17-001-047
2. 論文標題 がん治療のための磁気スイッチを用いた高出力パーストパルス 発生装置の開発とパーストパルスががん細胞へ与える影響	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 電気学会パルスパワー・プラズマ・放電合同研究会資料	6. 最初と最後の頁 PST-17-004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 佐藤浩美, 安 啓太, 南谷靖史, 大西伸明, 藤原裕介, 松林恭平, 宮川大輝, 勝木 淳	4. 巻 1
2. 論文標題 がん治療を目的とした 高周波パーストパルスががん細胞へ与える影響の調査	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 静電気学会講演論文集2017	6. 最初と最後の頁 pp. 95-100
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 佐藤浩美, 檜山純矢, 南谷靖史, 大西伸明, 宮川大輝, 松林恭平, 藤原裕介, 勝木 淳	4. 巻 PST-17-067-98
2. 論文標題 がん治療を目的とした高周波パーストパルス発生非線形伝送線路の出力パルス列の均一化と細胞応答の調査	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 電気学会パルスパワー・プラズマ・放電合同研究会資料	6. 最初と最後の頁 PST-17-094
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 佐藤浩美, 安 啓太, 南谷靖史, 大西伸明, 藤原裕介, 松林恭平, 宮川大輝, 勝木 淳	4. 巻 Vol.42, No.2
2. 論文標題 がん治療を目的とした 高周波バーストパルスががん細胞へ与える影響の調査	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 静電気学会誌	6. 最初と最後の頁 90-95
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 佐藤 浩美, 南谷 靖史, 大西 伸明, 藤原 裕介, 勝木 淳	4. 巻 140
2. 論文標題 がん治療を目的とした高周波バーストパルス印加における細胞種による致死影響の違い	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電気学会論文誌A	6. 最初と最後の頁 29-35
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hiromi Sato, Yasushi Minamitani	4. 巻 48
2. 論文標題 Output Characteristics of Bipolar pulse from High Frequency Burst Pulse Generator Constructed by Nonlinear LC Ladders Using Magnetic Switches	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transaction on Plasma Science	6. 最初と最後の頁 204-211
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hiromi Sato, Yasushi Minamitani, Nobuaki Ohnishi, Yusuke Fujiwara, Sunao Katsuki	4. 巻 48
2. 論文標題 Development of a High-frequency Burst Pulse Generator for Cancer Treatment and Comparison between a High-power Burst Pulse and a Single Pulse	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transaction on Plasma Science	6. 最初と最後の頁 1051 - 1059
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -



1. 著者名 佐藤浩美, 南谷靖史, 卜部 玄, 亀崎太一, 岡本修治, 勝木 淳	4. 巻 1
2. 論文標題 高周波バーストパルスががん細胞へ与える影響における低周波重畳の効果	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 静電気学会講演論文集2019	6. 最初と最後の頁 13aC-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計15件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Hiromi Sato, Yasushi Minamitani, Yusuke Fujiwara, Nobuaki Ohnishi, Sunao Katsuki
2. 発表標題 Development of High Power Burst Pulse Generator for Cancer Treatment and Investigation of Superiority of High Power Burst Pulse as against Single Pulse
3. 学会等名 2018 IEEE International Power Modulator and High Voltage Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiromi Sato, Yasushi Minamitani, Nobuaki Ohnishi, Yusuke Fujiwara, Sunao Katsuki
2. 発表標題 Development of High Power Burst Pulse Generator for Cancer Treatment and Investigation of Superiority of High Power Burst Pulse as against Single Pulse
3. 学会等名 15th International Bioelectrics Symposium (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiromi Sato, Keita Yasu, Yasushi Minamitani, Nobuaki Onishi, Yusuke Fujiwara, Sunao Katsuki
2. 発表標題 Investigation of Superiority for Impact of High Power Burst Pulse to Cancer Cells as against Single Pulse
3. 学会等名 5th Taiwan-Japan Workshop on Plasma Life Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤浩美, 南谷靖史
2. 発表標題 がん治療を目的とした酵母へのアポトーシス誘導についての単パルスと比較したバーストパルスの優位性
3. 学会等名 平成30年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤浩美, 安啓太, 南谷靖史, 大西伸明, 藤原裕介, 松林恭平, 宮川大輝, 勝木淳
2. 発表標題 ナノ秒パルス電界がん治療法における単パルスと比較したバーストパルスの優位性の調査
3. 学会等名 2018年度 第42回静電気学会全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤浩美, 南谷靖史, 藤原裕介, 大西伸明, 勝木淳
2. 発表標題 がん治療を目的とした高出力バーストパルス発生装置の開発及び単パルスと比較したバーストパルスの優位性の調査
3. 学会等名 電気学会プラズマ・パルスパワー・放電合同研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤浩美, 安 啓太, 南谷靖史, 大西伸明, 藤原裕介, 松林恭平, 宮川大輝, 勝木 淳
2. 発表標題 がん治療のための磁気スイッチを用いた高出力バーストパルス 発生装置の開発とバーストパルスががん細胞へ与える影響
3. 学会等名 電気学会パルスパワー・プラズマ・放電合同研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hiromi Sato, Keita Yasu, Yasushi Minamitani, Nobuaki Ohnishi, Yusuke Fujiwara, Kyosuke Matsubayashi, Daiki Miyagawa, Sunao Katsuki
2. 発表標題 Development of High Power Burst Pulse Generator Based on Magnetic Switch for Cancer Treatment and Effect on Cancer cell by High Power Burst Pulse
3. 学会等名 The 4th Japan-Taiwan Workshop in Plasma Life Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐藤浩美, 安 啓太, 南谷靖史, 大西伸明, 藤原裕介, 松林恭平, 宮川大輝, 勝木 淳
2. 発表標題 がん治療を目的とした 高周波バーストパルスががん細胞へ与える影響の調査
3. 学会等名 第41回静電気学会全国大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐藤浩美, 檜山純矢, 南谷靖史, 大西伸明, 宮川大輝, 松林恭平, 藤原裕介, 勝木 淳
2. 発表標題 がん治療を目的とした高周波バーストパルス発生非線形伝送線路の出力パルス列の均一化と細胞応答の調査
3. 学会等名 電気学会パルスパワー・プラズマ・放電合同研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hiromi Sato, Keita Yasu, Junya Hiyama, Yasushi Minamitani, Nobuaki Ohnishi, Yusuke Fujiwara, Kyosuke Matsubayashi, Daiki Miyagawa, Sunao Katsuki
2. 発表標題 Development of High Power Burst Pulse Generator for Generating Discharge at Inside of Cells for Cancer Treatment and Its Effect
3. 学会等名 10th Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications of Plasma Technology (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hiromi Sato, Keita Yasu, Yasushi Minamitani, Nobuaki Ohnishi, Yusuke Fujiwara, Kyosuke Matsubayashi, Daiki Miyagawa, Sunao Katsuki
2. 発表標題 Development of High Power Burst Pulse Generator Based on Magnetic Switch for Cancer Treatment and Effect on Cancer cell by High Power Burst Pulse
3. 学会等名 2nd World Congress on Electroporation and Pulsed Electric Fields in Biology, Medicine, and Food & Environmental Technologies (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐藤浩美, 南谷靖史, 藤原裕介, 大西伸明, 勝木淳
2. 発表標題 がん治療を目的とした高出力バーストパルス発生装置の開発及び 単パルスと比較したバーストパルスの優位性の調査
3. 学会等名 電気学会パルスパワー・プラズマ・放電合同研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiromi Sato, Yasushi Minamitani, Yusuke Fujiwara, Nobuaki Onishi, Sunao Katsuki
2. 発表標題 Development of High Power Burst Pulse Generator for Cancer Treatment and Investigation of Superiority of High Power Burst Pulse as against Single Pulse
3. 学会等名 IEEE International Power Modulator and High Voltage Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤浩美, 南谷靖史, 卜部 玄, 亀崎太一, 岡本修治, 勝木 淳
2. 発表標題 高周波バーストパルスががん細胞へ与える影響における低周波重畳の効果
3. 学会等名 第43回静電気学会全国大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

山形大学理工学研究科南谷研究室ホームページ  
<http://minamitani.yz.yamagata-u.ac.jp/>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----