

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 13 日現在

機関番号：54502

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24760241

研究課題名(和文)メートルサイズ大気圧プラズマによる手術室壁面の一括滅菌処理

研究課題名(英文) Sterilization of wall surface in operation room by line-shaped atmospheric pressure plasma

研究代表者

赤松 浩 (Akamatsu, Hiroshi)

神戸市立工業高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号：10370008

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、大気圧低温プラズマを利用して医療機関の手術室壁面を自動で殺菌・清浄処理するシステムの基礎研究を行った。助成期間では、ミニチュアサイズの壁試料を試作し、この表面に拡散共平面バリア放電タイプのプラズマが生成できることを確認した。プラズマの発光を調べると、大気中の活性な窒素分子および窒素分子イオンが存在していることがわかった。また、計測していないがオゾンの生成も予想できる。これらの活性種により、壁試料表面へのプラズマの暴露効果が確認できた。

研究成果の概要(英文)：Line-shaped atmospheric pressure plasmas were formed by a diffuse coplanar surface barrier discharge on a dielectric material plate surface. In this work, the plate is assumed as a wall panel surface in operation rooms. The aim of diffuse coplanar surface barrier discharge plasma formation is to sterilize and clean the wall panel surface. In this study, self-irradiation effect of the atmospheric pressure plasma on the wall panel surface has been investigated as contact angle of water droplet on a PET film, which was exposed by the plasma on the panel surface. After plasma exposure, the contact angle of water droplet on the PET film was reduced. The self-irradiation of the plasma is predicted to sterilize and clean wall panel surface.

研究分野：高電圧工学

キーワード：大気圧プラズマ 拡散共平面バリア放電 活性種 殺菌 親水性

1. 研究開始当初の背景

大気中で誘電体バリア放電等によって生成した大気圧低温プラズマは、水酸基ラジカル、酸素ラジカル、および窒素ラジカルなどの化学的活性種を含み、また放電により UV 光を発することが知られている。近年では、さまざまな手法で大気圧低温プラズマが生成され、固体表面や液体の殺菌処理への応用が数多く報告されている。

大気圧低温プラズマを殺菌処理に使用する最大の利点は、プラズマを生成する際に真空装置が不要であること、さらにプラズマを生成する電極構造が比較的シンプルなことが挙げられる。これらの利点は、プラズマによる殺菌システムを安価に実現することに有効に作用している。

今日では、大気圧低温プラズマを医療現場における殺菌処理へ応用する研究も実施されている。例えば、Tyvek などの殺菌袋に包装された医療器具を大気圧低温プラズマで滅菌する方法が提案されている。

さて、医療機関に目を移すと、手術室等の環境表面の清掃について、日本手術医学会の手術医療のガイドラインでは次のように勧告している。「手術室の清浄化は、手術終了時の清掃だけではなく、定期的な手術部全体の整理整頓とともに計画的に実施すること。」現在、手術室の壁面や床面を含む環境表面の清掃は、基本的に人による拭き取り作業で行われている。この作業における問題点を指摘すると、第一に作業のための労働力が必要である。第二に、作業員によって清掃の仕上がりに個人差が生じる。第三に、人為的誤差が生じる。これらの問題点を解決するには、清掃作業を自動化することが有効であると考えた。

2. 研究の目的

本研究では、大気圧低温プラズマを応用して医療機関の手術室壁面に代表される大面積の環境表面を一括で自動的に殺菌・清浄処理することを最終目標とした。これを実現する大気圧低温プラズマ発生法として、拡散共平面バリア放電(Diffuse Coplanar Surface Barrier Discharge: DCSBD)を適用した。図 1 に、本研究で提案した壁面の殺菌システムの概略を示す。壁パネルは誘電体で作られており、その内部には 3. 研究方法で説明するようなライン状の電極が並んで配列されている。この隣り合う電極に高電圧パルスを加えると、壁パネルの表面にはライン上の大気圧低温プラズマが生成される。プラズマ中には化学的活性種が含まれるため、プラズマを点灯するだけで壁パネルに活性種が作用し、自動的に殺菌が可能になると考えた。

本研究を実施するにあたり、具体的に以下の項目を明らかにすることを目的とした。

- (1) ミニチュアサイズの壁試料を試作し、これに高電圧パルスを加えることで表面に DCSBD プラズマを生成する。

- (2) プラズマの発光から、プラズマに含まれる活性種を同定し、殺菌に関する活性種が存在するかを明らかにする。
- (3) DCSBD プラズマが、壁試料表面自体に直接接触し、暴露効果を与えているかを明らかにする。

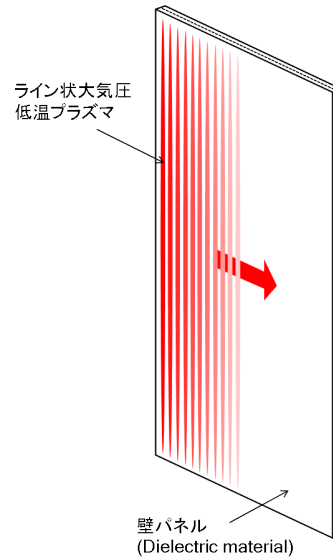


図 1 本研究で提案する壁殺菌の概略

3. 研究の方法

(1) 壁試料の作製

図 2 に、試作したミニチュアサイズの壁パネル試料の断面図を示す。壁試料の誘電体材料は PTFE である。この内部には、厚みが 0.035 mm で幅が 1.0 mm のライン状電極が配列されており、隣り合う電極間の距離は 1.0 mm である。電極と壁試料表面間の距離は 0.3 mm である。電極には、高電圧電源の高電圧ラインと接地ラインがそれぞれ交互に接続されている。このような電極構造にすることによって、高電圧電源を駆動すると壁試料表面にライン状のプラズマを試みた。

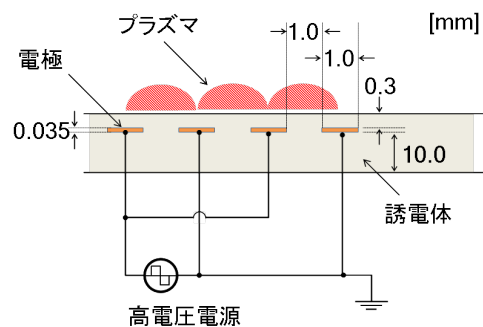


図 2 試作した壁試料の断面図

(2) DCSBD プラズマの生成

図 3 に、DCSBD プラズマ生成のための概略を示す。壁試料はアクリルケース (200 mm×200 mm×40 mm) 内に配置し、ヘリウムガスを 1 ℓ/min で流入し残留空気を置換した。

これは、放電開始電圧を低下させ、プラズマの生成を容易にするためである。なお、実用化するにはヘリウムは使用せず、大気中でプラズマを点灯することになる。

壁試料にはファンクションジェネレータ(459AL, 菊水)および高電圧アンプリファイア(HEOPT-10B10, 松定プレジジョン)で構成されたバイポーラ型高電圧電源を接続した。高電圧電源の出力電圧は、高電圧プローブ(HV-P30, 岩通)およびオシロスコープ(TDS2024C, テクトロニクス)で計測した。また、放電にともなう電流は、電流プローブ(A621, テクトロニクス)およびオシロスコープで計測した。発生したプラズマの様子は、デジタルカメラ(D600, ニコン)で観察した。

壁試料上にのせたPETフィルムについては、(4)にて説明する。

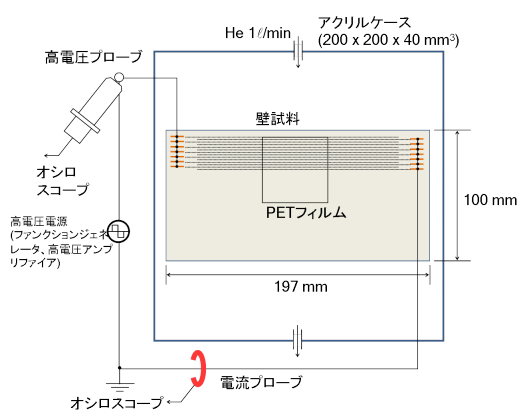


図3 DCSBD プラズマ生成の概略

(3) 化学的活性種の計測

プラズマの発光から得られる化学的活性種は、マルチチャンネル分光計(SEC2000, BAS)によって評価した。分光計の測定子は、アクリルケースに穴をあけてプラズマ面の真上から光をとらえるようにした。

(4) 壁表面へのプラズマ暴露効果

DCSBD プラズマの点灯によって壁試料表面自体に殺菌・清浄効果があるか否かを判断するには、プラズマ中の活性種が壁に接していることを示す必要があると考えた。そこで、壁試料表面へのプラズマ暴露効果があるか否かを調べるため、PETフィルムを壁試料上に設置し、プラズマを点灯してPETフィルムに変化があるか否かを調べた。なお、PETフィルムは極めて薄いため、壁試料にのせてプラズマを点灯させたとき、PETフィルム上にプラズマが点灯される。

PETフィルムのサイズは50 mm×50 mmであり、図3に示すように表面の半分の領域をプラズマに暴露させた。残りの半分は暴露されないようにして、その差を調べた。PETフィルムへのプラズマ暴露効果として、水滴の接触角度を調べた。PETフィルムへプラズ

マ中の活性種が作用した場合、親水性が向上していると考えたからである。

4. 研究成果

(1) DCSBD プラズマの生成

図4に、壁試料に印加した電圧および放電にともなう電流波形を示す。高電圧電源から出力した電圧波形は矩形波であるが、図4(a)が示すように電圧の立ち上がりにおいて波形が鈍っていることがわかる。これは、壁試料の等価静電容量によるものと考えられる。同図(a)および(b)をあわせて見ると、電圧が立ち上がる期間(I)は壁試料の等価静電容量を充電するための電流が0.1 A流れたことがわかる。これに続いて、期間(II)はDCSBDプラズマの発生にともなう電流0.05 Aが流れている。また、期間(III)は2 kVの電圧が印加されているが、電流が流れていないのでプラズマは消灯していることがわかる。これらの電流の流れ方は、誘電体バリア放電の典型的なものである。

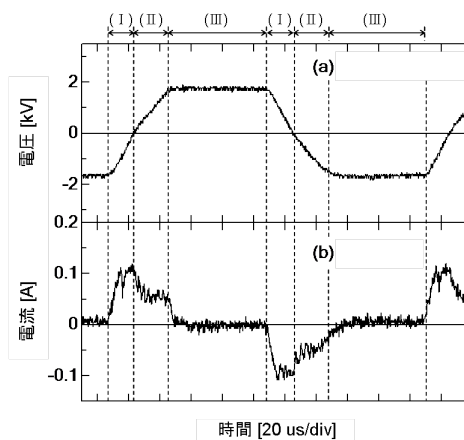


図4 壁試料に印加されている電圧および放電電流の波形

図5には、デジタルカメラで直接観察したDCSBD プラズマの様子を示す。同図のように、電極間と考えられている領域にライン状のプラズマによる発光が確認できる。1本あたりのプラズマの長さは150 mmであった。このプラズマによって、DCSBD プラズマが形成されていることがわかった。

また、プラズマ上にはPETフィルムを設置しており、フィルム上にもプラズマが形成されていることがわかった。

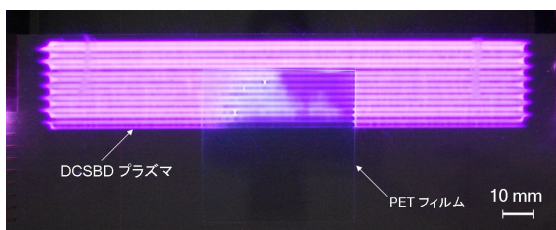


図5 DCSBD プラズマの概観

(2) プラズマ中の活性種の評価

図6には、分光計で評価したプラズマの発光プロファイルを示す。同図のように、窒素分子および窒素分子イオンによる発光ピークが確認できる。また、原料ガスであるヘリウムの発光も確認できる。窒素に関する発光は、アクリルケース内に残留した空気中の窒素が電子の衝突によって励起されたものと考えられる。なお、計測はしていないが、オゾンが生成されていることが予想される。オゾンは殺菌に効果があることが知られている。

殺菌に極めて有効だと考えられる水酸基ラジカルおよび酸素原子ラジカルの発光は見られなかった。

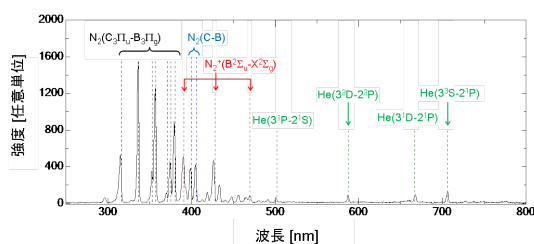


図6 DCSBD プラズマの発光プロファイル

(3) 壁表面へのプラズマ暴露効果

図7には、DCSBD プラズマの暴露あり/なしの PET フィルムにのせた水滴の拡大写真を示す。同図(b)において、プラズマ暴露なしの PET フィルムの水滴に対して、プラズマ点灯時間の変化による外観の変化はほとんど確認できない。いっぽうで、同図(a)のように、プラズマが直接暴露されている領域の水滴は、暴露時間が増加するにつれて形がつぶれていることがわかる。これは、プラズマの暴露によって活性種がフィルムに接触し、表面を親水傾向にしたためであると考えられる。

図8に、DCSBD プラズマの暴露あり/なしに対する PET フィルムの水接触角度を示す。同図から、プラズマの暴露がなかった場合は、水接触角度が 67° であった。いっぽう、プラズマ暴露があった場合、水接触角度は 42° 以下に低下している。60秒のプラズマ暴露を施したものは、水接触角度が 30° まで低下していることがわかった。

なお、当初はプラズマが暴露されていない領域においても、アクリルケース内に浮遊している活性種が接触している可能性を考えていた。しかし、図7および図8の結果から、それを示す結果は得られず、プラズマが直接接触することが重要であることがわかった。

以上の結果から、DCSBD プラズマは確実に壁表面自体に接触し、表面に暴露効果を与えていることが明らかになった。

今後の展望として、壁試料上に菌を散布してプラズマを点灯し、菌の生存率を計測すれば、本方式による殺菌効果を明らかにすることが可能であると期待できる。

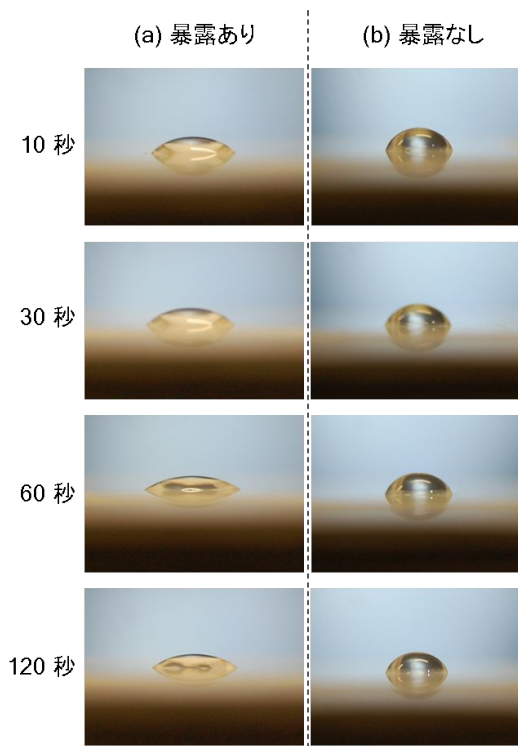


図7 プラズマ暴露の有無における PET フィルム上の水滴の様子

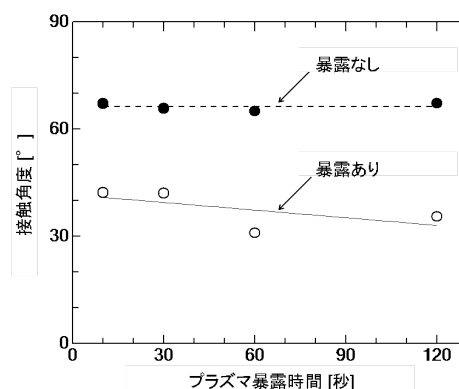


図8 プラズマ暴露の有無における PET フィルムの水接触角度

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1件)

Hiroshi Akamatsu, Generation of line-shaped atmospheric pressure plasma on planar surface with diffuse coplanar surface barrier discharge, Journal of Physics: Conference Series, 査読有, 518, pp.012015 (2014.6.3)
DOI: :10.1088/1742-6596/518/1/012015

〔学会発表〕(計 8件)

Hiroshi AKAMATSU, Self-irradiation Effect of Diffuse Coplanar Surface Barrier Discharge Plasma on the Dielectric Plate Surface, The 8th

International Workshop on Plasma Application and Hybrid Functionally Materials, 2015.3.6, Hawaii(USA)

皿上順英、赤松浩、拡散共平面バリア放電による大面積プラズマの発生と応用、平成 26 年度電気関係学会関西支部連合大会、2014 年 11 月 24 日、奈良先端科学技術大学院大学(奈良県・生駒市)

Hiroshi Akamatsu, Generation of Diffuse Coplanar Surface Barrier Discharge Plasma for Self-Sterilization of Planar Surface, 8th International Conference on Reactive Plasmas 31st Symposium on Plasma Processing, 2014.2.5, Fukuoka Convention Center(Fukuoka・Fukuoka City)

Hiroshi Akamatsu, Large-area atmospheric pressure plasma generated by diffuse coplanar surface barrier discharge, 第 26 回プラズマ材料科学シンポジウム, 2013.9.23, 九州大学(福岡県・福岡市)

赤松浩、拡散共平面バリア放電を用いた大気圧プラズマの生成、電気学会プラズマ研究会、2013 年 9 月 6 日、長崎大学(長崎県・長崎市)

Hiroshi AKAMATSU, Generation of Meters-Scale Atmospheric Pressure Dielectric Barrier Discharge Plasma, The 6th International Workshop on Plasma Application and Hybrid Functionally Materials, 2013.3.9, Kuala Lumpur(Malaysia)

赤松浩、メートルサイズ大気圧プラズマによる手術室壁面の一括滅菌処理、第 30 回プラズマプロセッシング研究会、2013 年 1 月 22 日、アクトシティ浜松・研修交流センター(静岡県・浜松市)

Hiroshi Akamatsu, Sterilization of wall surface in an operation room by line-shaped atmospheric pressure plasma, International Conference on Microelectronics and Plasma Technology 2012, 2012.7.4, Ramada Plaza Jeju Hotel, Jeju(Korea)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

赤松 浩 (AKAMATSU, Hiroshi)

神戸市立工業高等専門学校・電気工学科・准教授

研究者番号：10370008