

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 5 月 10 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01317

研究課題名(和文) プラズマ誘起電荷・電界による生体膜輸送変移の数値的探索

研究課題名(英文) Numerical investigation of transport transition in biological membrane due to charge and electric field induced by discharge plasma

研究代表者

内田 諭 (Uchida, Satoshi)

東京都立大学・システムデザイン研究科・教授

研究者番号：90305417

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 9,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、プラズマ・希薄水層・細胞膜の各階層を数値的にモデル化して、界面パラメータを介した統合を行うとともに、電流電圧条件を精査することで、膜帯電および膜電位に対する細胞電気定数ならびに膜輸送係数の変移を定量化した。

得られた成果としては、(1)大気圧グロー放電照射により生じる細胞膜への誘起電荷および電界を導出した。(2)希薄水層上の気液界面における荷電粒子分布を分子動力的に解析した。(3)界面の電気二重層を含む帯電細胞膜をモデル化し、細胞電気定数の変動を検証した。(4)3階層間における誘起電荷量ならびに電界分布を整合したモデルを構築して、電界印加時における細胞膜の膜輸送係数を導出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

プラズマ照射における主要階層(プラズマ・希薄水層・細胞膜)をモデル化し、マクロレベルの放電形態から得られる誘起電荷・電界パラメータをミクロスケールな気液界面や細胞膜近傍に取り入れ、電気定数および膜輸送係数の定量的変化を数値分子論的に検証する意欲的試みである。

膜表面の電荷(電流)ならびに電界(電位)変化を起点とした細胞膜機能の直接制御が実現できれば、酸化反応を生じない低侵襲な医療効果を得られる可能性がある。また、たんぱく合成等の遺伝子発現においても、電荷電界による一過性のスイッチング(トリガー効果)を探索特定できれば、その学術的価値は極めて高いものとなる。

研究成果の概要(英文)：In this study, the plasma, water layer, and cell membrane hierarchies were numerically modeled and integrated via interface parameters, and the cellular electrical constants and membrane transport coefficient variations with respect to membrane charge and membrane potential were quantified by closely examining current-voltage conditions.

The results obtained include: (1) The induced charge and electric field on the plasma membrane induced by atmospheric pressure glow discharge irradiation were derived. (2) Molecular dynamics analysis of the distribution of charged particles at the gas-liquid interface on a dilute water layer. (3) The charged cell membrane including the interfacial electric double layer was modeled, and the variation of cellular electrical constants was verified. (4) We constructed a model consistent with the induced charge and electric field distribution among the three layers and derived the membrane transport coefficients of the cell membrane under an electric field.

研究分野：放電物理

キーワード：電荷 電界 プラズマ医療 分子動力学法 細胞膜 等価回路解析 流体モデル

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年、大気圧下における非平衡プラズマの安定形成技術が確立し、様々な直接接合応用が進められている。既に医療分野では、プラズマ照射によるう蝕治療や止血処置が実用化されつつある。また、がん細胞へのアポトーシス誘導 (Iseki et al., Appl. Phys. Lett. (2012))、創傷治療 (Fridman et al., Plasma Process Polym. (2008)) や効率的な遺伝子導入 (Sasaki et al., Sci. Rep. (2016)) といった先進的な成果も得られている。

上記の医療効果は、放電活性種と細胞膜分子との酸化反応を含む外的刺激が起点となって生じることが実験的に示されている。一方で、プラズマが細胞近傍に誘起する電荷や電界も、界面の電気二重層を含む表面帯電や膜電位変動を直接的に生じさせる重要因子である。しかしながら、膜機能、とくに物質輸送機能への影響については、プラズマ照射下でのリアルタイム計測が実験的に困難であるため、明確な検証がなされていない。

医学界において、このプラズマ医療技術が従来法に匹敵する十分な評価を得るためには、放電作用全般に対する細胞動態メカニズムの理論的な把握が不可欠である。とりわけ、プラズマ形成の基本要素である電荷および電界の細胞に対する直接的寄与を明らかにすることは必須となる。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、プラズマが誘起する電荷および電界が細胞膜の物質輸送機能に対してどのような影響を与えるか、その物理的特性を明確にするため、図1で示すようにプラズマ・希薄水層・細胞膜の各階層を数値的にモデル化して、界面パラメータを介した統合を行うとともに、電流電圧条件を精査することで、膜帯電および膜電位に対する細胞電気定数ならびに膜輸送係数の変移を定量化することである。

具体的には、(1) 大気圧グロー放電照射により生じる細胞膜への誘起電荷および電界を導出する。(2) 希薄水層上の気液界面における荷電粒子分布を分子動力学的に解析する。(3) 界面の電気二重層を含む帯電細胞膜をモデル化し、細胞電気定数の変動を検証する。(4) 3階層間における誘起電荷量ならびに電界分布を整合したモデルを構築して、電界印加時における細胞膜の膜輸送係数を定量化する。(5) 実験結果と比較して、細胞膜における浸透機構および浸透効率を考察する。

### 3. 研究の方法

上記の目的を達成するため、プラズマ・希薄水層・細胞膜を数値モデル化し、段階的な計算工程にて研究を行う。

また、本研究の遂行は、研究代表者(内田諭)、2名の研究分担者(千葉工業大学・小田昭紀および大分大学・立花孝介)および1名の研究協力者(本学大学院生・山内翔太)によって行われる。基本的には、内田が荷電膜の電界挙動および膜輸送特性の検証、ならびに研究全般の総括を行う。小田は大気圧グロー放電と細胞膜界面における電荷・電界分布の解析を、立花は膜上希薄水層における誘導電荷の挙動評価を行う。山内は分子動力学法を用いた関連研究に従事しており、解析補助員として適宜参画し、より効率的に研究を推進する。

令和3年度は、プラズマ・希薄水層・細胞膜における電荷輸送や電界分布を解析するための基本モデルを構築する。

#### 水電極大気圧プラズマの構造解析

典型的な大気圧プラズマ源であるHe直流グロー放電の構造(電流電圧特性や電荷密度分布)を1次元流体近似シミュレーション(流体モデル)により模擬する。なお、片側を細胞膜上の湿成分である希薄水層に接しているとし、導電性誘電体である水電極を仮定して配置する。気液層全体の電界分布を特定するとともに、水電極への電荷流入フラックスおよび平均入射エネルギーを導出する。

#### 気液界面における電荷流入の特性評価

上記項目で得られたフラックスと平均エネルギーから、入射時間間隔および入射エネルギー分布を算出し、気液界面における電荷(主に陽イオン(He<sup>+</sup>))を想定)の入射挙動を古典分子動力学法(古典MD)により模擬する。統計量の取れる複数回の試行から水層内の電荷濃度分布を推定する。

#### 電気二重層を含む細胞膜モデルの構築

人体細胞膜の主要構成分子であるフォスファチジルコリン(PC)を対象とし、チャンネルたんぱ

くを含む脂質二重構造の膜分子モデルを構築する。このとき、上膜近傍水層に細胞由来のイオン ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ) による拡散電気二重層を Bockris-Devanathan-Muller モデルに基づいて付加する。二重層内のイオン分布については、典型的な生理食塩水の導電率を入力値とし、水平方向に自由度を持たせた束縛配置とする。

令和4年度は、前年度の基本モデルで得られた電荷・電界パラメータを介して、統合モデルへの拡張を行う。

#### 誘起膜電位の等価回路検証

生体細胞の基本部位(細胞核、核膜、細胞質、細胞膜)を誘電率および導電率で近似した等価回路モデルを構築する。前年度の項目 で得られた電流電圧特性および水層近傍での境界条件を用い、細胞部位における誘起電界分布を導出する。

#### 電界下における希薄水層内の電荷移動解析

希薄水層への電界印加を行い、水層下部における細胞膜境界面への電荷移動を定量化する。初期位置として、前年度の項目 で得られたイオンの濃度分布を考慮したランダム配置を行い、複数軌跡の統計解析から液中ドリフト速度および拡散係数を導出して界面近傍の蓄積電荷量を推定する。

#### 帯電膜における電気定数変移の考察

前年度の項目 で構築した細胞膜モデルに対して、膜界面に滞在する蓄積電荷を付与した帯電膜モデルへ拡張する。電気二重層との相互作用を古典 MD で模擬するとともに、細胞膜自身における電気定数(分極、緩和時間、誘電率)を導出して、帯電による変移特性を明らかにする。

令和5年度は、放電電流電圧における制御条件の検証し、膜電界に対する物質輸送諸量の変化を定量的に精査する。

#### 放電電流・電圧における制御条件の検証

流体モデルと回路モデルを統合して計算の自動化・効率化を図るとともに、プラズマにおける電流電圧条件と細胞膜への局所誘起電界分布の相関を明らかにしてデータベース化する。

#### 膜電位変化に対する物質輸送諸量の定量化

上記項目 における誘起電界を膜電位に重畳し、典型的な活性種 ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) やイオンに対する細胞膜の物質輸送諸量(自由エネルギー、局所拡散係数、膜浸透係数、チャネル透過率)を古典 MD およびアンブレラサンプリングにより統計的に導出して定量化する。そして、制御条件に対する浸透効率から膜透過機構を考察する。

## 4. 研究成果

令和3年度の成果を以下に示す。

「水電極大気圧プラズマの構造解析」については、He/ $\text{N}_2$  グロー放電の電流電圧特性や電荷密度分布を1次元流体近似シミュレーションにより導出した。また、片側を導電性誘電体である水電極で仮定した細胞照射モデルに拡張した。さらに、気液層全体の電界分布を特定するとともに、水電極への電荷流入フラックスおよび平均入射エネルギーを概算評価した。

「気液界面における電荷流入の特性評価」については、上記項目 で得られたフラックスと平均エネルギーから、入射時間間隔および入射エネルギー分布を算出し、気液界面における電荷(主に陽イオン ( $\text{He}^+$ ) を想定)の入射挙動を古典分子動力学法(古典 MD)により模擬した。統計量の取れる複数回の試行から水層内の電荷濃度分布を推定した。

「電気二重層を含む細胞膜モデルの構築」については、人体細胞膜の主要構成分子であるフォスファチジルコリン(PC)を対象とし、脂質二重構造の膜分子モデルを構築した。また、膜近傍水層に存在するイオン ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ) による拡散電気二重層の分布状態を分子動力学法により模擬した。さらに、誘導電界重畳時における過酸化水素の膜中自由エネルギー変化を定量的に考察した。

令和4年度の成果は以下の通りである。

「誘起膜電位の等価回路検証」については、前年度に作成した He/ $\text{N}_2$  グロー放電の1次元流体近似シミュレーションにより導出したプラズマインピーダンスを入力値とし、細胞を多段の抵抗および容量の直並列で近似した等価回路モデルを構築した。この時に上部水層や細胞膜、また細胞質内に印加される電圧(電界)を定量的に導出した。これらは、先行研究で示された文献の特性と傾向がよく一致していた。さらに、正確な帯電膜の状態を評価するため、電荷流入フラックスを再計算した。

「電界下における希薄水層内の電荷移動解析」については、理論的な考察を深めるため、関連文献を再調査するとともに、典型的な電荷移動量の簡易計算を行った。結論として、分子動力学シミュレーションを行うには、時間スケールの問題があることが分かった。また、詳細な検討を行うには、2次反応の考慮が必要であり、最終的な電荷の移動のみを考慮するのであれば、マクロな視点から帯電量を見積もる方が適している、と判断した。

「帯電膜における電気定数変移の考察」については、上記項目 の結果を踏まえ、まずは広い

範囲での最終帯電状態を仮定して、対応する誘起電界を想定し、膜電位以下から膜破壊に至るまでの電界印加を前年度に作成した脂質二重構造の膜分子モデルに適用して分子動力学シミュレーションを実施した。過酸化水素の膜中自由エネルギーが電界印加によって、正負極性の側で段階的な変動が生じていることを確認した。これは構成分子の分極性等に変化が生じた可能性を示唆している。ただし、定量値については、精度の面でやや不確かさが見られたため、再計算による統計処理が必要である。

最後に、令和5年度の成果を述べる。

「放電電流・電圧における制御条件の検証」については、はじめに駆動周波数依存性を解析し、細胞死が生じにくい条件（膜破壊電圧以下）が低周波数領域であることを特定した。なお、電力一定の条件下では高周波数領域になると細胞膜のインピーダンスが減少し、細胞を流れる電流は増加した。また、照射半径を広げることで、放電電流が増加し、膜破壊電圧の閾値を超える中心範囲も増加することが分かった。

「膜電位変化に対する物質輸送諸量の定量化」については、電位変化による影響の寄与度合いを確認するため、自由エネルギー分布の収束性および左右対称性を検証した。いくつかの初期構造やサンプリング時間で計算した結果、エネルギー分布の時空間的安定性に影響が生じていることが分かった。そのため、一定程度のサンプリング時間は確保しつつ、周期構造を仮定した重み付きヒストグラム解析を用いるのが妥当であるとの結論に至った。ただし、非対称性のある電界印加による変化を抽出する場合、統計的誤差が重畳された解析処理となる可能性がある。本件については、引き続きの検証が必要である。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 7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 Ippei Yagi, Kazuki Koike, Satoshi Uchida	4. 巻 18
2. 論文標題 Synergistic effects of heating and traction during fibrous tissue elongation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ournal of Biomechanical Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 22-00379
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1299/jbse.22-00379	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 Ippei Yagi, Kazuki Koike, Satoshi Uchida	4. 巻 18
2. 論文標題 Mechanical changes in fibrous tissue exposed to non-convergent ultrasound	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 電気学会共通英文論文誌（IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering）	6. 最初と最後の頁 1482-1486
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/tee.23866	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 張 晴, 加藤 英子, 八木 一平, 内田 諭	4. 巻 48
2. 論文標題 周波数変調誘電泳動におけるクロスオーバー周波数と腫瘍細胞ミトコンドリア膜電位の関係	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 静電気学会誌	6. 最初と最後の頁 2-7
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 Miyamukai Hideo, Yagi Ippei, Uchida Satoshi, Takano Masayo, Wakizaka Yoshikazu, Enjoji Takaharu	4. 巻 104
2. 論文標題 Basic verification of cancer cell separation characteristics in a dielectrophoretic device using microcylindrical electrodes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Electronics and Communications in Japan	6. 最初と最後の頁 e12328
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/ecj.12328	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 Nishikawa Hiroyuki, Kimura Toshiki, Kawashima Ryouosuke, Yamamoto Ken, Uchida Satoshi, Ishii Yasuyuki	4. 巻 141
2. 論文標題 Dielectrophoretic Devices Fabricated by Proton Beam Writing for Concentration, Assembly, and Detection of Nanoparticles	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials	6. 最初と最後の頁 574 ~ 578
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejfms.141.574	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 Miyamukai Hideo, Yagi Ippei, Uchida Satoshi, Takano Masayo, Wakizaka Yoshikazu, Enjoji Takaharu	4. 巻 141
2. 論文標題 Basic Verification of Cancer Cell Separation Characteristics in a Dielectrophoretic Device Using a Microcylindrical Electrodes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Sensors and Micromachines	6. 最初と最後の頁 179 ~ 185
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejsmas.141.179	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 Guo Yutong, Yagi Ippei, Uchida Satoshi, Tochikubo Fumiyoshi, Takano Masayo, Wakizaka Yoshikazu, Enjoji Takaharu	4. 巻 104
2. 論文標題 Basic study of dielectric properties of cancer cells by dielectrophoretic velocimetry	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Electronics and Communications in Japan	6. 最初と最後の頁 e12318
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ecj.12318	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 Akiyama N., Nakagawa Y., Uchida S., Tochikubo F.	4. 巻 129
2. 論文標題 Monte Carlo simulation of electrons injected from a low-temperature plasma into liquid water	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 163304 ~ 163304
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0044024	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 Guo Yutong, Yagi Ippei, Uchida Satoshi, Tochikubo Fumiyoshi, Takano Masayo, Wakizaka Yoshikazu, Enjoji Takaharu	4. 巻 141
2. 論文標題 Basic Study of Dielectric Properties of Cancer Cells by Dielectrophoretic Velocimetry	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Sensors and Micromachines	6. 最初と最後の頁 108 ~ 112
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejsmas.141.108	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 -

〔学会発表〕 計28件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 Yuta Iwata, Kosuke Takami, Ippei Yagi, Kosuke Tachibana, Akinori Oda, Takehiko Sato and Satoshi Uchida
2. 発表標題 Permeation characteristics of hydrogen peroxide through biological membranes by applying electric field
3. 学会等名 The XXXVth International Conference on Phenomena in Ionized Gases (ICPIG XXXV) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小田 昭紀, 石原 卓也, 中島 大雅, 八木 一平, 立花 孝介, 内田 諭
2. 発表標題 大気圧プラズマ照射による細胞への電氣的応答の数値解析
3. 学会等名 2023年度電気学会 基礎・材料・共通部門 (A部門) 大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 立花 孝介, 岩田 優太, 高見 幸亮, 八木 一平, 小田 昭紀, 内田 諭
2. 発表標題 外部電界下におけるPOPC脂質二重層の膜透過性に関する分子動力学シミュレーション
3. 学会等名 第17回分子科学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小田 昭紀, 佐々木 瞬, 石原 卓也, 中島 大雅, 八木 一平, 立花 孝介, 内田 諭
2. 発表標題 低温大気圧Heプラズマ照射による細胞へ及ぼす電気的作用の数値解析
3. 学会等名 第84回 応用物理学会 秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 K. Tachibana, K. Takami, R. Ninomiya, I. Yagi, A. Oda, S. Uchida
2. 発表標題 Effects of Superimposed Electric Field on Structure and Permeability of Biological Membrane Investigated by Molecular Dynamics Simulation
3. 学会等名 20th International Conference on Flow Dynamics (ICFD2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ryo Ninomiya, Kosuke Takami, Ippei Yagi, Satoshi Uchida, Kosuke Tachibana, Akinori Oda, Takehiko Sato
2. 発表標題 Permeation characteristics of long-lifetime reactive oxygen species through biological membranes under superimposed electric field generated by the irradiation of cold atmospheric pressure plasma
3. 学会等名 20th International Conference on Flow Dynamics (ICFD2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 立花 孝介, 高見 幸亮, 二宮 諒, 八木 一平, 小田 昭紀, 内田 諭
2. 発表標題 大気圧低温プラズマ由来の電界が細胞膜の構造および活性種の膜透過性に与える影響に関する分子動力学シミュレーション
3. 学会等名 第33回日本MRS年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2023年



1. 発表者名 小田 昭紀, 石原 卓也, 中島 大雅, 立花 孝介, 八木 一平, 内田 諭
2. 発表標題 大気圧低温プラズマ照射による細胞への電氣的相互作用に関する数值解析
3. 学会等名 第33回日本MRS年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 石原 卓也, 中島 大雅, 佐々木 瞬, 八木 一平, 立花 孝介, 内田 諭, 小田昭紀
2. 発表標題 低温大気圧プラズマ照射面積変化に伴う細胞への電流伝搬の数值解析
3. 学会等名 第41回プラズマプロセッシング研究会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 T. Ishihara, T. Nakajima, S. Sasaki, I. Yagi, K. Tachibana, S. Uchida and A. Oda
2. 発表標題 Numerical Analysis of Current Propagation into Cells by Nonthermal Atmospheric Pressure Plasma Irradiation
3. 学会等名 6th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials (ISPlasma2024) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 石原 卓也, 佐々木 瞬, 中島 大雅, 八木 一平, 立花 孝介, 内田 諭, 小田 昭紀
2. 発表標題 低温大気圧プラズマと細胞の電氣的相互作用に及ぼす駆動周波数依存性の数值解析
3. 学会等名 第71回 応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Satoshi Uchida
2. 発表標題 Numerical Investigation of the Permeation Characteristics of Reactive Oxygen and Nitrogen Species into Biological Membrane under Electric Field Using Classical Molecular Dynamics
3. 学会等名 2022 Materials Research Society (MRS2022) Spring Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐々木 瞬, 藤田 諒, 山内 翔太, 内田 諭, 立花 孝介, 小田 昭紀
2. 発表標題 細胞への電気穿孔を目的とした大気圧He/N <sub>2</sub> グロー放電における印加電圧依存性の数値解析
3. 学会等名 令和4年 電気学会 基礎・材料・共通部門大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuta Iwata, Ippei Yagi, Kosuke Tachibana, Akinori Oda, Takehiko Sato, Satoshi Uchida
2. 発表標題 Changes in the permeation characteristics of ROS through biological membranes by discharge plasma-Induced electric field
3. 学会等名 75th Annual Gaseous Electronics Conference (GEC2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 杉野 拓海, 佐々木 瞬, 山内 翔太, 八木 一平, 立花 孝介, 内田 諭, 小田 昭紀
2. 発表標題 医療応用を目的とした大気圧Heプラズマの数値解析
3. 学会等名 2022年 放電学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuta Iwata, Kosuke Takami, Ippei Yagi, Satoshi Uchida, Takehiko Sato
2. 発表標題 Numerical Analysis of Changes in Transport Properties in Biological Membranes Due to Plasma-induced Charges and Electric Fields
3. 学会等名 The Twenty-second International Symposium on Advanced Fluid Information (AFI-2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 立花 孝介
2. 発表標題 分子動力学シミュレーションを用いた気液界面および細胞表面における物理化学の解明
3. 学会等名 2022年度 第1回 静電気学会 放電プラズマによる水処理研究委員会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 立花 孝介
2. 発表標題 細胞膜の物質透過性に関する分子動力学シミュレーション
3. 学会等名 2023年度 第一回 静電気学会研究会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岩田 優太, 高見 幸亮, 八木 一平, 立花 孝介, 小田 昭紀, 佐藤 岳彦, 内田 諭
2. 発表標題 電界印加による過酸化水素の生体膜透過特性
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 杉野 拓海, 佐々木 瞬, 小田 昭紀, 山内 翔太, 八木 一平, 内田 諭, 立花 孝介
2. 発表標題 バイオ応用を目的とした大気圧Heプラズマの細胞に対する電気的作用の数値解析
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐々木 瞬, 藤田 諒, 山内 翔太, 内田 諭, 立花 孝介, 小田 昭紀
2. 発表標題 プラズマ照射が生体細胞へ及ぼす影響の解明に向けた大気圧He/N <sub>2</sub> グロー放電のシミュレーション
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山内 翔太, 岩田 優太, 八木 一平, 内田 諭
2. 発表標題 大気圧プラズマ照射によるがん細胞への電気的作用の数値解析
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩田 優太, 山内 翔太, 八木 一平, 立花 孝介, 小田 昭紀, 佐藤 岳彦, 内田 諭
2. 発表標題 電界と電荷による活性酸素種の生体膜透過特性の変化
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 内田 諭, 八木 一平, 佐藤 岳彦
2. 発表標題 電界下におけるプラズマ誘起種の膜透過性の分子動力学解析
3. 学会等名 第31回日本MRS年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 内田 諭
2. 発表標題 プラズマ 生体間の電荷・電界による膜機能制御の分子計算評価
3. 学会等名 第37回九州・山口プラズマ研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuta Iwata, Shota Yamauchi, Yuya Oishi, Ippei Yagi, Satoshi Uchida, Takehiko Sato
2. 発表標題 Numerical Simulations of Membrane Deformation Induced by Cold Atmospheric Plasma with Circuit Analysis and Molecular Dynamics
3. 学会等名 The Twenty-first International Symposium on Advanced Fluid Information (AFI-2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shota Yamauchi, Yuta Iwata, Ippei Yagi, Satoshi Uchida
2. 発表標題 Analysis of Electrical Characteristics of Living Cells Exposed by Cold Atmospheric Plasma using the Equivalent Circuit Model
3. 学会等名 74th Annual Gaseous Electronics Conference (GEC2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山内 翔太, 岩田 優太, 八木 一平, 内田 諭
2. 発表標題 プラズマ照射による生体細胞への電氣的効果の等価回路解析
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究分担者	小田 昭紀 (Oda Akinori) (70335090)	千葉工業大学・工学部・教授  (32503)	
研究分担者	立花 孝介 (Tachibana Kosuke) (10827314)	大分大学・理工学部・助教  (17501)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------