

令和 3 年 6 月 24 日現在

機関番号：55401

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H04704

研究課題名（和文）誘電泳動を駆使した循環腫瘍細胞検出システムの実用化にむけた基盤技術の開発

研究課題名（英文）Development of CTCs (Circulating Tumor Cells) Detection method by Employing Dielectrophoretic Phenomenon

研究代表者

江口 正徳 (Eguchi, Masanori)

呉工業高等専門学校・電気情報工学分野・准教授

研究者番号：60613594

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 19,400,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では、誘電特性（誘電率・導電率）に基づく循環腫瘍細胞検出のための基盤技術（デバイス）としてエレクトロローテーションを発生可能なマイクロウェルアレイ、マイクロピラー電極アレイを開発した。これらのデバイスを用いて、ヒト肺癌由来細胞株（PC-9）の誘電特性を測定し、その有用性を明らかにした。さらに、細胞の誘電特性を高速に測定することが可能な絶縁体ベース誘電泳動デバイスを開発した。このデバイスは誘電泳動を発生させるための電解勾配を厚膜絶縁体により引き起こしており、正・負いずれの誘電泳動力を測定することが可能である。また、周波数掃引が可能のため、誘電特性測定の高速化が期待できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、Cellsearchで問題となっている検出感度の向上だけでなく、抗原抗体反応や免疫染色等を行わずラベルフリーかつ全自動で検出可能な装置の実現にむけた基盤技術を確立する。本研究で開発する基板技術により、循環腫瘍細胞を非侵襲に高感度検出、細胞判別ができ、検出した循環腫瘍細胞を用いて抗癌剤や分子標的療法薬等の評価を行うことが可能となる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed microwell arrays and micropillar electrode arrays that can generate electro-rotation as basic technologies (devices) for detecting circulating tumor cells. We measured the dielectric properties of a human lung cancer-derived cell line (PC-9) and demonstrated their usefulness. In addition, we developed an insulator-based dielectrophoresis device that can measure the dielectric properties of cells at high speed. This device consists of an aluminum electrode and a creek-gap-shaped insulator on a glass substrate, and is capable of measuring both positive and negative dielectrophoretic forces. In addition, It can measure the dielectric properties by frequency sweeping.

研究分野：微細加工，誘電泳動現象

キーワード：循環腫瘍細胞 誘電泳動 絶縁体ベース誘電泳動 エレクトロローテーション

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

肺癌は早期発見が困難であることから、近年、癌による死亡原因のトップとなり、いまだ増加傾向にある。循環腫瘍細胞は、肺癌、胃癌、乳癌等の原発巣から遊離して血液中を循環する細胞であり、迅速で的確な治療決定を行なう際の指標の一つとして近年注目されている。しかしながらその数は、転移性がん患者の1mlの血液中に血球成分が $10^8 \sim 10^9$ 個であるのに対し、1~数個と極めて少ない。したがって、その検出には高感度の技術が必要となる。現在、臨床現場で使用されている検出装置として、CellSearch システム(Veridex 社)が挙げられる。CellSearch は、EpCAM (Epithelial cell adhesion molecule: 上皮細胞に発現する蛋白質) に対する抗体結合磁気ビーズを用いて、血液中の微量な循環腫瘍細胞を分離することが可能であり、米国では乳癌/大腸癌/前立腺癌に対しての臨床使用が承認(米国食品医薬品局: FDA)されている唯一の装置である。しかしながら、肺癌由来の循環腫瘍細胞を CellSearch で検出した場合、CT/PET 等で遠隔転移が認められた症例でも検出感度は70%程度であり、とくに中皮腫においては検出感度が30%程度と極めて低く(Yoneda et al., Ann Surg Oncol 2014)、臨床応用には検出感度が不十分である。その原因としては、中皮腫のように上皮マーカーEpCAMの発現が低い、もしくは上皮間葉転換によってEpCAMの発現が低下・消失し、EpCAM抗体との結合力が弱まることが考えられる。そのため高感度な循環腫瘍細胞検出を実現するためには、EpCAM発現陰性の癌細胞も補足可能な検出法の開発が必要不可欠である。近年、このような背景から、EpCAMのようなマーカーを使用しない検出法に関する研究が活発に行われており、音波(表面弾性波)を用いた細胞サイズの違いによる分離(Peng Li et al. PNAS 2015, 細胞回収率: 83%)、DEP-FFF法を用いた誘電特性の違いによる分離(P.R.C.Gascoyne et al., Cancers 2014, 細胞回収率: 70~85%)に関する報告がなされた。しかしながらいずれの手法も、細胞の個体差、時間経過による細胞の形態変化等が原因となり、その細胞回収率は85%以下にとどまっている。

申請者はこれまでに、誘電泳動と進行波電気浸透を用いた多種類の細胞分離や、誘電泳動力の測定法に関する研究を行い、誘電特性に基づいた白血病細胞判別の有効性を確認した。しかし現時点では、白血病細胞の判別の際に、細胞に生じる誘電泳動力を測定する必要があるが、(1)複数の細胞の誘電泳動力測定に工夫が必要、(2)誘電泳動力の周波数特性測定に多大な時間を要するといった課題があった。

### 2. 研究の目的

本研究は、不均一電界下で生じる「誘電泳動(Dielectrophoresis: DEP)」および回転電界下で生じる「エレクトロローテーション」を組み合わせることによって、誘電特性に基づいた循環腫瘍細胞の検出を行うことを目的とする。具体的には、誘電泳動により血液中の循環腫瘍細胞のみを捕捉、エレクトロローテーションにより単離した細胞を自転させ、「動画像処理」により、細胞の自転角速度を推定・解析することによって、高感度かつ迅速な細胞判別システムを構築することにより、上記の課題の解決を図る。

### 3. 研究の方法

#### (1) エレクトロローテーションによる単一細胞の誘電特性測定用デバイス開発

誘電特性による循環腫瘍細胞の検出を実現するため、図1に示すエレクトロローテーションマイクロウェルアレイデバイスを開発する。開発するデバイスは直径30ミクロンのマイクロウェルの周囲にエレクトロローテーションを発生するための四重極電極を配置した構造で、単一の細胞の誘電特性を測定することが可能である。腫瘍細胞としてヒト肺癌由来細胞株(PC-9)を用いて当該デバイスの有用性を評価する。上記のデバイスは、細胞が負の誘電泳動を示す場合、細胞が浮遊し、周波数によって細胞が受ける電界強度が異なってしまう、マイクロウェル内に気泡が残ってしまうという問題点があった。それで、これらの問題を解決するため、エレクトロローテーションを発生可能なマイクロピラー電極アレイを開発する。開発するデバイスの構造図を図2に示す。

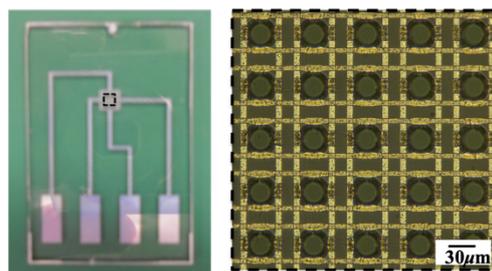


図1. エレクトロローテーション  
マイクロウェルアレイデバイス

#### (2) 絶縁体ベース誘電泳動デバイスの開発

エレクトロローテーションを発生させるには、位相を90度ずつずらした4相の交流電圧を印加する必要があるが、各相の位相差を保ったまま周波数掃引が困難で、周波数特性測定に時間を有するという改善点が挙げられる。そこで、単相交流電圧でも単一細胞の誘電特性を測定可能な絶縁体ベース誘電泳動デバイスを開発し、その有用性を評価する。開発するデバイスは、図3の構造をしており、厚膜絶縁体により電界の勾配を引き起こすことで

誘電泳動現象を発生することが可能であり、絶縁体エッジへの電界集中が極めて小さいので、正・負いずれの誘電泳動力も測定することができる。また、誘電泳動は単相電圧で発生可能なため周波数掃引を行うことで誘電特性測定の高速度化が期待できる。

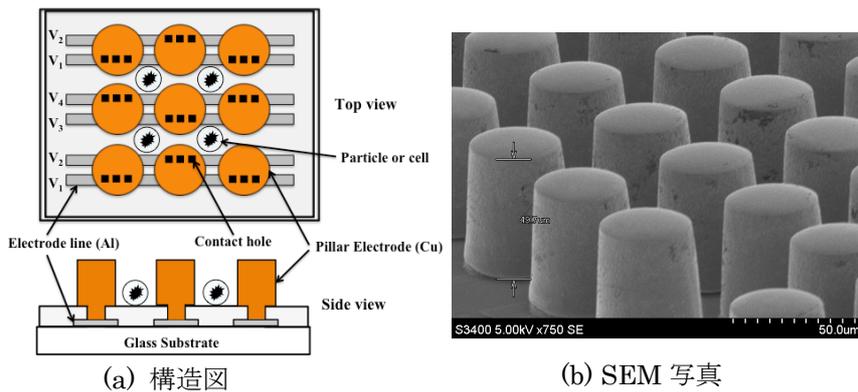


図 2. マイクロピラー電極アレイデバイス

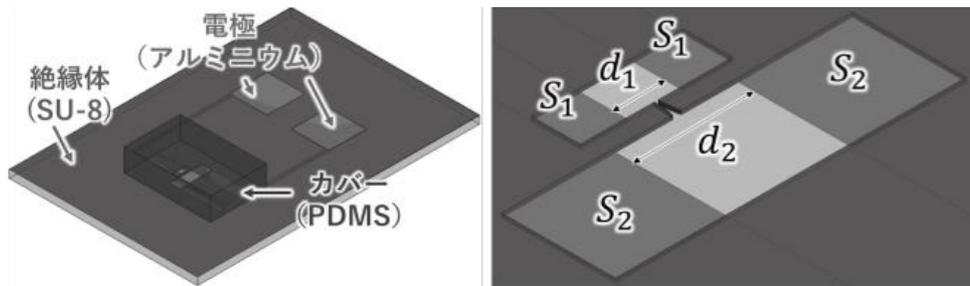


図 3. 絶縁体ベース誘電泳動デバイスの構造図

#### 4. 研究成果

- (1) 試作したエレクトロローテーションマイクロウェルアレイデバイスにヒト肺癌由来細胞株 (PC-9) を懸濁した溶液を滴下し、マイクロウェル内に細胞が配置されたことを確認後、各電極に 4 相電圧を印加し、細胞の挙動を観察した。図 4 にマイクロウェル内の循環腫瘍細胞のエレクトロローテーションによる回転の様子及びその角速度の周波数特性を示す。図 5 より、試作したデバイスにより、細胞 1 個の誘電泳動特性が測定可能であることが確認できた。また、マイクロピラー電極アレイデバイスによる粒子回転の様子を図 6 に示す。図 6 よりマイクロ粒子がエレクトロローテーションにより回転していることが確認できた。



図 4. PC-9 の回転(自転)の様子

(4 相電界, 6 V<sub>pp</sub>, 50 MHz).

黒線は電極(2 層配線)

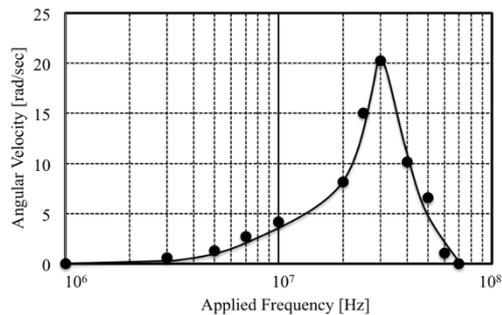


図 5. PC-9 の誘電特性

(回転速度の周波数特性, 6 V<sub>pp</sub>)

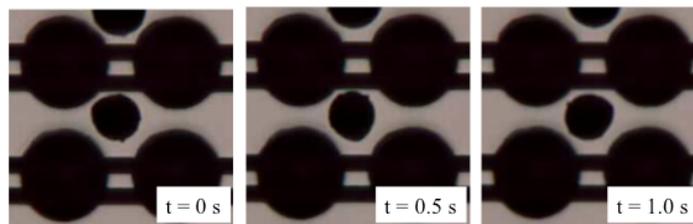


図 6. マイクロピラー電極アレイデバイスによる粒子回転の様子

(回転速度の周波数特性, 6 V<sub>pp</sub>)

- (2) 試作した絶縁体ベース誘電泳動デバイスを用いて、ポリスチレンマイクロ粒子およびイースト菌を懸濁した溶液を滴下し、交流信号発生器 (NF 社 WF1968) を用いて、1 MHz の正弦波を 40 V<sub>pp</sub> で電圧印加した. なお, 図 3(b) の  $S_1$ ,  $S_2$  をそれぞれ同電位とした. また, 粒子の様子はデジタル顕微鏡 (KEYENCE 社 VW-9000) を用いて観察を行った. 図 7 にポリスチレン粒子が誘電泳動力を受けて, 電界の弱い方向へ移動する (負の誘電泳動) 様子を示す. ポリスチレン粒子は絶縁体間隔の中心線上をほぼ一定の速度で移動することが確認された. また, 図 8 にイースト菌の誘電泳動による移動の様子を示す. 図 8 より正の誘電泳動を示すイースト菌はポリスチレン粒子と同様に絶縁体中心線上を等速で移動することが確認された.

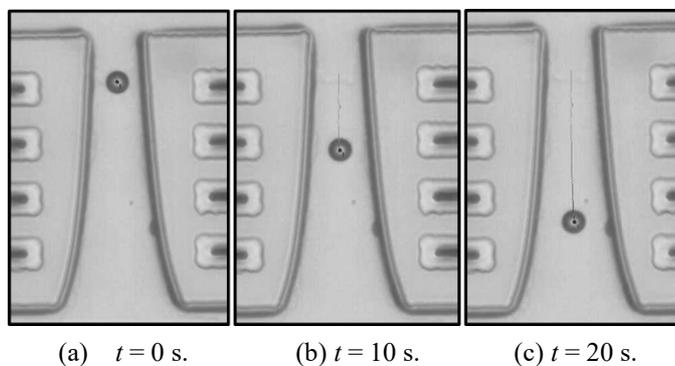


図 7. 絶縁体ベース誘電泳動デバイスによる粒子の移動 (負の誘電泳動)

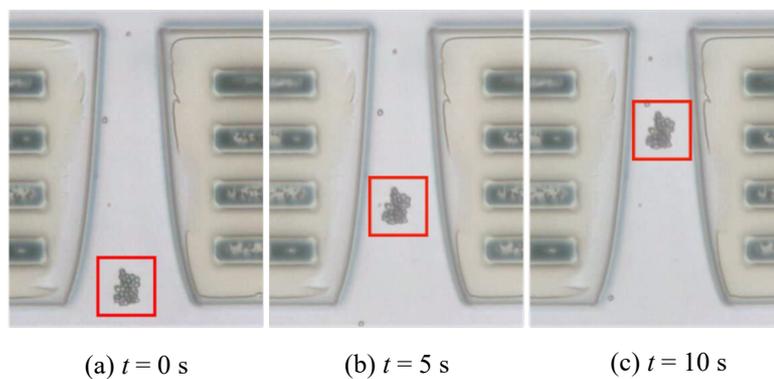


図 8. 絶縁体ベース誘電泳動デバイスによる粒子の移動 (正の誘電泳動)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7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 奥清明, 東谷圭祐, 氷室貴大, 江口正徳	4. 巻 141
2. 論文標題 DNA分解酵素検出を目的とした先端鋭利型対向電極に関する検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C	6. 最初と最後の頁 in press
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 Hadiywarman, Usami Yuki, Kotooka Takumi, Azhari Saman, Eguchi Masanori, Tanaka Hirofumi	4. 巻 60
2. 論文標題 Performance of Ag?Ag2S core?shell nanoparticle-based random network reservoir computing device	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SCCF02 ~ SCCF02
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abe206	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 Hadiywarman, Eguchi Masanori, Tanaka Hirofumi	4. 巻 59
2. 論文標題 Control of the neuromorphic learning behavior based on the aggregation of thiol-protected Ag-Ag2S core?shell nanoparticles	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 015001 ~ 015001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abe206	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 Hadiywarman, Usami Yuki, Kotooka Takumi, Azhari Saman, Eguchi Masanori, Tanaka Hirofumi	4. 巻 60
2. 論文標題 Performance of Ag-Ag2S core-shell nanoparticle-based random network reservoir computing device	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SCCF02 ~ SCCF02
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abe206	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 Hadiyawarman, Eguchi Masanori, Tanaka Hirofumi	4. 巻 59
2. 論文標題 Control of the neuromorphic learning behavior based on the aggregation of thiol-protected Ag-Ag <sub>2</sub> S core-shell nanoparticles	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 015001 ~ 015001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab5c77	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 Tada Shigeru, Eguchi Masanori, Okano Kohei	4. 巻 40
2. 論文標題 Insulator based dielectrophoresis combined with the isomotive AC electric field and applied to single cell analysis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ELECTROPHORESIS	6. 最初と最後の頁 1494 ~ 1497
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/elps.201800380	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 Tada Shigeru, Omi Yui, Eguchi Masanori	4. 巻 12
2. 論文標題 Analysis of the dielectrophoretic properties of cells using the isomotive AC electric field	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Biomicrofluidics	6. 最初と最後の頁 044103 ~ 044103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5031054	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30件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 17件)

1. 発表者名 Kanta Nishibayashia, Seimei Okua, Takahiro Himuroa and Masanori Eguchi
2. 発表標題 Evaluation of Electrode Design of a Microfluidic Impedance Biosensor for DNase Assay
3. 学会等名 14th International Symposium on Advances in Technology Education (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中林 龍, 江口 正徳
2. 発表標題 生体細胞の誘電特性測定を目指した絶縁体ベース誘電泳動デバイスの設計
3. 学会等名 化学とマイクロ・ナノシステム学会第43回研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中岡 佑輔, 岡田 麻実, 梶谷 直人, 江口 正徳
2. 発表標題 誘電泳動現象を用いた生体細胞単離法に関する研究
3. 学会等名 化学とマイクロ・ナノシステム学会第43回研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 堀越悠斗, 藤井蒼太, 氷室貴大, 江口正徳, 山川烈
2. 発表標題 電界結合方式を用いた非接触給電型誘電泳動デバイス
3. 学会等名 2021年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中林龍, 松村浩太郎, 氷室貴大, 江口正徳
2. 発表標題 Creek-gap型絶縁体を有する絶縁体ベース誘電泳動デバイスの開発
3. 学会等名 2021年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 奥清明, 西林寛大, 氷室貴大, 江口正徳
2. 発表標題 DNAが架橋した先端鋭利型電極の電気的特性解析
3. 学会等名 2021年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kanta Nishibayashi, Seimei Oku, Takahiro Himuro and Masanori Eguchi
2. 発表標題 Evaluation of Electrode Design of a Microfluidic Impedance Biosensor for DNase Assay
3. 学会等名 International Symposium on Advances in Technology Education 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中岡 佑輔, 岡田 麻美, 梶谷 直人, 江口 正徳
2. 発表標題 誘電泳動現象を用いた生体細胞単離法に関する研究
3. 学会等名 化学とマイクロ・ナノシステム学会第43回研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中林 龍, 江口 正徳
2. 発表標題 生体細胞の誘電特性測定を目指した絶縁体ベース誘電泳動デバイスの設計
3. 学会等名 化学とマイクロ・ナノシステム学会第43回研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大地 健吾, 多田 茂, 江口 正徳
2. 発表標題 4重極型キャピラリー誘電泳動デバイスによる細胞分離
3. 学会等名 日本機械学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shouta Sora, Futoshi Kuroki, Masanori Eguchi, Takeshi Yamakawa, and Fumihiro Tanaka
2. 発表標題 Improvement on Identification Technique of Primary Tumor Using Ring Resonator with Oscillator Circuit at Centimeter Frequency Bands
3. 学会等名 2020 IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masaya Sakamoto, Futoshi Kuroki, Masanori Eguchi, Takeshi Yamakawa, Fumihiro Tanaka
2. 発表標題 Tweezers-Types of Electrodes in Video-assisted Thoracic Surgery for Lung Cancer at High Frequency Bands
3. 学会等名 2020 IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hadiyawardman, Masanori Eguchi and Hirofumi Tanaka
2. 発表標題 Short-term and long-term memory of random aggregation device using Ag-Ag <sub>2</sub> S nanoparticles
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Shouta Sora, Kousei Kumahara, Futoshi Kuroki, Masanori Eguchi, Takeshi Yamakawa, Fumihiro Tanaka
2 . 発表標題 An Approach to Improve Quality-factor of Lossy Ring-resonator Type of Electrode for Circulating Tumor Cell Detection
3 . 学会等名 2019 49th European Microwave Conference (EuMC) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Yuto Uchida, Kousei Kumahara, Tomoki Sakogawa, Futoshi Kuroki, Masanori Eguchi
2 . 発表標題 An Attempt to Evaluate Potential Hydrogen in Soil Using AM Radio Waves for Agricultural Applications
3 . 学会等名 2019 49th European Microwave Conference (EuMC) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 N. Sato, S. Tada, M. Eguchi
2 . 発表標題 Estimation of electric properties of mammalian cells using the creek-gap dielectrophoretic electrode
3 . 学会等名 The 10th Asian-Pacific Conference on Biomechanics ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Masaya Sakamoto, Futoshi Kuroki, Masanori Eguchi, Takeshi Yamakawa, and Fumihiro Tanaka
2 . 発表標題 Consideration on Estimation of Lung Cancer Position Using Tweezers-Types of Electrodes in High Frequency Bands
3 . 学会等名 2019 Asia-Pacific Microwave Conference ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Shouta Sora, Futoshi Kuroki, Masanori Eguchi, Takeshi Yamakawa, and Fumihiro Tanaka
2. 発表標題 Improvement on Identification Accuracy of Primary Tumor Using Ring Resonator Type of Electrode at Centimeter Frequencies
3. 学会等名 2019 Asia-Pacific Microwave Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shouta Sora, Kousei Kumahara, Futoshi Kuroki, Masanori Eguchi, Hiroko Imasato, Takeshi Yamakawa, Kazue Yoneda, Fumihiro Tanaka
2. 発表標題 A Consideration on Detection of Circulating Tumor Cells Using Ring Resonator Type of Electrode
3. 学会等名 IEEE AP-S and URSI Int. Symp., 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 空 翔太, 熊原 宏征, 江口 正徳, 黒木 太司, 山川 烈, 田中 文啓
2. 発表標題 対向型循環腫瘍細胞検出マイクロ電極を構成するマイクロストリップ線路の伝送損失と Q値に関する検討
3. 学会等名 電気情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shouta Sora, Kousei Kumahara, Futoshi Kuroki, Masanori Eguchi, Takeshi Yamakawa, and Fumihiro Tanaka
2. 発表標題 Experimental Investigation on Potentiality for Circulating Tumor Cell Detection Using Ring-resonator-shaped Electrode
3. 学会等名 6th Smart City Workshop 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shouta Sora, Kousei Kumahara, Masanori Eguchi, Futoshi Kuroki, Takeshi Yamakawa, and Fumihiro Tanaka
2. 発表標題 Orthogonally-face-to-face Type of Micro-electrode with Ring Resonator for Circulating Tumor Cell Detection
3. 学会等名 2018 Asia-Pacific Microwave Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 空 翔太, 熊原 宏征, 江口 正徳, 黒木 太司, 山川 烈, 田中 文啓
2. 発表標題 リング共振器型電極を用いた循環腫瘍細胞検出の基礎検討
3. 学会等名 電子情報通信学会マイクロ波研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shouta Sora, Kousei Kumahara, Masanori Eguchi, Futoshi Kuroki, Takeshi Yamakawa, and Fumihiro Tanaka
2. 発表標題 Numerical and Experimental Investigations on Ring Resonator Type of Electrode for Circulating Tumor Cell Detection
3. 学会等名 2019 IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 空 翔太, 熊原 宏征, 江口 正徳, 黒木 太司, 山川 烈, 田中 文啓
2. 発表標題 リング共振器型電極を用いた循環腫瘍細胞検出の高分解能化に関する検討
3. 学会等名 電子情報通信学会マイクロ波研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 空 翔太, 熊原 宏征, 江口 正徳, 黒木 太司, 山川 烈, 田中 文啓
2. 発表標題 負性抵抗素子を用いた循環腫瘍細胞検出リング共振器型電極のQ値改善に関する検討
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masanori Eguchi, Keiichi Horio, Futoshi Kuroki, Hiroko Imasato and Takeshi Yamakawa
2. 発表標題 Development of Pillar Electrode Array for Electrorotation Analysis of Single Cells
3. 学会等名 World Automation Congress 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shigeru Tada, Yui Omi, Masanori Eguchi, Noriko Nakai and Akira Tsukamoto
2. 発表標題 Analysis of Dielectrophoretic Properties of Cells by the Use of the Uniform Field Gradient
3. 学会等名 World Automation Congress 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Keiichi Horio, Koya Matsuyama, Masanori Eguchi and Takeshi Yamakawa
2. 発表標題 Consideration of Relationship between Shape and Angular Velocity of Particles under Electrorotation
3. 学会等名 World Automation Congress 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shouta Sora, Kousei Kumahara, Futoshi Kuroki, Masanori Eguchi, Takeshi Yamakawa, and Fumihiro Tanaka
2. 発表標題 Numerical Investigation of Circulating Tumor Cell Detection Using Resonant Circuits
3. 学会等名 World Automation Congress 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018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

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