

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 25 日現在

機関番号：55401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04295

研究課題名(和文) 超高周波帯マイクロウェル電極による循環腫瘍細胞の早期検出とその高感度化

研究課題名(英文) Early Detection of Circulating Tumor Cell Using Micro-well Types of Electrodes and Its High Sensitivity in Microwave Bands

研究代表者

黒木 太司 (Kuroki, Futoshi)

呉工業高等専門学校・電気情報工学分野・教授

研究者番号：30195581

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：FETに帰還回路としてキャパシタンスを結合し構成された発振素子をリング共振器型電極と組み合わせることでCTC同定超高周波電極のQ値改善を目指した。回路シミュレーション上に発振素子装荷リング共振器型電極の等価回路を作成し、周波数特性を計算することで電極上に高い誘電損失を有する組織を配置したときにおいてもQ値が向上することを数値的に確認した。更に実験的に食肉牛の臓器を本電極の平行電極上に設置し発振周波数を測定した結果、臓器の種類によって発振周波数スペクトルがMHzオーダーで分離することが判明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の特色は周波数選択性の観点から分解能が高いことを特徴とする共振現象と発振現象を利用し、かつチューナブルな外部回路素子を付加することにより広い周波数範囲でCTC同定の感度を高めることにあり、この点に学術的意義がある。また本手法は細胞をラベルフリーでマイクロウェル内に単離し評価を行うため、CTC同定後細胞1個単位で抗がん剤感受性試験や遺伝子解析など種々の検査を行うことも可能になることから、癌細胞研究のみならず薬学や遺伝子学進展への波及効果があるものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：Because the internal organs have high dielectric loss, the dielectric loss tangent of the Circulating Tumor Cell (CTC) will be high and the Q-factor of the electrode may be deteriorated. To overcome such difficulty, the improvement of the Q-factor was considered by using the ring-resonator type of electrode (RRTE) connected with oscillator consisting of FET and capacitance as the feedback circuit. The equivalent circuit of RRTE with oscillator circuit was made on the circuit simulation and the frequency characteristics were calculated. From these results, it was numerically confirmed that the Q-factor was improved when the tissue having high dielectric loss was set on the electrode. Furthermore, as the early experiment, the oscillation frequency spectrums were well-separated by MHz order when the organ tissue of the cattle was set at the parallel electrode on the RRTE inserted of the human organ and the oscillation frequencies were measured.

研究分野：電磁波工学

キーワード：循環腫瘍細胞 リング共振器 発振回路 マイクロ波

1. 研究開始当初の背景

癌の早期発見には血流に乗って体内を循環する循環腫瘍細胞(Circulating Tumor Cell;以下 CTC と略す)[1]の検出と同定が大きな決め手となるが、世界で唯一のゴールドスタンダードである CellSearch®を上回る検出感度を有する CTC 検査装置の開発が切望されている。

CTC は肺癌、胃癌、乳癌、大腸癌、前立腺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が、その数は転移性がん患者の 1 ml 血液中に血球成分が $10^8 \sim 10^9$ 個であるのに対して数個と極めて少ないことから短時間で高感度な CTC 検出技術が切望されている。臨床現場で使用されている CTC 検出装置としては CellSearch®システム(Veridex 社)があげられる。これは上皮細胞に強発現する上皮細胞接着分子(Epithelial cell adhesion molecule;以下 EpCAM と略す)に対する抗体結合磁気ビーズを用いて血液中の微量な CTC を分離するもので、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されている(米国食品医薬品局: FDA)唯一の装置である。しかし癌死亡原因のトップである肺癌由来の CTC を CellSearch®で検出した場合、検出感度は 70%程度[2]であり、とくに中皮腫においては検出感度が 30%程度と低い[3]。その原因としては、中皮腫のように 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などが考えられ、「肺癌は早期発見が困難」といわれる所以でもある。EpCAM 発現陰性の癌細胞も評価可能な検査方法は実現できないか? という問いに応えるべく、世界中で種々の手法が試みられている。

2. 研究の目的

採血した約一億個の血球中に存在する数個の CTC を検出・検査出来るシステムの構築を最終目標とし、本研究ではそのために必要な単離細胞の電気的特性評価を通してその性質を解明する。図 1 は本研究の概要で、「採血」後の血液中に存在する CTC のサイズは正常細胞より大きいので、「弾性表面波が発生するすだれ状電極を血液の流路とする」ことによりサイズごとに細胞が選別される。但しこのままでは CTC の検出感度は CellSearch®と同程度であり[4]、我々はこれを向上させるべく、「誘電泳動電極により正常細胞から CTC と目される細胞を分離し、マイクロウェルにより当該細胞を単離」することに成功した[4]、[5]。本研究では「この単離細胞の電気特性を解明し CTC を同定」するため、まずマイクロウェルがコンデンサとして動作する構造の細胞電極を作成し、それに外付けリング線路などを装荷することにより共振器を構成する。正常細胞と CTC とは誘電特性が異なることから、共振周波数はそれぞれ固有の値を有し、これより CTC 同定を試みる。電気的特性の観点から CTC を同定する先行研究としては、細胞の静電容量計や流路導波路を用いた電磁波の入反射特性計測が主流であるが、前者では細胞の大きさが数十 μm 程度のため、測定すべき静電容量は 10^{-15} [F] 程度と小さい。また後者でも同様の理由により正常細胞と CTC とで入反射特性の差は小さく、計測誤差を改善する努力がなされている。本研究の特色は周波数選択性の観点から分解能が高いことを特徴とする共振現象や発振現象を利用し、広い周波数範囲で CTC 同定の感度を高めることにある。また本手法は細胞をラベルフリーでマイクロウェル内に単離し評価を行うため、CTC 同定後細胞 1 個単位で抗がん剤感受性試験や遺伝子解析など種々の検査を行うことも可能になることから、癌細胞研究のみならず薬学や遺伝子学進展への波及効果が考えられる。

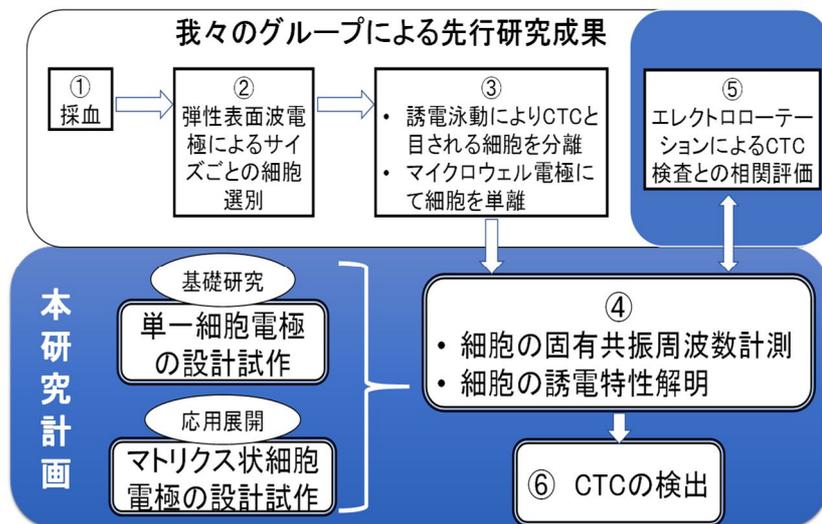


図 1 本研究の概要

3. 研究の方法

本研究では本来 CTC を用いて進めるべきではあるが、CTC は入手困難であることから、CTC に代わり臓器を用い、各部位の差異によって部位同定が高感度に可能な手法を検討する。人体の各臓器はそれぞれ固有の複素誘電率だけでなく高い誘電損失を所持することから CTC の誘電損失も高いことが予測される。そこで臓器組織の誘電損失によってどの程度検出感度が悪化するかを確認するため、人間の臓器の代わりに食用牛の臓器を用いて実験を行った。

次に本検討においては FET に帰還素子としてキャパシタンスを結合し構成した発振素子をリング共振器型電極と結合することにより、発振素子装荷リング共振器型電極を用いて CTC 検出システムの高分解能化を目指した。

図 2 に人体臓器における周波数に対する複素誘電率と誘電損失の変化[7]を示すが、人体臓器はそれぞれ固有の複素誘電率を所持していることが知られている。CTC は原発巣及び転移巣のような癌化した臓器から遊離し、血液を通して体内を循環している癌細胞であるが臓器組織の誘電損失が高い場合、CTC の誘電損失は由来となる臓器の誘電損失に依存し高い値を示すことが予測される。

リング共振器型電極はマイクロストリップ線路上に設置した平行電極の周辺にリング共振器を装荷することで構成され、本電極の共振条件は共振器の全長と平行電極上に配置された組織の複素誘電率で決定する。更に共振時における Q 曲線の変化はリング共振器型電極の構造だけでなく配置された臓器組織の誘電損失も影響するため、臓器組織の誘電損失が高い場合において本電極の Q 値が低い値を示すことから検出感度が悪化することが危惧される。

図 3 に示すように電磁界シミュレータ上に入出力線路の間隔と平行電極の間隔を同様に $50\mu\text{m}$ とし、リング共振器長を $l \approx 30\text{mm}$ で設定したリング共振器型電極モデルを構成した。同図(b)に示すように本モデル中の平行電極上へ臓器の誘電定数を設定した臓器モデルを配置し、各臓器における共振周波数と Q 値の変化を計算した。今回の検討においては日本国内における悪性新生物の部位別死亡率が高い[8]、大腸(Colon)、胃(Stomach)、肺(Lung)と肝臓(Liver)の 4 臓器を臓器モデルとして想定し、各臓器における諸特性の変化を計算した。

リング共振器型電極中の平行電極上に各臓器モデルを設置した時の周波数に対する透過係数の計算値を図 4 に示すが、臓器の種類で共振周波数が分離していることから、各臓器の複素誘電率により固有の共振周波数が生じることを確認した。しかしながら同図にも示されるように人体臓器の誘電損失が大きく共振時の Q 値が乏しいことから本リング共振器型電極の検出感度の向上が望まれる。そこで負性抵抗特性を有する発振素子を本電極と結合させることで臓器の誘電損失の影響を低減し検出感度の向上を目指した。

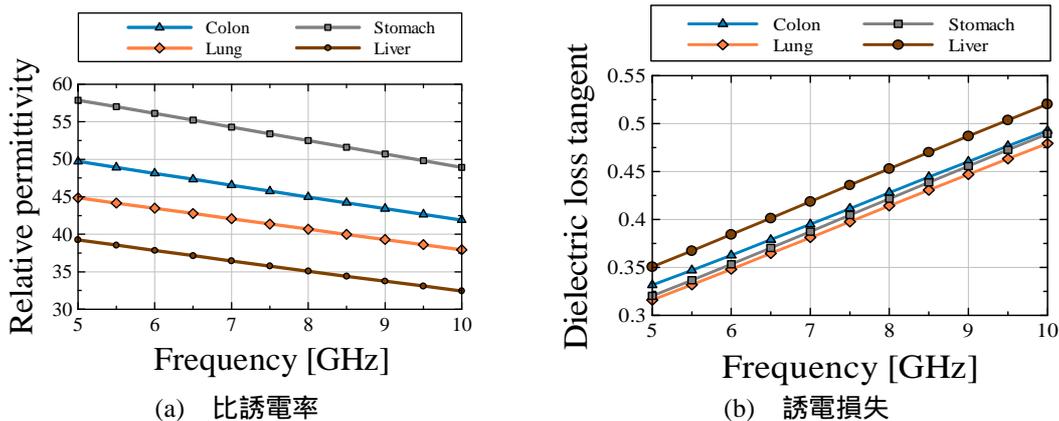


図 2 周波数に対する人体臓器の誘電定数の変化



図 3 リング共振器型電極の概要

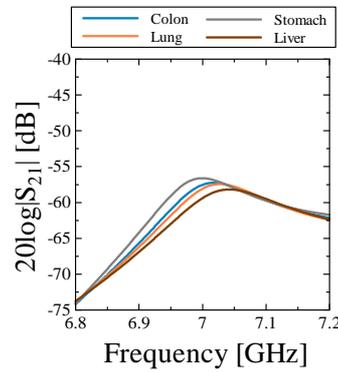


図 4 周波数に対する透過係数の計算値

表 1 リング共振器型電極単体を使用した時の各臓器における共振周波数と Q 値の計算値

	Resonant frequency [GHz]	Q - factor
Colon	7.018	44.1
Lung	7.027	44.8
Stomach	6.999	45.6
Liver	7.042	39.2

4. 研究成果

(1) 発振素子装荷リング共振器型電極

臓器の誘電損失によるリング共振器型電極の Q 値を改善するため、本電極に FET(NE76084)のソース端子に帰還素子としてキャパシタンスを装荷することで構成した発振素子を結合した発振素子装荷リング共振器型電極に関して検討を行った。本構造において発振素子は負性抵抗特性を有するため、臓器の誘電損失が補償されることが予測される。

本電極の等価回路を図 4 に示すがリング共振器型電極の平行電極上に臓器モデルが配置されたときの平行電極間の散乱行列を電磁界シミュレータで計算することでリング共振器型電極を等価回路化し、この等価回路と発振素子回路を組み合わせることで回路シミュレーション上で諸特性を計算した。

各臓器モデルを用いた時の周波数に対する透過係数の計算値を図 5 に示すが、臓器の種類に対してそれぞれの共振周波数が MHz オーダで分離することを確認した。更に表 2 に臓器の種類に対する Q 値の計算値を示すが、負性抵抗特性を所持する発振素子をリング共振器型電極に装荷することで Q 値が大幅に改善することが判明した。従って発振素子を装荷することで Q 値が改善され各臓器における共振周波数の差異が明確になることが期待される。

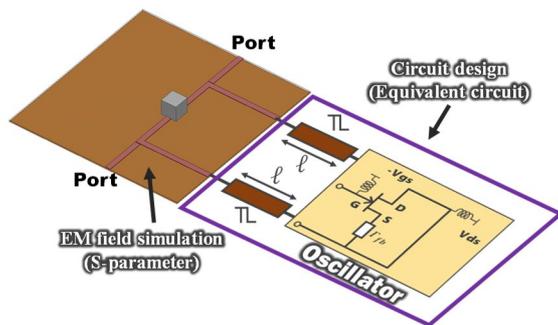


図 5 リング共振器型電極の等価回路

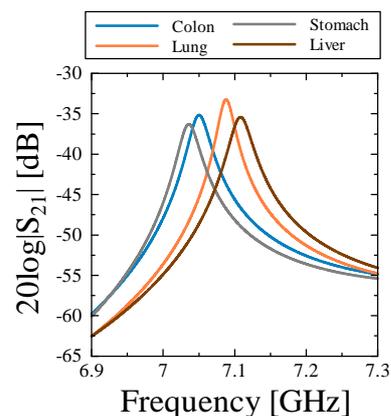


図 6 周波数に対する透過係数の計算値

表 2 発振素子をリング共振器型電極に装荷した時の各臓器における共振周波数と Q 値の計算値

	Resonant frequency [GHz]	Q - factor
Colon	7.050	257.8
Lung	7.088	332.8
Stomach	7.036	256.8
Liver	7.108	241.0

(2) 食肉を用いた発振周波数スペクトルの測定

発振素子を FET(NE76084)のソース端子に帰還素子としてキャパシタンス($C = 3\text{pF}$)を接続することで構成し、これを図 7 に示すように Duroid 基板上に作成したリング共振器型電極と結合させることで発振素子装荷リング共振器型電極を実現し、更に本電極の検出感度を評価するためスペクトラムアナライザを用いて本電極の発振周波数スペクトルの分布を測定した。

本構造において発振周波数は電極上に配置した臓器の複素誘電率に依存するため、臓器の種類が異なる場合において発振周波数が変化する。また、本発振素子は負性抵抗特性を有することから、臓器の誘電損失が補償されることが期待される。更に複素誘電率の差異が発振周波数スペクトルの分布で観測されることから、これまでの共振周波数のような Q 曲線の観測と比べ検出感度が向上することが期待される。

本検討において悪性新生物の中でも死亡率が高い大腸(Colon)、肺(Lung)、胃(Stomach)、肝臓(Liver)と腎臓(Kidney)に着目し、人間の臓器の代わりに食用牛の臓器を用いて実験を行った。これら臓器組織を電極上に配置し発振周波数の測定を行うが、各臓器の個体差を検討するため、各臓器組織に対して臓器サンプルを 5 つ用意し、同様な実験を 5 回行うことで臓器の発振周波数の分布に関して検討した。

周波数に対する発振周波数スペクトルの測定値と臓器組織に対する各発振周波数の測定値の分布を、それぞれ図 8 と図 9 に示す。これらの結果より、臓器の種類で発振周波数スペクトルがそれぞれ MHz オーダで分離することを確認した。従って、各臓器が所持する固有の複素誘電率の差異により本電極の発振周波数特性が変化するため、発振周波数スペクトルが分離し、更に検出感度が向上することを明らかにした。

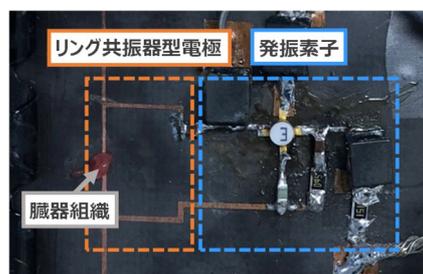


図 7 発振素子装荷リング共振器型電極

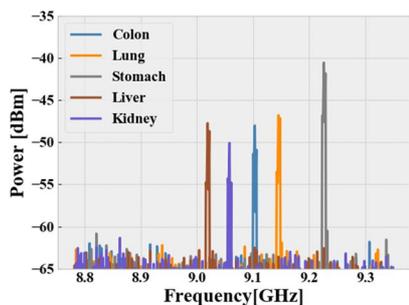


図 8 発振周波数スペクトルの測定値

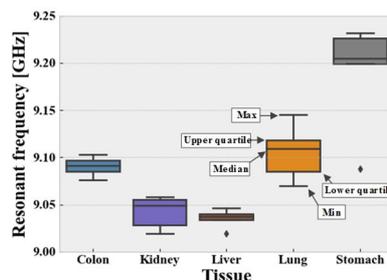


図 9 臓器組織に対する発振周波数測定値の分布

参考文献

- [1] N. Aceto, et al, "Circulating Tumor Cell Clusters Are Oligoclonal Precursors of Breast Cancer Metastasis," Cell158, pp.1110-1122, August 2014
- [2] F. Tanaka, et al, "Circulating Tumor Cell as a Diagnostic Marker in Primary Lung Cancer", Clinical Cancer Research, pp.6980-6989, Nov. 2009.
- [3] K. Yoneda, et al, "Circulating Tumor Cells (CTCs) in Malignant Pleural Mesothelioma (MPM)", Translational Research and Biomarkers, pp.472-480, Dec. 2013.
- [4] Peng Li, et al, "Acoustic separation of circulating tumor cells", Proc. of the National Academy of Sciences of USA, pp. 4970-4975, April 2015
- [5] M. Eguchi, et al, "Development of Pillar Electrode Array for Electrorotation Analysis of Single Cells", Proc. of World Automation Congress (WAC) June 2018.
- [6] K. Horio, et al, "Consideration of Relationship between Shape and Angular Velocity of Particles under Electrorotation", Proc. of World Automation Congress (WAC) June 2018.
- [7] Gabriel C, et al, "Compilation of the dielectric properties of body tissues at RF and microwave frequencies", Brooks Air Force Technical Report (1996).
- [8] 国立研究開発法人国立がん研究センター, "がん診療連携拠点病院等院内がん登録 2012 年 3 年生存率、2009 年から 10 年 5 年生存率公表"

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Futoshi Kuroki, Shouta Sora, and Kousei Kumahara	4. 巻 Vol. E103-C, No. 10
2. 論文標題 An Approach to Identify Circulating Tumor Cell Using Ring Resonator Type of Electrode Using Oscillation Technique at Centimeter Frequency Bands.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEICE Transactions	6. 最初と最後の頁 411-410
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/transele.2020MMI0003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計26件（うち招待講演 1件/うち国際学会 13件）

1. 発表者名 空翔太、黒木太司、江口正徳
2. 発表標題 癌部位検出用電極の高分解能化に関する検討
3. 学会等名 電気学会電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 坂本雅弥、黒木太司、江口正徳、山川烈、田中文啓
2. 発表標題 高周波帯ピンセット型電極を用いた肺がん部位推定
3. 学会等名 電気学会電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 空翔太、黒木太司、江口正徳
2. 発表標題 循環腫瘍細胞検出リング共振器型電極の検出感度向上に関する検討
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 坂本雅弥、黒木太司、江口正徳、山川烈、田中文啓
2. 発表標題 共平面型共振電極を用いた肺癌部位推定に関する検討
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shouta Sora, Kousei Kumahara, Futoshi Kuroki, Masanori Eguchi, Takeshi Yamakawa, and 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 European Microwave Week (EuMW2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 空翔太、黒木太司、江口正徳、山川烈、田中文啓
2. 発表標題 CTC検出を目的としたセンチ波帯リング共振器型電極による食肉部位の誘電特性評価
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 Shouta Sora, Kousei Kumahara, 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 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC2019) (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 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shouta Sora, Kousei Kumahara, 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 IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masaya Sakamoto, Shouta Sora, and Futoshi Kuroki
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 IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 空翔太、黒木太司
2. 発表標題 発振素子装荷循環腫瘍細胞検出電極による原発腫瘍同定に関する基礎検討
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 2020年

1. 発表者名 坂本雅弥、空翔太、黒木太司
2. 発表標題 高周波帯ピンセット型電極による肺がん部位推定の一考察
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 2020年

1. 発表者名 空翔太、黒木太司
2. 発表標題 発振素子装荷リング共振器型電極を用いた循環腫瘍細胞による原発巣同定に関する検討
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 坂本雅弥、空翔太、黒木太司
2. 発表標題 肺ガン部位推定を目的としたピンセット型電極による牛肺内異物検知の実験
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2020年

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

1. 発表者名 Shouta Sora, Kousei Kumahara, Futoshi Kuroki, Masanori Eguchi, Hiroko Imasato, Takeshi Yamakawa, Keiichi Horio, 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. (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 電子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 Futoshi Kuroki
2. 発表標題 Theory of Guided Waves and Its Applications to Disaster Reduction Techniques
3. 学会等名 6th Smart City Workshop 2018 in Malaysia (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Futoshi Kuroki
2. 発表標題 (Keynote Speech) An Approach of Circulating Tumor Cell Detection Using Resonant Circuits at Centimeter Frequencies
3. 学会等名 6th Smart City Workshop 2018 in Malaysia (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shouta Sora, Kousei Kumahara, Masanori Eguchi, Futoshi Kuroki, Fumihiro Tanaka, and Takeshi Yamakawa
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 in Malaysia (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shouta Sora, Kousei Kumahara, Masanori Eguchi, Futoshi Kuroki, Fumihiro Tanaka, and Takeshi Yamakawa
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 Asia Pacific Microwave Conference 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 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, Fumihiro Tanaka, and Takeshi Yamakawa
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 (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

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>電子情報通信学会ソサイエティ大会@金沢大学 https://www.kure-nct.ac.jp/newdiary/2018/09/14.html 【速報】専攻科生の研究成果三件、IEEE国際会議に採択される https://www.kure-nct.ac.jp/newdiary/2018/10/02.html アジア太平洋マイクロ波国際会議(APMC2018)、京都にて開催 https://www.kure-nct.ac.jp/newdiary/2018/11/06_1.html IEEE主催国際会議@Orlando, USAにて電気系専攻科生が成果発表 https://www.kure-nct.ac.jp/newdiary/2018/01/21_3.html インキュベーションワークの成果が 世界三大マイクロ波国際会議に採択される！ https://www.kure-nct.ac.jp/newdiary/2019/04/19.html</p>
--

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
---------	---------