

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 9 月 23 日現在

機関番号：51101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H04273

研究課題名(和文) ミクロ・ナノ熱工学によるがんの早期診断と低侵襲治療

研究課題名(英文) Early diagnosis and low invasive treatment of cancer by micro/nano thermal engineering

研究代表者

圓山 重直 (Maruyama, Shigenao)

八戸工業高等専門学校・その他部局等・教授

研究者番号：80173962

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では11名の癌患者に対して、健康皮膚と病変部において皮膚有効熱伝導率測定を実施した。臨床試験の結果腫瘍が真皮層まで浸潤する場合において、病変部の有効熱伝導率が健康部よりも高い値を有することが明らかとなった。生体内の光多重散乱やGNRによるプラズモン加熱、体内の血流や代謝熱を考慮した複合伝熱解析を考慮し、レーザー治療時の複雑な生体内伝熱解析を行った。その結果、GNRsの注入は短い照射時間で局所加熱が可能であることがわかった。低侵襲型のレーザー治療の実験的手法による有用性について検討を行った。実験から、ペルチェ素子による表面冷却の有用性について評価することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでの非侵襲皮膚がん診断ではダーマスコープによる診断が主であり、定量的な皮膚がんの診断には至っていなかった。本研究では革新的な非侵襲皮膚がん計測診断装置を開発し、臨床研究の結果、皮膚がんの侵襲度も定量的に計測可能であることが明らかとなった。本技術の開発によって我が国の皮膚がん診断に大幅なブレイクスルーをもたらしたと考えられる。また本研究では、数値解析、実験による低侵襲型のレーザー加熱療法の有用性について評価し、提案した手法が腫瘍組織の選択的加熱制御性を有していることを明らかにした。本研究結果は、これまで侵襲性の高い治療法として考えられてきたレーザー加熱治療法の根本概念を変えるものである。

研究成果の概要(英文)：This study measured the effective thermal conductivity of healthy and lesional skin in 11 cancer patients. Clinical studies have shown that when the tumor invades the dermis, the effective thermal conductivity of the lesion is higher than in the healthy area. Complex in-vivo heat transfer analysis during laser treatment was performed considering multiple heat scattering in vivo, plasmon heating by GNR, and combined heat transfer analysis considering blood flow and metabolic heat in the body. As a result, it was found that the GNR can be locally heated with a short irradiation time. We examined the usefulness of low invasive laser treatment by an experimental method. From the experiment, the usefulness of the surface cooling by the Peltier device could be evaluated.

研究分野：熱工学

キーワード：皮膚がん診断 レーザー加熱療法 低侵襲治療 有効熱伝導率

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

我が国の高齢化に伴い、がんの早期診断と低侵襲治療により、治療にともなう苦痛を最小限にとどめ、患者が社会生活を営みながら治療を行ういのちの質向上が求められている。熱工学でも生体に関する医工学研究が行われている（Maruyama & Kodama et al., Nano Res., 2015）。

圓山研究代表者のグループでは、医学研究者と多くの共同研究を実施してきた。例えば、山家分担者と人工心筋の開発（Maruyama, & Yambe, et al., J. Intel. Mat. Syst. Str., 2008.）や、クライオプローブによる凍結制御（Okajima, & Aiba et al., Cryobiology, 2009.）などである。さらに、微小領域の生体伝熱として、マイクロチャンネル内の相変化現象を応用した極微細クライオプローブ（Okajima & Maruyama et al., Proc. IHTC-14, 2010.）、微小熱物性テスターによる生体熱物性の測定（Maruyama & Komiya, et al., J. Therm. Sci. Tech., 2013.）、生体のナノ構造を考慮したがんのレーザー治療（Maruyama & Kodama et al., J. Control. Release, 2013.）などである。

生体は、ミクロな細胞組織や血管組織で構成されている。また、レーザーなどの電磁波が体内を伝播する場合、細胞やナノ粒子の散乱など、ナノスケールのエネルギー伝播が支配している。圓山代表者は、熱工学におけるミクロとナノ現象の体系化を行っている（Maruyama, J. Therm. Sci. Tech., 2009.）。レーザーによる加熱治療は、生体のミクロ構造に即した電磁波エネルギー伝播の精密制御が不可欠である。申請者らは、その研究を長年実施している。小宮分担者は、細胞中のタンパク質のミクロな拡散現象の研究（Komiya & Maruyama et al., J. Chem. Phys., 2013.）、櫻井分担者は、ふく射エネルギーのプラズモン共鳴の研究（A. Sakurai et al., JQSRT, 2014.）など、ミクロ・ナノスケールの熱物質移動の研究を行っている。

本研究では、医療現場の臨床医学の研究者との密接な連携によって、ミクロスケールの生体熱現象と、生体内ナノスケールのふく射エネルギー伝播を解明する。この成果により、ミクロスケールの高精度温度測定による乳がんと皮膚がんの早期診断方法の確立、ふく射のナノスケール伝播を応用して皮膚がんを金ナノ粒子を用いた乳がんの低侵襲治療を行う。さらに、手術中の臓器活性度その場測定やレーザー照射カテーテルによる血管内低侵襲治療を目指すものである。

2. 研究の目的

本研究は、(1) 生体ミクロ熱工学に基づく、がんの早期診断法と、生体活性度その場計測の確立、(2) ふく射伝播のナノスケール効果を考慮した皮膚がん、乳がん、血管壁内の低侵襲治療の基礎的研究に大別される。生体は本来ミクロ複雑構造を有しており、生体内熱現象は、毛管輸送と拡散主体のミクロ熱現象と、体全体の血流などのマクロな輸送が複合している。

本研究では、それらの生体内ミクロ・ナノ輸送現象を解明し、生体内逆問題解析を確立する。それを臨床応用することによって、特に乳がんと皮膚がん（悪性黒色腫）の早期診断、および、生体活性度その場測定方法を創成する。さらに、レーザーエネルギーのミクロ・ナノスケール伝熱制御を行うことにより、ナノ粒子を用いた乳がんの低侵襲治療、ならびに、皮膚がんの効率的除去、さらに血管内微小カテーテルによるマイクロハイパーサーミア手術法の創出を目指す。以下に具体的な研究計画を示す。

(1) ミクロ熱工学によるがんの早期診断と生体活性度その場診断方法の創成：

人体の表皮は角質から真皮まで毛細管などの複雑なミクロ構造をしている。本研究では、生体の温度を数ミリ K の精度で測定し、ごく短時間の加熱制御ができるマイクロ温熱プローブを開発する。なお、マイクロ温熱プローブは、予備的な研究を先行実施済みである。

この装置で計測したデータと生体内伝熱逆問題解析により、皮膚がんの早期発見ができる可能性を検討する。さらに、臨床知見による皮膚がんと表皮組織熱物性との相関を明らかにし（藤村）、皮膚がん早期発見デバイスの開発を行う。

マイクロ温熱プローブと、高精度のふく射温度計測を併用することによって、生体の血流量を推定する。このデータを使用して、乳がんの早期診断の可能性を検討する。

臓器にマイクロ温熱プローブを接触させて、臓器の活性化状態を手術中に計測するシステムを構築する。このシステムをラットやヤギによる動物実験で検証する。この手法で、手術中に病変部を診断し、切除部分の極小化による低侵襲治療法の確立を目指す。

(2) 低侵襲レーザー治療における生体内熱移動の解明と治療法の創出：

圓山、小玉らのグループは、レーザーによる乳がんリンパ節の焼灼治療研究の実績がある。本研究では、乳がんのリンパ節転移の低侵襲治療を目指す。つまり、レーザーによるミクロ構造を有する生体加熱の定量的解明と、金ナノ粒子のプラズモン共鳴を用いた生体加熱現象の解明を行う。さらに、レーザーと透明冷却デバイスを組み合わせ、組織表層を損傷しない低侵襲レーザー治療の基礎研究を行う。

また、皮膚がん（悪性黒色腫）のレーザー焼灼治療において、皮膚ミクロ組織中の電磁波による加熱状態を定量的に解明し、治療効果のあるレーザー波長やその強度の同定などを、工学的に解明する。

生体内ふく射伝播解析と、特定病変部位へのナノ粒子の集積現象と組み合わせることにより生体組織内温度分布制御を実現し、さらに有効な治療へ展開する。

この治療システムをカテーテルと組み合わせ血管内治療のためのハイパーサーミアカテー

テル治療の手法も検討し、動脈硬化の治療への展開を目指す。

3. 研究の方法

(1) 高精度マイクロ温熱プローブによる皮膚がんの早期発見

生体のマイクロな熱輸送機構を総括する伝熱モデルを構築し、高精度温熱プローブによる能動的熱反応特性の解析から、生体の活性度を逆算して皮膚がんの早期発見手法を確立する。つまり、これまで研究してきた点接触型熱物性テスタ（岡部&円山ら、熱物性, 2012.）を飛躍的に発展させたガードヒータ型マイクロ温熱プローブを実用化する。このマイクロ温熱プローブを用いてパルス加熱応答による皮膚がん（悪性黒色腫）の早期診断の手法を確立する。この研究は、生体伝熱逆問題とラットを用いた動物実験、病院の患者による臨床知見を有機的に結合し、死亡率の高い悪性黒色腫の早期発見を目指す。

(2) 低侵襲レーザー治療における生体内熱移動解明と治療法の創出

レーザーによるハイパーサーミアは表面近傍でレーザー光が散乱し減衰するために、組織表層がやけど状態になり患部の治療ができない場合もある（Maruyama, & Kodama et al., J. Control. Release, 2013.）。代表者のグループでは、レーザー光の光学特性を利用して臓器表層を冷却しレーザーを照射することにより患部のみ加熱できることを明らかにした（Maruyama, et al., Proc. 8th ICFD, 2011）さらに、生体と水に吸収されにくい波長 830 nm の半導体レーザー照射装置を購入し、それに適応したファイバー光学系を構築したレーザー治療装置の構築を始める。初年度は、YAG レーザー波長に調整した金ナノ粒子を合成し、そのプラズモン共鳴光エネルギー伝播の解析によって、理論解析に基づく最適な加熱と皮膚表面冷却デバイス設計と加熱条件決定について検討を行う。新たに導入する分光計を用いて生体組織の光学物性を精緻に決定し解析に反映させる。レーザー治療器の光学設計および生体内光・熱移動現象の解析を行い、予備的な動物実験を行う。なお、本研究はオーストラリア ニューサウスウェールズ大学の Victoria Timchenko 講師および南アフリカ ヨハネスブルグ大学の Oluwatobi Oluwafemi 准教授との国際共同研究として実施する。

4. 研究成果

(1) ミクロ熱工学によるがんの早期診断と生体活性度その場診断方法の創成：

本研究では11名の癌患者に対して、健常皮膚と病変部において皮膚有効熱伝導率測定を実施した。なお本結果は事前に患者からインフォームド・コンセントを取得して得られた結果である。臨床試験の結果（Fig.1 参照）、腫瘍が真皮層まで浸潤する場合において、病変部の有効熱伝導率が健常部よりも高い値を有することが明らかとなった。数値計算との比較により腫瘍近傍における水分量や血流量等の増加が原因であることが示唆された。生体等価ファントムを用いた非臨床実験の結果、数値解析で使用した Pennes の生体伝熱方程式は血流の影響を過小評価している可能性が示唆され、今後の検討が必要であることが明らかとなった。

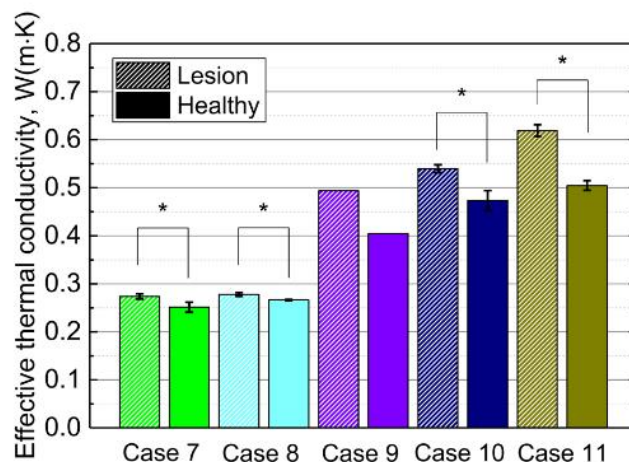


Figure 1 浸潤癌患者における臨床実験結果

有効熱伝導率に影響を与える可能性がある間質因子を調査するために、LL37 や MMP12 等の

免疫組織化学的染色を実施した。腫瘍が真皮層まで浸潤した場合、免疫組織化学的染色の結果 (Fig. 2 参照) によると、MMP12 の発現が有効熱伝導率の差異のメカニズムを説明できる相関因子の一つである可能性が示唆された。非侵襲熱伝導率計測時の皮膚悪性腫瘍の伝熱特性の変化を模擬するために、Local Thermal Non-Equilibrium Model を用いた数値シミュレーションを実施し、有効熱伝導率に影響を与える因子を検証した。結果より、腫瘍の進行に伴い局所的に増加する血流の影響が支配的パラメータの一つであることが示唆された。

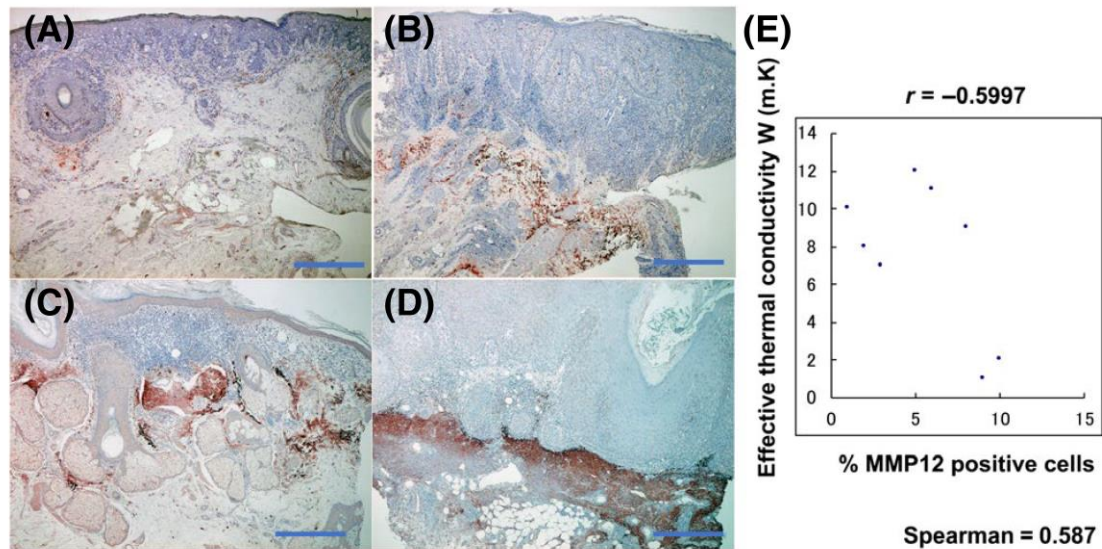


Figure 2 免疫組織化学的染色結果

(2) 低侵襲レーザー治療における生体内熱移動解明と治療法の創出

本研究では、生体内の光多重散乱や GNR によるプラズモン加熱、体内の血流や代謝熱を考慮した複合伝熱解析を考慮し、レーザー治療時の複雑な生体内伝熱解析を行った。まず、伝熱工学的観点から生体内の伝熱現象を評価するために、光線放射モデルによるふく射要素法 REM2 と Pennes の生体伝熱方程式を用いた 3 次元ふく射伝導伝熱複合解析のモデル化を行った。GNRs を用いた生体組織へのレーザー照射を想定した数値計算を行い、GNRs の有無、また GNRs を用いたレーザー治療における数密度などの様々なパラメータを変更し、その時の生体組織内の温度分布および熱損傷度の変化について評価した。Figure 3 および Fig. 4 にはレーザー治療において GNRs の有無による計算結果の比較を行った。その結果、GNRs の注入は短い照射時間で局所加熱が可能であることがわかった。

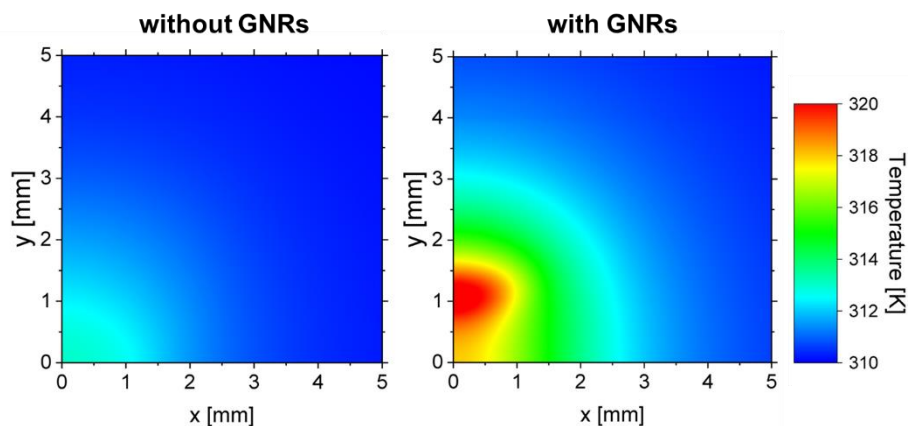


Figure 3 GNR の有無による温度上昇特性. $y = 0\text{mm}$ は皮膚表面を示しており、 $x=0\text{mm}$ は軸対称面を示す。レーザースポット半径 1.5mm で下側から加熱されている。

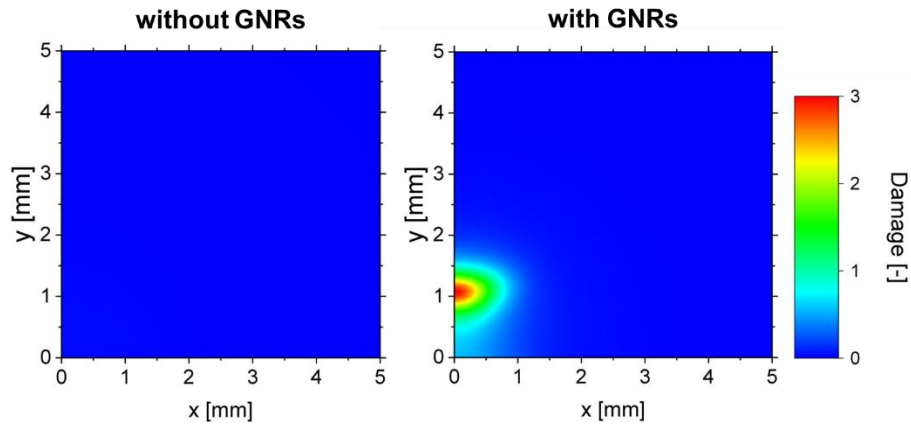


Figure 4 GNRの有無による熱損傷度の比較. GNR有の場合, 皮膚表面下1mmに局所的に熱損傷度3を超え, 腫瘍破壊に効果的であることがわかる.

本研究では、レーザー治療の実験的手法による有用性について検討を行った。Figure 5 に使用した実験装置を示す。実験では、アクリルアミドゲルを擬似生体組織として模擬した。ゲル内部には黒体塗料を塗布して、生体組織の光学物性を模擬した。擬似生体組織の上部にはペルチェ素子を設置して、レーザー加熱による恒温深部領域の制御を行った。Figure 6 にレーザー出力 6W で擬似組織を 300 秒加熱した際のゲルの断面の温度分布を示す。図に示されるように、ゲル表面は冷却されながらも、高温領域が擬似組織中心部に形成されていることが分かる。このことから、ペルチェ素子による表面冷却の有用性について評価することができた。

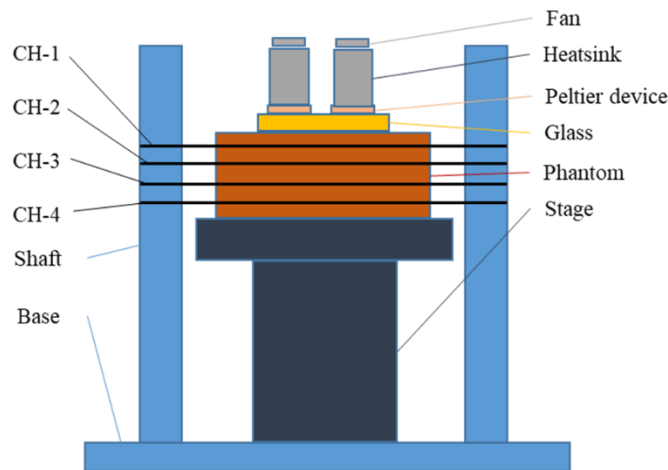


Figure 5 レーザー加熱実験装置概念図

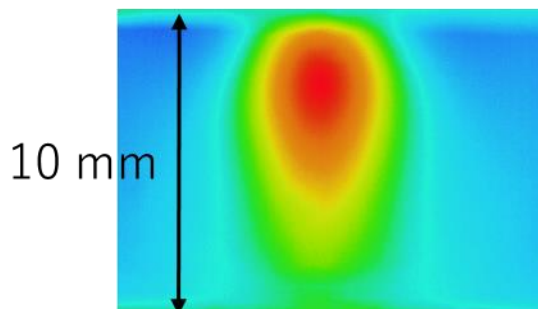


Figure 6 レーザー照射 300 s 後の擬似生体組織断面の温度分布

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 10件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Okabe T, Fujimura T, Okajima J, Kambayashi Y, Aiba S, Maruyama S.	4. 巻 9
2. 論文標題 First-in-human clinical study of novel technique to diagnose malignant melanoma via thermal conductivity measurements	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sci Rep	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-40444-6	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 該当する
1. 著者名 Fujimura T, Hidaka T, Kambayashi Y, Aiba S	4. 巻 28
2. 論文標題 BRAF kinase inhibitors for treatment of melanoma: developments from early-stage animal studies to Phase II clinical trials	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Expert Opin Investig Drugs	6. 最初と最後の頁 143-148
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/13543784.2019.1558442	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 該当する
1. 著者名 Okabe T, Fujimura T, Okajima J, Aiba S, Maruyama S.	4. 巻 126
2. 論文標題 Non-invasive Measurement of Effective Thermal Conductivity of Human Skin with a Guard-heated Thermistor Probe	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Int. J Heat Mass Trans	6. 最初と最後の頁 625-635
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.06.039	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 該当する
1. 著者名 Fujimura T, Sato Y, Tanita K, Kambayashi Y, Otsuka A, Fujisawa Y, Yoshino K, Matsushita S, Funakoshi T, Hata H, Yamamoto Y, Uchi H, Nonomura Y, Tanaka R, Aoki M, Imafuku K, Okuhira H, Wada N, Irie H, Hidaka T, Hashimoto A, Aiba S.	4. 巻 19
2. 論文標題 Serum Level of Soluble CD163 May Be a Predictive Marker of the Effectiveness of Nivolumab in Patients With Advanced Cutaneous Melanoma	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Front Oncol	6. 最初と最後の頁 530
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fonc.2018.00530	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 Tanita K, Fujimura T, Sato Y, Lyu C, Aiba S.	4. 巻 27
2. 論文標題 Minocycline decreases Th2 chemokines from M2 macrophages: Possible mechanisms for the suppression of bullous pemphigoid by traditional bullous disease drugs	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Exp Dermatol	6. 最初と最後の頁 1268-1272
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/exd.13779	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 該当する

1. 著者名 Fujimura T, Sato Y, Kambayashi Y, Tanita K, Tsukada A, Terui H, Hashimoto A, Aiba S.	4. 巻 6
2. 論文標題 Three patients with advanced cutaneous angiosarcoma treated with eribulin: investigation of serum soluble CD163 and chemokine (C-X-C motif) ligand 10 as possible biomarkers predicting the biological behaviour of angiosarcoma	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Br J Dermatol	6. 最初と最後の頁 1392-1395
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/bjd.16676	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 該当する

1. 著者名 Oladipo Adewale O., Oluwafemi Oluwatobi S., Songca Sandile P., Sukhbaatar Ariunbuyan, Mori Shiro, Okajima Junnosuke, Komiya Atsuki, Maruyama Shigenao, Kodama Tetsuya	4. 巻 7
2. 論文標題 A novel treatment for metastatic lymph nodes using lymphatic delivery and photothermal therapy	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 45459 ~ 45459
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/srep45459	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 該当する

1. 著者名 Matsuki Daisuke, Adewale Oladipo, Horie Sachiko, Okajima Junnosuke, Komiya Atsuki, Oluwafemi Oluwatobi, Maruyama Shigenao, Mori Shiro, Kodama Tetsuya	4. 巻 10
2. 論文標題 Treatment of tumor in lymph nodes using near-infrared laser light-activated thermosensitive liposome-encapsulated doxorubicin and gold nanorods	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Biophotonics	6. 最初と最後の頁 1676 ~ 1682
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/jbio.201600241	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 該当する

1. 著者名 T. Okabe, J. Okajima, A. Komiya, S. Maruyama	4. 巻 108
2. 論文標題 Development of a guard-heated thermistor probe for the accurate measurement of surface temperature	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 International Journal of Heat and Mass Transfer	6. 最初と最後の頁 2283-2292
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.01.072	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 該当する

1. 著者名 A.O. Oladipo, O.S. Oluwafemi, S.P. Songca, A. Sukhbaatar, S. Mori, J. Okajima, A. Komiya, S. Maruyama, T. Kodama	4. 巻 7
2. 論文標題 A novel treatment for metastatic lymph nodes using lymphatic delivery and photothermal therapyScientific Reports	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/srep45459	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 該当する

1. 著者名 Fujimura Taku, Okabe Takahiro, Tanita Kayo, Sato Yota, Lyu Chunbing, Kambayashi Yumi, Maruyama Shigenao, Aiba Setsuya	4. 巻 28
2. 論文標題 A novel technique to diagnose non melanoma skin cancer by thermal conductivity measurements: Correlations with cancer stromal factors	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Experimental Dermatology	6. 最初と最後の頁 1029 ~ 1035
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1111/exd.13997	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 該当する

1. 著者名 佐藤 遥太、藤村 卓、岡部 孝裕、圓山 重直、相場 節也	4. 巻 73
2. 論文標題 増刊号特集 最近のトピックス2019 Clinical Dermatology 2019 3.新しい検査法と診断法 非侵襲熱物性計測による皮膚腫瘍の早期診断の可能性	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 臨床皮膚科	6. 最初と最後の頁 69 ~ 73
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.11477/mf.1412205707	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8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Soma Taniguchi, Yousuke Nakamura, Takuma Kogawa, Junnosuke Okajima, Atsuki Komiya, Shigenao Maruyama, and Astushi Sakurai
2. 発表標題 Three-Dimensional Coupled Photon and Bioheat Transport Simulation for Laser Induced Photothermal Therapy
3. 学会等名 the 17th International Symposium on Advanced Fluid Information (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Junnosuke Okajima, Takuma Kogawa, Atsuki Komiya, and Shigenao Maruyama
2. 発表標題 Numerical Simulation of Temperature Distribution Control for Laser-induced Hyperthermia
3. 学会等名 14th International Conference on Flow Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kosuke Kudo, Takahiro Okabe, Koji Fumoto, Junnosuke Okajima, Taku Fujimura, Minoru Shiota, Takao Inamura, Setsuya Aiba, and Shigenao Maruyama
2. 発表標題 Non-Invasive Detection of Skin Tumor by Thermal Conductivity Measurement: Experiments on a Skin Mimicking Phantom
3. 学会等名 14th International Conference on Flow Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岡部孝裕, 高橋篤史, 岡島淳之介, 小宮敦樹, 円山重直
2. 発表標題 非定常比較法によるサーミスタの温度校正の不確かさ要因の評価
3. 学会等名 第37回日本熱物性シンポジウム
4. 発表年 2016年

1 . 発表者名 T. Okabe, J. Okajima, T. Fujimura, A. Komiya, S. Aiba, S. Maruyama
2 . 発表標題 Effect of Thermal Penetration Depth on Diagnosis of Skin Cancer by Thermophysical Property Measurement
3 . 学会等名 13th International Conference on Flow Dynamics (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 Y. Nakamura, A. Komiya, J. Okajima, S. Maruyama, A. Sakurai
2 . 発表標題 Coupled Photon and Bioheat Transport Simulation for Laser Induced Plasmonic Photothermal Therapy
3 . 学会等名 the 16th International Symposium on Advanced Fluid Information (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 T. Okabe, T. Fujimura, S. Maruyama, S. Aiba
2 . 発表標題 Early Detection of Skin Cancer by Thermal Conductivity Measurements
3 . 学会等名 US-Japan Workshop on Biomarkers for Cancer Early Detection (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 T. Okabe, T. Fujimura, J. Okajima, S. Maruyama
2 . 発表標題 Investigation of Bioheat Transfer Characteristics of Skin Tumor during Non-invasive Measurement of Thermal Conductivity
3 . 学会等名 Nineteenth International Symposium on Advanced Fluid Information
4 . 発表年 2019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	野中 崇 (Nonaka Takashi) (00390386)	八戸工業高等専門学校・その他部局等・教授 (51101)	
研究分担者	細川 靖 (Hosokawa Yasushi) (50270195)	八戸工業高等専門学校・その他部局等・准教授 (51101)	
研究分担者	井関 祐也 (Iseki Yuya) (00780222)	八戸工業高等専門学校・その他部局等・准教授 (51101)	
研究分担者	古川 琢磨 (Kogawa Takuma) (80818518)	八戸工業高等専門学校・その他部局等・助教 (51101)	
研究分担者	岡部 孝裕 (Takahiro Okabe) (70772713)	弘前大学・理工学研究科・助教 (11101)	
研究分担者	藤村 卓 (Taku Fujimura) (50396496)	東北大学・大学病院・講師 (11301)	
研究分担者	岡島 淳之介 (Junnosuke Okajima) (70610161)	東北大学・流体科学研究所・助教 (11301)	

6. 研究組織（つづき）

	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	小宮 敦樹 (Atsuki Komiya) (60371142)	東北大学・流体科学研究所・准教授 (11301)	
研究分担者	山家 智之 (Tomoyuki Yambe) (70241578)	東北大学・加齢医学研究所・教授 (11301)	
研究分担者	小玉 哲也 (Tetsuya Koadama) (40271986)	東北大学・医工学研究科・教授 (11301)	
研究分担者	櫻井 篤 (Atsushi Sakurai) (20529614)	新潟大学・自然科学系・准教授 (13101)	