

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：51101

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02092

研究課題名（和文）能動的精密表面温度計測を用いた熱パルスレーダによる癌の生体内診断

研究課題名（英文）Cancer Diagnosis using Thermal-Pulse Radar with Active High Precision Temperature Measurement

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） 13,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、代表者らの提案してきたガードヒータ型高精度表面温度計測をさらに発展させ、半導体薄膜サーミスタを用いた（皮膚癌や内視鏡手術用）カテーテル熱パルスレーダを開発し、癌の生体内診断を行う新たな診断法を確立することである。本研究課題では（1）複数のサーミスタをmKオーダーで温度検定可能な固体型温度校正装置の開発および熱的評価実験を実施した。（2）薄膜サーミスタと小型ペルチェジュールを組み合わせた高精度能動温度プローブのプロトタイプを製作し、皮膚癌の早期診断の可能性を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

医療における診断は、外見の観察と触診に始まり、幹部を一部切除して病理学的に判断している。メラノーマ（悪性黒色腫）に代表される皮膚癌では初期段階で発見した場合の治癒率が高いが、進行すると生存率がきわめて低くなる。それゆえ、非侵襲（切除しない）に早期発見が可能な皮膚癌の診断法が望まれている。本装置はこれらの解決を図ることができる可能性を有しており、社会的意義は大きい。また、ガードヒータ型プローブによる皮膚癌診断の研究は、代表者のグループ以外では実施されていない世界でもユニークな取り組みであり学術的意義は高いと考えられる。

研究成果の概要（英文）：This research is to improve the precision of the guard-heater-type temperature probe which was proposed by our research group. The thermal pulse radar was invented with a thin-film type thermistor, which can be used for detecting an early stage of skin cancer and applied for surgical endoscopic catheters. In this research, we aimed to (1) develop the solid-type calibration equipment using multiple thermistors to measure in mK and evaluate its performance, and (2) create the prototype of the high precision surface temperature probe, combined with the thin-film thermistor and small Peltier module. The device provides the potential diagnosis for the early stage of skin cancer.

研究分野：熱工学

キーワード：サーミスタ

### 1. 研究開始当初の背景

医療における診断は、外見の観察と触診に始まり、幹部を一部切除して病理学的に判断している。メラノーマ(悪性黒色腫)に代表される皮膚癌では初期段階で発見した場合の治療率は高いが、進行すると生存率がきわめて低くなる。この診断には、ダーマスコープを用いて視覚的検査をする場合が多いが、その診断には熟練を要する。皮膚悪性腫瘍が疑われる場合は、皮膚生検による病理学的検査を施行するが、皮膚生検は侵襲を伴い、検査結果が出るまで2~3週間を要する。例えば、日本人に多い表皮内癌である日光角化症は、時間の経過とともに有棘細胞癌に進行し、多臓器転移などのスクリーニングが必要となるため、早期発見・治療が望ましい。それゆえ、非侵襲(切除しない)な皮膚癌の診断法が望まれている。

このような背景から、代表者らのグループは、ガラス封入型サーミスタを用いたガードヒータ型表面温度プローブを開発した。この装置は物体の表面温度を5mKの高分解能で計測でき、制御された熱パルスを発生してその応答を高精度で測定できる特徴を持っている。この装置を使用して、皮膚癌の臨床試験を行い、進行癌の度合いを精度良く測定できることを明らかにした。

### 2. 研究の目的

本研究は、代表者らのこれまで研究してきたガードヒータ型表面温度プローブをさらに発展させ、半導体薄膜サーミスタを用いた皮膚癌や内視鏡手術用カテーテル熱パルスレーダーを開発し、癌の生体内診断を行う新たな診断法を確立することを目的とする。図1は本研究によって開発を行った半導体薄膜サーミスタを用いた熱パルスレーダー(以下、本プローブ)の概略図である。本プローブは2つの薄膜サーミスタによって構成されている。サーミスタ1は温度センサおよび能動的に被測定物に熱を加え、後述する手法によって有効熱伝導率の計測を行うために用いる。サーミスタ2は熱損失を最小限に抑えるためのガードヒータとして用いる。本研究の目的を実現するために以下の項目の検討を実施した。

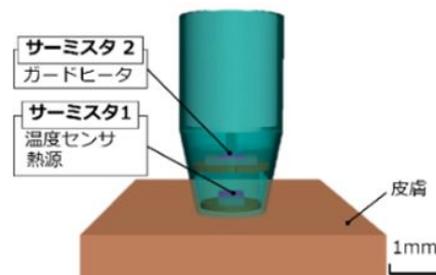


図1 半導体薄膜サーミスタを用いた熱パルスレーダー

ために以下の項目の検討を実施した。

#### 超高精度に温度校正が可能な固体型温度校正装置の開発

本プローブによって有効熱伝導率を計測するためには、本プローブをmKオーダーで校正する必要がある。代表者らがこれまで提案してきたサーミスタプローブの温度校正装置は、真空ポット等簡易的な形状のものを使用していた。しかし、これまでの研究結果から簡易形状では装置内部での熱漏洩が大きく、数mKオーダーの温度精度を目標とした温度制御は困難であることが明らかとなっている。これを改善すべく、新たな温度計校正装置の設計・開発を行い、その断熱性能の評価を行うことを目的とした。

#### 3次元コンピュータ・シミュレーションによる検討

試作した本プローブの有効熱伝導率計測精度を3次元コンピュータ・シミュレーションによって明らかにすることを目的とした。さらに人体の皮膚構造を模擬したモデルによって非侵襲に皮膚癌早期診断が可能であることを定量的に示すことを目的とした。

#### 熱パルスレーダーの試作および実験環境の構築

開発した本プローブの計測制御装置として、データ収録機器(DAQデバイス)によるシステム構築を行い、熱伝導率の算出に必要な機器定数を校正し、熱伝導率の測定を行った。加熱時間を変化させて有効熱伝導率測定を行い、加熱時間における測定精度や測定範囲および測定深さを推定することにより、熱パルスに適した加熱時間を定めることを目的とした。

### 3. 研究の方法

#### 有効熱伝導率の計測方法

まず本プローブによる有効熱伝導率計測の原理について述べる。本プローブは能動的に熱パルスを測定対象物に加え、その応答を高精度で測定することにより有効熱伝導率を計測できる特徴を持っている。本研究では式(1)に示す、Pulse-Power Integrated-Decay法(以下、本手法と呼ぶ)を適用した。

$$k = \left\{ a_1 \left( \frac{\int_{t-t_h}^{t-t_h+3.0} \Delta T(t) dt}{\int_0^{t_h} P(t) dt} \right) - a_2 \right\}^{-1} \quad (1)$$

なお、 $t_h$ は加熱時間、 $\Delta T(t)$ は加熱温度、 $P(t)$ は入力電力、 $a_1$ と $a_2$ は機器定数を示す。熱伝導率を校正するため、機器定数 $a_1, a_2$ を正確に定める必要がある。熱伝導率が既知の試料2つで測定を行い、以下の式(2)、(3)で機器定数を計算する。

$$a_1 = \left\{ \frac{1}{k_1} - \frac{1}{k_2} \right\} \cdot \left\{ \frac{\int \Delta T_1 dt}{\int P_1 dt} - \frac{\int \Delta T_2 dt}{\int P_2 dt} \right\}^{-1} \quad (2)$$

$$a_2 = a_1 \frac{\int \Delta T_1 dt}{\int P_1 dt} - \frac{1}{k_1} \quad (3)$$

なお、 $\int \Delta T_1 dt$ 、 $\int \Delta T_2 dt$ はそれぞれ試料 1、2 の場合の加熱後 3 s 間の加熱直前との温度差の積分値を、 $\int P_1 dt$ 、 $\int P_2 dt$ はそれぞれ試料 1、2 の場合の加熱電力量を、 $k_1$ 、 $k_2$ はそれぞれ試料 1、2 の熱伝導率を示す。

### 超高精度に温度校正が可能な固体型温度校正装置の開発

**- A 筐体開発** 高精度な温度制御装置開発のために、独自の温度計校正装置を作成した。図 2 に作成した校正装置の概念図を示す。本校正装置は、一對の真空容器から成り立っている。真空容器中心に銅ブロックを設置し、その中心に温度計を挿入する構成となっている。銅ブロック上部には、ペルチェモジュールを使用し、上部での熱漏洩を防止し銅ブロックの温度を均一に保持する構成とした。銅ブロック上部に配置したペルチェモジュールは、上部での熱漏洩を防止し銅ブロックの温度を均一に保持する構成とした。校正装置の熱性能を評価するために、放熱実験による校正装置の熱性能を評価した。放熱実験ではある一定温度に加熱した校正装置を放置し、中心の温度ブロックの温度の時間変化を計測し外部に漏洩する熱流量を測定した。

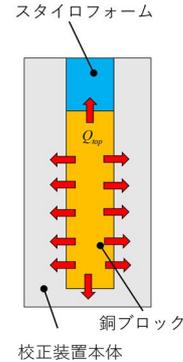


図 2 校正装置概念図

**- B 電子制御** サーミスタの温度特性を得るための温度校正装置の計測制御システムの構築を行った。銅ブロック内の温度は、ペルチェモジュールとチラーにより温度制御が可能であり、銅ブロック内に挿入した標準温度計により、同じ銅ブロックに挿入したサーミスタの抵抗値をマルチメータで計測することで温度特性を計測することができる。本校正装置はペルチェモジュールとチラーの温度制御が必要となるため、図 3 に示す計測制御システムを構築した。ペルチェモジュールに流れる電流を直流電源で制御し、マイコンと半導体スイッチにより、電流の向きを制御することで、ペルチェモジュールの加熱と冷却を行う。また、チラーも外部制御が可能であり、目標温度や PID パラメータの設定により、加熱と冷却を行う。

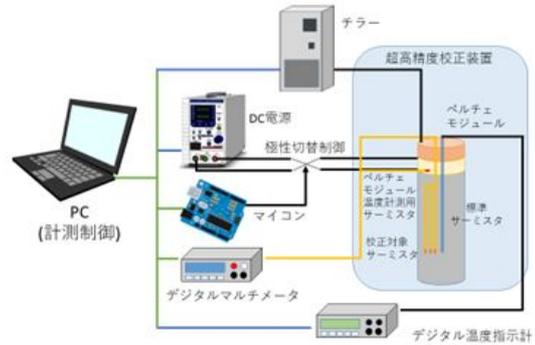


図 3 温度校正装置の計測制御システム

### 3次元コンピュータ・シミュレーションによる検討

**- A 均一組織に対する検討** 開発した本プローブの 3D モデルを作成し、コンピュータ・シミュレーションによって評価を行った。まず、均一組織に対して熱パルスを加え、有効熱伝導率測定の数値解析を行った。具体的には、加熱時間および均一組織の熱伝導率を変更し有効熱伝導率計測に及ぼす影響を評価した。

**B 人体皮膚構造モデルに対する検討** 次に、人体の皮膚構造を模擬したモデルを用い、皮膚癌診断が可能かどうかの検討を行った。人体皮膚構造モデルは表皮、真皮、脂肪、筋肉の 4 層構造となっている。表皮は部位によって厚さが大きく異なるため、厚さを 0.1 ~ 1.5 mm の間で変化させ、有効熱伝導率の計測結果に及ぼす影響を考察した。また、表皮の熱伝導率を変えた解析を実施し、わずかな熱伝導率の差を本プローブによって検知可能かを検証した。

### 熱パルスレーダーの試作および実験環境の構築

本プローブの計測制御システムは、National Instruments 社の DAQ デバイスを使用し、プログラムは National Instruments 社の LabVIEW で作成し、計測制御システムを構築した。図 4 に計測制御システムの動作の流れを示す。開始後、皮膚との温度差を小さくするため、指定した温度まで皮膚温度測定サーミスタを予備加熱し、プローブが皮膚に接触し、サーミスタの温度上昇を検知して一定電力量加熱、すばやく温度平衡状態に移行する。ガードヒータ用サーミスタは常に皮膚温度測定用サーミスタと同じ温度となるように PID 制御により追従する。一定時間待機後、数 m 秒オーダーのショート熱パルス、数秒オーダーのロング熱パルスを行い、加熱と放熱の温度過程より有効熱伝導率を評価する。

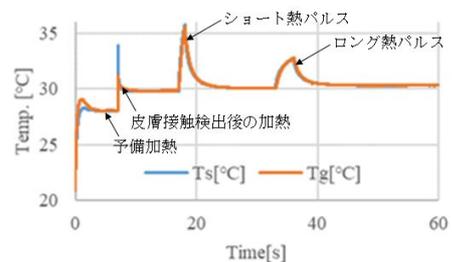


図 4 計測制御システムの動作

#### 4. 研究成果

##### 超高精度に温度校正が可能な固体型温度校正装置の開発

- A 筐体開発 図 5 に熱漏洩実験で取得した、銅ブロック中心部における温度分布を示す。図 5 の温度の時間微分値は外部に漏洩する熱量に相当する。そこで本研究ではこの結果をもとに、銅ブロックからの熱漏洩量を計算し、校正装置の熱貫流率を算出した。図 7 に熱貫流率の時間変化を示す。図 6 に示されるように、校正装置の熱貫流率は  $0.05 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  であることが明らかとなった。本値は熱伝導率  $5 \text{ mW}/(\text{m K})$  を有する真空断熱材の厚さ  $0.1 \text{ m}$  に相当する。本熱貫流率を基に、図 7 に示した数値解析モデルによる校正装置内部の伝熱解析を実施した。図 8 に解析による銅ブロック半径方向の空間分布を示す。図 8 に示されるように半径方向の温度ムラは極めて小さく、銅ブロック上部を  $50^\circ\text{C}$ 、外気温度を  $20^\circ\text{C}$  に設定した場合、温度ムラはおおよそ  $0.02 \text{ mK}$  程度に収まること明らかとなった。温度計同一高さで同ブロック半径方向に並列に挿入するため、それぞれの温度計の不確かさは  $0.02 \text{ mK}$  以下になることが予想される。以上の結果から、熱漏洩の極めて少ない温度校正装置の開発に成功した。

- B 電子制御 目標温度  $40^\circ\text{C}$  において、銅ブロック内の温度を  $9.4 \text{ mK}$  以内の範囲で一定に保ち、 $480$  サンプルの平均値と目標値の差は  $96 \mu\text{K}$ 、標準偏差  $0.0016$  と非常に高精度の温度制御が可能であることが確認され、サーミスタセンサの温度抵抗特性の校正が可能となった。

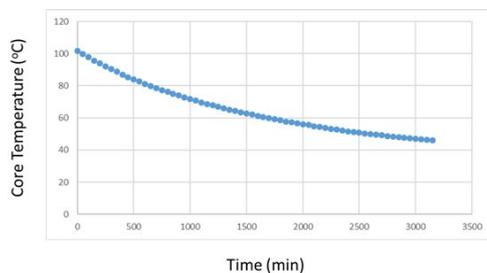


図 5 銅ブロックコア部の温度の時間変化

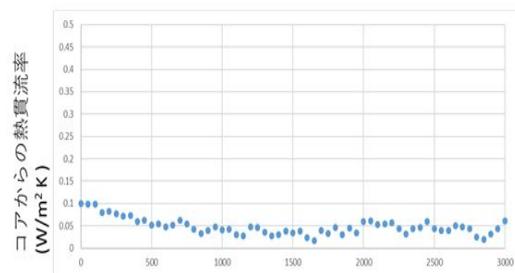


図 6 校正装置の熱貫流率

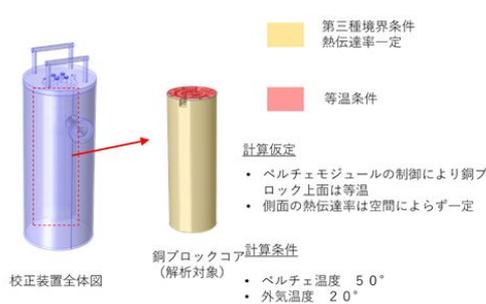


図 7 校正装置解析モデル

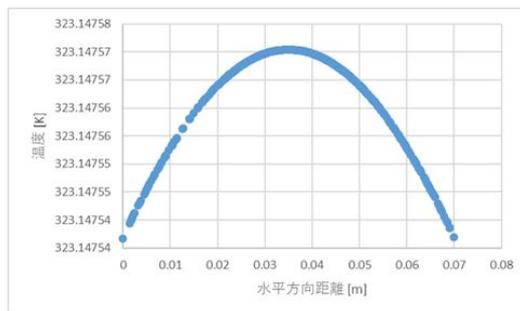


図 8 銅ブロック半径方向の温度分布

##### 3次元コンピュータ・シミュレーションによる検討

- A 均一組織に対する検討 図 9 は均一組織に対して熱パルス時間および熱伝導率を変化させた場合の有効熱伝導率計測の理論値（コンピュータ・シミュレーション上で設定した熱伝導率）との誤差を示している。これらの結果より、本手法によって測定した熱伝導率が理論値とおおむね一致した。また、加熱時間に関しては加熱時間が長いほど、真値と測定値で良好な一致が見られた。一方、測定対象物の熱伝導率が大きいほど、有効熱伝導率の測定結果が真値に近い値となる傾向のあることが明らかとなった。

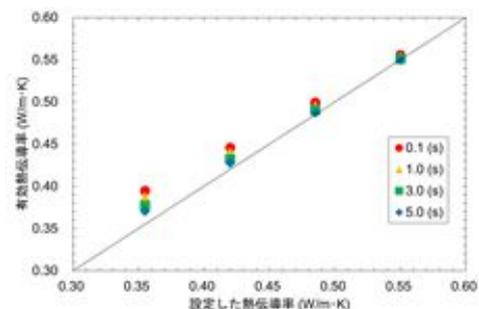


図 9 各条件における有効熱伝導率測定結果

- B 人体皮膚構造モデルに対する検討 図 10 は人体皮膚構造モデルを用い、表皮厚さおよび表皮の熱伝導率 ( $0.215 \text{ W}/(\text{m K})$ ,  $0.225 \text{ W}/(\text{m K})$ ,  $0.26 \text{ W}/(\text{m K})$ ) を変化させた解析結果である。図 12 より、いずれの場合においても、表皮の熱伝導率の差の検出が可能であることがわかる。また、いずれの加熱時間も傾向に差はみられなかった。臨床現場での診断を考えた場合、本プローブを患部に押し当てて診断を行う事になるため、短い加熱時間を用いることにより、患者の負担を軽減できると考えている。

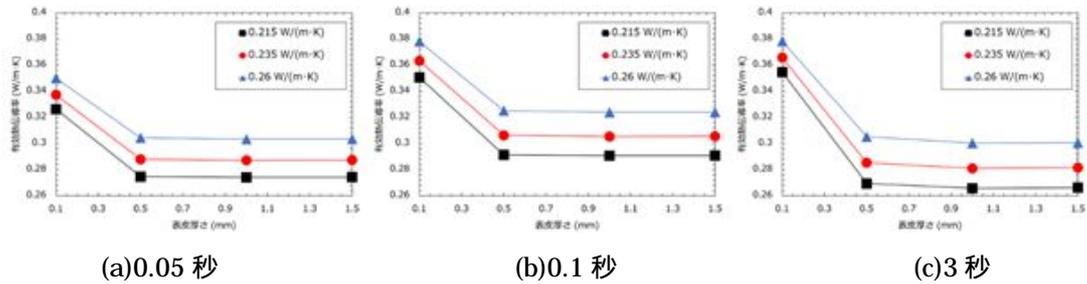


図 10 各加熱時間における有効熱伝導率測定結果

**熱パルスレーダーの試作および実験環境の構築** プローブの機器定数を定めるため、2つの試料としてシリコンゴムシート（厚さ 5 mm, 250 mW/(m·K)）と寒天(620 mW/(m·K))を用いた。測定の際に試料を 30 程度まで加熱するため、図 11 に示すように断熱材（厚さ 30 mm）の上にヒーター(100×100 mm<sup>2</sup>)を置き、その上に熱を均一にするために銅板（厚さ 5 mm）、その上にシリコンゴムシート（厚さ 3 mm）を乗せた上に試料を乗せ、ヒーターに定電圧を加えて試料が一定温度になるまで待機した。有効熱伝導率の算出に必要な加熱電力量、加熱後 3 s 間の加熱直前との温度差の積分値を計算する。積分値は長方形積分で導いた。

加熱時間を変化させて 10 回測定し、機器定数を計算した。加熱時間は 0.1, 1, 2, 3, 4, 5 s の 6 通りで検討した。加熱電力量は 9 mJ とした。ただし、0.1 s の場合のみ、機器が 10 V までしか出力できないため、最大出力に近い 3 mJ とした。機器定数  $a_1$ ,  $a_2$  の加熱時間の関係を図 12 に示す。 $a_1$  は加熱時間に比例して大きくなり、 $a_2$  は加熱時間に反比例するように小さくなった。測定試料として作製した皮膚癌モデルを図 13 に示す。真皮モデルにグリセリン水溶液(80 vol.%)、表皮モデルにシリコンゴムシート（厚み 0.05 mm, 熱伝導率 210 mW/(m·K)）を使用した。A は健全部、B は皮膚癌部モデルとしてシリコンゴムシート(1×1×0.05 mm<sup>3</sup>, 210 mW/(m·K))を使用した部分、C は皮膚癌部モデルとしてシリコンゴムシート(1×1×1 mm<sup>3</sup>, 250 mW/(m·K))を使用した部分を示す。A, B, C の各部における有効熱伝導率測定結果を図 14 に示す。エラーバーは標準偏差を表す。A と C はすべての加熱時間において熱伝導率に約 60 mW/(m·K)の明確な差が現れた。A と B は、加熱時間 2 s から 5 s においては若干の差異はあるが、加熱時間 1 s 以下で約 30 mW/(m·K)の明らかな差が現れた。また、加熱時間増加に対して測定熱伝導率が増加した。サーミスタからの熱がより深くまで伝わっていることにより、真皮の熱伝導率がより影響していると考えられる。以上から、ダブル熱パルス法におけるショート熱パルスの効果が確認でき、深さ 1mm 程度の皮膚癌は加熱時間 3 s のロング熱パルスで、深さ 0.05mm 程度の皮膚癌は加熱時間 1 s のショート熱パルスで、検出の可能性が示唆された。

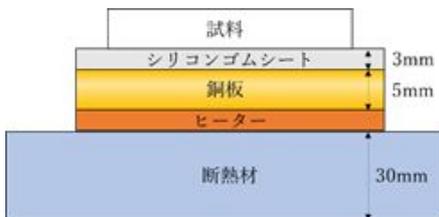


図 11 試料とヒーターの配置図

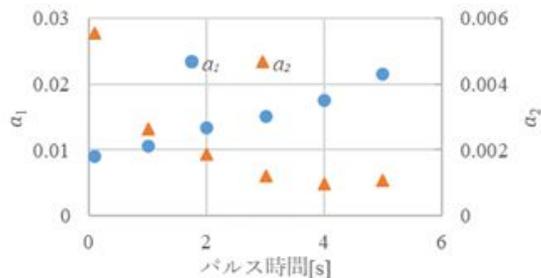


図 12 加熱時間に対する機器定数の関係

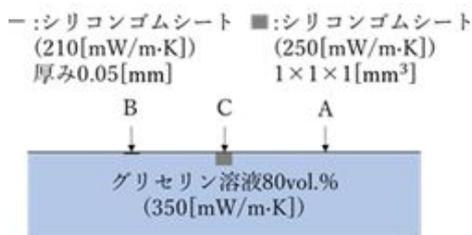


図 13 作成した皮膚癌モデル

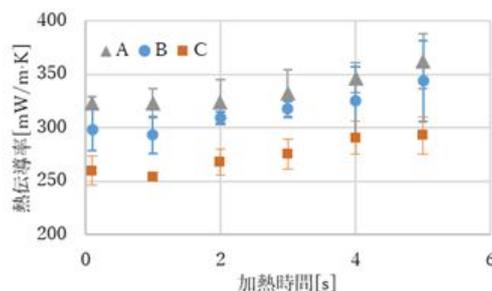


図 14 皮膚癌モデル試料における熱伝導率測定結果

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 18件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 11件）

1. 著者名 Takuma Kogawa, Kazuyuki Wada, Hinami Nara	4. 巻 in press
2. 論文標題 Calculation of heating depth control for biological tissue using long-pulse laser treatment by semi-analytical solution	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Heat Transfer Research	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 Okabe Takahiro, Okajima Junnosuke, Fujimura Taku, Aiba Setsuya, Maruyama Shigenao	4. 巻 48
2. 論文標題 Numerical Simulation of Effects of Bioheat Transfer Characteristics of Malignant Melanoma on Thermal Conductivity Measurements	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Critical Reviews in Biomedical Engineering	6. 最初と最後の頁 95 ~ 109
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1615/CritRevBiomedEng.2020033900	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 Muto Yusuke, Kambayashi Yumi, Kato Hiroshi, Fukushima Satoshi, Ito Takamichi, Maekawa Takeo, Fujisawa Yasuhiro, Yoshino Koji, Uchi Hiroshi, Matsushita Shigeto, Yamamoto Yuki, Amagai Ryo, Ohuchi Kentaro, Hashimoto Akira, Fujimura Taku	4. 巻 102
2. 論文標題 Adjuvant Anti-PD-1 Antibody Therapy for Advanced Melanoma: A Multicentre Study of 78 Japanese Cases	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Acta Dermato-Venereologica	6. 最初と最後の頁 adv00756
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2340/actadv.v102.678	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 -

1. 著者名 Fujimura Taku	4. 巻 23
2. 論文標題 Stromal Factors as a Target for Immunotherapy in Melanoma and Non-Melanoma Skin Cancers	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Molecular Sciences	6. 最初と最後の頁 4044 ~ 4044
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ijms23074044	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 -

1. 著者名 Ohuchi Kentaro, Kambayashi Yumi, Hidaka Takanori, Fujimura Taku	4. 巻 11
2. 論文標題 Plasminogen Activating Inhibitor-1 Might Predict the Efficacy of Anti-PD1 Antibody in Advanced Melanoma Patients	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Oncology	6. 最初と最後の頁 798385
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fonc.2021.798385	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 -

1. 著者名 Obonai Akiyoshi, Kogawa Takuma, Kanda Yuki, Oluwafemi Oluwatobi S., Kodama Tetsuya, Komiya Atsuki	4. 巻 229
2. 論文標題 Temperature distribution analysis using a combination of near-infrared laser, gold nanorods, and surface cooling equipment	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Thermal Engineering	6. 最初と最後の頁 120579 ~ 120579
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.applthermaleng.2023.120579	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 Yuda Emi, Shibata Muneichi, Ogata Yuki, Ueda Norihiro, Yambe Tomoyuki, Yoshizawa Makoto, Hayano Junichiro	4. 巻 39
2. 論文標題 Pulse rate variability: a new biomarker, not a surrogate for heart rate variability	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physiological Anthropology	6. 最初と最後の頁 21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40101-020-00233-x	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 -

1. 著者名 Okamoto Eiji, Yano Tetsuya, Inoue Yusuke, Shiraiishi Yasuyuki, Yambe Tomoyuki, Mitamura Yoshinori	4. 巻 44
2. 論文標題 In vitro performance of trans valve left ventricular assist device installed at aortic valve position	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Artificial Organs	6. 最初と最後の頁 1067 ~ 1072
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/aor.13687	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 Suzuki Keisuke, Yamagata Kenichiro, Noda Takashi, Nagase Satoshi, Yambe Tomoyuki, Kusano Kengo	4. 巻 6
2. 論文標題 A case of macroreentrant atrial tachycardia between a persistent left superior vena cava and the left atrium with a decremental property	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 HeartRhythm Case Reports	6. 最初と最後の頁 836 ~ 840
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.hrct.2020.08.005	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 -

1. 著者名 Takano Tomohiro, Iwai-Takano Masumi, Tsuboko Yusuke, Shiraishi Yasuyuki, Yambe Tomoyuki, Igarashi Takashi, Yokoyama Hitoshi	4. 巻 11
2. 論文標題 Reflected wave intensity increases based on aortic diameter after endovascular aortic therapy in a goat model	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 3830
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-80920-y	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 -

1. 著者名 Fukaya Aoi, Shiraishi Yasuyuki, Inoue Yusuke, Yamada Akihiko, Sahara Genta, Kudo Takemi, Aizawa Yasuhiro, Yambe Tomoyuki	4. 巻 24
2. 論文標題 Development and accuracy evaluation of a degree of occlusion visualization system for roller pumps used in cardiopulmonary bypass	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Artificial Organs	6. 最初と最後の頁 27 ~ 35
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10047-020-01211-x	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 Suzuki Keisuke, Miyamoto Koji, Ueda Nobuhiko, Nakajima Kenzaburo, Kamakura Tsukasa, Wada Mitsuru, Yamagata Kenichiro, Ishibashi Kohei, Inoue Yuko, Noda Takashi, Nagase Satoshi, Aiba Takeshi, Yambe Tomoyuki, Kakuta Takashi, Tadokoro Naoki, Fukushima Satsuki, Fujita Tomoyuki, Kusano Kengo	4. 巻 36
2. 論文標題 Relationship between electrical gaps after Maze procedure and atrial tachyarrhythmias and ablation outcomes after cardiac surgery and concomitant Maze procedure	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Heart and Vessels	6. 最初と最後の頁 675 ~ 685
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00380-020-01737-3	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 Shiraishi Yasuyuki, Tachizaki Yuma, Inoue Yusuke, Hayakawa Masaki, Yamada Akihiro, Kayashima Michinori, Matsumoto Masanori, Horiuchi Hisanori, Yambe Tomoyuki	4. 巻 24
2. 論文標題 Hemolysis and von Willebrand factor degradation in mechanical shuttle shear flow tester	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Artificial Organs	6. 最初と最後の頁 111 ~ 119
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10047-020-01219-3	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 -

1. 著者名 Higashita Ryuji, Nakayama Yasuhide, Shiraishi Yasuyuki, Iwai Ryosuke, Inoue Yusuke, Yamada Akihiro, Terazawa Takeshi, Tajikawa Tsutomu, Miyazaki Manami, Ohara Mamiko, Umeno Tadashi, Okamoto Keitaro, Oie Tomonori, Yambe Tomoyuki, Miyamoto Shinji	4. 巻 54
2. 論文標題 Acute Phase Pilot Evaluation of Small Diameter Long iBTA Induced Vascular Graft "Biotube" in a Goat Model	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 EJVES Vascular Forum	6. 最初と最後の頁 27 ~ 35
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ejvsvf.2022.01.004	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 -

1. 著者名 Suzuki Keisuke, Miyamoto Koji, Wakamiya Akinori, Ueda Nobuhiko, Nakajima Kenzaburo, Kamakura Tsukasa, Wada Mitsuru, Yamagata Kenichiro, Ishibashi Kohei, Inoue Yuko, Noda Takashi, Nagase Satoshi, Aiba Takeshi, Yambe Tomoyuki, Kusano Kengo	4. 巻 37
2. 論文標題 Impact of nocturnal hypoxemia on the recurrence of atrial tachyarrhythmia after catheter ablation of atrial fibrillation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Heart and Vessels	6. 最初と最後の頁 794 ~ 801
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00380-021-01969-x	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 Nakayama Yasuhide, Iwai Ryosuke, Terazawa Takeshi, Tajikawa Tsutomu, Umeno Tadashi, Kawashima Takayuki, Nakashima Yumiko, Shiraishi Yasuyuki, Yamada Akihiro, Higashita Ryuji, Miyazaki Manami, Oie Tomonori, Kadota Satoki, Yabuuchi Nozomi, Abe Fumie, Funayama Iwai Marina, Yambe Tomoyuki, Miyamoto Shinji	4. 巻 110
2. 論文標題 Pre implantation evaluation of a small diameter, long vascular graft (Biotube?) for below knee bypass surgery in goats	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials	6. 最初と最後の頁 2387 ~ 2398
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/jbm.b.35084	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 Fukaya Aoi, Shiraiishi Yasuyuki, Yamada Akihiro, Sahara Genta, Inoue Yusuke, Yambe Tomoyuki	4. 巻 33
2. 論文標題 Evaluation of the Effects of the Changes in Flow Channel Deformation by Cyclic Loading on Blood Flow Characteristics in a Roller Pump Model	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Life Support Engineering	6. 最初と最後の頁 52 ~ 58
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5136/lifesupport.33.52	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 -

1. 著者名 山家 智之、白石 泰之、山田 昭博、深谷 葵、佐原 玄太	4. 巻 37
2. 論文標題 連載 講座 消化管領域の人工臓器開発-人工食道,人工括約筋,人工舌開発プロジェクト	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 臨床消化器内科	6. 最初と最後の頁 964 ~ 969
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.19020/CG.0000002278	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47件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 藤田法明, 太田雄大, 野中崇, 細川靖, 古川琢磨, 井関祐也, 岡部孝裕, 圓山重直
2. 発表標題 サーミスタによる皮膚ガン診断装置による熱伝導率測定
3. 学会等名 2021年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 黒沢航二郎, 井関祐也, 古川琢磨, 野中崇, 細川靖, 岡部孝裕, 圓山重直
2. 発表標題 精密表面温度計測サーミスタプローブを用いた有効熱伝導率測定の数値的検討
3. 学会等名 日本機械学会東北支部 第52回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 黒沢航二郎, 井関祐也, 古川琢磨, 野中崇, 細川靖, 岡部孝裕, 圓山重直
2. 発表標題 ガードヒータ型高精度サーミスタプローブを用いた有効熱伝導率推定の FEM による検討
3. 学会等名 日本機械学会熱工学コンファレンス2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井関祐也, 古川琢磨, 野中崇, 細川靖, 岡部孝裕, 田畑裕太郎, 松館直史, 中島利憲, 東雅也, 折戸学, 圓山重直
2. 発表標題 能動的精密表面温度計測サーミスタプローブの開発
3. 学会等名 第58回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 太田雄大, 野中崇, 細川靖, 古川琢磨, 井関祐也, 圓山重直, 岡部孝裕
2. 発表標題 サーミスタによる皮膚ガン診断装置のシステム小型化に向けた検討
3. 学会等名 2020年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 和田冬馬, 田中天統, 古川 琢磨
2. 発表標題 組織凝固を考慮したレーザー治療下の伝熱解析
3. 学会等名 日本機械学会東北支部第58期総会・講演会講演論文集
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 田中天統, 古川琢磨, 和田冬馬
2. 発表標題 レーザー加熱治療における凝固の熱特性変化の評価
3. 学会等名 東北学生会第52回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐々木瑞貴, 黒沢航二郎, 井関祐也, 古川琢磨, 郭 福会, 野中 崇, 細川 靖, 横田 実世, 岡部 孝裕, 圓山 重直
2. 発表標題 ガードヒータ型サーミスタプローブを用いた血管周囲の有効熱伝導率測定
3. 学会等名 東北学生会第52回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 黒沢航二郎, 井関祐也
2. 発表標題 皮膚モデルに対する薄膜サーミスタプローブを用いた有効熱伝導率測定
3. 学会等名 日本ハイパーサーミア学会第39回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Koujiro Kurosawa, Yuya Iseki, Takuma Kogawa, Takashi Nonaka, Yasushi Hsokawa, Fuhui Guo, Takahiro Okabe, Yutaro Tabata, Tadashi Matsudate, Shuji Inamura, Masaya Higashi, Manabu Orito, Shigenao Maruyama
2. 発表標題 Numerical study on the effective thermal conductivity measurements of human skin using a guardheated probe using thin-film thermistors
3. 学会等名 The 1st Annual Meeting of BioEM (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤田法明, 太田雄大, 野中 崇, 細川 靖, 古川琢磨, 井関祐也, 岡部孝裕, 圓山重直
2. 発表標題 ダブル熱バルス法を用いた皮膚ガン診断システムの測定条件の最適化
3. 学会等名 2022年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shiraishi Y, Yambe T, Narracott AJ, Yamada A, Morita R, Qian Y, Hanzawa K.
2. 発表標題 Modeling Approach for An Aortic Dissection with Endovascular Stenting
3. 学会等名 Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc. 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yambe T, Yoshizawa M, Shiraishi Y, Inoue Y, Yamada A.
2. 発表標題 Evaluation of the Pulse wave in the face for the patients with rotary blood pump (RP) in the Outpatient clinic
3. 学会等名 Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc. 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yambe T, Shiraishi Y, Inoue Y, Yamada A.
2. 発表標題 Diagnosis System for Swallowing and Peristalsis Function for Artificial Tongue and Esophagus Development
3. 学会等名 Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc. 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shiraishi Y, Yamada A, Sahara G, Yambe T, Kato K, Ohta J, Katori Y, Homma D.
2. 発表標題 Design of an Artificial Tongue Driven by Shape Memory Alloy Fibers
3. 学会等名 Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc. 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sahara G, Yamada A, Inoue Y, Shiraishi Y, Hijikata W, Fukaya A, Yambe T.
2. 発表標題 Development of muscle connection components for implantable power generation system
3. 学会等名 Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc. 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shiraishi Y, Narracott AJ, Yamada A, Fukaya A, Sahara G, Yambe T, Nagano Y, Yamagishi M.
2. 発表標題 In Vitro Modelling for Bulging Sinus Effects of an Expanded Polytetrafluoroethylene Valved Conduit Based on High-Speed 3D Leaflet Evaluation.
3. 学会等名 Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc. 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡本 英治, 矢野 哲也, 関根 一光, 井上 雄介, 白石 泰之, 山家 智之, 三田村 好矩
2. 発表標題 カテーテル設置式超小型補助人工心臓の基礎開発
3. 学会等名 第33回代用臓器・再生医学研究会総会 / 日本バイオマテリアル学会北海道ブロック第5回研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡本 英治, 矢野 哲也, 関根 一光, 井上 雄介, 白石 泰之, 山家 智之, 三田村 好矩
2. 発表標題 磁性流体軸シールを用いた超小型軸流血液ポンプの試作と評価
3. 学会等名 第34回代用臓器・再生医学研究会総会 / 日本バイオマテリアル学会北海道ブロック第6回研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 深谷 碧, 白石泰之、井上雄介、山田昭博、佐原玄太、工藤剛実、相澤康弘、山家智之
2. 発表標題 人工心肺用ローラポンプ圧閉度圧閉度可視化システムの精度評価
3. 学会等名 第59回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 永野 友香, 白石 泰之, Andrew Narracott, 岩元 直樹, 山田 昭博, 山岸 正明, 山家 智之
2. 発表標題 高速度マルチカメラを用いた3次元弁挙動解析によるePTFE弁葉挙動可視化装置の開発
3. 学会等名 第54回日本生体医工学会東北支部大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 繁浦瑠偉、白石泰之、榛沢和彦、山田昭博、橋本真登香、中地真太郎、永野友香、山家智之
2. 発表標題 大動脈解離治療用新型ステントの治療効果および安全性評価方法の検討
3. 学会等名 第54回日本生体医工学会東北支部大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中地真太郎、白石泰之、山田昭博、繁浦瑠偉、永野友香、橋本真登香、山家智之
2. 発表標題 VWF損傷評価のための流体剪断特性の基礎検討
3. 学会等名 第54回日本生体医工学会東北支部大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 永野友香、白石泰之、Andrew Narracott、山田昭博、山岸正明、山家智之
2. 発表標題 右心補助に応用可能な高速度マルチカメラを用いた半球型ePTFE弁葉挙動可視化装置の開発
3. 学会等名 第49回人工心臓と補助循環懇話会学術集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 繁浦瑠偉、白石泰之、榛沢和彦、山田昭博、橋本真登香、中地真太郎、永野友香、山家智之
2. 発表標題 模擬循環回路を用いた大動脈解離治療用新型ステント開発のための分岐血流通過圧損評価法の検討
3. 学会等名 第49回人工心臓と補助循環懇話会学術集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中地真太郎、白石泰之、山田昭博、繁浦瑠偉、永野友香、橋本真登香、山家智之
2. 発表標題 VWF損傷に関する流体剪断特性定量化のための基礎検討
3. 学会等名 第49回人工心臓と補助循環懇話会学術集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 永野友香, 白石泰之, Andrew Narracott, 山田昭博, 山岸正明, 山家智之
2. 発表標題 高速度カメラを用いた3方向等角投影による ePTFE弁葉挙動可視化システムの開発
3. 学会等名 第60回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 永野友香, 白石泰之, Andrew Narracott, 山田昭博, 山岸正明, 山家智之
2. 発表標題 3方位ハイスピードカメラを用いたePTFE弁葉三次元モデル化システムの開発
3. 学会等名 第59回日本人工臓器学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 繁浦瑠偉, 白石泰之, 山田昭博, 森脇健司, 中地真太郎, 永野友香, 伊藤信一郎, 野田祐資, 伊倉真衣子, 榛沢和彦, 山家智之
2. 発表標題 大動脈解離治療用新型ステント拡張力評価の基礎検討
3. 学会等名 第59回日本人工臓器学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中地真太郎, 白石泰之, 山田昭博, 繁浦瑠偉, 永野友香, 早川正樹, 萱島道德, 松本雅則, 堀内久徳, 山家智之
2. 発表標題 血液に対する剪断負荷評価のための試験システム小型化設計の試み
3. 学会等名 第59回日本人工臓器学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中地真太郎, 白石泰之, 早川正樹, 深谷碧, 中野康太郎, 山田昭博, 井上雄介, 松本雅則, 堀内久徳, 山家智之
2. 発表標題 低レイノルズ数流体剪断負荷試験装置の開発: von Willebrand factor 損傷評価 のための基礎検討
3. 学会等名 日本定常流ポンプ研究会学術集会 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野田 祐資, 白石 泰之, 山田 昭博, 太田 信, 加瀬川 均, 中山 泰秀, 山家 智之
2. 発表標題 組織再生シートを用いた僧帽弁再建の機能評価についての基礎検討
3. 学会等名 第55回日本生体医工学会東北支部大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 繁浦瑠偉, 白石泰之, 山田昭博, 森脇健司, 中地真太郎, 永野友香, 伊藤信一郎, 野田祐資, 伊倉真衣子, 榛沢和彦, 山家智之
2. 発表標題 弓部大動脈におけるステント留置形状影響評価の試み
3. 学会等名 第55回日本生体医工学会東北支部大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 永野友香, 白石泰之, Andrew Narracott, 山田昭博, 山岸正明, 山家智之
2. 発表標題 高分子製小児用肺動脈弁評価システム用マルチカメラキャリブレーションの開発
3. 学会等名 第55回日本生体医工学会東北支部大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤信一郎, 白石泰之, 山田昭博, 山家智之, 東田隆治, 小原まみ子, 杉田典大, 吉澤誠, 中山泰秀
2. 発表標題 動脈血流再建による末梢血流脈波の非侵襲計測の試み
3. 学会等名 第55回日本生体医工学会東北支部大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中地真太郎, 白石泰之, 山田昭博, 早川正樹, 松本雅則, 堀内久徳, 繁浦瑠偉, 永野友香, 伊藤信一郎, 野田祐資, 山家智之
2. 発表標題 剪断負荷によるVWF損傷評価のための試験システム小型化設計
3. 学会等名 第55回日本生体医工学会東北支部大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高地健, 山田昭博, 白石泰之, 山家智之
2. 発表標題 経皮的磁気伝達駆動拍動ポンプの駆出特性改善型の開発
3. 学会等名 第58回日本人工臓器学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野田祐資, 白石泰之, 深谷碧, 中野康太郎, 佐原玄太, 山田昭博, 山家智之
2. 発表標題 V-V ECMO補助循環時の右心系血行動態評価用モデルの開発
3. 学会等名 第50回 人工心臓と補助循環懇話会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山田昭博, 白石泰之, 深谷碧, 佐原玄太, 野田祐資, 中野康太郎, 山崎健二, 山家智之
2. 発表標題 微小栓子シグナル検出による体外設置型補助人工心臓の血栓形成兆候検出の試み
3. 学会等名 第50回 人工心臓と補助循環懇話会学術集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊藤信一郎, 白石泰之, 山田昭博, 深谷碧, 中野康太郎, 野田祐資, 杉田典大, 吉澤誠, 田中明, 山崎健二, 山家智之
2. 発表標題 非接触画像解析による補助循環下の脈波伝播速度試み
3. 学会等名 第50回 人工心臓と補助循環懇話会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中野康太郎, 白石泰之, 山田昭博, 深谷碧, 伊藤信一郎, 野田祐資, 菅野博童, 松浦健, 早川正樹, 松本雅則, 堀内久徳, 山家智之
2. 発表標題 2週間 ECMO装着によるvon Willebrand factor損傷の影響
3. 学会等名 第50回 人工心臓と補助循環懇話会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中野康太郎, 白石泰之, 山田昭博, 深谷碧, 菅野博童, 松浦健, 早川正樹, 松本雅則, 堀内久徳, 山家智之
2. 発表標題 Von Willebrand Factorの応答を考慮したECMOシステムの臨床的評価方法に関する検討
3. 学会等名 第60回日本人工臓器学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤遼太, 深谷碧, 伊藤信一郎, 白石泰之, 山田昭博, 山家智之
2. 発表標題 ローラポンプ圧閉度のリアルタイム調整を目指した機械学習システムの構築
3. 学会等名 第56回日本生体医工学会東北支部大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 知久恵人, 野田祐資, 白石泰之, 深谷碧, 中野康太郎, 山田昭博, 山家智之
2. 発表標題 V-V ECMO 補助循環時の右心血行動態評価についての基礎検討
3. 学会等名 第56回日本生体医工学会東北支部大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大木寛人, 宇治川侑希, 白石泰之, 山田昭博, 山岸正明, 山家智之
2. 発表標題 小児用肺動脈弁のin vitro 性能試験
3. 学会等名 第56回日本生体医工学会東北支部大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Xiaoxi Hou, Kobayashi Mayo, Yasuyuki Shiraishi, Tomoyuki Yambe, Kazuhiko Hanzawa
2. 発表標題 The intervention of bare metal stent to the aortic wall at different locations in the aortic arch
3. 学会等名 第56回日本生体医工学会東北支部大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 深井実春, 白石泰之, 山田昭博, 伊藤信一郎, 野田祐資, 宇治川侑希, 小林真代, 山家智之
2. 発表標題 改良型流体剪断負荷試験装置の設計
3. 学会等名 第56回日本生体医工学会東北支部大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計3件

産業財産権の名称 熱伝導率測定装置及び熱伝導率測定方法	発明者 圓山重直、岡部孝裕、井関祐也、野中崇、古川琢磨他	権利者 SEMITEC(株)、(独)国立高等専門機構、他
産業財産権の種類、番号 特許、7282238	取得年 2023年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 温度測定装置、体温計、温度測定方法及び温度減衰測定方法	発明者 圓山重直、井関祐也、古川琢磨、野中崇、細川靖他	権利者 SEMITEC(株)、(独)国立高等専門機構、他
産業財産権の種類、番号 特許、7229280	取得年 2023年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 温度測定装置、温度測定方法及び温度減衰測定方法	発明者 圓山重直、岡部孝裕、井関祐也、野中崇、古川琢磨他	権利者 SEMITEC(株)、(独)国立高等専門機構、他
産業財産権の種類、番号 特許、7157103	取得年 2022年	国内・外国の別 国内

〔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	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)	

## 6. 研究組織（つづき）

	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	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	藤村 卓 (Fujimura Taku)  (50396496)	東北大学・大学病院・准教授  (11301)	
研究分担者	山家 智之 (Yambe Tomoyuki)  (70241578)	東北大学・加齢医学研究所・教授  (11301)	
研究分担者	岡部 孝裕 (Okabe Takahiro)  (70772713)	弘前大学・理工学研究科・准教授  (11101)	
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・准教授  (51101)	
研究分担者	郭 福会 (Kaku Fukukai)  (40611356)	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	横田 実世 (Yokota Miyo)  (70827451)	八戸工業高等専門学校・その他部局等・教授  (51101)	

## 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
---------	---------