

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：32692

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19H02150

研究課題名(和文) 生体ガスの空間イメージングシステムを用いた疾病スクリーニング検査への応用

研究課題名(英文) Spatial imaging system of gas emanated from human body for methods of disease screening

研究代表者

荒川 貴博 (Arakawa, Takahiro)

東京工科大学・工学部・准教授

研究者番号：50409637

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円

研究成果の概要(和文)：呼吸や皮膚から放出される生体ガスに含まれる揮発性化学情報の高感度・選択的・空間的な画像化を目指し、研究を実施した。体内の代謝に伴い呼吸や皮膚ガスとして放出されるガス成分はその濃度が空間的・時間的に大きく変動する。その濃度変化や放出分布をリアルタイムで画像化し、生体ガス情報のイメージングが初めて可能となった。疾患や代謝産物である揮発性化学成分としてエタノールガス、アセトンガスを含む生体ガスを、高感度な蛍光イメージング法により情報化が可能な計測システムを構築することに成功した。生体を用いて呼吸ガスと皮膚ガスの連続計測の評価を行い、代謝モニタリングへの可能性を見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究成果として、皮膚ガス中の疾患・代謝に伴うガス成分を高感度かつ選択的に、そして連続的に計測する技術を確立することができた。皮膚ガス成分の空間的・時間的情報を兼ね備えたイメージングを実現し、発生部位の特定や濃度の連続測定が可能な非侵襲な疾患スクリーニング法として応用の可能性が示された。生体ガス中のVOCsをリアルタイムに可視化するシステムを構築、空間中に存在するVOCs濃度分布情報・放出部位を計測することを実現したことは学術的にも価値のある研究である。簡便・非侵襲な代謝モニタリングへの可能性を示したことは社会的にも意義がある研究成果である。

研究成果の概要(英文)：We conducted research aiming to achieve high-sensitivity, selective, and spatial imaging of volatile chemical information contained in human volatiles emitted from exhaled breath and skin gas. Various volatile organic components (VOCs) released as exhaled breath and skin gases, associated with the human body's metabolism, exhibit significant spatial and temporal variations in concentration. Real-time imaging of these concentration changes and emission distributions has made it possible for the first time to visualize information of human volatiles. We successfully constructed a measurement system capable of information processing using a highly sensitive fluorescence imaging method for human volatiles, including ethanol gas and acetone gas, which are volatile chemical components associated with diseases and metabolic byproducts. We evaluated continuous measurements of exhaled breath and skin gas of human and discovered the potential for metabolic monitoring in this research project.

研究分野：計測工学

キーワード：バイオセンサ イメージング 酵素 生体ガス 連続計測

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、疾患や代謝に関連する複数の揮発性有機化合物(volatile organic components, VOCs)を用いた分析法が注目されている。生体では代謝に伴い体外に発せられる「生体ガス情報」を利用した診断法として、尿素呼気試験法や口臭診断で呼気を用いた非侵襲的な診断法が用いられているが、サンプリングにより呼気採取を要するため連続計測が難しく、拘束性を伴うなどの課題がある。現状では、簡便性やガス選択性に問題があり、また生体ガス情報を用いた診断基準は明確ではないため、疾患スクリーニングではあまり利用されていない。そのため、生体ガスを用いた非侵襲の新しい診断やスクリーニング検査法としての利用に向けた研究や装置開発が国内外で盛んに進められている。

これまで、代謝に伴い生体の皮膚表面から放出される生体代謝ガス成分を可視化(イメージング)するシステムを構築している。酵素とニコチンアミドアデニンジヌクレオチド(NADH)による反応で生じる蛍光を利用し、生体ガス中のエタノールを可視化している。現在、化学発光、さらに NADH による蛍光を CCD カメラで生体ガス成分の放出に伴う画像として撮影するイメージングシステムを構築している。手の皮膚表面から放出される飲酒に伴うエタノールガスの可視化システムを用いて、代謝に伴い皮膚表面から放出されるエタノールガスの動態評価をイメージングにより世界で初めて明らかにしている。しかし、代謝成分であるエタノールガスの可視化計測にとどまっておらず、疾患スクリーニング等への応用のため、計測対象のガス成分の多様化や呼気や皮膚ガス計測に向けた高感度化が必要である。

生体では代謝に伴い体外に発せられる「生体ガス情報」を利用した診断法として、尿素呼気試験法や口臭診断等の呼気を用いた非侵襲的な診断法が用いられているが、サンプリングを要するため連続計測が難しく拘束性を伴うなどの課題がある。現在、医療診断に用いられている生体ガスを用いた方法では、ガスクロマトグラフィや半導体式ガスセンサが用いられているが、簡便性や選択性に問題がある。

生体由来のガス成分としては、呼気と同様に皮膚ガス中にも疾患や身体の生理的状態に伴う揮発性化学成分(VOCs)が含まれることが報告されている。これまでに身体から放出される皮膚ガス中に含まれる揮発性化学成分としては、糖尿病患者においてアセトンを計測した例が報告されているが、これはサンプリングを行い、ガスクロマトグラフにより計測するため、装置が高価、操作が複雑といった課題とともに、連続計測ができないことから経時的な分泌動態情報が得られず、有効な手段となっていない。そのため、皮膚ガス中の疾患・代謝に伴うガス成分を高感度かつ選択的に、そして連続的に計測する技術が求められている。特に皮膚ガス成分の空間的・時間的情報を兼ね備えたイメージングが可能となれば、発生部位の特定や濃度の連続測定が可能で非侵襲な疾患スクリーニング法として応用が可能となる。そのため、生体ガス中 VOCs をリアルタイムに可視化するシステムを開発し、空間中に存在する VOCs 濃度分布情報・放出部位を明らかにし、簡便・非侵襲な疾患スクリーニング検査が可能で装置の開発や疾患スクリーニングへの応用が期待されている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、疾患・代謝により呼気や皮膚表面から放出される生体由来ガスに含まれる揮発性化学情報の高感度かつ選択的な画像化(イメージング)するシステムを実現することを目的としている。呼気や皮膚ガスとして放出される揮発性化学成分はガスであるため、その濃度が空間的・時間的に大きく変動する。濃度変化や放出分布をリアルタイムで画像化し、空間的・時間的情報を兼ね備えた生体ガス情報のイメージングが可能となれば、発生部位の特定や濃度の連続測定が可能で、新規な非侵襲計測・診断法となる意義のある研究と考えられる。本研究は、疾患や身体の代謝や生理的状態に伴い生体の内部情報である呼気や皮膚表面から放出される皮膚ガスをイメージングするシステム構築をし、疾病の初期診断のためのスクリーニング装置としての有用性を評価することを目的としている。

現在、これまで培ったウェアラブルセンサを作製する半導体微細加工技術、被験者を用いた生体計測技術、生体ガスを用いた評価装置を実現する。まず、①生体ガス成分(アセトン、アセトアルデヒド、エタノール等)と特異的に反応する酵素(ADH, S-ADH 等)を複数種固定化した担体を作製し、ガス成分と酵素反応により生じる NADH の蛍光変化を CCD カメラで撮影する生体ガスのイメージングシステムを構築する。生体の皮膚表面から放出される生体ガス濃度は、ppb オーダーの極低濃度であるため、光学系の改良、化学反応系の改良によるイメージングシステムの高感度化を行い、時間分解能の向上に取り組む。さらに、②酵素固定化メッシュ膜を用いたイメージングシステムの構築を目指す。③マイクロ流体システムを利用したバイオセンサについて検討を行い、長時間安定評価が可能でバイオイメージングデバイスの作製を行う。最終的に、④簡易スクリーニングを目指した生体の呼気や皮膚ガスを用いた代謝モニタリングが可能でイメージングシステムとしての有用性を評価する。

3. 研究の方法

本研究計画は3つの要素技術確立、要素技術を集積化・機能化したイメージングシステム構築と

疾患スクリーニングへの応用のスケジュール研究を進めた。確立を目指す要素技術として、①生体ガスのイメージングシステムの構築、②酵素固定化メッシュ膜を用いたイメージングシステムの構築、③マイクロ流体システムを利用したバイオセンサの検討を行い、長時間安定評価が可能な生体ガスイメージングデバイスを開発した。①～③の要素技術を応用して、④簡易スクリーニングを目指した生体の呼気や皮膚ガスを用いた代謝モニタリングが可能なイメージングシステムとしての有用性を評価した。

4. 研究成果

4. (1) 生体ガスイメージングシステムの構築

還元型ニコチンアミドアデニンジヌクレオチド (nicotinamide adenine dinucleotide, NAD) の蛍光を用いた、エタノール(EtOH)およびアセトアルデヒド(AcH)の可視化計測の原理を図1に示す。EtOH・AcHはアルコール脱水素酵素(alcohol dehydrogenase, ADH)の触媒作用により酸化・還元反応(可逆)を生じ、その際にNADHを生成・消費する。この両反応はpHにより制御できることから、NADHの自家蛍光(ex. 340 nm, fl. 490 nm)の増減を高感度カメラにて同時に撮像することで、EtOH・AcHの両ガスの同時可視化計測が可能となる。

可視化計測システムは暗箱内に、UV-LED 励起シート、励起光用 BPF、ガス噴出孔、ADH 固定化メッシュ、蛍光用 BPF、高感度カメラの順で配置し構築した(図2)。

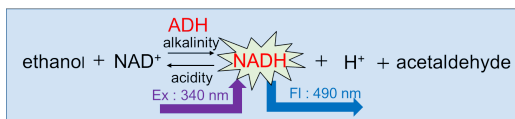


図1 ADHを用いたEtOH・AcHの可視化原理

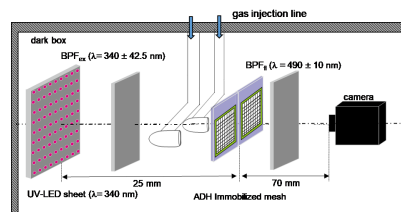


図2 同時可視化システムの模式図

またEtOHガスとAcHガスの酵素反応による蛍光の増減を同一CMOSにて撮像するため、3Dプリンターとアクリル板を用いてADH固定化メッシュの並列保持用の治具を作製した。ADH固定化メッシュを治具により保持することで、2枚のメッシュの励起光、カメラからの距離、角度を一定とし、それぞれ均一な励起を可能とした。可視化計測システムの構築として、まず光学系にて励起用の光源であるUV-LED sheetと、高感度カメラを、光学レールを用いて配置した。励起用のUV-LED sheetはUV-LEDをアレイ状(9×9個)に配列し、均一な励起を可能とした。またUV-LED sheetの前面に中心波長340 nmの励起光用バンドパスフィルタ(BPF, λ = 340 ± 42.5 nm)を、カメラ撮像面に中心波長490 nmのBPF(λ = 490 ± 10 nm)をそれぞれ設置した。ADH固定化メッシュは、ADH(from *saccharomyces cerevisiae*, 128 unit/mg)とBovine serum albuminをPB(phosphate buffer, pH 7.0, 0.1 M)に溶解した酵素溶液を、コットンメッシュ担体に塗布し、冷暗所にて乾燥させた後、2.5 vol%GA溶液をさらに塗布し、冷暗所で乾燥させることで作製した。

本システムに各標準EtOHガスとAcHガスをそれぞれ負荷し、可視化計測を行い応答性、定量特性を調べた。まずEtOH用のADH固定化メッシュに標準EtOHガスを20秒負荷したところ、負荷点を中心とした蛍光の増加が観察された。次に、AcH用のADH固定化メッシュにて、各標準AcHガスを20秒負荷したところ、EtOHとは逆に負荷点を中心とした蛍光の減少が観察された。得られた動画を解析し、その蛍光強度を求めたところ、図3のような経時変化(EtOH: 増加、AcH: 減少)および蛍光画像(カラーイメージ)が得られた。ガス負荷に対して良好な応答性を以って、画像化することが可能であった。

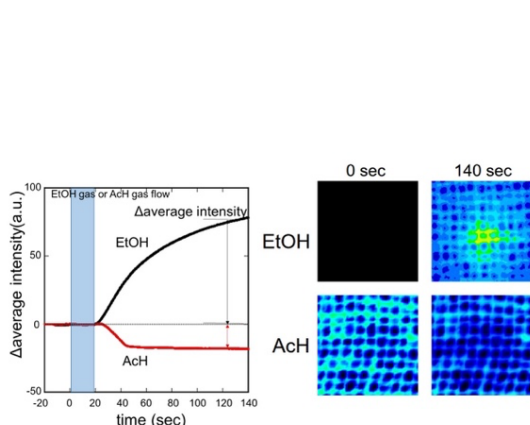


図3 EtOH・AcHガス負荷による蛍光強度の経時変化および(左)、EtOH・AcHガス負荷に対する蛍光画像(time = 0, 140s)(右)

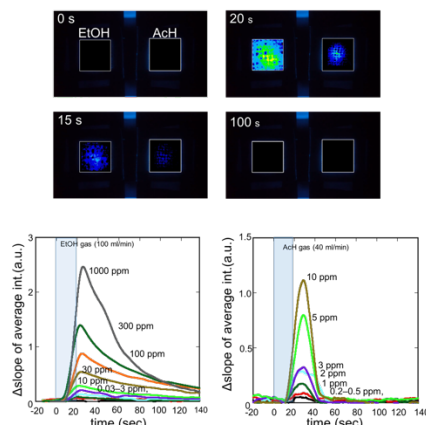


図4 CMOSによるEtOH, AcH同時イメージング画像(上)、EtOH(左下)およびAcH(右下)の標準ガスに対する蛍光変化速度の経時変化

次に EtOH と AcH 用の酵素メッシュを並列に並べ、同一 CMOS における両ガスの同時可視化計測を行った。図 4 に同時可視化計測での蛍光微分画像を示す。単成分での可視化計測の結果と同様に、負荷点を中心とした蛍光の増減が観察され、微分解析を行い、蛍光強度の単位時間あたりの変化速度を求めることで、EtOH・AcH ガスの濃度変化を同時に時空間分布の情報として捉えることが可能であった。EtOH(300 ppm)、AcH(5 ppm)の同時可視化画像の経時変化および蛍光変化量の経時変化を示す。この結果での蛍光強度の変化量をもとに EtOH ガスと AcH ガスの定量特性を調べたところ、定量範囲は単成分での可視化計測と変わらず、飲酒時の呼気中濃度を含む範囲で定量が可能で、呼気中 EtOH・AcH の同時可視化計測の可能性が示唆された。

4. (2) 生体ガスイメージングシステムの構築

アセトンガスの可視化での酵素固定化担体として、コットンメッシュ、セルロース透析膜 (cellulose dialysis membrane: CDM) とアセチルセルロース (cellulose acetate: CA) の 3 種の担体の自家蛍光を調べた。UV-LED を照射し自家蛍光の強度を比較したところ、コットンメッシュが最も低い自家蛍光を示した。天然由来の繊維中には、リグニンなどの共役系化合物が多く含まれるため、コットンやセルロースでは自家蛍光が生じるものと考えられる。次に、コットンメッシュを担体として、S-ADH を物理的吸着法と GA 架橋法(低温法・加温法)によって固定化し、標準アセトンガスの負荷による蛍光強度変化を比較した。物理的吸着法において最も高い出力と反応速度であったが、ばらつきが大きい結果となった。GA 架橋加温法では物理的吸着法の次に出力と反応速度が大きく、ばらつきが小さい結果となった。これらの結果より、以降の実験では固定化担体にはコットンメッシュを用い、GA 架橋加温法にて S-ADH 固定化メッシュを作製することとした。

NADH 濃度 500 μ M、pH6.5 の条件で作製した S-ADH 固定化メッシュにて標準アセトンガスを負荷した結果、負荷点を中心とした蛍光減少、そして負荷後は速やかに蛍光強度が安定する様子が観察された(図 5 上)。蛍光強度を求めたところ、図 5 下のような経時変化が確認された。微分解析を用いて蛍光強度の単位時間あたりの変化速度を求め、動画像として表示した。微分解析により、各時刻のカラーイメージ (20, 40, 120 s) を図 5 中段に示している。解析にて得られたピーク曲線はガスの負荷による変化速度の増加と、反応停止による変化速度の減少を示し、時空間的な分布の表現が可能となった。また、微分解析により得られた蛍光変化量より、90%応答時間が蛍光強度の 26 秒から 20 秒まで短縮され応答性が向上した。可視化システムにより得た蛍光動画の微分解析にて、アセトンガス濃度の時空間分布情報を捉えることが可能となった。

次に、上記の可視化システムに種々の濃度の標準アセトンガスを負荷し、特性を調べたところ、ガス負荷に応じた出力上昇と濃度に応じた蛍光強度(図 6(a))と蛍光変化量のピーク値(図 6(b))が観察された。上記の結果をもとに、蛍光強度の定常値と微分解析のピーク値からアセトンガス濃度に対する定量性を調べたところ、蛍光強度と微分解析の両方において低濃度でのアセトンガスの検出が可能であった。定量範囲は、健常者の呼気中アセトン濃度(0.2–0.9 ppm)を含む、0.1–10 ppm であった。

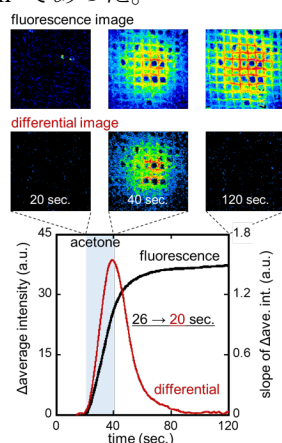


図 5 アセトンガス(1 ppm)での蛍光強度変化(黒)と微分解析結果(赤)

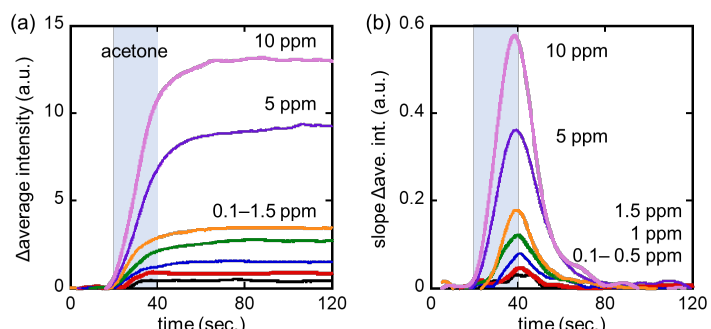


図 6 標準アセトンガス負荷による蛍光強度の経時変化、(a)蛍光強度、(b)蛍光強度変化量(微分値)

4. (3) CMOS カメラを用いたバイオ蛍光法による外耳道ガス計測

エタノールは、アルコール脱水素酵素(alcohol dehydrogenase, ADH)の触媒反応によりアセトアルデヒドに酸化され、酸化型 NAD(NAD⁺)を電子供与体として還元型 NADH を生じる。図 7 に、補酵素 NADH の蛍光に基づくエタノールガス計測の原理を示す。NADH は自家蛍光(ex: 340 nm, fl: 490 nm)を有するため、励起光源および無線 CMOS カメラを組み合わせることで、ガス負荷に伴い還元反応で生成される NADH を検出し、エタノール計測を行った。エタノール

ガスの濃度検出は、ADH を介したエタノールガスの酸化に伴い NADH が生成される結果、増加する蛍光強度の変化を無線 CMOS カメラにて撮像する。図 8 に無線 CMOS カメラを用いたエタノールガス計測システムを示す。本システムでは、ADH 酵素固定化膜に対して中心間距離 31 mm、角度 32 度の位置に紫外発光ダイオード($\lambda = 340 \text{ nm}$)を、酵素膜で生じる蛍光を撮影するための無線 CMOS カメラを酵素膜に対して、中心間距離 28 mm、角度 42 度の位置に設置した。また、UV-LED の前面にバンドパスフィルタ(BPF, $\lambda = 340 \pm 10 \text{ nm}$)、無線 CMOS カメラの前面に BPF($\lambda = 490 \text{ nm} \pm 10 \text{ nm}$)を設置した。

無線 CMOS カメラを上記のエタノールガス計測システムに組み込み、ADH 酵素固定化膜に種々の濃度の標準エタノールガスを負荷し、本システムの特性を調べた。蛍光動画像から蛍光強度を算出したところガス負荷に伴う蛍光強度の上昇と濃度に応じた蛍光強度の定常値が観察された。エタノールガス無負荷時の蛍光強度変化(バックグラウンド)と比し、低濃度のエタノールガスにおいても蛍光強度の変化が見られた。また、蛍光強度の定常値からエタノールガスに対する定量特性を調べたところ、飲酒時の皮膚エタノールガス濃度(70–110 ppb/cm²)を含む 11 ppb–129 ppm の定量が可能であった。

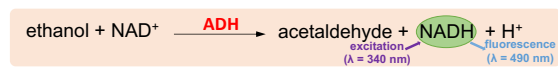


図 7 ADH を用いたエタノールのイメージングシステムの測定原理



図 9 UV-LED 動作回路(左)、ヘッドセット型外耳道ガス計測装置装着時の写真(中央)、エタノールガス計測系(右)

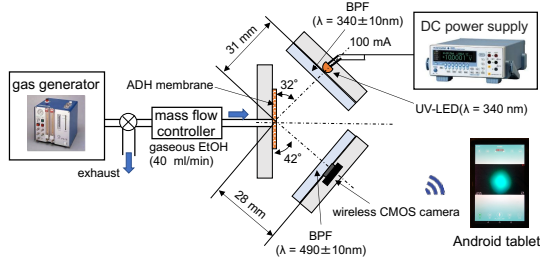


図 8 無線 CMOS カメラを用いたエタノールガス計測システム

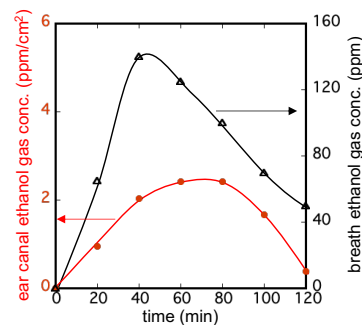


図 10 飲酒時の呼気・外耳道ガス中エタノールガス濃度の経時変化

開発した無線駆動の本システムを用いて飲酒時の外耳道ガスの計測を行った。アルコール摂取後 20 分毎に本装置を装着し、外耳道ガスを測定したところ、外耳道ガス中のエタノールに由来する蛍光強度の増加が確認された。さらに、蛍光強度の積分解析 ($t = 4 \text{ min}$) にて作成した検量線から外耳道ガス中のエタノール濃度を算出することが可能であった。図 10 に飲酒に伴う外耳道ガス中のエタノールガス計測結果と、同時に検知管にて測定した呼気中エタノールガス濃度を示す。ただし、外耳道中のエタノールガス濃度はヘッドセットのイヤータブの内面積 (15.7 cm²) あたりの濃度 (ppm/cm²)とした。外耳道ガス中のエタノール濃度は飲酒後、70 分後にピーク(2.4 ppm/cm²)に達し、その後代謝により漸次減少した。同時に行った検知管による呼気測定結果においても比較的同様の経時変化が観察された。外耳道ガスは呼気ガスと比較するとピーク値の遅延が確認され、既報結果でも同様な結果が得られた。

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 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Arakawa Takahiro, Ishikawa Riki, Iitani Kenta, Toma Koji, Iwasaki Yasuhiko, Mitsubayashi Kohji	4. 巻 11
2. 論文標題 Headset bio-sniffer with wireless CMOS camera for percutaneous ethanol vapor from the ear canal	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Biosensors and Bioelectronics: X	6. 最初と最後の頁 100169 ~ 100169
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.biosx.2022.100169	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 Mitsubayashi Kohji, Toma Koji, Iitani Kenta, Arakawa Takahiro	4. 巻 367
2. 論文標題 Gas-phase biosensors: A review	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sensors and Actuators B: Chemical	6. 最初と最後の頁 132053 ~ 132053
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.snb.2022.132053	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 Arakawa Takahiro, Dao Dzung Viet, Mitsubayashi Kohji	4. 巻 17
2. 論文標題 Biosensors and Chemical Sensors for Healthcare Monitoring: A Review	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering	6. 最初と最後の頁 626 ~ 636
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/tee.23580	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 Arakawa Takahiro, Mizukoshi Naoki, Iitani Kenta, Toma Koji, Mitsubayashi Kohji	4. 巻 9
2. 論文標題 A Bio-Fluorometric Acetone Gas Imaging System for the Dynamic Analysis of Lipid Metabolism in Human Breath	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemosensors	6. 最初と最後の頁 258 ~ 258
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/chemosensors9090258	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 Arakawa Takahiro, Aota Takashi, Iitani Kenta, Toma Koji, Iwasaki Yasuhiko, Mitsubayashi Kohji	4. 巻 219
2. 論文標題 Skin ethanol gas measurement system with a biochemical gas sensor and gas concentrator toward monitoring of blood volatile compounds	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Talanta	6. 最初と最後の頁 121187 ~ 121187
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.talanta.2020.121187	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 Iitani Kenta, Toma Koji, Arakawa Takahiro, Mitsubayashi Kohji	4. 巻 5
2. 論文標題 Transcutaneous Blood VOC Imaging System (Skin-Gas Cam) with Real-Time Bio-Fluorometric Device on Rounded Skin Surface	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Sensors	6. 最初と最後の頁 338 ~ 345
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acssensors.9b01658	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 Iitani Kenta, Naisierding Munire, Toma Koji, Arakawa Takahiro, Mitsubayashi Kohji	4. 巻 145
2. 論文標題 Evaluation for regional difference of skin-gas ethanol and sweat rate using alcohol dehydrogenase-mediated fluorometric gas-imaging system (sniff-cam)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Analyst	6. 最初と最後の頁 2915 ~ 2924
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9AN02089F	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6件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 Arakawa T, Suzuki T, Iitani K, Toma K, Mitsubayashi K
2. 発表標題 Monitoring of skin volatiles using gas-phase biosensor for the non-invasive evaluation of volatile blood compounds
3. 学会等名 OPTICS & PHOTONICS International Congress 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Arakawa T, Ming Y, Iitani K, Toma K, Mitsubayashi K
2. 発表標題 Acetone Bio-Sniffer (Gas-Phase Biosensor) for Monitoring of Human Volatile Using Enzymatic Reaction of Secondary Alcohol Dehydrogenase
3. 学会等名 8th International Symposium on Sensor Science (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Arakawa T, Aota T, Toma K, Mitsubayashi K
2. 発表標題 Skin gas monitoring device with ethanol biochemical gas sensor and gas concentrator
3. 学会等名 31st Anniversary World Congress of Biosensors (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐川 行哉, 飯谷 健太, 當麻 浩司, 荒川 貴博, 三林 浩二
2. 発表標題 バイオ蛍光法を用いた皮膚アセトアルデヒドガス用探嗅カメラに関する研究
3. 学会等名 2020 SAS Symposium
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 黄 砥、飯谷 健太、當麻 浩司、荒川 貴博、三林 浩二
2. 発表標題 皮膚中のEtOHガスの可視化計測のためのバイオ蛍光式探嗅カメラに関する研究
3. 学会等名 電気学会全国大会 令和3年
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 荒川貴博、青田崇志、鈴木翔太、當麻浩司、三林浩二
2. 発表標題 生化学式ガスセンサとガス濃縮装置を用いた経皮エタノールガス計測システム
3. 学会等名 第36回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 荒川貴博、青田崇、當麻浩司、三林浩二	4. 発行年 2020年
2. 出版社 電気学会	5. 総ページ数 6
3. 書名 生化学式ガスセンサとガス濃縮装置を用いた経皮エタノールガス計測システム	

1. 著者名 荒川 貴博、當麻 浩司、三林 浩二	4. 発行年 2020年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 10
3. 書名 生化学式ガスセンサ(バイオスニファ)と生体ガス計測-匂いのセンシング技術	

1. 著者名 飯谷健太、荒川 貴博、當麻 浩司、三林 浩二	4. 発行年 2020年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 11
3. 書名 生体ガスの高感度計測と可視化計測	

〔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	三林 浩二 (Mitsubayashi Kohji) (40307236)	東京医科歯科大学・生体材料工学研究所・教授 (12602)	

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