

令和 6 年 6 月 12 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21H04557

研究課題名(和文) 広視野生体定量イメージングに向けたコンピューショナルCMOSイメージセンサ

研究課題名(英文) Computational CMOS image sensor for wide-field quantitative tissue imaging

研究代表者

香川 景一郎 (Kagawa, Keiichiro)

静岡大学・電子工学研究所・教授

研究者番号：30335484

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、生体の多様な情報を適切な手法・条件で効率的に取得する、再構成・プログラム可能なマルチモダリティ生体定量計測カメラを開発した。そのコアデバイスとして、時間分割多重による機能的撮影を行うマルチストレージ画素とマルチアパーチャ光学系による空間分割多重撮影を融合した汎用コンピューショナルCMOSイメージセンサデバイス(MaMs-compCIS)を開発した。このデバイスを多波長短構造光照明と同期して得た時空間画像情報から、生体中の色素濃度・散乱係数の分布と血流スピードの面内分布といった複数のモダリティに対する生体情報を同時計測できることを実験的に確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

生体の複数のモダリティを同時計測するイメージセンサデバイスを開発し、その有効性を実証した。今まで暗室で静止して計測が必要だったものが、明るい部屋で、被写体に多少の動きがあってもアーティファクト無く定量計測が可能であることを実験的に確認した。この技術は、火傷、糖尿病などに応用でき、より自然な環境で、患者への負荷を低減した計測を可能とし、医療に貢献すると考えている。

研究成果の概要(英文)：We developed a reconfigurable and programmable multimodality quantitative biomedical imaging camera that efficiently acquires a variety of biological information using appropriate methods and conditions. As the core device, we developed a general-purpose computational CMOS image sensor device (MaMs-compCIS) that combines multiple storage pixels for time-division multiplexed functional imaging and spatial-division multiplexed imaging using multi-aperture optics. We experimentally confirmed that this device can simultaneously measure biological information for multiple modalities, such as the distribution of pigment concentration and scattering coefficient in the body and the lateral distribution of blood flow speed, from spatiotemporal image information obtained by synchronizing this device with multi-wavelength short structure light illumination.

研究分野：情報光学

キーワード：CMOSイメージセンサ 広視野イメージング マルチアパーチャ 空間周波数領域イメージング MELSCI マルチストレージ 定量計測

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

### 1. 研究開始当初の背景

少子高齢化が進む現代社会において、生活に溶け込む人に優しい医療技術の重要性が高まっている。日常的なモニタリングによる病気の予防、遠隔医療による早期診断、重篤な患者に対する負担の少ない24時間モニタリングなどが挙げられる。カメラを用いた生体光計測は、装置の装着が必要なく、広視野（点計測に対して面情報が一度に得られることを意味する）、非侵襲または低侵襲といった特徴をもつ。複雑な生体の状態を把握するには複数の異なるモダリティに属する生体情報を、時間差なく同時刻に計測することが求められる。具体的には、代謝、血液のかん流、組織の構造、特異なタンパク質などであり、それぞれ計測モダリティが異なる。また、得られる情報が定量的であることは診断の根拠を提供する上で不可欠である。カメラのコアデバイスであるイメージセンサは、従来の charge coupled device (CCD) 方式に代わり、complementary metal-oxide-semiconductor (CMOS) 方式が主流となっており、機能・性能が飛躍的に向上した。画素の微細化（＝多画素化）、読み出しの高速化のみならず、高ダイナミックレンジ化、サブナノ秒の時間分解能による距離画像計測など、技術の発展は留まることを知らない。一方カメラにより撮影した画像を扱うコンピュータビジョン分野ではコンピュータショナルフォトグラフィ（またはイメージング）と呼ばれる、撮影後の計算処理を前提とした画像処理技術が急速に発展している。光学領域で符号化・変調などを行うことで、従来の単眼カメラでは難しかった距離分布やマルチスペクトル画像の取得が実証されている。さらにこれらを組み合わせたコンピュータショナル CMOS イメージセンサと呼べるデバイスが開発されており、研究代表者はその研究の潮流を牽引している。生体の多様なモダリティに属する情報を効率的に同時定量計測するために、対象に応じて容易にカメラを再構成・プログラムできる、新しいアーキテクチャに基づく汎用的な CMOS イメージセンサが求められている。

### 2. 研究の目的

生体の多様な計測モダリティに属する情報を、対象に応じて適切な計測法で効率的に撮影する再構成・プログラム可能なマルチモダリティ生体定量計測カメラを開発し、生体の代謝・かん流を同時イメージングする。このコアデバイスとして、汎用コンピュータショナル CMOS イメージセンサデバイス (MaMs-compCIS) を開発する。生体情報を抽出するためにイメージセンサと同期したアクティブ照明の利用を前提とし、投影パターンをプログラムできる小型・高コントラスト2値構造照明系を開発する。MaMs-compCIS の時空間的な出力画像から生体の表層・深部の3次元情報を再構成するために、リアルタイム簡易トモグラフィ技術としてルックアップテーブルを用いた時空間周波数領域イメージング法 (STFDI) を開発する。また、生体を模擬したファントム、被験者実験により、開発したカメラシステムの機能・性能を検証する。

### 3. 研究の方法

マルチモダリティ生体定量計測カメラの実現には、必要とされる複数の計測モダリティに少ないハードウェアリソースで柔軟に対応できる再構成・プログラム可能なイメージセンサアーキテクチャが不可欠である。また、信号を正確にサンプリングするために、ナイキストサンプリングに基づき空間・時間のサンプリング周波数を上げることは正攻法ではあるが、データ量と必要な処理能力の増大を招く。したがって画素が光信号をサンプリングする際に、電荷領域で低レベルの情報選択・抽出を行う高効率サンプリング手法の開発は、システムの効率化（＝低消費電力化、システムの小型化）に繋がる。

図1に提案する計測手法を示す。マルチモダリティ生体定量計測カメラにおいて、微小レンズと撮像領域の組をアパーチャと呼ぶ。アパーチャごとに異なる光学素子を設けることで、異なる波長・偏光などを選択して【空間分割多重撮像】を行う。これは対象・目的に応じて再構成（＝

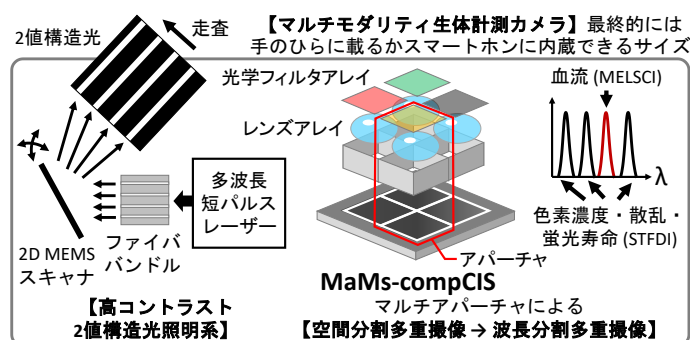


図1) マルチモダリティ生体定量計測カメラの構想

フィルタ交換) が容易に可能である。本研究では光の透過波長を選択するバンドパスフィルタを利用することで、空間分割多重を【波長分割多重撮像】に転用し、マルチバンド (=多波長) 撮影を行う。これにより生体中に存在する複数の生体色素量を分離するためだけでなく、波長ごとに異なる計測モダリティを割り当てることに利用できる。例えば図1に示すように、3波長で色素濃度・散乱係数・蛍光の3次元分布、1波長で血流スピードの面内分布を計測する。

#### 4. 研究成果

##### (1) 2×2 アパーチャ 4 ゲート CMOS イメージセンサ [1]

4 ゲート+ドレインをもつ画素を用いた 2×2 アパーチャのイメージセンサにより、空間周波数領域イメージング(SFDI)に基づく吸収・散乱計測と、マルチ露光レーザーSpeckleコントラストイメージング(MELSCI)による流速計測を行えることを確認した。図2にイメージセンサと画素の構成、組み立て後の外観を示す。図3に実験結果を示す。SFDIでは、空間周波数  $0.1\text{mm}^{-1}$  の正弦波を位相を変えて3種類投影し、環境光と併せて4枚の画像を4ゲートで計測し、DC成分とAC成分に対する振幅反射率画像を取得した。光源波長は455nm, 554nm, 660nmの3つを用いた。MELSCIにおいては、すりガラスを自動ステージに載せ、波長785nmのレーザー光で照明しながら、移動速度を変えて撮影し、4つの露光時間に対するコントラスト画像を得た。

時間ゲートを行うために、垂直オーバーフロードレイン(VOD)の検討を行った。実験的に基板に電位を印加し、イメージセンサが動作するか確認。30Vを印加してもイメージセンサは正常に動作し、基板に流れる電流もわずかであった(図4)。しかし、シリコン基板のp型エピ層の濃度が高いため、VODが行えないことがデバイスシミュレーションにより分かった。p型エピ層の濃度が低い基板を選んで試作を行う必要がある。

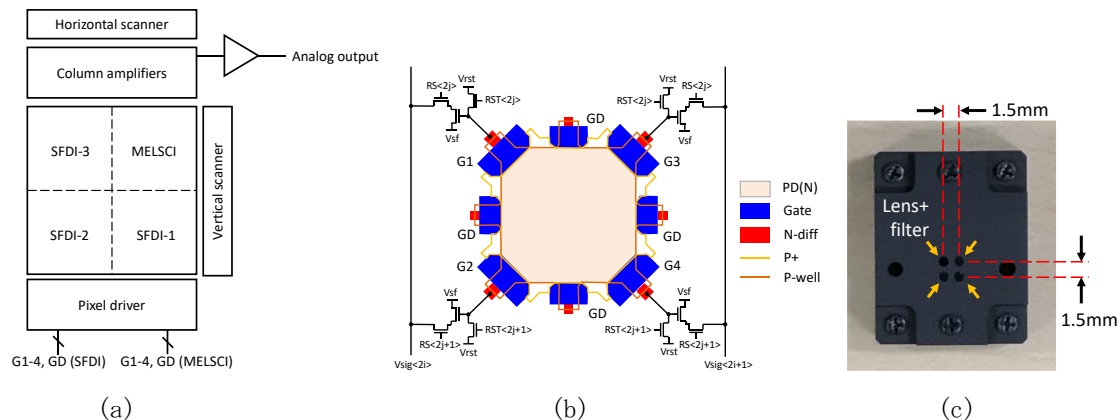


図2) 4タップ2×2アパーチャ MaMs-compCIS : (a) センサの構成, (b) 画素回路, (c) レンズとフィルタと取り付け状態

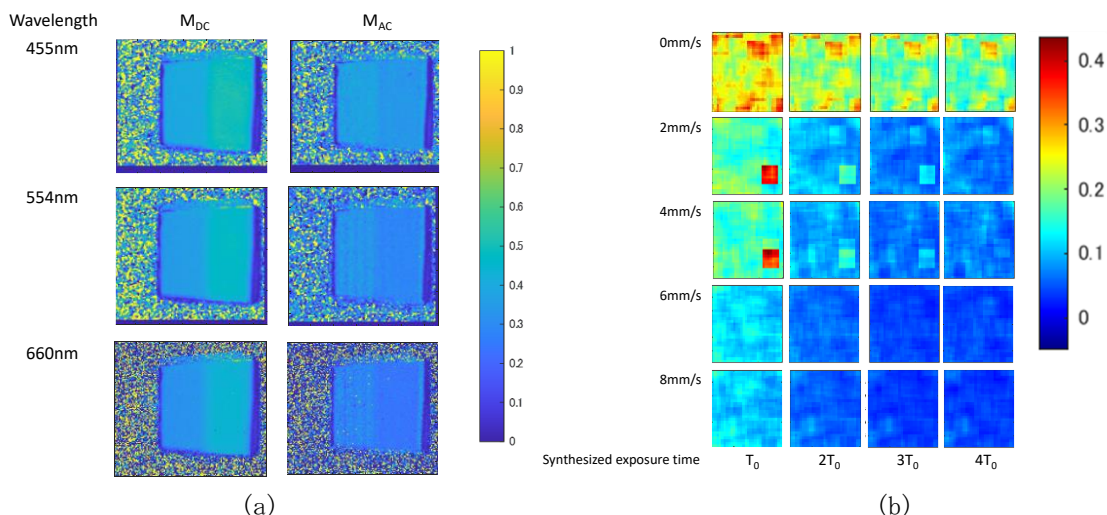


図3) ファントムの計測結果 : (a) SFDI, (b) MELSCI

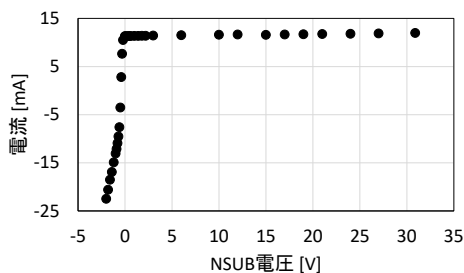
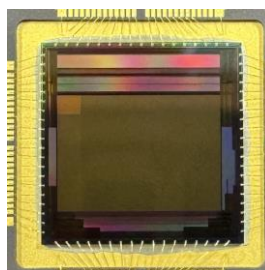


図 4) VOD の検討. 基板に電圧を印加した時に流れる電流

(2) 3×2 アパーチャ 4 タップ CMOS イメージセンサ設計・試作

(1)の成果を元に、アパーチャの数を3×2に増やしたイメージセンサを設計した。ゲート数は4で、テスト回路として8ゲートの画素も配置した。図5に諸元と試作したイメージセンサの外観を示す。このセンサはアパーチャごとに独立した露光符号を与えることが出来るため、アパーチャごとに計測方式を変える、露光量を変更するといった柔軟な撮影が可能である。

画素サイズ	11.2 μm×11.2 μm
画素数	600×500 (200×250/アパーチャ)
ゲート数	4ゲート + ドレイン
フレームレート	30枚毎秒
最短露光時間	1 μs
波長範囲	400~1000nm
信号出力	アナログ電圧
アパーチャ数	3×2
レンズピッチ	2.2 mm×2.2 mm



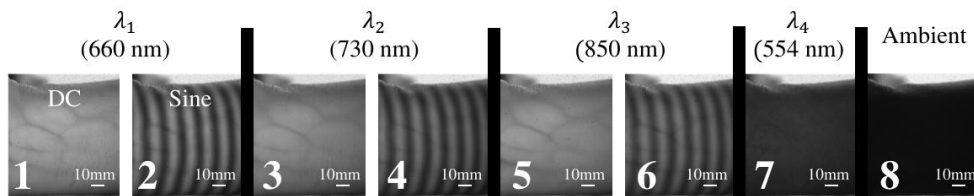
(a)

(b)

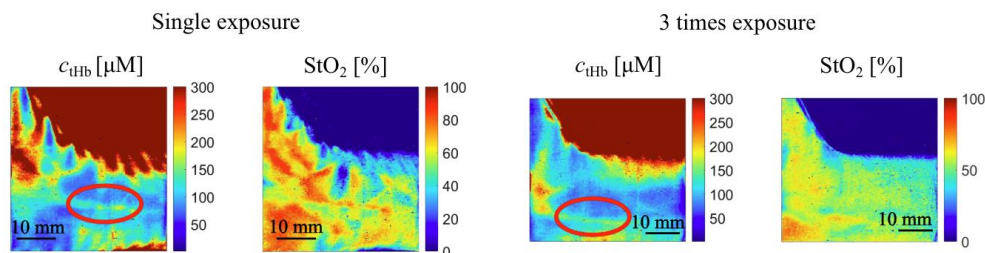
図 5) 3×2 アパーチャ MaMs-compCIS : (a) 諸元, (b) チップ写真

(3) 8 タップシングルアパーチャ [2]

実質 8 ゲートの CMOS イメージセンサを用いて、3 波長 (+1 波長) SFDI を行った。図 6 に実験結果を示す。従来の SFDI は暗室において静止した状態で計測する必要があった。これは利便性が悪く、患者にとっても負担が大きい。そこで、マルチゲート CMOS イメージセンサの特性を生かして、投影パターンと波長を高速に切り替え、センサ側で時分割イメージングと多重露光を行うことで、被写体の動きの影響を受けにくくした。また、1つのゲートで環境光を計測し、それを他の信号から減算することで環境光の影響を低減した。また、SFDI で投影するパターン数を3から2に減らすことで、8ゲートで3波長と環境光の撮影を可能とした。これは既知の手法であるが、ヒルベルト変換を用いることで、正弦波に対する反射画像から位相が90度異なる余弦波に対する反射画像を生成することで実現した。図 6(b)に示す様に、動きがある被写体にたいして、全ヘモグロビン濃度、組織酸素飽和度ともにアーティファクトが抑えられた。



(a)



(b)

図 6) 実質 8 ゲートセンサを用いた、環境光と被写体の動きに強い 3 波長 (+1 波長) SFDI : (a) 撮影画像例, (b) 全ヘモグロビンと組織酸素飽和度の比較。3 times exposure の結果において、single exposure に見られるアーティファクトが発生していないことが分かる

(4) MEMS ミラーを用いた小型・多波長プロジェクタ

小型 MEMS ミラーを用いて正弦波パターンを空間シフトするプロジェクタを試作し、SFDI の計測に適用した。現在は 660nm の光源のみ搭載しているが、785nm, 830nm の 3 波長に拡張することができる。光ファイバの射出光を拡散板とレンズを通して正弦波マスクを照明し、その透過光をレンズを通して MEMS ミラーにより偏向し、対象上に結像した。ミラーの偏向角は PSD によりモニタし、MEMS 制御信号にフィードバックすることで偏向角を安定化した。システム構成と実験結果を図 7 に示す。正弦波パターンを人の腕に投影し、DC, AC の振幅反射率画像を得た。

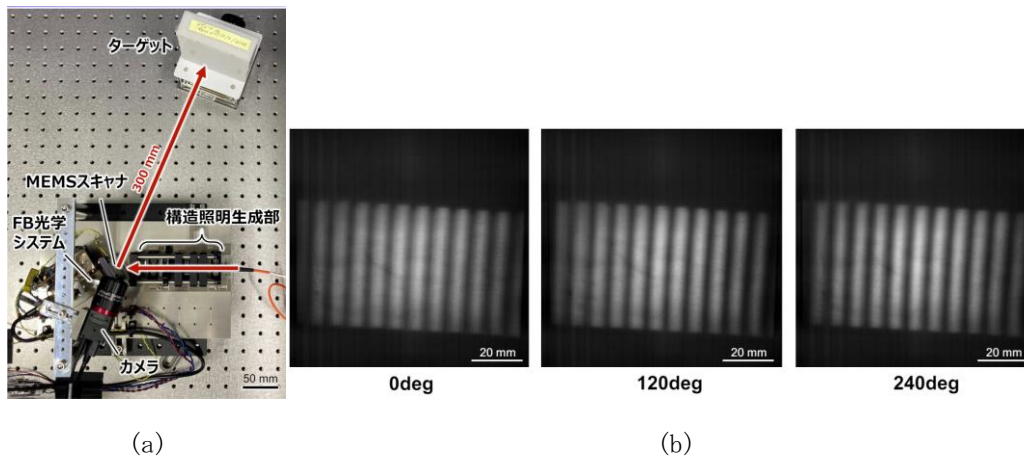


図 7) MEMS を用いた構造照明システム : (a) システム構成, (b) 撮影例

(5) 推定アルゴリズム[3]

SFDI による計測値から計測対象の換算散乱係数, 吸収係数の 3 次元分布を推定するために, 従来用いられているルックアップテーブル法(LUT)を用いた。2 層モデルを仮定し, それぞれの層の換算散乱係数, 吸収係数に加えて 1 層目の厚みを推定した。図 8 に推定結果を示す。

LUT は未知パラメータ数が増えると使用するメモリ量が急激に増加し, 推定時間も長くなる。そこで, 3 層ニューラルネットワークにより推定時間を短縮する方法を検討し, 良好な推定結果を得た。また, 照明光をストライプ状の短パルス光とすることで, 生体深部の計測精度を改善することを試みた。これを時空間周波数領域イメージング(STFDI)と名付けた。この方法により, 2 層構造の 1 層目の厚みによらず, 推定値が改善されることを確認した(図 9)。

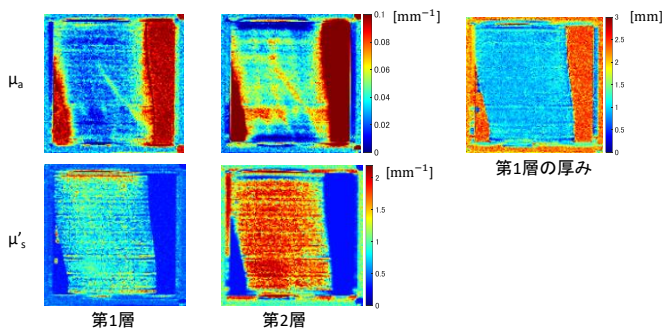


図 8) 2 層で近似した腕の計測結果

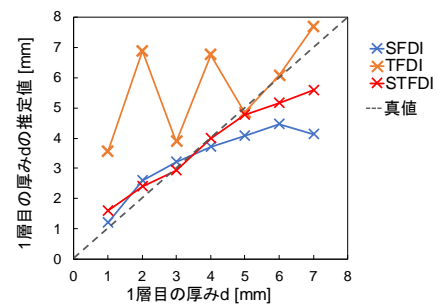


図 9) STFDI による 1 層目の厚みの推定

<参考文献>

1. Yuto Shimada, Kazuki Takada, Hoang Son Nam, Kakeru Miyazaki, Kohei Watanabe, Iori Shibata, Keita Yasutomi, Shoji Kawahito, Keiichiro Kagawa, "2x2-aperture 4-tap CMOS image sensor for multi-modal multi-band tissue imaging with suppressing the ambient light and motion artifact," in Int' l Image Sensor Workshop (IISW), R44, (Online, Sep. 20-23, 2021).
2. Yu Feng, Chen Cao, Yuto Shimada, Keita Yasutomi, Shoji Kawahito, Gordon T. Kennedy, Anthony J. Durkin, Keiichiro Kagawa, "Motion-resistant three-wavelength spatial frequency domain imaging system with ambient light suppression using an 8-tap CMOS image sensor," Journal of Biomedical Optics, Vol. 29, Issue 1, 016006 (Jan. 2024).
3. Naoshi Yoneyama, Sota Nakazawa, Kanta Iyanagi, Yusuke Tanihata, Ryotaro Mori, Manabu Machida, Gordon T. Kennedy, Anthony J. Durkin, Keiichiro Kagawa, "Simultaneous imaging of shallow and deep tissues based on multi-line scanning," in SPIE Photonics West, Paper 12816-17 (San Francisco, USA, Jan. 27, 2024).

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 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Feng Yu, Cao Chen, Shimada Yuto, Yasutomi Keita, Kawahito Shoji, Kennedy Gordon T., Durkin Anthony J., Kagawa Keiichiro	4. 巻 29
2. 論文標題 Motion-resistant three-wavelength spatial frequency domain imaging system with ambient light suppression using an 8-tap CMOS image sensor	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Biomedical Optics	6. 最初と最後の頁 016006-1-14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1117/1.JBO.29.1.016006	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

〔学会発表〕 計28件（うち招待講演 5件/うち国際学会 7件）

1. 発表者名 Yu Feng, Yuto Shimada, Chen Cao, Keita Yasutomi, Shoji Kawahito, Gordon T. Kennedy, Anthony J. Durkin, Keiichiro Kagawa
2. 発表標題 Demonstration of motionresistant three-wavelength spatila frequency domain imaging system with ambient light suppression using an pixel 8-tap CMOS image sensor
3. 学会等名 Photonics West（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yuto Shimada, Yu Feng, Chen Cao, Keita Yasutomi, Shoji Kawahito, Keiichiro Kagawa
2. 発表標題 Estimation of scattering and chromophore concentration maps by multi-band spatial frequency domain imaging using a two-layer skin model
3. 学会等名 Intenational Workshop on Image Sensors and Imaging Systems (IWISS2022)（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 米山直志, 島田悠人, 香川景一郎
2. 発表標題 複数の空間周波数を用いた空間周波数領域イメージングによる2層光学パラメータ推定
3. 学会等名 第17回関東学生研究論文講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 香川景一郎
2. 発表標題 マルチアパーチャ・マルチタップCMOSイメージセンサとアクティブ照明による定量生体イメージング
3. 学会等名 2023年電子情報通信学会総合大会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 香川景一郎
2. 発表標題 マルチバンド周波数領域イメージング(SFDI)による生体パラメータの推定と近赤外領域における可能性
3. 学会等名 日本分光学会近赤外分光部会第16回シンポジウム～DLP: 近赤外領域への応用～（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 香川景一郎
2. 発表標題 イメージセンサは実世界をどうサンプリングすべきか？
3. 学会等名 第201回次世代画像入力ビジョンシステム部会定例会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 馮宇, 島田悠人, Cao Chen, 安富啓太, 川人祥二, 香川景一郎
2. 発表標題 700×540画素8タップCMOSイメージセンサを用いた3波長空間周波数領域イメージングシステム
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第43回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 島田悠人, 馮宇, Cao Chen, 安富啓太, 川人祥二, 香川景一郎
2. 発表標題 多波長SFDIと肌2層モデルを用いた散乱・生体色素濃度の定量イメージング
3. 学会等名 2022年度レーザー学会中部支部若手研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 島田悠人, 馮宇, Cao Chen, 安富啓太, 川人祥二, 香川景一郎
2. 発表標題 “肌2層モデルを用いた多波長空間周波数領域イメージングによる散乱・生体色素濃度の定量計測
3. 学会等名 Optics & Photonics Japan 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 馮宇, 高田一輝, 島田悠人, Cao Chen, 安富啓太, 川人祥二, 香川景一郎
2. 発表標題 Demonstration of three-wavelength spatial frequency domain imaging with suppression of motion artifact and ambient light using an 8-tap CMOS image sensor
3. 学会等名 第28回画像センシングシンポジウム (SSI2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kazuki Takada, Yuto Shimada, Keita Yasutomi, Shoji Kawahito, Gordon T. Kennedy, Anthony J. Durkin, Keiichiro Kagawa
2. 発表標題 Demonstration of 3-band spatial frequency domain imaging using an 8-tap CMOS image sensor resistant to subject motion and ambient light
3. 学会等名 Photonics West, SPIE BiOS (国際学会)
4. 発表年 2022年



1. 発表者名	Yuto Shimada, Kazuki Takada, Hoang Son Nam, Kakeru Miyazaki, Keita Yasutomi, Shoji Kawahito, Christian Crouzet, Bernard Choi, Gordon T. Kennedy, Anthony J. Durkin, Keiichiro Kagawa
2. 発表標題	A 2x2-aperture 4-tap multi-modal tissue imager for multi-band SFDI and MELSCI
3. 学会等名	Photonics West, SPIE BiOS (国際学会)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	Keiichiro Kagawa
2. 発表標題	Functional biomedical imaging with multi-tap CMOS pixels
3. 学会等名	Eighth Int'l Symp. on Novel Optoelectronic Detection Technology and Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	Yuto Shimada, Kazuki Takada, Hoang Son Nam, Kakeru Miyazaki, Kohei Watanabe, Iori Shibata, Keita Yasutomi, Shoji Kawahito, Keiichiro Kagawa
2. 発表標題	2x2-aperture 4-tap CMOS image sensor for multi-modal multi-band tissue imaging with suppressing the ambient light and motion artifact
3. 学会等名	Int'l Image Sensor Workshop (IISW) (国際学会)
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	高田一輝, 島田悠人, 安富啓太, 川人祥二, 香川景一郎
2. 発表標題	8タップCMOSイメージセンサとヒルベルト変換を用いた3波長空間周波数領域イメージング
3. 学会等名	Optics & Photonics Japan 2021
4. 発表年	2021年

1. 発表者名 島田悠人, 高田一輝, ホアン ソン ナム, 宮崎 袈, 安富啓太, 川人祥二, 香川景一郎
2. 発表標題 環境光とモーションアーチファクトを抑制した2×2眼4タップマルチモーダル生体イメージャの開発
3. 学会等名 Optics & Photonics Japan 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 香川景一郎, 島田悠人, 高田一輝, ホアン ソン ナム, 宮崎 袈
2. 発表標題 2×2眼4タップマルチモーダル生体イメージャの開発
3. 学会等名 映像情報メディア学会情報センシング研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hoang Son Nam, 香川景一郎, 安富啓太, 川人祥二
2. 発表標題 血流速度の計測のためのマルチタップイメージセンサによるレーザスペckルコントラストイメージング
3. 学会等名 第21回情報フォトンクス研究グループ研究会 (オンライン合宿)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長田京太, 高田一輝, 町田 学, 星 詳子, 香川景一郎
2. 発表標題 短パルスストライブ照明を用いた時空間周波数領域イメージングによる生体表層と深部の同時計測の基礎
3. 学会等名 第21回情報フォトンクス研究グループ研究会 (オンライン合宿)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高田一輝, 柴田伊織, 白川雄也, 安富啓太, 川人祥二, 香川景一郎
2. 発表標題 ヒルベルト変換による8タップCMOSイメージセンサを用いた空間周波数領域イメージングの3波長化の検討
3. 学会等名 映像情報メディア学会情報センシング研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長田京太, 高田一輝, 町田学, 星 詳子
2. 発表標題 短パルスストライプ照明を用いた時空間周波数領域イメージングによる生体表層と深部の同時計測の基礎検討
3. 学会等名 映像情報メディア学会情報センシング研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Naoshi Yoneyama, Sota Nakazawa, Kanta Iyanagi, Yusuke Tanihata, Ryotaro Mori, Manabu Machida, Gordon T. Kennedy, Anthony J. Durkin, Keiichiro Kagawa
2. 発表標題 Simultaneous imaging of shallow and deep tissues based on multi-line scanning
3. 学会等名 SPIE Photonics West (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 米山直志, 中澤壮太, 井柳幹太, 森涼太郎, 町田学, 香川景一郎
2. 発表標題 マルチライン光走査に基づく生体組織の表層と深層の同時イメージング
3. 学会等名 日本光学会年次学術講演会Optics & Photonics Japan 2023,
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森涼太郎, 香川景一郎
2. 発表標題 多波長空間周波数領域イメージングにおけるパラメータ推定手法の比較
3. 学会等名 日本光学会年次学術講演会Optics & Photonics Japan 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 馮宇, Cao Chen, 安富啓太, 川人祥二, 香川景一郎
2. 発表標題 8タップCMOSイメージセンサを用いた動きと環境光に対する耐性をもつ3波長SFDIシステム
3. 学会等名 映像情報メディア学会情報センシング研究会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 香川景一郎, 米山直志, 中澤壮太, 井柳幹太, 森涼太郎, 馮宇, 安富啓太, 川人祥二
2. 発表標題 空間周波数領域イメージングを用いた多層構造の計測と機能の拡張
3. 学会等名 第29回医用近赤外線分光法研究会・第27回酸素ダイナミクス研究会合同研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 馮宇, Cao Chen, 安富啓太, 川人祥二, 香川景一郎
2. 発表標題 8タップCMOSイメージセンサを用いた環境光・動きに強い13波長空間周波数領域イメージング
3. 学会等名 第29回医用近赤外線分光法研究会・第27回酸素ダイナミクス研究会合同研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 米山直志, 香川景一郎
2. 発表標題 複数空間周波数を用いた2層モデルに基づくトモグラフィイメージング
3. 学会等名 映像情報メディア学会情報センシング研究会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 香川景一郎	4. 発行年 2022年
2. 出版社 共立出版	5. 総ページ数 57
3. 書名 コンピュータビジョン最前線	

〔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	中澤 謙太  (Nakazawa Keita)  (50824520)	静岡大学・工学部・助教   (13801)	

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		
米国	University of California, Irvine		