

令和 5 年 6 月 13 日現在

機関番号：23201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04520

研究課題名（和文）ハイパースペクトルイメージングのための最適波長制御技術の研究

研究課題名（英文）Research on optimum spectral control technology for hyperspectral imaging

研究代表者

大寺 康夫 (Ohtera, Yasuo)

富山県立大学・工学部・教授

研究者番号：20292295

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：本課題ではスナップショット型のハイパースペクトルまたはマルチスペクトルイメージングシステムを構成する上で必要なマルチスペクトル・フィルタアレイ(MFA)の最適設計技術、作製技術、そしてシステムで撮影された画像からスペクトルを復元するための信号処理法を研究した。特にセンサ画素値から到来スペクトルを推定するために、カーネル回帰やランダムフォレスト回帰といった種々の機械学習アルゴリズムを適用しその有効性を確認すると併せて、血流や果物、ディスプレイの発色と行ったいくつかの対象を取り上げ、その適用可能性を実験的に検討した。期間後半ではヒューリスティック的手法によるMFAの最適設計も行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ハイパー/マルチスペクトルカメラは一部実用化されているものの、コア部品であるMFAについては世界各国の研究機関で最適構成を求めて研究が進められている。このような中、本課題では波長分離性、低光学損失性及び生産性に優れた誘電体多層膜型のMFAを取り上げており、本課題で明らかとなったその設計指針、実応用場面での性能などは優れたマルチスペクトルカメラの創出に向けた学術的基盤となるものである。また特に食の安全の観点から、消費者が市販農産物の品質を直接的に可視化できるシステムも求められている。スマートフォン搭載型のマルチスペクトル型カメラの出現も近いと言われる中、本課題の方式はその有力な方式となり得る。

研究成果の概要（英文）：In this project, we studied the optimal design and fabrication techniques of multispectral filter arrays (MFA), which are necessary to construct a snapshot hyperspectral or multispectral imaging system, and signal processing methods to recover spectra from the images captured by the system. In particular, we applied various machine learning algorithms, such as kernel regression and random forest regression, to estimate the arrival spectrum from sensor pixel values and confirmed their effectiveness. The applicability of this method was experimentally investigated by taking up several subjects, such as blood flow, fruits, and display coloration. In the latter half of the period, the optimal design of MFA using heuristic methods was also conducted.

研究分野：光計測工学

キーワード：マルチスペクトルイメージング ハイパースペクトルイメージング フォトニック結晶 光スペクトル推定 マルチスペクトル・フィルタアレイ 非破壊検査

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

数 nm の波長間隔で数百の波長像を撮影するハイパースペクトルイメージング(HSI)においては、ヒトの眼では見えない波長域をカバーする「ワイドバンド性」が重要である一方、IoT への応用を考えると対象物の移動・変形や外光の変化にも対応できる「波長間同時性」も欠かせない。これらを可能にする構成として、マルチパターン型光学フィルタアレイ (MFA) と CMOS イメージセンサを組み合わせた「スナップショット型」のセンサ構成が各国の研究機関で精力的に研究され、実用化が進んでいる。しかしこれまでの MFA は中心波長の異なるバンドパスフィルタ (BPF) の集まりであり、波長数と空間分解能がトレードオフの関係にあるという本質的な課題があった。

スナップショット型センサでは CMOS イメージセンサの画素を複数の MFA が分け合うので、MFA の要素フィルタ数を増やすにつれて像の空間分解能が低下する。これを解決するには個々の要素フィルタが一つの波長を担当するバンドパスフィルタ方式から、多彩な透過関数を持つ MFA 全体が連携して個々の波長の像を推定する方式への根本的な原理の転換が必要となる。しかし現実にはそのような MFA を一体どうやって実現するのか？ また作製方法があっても、動作原理に基づく見通しの良い設計指針があるのか？ は知られていなかった。

理論上は、非 BPF 型の透過関数として各々が直交した疑似ランダム関数を使うのが理想的とされている [J. Oliver et al., *Optics Express* 21(4), 3969(2013)]。

しかし、

- ・ 広帯域で低損失なランダム MFA を、現実的にどのような構造で実現するのか？
- ・ ランダム MFA における波長分解能の理論上限は何で決まるのか？
- ・ BPF 相当の波長分解を可能にするのに必要なランダム MFA の要素数は？

が明らかにされていなかった。

なお、スナップショット型 HSI センサは今後発展する個人向け IoT センサで大きな需要が見込まれ、海外を中心に盛んに研究されている。使われている MFA の原理は以下に大別される。

- A) 金属膜のプラズモン共鳴を利用する MFA (Kurokawa ら, *IEEE Sensors J.*, 2011) : 光損失が大きく、可視の一部の波長でしか利用できないという制約がある。
- B) 誘電体多層膜の BPF 型 MFA (欧州 IMEC) : MFA の要素数だけ製造工程が増えるため、コストと量産化に難があるとされている。
- C) 量子ドットコロイド等の吸光物質による MFA (Bao ら, *Nature* 2015) : 透過関数はほぼ階段型で、原理上急峻な波長選択性を実現できない。また光学損失が大きい。従って、a) UV~NIR の全領域で低損失で、b) 一度の製造工程で作製でき、c) ランダム・急峻度合いを構造定数の容易な調整によって高い自由度コントロールでき、d) MFA 数を増やしても製造の難易度が変わらない、という性質を持つ MFA が望まれていた。

2. 研究の目的

以上の背景を踏まえ、本課題ではこれまで培ってきた「誘電体ナノ 3 次元構造」の技術を駆使して、ランダム MFA の設計基盤の確立に取り組み、その有効性を実験的に検証することとした。

このために「サブ波長周期構造付き誘電体多層膜」をランダム MFA のプラットフォームとして使うこととした。膜厚および水平方向の構造に摂動を加えて非周期構造にすると、パスバンドとストップバンドが複雑に混合した透過特性が現れる。これをランダム MFA として利用する。膜構造は電子線リソグラフィと薄膜形成プロセスで完全に制御できるので、再現性の高い実証実験が期待できる。実際に、原理検証実験の論文は *Optics Express* 誌の Editor's pick および *Optical Society of America* の *Spotlight in Optics* に選出されるなど、分光計測の分野で高い評価を受けた。

本課題では主に理論面を押し進め、これまで培ってきた完全膜構造のバンド理論、や透過関数制御の知見も援用して、達成され得る透過関数の急峻度、関数間の直交性、波長分解能の上限を明らかにする。また誘電体膜 (Nb₂O₅+SiO₂) で MFA を試作し、CMOS に集積化して HSI デバイスとし、これを用いて検証実験を行うこととした。

3. 研究の方法

まず①これまで培ってきたフォトニック結晶と光学多層膜のスペクトル制御技術、等価膜理論などの知見を駆使して、②疑似ランダムな結晶構造の透過パターンを再現、そのランダム性を定量的に評価して最適膜構造を明らかにし、③実際に素子を作製して実証を行う、という理論から実証実験まで一貫した取り組みを行うことにより、理論的に高い波長弁別性能を持つ MFA の創出につなげる。特にナノフォトニック構造の分野で常識であった完全結晶という制約から離れ、格子定数を積極的に乱して透過関数を複雑化し、ほぼランダム状とした特性を逆に活用する

ことで真に有用なデバイスの創出に役立てる。以上の姿勢を基本線として、以下の各項目について検討を行う。

① ランダム MFA の最適透過関数理論

周期膜構造に与える摂動と透過関数の関係についてはフォトニック結晶の分野で知見を蓄積してきた。電磁界シミュレーションも駆使して透過関数行列の特異値分布を平準化する摂動の方向性を探索する。波長分解能、最狭線幅などを定量的に示す。

② 適応スペクトル推定法と分光画像の構築

到来スペクトルの推定には Wiener 推定と Tikhonov 正則化等を用いる。光ショット雑音が存在するという前提で、推定行列の雑音統計項を撮影毎に変化させるなど適応的な処理を行う必要がある。MFA の透過関数に応じた推定誤差指標を数値的に明らかにする。

③ 主成分画像情報等の復元

近赤外分光による品質情報の可視化には波長二次微分や主成分といった派生情報の抽出が欠かせない。MFA 経由で推定された像を使って生成したこれらの画像の精度を、従来型の BPF で得られた画像とも比較しつつ検討する。

4. 研究成果

<R02 年度>

①ランダム MFA の最適透過関数理論関連

MFA 間の透過関数の相互相関関数を用いる方法と、自己相関関数を用いる方法の 2 とおりで最適な MFA を設計、または試作済み MFA の特性評価を行った。我々が取り扱う多層膜型 MFA では異なるフィルタ同士でも透過関数は似通りがちだが、MFA の水平・垂直両方向の微細周期構造のピッチやランダムさを調整することで相関を低下させることを見出した。

②適応スペクトル推定の手法関連

到来するスペクトルの主成分スコアを MFA の出力画素値から逆推定する手法、及び吸光度に相当するスペクトルの対数を同じく逆推定する手法を検討し、いずれも光ショット雑音存在下で妥当な精度が得られることを明らかにした。また逆推定の手法として機械学習（カーネル回帰）等を試み、良好な推定結果が得られる見通しを得た。

③MFA の試作実験関連

前述した①②の数値検討で得られた知見に基づき、実際の MFA の試作実験にも着手した。作製した MFA はカバーガラス及びマイクロレンズアレイ、マイクロフィルタアレイを除去したイメージセンサ上に実装する必要があるが、これらの除去技術も年度後半に併せて開発し、検証実験をするのに十分なセンサを用意することができた。また MFA をそれらのセンサに直接実装し、シングルボードマイコン (Raspberry Pi) 等で制御して、到来スペクトルに対応したフィルタリング画像が得られることを確認した。

R02 年度の時点で既に機械学習・IoT を取り巻く技術の進展と社会的要請が申請時点から大きく変化しており、それに応えるために申請の内容をより進めた取り組みを行った。以下に解析・シミュレーション面、実験面それぞれにおける特記事項を記す。

A) 解析面：MFA 出力から到来スペクトルを逆推定する方法として、申請時は Wiener 推定のような、主として古典的な線形推定手法を予定していた。研究開始後に機械学習的手法も重視することとし、その実装を精力的に推し進め、スペクトル自体ではなくその主成分スコアを制約付き線形推定モデルで推定したり、さらに吸光スペクトルをガウスカーネル回帰で推定したりするなどの非線形推定にも取り組み、満足のいく結果を与えることを確認した。

B) 実験面：本課題の MFA およびそれを搭載したイメージセンサが実現できた暁には、その主たる応用分野は非破壊検査および IoT 用イメージ計測である。いずれも、マシンビジョン用 CMOS センサへの実装と、Raspberry Pi のようなシングルボードマイコンによる制御が必須となる。このような背景を意識して、シングルボードマイコンに接続可能な市販の CMOS イメージセンサの MFA 実装用前処理技術を開発した。またマイコン経由でセンサを制御する技術の開発も進め、マルチスペクトルセンサの画像をリアルタイムで可視化することが可能となった。これらと並行して、MFA 自体の作製技術もさらに前進させた：すなわち電子ビーム描画装置の各種描画条件を最適化することにより、計画開始時点では 1 枚の MFA のパターン描画に数時間を要していたところを、90 分前後で描画を完了させることができるようになった。これにより多彩な検証用 MFA の作製が可能になり、実際にこの条件で年度末に数チップを作製することができた。

<R03 年度>

開発したセンサの原画像からマルチスペクトル情報を抽出するために、以下に示す 3 つの手法を重点的に研究した。

①マルチスペクトル・フィルタアレイ固有の透過スペクトルを考慮した色再現手法の検討

本研究では可視～近赤外波長域において到来スペクトルを正確に識別できるデバイスの実現

を目指しているが、その前段階として、可視域に波長を限定して撮影した画像に機械学習を施すことで、RGBの色再現を試みる実験を行った。センサの波長依存性が鋭敏になることから、画素毎に推定モデルを構築した方が、推定性能の改善に繋がることを見出した。結果の例を下図1に示す。

② 吸光スペクトルの直接推定の検討

センサの輝度値と対象物体の吸光度とは本来非線形の関係にある。この関係を推定するのに、A) カーネル回帰分析を利用した直接非線形推定と、B) 線形推定で反射スペクトルを推定した後に非線形変換で吸光度を求める手法2通りの手法を、果物を例にとりて検討した。その結果、後者が精度的に有利であることを見出した。

③ センササイド分析の検討

対象スペクトルの推定を行わず、9~25チャンネルのセンサ出力に主成分分析を施して到来スペクトルの違いを検出することを試みた。自然物体の場合、反射スペクトルの主成分は高々6~8程度であることが先行研究であることが知られており、また本研究のマルチスペクトル・フィルタアレイの各チャンネルのスペクトル自由度は十分にこの数を上回ることが確認できたからである。人体末梢（肌画像）を例に取り、血流によるスペクトル変化の前後での画像を撮影して解析したところ、低次主成分スコアが血流状態に応じて増減すること、安静時との差を明瞭に検出できることを実証した。

なおR03年度はコロナ禍の影響により県外機関での電子線描画実験ができなかったため、R02年度にまとめて試作しておいたセンサ群を利用して以上の実験を行った。

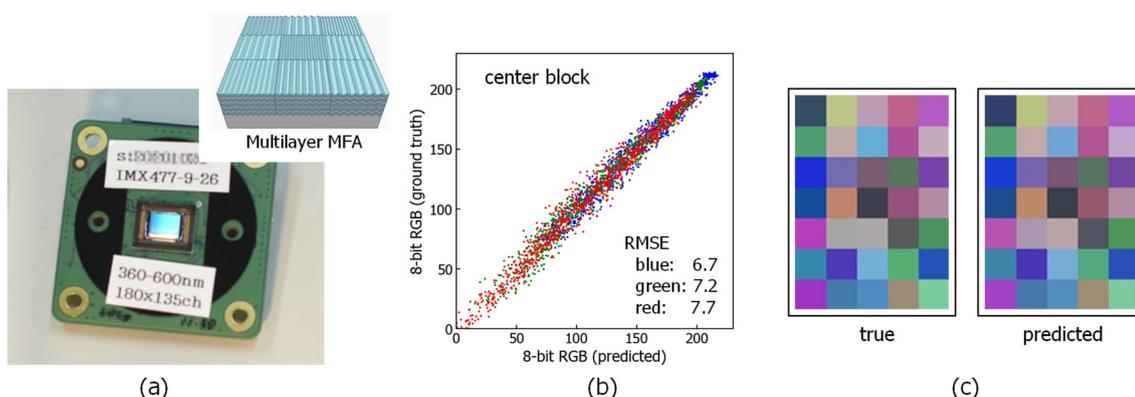


図1. MFAを用いた可視域色再現の結果。(a) Raspberry Pi HQ Camera上にMFAを実装してマルチスペクトルカメラとしたデバイス、(b)R,G,Bそれぞれの推定性能、(c)様々な色に対する再現結果。左は投影した色、右は推定（再構成）された色をそれぞれ示す。

<R04年度>

① 試作したマルチスペクトルイメージャ (MSI) による種々のスペクトル推定性能の検討

9チャンネル型 MSI を用いて、実験的にさまざまな種類の教師データを生成する試みを行うとともに、種々のスペクトル推定モデルを検討した。またモデル構築にあたって MSI 出力である画素値の多項式特徴量を利用したり、カーネル回帰モデルを用いたりするなど非線形的な特性を取り入れることが効果的であることを特定した。最終的には LCD で表示させた計 1,174 色の教師色を用いて 35 色の推定を行ったところ、R, G, B いずれのチャンネルでも 8bit 換算の推定誤差が 8 未満にできることを確認した。

これと並行して、応用面の探索の意味を込めて果実の撮影画像から Brix 糖度を推定する試みも実施した。

② 膜厚最適化のためのシミュレーション

室蘭工業大学のグループと協力し、メタヒューリスティック手法と有限差分時間領域法 (FDTD 法) を組み合わせたシミュレーションで最適な膜厚プロファイルを探索する試みをおこなった。その結果可視～近赤外域における自然物体の反射スペクトルを指向した 9チャンネル、7層前後のマルチスペクトルフィルタアレイ (MFA) において、それぞれのチャンネルの分光感度間の独立性 (直交性) を極大化する膜厚を見出すことができた。具体的には可視～近赤外域をカバーする半値全幅 20nm 程度のガウシアンスペクトル列を照射した際の MSI の応答 (画素値出力) のパターンを計算し、それらの上位特異値の算術平均または調和平均を評価関数とすることでチャンネルの犠牲を最小限に抑えつつ全体最適な膜厚を見出すことができた。

続いて、この結果を受けて MFA の改良試作も行い、その後入手性の容易な IoT 用カメラ (Raspberry Pi HQ Camera) に実装することにも成功した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3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 Yasuo Ohtera, Airi Sato, Takayuki, Kawashima, Tomohisa Takaya, and Yuki Okura	4. 巻 -
2. 論文標題 Multispectral image sensor attachable to low-cost microcomputers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optical Review	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） 10.1007/s10043-022-00726-3	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 Ohtera Yasuo, Ikeda Nao, Takaya Tomohisa, Shinoda Kazuma	4. 巻 59
2. 論文標題 Direct estimation of NIR reflection spectra utilizing a snapshot-type spectrometer with photonic crystal multi-spectral filter arrays	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Optics	6. 最初と最後の頁 5216 ~ 5216
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1364/AO.384820	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 Shinoda Kazuma, Ohtera Yasuo	4. 巻 28
2. 論文標題 Alignment-free filter array: Snapshot multispectral polarization imaging based on a Voronoi-like random photonic crystal filter	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 38867 ~ 38867
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1364/OE.411488	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31件（うち招待講演 2件/うち国際学会 11件）

1. 発表者名 A. Sato, T. Takaya and Y. Ohtera
2. 発表標題 Discrimination of peripheral blood flow status utilizing snapshot-type NIR spectral imager
3. 学会等名 The Eighth International Symposium on Organic and Inorganic Electric Materials and Related Nanotechnologies (EM-NANO 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 A. Sato and Y. Ohtera
2. 発表標題 Visualization of hand blood information utilizing a filter array type multispectral camera
3. 学会等名 12th International Conference on Optics-photonics Design & Fabrication (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Ohtera and T. Kawashima
2. 発表標題 Raspberry-pi attachable multispectral image sensor
3. 学会等名 12th International Conference on Optics-photonics Design & Fabrication (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Ohtera and N. Ikeda
2. 発表標題 Multispectral Image sensor utilizing photonic crystal spectral filters and its application to snapshot imaging of agricultural products
3. 学会等名 12th International Conference on Optics-photonics Design & Fabrication (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 池田奈央, 大寺康夫
2. 発表標題 果物の吸光度波長画像推定の試み
3. 学会等名 2021年度電気・情報関係学会北陸支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤藍梨, 大寺康夫
2. 発表標題 フィルタレイ型マルチスペクトルカメラを用いた血流状態の識別
3. 学会等名 2021年度電気・情報関係学会北陸支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 池田奈央, 大寺康夫
2. 発表標題 スナップショット型マルチスペクトルセンサを用いた果物の吸光度推定の試み
3. 学会等名 電気学会2021年電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤藍梨, 大寺康夫
2. 発表標題 マルチスペクトルカメラを用いた末梢の血流動態の可視化の試み
3. 学会等名 電気学会2021年電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤藍梨, 大寺康夫
2. 発表標題 スナップショット型マルチスペクトルカメラを用いた末梢の血流動態可視化の試み
3. 学会等名 第37回近赤外フォーラム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 諸田才風, 大寺康夫
2. 発表標題 フィルタアレイ型マルチスペクトルカメラによる色再現の検討
3. 学会等名 令和4年度 応用物理学会 北陸・信越支部 学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Airi Sato and Yasuo Ohtera
2. 発表標題 Visualization of hand blood information utilizing a filter array type multispectral camera
3. 学会等名 12th International Conference on Optics-photonics Design & Fabrication (ODF ' 20) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Haruyasu Tanaka and Yasuo Ohtera
2. 発表標題 NIR spectroscopic sensing of Atmospheric water vapor - Assisted by Machine Learning -
3. 学会等名 12th International Conference on Optics-photonics Design & Fabrication (ODF ' 20) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yasuo Ohtera and Takayuki Kawashima
2. 発表標題 Raspberry-pi attachable multispectral image sensor
3. 学会等名 12th International Conference on Optics-photonics Design & Fabrication (ODF ' 20) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yasuo Ohtera and Nao Ikeda
2. 発表標題 Multispectral Image sensor utilizing photonic crystal spectral filters and its application to snapshot imaging of agricultural products
3. 学会等名 12th International Conference on Optics-photonics Design & Fabrication (ODF ' 20) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Airi Sato, Tomohisa Takaya and Yasuo Ohtera
2. 発表標題 Discrimination of peripheral blood flow status utilizing snapshot-type NIR spectral imager
3. 学会等名 The Eighth International Symposium on Organic and Inorganic Electric Materials and Related Nanotechnologies (EM-NANO 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Haruyasu Tanaka, Tomohisa Takaya and Yasuo Ohtera
2. 発表標題 Automatic data collection of NIR spectra of the sky and its application to weather parameters prediction
3. 学会等名 The Eighth International Symposium on Organic and Inorganic Electric Materials and Related Nanotechnologies (EM-NANO 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中晴康, 大寺康夫
2. 発表標題 主成分分析を用いた天空の近赤外スペクトルと気象パラメータの相関に関する研究
3. 学会等名 2020年度電気・情報関係学会北陸支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大寺康夫
2. 発表標題 2次元誘電体周期構造のマルチスペクトルイメージングへの応用
3. 学会等名 2020年度フォトニクス技術フォーラム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 池田奈央, 大寺康夫
2. 発表標題 マルチスペクトルカメラと機械学習を利用した果物の吸光度推定の試み
3. 学会等名 第36回近赤外フォーラム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中晴康, 大寺康夫
2. 発表標題 カーネル多変量解析による天空の近赤外スペクトルと気象パラメータの相関に関する研究
3. 学会等名 第36回近赤外フォーラム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤藍梨, 大寺康夫
2. 発表標題 フィルタレイ型マルチスペクトルカメラを用いた手の血流情報の可視化
3. 学会等名 第36回近赤外フォーラム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大寺康夫
2. 発表標題 格子上多層膜の光学特性とその応用について
3. 学会等名 応用物理学会ナノインプリント技術研究会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Saifa Moroda and Yasuo Ohtera
2. 発表標題 RGB color image capturing utilizing imaging spectral encoder
3. 学会等名 The 13th International Symposium on Photonic and Electromagnetic Crystal Structures (PECS-XIII)（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 諸田才風, 大寺康夫
2. 発表標題 スナップショット型マルチスペクトルセンサの色識別性能の検討
3. 学会等名 応用物理学会北陸・信越支部 第6回有機・無機エレクトロニクスシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 倉田真輔, 大寺康夫
2. 発表標題 低コストマイコンを利用したマルチスペクトル計測デバイスの検討
3. 学会等名 応用物理学会北陸・信越支部 第6回有機・無機エレクトロニクスシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 倉田真輔, 大寺康夫,
2. 発表標題 マルチスペクトル計測デバイスによる果物の品質推定の検討
3. 学会等名 2022年度電気・情報関連学会北陸支部連合大会 (JHES2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 諸田才風, 大寺康夫
2. 発表標題 マルチスペクトルセンサの色再現モデルに照明光が与える影響
3. 学会等名 2022年度電気・情報関連学会北陸支部連合大会 (JHES2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大寺康夫
2. 発表標題 サブ波長光学構造の電磁界解析とシミュレーション手法およびその応用について
3. 学会等名 2022年度電子情報通信学会ソサイエティ大会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 諸田才風, 大寺康夫
2. 発表標題 擬似ランダムフィルタ型カメラと機械学習を用いた色再現の検討
3. 学会等名 2022年映像情報メディア学会冬季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 倉田真輔, 大寺康夫
2. 発表標題 マルチスペクトル計測デバイスによる果物の糖度推定の検討
3. 学会等名 令和4年度応用物理学会北陸・信越支部学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大寺康夫, 辻寧英
2. 発表標題 多層膜型マルチスペクトル・フィルタアレイにおける膜厚最適化の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会エレクトロニクスシミュレーション研究会(EST)
4. 発表年 2023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	高屋 智久 (Takaya Tomohisa) (70466796)	富山県立大学・工学部・准教授 (23201)	

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