

令和 3 年 6 月 23 日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H04686

研究課題名（和文）コンピュータショナルフォトグラフィで実現する多様で複雑な物性情報の可視化

研究課題名（英文）Visualization of Complex Material Property via Computational Photography

研究代表者

青砥 隆仁 (Aoto, Takahito)

筑波大学・システム情報系・助教

研究者番号：00785462

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 18,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究計画では、そのままでは光の情報として計測することが困難な多様で複雑な物性情報を対象とし、光計測のプロセスを一から見直すことにより光の応答として計測可能にする手法の開発を進めた。具体的には、超音波アレイを光計測のプロセスに導入することにより、対象物体に対し超音波による加振を行い、それによって生じた微弱な変化を光計測によって計測することで、従来の光計測では計測することが困難な粘弾性計測技術を開発した。また、微弱な変化を効率的に計測するための様々なセンシング技術を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

光は場の影響を敏感に受けかつその情報を遠方まで運ぶことができるため、光を用いた計測手法は広範囲を効率良く計測可能であるという特徴を持つ。一方、物性には光学的性質の他に力学的性質・熱的性質・電気的性質などがあり、シーンの認識・理解という目標を考えた場合において光学的性質のみを利用して計測することは最適ではない。このような背景のもと、様々な物性情報を光の情報として計測可能にするアプローチは光計測の適用範囲を広げ、物体の品質検査による品質保証の効率化や、物体の光付加価値化などに繋がる幅広い社会実装が期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this research project, we have developed a method to measure various and complex physical properties that are difficult to be measured as optical information by reviewing optical measurement from the ground up. Specifically, by introducing ultrasonic arrays into the optical measurement process, we have developed a technique for viscoelasticity measurement that is difficult to measure with conventional optical measurement by vibrating the target object with ultrasonic waves and measuring the weak changes caused by the vibrations with optical measurement. In addition, we have developed various sensing technologies to efficiently measure the weak changes.

研究分野：コンピュータショナルフォトグラフィ

キーワード：コンピュータショナルフィールド 物性情報可視化 反射光解析 物性光変換

### 1. 研究開始当初の背景

カメラによる撮像過程に特殊な光学系や計算機を導入することにより、カメラの撮影性能の飛躍的な向上や、カメラだけでは撮影することが困難な新しい情報を可視化するコンピュータショナルフォトグラフィと呼ばれる研究分野が盛んに行われている。これにより、光源上・対象物体上・撮像系上における様々な光の振る舞いを考慮した計測系が考案され、シーンの幾何学的・光学的な性質の理解が行われてきた。光を用いた計測は、広範囲を効率良く計測可能であるという特徴を持つ。一方、対象物体の物性は光学的性質以外にも力学的性質・熱的性質・電気的性質などがあり、シーンの認識・理解をより一層深めるためには、光学的性質のみを利用して解析することは最適ではない。一方、光学的性質以外の物性情報を計測する手法の多くは、プローブや化学反応を用いた物性情報の直接計測が主流であり、対象物体を破壊する危険や一度に計測可能な範囲が狭く計測時間が長いというデメリットが存在する。そのため、様々な物性情報を光学的性質を用いて計測可能にすると、様々な物性情報を非接触かつ非破壊で高速に計測可能となることが予想される。このような背景のもと、光計測のシステムを一から見直し、様々な物性情報を可視化するための方法の確立と様々な物性情報の可視化に特化した光計測手法の深化が待たれていた。

### 2. 研究の目的

本研究課題では、様々な物性情報を光の情報として計測可能にするアプローチの探索及び物性情報の計測を前提とした光計測手法の深化を目的とする。具体的には、コンピュータで制御された様々な力場を形成し、計測対象の物体に対して適切な外力を加え、その応力を光を用いて計測することで様々な物性情報を計測可能にするフレームワークの開発と、光を時間・波長・空間方向に高度にコントロールし、微細な変化を精度良く計測可能にする光計測手法の基礎的手法の開発を目指す。

### 3. 研究の方法

本研究課題では、多様で複雑な物性情報を光情報として計測するフレームワークとして特に力学的性質と濡性を対象とした技術開発を行った。また、物性情報可視化のために求められる微細な変化を観測するための様々な光計測技術の開発を行った。

**物性光変換理論の構築：**物性情報を光で計測可能とするために、外力と応力、その際に必要とされる光のコントロールに関する理論を構築した。具体的には超音波フェーズドアレイを構築し、音の位相と振幅をコントロールすることにより対象物体を加振することが可能なデバイスを開発した。また、超音波による加振と同期して明滅可能な光源とカメラシステムの開発を行い。粘弾性という従来のカメラでは撮影することが困難な情報を撮影可能な技術を開発した。

**光計測技術の深化：**与えられた外力により物体の表面および内部は幾何学的または光学的に微小変化する。そのため、光を時間・波長・空間方向に高度に符号化し、撮影された結果と計算機を用いることによって所望する情報のみを抽出可能な様々な光計測システムの構築を行った。

### 4. 研究成果

(1) 光の波長情報をワンショットで撮影可能なカメラシステムを構築した。図1に示すように、万華鏡など向かい合わせになった鏡を用いると多重像が観測される。この時、鏡上にバンドパスフィルターを取り付けると反射の回数に応じてフィルターを複数枚透過した画像が得られる。観測された画像を位置合わせして重ねあわせることで、各画素上では複数の異なるフィルターを通過させた画像が観測される。これら複数の観測結果から対象物体の分光分布を再構成可能であることを示した。また事前知識を用いることによって観測された枚数以上の分光情報を再構成可能であることを示

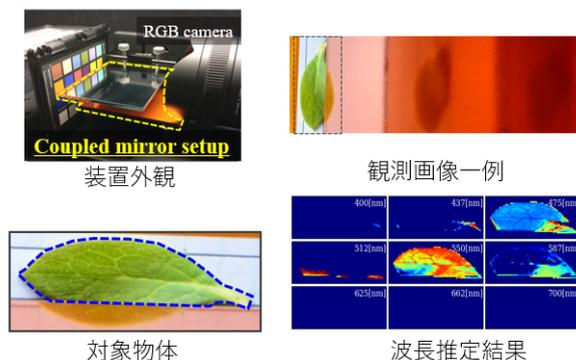


図1 多重反射像を利用したワンショット分光画像の獲得

し、従来用いられるプリズムを用いた分光計測手法と同一傾向を示すことを確認した。本成果はワンショットで対象物体の分光画像を取得することが可能であるため、動物体の分光画像を獲得することが可能である。

(2) 力学的性質である粘弾性を光を用いて計測可能なシステムを構築した。図2に示すように、レーザーとカメラを用いた光でこのシステムに加え、超音波アレイを用いた物体表面を加振することが可能なシステムを構築した。構築した超音波アレイの位相を制御することで、対象物体上の一点に力を集めることで0.5gf程度の外力を対象物体に加えることが可能である。このようなシステムのもと、光源から出た光は対象物体表面が加振されているため、時々刻々と様々な方向に光が反射される。これを一般的なカメラで観測すると残像効果によって明るさの分布として観測される。対象物体の粘弾性が高いと対象物体表面が大きく変位しないため、観測される明るさの分布の範囲は狭く、観測される明るさは明るくなる。また、対象物体表面が大きく変位する場合においては観測される明るさの分布は広くなり観測される明るさは暗くなる。これらの物理的なモデルを構築し、観測結果から粘弾性を計測可能であることを示した。本成果は、これまでやわらか過ぎて計測することが困難であった薄膜や液体などの粘弾性を計測する手法として役立つと考えられる。

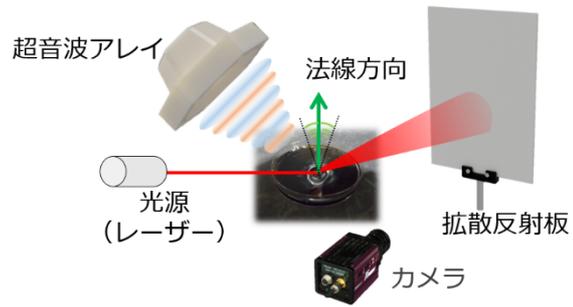


図2 超音波による振動を利用した粘弾性計測システム

(3) 物体内部に照射された光は物体内部を進行し、反射・吸収・透過を繰り返し最終的に物体外部にあらわれた光のみがカメラ上で観測される。本研究は、照明を空間的に符号化し、物体内部の特定の位置の情報を情報処理によって抜き出すものである。照明から特定の明暗パターンを照射した場合、照明が透視投影モデルを仮定できるとすると奥行に応じて空間周波数が低くなるように変化する。この時、カメラの画角が直交投影である場合、奥行に応じて空間周波数が変化することが容易に想像できる。事前に照明系とカメラ系の位置関係が既知の場合、照明から様々な周波数の模様を投影すると、特定の奥行に存在する物体は照明から投影する模様に応じた輝度変化を行う。この特徴を利用し、相関演算を行うことにより特定の奥行の情報を獲得可能な手法の開発を行った(図3)。

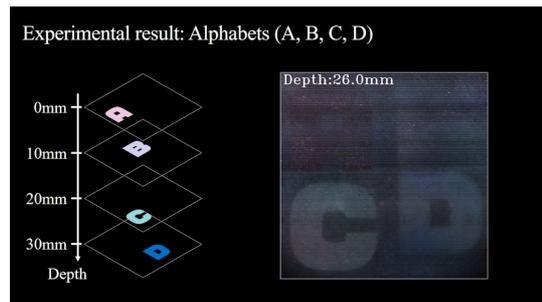


図3 空間方向の周波数変化を利用した物体内部の可視化結果(26mmに合焦)

(4) 光を時間的・空間的に変調することで観測された陰影情報から距離を推定する時空間相関イメージング技術を開発した(図4)。光を時間的に変調して距離計測をする手法は、時間相関イメージングとして知られており、距離計測範囲が広いが距離計測精度が低いことが知られている。また、光を空間的に変調して距離計測する手法は、空間相関イメージングとして知られており、距離計測範囲が狭いが距離計測精度が高いことが知られている。時空間相関イメージングは時間相関イメージングの距離計測範囲が広い特徴と空間相関イメージングの距離計測精度が高いという両者の特徴をもった計測手法である。また、撮影にかかる時間は両手法と同程度であり、距離計算時間も同程度であるという特徴を持つ。

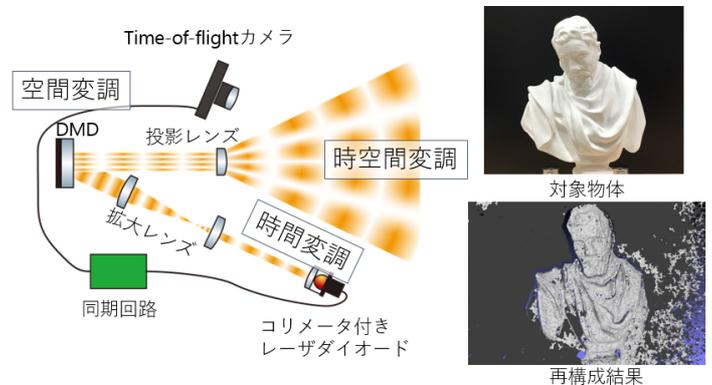


図4 時空間相関イメージングによる距離推定

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Kitano Kazuya, Okamoto Takanori, Tanaka Kenichiro, Aoto Takahito, Kubo Hiroyuki, Funatomi Takuya, Mukaigawa Yasuhiro	4. 巻 9
2. 論文標題 Recovering temporal PSF using ToF camera with delayed light emission	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IP SJ Transactions on Computer Vision and Applications	6. 最初と最後の頁 1--6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s41074-017-0026-3	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 Takahiro Kushida, Kenichiro Tanaka, Takahito Aoto, Takuya Funatomi & Yasuhiro Mukaigawa	4. 巻 12
2. 論文標題 Phase disambiguation using spatio-temporally modulated illumination in depth sensing	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IP SJ Transactions on Computer Vision and Applications	6. 最初と最後の頁 1--13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s41074-020-00063-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 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Takahiro Kushida, Kenichiro Tanaka, Takahito Aoto, Takuya Funatomi, Yasuhiro Mukaigawa
2. 発表標題 Spatio-temporal Phase Disambiguation in Depth Sensing
3. 学会等名 IEEE International Conference on Computational Photography (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tsuyoshi Takatani, Takahito Aoto, Kenichiro Tanaka, Takuya Funatomi, Yasuhiro Mukaigawa
2. 発表標題 Reconstruction of Volumetric Reflectance using Spatio-sequential Frequency Correlation Imaging
3. 学会等名 Proc. SIGGRAPH Asia (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 青砥隆仁、向川康博
2. 発表標題 超音波振動による鏡面反射光の残像効果を利用した粘弾性の推定
3. 学会等名 画像の理解とシンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Takatani, T. Aoto, Y. Mukaigawa
2. 発表標題 One-shot Hyperspectral Imaging using Faced Reflectors
3. 学会等名 Proc. CVPR2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tsuyoshi Takatani, Yuzuha Ito, Ayaka Ebisu, Yinqiang Zheng, Takahito Aoto
2. 発表標題 Event-Based Bispectral Photometry Using Temporally Modulated Illumination
3. 学会等名 Proc. CVPR2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤 柚葉、高谷 剛志、蛭子 綾花、鄭 銀強、青砥 隆仁
2. 発表標題 二波長強度変調照明下におけるイベント情報に基づく光吸収差分の可視化
3. 学会等名 画像の認識・理解シンポジウム
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 撮像装置及び画像処理装置	発明者 高谷剛志, 青砥隆仁, 向川康博	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2017-067131	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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