

## 先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム) 実績報告書

本様式の内容は一般に公表されます

|                |                                      |
|----------------|--------------------------------------|
| 研究課題名          | コンピュータショナルフォトグラフィによる安全な人体内部3次元構造の可視化 |
| 研究機関・<br>部局・職名 | 奈良先端科学技術大学院大学・<br>情報科学研究科・教授         |
| 氏名             | 向川 康博                                |

1. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年3月31日

2. 収支の状況

(単位:円)

|      | 交付決定額       | 交付を受け<br>た額 | 利息等収入<br>額 | 収入額合計       | 執行額         | 未執行額 | 既返還額 |
|------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|------|------|
| 直接経費 | 117,000,000 | 117,000,000 | 215        | 117,000,215 | 117,000,215 | 0    | 0    |
| 間接経費 | 35,100,000  | 35,100,000  | 0          | 35,100,000  | 35,100,000  | 0    | 0    |
| 合計   | 152,100,000 | 152,100,000 | 215        | 152,100,215 | 152,100,215 | 0    | 0    |

3. 執行額内訳

(単位:円)

| 費目      | 平成22年度 | 平成23年度     | 平成24年度     | 平成25年度     | 合計          |
|---------|--------|------------|------------|------------|-------------|
| 物品費     | 11,315 | 17,927,417 | 21,995,568 | 43,930,141 | 83,864,441  |
| 旅費      | 0      | 1,211,150  | 2,401,878  | 3,442,286  | 7,055,314   |
| 謝金・人件費等 | 22,800 | 1,160,267  | 4,653,111  | 16,586,070 | 22,422,248  |
| その他     | 0      | 826,523    | 1,170,708  | 1,660,981  | 3,658,212   |
| 直接経費計   | 34,115 | 21,125,357 | 30,221,265 | 65,619,478 | 117,000,215 |
| 間接経費計   | 0      | 2,076,218  | 10,710,228 | 22,313,554 | 35,100,000  |
| 合計      | 34,115 | 23,201,575 | 40,931,493 | 87,933,032 | 152,100,215 |

4. 主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

| 物品名                               | 仕様・型・性<br>能等                         | 数量 | 単価<br>(単位:円) | 金額<br>(単位:円) | 納入<br>年月日  | 設置研究機関名       |
|-----------------------------------|--------------------------------------|----|--------------|--------------|------------|---------------|
| 25眼カメラレイシステム<br>ProFUSION25 白黒タイプ | 株式会社ViewPLUS製<br>ProFUSION-25M       | 1  | 1,995,000    | 1,995,000    | 2011/11/30 | 大阪大学          |
| キセノン光源 MAX-S310<br>VIS-NIRフラット仕様  | 純水石英ファイバー<br>特注ロッドレンズ                | 1  | 1,236,900    | 1,236,900    | 2012/3/5   | 東京大学          |
| 冷却CCDカラーカメラ                       | Infinity 140万画<br>素 INFINITY3-<br>1C | 1  | 754,110      | 754,110      | 2012/3/12  | 九州大学          |
| 特注θ軸ステージ                          | WXB-119                              | 1  | 672,000      | 672,000      | 2012/8/22  | 東京大学          |
| プロジェクター-EH-R4000                  |                                      | 2  | 595,350      | 1,190,700    | 2013/2/20  | 大阪大学          |
| 超小型18bit高感度カメラ(カラー)               | 18G-01C-S-AC                         | 1  | 945,000      | 945,000      | 2013/3/21  | 奈良先端科学技術大学院大学 |
| デジタルカメラ                           | 645D IR                              | 1  | 1,215,900    | 1,215,900    | 2013/8/28  | 大阪大学          |
| 3Dプリンター                           | CubeX 3D Trio<br>Printer             | 1  | 515,550      | 515,550      | 2013/9/27  | 大阪大学          |
| 冷却CCDカメラ                          | 米国Apogee社製<br>Aspen CG6              | 2  | 2,176,545    | 4,353,090    | 2013/9/30  | 大阪大学          |
| 超小型18bit高感度カメラセット(カ<br>ラー)        | 18G-01C-S-AC                         | 1  | 945,000      | 945,000      | 2013/10/30 | 東京大学          |
| テレセントリックレンズ(消耗品)                  | 0.28X フラット                           | 1  | 629,370      | 629,370      | 2013/10/24 | 大阪大学          |
| 3Dプリンター                           | CubeX TRIO イ<br>グ<br>7S 401385       | 1  | 522,900      | 522,900      | 2013/11/11 | 九州大学          |
| 超小型18bit高感度カメラセット<br>(白黒)         | 18G-01M-S-AC                         | 1  | 945,000      | 945,000      | 2013/12/2  | 東京大学          |

5. 研究成果の概要

本研究では、人体に近赤外光を照射した場合のように、内部に光は届くものの、散乱が強いために鮮明には見えないという問題に対して、光学系を工夫することで散乱光を除去できる撮影方法や、散乱光そのものの伝播の様子から内部状態を推定する解析アルゴリズムを開発した。本技術は人体に限らず、例えば食品に混入した異物の検査や、濁った海中での搜索活動など、幅広い分野で利用できるため、様々な分野への波及効果が期待できる。

|      |       |
|------|-------|
| 課題番号 | LR027 |
|------|-------|

## 先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム) 研究成果報告書

|                  |
|------------------|
| 本様式の内容は一般に公表されます |
|------------------|

|                            |   |
|----------------------------|---|
| 研究課題名<br>(下段英語表記)          | コンピューショナルフォトグラフィによる安全な人体内部3次元構造の可視化   |
|                            | Safe visualization of 3-D human body structure using computational photography              |
| 研究機関・部局・<br>職名<br>(下段英語表記) | 奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・教授  |
|                            | Graduate School of Information Sciences, Nara Institute of Science and Technology・Professor |
| 氏名<br>(下段英語表記)             | 向川 康博   |
|                            | Yasuhiro Mukaigawa  |

### 研究成果の概要

(和文):

本研究では、安全な近赤外光を用いて人体内部構造を鮮明に可視化することを目標として、必要となる要素技術の開発に取り組んだ。その成果として、透過光と散乱光を分離し、透視画像を鮮明化できる「平行高周波照明」と呼ぶ撮影システムを開発した。また、散乱光の伝播を逆追跡することで散乱体内部の構造を推定する「モンテカルロ投票」と呼ぶ散乱光トモグラフィ技術を開発した。これらの成果は、IEEE の国際会議 ICCP で受賞するなど、コンピューショナルフォトグラフィ分野で高く評価されている。本研究で開発した一連の技術は、当初想定していた医療分野だけではなく、農作物の検査やロボットの視覚センサなど、他分野への応用も期待できる。

(英文):

This research aims to clearly visualize inside of the human body using safe infrared light and to develop necessary elemental technologies. As a result, we have developed a new measurement system named “Parallel High-frequency Illumination” which can visualize clear transmissive images by decomposing transmissive and scattering rays. Moreover, we have developed a new scattering tomography technique named “Monte-Carlo voting” which can estimate inside structure of scattering objects by the back-trace of light propagation. Their achievements are highly evaluated in the computational photography field, and have been awarded an Honorable Mention of

## 様式21

IEEE ICCP2014. The technologies will be widely used not only for medical diagnosis, but also for inspection of agricultural crops or visual sensor of the robot.

1. 執行金額 152, 100, 215円  
(うち、直接経費 117, 000, 215円、 間接経費 35, 100, 000円)
2. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年3月31日

### 3. 研究目的

X線を用いたコンピュータ断層撮影(X線CT)は、鮮明な断層が可視化できることから広く利用されているが、放射線による被曝が少なからず存在するため、気軽な計測とは言いがたい。一方、安全な近赤外光を用いた拡散光トモグラフィも実用化されているが、近赤外光は人体内部で強く散乱するため、鮮明な人体内部計測は難しい。つまり、人体のような散乱体内部の可視化において安全性と鮮明さを両立することは難しかった。

近年、カメラによる画像撮影の過程に特殊な光学系や計算機を導入することで、カメラの撮影性能を飛躍的に向上させ、カメラだけでは撮影できない視覚情報を可視化できるコンピューショナルフォトグラフィ技術の研究が盛んになってきている。本研究では、情報科学分野で発展してきた様々なコンピューショナルフォトグラフィ技術を医療分野に応用し、安全に人体内部の3次元構造を可視化できる新しい医療機器開発のための要素技術を開発することを目指す。

本研究は、以下の3つのサブテーマに分けられる。

#### (1) 高周波照明による散乱光の分離

コンピュータビジョン分野の技術であり、空間的に照明部分と非照明部分を細かく分けるような高周波パターンをプロジェクタから投影することで、物体表面での反射光や散乱光を効果的に分離する手法を開発する。

#### (2) 散乱光の空間分布解析

熱力学やコンピュータグラフィックス分野の技術であり、物体内部に入射した光が媒体内部でどのように分布するかを、光の伝播モデルに基づいて解析する手法を開発する。

#### (3) 近赤外光学系の開発

医療分野での利用を想定した技術であり、人体に対する近赤外光の透過性が高いことを利用して、近赤外光のプロジェクタとカメラを用いた新たな光学デバイスを開発する。

このように、本研究課題は、様々な学術分野の技術を統合利用することで、近赤外光を用いた人体内部の鮮明な可視化という、単分野の技術だけでは難しい困難な問題を解決し、安全に人体内部を可視化するためのブレイクスルー技術を開発することを目指す。

#### 4. 研究計画・方法

本研究では、目的に応じて専用に設計された光学系と計算機を併用した画像撮影法であるコンピュータショナルフォトグラフィ技術を活用することで、近赤外光を用いて安全に人体内部の3次元構造を可視化することを目指す。そのために、(1) 高周波照明による散乱光の分離、(2) 散乱光の空間分布解析、(3) 近赤外光学系の開発、の3つのサブテーマを並行して研究し、最終的にこれらを統合することで研究課題を完成させる。

##### (1) 高周波照明による散乱光の分離

媒体内部での散乱光を、一度だけ反射する単一散乱と、不鮮明な見えの原因となる多重散乱に分離するためのシステムを開発する。具体的には、光源として複数のプロジェクタを用いて高周波照明を実現するためのハードウェアと、その観測輝度を解析することで表面での反射・単一散乱・多重散乱を分離するためのソフトウェアを開発する。

##### (2) 散乱光の空間分布解析

散乱光が媒体中でどのように散乱を繰り返し、空間的に伝播していくかを解析する手法を開発する。さらに、媒体の散乱に関する物理パラメータを推定し、人体の静脈・動脈・骨・筋肉などがどのように3次元的に分布しているかを解明する手法を明らかにする。

##### (3) 近赤外光学系の開発

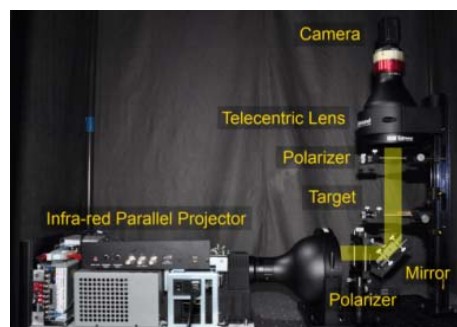
上記(1)(2)を人体内部の可視化に適用するために、新たに近赤外光を利用した計測システムを開発する。具体的には、提案課題での主要機器となる近赤外プロジェクタを設計し、近赤外の波長域で空間的に様々なパターンを投影する専用の機器を開発する。

#### 5. 研究成果・波及効果

本研究課題では、近赤外光を用いて安全に人体内部の3次元構造を可視化することを目標として、専用に設計された光学系と計算機を併用した画像撮影法であるコンピュータショナルフォトグラフィ技術を活用し、目標を達成するために必要となる要素技術の開発に取り組んだ。各サブテーマについては、当初の予定を超える成果が得られた。具体的な成果は以下の通りである。

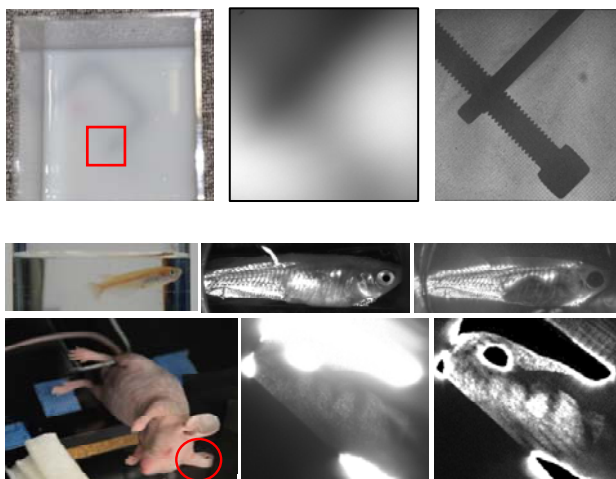
##### (1) 高周波照明による散乱光の分離

人体のような散乱体に入射した光は、内部で微粒子と衝突を繰り返して反対側に到達するため、内部の見え方は不鮮明となる。そこで、右図のような、直進する透過光成分と直進しない散乱光成分を分離して計測できる「平行高周波照明」と呼ぶ計測システムを新たに開発した。照明装置としてプロジェクタを用いており、高周波照明と呼ばれる細かい格子パターンを投影した際の伝播光を、対向させて配置したカメラで撮影する。ここで、光を平行に投影できるテレセントリックレンズを、カメラとプロジェクタの両方に装着したことが大きな特徴である。なお、このプロジェクタは近赤外光の照明が可能であり、サブテーマ(3)と統合済みである。



## 様式21

このシステムを用いることで、右図のように白濁した液体に沈められた金属部品の透視画像を鮮明化できる。通常照明では、何かが沈んでいることはわかっても、その形まではわからない。しかし、本システムによって透過光のみを用いて再構成した画像では、ねじのピッチのような細部まで詳細に鮮明化できていることがわかる。また、小魚やネズミなどの生体にも適用し、小魚の内臓やネズミの耳の内部の血管等を鮮明化できることを確かめた。



この成果は、コンピュータショナルフォトグラフィ分野で最も権威のある国際会議 IEEE International Conference on Computational Photography (ICCP2013)において、2013/4/20 に Honorable Mention を受賞するなど、国際的にも高く評価されている。

### (2) 散乱光の空間分布解析

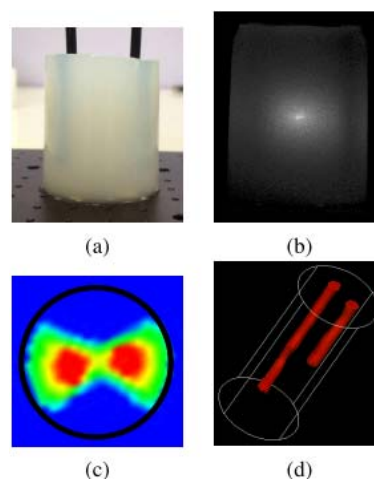
散乱体に入射した光が、内部でどのように伝播するのかを物理モデルに従って解析することで、散乱体内部の3次元構造を可視化する手法を開発した。この問題に対しては、数学的に最適化問題として解く方法と、コンピュータグラフィックス(CG)の逆問題として解く方法の2種類の解法を明らかにした。

前者は、光は後方に散乱しないと仮定し、前方散乱のみからなる簡略化されたモデルを用いて、散乱体内部の遮蔽物体の位置を最適化問題として解く数学的枠組みを考案した。シミュレーションによる検証の結果、遮蔽物体の空間分布が大まかに推定できることを確認した。

一方、後者は、CG 分野で用いられる画像生成過程をもとにしている。CG 分野では、光線の軌跡をランダムにサンプリングし、これを繰り返すことで散乱光の効果を描画している。本研究では、この光線追跡の仕組みを利用し、「モンテカルロ投票法」と呼ぶ散乱体内部の3次元構造を可視化する手法を開発した。右図は、3次元構造の可視化の実験結果である。指の内部の静脈を模した模型を用いて、一般的なCT スキャンのように全周から計測した透過光の強度から、静脈に相当する遮蔽物の3次元位置を可視化した結果である。

この成果は、国際会議 IAPR International Conference on Machine Vision Applications (MVA2013)において、2013/5/22

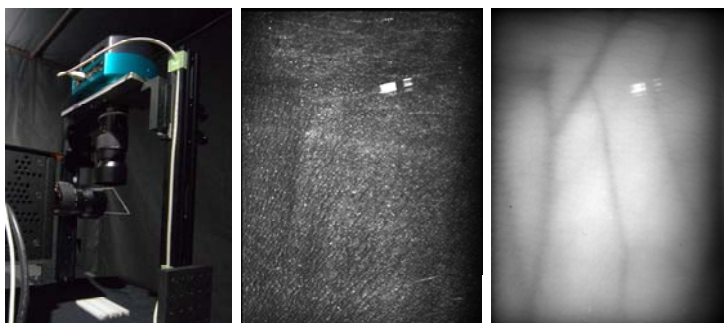
に Best Poster Award を受賞した。また、パナソニック株式会社と共同で、「光吸収物体推定装置及びその方法」として特許出願をした。



### (3) 近赤外光学系の開発

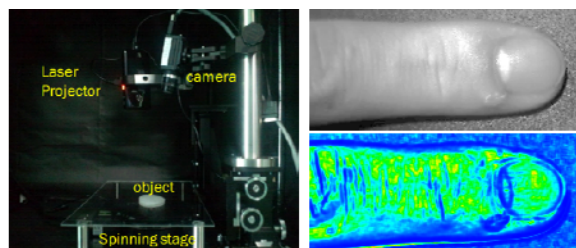
前述の(1)で述べた平行高周波照明システムは、本研究課題で開発を目指していた近赤外光学系の完成形であり、近赤外の波長域で空間的に様々なパターンを平行系で投影できるため、様々な計測に用いることが可能である。

さらに、体内を通過する微弱な透過光(直進光)を取り出すために、右図に示すような近赤外にも高い感度を持つ冷却 CCD を用いた反射型計測システムを新たに開発した。このシステムでは、皮膚の比較的浅い領域を撮影の対象とするため、同じ側から照



明と観測ができるように、カメラとプロジェクタを同軸系としている。これにより、皮膚の表面、およびごく浅い領域で反射した光と、静脈などが存在するより深い領域までたどり着いた光を分解することが可能となった。奥行き分解能はさほど高くはないが、数段階の奥行きごとに分解できることを確認している。

また、これとは別に、右図のように近赤外を含む3波長(670nm, 782nm, 850nm)のレーザー光を皮膚に照射し、レーザー光の干渉によって生じるスペックルと呼ばれるノイズ状のパターンを解析することで、人間の皮膚表面の血流のない表皮の厚さを大まかに推定する



手法を開発した。この手法では、血流などの動きがあると、スペックルが時間的に変化することを利用して、その変化量から動きのない表皮の厚さを推定している。ここで、波長の異なる近赤外光は、皮膚内部への到達深度も異なることを利用して精度を高めている。

以上のように、(1)(2)(3)の個々の要素技術は、当初の予想を超える成果が得られた。一方で、これらの技術を統合した最終目標である、近赤外光を用いた人体内部の3次元構造の可視化については、人体を模した模型により、その効果を確認した。これは、当初予定していた手や指の透視画像では、予想していた以上に散乱が強かったためである。(1)で開発した平行高周波照明システムは、むしろ、工場での生産ラインにおける異物検査や、農作物の非破壊検査などの用途が期待できることが明らかとなった。

一方で、近赤外光を用いた人体内部の3次元構造の可視化については、上記(3)で述べたとおり、皮膚の直下の深さ構造を詳細に見る技術として実現した。これらは、当初想定していなかった技術であるが、実際に近赤外光を用いて実験を繰り返した経験に基づいて新たに考案した技術であり、異なる技術で目標を実現できた。



6. 研究発表等

|                        |   |
|------------------------|---|
| <p>雑誌論文<br/>計 15 件</p> | <p>(掲載済み一査読有り) 計 10 件</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Y.Mukaigawa, R.Raskar, and Y.Yagi, "Analysis of Scattering Light Transport in Translucent Media, IPSJ Transactions on Computer Vision and Applications, Vol. 3, pp.122-133, Dec. 2011.</li> <li>2. C.Inoshita, Y.Mukaigawa, Y.Yagi, "Ringing Detector for Deblurring based on Frequency Analysis of PSF", IPSJ Transactions on Computer Vision and Applications, Vol. 3, pp.236-247, Dec. 2011.</li> <li>3. S.Tagawa, Y.Mukaigawa, J.Kim, R.Raskar, Y.Matsushita, and Y.Yagi, "Hemispherical Confocal Imaging", IPSJ Transactions on Computer Vision and Applications, Vol. 3, pp.222-235, Dec. 2011.</li> <li>4. M.Kitaura, F.Okura, M.Kanbara, and N.Yokoya, "Tone mapping for HDR images with dimidiated luminance and spatial distributions of bright and dark regions", Proc. SPIE Electronic Imaging, Vol. 8292, pp. 829205-829205-11, Jan. 2012.※</li> <li>5. 馬場葉子, 向川康博, 八木康史, "散乱媒体内における物体の反射特性モデルの提案", 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J95-D, No.2, pp.287-296, Feb. 2012.</li> <li>6. 井下智加, 向川康博, 松下康之, 八木康史, "単一散乱の減衰に基づく半透明物体の形状推定", 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J95-D, No.8, pp.1598-1608, Aug. 2012.</li> <li>7. R.Kawakami, H.Zhao, R.T.Tan, K.Ikeuchi, "Camera Spectral Sensitivity and White Balance Estimation from Sky Images", International Journal of Computer Vision, June 2013.※</li> <li>8. C.Inoshita, S.Tagawa, M.A.Mannan, Y.Mukaigawa, Y.Yagi, "Full-dimensional Sampling and Analysis of BSSRDF", IPSJ Transactions on Computer Vision and Applications, Vol. 5, pp.119-123, July 2013.</li> <li>9. K.Inose, S.Shimizu, R.Kawakami, Y.Mukaigawa, K.Ikeuchi, "Refining Outdoor Photometric Stereo based on Sky Model", IPSJ Transactions on Computer Vision and Applications, Vol. 5, pp.104-108, July 2013.</li> <li>10. 田中賢一郎, 向川康博, 八木康史, "平行高周波照明による透視画像の散乱光除去", 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J96-D, No.8, pp.1834-1843, Aug. 2013.</li> </ol> <p>(掲載済み一査読無し) 計 5 件</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 向川康博, "反射鏡を用いた撮影技術の魅力", 情報処理学会誌, Vol.52, No.8, pp.1008, Aug. 2011.※</li> <li>2. 向川康博, 長原一, 平林晃, "光学系・撮像過程・信号処理の工夫による光学センシング技術", 精密工学会誌, Vol.77, No.12, 2011.</li> <li>3. 向川康博, 八木康史, "楕円鏡を用いた反射特性計測と CG 応用", 日本オプトメカトロニクス協会, 光技術コンタクト, Dec.2012.※</li> <li>4. 井下智加, 向川康博, 八木康史, 松下康之, "単一散乱強度に基づく半透明物体の形状推定", 日本工業出版 画像ラボ, Vol.24, No.5, pp.57-61, May 2013.</li> <li>5. 向川康博, "見たいものだけを鮮明に見せるコンピューショナルフォトグラフィ技術", 映像情報メディア学会誌, コンピューショナルフォトグラフィ特集号, Aug. 2013.</li> </ol> <p>(未掲載) 計 0 件</p> |
| <p>会議発表<br/>計 70 件</p> | <p>専門家向け 計 68 件</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 田川聖一, 向川康博, 八木康史, "多面体鏡を用いた 8 次元リフレクタンスフィールドの計測", 附置研究所間アライアンスによるナノとマクロをつなぐ物質・デバイス・システム創製戦略プロジェクト成果報告会, Mar. 2011.</li> <li>2. 高谷剛志, 向川康博, 松下康之, 八木康史, "多重重み付け計測による反射光と散乱光の分解", 情処研報 CVIM 177-12, May 2011.</li> <li>3. 長原一, "符号化撮像の原理とその応用・実装", 第 17 回画像センシングシンポジウム (SSII2011), オーガナイズドセッション O2, June 2011.※</li> </ol>  |

|  |  |
|--|--|
|  | <p>4. 向川康博, “カメラとオプティクスの組合せによる多機能センシング”, 第 17 回画像センシングシンポジウム(SSII2011), オーガナイズドセッション O2, June 2011.</p> <p>5. Joon-Young Lee, Boxin Shi, Yasuyuki Matsushita, In-So Kweon, Katsushi Ikeuchi, “Radiometric Calibration by Transform Invariant Low-rank Structure”, Proc. IEEE CVPR2011, June 2011. ※</p> <p>6. Rei Kawakami, John Wright, Yu-Wing Tai, Yasuyuki Matsushita, Moshe Ben-Ezra, Katsushi Ikeuchi, “High-resolution Hyperspectral Imaging via Matrix Factorization”, Proc. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR2011), June 2011. ※</p> <p>7. T.Morimoto, R.Tan, R.Kawakami, and K.Ikeuchi, “Accuracy of the Spider Model in Decomposing Layered Surfaces”, Proc. IEEE Workshop on Color and Photometry in Computer Vision, July 2011. ※</p> <p>8. 小林由枝, 川上玲, 池内克史, “対数空間における基底関数の線形従属性と推定精度の検証”, 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2011), IS3-4, July 2011. ※</p> <p>9. 井下智加, 向川康博, 松下康之, 八木康史, “単一散乱からの半透明物体の形状推定”, 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2011), OS4-4, July 2011.</p> <p>10. 高谷剛志, 向川康博, 松下康之, 八木康史, “多重重み付け計測による反射・散乱光の分解”, 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2011), IS3-25, July 2011.</p> <p>11. T. Mashita, Y. Mukaigawa, Y. Yagi, “Measuring and Modeling of Multi-layered Subsurface Scattering for Human Skin”, HCI International 2011, Organized Session, July 2011.</p> <p>12. 森口翔生, 向川康博, 八木康史, “光伝播の解析による散乱媒体の内部推定”, 大阪大学産業科学研究所第 67 回講演会, Nov.2011.</p> <p>13. 向川康博, “反射鏡を用いた多機能イメージング”, 日本色彩学会視覚情報基礎研究会, 第 10 回研究発表会, Dec.2011.</p> <p>14. Y.Mukaigawa, “Multi-functional imaging systems using concave reflector”, The 15th SANKEN International Symposium, Jan. 2012.</p> <p>15. 青砥隆仁, 武富貴史, 佐藤智和, 横矢直和, “中空透明球体上の鏡面反射光を用いた近接光源位置の推定”, 情処研報 CVIM 180-11, Jan. 2012. ※</p> <p>16. 森口翔生, 向川康博, 松下康之, 八木康史, “光伝播の解析による散乱媒体中の遮蔽物分布推定”, 情処研報 CVIM 180-36, Jan. 2012.</p> <p>17. 北浦真樹, 大倉史生, 神原誠之, 横矢直和, “明度分布と空間的分布が二分される HDR 画像のためのトーンマッピング”, 電子情報通信学会 技術研究報告, MVE 2011-74, Jan. 2012. ※</p> <p>18. 向川康博, “視覚センサを用いたシーン理解のための表面下散乱のモデル化”, 第 11 回人工知能研究成果発表会, Mar. 2012. ※</p> <p>19. 井下智加, 向川康博, 八木康史, “単一散乱強度に基づく半透明物体の表面形状推定”, 附置研究所間アライアンスによるナノとマクロをつなぐ物質・デバイス・システム創製戦略プロジェクト成果報告会, Apr. 2012. ※</p> <p>20. 田中賢一郎, 向川康博, 八木康史, “平行高周波照明による透過光の抽出”, 情処研報 CVIM 182-5, May 2012.</p> <p>21. 園田聡葵, 長原一, 谷口倫一郎, “能動絞りカメラによるモーションブラーの速度不変符号化”, 情処研報 CVIM 182-7, May 2012. ※</p> <p>22. T.Sonoda, H.Nagahara, R.Taniguchi, “Motion-Invariant Coding Using a Programmable Aperture Camera”, Proc. CVPR2012 Workshop for Computational Cameras and Displays, June 2012. ※</p> <p>23. 森本哲郎, 小林由枝, 朽津信明, 池田朋生, 大庭敏男, 池内克史, “田代太田古墳における近赤外分光画像を用いた壁画解析”, 日本文化財科学会大会研究発表要旨集, 29 巻, pp.366-367, June 2012. ※</p> <p>24. 園田聡葵, 長原一, 谷口倫一郎, “能動絞りカメラによるモーションブラーの速度不変符号化”, 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2012), OS1-02, Aug. 2012. ※</p> <p>25. 青砥隆仁, 武富貴史, 佐藤智和, 向川康博, 横矢直和, “中空透明球体上の鏡面反射光を用いた近接点光源位置の推定”, 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2012), OS7-01, Aug. 2012.</p> |
|--|--|



|   |
|---|
| <p>26. 田中賢一郎, 向川康博, 八木康史, “平行高周波照明による透視画像の鮮明化”, 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2012), OS10-02, Aug. 2012.</p> <p>27. 井下智加, 向川康博, 八木康史, “単一散乱強度に基づく半透明物体の形状と散乱特性の同時推定”, 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2012), OS10-01, Aug. 2012.</p> <p>28. 高谷剛志, 向川康博, 八木康史, “多波長画像を用いた照度差ステレオ法の精度向上”, 情処研報 CVIM 183, Sep. 2012.</p> <p>29. T.Sonoda, H.Nagahara, R.Taniguchi, “Motion Blur Coding with Virtual Camera Motion”, Proc. Joint Worksho on Machine Perception and Robotics, Oct.2012. ※</p> <p>30. C.Inoshita, Y.Mukaigawa, Y.Matsushita and Y.Yagi, “Shape from Single Scattering for Translucent Objects”, Proc. ECCV2012, Oct. 2012.</p> <p>31. S. Tagawa, Y. Mukaigawa and Y. Yagi, “8-D Reflectance Field for Computational Photography”, Proc. IAPR ICPR2012, Nov. 2012.</p> <p>32. T. Aoto, T. Taketomi, T. Sato, Y. Mukaigawa and N. Yokoya, “Position Estimation of Near Point Light Sources using Clear Hollow Sphere”, Proc. IAPR ICPR2012, Nov. 2012.</p> <p>33. T.Sonoda, H.Nagahara, R.Taniguchi, “Motion-Invariant Coding Using a Programmable Aperture Camera”, Proc. ACCV2012, pp.379-391, Nov. 2012. ※</p> <p>34. K. Tanaka, Y. Mukaigawa, Y. Matsushita, Y. Yagi, “Sharpening Transmissive Images using Parallel High-frequency Illumination”, The 7th International Workshop on Robust Computer Vision, Jan. 2013.</p> <p>35. S. Tagawa, Y. Mukaigawa, Y. Matsushita, Y. Yagi, “Computation of 8-D Reflectance Field for Imaging”, The 7th International Workshop on Robust Computer Vision, Jan. 2013.</p> <p>36. C. Inoshita, Y. Mukaigawa, Y. Matsushita, Y. Yagi, “Shape Estimation based on Attenuation of Single Scattering for Translucent Objects”, The 7th International Workshop on Robust Computer Vision, Jan. 2013.</p> <p>37. T. Morimoto, R. T. Tan, R. Kawakami, Y. Mukaigawa, K. Ikeuchi, “Accuracy of the Spider model and its Applications”, The 7th International Workshop on Robust Computer Vision, Jan. 2013.</p> <p>38. T. Takatani, Y. Mukaigawa, Y. Matsushita, Y. Yagi, “Multiple Weighted Measurements for Decomposition of Photometric Components”, The 7th International Workshop on Robust Computer Vision, Jan. 2013.</p> <p>39. Y. Kobayashi, T. Morimoto, I. Sato, Y. Mukaigawa, K. Ikeuchi, “Image based BRDF Estimation of Thin Film Interference”, The 7th International Workshop on Robust Computer Vision, Jan. 2013.</p> <p>40. K.Tanaka, Y.Mukaigawa, Y.Matsushita, Y.Yagi, “Descattering of Transmissive Image using Parallel High-frequency Illumination”, A Joint Workshop of Osaka-Univ. and Peking-Univ. Groups, Mar. 2013.</p> <p>41. 向川康博, 田中賢一郎, 松下康之, 八木康史, “透視画像の鮮明化のための平行高周波照明システムの開発”, 附置研究所間アライアンスによるナノとマクロをつなぐ物質・デバイス・システム創製戦略プロジェクト成果報告会, Apr. 2013. ※</p> <p>42. K.Tanaka, Y.Mukaigawa, Y.Matsushita, Y.Yagi, “Descattering of Transmissive Observation using Parallel High-frequency Illumination”, Proc. IEEE International Conference on Computational Photography (ICCP2013), Apr. 2013.</p> <p>43. S.Tagawa, Y.Mukaigawa, Y.Yagi, “Measurement and Computation Techniques for 8-D Reflectance Field”, 情処研報 CVIM 187, May 2013. ※</p> <p>44. 松村隆弘, 向川康博, 松下康之, 八木康史, “多波長スペックル相関を用いた層構造の深さ推定”, 情処研報 CVIM 187, May 2013. ※</p> <p>45. T.Takatani, Y.Matsushita, S.Lin, Y.Mukaigawa, Y.Yagi, “Enhanced Photometric Stereo with Multispectral Images”, Proc. IAPR International Conference on Machine Vision Applications (MVA2013), May. 2013.</p> <p>46. Y.Ishii, T.Arai, Y.Mukaigawa, J.Tagawa, Y.Yagi, “Scattering Tomography by Monte Carlo Voting”, Proc. IAPR International Conference on Machine Vision Applications (MVA2013), May. 2013.</p> |
|---|

|  |  |
|--|--|
|  | 47. S.You, R.T.Tan, R.Kawakami, K.Ikeuchi, "Robust and Fast Motion Estimation for Video Completion", Proc. IAPR International Conference on Machine Vision Applications (MVA2013), May. 2013. ※  |
|  | 48. S.You, R.Kawakami, R.T.Tan, K.Ikeuchi, "Adherent Raindrop Detection and Removal in Video", Proc. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR2013), June 2013. ※   |
|  | 49. 青砥隆仁, 佐藤智和, 向川康博, 横矢直和, "拡散反射板上で観測される放射輝度を用いた4次元ライトフィールドの校正", 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2013), SS5-21, Aug. 2013.   |
|  | 50. K.Inose, S.Shimizu, R.Kawakami, Y.Mukaigawa, K.Ikeuchi, "Refining Outdoor Photometric Stereo based on Sky Model", 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2013), Aug. 2013.   |
|  | 51. K.Suzuki, H.Zhao, R.Kawakami, K.Ikeuchi, "Diffuse Reflectance Estimation Based on Sky Appearance in an LDR Outdoor Image", 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2013), Aug. 2013. ※  |
|  | 52. 田中賢一郎, 向川康博, 松下康之, 八木康史, "平行高周波照明における周波数の適応的選択", 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2013), SS2-33, Aug. 2013.  |
|  | 53. S.Tagawa, Y.Mukaigawa, Y.Yagi, "Multiple Focal Planes using Light Field Camera", 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2013), SS3-26, Aug. 2013.  |
|  | 54. C.Inoshita, S.Tagawa, M.A.Mannan, Y.Mukaigawa, Y.Yagi, "Full-dimensional Sampling and Analysis of BSSRDF", 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2013), Aug. 2013.  |
|  | 55. 小林由枝, 森本哲郎, 佐藤いまり, 向川康博, 池内克史, "薄膜干渉の画像ベース BRDF 推定", 情処研報 CVIM 188-34, Sep. 2013.  |
|  | 56. Y.Mukaigawa, K.Tanaka, Y.Matsushita, Y.Yagi, "NIR Parallel High-frequency Illumination for Descattering", Project meeting of G3 alliance, Oct. 2013. ※   |
|  | 57. 田中賢一郎, 向川康博, 松下康之, 八木康史, "平行高周波照明による透過光と散乱光の分離", 大阪大学産業科学研究所第69回講演会, Nov. 2013. ※  |
|  | 58. 井下智加, 向川康博, 八木康史, "8次元 BSSRDF サンプリングによる物体中の散乱光解析", IT 連携フォーラム 第25回 OACIS シンポジウム, Nov. 2013.  |
|  | 59. T.Aoto, T.Sato, Y.Mukaigawa, N.Yokoya, "Linear estimation of 4-D illumination light field from diffuse reflections", Proc. IAPR Asian Conference on Pattern Recognition (ACPR2013), Nov. 2013.                                       |
|  | 60. Y.Kobayashi, T.Morimoto, I.Sato, Y.Mukaigawa, K.Ikeuchi, "BRDF Estimation of the Structural Color Object by Using Hyper Spectral Image", Proc. ICCV workshop of Color and Photometry in Computer Vision (CPCV2013), Dec. 2013.       |
|  | 61. T.Tamaki, B.Yuan, B.Raytchev, K.Kaneda, Y.Mukaigawa, "Multiple-scattering Optical Tomography with Layered Material", The 9th International Conference on Signal-Image Technology and Internet-Based Systems (SITIS 2013), Dec. 2013. |
|  | 62. K.Tanaka, Y.Mukaigawa, Y.Matsushita, Y.Yagi, "Descattering Transmissive Images of Living Body using Parallel High Frequency Illumination", The 8th International Workshop on Robust Computer Vision, (IWRCV2014), Jan. 2014.         |
|  | 63. Md. A. Mannan, S. Tagawa, Y. Mukaigawa, H. Nagahara, T. Tamaki, Y. Matsushita, Y. Yagi, "Depth Estimation in Unknown Scattering Media by Light Transport Refocusing", The 17th SANKEN International Symposium 2014, Jan. 2014.       |
|  | 64. Y.Kobayashi, T.Morimoto, I.Sato, Y.Mukaigawa, K.Ikeuchi, "Hyper Spectrum Image based BRDF Estimation of Thin Film Interference", The 8th International Workshop on Robust Computer Vision, (IWRCV2014), Jan. 2014. ※                 |
|  | 65. C.Inoshita, S.Tagawa, Md. A. Mannan, Y.Mukaigawa, Y.Yagi, "Measurement and analysis of full-dimensional BSSRDF", The 8th International Workshop on Robust Computer Vision, (IWRCV2014), Jan. 2014.                                   |
|  | 66. Y.Ishii, T.Arai, Y.Mukaigawa, J.Tagawa, Y.Yagi, "Scattering Tomography by Monte Carlo Voting", The 8th International Workshop on Robust Computer Vision (IWRCV2014), Jan. 2014.  |

|   |   |
|---|---|
|   | <p>67. 井下智加, 田川聖一, エムディ アブドウル マンナン, 向川康博, 八木康史, “8次元 BSSRDF 計測による表面下散乱の解析”, 第7回 質感脳情報学 領域班会議, Feb. 2014. ※</p> <p>68. 小林由枝, 森本哲郎, 佐藤いまり, 向川康博, 池内克史, “ハイパースペクトル画像を用いた単層膜の BRDF 推定”, 情処研報 CVIM 191, Mar. 2014.</p> <p><b>一般向け 計2件</b></p> <p>1. 田中賢一郎, 向川康博, 松下康之, 八木康史, “平行高周波照明による透過光と散乱光の分離”, FIRST シンポジウム「科学技術が拓く 2030 年」へのシナリオ, Feb. 2014.</p> <p>2. 向川康博, “光線空間の計測と解析”, 日本情報技術センターセミナー, 東京, Mar. 2013.</p>   |
| <p><b>図書</b></p> <p>計1件</p>                     | <p>1. 向川康博, コンピュータビジョン最先端ガイド4, アドコム・メディア, 八木康史, 斉藤英雄編, 総ページ 156, うち 第5章「反射・散乱の計測とモデル化」pp.121-150 を担当. ISBN978-4-915851-43-8, Dec. 2011.</p>   |
| <p><b>産業財産権<br/>出願・取得<br/>状況</b></p> <p>計1件</p> | <p>(取得済み) 計0件</p> <p>(出願中) 計1件</p> <p>石井育規, 新井稔也, 向川康博, 八木康史, 光吸収物体推定装置及びその方法, 特許出願 2013-146966 (2013/7/12), 特許公開 2014-055939 (2014/3/27).※</p>   |
| <p><b>Webページ<br/>(URL)</b></p>                  | <p><b>研究課題: コンピュータショナルフォトグラフィによる安全な人体内部3次元構造の可視化</b><br/> <a href="http://omilab.naist.jp/~mukaigawa/saisentan2010/">http://omilab.naist.jp/~mukaigawa/saisentan2010/</a><br/> <b>研究代表者:</b><br/> <a href="http://omilab.naist.jp/~mukaigawa/index-jp.html">http://omilab.naist.jp/~mukaigawa/index-jp.html</a></p>   |
| <p><b>国民との科学・技術対話の実施状況</b></p>                  | <p><b>奈良先端科学技術大学院大学「受験生のためのオープンキャンパス」※</b><br/>         日時: 2014/3/8<br/>         場所: 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科<br/>         対象者: 大学生、高専生<br/>         参加者: 約50名<br/>         内容: 研究室を一般公開し、本プロジェクトを紹介するとともに、楕円体鏡を用いた反射特性の計測システムや近赤外光を用いた透視画像撮影の技術を解説・実演した。</p> <p><b>大阪大学「いちよう祭」</b><br/>         日時: 2013/5/3<br/>         場所: 大阪大学 産業科学研究所<br/>         対象者: 近隣の一般人、大学生、高校生、研究者等<br/>         参加者数: 約50名<br/>         内容: 本プロジェクトの目的や意義を直感的に理解してもらうために、本プロジェクトに関連の深い撮影技術の例として、近赤外光を用いた透視画像撮影や、光伝播から散乱体内部を推定する技術を解説・実演した。</p> <p><b>大阪大学産業科学研究所 ものづくり教室</b><br/>         日時: 2013/8/7<br/>         場所: 大阪大学 産業科学研究所<br/>         対象者: 小中学生、父兄<br/>         参加者数: 約40名<br/>         内容: 本プロジェクトの基礎となる撮影の原理を、「未来を担うみなさんへ ～コンピュータビジョン研究の紹介～」と題して講演し、新しい撮影技法を紹介すると共に、目の前でデモを実演し、直感的に体験してもらった。</p> <p><b>大阪大学「いちよう祭」</b><br/>         日時: 2012/5/1<br/>         場所: 大阪大学産業科学研究所<br/>         対象者: 近隣の一般人、大学生、高校生、研究者等<br/>         参加者数: 約50名<br/>         内容: 本プロジェクトの目的や意義を直感的に理解してもらうために、本プロジェクトに関連の深い撮影技術の例として、近赤外光を用いた透視画像撮影や、光線空間カメラを用いた被写界深</p> |

|                      |  |
|----------------------|--|
|                      | <p>度の制御法を解説・実演した。</p> <p><b>大阪大学基礎工学部「オープンキャンパス」</b><br/>         日時: 2012/8/10<br/>         場所: 大阪大学基礎工学部<br/>         対象者: 高校生、引率教員、高校生の父兄<br/>         参加者数: 約120名<br/>         内容: 本プロジェクトの基礎となる光線の記録について、その理論背景を説明すると共に、実際に25個のカメラカメラアレイを用いた撮像システムを用いて、フォーカスを変えるデモを実演し、カメラが撮影する画像は光線の演算で表現できる原理を直感的に体験してもらった。</p> <p><b>大阪大学 サイエンス・カフェ</b><br/>         日時: 2013/3/21<br/>         場所: 大阪大学 中之島センター<br/>         対象者: 一般人<br/>         参加者数: 約40名<br/>         内容: 本プロジェクトの基礎となる撮影の原理を、「計算機の演算で見えないものを見るカメラに鏡を組み合わせると」と題して講演し、新しい撮影技法を紹介すると共に、実際に多面体鏡を手にとってもらい、どのように反射するのかを直感的に体験してもらった。</p> <p><b>大阪大学基礎工学部「オープンキャンパス」</b><br/>         日時: 2011/8/17<br/>         場所: 大阪大学基礎工学部<br/>         対象者: 高校生、引率教員、高校生の父兄<br/>         参加者数: 約120名<br/>         内容: 本プロジェクトの基礎となる撮影の原理を、「カメラに鏡を組み合わせると」と題して概説するとともに、実際に様々な凸面鏡・凹面鏡・多面体鏡を手にとってもらい、どのように反射するのかを直感的に体験してもらった。</p> <p><b>大阪大学「いちよう祭」</b><br/>         日時: 2011/5/2<br/>         場所: 大阪大学産業科学研究所<br/>         対象者: 近隣の一般人、大学生、高校生、研究者等<br/>         参加者数: 約60名<br/>         内容: 本プロジェクトの目的や意義をわかりやすく説明するとともに、その原理を直感的に理解してもらうために、本プロジェクトに関連の深い撮影技術の例として、表面で反射する光と物体内部に到達する光を分けて観察することができる「高周波照明」と、特定奥行きのみを鮮明に可視化できる「高周波合焦投影」の実演を行い、その効果を紹介した。</p> |
| <p>新聞・一般雑誌等掲載計1件</p> | <p>1. 「透ける紙」「透ける画像」を開発！, 先端人 Tomorrow's Pioneers: 総長と若手研究者との対話, 大阪大学 News Letter, No.60, pp.1-4, June 2013.</p>  |
| <p>その他</p>           |  |

※印の項目は実績報告書には未記載。

## 7. その他特記事項

本研究課題に関する研究において以下の賞を受賞している。

### 卒論セッション優秀賞

池本祥, “表面下の微粒子構造を考慮した多重法線反射モデルの提案”, 情報処理学会 CVIM 研究会, 2014/5/16.

## 様式21

### Poster Award

Md. A. Mannan, S. Tagawa, Y. Mukaigawa, H. Nagahara, T. Tamaki, Y. Matsushita, Y. Yagi, "Depth Estimation in Unknown Scattering Media by Light Transport Refocusing", The 17th SANKEN International Symposium 2014, 2014/1/22.

### 大阪大学総長顕彰賞(研究部門)

向川康博, 2013/8/2.

### 第16回 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2013) MIRU フロンティア賞

C.Inoshita, S.Tagawa, M.A.Mannan, Y.Mukaigawa, Y.Yagi, "Full-dimensional Sampling and Analysis of BSSRDF", 2013/8/1.

### 卒論セッション優秀賞

松村隆弘, 多波長スペックル相関を用いた層構造の深さ推定, 情報処理学会 CVIM 研究会, 2013/5/31.

### Best Poster Award

Y.Ishii, T.Arai, Y.Mukaigawa, J.Tagawa, Y.Yagi, "Scattering Tomography by Monte Carlo Voting", The IAPR International Conference on Machine Vision Applications (MVA2013), 2013/5/22.

### Honorable Mention

K.Tanaka, Y.Mukaigawa, Y.Matsushita, Y.Yagi, "Descattering of Transmissive Observation using Parallel High-frequency Illumination", The IEEE International Conference on Computational Photography (ICCP2013), 2013/4/20.

### Best Poster Award

T. Takatani, Y. Mukaigawa, Y. Matsushita, Y. Yagi, "Multiple Weighted Measurements for Decomposition of Photometric Components", The 7th International Workshop on Robust Computer Vision, 2013/1/5.

### 大阪大学総長奨励賞(研究部門)

向川康博, 2012/8/1.

### 大阪大学総長による表彰

向川康博, 2012/5/23.

### 情報処理学会 2011 年度山下記念研究賞

向川康博, "反射・散乱の計測とモデル化", 2010-CVIM-172, 2012/3/7.

### Outstanding Paper Award

Y.Mukaigawa, K.Sumino, Y.Yagi, "Rapid BRDF Measurement using an Ellipsoidal Mirror and a Projector", IPSJ Transactions on Computer Vision and Applications, 2011/6/2.

### 卒論セッション最優秀賞

高谷剛志, "多重重み付け計測による反射光と散乱光の分解", 情報処理学会 CVIM 研究会, 2011/5/20.