



# 光学シースルー型大域反射成分観察スコープにおける 投影パタンの検討

A Study on Projection Pattern in Optical See-Through Scope for Observing Global Reflectance Component

牧田整明<sup>1)</sup>, 岩井大輔<sup>1)</sup>, 佐藤宏介<sup>1)</sup>

Yoshiaki MAKITA, Daisuke IWAI, and Kosuke SATO

1) 大阪大学 大学院基礎工学研究科 (〒 560-8531 大阪府豊中市待兼山町 1-3, makita@sens.sys.es.osaka-u.ac.jp)

**概要:** 照明光の物体表面での反射が、その物体の見えを決定する。反射光を、一次反射である直接反射成分と、それ以外の表面下散乱等の大域反射成分に分離することは、物体の質感の解析に有用であることが知られている。本研究では、高周波パターン投影と反射型液晶パネルを用いた空間遮蔽を組み合わせて、大域反射成分のみを選択的に肉眼で観察できる光学シースルー型デバイスを構築し、投影パターンに応じた分離性能を調査した。

**キーワード:** 二色性反射モデル, 直接・大域反射成分分離, 接眼光学系

## 1. はじめに

観測される反射光は一次反射である直接(反射)成分と、それ以外の大域(反射)成分に分離することができる(図1)。直接成分とは、光源から出た光が物体の表面で反射し、再度ほかの物体の表面で反射することなく、目に入射する反射成分のことである。一方大域成分とは、光源に照らされた物体の反射光によって、間接的に照らされることにより生じる反射光成分のことで、相互反射や表面下散乱が大域成分に含まれる。これらの成分を分離することは、物体の質感の解析に有用であることが知られている。また、大域成分のみの計測による絵画の下書き層の可視化[1]や肌の血管走向の明瞭化[2]など、様々な分野へと応用する研究が進められている。しかし、現在提案されている成分分離の手法では、分離対象を複数回撮影し、大域成分のみが映りこんでいる領域を抽出し、デジタル合成することで成分分離を行っており、人が肉眼で直接的に反射光を観察することはできていない[3, 4, 5]。

これまで我々は、空間高周波パターン投影と反射型液晶パネルを用いた空間遮蔽を組み合わせて、大域反射成分のみを光学的に分離し、裸眼で観察できる光学シースルー型デバイスを構築してきた[6]。本研究では、構築したデバイスにおいて投影パターンに応じた分離性能を調査する。

## 2. 高周波パターン光を用いた成分分離

Nayarらは空間的に高周波のパターン光(チェッカパターン)を投影することで、静的シーンにおける反射光を直接成分と大域成分に分離する手法を提案した[3]。プロジェクタから高周波のパターン光をシーンに投影すると、直接照らされている明部と照らされていない暗部が生じる。この明部からの反射光には、光源に直接照らされることにより生じる

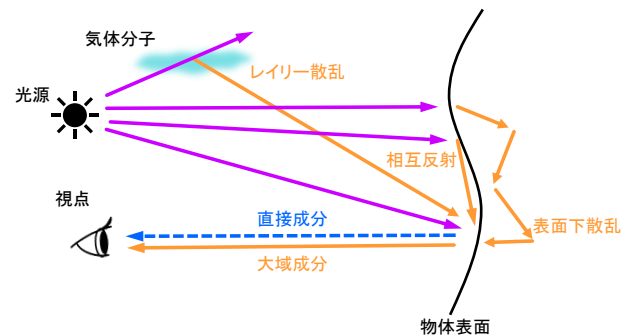


図 1: 直接成分と大域成分の概念図

直接成分と他の照らされた領域からの反射光により生じる大域成分が含まれている。一方暗部は、明部からの反射光だけが暗部を照らしているため、大域反射成分しか含まれていない。そのため、暗部の領域のみを観測することで大域成分のみを観測することができる。

理論的には高周波の白黒チェッカパターンとその逆位相のパターン光を投影することでシーン全体のグローバル成分を求めることができる。しかし、焦点ぼけやプロジェクタ内部での光漏れにより、投影チェッカパターンの黒色部の照度は一定とならない。このため、上記の2パターンのみでは、大域成分のみを正確に分離できない。本研究では、Nayarら[3]の手法にならない、位相を細かくずらして生成した3種以上の投影パターンを用いることで、この問題に対処する。

投影されるパターン光の周波数が十分高くない場合には、局所的に生じる表面下散乱等の大域成分を抽出できないため、投影チェッカパターンの周波数は高ければ高いほうが良いと考えられる。本研究では、構築したデバイスにおいて様々な

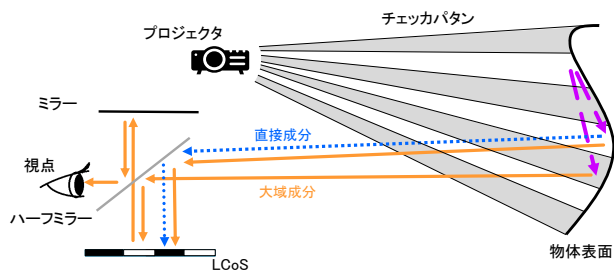


図 2: 提案デバイスの外観図

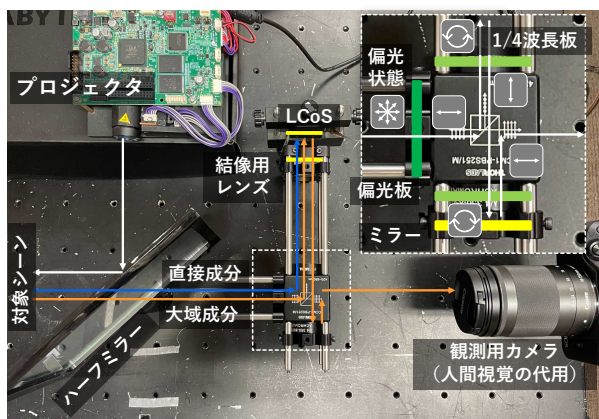


図 3: 提案デバイスの外観図

周波数のチェッカパタンを投影し、それぞれの分離性能を調査した。

### 3. 提案システム

提案システムではパタン照射面からの反射光から直接成分を遮蔽する光学素子として LCoS (Liquid Crystal on Silicon) を動的なマスクとして用いた。大域成分しか含まれていない、プロジェクタ投影画像の暗部に対応する部分のみを視点方向へと反射させることによって、大域成分のみが視点側に届く (図 2)。そして、プロジェクタと LCoS の高周波のチェッカパタンを同期させ、チェッカパタンの位相を人の融合周波数よりも高速でシフトさせる。これにより観察者が、チェッカパタンを知覚せずに、大域成分のみのシーンを観察することが可能となる。

プロジェクタと LCoS の対応関係は、視点位置に配置されたカメラと空間コード化法の一つであるグレイコードパタン投影法を用いることで求める。まず、プロジェクタからグレイコードパタンを投影面に投影し、投影面からの反射光を LCoS ですべて視点側へと反射させ、カメラで投影面を撮影する。このカメラに映り込んだパタンをデコードすることにより、プロジェクタとカメラの座標の対応関係を求める。次に、プロジェクタから単一白色画像を投影面に投影し、LCoS ではグレイコードパタンを表示する。このグレイコードパタンをカメラで撮影し、デコードすることにより、LCoS とカメラの対応関係を求める。そして、カメラ

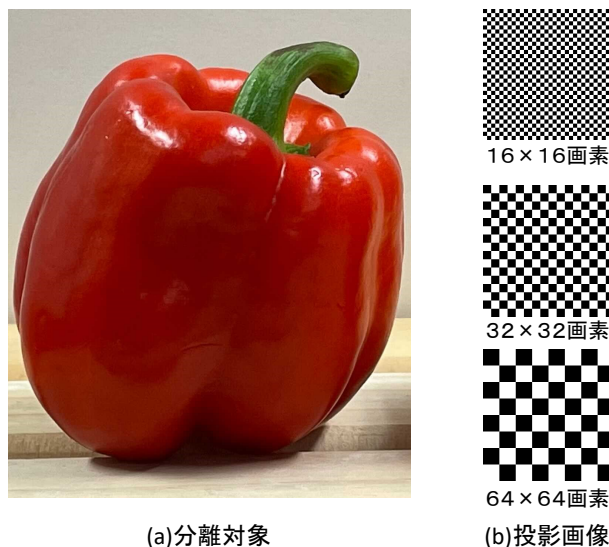


図 4: 実験条件

座標を介することにより、プロジェクタの画素に対応する LCoS の画素を求める。

提案システムの外観図を図 3 に示す。プロジェクタから投影されたパタン光はハーフミラー上で反射し、分離対象へと投影される。分離対象から反射した光はハーフミラーを通過し偏光板によって s 波へと偏光され、偏光ハーフミラーによって LCoS 側へと反射し、波長板とレンズを通り、LCoS に達する。そして、LCoS に到達した光のうち大域成分のみが反射され、波長板とレンズを再度通過し偏光ハーフミラーへと入射する。偏光ハーフミラーと LCoS 間で二度波長板を通過することにより s 波から p 波に変換された光は、偏光ハーフミラーを通過し、波長板を通りミラーに到達する。その後、反射した光は再度波長板を通ることで s 波へと変換され、偏光ハーフミラーで反射されることで視点側へと到達する。

### 4. 提案システムの評価実験

#### 4.1 目的と実験条件

本実験では、提案システムを用いることで成分分離を行えるかを確認し、チェッカパタンのグリッドサイズに応じた分離性能を調査することを目的とする。評価は、成分分離前のシーンと、提案システムによって得られた投影パタンごとのシーンを比較することで行う。また、成分分離を行う対象は市販のパプリカを用いた (図 4(a))。

今回は原理検証のため、チェッカパタンの位相シフトの高速切り替えは行わず、約 0.5Hz と低速で切り替え、露光時間 4 秒でカメラ撮影した。投影するチェッカパタンのグリッドサイズはプロジェクタ画素で 16 × 16 画素、32 × 32 画素、64 × 64 画素を用いた (図 4(b))。また、チェッカパタンの位相のシフト量は水平方向に  $\pi/4$  ずつ、垂直方向に  $\pi/4$  ずつとし、各グリッドサイズごとに計 16 種類のチェッカパタンを投影した。

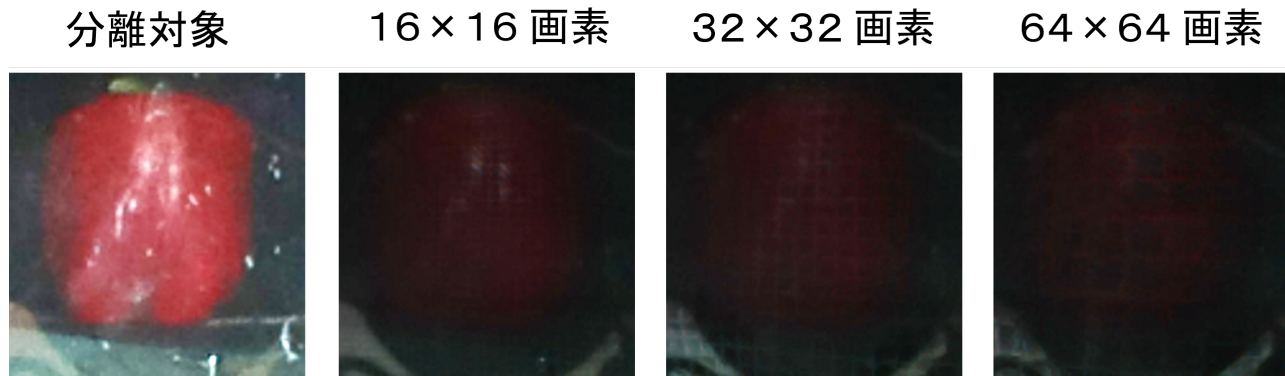


図 5: チェッカパタンのグリッドサイズごとの大域成分を分離した結果

#### 4.2 結果と考察

大域成分の分離結果を図 5 に示す。提案システムによる分離結果と成分分離前の分離対象のシーンを比較すると、パプリカの表面上に見られていた鏡面反射が除去されていることが確認できた。よって、提案システムを用いて成分分離が行えていることが確認できた。

チェッカパタンのグリッドサイズ間の分離結果を比較すると、空間周波数が高いほうが明るいので、局所的な大域成分が得られていると考えられる。一方で直接成分である鏡面反射成分が残ってしまっているため、空間周波数を高めれば高いほど分離性が良いというわけではないようである。LCoS とプロジェクタとの位置合わせがずれている可能性などが考えられ、今後検証を行いたい。

#### 5. おわりに

本実験では、高周波パターンでの遮蔽に反射型液晶パネルを用いることで、光学的に直接反射成分とそれ以外の表面下散乱等の大域反射成分の分離を行い、裸眼で観察できる光学シースルー型デバイスを構築し、実際に成分分離を行えることを確認した。また作成したデバイスを用いて、投影する高周波パタンの空間周波数に応じて局所的な大域成分の抽出性能が影響を受けることを確認できた。一方で、分離結果に直接成分である鏡面反射成分が残留してしまうという課題が残った。今後は直接成分の残留原因を突き詰めていきたい。

#### 参考文献

- [1] 田中賢一郎, 向川康博, 久保尋之, 松下康之, 八木康史. 多重高周波照明による半透明物体内部のスライス可視化. 研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM), 2015, 24, 1-8. 2015.
- [2] Jaehee Park, Ashutosh Sabharwal, and Ashok Veeraraghavan. Direct-global separation for improved imaging photoplethysmography. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, pp. 1375-1384, 2018.

- [3] Shree K Nayar, Gurusundaram Krishnan, Michael D Grossberg, and Ramesh Raskar. Fast separation of direct and global components of a scene using high frequency illumination. In ACM SIGGRAPH Papers, pp. 935-944. 2006.
- [4] Srinivasa G Narasimhan, Sanjeev J Koppal, and Shuntaro Yamazaki. Temporal dithering of illumination for fast active vision. In European Conference on Computer Vision, pp. 830-844, 2008.
- [5] 鳥居杜朗, 岡部孝弘ほか. 動的シーンの分光的な直接・大域成分への分解. 第 79 回全国大会講演論文集, Vol. 2017, No. 1, pp. 133-134, 2017.
- [6] 牧田整明, 岩井大輔, 佐藤宏介. 光学シースルー型大域反射成分観測スコープの構築. 第 65 回システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集 (SCI'21), pp. 958-960, 2021.