

# 正対する放物面鏡を用いた狭被写界深度撮影

西 諒一郎<sup>1,a)</sup> 青砥 隆仁<sup>1</sup> 河合 紀彦<sup>1</sup> 佐藤 智和<sup>1</sup> 向川 康博<sup>1</sup> 横矢 直和<sup>1</sup>

## 1. はじめに

本研究では放物面鏡を用いて極めて浅い被写界深度の撮影を実現する光学システムを提案する。被写界深度を浅くするためには一般的にレンズの開口を広げる必要があるが、物理的に開口数の高いレンズを作成することは困難であるため、仮想的に開口数を広げる様々な方法が提案されている。合成開口法は、複数の視点から撮影した画像を用いて画像処理を行い、特定の奥行きにある撮影対象のみを鮮明に撮影する手法である。このような手法として、複数台のカメラを用いる手法 [1] や、複数枚のミラーを配置し、反射した画像を撮影することで多視点画像を取得する手法 [2] が提案されている。ただし、カメラやミラーの正確な位置合わせが必要となり、またミラーを用いる手法では解像度が下がるという問題がある。本研究では“Mirage” [3] を応用した被写界深度の浅い撮影システムを提案するとともに、撮影対象の位置に依存した PSF(Point Spread Function) を考慮した鮮明化処理を行うことで、正確な位置合わせが不要で解像度が低下しない手法を開発する。

## 2. 撮影装置

本研究で提案する撮影装置の構成を図 1 に示す。2 枚の放物面鏡を正対するように配置し、一方の放物面鏡の焦点に撮像素子を配置、もう一方の放物面鏡の頂点に撮影対象を設置する。放物面鏡は焦点から出た光は平行光として反射し、また、平行光が入射すると焦点に集光されるという特徴を持つため、正対して配置することで一方に置いた撮影対象から出た光は、もう一方の対応する点に集光する。撮影対象から出た光が集光している位置に撮像素子を設置し、撮像素子面上に集光した光を撮影することで特定の奥行きのみを鮮明に可視化する。液晶ディスプレイに用いられる白色 LED バックライトを奥行き方向の平行移動ステージに光源として取り付け、撮影対象をバックライトの上に配置し撮影を行う。撮影装置では、光源からの直接的な光を取り除くために放物面鏡内にマスクを設置する。

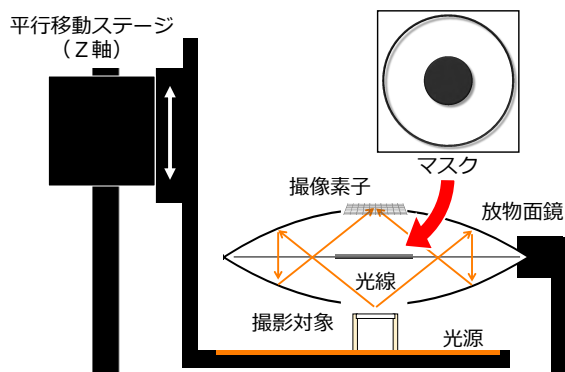


図 1 撮影装置の構成

## 3. 撮影実験

### 3.1 実環境による撮影実験

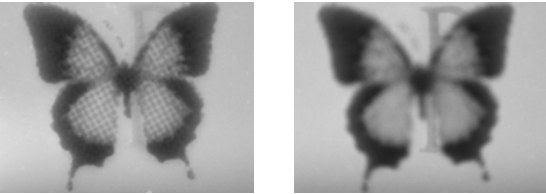
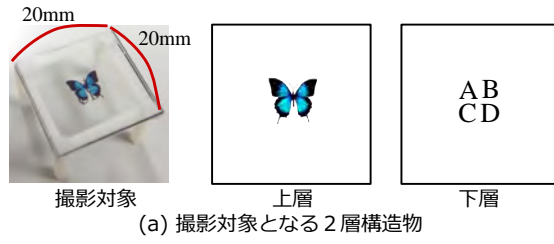
OHP シートに各層の画像を印刷し、1.2mm の間隔をあけて配置した図 2(a) に示す 2 層構造物を撮影対象とした。撮像素子には Point Grey Grasshopper2(1,384×1,036 pixel, Sony ICX285) を用いた。図 2(b) に同様の撮像素子に F0.95 のレンズを取り付けたカメラにより撮影した結果、図 2(c) に提案手法によって撮影した結果を示す。F0.95 のレンズを使用した撮影装置では、上層の画像があまりぼけず下層の画像を撮影することができないが、提案手法では上層の画像が大きくぼけて下層の画像を視認できることが分かる。提案手法は F0.177 相当であるため、通常のレンズでは作成困難な狭被写界深度を実現することができている。

### 3.2 PSF を利用した鮮明化処理

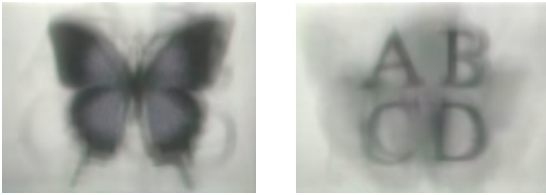
提案システムでは、撮影対象の位置に依存した PSF を用いた鮮明化処理によって、特定の奥行きのみを鮮明に見せることができる。本研究では、放物面鏡のぼけ特性を利用した最適化により鮮明な画像を得られることをシミュレーション環境で確認する。本実験では、作成した装置と同サイズの幅 18.4cm、焦点距離 6.5cm の放物面鏡をシミュレーション環境上で再現した。本実験ではまず、一点から出た光が撮像素子によってどのようにぼけるかを示す PSF を計測する。点光源の位置をカメラに対して水平方向に移動させたときに計測した PSF を図 3、奥行き方向に移動させ

<sup>1</sup> 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科 〒630-0192 奈良県生駒市高山町 8916-5

<sup>a)</sup> nishi.ryoichiro.ne6@is.naist.jp



(b) F=0.95レンズを使用したカメラによる撮影画像



(c) 提案手法による撮影画像

図 2 撮影実験結果

ときに計測した PSF を図 4 に示す。水平方向の移動によって生じるぼけに対して、奥行き方向の移動では少しの移動で大きくぼけることが分かる。

提案する撮影装置では撮影対象の位置により PSF が異なる。撮影対象のある位置  $k$  から出た光線強度  $w_k$  の光が、PSF  $\mathbf{p}_k$  によってぼけて計測されるため、撮影対象を点光源の組み合わせとみなすと撮影画像  $\mathbf{o}$  は以下のように表される。

$$\mathbf{o} = \sum_k w_k \mathbf{p}_k \quad (1)$$

このとき、撮影画像と PSF の情報が既知なので、 $\|\mathbf{o} - \sum_k w_k \mathbf{p}_k\|^2$  が最小となるような撮影対象を推定することで鮮明な各層の画像を取得する。

実験では、図 5(a) に示す 2cm×2cm のテクスチャ 2 層を 0.5mm 間隔で配置し、それぞれの層に合焦した画像を撮影した。図 5(b) に示すように、撮影画像にはもう一方の層のテクスチャが分離されずに残っていることが確認できる。それぞれの層で PSF を計測した結果を用いて、光線強度  $w_k$  は負の値にならないという制約に基づく最適化を行った結果を図 5(c) に示す。図 5(c) より、それぞれの層が鮮明に分離できていることが確認できる。より鮮明な画像を得るために、それぞれの層に焦点を合わせた 2 枚の画像の他に、2 層の中間に合焦させた画像および上層の 0.25mm 上、下層の 0.25mm 下に合焦させた画像を加えて合計 5 枚の画像を利用して最適化を行った結果を図 5(d) に示す。多くの撮影画像を用いることで、それぞれの層による映り込みを軽減できることを確認した。

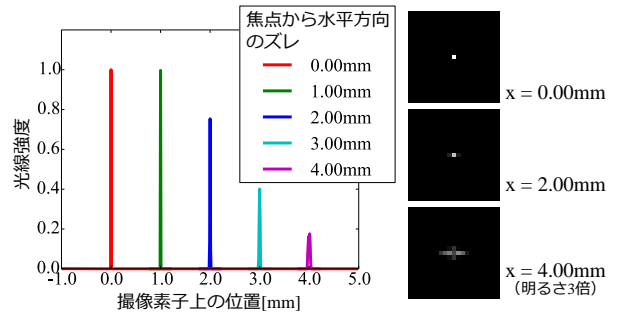


図 3 焦点位置から水平方向に移動したときの PSF の変化

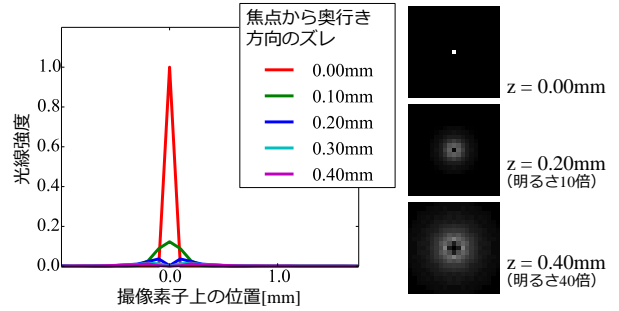


図 4 焦点位置から奥行き方向に移動したときの PSF の変化

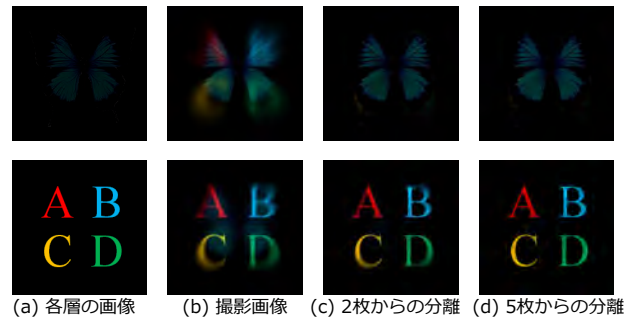


図 5 PSF を用いた各層の分離

#### 4. おわりに

本研究では、正対させた放物面鏡を利用した被写界深度の浅い撮影装置の提案を行った。実験では通常のカメラでは撮影の難しい 2 層構造物体の下層の撮影が可能であることを確認した。また撮影装置のぼけ特性を利用した最適化を行うことで、より鮮明な特定の奥行きだけの画像を得られることをシミュレーション環境で確認した。今後、実際の撮影装置の PSF を取得する方法を開発し、実環境においても鮮明化処理を行う予定である。

#### 参考文献

- [1] V. Vaish, B. Wilburn, N. Joshi, and M. Levoy, "Using plane + parallax for calibrating dense camera arrays," Proc. CVPR, Vol. 1, pp. I-2-I-9, 2004.
- [2] S. Tagawa, Y. Mukaigawa, J. Kim, R. Raskar, Y. Matsushita, and Y. Yagi, "Hemispherical confocal imaging," IPSJ Trans. on CVA, Vol. 3, pp 222-235, 2011.
- [3] S. Adhya, and J. Noé, "A complete ray-trace analysis of the 'Mirage' toy," Proc. SPIE ETOP, pp. 966518-1-966518-7, 2007.