

# マイクロレンズアレイを用いた 文化財非破壊分析用プローブ開発のための先行調査

高木 秀明

## A preliminary survey of development of a probe using micro-lens array for non-destructive analysis in conservation science

Hideaki TAKAGI

### Abstract

A preliminary survey of development of a probe for analysis in rough surfaces of cultural properties was undergone to applicate a micro-lens array (MLA) as a condenser. MLAs have been used in the field of video equipment such as liquid crystal projectors and of lithography in industry of semiconductor. MLAs are also expected to down-size chemical analysis such as lab-on tips techniques. Firstly, written letters on a name card were magnified by MLA and the images were observed with the naked eye. The MLA was placed closed to the name card and matrixes of chrome masks of itself were observed. Secondly, an USB camera was adopted to record results of observations as digital images. In the case of the use an MLA, each micro-lens magnified these letters, respectively and staggered images were obtained. In addition, gone counterclockwise 45-degree MLA showed the images like the right-upward letters. In the case of the use of two MLAs and there was the distance of 5 mm between them, none of these letters were record at the focused position and the matrixes of the chrome masks were record the closed to the name card. To promote the further development need to adopt instruments to precise a distance between two MLAs and to adopt a method of photo-detection quantitatively.

**Key words** : micro-lens array, observation with the naked eye, record by digital still camera  
 キーワード : マイクロレンズアレイ, 目視観察, 画像取得

## 1. はじめに

マイクロレンズアレイ (市販されているものの多くは、直径が100~300 $\mu$ mのレンズが正方配列した

ものである。) は、サブミリメートルの直径をもつレンズが配列され、そのアレイサイズが10mm角程度である。撮像素子や光検出素子と組み合わせることにより、素子ごとにレンズをもたせることができ

るため、撮影後に焦点合わせの画像処理を行うことができる<sup>[1]</sup>。マイクロレンズアレイと似た光学素子でマクロな光学素子としてフライアイレンズがあり、光を均等に照射する機器に利用されている<sup>[2]</sup>。そして同じような目的でマイクロアレイレンズが、映像機器のプロジェクターや半導体工業でのリソグラフィにも利用されている<sup>[3]</sup>。微小な空間で分析化学的な実験を行い、分光学的測定も行えるようになるなど新しい光学素子としても注目されている<sup>[4]</sup>。特に、天文学の分野では、シャッターハルトマン方式の光の波面センサーに採用されている<sup>[5]</sup>。

本著者は、文化財非破壊分析などサンプリングが不可能な固体試料の表面分析を行ってきている。絵画などの文化財の素材分析を行う際、平坦化などの調整が不可能な凹凸のある表面に光を照射し、発生する反射光や蛍光を検出して材料分析を行っている。一定方向に向いた光を取得するため、光の量が検出する機器に対して不足していたり、本来集光すべき光が検出できない方向に向いていたりする場合がある。マイクロレンズアレイを用いてこれらの光を効率よく集光できれば、表面を傷つけるサンプリングなしであるいは短時間でより精度のよい分析ができるのではないかと考えている。

今回、マイクロレンズアレイを1枚もしくは2枚組み合わせて使用し、光の集光効果を目視観察やUSBカメラ<sup>[注1]</sup>による画像の記録を行う先行的な実験結果の考察を行った。

## 2. 実験

### (1) 機器

マイクロレンズアレイは、 $\varnothing 25.4$  mm ( $\varnothing 1$  インチ) マウント (レンズウィンドウの開口部 [9 mm  $\times$  9 mm]) 付きレンズアレイ (アレイサイズ10 mm  $\times$  10 mm  $\times$  1.2 mm)、熔融石英 (300~1100 nm)、クロ

ム製マスク (マイクロレンズ以外の部分の光を遮断する)、円形 (レンズ径146  $\mu$ m) 平凸型マイクロレンズ、Fill Factor (曲線因子74.5%)、正方格子配列、レンズピッチ=150  $\mu$ m、 $f=5.2$  mmの仕様をもつソーラボジャパン製を使用した。

USBカメラは、1/2.5 インチCMOSカメラ (有効画素数2592  $\times$  1944 (500万画素)) L-835 ホーザン製を使用した。

USBカメラのレンズは、L-802+L-819 (作動距離53 mm)、L-802+L-818 (作動距離85 mm) ホーザン製を使用した。

そして、Macbook AirのWindows10環境下にHOZAN USB cam software Ver 2.0をインストールし、静止画を取得した。

### (2) 方法

被写体モデルとして名刺をUSBカメラの作動距離に置き、焦点を合わせその一部を撮影した。マイクロレンズアレイをカメラのレンズの先端から名刺の間を行き来させ、画像がどのように変化するかを観察した。マイクロアレイレンズは、一つのマイクロレンズが平凸レンズの形状をしている。1) マイクロレンズアレイを1枚使用し、被写体側に凸にした状態。2) マイクロレンズアレイを2枚使用し、2枚の間隔は、3 mmの厚さとなるように上質紙を重ね、マウントのレンズウィンドウと同じ寸法にくり抜き、マスキングテープでマウントに固定し5 mmとした。固定する際のレンズの向きは、次のとおり、2-a) 凸側がお互いに外向きになるように、2-b) 凸側がそれぞれ名刺側に向くように、2-c) 凸側が互いに内側に向き合うようにして撮影した。なお、2枚の格子配列は、平行になるようにした。

条件2-a) から2-c) で取得した画像 (図2-a-1 から図2-c-2) は、本著の印刷の都合上、Microsoft Windows 8.1に付属のアプリケーション、

フォトにて明るさ50, コントラスト50に画像補正し、掲載している。

### 3. 結果

#### (1) 目視観察

マイクロレンズアレイを被写体モデルの名刺に近づけ、レンズ越しに目視で観察をしてみたところ、レンズマウントが名刺に接触するところまで近づけるとレンズ内に黒い格子状の模様を確認できた。これは、レンズの直径が146 $\mu\text{m}$ の円形レンズが150 $\mu\text{m}$ のピッチの格子状に整列しており、レンズを除いた部分はクロムマスクされており光が透過しないためである。2枚のマイクロレンズアレイを重ねて観察した。レンズはマウントされているため、マウント表面からレンズ面までは1.5mmの深さがある。重なっている面では、レンズ間が、3mm離れていることになる。2枚重ねると、透過率が低下するため、レンズを通した名刺の白い部分は暗くなった。前章の2-(2)方法の節で述べた、2-a)から2-c)までの3つの条件で、レンズを通して被写体を目視観察したが、方法間で変化は認められなかった。ただし、マイクロレンズが格子状に整列しているため、マイクロレンズアレイを左に45°回転させると像も歪んだ。90°になると格子と平行になるために、回転前と同じになった。

#### (2) USBカメラを用いた画像取得

目視の状態を記録するため、USBカメラを用いて、方法で述べた1)と2)の条件で画像取得した。

##### 1) マイクロレンズアレイを1枚用い、被写体側を凸にして撮影

マイクロレンズアレイをUSBカメラのレンズ(作動距離53.2mm, 視野7.4 $\times$ 5.6mm)に接触した地点から名刺までの間を移動させ、ピントがあった地

点、名刺から約5mm離れた地点、ピントを合わせレンズを左に45°回転させて撮影した。ピントがあった地点では、被写体はモノクロ印刷された黒色の文字であるが、それらの文字の輪郭が回折した画像となった(図1b)。名刺から約5mm離れた画像も大きな差がなかった(図1c)。45°回転させると文字が右上がりとなった画像が得られた(図1d)。

##### 2) マイクロレンズアレイを2枚用いて撮影

目視観察の結果からもレンズを2枚重ねることで光の透過率が低下し、暗い画像となった。マイクロレンズの凸面の3つの組合せ方法による画像取得の結果は以下のとおりとなった。

###### 2-a) 凸側がお互いに外向きになるように重ねた場合

レンズを2枚に組み合わせ、ピントが合う位置で撮影したところ文字の部分がモザイク状になった。先述のマイクロレンズアレイを1枚用いた時は、文字を読むことができたが、今回の場合は、文字を読むことは不可能であった(図2-a-1)。名刺にレンズを密接させた場合(この時は、ピントが合うところとなった。)は、クロムマスクによって光が透過しない部分は黒い点が格子状に現れた(図2-a-2)。文字の判読への影響は、画面全体が暗くなった、黒い点以外はなかった。レンズによる拡大や縮小の効果はほとんど観察されなかった。

###### 2-b) 凸側がそれぞれ名刺側に向くように重ねた場合

組み合わせたレンズをピントの合う位置で撮影した画像(図2-b-1)および名刺に密接させて撮影した画像(図2-b-2)の両者は、それぞれ先の2-a)で得られた画像と大差はなかった。

#### 2-c) 凸側が互いに内側に向き合うように重ねた場合

組み合わせたレンズをピントの合う位置で撮影した画像(図2-c-1)および名刺に密接させて撮影した画像(図2-c-2)の両者は、それぞれ先の2-a), 2-b) で得られた画像と大差はなかった。

## 4. 考察

マイクロレンズアレイ上にあるレンズ1個を平凸レンズとして焦点距離や光路を考慮しながら、格子配列したレンズアレイを通した被写体の像の変化とレンズ配置を検討した。

1枚のマイクロレンズアレイを用いた場合は、被写体の名刺の文字が拡大され、レンズ1個あたり拡大された画像がUSBカメラ上で合わさった像となった。赤・緑・青の輪郭が確認できることから、光の回折や干渉が起こっているものと推測している。マイクロレンズアレイを45°回転させると像も歪むことから、マイクロレンズごとに集光された光がUSBカメラに届いていることも推測される。

2枚のマイクロレンズアレイを重ねた場合、1枚の場合に比べて、像への影響が大きくなった。被写体にレンズを密接した場合は、拡大効果はほとんどなく、マイクロレンズアレイのもつクロムマスクの部分を映し出しており、USBカメラでレンズ部分を拡大したような結果となった。2枚の組合せ方も凸側をお互いに外側向き、凸側が2枚とも被写体向き、凸側がお互いに内向きとしたが、それぞれ得られた

画像に大きな違いが見られなかった。通常サイズのレンズの場合、2枚以上の平凸レンズを使用する場合は、それぞれの焦点距離(今回は2枚とも同じ。)に応じて、レンズ間の距離を一定にし、凸側の向きによって集光効果に違いが見られるが今回は、大きな差が見られなかった。

通常サイズの平凸レンズで見られるような集光効果の変化が観測できなかったため、目視観察やUSBカメラによる観察だけではなく、実験精度を上げるための機器を使用し、光を定量的に検出する方法を考慮するなどの研究を進展させる必要がある。

## 5. まとめ

直径が150 $\mu\text{m}$ の平凸様のレンズが正方配列したマイクロレンズアレイが凹凸のある表面で反射したさまざまな方向に向いた反射光を効率よく集光できる可能性を調査するための基礎実験を行った。具体的には、マイクロレンズ1枚を通して被写体の目視観察およびUSBカメラによる観察、2枚重ねた場合、凸側の方向の組合せごとの観察結果を考察した。

マイクロレンズアレイ1枚を用いた場合、被写体は幾分拡大された像が得られたが、隣り合ったマイクロレンズが拡大した像の重なったような結果となった。2枚重ねて用いた場合は、凸側に関係なく、1枚の時よりも像の確認が困難な重なりの方となった。

集光効果のさらなる検討のため、レンズ間距離の実験精度を向上、光を定量的に検出する方法の検討などが必要となる。

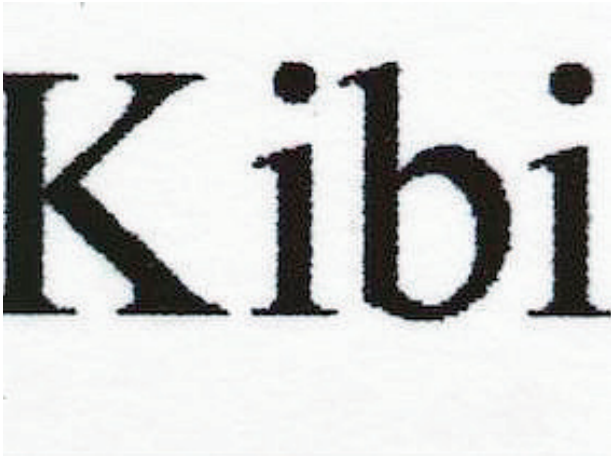


図 1a マイクロレンズアレイ 1 枚を置く前の画像



図 1d USBカメラと名刺の間にピントの合う場所にマイクロレンズアレイを反時計回りに45°回転して置いた時の画像

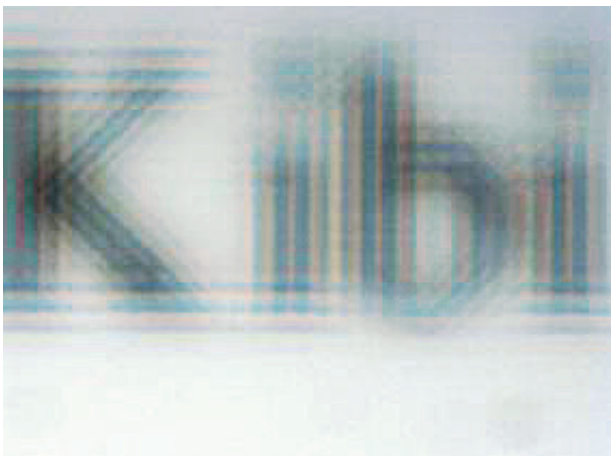


図 1b USBカメラと名刺の間にピントの合う場所にマイクロレンズアレイを置いた時の画像

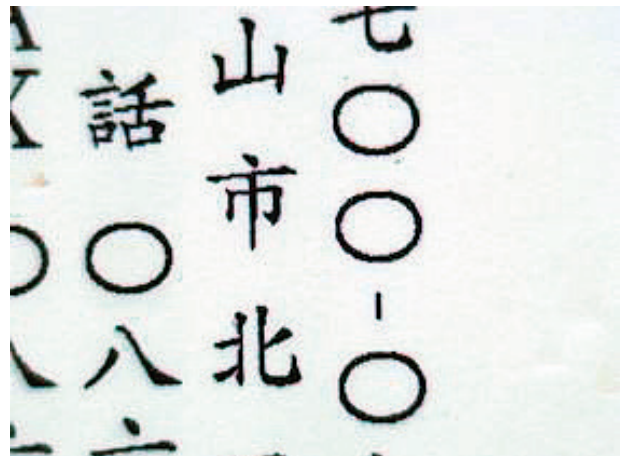


図 2-0 マイクロレンズアレイ 2 枚を置く前の画像



図 1c 名刺から 5mm マイクロレンズアレイを USBカメラ側に離れた時の画像



図 2-a-1 2 枚のマイクロレンズアレイの凸側がお互いに外向きになるように重ね、ピントの合う場所に置いた場合 (明るさ50, コントラスト50に調整後)

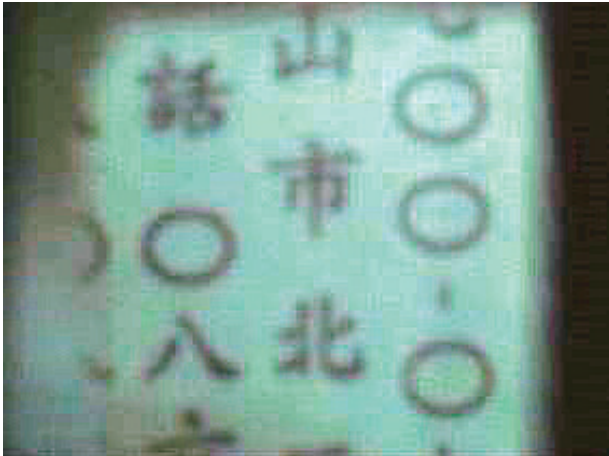


図2-a-2 2枚のマイクロレンズアレイの凸側がお互いに外向きになるように重ね、名刺に密接するように置いた場合 (明るさ50, コントラスト50に調整後)

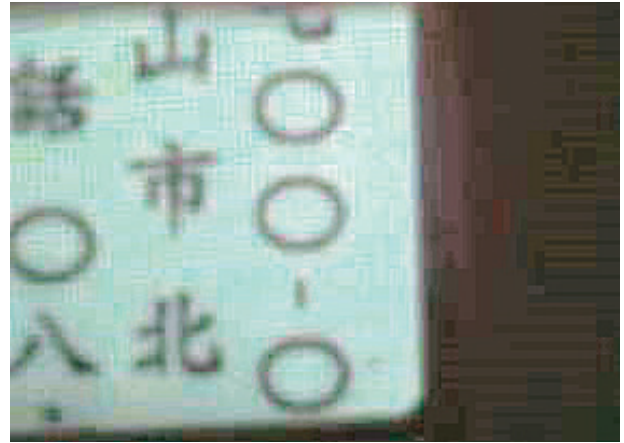


図2-b-2 2枚のマイクロレンズアレイの凸側が両方とも名刺側を向くように重ね、名刺に密接するように置いた場合 (明るさ50, コントラスト50に調整後)



図2-b-1 2枚のマイクロレンズアレイの凸側が両方とも名刺側を向くように重ね、ピントの合う場所に置いた場合 (明るさ50, コントラスト50に調整後)



図2-c-1 2枚のマイクロレンズアレイの凸側が両方ともお互いに内側を向くように重ね、ピントの合う場所に置いた場合 (明るさ50, コントラスト50に調整後)

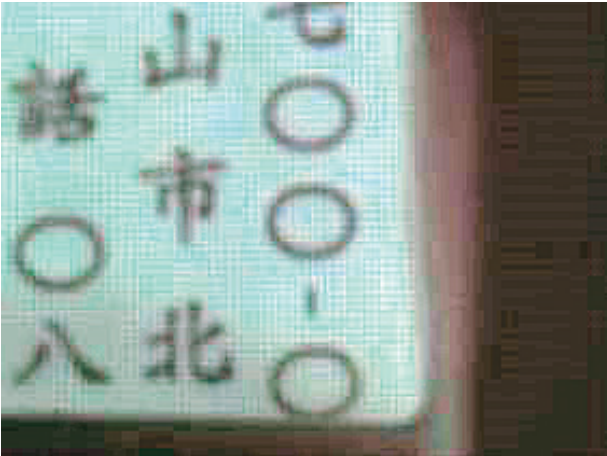


図2-c-2 2枚のマイクロレンズアレイの凸側が両方ともお互いに内側を向くように重ね、名刺に密接するように置いた場合 (明るさ50, コントラスト50に調整後)

## 謝辞

本研究の一部は、平成29年度吉備国際大学共同研究費の補助を受けた。ここに感謝申し上げる。

## 注

[注1] マイクロレンズは、CMOSカメラの受光素子部分にも採用されている場合がある [6]。CMOSカメラのマイクロレンズと間に干渉 (光学でいうところの「光の干渉」の意味ではない) の有無を検討する必要があるが、今回の報告では、目視観察の記録として撮影を行った。画像ファイルをビューワーで観察した結果との間には大きな相違はないと判断している。

## 参考文献

- [1] 小松進一 著 「49. 画像復元と超深度 d. コンピュータショナルフォトグラフィー」 p203 黒田和男・荒木敬介・大木裕史・武田光夫・森伸芳・谷田貝豊彦 編 光学技術の事典 朝倉書店 2014年.
- [2] 中村荘一・藤江大二郎 編 第6章フライアイレンズ, ロッドレンズ P137-143 『レンズ基礎からわかる光学部品』 オプトロニクス社 2015年.
- [3] (a) 西澤紘一 著 「3.2 マイクロオプティクスにおける分布屈折率レンズ b. レンズアレイ, c. 平板マイクロレンズアレイ」 pp.262-264 辻内順平・黒田和男・大木裕史・河田聡・小嶋忠・武田光夫・南節雄・谷田貝豊彦・山本公明 編 最新 光学技術ハンドブック 朝倉書店 2002年.
- (b) 中村荘一・藤江大二郎 編 第4章分布屈折率 P126-127 『レンズ基礎からわかる光学部品』 オプトロニクス社 2015年.
- [4] (a) J. Lim, P. Gruner, M. Konrad, J-C. Baret, Micro-optical lens array for fluorescence detection in droplet-based microfluidics, *Lab Chip*, 2013, **13**, 1472-1475.
- (b) G. Li, K. I. Maslov, L. V. Wang, Reflection-mode multifocal optical-resolution photoacoustic microscopy, *J. Biomed. Opt. Lett.*, 2013, **18** (3), 030501.
- (c) S. Kumar, O. Mudanyali, E. M. Schneider, R. Zengerle, A. Ozcan, Cellphone-based devices for bioanalytical sciences, *Anal. Bioanal. Chem.*, 2014, **406** (14), 3263-3277.
- (d) S. Nagelberg, L. D. Zarzar, N. Nicolas, K. Subramanian, J. A. Kalow, V. Sresht, D. Blankshtein, G. Barbastathis, M. Kreysing, T. M. Swager, M. Kolle, Reconfigurable and responsive droplet-based compound micro-lenses, *Nature Commun.*, 2017, **8** (14673), 1-9.
- (e) T-F. Zhu, J. Fu, Z. Liu, Y. Liang, W. Wang, F. Wen, J. Zang, H-X. Wang, Investigation of the occupancy

ratio dependence for microlens arrays on diamond, *RSC Adv.*, 2018, **8**, 29544-29547.

- (f) R. Kasztelanic, A. Filipkowski, A. Anuszkiewicz, P. Stafiej, G. Stepniewski, D. Pysz, K. Krzyzak, R. Stepień, M. Klimczak, R. Buczyński, Integrating free-form nanostructured GRIN microlenses with single-mode fibers for optofluidic systems, *Sci. Rep.*, 2018, **8** (5072), 1-12.
- [5] 河野嗣男 著 「14.2 波面計測技術 b. シャッターハルトマン方式」 p594 辻内順平・黒田和男・大木裕史・河田 聡・小嶋 忠・武田光夫・南 節雄・谷田貝豊彦・山本公明 編 最新 光学技術ハンドブック 朝倉書店 2002年.
- [6] (a) 菊地晃司 著 「43. 固体撮像素子 d. マイクロレンズ, f. CMOSイメージセンサーの構造と特徴」 pp.180-181 黒田和男・荒木敬介・大木裕史・武田光夫・森 伸芳・谷田貝豊彦 編 光学技術の事典 朝倉書店 2014年.
- (b) 森 伸芳 著 「5. 性能評価表 e. 像の照度分布とCRA」 p53 黒田和男・荒木敬介・大木裕史・武田光夫・森 伸芳・谷田貝豊彦 編 光学技術の事典 朝倉書店 2014年.