

I-001

## 低コストなポータブル・デジタルホログラフィック顕微鏡の開発 Portable and low-cost digital holographic microscopy

白木 厚司\* 下馬場 朋禄† 豊田 太郎‡ 増田 信之† 伊藤 智義†  
Atsushi Shiraki Tomoyoshi Shimobaba Taro Toyota Nobuyuki Masuda Tomoyoshi Ito

### 1. まえがき

デジタルホログラフィック顕微鏡 (DHM: Digital Holographic Microscopy) は, ワンショットで試料の振幅・位相情報を同時に計測することが可能なため, 試料を3次的に観察できる特徴がある. DHMは, CCD (Charge Coupled Device) や CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) カメラなどで試料のホログラムを撮影し, 計算機を用いてそのホログラムからの光波伝搬 (回折計算) を計算することで再生像を得ることができる [1].

その光学系は, ホログラムを撮影するカメラ, 参照光源 (一般的にレーザを用いる) とビームスプリッターや対物レンズなどの光学部品から構成される. このような光学系を組み上げるのにコストがかかるため市販のデジタルカメラを用い, 光学部品の使用点数を削減することでコストを削減する報告がなされている [2]. しかし, そのコストは\$1,000程度とまだ高価であり, 光学系も撮影距離が30~40cmに設定されているため小型とは言えない.

本報告では, WebカメラのCCD素子を流用し, 参照光源に安価な点光源LEDとGabor型ホログラム [3] を撮影する光学系を採用することでコストを削減するとともにポータブルなDHMシステムの構築を行ったので報告する.

### 2. 低コストなポータブルDHMシステム

今回開発したDHMシステムの概略図を図1に, 実物の外観図を図2に示す. 図1のように, このDHMは点光源LEDから発した光を参照光源として試料に照射し, 試料から拡散された物体光と, 試料をそのまま透過した参照光をCCDカメラ上で干渉させるGabor型ホログラムを撮影する. 図2に示すように, 装置全体のサイズが120mm×80mm×55mmと小型であり, 片手で持ち運び可能なポータブルな設計となっている.

Webカメラには, サンワサプライ社製CMS-V27SETBKを用いた. Webカメラには像をCCD素子上に結像させるレンズが付いているがDHMでは不要なため, 分解して取り出しCCD素子をむき出しの状態で使用. このCCD素子の画素数は640×480画素で, 最大フレームレートは30fps (frames per second) となっている. このCCDを制御するためにIntel社が開発を行っているオープンソースライブラリOpenCVを用いた. また, このCCDはカラーCCDのため, 再生像を計算する前にグレースケールへ変換した. 変換式には  $c = 0.2999 \times r + 0.587 \times g + 0.114 \times b$  ( $c$ :グレースケール値,  $r$ :赤の画素値,  $g$ :緑の画素値,  $b$ :青の画素値) を用いた.

\*木更津工業高等専門学校 情報工学科

†千葉大学大学院 工学研究科

‡東京大学大学院 総合文化研究科

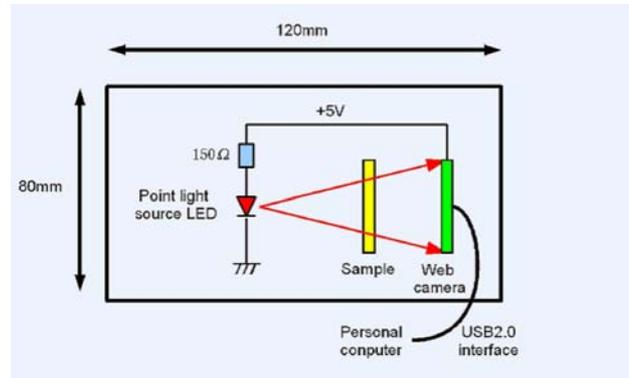


図1: 低コストポータブルDHMシステムの概略図

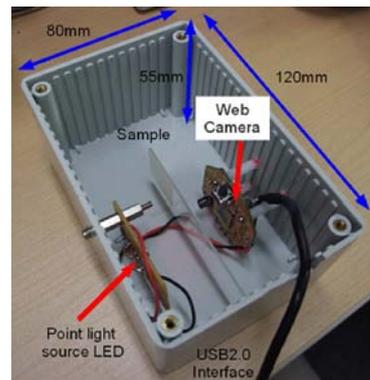


図2: 低コストポータブルDHMシステムの外観図

点光源LED (Light Emitting Diode) には, コーデンシ社製のBL05-1211 (発光部  $50\mu\text{m}$ , 波長  $650\text{nm}$ , スペクトル半値幅  $30\text{nm}$ ) を使用した. このLEDの規格からコヒーレンス長は約  $14\mu\text{m}$  であると予想される. 点光源LEDの電源はCCDカメラから供給されている5Vの電圧を使用し  $150\Omega$  の抵抗で電流制限を行っている.

Webカメラは購入時の価格が3,980円, RSコンポーネンツ社経由で購入した点光源LEDとケースの価格がそれぞれ2,800円と700円であり, 総コストは約7,500円となっている. ただし, スペーサやネジ, 抵抗の価格は無視した.

撮影されたホログラムはUSB2.0インターフェース経由で30fpsの速度でコンピュータへ送信される. コンピュータはホログラムの再生像計算を行う. 今回は試料とCCDカメラ間の距離を数cmに設定しているため, 再生像計算に角スペクトル法 [1] を用いている. 角スペクトルの計算には, 我々が開発を行っている波動光学計算

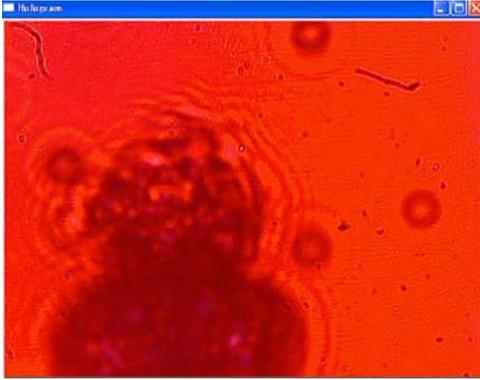


図 3: 蚊の頭部を撮影したホログラム。

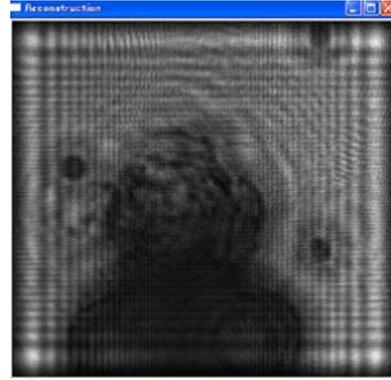


図 5: 合焦点の位置での再生像。

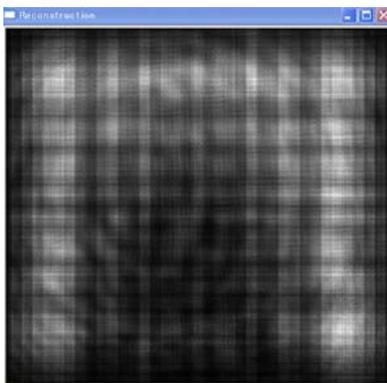


図 4: 合焦点の位置から 5cm 程度奥にずらした位置での再生像。

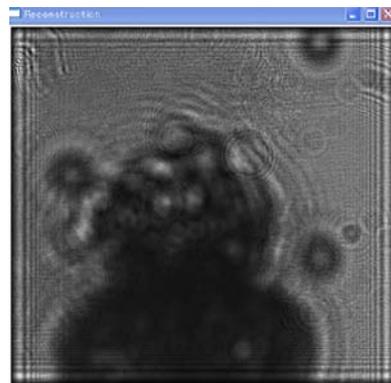


図 6: 合焦点の位置から 5mm 程度手前にずらした位置での再生像。

ライブラリ CWO を使用した。このライブラリは [4] から無料でダウンロードできる。

### 3. 研究結果

本 DHM を用い、蚊の頭部を撮影したホログラムを図 3 に示す。また、図 3 のホログラムから CWO ライブラリを用いてシミュレータ上で再生を行う際、合焦点の位置から 5cm 程度奥にずらした位置での再生像を図 4 に、合焦点の位置での再生像を図 5 に、合焦点の位置から 5mm 程度手前にずらした位置での再生像を図 6 に示す。図 4 は焦点を大幅にずらしており、正しい再生像が得られていないことがわかる。図 5 は合焦点の位置での再生像で、ある程度鮮明な像が得られている。図 6 では合焦点の位置からわずかに焦点をずらしており、図 5 の再生像と比較すると若干不鮮明な再生像となっている。

### 4. まとめ

低コストなポータルタイプの DHM 開発に成功した。今回は手元にあった部品を使用したためコストが 7,500 円となったが、購入ルートを見直すことで 5,000 円以下での開発も可能であると見積もっている。また、今回の Web カメラは露光時間やゲイン調整できないものを使用した。このようなことができる安価な Web カメラ

も市販されているため、更に画質や分解能を向上させることができる。今後はこれらについて検討を行う予定である。

### 参考文献

- [1] T.C.Poon (ed.), "Digital Holography and Three Dimensional Display - Principles and Applications", Springer (2005)
- [2] T. G. Dimiduk, E. A. Kosheleva, D. Kaz, R. McGorty, E. J. Gardel, and V. N. Manoharan, "A Simple, Inexpensive Holographic Microscope," in Digital Holography and Three-Dimensional Imaging, OSA Technical Digest (CD) (Optical Society of America, 2010), paper JMA38
- [3] K. M. Molony, B. M. Hennelly, D. P. Kelly, T. J. Naughton, "Reconstruction algorithms applied to in-line Gabor digital holographic microscopy", Opt. Comm., 283, 6, 903-909 (2010)
- [4] <http://sourceforge.net/projects/thegwolibrary/>