

平成 22 年 4 月 7 日現在

研究種目：若手研究 (B)
 研究期間：2008～2009
 課題番号：20760076
 研究課題名 (和文) マイクロ波長板アレイを利用したデジタルホログラフィ法
 によるひずみ測定法の開発
 研究課題名 (英文) A method for strain measurement using digital holography with
 a micro-retarder array
 研究代表者
 米山 聡 (YONEYAMA SATORU)
 青山学院大学・理工学部・准教授
 研究者番号：90306499

研究成果の概要 (和文)：

マイクロ波長板を備えた CCD カメラを用い、一度の撮影により同時に複数の位相シフトしたホログラムを撮影することで、時間と共に変化するひずみの測定が可能となるホログラフィ干渉法を提案した。その有効性を示すため、提案する方法を静的なはりのたわみ測定および電子部品の熱変形の測定に適用した。その結果、提案する方法により静的なたわみのみならず、時々刻々と変化する変形を測定可能であることを示した。

研究成果の概要 (英文)：

An approach to simultaneous acquisition of phase-stepped interferograms using a CCD camera equipped with a pixelated micro-retarder array is proposed for digital holographic interferometry. The effectiveness of the proposed method is demonstrated by applying to the deflection measurement of a beam and the measurement of time-varying strain of an electric device under thermal load. Results show that the time-variant displacements and the strains can be measured by the proposed method.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2009 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,300,000	690,000	2,990,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・機械材料・材料力学

キーワード：機械材料・材料力学，応用光学・量子光光学，計測工学，実験力学，応力・ひずみ測定

1. 研究開始当初の背景

変形や破壊に関する研究において、従来からモアレ干渉法・スペックル干渉法・ホログラフィ干渉法などの光学的測定法が多く用いられている。また最近では、光学的測定法

は実構造物の健全性評価など様々な用途に利用されるようになってきている。近年、このような従来から用いられている光学的測定法に加え、デジタルホログラフィ法が注目されている。この方法は、ホログラフィ法におい

て従来煩雑な化学的現像処理を必要としていた像の再生をコンピュータ内部で行うものである。デジタルホログラフィ法は、従来のホログラフィ法と同様に粗面の変位測定が可能である。モアレ干渉法などと異なり、試料表面に格子などを貼る必要が無いので簡便に使用できる。また、ホログラムを記録後に再生距離を自由に変えることができるため、段差や凹凸を有する物体など三次元的な形状の試料の三次元変形を測定可能である。

デジタルホログラフィ法に限らず、このような光を用いた応力・ひずみ・変位の測定においては、干渉縞や光弾性縞など、縞画像の解析を必要とする場合が多い。位相シフト法は簡単な計算で高精度な位相分布を得ることが可能であり、最も広く利用されている方法の一つである。しかしながら、従来の位相シフト法では複数の縞画像（ホログラムの場合はホログラム）を必要とするため、それらの画像を撮影している間に縞模様の分布が変化するような状況においては高精度な解析を行うことはできない。したがって、時間と共に変動する問題の測定に対しては、一度の撮影により得られたデータから高精度なデータ処理を行う方法を開発する必要がある。

一方、本研究代表者は、上記の難点を克服するため、これまでに開発してきたマイクロ波長板アレイを有する CCD カメラを用い、光干渉法や光弾性法において一度の撮影により複数の位相シフト画像を取得する方法を開発してきた。このカメラでは、CCD の各画素上にマイクロ波長板および偏光板が取り付けられており、一度の撮影により得られた画像から偏光の状態を表すストークスパラメータの分布を決定可能である。得られたストークスパラメータを用い、干渉縞や光弾性縞の位相値を決定することができる。本研究代表者は、開発した方法を用い、熱応力によりガラス板中を蛇行・分岐するき裂の応力場を世界で初めて測定し、開発した方法の有効性を示している。

2. 研究の目的

本研究では、マイクロ波長板アレイを有する CCD カメラを用い、位相シフトデジタルホログラフィ法における複数の位相シフト画像を同時に撮影する方法を開発する。すなわち、静的問題のみ測定可能であるという位相シフトデジタルホログラフィ法のこれまでの欠点を克服し、時間と共に変動する現象においても高精度な測定を可能とすることを目的とする。

そのためには、まずマイクロ波長板アレイを有する CCD カメラを用いた場合に得られる情報から再生像を得るための基本原理や、

得られた情報（複素振幅や強度）から試料の形状や変位の情報を得るための基本原理を確立する。次に考案した方法を実現するための光学系・装置を構築し、シミュレーションや簡単な実験により、開発した方法の有効性を示す。

3. 研究の方法

本研究では、構造複屈折波長板アレイを用いた偏光画像解析カメラを使用する。これは、微細加工技術を用いて作成したマイクロ波長板を CCD カメラの各画素に貼り付けたものである（図 1 参照）。図 2 は実際に作製したマイクロ波長板アレイの顕微鏡写真である。図の波長板はシリコン基板上に二酸化チタンを成膜し、格子模様を投影露光した後、エッチングを行うことにより作製した。波長板のリターデーションは格子材料の屈折率および高さにより制御することができる。一方、主軸方向は格子模様の方向と一致する。このカメラを用いると、波長主軸方向に対応した 4 種類の光学情報を一度の撮影で同時に取得することができる。すなわち、その 4 種類のデータが位相シフトした 4 枚の画像に対応する。その 4 枚の画像から、偏光の状態を表すストークスパラメータの分布を得ることが可能である。

このカメラを用い、4 枚の位相シフトしたホログラムを同時に撮影することで、時々刻々と変化する変位・ひずみを測定する方法を開発する。具体的には、CCD 上に固定された波長板を通過して得られたデータを用いて再生像を得るための方法、すなわちデータの処理・解析アルゴリズムの構築を行う。ここでは、光学的な検討を行うと同時に、高精度な画像補間法、高速なデータ処理法などについて検討を行い、高速・高精度なデータ解析を実現できるシステムを開発する。

ホログラムが得られた後は、通常のホログラフィ干渉法と同じである。そのため、顕微鏡を用いた微小領域の測定など、ホログラフィ干渉法としての完成度を高めるための研究も同時に進める。

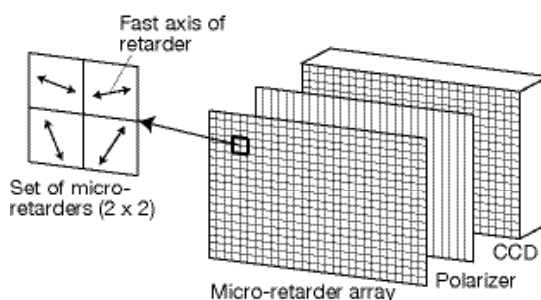


図 1 CCD 面上のマイクロ波長板アレイ

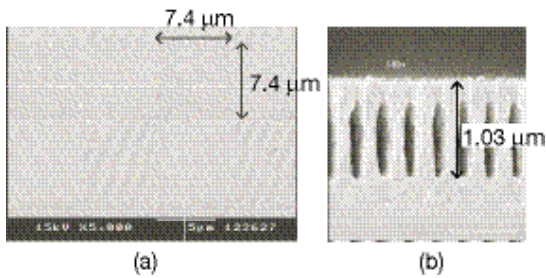


図 2 マイクロ波長板の顕微鏡写真: (a) 正面; (b) 側面

4. 研究成果

(1) マイクロ波長板アレイを備えたCCDカメラを用いて撮影したホログラムより、物体の再生像および位相値を得ることができるようになった。また、変位の測定実験を行い、変位測定に対する有効性を示した。図3は剛体回転変位を与えた物体上のある線上の変位分布である。この変位分布から対象の回転量を計算した。得られた回転角度は $0.1341 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$ である。与えた角度は $0.1396 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$ である。以上の結果から、マイクロ波長板により1度に得られた複数のホログラムから変位計測を行うことができたと言える。

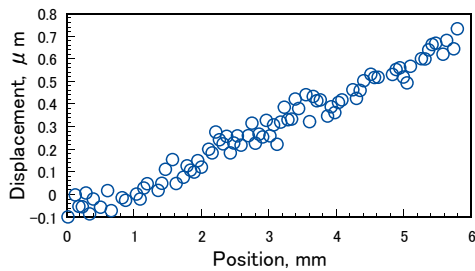


図 3 剛体変位測定結果

(2) 時間変動する変形を測定し、その有効性を示した。対象として熱変形の測定を行った。図4(a)に示す枠内の電子部品を測定対象とした。

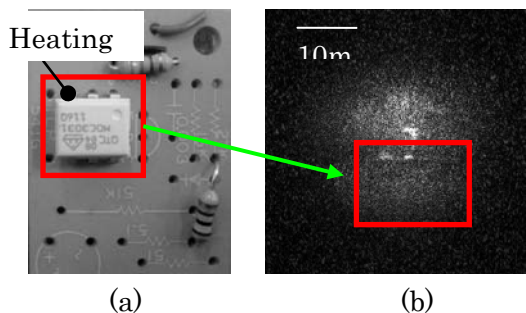


図 4 (a) 電子部品, (b) 再生像

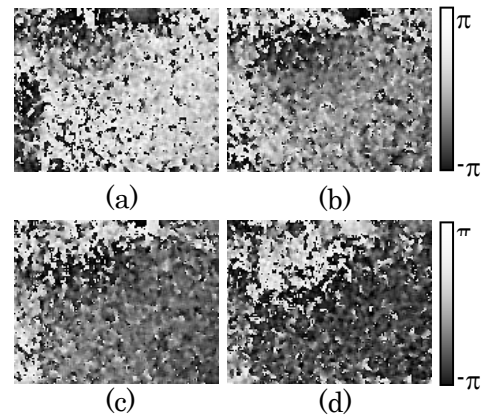


図 5 電子部品の位相値の時間変動(1秒おき)

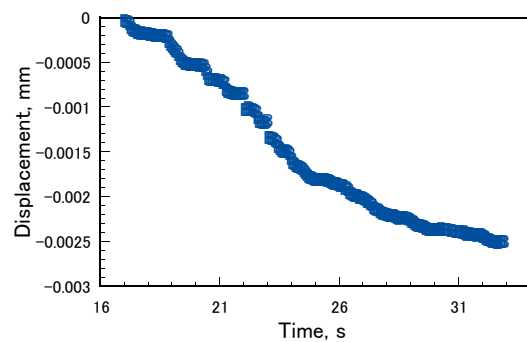


図 6 変位の時間変動

その時の再生像を図4(b)に示す。図4(b)の枠内に対象とした電子基盤が観察できた。図5は電子部品の熱変形による位相差の変化である。また、図6は有る一点における変位の変化を示している。加熱点から金属の膨張による熱変形が見られた。

以上の成果から、提案するシングルフレーム位相シフトデジタルホログラフィを時間変動する対象に適用できたと言える。

(3) ホログラフィ顕微鏡を構築し、微小物体の形状や変形の測定を可能とした。カメラレンズを用いた簡便な光学系や、対物レンズを用いて詳細な観察が可能な光学系を構築した。図7はデジタルマイクロミラーデバイスを再生した結果である。一つのミラーの一边は約 $10 \mu\text{m}$ である。また、図8はボルトの形状測定結果であり、位相値がそのまま形状(この場合は高さ)に比例する。

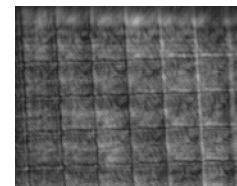


図 7 デジタルマイクロミラーデバイスの再生像

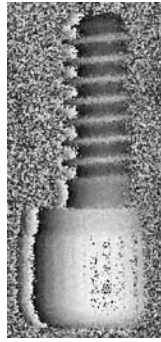


図8 ボルトの形状を表す位相分布

(4) 1枚のホログラムから像を再生した場合、直流成分の影響で正確な情報を得ることができない領域が存在する。そこで、ホログラムを複数に分割し、それぞれのホログラムから再生した位相値および振幅を利用して精度の良い再生像を得る方法を提案した。

(5) 本研究の派生的な成果として、複屈折の位相差から透明物体の応力分布を決定する方法を提案した。ここでは、図9に示すマッハツェンダー干渉計により得られる干渉縞の偏光情報から応力成分を決定する方法を提案した。一度の撮影により得られた画像から偏光情報を得ることができる。すなわち、

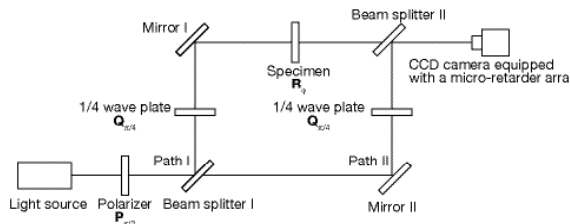


図9 マッハツェンダー干渉計

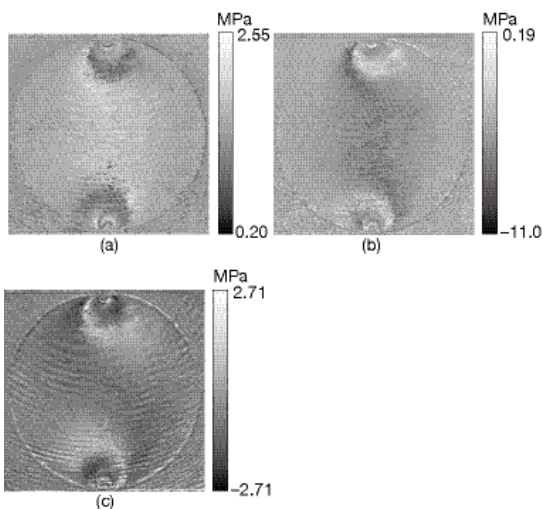


図10 対向圧縮荷重を受ける円板の応力分布: (a) σ_x ; (b) σ_y ; (c) τ_{xy}

応力成分の時間変動の測定が可能である。図10は対向圧縮荷重を受ける円板の応力分布である。この結果から、提案する方法の有効性を示した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① Yoneyama, S. and Kamihoriuchi, H., A Method for Evaluating Full-field Stress Components from a Single Image in Interferometric Photoelasticity, *Measurement Science and Technology*, 査読有, 20(7), 075302 (2009).
- ② 上堀内秀樹, 米山 聡, マッハツェンダー干渉縞の偏光解析による応力成分の決定法, *実験力学*, 査読有, 9(2), 103-108 (2009).

[学会発表] (計6件)

- ① Sekiguchi, C. and Yoneyama, S., A Method for Measuring Displacement of a Small Object Using Digital Microscopy Holographic Interferometry, 4th International Conference on Experimental Mechanics, 2009年11月18日, シンガポール.
- ② 上堀内秀樹, 米山 聡, マッハツェンダー干渉縞の偏光解析による応力成分の決定法, 日本実験力学学会2009年度年次講演会, 2009年8月6日, 東京.
- ③ 関口知里, 米山 聡, デジタルホログラフィ干渉法による微小物体の変位・ひずみ測定, 日本実験力学学会2009年度年次講演会, 2009年8月6日, 東京.
- ④ 徳田博也, 米山 聡, マイクロ波長板アレイを利用したシングルフレーム位相シフトデジタルホログラフィ, 第40回応力・ひずみ測定と強度評価シンポジウム講演論文集, 2009年1月23日, 東京.
- ⑤ 関口知里, 米山 聡, 単一露光デジタルホログラフィ干渉法を用いた変位測定, 第40回応力・ひずみ測定と強度評価シンポジウム講演論文集, 2009年1月23日, 東京.
- ⑥ 米山 聡, 上堀内秀樹, 偏光情報を用いた干渉縞の位相解析と応力成分の決定, 日本実験力学学会分科会合同ワークショップ, 2008年11月1日, 新潟.

6. 研究組織

(1)研究代表者

米山 聡 (Yoneyama Satoru)

青山学院大学・理工学部・准教授

研究者番号: 90306499