

デジタルホログラフィーによる氷結のその場観察

Digital Holography for in-situ Imaging of Freezing

及川隆博*, 大坊真洋*

Takahiro Oikawa*, Masahiro Daibo*

*岩手大学

*Iwate University

キーワード： デジタルホログラフィー (Digital Holography),
マッハツェンダー干渉計 (Mach-Zehnder interferometer),
倒立顕微鏡 (Inverted Microscope), 氷結 (Freezing)

連絡先： 〒020-8551 盛岡市上田4-3-5
岩手大学工学部電気電子工学科 大坊研究室
大坊 真洋 Tel.: 019-621-6983 e-mail daibo@iwate-u.ac.jp

1. はじめに

ゲルや液体，気体のような半透明の物質の内部の屈折率を対象に影響を与えずに解析する方法としてデジタルホログラフィーを応用する方法が用いられている．物体にレーザを照射し，透過させたレーザと元のレーザとを干渉させホログラムを作成し，そのホログラムを解析することにより物体内部の屈折率の分布の様子を測定することができる．本研究では対象として水が氷結する様子を観察し，その進展の様子を解析することを目的とする．

2. 原理

2.1 デジタルホログラフィーの特徴

ホログラムは，レーザのようなコヒーレントな光を物体に当て，物体で変調された光(物体光)と，元のレーザの光(参照光)を重ね合わせた干渉縞を

記録する．この記録された干渉縞がホログラムである．光学系でのホログラムの再生には，記録したホログラムに，記録の時と同じ波長の参照光を当てる必要があるが，デジタルホログラフィーでは，参照光を当てる必要はなく，計算により元の物体の立体情報を再生することができる．ホログラムの情報をデジタルデータとして記録できるため，ホログラムデータを連続的に取得することも可能である．これにより，計算の高速化ができれば立体情報を動画として再生することも可能となる．

2.2 ホログラム記録の配置

対象がほぼ透明な物体の場合にはレーザ光が物体を透過できるため，物体の内部の構造を解析することができる．ホログラムを作成するためには，物体を透過させた物体光と，参照光を，ホログラム平面上で重ね合わせる光学系とする．本研究ではマッハツェンダー干渉計(図1)を用いてホログラ

ムを取得する．まず光源から出射したレーザ光をレンズで広げてコリメートし，ビームスプリッタ(BS)で物体光と参照光に分ける．物体光は物体の中を透過する．その後，再びビームスプリッタを用い物体光と参照光を重ね合わせる．物体内部を通過する際に，物体内部の屈折率の変化による強度や位相の変化により，参照光と物体光の間に位相差を生じれば干渉を起こし，ホログラムが記録される．ホログラム平面にはCMOSカメラが置かれ，ホログラムパターンをデジタル的にコンピュータに取り込む．

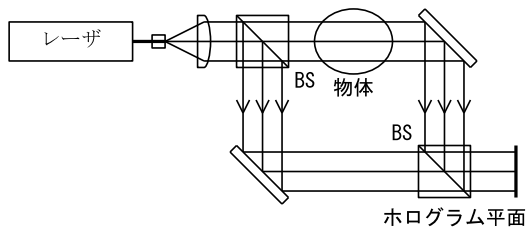


図1 マッハツェンダー干渉計

2.3 ホログラムの再生

図2にホログラム再生の物体平面，ホログラム平面の幾何学的な位置関係を示す．

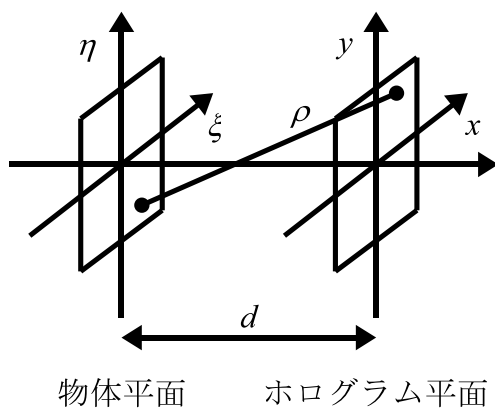


図2 ホログラム再生の座標系

参照光を平面波とするとき，レーザの波長を λ ，物体平面からホログラム平面(CMOSカメラ)まで

の距離を d ，ホログラム関数を $h(x, y)$ とすると，ホログラムの情報から再生される物体平面上の点 $\Gamma(\xi, \eta)$ の回折は式(1)で示される．

$$\Gamma(\xi, \eta) = \frac{i}{\lambda} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h(x, y) \frac{\exp(-ik\rho)}{\rho} dx dy \quad (1)$$

ここで， $k = 2\pi/\lambda$ ， $\rho = \sqrt{(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2 + d^2}$ である．

3. 実験装置

3.1 干渉計

倒立顕微鏡を利用して図3のマッハツェンダー干渉計を構成する．マッハツェンダー干渉計とするためには顕微鏡のステージに設置する試料を通る物体光だけではなく，試料を通らない参照光を通すために外部にビームスプリッタやミラーなどを配置する必要がある．これらを設置するための光学ベースが必要となる．顕微鏡上部のミラー，ビームスプリッタ及びコリメータは同じベースの上に設置し，そのベースごと上下させることができるようにする．このようにすると，同時に同じ変位量で動くため，上部を上下に移動させても物体光と参照光の光路長を一致させることができる．

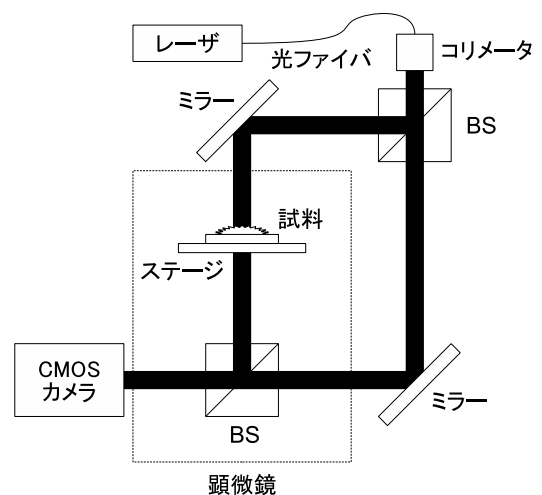


図3 実験装置の構成

実際に作成した干渉計の概観を図4に示す．

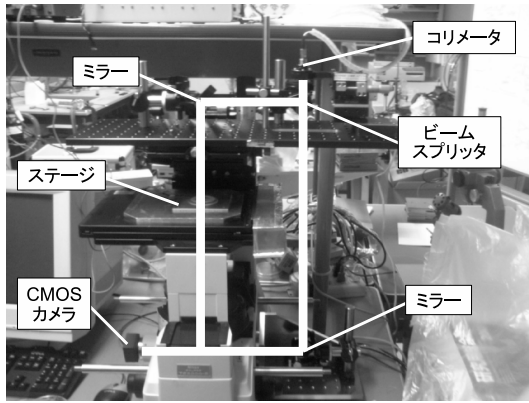


図 4 干渉計(全体)

図 5は干渉計の上部を示している。ブレードボード上にコリメータを設置し、そこからのビームをビームスプリッタで2つに分け参照光と物体光とする。参照光は図 6のミラーで反射され図 8のビームスプリッタへと導かれる。物体光は左側のミラーで反射され、図 7に置かれたの試料を透過し図 8のビームスプリッタへと導かれる。ビームスプリッタにより重ね合わせられた参照光と物体光は、CMOSカメラへと導かれる。図 7の試料ステージでは、試料の下に配置されるペルチェ素子により試料を冷却することにより、試料を氷結させる。

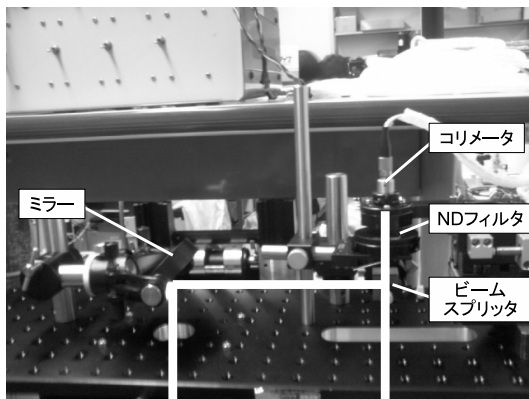


図 5 干渉計(上部)

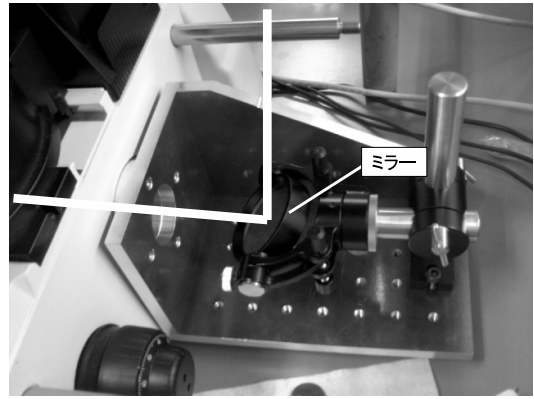


図 6 干渉計(下部ミラー)

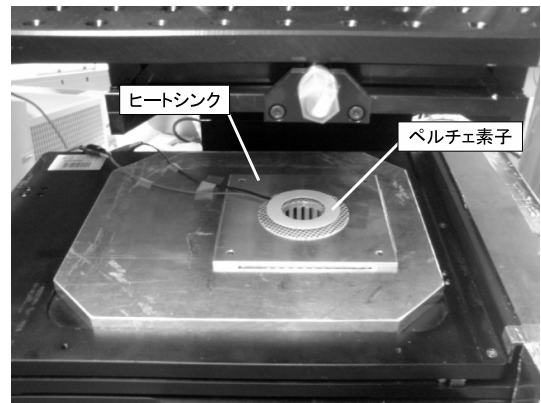


図 7 干渉計(試料ステージ)

4. 実験

針先を対象としてホログラム再生の予備実験を行う。干渉計のステージ上に図 9のような針(直径 1.22mm)を設置、レーザ光を照射しホログラムを記録する。白線枠内の部分から記録したホログラムを再生プログラムを用いて再生した結果が図 10である。中央下部に針先が確認できる。

5. まとめ

現在はまだ予備実験の段階であり、実験ではあまりはっきりとした像が得られていないが、この原因はシミュレーション実験から、物体平面からホログラム平面までの距離の大きさに対してホログラムの解像度が 2048×1536 ではこの程度の画

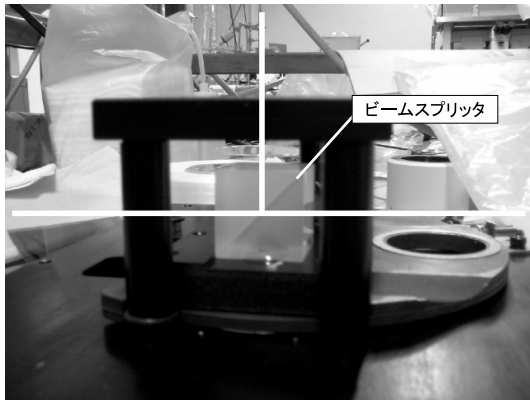


図 8 干渉計(内部BS)

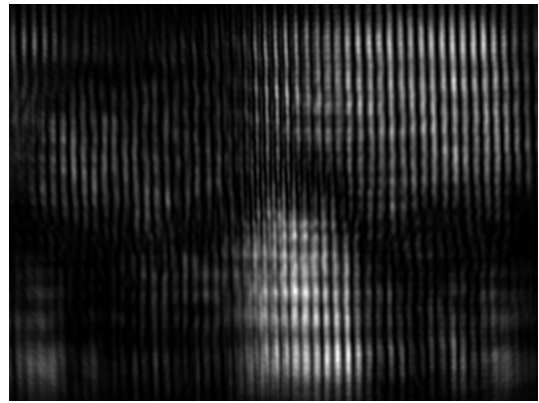


図 10 再生結果

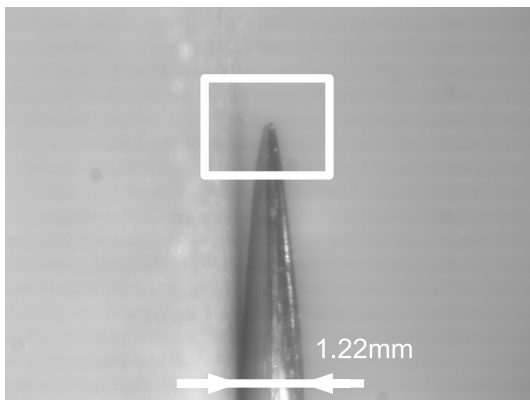


図 9 対象とする物体

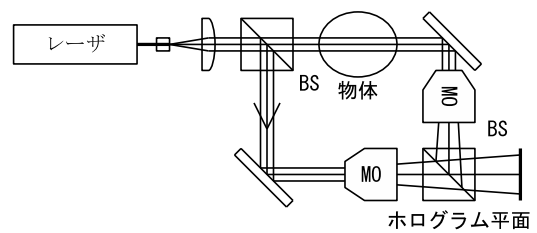


図 11 改良版干渉計

みやすいパターンを見つけることができれば任意の形状の結晶を作り上げる方法や雪の結晶の解析などに応用できると考えられる。

質が限界であるということが確認された。これを改善するために、図 11 のように対物レンズ(MO)を用いて解像度を上げる予定である。対物レンズを用いると再生の状態が変わるため、再生プログラムの修正も必要となる。

今後はサファイア板とカバーガラスではさんだ水を試料として、ペルチェ素子を用いて冷却することにより氷結の様子を観察する。試料のカバーガラス上に凹凸などの任意のパターンを書き込んだ基板をつけ、そのパターンにより氷結の進行の速度や状態の変化を解析することを考えている。

この研究成果の応用例としては、例えば氷結が進みにくいパターンを見つけることができれば寒冷地で使用する装置の氷結防止表面加工への応用や農作物への霜の付着の抑制の研究への応用、進

参考文献

- 1) U. Schnars and W.P. Jueptner: Digital Holography, 41/44, Springer-Verlag(2005)
- 2) Christian D. Depeursinge et al: Digital Holography Applied to Microscopy, 30/34, SPIE Vol. 4659(2002)