

## 最近の技術から

# 液晶空間光変調器を用いたヤング縞の縞解析

石川 宗晴

興和(株)興和総合科学研究所 〒305 つくば市観音台 1-25-5

## 1. ま え が き

二次元の流れを定量的に計測する手法の一つにレーザースペックル写真法があり<sup>1)</sup>, その解析手法の一つにヤング縞法<sup>2)</sup>がある. スペックル写真をフーリエ変換して得られる, ヤング縞の縞解析手法には, ① ヤング縞像を TV カメラで取り込み液晶ビデオ素子に表示して光学的にフーリエ変換して解析する二次元解析手法<sup>3)</sup>, ② 任意の方向を向いたヤング縞像を TV カメラで撮像し走査線上のヤング縞の位相を解析し, 走査線間の位相情報から, 縞の方向と間隔を求める, 複数組の一次元データを処理する手法<sup>4)</sup>, ③ ヤング縞の特徴をとらえて, 縞の方向と間隔を分離して解析する手法<sup>5)</sup>など, 異なった手法がある.

ヤング縞解析法では, スペックル写真から形成されたヤング縞にスペックルノイズが重畳してくるため, ノイズを軽減することが縞の解析に重要な前処理となっている. このノイズの影響は, スペックル像を記録するのではなくトレーサ粒子の粒子像を記録する particle image velocimetry (PIV) ではより深刻である. スペックル・ノイズの影響を低減する目的では, 光学的にヤング縞像を圧縮する<sup>6)</sup>, 縞方向に TV 走査線の方向を合わせ, 電氣的に縞の光量を縞方向に積算する<sup>7)</sup>, 二次元デジタル画像上で, 縞の方向に縞データを積算するなどの処理が用いられている<sup>5)</sup>.

ここで紹介する手法では, ヤング縞の縞方向の空間的な光量分布を積算処理するには空間変調器が有効ではないかと考え, ヤング縞の光量分布を, 液晶空間変調器に表示した格子縞で区別することによって, 縞方向に積算して受光することとした. 同時に格子縞の縞間隔を変化させつつ, 全透過光量を測定することにより, ヤング縞の縞間隔を一次元情報として抽出しようと試みた.

## 2. 液晶ビデオ素子の光変調特性

光情報処理を行う目的では, 解像度の高い液晶空間光変調器が望まれているが<sup>8)</sup>, 本光変調法では液晶ビデオ

素子のような画素のサイズがそれほど小さくない素子によっても, 光変調の効果を期待できることがわかった.

最初の実験は, 画素数が水平 160, 垂直 146 で, 画素のサイズが 0.3 mm×0.25 mm である TN 型液晶ビデオ素子 (シチズン時計(株)製 UB-250) に格子縞を表示する実験であった. 画像信号は, 市販の画像ボードで発生させ, 画像メモリ上に生成した格子縞をメモリ上で一面素子ずつらして液晶素子に表示させていく. このとき, 画像メモリと液晶素子の各々の画素のサイズの違いから, 画像信号は, 液晶素子上では画素サイズの約3分の1の幅で, 図1(1)のようにずれていくことになる. そこで, 液晶素子の一つの画素に着目して透過光量の変化を測定すると, 図1(2)のように変化することから, 液晶素子の透過率は, その一面素子が受けた画像信号の平均値に相当する濃淡に, 対応して変化していくことがわかった.

## 3. ヤング縞の光変調解析

ヤング縞の縞方向に平行して, 液晶ビデオ素子に格子状の縞を表示させ, それをヤング縞によって照明し, そ

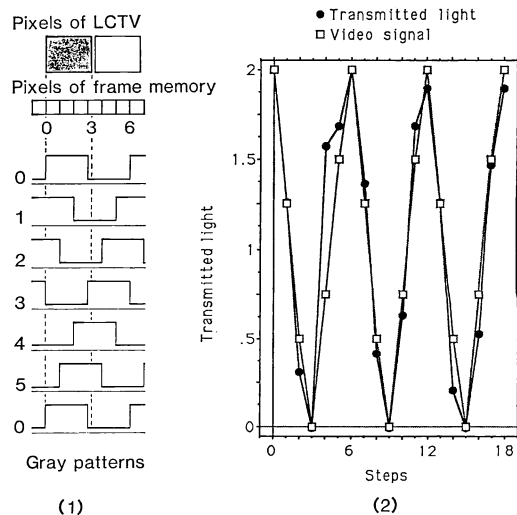


図1 液晶ビデオ素子の透過率制御特性

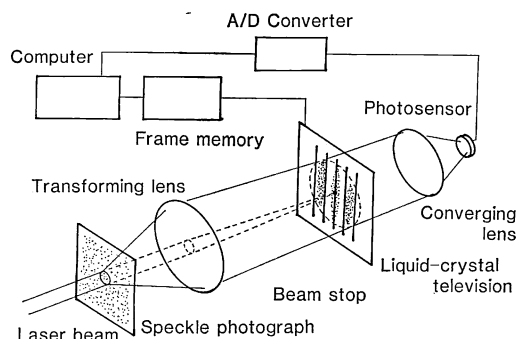


図2 ヤング縞の間隔測定装置

の透過光量を、格子縞の表示間隔を変化させながら測定することによって、格子縞の縞間隔に対するヤング縞の透過光量の変化からヤング縞の縞間隔を測定する手法が、本解析手法である<sup>9)</sup>。

図2に測定装置の構成図を示す。液晶ビデオ素子上の格子縞は、等間隔縞として、ヤング縞の中央部の輝度の高い部分に、格子縞の暗部が位置するように発生させる。さらに格子縞の縞間隔は、中央の暗部を基準に変化させる。このように発生させた格子縞の縞間隔が、ヤング縞の縞間隔に一致すると、ヤング縞の強度分布は格子縞によって相補的に変調され、透過光量は極小値をとる。この極小値をとる格子縞の縞間隔を知ることによって、ヤング縞の縞間隔を測定する。

一方、ヤング縞によって照明された液晶空間変調器にヤング縞の中心を通るスリット像を表示し、この像をヤング縞の中心を軸に回転させて、透過光量を測定することで縞の方向も検出することができると考えられる。しかし、用いた液晶ビデオ素子の解像度では、スリット像の回転によって縞の方向を検出することは効果的ではなく、実際の装置では機械的なスリットと、ヤング縞自体の回転によって方向を検出する方法を取った<sup>10)</sup>。

#### 4. ヤング縞の間隔と方向の測定誤差に係わる要因

ヤング縞の方向と間隔を測定する装置の測定誤差を評価してみると、以下のような要因に関係した誤差が生ずることがわかった。

- 1) ヤング縞の縞数が少ないと、液晶ビデオ素子による透過光の変調効果が顕著でなくなる。
- 2) 画素内での平均化作用、格子縞の間隔の変化が不連続的であることから極小値の変化は必ずしも鋭くない。
- 3) ヤング縞と格子縞の方向のずれによって、縞間隔

測定に誤差を生ずる<sup>11)</sup>。

これらの要因による誤差の値は、スペックル写真から生ずるヤング縞の質によって変化する。とくに、粒子像を記録した PIV 法から得られるヤング縞の場合には、ヤング縞に重畳するスペックル・ノイズの影響が大きい。

これまでの実験では、ヤング縞を形成する解析視野内に 80 対の粒子像が記録されているとき、縞数で 3 本以上で、縞間隔の誤差 5%、方向の誤差  $3^\circ$  が誤差の標準偏差となった。

## 5. む す び

液晶ビデオ素子を用いた光変調手法によりヤング縞の縞間隔と方向を解析する手法についての原理的な検討では、液晶ビデオ素子を有効に利用できたが、解析装置としての精度の向上を考えると、液晶ビデオ素子の解像度とコントラストの改善は重要な課題となる。また、不連続的に変化させる格子縞に対しても、素子の特性に合わせた縞間隔の変化率と変化速度の最適化が課題となる。

本手法は、ヤング縞の中心を原点とする余弦関数の透過率をもつ格子縞と重ね合わせてヤング縞の光量を求める点では、一次元のフーリエ変換の係数を計算すること同等であるが、ヤング縞の光量を空間的に積算すること、および得られた一次元信号上のノイズを電気フィルターで除去することをスペックル・ノイズの低減処理として用いており、これらの処理は数値演算を必要としない点で簡便なものとなっている。

## 文 献

- 1) T. D. Dudderar and P. G. Simpkins: *Nature*, **270** (1977) 45-47.
- 2) D. B. Baker and M. E. Fourney: *Opt. Lett.*, **1** (1977) 135-137.
- 3) B. Bates and P. C. Miller: *Appl. Opt.*, **27** (1988) 2816-2817.
- 4) S. Toyooka, Y. Iwaasa, M. Kawahashi, K. Hosoi and M. Suzuki: *Opt. Lasers Eng.*, **6** (1985) 203-212.
- 5) N. Deng and I. Yamaguchi: *Appl. Opt.*, **29** (1990) 296-303.
- 6) G. H. Kaufmann, A. E. Ennos, B. Bale and D. J. Pugh: *J. Phys. E: Sci. Instrum.*, **13** (1980) 579-584.
- 7) B. Ineichen, P. Eglin and R. Dändliker: *Appl. Opt.*, **19** (1980) 2191-2195.
- 8) 間多 均: *光学*, **18** (1989) 350-351.
- 9) 石川宗晴, 谷地章史: 第 37 回応用物理学関係連合講演会予稿集 (1990) p. 812.
- 10) A. Taniji and M. Ishikawa: *Proc. ICO-15, SPIE*, Vol. 1319 (1990) p. 262.
- 11) 谷地章史, 石川宗晴: 第 51 回応用物理学学会学術講演会予稿集 (1990) p. 822.

(1991年10月18日受理)