

最近の技術から

液晶空間光変調器を用いたスペックル変位・速度計測

岡田 英史・南谷 晴之

慶応義塾大学理工学部電気工学科 〒223 横浜市港北区日吉 3-14-1

1. ま え が き

スペックルパターンが物体の変形によって変化する性質を利用して、固体表面の歪や変形を非接触で測定する試みは古くからなされている¹⁾。なかでもスペックルパターンの変化を二重露光写真として記録し、写真から変位量を光学処理によって定量的に検出するスペックル写真法は、2次元平面内の変位情報を解析する有効な手法である。現在では、特定の散乱面を有しない流体に対しても、シート状のレーザー光で散乱面を形成してスペックルパターンや粒子像を二重露光写真に記録し、変位量と露光間隔から速度を求める解析が行われており、粒子イメージ速度計 (PIV) と呼ばれている²⁾。ただし、スペックル写真法は写真技術に立脚した手法であり、現像という化学的プロセスが必要不可欠であるため、実時間的な測定や、時系列的な測定が困難であるという問題点も従来から指摘されている。

一方、表示素子としての液晶テレビの急速な性能向上と普及とともに、液晶表示デバイスを空間光変調素子として使用するさまざまな試みがなされるようになってきている³⁾。ここでは、従来写真フィルムを用いて変位・速度の2次元分布測定を行っていたスペックル写真法に液晶空間光変調器を適用して、処理の高速化を図る試みについて紹介する。

2. 液晶空間光変調器を用いた変位・速度測定システム⁴⁾

液晶空間光変調器を用いた変位・速度測定システムを図1に示す。まず、対象となる平面上に形成されたスペックルパターンをテレビカメラで撮影してフレームメモリに記録する。一定の時間間隔で撮影した2枚の画像における対応画素の輝度を加算することによって、加算画像を作成する。この加算画像を表示した液晶空間光変調器 (LCD) は従来の二重露光写真と同様の機能を持つため、光学的処理により変位・速度の解析が可能となる。スペックル写真法の光学的処理法にはいくつかの方法が

あるが、ここでは一般に広く用いられているヤング縞法によって局所変位量を解析する光学系を示している。ヤング縞法では、液晶空間光変調器の中央部をビーム径を拡大したレーザー光で局所的に照射する。このとき、回折面にはレーザー光照射領域の変位情報がヤング縞として観測される。

図2に、液晶空間光変調器にスペックル加算画像を表示したときに観測される回折像を示す。対象は表面を研磨したアルミ板上に形成されたスペックルパターンで、200 μm の横変位を行って加算画像を作成した。画素の回折像の間にヤング縞が観測されている。ヤング縞はスペックルの変位方向と垂直に形成され、縞間隔はスペックルパターンの局所変位量に逆比例している。図3はヤング縞の η 方向の輝度を加算して求めたヤング縞の強度分布をFFTした結果である。画素の回折像の空間周波数 (∇) とヤング縞の空間周波数 (\blacktriangledown) に明確なピークが認められる。ヤング縞法による変位・速度分布の解析は、さまざまな部位における局所変位量を1点ごとに測

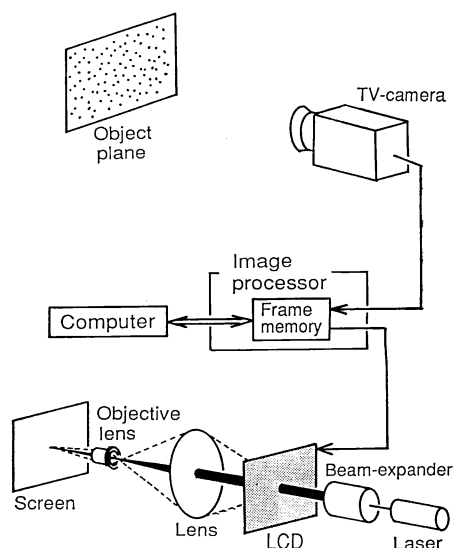


図1 液晶空間光変調器を用いたスペックル変位・速度測定システム

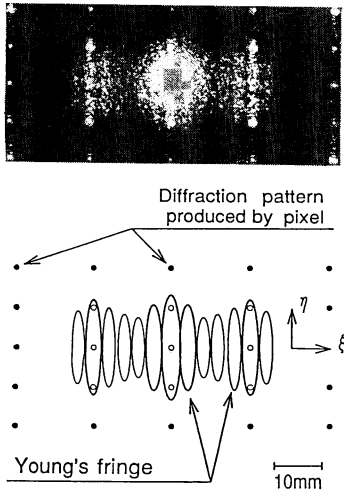


図2 ヤング縞と画素による回折像

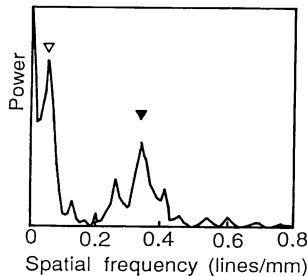


図3 ヤング縞と画素の空間周波数分布

定する。そのため、従来の写真フィルムを用いたシステムでは、自動解析を行うためにはレーザー光の走査や写真のトラバースを行う機構を付加して測定部位を変化させる必要があった。これに対して、本システムでは、フレームメモリ上にある被測定領域の画像データを液晶空間光変調器のレーザー光照射部位に書き込むことで測定部位を変更できるので、多点測定の実自動化にも容易に対応可能である。スペックル写真法ではヤング縞の縞解析も非常に重要な要素である。ヤング縞は比較的単純なパターンであるので自動読み取りが可能であり、従来からさまざまな方法が提案されている。ヤング縞のパターンの解析に関しても液晶空間光変調器の利用が検討されており、本号“最近の技術から”⁵⁾において述べられている。また、ポジションセンサー (PSD) を利用した高速解析の試みもなされている⁶⁾。

また、ヤング縞法ほど一般的ではないが、スペックル写真法には写真全体にレーザー光を照射して、等変位線

の分布を瞬時に可視化する空間フィルタ法という解析法がある²⁾。光学的処理を行う最大の特長は1回の解析に要する演算時間が画像の情報量に依存しないという点である。したがって、液晶空間光変調器による実時間的な測定の実現という観点から考えると、局所的な変位量を多点について個々に解析するヤング縞法より、画面全体の変位・速度情報を一括処理する空間フィルタ法の方が、その特長を十分発揮できる解析法であると考えられる。ただし、現状では、空間フィルタ法を適用するには液晶空間光変調器に表示できる画像の情報量が小さいことや、空間フィルタ法はヤング縞法に比べて解析技術が必要とされるといった問題点も残されている。

3. あとがき

スペックル写真法は、写真フィルムをスペックルパターンの記録と、光学的処理を行うための空間光変調素子として使用しており、これらの機能を液晶空間光変調器によって電子的に実現できれば、化学的プロセスを必要としない実時間的な測定システムを構築することが可能となる。ここで述べたシステムは、フレームメモリに記録した画像を液晶空間光変調器に電氣的に書き込んでいるが、光書き込みが可能な強誘電性の液晶ライトバルブを使用すれば、すべて光で処理を行うことも可能である。ただし、スペックル写真法の処理を高速化するためには、解析系を含めてシステムを検討することが非常に重要である。いずれにせよ、実用的なシステムのための、写真フィルムに近い高精細かつ消光比の大きい液晶空間光変調器の開発が強く望まれる。

文 献

- 1) 山口一郎：“スペックル応用計測技術と最近の動向”，計測と制御，**21** (1982) 881-890.
- 2) 川橋正昭：“レーザスペックル法”，流れの可視化，**7** (1987) 14-19.
- 3) 岡本 卓，江川雄毅，朝倉利光：“液晶テレビを用いた運動軌跡の実時間測定 (II)”，第52回応用物理学会学術講演予稿集 (1991) p. 896.
- 4) 岡田英史，福岡 豊，榎本 宏，南谷晴之：“電子的に構成したスペックルグラムを用いた面内変位の測定”，光学，**19** (1990) 105-108.
- 5) 石川宗晴：“液晶空間光変調器を用いたヤング縞の縞解析”，光学，**21** (1992) 159-160.
- 6) 榎本 宏，岡田英史，南谷晴之：“液晶TVと位置センサーを用いたヤング縞解析法の検討”，第52回応用物理学会学術講演会講演予稿集 (1991) p. 812.

(1991年10月29日受理)