

最近の技術から

スペックル干渉計における液晶位相シフターの較正法

門野 博 史

埼玉大学工学部 〒338 埼玉県浦和市下大久保 225

1. はじめに

スペックル干渉法は光学的に粗い表面をもつ物体の変形、変位等の測定が可能であるため実用上有益な技術である。しかし、一般にスペックル相関縞はランダムなスペックルパターンで変調されているため、高い精度で物体の変形等を求めるのは困難である。縞解析に対して、近年位相シフト干渉法 (PSI) と呼ばれる比較的高い精度の得られる方法が普及している。一方、ネマティック液晶は印加電界によりその複屈折性を制御することができる¹⁾。近年、この効果を利用した位相変調素子としての特性が明らかにされ、応用研究が進みつつある²⁻⁵⁾。本稿では、液晶位相シフターのスペックル干渉計への応用、とくに、実用上問題となる位相シフト量の較正法^{4,5)}を中心に紹介する。

2. 位相シフトスペックル干渉計

液晶を用いた位相シフターは、とくにピエゾエレクトリックトランスデューサと比較して次のような特徴をもっている。i) 透過型。ii) 薄型。iii) 低駆動電圧。iv) ヒステリシス特性がない。v) 任意形状の電極が形成できる。

ここでは、図1に示すスペックルシェアリング干渉計への位相シフト法の適用を考える⁴⁾。図1では粗面物体の変形が計測される。物体はレンズ L_3 により観測面に結像される。ホモジニアス配向の液晶セル LC による位相シフターは、レンズ半面に挿入されているくさびガラスにより横方向にずれた2重像の間に付加位相を導入する。液晶セルには左右に分割された一様な透明電極が形成されており、それぞれ独立に駆動される。位相 ϕ ずつの3ステップの PSI を考えると、変形前の物体の位相分布 $\phi_0(x)$ は位相シフト量と、各ステップに対応する三つの観測強度パターン関数として与えられる。次に、物体の変形後に同じ操作を繰り返して物体の位相分布 $\phi_0(x)$ が得られる。物体は粗面であるため、 ϕ_b 、 ϕ_a はスペックル位相であるが、変形前後で微細な構造が保たれ

ているならば、それらの差 $\Delta\phi = \phi_a - \phi_b$ は物体の変形の微分に比例している。

3. 位相シフト量の統計的較正法

3.1 標準位相物体としてのスペックル位相

PSI の精度は位相シフト精度に依存するのでその較正は実用上重要である。実際の位相シフト量は被測定物体をあらかじめ位相分布のわかっている標準位相物体に置き換えることにより決定することができよう。しかし、ここではスペックル位相の統計的特性を利用する方法を提案する。いま、物体表面が光の波長に比べて十分に粗いならば、コントラストが1の十分に発達したスペックル場が生じる。このようなスペックル場の位相 ϕ の確率密度分布 $p_\phi(\phi)$ は物体の表面粗さや光学系のパラメータによらず $-\pi$ から π の範囲で一様に分布することが知られている⁶⁾。このスペックル位相の完全なランダムさが統計的な意味において標準位相物体としての役割を果たし、位相シフト量の決定手段を新たに与える。

3.2 測定されたスペックル位相の確率密度関数

スペックル干渉法で得られる位相分布 ϕ (ϕ_a または、 ϕ_b) はスペックル位相であるから、シフト量 ψ が正確に与えられているならば ϕ の確率密度は一様になるはずである。しかし、実際のシフト量が設定値からずれているならば、位相は正確には求められなくなる。図2に、理論計算により求められたスペックル位相の確率密度関数の位相シフト誤差に対する変化を示す。ここで、三つの位相シフト量は $\psi_1 = -\psi - \Delta\phi_a + \Delta\phi_b$ 、 $\psi_2 = 0$ 、 $\psi_3 = \psi + \Delta\phi_a + \Delta\phi_b$ とおいている。 $\Delta\phi_b$ 、 $\Delta\phi_a$ はそれぞれ設定値 ψ からの対称誤差、反対称誤差を表している。ここで注目したいのは $2\pi/100$ という比較的小さいシフト誤差に対しても顕著な変動が認められることである。また、対称なシフト誤差、反対称なシフト誤差はそれぞれ、確率密度関数に $\cos 2\phi$ 、 $\sin 2\phi$ で表される変動を与える。これらの成分は三角関数の直交性を用いて独立に抽出することができ、連立方程式を解くことにより $\Delta\phi_b$ 、 $\Delta\phi_a$ に対する一意な解を見いだすことができる。

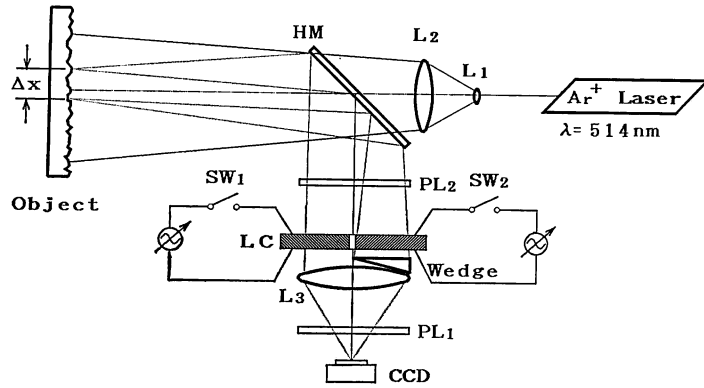


図1 液晶を用いたスペックルシェアリング干渉計

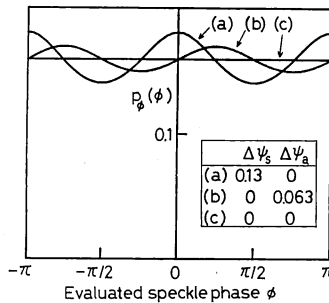


図2 位相シフト誤差のスペックル位相の確率密度分布への影響

本方法は、これまで変形を求めるために $\phi_a - \phi_b$ により捨て去っていたスペックル位相情報を利用するものであり、次のような利点をもつ。i) 実際のシフト量を決めるために位相ステップ数を増す必要がない。ii) 物体の変形測定と同時に較正が行える。図3は、本較正法を確認するための実際結果である。横軸は故意に導入した対称位相シフト誤差、縦軸は確率密度分布から決定したシフト誤差である。実験結果より少なくとも $\lambda/100$ 程度の精度で真の位相シフト量が決定できたことがわかる。

4. おわりに

液晶位相変調素子は他の素子にない優れた特徴をもっているため、適切な較正法（制御法）と組み合わせることにより、従来は不可能であった新しい干渉計が実現できるものと期待される。また、標準位相物体としてのスペックル位相という観点はこれまでにないものであり、本方法は液晶位相シフトの較正法だけでなく、独立した

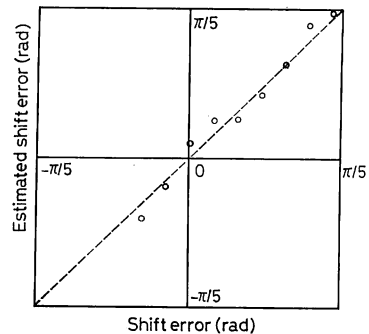


図3 対称位相シフト誤差に対してスペックル位相の確率密度分布から決定されたシフト誤差

干渉計測法としての可能性をもつことを最後に指摘しておきたい。

文 献

- 1) たとえば、岡野光治、小林駿介編：液晶（培風館、東京、1985）。
- 2) T. H. Barnes, T. Eiju, K. Matsuda and N. Ohyama: "Phase-only modulation using a twisted nematic liquid crystal television," *Appl. Opt.*, **28** (1989) 4845-4852.
- 3) 阿須間宏明、盧 学農、本田捷夫、奥村 治、曾根原富雄、大山永昭：“液晶の位相変調特性”，第37回応用物理学関係連合講演会予稿集（1990）p. 770.
- 4) 門野博史、豊岡 了：“液晶位相変調素子の共通光路型位相シフト干渉計への応用”，第5回光波センシング技術研究会講演論文集（1990），pp. 45-52.
- 5) 門野博史、武井広志、豊岡 了：“液晶を用いたスペックルシェアリング位相シフト干渉計—統計的較正法—”，第51回応用物理学学会予稿集（1990）p. 819.
- 6) J. W. Goodman: *Laser Speckle and Related Phenomena*, ed. J. C. Dainty (Springer-Verlag, Berlin, 1975).

(1990年12月28日受理)