



縞自動解析の基礎

横 関 俊 介*

1. はじめに

干渉計を用いて流体を計測したりレンズやミラーの検査を行う場合やモアレ・カメラで物体の形状を測定する時、ホログラフィ干渉法によって物体の変形測定を行う場合などには、測定結果が縞模様として得られる。目で見ても人が判断する場合には、縞模様のままで十分である。しかし、測定結果を数値で得るためには、この縞模様を解析しなければならない。かつては、この縞解析がマイクロフォトメータで行われていたので大変に手間のかかるものであった。最近では、画像入出力装置とパソコンレベルのコンピュータで行っている。これを、縞自動解析という。縞解析をコンピュータで行うと解析時間を短縮できるとともに、高精度に行うことができる。例えば、縞自動解析を採用した干渉顕微鏡による微細形状測定の分解能は 3 \AA であるといわれている¹⁾。可視光の波長の約2千分の1である。

干渉計やモアレ・カメラ、ホログラフィ・カメラなどで測定される被測定量は、それぞれ異なっている。しかし、得られる縞模様は次に述べる2つのタイプに分けられる。

2. 縞模様の種類

一般には、被測定量の等高線を発生させる場合が多い。これを等高線型縞模様と称することにする。測定光学系に少し工夫を加えると被測定量の大きさに比例した変形のある直線格子状の縞模様を得られる。これを変形格子型縞模様と呼ぶことにする。

同一の干渉計で同一の物体に対して得られた

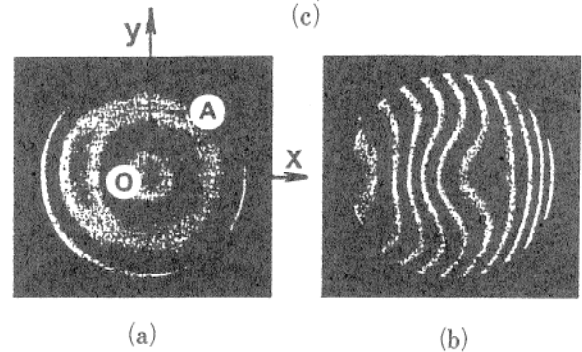
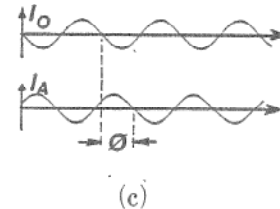


図1 干渉縞模様

- (a) 等高線型
- (b) 変形格子型
- (c) 縞走査による位相検出

2種類の干渉縞を図1の(a), (b)に示してある。図1の(a)では、物体光と参照光とのなす角をゼロにして、物体による波面収差の等高線を表わす干渉縞が得られている。図1の(b)では、2光束間に傾きを与えて、波面収差の大きさに比例した変形のある変形格子型の干渉縞が発生している。

2つの干渉縞を比較しても分るように、一般に、変形格子型にすると縞数が多くなり、画像入出力装置の空間分解能に対する要求が厳しくなる。しかし、測定光学系の状態さえ分っていれば、縞の変形の方から被測定量の増減が識別できる。また、各縞上で連続して測定値が得られる。

ところが、等高線型の場合で、とくに縞が閉曲線群の場合(図1の(a))には、被測定量の分布の状態が凸状なのか凹状なのか、また、隣の縞が被測定量の増加を表わすのか減少を表わしているのかの判断ができないという致命的な欠

*横関俊介(Shunsuke YOKOZEKI),大阪大学工学部, 応用物理学科, 助教授, 工学博士, 応用光学

点がある。例えば、図1(b)の干渉縞の助けをかりて初めて、図1(a)の隣りあった2本の黒い干渉縞が、波面収差の値が同じ所を示していることが分かる。ところが、等高線型の場合には変型格子型に比べて縞数が少ない。このことは、縞自動解析をする際には長所となる。

縞数が少ないという等高線型縞模様の特徴を生かしながら前述した欠点を克服するのが縞走査の技術である。

3. 縞 走 査

干渉計においては、互いに周波数偏移した2光束を干渉させるヘテロダイン干渉を利用したり参照光用のミラーを移動することによって干渉縞を走査する。モアレ法では、格子の移動などによってモアレ縞を走査する。縞走査を行うと、観測面上の各点における明るさが周期的に変化する。その変化の遅れや進みの度合、すなわち、位相として縞模様の情報が検出される。したがって、縞走査を採用した干渉計に、“位相測定干渉計”なる名前をつけた例がある。

図1(a)の例で縞走査を行った場合を、図1(c)に示してある。原点(O)における明るさの周期的変化に対する、任意の点(A)の明るさの変化の遅れや進み、すなわち、位相(ϕ)を求めることになる。縞走査による各点の明るさの変化は、電気信号に変換されたのちコンピュータに入力され、位相が計算される。ここでは、紙数の制限のため、位相の求め方については省略する。

この縞走査を体験できるモアレ・トポグラフィ

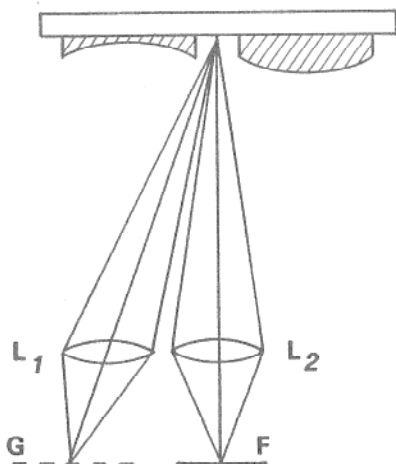


図2 投影型モアレ・トポグラフィの光学系

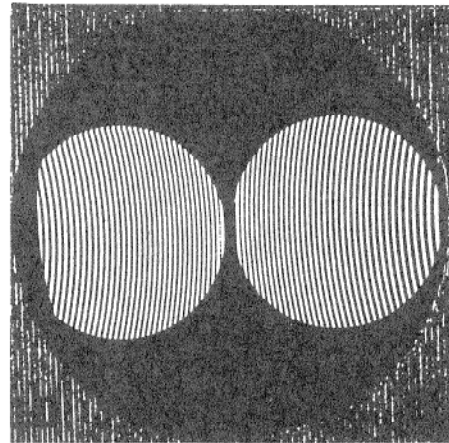


図3 球面に対する変形格子

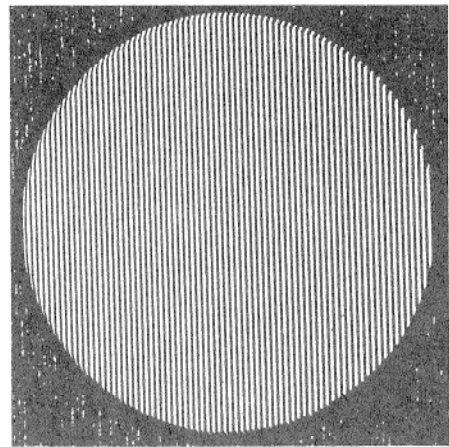


図4 直線格子

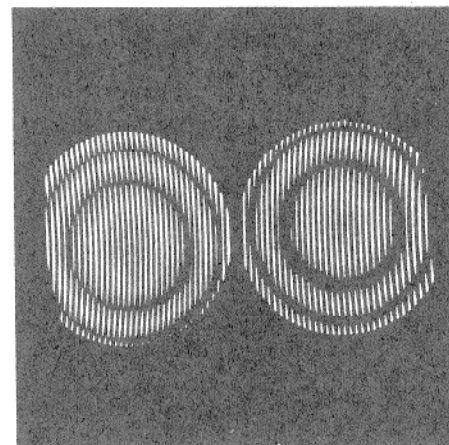


図5 モアレ・トポグラム

の例を示すことにする。図2の光学系を用いて、格子(G)のレンズ(L₁)による像を凹と凸との球面上に投影し、少し異なった方向からレンズ(L₂)によってフィルム(F)上に記録したのが図3である。これが変形格子である。球面の代わりに平面を置いて得られたのが、図4の直線格子である。モアレ・トポグラフィでは、変形格子(図3)と直線格子(図4)を重ね合わせて、図5に示す等高線を発生させる。図5において

は、球面の凹凸が分からなくなってしまうところ。ところが、図3の変形格子では、変形の方
向によって球面の凹凸が識別できる。すなわち
等高線化することによって、情報が失われたこ
とになる。

図4の直線格子を、例えば、OHP用の透明
な用紙にコピーして、上下左右の方向を一致さ
せて図3の変形格子に重ね合わせる。そして、
このコピーを左右の方向にゆっくり移動させると等高線を表わすモアレ縞が走査する。その走
査の方向は、球面の凹凸によって逆の方向にな
る。したがって、この縞の走査の方向から凹凸
が識別できることになる。このことを、明るさ
の変化の位相の分布で見た場合には、位相の増
加、または、減少として判別できる。

4. おわりに

縞模様をコンピュータで解析する際には、次
のようにしなければならない。縞模様の変形格
子型の場合には、1枚の縞模様を入力すれば十
分である。しかし、等高線型の場合には、縞走
査を行って得られる数枚の縞模様をコンピュ
ータに入力しなければならない。

日本での最初の縞解析の自動化は、モアレ・
トポグラフィで行われた²⁾。それまでのモアレ・
トポグラフィでは、直接、図5のような等高線

型モアレ縞模様を1枚だけ得ていた。したがっ
て、この等高線型縞模様を1枚だけコンピュ
ータに入力して解析する方法が開発されてしま
った。しかし、前述した理由によって、これは良
くない方法であった。縞自動解析の研究が正し
い方向に修正されるのに、実に、4~5年の時
間を要している^{3) 4)}。また、この後遺症のため、
今だに、等高線型縞模様を1枚だけコンピュ
ータに入力して縞解析を行うプログラムを開発し
ている研究者たちがいる。

この経験から、次のようなことがいえる。す
なわち、すでにある測定法にコンピュータを導
入する場合には、単純に、現存する測定器とコ
ンピュータを接続するのではなく、測定法の原
理にまで返って考え直し、デジタル処理に向
いた型のデータが得られるように測定法を検討
することが大変重要である。

参 考 文 献

- 1) 例えば、WYKO社製のTOPOシリーズ。
- 2) M. Idesawa, T. Yatagai, and T. Soma, Appl. Opt, 16, 2151 (1977).
- 3) 横関俊介, 光学 10, 202 (1981).
- 4) T. Yatagai, M. Idesawa, and S. Saito, Proc, SPIE, 361 (1982).