

## 光波干渉応用技術 4

## モアレ干渉法

横関 俊介

大阪大学工学部応用物理学教室 〒565 吹田市山田丘 2-1

(1983年8月11日受理)

## Moiré Interferometry

Shunsuke YOKOZEKI

Department of Applied Physics, Faculty of Engineering, Osaka University,  
2-1, Yamadaoka, Suita 565

## 1. はじめに

光学部品の波面収差や流体などの測定に、トワイマン・グリーン干渉計やマッハ・ツェンダ干渉計を用いると、測定結果は縞模様として得られる。このような干渉縞計測法に用いる干渉計にモアレ技術を採用したものが、モアレ干渉計<sup>1)</sup>である。ただし、一部においては、モアレ・トポグラフィのことをモアレ干渉法と称している<sup>2)</sup>し、また Post<sup>3)</sup> は、ここで述べる干渉法とは異なるものをモアレ干渉法といているので注意を要する。

モアレ干渉法においては、位相物体の変化前に得られる干渉縞と変化後の干渉縞とを重ね合わせる。その結果得られるモアレ縞は、物体の変化のみを表示する。物体が変化しないときには、物体があるときとないときの干渉縞を重ね合わせれば、物体の位相分布のみに対応した縞模様を得られる。これらの現象を利用すれば、干渉計自体の波面収差による測定誤差を除くことができる。したがって、モアレ技術を採用すれば、干渉計の精度に対する要求が緩和されるので、大口径の干渉計が容易に製作できるようになる。また、モアレ干渉計の光源にレーザ光を用いれば、粗面干渉縞に相当するモアレ縞を発生させることもできる。

これらの特徴は、ホログラフィ干渉法<sup>4)</sup>のものと一致している。モアレ干渉法においては、波面再生して回折光の空間的分離をする必要がなく、光の強度分布で表わされる干渉縞の重畳を行なうだけなので、ビデオ技術

によってこれを行なうことができる。この方法によれば、干渉縞の記録と再生、モアレ縞の発生とを長時間で、明るい部屋の中で行なうことができるので、時の経過とともに位相物体が変化するときその様子を容易に観察することができる。

このようなすばらしい特徴をもったモアレ干渉法は、古くから知られていた<sup>5,6)</sup>。ところが、現在でも、ほとんど利用されていない。その理由の一つは、モアレ干渉法の原理が、つい最近まで、理論的にきちんと説明されていなかったからではないかと思われる。最近では、モアレ技術そのものの原理が理論的にきちんと説明された<sup>7,8)</sup>結果、このモアレ干渉法の原理も解明され、その特徴や使用限界がよくわかってきている<sup>9)</sup>。

モアレ干渉法が広く知られ、多くの人々によって利用されることを願いつつ、原理や特徴を理論と実験結果によって示し、ビデオ技術の導入について述べ、流体計測への応用例をも示すことにする。

## 2. 原理と特徴

2.1 理論<sup>9)</sup>

二つの干渉縞の重畳せ方には、コヒーレントな方法とインコヒーレントなものがある。一つの干渉縞を記録したフィルムを二つ目の干渉縞を発生させる二光束の光波で照明し、記録された干渉縞によって回折された二つの一次回折光のみを空間フィルタリングすると、それらの干渉縞としてモアレ縞のみを発生させることができ

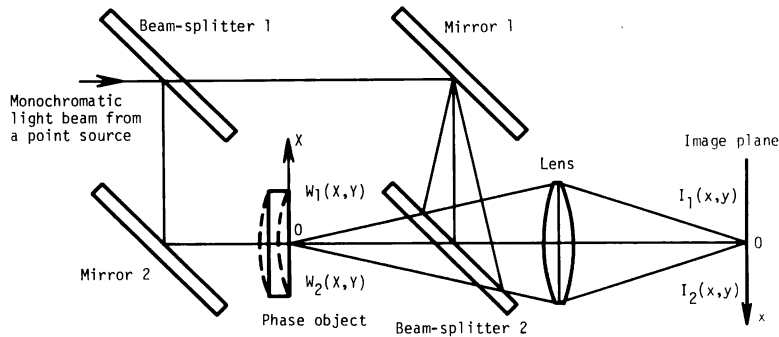


図1 モアレ干渉計の一例

る。これが、コヒーレントな重ね合せである<sup>10)</sup>。この場合は、イメージ・ホログラムを利用したホログラフィ干渉法であるとも見なせる。

光の強度分布で表わされる二つの干渉縞を写真技術やビデオ技術で重ね合わせるとモアレ縞が発生する。これが、インコヒーレントな重ね合せである。この方法を採用すると、ホログラフィ干渉法にはない長所が出てくるので、ここでは、インコヒーレントな重ね合せのみを考えることにする。

干渉計としては、図1に示すマッハ・ツェンダ干渉計を例にあげて原理の説明を行なう。物面に  $X, Y$  軸をとり、その像を  $x, y$  軸とする。像面から見ると参照光は、あたかも、物面を通ってきたように見える。これが虚の参照光である。この虚の参照光の振幅分布が像面で見え一様で、物面上における波面の形状が  $A(X, Y)$  とすれば、像面における参照光の複素振幅分布は  $a \exp \times (2\pi i/\lambda)[A(x, y) + B(x, y)]$  と書ける。 $a$  は定数で、 $\lambda$  は光波の波長、 $B(x, y)$  は結像系による波面形状の変化を示している。物体照明光の振幅分布が像面で見え一様で、位相物体の直前における波面の形状が  $C(X, Y)$  とすれば、物体の直後における物体光の複素振幅分布は  $b(X, Y) \exp(2\pi i/\lambda)[C(X, Y) + W_1(X, Y)]$  と表わせる。 $b(X, Y)$  は物体の振幅透過率分布を、 $W_1(X, Y)$  は初期状態の位相物体による波面の変形を表わしている。像面における初期状態の物体光は  $b(x, y) \exp(2\pi i/\lambda)[C(x, y) + W_1(x, y) + D(x, y)]$  となる。 $D(x, y)$  は結像系によって生じる物体光の波面形状の変化である。したがって、初期状態の干渉縞は次のように表わせる。

$$\begin{aligned}
 I_1(x, y) = & a^2 + b^2(x, y) \\
 & + 2ab(x, y) \cos(2\pi/\lambda)[W_1(x, y) \\
 & - A(x, y) - B(x, y) + C(x, y) \\
 & + D(x, y)] \quad (1)
 \end{aligned}$$

初期状態の干渉縞を記録した後に、物体の位相分布を

変化させ、さらに、参照光側の鏡1を少し回転させる。変化後の位相物体による物体光波面の変形を  $W_2(X, Y)$ 、鏡の回転による虚の参照光波面の変形を  $(\alpha X + \beta Y)$  とする。ここで、 $\alpha, \beta$  は定数である。位相物体変化後の干渉縞は次のように書ける。

$$\begin{aligned}
 I_2(x, y) = & a^2 + b^2(x, y) \\
 & + 2ab(x, y) \cos(2\pi/\lambda)[W_2(x, y) \\
 & - A(x, y) - B(x, y) - \Delta B(x, y) \\
 & - \alpha x - \beta y + C(x, y) + D(x, y)] \quad (2)
 \end{aligned}$$

$\Delta B(x, y)$  は、鏡1の回転によって生じる波面収差の変化を表わしている。

前述したように、ここでは、二つの干渉縞  $I_1, I_2$  のインコヒーレントな重ね合せのみを考える。一般に、 $I_1$  と  $I_2$  の和、または、積をとることによって、インコヒーレントな重ね合せを行なう。和をとる例としては、二つの干渉縞を二重露光する場合があげられる。積をとる例としては、二つの干渉縞をそれぞれ別に記録した2枚のフィルムを重ね合わせて、拡散光で照明してモアレ縞を発生させるものがある。積のモアレ縞<sup>11)</sup>は空間的に低周波成分として得られるので、重ね合わせた干渉縞が見えない観察系でもモアレ縞は見える。一方、和のモアレ縞<sup>11)</sup>は、重ね合わされた干渉縞のコントラストの変化として現われるため、干渉縞が見えないことにはモアレ縞を観察できないという欠点がある。そこで、和のモアレ縞を発生させる場合には、感光材料の特性などの非直線性を利用して、空間的に低周波な成分としてモアレ縞を生じさせて、モアレ縞を見やすくする<sup>11)</sup>。このようにして得られたモアレ縞は、積のモアレ縞と形状はまったく同じで、縞のコントラストが異なっているだけである。そこで、ここでは、積のモアレ縞の場合のみで原理を示すことにする。二つの干渉縞の積をとって得られるモアレ縞を表わす式の求め方については、他の論文<sup>7,8)</sup>を参照していただくことにして、その結果は次のようになる。

$$\alpha x + \beta y + [W_1(x, y) - W_2(x, y)] + \Delta B(x, y) = m\lambda \quad (3)$$

ここで、 $m$ は整数である。図1のように、半透鏡2から鏡1までの距離と物面までの距離とを等しくすると、参照光の波面収差は鏡1が回転しても横に移動しないので、 $\Delta B(x, y)$ を小さくすることができる。さらに、一般的には、鏡1の回転角は小さいものなので、(3)式における $\Delta B(x, y)$ は無視できる。したがって、(3)式は次のように書ける。

$$\alpha x + \beta y + [W_1(x, y) - W_2(x, y)] = m\lambda \quad (4)$$

この(4)式が、モアレ干渉法で得られる縞模様を表わす一般式である。得られるモアレ縞は格子状の縞模様で、 $[W_1(x, y) - W_2(x, y)]$ に比例した変形をしていることが(4)式からわかる。これを変形格子型モアレ縞と名づける。

とくに、鏡1の回転角がゼロのときには、 $\alpha = \beta = 0$ で $\Delta B(x, y) = 0$ となるので、(3)式は次のようになる。

$$W_1(x, y) - W_2(x, y) = m\lambda \quad (5)$$

(5)式は、モアレ縞が物体光の波面形状の変化のContourであることを示している。このモアレ縞をContour型と呼ぶことにする。

(4)と(5)式から次のようなことがいえる。

(i) 両式には、 $A(x, y)$ と $B(x, y)$ 、 $C(x, y)$ 、 $D(x, y)$ 、 $\Delta B(x, y)$ が含まれていない。これらの関数には、干渉計の波面収差が含まれている。したがって、干渉計の波面収差を原因とする誤差をモアレ干渉法によれば除けることを、(4)と(5)式は意味している。この特長は、大口径の干渉計を製作する場合に大変有効である。

(ii) 上の解析では、物体面における虚の参照光と位相物体照明光との振幅分布が像面から見ても一様であるという以外には特別の制限がない。したがって、二つの鏡を粗面に置き換えうる可能性が出てくる。次節で、この可能性を確かめる実験結果を示す。このことから、トワイマン・グリーン干渉計でも反射鏡を粗面に置き換えうるということがわかる。これは、Leendertzのスペックル・パターン干渉計<sup>12)</sup>そのものである。したがって、Leendertzのスペックル・パターン干渉法は、モアレ干渉法の特例であるといえる。

(iii) モアレ干渉法によれば、位相分布の変化( $2\pi/\lambda$ ) $\times [W_1(x, y) - W_2(x, y)]$ が検出できる。このことは、モアレ技術によって、二次元の減算が行なわれることを示している。

(iv) 座標 $x, y$ は $X, Y$ の像なので、一般には、歪んでいる。したがって、モアレ技術を用いても、結像系による像の歪みを除くことはできない。しかし、像の歪みを前もって調べておけば、補正することができる。また、干渉縞計測の場合、検出される測定量 $[W_1(x, y) - W_2(x, y)]$ は空間的に非常に低周波で数本の縞で表現できるのが一般的な例なので、像の歪みによる誤差は大きくないと思われる。

上に述べたモアレ干渉法の特徴は、ホログラフィ干渉法のもの<sup>4)</sup>と一致している。モアレ干渉法とホログラフィ干渉法との違いは二つある。

その一つは、モアレ干渉法では二次元情報しか得られないことである。しかし、ホログラフィ干渉法で三次元情報を求めるときには、三方向からとったホログラムを必要とする<sup>13)</sup>。したがって、三次元情報を記録、再生しているはずのホログラフィの長所は、ホログラフィ干渉法では、十分には利用されていない。

第二の違いは、モアレ干渉法においては、二つの干渉縞のインコヒーレントな重ね合わせで縞模様を得られることである。このインコヒーレントな重ね合わせをビデオ技術で行なうと、干渉縞の記録や再生、重ね合わせがスイッチの切換えのみで瞬時に行なえ、実時間観察が非常に容易になる。この件については、次章において詳しく述べる。

## 2.2 実験結果

実験によって、モアレ干渉法の原理や特徴を示すことにする。

### 実験 1<sup>14)</sup>

物体光と参照光との傾きをゼロに調整した市販されているマッハ・ツェーンダ干渉計によって、あるスライドガラスに対して得たContour型干渉縞が図2である。

オブティカルフラットになっていない板ガラスにアルミ蒸着した鏡を2枚の反射鏡として用いたマッハ・ツェーンダ干渉計を組み立てた。この干渉計の二光束の傾き

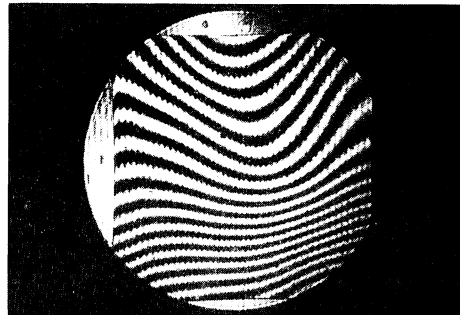


図2 マッハ・ツェーンダ干渉計によって得たあるスライドガラスに対するContour型干渉縞

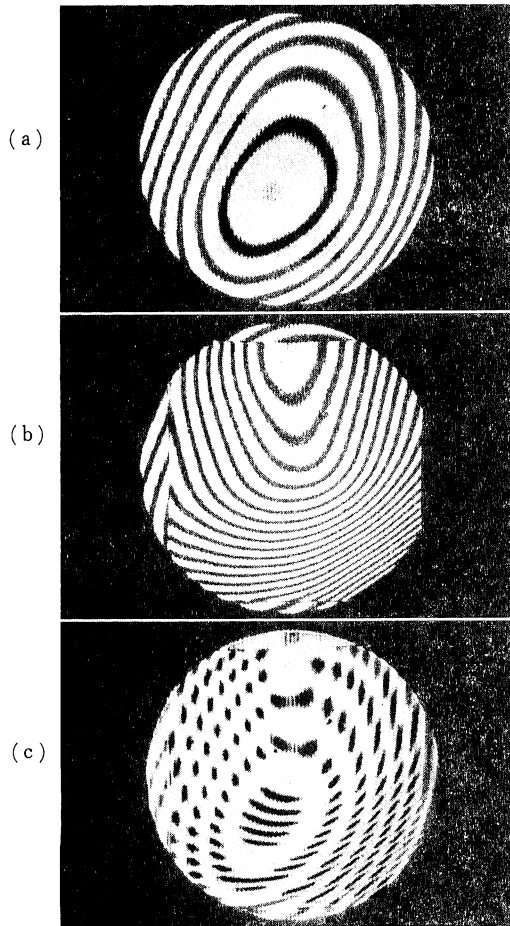


図3 オプティカルフラットでない板ガラスにアルミを蒸着した2枚の鏡を反射鏡として用いたマッハ・ツェンダ干渉計による、(a)スライドガラスなしでの Contour 型干渉縞、(b)スライドガラスに対する Contour 型干渉縞 ( $\alpha=\beta=0$ )、(c) (a)と(b)の干渉縞を二重露光で重ね合わせた結果得られたモアレ縞

をほぼゼロにした状態で、物体なしで得た Contour 型干渉縞が図3(a)である。この干渉縞の様子より干渉計には大きな波面収差が残っていたことがわかる。図3(a)を得た状態(反射鏡を回転せずに)のまま、図2の干渉縞を発生したスライドガラスを物面に置いたときに得た Contour 型干渉縞が図3(b)である。これら二つの干渉縞を二重露光で重ね合わせた結果が図3(c)である。図3(c)をそのつもりで見れば、図2の干渉縞と同じ形状の縞模様が発生していることがわかる。しかし、予備知識なしで図3(c)を見た場合、モアレ縞を認識しにくい。その原因は、干渉縞とモアレ縞の空間周波数がほぼ一致しているためと思われる。そこで、重ね合わせ

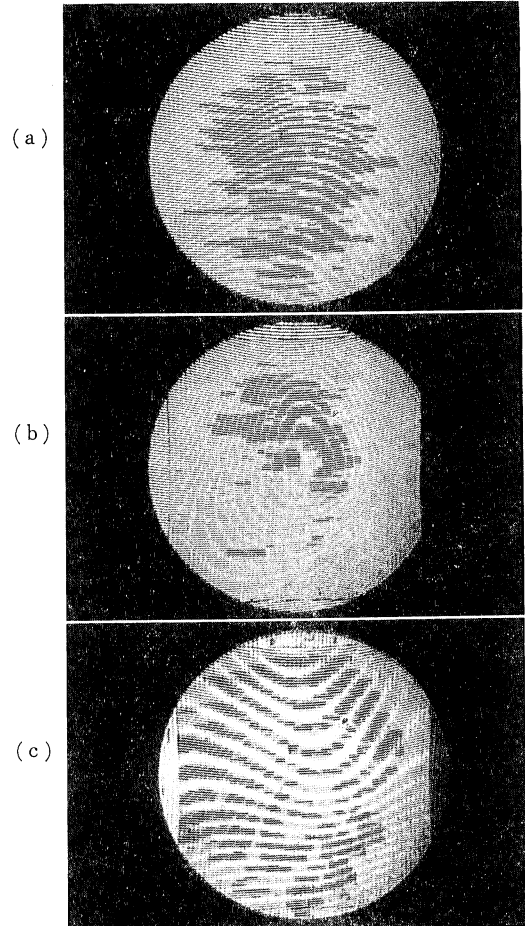


図4 図3で用いた干渉計による、(a)スライドガラスなしでの変形格子型干渉縞、(b)スライドガラスに対する変形格子型干渉縞 ( $\alpha=\beta=0$ )、(c) (a)と(b)の干渉縞を二重露光で重ね合わせた結果得られたモアレ縞  
なお、(a)と(b)とに現われているコントラストの悪いモアレ縞は網目製版の際に生じたものである。

る干渉縞とモアレ縞の空間周波数の分離を考えた。これは容易に行なえて、二光束間に傾きを与えて干渉縞を細かく(周波数を高く)すればよい。二光束間の傾きを大きくすればするほど、干渉縞は細くなる。このようにして得たスライドガラスなしでの変形格子型干渉縞が図4(a)で、スライドガラスを入れたときの変形格子型干渉縞が図4(b)、これら二つの干渉縞を二重露光で重ね合わせた結果が図4(c)である。

図4(c)に発生しているモアレ縞は、図2の干渉縞と形状がまったく同じである。図3(a)の干渉縞からもわかるように、ここで使用した干渉計には、大きな波面収

差が残っているにもかかわらず、モアレ技術の採用によって、波面収差がほぼゼロの干渉計によって得られた干渉縞 (図2) と同じ形状の縞模様が見られている。このことは、理論の (i) で述べたことを実験で確かめたことになる。また、本実験によって、モアレ干渉法で重ね合わせる二つの干渉縞はできるだけ細かくしなければならないことがわかる。

図4(c) は和のモアレ縞なので、重ね合わされた干渉縞のコントラストの変化として得られていて、干渉縞が見えなければモアレ縞も見えなくなってしまい、モアレ縞のみを分離して観察することはできないはずである。しかし、図4(c) では、フィルムや印画紙の特性の非直線性のために、空間的低周波成分としてモアレ縞が生じていて<sup>11)</sup>、本来の和のモアレ縞よりはずっと見やすくなっている。

#### 実験 2<sup>15)</sup>

実験1で使用した干渉計の2枚の全反射鏡を粗面にするために、スリガラスを用いた。この干渉計の物面に、実験1で使ったスライドガラスを置いたときに得られるスペckル・パターン状の干渉縞とスライドガラスなしのものとの二重露光で重ね合わせた結果が図5であ

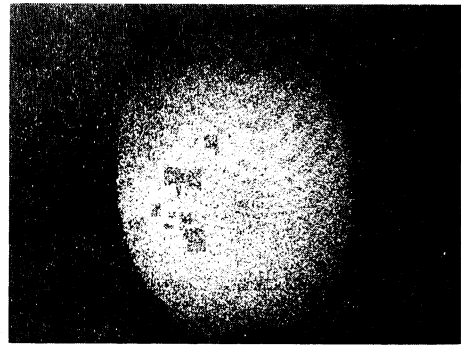


図5 図3と図4で使用した干渉計の2枚の全反射鏡をスリガラスに換えて粗面にした装置を用いて、スライドガラスがあるときとないときに得られたスペckル・パターン状の干渉縞を二重露光で重ね合わせた結果得られたモアレ縞

る。

コントラストは非常に悪いが、得られている縞模様は図2の干渉縞と一致している。この結果は、理論の (ii) で予想したとおりである。

#### 実験 3<sup>9)</sup>

モアレ縞を発生させるために、マッハ・ツェンダ干

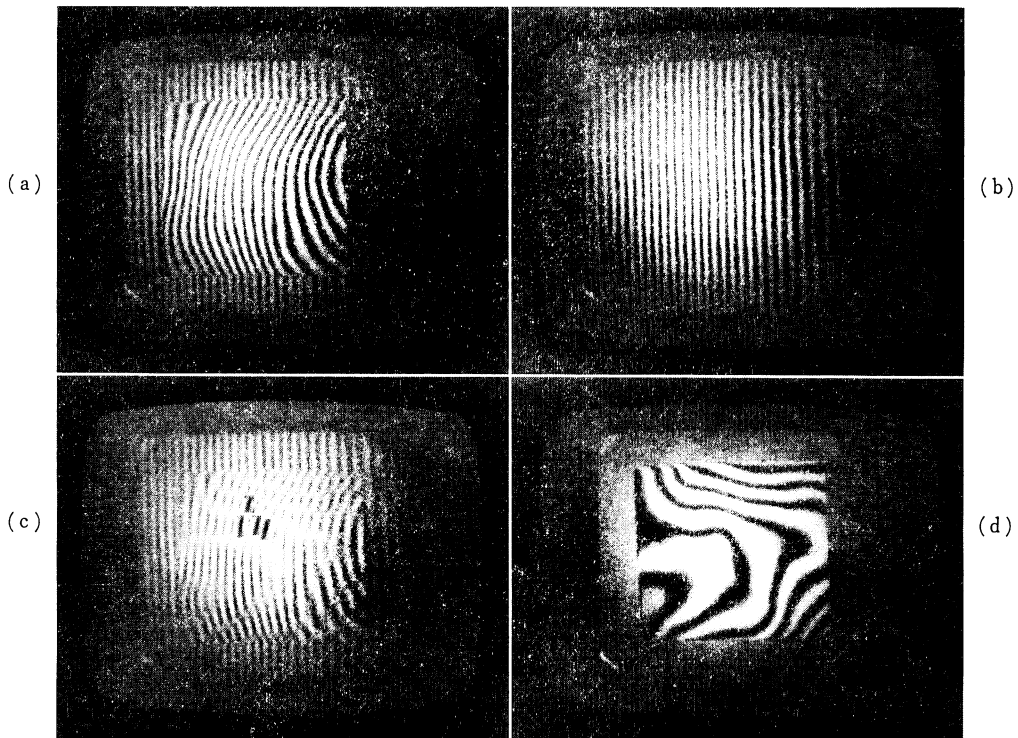


図6 マッハ・ツェンダ干渉計による、(a)スライドガラスと板ガラスに対する変形格子型干渉縞、(b)板ガラスに対する変形格子型干渉縞 ( $\alpha=\beta=0$  のとき)、(c) (a)と(b)の干渉縞の和をビデオ技術で求めた結果得られたモアレ縞、(d)スライドガラスに対する Contour 型干渉縞

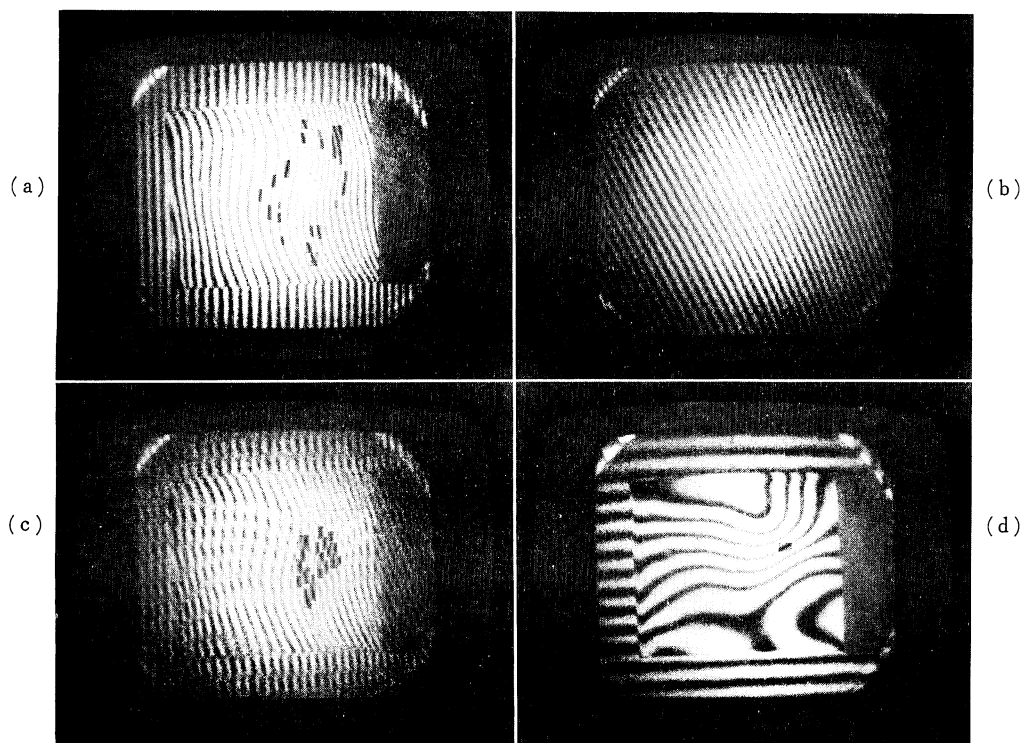


図7 マッハ・ツェンダ干渉計による、(a)スライドガラスと板ガラスに対する変形格子型干渉縞、(b)板ガラスに対する変形格子型干渉縞 ( $\alpha \neq 0, \beta \neq 0$  のとき)、(c)(a)と(b)の干渉縞の和をビデオ技術で求めた結果得られたモアレ縞、(d)スライドガラスに対する変形格子型干渉縞

干渉計の二光束に傾きを与えて、これまでの実験で使用したものと異なるスライドガラスとオプティカル平行でない板ガラスを物面に置いたとき得られた変形格子型干渉縞をビデオカメラを通してモニタ上に表示したものが図6(a)で、図6(a)の干渉縞を発生させた状態 ( $\alpha = \beta = 0, \Delta B(x, y) = 0$ ) のままの干渉計で板ガラスのみを物面に置いたとき得られた変形格子型干渉縞が図6(b)である。ビデオ技術で、図6(a)と図6(b)の干渉縞の和をとってモアレ縞を発生させた結果が図6(c)である。ビデオ技術によるモアレ縞の発生法については次章に詳しく述べる。波面収差をほぼ除いたマッハ・ツェンダ干渉計の二光束の傾きをゼロにしておいて得た、スライドガラスに対する干渉縞が図6(d)である。

図6(c)のモアレ縞は、図6(d)の干渉縞と完全に一致している。すなわち、

(モアレ縞が表わしている情報)

$$= [(スライドガラス) + (板ガラス)] - (板ガラス) \\ = (スライドガラス)$$

であることがわかる。この実験結果は、理論の(iii)で述べたようにモアレ技術によれば二次元の減算が行なえることを、実験によって確かめたことになる。また、[(ス

ライドガラス)+(板ガラス)]と(板ガラス)が、ある位相物体の二つの状態を表わしていると見なすと、本実験は、位相物体の変化をモアレ干渉法によって検出できるという特徴をも実験によって示したことになる。

#### 実験 4<sup>9)</sup>

これまでの実験では、干渉計を同じ状態(反射鏡を回転しない、すなわち、 $\alpha = \beta = 0$  で  $\Delta B(x, y) = 0$ ) で二つの干渉縞を発生させて、(5)式で表わされるContour型のモアレ縞を作っていた。本実験では、二つ目の干渉縞を発生させるときに参照光側の反射鏡を少し回転させて、(4)式で表わされる変形格子型のモアレ縞を作ってみた。実験3で用いたスライドガラスと板ガラスを物面に置いたときの変形格子型干渉縞が図7(a)である。干渉計の参照光側の反射鏡を少し回転して得た板ガラスに対する変形格子型干渉縞が図7(b)である。これらの干渉縞をビデオ技術で重ね合わせた結果が図7(c)である。図7(c)の和のモアレ縞は、二光束間に傾きを与えたマッハ・ツェンダ干渉計によって得たスライドガラスに対する干渉縞(図7(d))にほぼ一致している。

図7(c)のモアレ縞を二重露光で発生させる場合には、フィルムを現像、定着して初めてモアレ縞の様子が

わかるので、干渉計の反射鏡をどのくらい回転すればよいのかを知るまでに非常な時間がかかる。ところが、ビデオ技術による場合には、二つ目の干渉縞を発生させながら同時にモアレ縞をモニタ上に見ることができるので、位相物体に適した傾きや縞間隔をもったモアレ縞を発生させることが非常に容易である。

### 3. 電子式モアレ干渉法<sup>9)</sup>

ここでは、モアレ干渉法にビデオ技術を導入した電子式モアレ干渉法を説明する。ビデオ技術で干渉縞を重ね合わせる場合にも、和の重ね合わせと積の重ね合わせを行なうことができる。

#### 3.1 和の重ね合わせ

図8に示してあるように、まず、位相物体が変化する前の干渉縞をビデオカメラを通して VTR に記録する。VTR の代わりに他のビデオ信号記録装置 (たとえば、スキャンコンバータ) を使ってもよい。この記録したビデオ信号を再生しながら、再生信号に同期したビデオカメラで位相物体の変化後の干渉縞をビデオ信号にする。このビデオ信号と再生信号との和をとってモニタ上に表示すれば、和のモアレ縞が得られる。

干渉縞をビデオ信号にする際に、ビデオカメラの走査線の方向と干渉縞の縞の方向が平行にならないように注意しなければならない。平行になると、干渉縞と走査線との間のモアレ縞が生じることがあって、二つの干渉縞の重ね合わせの結果生じたモアレ縞との区別がつきにくくなる。また、実験1で述べたように、重ね合わせる干渉縞はできるだけ細かくしなければならない。この際、ビデオカメラの分解能を越えないように注意する必要がある。

ビデオ技術による和のモアレ縞の例は、図6(c)と図7(c)に、すでに、示してある。この実験では、ビデオ

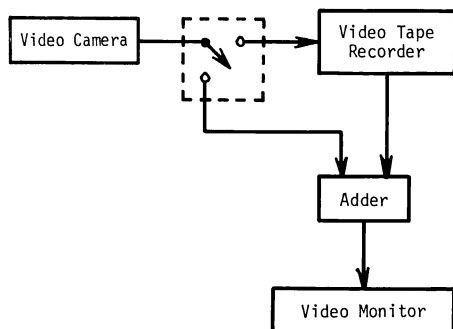


図8 和のモアレ縞を発生させるためのビデオ信号処理法

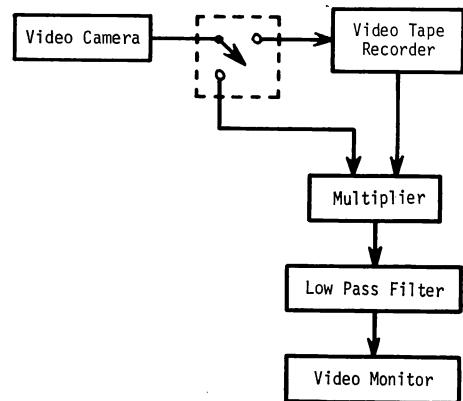


図9 積のモアレ縞を発生させるためのビデオ信号処理法

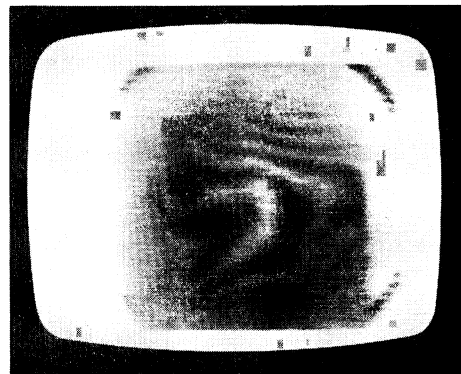


図10 ビデオ技術によって得た積のモアレ縞

信号の和をとる装置 (Adder) としては、商品化されているスイッチャーを利用した。一部のビデオ信号記録装置では、二つの映像の和をとることができるようになっていたので、これを利用すれば便利である。図6(c)と図7(c)は和のモアレ縞なので、重ね合わされた干渉縞のコントラストの変化として得られていて、干渉縞が見えていなければ、モアレ縞も見えなくなってしまい、モアレ縞のみを分離して観察することはむずかしい。

#### 3.2 積の重ね合わせ

図9に示してあるように、まず、位相物体の変化前の干渉縞をビデオ信号の形で記録する。これを再生しながら、再生信号に同期したビデオカメラで、位相物体変化後の干渉縞をビデオ信号にする。このビデオ信号と再生信号の積をとり、ローパスフィルタを通すと、重ね合わせた干渉縞が消えてモアレ縞のみをモニタ上に表示できる。なお、両信号の積をとる代わりに、両信号の和をとって非線形フィルタを通して同じ結果が得られる。

図6(c)のモアレ縞を発生させたビデオ信号と再生信

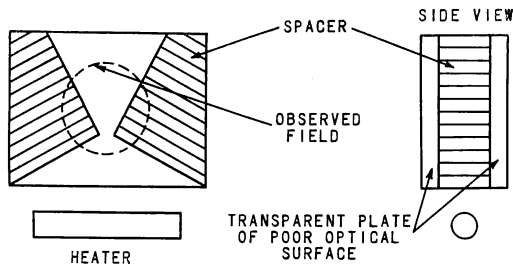


図 11 温い空気の流れを作る装置

号に図9の信号処理をした結果が図10である。この積のモアレ縞は、図6(c)の和のモアレ縞や図6(d)の干渉縞と形状が一致している。図10の積のモアレ縞では、重ね合わされた干渉縞が消えているので、図6(c)の和のモアレ縞に比べれば大変見やすくなっている。

#### 4. 流体計測への応用<sup>15)</sup>

図11に示してある装置で、ヒータからの“温い空気の流れ”を作り、これをモアレ干渉法で観察した。従来の干渉計でこれを行なうためには、流れの前後に置かれた透明板がオプティカルパラレルでなければならない。しかし、モアレ干渉法によれば、その必要がない。本実験では、透明板としてオプティカルパラレルになっていないプラスチック板を使用した。

“温い空気の流れ”がないときに得られた変形格子型干渉縞が図12(a)で、流れのあるときの変形格子型干渉縞が図12(b)である。これらの干渉縞を二重露光で重ね合わせた結果が図12(c)である。図12(a)と図12(b)の干渉縞は、干渉計を同じ状態にして得たものである。したがって、図12(c)の縞模様は(5)式で表わされる Contour 型のモアレ縞である。図12(c)には、予想される縞模様が得られている。この結果には、もちろん、干渉計に残留している波面収差による誤差も除かれている。大口径の干渉計やオプティカルパラレルが非常に高価なものなので、サイズの大きな流体計測には、モアレ干渉法が大変有効であることがわかる。さらに、ビデオ技術の導入をすれば、流体の様子を実時間で計測することができる。

#### 5. おわりに

インコヒーレントなモアレ技術を用いたモアレ干渉法の原理と特徴を、理論と実験によって示した。モアレ干渉法にとってはビデオ技術の導入が大変有効なことで、流体計測への応用例についても述べた。もう一度、モアレ

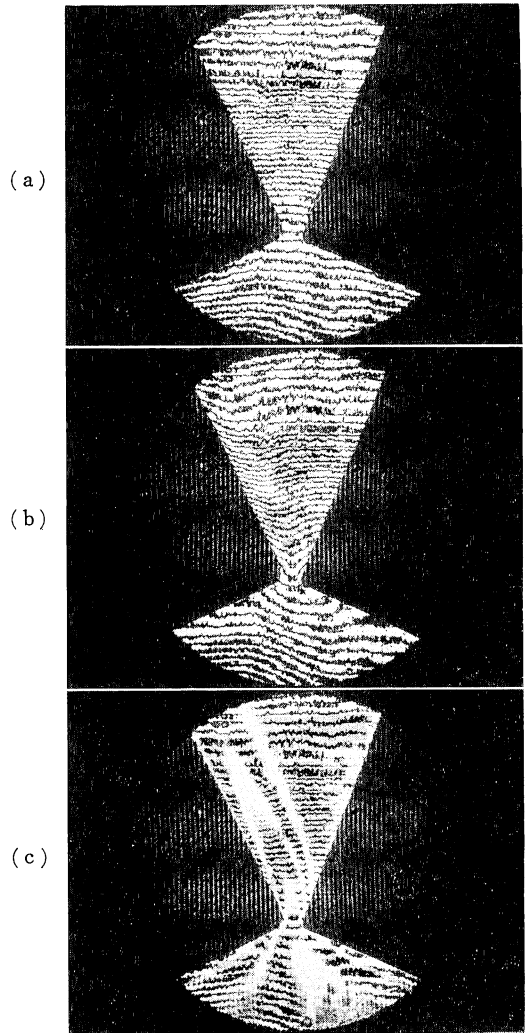


図 12 二光束に傾きのある マッハ・ツェーンダ干渉計による、(a)温い空気の流れがないときの変形格子型干渉縞、(b)温い空気の流れがあるときの変形格子型の干渉縞、(c)(a)と(b)の干渉縞を二重露光で重ね合わせた結果得られたモアレ縞

レ干渉法の特徴をまとめておく。

- (i) 位相物体の変化を計測できる(ホログラフィ干渉法における時分割干渉に相当する)。
- (ii) 干渉計の光学要素が高精度のものでなくてよい。
- (iii) 結像系の歪曲収差による測定誤差は除けない。
- (iv) ホログラフィ干渉法における粗面干渉縞に相当する縞模様が得られる。
- (v) ビデオ技術を導入すると、縞模様を発生させる操作が非常に容易になる。



したがって、従来から干渉縞計測法が利用されていた分野はもちろんのこと、ホログラフィ干渉法によって初めて可能になった分野でも、モアレ干渉法は利用できる。

なお、本講では述べなかったが、モアレ技術の導入は、シャリング干渉計においても大変有効である。シャリング干渉計にモアレ技術を積極的に利用したものとして、タルボ干渉計がある。この干渉計に関しては、すでに本誌に解説を書いてある<sup>16)</sup>ので、それを参照していただきたい。

理論の(Ⅲ)で述べたように、モアレ干渉法においては、モアレ技術によって二次元の減算を行なっている。一方、縞模様として測定結果が得られる計測法では、デジタル画像処理を取り入れて、縞模様を自動解析するのが最近の傾向である<sup>17)</sup>。最近の傾向だからといって、単純にモアレ干渉法にデジタル画像処理を採用しようとするのは考えものである。全体のシステムをよく考えて設計すべきである。たとえば、モアレ技術による二次元の減算をデジタル処理に任すことも考えられるし、干渉計の残留波面収差が大きい場合には、前処理としてモアレ技術を用いたほうがよいときもある。モアレ技術とデジタル処理の長所・短所をよく考えてシステ

ム全体を設計すべきである。また、デジタル画像処理を導入する際には、縞模様は Contour 型がよいのか、変形格子型が適しているのか、縞走査を採用したほうがよいのかなどについて<sup>18)</sup>、十分な検討が必要である。

## 文 献

- 1) J. Motycka: *Exp. Mech.*, **15**(1975)279.
- 2) J. C. Wyant: *Optical Shop Testing*, ed. D. Malacara (John Wiley & Sons, New York, 1978) p. 402.
- 3) D. Post: *Opt. Eng.*, **21**(1982)458.
- 4) 村田和美: *ホログラフィー入門*(朝倉書店, 1976) p. 159.
- 5) H. I. Ashkenas and A. E. Bryson: *J. Aerosol Sci.*, **18**(1951)82.
- 6) M. Nishida and H. Saito: *Exp. Mech.*, **4**(1964)366.
- 7) S. Yokozeki, Y. Kusaka and K. Patorski: *Appl. Opt.*, **15**(1976)2223.
- 8) S. Yokozeki: *Opt. Lasers Eng.*, **3**(1982)15.
- 9) S. Yokozeki and S. Mihara: *Appl. Opt.*, **18**(1979)1275.
- 10) C. Polhemus and C. Choccol: *Appl. Opt.*, **10**(1971)441.
- 11) 高崎 宏: *計測と制御*, **12**(1973)390.
- 12) J. A. Leendertz: *J. Phys. E.*, **3**(1970)214.
- 13) K. Shibayama and H. Uchiyama: *Appl. Opt.*, **10**(1971)2150.
- 14) S. Yokozeki and T. Suzuki: *Appl. Opt.*, **11**(1972)446.
- 15) S. Yokozeki and T. Suzuki: *Appl. Opt.*, **11**(1972)2715.
- 16) 横関俊介: *光学*, **9**(1980)275.
- 17) 横関俊介: 第 18 回サマーセミナー「最近の光計測技術」論文集 (応用物理学会光学懇話会, 1980) 第 6 章.
- 18) 横関俊介: *光学*, **10**(1981)202.

## 講義 『光波干渉応用技術』

- 1 「光波干渉計測原論」(諸隈 肇) 12巻 1号 pp. 45~52.
- 2 「コヒーレンスと光学部品検査用干渉計」(諸隈 肇) 12巻 2号 pp. 117~127.
- 3 「粗面干渉技術」(山口一郎) 12巻 4号 pp. 306~316.