

# ホログラムを用いた共役波面干渉法

Interferometry using the conjugate Wave-fronts on a Hologram

松 本 和 也・小 瀬 輝 次

Kazuya MATSUMOTO・Teruji OSE

## 1. 緒 言

干渉計を用いてレンズの収差、媒質の不均質性などを検査するとき通常は基準となる参照波面を用意し、被験波面のそれからのずれを干渉縞として観測している。

一方参照波面を用いないで干渉縞をうる方法も考えられている。たとえば Bates<sup>1)</sup> は被験波面を互に横ずらしして干渉縞を得ているがこの場合は被験波面のずらし方向の差分が得られる。Gates<sup>2)</sup>, Saunders<sup>3)</sup>などは Köster プリズム<sup>4)</sup>を用い、被験波面とこれを 180 度回転した波面とを干渉させている。この場合は中心対称の波面に対しては干渉縞を生じないので波面の非対称性を検出するのに便利である。しかしながらこれらの方法ではいずれも参照波面を用いたときのような波面の等高線を表わす干渉縞をうることはできない。

被験波面とその進行方向に垂直な平面に関して裏返しした波面（以下共役波面という）が得られ、これとものと波面を干渉させることができれば基準波面を作る必要もなく、波面の等高線が得られ、かつ平面波を基準にしたものに比べ感度は倍になる。このような共役波面を作るのにホログラムを用いることを考えてみた。

## 2. ホログラムを用いた共役波面干渉法

ホログラムに照明光を当てるとホログラムを作るときに入射させた波面とこれと共役な波面が同時に再生される。したがってもし二つの照明光  $Q_1, Q_2$  をホログラムの法線に対して対称の方向から当てると、それぞれの照明光についてお互いに共役な波面を生じ、照明光の方向を適当に選べばこれらの波面を重ね合わせることができホログラム面上に干渉縞が得られる。

簡単のために 1 次元の波面を考え、ホログラム面上に  $y$  座標をとる。ホログラムへ入射した被験波面を  $a \exp[ik\varphi(y)]$ 、ホログラム面に角  $\theta$  で入射する参照光を

$\text{rexp}[ikysin\theta]$  とする。ホログラムにはこの二つの波面の干渉結果の強度分布が記録される。

理想的なホログラムではその振幅透過率は記録した強度に比例するから、このホログラムを図 1 (a) のように  $Q_1, Q_2$  の平面波  $c \exp[ikysin\theta]$ ,  $c \exp[-ikysin\theta']$  で照明するとそれぞれにより再生される波面は下記のようになる。

$Q_1$  の照明により

$$c(a^2+r^2)\exp[ikysin\theta]+carexp[ik\varphi]+carexp[-ik(\varphi-2ysin\theta)]=g_0+g_1+g_2 \quad (1)$$

$Q_2$  の照明により

$$c(a^2+r^2)\exp[-ikysin\theta']+carexp\{ik[\varphi-y(\sin\theta+\sin\theta')]\}+carexp\{-ik[\varphi-y(\sin\theta-\sin\theta')]\}=g_0'+g_1'+g_2' \quad (2)$$

いま  $\theta-\theta'=2\varepsilon$  とおき、 $\sin\theta'=\sin(\theta-2\varepsilon)\approx\sin\theta-2\varepsilon\cos\theta$  と近似すると、

$$g_1'\approx carexp\{ik[\varphi-2y(\sin\theta-\varepsilon\cos\theta)]\}$$

$$g_2'\approx carexp[-ik(\varphi-2y\varepsilon\cos\theta)]$$

となり  $\varepsilon=0$  のとき  $g_1$  と  $g_2'$  はホログラム面に垂直な方向に射出される互いに共役な関係にある波面になる。

$g_2'$  と  $g_1$  を他から分離して重ね合わせたときに得られる干渉縞の強度分布は、

$$(car)^2\{1+\cos[2k(\varphi-y\varepsilon\cos\theta)]\} \quad (3)$$

となる。

従来の光学干渉法で被験波面  $a \exp[ik\varphi]$  と平面波  $\text{rexp}[ikysin\theta']$  との干渉縞は

$$(ar)^2\{1+\cos k(\varphi-y\sin\theta')\} \quad (4)$$

となり (3) 式はこれと比べて位相が倍になっており、これは感度が倍になることを示している。

また  $\varepsilon$  すなわち  $Q_1, Q_2$  の照明光のなす角を変えることによって干渉縞の方向、ピッチを自由に変えることが

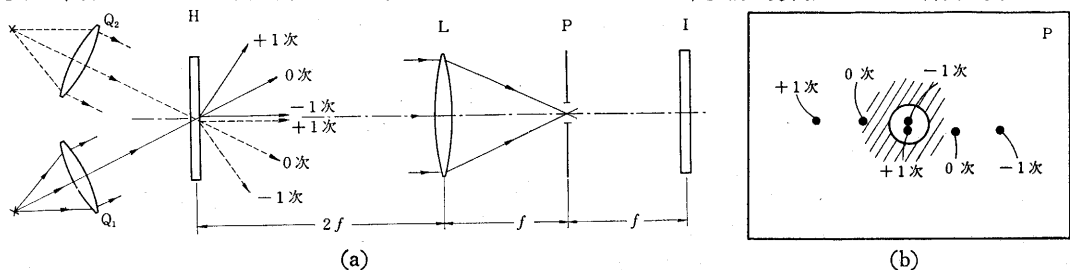


図 1

研 究 速 報

できる。

3. 実 験

被験波面と参照波面（平面波）を角度  $\theta$  で重ね合わせ通常の方法で作ったホログラム H を図 1 (a) のように二つの平行光  $Q_1, Q_2$  で角度  $\theta$ , および  $-\theta'$  で照明し、その後方にレンズ L を置けば、その焦点面 P には図 1 (b) のようにホログラムで回折される 0 次,  $\pm 1$  次の回折像が生じる。これらは (1), (2) 式の  $q_0, q_1, q_2$  および  $q_0', q_1', q_2'$  に対応するものである。

この回折像の間隔はホログラム製作時の角  $\theta$  で決まるが P 面上の位置は照明光の入射角  $\theta$  と  $\theta'$  で決まる。P 面の中央に小孔をおき、 $Q_1, Q_2$  を動かしてそれぞれの回折像のうちの一つずつを同時に取り出せば、ホログラムのレンズ L に対する共役像面 I にはこれらの干渉縞が得られる。 $Q_1$  の  $-1$  次と  $Q_2$  の  $+1$  次を取り出す時 (3) 式で与えられる共役干渉法による干渉縞が得られる。また  $Q_1$  の 0 次と  $Q_2$  の  $+1$  次では (4) 式の平面波を基準にした干渉縞が得られる。

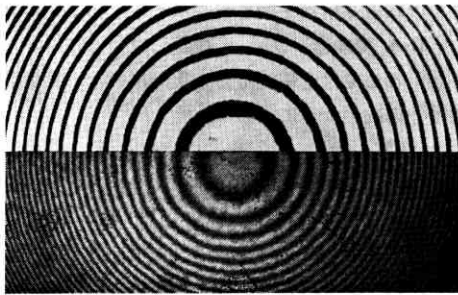
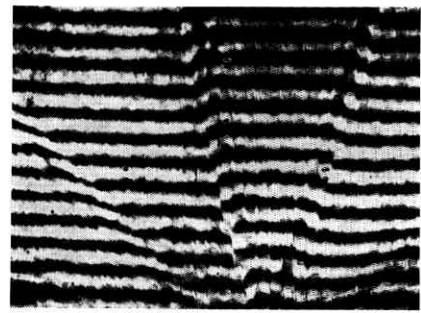


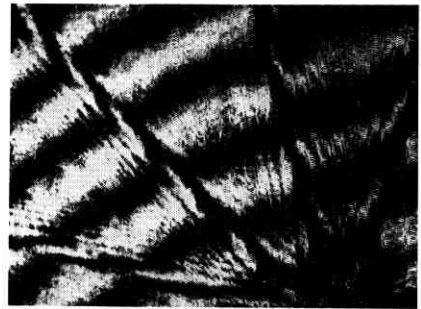
図 2

図 2 は被験波面として球面波を用いた例で図の上部はマッハ・ツェンダー干渉計で平面波を基準にした干渉縞、下部は同一の球面波をホログラムに記録し、図 1 (a) の光学系を用いた共役干渉法によるものである。この場合  $\varepsilon=0$  であるから (3) 式で縞は  $2\varphi$  のみで決まりこの縞間隔は上部のちょうど  $1/2$  になるはずで図は定性的によくこれを示している。またこの縞のずれからホログラム干渉法における精度を定量的に検討することもできる。

図 3 は薄膜を扇形につけた位相板のホログラムを作りやはり図 1 の光学系で再生、干渉せしめたものである。P 面で  $Q_1$  の 0 次の回折光と  $Q_2$  の  $+1$  次の回折光を取り出して干渉せしめたものが (a) である。(b) は  $Q_1$  の  $-1$  次と  $Q_2$  の  $+1$  次を取り出し干渉せしめた共役干渉法によるものである。扇形のエッジにおける縞のずれは (b) では (a) の倍になっていることがわかる。



(a)



(b)

図 3

4. 結 語

ホログラムを用いた共役波面干渉法は真の波面の形をうるために基準波面を必要としないことと、鏡測中に二つの照明光の間の角を変えることにより従来の干渉計と同じように干渉縞の方向とピッチを自由に換えられることが特長である。

これはホログラムを用いる干渉法の干渉縞の方向とピッチが製作時の条件で固定されてしまうという従来の欠点を除くもので、これを光学干渉計の操作性に近づけたものである。しかしなおこの方法ではホログラムの製作時および照明には精度のよい平面波を用いる必要がある。これを避ける工夫を進めているがこれについては別に報告する

おわりに文献ならびに種々御教示を賜わった久保田広教授に厚く御礼を申し上げる。(1966年10月31日受理)

文 献

- 1) Bates, W. J. Observatory, 66, 326, (1946).  
Proc. Phys. Soc., 59, 940, (1947).
- 2) Gates, J. W., Proc. Phys. Soc., B 63, 1065, (1955).
- 3) Saunders, J. B., Jour. Res. NBS 53, 27, (1957).
- 4) Kösters, W., German Patent 4th March (1931).  
Reichspatentschrift 595211 (1934).

