

# ホログラフイによるレンズ収差の補正

Correction of Lens Aberrations Using Holography

野 口 勝・小 瀬 輝 次

Masaru NOGUCHI and Teruji OSE

## 1. ま え が き

物体と観測者との間にある定常的な turbulence はホログラムを用いることによつて消せることはすでにいくつか報告<sup>1)</sup>されている。turbulence はレンズの収差であつてもよく、Upatnieks ら<sup>2)</sup>はレンズの収差補正にホログラムを用いることを提唱している。しかし彼らの方法では像再生の際の光学系の配置にむずかしさが伴う。われわれはより簡単な方法でレンズ収差の補正された再生像を得る方法を試みた。このようなレンズとホログラムとの合成系はレンズに像拡大の役割をホログラムに収差補正の役割を負わせることによりレンズの機能拡大が期待される。

## 2. 原 理

図 1 (a) のように物体と参照光源を同一平面内に配置して作ったホログラムはレンズレスフーリエ変換ホログラムといわれ、この結像理論は Stroke<sup>3)</sup> によつてすでに解析されている。これによると参照光源および物体の振幅分布をそれぞれ  $T_s, T_o$  とすると、ホログラムの振

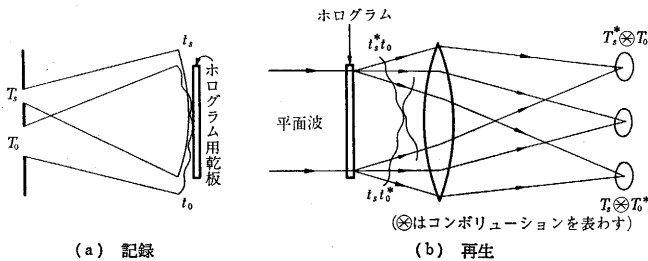


図 1 レンズレスフーリエ変換ホログラムの配置

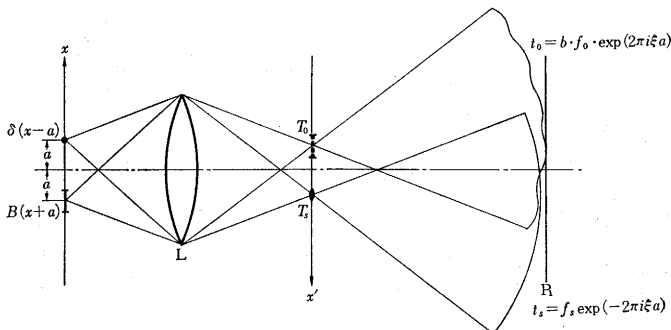


図 2 レンズ像ホログラムの記録

幅透過率はそれぞれのスペクトルを  $t_s, t_o$  として

$$|t_s|^2 + |t_o|^2 + t_s^* t_o + t_s t_o^*$$

で与えられる。図 1 (b) のようにこのホログラムに平面波をあてて再生するときの像のスペクトルは

$$t_s^* t_o, t_s t_o^* \tag{1}$$

である。

いま図 2 のような 1 次元の光学系を考える。光軸に垂直な  $x$  面内に、 $x=a$  にある点光源  $\delta(x-a)$  と  $x=-a$  に中心のある物体振幅分布  $B(x+a)$  とを考える。収差をもつたレンズ  $L$  の像面でのこれらの振幅分布をそれぞれ  $T_s, T_o$  とする。 $x$  面上の  $x=a, x=-a$  にある点光源に対するレンズ  $L$  の点像の振幅分布をそれぞれ  $F_s, F_o$  であるとする、これらは

$$\left. \begin{aligned} T_s &= \int_{-\infty}^{\infty} \delta(x-a) F_s(x'-x) dx \\ T_o &= \int_{-\infty}^{\infty} B(x+a) F_o(x'-x) dx \end{aligned} \right\} \tag{2}$$

で与えられる。この  $T_s, T_o$  をそれぞれ参照光源および物体の振幅分布と考へて  $P_1$  面においたホログラム用乾板上に記録する。するとこれらは前述のレンズレスフーリエ変換ホログラムであるから  $P_1$  面での  $T_s, T_o$  のスペクトル  $t_s, t_o$  が  $F_s, F_o$  および  $B$  のフーリエ変換をそれぞれ  $f_s, f_o, b$  として、

$$\left. \begin{aligned} t_s &= f_s \exp(-2\pi i \xi a) \\ t_o &= b f_o \exp(2\pi i \xi a) \end{aligned} \right\} \tag{3}$$

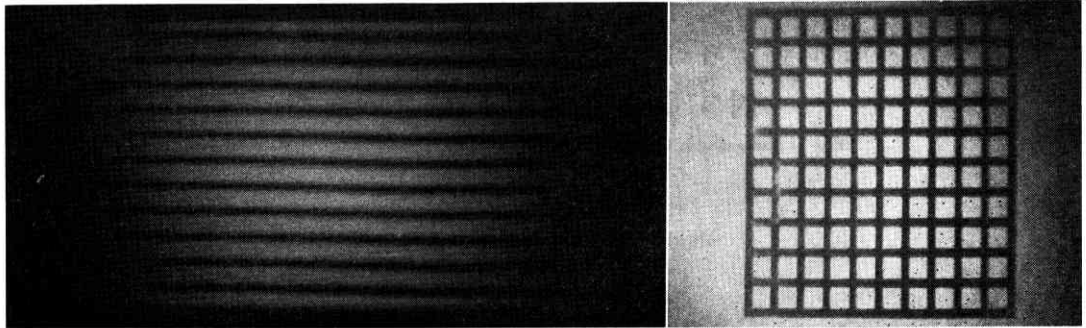
であることを用いると再生像スペクトルは (1) 式より

$$\left. \begin{aligned} b f_s^* f_o \exp(4\pi i \xi a) \\ b^* f_s f_o^* \exp(-4\pi i \xi a) \end{aligned} \right\} \tag{4}$$

となる。ここに  $\xi$  は空間周波数であり、 $f_s, f_o$  はいまの場合コヒーレント光学系であるからレンズの瞳関数で、通常のレンズでは次のように位相項のみで表わされる。

$$f_s = \exp(ik W_s), f_o = \exp(ik W_o) \tag{5}$$

ここに  $k=2\pi/\lambda$  ( $\lambda$  は波長) で  $W_s, W_o$  は点光源が物体面上それぞれ  $x=a, x=-a$  にあるときの波面収差関数である。(5) を (4) に代入して再生像スペクトルを書き直すと



(a) レンズ像

(b) 再生像

図 4 実験結果

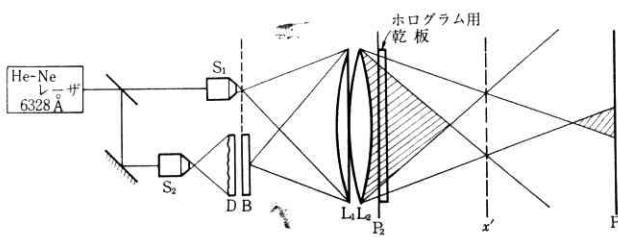


図 3 実験装置

$$\left. \begin{aligned} &b \exp(-ik[W_s - W_0]) \exp(4\pi i \xi a) \\ &b^* \exp(ik[W_s - W_0]) \exp(-4\pi i \xi a) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

となる。レンズのアイソプラナティックな範囲では  $W_s - W_0 = 0$  となるので、レンズ収差の影響が除かれ正しい物体スペクトル  $b, b^*$  を得ることができる。

レンズの収差は画角のべき級数で展開し、狭義の球面収差、コマ収差などに分類されている。したがってアイソプラナティズムが成り立たぬ場合は(6)式でわかるように波面収差の差が効いてくるので物体と参照光源とを光軸に対して対称の位置に配置すれば画角の偶数べきの項の収差は消去できる。すなわち球面収差、非点収差、像面湾曲はこの方法で除くことができる。

### 3. 実 験

以上の原理にもとづいて非点収差を除くことを実験した。図3はホログラム記録の装置の略図である。光源としては He-Ne レーザを用いこのビームを二つに分けて一方は顕微鏡対物レンズ  $S_1$  を通してその集光点を点光源とし、他方は別の顕微鏡対物レンズ  $S_2$  を通して拡げ

た後拡散板  $D$  を通して透過物体  $B$  を照明する。収差レンズとしてはとくに非点収差に重点をおき、円筒レンズ  $L_1$  と普通のレンズ  $L_2$  とを組合せた合成レンズを用いた。点光源と物体の像は  $x'$  面に行ける。ホログラム用乾板は Kodak 649 F 乾板を用いこれは  $x'$  面の後方  $P_1$  面においてもよいが干渉パターンのできる範囲が小さいことと光量の関係で逆に  $x'$  面の前方  $P_2$  面においたが前述のレンズレソフーリエ変換ホログラムの条件は満たしている。そしてレンズ像とこの方法で得られる再生像とを比較すると図4である。非点収差のためにははなはだしくはずんで何であるかわからないレンズ像(a)がホログラムによって補正されて(b)良いレンズを使ったのと同様の像が得られた

### 4. む す び

ここに述べた方法では画角の奇数べきの項の収差(コマ収差、歪曲収差)は除くことができず逆に倍加されている。しかしこれらも  $T_s, T_0$  のどちらか一方の  $x'$  軸に沿う分布を逆転してやれば除くことができると考えられる。現在この実験を行なっている。

(1968年7月1日受理)

### 参 照 文 献

- 1) たとえば, H. Kogelnik et al., J. O. S. A. **58**, 273 (1968)
- 2) J. Upatnieks et al., Appl. Opt. **5**, 589 (1966)
- 3) G. W. Stroke et al., Phys. Letters **18**, 274 (1965)

