

長波長ホログラム再生像のサイドローブ 抑圧に関する一考察

内 山 晴 夫

Several Notes for Sidelobe Suppression in Long Wave Holography

Haruo UCHIYAMA

Abstract

In such long wave holography as acoustic holography recorded waves are inevitably limited, because a hologram aperture is little enough as compared with wavelength. As the result the reconstructed image is damaged by sidelobes accompanied with Gibbs's phenomenon.

Using weighted density filters, this paper presents sidelobe suppression effects not only theoretically but also experimentally.

1. 緒 言

音波等を用いる長波長ホログラフィでは、波長に較べてホログラム開口を充分大きく取り得ない場合が多い。そのようなホログラムは、物体からの回折波のうち、その一部のみしか記録しておらず、そのため Gibbs の現象によるサイドローブが再生像に現れ、これが画質を劣化させる一因となっている。

本文は、像再生の際にホログラム開口に重み関数を適用すれば、サイドローブ抑圧が効果的に行えることにつき考察したものである。

2. 計算機シミュレーション

数式が煩雑になることを避けるため、一次元モデルを扱うことにする。また、ホログラムを作成および再生する時の波長は同一とし、通常、長波長ホログラフィで行われるようなホログラムの縮小等も行わないものとする。

Fig. 1 (a) の実験系で、ホログラムの面での回折波および実像の再生波は、それぞれ (1) および (2) 式で与えられる。

$$\dot{O}(x_2) = \frac{1}{j\lambda} \int O(x_1) \frac{e^{jk r_1}}{r_1} dx_1 \quad (1)$$

$$\dot{O}'(x) = \frac{1}{j\lambda} \int_{-H_L}^{H_L} \dot{O}(x_2) \frac{e^{-jk r_2}}{r_2} dx_2 \quad (2)$$

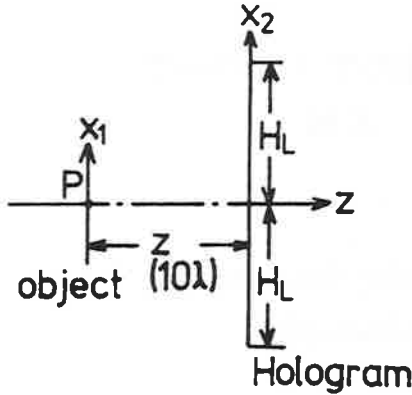
ただし、 $r_1 = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + Z_0^2}$,

$$r_2 = \sqrt{(x - x_2)^2 + Z_0^2}$$

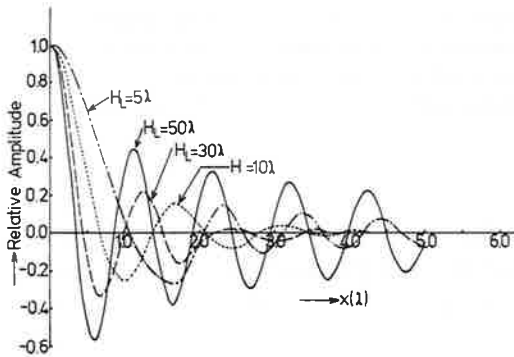
$O(x_1)$: 物体の関数

x : 再生像の座標

Fig. 1 (b) は、ホログラム開口 $2H_L$ を変化させたときの再生像の振幅分布である。モデルは原点対象なので、結果を中点より半分だけ示している(以下同様)。当然のことながら、ホログラム開口を大きくするほど再生像の分解能は向上している。しかしながら、Airy Disk に相当するサイドローブの現れ方が大きく、かつその周期が短くなる傾向のあることがわかる。この原因は、ホログラム開口は有限なので、無限に広がる回折波の情報が打ち切られてしまうこと



(a)



(b)

Fig. 1 点物体とその再生像のサイドローブ

- (a) ホログラム作成系
(b) ホログラム開口とサイドローブの関係

による誤差と考えられる。特に、物体が中心軸付近にある場合は、高次の空間周波数成分ほど中心より外側に分布するので、その影響は顕著に現れるようになる。この打ち切り誤差を軽減させる手段として、ホログラム面での信号に重みづけを行うことを試みる。この手法が効果的であることは、時系列信号をある時間幅で打ち切ったときに、そのサンプリング値に対する重みづけを行えば、スペクトル解析の際に現れるエリアシングの影響を軽減するのに効果的である⁽¹⁾ことから予想される。

Fig. 2 は、Fig. 1 のホログラムに窓関数 $W(x_2)$ を適用して重みづけを行ったときの一例

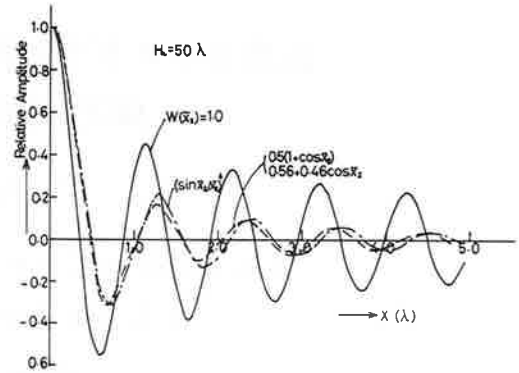


Fig. 2 窓関数によるサイドローブ抑圧効果

であり、この時の再生波面 (2) 式は次式となる。

$$\hat{O}'(x) = \frac{1}{j\lambda} \int_{-H_L}^{H_L} W(\bar{x}_2) \hat{O}(x_2) \frac{e^{-jkr_2}}{r_2} dx_2 \quad (3)$$

ただし、 $\bar{x}_2 = \pi x_2 / H_L$

なお、ここで用いた窓関数は次の 4 種類である。

- (a) $W(\bar{x}_2) = 1.0$: 矩型窓
(b) $W(\bar{x}_2) = 0.54 + 0.46 \cos \bar{x}_2$: Hamming 窓
(c) $W(\bar{x}_2) = 0.5(1 + \cos \bar{x}_2)$: Hanning 窓
(d) $W(x_2) = (\sin \bar{x}_2 / \bar{x}_2)^4$: 正弦波 4 乗窓

また、物体として、開口 1.2λ の矩型スリット、および振幅透過率が $\sin X/X$ で表されるスリットを例に選び、そのホログラムに前記の窓関数をかけた場合について、それぞれ計算機シミュレーションによる再生像の理論計算を行った。結果を Fig. 3 および Fig 4 にそれぞれ示す。

いずれの場合も、窓関数の適用は解像力の低下を招くものの、サイドローブ抑圧に効果があり、特に正弦波 4 乗窓による重みづけが効果的であることが分かる。

なお、(1), (2) および (3) 式によるシミュレーションは、コンボリューション定理 (コンボリューション積分のフーリエ変換はそれぞれのフーリエ変換の積に等しい) を用いて一旦フーリエ変換を行った後、これをフーリエ逆変換するという手法により行った。この際、フー

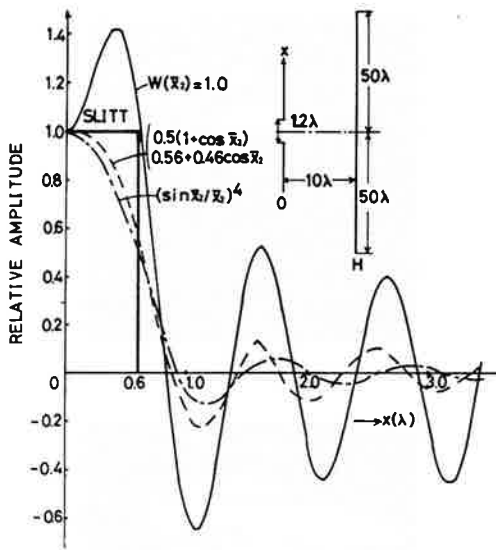


Fig. 3 物体がスリットの時の窓関数の効果

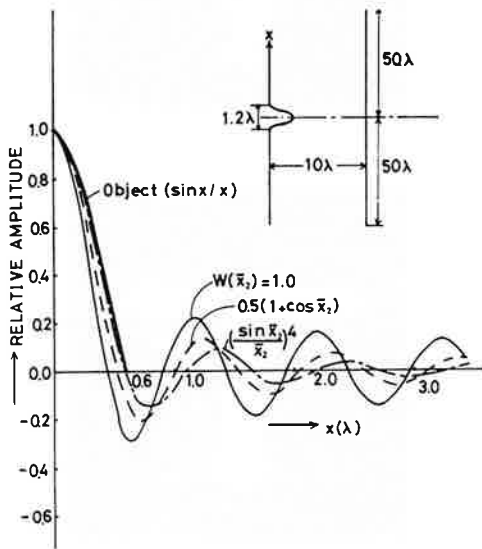
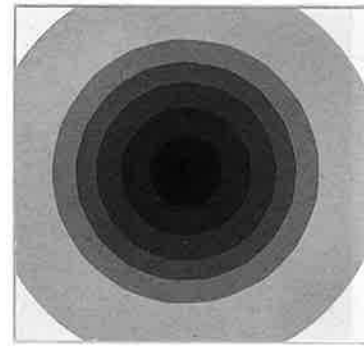
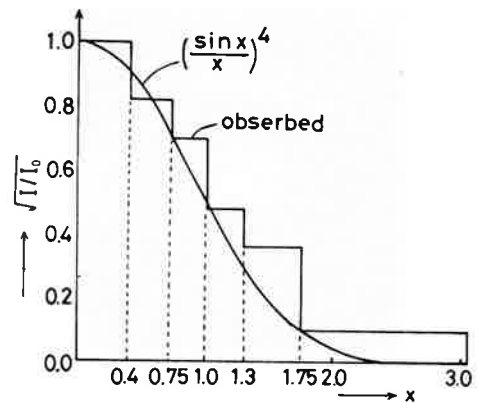


Fig. 4 物体が $\sin X/X$ の振幅透過率を有する時の窓関数の効果

リエ変換の計算にはFFT（高速フーリエ変換法）を用いた。



(a)



(b)

Fig. 5 正弦波4乗濃度フィルタ

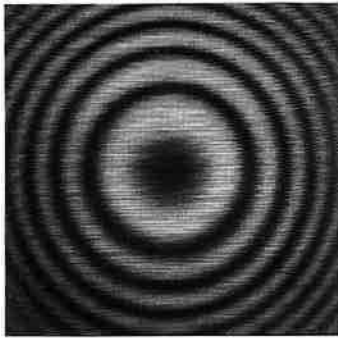
(a) フィルタのネガ

(b) フィルタの振幅透過率

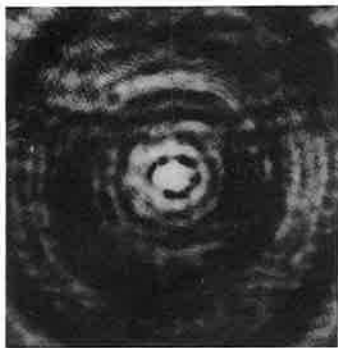
3. 実験およびその結果

Fig. 5 (a) に正弦波4乗の透過率を有するフィルタのネガを示す。これは、印画紙の上に置いた虹彩絞りの開口をステップ状に6段階に開き、露光時間をその都度調節しながら多重露光して製作したものである。これを写真撮影したネガフィルムの透過率を光電子増倍管により測定したところ、Fig. 5 (b) に示すような振幅透過率を有するフィルタを得た。

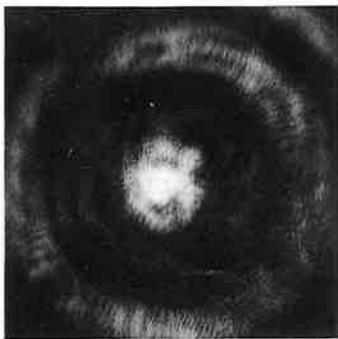
Fig. 6 (a) は 34 kHz の空中音波を用いて、マイクロフォンを走査する方式⁽²⁾ により作成した点波源のホログラムであり、同図 (b) はその再生像である。点像の回りに円環状の輪がサ



(a)



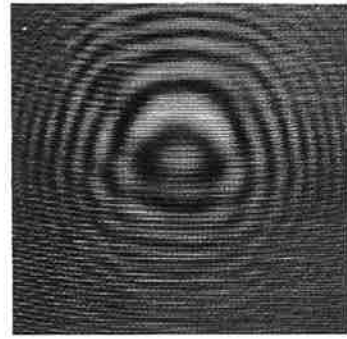
(b)



(c)

Fig. 6 物体が点波源のときの実験結果

- (a) ホログラム
- (b) 矩型窓の再生像
- (c) 正弦波4乗窓の再生像



(a)



(b)



(c)

Fig. 7 物体が文字Tのときの実験結果

- (a) ホログラム
- (b) 矩型窓の再生像
- (c) 正弦波4乗窓の再生像

イドローブとなって現れている。このホログラムに前記のフィルタを重ねて像再生を行ったところ、同図(c)の結果を得た。点像が広がって

解像力はやや劣下しているが、サイドローブがかなり抑圧されていることが認められる。

Fig. 7 は、物体として文字 T の開口を用いた

場合のそれぞれ同様の実験結果である。フィルタをかけることにより、像を取り囲んでいたサイドロープが殆ど除去されている。

4. 考 察

ホログラムに周縁部に向かって透過率が低下するような窓関数フィルタをかけることにより、解像力はやや低下するものの、サイドロープ抑圧効果が得られる。このことは、有限開口の超音波トランスジューサを用いた場合、ホログラムデータが受波器の指向特性によって自動的に重みづけされ、サイドロープが低減する現象⁽³⁾と同様に説明することが出来る。すなわち、ホログラムは、無数の微小トランスジューサを開口合成することによって得られる一様の大開口トランスジューサであるが、像再生時には開口全体が一斉に振動するのではなく、個々の微小トランスジューサがホログラム記録時におけるそれぞれの振幅と位相で振動し、その放射パターン、つまり指向特性が再生像に相当すると考えることができる。このような複雑な振動をするトランスジューサに、中心部から開口端に向かって連続的に振動強度を弱めるような荷重窓をかけると、その荷重関数のスペクトルあるいはフーリエ逆変換によって決まるように解像力が低下する。解像力を半値幅としてその開口長依存性をFig. 1の実験系で見積ると、Fig. 8に示すように、矩型窓と同程度の解像力を得るには、正弦波4乗窓を約2倍の大きさにする必要のあることが分かる。また、窓関数をかけることによりサイドロープ抑圧が可能となる理由は、空間関数の座標軸上の変化を急峻にするためには、そのスペクトルに多くの高周波成分が必要であり、スペクトルの高周波成分が少ない波形は滑らかな変化しかしない、というフーリエ変換対の性質⁽¹⁾と共通のものと考

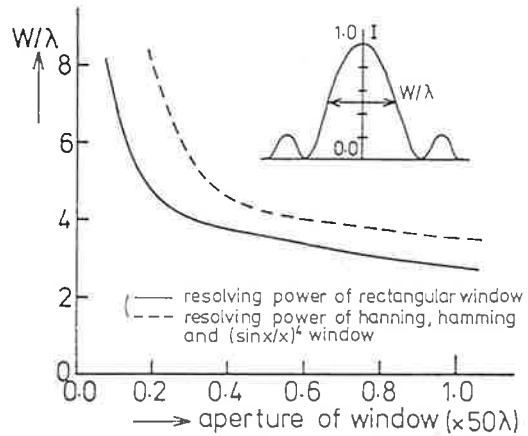


Fig. 8 矩型窓と正弦波4乗窓の窓長と解像力の比較

られる。

5. 結 論

長波長ホログラフィでは、ホログラム開口を波長に比し大きく取れないために、再生像を縁取るサイドロープが現れる。これを抑圧するには、ホログラムデータに重みづけを行えばよいことを計算機シミュレーションで示すと共に、透過率に重みをつけた空間フィルタを試作し、その有効性を確かめた。

文 献

- 1) 例えば、有本：信号・画像のデジタル処理，産業図書，1980
- 2) 内山：光学的手法による超音波ホログラフィ再生像の画像処理，八戸工業大学情報システム工学研究所紀要，vol. 1, p. 1-8, 1989
- 3) 内山・柴山：受波器の指向性を考慮した超音波ホログラフィ，日本音響学会春期講演論文集，p. 403-404, 1977