

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

内山晴夫*

Reconstructed Image Enhancement in Ultrasonic Holography by Optical Techniques

Haruo UCHIYAMA

Abstract

It is very effective for image enhancement to take optical techniques using the zeroth order stop and/or the spatial frequency filter, in the case of reconstructing ultrasonic hologram formed by the scanning method.

1. 緒言

超音波あるいはマイクロ波等を用いる長波長ホログラフィは、その原理を光ホログラフィと同一とするものの、ホログラムの作成にあたっては、光における写真乳剤のように波動の強度分布を簡単に直接記録出来る材料に恵まれないことから、検出信号を豆球等を用いて光の強弱に一旦変換し、これを写真フィルムに記録するという面倒な手続きを必要としている。しかも、波長に比し、ホログラム開口を充分大きく取り得ないことから、収集可能な情報の絶対量が極端に不足し、その光学的再生像は、光ホログラフィの場合に比べ著しく画質が悪く、解像力も充分でない場合が多く、光学的な画像処理¹⁾や計算機を用いるデジタル画像処理技術²⁾により、画質向上の検討が試みられている。

解像力を限定する要因として

- 1) ホログラム作成に使用される波長
- 2) ホログラムの記録範囲
- 3) 光学像再生技術
- 4) ホログラムの縮小に伴う再生像の収差

昭和63年12月15日受理

* エネルギー工学科助教授

5) 参照波と再生波の波面の違いによる収差等が挙げられる。

本文は、走査方式により作成された空中超音波ホログラフィに、これらの因子のうち、(3) が画質にどう影響しているかを実験例により示すと共に、画質向上に試みた幾つかの純光学的な方法の実験結果、およびその物理的意味につき述べたものである。

2. 実験およびその結果

超音波ホログラフィの原理については多くの解説³⁾がなされているので、詳細はそれらに譲り、本文では、再生像の画質向上に試みた実験例のみを取り扱うことにする。

ホログラムは、Fig. 1 の実験系により走査型で作成し、周波数 3.4 KHz (波長 1 cm) 走査面積 90 cm × 90 cm (90 波長 × 90 波長) また走査線間隔の 0.5 cm (半波長) で行った。使用したマイクロフォンの直径は 0.635 cm のもので、これと市販の豆球は一体となって走査速度約 7 cm/sec でホログラム面を走査する。豆球の点滅を図のカメラによってフィルムに感光させるとホログラムが作成される。この時、参照波は、物体照射用音源の発振器出力の一部を、物体信号波に直接加算する電子的内部参照波⁴⁾として得ているので、この状態はホログラム面に垂直に入射する平面波に相当し、ホログラムは in-line 型で記録されることになる。

観察の対象とした物体は英字の T で、厚さ 2 mm のベニヤ板をくり抜き、幅 2 cm、縦 15 cm、横 20 cm の開口として製作した。

ホログラムは最終的に 1/225 の約 4 mm 角に縮小され、これに He-Ne レーザ光を照射し、その再生像をレンズでスクリーンに拡大投影して観察を行った。(Fig. 2)

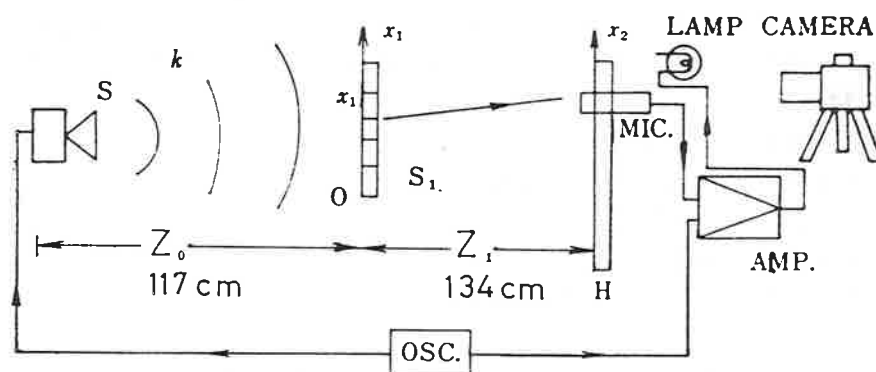


Fig. 1 超音波ホログラム作成の実験系 (in-line型)

このような実験系では、ホログラムの作成から像再生までの間に種々の因子が入り込み、画質に影響を与えることが予想される。しかし、これらの影響は互いに重なり合って混入してくるので、一、二の実験でその因子を推測することは困難で、数多くの総合的な判断が必要となる。

次に、作成されたホログラムより光学的再生像を得る際に、画質向上を目的として試みた実験例を示す。

a) 零次ストップを用いる法

in-line 型で零次ストップを用い、不要な零次および共役像の成分を除去する手法⁵⁾は、以前より行われている。

Fig. 2 の光学系で像を再生する際、レンズの焦点面に零次ストップを置くと、Photo 1 b) のような再生像が得られるが、これをはずすと同c) のように画質が劣化する。

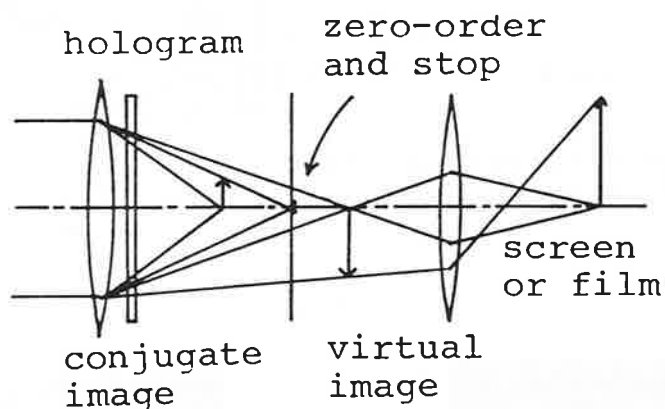
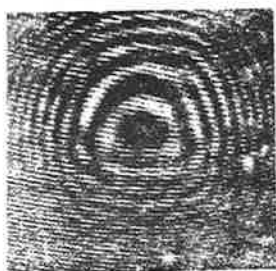


Fig. 2 像再生の光学系



a) ホログラム



b) 再生像
(零次ストップ有)



c) 再生像
(零次ストップ無)

Photo 1 超音波ホログラムとその再生像 (34 KHz)

b) 走査線を除く法

Photo1 a)のホログラムで、走査線間隔を3倍の3 cm (3 λ) に広げると、ホログラムはPhoto2 a)のようになり、再生像は同b)のように判然としないものとなるが、Fig. 3の光学系で、レンズの焦点面に空間周波数フィルタとしてのスリットを設けると、走査線の空間周波数成分が除去されて、走査線の無いPhoto3 a)のホログラムが再作成され、これにより同b)に示すような明瞭な像を再生することができた。

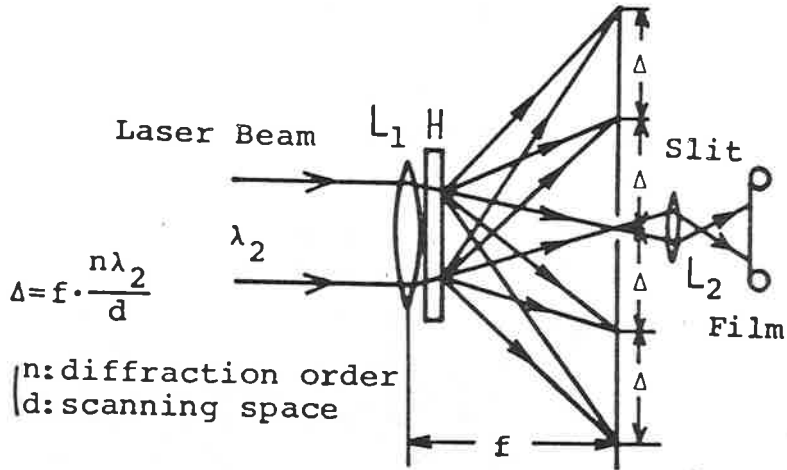


Fig. 3 空間周波数フィルタ

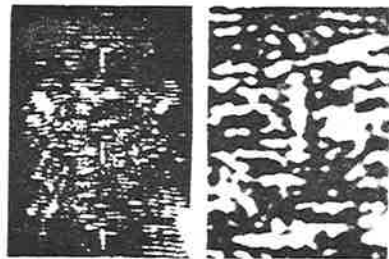
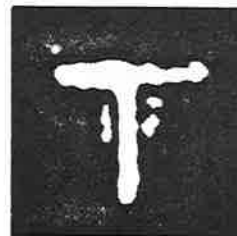


Photo2 a) ホログラム b) 0次と±1次 0次の拡大像
走査線間隔が3 λの時のホログラムと再生像 (3 4 K H Z)

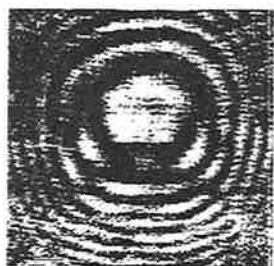


a) ホログラム b) 再生像
Photo3 走査線を除去したホログラムと再生像 (3 4 K H Z)

c) 雑音成分を除く法

Photo4 a)の24 KHzにおけるホログラムには、回折波による空間周波数成分に比べ、かなり高い周波数成分が認められる。これは主に定在波によるものと考えられ、ホログラムにとっては雑音として作用するので、これを除去するために、Fig. 3の光学系で、スリットの代わりに空間周波数フィルタとしてピンホールを設け、ホログラムPhoto5 a)を再作成してPhoto5 b)の結果を得た。Photo4 b)と比較して著しく画質が向上している。

以上の実験例より、画質向上には、イ) 走査線間隔を密にすることは勿論、ロ) 零次ストップを用いるばかりでなく、ハ) 走査線や定在波等による雑音成分の少ないホログラムを再作成すること、等も有効な手段であると言える。



a) ホログラム



b) 再生像

Photo4 雑音成分の多いホログラムとその再生像(24 KHz)



a) ホログラム



b) 再生像

Photo5 走査線や雑音成分を除去したホログラムと再生像(24 KHz)

3. 検討及び考察

波長 λ_1 を用いて、距離 D_1 にある物体を開口 $2L$ で記録したホログラムの解像力⁶⁾は、

$$\delta = \frac{\lambda_1 D_1}{2L}$$

で与えられるので、波長が短く、開口の大きい方が、解像力の良い、従って画質の良い像が得られることになる。今回の実験系では、34 KHzの時、 $\delta = 1.5 \text{ cm}$ となり、モデルに対する開口の大きさは充分である。

また、標本化定理に従えば、ホログラム面の走査は最高空間周波数の半分の周期で走査すれば良く、さらに像が再生されるためには、少なくとも二つの次数の回折波が記録されていなければならない⁸⁾ということから、本実験の場合はFig. 4⁷⁾より $f_{\max} = 0.25 \text{ lines/cm}$ 、すなわち、走査間隔は2 cm以下で良いということになる。また、走査線は回折格子の役目を果し、高次の回折光を回折するが、格子間隔が粗いため各次数の回折光が結像面で充分分離しないことや、走査線が一様な太さでないこと等が原因で、Photo 2 b)のような不満足な結果になったと思われる。しかしながら、Fig. 3の光学系を構成し、このホログラムよりPhoto 3 a)のように走査線を除去すれば、回折格子による不要な回折光は生じないので、回折光は全て像再生に寄与し、ほぼ満足すべき結果が得られたものと考ええる。

なお、スリットの選択は次のように行う。すなわち、Fig. 3でレンズ L_1 の焦点面での各次数の回折光の間隔は、平行光の波長を λ 、格子間隔を d 及び焦点距離を f とした時、 $\Delta = f \lambda_e / d$ で与えられる。従って、Photo 2 a)のように走査線間隔3 cmのものを1/225に縮小した場合は、 $d \approx 0.13 \text{ cm}$ となり、これにHe-Neレーザ光($\lambda_e = 0.63 \mu\text{m}$) と $f = 24 \text{ cm}$ のレンズを用いれば、 $\Delta \approx 0.12 \text{ cm}$ となるので、開口がこの程度のスリットを準備すれば良いことになる。

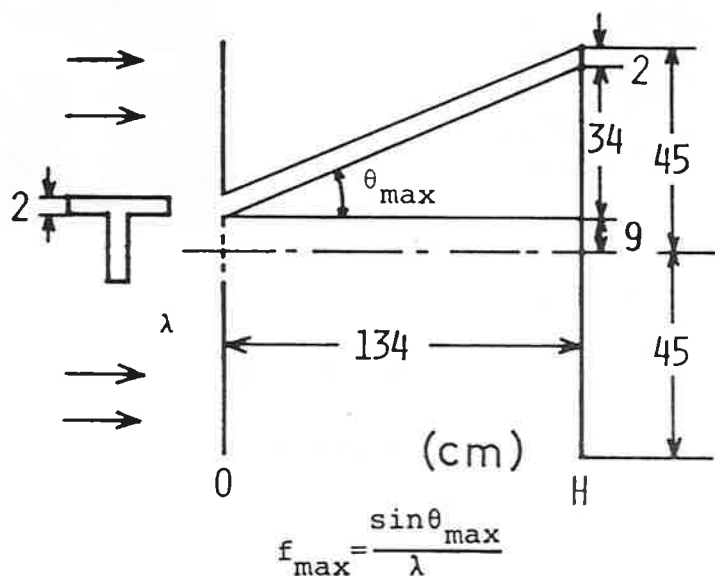


Fig. 4 最高空間周波数の決定

ところで、ホログラムに記録される干渉稿の最高空間周波数は、実験系の幾何学的な配置により決定されるが、その極端な例は、参照波と回折波がホログラム面に平行に互いに反対方向から開口に入射する場合に相当するので、一般的には干渉稿の周期は、この時の半波長に比べかなり長くなることが容易に予想される。従って、これよりも高い空間周波数成分、例えば、外乱等により生じたホログラム全面に分布する斑点状の稿や、定在波音場による半波長周期の稿等は全て雑音と見なされる。なお、当然ながらこの中には走査線による回折格子成分も含まれることになる。これらの成分を除去し鮮明な修正ホログラムを再作成するには、前述のFig. 3のスリットを微小開口で置換すれば良く、その大きさは必要な情報量が欠落しない程度に、例えば、走査線除去に必要なスリット幅程度に選択すれば良い。この状態をPhoto 4 に適用した実験例がPhoto 5 である。

零次ストップの作用は次のような考えられる。すなわち、レンズの焦点面はフーリエ変換面なので、ホログラムの情報はここでフーリエ変換され、零次を中心として高次の空間周波数成分程中心部より離れて分解される。本実験のように波長オーダのくり抜き物体の場合は、回折波、すなわち物体に関する情報は大部分が高次の空間周波数成分であり、低次成分は殆ど含まれない。従って、像再生には不要なこの低次成分をカットすれば、相対的に高次成分が強調されると共に、焦点はずれの虚像成分の一部もカットされるので、これとの干渉も弱まり画質劣下の一因が取り除かれることになる。

他方、本実験とは逆に、切り出し物体を用いた場合は、空間周波数スペクトルは殆ど低次成分に集中し、回折による高次成分は僅かである。しかし、走査線による高次成分はかなり強く記録される。そこで、この成分をスリットあるいは微小開口で除去すれば、画質の改善を計ることが出来る。⁹⁾

4. 結論

走査型で作成した超音波ホログラムからの再生像の画質向上を目的として実験を行い、空間周波数フィルタにより走査線を除去した修正ホログラムを再作成する方法が、極めて有効であることを示した。空間周波数フィルタとしてのスリットは、スリット開口と垂直な方向の成分に対する低域フィルタと見なされるが、これを微小円形開口で置換すれば、全方向成分に対する低域フィルタとなり、走査線ばかりでなく、定在波成分や外乱による雑音等による不要情報を除いたり、アレイを用いた時の点状記録から、全面連続サンプルをしたようなホログラムを再作成出来るので、再生像の画質向上に役立つものと考ええる。

なお、本研究の実験部分は、東北大通研で行われたものである。

文献

- 1) 柴山、内山：電通全国大会 昭5 1 9 3
- 2) 尾上、石川：音響学会講演論文集 昭4 8. 5月 3 5 9
- 3) 例えば” Acoustical Holography Vol.1-6(1969-1975)Plenum Press.
- 4) A.M.Metherell etal : Appl.Phys.Lett. 11(1967)20
- 5) L.Larmore etal : Appl.Opt. 8(1969)1533
- 6) J.A.Armstrong : IBM J.Rec.Devel. 9(1965)171
- 7) J.Halstead : Ultrasonics 6(1968)79
- 8) Collier etal : ”Optical Holography”(1971) Academic Press
- 9) 青木：応用物理 37(1968)243