

受波器の指向性が超音波ホログラフィの 分解能に与える影響

内 山 晴 夫

The Influence of a Directional Receiver on Resolution Power of Ultrasonic Holography

Haruo UCHIYAMA

Abstract

It is unavoidable to record an ultrasonic holography with a certain of directionality. Especially, in a higher frequency region a directional receiver is positively used from the point of view of resolution and sensitivity. This paper describes the influence of a directional receiver on resolution power of ultrasonic holography. The simulation results show it is possible to obtain the same resolution power as that of nondirectional receiver, if the objects are put within the half-power width of radiation lobe.

1. 緒 言

ホログラムの記録は無指向性受波器を使用することが、その原理から言って望ましい。しかしながら、長波長ホログラフィの分野では、受波器がある程度の指向性を有することは避けられない。それどころか、分解能の向上を目的とする高周波の領域では、受波感度の観点からむしろ指向性受波器が必要とされる。しかしながら、受波器の指向性を考慮したホログラフィに関する報告は、これまでになされていない。横および縦方向の分解能を計算機シュミレーションにより考察したので、その結果につき報告する。

2. 計算機シュミレーション

超音波ホログラフィの実験系のモデルを図1に示す。簡単のため物体として点波源を考え、 x_2 方向に受波器を走査する一次元ホログラムを考

える。点波源は物体の座標系 x_1 の原点にあり、これより D_1 の距離にホログラムの座標系 x_2 の原点がある。発光ダイオードの発光強度およびホログラムを記録する写真フィルムは線形動作をすると仮定すると、ホログラムは次式で与えられる。

$$I = |R + R_D \dot{O}|^2 \quad (1)$$

ただし、 R ：平面参照波の振幅

R_D ：受波器の指向性

$\dot{O} = e^{jk r_1} / r_1$ (点波源からの球面波)

$k = 2\pi / \lambda$ (λ ：波長)

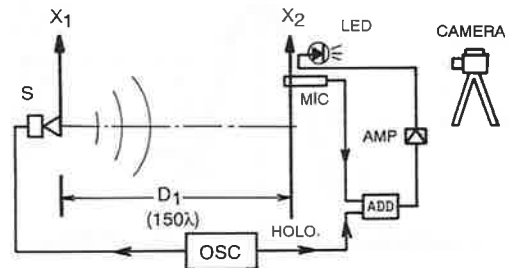


図1 超音波ホログラフィの実験系

平成7年12月15日受理

江戸工業大学 エネルギー工学科 助教授

$$r_1 = \sqrt{D_1^2 + x_2^2}$$

受波器としてピストン円板を使用する場合を想定すると、その指向係数¹⁾は次式で与えられる。

$$R_D = \frac{2J_1(\nu)}{\nu} \quad (2)$$

ただし、 J_1 : 1 次の Bessel 関数

$$\nu = \pi \cdot \frac{2a}{\lambda} \cdot \frac{x_2 - x_1}{D_1}$$

$2a$: 円板の直径

この受波器を用いて、ホログラム開口より 150λ の距離にある点波源のホログラムを作成すると、その強度分布は、例えば、図2となる。強度分布は原点对称なので片側のみを示している。また、 $|R|/|R_D|_{\max}=2$ とした。) 指向性の鋭い受波器によるものは、ホログラム開口の端へ近づくにつれて、受波信号が微弱となるので、干渉縞のコントラストが低下しているのが認め

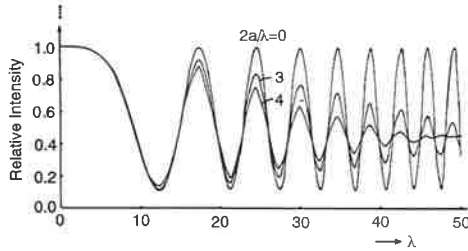


図2 点音源のホログラム (右半分だけを示す)
(パラメータは波長で規格化した受波器の開口)

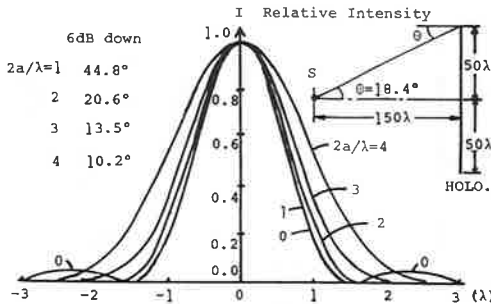


図3 再生像の横方向強度分布

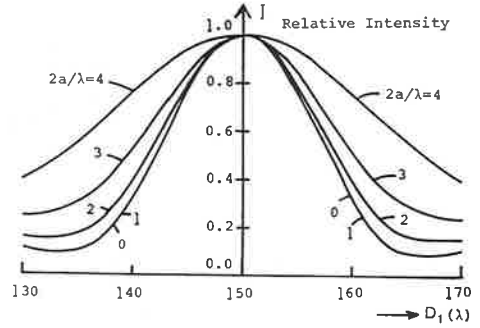


図4 再生像の縦方向強度分布

られる。

ホログラム開口を 100λ とした時の再生像を図3に示す。ホログラムの開口端で点波源を見込む角が半減角 (6dB down) 以内に保たれた場合は、 $2a/\lambda=1$ および 2 の例に見られるように、横方向の分解能は無指向性のもの ($2a/\lambda=0$) と殆んど相異が無いこと、しかも再生された点像の周囲に現われるサイドロープの影響が弱められるという効果のあることが認められる。

焦点の位置より $4D_1\lambda$ だけずれた距離での中心軸上の再生像強度は次式で近似される。

$$I = \left| \int_{-h}^h \frac{2J_1(\nu)}{\nu} e^{j k \frac{4D_1}{2D_1^2} x_2} dx_2 \right|^2 \quad (3)$$

ただし、 $2h$: ホログラム開口の大きさ

(3) 式の計算結果を図4に示す。この図より、縦方向分解能に関しても、先の横方向分解能と同じく、半減角以内に物体があれば、無指向性の受波器を用いた場合と大差の無い傾向を示していることがわかる。

なお、本文で用いる横分解能とは、焦点の位置における再生像に対する半値幅で定義されるもので、ホログラムの面に平行な方向の像の解像力のことである。図3の無指向性受波器では、約 1.5λ となる。また、縦方向分解能とは、焦点距離を変化させた時の再生像のピーク値に対して同様に定義されるもので、図4の無指向性の場合は、約 15λ となる。

3. 指向性受波器を用いるホログラフィ

指向性受波器を用いるホログラフィは、前述の例のように横および縦方向分解能は共に劣化する。しかし、図5に示すように、目的とする対象物に指向特性の主極の極大値が一致するように受波器の主軸を調節すれば、その物体近傍に限定されるが、横および縦方向の両分解能を無指向性受波器を用いたときのそれに近づけることができる。このような利用法では、主極方向からはずれた方向に位置する物体からの信号は、受波器の指向性によって自動的に抑圧され、目的とするホログラム信号が相対的に強調され

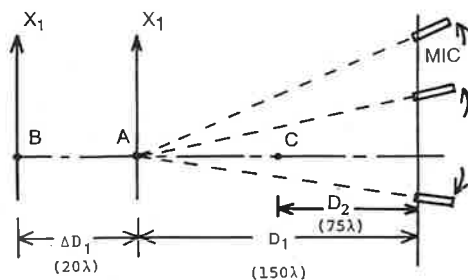


図5 指向性受波器を用いたホログラムの作成

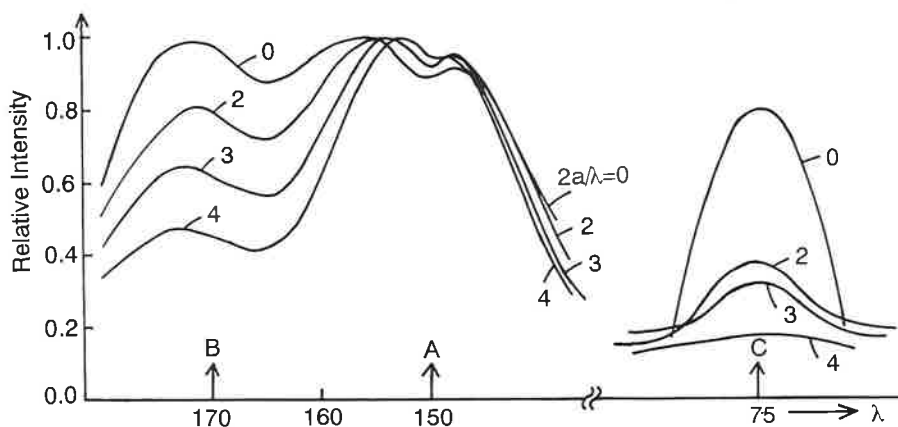


図6 三個の点物体の縦方向再生強度分布

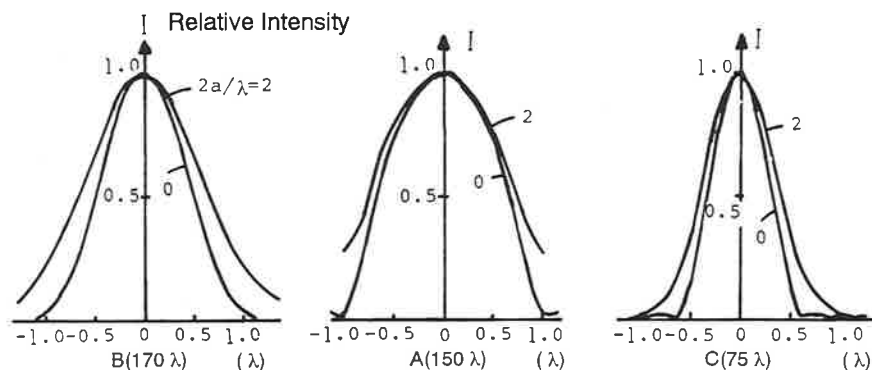


図7 三個の点物体の横方向再生強度分布

るという利点が考えられる。例えば、図5において、三点A、BおよびCが図示の間隔に位置するとき、A点に注目して上記の手法を採用すると、再生像の中心軸上の強度分布は図6となる。すなわち、 $2a/\lambda$ の値が大きくなって受波器の指向性が鋭くなると、A点の縦分解能は向上するが、B点に対するそれは著しく劣化しているだけでなく、その強度も低下していることが認められる。A点から遠く離れたC点の像に対しては、この傾向が一層顕著となっている。図7は横方向の強度分布である。本例での三物体は全て指向特性の半減角以内にあるので、横方向分解能の劣化は、縦方向の場合に比べてそれほど急峻ではない。しかし、A点に比べて著しく低下した強度で他の二点が再生されることは、図6より明らかである。

4. 結 論

指向性受波器としてピストン円板を例にとり、その指向特性がホログラフィに与える影響を点物体を対象に考察した。その結果、対象点が半減角以内に位置するときは、無指向性受波器を用いた場合と同等の縦および横分解能が得られること、これを実現するためには、指向性を有する受波器を走査する際、対象となる物体に向けてその主軸方向を調節しながらホログラムの記録を行えば良いことを示した。

参 考 文 献

- 1) 例えば早坂他著：音響工学概論，日刊工業新聞社，pp.147-148.