

## 音響位相共役波のシュリーレン法による観察

大野正弘 (オリンパス光学)、山本 健 (東大生研)

はじめに、位相共役波 phase conjugate wave とは、入射波と同一の空間分布を持ち、その進行方向を逆転した波である。位相共役波は入射波に対する時間反転性を持っており、これを利用すれば、波面歪の自動補正、不均一媒質中での音波集束等、種々の応用が可能であることから、近年注目を集めている。任意の波面形状を持つ入射波に対してその位相共役波を実時間で発生する機構を、位相共役鏡 phase conjugate mirror (PCM) と呼ぶ。超音波の位相共役鏡はこれまで、純音響波法[1,2]、非線形圧電法[3]、非線形磁歪法[4]、純電気的方法[5]によって実現されている。光位相共役においては、位相共役波の時間反転性は光学像の観察によって確かめられてきた。しかし、超音波においては、超音波が目に見えず、また高周波域ではハイドロフォンによる音場測定が困難であることから、位相共役波の強度分布を直接観測した例は少ない[4,6]。今回、我々は、位相共役波発生効率の高いPZTセラミックスを位相共役鏡媒質として用い、シュリーレン法によって入射波、位相共役波の強度分布、伝搬の様子を観察したので報告する。

非線形圧電法による位相共役波発生。我々が行った位相共役波発生法は、非線形圧電性を用いるものである。これは、圧電体における印加電圧と歪み量の間に線形からのずれがある場合、それが実効的弾性定数に摂動を与え、音速の変化をもたらすことに起因している[7]。このような非線形圧電体に角振動数 $\omega$ の音波を入射させ、同時に $2\omega$ の電場を印加すると、両者のパラメトリック相互作用が起こる。これを現象論的に記述すると、入射音波

$$u_i(r, t) = (1/2) U_i(r) \exp[i(k_i \cdot r - \omega t)] + c.c. \quad (1)$$

と電場 (ポンプ電場)

$$e_p(r, t) = (1/2) E_p \exp[i(k_p \cdot r - 2\omega t)] + c.c. \quad (2)$$

のパラメトリック相互作用のうち、差周波発生の項は次の形を持つ。

$$\begin{aligned} u_c(r, t) &\propto (1/4) U_i^*(r) E_p \exp[i\{(k_p - k_i) \cdot r - (2\omega - \omega)t\}] + c.c. \\ &= (1/4) U_i^*(r) E_p \exp[i\{-k_i \cdot r - \omega t\}] + c.c. \\ &= (1/4) U_i(r) E_p^* \exp[i(k_i \cdot r + \omega t)] + c.c. \end{aligned} \quad (3)$$

ただし音速と光速の相違に基づく近似  $|k_p| \ll |k_i|$  を用いた。(3)式は、もしポンプ電場が空間的に一様 ( $E_p = E_p^*$ ) であれば入射音波  $u_i(r, t)$  の位相共役波にほかならない。すなわち、このパラメトリック相互作用の出力は自動的に入射音波の位相共役音波となる。

位相共役波の観察実験。我々は上記の原理に基づき非線形圧電体を用いて位相共役波を発生させ、その伝搬の様子をシュリーレン法を用いて可視化し観察する実験を行った。図1に実験配置を示す。非線形圧電体としては比較的Q値の高い共振器用のPZTセラミックス (大きさ  $5 \times 10 \times 30 \text{ mm}$ ) を用いた。入射音波は周波数10MHz、持続時間  $10 \mu\text{s}$  のトーンバースト波とした。ポンプ電場は周波数20MHz、振幅約  $6 \times 10^4 \text{ Vm}^{-1}$  である。また、ポンプ電場と同時に  $2 \times 10^5 \text{ Vm}^{-1}$  程度のDC電場を重畳印加して位相共役波の発生効率を向上させる方法[8]を採用した。この条件のもとで、入射波に対する位相共役波の強度比は  $10^{-2}$  程度であった。我々の実験では、次の1サイクルにおける音波の伝搬の様子をビデオに収録した。

- (1) 音波を図の左上方に向けて放射する。
- (2) それを種々の反射体で反射する。反射体としては、静止した水面、凹面体、ランダムな凹凸板、平行平板、移動する水面を用いた。
- (3) この反射波を位相共役鏡に入射させ、位相共役波を発生させる。
- (4) 位相共役波が再び反射体によって反射される。

図2に、反射体として静止水面を用いた場合の音場の様子を示す。位相共役波は入射音波の経路を逆進しており、時間反転波となっていることがわかる。詳細な結果については、当日ビデオとともに説明する。

- [1]佐藤拓宋 他: 日本音響学会誌44, 122 (1988).
- [2]谷口和隆 他: 電子情報通信学会技術研究資料 US91-84, 53 (1992).
- [3]M. Ohno: Appl. Phys. Lett. 54(20), 1979 (1989).
- [4]L. M. Krutiansky et. al.: Phys. Lett. A 164, 196 (1992).
- [5]M. Fink: IEEE UFFC-39, 555 (1992).
- [6]M. Ohno et. al.: Appl. Phys. Lett. 60(1),29 (1992).
- [7]M. Ohno et. al.: Appl. Phys. Lett. 64(13), 1620 (1994).
- [8]大野正弘 他: 日本音響学会講演論文集平成5年10月, 1005.

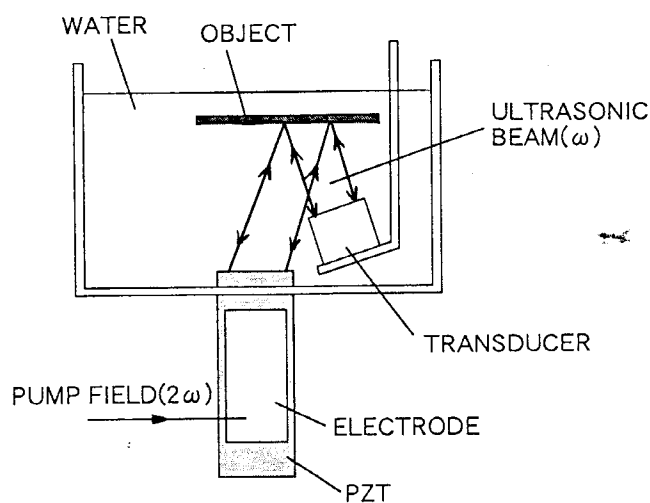


図1 実験配置

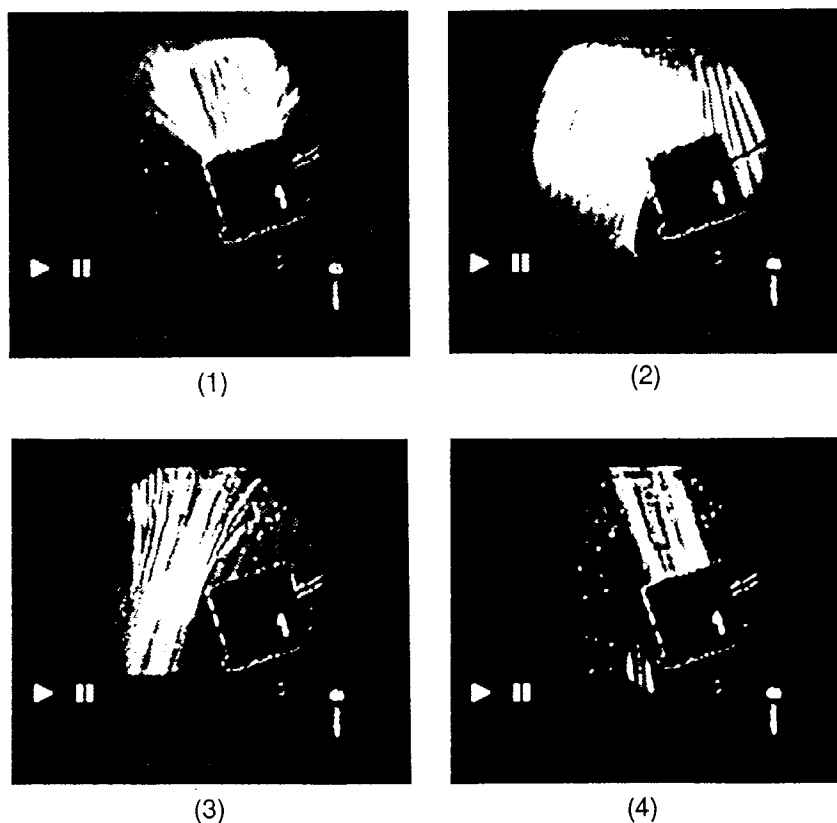


図2 音場の様子