

修士学位論文要約 (平成18年 3月)

超音波加振によるひずみの生成とその空間分布の計測に関する研究

高橋幹人, 長谷川英之, 金井 浩

A Study on Ultrasonic Measurement of Spatial Distribution of Strain Generated by Dual Acoustic Radiation Force

Mikito TAKAHASHI, Hideyuki HASEGAWA and Hiroshi KANAI

In recent years, some remote actuation methods based on acoustic radiation force have been reported. When the elastic modulus of the object is much greater than that of the surrounding media, an acoustic radiation force may generate only the change in the position of the object. In such cases, the mechanical properties of the object cannot be estimated. In this study, the strain of the object is generated by phase-controlled dual acoustic radiation force. Acoustic radiation forces with same phases were applied by setting the focal points at two different positions in the object. These two applied radiation forces cyclically compress the region between two focal points at a low frequency in the horizontal direction. Therefore, this region is cyclically thickened in the vertical direction. In this study, the spatial distribution of displacement generated by dual acoustic radiation force was measured by the ultrasonic *phased tracking method* [1].

1. はじめに

近年, 超音波ビームから生じる音響放射力を生体組織に加え, その音響応答を計測することにより非侵襲的に機械的特性を評価する手法が報告されている [2]. しかし, 対象物の弾性率が媒質の弾性率よりも非常に大きい場合, 1つの音響放射圧を応力として対象物の加振を行うと, 図1(a)のように対象物は並進運動のみを起こす可能性がある. この場合, 対象物内部に局所的なひずみを発生させることができず, 対象物の機械的特性を評価できない. 本報告では, 図1(b)のように位相制御された音響放射圧を2つ用いて対象物の加振を行う [3]. また, それによって生じた対象物内変位の空間分布を計測する.

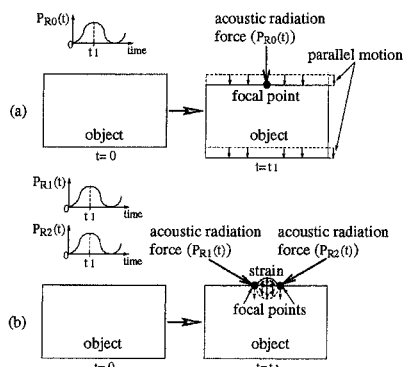


図 1: (a) 音響放射圧が 1 つ, (b) 音響放射圧が 2 つの場合の対象物変位.

2. 音響放射圧の位相制御

密度 ρ_1 , 音速 c_1 の伝搬媒質に密度 ρ_2 , 音速 c_2 , 音圧反射率 R の対象物を挿入し, 周波数が f と $f + \Delta f$,

音圧が p_0 に等しい 2 つの連続波超音波を送信した場合の音響放射圧を考える. この場合の音響放射圧は次式で表される [2].

$$P_R(t) = (1 + R^2) \frac{p_0^2}{\rho_1 c_1^2} [1 + \cos(2\pi \Delta f t - \theta)] \quad (1)$$

ここで, θ は周波数 f 成分に与えた初期位相である. $f + \Delta f$ 成分の初期位相は 0 である. 音響放射圧 $P_R(t)$ を複数個用いる場合には, 各 $P_R(t)$ の初期位相 θ を変化させることで, 音響放射圧間の位相差を制御することが可能である.

3. 変位の空間分布計測

図 2 は, 2 つの加振用超音波ビームの焦点間の中心における深さ方向の変位分布である. 図 2 より, 深さ 4 mm の変位 (図 2(f)) は減少していることが分かる. 変位が生じない付近より浅い領域では上向きの変位が生じ, 深い領域では下向きの変位が生じている. 2 つの音響放射圧を同位相 ($\theta = 0^\circ$) で印加すると, 対象物が両側から周期的に圧縮されることにより, 図 1(b) に示すように計測用超音波ビームの方向に Δf Hz の周期で厚くなることが確認できた.

4. 変位の空間分布についての考察

図 3 は, ハイドロホンを用いて計測した音圧分布から音響放射圧の半値幅を求め, 実線で示したものである. 音響放射圧の半値幅は約 5 mm であった. 2 つのトランスジューサの焦点が対象物表面に設定され, 2 つの焦点間距離が 15 mm である場合, 2 つの加振用超音波ビームの中心軸は深さ 4 mm で互いに交わると考えられる (図 3).

図4は、図2中のタイミングAにおける各深さでの変位を示したものである。図4(a)は、2つのビームの交点が7 mmであると仮定した場合の、音響放射圧の x 成分の合力による水平方向の圧縮によって生じた y 方向の変位を推測した図である。図4(b)は、音響放射圧の y 成分の合力によって生じた y 方向の変位を推測した図である。図4(c)は、超音波計測によって得られた変位であり、図4(a)の変位と図4(b)の変位の総和と良く一致する。図4(b)より、2つのビームの交点付近の変位は計測領域内で最大になることが推測される。図4(c)では7 mm付近が最大であることから、この深さ7 mm 付近は2本の加振用超音波ビームの交差点付近であったと考えられる。これは、2つのビーム交点で音響放射圧の下向き (y 方向) の合力が最大になり、さらに交点より上の領域の膨張による下向きの変位が加算されるからである。図4(c)より、深さ4 mm 付近の変位は0に近づくことが分かる。これは、上向きの変位(図4(a))と下向きの変位(図4(b))が打ち消し合うため、変位が0に近づくと考えられる。

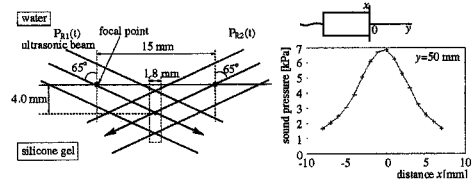


図3: 加振用超音波ビーム照射の模式図。

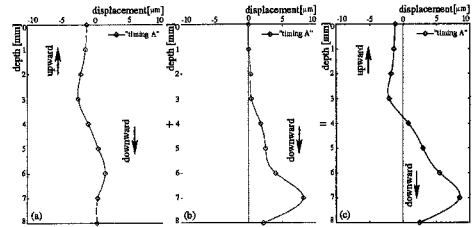


図4: (a) 音響放射圧の x 成分の合力による圧縮により生じた y 方向変位。 (b) 音響放射圧の y 成分による y 方向変位。 (c) 超音波計測された変位。

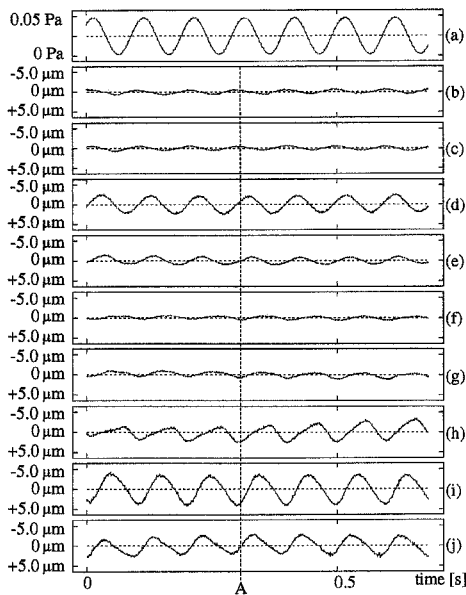


図2: (a) 音響放射圧 $P_{R1}(t)$, $P_{R2}(t)$ の時間波形。 (b) 対象物表面, (c)1 mm, (d)2 mm, (e)3 mm, (f)4 mm, (g)5 mm, (h)6 mm, (i)7 mm, (j)8 mm での変位の時間波形。

5. 結論

本研究では、対象物内に位相制御した音響放射圧を2つ同時に照射して対象物内部にひずみを発生させ、そのひずみの空間分布計測を行った。対象物を両側から周期的に圧縮することで、対象物表面付近では上向き、対象物表面より深いところでは下向きに変化するひずみが発生できることを確認した。

文献

- [1] H. Kanai, M. Sato, Y. Koiwa, and N. Chubachi, "Transcutaneous Measurement and Spectrum Analysis of Heart Wall Vibrations," *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, Vol. **43**, pp. 791-810, 1996.
- [2] M. Fatemi, and J. F. Greenleaf, "Vibro-Acoustic Mammography", *IEEE Transactions on Medical Imaging*, Vol. **21**, pp. 1-8, 2002.
- [3] H. Hasegawa, M. Takahashi, Y. Nishio and H. Kanai, "Generation of Strain Inside Object Using Dual Acoustic Radiation Force", *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. **45**, No. 5B, 2006 (in press).