

## 超音波照射による微小気泡群からの高調波成分の発生

西川 智英 土屋健伸 飯島文明 遠藤信行 (神奈川大・工)

### はじめに

現在、超音波画像診断の分野において、マイクロバブル超音波造影剤が大変注目されている。造影エコー法(Contrast echo)と呼ばれるこの手法は、血液中にマイクロバブル超音波造影剤を投与し反射エコーレベルが微弱な血液や毛細血管からのエコー信号を増大させ、毛細血管レベルの検出を行おうとする試みである。さらに、超音波照射による散乱波に含まれる高調波成分に注目した Harmonic Imaging という概念が提唱されている。この概念は、超音波照射時に気泡の非線形的挙動に基づき発生する高調波成分を選択的に検出することにより、従来のBモード像と異なった画像情報を得ようとする方法である。

### 目的

従来、マイクロバブルの非線形挙動の観測は、比較的繰り返しの速い照射パルス波を用いた、マイクロバブルへの照射時間の関数として(照射パルス数ではなく)行ってきた。<sup>1)2)</sup>この手法は、時間推移による気泡の崩壊過程を知るのに有益であると考えられる。しかしマイクロバブルは超音波の照射により、瞬時に破壊されると予想されることから、高調波の発生量をパルスの照射回数の関数として観測することは、マイクロバブルの崩壊を知る上で重要であると考えた。照射の繰り返し間隔を十分長く取ることによって、多重反射などの影響をなくし、超音波照射回数の関数として気泡からの第2次高調波の観測をする。これにより超音波照射回数に対するマイクロバブルの挙動、高調波の発生状態、崩壊の過程を知ることが可能であると考えられる。

まず水中に存在するマイクロバブルに超音波を照射し、照射回数に対するマイクロバブルからの散乱波を観測し、高調波の発生状態の比較検討を行う。

### 実験方法

今回使用したマイクロバブルは平均径  $1.42\mu\text{m}$  の PVC(ポリ塩化ビニール)でコーティングされた空孔率 95%のマイクロバルーンを数十 $\mu\text{g/ml}$  に希釈する。このマイクロバルーンは最外層に親水性の皮膜をもっており水とよく馴染むので、殆ど任意の混合率で、懸濁できる。懸濁液の顕微鏡写真及び画像解析によって求めた粒径分布を Fig.1 に示す。測定システムを Fig.2 に示す。実験方法は、平面円形 PZT 振動子の送波器より中心周波数 2.0MHz、波連長 50cycles のバースト状音波を繰り返し時間約 1 分で照射し、マイクロバブルからの散乱波をデジタルオシロスコープより観測しながら取り込む。受波波形を高速フーリエ変換(FFT)し、パワースペクトラムを求め、高調波成分の観測をする。また照射の繰り返し間隔を約 1 分とすることで、ほぼ単発パルスと同じ状態を再現できると考えて、これにより照射回数に対する高調波の発生状態を求める。

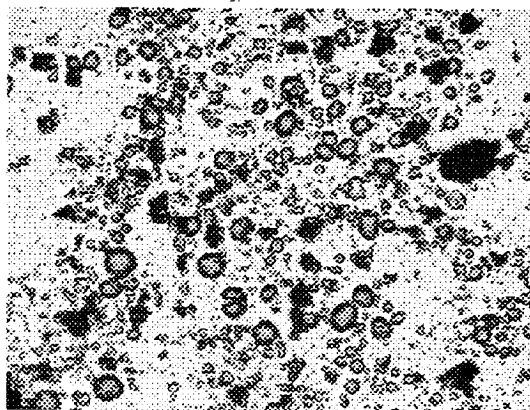


Fig.1 Particle-size distribution of Micro bubbles

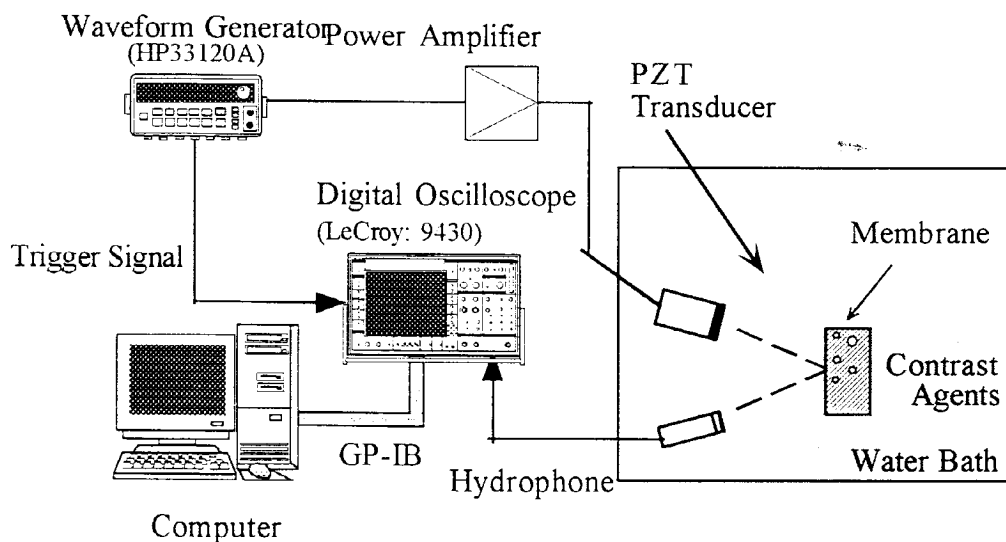


Fig.2 Schematic diagram of measurement system.

### 実験結果

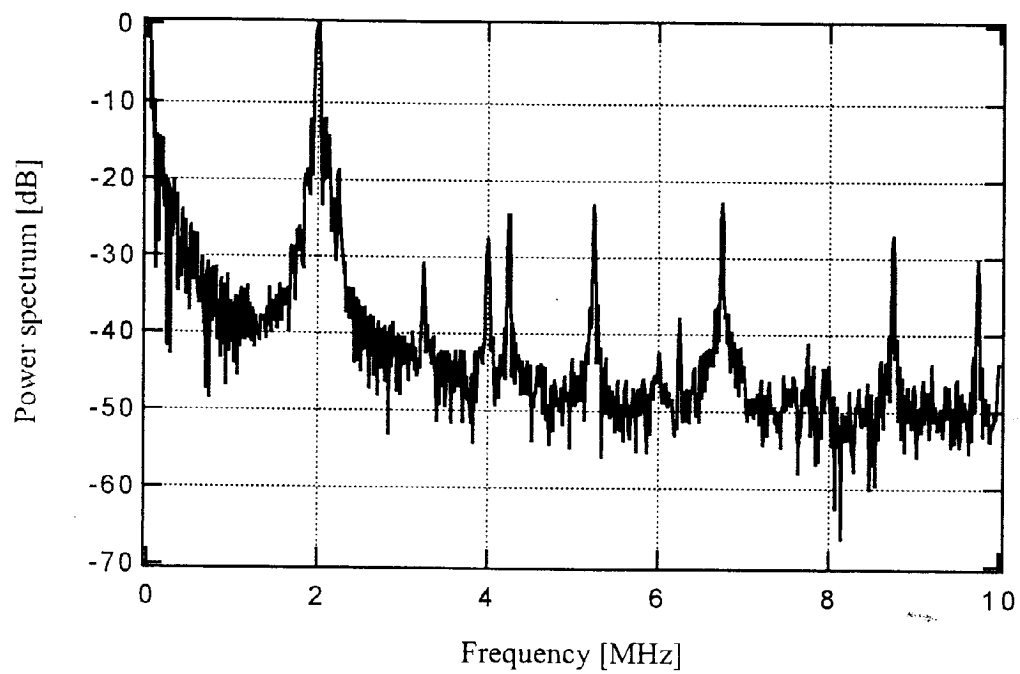
マイクロバブルに超音波を照射したときの、照射音圧  $500\text{kPa}$ 、 $900\text{kPa}$  に対する受波波形のパワースペクトラム結果をそれぞれ Fig.3-(a)、3-(b)に示す。さらに照射回数に対する2次高調波の推移をそれぞれ Fig.4-(a)、4-(b)に示す。照射音圧  $500\text{kPa}$  の場合、音波の照射回数とともに、基本波、第2次高調波が減少することが分かる。それに対し照射音圧  $900\text{kPa}$  の場合は、基本波、第2次高調波がなだらかになることが分かる。

### おわりに

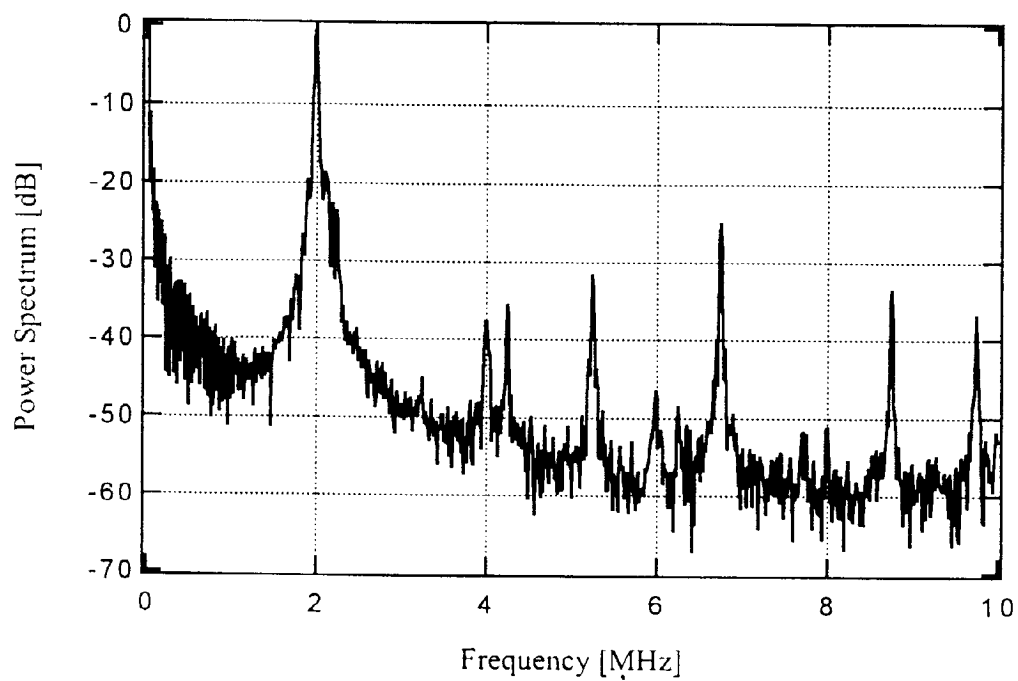
水中に存在するマイクロバブルにバースト状音波を照射し、受波波形の周波数解析を行った。照射音圧  $500\text{kPa}$  のとき、照射回数を重ねるごとに基本波、第2次高調波が減少することが分かった。しかし照射音圧  $900\text{kPa}$  のとき、それらは一定であった。照射音圧が高いほど気泡が崩壊しやすいと予想されるが、今回の実験では照射音圧が高くなると基本波、第2次高調波が減少しなくなることが分かった。今後、詳細な検討を行い、マイクロバブルの挙動を明確にしたい。

## 参考文献

- 1) 西川、土屋、遠藤：  
粒径分布をもつ微小気泡群からの反射音波の応答  
第21回 非線形研究会
- 2) 竹内、スタント、奥島：  
超音波パルス照射頻度とマイクロバブルによる散乱高調波の関係  
第70回日超医講論集 vol.24, p.383
- 3) 竹内、スタント、奥島：  
界面活性剤系マイクロバブルに対する照射音圧と非線形応答特性の関係  
第70回日超医講論集 vol.25, p.271
- 4) B.C.Eatock, and R.Y.Nishi：  
Numerical studies of the spectrum of  
Low-intensity ultrasound scattered by  
bubbles  
J. Acoust. Soc. Am. 77, may. 1985, p.1962
- 5) 浅田、渡辺：  
2周波駆動に伴う水中気泡の非線形振動の数値解析  
音響学会誌 vol.48, No.6, p375

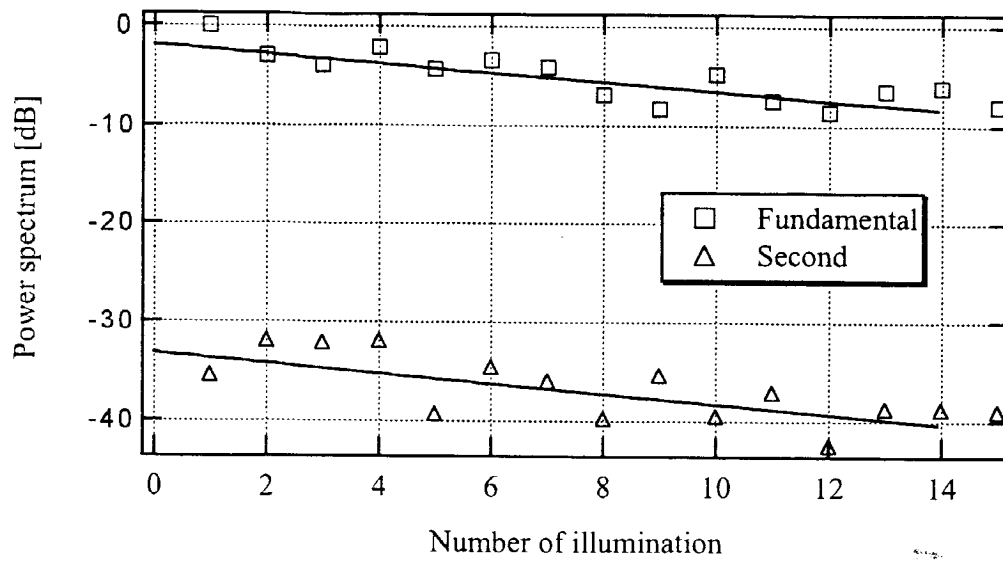


(a) Illumination in 500 [kPa]

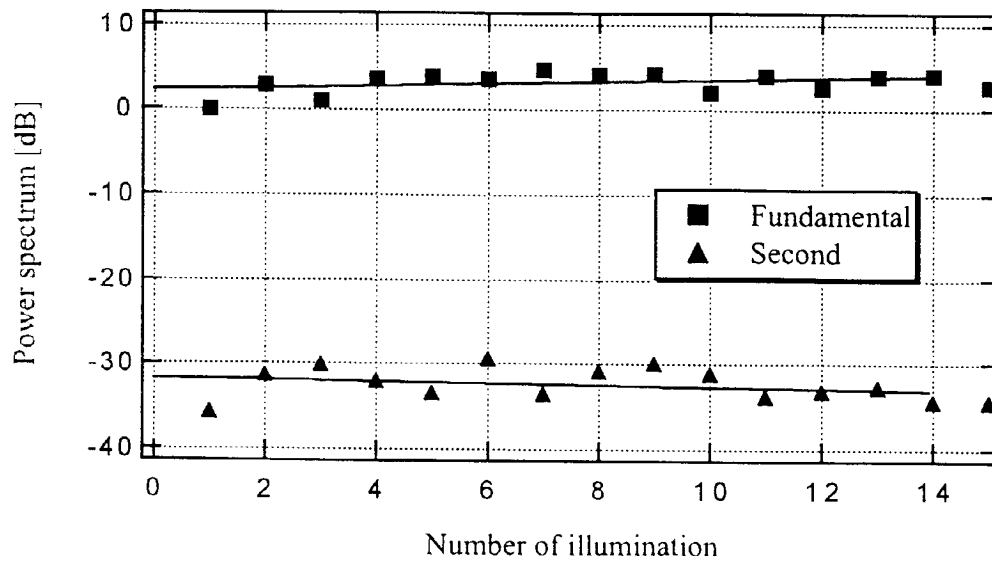


(b) Illumination in 900 [kPa]

Fig.3 Power spectram of received wave .



(a) Illumination in 500 [kPa]



(b) Illumination in 900 [kPa]

Fig.4 Number of illumination vs. fundamental and 2nd harmonic.