

電気音響変換素子-Thermophone-の放射音場

Radiated sound field from Thermophone

同志社大学¹, 村田製作所² ○西岡卓哉¹, 手嶋優風¹, 間野孝², 酒井賢², 浅田隆昭²,松川真美¹, 太田哲男¹, 飛龍志津子¹Doshisha Univ.¹, Murata Manufacturing Co., Ltd.² ○Takuya Nishioka¹, Yu Teshima¹,
Takashi Mano², Ken Sakai², Takaaki Asada², Mami Matsukawa², Tetsuo Ota², Shizuko Hiryu²

E-mail: shiryu@mail.doshisha.ac.jp

1. はじめに

サーモホンとは金属薄膜中に生じるジュール熱の時間変化により、薄膜表面付近の微小空気塊を膨張収縮させ、音波を発生させる電気音響変換素子である^[1,2]。機械的な振動を伴わず、簡単な構造で小型化できるため、広帯域の超音波音源としての利用が期待される^[3,4]。

今回は、サーモホンからの放射音波の指向性及び周波数特性を計測したので報告する。

2. 原理

サーモホンは効率のよい音波放射を実現するため、表面の金属膜の背面に断熱層及び放熱層を持つ。断熱層は金属薄膜に発生したジュール熱の交流成分を断熱し、膜表面の空気に伝える。一方、放熱層はジュール熱の直流成分を基板に伝導させる。

ここで、サーモホンの金属薄膜に印加する交流電流($I_m \sin 2\pi f_0 t$)と、膜表面付近の微小空気塊の温度 T と $P(t)$ の関係は次のようになる^[1]。

$$0.24(I_m \sin 2\pi f_0 t)^2 R = 2\alpha\beta T + \alpha\gamma \frac{dT}{dt} \quad (1)$$

これより温度の時間変化 ΔT は、

$$\Delta T = \frac{0.12I_m^2 R}{2\alpha\sqrt{\beta^2 + \gamma^2\omega^2}} \cos\left(2 \times 2\pi f_0 t + \tan^{-1} \frac{\gamma\omega}{\beta}\right) \quad (2)$$

$$P(t) = \frac{RI_m^2 \rho_0 \sqrt{2 \times 6.0 \times 10^{-11} \times 2f_0}}{r\gamma} \cos(2 \times 2\pi f_0 t - \theta) \quad (3)$$

R : 金属薄膜の抵抗, α : 金属薄膜の面積

β : 熱伝導率, c : 金属薄膜の熱容量, ρ_0 : 空気の密度

θ : 入力信号との位相差, γ : 金属薄膜の厚さ, r : 距離

3. 実験方法

発振器(Agilent, 33250A)より出力した交流電圧を Power Amp. (NF, HAS-4101)で増幅しサーモホン($R = 60\Omega$)に印加した。サーモホン正面 5cm にコンデンサマイク(B&K, 4939)を設置して計測した。得られた信号を増幅器(B&K 5935L)で 40dB, High Pass Filter (NF, 3625)で 28dB 増幅し、オシロスコープ(TDS 2024C)で観測した。指向性計測ではサーモホンの正面を 0° とし、水平面内で左右 $\pm 90^\circ$ また 5° 刻みで計測した。

4. 実験結果及び考察

Fig.1 に観測波形を、Fig.2 に電気音響変換特性を示す。これより、発生する音波の音圧は入力電力(RI_m^2)に比例するため、 $2f_0$ の周波数であることがわかる。

次に指向性を Fig.3 に示す。指向性は金属膜

と同サイズの矩形型振動板の指向性の理論値(図中実線)とほぼ一致した。今回用いたサーモホンの放射面上での音波発生は振動板の様なピストン運動とみなしてよいことがわかる。

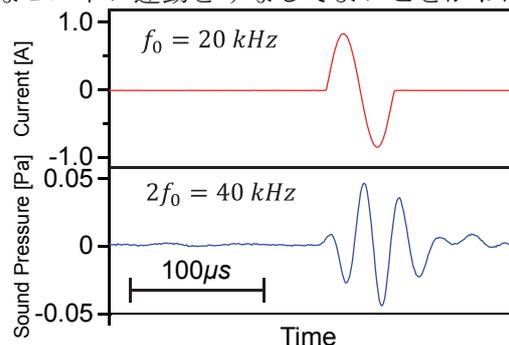


Fig.1 Input signal(top) and radiated sound(bottom) from Thermophone.

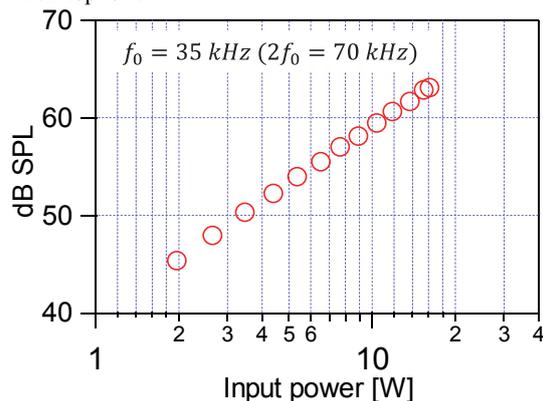


Fig. 2 Relationship between input power and sound amplitude.

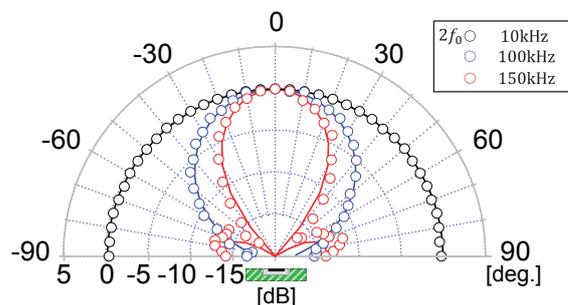


Fig. 3 Directivity of radiated sound from Thermophone.

参考文献

- [1] H. D. Arnold and I. B. Crandall, "The thermophone as a precision source of sound," Phys. Rev., vol. 10, pp. 22-38, 1917.
- [2] E. C. Wente, "The thermophone," Phys. Rev., vol. 19, pp. 333-345, 1922.
- [3] H. Shinoda et al., "Thermally induced ultrasonic emission from porous silicon," Nature, vol. 400, pp. 853-855, 1999.
- [4] L. Xiao, et al., "Flexible, stretchable, transparent carbon nanotube thin film loudspeakers," Nano Lett., Vol. 8, pp. 4539-4545, 2008.