

音響発光する単一気泡にはたらく Bjerknes 力と帯電

Bjerknes force and electrification of a sonoluminescing bubble

明大理工¹, 日女大理² ○ 影山 祐弥¹, 李 香福², 崔 博坤¹Meiji Univ.¹, Japan Women's Univ.², °Yuya Kageyama¹, Hyang-Bok Lee², Pak-Kon Choi¹

E-mail: pkchoi@meiji.ac.jp

超音波定在波中にトラップされた1個の気泡が発光する現象は、シングルバブルソノルミネセンス (SBSL) として知られ、1990年頃から多くの研究が蓄積されている。この現象をきっかけにして音響バブルのダイナミクスが明らかにされ、ソノケミストリーという分野が大いに発展してきた。最近 Lee ら [1] は、この単一気泡に外部電場を印可したときの気泡の挙動からプラスに帯電していることを初めて実験的に示した。しかし、その帯電量の評価が課題として残されている。定在波音圧から Bjerknes 力がはたらく結果、気泡は音圧腹にトラップされる。そのトラップ位置が電場によるクーロン力によって移動するので、Bjerknes 力を求めれば帯電量も評価できるはずである。本研究では、帯電量評価のため、気泡にはたらく Bjerknes 力の計算を行った。

超音波の音圧 p によって体積 V の気泡には、以下のような1次 Bjerknes 力がはたらく。

$$F_b = \langle -V \nabla p \rangle \quad (\langle \rangle \text{は 1 周期 } T \text{ での時間平均を表す}) \quad (1)$$

気泡半径 $R(t)$ は音圧によって変化する。気泡半径を Keller の式を用いて計算した結果を図 1 に示す。計算 program には Python を使用した。周波数は 28 kHz, 音圧は 1.5 気圧とし、初期気泡径が 2–10 μm の場合を示した。定在波音圧を $p(z, t) = -A \cos(kz) \sin(\omega t)$ として (1) 式を求めると

$$F_b = \left(-\frac{4\pi}{3}\right) \frac{1}{T} k A \sin(kz) \int R(t)^3 \sin(\omega t) dt \quad (2)$$

となる。 $\sin(kz) = 1$ の場合に、(2) 式を種々の条件で計算した結果を図 2 に示す。SBSL の実験で実現される音圧 1.2–1.65 atm の場合を、初期気泡径 2–10 μm の関数として求めた。値がマイナスなのは、定在波音圧の腹に向かって力がはたらくことを示している。

参考文献：[1] H-B. Lee and P-K. Choi, J. Phys. Chem. B, **124**, (2020) 3145.

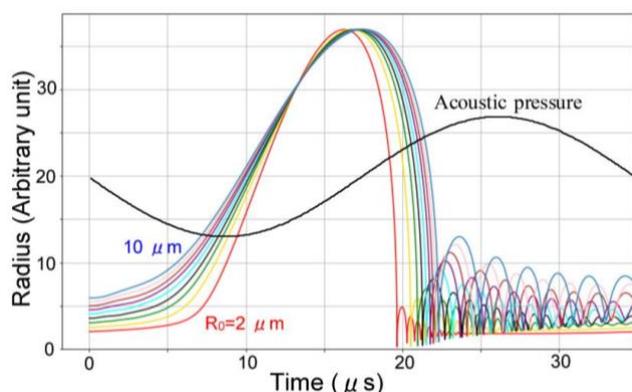


Fig.1. Acoustic-pressure waveform and radius of a bubble subjected by ultrasound with 28 kHz and a pressure of 1.5 atm for initial bubble radius ranging from 2 to 10 μm . The radius values are normalized to their maxima.

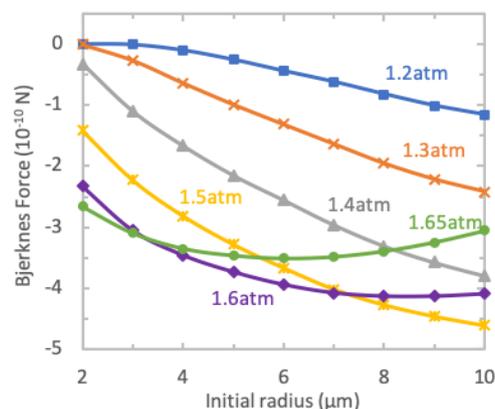


Fig.2. Time-averaged Bjerknes force as function of initial bubble radius at acoustic pressures of 1.2–1.65 atm.