超音波アシスト分光イメージングによる懸濁液計測 ー超音波合成波を用いた浮遊粒子の並進移動マニピュレーションー Ultrasonic-assisted spectroscopic imaging for in-situ measurement of suspensions -Translational manipulation of suspended particles with ultrasonic combined waves-[○]王从涛,野郷孝介,森敬太,石丸伊知郎,香川大学工学部, [○]Congtao WANG, Kosuke NOGO, Keita MORI, Ichiro ISHIMARU Faculty of Engineering Kagawa University E-mail: ishimaru@eng.kagawa-u.ac.jp

1. はじめに

微量懸濁液の採取現場における分光計測を目指 している.提案手法¹⁾は、Ø30[mm]の振動子により 超音波定在波を発生させ、懸濁液を粒子凝集領域 と粒子の疎な液体領域に分離して分光計測可能で ある.振動子駆動回路が小型化できれば、小指サ イズにまで小型化可能なワンショットフーリエ分 光器²⁾を組み合わせた可搬性の高い in-situ 懸濁液 検査器の実現が期待される.本研究では、水中に おける波長 0.94[mm]の超音波合成波を用いて、凝 集粒子群の並進移動操作を試みた.実験の結果、 ポンプの導入が困難な厚さ 2[mm]程度の狭隘な容 器内や微量サンプル中おいて、分光器を走査する ことなく、計測対象を浮遊粒子群、液体領域に切 り替え可能な技術の実現可能性を示した.

2. 超音波合成波の位相速度

音速c中の媒質を互いに逆向きに伝搬する周波 数 f_1 , f_2 の波 $y_1(x,t) = A \sin 2\pi \{f_1t - (f_1/c)x\}$ と $y_2(x,t) = A \sin 2\pi \{(f_2t + (f_2/c)x\}$ の合成波は, (1) 式で表される.

$$y(x,t) = 2A\cos 2\pi \left\{ \frac{f_1 - f_2}{2}t - \frac{f_1 + f_2}{2c}x \right\}$$
$$\cdot \sin 2\pi \left\{ \frac{f_1 + f_2}{2}t - \frac{f_1 - f_2}{2c}x \right\} \quad (1)$$

(1)式中の余弦波は合成波の振幅の包絡線に相当し, 正弦波は包絡線内部の粒子凝集に寄与する周波数 の高い波を表す.内部波の位相速度および合成波 全体としての伝搬速度を表す群速度はそれぞれ正 弦関数,余弦関数内の時間変数*t*と位置変数*x*の係 数の比をとった(2),(3)式で表される.

内部波の位相速度: $c(f_1 + f_2)/(f_1 - f_2)$ (2) 合成波の群速度 : $c(f_1 - f_2)/(f_1 + f_2)$ (3) 周波数がわずかに異なる超音波を合成する場合, 位相速度は非常に大きくなる.一方で,群速度に ついては,凝集粒子が十分追従可能な速度にまで 落とすことが可能である.

3. 合成波による粒子マニピュレーション

Figure 1 に液体セル (厚さ:2[mm],幅 10[mm]) と超音波振動子 (Ø30[mm],共振周波数:1.6[MHz]) を組み合わせた合成波発生装置を示す.実験には, Ø10[µm]の球形粒子と水の混合液を使用した. Figure 2 に周波数差 1[Hz]の合成波発生前後の液体 セル観察像を示す.周波数差 0[Hz]の場合の合成波 は定在波となる.このとき,0.47[mm]間隔で粒子 の凝集縞が生じることを確認した.この凝集間隔 は,1.6[MHz]の超音波定在波の音速 1500[m/s]の 水中での隣り合う節の間隔に等しい.右側振動子 の駆動周波数を1 [Hz]高くすると,凝集縞が1秒 かけて 0.47[mm]左方向に移動することを確認した.



Fig. 1 Ultrasonic combined wave generator



Fig. 2 The particle manipulation result with the beat traveling wave

これは,(3)式中の音速cに1500[m/s], f₁に1.6[MHz], f₂に 1.6[MHz]+1[Hz]を代入して求められる群速度 0.47[mm/s]で1秒間に進む距離に一致する.

4. おわりに

超音波合成波を用いた浮遊粒子群を群速度で並 進移動させることに成功した. 今後,海水や川水 や血液などへの技術適用が可能か確認する.

参考文献

- K. Nogo, K. Mori, S. Sato, A. Nishiyama, K. Wada, and I. Ishimaru, "Proposal of ultrasonic-assisted spectroscopy for practical usages," Proc. APBP 2015, The 5th Asian and Pacific-Rim Symposium on Biophotonics, APBP5-4, (2015).
- S. Sato, M. Fujiwara, Pradeep K. W. Abeyqunawardhana,S. Suzuki, A. Nishiyama, I. Ishimaru, "Proposal of one-shot-type spectroscopic-tomography for non-invasive medical-measurement", Proc. SPIE 8798, Clinical and Biomedical Spectroscopy and Imaging III, 879801, (2013).