

ファイバー光コム型超音波センサーに関する基礎研究

Fundamental study on fiber-comb-based ultrasound sensor

徳島大¹, JST, ERATO 美濃島知的光シンセサイザ², 電通大³, 佐賀大⁴

○増岡孝^{1,2}, 小倉隆志¹, 南川丈夫^{1,2}, 中嶋善晶^{2,3}, 山岡禎久⁴, 美濃島薫^{2,3}, 安井武史^{1,2}

Univ. Tokushima¹, JST, ERATO MINOSHIMA IOS², Univ. Electro-Comm³, Saga Univ.⁴

T. Masuoka^{1,2}, T. Ogura², T. Minamikawa^{1,2}, Y. Nakajima^{2,3}, Y. Yamaoka⁴, K. Minoshima^{2,3}, and T. Yasui^{1,2}

E-mail: masuoka@femto.me.tokushima-u.ac.jp http://femto.me.tokushima-u.ac.jp/

光超音波イメージングは光と超音波のハイブリッドなイメージング法であり、分子選択性を可能とする光の特性と、生体深部観察を可能とする超音波の特性を両立させる生体イメージング法として期待されている[1]。しかし、光超音波の検出に用いる電気的超音波トランスデューサーの感度と周波数応答により、生体深部における空間分解能が制限されていた。

近年、電気的超音波トランスデューサーによる制限を回避する手法として、光学的超音波センサーが注目されている。干渉計測[2]、表面共鳴プラズモン[3]、マイクロリング共振器[4]などの光学的アプローチを用いることにより、ノイズ軽減や高速化に向けた試みがなされている。しかし、これらの計測ではいずれも光信号の強度情報というアナログ量を計測しているため、その高精度化や広ダイナミックレンジ化に限界があった。そこで、光強度よりも高精度かつ広ダイナミックレンジで計測可能な別の物理量を介して、光超音波を計測できれば、更なる高感度化が可能になり、生体深部の空間分解能が向上する。

そこで、我々は新たな光学的超音波センサーとして、ファイバー光コム共振器の『外乱/RF周波数変換機能』に着目した。光超音波により、光ファイバーコム共振器に超音波(ひずみ)が与えられると、光学的共振器長が伸縮し、光コム間隔というRF周波数信号として、光超音波を計測出来る。また、周波数は、各種物理量の中でも最高精度の国家標準が整備され、離散量(デジタル量)として計測出来るので、極めて高精度な計測が可能である。このようなアプローチを用いることで、光超音波を高感度・高精度・高速に取得することが可能になると期待される。本報告では、光超音波センサーへの応用に向けた基礎研究として、ファイバー光コム共振器に印加した超音波(6~12MHz)の計測性能を評価した。

図1に実験装置を示す。リング型モード同期Erファイバーレーザー共振器を構築し、非線形偏波回転によりモード同期動作を得た($\lambda_c=1550\text{nm}$, $f_{rep}=26\text{MHz}$)。レーザー出力を光検出器(InGaAs-PD)で検出し、 f_{rep} 周波数安定化制御系と超音波計測系に分岐させる。 f_{rep} 周波数安定化制御系では、測定信号と基準信号(周波数= f_{ref})をミキシングし、その誤差信号に基づいて、共振器長のPID制御が行われる。ペルチェ素子が温調によるゆっくりとした低速粗調を行う一方で、ファイバー共振器の一部を巻き付けたリング型PZTが中速微調(周波数帯域<50Hz)を行うことにより、 f_{rep} が基準信号に位相同期される。ファイバー共振器の一部をセンシング部として、超音波トランスデューサーからの超音波(周波数= f_s)と相互作用させると、ファイバー共振器に微小ひずみが生じる。その結果、 f_{rep} に変調がかかり、 $f_{rep} \pm f_s$ の周波数にサイドバンドが発生する(図2)。 f_{rep} 周波数安定化制御系では、制御帯域制限のため、 $f_{rep} \pm f_s$ の信号を補正できない。したがって、

超音波計測系において、このサイドバンド信号と f_{ref} ($=f_{rep}$)をミキシングすることで、 f_s の超音波信号が抽出される(図2)。図3は、6MHz~12MHzまでの超音波信号に対する測定SN比を示しており、十分な測定SN比(40~60dB)を得ることに成功した。

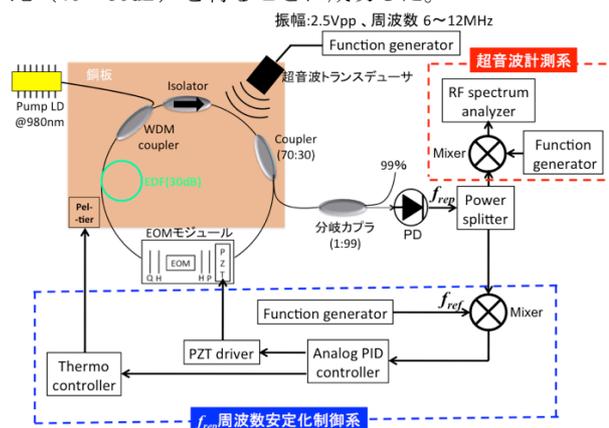


Fig.1 Experimental Setup

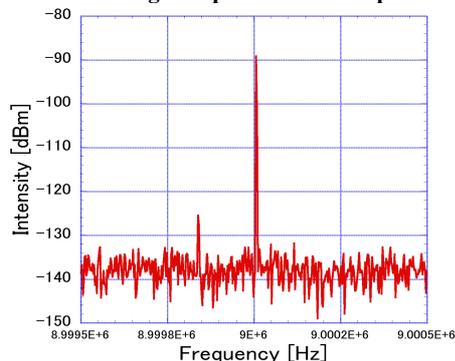


Fig.2 Experimental result of 9MHz ultrasonic sensing.

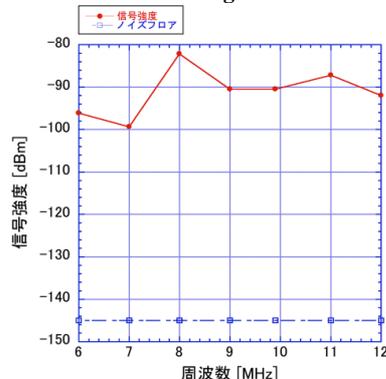


Fig.3 Experimental result of 6MHz-12MHz ultrasonic sensing.

- 1) L. V. Wang et al., *Science* **335**, 1458–1462 (2012).
- 2) G. Rousseau et al., *J. Biomed. Opt.* **17**, 061217 (2012).
- 3) J. Boneberg et al., *Appl. Phys. A* **69**, 557-560 (1999).
- 4) H. Li et al., *Sci. Rep.* **4**, 4496 (2014).