…平成19年度助成研究より…

光波マイクロホンの実用化に向けた開発研究

九州東海大学　産業技術研究所
教授　工学博士　園田　義人

1．光波マイクロホンとは？

音の代表的な検出法であるマイクロホンは1世紀以上に亘る開発の歴史があるが、その基本方式（振動膜を用いて音を電気信号に変換する原理）は変わっていない。音センサ部に物体を用いているため、音場そのものを乱す、高周波応答が悪いなど、応用上種々の制約や限界が出ることが避けられない。他方、光で音を直接検出する方法として、音響光学の分野では光回折法が古くから研究されているが、これらは波長が非常に短い固体中の高周波超音波を主対象としており、空気中可聴音の検出は困難で、これまで可聴音マイクとして研究された例は見当らない。

一方、筆者は光により可聴音を直接検出する方法を提案し、開発研究を行っている。これは、音（空気密度の変動）による微弱な光位相変調から生じる極微弱回折光を検出し、音を再生しようとする試み（図1参照）である。信号光から音を再生するには、光情報処理の基本技術の一つである光学的フーリエ変換を用いている。従来からの振動膜方式に光反射検出を組み合わせたものが光マイクロホンと呼ばれているため、著者は波動光学的音検出法という意味を含めて、これには光波マイクロホンという別称を用いている。

筆者は、元々はプラズマ核融合分野で電磁波やレーザ光を用いて長波長のプラズマ波動（電子密度揺動）や乱流を計測する方法[1), 2)]の研

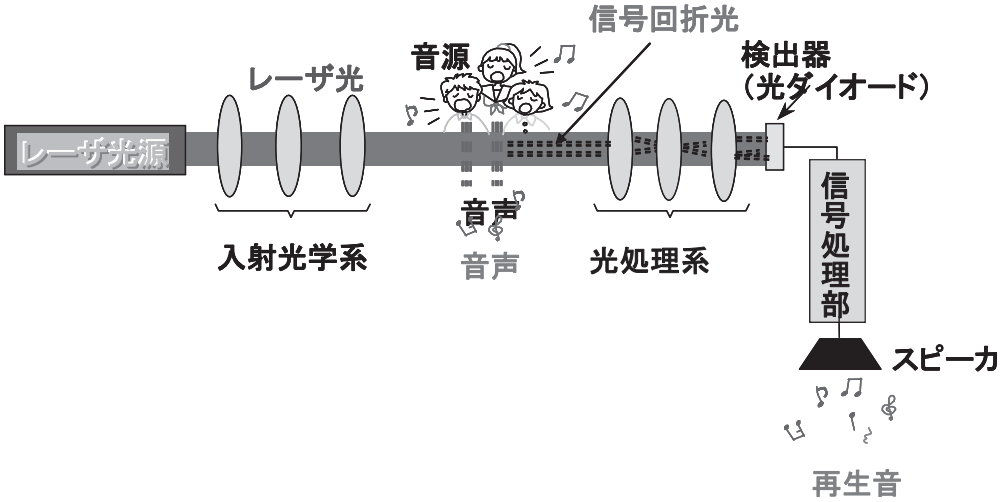

図1　光波マイクロホンのイメージ図

究に携わっていたが、同法を拡張すればレーザ光により大気中の可聴音波の直接検出が可能なことを実験的に確認した。当時、音響には全くの素人であったが、特許申請の後に応募した平成８年度サウンド技術振興財団研究助成に採択され、これらを契機に研究方向を徐々に転換すると共に、その後、光波マイクロホンを主専門分野とすることとなり現在に至っている。そのような経緯から、同財団は私個人にとって特別の存在である。

２．光波マイクロホンの原理と基礎実験装置

レーザ光による音の直接検出の基本特性を調べるために実際に用いている実験装置の概略図を図２に示す。発振音の壁面反射などを防ぐためスピーカは無響箱内に設置し、小さい光学窓を通じてレーザビームを通している。レーザ光源には、半導体レーザ（波長670nm、定格出力６mW）を用いている。スピーカから放射された音波の音圧は静電マイクロホンによりモニターしている。スピーカからの音をレーザ光に入射すると、極微弱な光回折波が生じる。この回折波は透過レーザビームの中を伝搬し、光学情報処理系を通過して観測面で検出される。光情報処理的視点から見れば、音波が光波に作用するところを信号入力面と考え、レンズによるフーリエ変換作用を介して出力面に音波のフーリエ変換像を結ばせ、これを検出器に入力することにより音を電気信号に変換している。検出器にはSiフォトダイオードを用いている。なお、図２ではレーザビームは直線状になっているが、実際の応用の際には測定要請（指向性や増幅度など）に合わせて２次元や３次元の光ビームアンテナを用いる。

３．光波マイクロホンの基本的特性

光波マイクロホンでは、音の密度勾配により信号光が生じているため、感度-周波数特性は音圧傾度マイクロホンのように周波数にほぼ比例する。音楽の再生など実際の応用時には、光

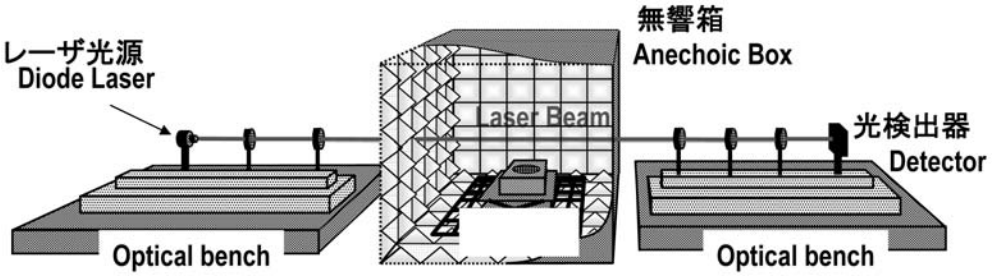

図２　基礎実験装置の概要

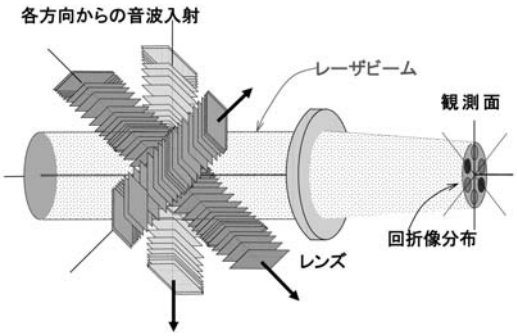

図３　音入射方向と回折像位置

検出器以降の信号処理回路で周波数特性を平坦化して用いる。一方、指向特性はレーザビームの構成（音波アンテナ）の形によって変わるが、さらに加えて光回折像面に置く光検出器の構造（多素子検出器）によっても制御できる。これは図３のように、音の入射方向により回折像の位置が変わるからであるが、詳細については割愛する。

４．光波マイクロホンの特徴・利点

光波マイクロホンの利点として、(1)音場を乱さない，(2)レーザビーム伝搬により立体マイクロホンを構成し、様々な指向性を実現可能，コンパクトなマイクロホンから従来存在しなかった超大型音波アンテナまで作成可能，(3)従来型マイクロホンが設置困難な条件下や危険場所（高電磁界下、防爆区域、等）でも測定が可能，密閉容器（室）内の音も窓があれば外部から検出可能，(4)分割型光検出器（または光ファイバ束）を利用することにより、音進入方向毎の分離測定や指向性の手元制御が可能、(4)装置が非常にシンプルで、たとえばCD（コンパクトディスク）の光ピックアップ部よりも簡単に安価に製作できる、等々その他多くの特徴がある。

以上、レーザ光による方法を中心に示したが、太陽光、照明光など我々の生活空間に溢れる一般の光の中にも、いろいろな音情報が含まれていることに留意する必要がある。もし一般の光（インコヒーレント光）の中から音情報を取り出す技術が確立できれば、風景を写すビデオカメラのイメージセンサの各光素子に対応した音分布の情報取得（仮称：イメージマイクロホン）等への展開など音分野にさらに革新的な技術を提供できる可能性もある。

５．実用化の課題

現在の実験システムで検出している音の周波数及び音圧の領域の概略を図４に示す。これはSN比が２～３程度で非常に大まかに表したものである。通常の部屋で測定しているため、バックグラウンドノイズが55～65dB程度存在する条件下での結果である。80～90dB以上の音（音楽）であれば、ホームステレオで比較的きれいに再生して聞くことができる。また、ジェット流中の騒音などの科学計測には現状でも非擾乱測定法として利用可能である。光波マイクロホンの課題は応用先をどこに選ぶかによって異なってくるが、全般としてSN比の改善（ノイズ低減及び感度向上）が実用化に向けた最大の課題である。これが達成できれば、応用の範囲は限りなく広がると期待される。

最後に、本研究に研究助成のご支援を頂いたサウンド技術振興財団に対し、心より感謝の意を表します。

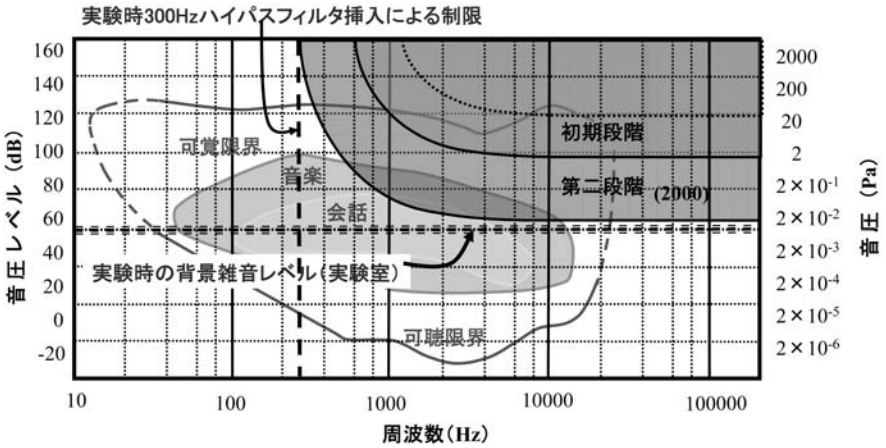

図４　音の利用範囲と光波マイクロホンの実験領域

参考文献

1）D.E.Evans, M.von Hellermann and E.Holzhauer, “Fourier optics approach to far forward scattering and related refractive index phenomena in laboratory plasmas,” Plasma Phys. 24, 819－834(1982).

2）Y.Sonoda, Y.Suetsugu, K.Muraoka and M.Akazaki：“Applications of the Fraunhofer-diffraction method for plasma-wave measurements,” Plasma Phys. 25, 1113－1132(1983).

3）園田：「解説・光で音を聞く方法 －振動板のない光波マイクロホンの開発－」光アライアンス, 16（7), p.32－39(2005).

4）園田：「解説・光波マイクロホンと光情報処理＝光学的フーリエ変換を用いた音の直接（非擾乱）検出＝」光アライアンス, 17(12), p.34－37(2006).