レーザ光による可聴音波の計測

学生員 田 中 啓 一 (九州工業大学)

正 員 野 上 暁 一 (九州工業大学)

正 員 園 田 義 人 (九州東海大学)

Measurement of Audible Acoustic Wave by Laser Light
 Keiichi Tanaka, Student Member, Gyoichi Nogami, Member
 (Kyushu Institute of Technology)
 Yoshito Sonoda, Member
 (Kyushu Tokai University)

The experiment to detect the acoustic wave of an audible frequency region in air by a visible laser beam was carried out, showing that the audible waves with relatively long wavelength from 34 mm to 1700 mm could be directly detected by using a diode laser light of 670 nm and 6 mW. The frequency property was measured for each sound pressure from 75 dB to 100 dB and it is shown that the amplitude of output signal is linearly proportional to the sound frequency, which is consistent with the theoretical prediction. Furthermore, property of directivities in the planes vertical and parallel to the optical axis of laser beam propagation and the spatial profiles of the laser diffraction pattern for each incident angle of a sound wave were measured. The directivity property in the vertical plane for each frequency (200Hz to 10kHz) is very similar to each other and the full angle of half-maximum of directivity is about 120° . On the other hand, the directivity in the parallel plane for each frequency is different from each other. The directivity for low frequency is relatively broad. The full angle of half-maximum of directivity for 10 kHz is smallest and about 90° .

キーワード：レーザ計測、可聴音波、光音相互作用、マイクロホン、光学信号処理

Keywords: laser measurement, audible acoustic wave, interaction between light and sound, microphone, optical signal processing.

1. まえがき

音を電気信号に変換する技術は、19世紀末に電話等の初期装置が発明され、1世紀以上にわたる開発が行われて今日に至っている。この間、可動コイル型やコンデンサ型に代表される諸種のマイクロホン技術が開発され、20世紀前半までにはマイクロホンの基本形がおよそ出揃った。さらに20世紀後半には、これらのマイクロホンの学術的見地による基本設計技術はおよそ完熟の期となった。また、エレクトレットマイクロホン等の出現により小型・軽量のマイクロホンが一般に広く普及するようになった⁽¹⁾⁽²⁾。これらのマイクロホンでは音による機械的振動を電気的信号に変換するという方法が用いられているが、その基本方式だけは現在でも大きく変わっておらず、振動膜という物体を用いることから生じる限界が避けられない。

一方、音波を検出するもう一つの手段として光学的検出法があり⁽³⁾、使い方にも依存するが一般に非接触計測法としての利点を有する。これらは媒質中を伝搬する音波と光波の相互作用を利用するもので、20世紀前半にその基礎が示されている。これらの理論あるいは基礎技術は音響

光学として確立されており、それを基盤として高速光スイッチ、偏光器、スペクトル解析器などの種々の応用デバイスが生み出されてきた。また、極めて有効な非接触タイプの超音波検出法として、物体表面に発生する超音波を光偏向や光回折などを利用して検出する方法や光ファイバハイドロホンなどが開発されてきている⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

ただし、これらの光音相互作用を利用したデバイスや音波検出法では、いずれも固体中や液体中またはそれらの表面を伝搬する高周波超音波を対象にしている。空気中の音波を光で検出することは容易でなく、これまで余り顧みられない傾向にあった。最近、光ファイバマイクロホンにより空中の可聴音波の測定を行う研究等が行われてきているが⁽⁶⁾⁽⁷⁾、空中の可聴音波を光で直接検出する研究はほとんど見あたらない。著者等は、空中を伝搬する可聴音波をレーザ光により直接検出する方法に関する研究を行っているが、この方法では振動膜を全く必要としないため非接触かつ非擾乱で空中の音の測定が可能となる⁽⁸⁾。これは、今までにない新しい方式の音波検出方式として、音に関連した広い分野での応用が期待される。

本研究では、直線状の可視レーザ光を用いて空中を伝搬

する可聴領域の音波を直接検出する可能性の実証と共に、そこでの音検出の基本特性を明らかにする実験を行った。本論文では、周波数特性及び指向特性を調べることを目的として実施した実験の結果について報告する。

2. 基本原理および実験方法

〈2・1〉原理 本研究で用いた計測法の原理図を図1に示す。同法は、プラズマ波動の計測技術として開発が行われてきたフラウンホーファ回折法を基本としている⁽⁹⁾。レーザ光をプローブビームとし、被測定波動の位相変調作用によって生じた光回折波をレンズ（焦点距離： $f(m)$ ）を通した後、観測面で検出することにより、被測定波動の情報（周波数や強度など）を得ることができる。図1の配置でレーザ光が音波と交差するとき、観測面での光波の強度分布はレンズを通した場合のフラウンホーファ回折積分の式を用いて求められる。得られる光波強度分布には、透過波に対応した直流成分および1次回折波の成分などが含まれる。ただし、高次の回折波は、位相変調度が極度に低いため無視できる。実際計測では、直流成分を除いて音波周波数で振動する1次成分のみをホモダイン検波する。このとき、透過波は参照成分として働く。観測面での1次成分の信号強度 $I(W/m^2)$ は、結局、

$$I = I_0 \Delta \phi_0 \{ \exp\{-[u^2 + (u - \theta)^2]\} + \exp\{-[u^2 + (u + \theta)^2]\} \} \sin \omega_p t \quad (1)$$

で与えられる。

ここで、 $I_0 = (2P_0 / \pi w_f^2) \exp[-2(y_f/w_f)^2] (W/m^2)$ 、 (x_f, y_f) ：観測面での x, y 座標、 $u = x_f/w_f$ ：前方焦点面の規格化された x 座標、 $\theta = k_p w_0/2$ ：規格化波数、 w_f ：観測面でのビームサイズ、 (ω_p, k_p) ：音波の角周波数および波数、 w_0 ：音波入射領域でのスポットサイズ、 P_0 ：総入射レーザパワー、 (ω_i, k_i) ：入射レーザビームの角周波数および波数、 $\Delta \phi_0 = k_i (\mu_0 - 1) \Delta d \Delta p / \gamma p$ ：位相変調の時間変動成分、 μ_0 ：空気屈折率、 γ ：固有比熱、 Δd ：音波の幅、 p ：気圧、 Δp ：音波の振幅である。

音波の波長が長く、 $\theta \ll 1$ となる場合は、(1)式は次のように近似できる。

$$I = 4I_0 \Delta \phi_0 e^{-2u^2} u \theta \sin \omega_p t \quad (2)$$

ここで、 $\theta = k_p w_0/2 = w_0 \omega_p/2 v_p = \pi w_0 f_p/v_p$ (v_p ：音速) であるので、(2)式より低周波（可聴）領域では光信号強度は音波周波数 f_p に比例することが分かる。

図1 レーザによる音波計測の原理図

Fig. 1. Principle figure of acoustic wave measurement by laser light.

〈2・2〉実験装置および方法 レーザ光による音の直接検出の基本特性を調べるための実験装置概略図を図2に示す。レーザビームは図1の原理図を実現する形で、直線状に設定した。実験装置は、光学系、音波発生系、信号処理系から構成される。光学系は無響箱（日東紡音響エンジニアリング製、BL型）を挟んで、レーザ光源側と光検出器側に分離されており2台の光学防振台（シグマ光機製、レーザ光源側：HOA-107LM、検出器側：HOA-129LM；共通仕様：固有振動数 1.5Hz（水平）、2.5Hz（垂直）、空気ばね防振方式）の上に設置した。無響箱とレーザ側防振台との距離は 100mm 程度であり、検出器側防振台との距離は 30mm 程度である。光学防振台は約 3Hz の振動が観測されたが、本実験での光計測には影響していない程度の大きさである。光学台近傍の周囲雑音の音圧は 60dB 程度（FLAT 特性）である。レーザは、音波測定周波数領域にノイズが少なくコンパクト化にも有利であるファイバ型真円型半導体レーザ（POINT SOURCE 製、波長 670 nm、定格出力 6 mW）を用いた。入力信号となる音波の発生源は、スピーカ（Fostex 製 FE127：再生周波数帯域 70Hz～20kHz、インピーダンス 8Ω、入力 45W、直径 約 100mm）を使用した。スピーカから発生された音波の反射を低減すると共に外部からの音波の侵入を防ぐために無響箱を設け、その中にスピーカを設置した。無響箱の内寸は奥行 1200mm×横幅 1000mm×高さ 1000mm で、外寸は奥行 1950mm×横幅 1770mm×高さ 1950mm である。また、無響箱内部に設置した静電マイクロホンを広帯域精密騒音計本体（小野測器製 LA-5110、周波数範囲 20Hz～20kHz、周波数特性：FLAT）に接続してスピーカから放射された音波の音圧をモニターした。無響箱内の背景雑音の音圧は約 35dB 程度である。スピーカ表面とレーザ光との距離は 100mm で一定とし、スピーカ自体は後述のようにレーザ光軸に対して垂直な面内と光軸を含む平面内で回転することができる。本実験条件で、波動回折場の判定因子 D^2/λ_p (D ：スピーカの直径、 λ_p ：音波波長) を求めると、約 6mm (200Hz)～290mm (10kHz) 程度である。したがって、100mm の位置は近距離場から遠方場に至る境界領域にある。測定した音波の空間分布（後述；3章）もこれを示すようななだらかな山形分布をしている。理論モデルは、幅一定の平面波を仮定しているが、低周波側では波面の曲がりがあるため、近似的な実験条件となっている。

スピーカからの音をレーザ光に入射すると、前節の理論式で示される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、受光側光学系を通過して観測面で検出される。この際、レーザ透過光はホモダイン検波の局発成分として作用する。検出器には Si フォトダイオードを用いた。有効受光面積は 1.0mm²、検出感度は 0.4A/W、等価雑音パワー（NEP）は $7.0 \times 10^{-16} W/Hz^{1/2}$ である。なお、フォトダイオード出力には受信信号である交流成分に直流成分が重畳されているため、フィルタ回路で交流成分のみを検出する。検出した信号は、プリアンプと

バンドパスフィルタを通した後、ストレージスコープで観察し、パーソナルコンピュータにて記録した。アンプの増幅率は 25 倍とした。検出音は、付属したステレオシステムによって試聴することもできる。

図 2 実験装置図

Fig. 2. Experimental setup.

本実験で用いた音波計測用のレーザビーム伝送の概要図を図 3 に示す。同図の縦軸座標は、レーザビーム幅に比例した任意単位を取っている。レーザ光源のビームウェストの測定値は縦 0.39mm、横 0.39mm でほぼ真円型のガウスビームとなっている。Lens1($f_1=30\text{mm}$)と Lens2($f_2=250\text{mm}$)は、入射ビーム幅を調節するためのレンズである。Lens3($f_3=500\text{mm}$)、Lens4($f_4=10\text{mm}$)および Lens5($f_5=350\text{mm}$)を用いて、音波による光変調成分のフーリエ変換像を観測する。上記の f_i は、レンズの焦点距離(レンズの番号: $i=1\sim 5$)である。距離 $z(\text{m})$ は、レーザヘッドからの距離である。(1)式によれば、音検出部のビーム幅は音波波長に近い値の方が信号強度が大きくなって望ましいが、大きいビーム幅は設定が難しく、実用上も使いにくい。そこで、ここではレーザビーム光学系の組み易さと実用時の機能性を考慮して直径を約 4 mm とした。これから、レンズ 3, 4, 5 を通したときの観測面でのビーム直径(設計値)を計算すると約 3.4mm となるが測定値は約 3.2mm で、ほぼ設計通りの受光光学系が構成されていることを確認した。

この実験は、振動の影響を受けやすいため、本実験に入る前に音の漏れおよび振動の影響を調べた。無響箱内のスピーカにより最大で 100dB の音を放射したとき、レーザ光源前の位置で音圧を測定したところ、200Hz で約 50.3dB (バンドパスフィルタ使用;スピーカ停止時で約 45.0dB)、1kHz で約 30.5dB (バンドパスフィルタ使用;スピーカ停止時で約 30.0dB)であった。この漏れ音および振動伝搬などによる光計測への影響の概略を調べるため、レーザ光源を設置した光学レールおよび検出器を設置した光学レールの振動レベルを振動テスト(小野測器製、HS-1230)により測定した。光計測への影響は、検出器側よりレーザビームを放射するレーザ光源側の振動の方が大きいので、以下、後者について述べる。100dB の音を発振したとき、レーザ光源側の振動測定結果は、200Hz で 8.5dB の上昇(スピーカ停止時: -113.3dB)、1kHz で 1.8dB の上昇(スピーカ停止時: -110.9dB)であった。振動計の測定

結果のみでは、光計測への影響度は判別できないため、別の防音カバー付きのスピーカで防振台表面を微弱励振し、振動計の読みと光信号出力の変化の関係を調べた。その結果、光信号出力側の変動は、200Hz で 15.9dB の振動付加(増分)に対し 35.6mV の光信号増大、及び 1kHz では 3.9dB の振動付加(増分)に対し 0.3mV の光信号増大であった。これらの光信号増大には、空中に漏れた音が光で直接検出される成分も含むので、振動による実質的な影響はこれ以下と評価される。これらの結果から、振動による影響は過大に見積もっても、100dB の音圧実験で 15.2mV 以下(200Hz)および 0.24mV 以下(1kHz)となる。後述のように、音圧 100dB での光計測の測定値はこの領域で 170mV~300mV 付近であり、振動の影響は 200Hz では 9%以下、1kHz では 0.1%以下の影響と推定される。

図 3 レーザビーム伝送図

Fig. 3. Transmission of laser beam.

3. 実験結果および考察

〈3・1〉周波数特性 レーザ光により音波を検出する場合の周波数特性を先ず実験的に調べた。スピーカ表面とレーザビーム光軸との距離は 100mm で一定とし、周波数は使用スピーカの性能により 10kHz~200Hz、音圧は 100dB 以下で変化させた。設定音圧の下限は、電気的ノイズおよび周囲雑音を考慮して 75dB とした。周波数 1kHz、音圧 75dB のとき、出力信号の SN 比は約 1.5 程度である。10kHz、5kHz、1kHz、500Hz、200Hz における出力信号の時間波形の測定例を図 4 に示す。各周波数で、音圧が低下するにつれ出力信号の振幅が小さくなっていく様子が分かる。これらの時間波形から波高値 ($V_{p,p}$) を読みとり、周波数特性としてまとめた結果が図 5 である。これまでに 40kHz~5kHz (波長約 8.5mm~68.0mm) の音波の測定が報告されているが⁽¹⁰⁾、本実験では 200Hz (波長約 1700mm) までの可聴音波が検出可能なことを示した。(2)式から、光信号強度は周波数に比例することが予測されるが、図 5 では直線の傾きが予測される値より小さめとなっている。これは、スピーカの放射特性によりレーザビームと交差する音波の幅が周波数により変化していることが大きく影響していると予想される。

そこで、スピーカの放射音波の幅を測定し、出力信号強度を音波実効幅で補正することを試みた。音波の周波数は 10kHz、5kHz、1kHz、500Hz、200Hz で、音圧は 100dB 一定とした。光路に沿って静電マイクロホンを掃引し、音圧の空間分布を測定した。測定結果を図 6 に示す。また、

200Hz に対しスピーカ中心軸上でのピーク音圧値の変化を測定した結果を図 7 に示す。図 7 より 200Hz の場合でも無響箱内には顕著な定在波は発生していないと予測される。ただし、レーザビームの通過する 100mm の位置では、波面が曲がっており、音波進行方向の開き角がおおよそ 30° 程度になっていると見積もられる。図 6 より各周波数の半値幅を求め、10kHz のときの幅を基準として図 5 の 100dB の実験結果を補正した結果を図 8 に示す。低周波側の 200Hz あたりでは、前述のように振動 (10% 以下の影響) や波面の曲がりなどの効果が入っていると考えられるが、本実験ではこれらの影響を区別して明らかにすることは困難であった。今後の課題と考えている。この点を除けば、補正した信号強度はおおよそ周波数に比例した結果が得られており、理論的予測と一致することが分かった。

今回の実験ではノイズの影響で実験可能な音圧が 75dB 以上に制限されたが、今後これらを改善してさらに低い音圧での測定を行う必要がある。また、周波数領域も今回は 200Hz 以上を取り扱ったが、実用化のためにはさらに低い周波数帯の実験を行っていくことが必要である。

図 4 各音圧における出力信号の時間波形

Fig. 4. Time profiles of output signal for each frequency and sound pressure.

図 5 各音圧における周波数特性

Fig. 5. Frequency property for each sound pressure.

図 6 各周波数での音波空間プロファイル

Fig. 6. Spatial profile of acoustic wave for each frequency.

図 7 ピーク音圧値の変化 ($f_p=200\text{Hz}$)

Fig. 7. Change of peak sound pressure.

図 8 音波の幅で補正した信号強度 (音圧: 100dB)

Fig. 8. Signal intensity corrected by the width of sound wave (sound pressure: 100dB).

〈3・2〉垂直面内指向性と水平面内指向性 レーザビームによる音波検出の指向性を検討する場合、レーザビームに垂直な平面内での指向性 (以下、垂直面内指向性と略記する) とレーザビーム光軸を含む平面内での指向性 (以下、平行面内指向性と略記する) の 2 つを基本的な指向特性として調べる必要がある。任意方向からの音波の入射は、この 2 つの特性を合成することでおおよそ推定できる。

両特性を測定する装置の概略図を図 9 に示す。スピーカとレーザビームの距離を 100mm で一定にし、レーザ光軸に対して垂直な面内あるいは光軸を含む面内でスピーカを回転させた。音波の周波数は、周波数特性を測定したときと同じように、10kHz~200Hz の範囲とした。音圧は 90dB で一定とした。

図9 垂直面内指向性と平行面内指向性の測定配置図
Fig. 9. Experimental setup for measurement of directivity in the vertical and parallel planes.

垂直面内指向性の測定結果を図10に示す。同図で、レーザビーム進行方向に対し右水平方向からの入射を入射角の基準の0°とした。入射角90度はレーザビーム真下からの入射に相当する。無響箱内に設置したスピーカを回転させる支持具等の制約により、回転範囲は0°～180°で、回転ピッチは15°とした。検出器は、入射角が90°の時に出力信号が最大値を示す位置に設定した。180°～360°の特性は今回の実験では実測できなかったが、直線状の光ビームに対する音波入射の関係を考慮すると0°～180°の特性と対象な形になると予想されるため、図10の上半分の特性は下半分の特性を折り返す形で点線にて記入した。信号強度は周波数特性の項で示したように、高い周波数で強くなっているが、指向性は200Hzから10kHzに至る全周波数で類似の形を示している。回折像は、音波入射方向の線上に2山分布で現れるので、検出器を90°線上に設置した場合、指向性はおよそ $\sin \phi$ (ϕ は90°線からの角度)の形になることが予測される。測定結果から求めた半値角は120°程度になっており、この予測とおよそ一致している。

図10 垂直面内指向性
Fig. 10. Directivity in the vertical plane.

図11 垂直面内での各入射角に対するレーザ回折強度プロファイル
Fig. 11. Profiles of laser diffraction intensity for each injection angle in the vertical plane.

次に、各入射角における光回折像の空間プロファイルの測定を行った。観測面においてレーザビーム断面の中心点を通る垂直線上で光検出器を0.25mmずつ移動させ、各空間点での出力電圧を読みとった。10kHzの音波に対し、入射角が90°、45°および15°のときの測定結果を図11に示す。90°入射時のプロファイルは左右で非対称性が若干見られるが、(2)式で示される2山分布がおおよそ得られていることが分かる。45°及び15°の場合は、(2)式による考察はできないが、90°入射時とおおよそ同様の波形となった。

一方、平行面内指向性の測定結果を図12に示す。同図では、レーザビーム進行方向を音波入射角度の基準の0°とした。したがって、この場合も入射角90°はレーザビーム真下からの垂直入射に相当する。検出器の位置は、垂直面内指向性を測定したときと同じである。この測定では入射角が0°または180°の近傍領域に入ると、スピーカ自体が光路を遮る状態となるため垂直面内指向性の測定の場合よりさらに角度の設定が制限され、スピーカ回転範囲は30°～150°とした。回転ピッチは15°である。この場合も180°～360°の特性は実測できなかったが、直線状の光ビームと音波入射の位置関係を考慮すると0°～180°の特性と対象な形になると予想されるため、図12の上半分の特性は下半分の特性を折り返す形で点線にて記入した。図12から、周波数の高い場合は指向性が鋭く、低周波になるにつれ指向性が広がっている。10kHzの指向特性の半値角は約90°程度である。一方、低周波側の200Hzでは音波波面の曲がりの影響が入っていると予測されるが、本実験ではこの詳細は明らかにすることができなかった。今後、平行な音波波面を用いて精密な実験を行うことが必要とされる。

次に、90°および45°で回折像の空間プロファイルを測定した結果を図13に示す。90°入射時のプロファイルは垂直面内指向性の90°入射時のものと同じである。45°の斜入射の場合は(2)式を導出した理論モデルからはずれ同式による考察はできないが、測定結果は90°入射のときの測定結果と同様の2山分布が得られている。平行面内での斜入

射の場合は、より強い光音相互作用の場合の理論的考察からすると回折プロファイルが非対称性を持つことも予想されたが⁽⁹⁾、非対称性は観測されなかった。この原因についても、入射音波の波面の曲がりによる影響なども考えられるが、現在の所まだ明らかではない。今後さらに検討を行う予定である。

指向性の測定も、周波数の測定と同様に、ノイズを低減してさらに低い音圧及び低い周波数領域に測定範囲を広げることが今後必要とされる。

図 12 水平面内指向性

Fig. 12. Directivity in the parallel plane.

図 13 平行面内での各入射角に対するレーザ回折強度プロファイル

Fig. 13. Profiles of laser diffraction intensity for each injection angle in the parallel plane.

4. むすび

本研究ではレーザ光により可聴音波を直接検出する実験を行った。その結果、次のことが明らかとなった。

- (1) 可視レーザ光により 34mm~1700mm 程度の長波長の可聴音波 (10kHz~200Hz) まで、直接検出できることを実験的に示した。
- (2) 周波数特性は、低周波になるにつれ信号強度が直線的に低下した。これは、光と音の相互作用の理論で予測される結果と一致することが分かった。
- (3) レーザビームで音波を受信する場合の垂直面内指向

性と平行面内指向性を実験的に求めた。垂直面内指向性では、指向性の鋭さは全周波数において類似した特性を有することが分かった。一方、平行面内指向性では、周波数が高くなるにつれて指向性が鋭くなった。1kHz 以下の周波数帯では入射角度による変化は少なく、広い指向性を有することが分かった。

今回の実験では、電磁ノイズと周囲雑音の影響などで実験可能な音圧範囲が 75dB 以上に制限された。今後、さらに低音圧及び低周波数の音波検出が可能となるよう改善する必要がある。

(平成 13 年 8 月 24 日受付, 平成 13 年 12 月 28 日再受付)

文 献

- (1) 岸包典: 「マイクロホン」, 日本音響学会誌 28 巻 4 号 213~220 (1972)
- (2) 安野功修, 三浦研造: 「最近の民生用マイクロホン」, 日本音響学会誌, 45 巻 12 号 959~965 (1989)
- (3) J.P.Monchalin: "Optical Detection of Ultrasound" IEEE Trans. Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, Vol. UFFC-33, 485~499 (1986)
- (4) 超音波便覧編集委員会編: 「超音波便覧」, 丸善, 143~177 (1999)
- (5) 高橋純夫: 「光ファイバハイドロホン」, 日本音響学会誌 54 巻 10 号, 750~755 (1998)
- (6) 中村健太郎: 「音・振動の分布を光で測る」, 光学 29 巻 1 号, 15~19 (2000)
- (7) K.Nakamura and K.Fukaya: "Optical Fiber Coupler Array for Multi-Point Sound Field Measurements" Opt. Rev. 4, 65-68 (1997).
- (8) K.Tanaka, G.Nogami and Y.Sonoda: "Measurement of Audible Acoustic Waves by Laser Light Doppler Diffraction" WESTPRAC VII Vol. 1, 385-388(2000).
- (9) Y.Sonoda, Y.Suetsugu, K.Muraoka and M.Akazaki: "Applications of the Fraunhofer-diffraction method for plasma-wave measurements" Plasma Phys. Vol.25,No.10, 1113-1132 (1983).
- (10) Y.Sonoda and M.Akazaki: "Measurement of Low-Frequency Ultrasonic Waves by Fraunhofer Diffraction", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 33, Pt. 1, No. 5B, 3110-3114 (1994).

田中啓一 (学生員) 1972 年 8 月 13 日生まれ。1997 年 3 月九州東海大学大学院工学研究科修士課程修了。1997 年 4 月~1998 年 3 月三菱電機熊本セミコンダクタ(株)勤務。1998 年 4 月九州東海大学工学部大学院研究生。1999 年 4 月九州工業大学大学院工学研究科電気工学専攻博士課程後期入学, 現在に至る。主としてレーザによる音波計測, レーザ・プラズマプロセッシングに関する研究に従事。応用物理学会会員。

野上 暁一（正員） 1940 年 9 月 21 日生まれ。1968 年

早稲田大学大学院理工学研究科電気工学専攻修士課程修了。1969 年 早稲田大学大学院理工学研究科電気工学専攻博士課程中退。1969 年 5 月 九州工業大学工学部助手。1975 年 5 月 同大学講師。1976 年 5 月同大学助教授。1982 年 11 月同大学教授，現在に至る。工学博士。主として半導体—電解液界面の物理化学特性，光電気化学反応，光音響分光，レーザホログラフィに関する研究に従事。電気化学会会員，応用物理学会会員。

園田 義人（正員） 1950 年 12 月 29 日生まれ。1975 年 3

月九州大学大学院工学研究科修士課程修了。1975 年 4 月～1978 年 3 月三菱レイヨン（株）勤務。1978 年 4 月～1986 年 3 月九州大学大学院総合理工学研究科助手。1984 年 10 月～1985 年 9 月英国原子力局カラム（プラズマ核融合）研究所特別研究員。1986 年 4 月九州東海大学工学部電気工学科助教授。1992 年 4 月同大学教授，現在に至る。工学博士。主としてレーザ応用計測，光による音波計測，レーザによるプラズマ波計測に関する研究に従事。応用物理学会会員，日本音響学会会員，電子情報通信学会会員。