



Title	光ファイバプローブマイクによる声帯波々形の直接観測
Author(s)	大場, 良次; 生水, 利明; 町田, 明春; 三上, 直樹
Citation	北海道大學工學部研究報告, 125, 47-52
Issue Date	1985-03-29
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/41924">http://hdl.handle.net/2115/41924</a>
Type	bulletin (article)
File Information	125_47-52.pdf



[Instructions for use](#)

## 光ファイバプローブマイクによる声帯波々形の直接観測

大場良次 生水利明\*  
町田明春\*\* 三上直樹

(昭和59年11月30日受理)

### Direct Observation of Glottal Waveforms Using Optical Fiber Probe Microphone

Ryoji OHBA, Toshiaki SYOZU, Akiharu MACHIDA and Naoki MIKAMI

(Received November 30, 1984)

#### Abstract

The present paper reviews the principle, the structure and performance of the experimental model of the optical fiber probe microphone, which has been developed as one of acoustical sensors applicable to probe a narrow sound field such as in the human glottis. The model is applied to observe the sound pressure waveforms at several points in the human vocal tract including the glottis under utterance. Simultaneous direct observations of both the glottal and the speech-waveforms are successfully performed under utterance. Several new facts obtained by the directly observed glottal waveforms are presented. Transfer characteristics of the vocal tract are determined by using both the simultaneously observed glottal and speech-waveforms. Discussions on the differences between both the transfer characteristics derived by the present and by a conventional-method are also given.

#### 1. 緒 言

音声認識研究の直接の成果として単一の特定話者の限定語彙を対象とする単語音声認識システムが実用化され、卓上型計算機用音声入力装置も市販されるようになって来た。少数の複数特定話者による限定語彙を対象とする単語音声認識システムの実用化も間近かである。これらのシステムはいずれも連続した単語音声の一つのパターンとして識別するもので、その実現は2段DP-マッチング法<sup>1,2)</sup>などの認識アルゴリズムの開発と、マイクロプロセッサに代表されるハードウェアの発達に依るところが大きい。しかしそこで用いられている識別アルゴリズムやハードウェアはまだ未完成で、音声認識の最終目標である不特定話者の任意音声識別システムの実現には、より基本的な音韻要素の識別が不可欠とされる。著者等も音韻の識別を目標に音声情報処理の研究を進めて来た<sup>3-13)</sup>。

音韻、殊に不特定話者の発声になる音韻を識別する際には、音声信号から話者の個性に依存しないその音韻に特有の特徴の抽出が必要である。ところで音声信号そのものは、いわゆる声帯波

---

応用物理学科 応用計測学講座

\*現在 オリンパス光学工業(株)

\*\*現在 (株)横河北辰電機製作所

と声道伝達特性により決められる。ここで声帯波とは声帯の振動により声門部に発生する準周期的圧力波である<sup>14)</sup>。声道伝達特性は話者によらず、各音韻に特有の形をとると考えられているが、実際に音声標本を採集して解析してみると話者毎に差異が大きい。音声信号を、パルス列で声道を駆動した時の出力と見做して、多数の話者から得た音声試料を元に各音韻毎に共通の特徴を見出すことは、殆んど不可能である。音声の話者間の差異、つまり個性は、従来から主として声帯波々形に由来すると考えられている。もしこの説が正しいとすれば、声帯波の影響を受けずに声道伝達特性が決められれば、音韻の識別にきわめて有力な情報が与えられることになる。

著者等は声帯波に関する従来の知見<sup>14)</sup>をもとに、音声波から声帯波の影響を排除した発声時声道伝達特性を推定するために、いくつかの実験を試みた<sup>3~5)</sup>。しかしその結果はそれまでの声帯波を考慮しない解析法による結果と余り変わらず、満足すべきものではなかった。結局声道伝達特性の測定そのものの目的のためには勿論、測定結果の信頼性および測定法の妥当性を検証するためにも、正確な声帯波々形が知られねばならないことが明らかとなった。

発声下における声帯波々形を発声に及ぼす影響をできる限り小さくして測定するためには、極めて小型のマイクロホンが必要である。この目的に合致するようなマイクロホンを探したけれどもついに見出せず、最終的に自ら開発することになった。そこで光ファイバーを用いて、声門部に置いたごく微小な受音板の声帯波による変位を、光学的に遠隔検出する原理による光プローブマイクロホンを開発した<sup>15~21)</sup>。本論では開発した光プローブマイクロホンと、それにより直接観測した声帯波々形を紹介し、更に声帯波、およびそれを用いて決定された声道伝達特性に関して得られた2・3の知見について述べる。

## 2. 光プローブマイクロホン

発声時の声道では断面積が時間的に変化する、その最小部はたとえば母音*/i/*を発音する際約80 mm<sup>2</sup>にも狭まるし、声門部の体積は約1 cm<sup>3</sup>程度である<sup>14)</sup>。おのおのその数%の変動が許容されるとしても断面積で数 mm<sup>2</sup>、センサ先端の体積で数10 mm<sup>3</sup>以下のマイクロホンを開発せねばならない。このように小さな断面積・体積のセンサ受音板の音圧による変位は極めて微小で、通常の電気的手段では到底検出し得ない。著者等はそのため光波の干渉を用いてその微小な変位を検出することにした。以下に光プローブマイクロホンの原理、システム構成および特性を紹介する。

### 2.1 原 理

周辺で固定された円形薄板の背面を定圧に保ち、正面から一様な音圧を加えると板は変形して中央部がその平衡位置から微量量変位する。音圧の帯域がその円板の第一共振周波数より低い場合にはこの変位は音圧振幅  $F$  に比例し、解析結果によればその時の変位  $\xi$  は

$$\xi = \frac{3(1-\sigma^2)a^4}{16 E h^3} \cdot F = k \cdot F \quad (1)$$

となる<sup>17)</sup>。ただし、 $a$ 、 $h$ 、 $E$ 、 $\sigma$  および  $k$  は、それぞれ円板の半径、厚み、ヤング率、ポアソン比および定数である。ここで  $\xi$  が  $a$  の4乗に比例することに注意すべきで、たとえば同一材料の板を用いて半径のみを1/2にすれば  $\xi$  は1/16となり、円板の半径を小さくすると変位はその4乗で減少する。半径1mm、厚み15 $\mu$ mの雲母板を用いると(1)式の定数  $k$  は5.3 Å/Pa 程度になる。

このように微小な変位を光学的に検出するために板面と平行に固定平面を置き、両面でファブリ・ペロー共振器を構成した。この共振器の共振特性は両面間の間隔  $d$  に依存し、面に垂直に共

振器に入射する波長  $\lambda$  の光は、入射側に次の反射率  $R(d)$  で反射される。

$$R(d) = \left| r_1' + \frac{t_1' t_2 r_2 \exp(j4\pi d/\lambda)}{1 - r_1 r_2 \exp(j4\pi d/\lambda)} \right|^2 \quad (2)$$

ここで  $r_i$ ,  $t_i$  は空气中から面  $i$  に入射する光に対するそれぞれ振幅反射係数, 振幅透過係数である。 $r_i'$ ,  $t_i'$  は逆に面  $i$  から空气中に出射する光に対する振幅反射数, 振幅透過係数である。 $R(d)$  は周期  $0.5\lambda$  の周期関数であるが, アルミ薄膜などを蒸着して  $r_i$ ,  $t_i$  を適切に調整することにより,  $0.4\lambda$  程度の範囲に亘って  $R(d)$  に線形性を与えることも可能である<sup>21)</sup>。

## 2.2 システム構成

受音板を光ファイバーの一端に固定し、ファイバー端面と板面を平行に保持することによりファブリ・ペロー共振器を構成する。この共振器の特性の変化から両面間々隔の変化、つまり受音板面の変位を検出する。特性の変化は、ファイバーのもう一端を經由して波長・強度一定のレーザ光を共振器に入射した時共振器で反射されて入射端に戻って来る光の強度変化として検出される。図1は光プローブマイクのシステム構成を示している<sup>20)</sup>。光源の単一モード直線偏光 He-Ne レーザから出射した光を、レンズ L を用いてモード整合してファイバー端面  $E_1$  に入射する。光はファイバー中を共振器 ( $E_2$ -M) に向かって進み、そこで受音板 M の変位により(2)式で決まる反射率で反射されて再び  $E_1$  から出射する。 $E_1$  から出射した光をビームスプリッタ HM で分け、絞り S を通過後光電検出器 PM で光電変換して信号を得る。図2に試作受音部を示した。

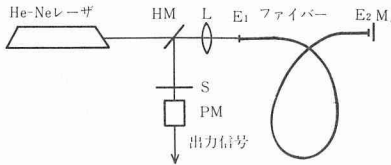


図1 光プローブマイクロホンのシステム構成

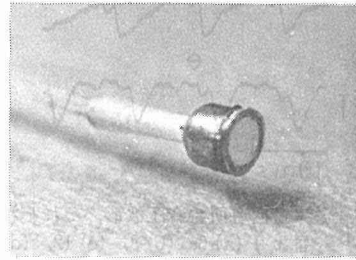


図2 試作受音部

## 2.3 特性

改良の結果現在では直線範囲80Pa, ダイナミックレンジ57dB, 帯域幅20Hz-5kHzで-35dB(-3dB rel. 1v/Pa=0dB)の絶対感度の光プローブマイクロホンが実現されている<sup>21)</sup>。図3は試作光プローブマイクロホンの周波数特性である。

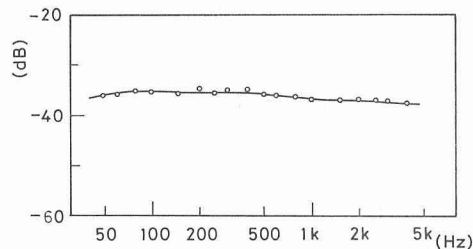


図3 試作光プローブマイクロホンの周波数特性

### 3. 声帯波々形の直接観測

上述の試作光プローブマイクロホン受音部を、通常の実験室中で発声下の声道に口を経由して挿入して、声道各所で音圧波形を観測した。図4は各所において観測された音圧波形の例で、それらはおのおの唇より (a) 0, (b) 8, (c) 12, (d) 14, (e) 16および (f) 18 (cm) の位置における、母音/a/を発声時の声道内での音圧波形である。(a)はいわゆる音声波形であり、(b), (c), (d) および (e) はそれぞれ口腔, 上部咽頭腔, 咽頭腔および喉頭部での音圧波形である。また (f) は声門部に隣接する食道内での音圧波形である。

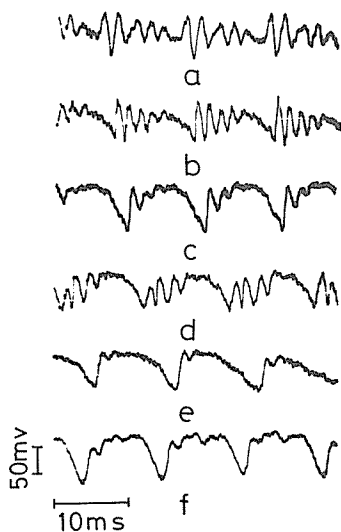


図4 声道内各所の音圧波形, それぞれ唇より (a) 0, (b) 8, (c) 12, (d) 14, (e) 16および (f) 18 (cm) の位置で観測されたもの。

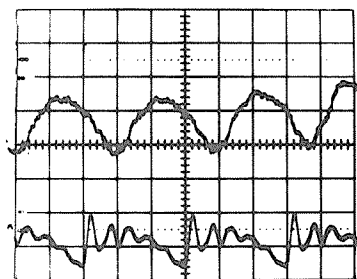


図5 男性話者が母音/a/をピッチ168 Hzで発声中に同時観測された声帯波(上)と音声波(下)波形, 縦軸100mV/div, 横軸20ms/div.

図5はピッチ168Hzで母音/a/を発声中の声道内部の唇から0cmと16cmの2地点で同時に観測された音圧波形の例で、上・下のトレースはそれぞれ声帯波、音声波である。声帯波は喉頭上部で観測されたものである。声帯はこの点より更に約1cm程奥に位置しているが、これより奥の声道は断面積約 $1\text{cm}^2$ で発声時にも音韻・音声のピッチによらずほぼ一定の形状を保っている。声門部のこのような小さな体積が声道全体の音響的特性に及ぼす効果は小さく、それを無視することにすれば、ここで得られた波形をいわゆる声帯波波形と見做すことができよう。

### 4. 声道伝達特性の決定

同時に観測された音声波と声帯波を用いると、真の声道伝達特性が決定できる。図6(a), (b)はそれぞれ図5のピッチ168Hzの母音/a/の音声波および声帯波のパワースペクトルである。激しく上下に変動するカーブは20 dB/decの高域強調後の波形データをフーリエ変換して求めたパワースペクトルであり、滑らかなカーブはこのパワースペクトルを15次の線型予測法により近似したパワースペクトルである。同図(c)は、これら2つの滑らかな対数スペクトル間の差であり、発声

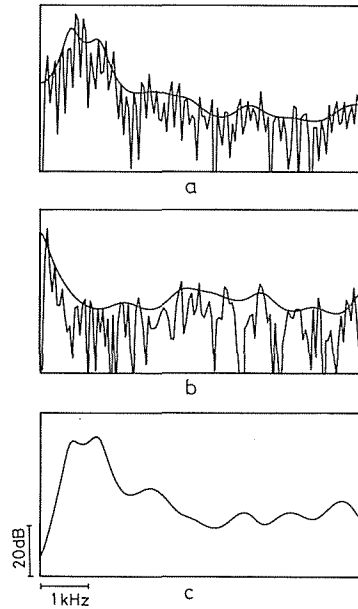


図6 図5のデータから決定した声道伝達特性。  
(a) 音声波のパワースペクトル, (b) 声帯波の  
パワースペクトルおよび (c) 声道伝達特性。

過程を線形系と仮定して (b) を入力声帯波のスペクトルと見た場合の声道の (振幅) 伝達特性になっている。

従来の方法により推定される声道の振幅伝達特性は、本質的に図6 (a) の滑らかなカーブと変わらないから、図6 (a) と (c) を比較することにより、声帯波の影響を排除した効果が知れる。両図よりそれぞれ第1～3ホルマント周波数を求めて見ると、従来の方法で求めた特性 (a) からはそれぞれ648, 1,156, 2,333 (Hz) となり、今回の方法で求めた特性 (c) ではそれぞれ700, 1,167, 2,281 (Hz) となる。(a) から求めた周波数を基準として (c) から求めたそれは第1～3ホルマント周波数についてそれぞれ+52Hz (+8%), +11Hz (+1%), -52Hz (-2%) となり、特に低周波側の第1ホルマントでの変化が大きい。この相違は (b) 図の声帯波スペクトルの特徴より理解できる。従来の方法では声帯波のスペクトルが平坦であるとしたことに相当するが、実際のスペクトル図6 (b) では、(i) 低調波域でのパワーの大きな部分 (ii) 高周波域でのほぼ平坦な部分および (iii) その中間での低パワー域の3つの部分に分かれる。つまり声門部の音圧波形のパワースペクトルは、約2.6kHz以上の高周波域では従来から言われている様に-6 dB/oct. で減少するが、約800Hzより下の低周波域では、従来考えられていたよりも大きなパワーを有し、その中間域では比較的低パワーが小さいと言える。一言で言えば、従来言われていたよりも800Hz以下のパワーが大きい反面、800Hz～2.6kHzの成分が小さい。

この結果、音声波のスペクトルから従来の方法で求めた声道伝達特性と、今回新たに声帯波を用いて求めたそれとの相違は、次の2点に要約できる。(i) 800Hz以下の周波数域でゲインがほぼ  $\alpha (f-800)$  (dB) の割で低下する。ここで  $\alpha$  は定数、 $f$  は周波数 (Hz) である。そのため第1ないし第2ホルマントのゲインが低下すると同時に、ピーク周波数が高周波側へ移動する。(ii) 800Hz～2.6kHzの周波数域でゲインが増加する。このような相違のため、今回求めた声道伝達特性では第1～3ホルマント間でより平坦になると同時に、相対的に低周波のホルマント周波数が

増加する。まだ解析例は十分ではないが、この2つの効果はどの解析例にも見ることができる。

## 5. 結 言

声道声門部などの狭隘環境下での音響計測用に開発した光ファイバプローブマイクロホンの原理と試作マイクの特性について述べた。またそれを発声下の声道内各所における音圧波形の観測に応用し、声帯波々形の直接観測に成功した。この直接観測された声帯波々形に関する知見を述べ、またこの声帯波と同時に観測した音声波をもとに、発声時声道伝達特性を決定した。このようにして決定された声道伝達特性と従来の線形予測法で推定したそれとの相違についても述べた。開発中の光プローブマイクはまだ安定性に問題が残っており、目下比較的簡単に波長の制御できる半導体レーザを光源に用いて安定性の向上を図りつつある。今後この安定性の改善された光プローブマイクを用いて声道内音場のより詳細な解析を実施する計画である。

## 文 献

- 1) Sakoe, H. and Chiba, S.: IEEE Trans. A. S. S. P., ASSP-26 (1978), 1, p.43.
- 2) Sakoe, H.: Trans. I. E. C. E. of Jpn., E-65 (1982), 11, p.649.
- 3) 大場, 土肥, 井戸川: 北大工学部研究報告 (1975), 76, p.41.
- 4) 大場, 三上: "発声時声道特性の実時間測定" (昭和53年度科研費 (285017) 報告書) (1979).
- 5) 三上, 大場, 井戸川: 北大工学部研究報告 (1979), 96, p.57.
- 6) 三上, 大場: 電子通信学会論文誌 (A), J62-A (1979), 12, p.849.
- 7) ———: ibid , J63-A (1980), 10, p.728.
- 8) ———: ibid. , J64-A (1981), 8, p.692.
- 9) ———: ibid. , J64-A (1981), 12, p.1000.
- 10) ———: ibid. , J65-A (1982), 11, p.1039.
- 11) Mikami, N. and Ohba, R.: Proc. of IECON '84 (1984), p. 1148.
- 12) Mikami, N. and Ohba, R.: IEEE Trans. A. S. S. P, ASSP-32(1984), 5, p.1095.
- 13) 三上, 大場: 電子通信学会論文誌 (A), J68-A (1985), 1, p.86.
- 14) 越川常治: 聴覚と音声 (電子通信学会編), 電子通信学会 (1966), p.183.
- 15) 大場, 梅津, 三上: 電子通信学会論文誌 (C), J62-C (1979), 11, p.782.
- 16) 大場, 梅津: ibid. , J63-C (1980), 10, p.714.
- 17) 大場, 梅津, 三上: ibid. , J64-C (1981), 2, p.137.
- 18) Ohba, R.: ACTA IMEKO 1982, North-Holland, Amsterdam (1983), 2, p. 453.
- 19) 大場良次: "光プローブマイクの開発" (昭和57年度科研費 (56850048) 報告書) (1983).
- 20) ———: 応用物理, 52 (1983), 5, p.429.
- 21) Ohba, R. and Inoue, H.: ICO-13 Conf. Digest (1984), p.496.