

超指向性マイクロホンの收音位置同定手法

木村 敏幸[†] 萩野 広佑^{††}

[†] 東北学院大学工学部情報基盤工学科

^{††} 東北学院大学工学部電気情報工学科

〒 985-8537 宮城県多賀城市中央 1-13-1

E-mail: †t-kimura@m.ieice.org

あらまし 指向性マイクロホンと波面合成技術を用いた個人用三次元音場システムを実現するためには、超指向性マイクロホンを用いたマイクロホンアレイを構築することが必要である。しかし、一般に市販されている超指向性マイクロホンの形状は筒型であるので、見ただけで收音位置を同定することは困難である。本報告では、インパルス応答の測定技術を用いて超指向性マイクロホンの收音位置を同定する手法を提案する。実際に市販の超指向性マイクロホンで提案手法を実施したところ、收音位置を同定することができた。

キーワード 波面合成, 個人用三次元音場再生, 超指向性マイクロホン, 收音位置同定, インパルス応答測定

Identification Method of the Recording Position of Hyper-directional Microphones

Toshiyuki KIMURA[†] and Kosuke HAGINO^{††}

[†] Department of Information Technologies

^{††} Department of Electrical Engineering and Information Technology,

Faculty of Engineering, Tohoku Gakuin University

1-13-1, Chuo, Tagajo, Miyagi, 985-8537 Japan

E-mail: †t-kimura@m.ieice.org

Abstract In order to realize the personal 3D sound field reproduction system using directional microphones and wave field synthesis, it is necessary to construct the microphone array using hyper-directional microphones. However, the shape of commercial hyper-directional microphones is cylindrical, it is difficult to identify the recording position by the observation of hyper-directional microphones. In this report, we propose the identification method of the recording position of hyper-directional microphones by using the measurement technique of an impulse response. The proposed method was applied to commercial hyper-directional microphones. As the result, the recording position of commercial hyper-directional microphones was identified.

Key words wave field synthesis, personal 3D sound field reproduction, hyper-directional microphone, recording position identification, impulse response measurement

1. はじめに

近年、立体映像や立体音響を用いた超臨場感コミュニケーション技術が盛んに研究開発されている。この技術はあたかも目の前に対象物があるかのような感覚(本論文ではこの感覚のことを「臨場感」と呼ぶ)を体験させることができるので、これらの技術を遠隔操作システムに適用すれば、より効率的に作業を遂行できるようになることが期待される。

筆者らはこれまでに8個の指向性マイクロホンを用いた遠隔

操作のための個人用三次元音場再生システムを提案し、超指向性マイクロホンを用いればシステムを構築するには十分な定位性能が得られることを示してきた[1]。提案するシステムの構成をFig. 1に示す。まず、Fig. 1の左側に示すように、原音場において聴取者の頭部周辺に設定した立方体型の制御領域の頂点位置に8個の超指向性マイクロホンを配置し、音を収録する。その際、マイクロホンの指向特性(図中の灰色線の円)は制御領域の外側に向ける。次に、Fig. 1の右側に示すように、再生音場において制御領域と同じ形に設定した聴取領域の頂点位置に

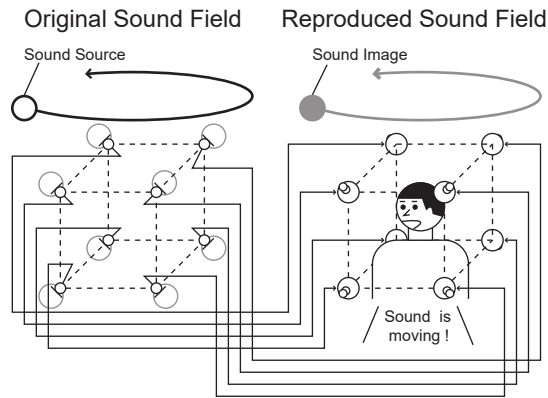


図1 個人用三次元音場再生システムの基本構成 [1]

Fig. 1 Basic configuration of the personal 3D sound field reproduction system [1].

配置した8個のスピーカから収録した音を直接再生する。その際、スピーカの位置はそれぞれの指向性マイクロホンの位置と同じになるように対応させる。その結果、制御領域内の三次元音場が聴取領域内に再現されるので、例えば制御領域の上側で音が動くと、聴取領域内にいる聴取者は Fig. 1 の右側に示すように頭の上で音が動いているように感じるようになることが期待される。8個のスピーカは聴取者頭部の水平面上には配置されていないので、聴取者の水平面方向の視界はスピーカに妨げられていない。遠隔操作システムにおける作業者の視線は水平面方向を向いていることが多いと考えられるので、将来的には立体映像技術と組み合わせた遠隔操作システムも容易に構築することができるようにとなると考えられる。

これまでの研究では、提案システムの性能を評価するための定位実験を実施してきたが、実験では8個のスピーカから再生した音は計算機上で合成した音を用いており、実際に実環境で収録した音を用いていなかった。従って、今後実環境における提案システムの性能を評価するためには、8個の超指向性マイクロホンを用いたマイクロホンアレイを構築し、実際に音を収録する必要がある。

マイクロホンアレイに用いる超指向性マイクロホンとしては市販されている超指向性マイクロホン(市場では「ショットガンマイクロホン」と呼ばれている)を用いるのが経済的な面で適切である。一方で、提案システムの原理から超指向性マイクロホンは立方体の頂点位置に配置される必要がある。ところが、一般的にはショットガンマイクロホンの形状は筒型であるので、一見ただでマイクロホンの收音位置を決めることができない。従って、マイクロホンアレイを構築するためには、超指向性マイクロホンの收音位置を同定する必要があると考えられる。

本報告では、インパルス応答の測定技術を用いた超指向性マイクロホンの收音位置同定手法を提案する。第2章では提案手法の原理について説明する。第3章では実際に市販の超指向性マイクロホンで提案手法を実施し、超指向性マイクロホンの收音位置を同定することができるかを検討する。

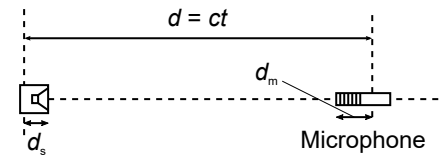


図2 従来の收音位置同定手法の基本構成

Fig. 2 Basic configuration of the conventional identification method of a recording position.

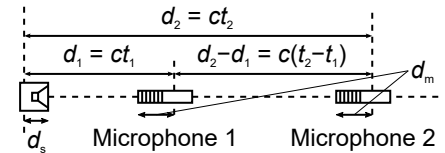


図3 提案する收音位置同定手法の基本構成

Fig. 3 Basic configuration of the proposed identification method of a recording position.

2. 提案手法の原理

Fig. 2 に従来の收音位置同定手法の構成を示す。スピーカの前にショットガンマイクロホンを配置し、インパルス応答を測定する。その後、インパルス応答の初期遅延時間 t とスピーカとショットガンマイクロホン間の実測距離を用いることで收音位置 (Fig. 2 の場合、ショットガンマイクロホンの先端からの距離 d_m) を同定することができる。しかしながら、インパルス応答の測定環境は一般には一定ではなく、特に空間内の温度が変わると音速 c が大きく変化するため、この手法で收音位置を正確に同定するためには、何らかの別の方法で測定環境 (特に温度) を計測する必要がある。

そこで、インパルス応答の測定結果から音速を算出するために、Fig. 3 に示すような構成に変更する。スピーカの前に2本のショットガンマイクロホンを配置し、インパルス応答を測定する。その際、2本のショットガンマイクロホンの向きは同じにする。そして、2本のショットガンマイクロホンへのインパルス応答の初期遅延時間の差分 ($t_1 - t_2$) と2本のショットガンマイクロホン間の実測距離 ($d_1 - d_2$) を用いれば、音速 $c (= \frac{d_2 - d_1}{t_2 - t_1})$ を算出することができる。その後、インパルス応答の初期遅延時間 t_1 とスピーカとショットガンマイクロホン間の実測距離を用いることで收音位置を正確に同定することができる。

しかしながら、インパルス応答の測定で用いるスピーカの発音位置 (Fig. 3 の場合、スピーカ表面からの距離 d_s) は大抵の場合スピーカ内部の振動板の振動位置であるため、スピーカ表面よりも奥の位置にある。しかも、スピーカの種類によってはスピーカ表面にネットが張られているため、見ただけではスピーカの発音位置を同定することができない。

そこで、スピーカの発音位置を同定するために、Fig. 4 に示すような構成でインパルス応答を再度測定する。スピーカの前に2本のピンマイクロホンを配置し、インパルス応答を測定する。そして、2本のピンマイクロホンへのインパルス応答の初

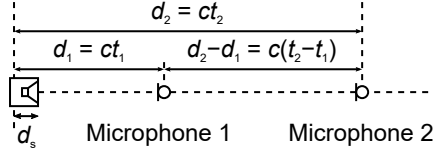


図 4 スピーカの発音位置同定手法の基本構成

Fig. 4 Basic configuration of the identification method of the radiation position of loudspeakers.

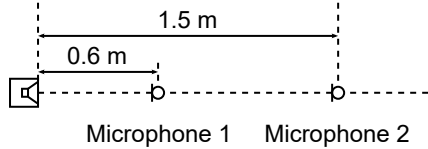


図 5 発音位置同定実験におけるピンマイクロホン及びスピーカの位置
Fig. 5 Position of pin microphones and the loudspeaker in the radiation position identification experiment.

期遅延時間の差分 ($t_1 - t_2$) と 2 本のピンマイクロホン間の実測距離 ($d_1 - d_2$) を用いて音速 ($c = \frac{d_2 - d_1}{t_2 - t_1}$) を算出する。その後、インパルス応答の初期遅延時間 t_1 とスピーカとピンマイクロホン間の実測距離を用いることでスピーカの発音位置を正確に同定することができる。

以上のことから、提案する收音位置同定手法の手順は以下のようなになる。まず、Fig. 4 に示すような構成でインパルス応答を測定し、算出した音速 ($c = \frac{d_2 - d_1}{t_2 - t_1}$) と実測距離からスピーカの発音位置 (スピーカ表面からの距離 d_s) を求める。つぎに、Fig. 3 に示す構成で再度インパルス応答を測定し、算出した音速 ($c = \frac{d_2 - d_1}{t_2 - t_1}$) と実測距離からショットガンマイクロホンの先端からの距離とスピーカ表面からの距離の和 ($d_s + d_m$) を求める。最後に、2 回の測定で得られた距離の差分を計算することで、收音位置 (ショットガンマイクロホンの先端からの距離 d_m) を同定する。

3. 同定実験

本章では第 2 章で提案した收音位置同定手法の有効性を検討するために、実際に市販の超指向性マイクロホンを用いた同定実験を実施し、超指向性マイクロホンの收音位置を同定することができるかを検討する。

3.1 スピーカの発音位置同定実験

まず、スピーカの発音位置を同定するために、研究室内の実験室においてスピーカから 2 本のピンマイクロホンまでのインパルス応答を測定した。Fig. 5 に示すように、スピーカから 0.6m 及び 1.5m 離れた位置に 2 本のピンマイクロホンを配置した。スピーカには Fig. 6 に示すような大きさ 7cm × 7cm × 7cm の密閉型スピーカ (オーム電機 ASP-204N-K) を用いた。ピンマイクロホンには超小型のマイクロホン (Audio-Technica AT9903) を用いた。

測定条件を表 1 に示す。音圧レベルはスピーカから 0.6m 地点での値である。サンプリング周波数 48kHz の 65536 点 TSP

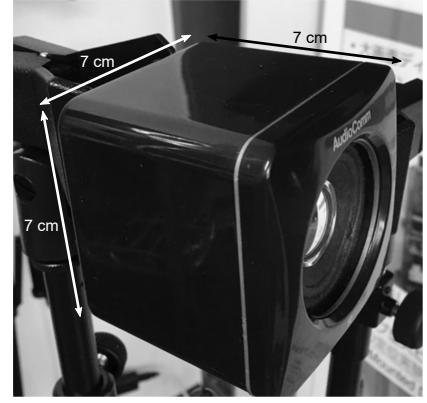


図 6 実験に用いたスピーカ

Fig. 6 Loudspeaker used in the experiment.

表 1 発音位置同定実験における測定条件

Table 1 Measurement conditions in the radiation position identification experiment.

Background noise level	40.2dBA
Sound pressure level	70.0dBA
TSP length	65536samples
Repetition number	9

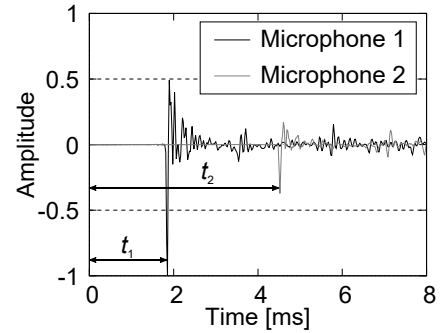


図 7 発音位置同定実験におけるインパルス応答の時間波形

Fig. 7 Time waveform of impulse responses in the radiation position identification experiment.

信号 [2] をスピーカから再生し、同期加算を 9 回行ってインパルス応答を測定した。

測定したインパルス応答の時間波形を Fig. 7 に示す。図より、各インパルス応答においてスピーカからの直接音が到達した時間に大きなピークが発生しており、ピークが発生している時間から容易に到達時間を求めることができる。分析した結果、スピーカから 0.6m 離れたピンマイクロホンまでの到達時間 t_1 は 1.833ms ($= \frac{88}{48000} \times 1000$)、スピーカから 1.5m 離れたピンマイクロホンまでの到達時間 t_2 は 4.500ms ($= \frac{216}{48000} \times 1000$) であることが分かった。ピンマイクロホンの間隔は 0.9m なので、測定時の音速を求めると、337.50m/s ($= \frac{0.9 \times 48000}{216 - 88}$) となる。求めた値は理論値と近いので、音速の同定手法は妥当であると考えられる。

求めた音速を元にスピーカの発音位置を同定する。0.6m 進むのにかかる時間は 1.778ms ($= \frac{0.6}{337.5} \times 1000$) である。一方、スピーカから 0.6m 離れたピンマイクロホンまでの到達時間 t_1

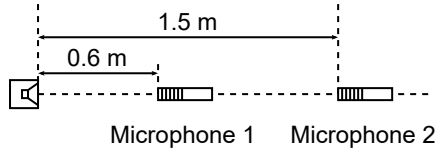


図 8 收音位置同定実験における超指向性マイクロホン及びスピーカ
の位置
Fig. 8 Position of hyper-directional microphones and the loud-
speaker in the recording position identification experiment.



図 9 実験に用いた超指向性マイクロホン
Fig. 9 Hyper-directional microphone used in the experiment.

は 1.833ms なので、差分の時間 0.055ms(= 1.833 - 1.778) だけスピーカの発音位置がスピーカ表面より奥にあると言える。従って、スピーカの発音位置はスピーカ表面より 1.9cm ($= \frac{0.055}{1000} \times 337.50 \times 100$) 奥まったところである。求めた発音位置の値は実験に用いたスピーカの奥行き長さ (7cm) よりも小さいので、スピーカの発音位置同定手法は妥当であると考えられる。

3.2 超指向性マイクロホンの收音位置同定実験

次に、超指向性マイクロホンの收音位置を同定するために、研究室の実験室においてスピーカから 2 本のショットガンマイクロホンまでのインパルス応答を測定した。Fig. 8 に示すように、ショットガンマイクロホンの先端がスピーカから 0.6m 及び 1.5m 離れた位置に 2 本のショットガンマイクロホンを配置した。その際、2 本のショットガンマイクロホンの向きはスピーカの方向に向けた。スピーカには 3.1 節における実験で用いたのと同じ大きさ 7cm × 7cm × 7cm の密閉型スピーカ (オーム電機 ASP-204N-K) を用いた。ショットガンマイクロホンには Fig. 9 に示すような全長 16.7cm のショットガンマイクロホン (Audio-Technica AT9944) を用いた。測定条件は 3.1 節における実験と同じである。

測定したインパルス応答の時間波形を Fig. 10 に示す。図より、各インパルス応答においてスピーカからの直接音が到達した時間に大きなピークが発生しており、ピークが発生している時間から容易に到達時間を求めることができる。分析した結果、スピーカから 0.6m 離れたピンマイクロホンまでの到達時間 t_1 は 2.104ms ($= \frac{101}{48000} \times 1000$)、スピーカから 1.5m 離れたピン

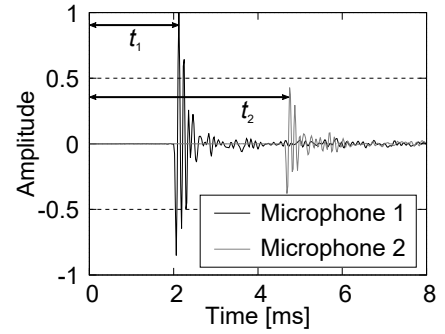


図 10 收音位置同定実験におけるインパルス応答の時間波形
Fig. 10 Time waveform of impulse responses in the recording po-
sition identification experiment.

マイクロホンまでの到達時間 t_2 は 4.729ms ($= \frac{227}{48000} \times 1000$) であることが分かった。ピンマイクロホンの間隔は 0.9m なので、測定時の音速を求めると、342.86m/s ($= \frac{0.9 \times 48000}{227 - 101}$) となる。求めた値は理論値と近いので、音速の同定手法は妥当であると考えられる。

求めた音速を元に超指向性マイクロホンの收音位置を同定する。0.6m 進むのにかかる時間は 1.750ms ($= \frac{0.6}{342.86} \times 1000$) である。一方、スピーカから 0.6m 離れたピンマイクロホンまでの到達時間 t_1 は 2.104ms なので、差分の時間 0.354ms(= 2.104 - 1.750) はスピーカの発音位置からスピーカ表面までの到達時間とショットガンマイクロホンの先端からショットガンマイクロホンの收音位置までの到達時間の和となる。従って、スピーカの発音位置からスピーカ表面までの距離とショットガンマイクロホンの先端からショットガンマイクロホンの收音位置までの距離の和は 12.1cm ($= \frac{0.354}{1000} \times 342.86 \times 100$) である。3.1 節における実験より、スピーカの発音位置からスピーカ表面までの距離は 1.9cm なので、ショットガンマイクロホンの先端からショットガンマイクロホンの收音位置までの距離は 10.2cm(= 12.1 - 1.9) となる。求めた收音位置の値は実験に用いたショットガンマイクロホンの全長 (16.7cm) よりも小さいので、超指向性マイクロホンの收音位置同定手法は妥当であると考えられる。

4. おわりに

本報告では、インパルス応答の測定技術を用いて超指向性マイクロホンの收音位置を同定する手法を提案した。実際に市販の超指向性マイクロホンで提案手法を実施したところ、收音位置を同定することができた。今後は 8 個の超指向性マイクロホンを用いたマイクロホンアレイを構築する必要がある。

文 献

- [1] 木村敏幸, “8 個の指向性マイクロホンを用いた波面合成技術のコンセプトに基づいた個人用コンパクト三次元音場再生システム,” 信学論, vol.J97-A, no.4, pp.284-294, April 2014.
- [2] Y. Suzuki, F. Asano, H.Y. Kim, and T. Sone, “An optimum computer-generated pulse signal suitable for the measurement of very long impulse responses,” J. Acoust. Soc. Am, vol.97, no.2, pp.1119-1123, Feb. 1995.