可動式パラメトリックスピーカの分離放射による 再生領域の動的制御

松岡 潤樹^a 中村 篤人^a 飯田 賢一^a

^a奈良工業高等専門学校

1. はじめに

近年, 超音波が空气中を伝搬することによる非線形現象により高い指向性を得るパラメトリックスピーカ (Parametric loudspeaker, PLS) の応用が進んでいるが, その応用研究として, PLS の搬送波・側帯波の分離放射による再生領域制御がある。従来の PLS を用いた場合, 聴取者の前後にいる人にも音が聞こえたり, 超音波の反射により別の人に音が聞こえたりする問題がある。また, 分離放射では, PLS から発される音波が搬送波と側帯波の合成により成り立っているという原理を利用し, それら 2 つの音波を 2 つの超音波発振子アレイから別々に発して 1 点で交差させる。これにより, 従来の PLS よりも限定的な場所に再生領域を形成することができるため, 再生領域内にいる聴取者のみが音声等を聞くことが可能となることが知られている⁽¹⁾。一方, この分離放射による再生領域設計システムでは, 形成した再生領域を移動させることはなく, 再生領域のある場所まで聴取者が近づかなければ音声聞くことができなかつた。この問題に対して, 曲面型パラメトリックスピーカを分離放射に用いて, 再生領域の拡大や縮小を行う研究などが行われている⁽²⁾。

本研究では, 搬送波・側帯波の分離放射の応用範囲を広げるべく, サーボモータを用いた可動式 PLS による搬送波・側帯波発生装置を作製し, 再生領域を動的制御するシステムを提案する。

2. 可動式 PLS システムの概要

提案する可動式 PLS を用いた分離放射装置のシステム構成図と試作機の外観を Fig.1 および Fig.2 に示す。

本装置は, 発話者がマイクから入力した音声を, リアルタイムに特定の聴取者のみに届けるものであり, 主に音声入力用マイク, 波形合成演算用の Raspberry Pi, 波形作成およびサーボモータ制御用の Arduino, および出力用超音波スピーカから構成される。2 つの超音波スピーカの角度はサーボモータによりそれぞれ独立して制御す

Fig. 1. Diagram of movable separate emission system

Fig. 2. Overview of movable separate emission device

ることができる。これにより, 再生領域を連続的に移動させることができるため, 聴取者が指定された場所へ留まる必要がなく, 移動しても発話者の音声を聞き取ることが可能となる。このシステムの実現により, 医療における介護施設や病院での患者見守り装置, 農業における鳥獣害被害防止などへの応用が期待できる。

3. 各種基本原理

3.1 パラメトリックスピーカ (PLS)

AM 変調における搬送波 $v_c(t)$ と被変調波 $v_a(t)$ を

$$\begin{cases} v_c(t) = A_c \cos(2\pi f_c t) \\ v_a(t) = A_a \cos(2\pi f_a t) \end{cases} \quad (1)$$

と定義すると, AM 変調波 $v_{am}(t)$ の式は, 次に示す式(2)のようになる。

$$\begin{aligned} v_{am}(t) &= v_c(t) + K_{am} v_c(t) v_a(t) \\ &= A_c \cos(2\pi f_c t) \\ &\quad + \frac{mA_c}{2} \{ \cos 2\pi(f_c + f_a)t + \cos 2\pi(f_c - f_a)t \} \end{aligned} \quad (2)$$

ここで, A_c, A_a はそれぞれ搬送波と被変調波の最大振幅, t は時刻, $m = K_{am} A_a$ は変調度 ($m \leq 1$) である。また, f_c, f_a はそれぞれ搬送波, 被変調波周波数である。搬送波周波数 f_c が超音波領域にある場合, この AM 変

Dynamic control of reproducing area based on separating emission of the movable parametric loudspeaker
 Junki Matsuoka^a, Kenichi Iida^a, Shigeto Nakamura^a
^aNational Institute of Technology, Nara College

調波を空气中に放射すると、空気非線形性により、搬送波と側帯波との差音、すなわち目的の可聴音波が発生する。この現象を自己復調と呼ぶ。音波は周波数が高いほど指向性が高くなるという性質を利用し、自己復調により、可聴音でありながら超音波の指向性を持つ音波を出力する機器が、AM方式 PLS である。

3.2 搬送波・側帯波の分離放射⁽¹⁾

式(2)で表される変調波は、第1項の搬送波成分と第2、3項の側帯波成分との単純な合成により成り立っている。このことから、搬送波と側帯波を個別に放射して交差させることにより、その交差点で自己復調を起こし、可聴音を発生することが可能であるとわかる。この原理を用いた手法が、AM方式 PLS の搬送波・側帯波の分離放射である。分離放射により、空間上の特定の領域のみに再生領域を形成でき、より限られた聴取者にのみ情報を届けることができるようになる。

4. 分離放射による再生領域制御実験

提案する可動式 PLS により、2次元平面上で再生領域の位置を任意に変更できることを確かめるために、Fig.3 に示す実験フィールドにて再生領域制御実験を行った。実験は、PLS1 の放射角度 θ_1 を 0 deg. で固定し、PLS2 の放射角度 θ_2 を 53deg. から 39deg. へ変更することで、点 A (PLS1 から正面方向 30cm の場所) から点 B (PLS1 から正面方向 50cm の場所) に再生領域を移動させ、そのときの各点近傍の振幅スペクトルを観測した。なお、可聴音には、搬送波を 40kHz、側帯波を 42kHz としたときの、

Fig.3. Experimental field

Fig.4. Spectrum when 2kHz audible sound is demodulated

(a) $\theta_2 = 53deg.$

(b) $\theta_2 = 39deg.$

Fig.5. Spectrums near the designated points

Fig. 4 に示すような差音 2kHz を発生させている。

点 A に再生領域を形成した場合と、その再生領域を点 B へ移動した場合において、観測したスペクトルの一部を距離ごとにまとめた図を Fig.5 に示す。いずれの場合も、点 A、点 B には 2kHz とその周辺の可聴音が自己復調されており、その位置以外では可聴音が再生されていないことがわかる。以上より、可動式 PLS により再生領域の位置を任意に変更できることが確認できた。

5. おわりに

本研究では、可動式 PLS を用いた分離放射装置を提案・試作し、実用性評価の事前段階として再生領域制御実験を行なった。実験結果から、可動式 PLS により、任意の場所に再生領域を実現できることが確かめられた。今後の展望としては、再生領域の形成可能範囲の測定や音質評価、カメラからのフィードバック情報を用いた聴取者追従などについても検討し、医療や農業での応用の実現化を目指す。

文 献

- (1) 中山雅人, 松井唯, 西浦敬信:「キャリア波と側帯波の分離放射による再生領域制御の検討」, 信学技報, 112(No. 387), pp.25-30, 2013
- (2) 松井唯, 生藤大典, 中山雅人, 西浦敬信:「曲面型パラメトリックスピーカを用いた分離放射法によるオーディオスポットの拡大」, 信学技報, 114(No. 473), pp.255-260, 2015