

# 反射型オーディオスポット形成における複数間接動電型スピーカを用いた多点計測に基づく広範囲残響制御

和田朋之<sup>1</sup> 生藤大典<sup>1</sup> 中山雅人<sup>2</sup> 西浦敬信<sup>2</sup>

立命館大学大学院 情報理工学研究科<sup>1</sup> 立命館大学 情報理工学部<sup>2</sup>

## 1 はじめに

これまでに、我々はパラメトリックスピーカを用いた3次元音場再生システムである反射型オーディオスポットシステムを提案してきたが、残響感の提示に乏しいという問題があった[1]。そのため、従来システムではパラメトリックスピーカと残響提示用のスピーカである間接動電型スピーカ[2]を併用し、音像を提示しつつ室内における任意の一点のインパルス応答を基に、残響を制御していた。しかしながら、室内の中央と端では音の響き方が異なるため、広範囲の残響を制御するには多点計測に基づいた制御が必要である。そこで本稿では、多点のインパルス応答計測に基づく残響制御法を提案するとともに、システム全体の評価を行う。

## 2 提案システム

提案システムでは、受聴者に対してパラメトリックスピーカにより音像を定位させ、間接動電型スピーカにより残響を提示する。また、提案システムにおいて重要となる各間接動電型スピーカを制御するフィルタ（以下、残響制御フィルタ）の設計を図1に示す。図1において、 $x(t)$ は入力信号、 $h_m(t)$ は $m$ 番目の間接動電型スピーカに対する残響制御フィルタ、 $d$ は所望の残響時間、 $r_l$ は $l$ 番目の制御点で計測される残響時間、 $e_l$ は $l$ 番目の制御点で計測される残響時間と所望の残響時間との誤差、 $w_l$ は $l$ 番目の制御点で計測される残響時間の誤差に対する重み、 $\hat{e}$ は残響時間における誤差の加重平均である。また、付与する重みは各間接動電型スピーカと各制御点間の距離に基いており、距離が近いほど重みが大きい。提案システムでは、ホワイトノイズを指数関数減衰曲線により重み付けした擬似的なインパルス応答を残響制御フィルタとして用い、後続残響を制御する。このとき、残響時間に相当する指数関数減衰曲線の傾き $\alpha_{m,n}$ を調整することにより、残響時間を制御する。設計したフィルタと入力信号を畳み込み放射することで、各制御点において所望の残響時間を得る。 $m$ 番目の間接動電型スピーカに対する残響制御フィルタ $h_m(t)$ および、そのフィルタの残響時間に相当する指数関数減衰曲線の傾き $\alpha_{m,n}$ は次式で表せる。

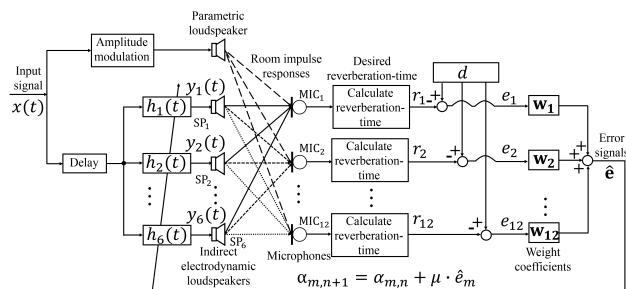


図1 提案する残響制御フィルタの設計

表1 提示した音像方向ごとの両時間相関度

	提示した音像方向 $\theta$		
	-45 [deg.]	0 [deg.]	45 [deg.]
従来システム	0.61	0.65	0.59
提案システム	0.63	0.65	0.60

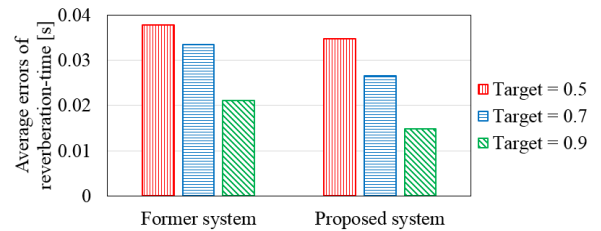


図2 室内全点における残響時間の誤差の平均

$$y_m(t) = x(t) * h_m(t), \quad (1)$$

$$h_m(t) = n(t) \cdot e^{-\alpha_{m,n+1}t}, \quad (2)$$

$$\alpha_{m,n+1} = \alpha_{m,n} + \mu \cdot \hat{e}_m, \quad (3)$$

ここで、 $m$ は間接動電型スピーカの番号、 $n$ はフィルタの更新係数、 $y_m(t)$ は $m$ 番目の間接動電型スピーカの出力信号、 $n(t)$ はホワイトノイズ、 $\hat{e}_m$ は $m$ 番目の間接動電型スピーカによる残響時間における誤差の加重平均、 $\mu$ はステップサイズを表す。

## 3 評価実験

提案システムの有効性を確認するために、音響指標である両耳間相関度 (Inter-Aural Cross Coefficient; IACC) と残響時間を用いて客観評価実験を実施した。結果を表1, 図2に示す。IACCは0から1までの値をとり、値が大きいほど音像定位性能が高いことを表す。また、計測される残響時間と所望の残響時間の誤差が小さいほど、残響の再現性が高いことを表す。表1, 図2より、提案システムは音像定位性能を保持しつつ、従来システムよりも広範囲で所望の残響時間を再現できるといえる。

## 4 まとめ

本稿では、反射型オーディオスポットシステムにおける広範囲の残響制御法を提案した。評価実験の結果、提案システムの有効性を確認した。今後は、各間接動電型スピーカの出力比率を変更し、提示する残響のバランスを変更することにより、残響における再現性の向上を試みる。

## 5 謝辞

本研究の一部は科学研究費補助金による助成を受けた。

## 参考文献

- [1] Y. Sugibayashi, et al., Applied Acoustics, Vol. 73, No. 12, pp. 1282-1288, 2012.
- [2] 生藤ら, 電子情報通信学会, 第26回回路とシステムワークショップ, pp. 436-441, 2013.