

円形アレイを用いたマルチスポット再生

○岡本拓磨 (情報通信研究機構)

1. 研究背景と目的

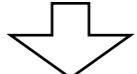
- 多チャネルスピーカによるサウンドスポットシステム
 - (a) 局所再生：ある場所でのみ目的の音が聞こえる
 - (b) マルチスポット再生
 - * 多言語同時再生システム

↓
「音の聞こえない領域」を如何に実現するか!?

- 従来法：多点制御に基づく方法
 - 伝達関数の逆行列に基づく方法 e.g. J.-W. Choi *et al.* 2002.
* 問題点：解が不安定，反復計算が必要
 - エネルギー最大化法(EDM) M. Shin *et al.* 2010.
* 問題点：反復計算が必要
→ 安定した解を反復計算なしで求めたい!!

- 解決法：直線アレイ型音場再現に基づく方法 T. Okamoto, ICASSP 2014.

- 制御音圧を矩形容でモデル化→空間フーリエ変換
 - 解析解に基づく安定したフィルタ
 - 従来法(EDM)よりも高精度
 - 問題点：多数のスピーカ必要，アレイ打ち切り誤差



- 本発表での目的
 - 円形アレイでの定式化による問題点の解決

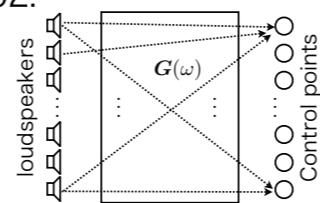
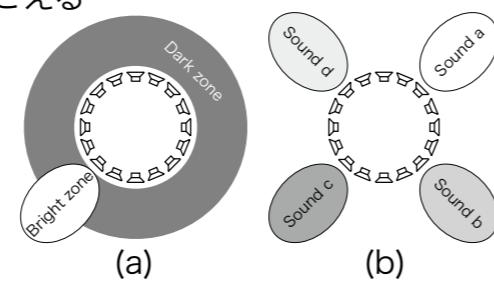
2. 円形アレイによる放射音場

- 円形アレイを用いた音場再現
 - 円形スピーカアレイによる音場

$$P(r, \phi, \omega) = \int_0^{2\pi} D(\phi_0, \omega) G(\mathbf{r} - \mathbf{r}_0, \omega) r_0 d\phi_0 \quad 3D \text{自由空間} : G(\mathbf{r} - \mathbf{r}_0, \omega) = \frac{e^{-jk|\mathbf{r}-\mathbf{r}_0|}}{4\pi|\mathbf{r}-\mathbf{r}_0|}$$

- フーリエ級数領域における駆動信号 J. Ahrens, *et al.* 2008.
 - 式(1)をフーリエ級数展開

$$\mathring{D}_m(r_0, \omega) = \frac{\mathring{P}_m(r, \omega)}{2\pi r_0 \mathring{G}_m(r_0, r, \omega)} \quad \mathring{G}_m(r_0, r, \omega)|_{r>r_0} = \sum_{n=|m|}^{\infty} (-jk) j_n(kr_0) h_n^{(2)}(kr) \frac{2n+1}{4\pi} \frac{(n-m)!}{(n+m)!} (P_n^m(0))^2$$



3. 円形アレイを用いた局所再生

- 局所再生フィルタの解析的導出
 - 制御音圧を矩形容でモデル化

$$P(r_{ref}, \phi, \omega) = \begin{cases} 1 & (-\Phi/2 \leq \phi \leq \Phi/2) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases}$$

- フーリエ級数展開

$$\mathring{P}_m(r_{ref}, \omega) = \frac{\Phi \sin(m\Phi/2)}{m\Phi/2} = \Phi \text{sinc}\left(\frac{m\Phi}{2\pi}\right)$$

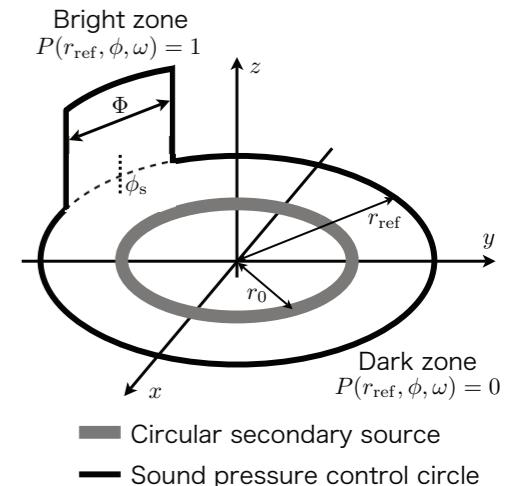
- 局所再生位置を ϕ_s だけ回転

$$\mathring{P}_{m,rot}(r_{ref}, \omega) = \Phi \text{sinc}\left(\frac{m\Phi}{2\pi}\right) e^{-jm\phi_s}$$

- 局所再生フィルタ

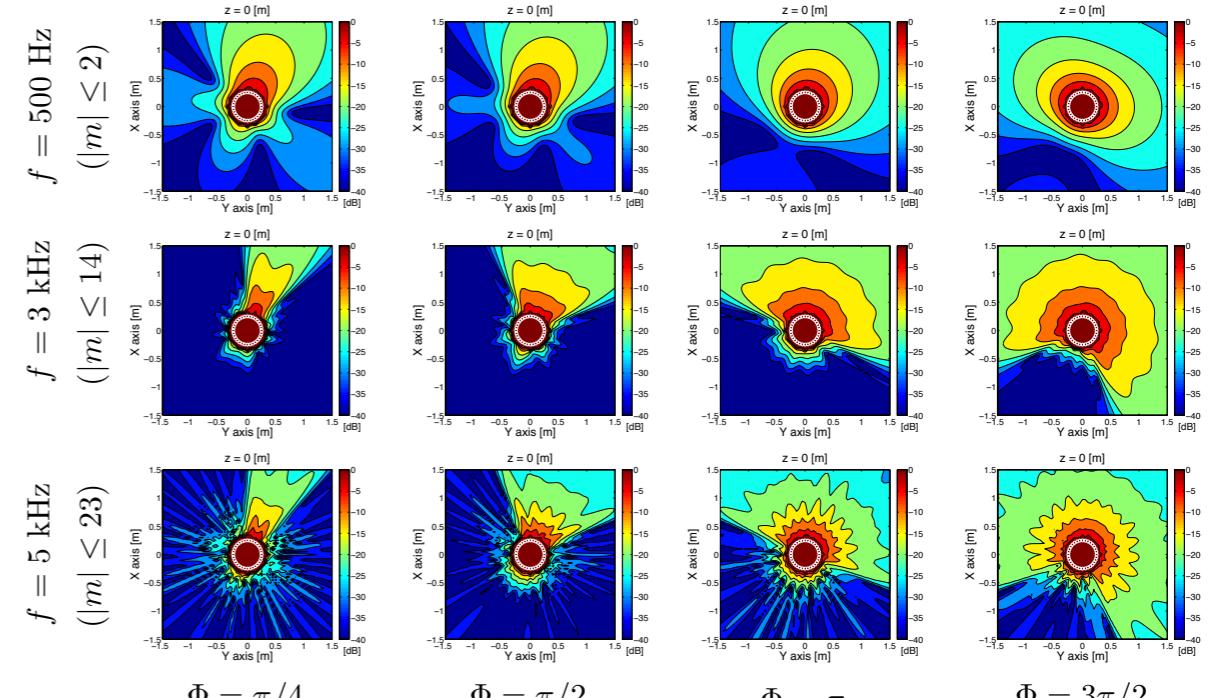
* 任意の位置 (r_{ref}, ϕ_s) に任意の幅 Φ の局所再生を実現

$$\mathring{F}_m(r_0, \omega) = \frac{\Phi \text{sinc}(m\Phi/2\pi) e^{-jm\phi_s}}{2\pi r_0 \mathring{G}_0(r_0, r_{ref}, \omega)} \quad \rightarrow \quad F(r_0, \phi_l, \omega) = \sum_{m=-[kr_0]}^{[kr_0]} \mathring{F}_m(r_0, \omega) e^{jm\phi_l}$$



4. 計算機シミュレーション

- 再生音圧レベル ($r_0 = 0.25, r_{ref} = 1, \phi_s = \pi/8, L = 32$)



本研究の一部は日本学術振興会科学研費若手研究B(No. 25871208)の助成による