

# 中空・バッフル型円形アレイを用いたマルチスポット再生

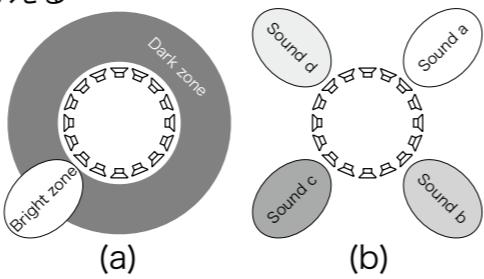
○岡本拓磨 (情報通信研究機構)

## 1. 研究背景と目的

### ■ 多チャネルスピーカによるスポット再生

- (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
  - \* e.g. 多言語音声同時再生システム

↓  
「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 e. g. T. Betlehem et al. 2006.  
\* 問題点：逆行列による数値的解法 → 解が極めて不安定
- バッフル型円形アレイによるビームフォーミング e. g. F. M. Fazi et al. 2014.  
\* 問題点：平面波遠距離場を仮定 → 近距離場を表現できない

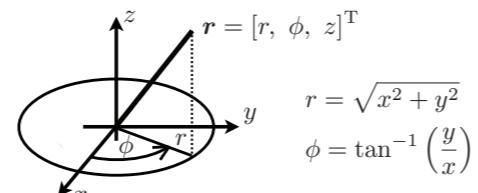
### ■ 本発表での目的

- 中空・バッフル型円形アレイの球面波仮定近距離場における解析解の導出  
\* 近距離場における厳密解  
\* エバネッセント成分打ち切りによる解の安定化

## 2. 円形アレイによる放射音場

### ■ 準備：円筒アレイの3次元放射音場

$$P(\mathbf{r}, \omega) = \int_0^{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} D(\mathbf{r}_0, \omega) G(\mathbf{r}, \mathbf{r}_0, \omega) r_0 dz_0 d\phi_0$$



### ■ 中空円筒アレイの3次元放射音場

$$G_{\text{open}}(\mathbf{r}, \mathbf{r}_0, \omega) = \frac{e^{jk|\mathbf{r}-\mathbf{r}_0|}}{4\pi|\mathbf{r}-\mathbf{r}_0|} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left[ \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{j}{4} J_n(k_r r_0) H_n^{(1)}(k_r r) dk_z e^{jk_z(z-z_0)} e^{jn(\phi-\phi_0)} \right]$$

$$\hat{G}_{\text{open},n}(r > r_0, \omega)$$

### ■ バッフル型円筒アレイの3次元放射音場

$$G_{\text{baffled}}(\mathbf{r}, \mathbf{r}_0, \omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left[ \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{-H_n^{(1)}(k_r r)}{2\pi k_r r_0 H_n^{(1)'}(k_r r_0)} dk_z e^{jk_z(z-z_0)} e^{jn(\phi-\phi_0)} \right]$$

$$\hat{G}_{\text{baffled},n}(r > r_0, \omega)$$

### ■ 円形アレイの平面放射音場

$$P(\mathbf{r}, \omega) = \int_0^{2\pi} D(r_0, \phi_0, z=0, \omega) G(\mathbf{r}, \mathbf{r}_0, \omega) r_0 d\phi_0 \quad \boxed{\mathcal{F}} \quad \hat{D}_n(r_0, \omega) = \frac{\hat{P}_n(r, \omega)}{2\pi r_0 \hat{G}_n(r, r_0, \omega)}$$

## 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

#### ■ 制御音圧を矩形窓でモデル化

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

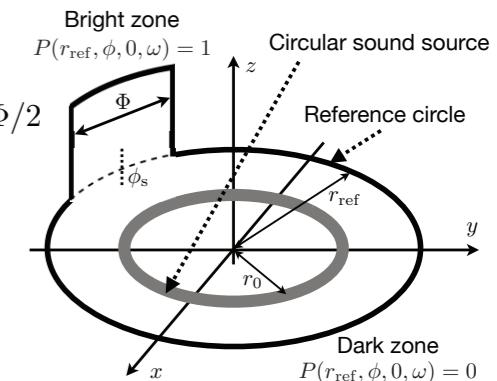
#### ■ フーリエ級数展開

$$\hat{P}_n(\Phi, \phi_s, \omega) = \Phi \text{sinc}\left(\frac{n\Phi}{2\pi}\right) e^{-jn\phi_s}$$

#### ■ 局所再生フィルタ

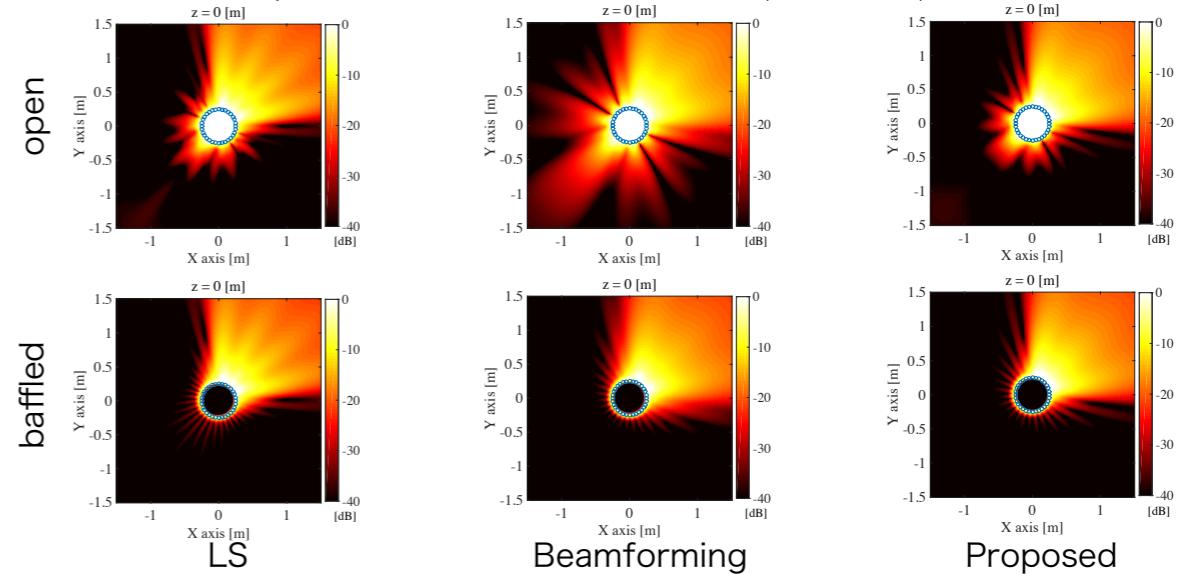
\* 任意の位置( $r_{\text{ref}}, \phi_s$ )に任意の幅 $\Phi$ の局所再生を実現

$$\hat{F}_n(r_0, r_{\text{ref}}, \Phi, \phi_s, \omega) = \frac{\Phi \text{sinc}(n\Phi/2\pi) e^{-jn\phi_s}}{2\pi r_0 \hat{G}_n(r_{\text{ref}} > r_0, \omega)} \quad \boxed{\mathcal{F}^{-1}} \quad F(r_0, \phi_l, \omega) = \sum_{n=-N}^N \hat{F}_n(r_0, \omega) e^{jn\phi_l}$$



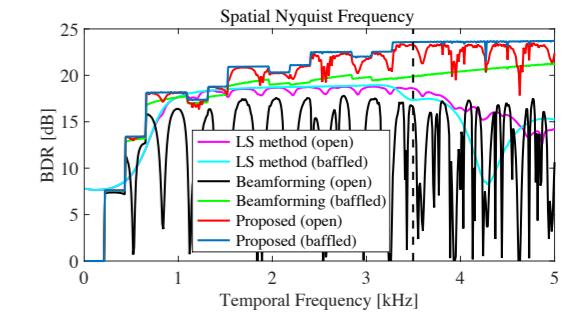
## 4. 計算機シミュレーション

### ■ 再生音圧レベル( $r_0 = 0.25$ m, $r_{\text{ref}} = 1.0$ m, $\Phi_s = \pi/2$ , $\Phi = \pi/4$ , $L = 32$ ch)



### ■ Bright to dark ratio (BDR)

$$BDR(\omega) = 20 \log_{10} \frac{\sum_{\mathbf{r}_b} |P(\mathbf{r}_b, \omega)| / \Phi_b}{\sum_{\mathbf{r}_d} |P(\mathbf{r}_d, \omega)| / \Phi_d}$$



本研究の一部はJSPS科研費15K21674の助成を受けたものである