

3-Q-10 指向性マイクロホンを用いた波面合成法の理論的検討

©木村敏幸(名大・情報科学), 笈一彦(中京大・情報科学), 武田一哉(名大・情報科学), 板倉文忠(名城大・理工)

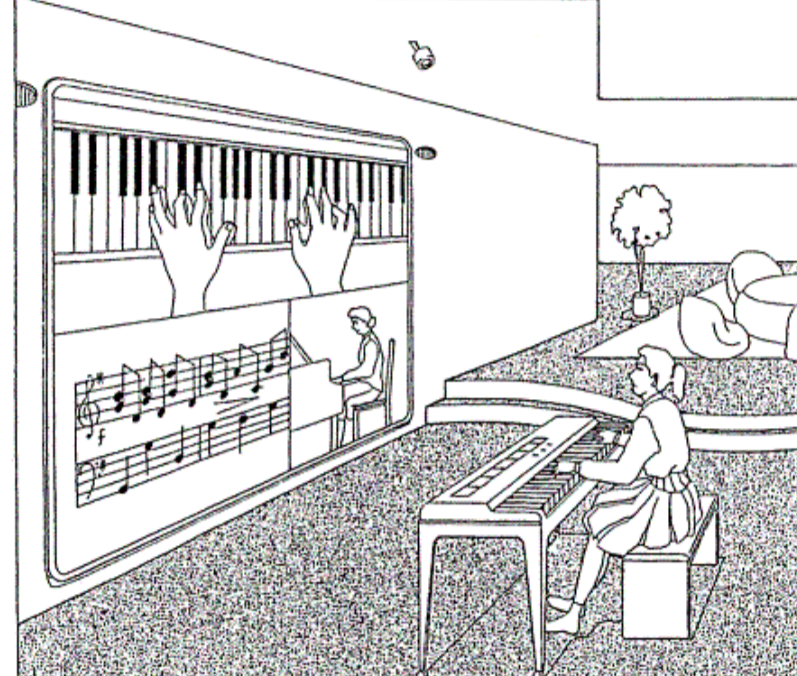
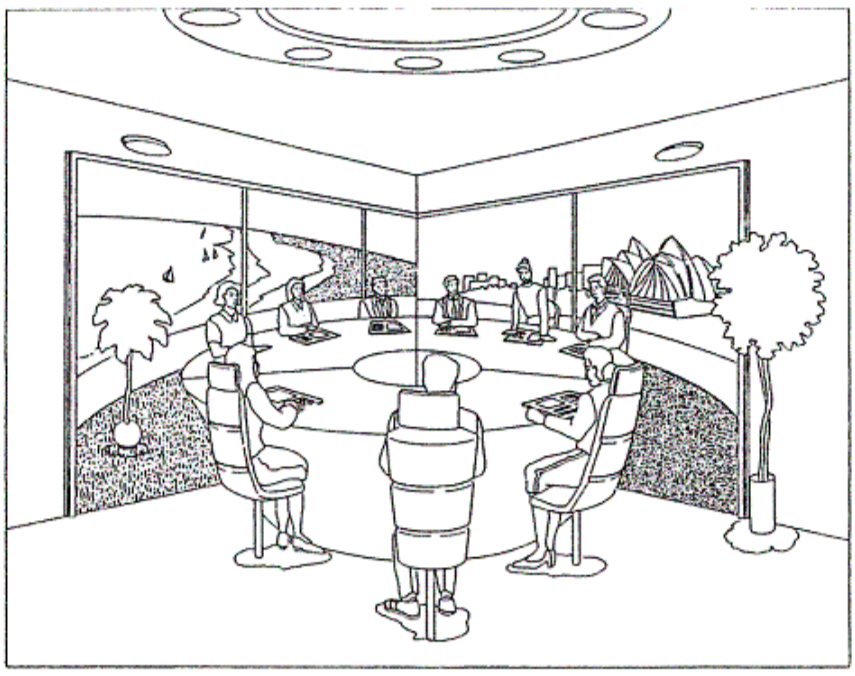
1. はじめに

立体音場再生技術

- 遠隔通信会議
 - 同じ場所で会議(本当は違う場所)
 - 目の前に相手がいる(本当はいない)
- 遠隔アンサンブル
 - 同じ場所で合奏(本当は違う場所)
 - 目の前に相手がいる(本当はいない)
- 従来の技術よりも高い臨場感
 - テレビ電話, 5.1chオーディオ

遠隔通信会議

遠隔アンサンブル

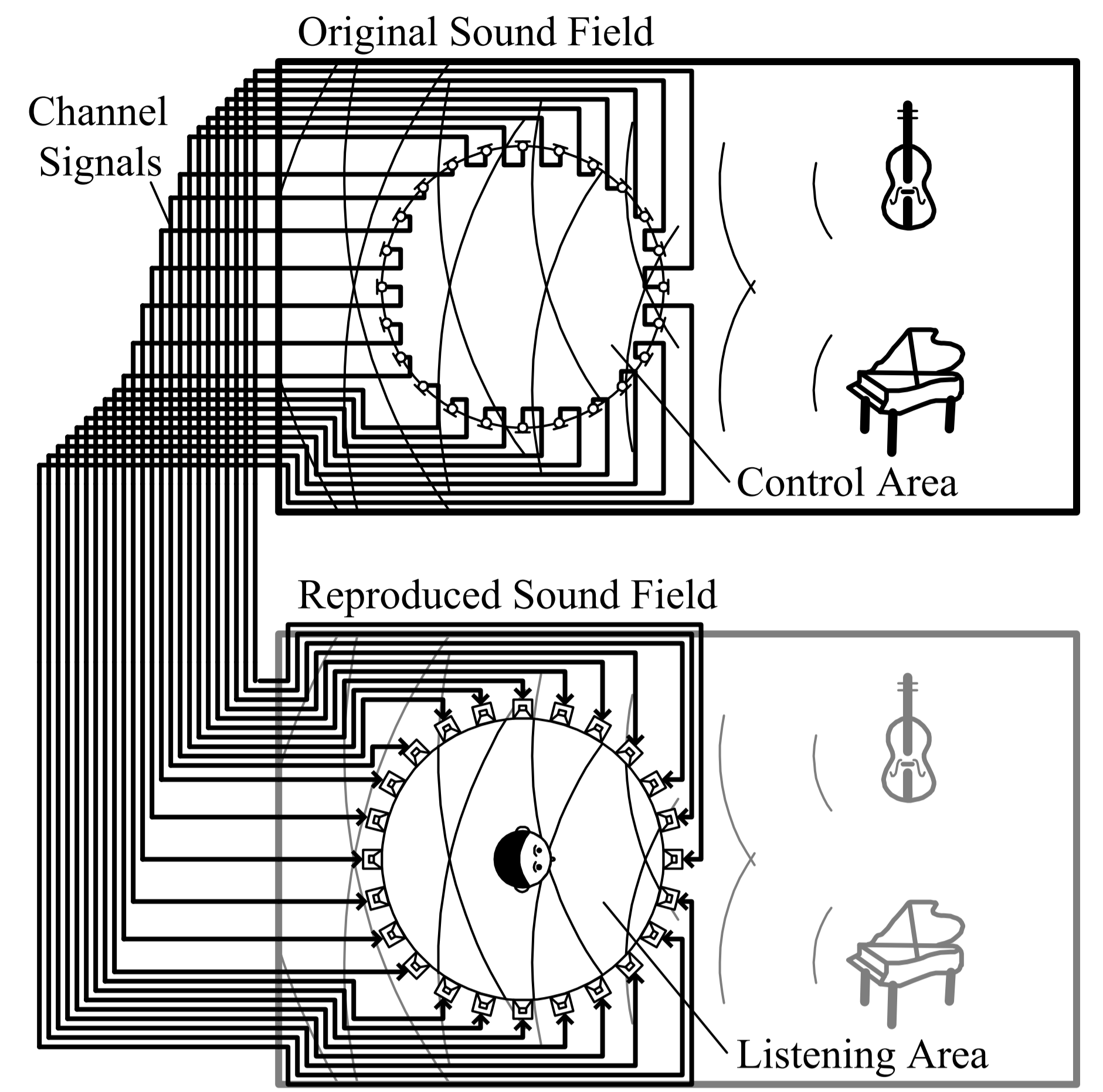


波面合成法による立体音場再生

- 原音場
 - 指向性マイクロホンで音を収録
- 再生音場
 - 収録した音をスピーカで再生
 - Huygensの原理によって原音場の波面を忠実に合成
- 特徴
 - 聴取者は頭部を動かしたり席を移動したりできる
 - 制御領域を広くすれば, 多人数でも聴取が可能

目的

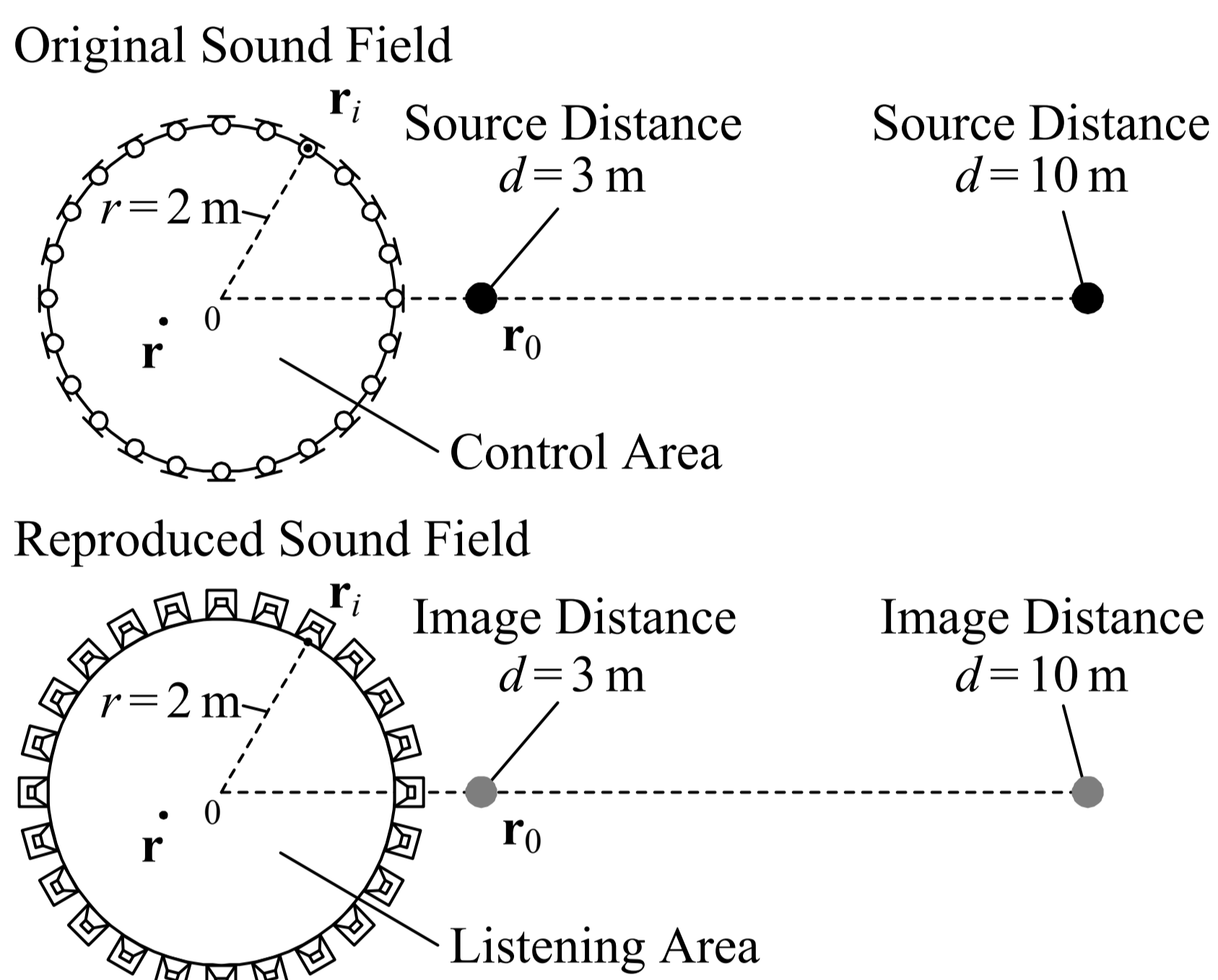
- 波面合成法による立体音場再生システム
 - 波面が忠実に合成される条件を検討することは重要
 - 波面合成の先行研究例とはシステムの構成が異なる
 - 波面が忠実に合成される条件は十分に検討されていない
- 波面が忠実に合成される条件を検討
 - 計算機シミュレーションによる波面合成実験を実施



2. 波面合成実験

実験環境

- 制御領域, 聴取領域: 半径 $r(=2\text{ m})$ の円
 - 音源の距離: $d=3, 10\text{ m}$, 円状に均等配置



■ 音源信号 $s_0(t)$ $s_0(t) = \sin 2\pi ft$

■ 原音場の音圧 $p_0(\mathbf{r}, t)$

$$p_0(\mathbf{r}, t) = \frac{1}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}_0|} \sin \left[2\pi f \left(t - \frac{|\mathbf{r} - \mathbf{r}_0|}{c} \right) \right]$$

■ チャンネル信号 $x_i(t)$

$$x_i(t) = \frac{D_i}{|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_0|} \sin \left[2\pi f \left(t - \frac{|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_0|}{c} \right) \right]$$

■ 聴取領域内の音圧 $p(\mathbf{r}, t)$

$$p(\mathbf{r}, t) = \sum_{i=1}^M \frac{D_i}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}_i| |\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_0|} \sin \left[2\pi f \left(t - \frac{|\mathbf{r} - \mathbf{r}_i| + |\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_0|}{c} \right) \right]$$

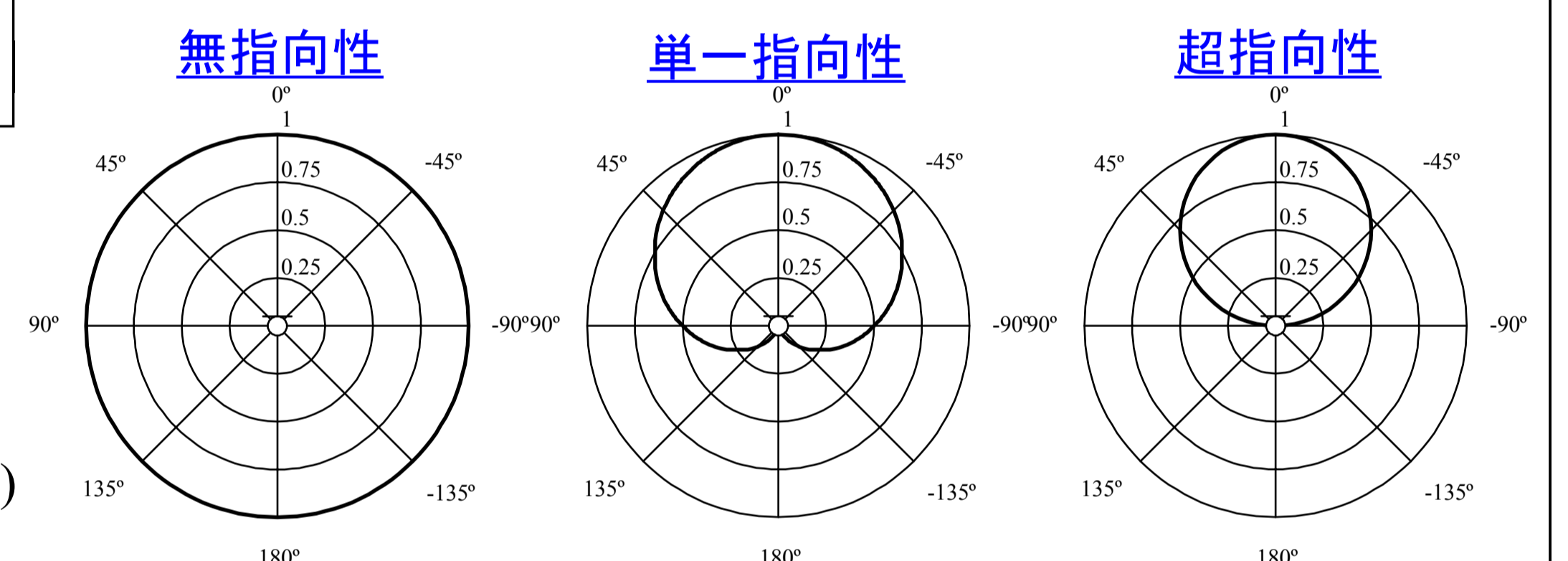
\mathbf{r}_0 : 音源の位置ベクトル c : 音速
 \mathbf{r}_i : マイクロホンの位置ベクトル M : マイクロホンの数
 \mathbf{r} : 任意の点の位置ベクトル D_i : 指向特性

$$\mathbf{r}_0 = \begin{pmatrix} 3 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ or } \begin{pmatrix} 10 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{r}_i = \begin{pmatrix} 2 \cos \frac{2\pi i}{M} \\ 2 \sin \frac{2\pi i}{M} \end{pmatrix}, \quad \mathbf{r} = \begin{pmatrix} r_x \\ r_y \end{pmatrix} \quad (r_x^2 + r_y^2 < 2^2)$$

実験条件

マイクロホンの数: M	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 16, 20, 24, 27, 32, 36, 45, 54, 64, 72, 90, 108, 128, 160, 180, 216, 256, 300, 360, 432, 512
音源の周波数: f	125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 Hz
音源の距離: d	3, 10 m
制御領域の半径: r	2 m
音速: c	340 m/s
指向特性: D_i	無指向性, 単一指向性, 超指向性

マイクロホンの指向特性



実験結果及び考察

■ SNR(Signal-to-Noise Ratio)による評価

- 算出範囲: 半径1 mの円内
- 正規化を行ってから算出

$$\text{SNR}[\text{dB}] = 10 \log_{10} \frac{\sum_{\mathbf{r}} \{p_0(\mathbf{r}, t)\}^2}{\sum_{\mathbf{r}} \{p(\mathbf{r}, t) - p_0(\mathbf{r}, t)\}^2}$$

■ $M=512$ におけるSNRを周波数全体で平均化

- 無指向性よりも単一指向性, 超指向性のほうが高い

■ 周波数が2倍になると, SNRが一定になる数も2倍に

- 以下の条件を満たせば, 波面が忠実に合成される

$$M \geq 0.064 f \left(= \frac{256}{4000} f \right)$$

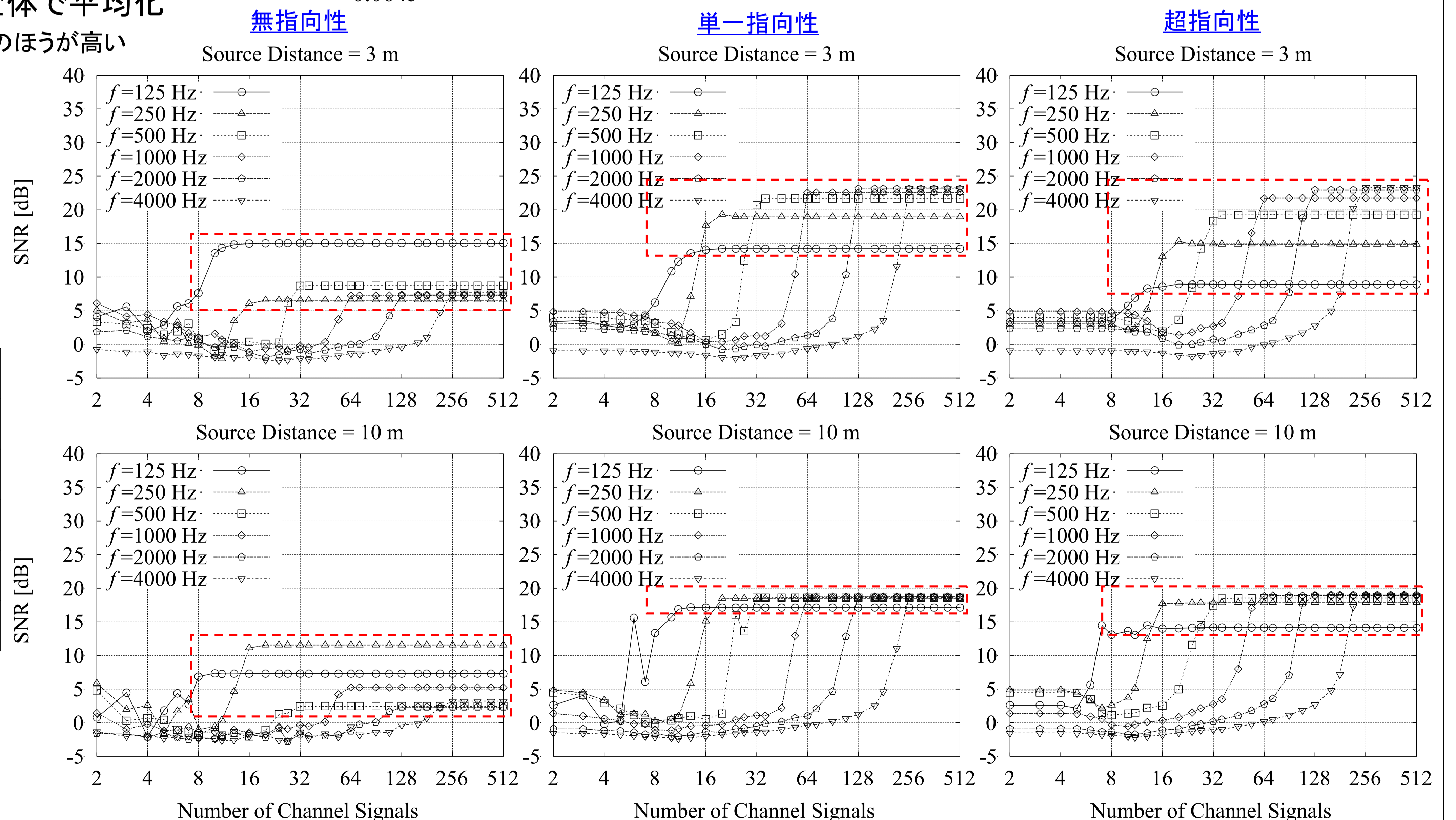
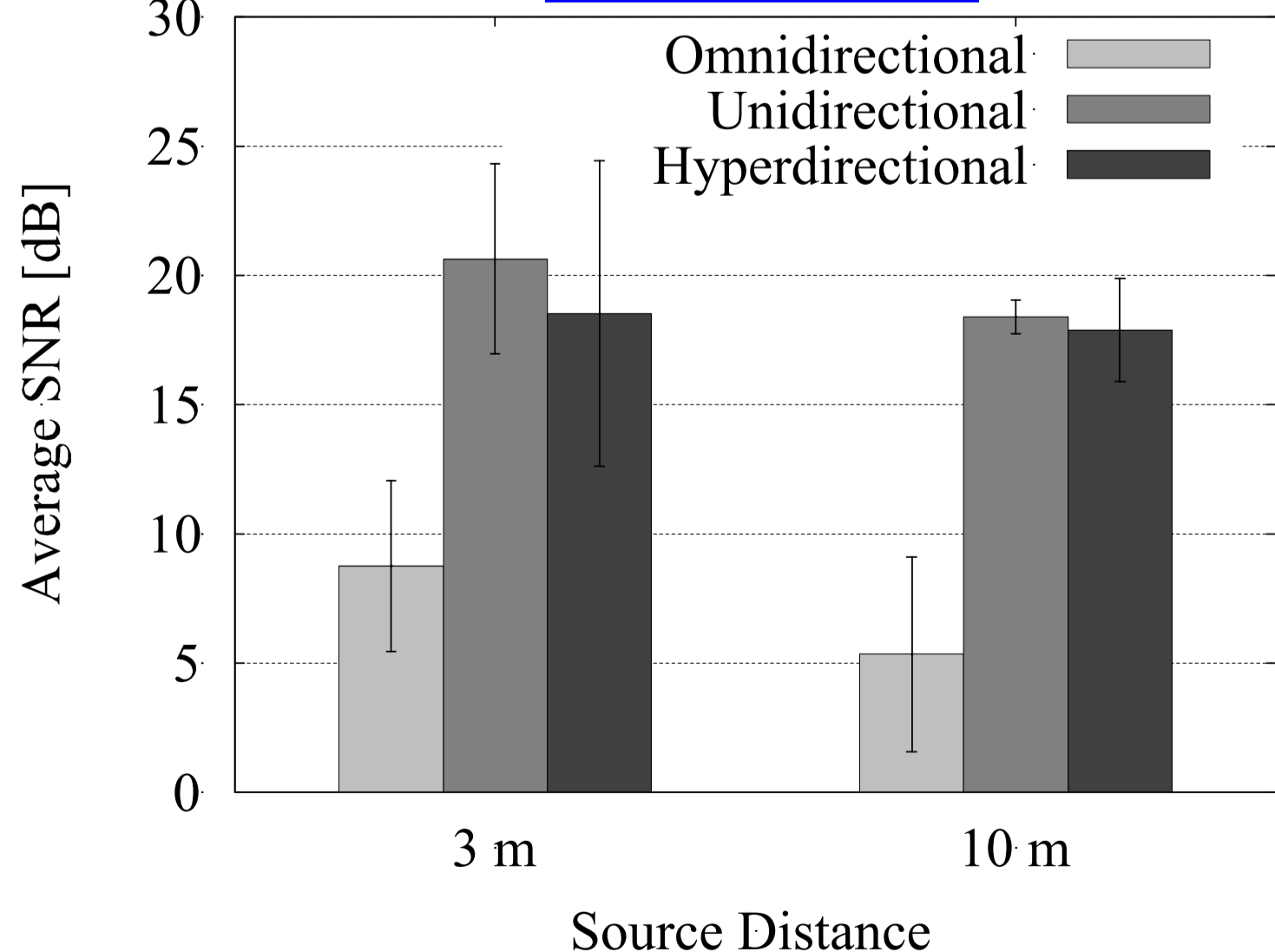
- $\Delta = 2\pi r/M, f = \lambda c$ より(Δ : マイクロホン間隔, λ : 波長)

$$\Delta \leq \frac{2\pi r}{0.064c} \approx 0.57\lambda$$

波面を忠実に合成するためにはマイクロホンの間隔を波長の1/2以下にすることが必要

波面を忠実に合成するためには単一指向性か超指向性マイクロホンを用いることが必要

平均SNRの結果



3. まとめ

■ 波面が忠実に合成される条件を検討

- 計算機シミュレーションによる波面合成実験を実施

■ 波面を忠実に合成するには以下の条件が必要

- マイクロホン及びスピーカの間隔を波長の1/2以下にする
- 単一指向性もしくは超指向性マイクロホンを用いる

■ 今後の予定

- 制御領域, 聴取領域を3次元(球など)にした場合の検討

付録A. 合成した波面の一例

