

指向性マイクロホンを用いた 波面合成法における波面合成精度

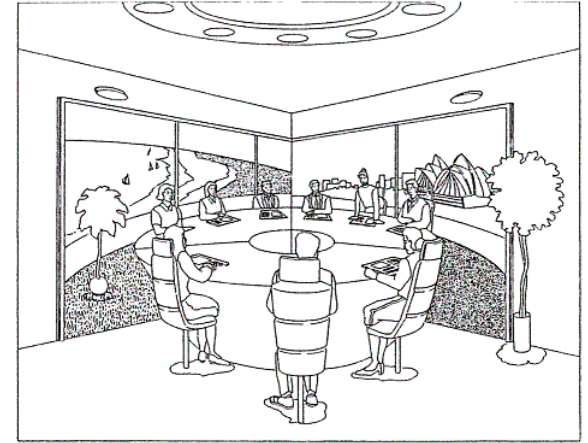
木村敏幸 (名大), 笥一彦 (中京大),
武田一哉 (名大), 板倉文忠 (名城大)

2005/9/16

立体音場再生技術が実用化されると...

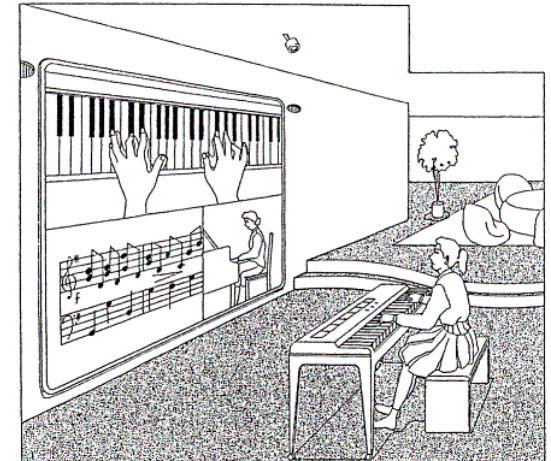
■ 遠隔通信会議

- 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

波面合成法による立体音場再生

■ 原音場

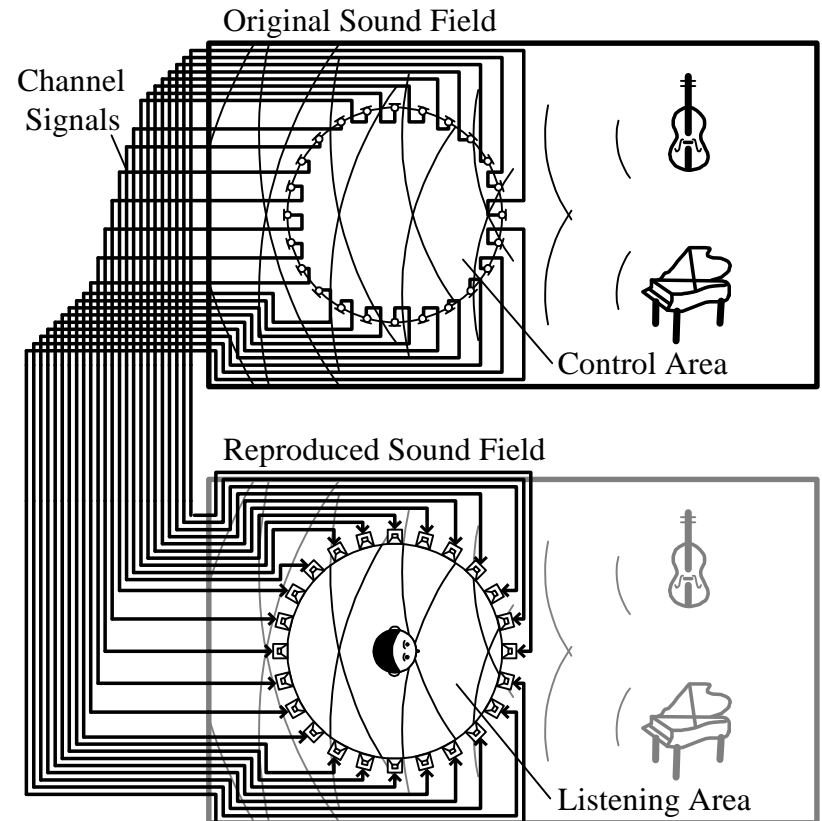
- 指向性マイクロホンで音を収録

■ 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、
多人数でも同時に聴取が可能



研究目的

- 波面合成法による立体音場再生システム
 - 我々は指向性マイクロホンを用いたシステムを提案
 - 波面が忠実に合成される条件を検討することは非常に重要
 - 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の実施

2. 計算機シミュレーション

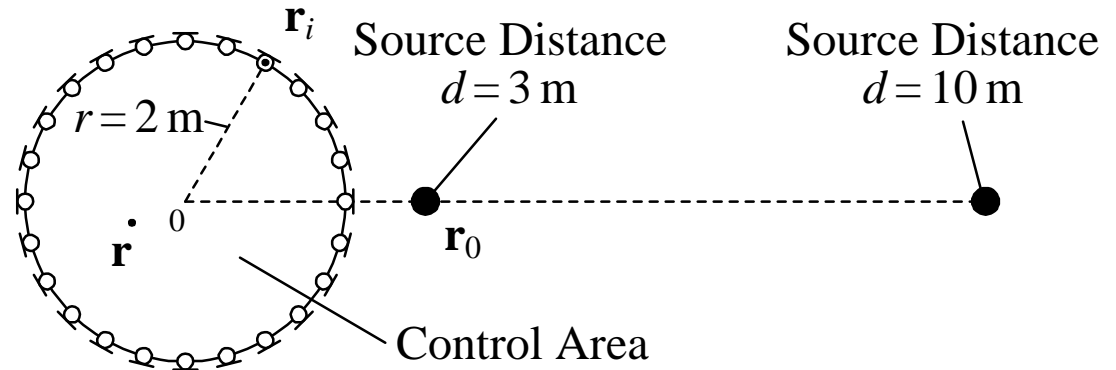
実験環境

■ 制御領域, 聴取領域: 半径 $r(=2\text{ m})$ の円

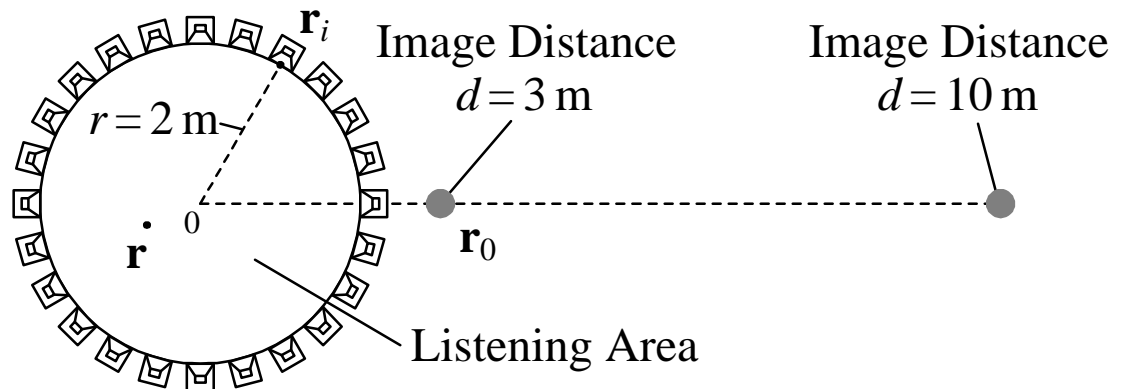
- 音源の距離: $d=3, 10\text{ m}$

- 円状に均等配置

Original Sound Field



Reproduced Sound Field



音圧信号の作成

■ 音源信号 $s_0(t)$

$$s_0(t) = \sin 2\boldsymbol{p} f t$$

\mathbf{r}_0 : 音源の位置ベクトル

\mathbf{r}_i : マイクロホンの位置ベクトル

\mathbf{r} : 任意の点の位置ベクトル

■ 原音場の音圧 $p_0(\mathbf{r}, t)$

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

c : 音速

M : マイクロホンの数

D_i : 指向特性

■ チャネル信号 $x_i(t)$

$$x_i(t) = \frac{D_i}{|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_0|} \sin \left[2\boldsymbol{p} f \left(t - \frac{|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_0|}{c} \right) \right] \quad (i = 1 \dots M)$$

■ 聴取領域内の音圧 $p(\mathbf{r}, t)$

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

実験条件

$$\mathbf{r}_0 = \begin{pmatrix} 3 \\ 0 \end{pmatrix} \text{or} \begin{pmatrix} 10 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{r}_i = \begin{pmatrix} 2 \cos \frac{2\pi i}{M} \\ 2 \sin \frac{2\pi i}{M} \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{r} = \begin{pmatrix} \nabla r_x \\ \nabla r_y \end{pmatrix}$$

$$(r_x^2 + r_y^2 < 2^2)$$

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

■ 無指向性

- ピンマイクロホン

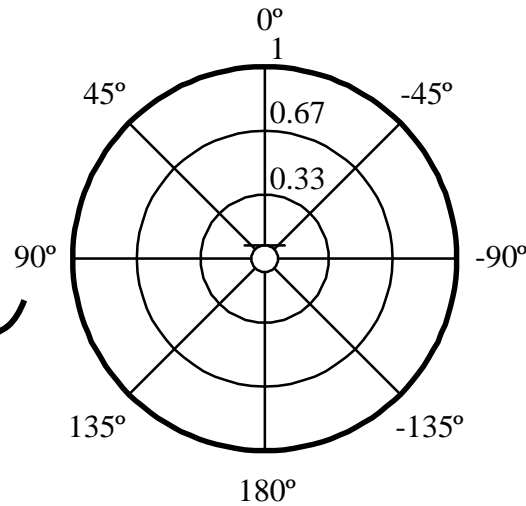
■ 単一指向性

- カラオケ用マイクロホン

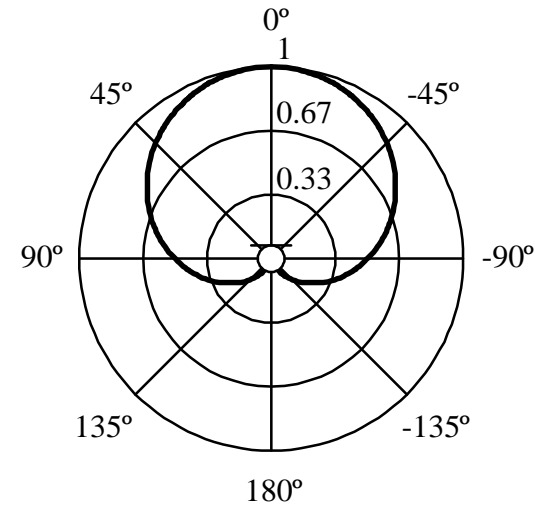
■ 超指向性

- ガンマイクロホン

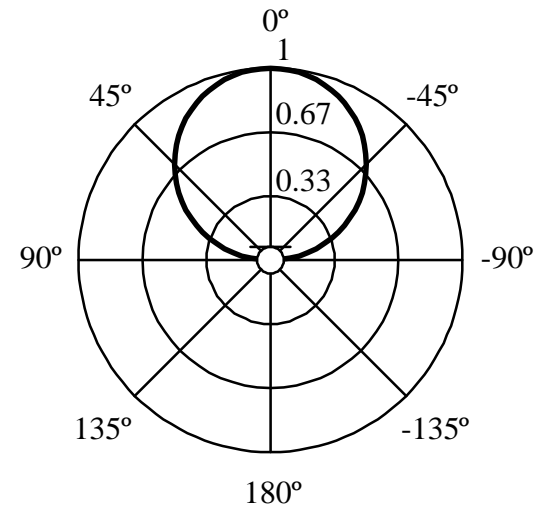
(a) Omnidirectional



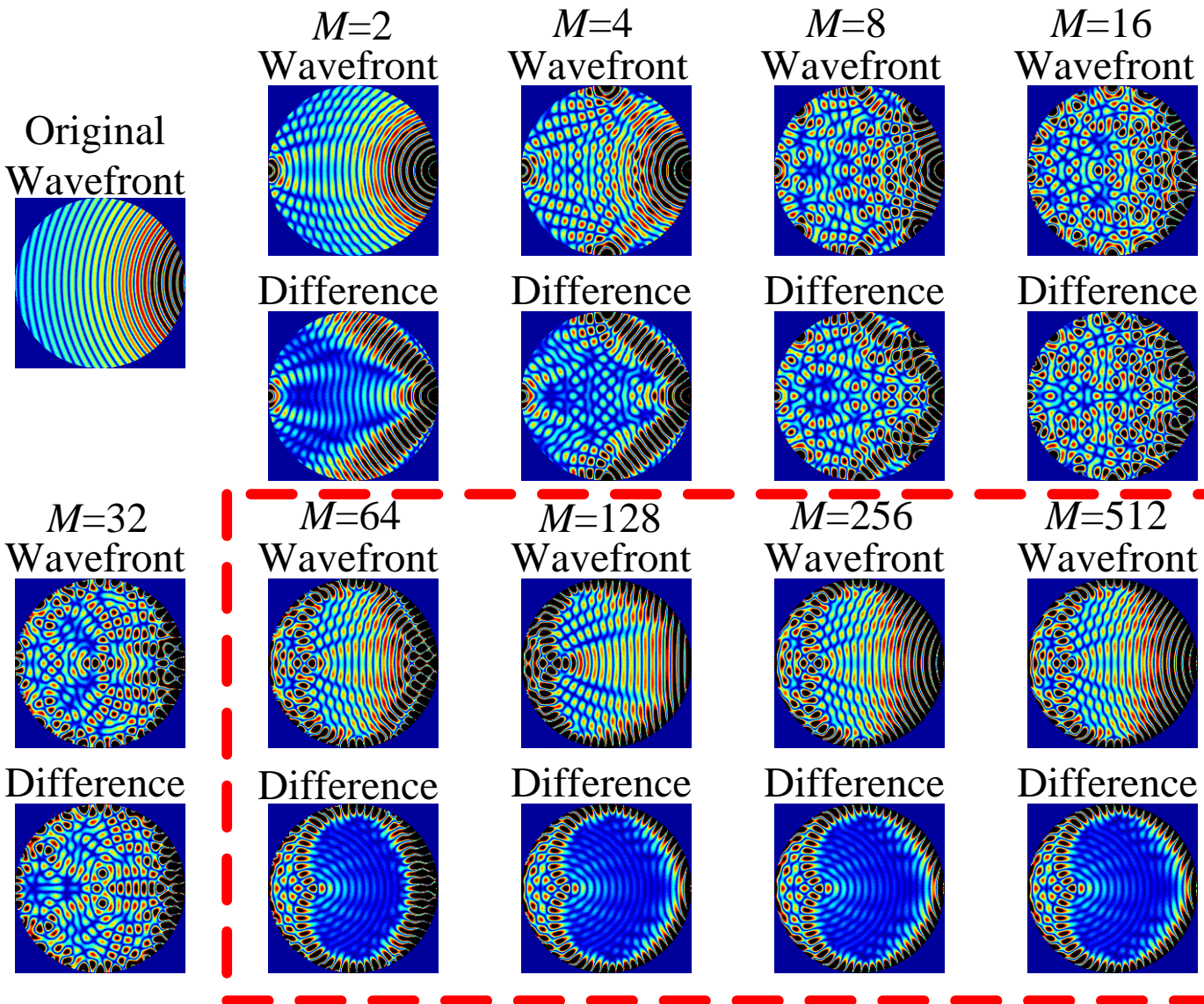
(b) Unidirectional



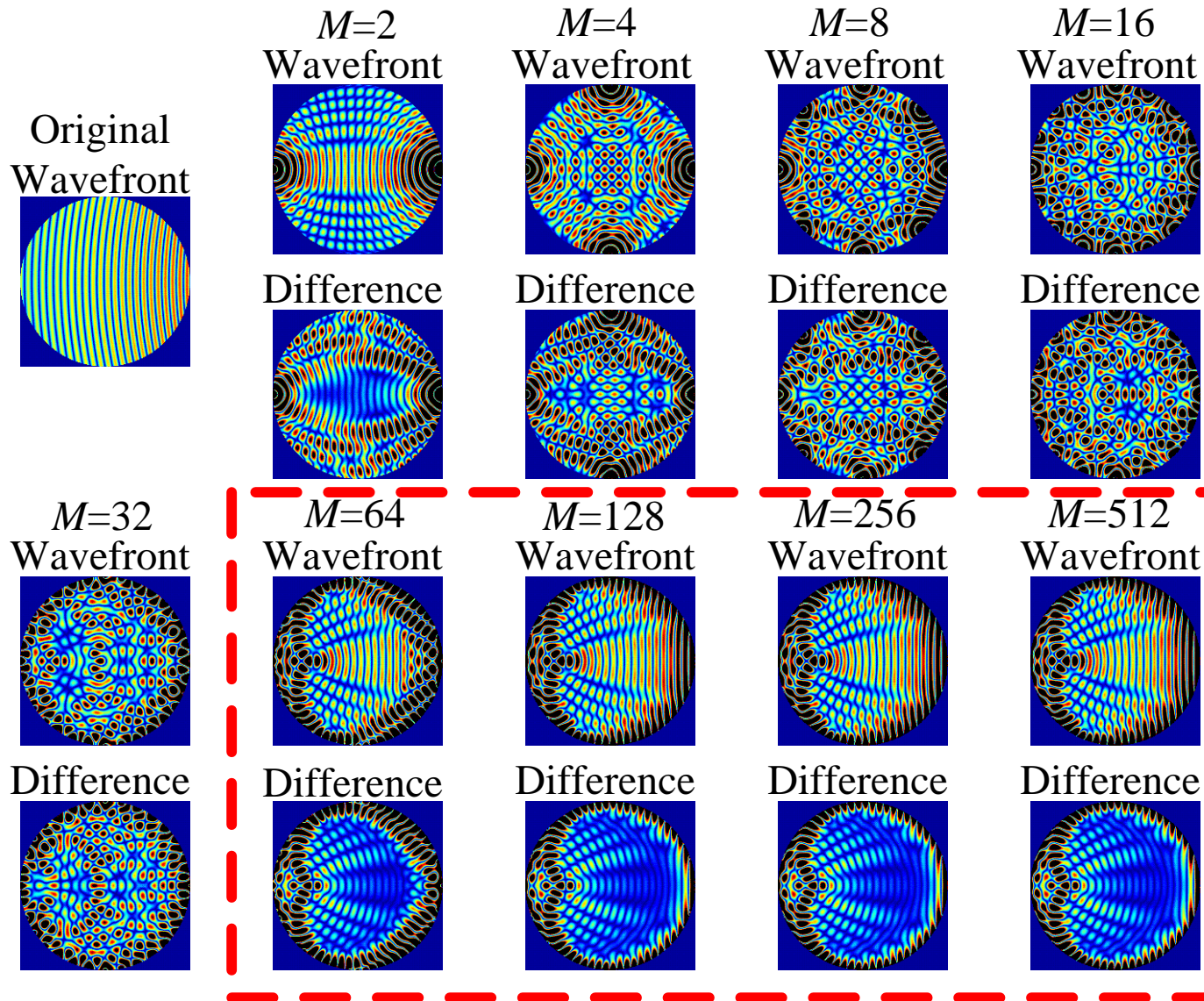
(c) Hyperdirectional



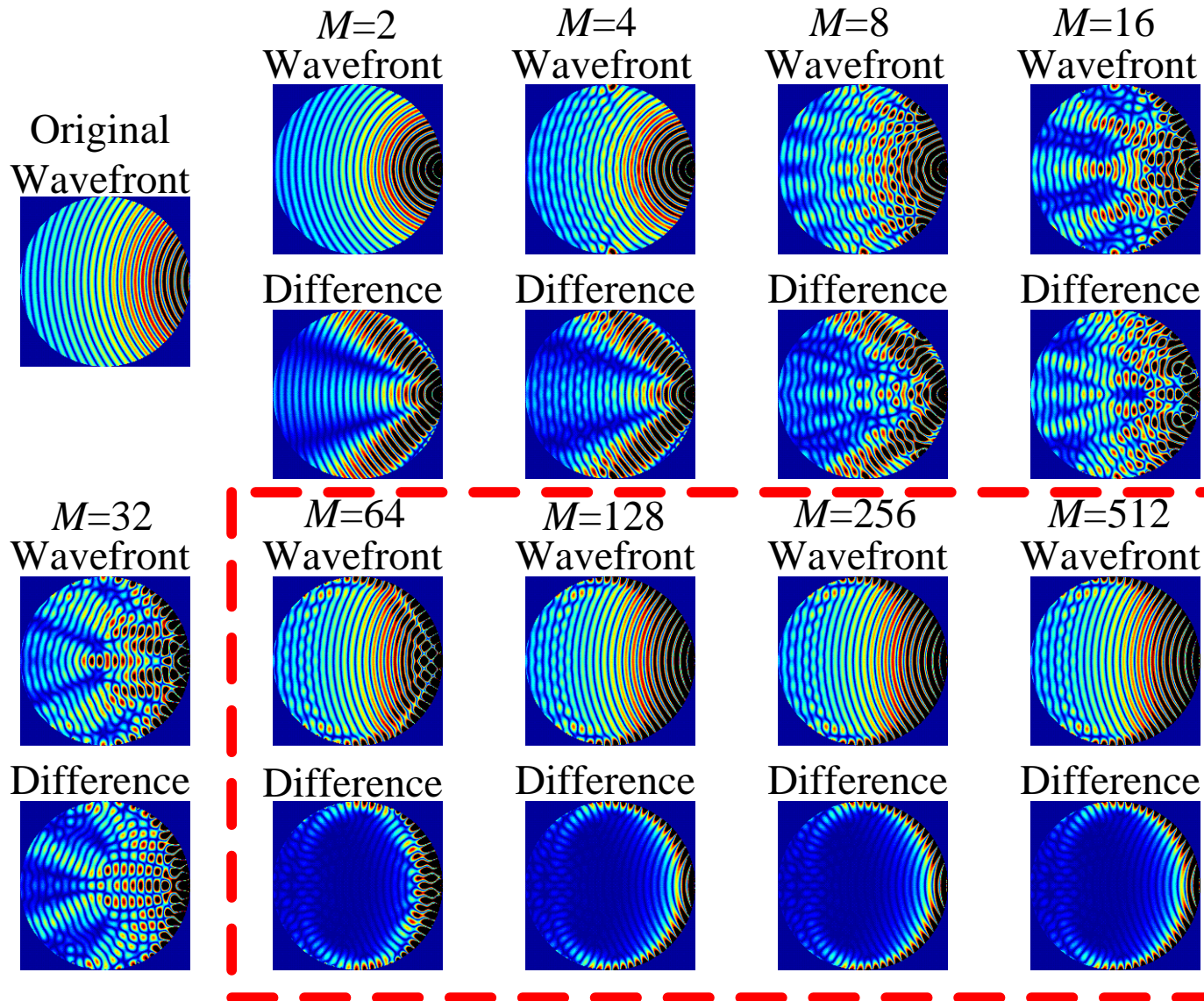
無指向性, $d = 3 \text{ m}$, $f = 1000 \text{ Hz}$



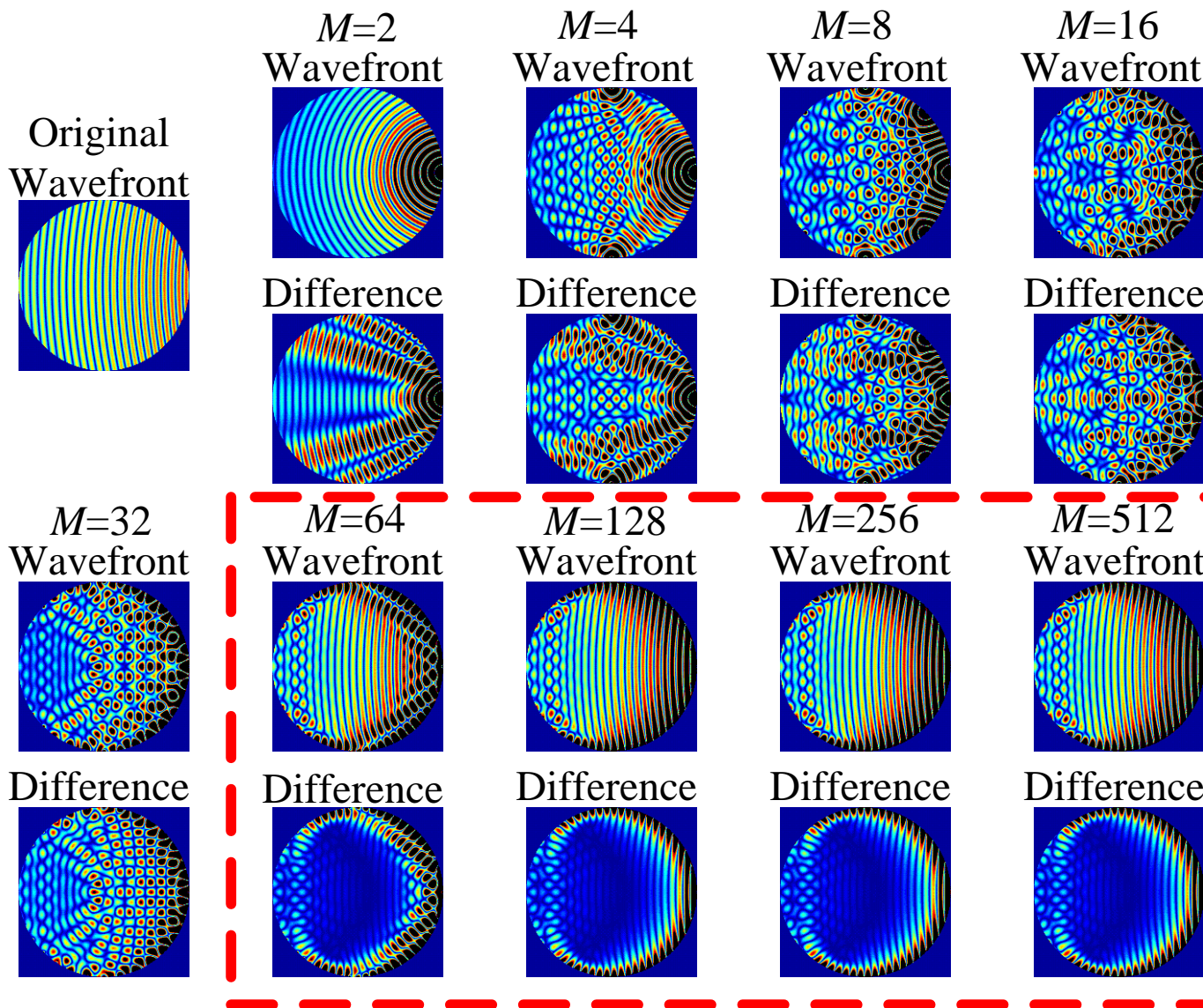
無指向性, $d = 10 \text{ m}$, $f = 1000 \text{ Hz}$



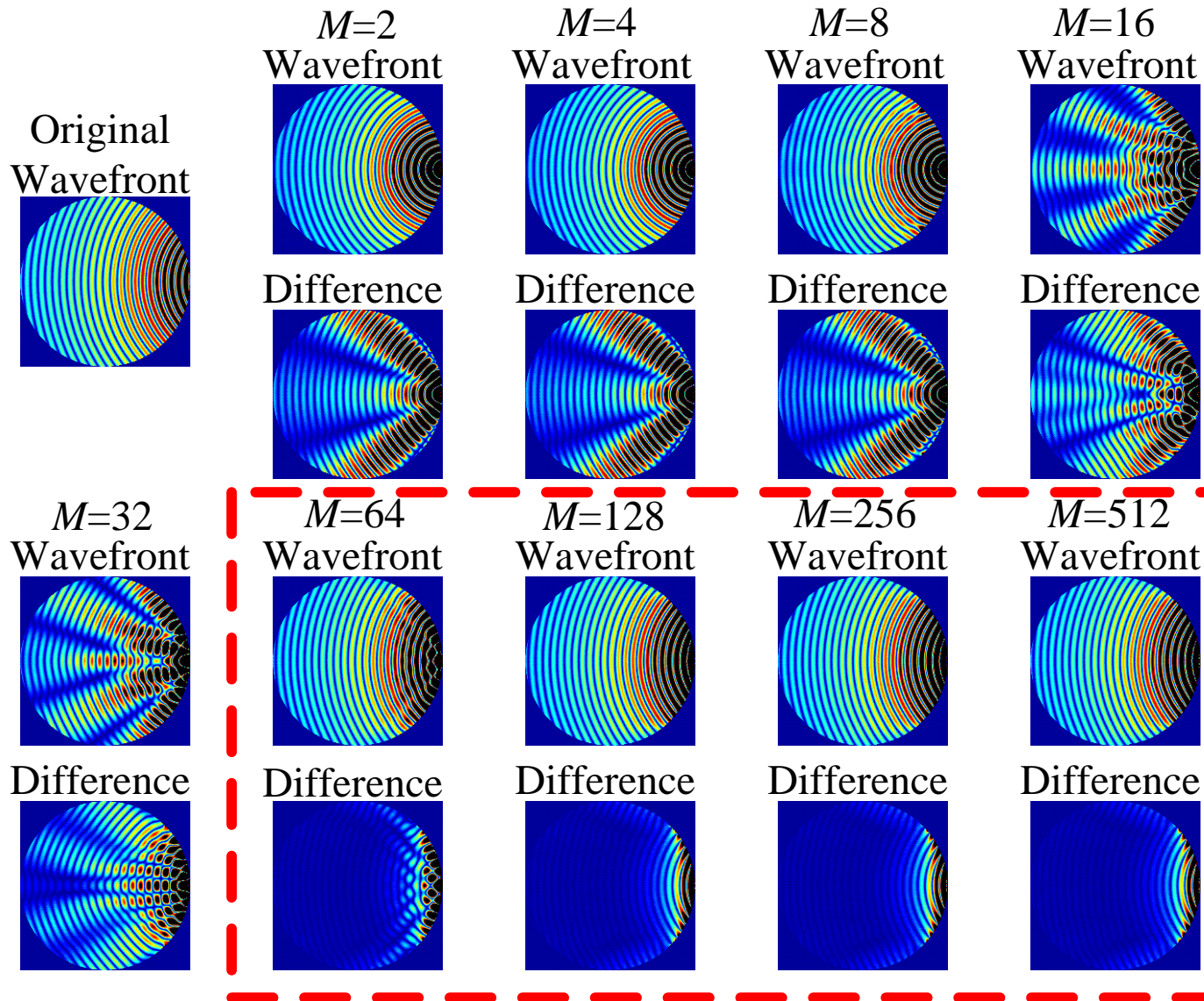
单一指向性, $d = 3$ m, $f = 1000$ Hz



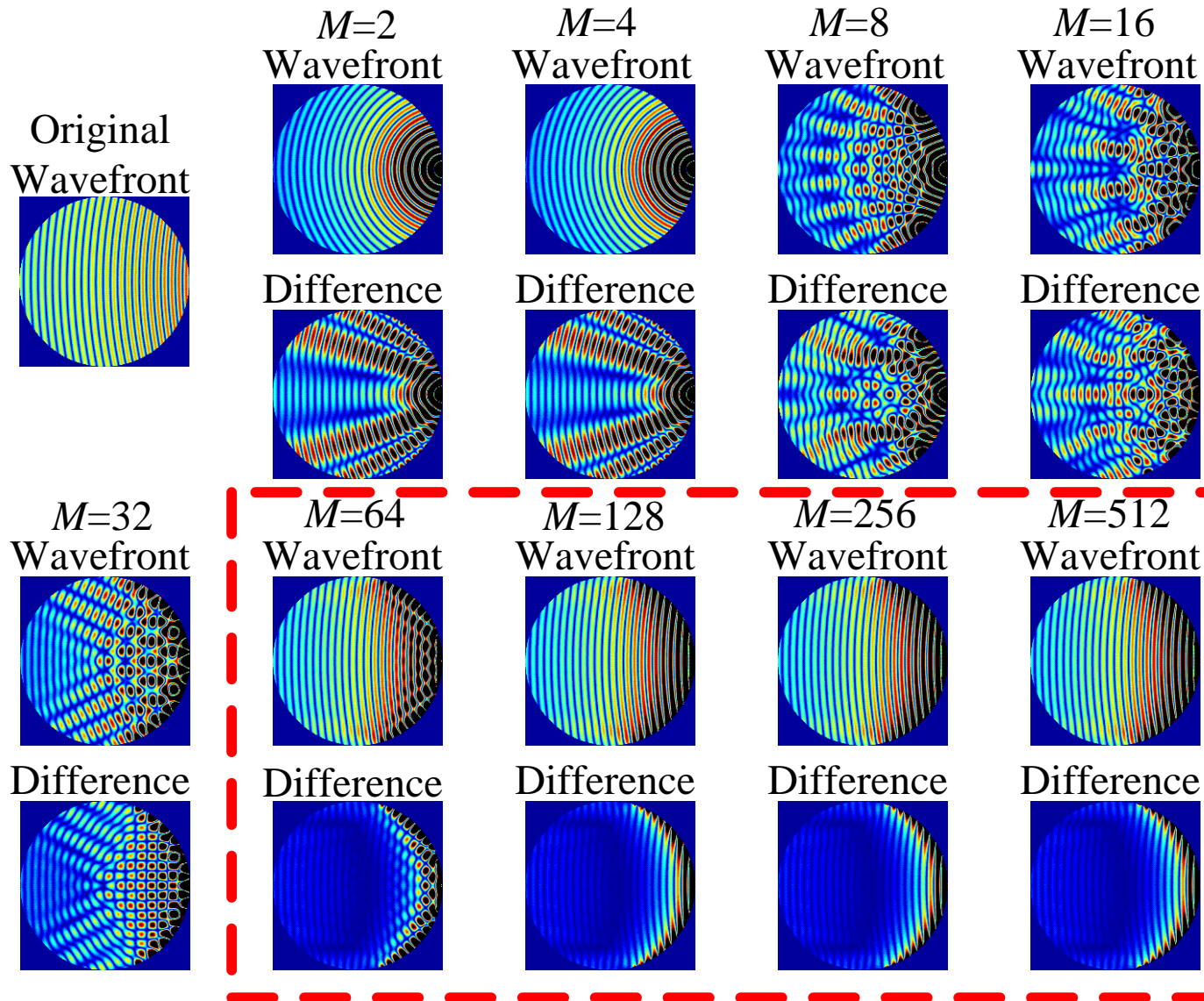
单一指向性, $d = 10$ m, $f = 1000$ Hz



超指向性, $d = 3 \text{ m}$, $f = 1000 \text{ Hz}$



超指向性, $d = 10$ m, $f = 1000$ Hz



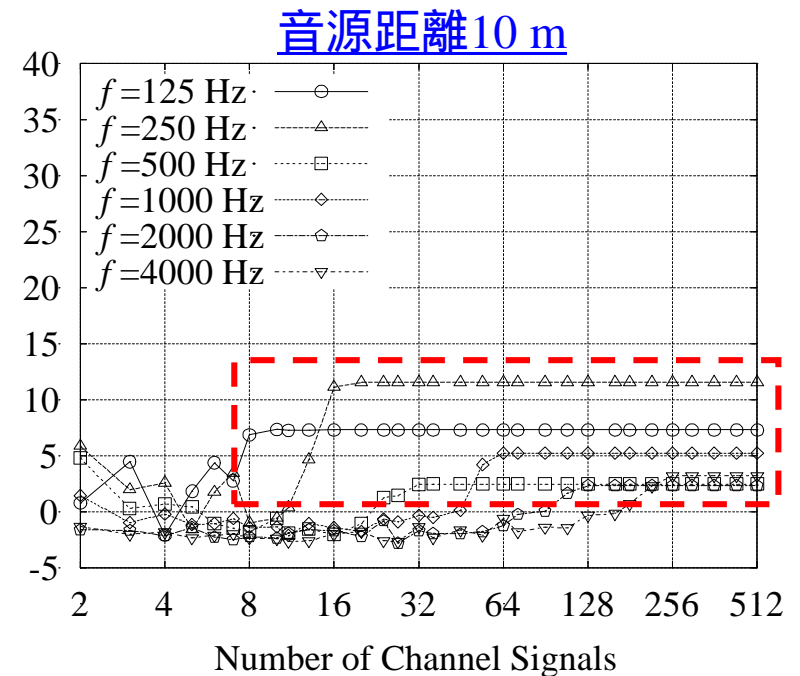
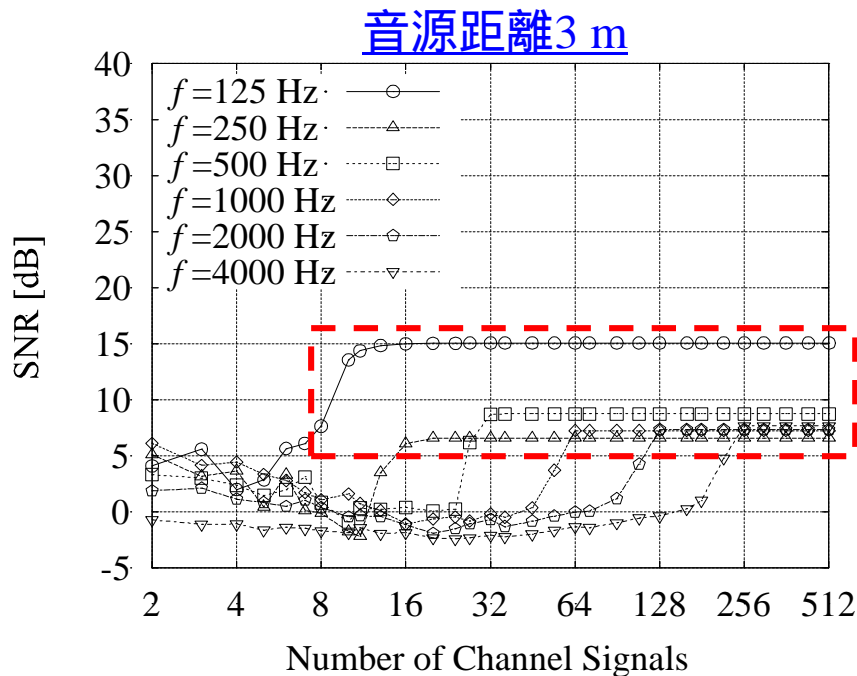
実験結果及び考察

- 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

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

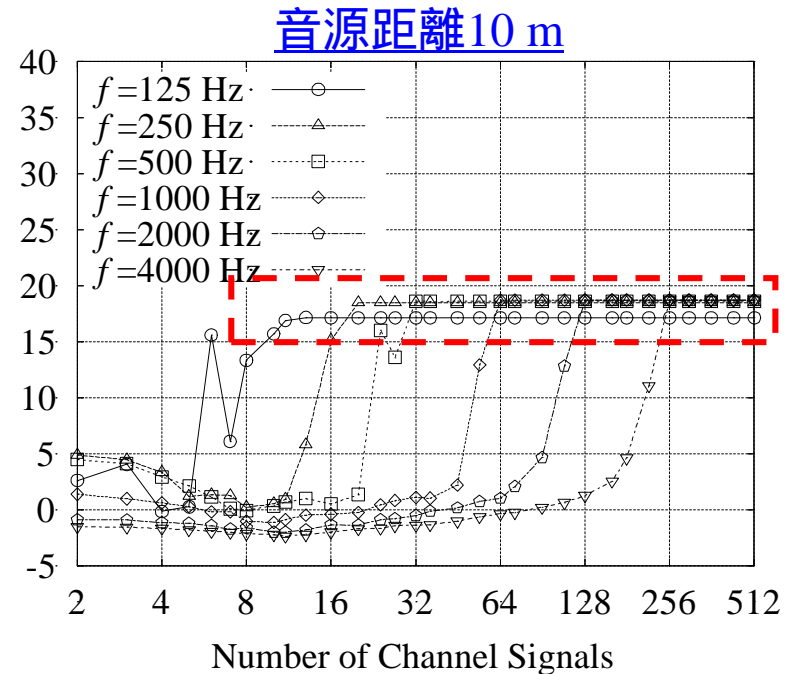
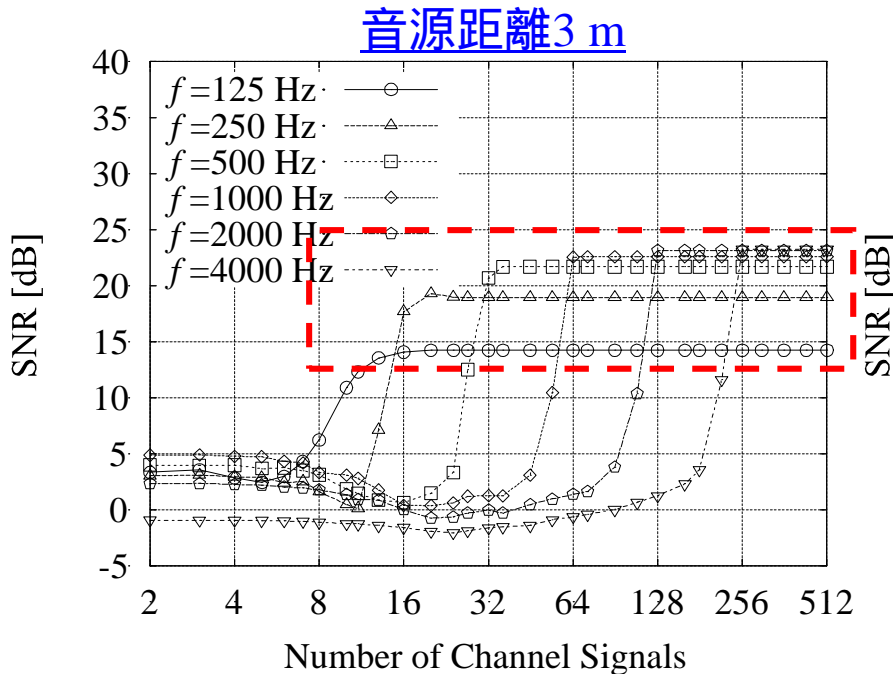
SNRの結果(無指向性)

- ある一定の閾値以上でSNRが一定に
 - 得られた閾値が波面を忠実に合成するのに必要な数
- SNRの一定値はさほど高くない
- 音源距離による影響はあまり見られない



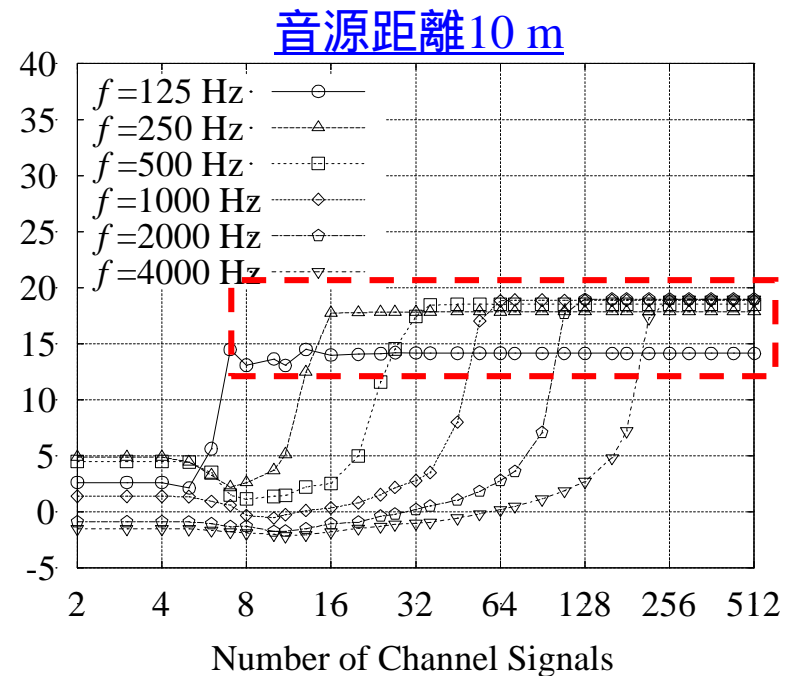
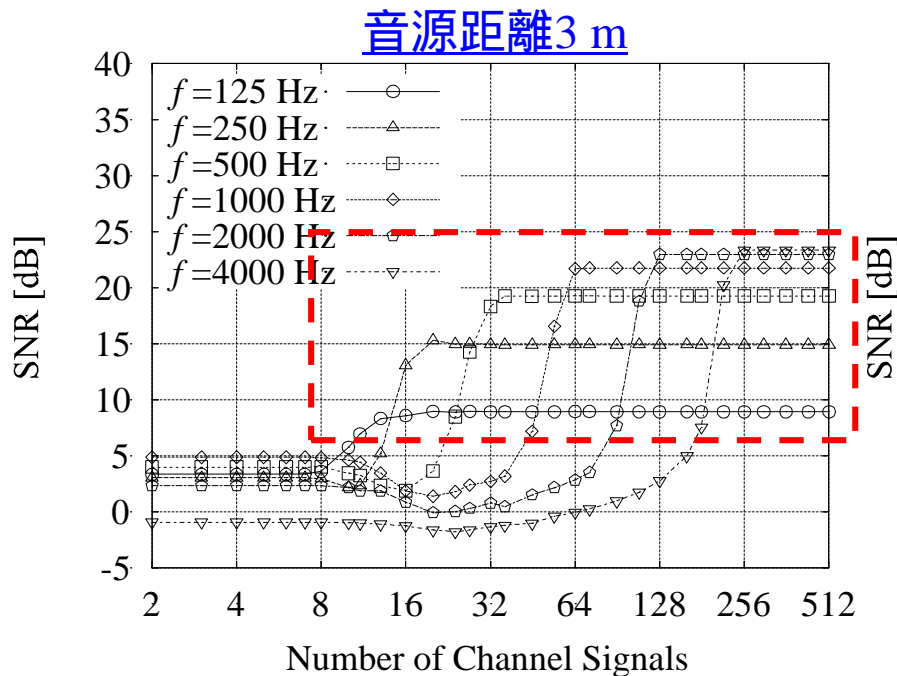
SNRの結果(単一指向性)

- ある一定の閾値以上でSNRが一定に
 - 得られた閾値が波面を忠実に合成するのに必要な数
- SNRの一定値は無指向性より高い
- 音源距離による影響はあまり見られない



SNRの結果(超指向性)

- ある一定の閾値以上でSNRが一定に
 - 得られた閾値が波面を忠実に合成するのに必要な数
- SNRの一定値は無指向性より高い
- 音源距離による影響はあまり見られない



マイクロホンの数による影響

- 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

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

- $\Delta = 2pr/M, f = l/c$ より,
 - ◆ Δ : マイクロホン間隔, l : 波長

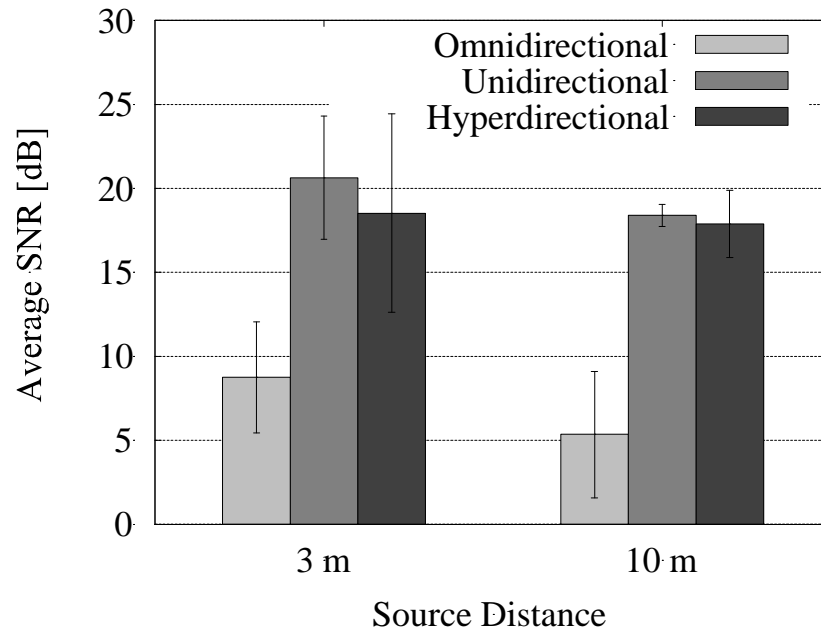
$$\Delta \leq \frac{2pr}{0.064c} \approx 0.57l$$



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

平均SNRの結果

- $M=512$ 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



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

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