

時間反転焦点音源の重ね合わせに基づく 2直線アレイ間への仮想音像合成

Reproduction of virtual source between two linear arrays
based on time reversal acoustic focusing superposition

○岡本 拓磨, 榎本 成悟, 西村 竜一

情報通信研究機構

Introduction

- 3D multimedia communication -

- 3次元立体ディスプレイの実現 by 超臨場感映像研究室
 - 3次元ホログラフィ (小金井)
 - 200インチ裸眼立体ディスプレイ(4/26~)@グランフロント大阪 (けいはんな)
 - ✳ お客さまの声「すごい!!」「本物みたい」「眼鏡いらないのはgood!!」

- 3次元聴覚ディスプレイの実現 by 多感覚・評価研究室 (けいはんな)
 - 頭部伝達関数(Head related transfer function : HRTF)の個人化
 - ✳ 3-1-10 西村ら 頭部伝達関数の球面調和展開係数に. .
 - ✳ 3-1-11 竹本ら 正中面の耳介伝達関数における第一. .
 - ✳ 3-1-17 P. Mokhtari *et al.*, Three-dimensional acoustic ..

 - 多チャンネルマイクロホン・スピーカを用いた音場収録・再現・評価
 - ✳ 立体映像と立体音響の融合による臨場感評価実験
 - ✳ 大画面立体映像システムに最適な音場収録・再現

Purpose : Umekita acoustics

- 平行2直線スピーカアレイによる大画面システムに最適な音場再現



- バーチャル音源の提示 (for rendered contents)
 - ✳ バーチャル音源の高さや奥行き, 飛び出し音を如何に制御するか!?
- 実環境音場の収録・再現 (for recorded contents)
 - ✳ 最適なマイクロホン配置, 信号処理

Presentation contents

■ Introduction

■ Purpose

- 平行2直線スピーカレイによる大画面システムに最適な音場再現

■ Basic theory

- 2.5次元波面合成法(2.5D Wave field synthesis : WFS)
- 時間反転焦点音源(Time reversal acoustic focusing)

■ Proposed method

- 時間反転焦点音源の重ね合わせ
- 距離減衰補正項の導入
- 計算機シミュレーション

■ Concluding remarks

Basic theory (1)

■ 直線アレイを用いた音場再現

■ 2.5次元波面合成法(2.5D Wave field synthesis : WFS)

※ 直線アレイによる音場(Single layer potential)

$$p(\mathbf{x}, \omega) = - \int_{-\infty}^{\infty} D_{2.5D}(\mathbf{x}_0, \omega) G_{3D}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_0, \omega) dx_0$$

※ 3次元自由空間グリーン関数

$$G_{3D}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_0, \omega) = \frac{\exp(-jk|\mathbf{x} - \mathbf{x}_0|)}{4\pi|\mathbf{x} - \mathbf{x}_0|}$$

※ 2.5D WFS駆動信号

$$D_{2.5D}(\mathbf{x}_0, \omega) = 2g_0 \sqrt{\frac{1}{jk} \frac{\partial}{\partial n} S(\mathbf{x}, \omega)} \Big|_{\mathbf{x}=\mathbf{x}_0} \quad g_0 = \sqrt{2\pi|\mathbf{x} - \mathbf{x}_0|}$$

3次元グリーン関数を2次元
グリーン関数で近似する時の補正項

仮想音源波面の制御ライン
における法線方向の音圧傾度

Basic theory (2)

■ 時間反転焦点音源(Time reversal acoustic focusing)

■ 2.5D WFSの仮想音源信号を時間反転

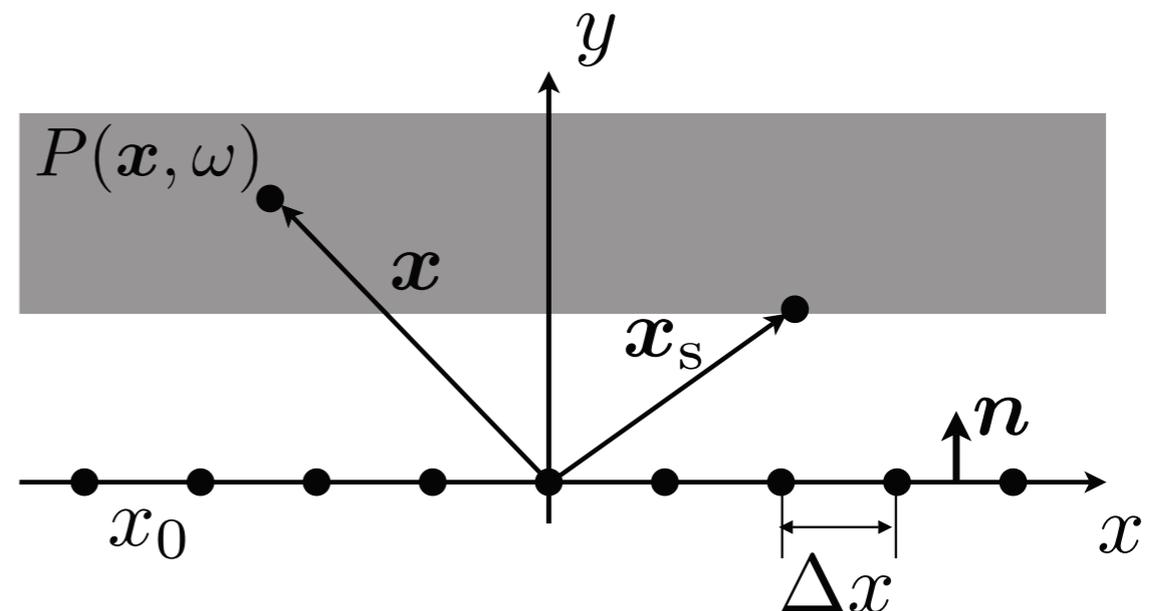
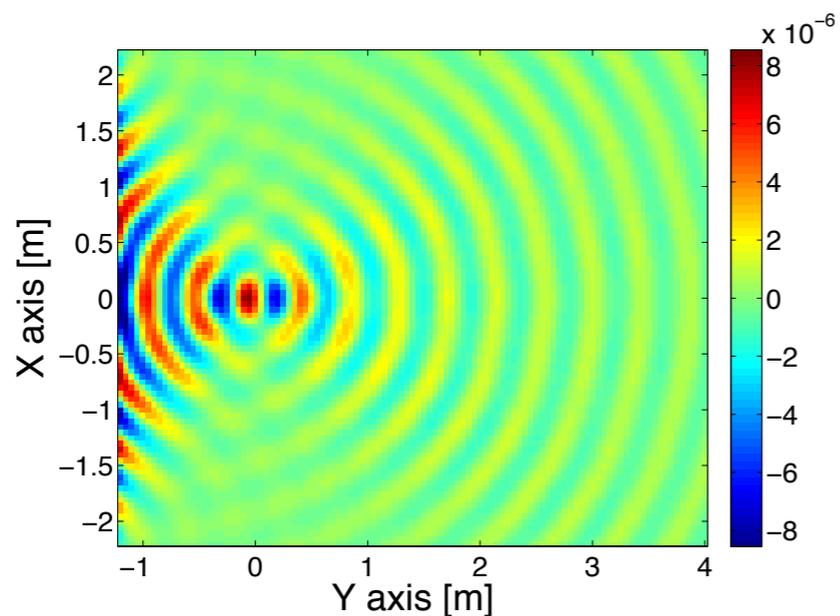
✱ 時間反転仮想音源

$$S(\boldsymbol{x}, \omega) = \frac{j}{4} \sqrt{jk} H_0^{(1)}(k|\boldsymbol{x} - \boldsymbol{x}_s|)$$

✱ 駆動信号

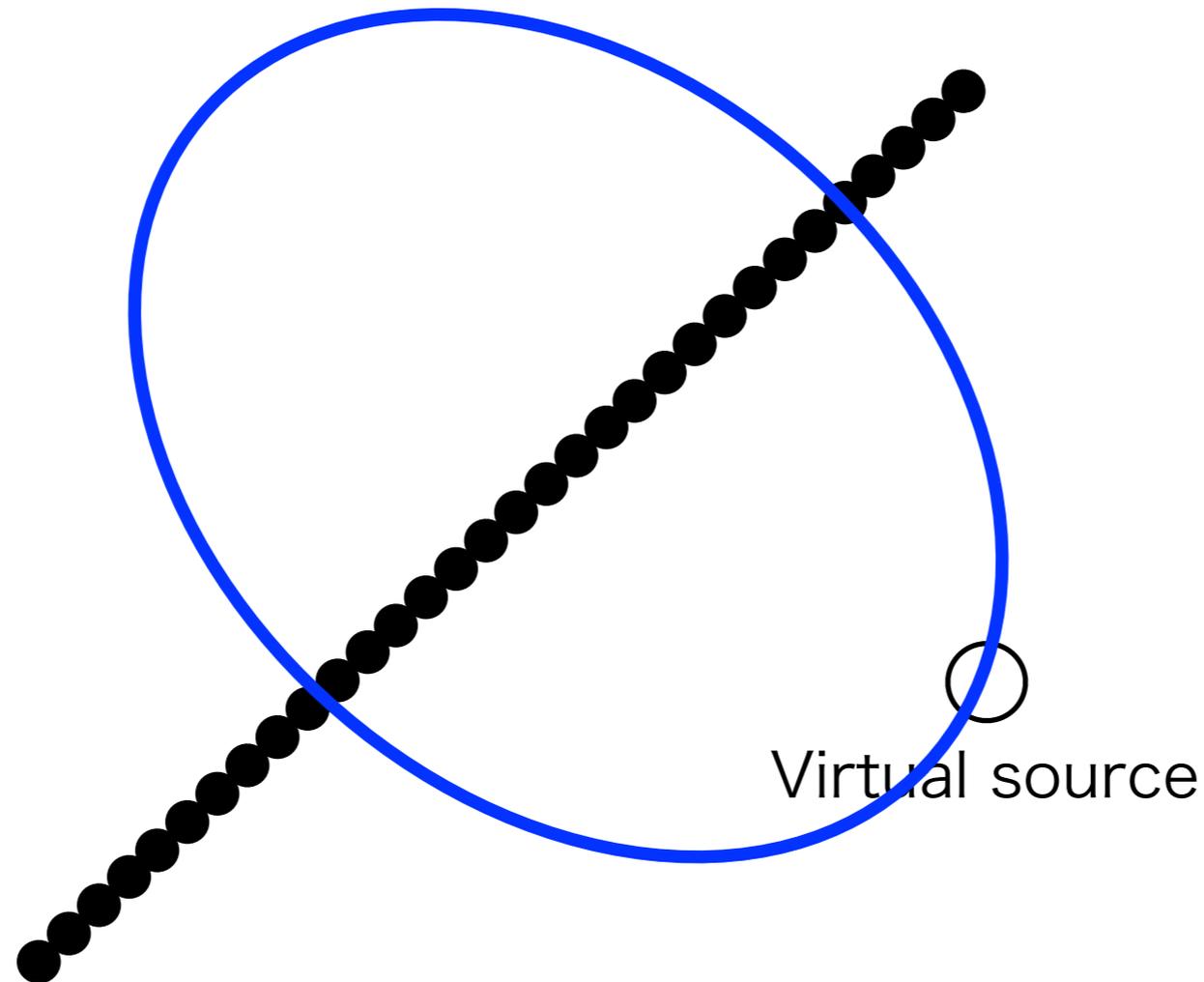
$$D_{2.5D}(\boldsymbol{x}_0, \omega) = -g_0 \frac{jk}{2} \frac{y_0 - y_s}{|\boldsymbol{x}_0 - \boldsymbol{x}_s|} H_1^{(1)}(k|\boldsymbol{x}_0 - \boldsymbol{x}_s|)$$

■ アレイ前方に仮想音像を提示可能



Strategy for proposed method

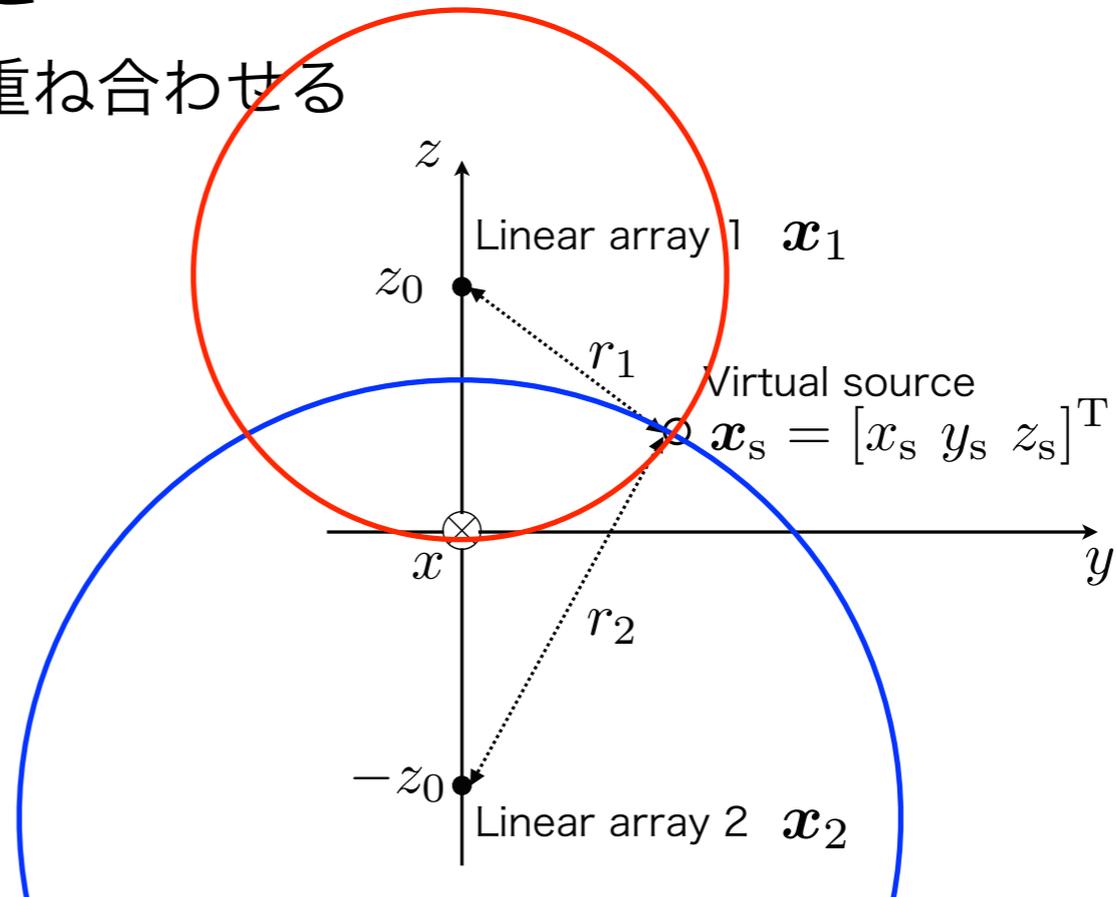
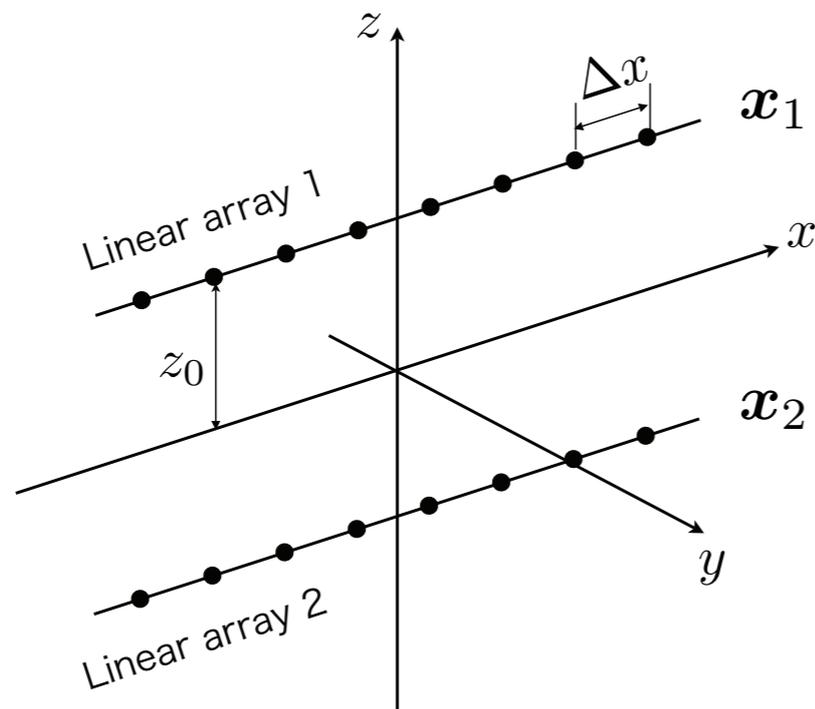
- 2次元時間反転焦点音源の放射特性
 - 2次元的には平面波 → 3次元的には円筒波
 - ✳ アレイのどの方向にも同じ波が伝搬



Proposed method

- 時間反転焦点音源の重ね合わせ

- 時間反転円筒仮想音源を3次元的に重ね合わせる



- ✱ 各アレイと仮想音源の距離

$$r_1 = \sqrt{y_s^2 + (z_s - z_0)^2}$$

$$r_2 = \sqrt{y_s^2 + (z_s + z_0)^2}$$

- ✱ 各アレイの駆動信号

$$D_{\text{org}}(\mathbf{x}_i, \omega) = -g_0 \frac{jk}{2} \frac{r_i}{|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_s|} H_1^{(1)}(k|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_s|) \quad i = 1, 2$$

Revised proposed method

■ 時間反転焦点音源の問題点

- 仮想音源がアレイから離れる=聴取者からすれば音源は近づく=大きく聞こえる
- 問題：仮想音源がアレイから離れるほど音源パワーは減衰

■ 解決法

■ 距離減衰補正項の導入

✱ 仮想音源の振幅減衰量

$$\frac{1}{4\pi r_1} + \frac{1}{4\pi r_2}$$

距離補正項=減衰量の逆数

$$\frac{1}{\frac{1}{4\pi r_1} + \frac{1}{4\pi r_2}} = \frac{4\pi r_1 r_2}{r_1 + r_2}$$

✱ 修正駆動信号

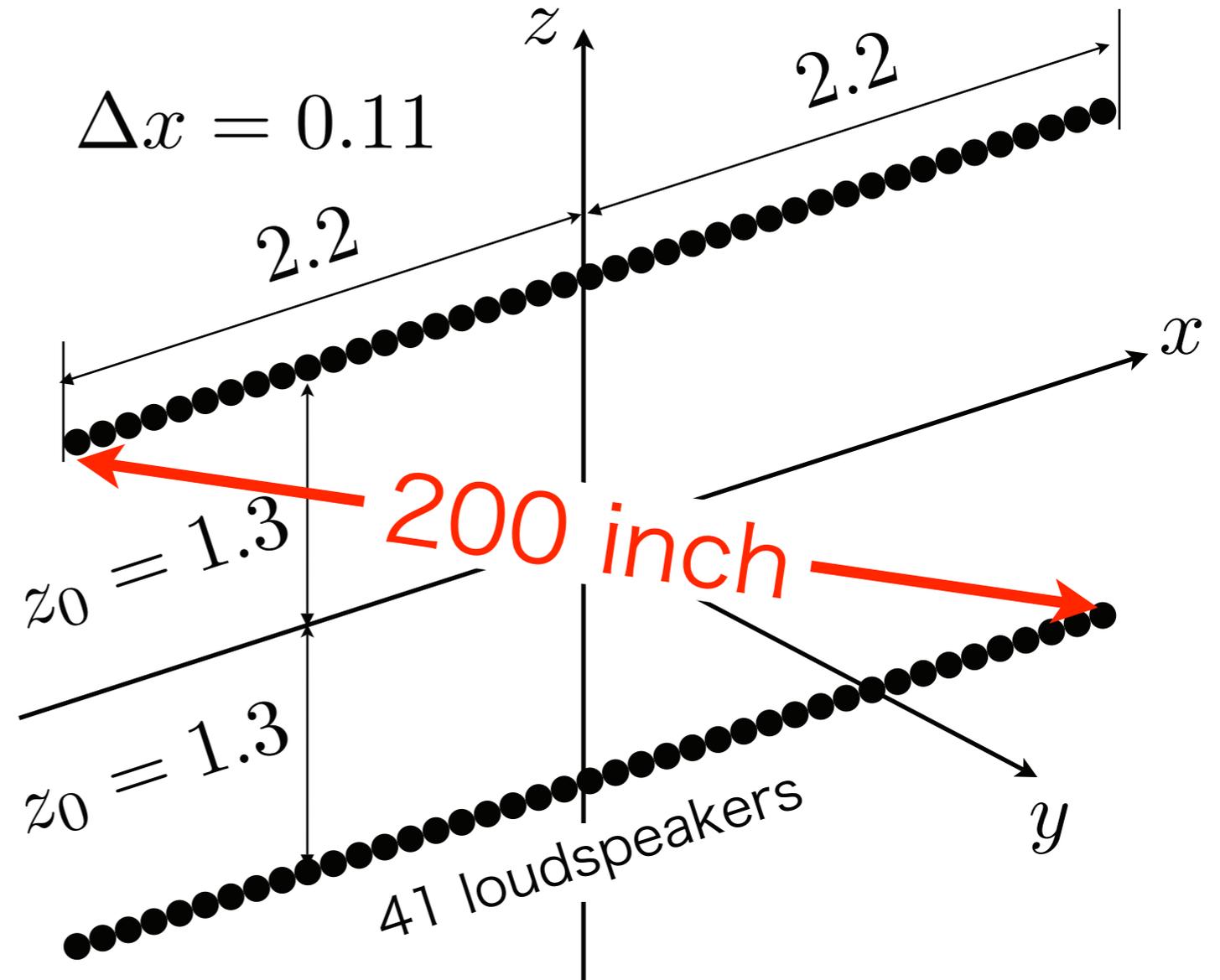
$$D(\mathbf{x}_1, \omega) = -g_0 \frac{2\pi j k r_1^2 r_2}{(r_1 + r_2) |\mathbf{x}_1 - \mathbf{x}_s|} H_1^{(1)}(k |\mathbf{x}_1 - \mathbf{x}_s|)$$

$$D(\mathbf{x}_2, \omega) = -g_0 \frac{2\pi j k r_1 r_2^2}{(r_1 + r_2) |\mathbf{x}_2 - \mathbf{x}_s|} H_1^{(1)}(k |\mathbf{x}_2 - \mathbf{x}_s|)$$

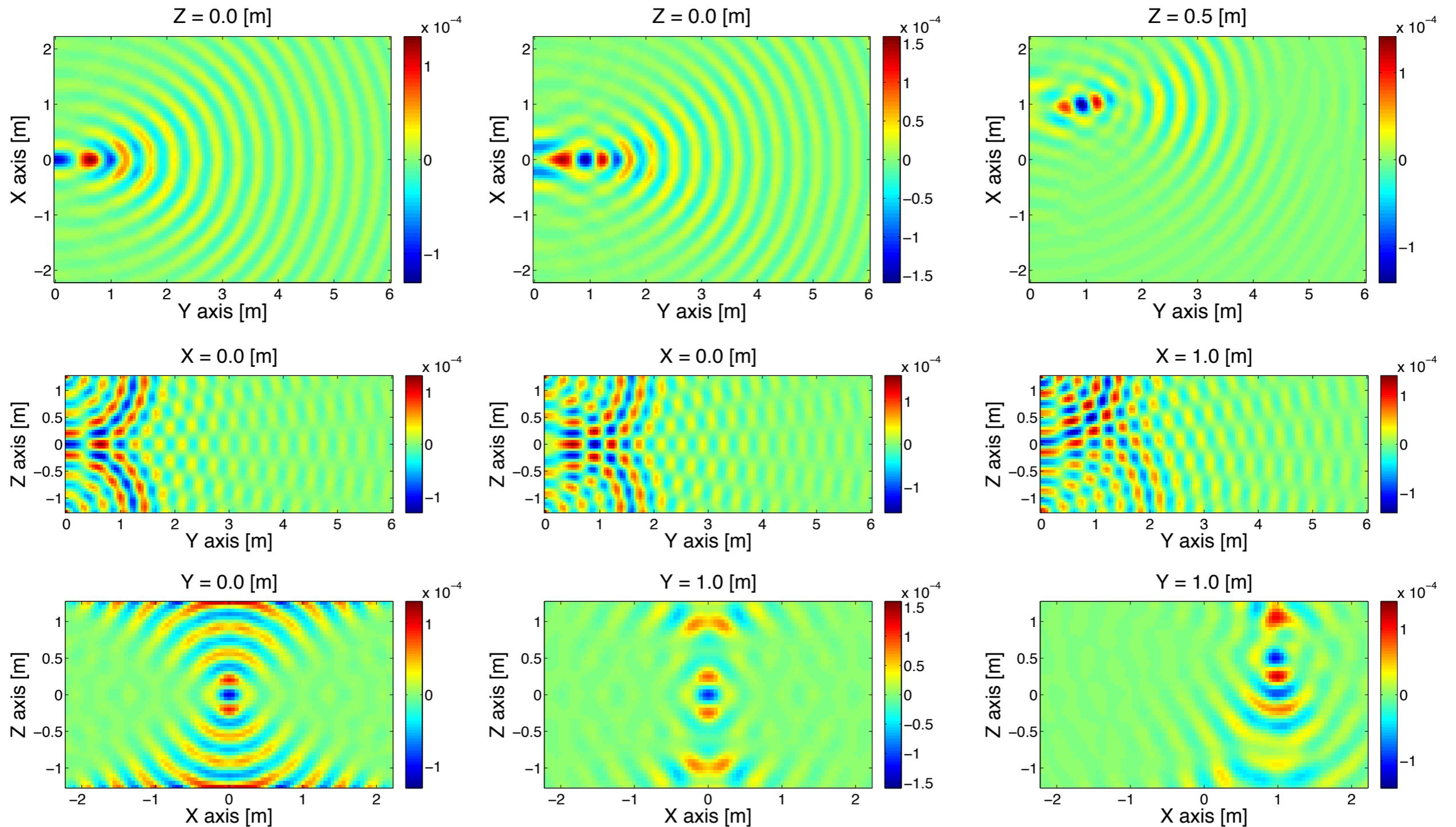
Computer simulation

■ シミュレーション条件

- 解析周波数：1000 Hz
- 音速：343.26 m/s
- 音源：Monopole
- 音源位置：
 - ✱ (0, 0, 0)
 - ✱ (0, 1, 0)
 - ✱ (1, 1, 0.5)
- δ ：0.00000002 m
- スピーカ間隔：0.11 m
- スピーカ数：41 × 2 = 82 ch



Simulation results



(0, 0, 0)

(0, 1, 0)

(1, 1, 0.5)

Concluding remarks

- 時間反転焦点音源の重ね合わせに基づく2直線アレイ間への仮想音像合成
 - 定式化
 - 計算機シミュレーション

- 今後の予定
 - 聴取実験

 - 実環境音場の収録・再現 (for recorded contents)
 - ✳ 岡本ら, 時空間周波数領域クロストークキャンセラを用いた複数平行直線アレイによる音空間収録と再生@10/11 EA研 in NTT CS研けいはんな