

研究背景

音場再現・音場制御

高臨場感再生技術・能動騒音制御技術など
シミュレーションによる検証が多く、客観実験が困難

例: 焦点音源

3次元音場測定

手動測定
Near-Field Scanner(Klippel社)
光による測定[池田+, 2004; 石川+, 2016]
移動ロボット[上原+, 2020] など

本報告の内容

音場自動測定

3次元音場可視化

測定装置

アクチュエータ

x軸方向100 cm, z軸方向50 cmの2 軸アクチュエータ

マイクロホンアレイ

48 ch直線アレイ(マイク間隔2 cm, 全長94 cm)

アレイを移動させながら測定

100×94×50 cm³ の3 次元音場が測定可能

測定プログラム

Algorithm 3D sound field measurement

```
while  $x \leq x_{\max}$  do
  while  $z \leq z_{\max}$  do
    MEASURE IMPULSE RESPONSE
    MOVE  $z$  TO  $z + dz$ 
  end while
  RETURN  $z$  TO  $z_{\min}$ 
  MOVE  $x$  TO  $x + dx$ 
end while
```

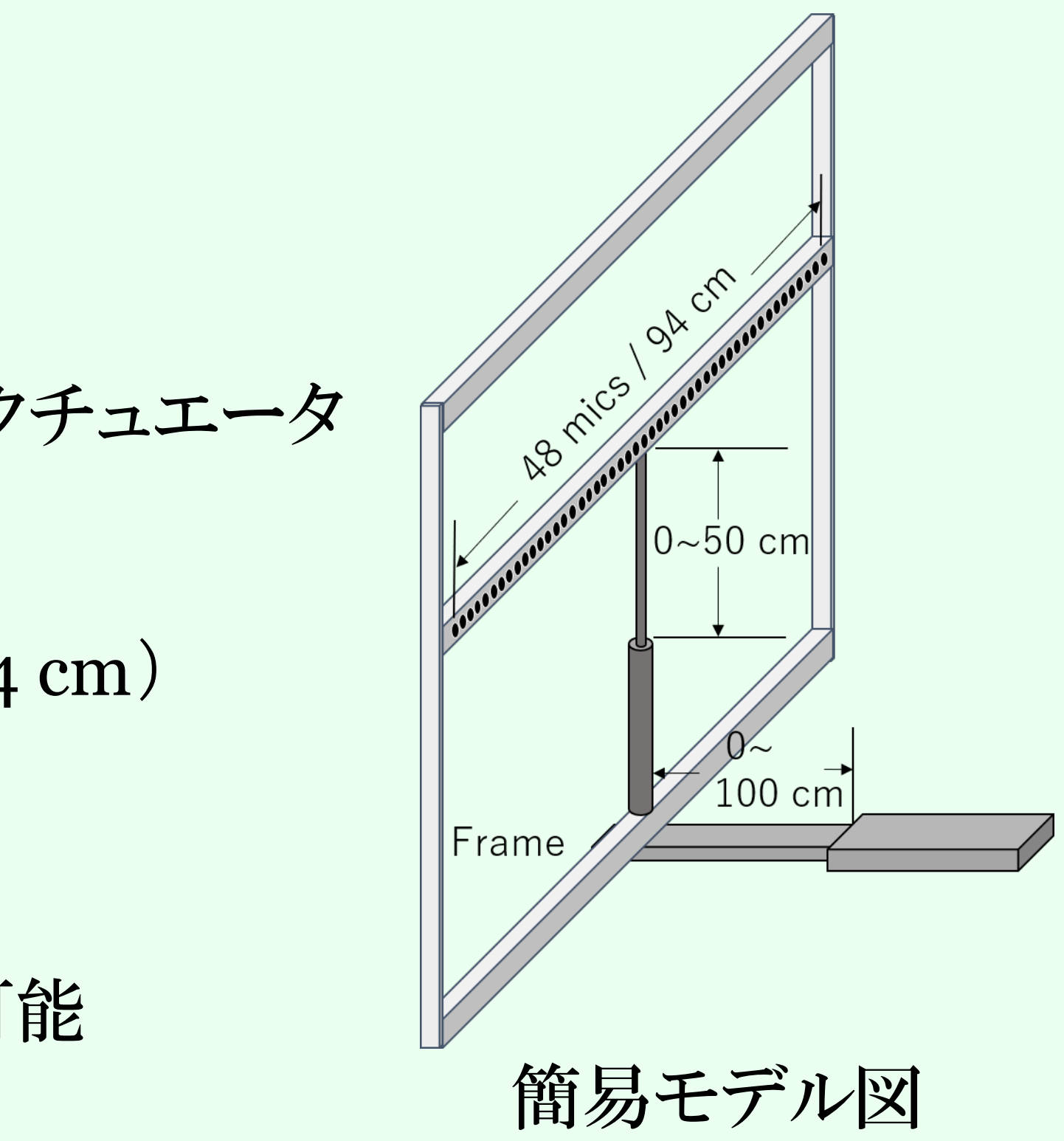
*モータノイズを排除するため、アクチュエータ移動の前後にサーボ電源のON/OFFを行う。

音場測定

測定条件

測定環境: 無響室
サンプリング周波数: 48000 Hz
測定信号: Log-SS, 2 sec
インパルス応答長: 2400 サンプル
SNR / SDR: 常に30 dB以上
スピーカウォームアップあり
マイクロホンゲイン補正あり

最小測定間隔: $dx = dy = dz = 2$ cm
測定範囲: $100 \times 94 \times 50 = 0.47$ m³
測定点数: $51 \times 48 \times 26 = 63648$
測定時間: 約190 min
測定データ容量: 約582 MB



E-mail: ren.yi@uec.ac.jp

Homepage: <https://ninitu.synology.me/>

音場測定の例

測定対象:

A. バスレフ型ラウドスピーカ

エンクロージャー: FOSTEX P1000-E
スピーカユニット: FOSTEX FE103NV

スピーカ振動板中心位置 (-5 cm, 0 cm, -2 cm)
チューニング周波数: 82 Hz [FOSTEXホームページから引用]

B. バックロードホーン型ラウドスピーカ

エンクロージャー: FOSTEX P1000-BH
スピーカユニット: FOSTEX FE103NV

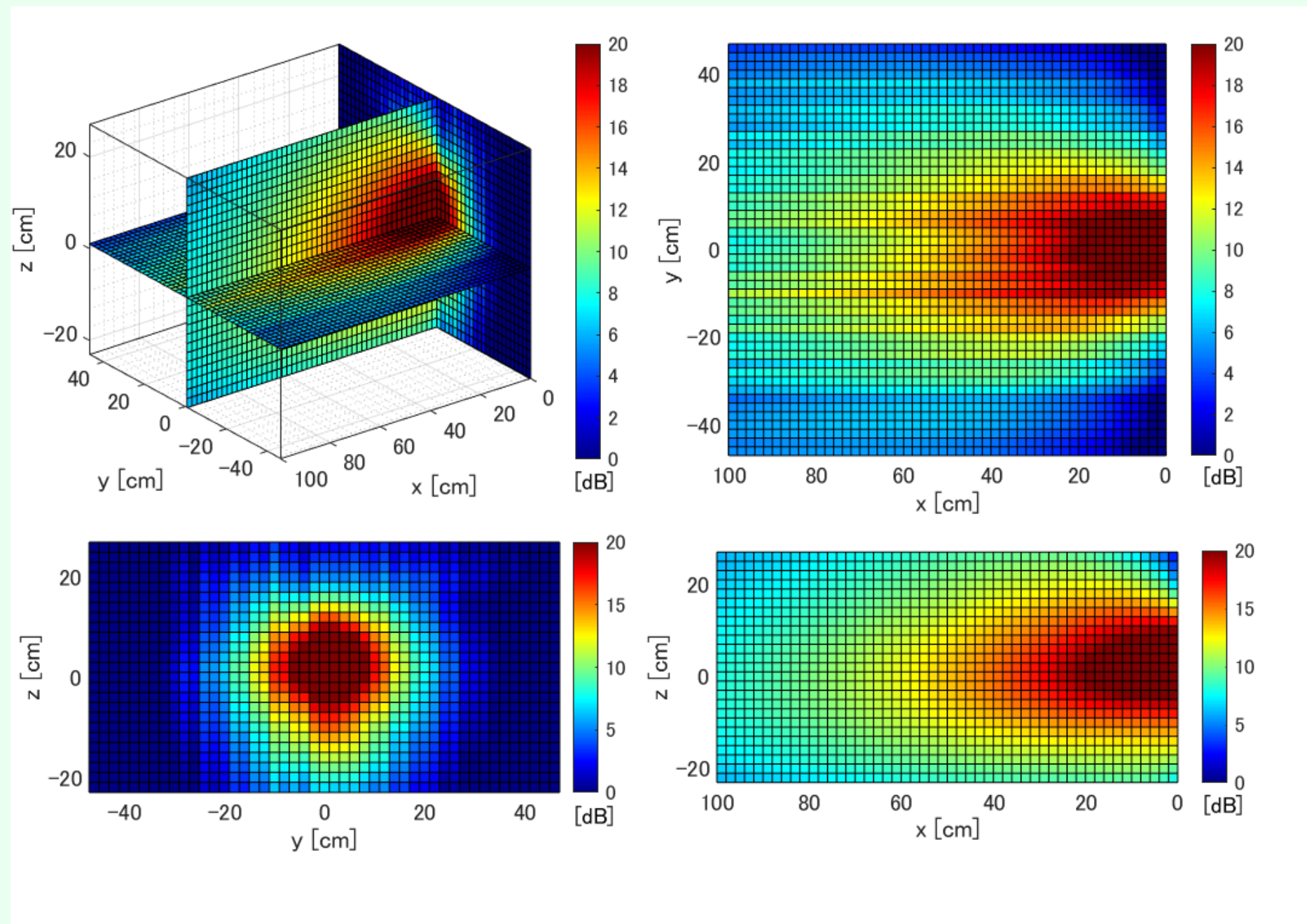
スピーカ振動板中心位置 (-5 cm, 0 cm, 0 cm)
ホーン長: 93 cm [FOSTEXホームページから引用] → ノッチ@922 Hz ($c = 343$ m/s)
クロスオーバー周波数: 270 Hz [FOSTEXホームページから引用]
ホーンの開口部の中心位置 (-5 cm, 0 cm, -12 cm)

可視化

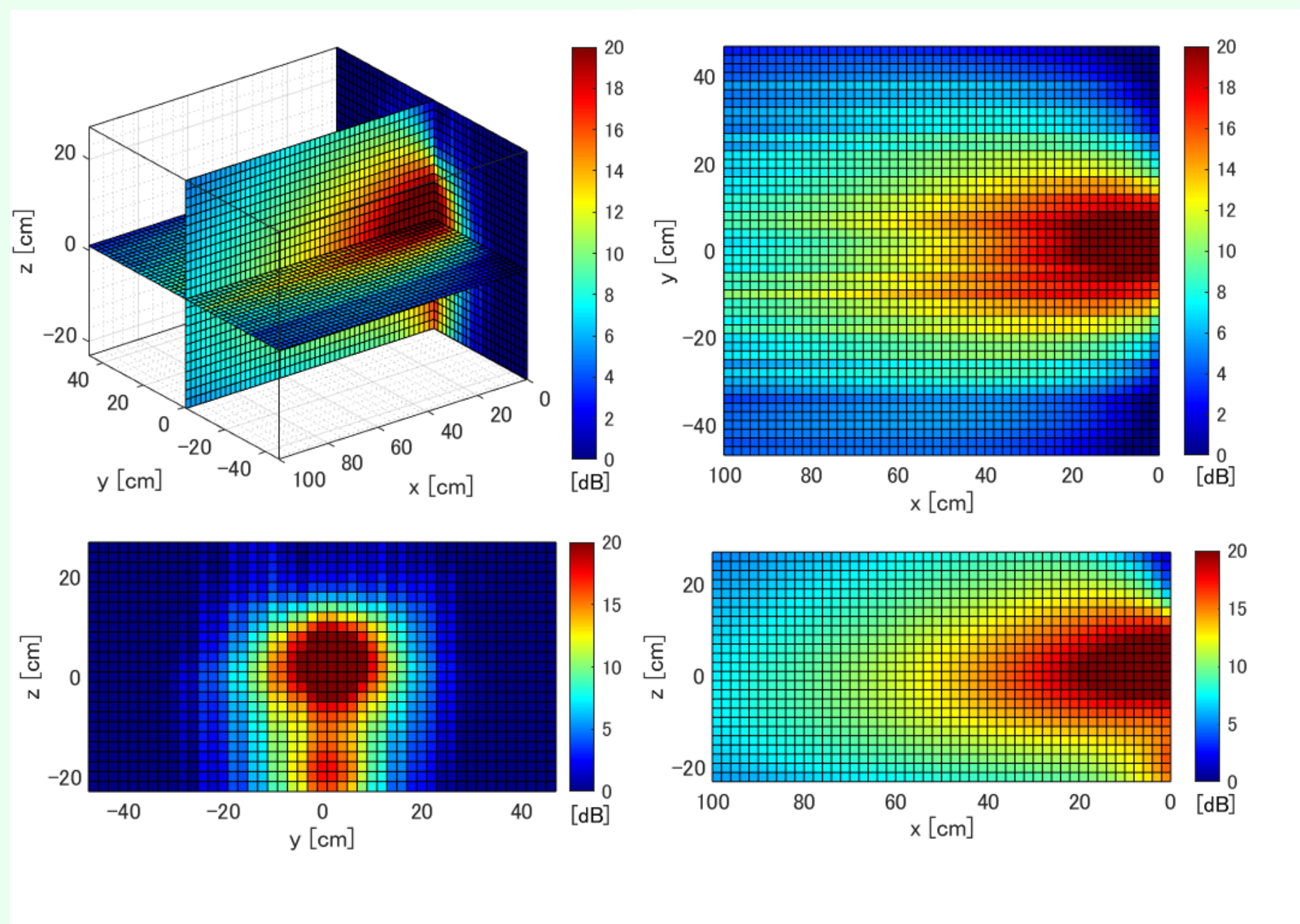
2次元断面

MATLABのsurf関数およびslice関数を用いた3次元合成 (左上 合成された3次元表示; 右上 $x-y$ 平面; 左下 $y-z$ 平面; 右下 $x-z$ 平面)

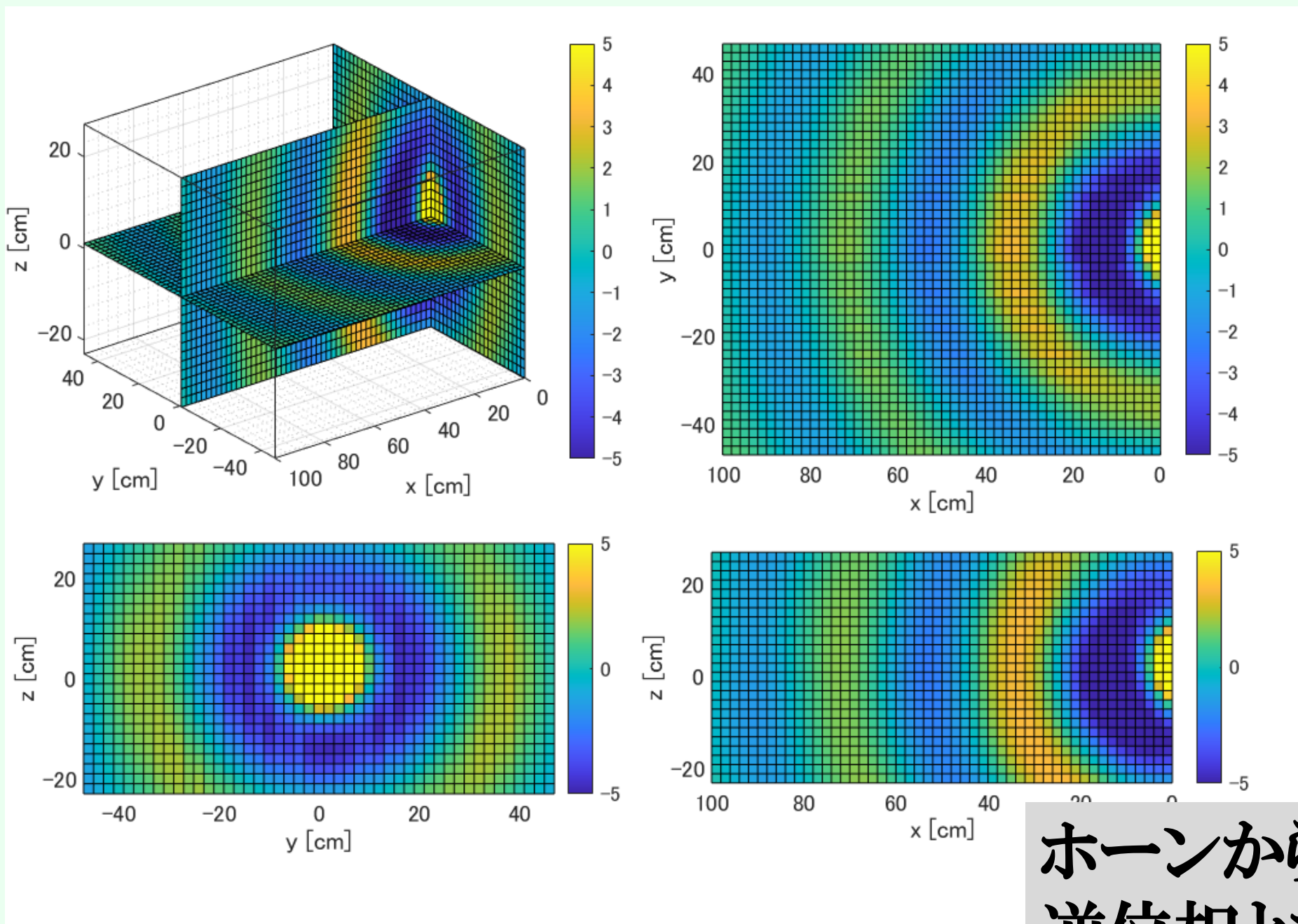
A. 音圧レベル(SPL)



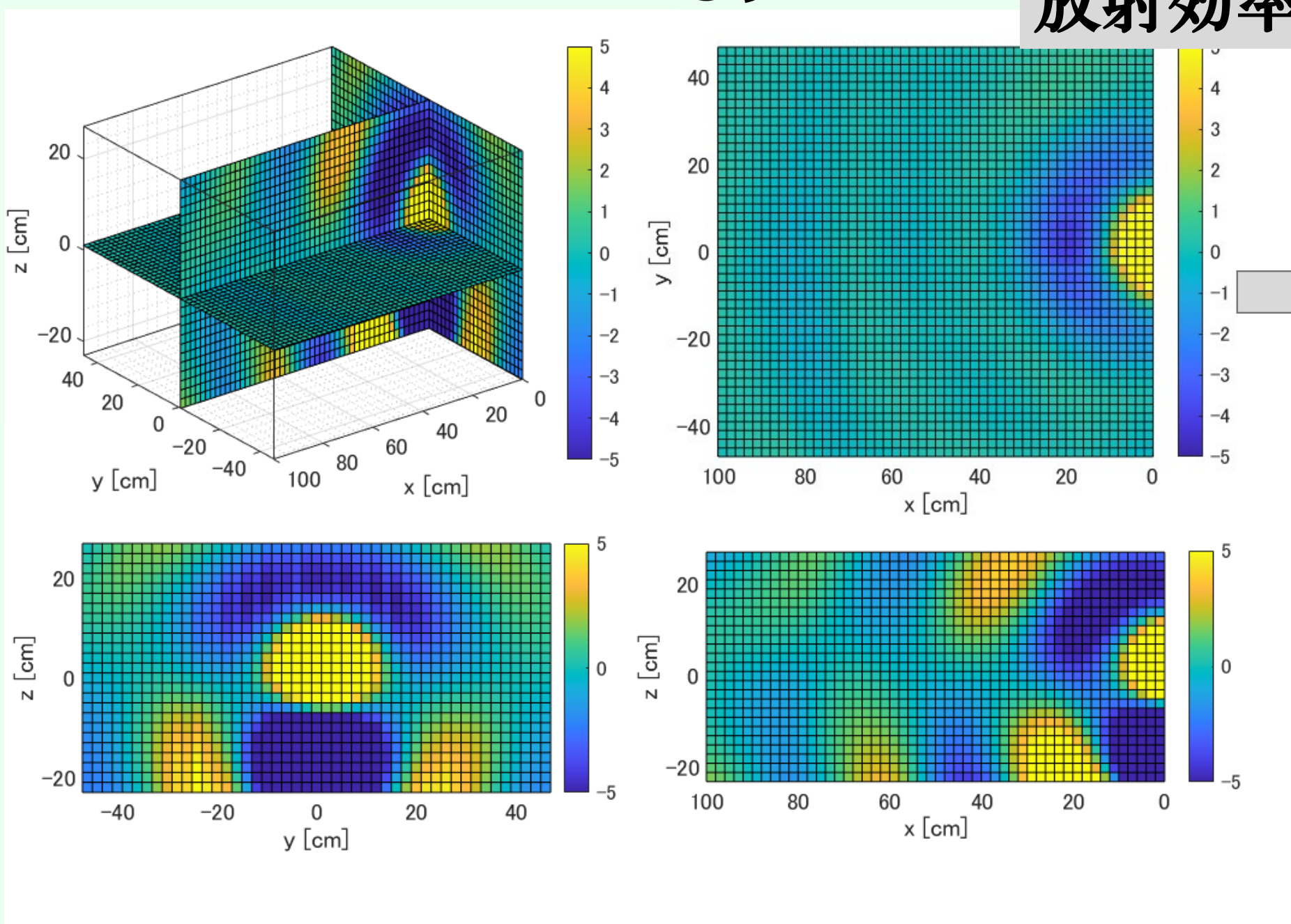
B. 音圧レベル(SPL)



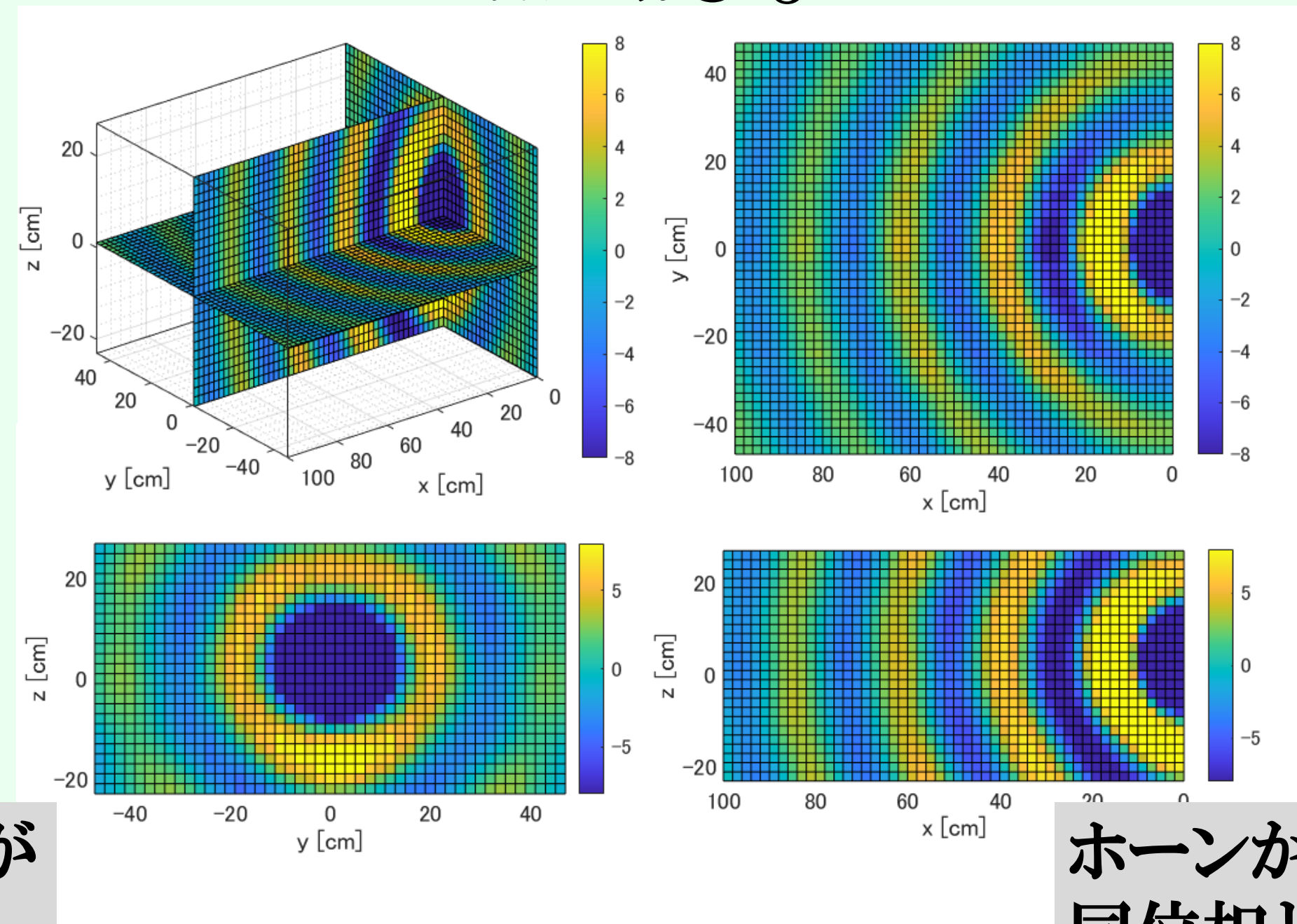
A. 音圧場@920 Hz



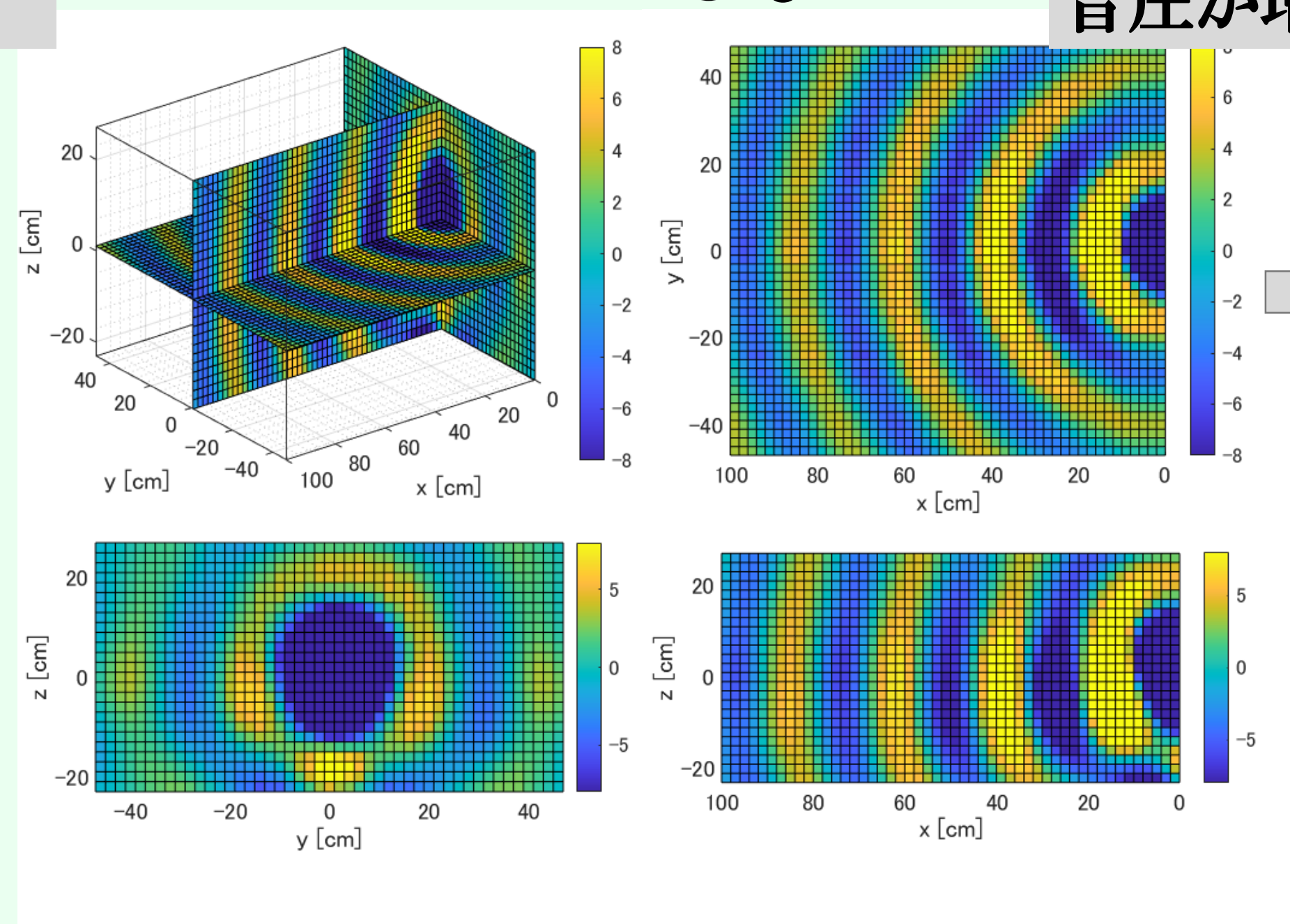
B. 音圧場@920 Hz



A. 音圧場@1500 Hz



B. 音圧場@1500 Hz



ホーンからの音場が
逆位相となるため
放射効率が悪い

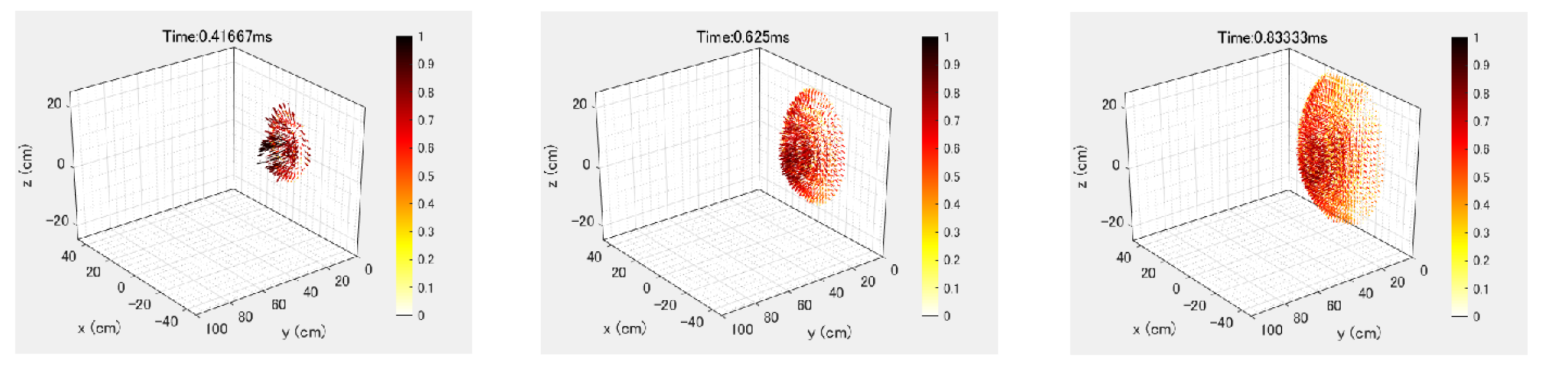
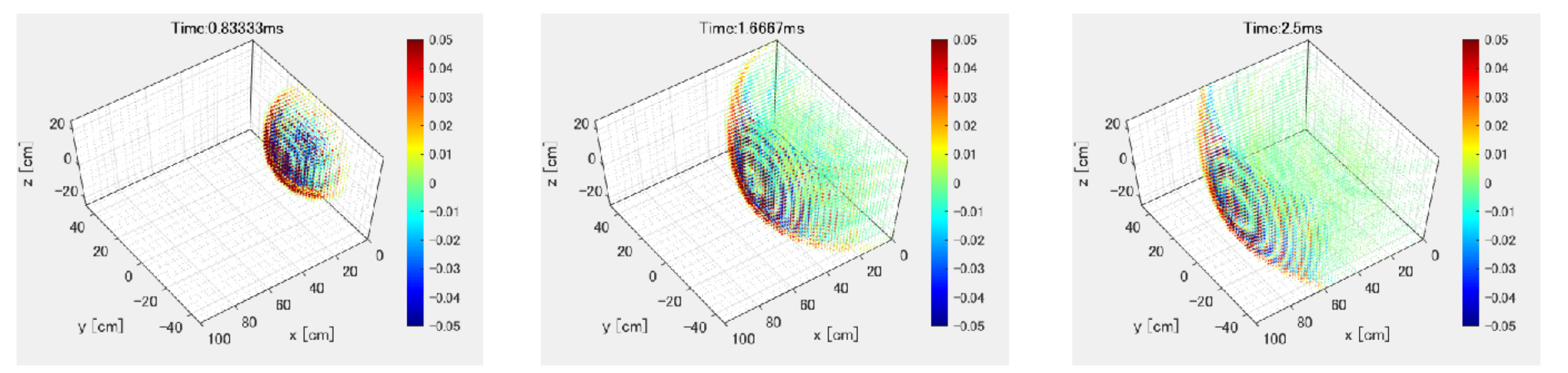
ホーンからの音場が
同位相となるため
音圧が増幅される

3次元音圧場アニメーション

MATLABのscatter3関数を用いた3次元音圧場表示
インパルス応答時間信号の振幅を色と丸の大きさと表現
動画: <https://youtu.be/TjcfH9NLRto>

3次元インテンシティ場アニメーション

MATLABのquiver3関数*を用いた3次元音圧場表示
音圧と近接点の音圧差分を用いてインテンシティを近似
動画: <https://youtu.be/4yRV69lrCGo>
*coneplot関数が重いため



まとめ

本報告では、2 軸アクチュエータと直線マイクロホンアレイを用い、3 次元音場の全自動測定プログラムを作成し、測定した音場の3次元可視化を試みた。

原稿内容の訂正: Fig.4の説明では1000 Hzと載せましたが、実際Fig.4の結果は900 Hzの結果となっております。ここにお詫びの上、訂正させていただきます。