

EA研究会

指向性スピーカと波面合成法を用いた  
近接三次元音場再生システムの  
音源探査による実環境評価

木村敏幸, 山肩洋子, 勝本道哲(NICT),  
岡本拓磨, 矢入聡, 岩谷幸雄, 鈴木陽一(東北大学)

# 超臨場感コミュニケーション

- 立体テレビ
  - リビングで鑑賞
  - 目の前に対象物がある
- 立体遠隔通信会議
  - 同じ場所で会議
  - 目の前に相手がいる
- 波面合成法に着目



リビングで楽しむ  
立体テレビ放送

立体映像による  
コミュニケーション



日本では  
立体テレビ電話

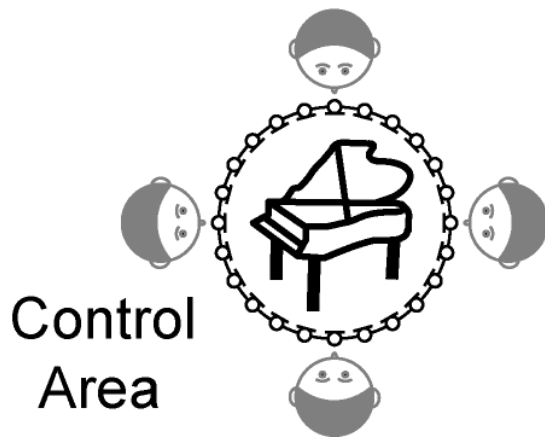


会場で新作サンプルの  
立体映像を遠隔地と共有

# “周囲から聴く”立体音響システム

- 波面合成法を利用
  - スピーカーの周りのあらゆる方向に音を再現
  - 複数の人が何も付けずに囲みながら聴ける

Original Sound Field



Reproduced Sound Field



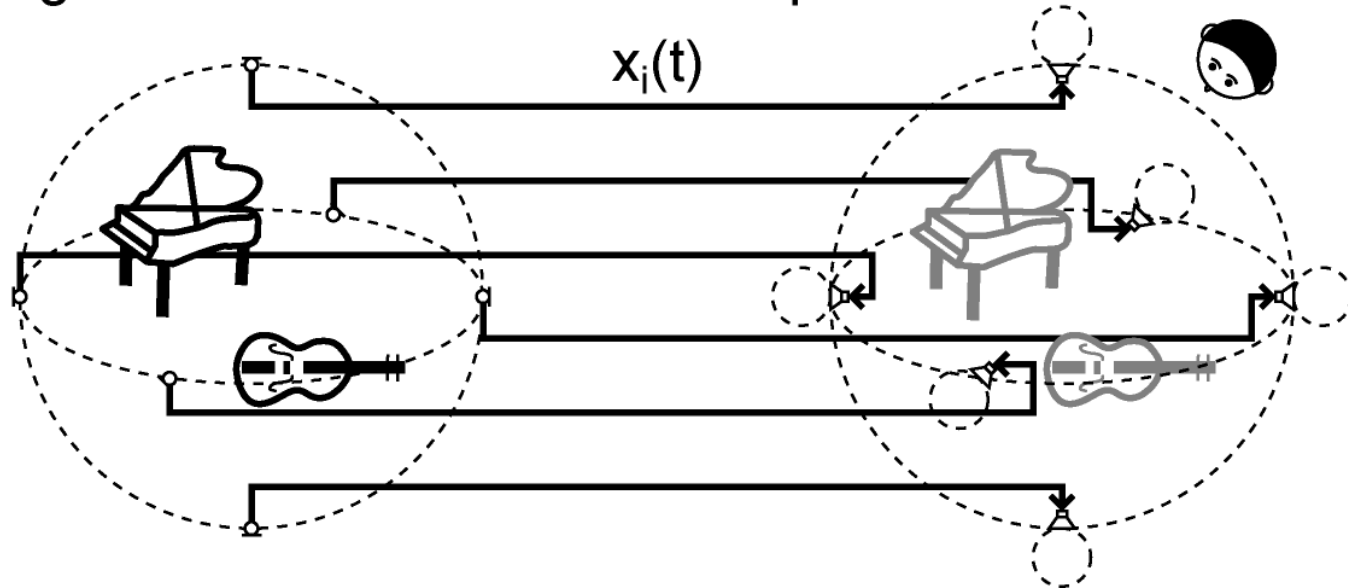
- 指向性スピーカと波面合成法を用いた近接三次元音場再生システムを既に提案

# 提案システムの概要

1. 境界面上のマイクロホンで音を収録
2. 境界面上の指向性スピーカで音を再生
3. アレイの外側の音場が再現
4. アレイの内側で音が鳴っているように感じる

Original Sound Field

Reproduced Sound Field



# 本報告の目的

---

- 指向性スピーカと波面合成法を用いた近接三次元音場再生システムの実装
  - マイクロホンアレイ
    - 包囲型マイクロホンアレイ(at 東北大学)
  - スピーカアレイ
    - 放射型スピーカアレイ
- 実装したシステムの実環境における性能評価
  - 音源探査システムによって音像位置を推定

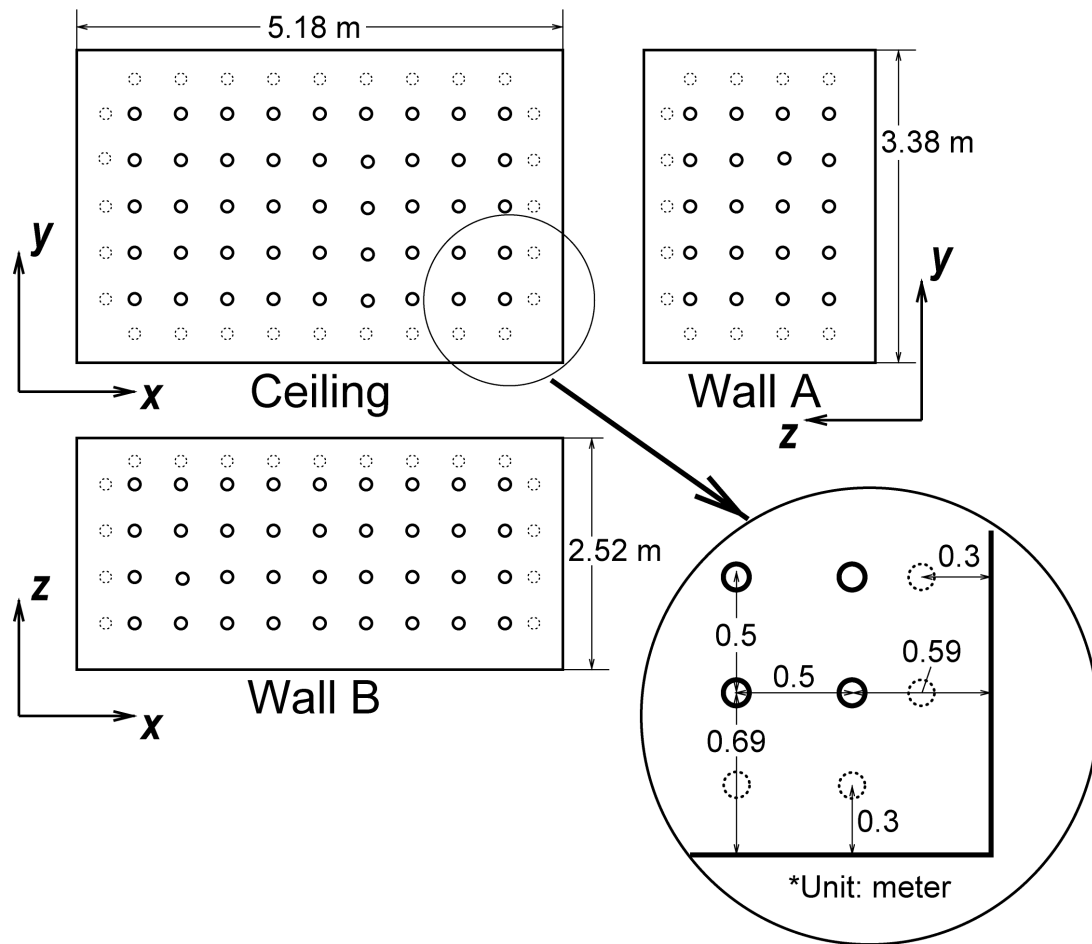
# 包囲型マイクロホンアレイ

- 東北大学電気通信研究所の設備を利用
  - 残響時間
    - 150 ms
  - 防音加工
  - 壁面に吸音マット
  - マイクロホン
    - B&K: Type 4951
    - 157個
  - マイクロホンアンプ
    - B&K: Type 2694
    - 10台(1台あたり16 ch)



# マイクロホンの配置

- マイクロホン間隔...50 cm
- 壁からの距離
  - 30 cm
- 狭壁面(Wall A)
  - 20(=5×4)(2面)
- 広壁面(Wall B)
  - 36(=9×4)(2面)
- 天井面(Ceiling)
  - 45(=9×5)(1面)



# 放射型スピーカアレイ

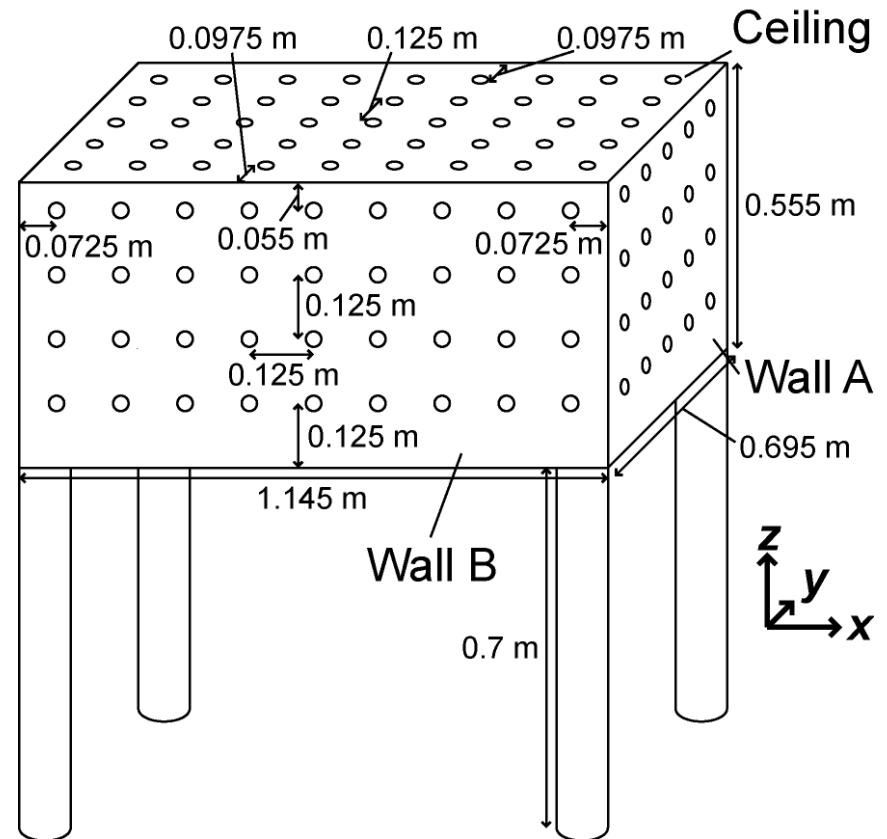
- 新たに製造
  - 大きさ... マイクロホンアレイの1/4
  - スピーカユニット
    - AURASOUND: NSW1-205-8A相当品
    - 157個
    - 指向特性... 外向き
  - スピーカアンプ
    - 特注品
      - 157 ch分





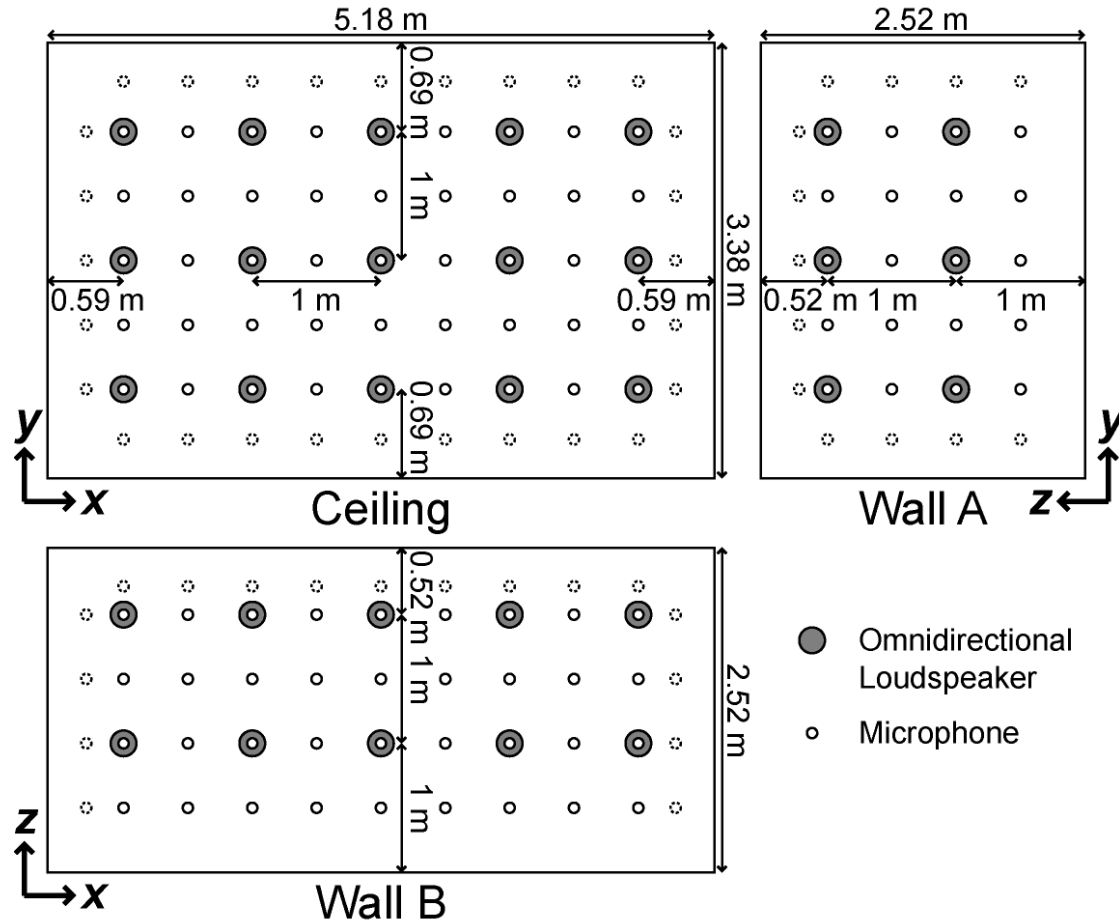
# スピーカユニットの配置

- スピーカユニット間隔... 12.5 cm
- 狭壁面(Wall A)
  - 20(=5×4)(2面)
- 広壁面(Wall B)
  - 36(=9×4)(2面)
- 天井面(Ceiling)
  - 45(=9×5)(1面)
- 床上げ
  - 0.7 m



# 室内インパルス応答の測定

- 室内に無指向性スピーカを配置
  - Solid Acoustics: SA-335
  - 30ヶ所
- 残響時間
  - 150 ms
- 室温
  - 20°C
- 暗騒音レベル
  - 18.4 dB(A)
- 音圧レベル
  - 85.6 dB(A)
    - スピーカから1 m



# 測定条件

---

- TSP信号を再生し, 同期収録した後, FIRフィルタを算出
- TSP信号
  - サンプリング周波数...48 kHz, 量子化ビット...16 bits
  - サンプル長...65536点
  - 再生機器...M-Audio: FireWire 410
- 157チャンネル収録機器&ソフトウェア
  - Mark Of The Unicorn: HD192 × 14
  - Steinberg: Nuendo 3 × 4
- FIRフィルタ
  - タップ長...14400点, 同期加算...16回

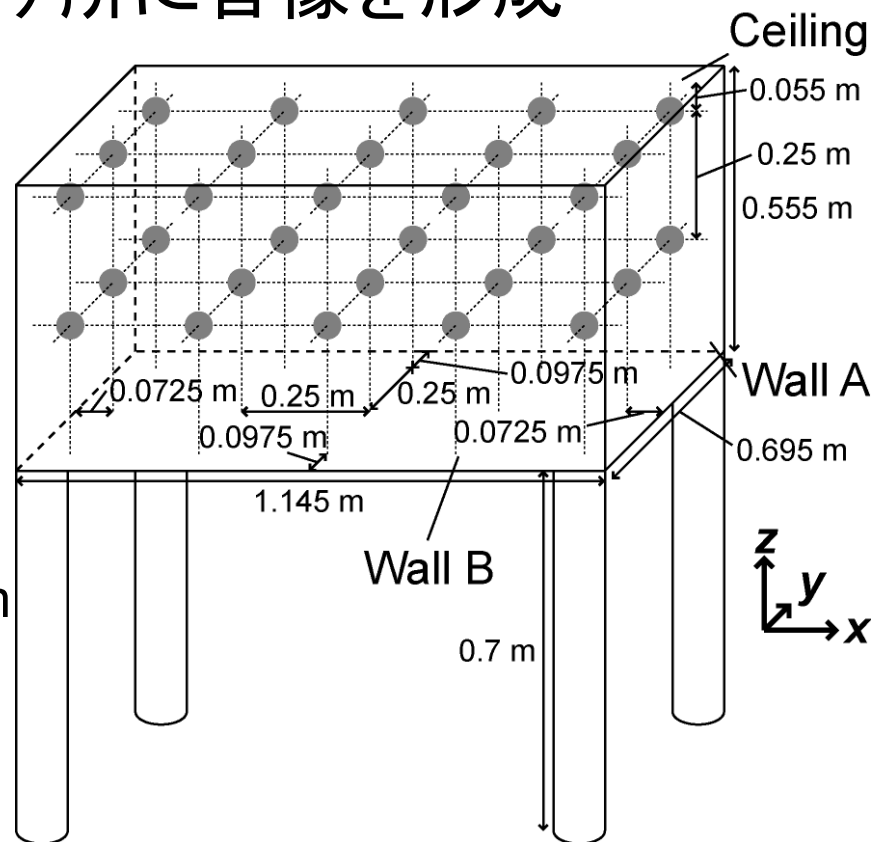
# 157チャンネル信号の作成

---

- 室内インパルス応答を音源信号に畳み込み
- 音源信号
  - 24 kHz帯域の白色雑音
  - サンプリング周波数...48 kHz, 量子化ビット...16 bits,
  - 長さ...10 s, フェードイン&アウト時間...1 ms
- 室内インパルス応答
  - サンプリング周波数を192 kHzとみなす
    - マイクロホンアレイの大きさを1/4にするため
    - 残響時間...150 ms(測定時)→37.5 ms
  - 畳み込み前にリサンプリング処理
    - サンプリング周波数...192 kHz(測定時) →48 kHz

# 音像の形成

- 実験室内において157チャンネル信号を放射型スピーカアレイで再生し, 30ヶ所に音像を形成
- 残響時間...180 ms
- 室温...22°C
- 暗騒音レベル...22 dB(A)
- 音圧レベル
  - 71 dB(A)
    - スピーカ中心の音像から1 m
- 157チャンネル信号
  - 再生機器&ソフトウェア
    - Digidesign: Pro Tools HD



# 音源探査

- 17ヶ所に音響インテンシティプローブを配置

- 音源探査

- インテンシティプローブ

- 小野測器: MI-6420

- 解析装置

- 小野測器: DS-2100
    - 小野測器: DS-0285

- ソフトウェア

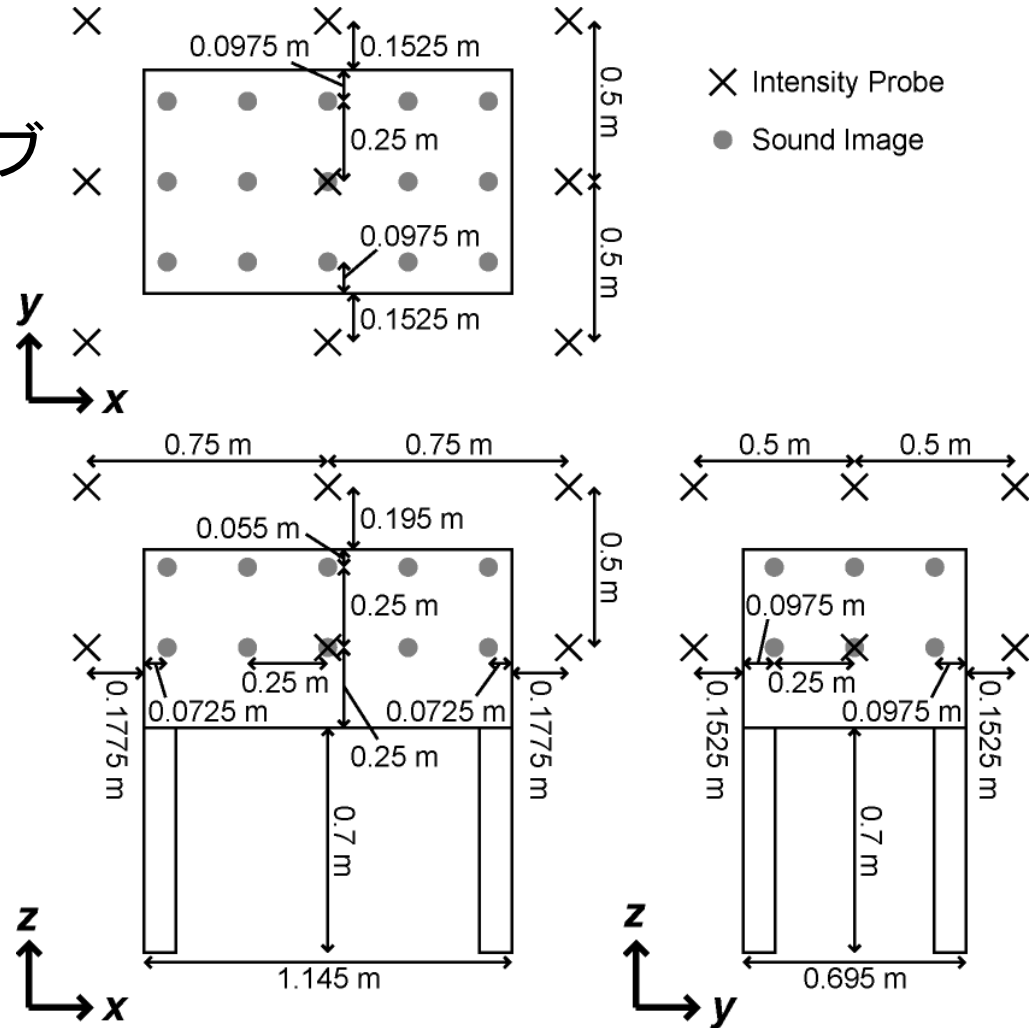
- 小野測器: DS-0225

- 周波数範囲

- 150 Hz–5 kHz

- 計測データ

- 音の三次元方向
    - 大きさ



# 探査結果からの音像位置推定

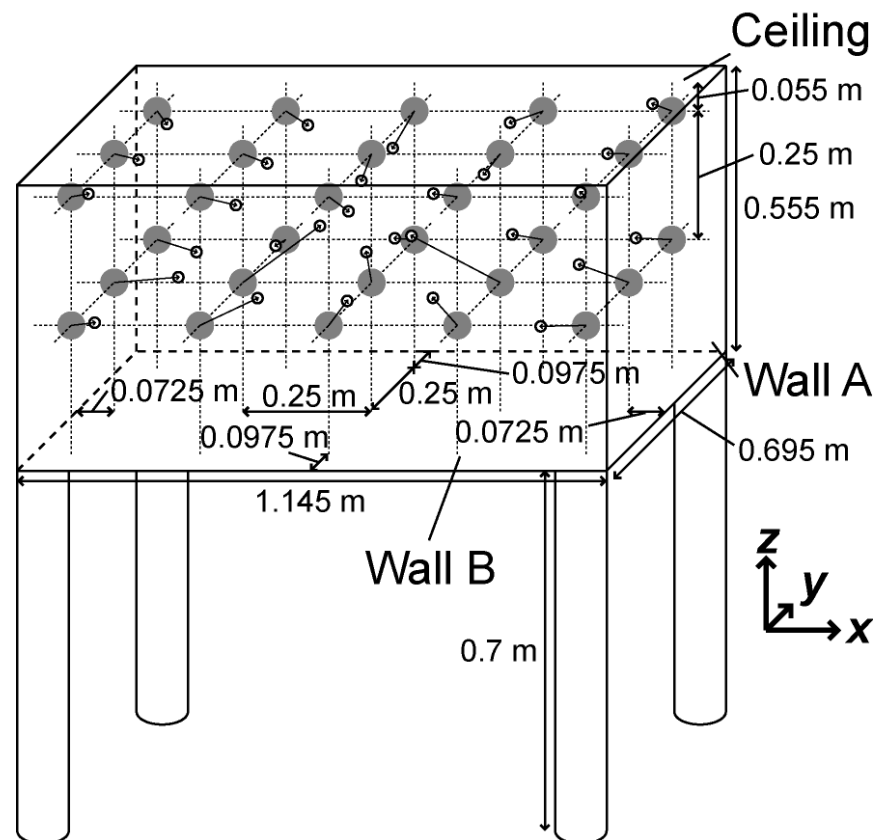
---

$$\mathbf{r}_E = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (\mathbf{r}_j + d_j \mathbf{l}_j)$$

- $\mathbf{r}_E$ : 推定した音像位置の位置ベクトル
- $\mathbf{r}_j$ : 音響インテンシティプローブの位置ベクトル
- $\mathbf{l}_j$ :  $\mathbf{r}_j$ における音像の方向ベクトル
  - 音の三次元方向に関する計測データから算出
- $d_j$ :  $\mathbf{r}_j$ から音像位置までの距離
  - 音の大きさに関する計測データから算出
- $N$ : 推定に用いたプローブ位置の数
  - 入力した音像位置に最も近い上位2点

# 音像位置の推定結果

- 灰色の円
  - 入力した音像位置
- ○
  - 推定した音像位置
- 円から○までの矢印
  - 位置推定の誤差
  - 短いほど良い
- 推定した音像位置
  - 入力の位置にほぼ近い
  - 実装システムは十分な実環境性能を有する
- 位置推定の誤差
  - 平均8.4 cm, 最大20 cm以内





# まとめ

---

- 指向性スピーカと波面合成法を用いた近接三次元音場再生システムを実装
  - 包囲型マイクロホンアレイを利用
  - 放射型スピーカアレイを製造
- 実装システムの実環境性能を音源探査によって評価
  - 所望の位置に音像が定位
  - 実装システムは十分な実環境性能を有する

# 今後の課題

---

- 実装システムの実環境性能評価
  - 主観評価実験(音像探索実験)
- 実用的なシステムの構築
  - マイクロホンやスピーカの数がより少ない場合のシステム
  - マイクロホンアレイの大きさがスピーカアレイの大きさと同じでない場合のシステム
- 立体映像と音響を鑑賞するシステム
  - 周囲から立体映像を見ることができるシステムと統合