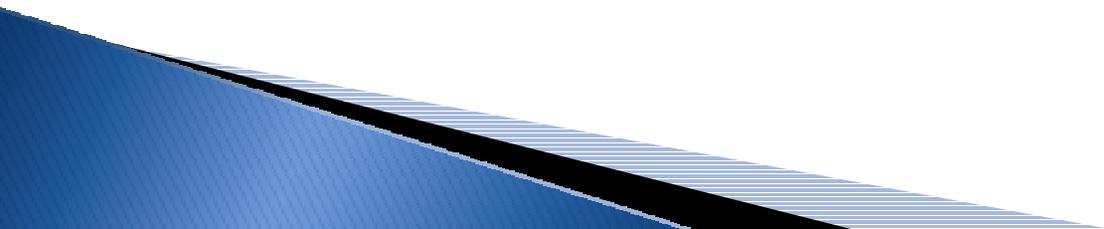


# 少数のスピーカと波面合成法を用いた三次元音場再生システムの提案及び性能評価

直江宗紀, 木村敏幸 (NICT/東京農工大)  
山肩洋子, 勝本道哲 (NICT)

# 目次

1. 背景
  2. 目的
  3. 提案システム
  4. 実験
  5. 結果
  6. 解析
  7. 考察
  8. まとめ
- 

# 背景

## ▶ 立体音場再生

- 非常に盛んに研究されている
  - バーチャルリアリティシステム
  - 遠隔コミュニケーションシステム

## ▶ 立体音場再生の目指す所

- 立体映像との連携
- 高い臨場感の提供
  - エンターテイメントの枠だけに収まらない
  - 高い水準でのコミュニケーションが図れる

# 本研究の注目手法

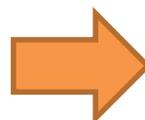
## ▶ 波面合成法

- 立体音場再生技術の一つ
- Huygensの原理に基づいて音場を忠実に再現
  - 原音場に配置したマイクロホンアレイで音を収録
  - 再生音場に配置したスピーカアレイで収録音をそのまま再生

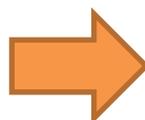
# 波面合成法の現状

## ▶ 既存研究だと

- 二次元平面上のみ再現
  - 線形スピーカアレイ
  - 水平面上の円状スピーカアレイ
- 三次元システムの場合  
使用スピーカ、機器が多数
  - 構成システムの煩雑化
  - コストの増大
  - 設置面積の増大



上下方向の  
音場制御が  
無い



他のシステム  
と組合せにくい

聴取者の視界  
の妨げ

# 方法の検討

- ▶ スピーカの数には減らせないのか？



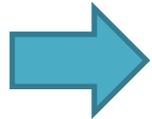
- ▶ 聴覚性能に基づけば…
  - 非常に低い周波数の忠実な波面合成なら少数で実現可能



- ▶ 少数のスピーカ数でも三次元音場を再現できる可能性

# 目的

- ▶ 三次元空間の音場制御
  - 上下方向も加えた制御方法に



音場の再現空間の向上

- ▶ 他のシステムとの親和性向上
  - システムのシンプル化



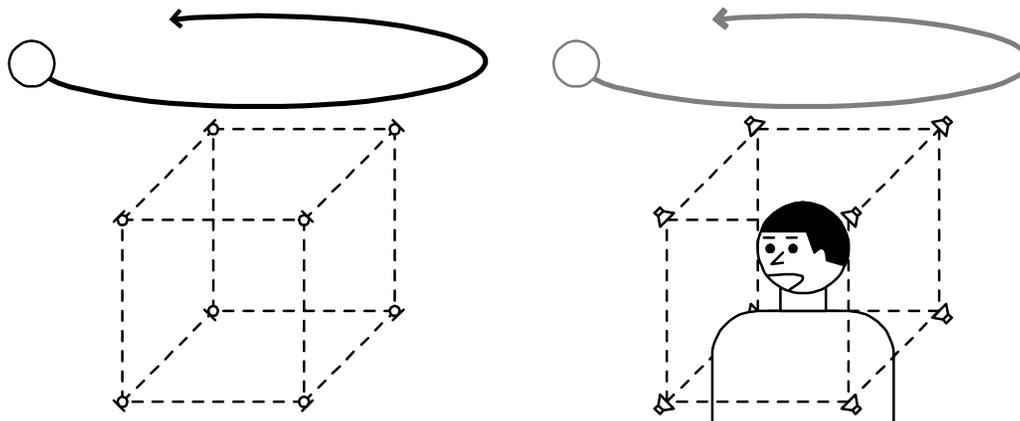
聴取者の視界に入らない

少ない設置面積で  
他のシステム設置可能

# 提案システム(1)

## ▶ 概要

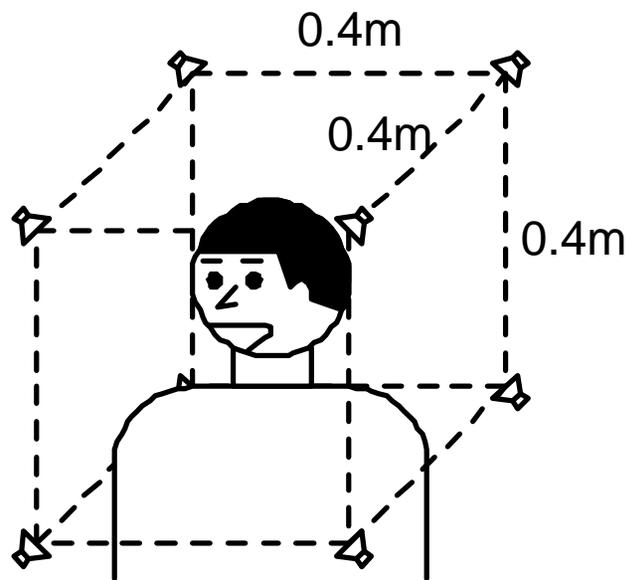
- 立方体型マイクロホンアレイで音を収録
- 立方体型スピーカアレイで音を再生
  - マイクロホンとスピーカ位置は対応させる



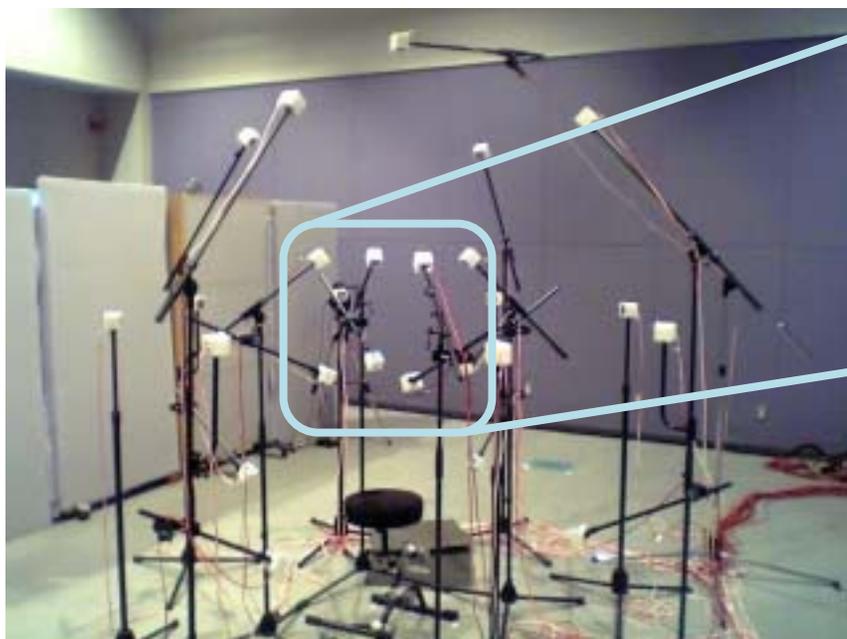
# 提案システム(2)

## ▶ スピーカアレイの構築

- 立方体の頂点位置に配置
  - 立方体の中心は聴取者になっている
- 立方体の一辺の長さは0.4m
- スピーカの向きは聴取者に



# 提案システム(3)

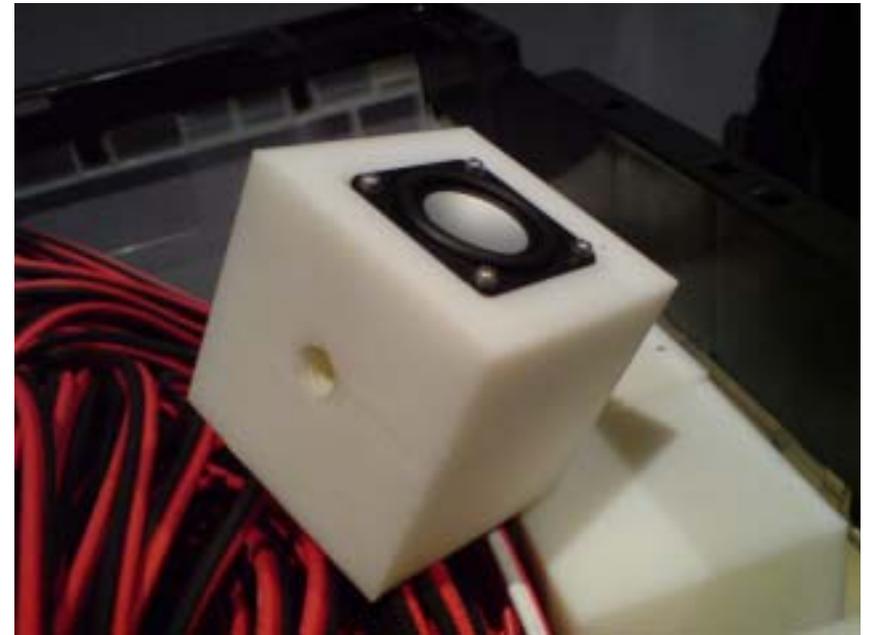
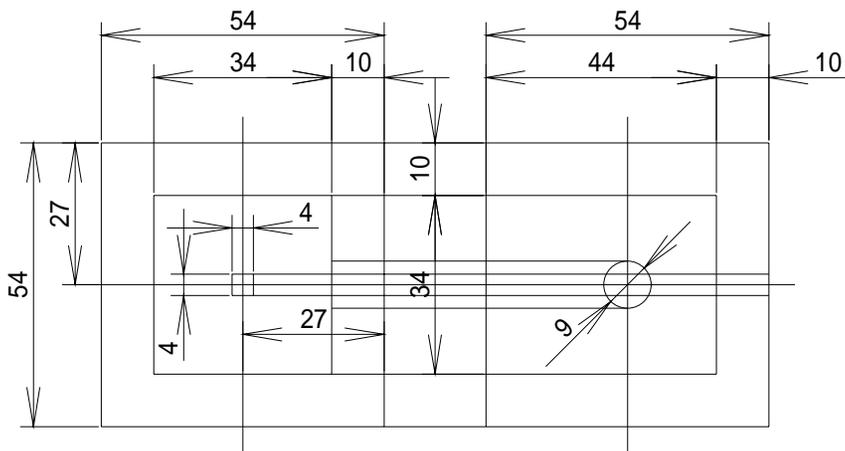


定位実験時の  
システム全体写真



提案システム部分のズーム

# スピーカユニットの作成



スピーカユニット設計図

作成したスピーカユニット

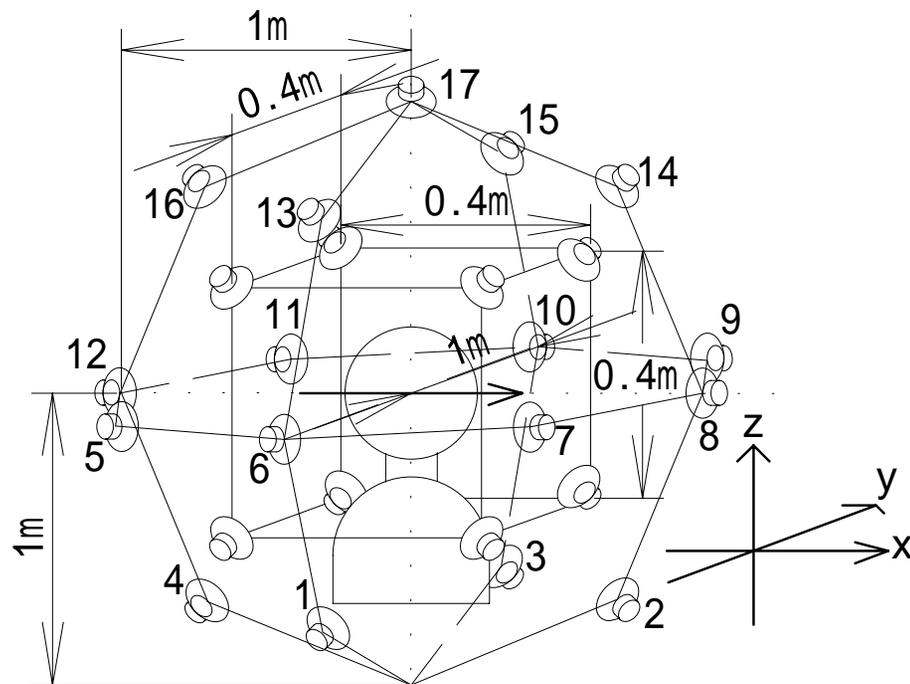
# 定位実験(1)

## ▶ 実験概要

- スピーカ25個を使用
  - ・ うち8個が提案システムのスピーカアレイ
  - ・ 残りは統制条件用スピーカ
- 波面合成法の音と統制条件の音を比較

## ▶ 被験者

- 聴力会話域正常な7名
  - ・ 男性6名、女性1名



# 定位実験(2)

## ▶ 実験手順

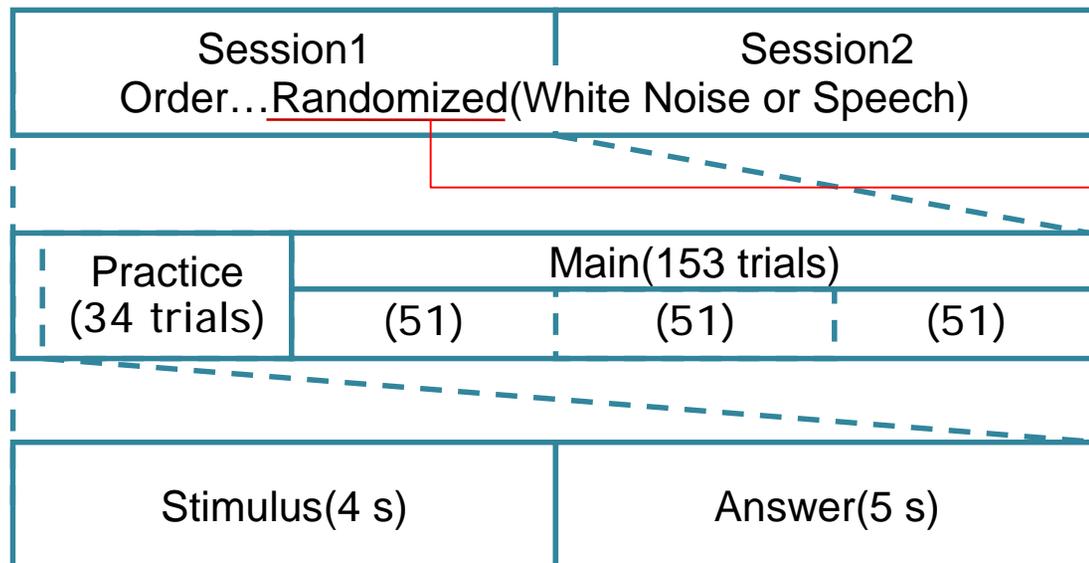
- 1音源につき51種類の刺激
- 1音源ごとに練習試行と本試行

音源: 白色雑音、音声の2種類

音源毎に統制条件、音像距離1m、音像距離3mの3条件  
すべてに17方向の刺激を用意

意

Localization Test



試行全体を音源、聴取者別に3回ランダムイズ



音源の提示順序は被験者、音源で異なる

# 定位実験(3)

## ▶ 実験手順

- 方向に番号を割り振り聴取者に知らせる
- 番号を回答用紙に記入
- 聴取者の首の動作を許可
- 本試行の途中で休憩を設ける

## ▶ 実験環境

残響時間	180ms
暗騒音レベル	23dB(A)
聴取位置における音圧レベル	60dB(A)

# 結果(1)

- ▶ 全体の正答率について
  - 提案システムの正答率は75%前後
  - 全体的な性能としては良い

	白色雑音	音声	平均
統制条件	98%	96%	97%
音像距離1m	<b>76%</b>	<b>77%</b>	<b>76%</b>
音像距離3m	<b>76%</b>	<b>74%</b>	<b>75%</b>



各々の方向に対する正答率はどうか？

# 結果(2)

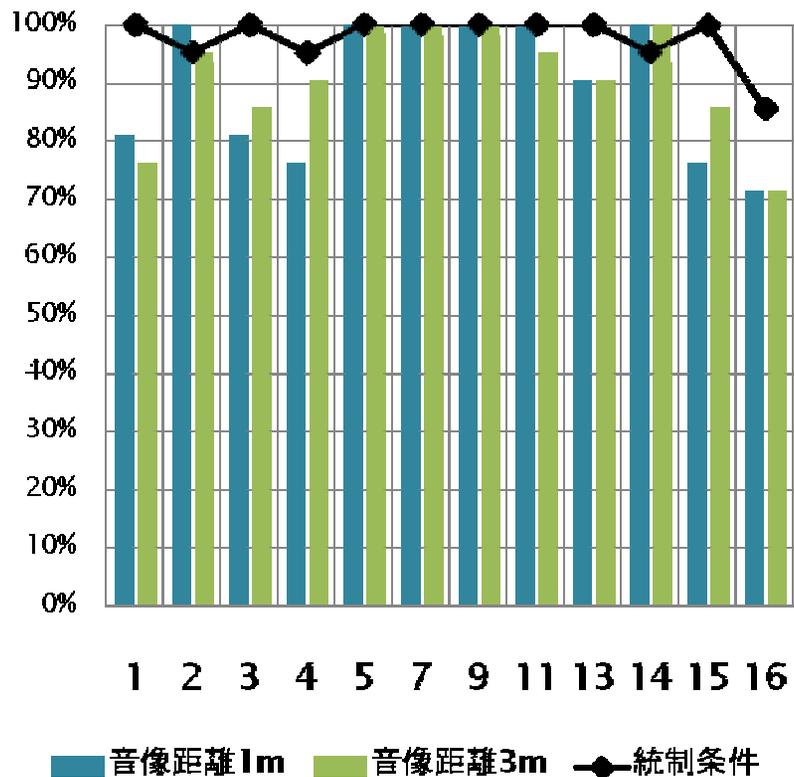
- ▶ 方向ごとの正答率について
  - 正答率を方向別に分析
  - カイ二乗検定による有意差の有無



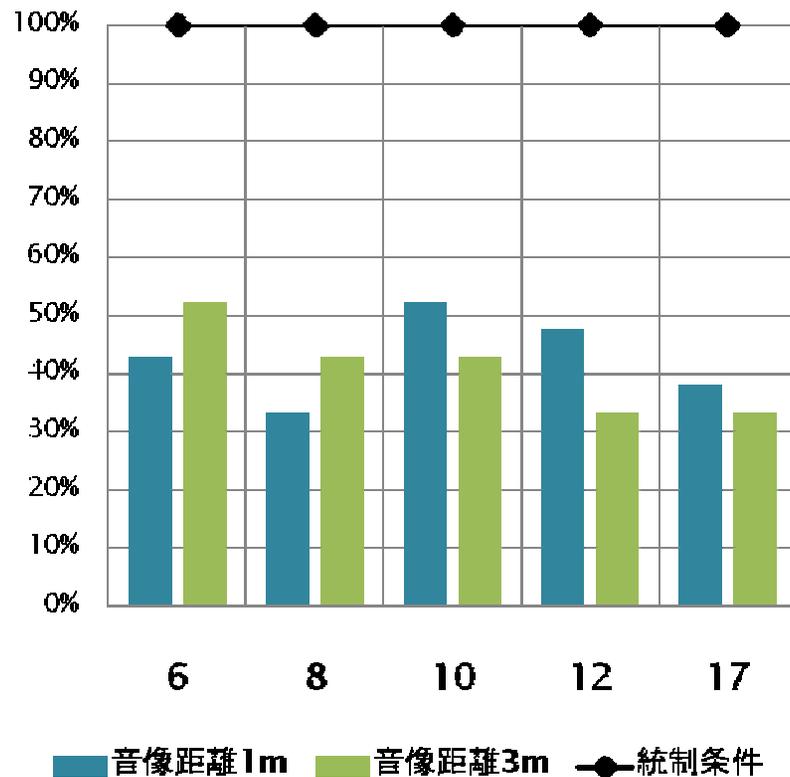
正答率および検定による有意差で評価

# 音源ごとの正答率(白色雑音)

•17方向中12方向で1%有意差なし



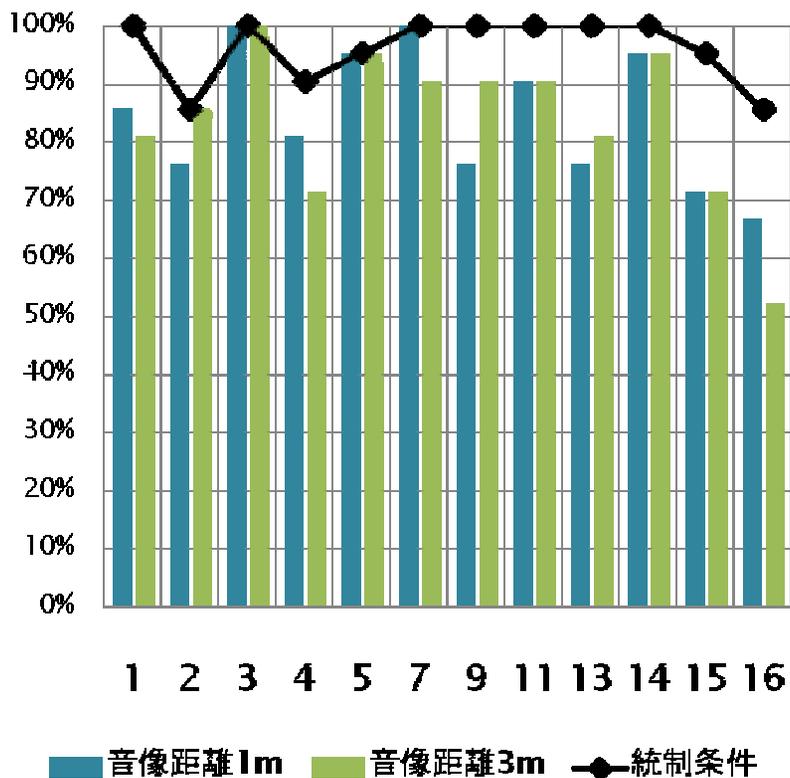
正答率の良かった方向番号



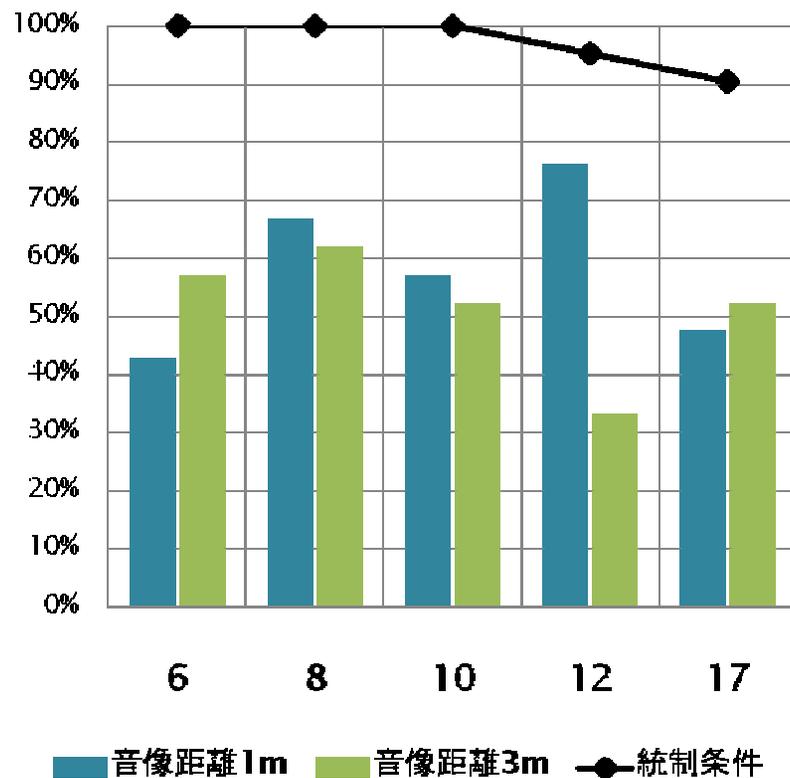
正答率の低かった方向番号

# 音源ごとの正答率(音声)

•17方向中12方向で1%有意差なし



正答率の良かった方向番号



正答率の低かった方向番号

# 正答率の差(1)

- ▶ 正答率グラフから
  - 正答率が統制条件と非常に差のある提示方向がある



- ▶ カイ二乗検定
  - 正答率の低い方は有意差が見られた
    - 有意水準1%

# 正答率の差(2)

## ▶ 原因を探る

- どのように聴こえたのか
  - ・ 音像がぼやけていたのか？
  - ・ 音像に偏りがあったのか？



- どのような回答をしたのかを解析する
  - ・ 正答率、有意差のある方向のみ解析

0% 20% 40% 60% 80% 100%

白色雑音:1m



白色雑音:3m



音声:1m



音声:3m



## 方向番号6の回答率

正答・・・ 6(右方)

誤答・・・ 7(右前方)

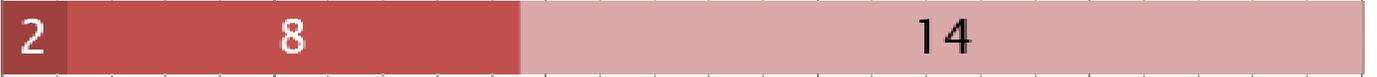
13(右上方)



上方や前方に偏り

0% 20% 40% 60% 80% 100%

白色雑音:1m



白色雑音:3m



音声:1m



音声:3m



## 方向番号8の回答率

正答・・・ 8(正面)

誤答・・・ 14(上前方)



上方に偏り

0% 20% 40% 60% 80% 100%

白色雑音:1m



白色雑音:3m



音声:1m



音声:3m



## 方向番号10の回答率

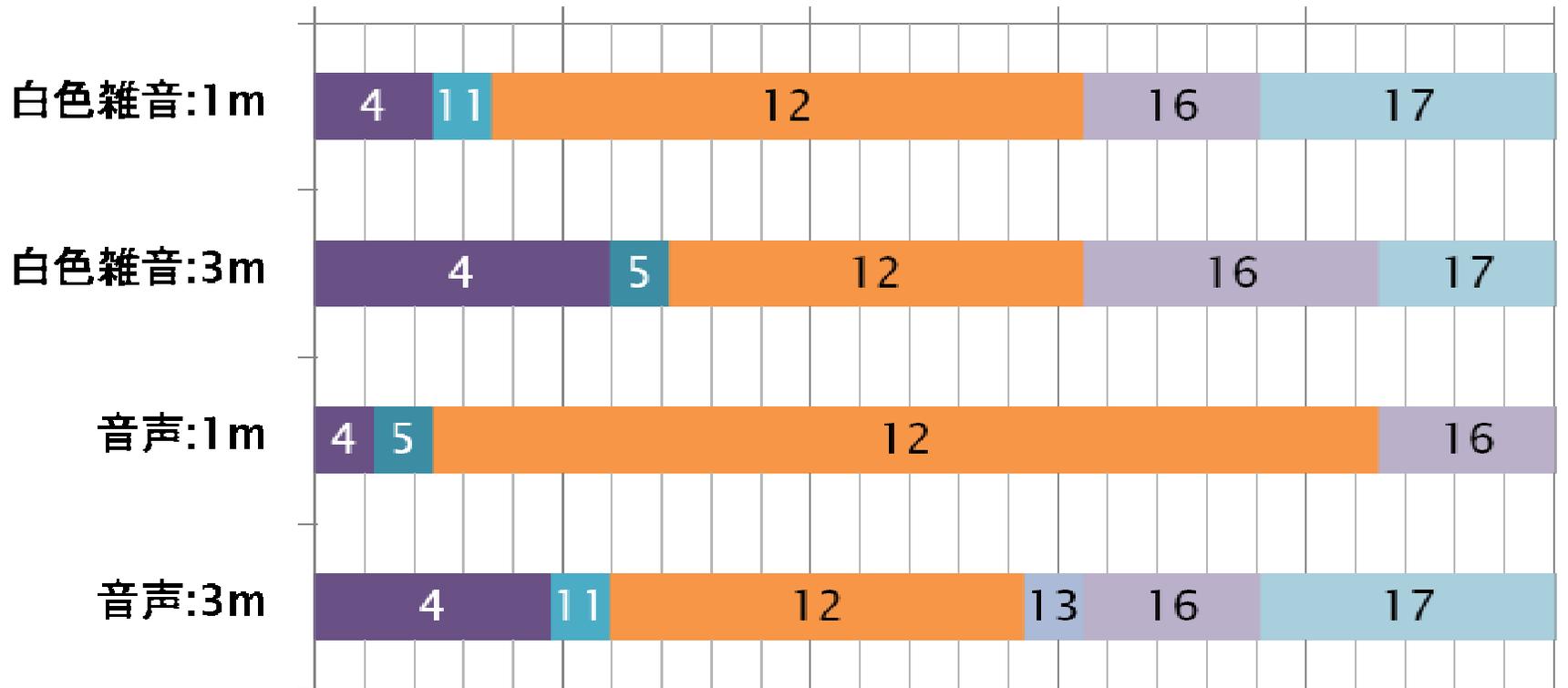
正答・・・ 10(左方)

誤答・・・ 3(左下方)



下方に偏り

0% 20% 40% 60% 80% 100%



## 方向番号12の回答率

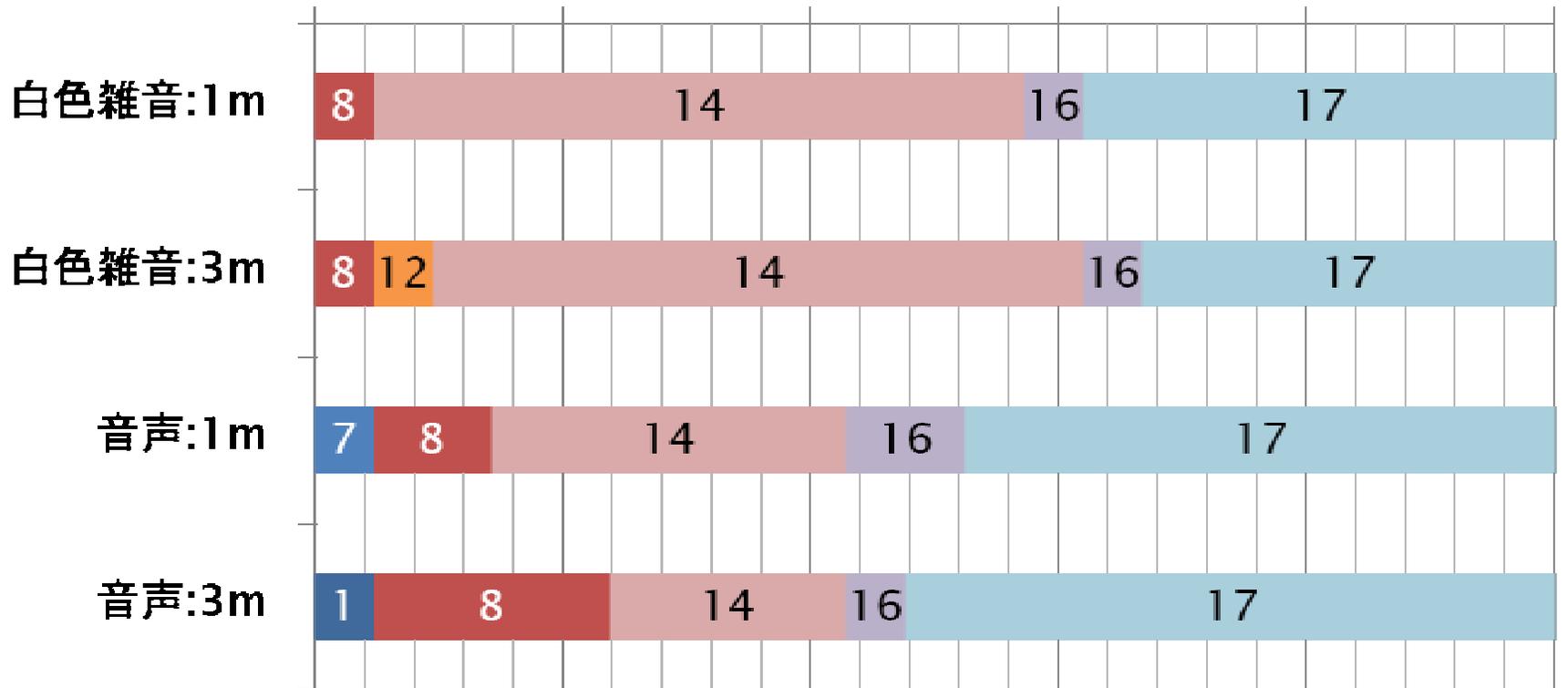
正答・・・ 12(後方)

誤答・・・ 4(下後方)  
16(上後方)  
17(上方)



上方に偏り  
上下方向にぼや  
け

0% 20% 40% 60% 80% 100%



## 方向番号17の回答率

正答・・・ 17(上方)

誤答・・・ 14(上前方)



前方に偏り

# 解析

- ▶ 低い正答率の方向の共通項
  - スピーカ4個が鳴る方向
  - 音像の偏りが見られる
    - 前方方向や下方向など
- ▶ 推測原因
  - ファントム音源の発生
  - 聴取者の動作による聴取位置のズレ
  - スピーカレイ位置が聴取者と非常に近い

# まとめ

- ▶ **良好な性能結果**
  - 全体の正答率が75%前後
  - 17方向中12方向で高い正答率
  - 条件の一部は統制条件と同等の性能
  
- ▶ **今後の課題**
  - 低評価の5方向の改善手法の提案
  - 他の条件も含めた性能評価実験

ご清聴ありがとうございました

# 補足資料

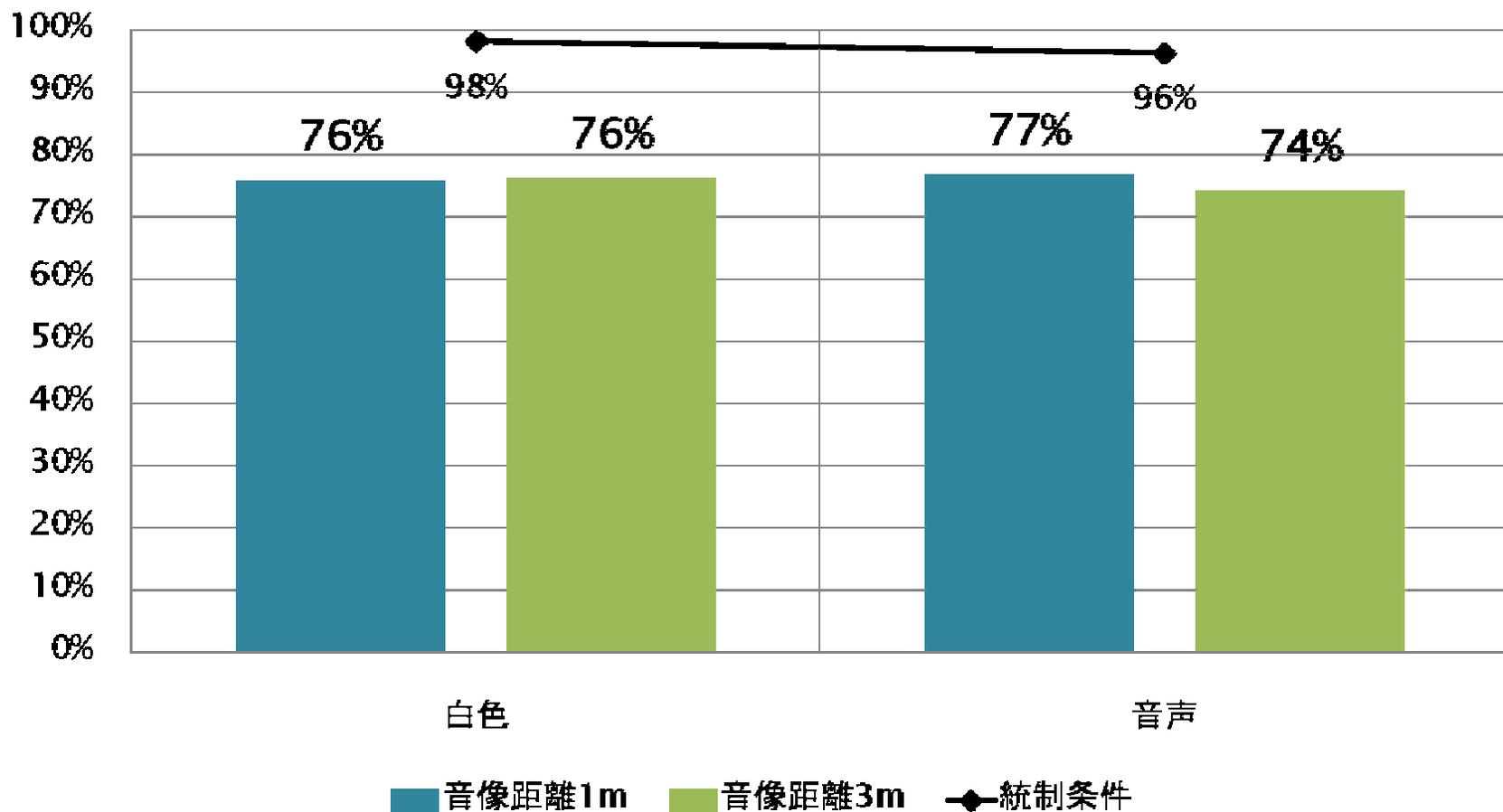
# 補足：実験について

- ▶ PC上で合成した信号を利用
  - マイクロフォンの指向性：超指向性
- ▶ 音像距離
  - 統制条件で用いたスピーカ自身が比較用音源
  - 音像距離1mの音源＝統制条件用スピーカの音

# 利用機材リスト

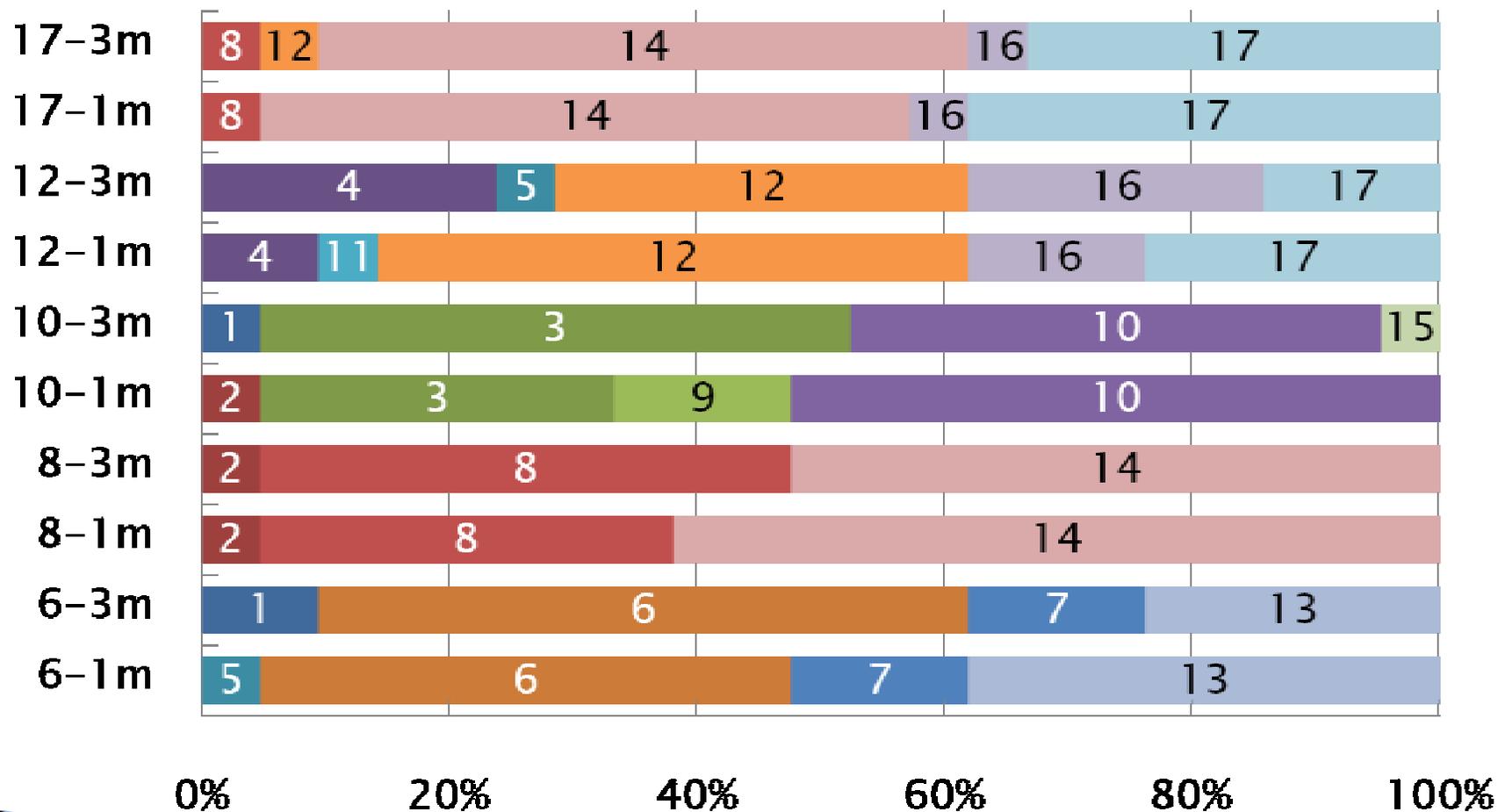
- M-AUDIO  
(Light pipe Interface) ProFire
- BEHRINGER  
(8 channel A/D & D/A Converter) ADA8000
- Marantz  
(4 channel Amplifier) DA04
- Rosendahl  
Nanosyncs

# 全体の正答率グラフ



# 回答方向の割合(白色雑音)

(方向番号-音像距離)



# 回答方向の割合(音声)

(方向番号-音像距離)

