

1. はじめに

波面合成法による音場再現技術

- 遠隔会議システムや 遠隔アンサンブルシステムに応用
 - 非常に多くのチャンネル信号が必要
- ⇒ **必要なチャンネル信号の数を検討することは非常に重要**

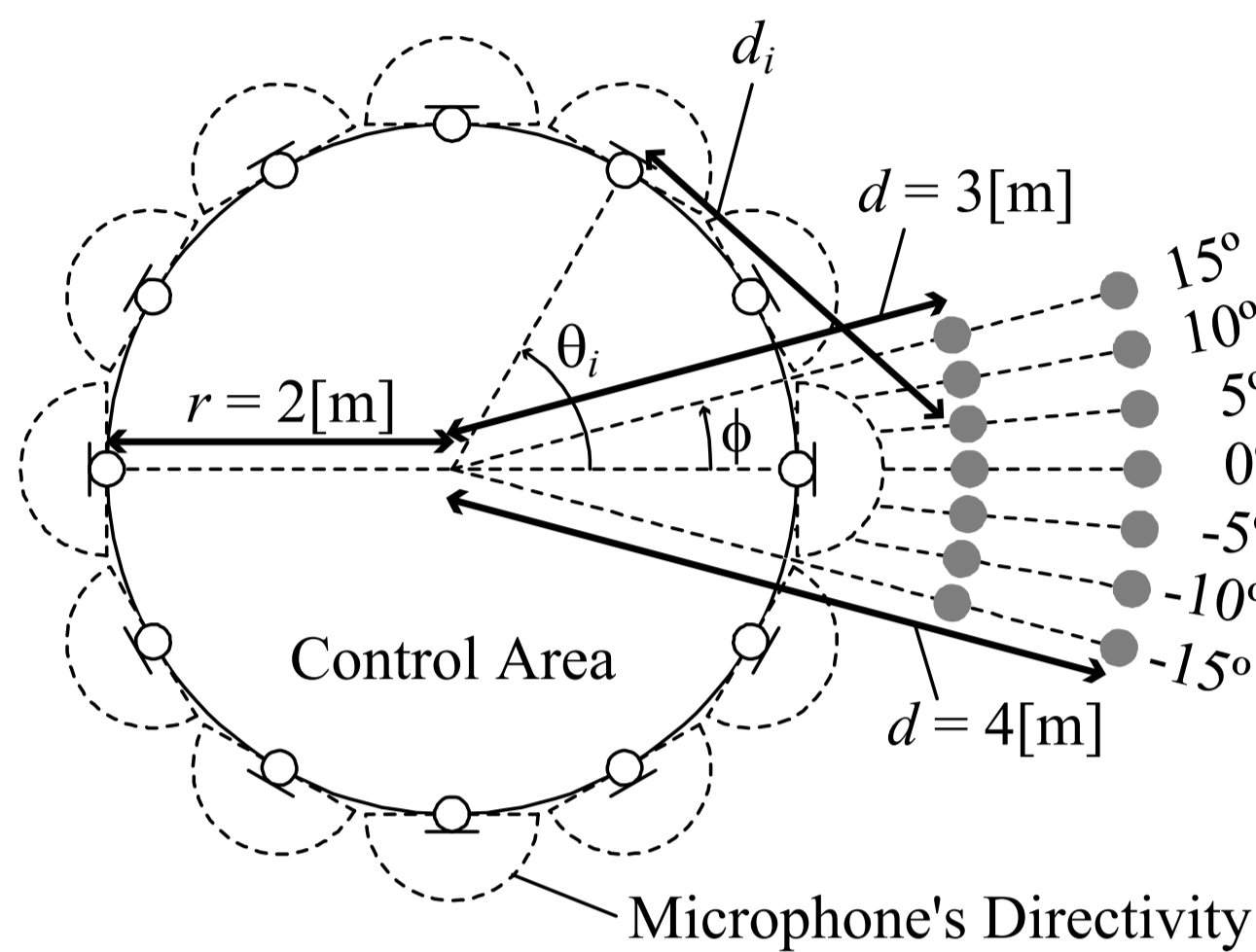
必要なチャンネル信号数の検討

- 物理的な波面が再現できるか
 - 先行研究はあるが, RMS誤差の閾値レベルがあいまい
- 音場知覚への影響(方向感, 距離感, 空間印象)
 - 研究例は見当たらない
 - 2つの主観評価実験を実行
 - ◆ 2...方向感に着目した主観評価実験
 - ◆ 3...空間印象に着目した主観評価実験

2. 方向感に着目した主観評価実験

2.1. チャンネル信号の作成

- 制御領域...半径2mの円



- d_i : 音源から*i*番目のマイクロホンまでの距離
- $g_i(n)$: 音源から*i*番目のマイクロホンまでの室内伝達関数

$$d_i = \sqrt{d^2 + r^2 - 2dr \cos(\phi - \theta_i)}$$

$$g_i(n) = \frac{d-r}{d_i} \delta(n - \text{round}\left(\frac{d_i F_s}{c}\right))$$

F_s (=48[kHz]): サンプリング周波数
 c (=340[m/s]): 音速

- $s(n)$: ドライソース (白色雑音&音声, 長さ...1秒)
- $x_i(n)$: *i*番目のマイクロホンのチャンネル信号

$$x_i(n) = D(\theta_i, \phi) \{g_i(n) * s(n)\}$$

$$= D(\theta_i, \phi) \frac{d-r}{d_i} s(n - \text{round}\left(\frac{d_i F_s}{c}\right))$$

- $D(\theta_i, \phi)$: *i*番目のマイクロホンの指向特性

$$D(\theta_i, \phi) = \begin{cases} 1 & (\cos(\theta_i - \phi) \geq r/d) \\ 0 & (\cos(\theta_i - \phi) < r/d) \end{cases}$$

2.3. 実験計画

- 被験者...8名の大学院生(男性4名, 女性4名)

Subjective Assessment				
Session 1		Session 2		
Order...Randomized (White Noise or Speech)				
Session				
Practice (14 trials)	Main (336 trials)			
	(84)	(84)	(84)	(84)
Trial (Procedure)				
Stimulus (1sec)	Answer (4sec)			

試行条件

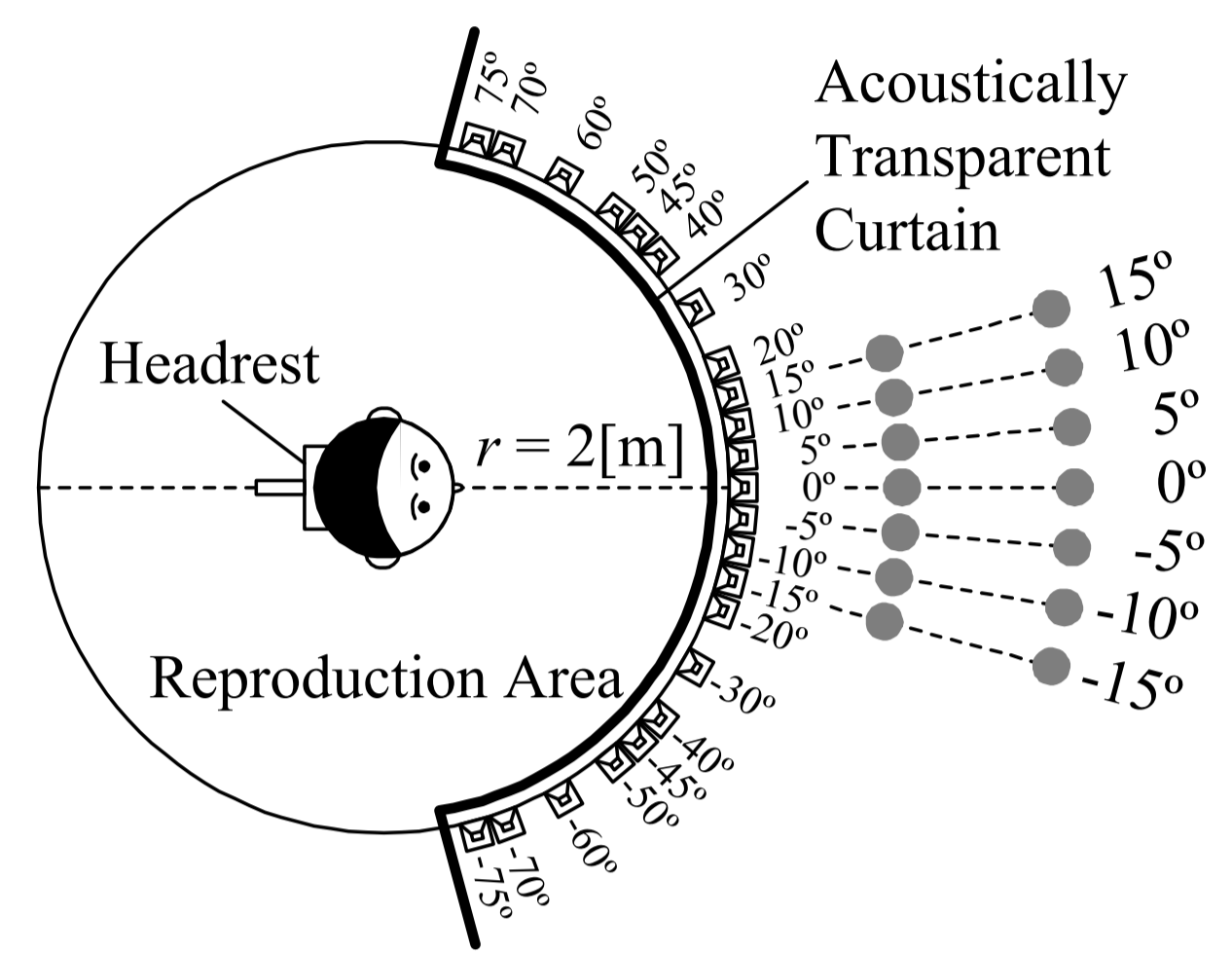
	Level	Parameter / Pattern
Practice (14)	= 1 distance	3m
	× 7 directions	$0^\circ, \pm 5^\circ, \pm 10^\circ, \pm 15^\circ$
	× 2 conditions	(a) & (b)
Main (336)	= 2 distances	3 & 4m
	× 7 directions	$0^\circ, \pm 5^\circ, \pm 10^\circ, \pm 15^\circ$
	× 6 conditions	(a)-(f)
	× 4 repetitions	

手順

- 音の聞こえた方向を手持ちの回答用紙に記入
- 回答方法...被験者の正面に配置した目盛りの番号で目盛り... -25° から 25° まで 2.5° 間隔でマーキング

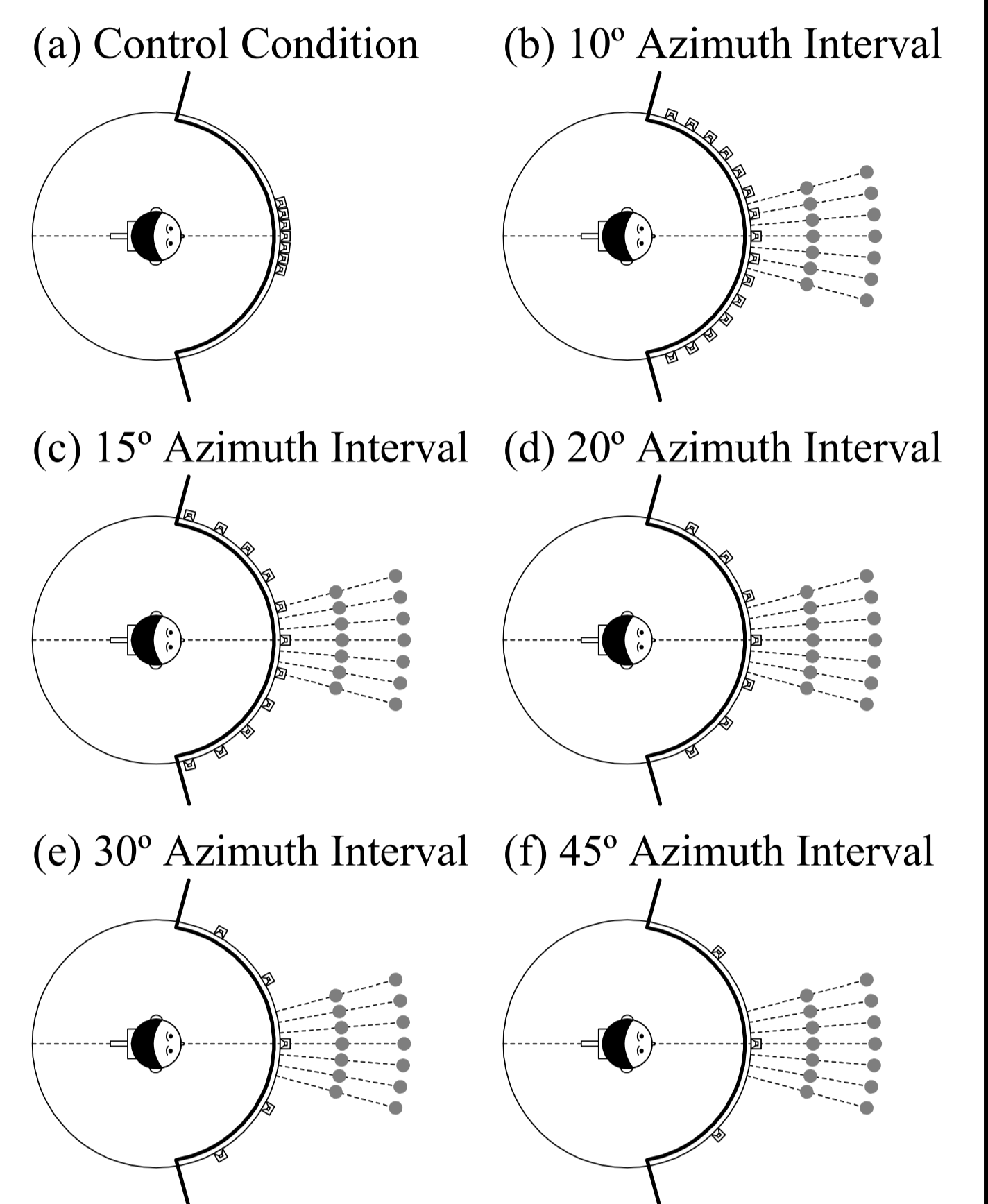
2.2. 実験環境

- 再現領域...半径2mの円



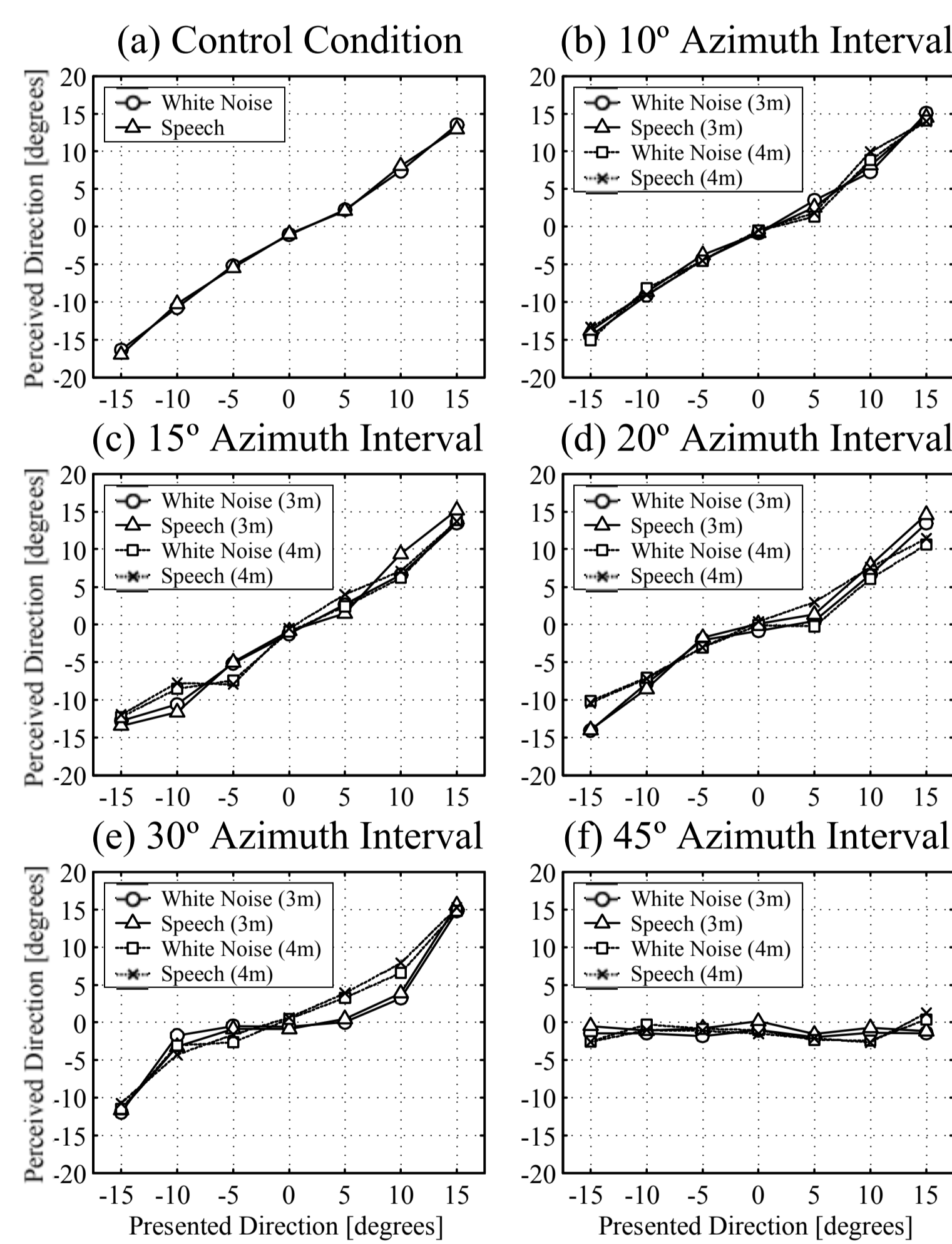
- 部屋の残響時間...約80ms
- 暗騒音レベル...25.0dB(A)
- 音圧レベル...受聴者位置で約60dB(A)
- ヘッドレスト...受聴者の頭部を固定
- 音響カーテン...視覚による影響を排除

実験条件

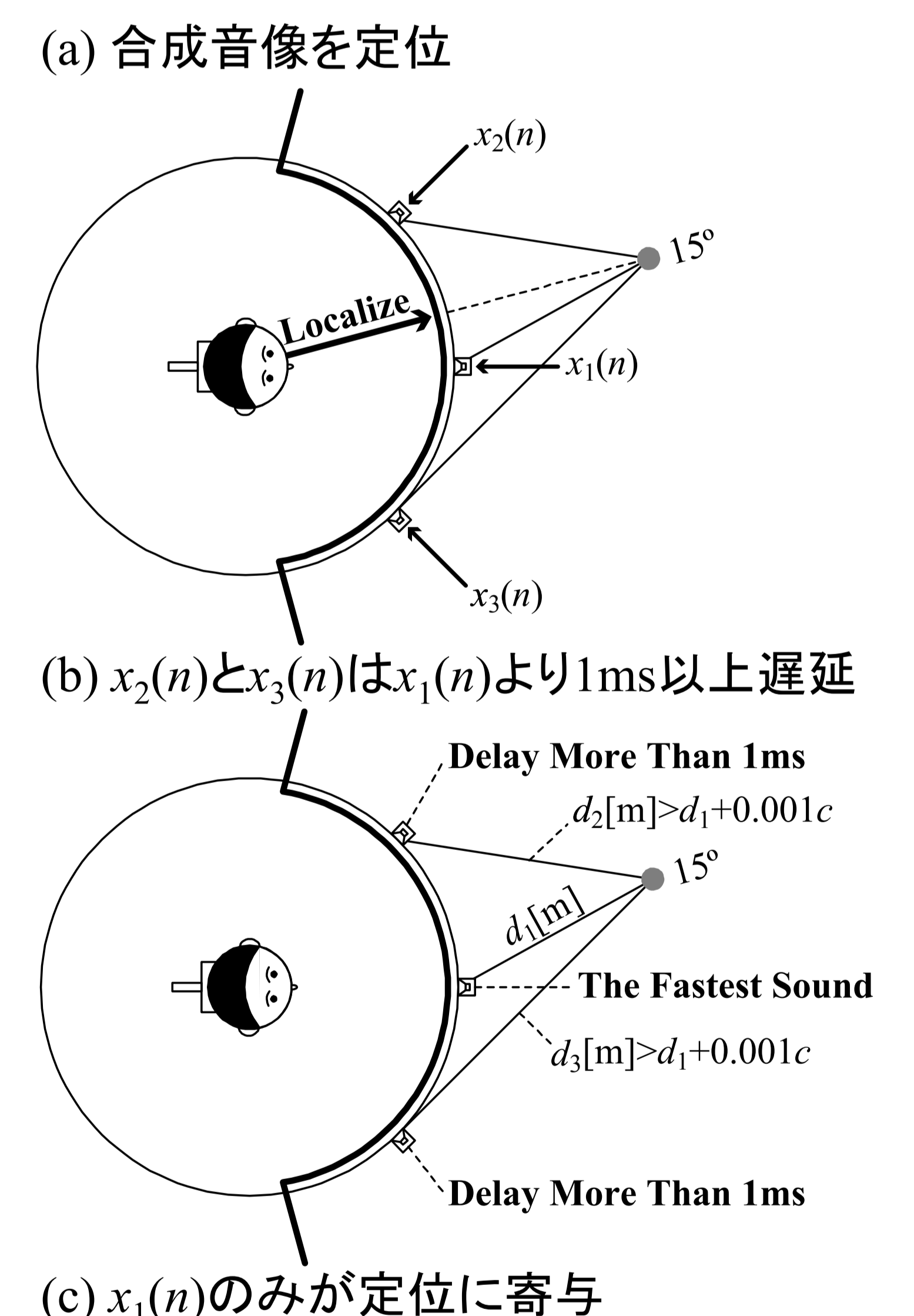


2.4. 実験結果及び考察

- 方位間隔が $10^\circ, 15^\circ$...知覚方向が統制条件に近い
 - 方位間隔が $20^\circ, 30^\circ, 45^\circ$...先行音効果により, 知覚方向が 0° へ偏向する傾向
- ⇒ **チャンネル信号の数が少なすぎると**
所望の方向に音像を定位させることができない



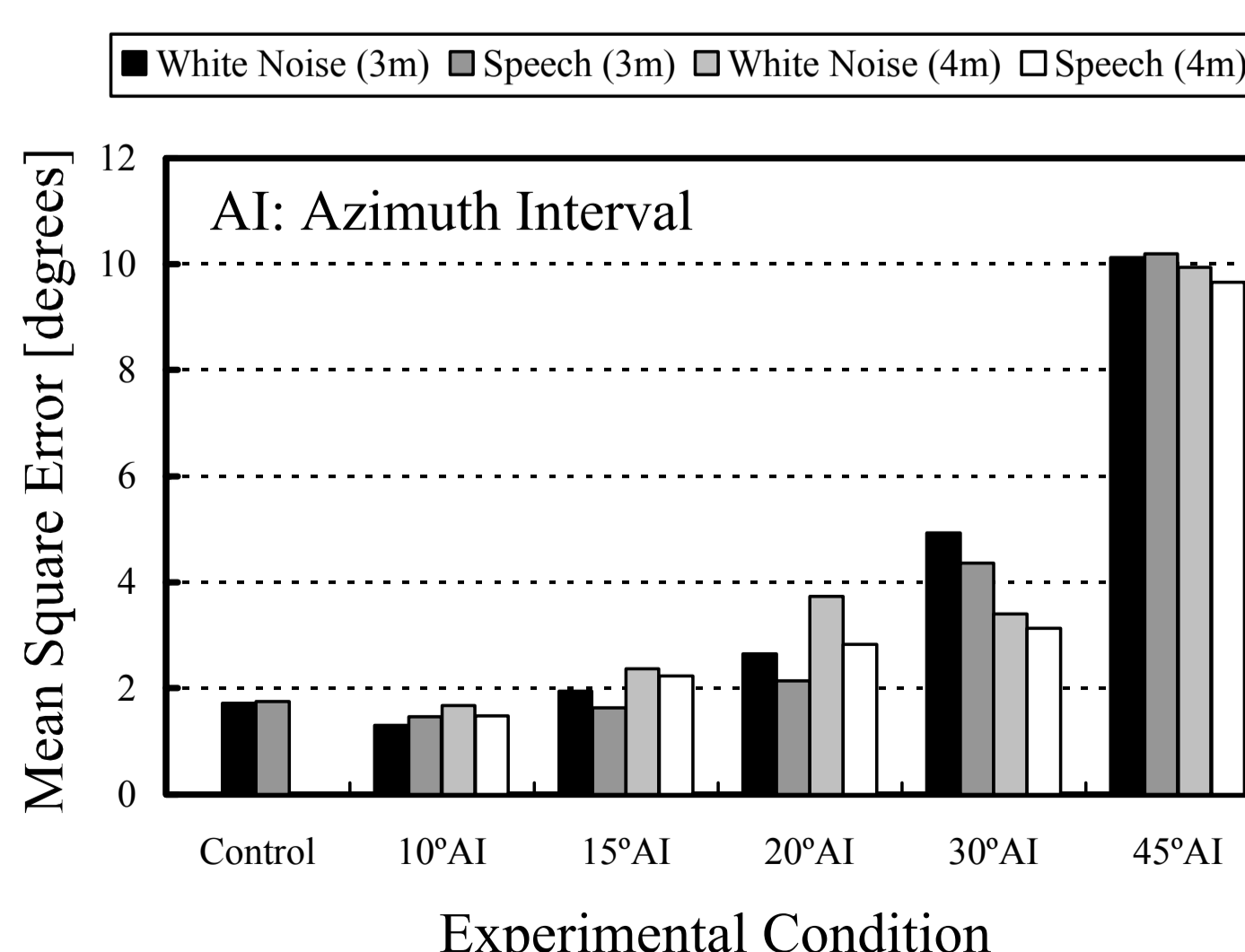
定位の偏向の理由



平均二乗誤差の結果

$$\text{MSE}[\text{degrees}] = \sqrt{\frac{\sum \{\psi(\phi) - \phi\}^2}{7}}$$

$\psi(\phi)$: 提示方向が ϕ の時の知覚方向

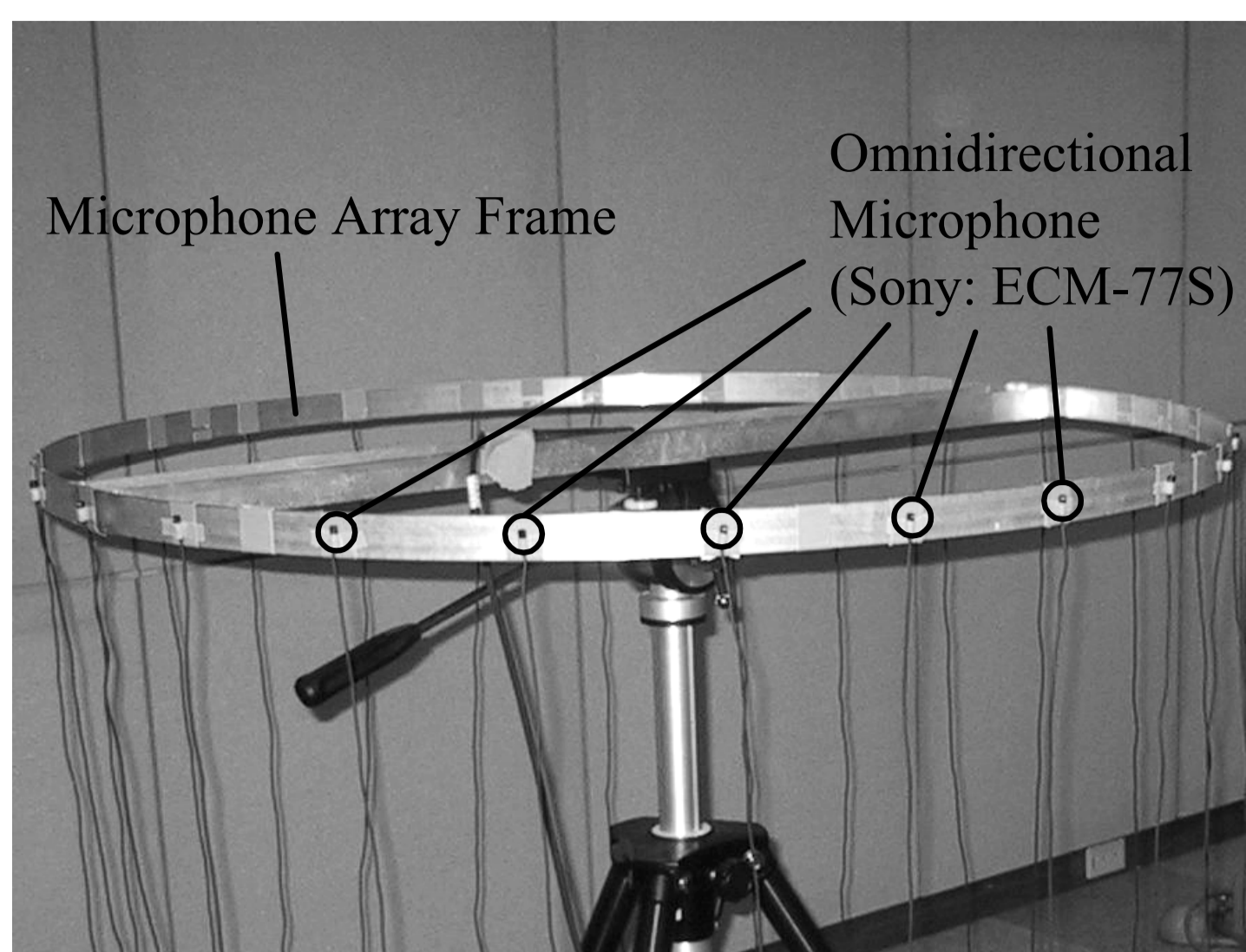
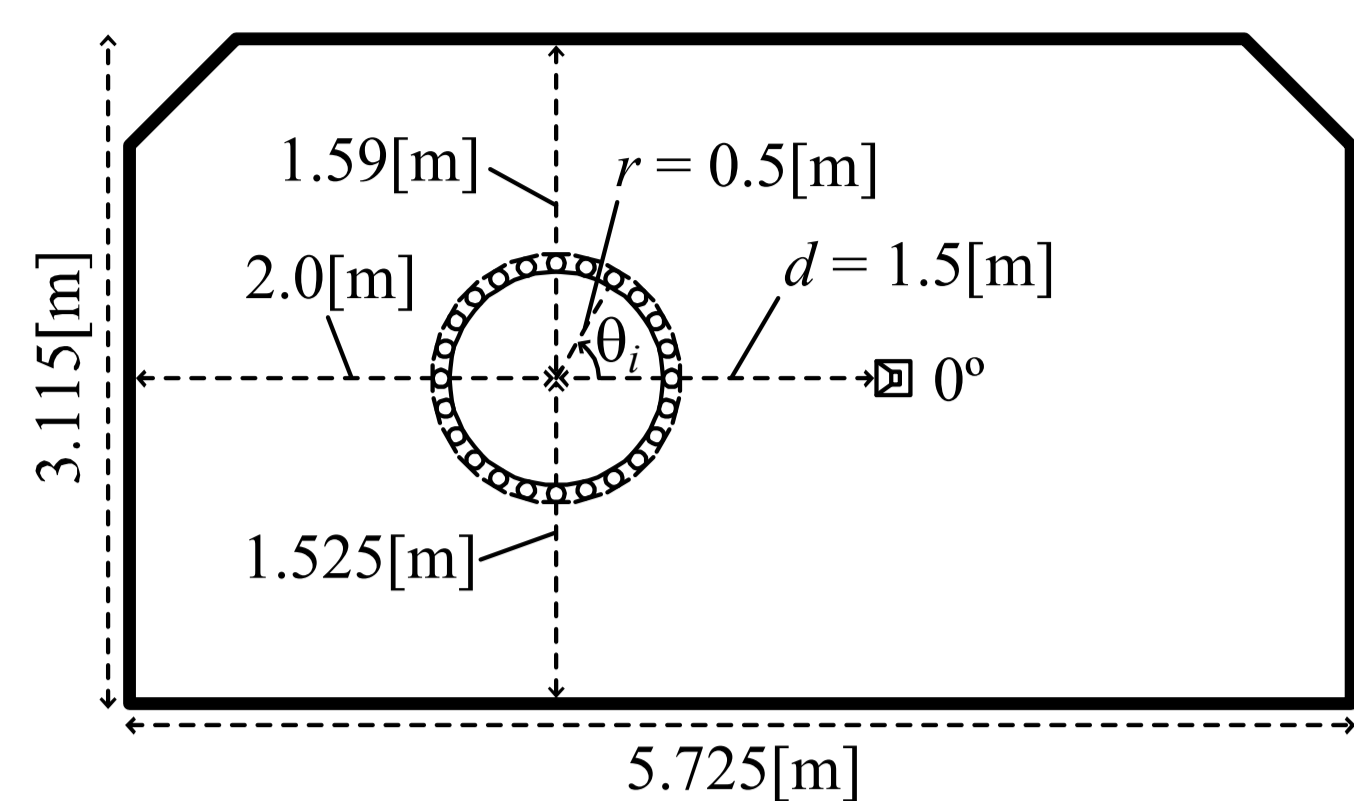


- 方位間隔が $10^\circ, 15^\circ$...統制条件と同じで値は約 2°
- ⇒ **必要なチャンネル信号の数... 15° 間隔(=24)**

3. 空間印象に着目した主観評価実験

3.1. チャネル信号の作成

室内伝達関数の測定



測定条件

部屋の残響時間	300ms
室温	19.2°C
暗騒音レベル	19.4dB(A)
スピーカからの再生信号	Time Stretched Pulse
TSP信号のサンプリング周波数	48kHz
TSP信号の長さ	65536点
TSP信号の音圧レベル	91.6dB(A)
FIRフィルタの次数	14400

ドライソースの畳み込み

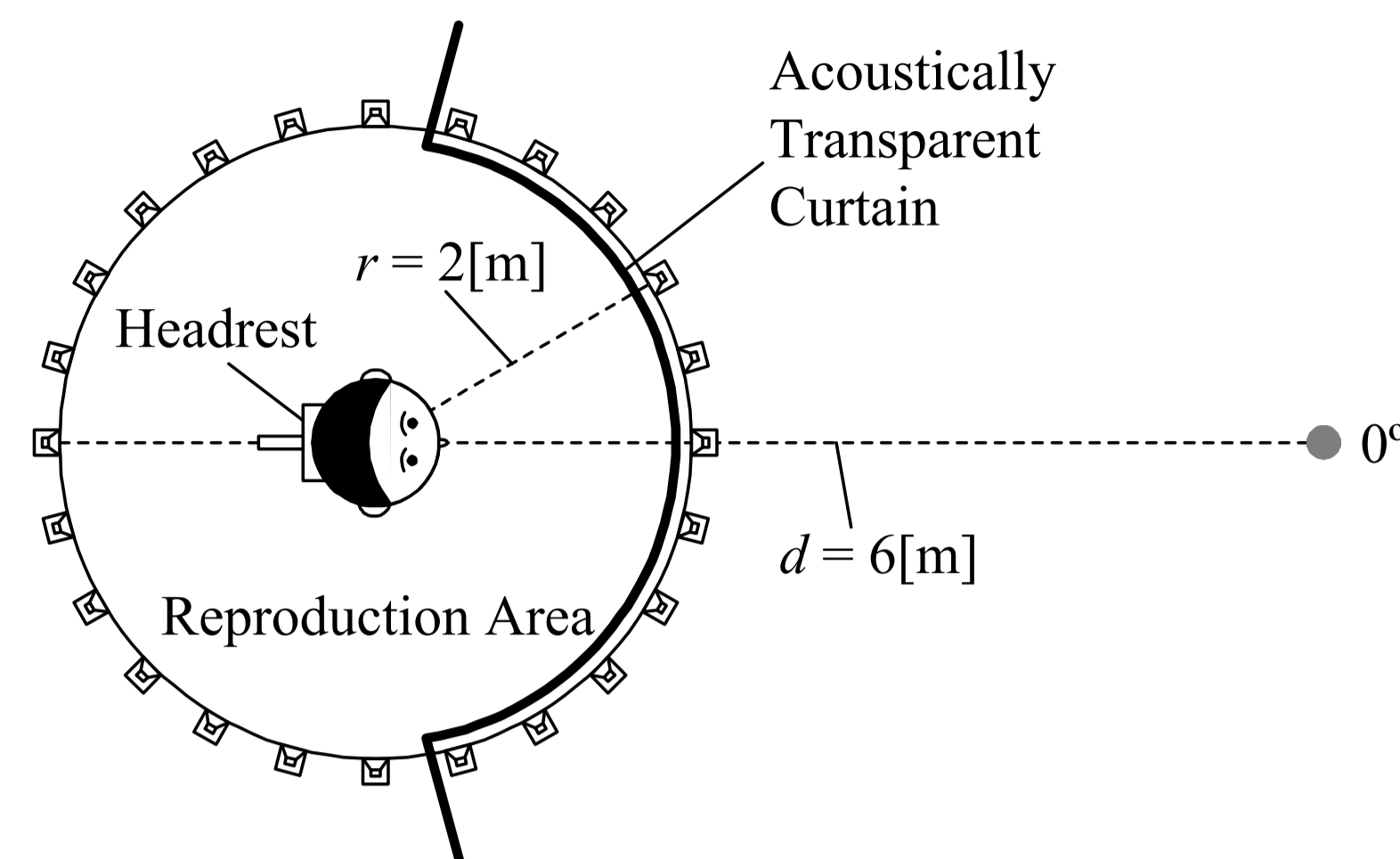
- 残響時間...300[ms]×4=1.2[s]
- $r \dots 0.5[m] \times 4 = 2[m]$
- $d \dots 1.5[m] \times 4 = 6[m]$

ドライソースの条件

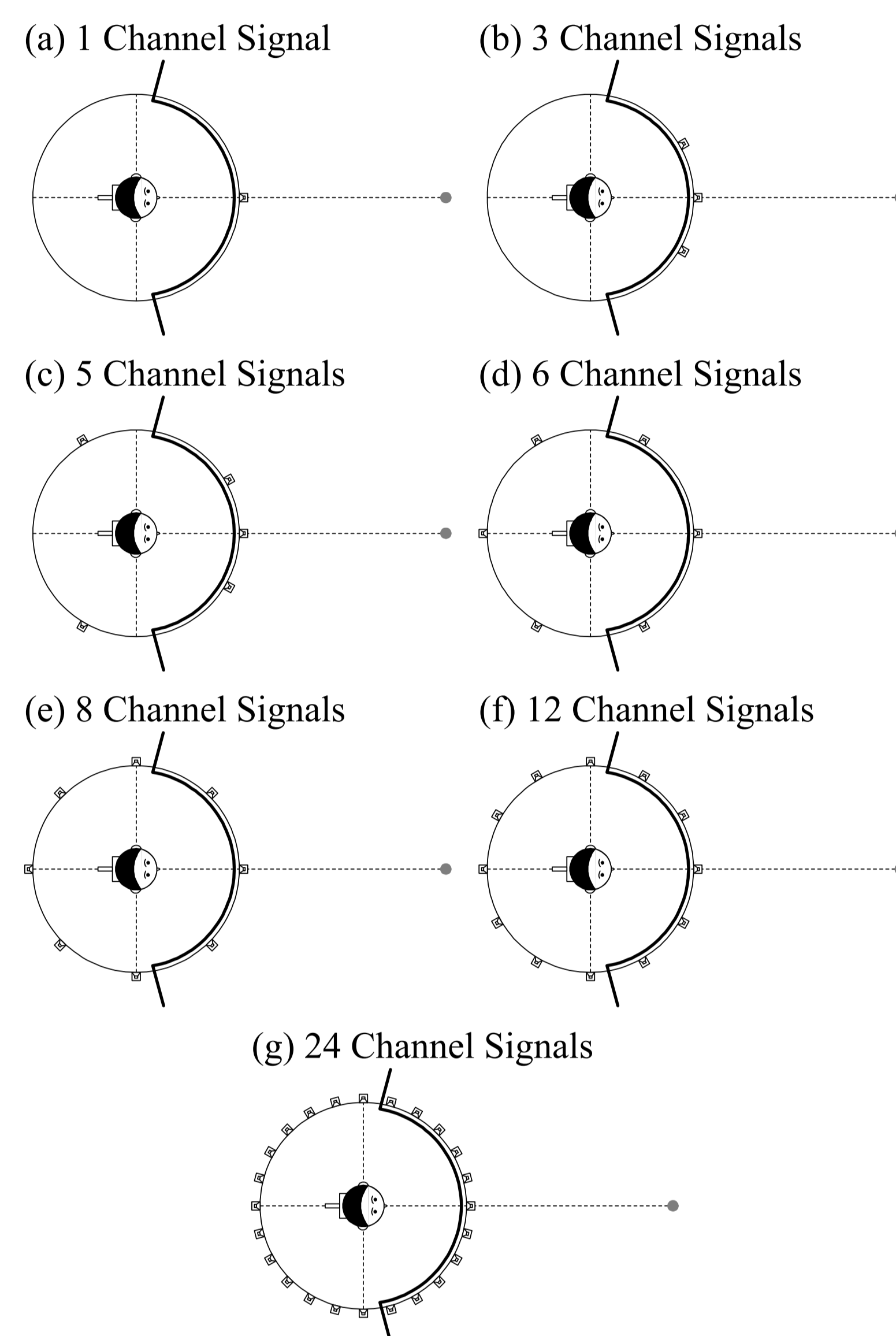
種類	音声&フルート
サンプリング周波数	12kHz
長さ	4秒

3.2. 実験環境

- 部屋の残響時間...約80ms
- 暗騒音レベル...25.0dB(A)
- 音圧レベル...受聴者位置で約70dB(A)
- ヘッドレスト...受聴者の頭部を固定
- 音響カーテン...視覚による影響を排除



実験条件



3.3. 実験計画

- 被験者...8名の男子学生
- 手法...Schefféの対比較法

Subjective Assessment

Auditory Source Width	Listener Envelopment				
Session 1	Session 2				
Order...Randomized (Speech or Flute)					
Practice (6 trials)	Main (42 trials)				
Signal (0.1sec)	Break (0.9sec)	Stimulus A (4sec)	Break (2sec)	Stimulus B (4sec)	Answer (4sec)

手順

- 刺激Aと比較して刺激Bを評定

評定尺度

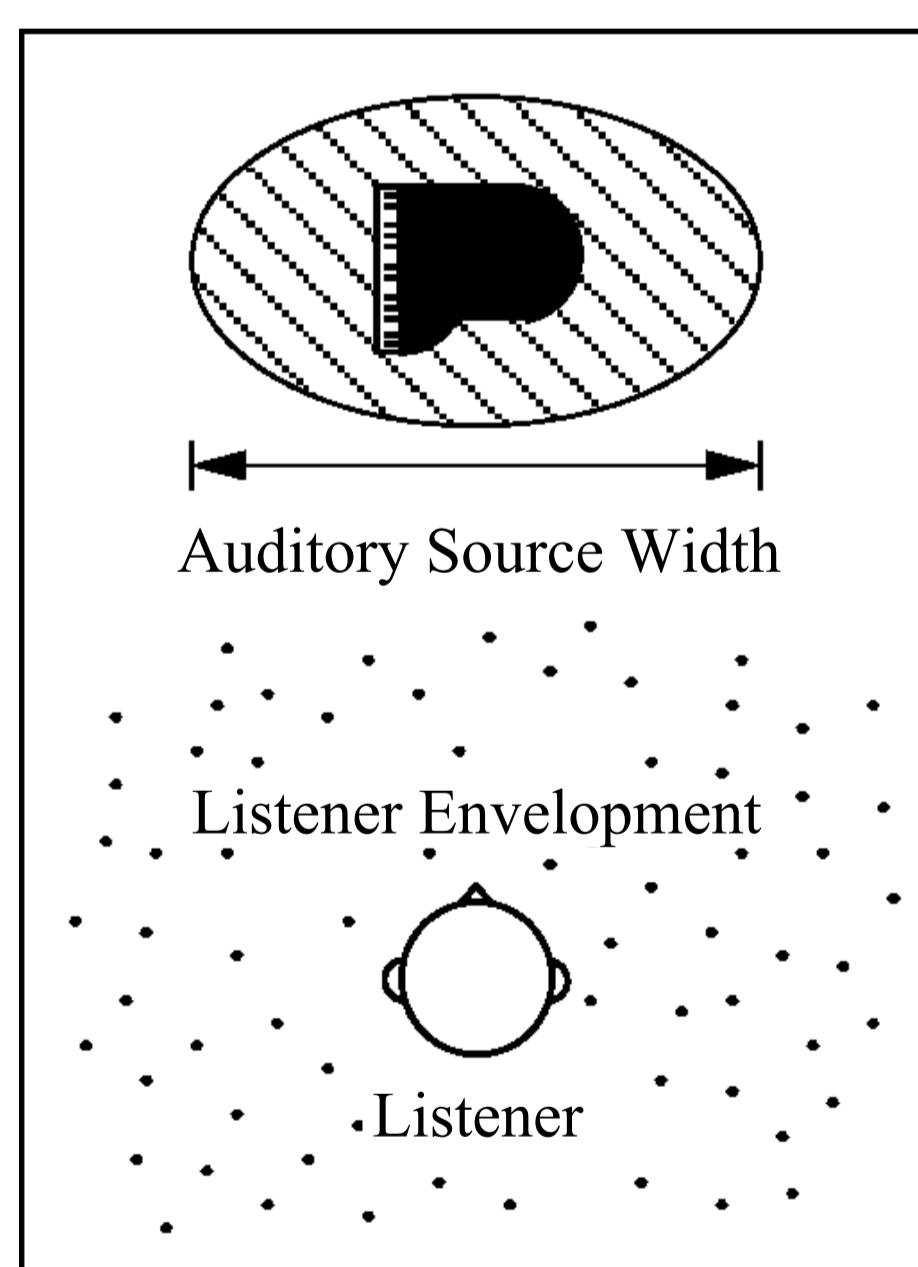
評定	ASW	LEV
3	非常に広い	非常に包まれる
2	かなり広い	かなり包まれる
1	少し広い	少し包まれる
0	同じ	同じ
-1	少し狭い	少し包まれない
-2	かなり狭い	かなり包まれない
-3	非常に狭い	非常に包まれない

刺激の組み合わせ

- 練習試行(6通り)...3種類の実験条件(a), (b), (g)の順列 (=3×2)
- 本試行(42通り)...7種類の実験条件(a)-(g)の順列 (=7×6)

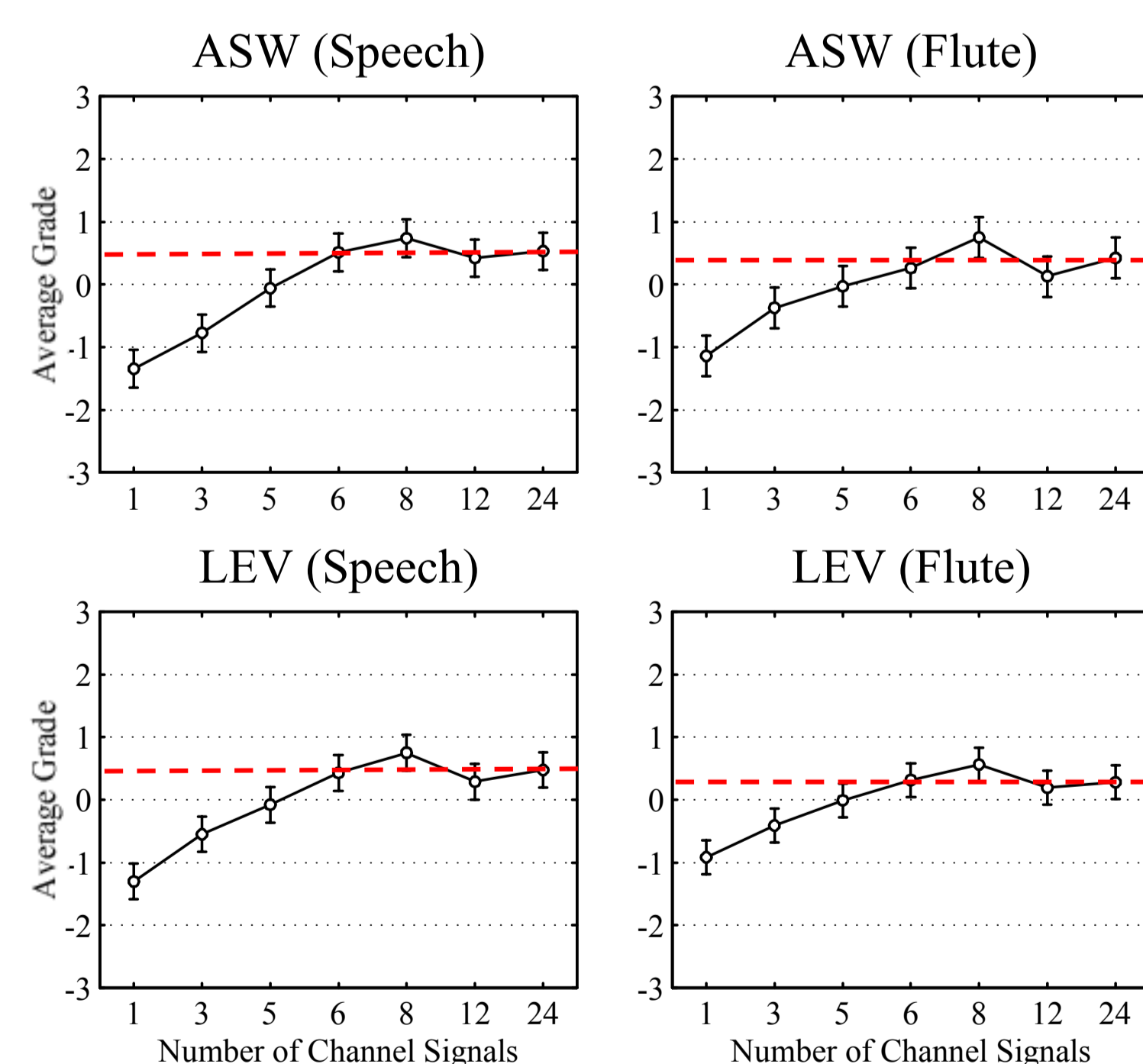
ASWとLEVの定義 (森本による)

- 空間印象を構成する最低限の要素
- みかけの音の幅(Auditory Source Width:ASW)
 - 時間的にも空間的にも直接音の音像と融合して知覚される音像の幅
- 音に包まれた感じ(Listener Envelopment:LEV)
 - ASWを構成する音像以外の音像によって受聴者の周りが満たされている程度



3.4. 実験結果及び考察

- 平均評定値
 - チャネル信号の数が1, 3, 5...チャネル信号数が24の時よりも有意に(5%基準)低い
 - チャネル信号の数が6, 8, 12...24の時と有意差なし
- ⇒ チャネル信号の数が6以上であれば空間印象の知覚的な差は見られない
- ⇒ **必要なチャネル信号の数...6**



4. まとめ

- 波面合成法による音場再現システムにおいてチャネル信号の数が音場知覚へ及ぼす影響を主観的に検討
- 2つの主観評価実験によって方向感及び空間印象を再現するのに必要なチャネル信号の数を検討
 - ◆ 方向感に着目した主観評価実験...**必要なチャネル信号の数は24**
 - ◆ 空間印象に着目した主観評価実験...**必要なチャネル信号の数は6**
- ⇒ **24チャンネルのシステムで十分に実用的な方向感や空間印象を再現することが可能 (制御領域が半径2mの円である場合)**