

**Multiple Vertical Panning を用いた
立体音響システムにおいて
奥行表現手法が映像と音の一致度に
及ぼす影響**

木村敏幸

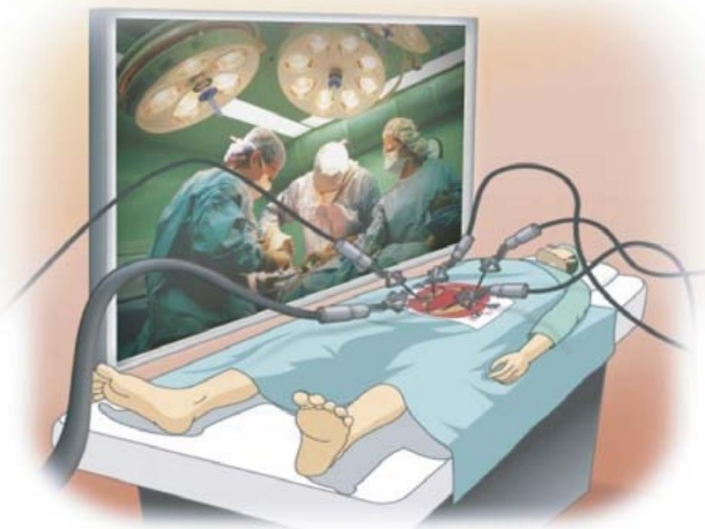
東北学院大学情報学部データサイエンス学科

2023年8月31日

はじめに

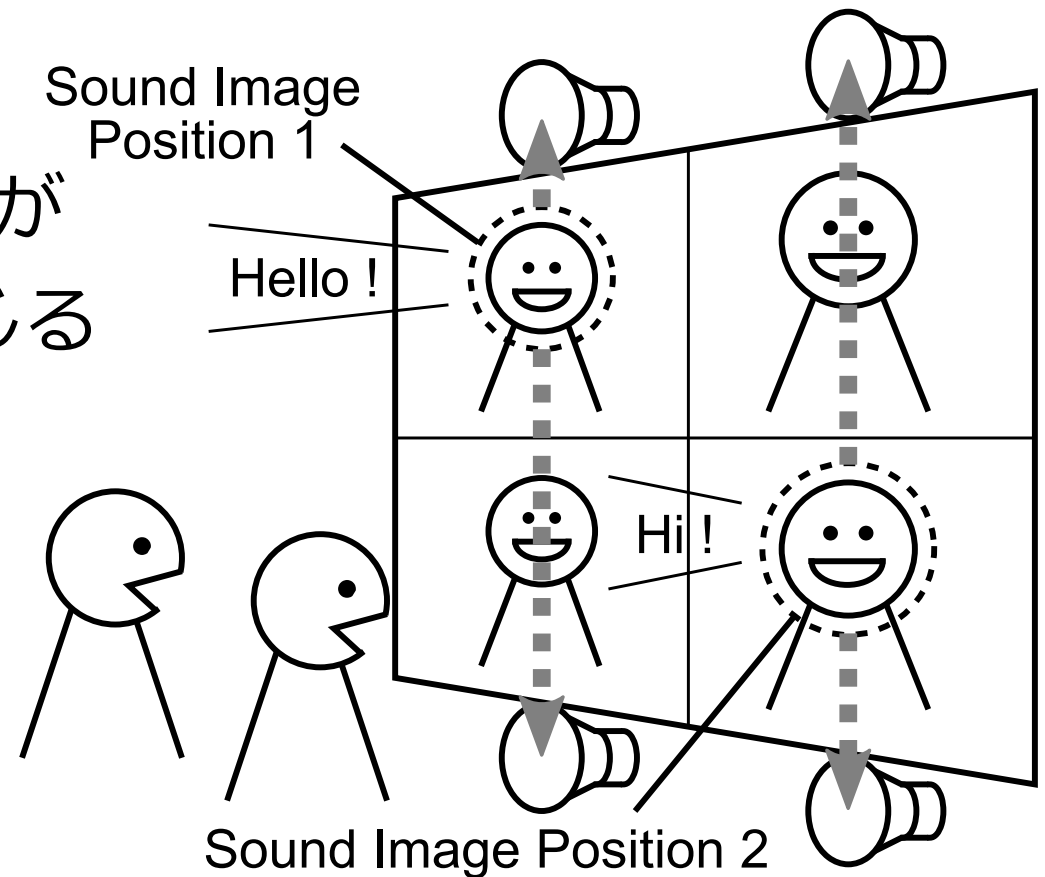
- 超臨場感コミュニケーション技術
 - 「臨場感」を体験させる技術
 - 立体映像や高臨場感オーディオ技術を使用
- 活用事例
 - 立体テレビ，遠隔医療，遠隔通信会議

出典元：榎並，岸野，電子情報通信学会誌，
Vol. 93, No. 5, pp. 363-367, May 2010.



Multiple Vertical Panning方式

- スクリーンの上下にスピーカ対を複数設置
 - 音源位置の上下にスピーカを2個配置
- 音源に音量差をつけ2個のスピーカから音を再生
 - スピーカ2個の間で音が鳴っているように感じる
- 音源ごとに再生するスピーカを選択
 - 視聴者はどこでも映像位置で音が鳴っているように感じる



本研究の目的

- Multiple Vertical Panning (MVP) 方式
 - これまで
 - 方式を提案し, 実用化の可能性を検証
 - 5対 (計10個) のスピーカで実現可能
 - 音の奥行表現手法の検証
 - 映像位置が上側の場合の検討なし
- 本研究の目的
 - MVP方式による奥行き表現の可能性を検討
 - 奥行き表現を伴った視聴覚提示システムを制作
 - ステレオホニック方式も再生可能
 - 制作システムを用いた評価実験を実施
 - 尺度: 「映像と音の一致度」を使用

制作システム

- 55インチ映像ディスプレイ
 - TOSHIBA : 55J20X
- スピーカ
 - ユニット
 - ダイターボイス : AR-10N
 - インクロージャ
 - ダイターボイス : EX-10 BK
 - MVP方式用
 - 計18個
 - ステレオホニック方式用
 - 2個



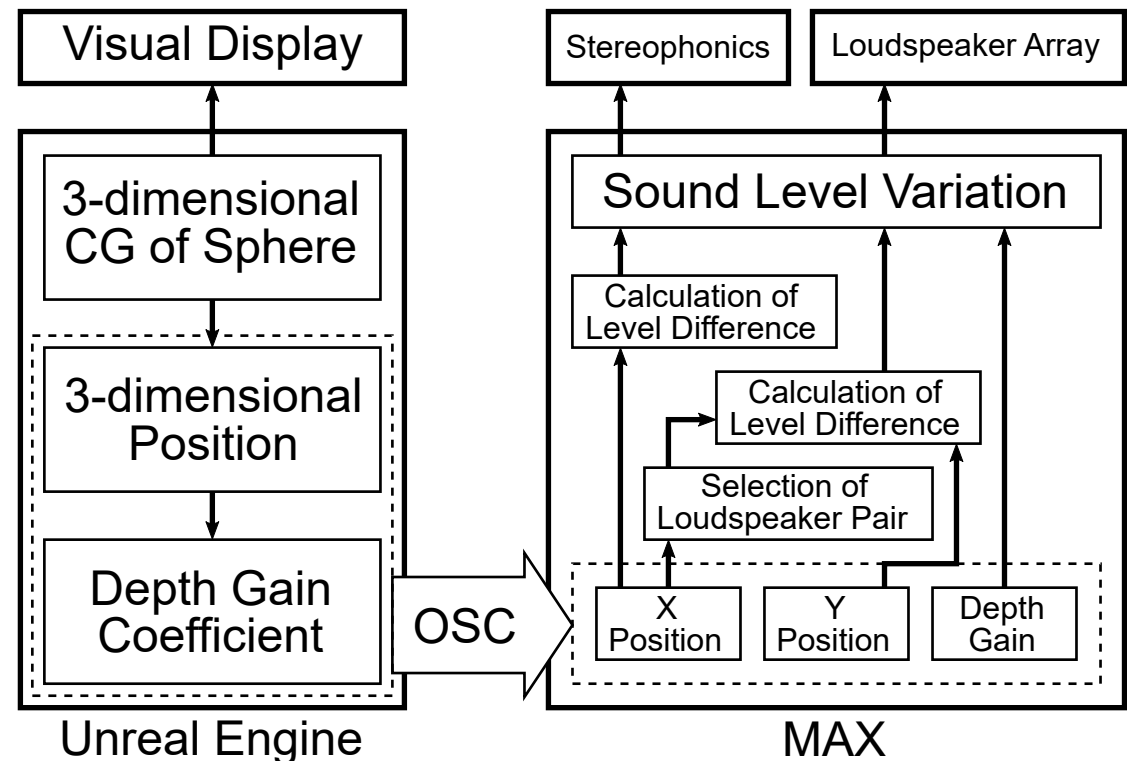
制作システム

- Unreal Engine

- 白色球体の3次元CGの奥行き移動映像を表示
- OSC (Open Sound Control) 信号を送信
 - 再生音方式, 水平・垂直位置, 奥行ゲイン

- MAX

- OSC信号を受信
 - 音方式を決定
 - 水平・垂直位置
 - スピーカ選択
 - 奥行ゲイン
 - 音量変化



制作システム

- 音量変化手法
 - 変化なし
 - 比例増大
 - 距離によって比例的に変化

$$a_z = 1 - \frac{P_z}{10}$$

- 指数増大
 - 距離によって逆数的に変化
 - 点音源の物理的变化を模擬

$$a_z = \frac{1.05}{1.05 + P_z}$$

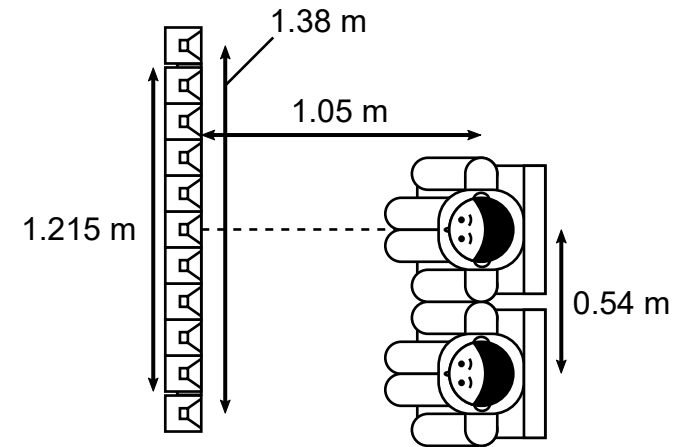
- P_z (=0~10) : 距離

評価実験環境

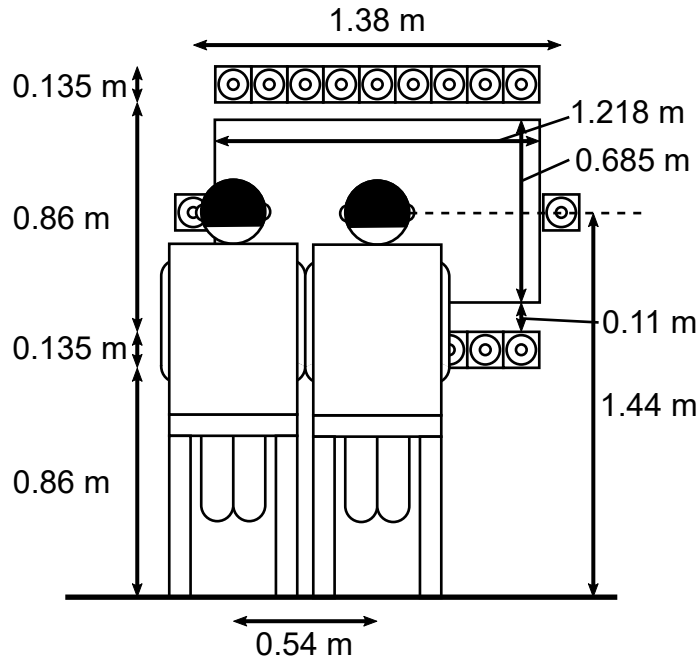
- 実験室内の一角

- 暗騒音：40.2 dBA
- 視聴距離
 - ディ스플레이中心から1.05 m
- 視聴高さ
 - 1.44 m
- 耳位置

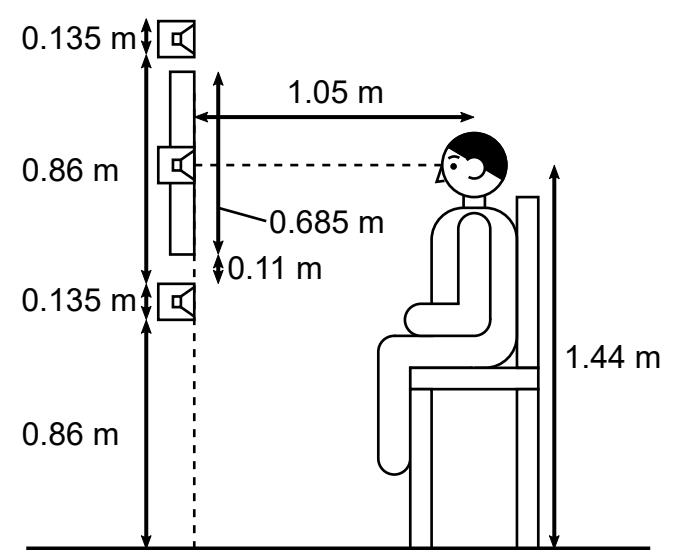
Plane View



Front View

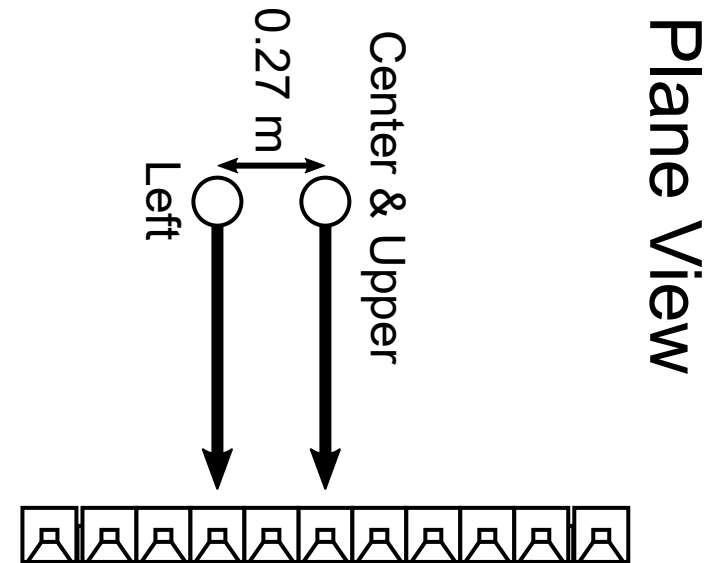


Cross-sectional View

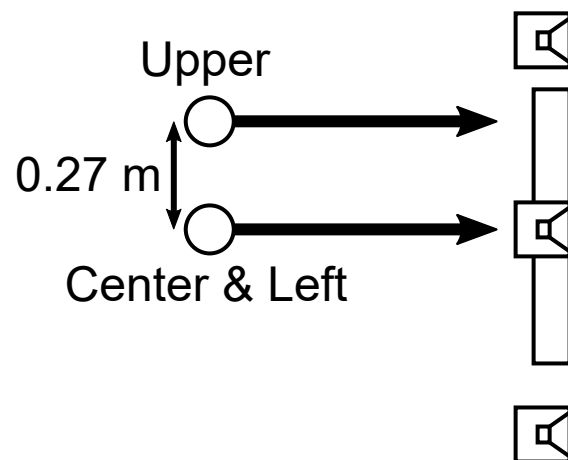


評価実験条件

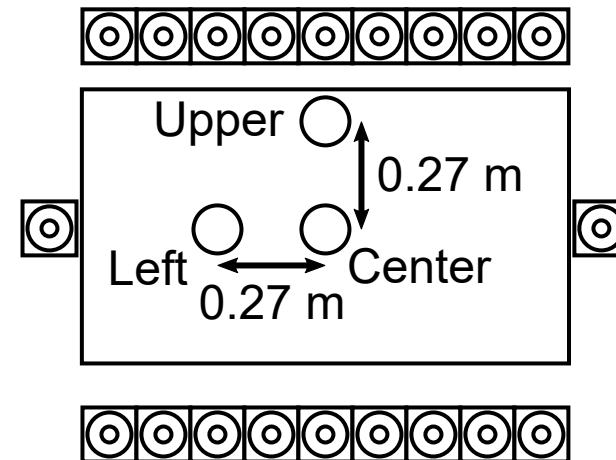
- 球体位置
 - 中央, 左側, 上側
- 移動距離 : 10 m
- 移動時間 : 5秒
- 音 : 白色雑音



Cross-sectional View



Front View



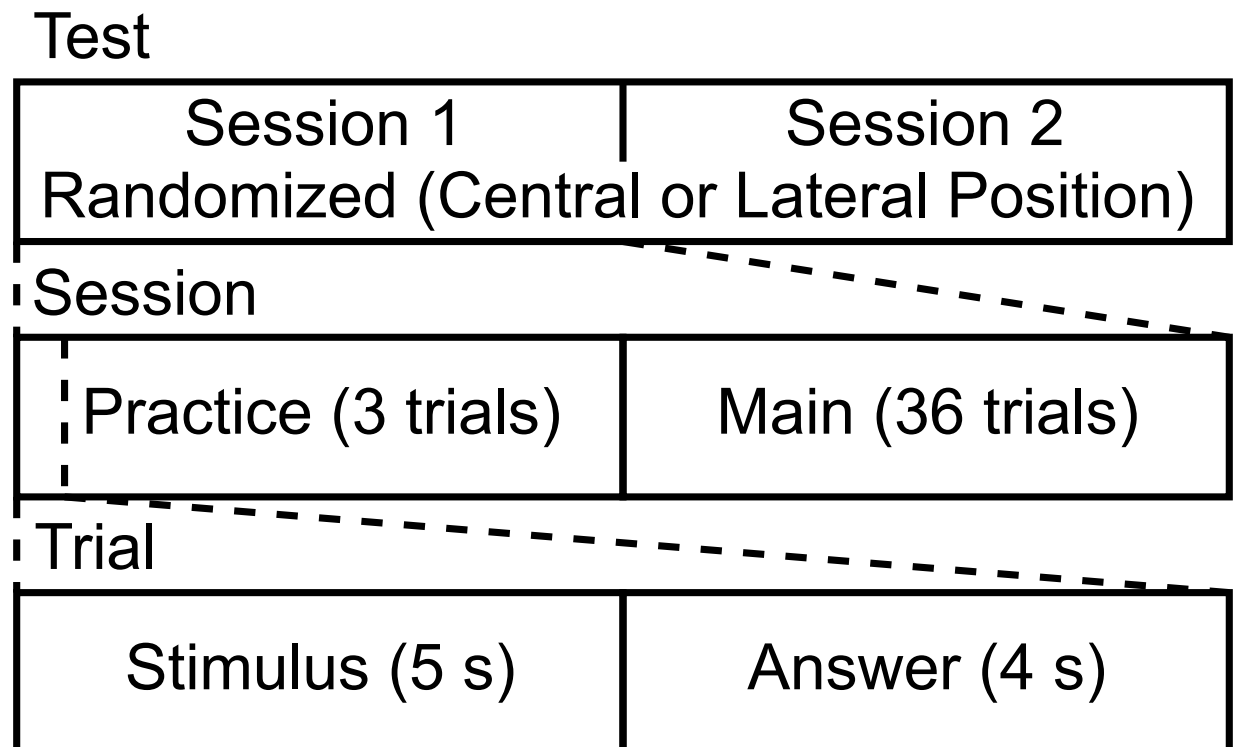
評価実験条件

- 全18条件

	球体	音量変化	音方式		球体	音量変化	音方式
(i)	中心	変化なし	ステレオ	(x)	中心	変化なし	MVP
(ii)	中心	比例増大	ステレオ	(xi)	中心	比例増大	MVP
(iii)	中心	指数増大	ステレオ	(xii)	中心	指数増大	MVP
(iv)	左側	変化なし	ステレオ	(xiii)	左側	変化なし	MVP
(v)	左側	比例増大	ステレオ	(xiv)	左側	比例増大	MVP
(vi)	左側	指数増大	ステレオ	(xv)	左側	指数増大	MVP
(vii)	上側	変化なし	ステレオ	(xvi)	上側	変化なし	MVP
(viii)	上側	比例増大	ステレオ	(xvii)	上側	比例増大	MVP
(ix)	上側	指数増大	ステレオ	(xviii)	上側	指数増大	MVP

評価実験計画

- 視聴者
 - 10名
- 視聴位置順序
 - 視聴者ごとにランダムイズ
- 36試行の内訳
 - 18 (条件)
 - ×2 (繰り返し)
- 提示順序
 - 視聴者ごとにランダムイズ



評価実験手順

- 視聴者
 - 実験開始前
 - 実験倫理に関する説明を受ける
 - 実験目的
 - 実験条件を実験中に知ることは不可能
 - 依頼をすれば実験終了後に知ることは可能
 - 実験は適宜休息をとりながら実施
 - 苦痛や侵襲は供わない
 - 自分の意思で途中で終了可能
 - 取得データは、個人が特定されないように処理
 - 処理したデータを統計的に分析して使用
 - 説明後、参加に同意したら同意書に署名

評価実験手順

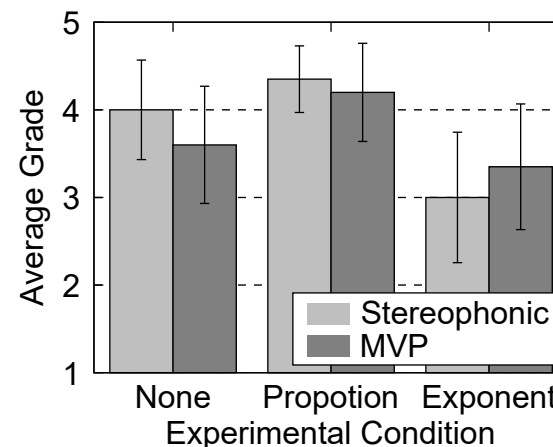
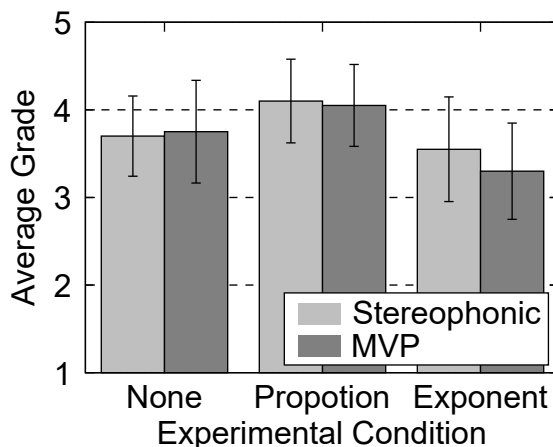
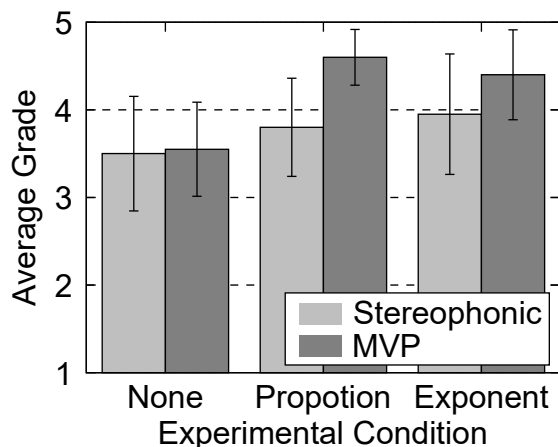
- 視聴者
 - 映像と音の一致度を5段階評定
 - 頭部や上半身は自由に移動可能

値	評定
5	合っている
4	どちらかという合っている
3	どちらともいえない
2	どちらかという合っていない
1	合っていない

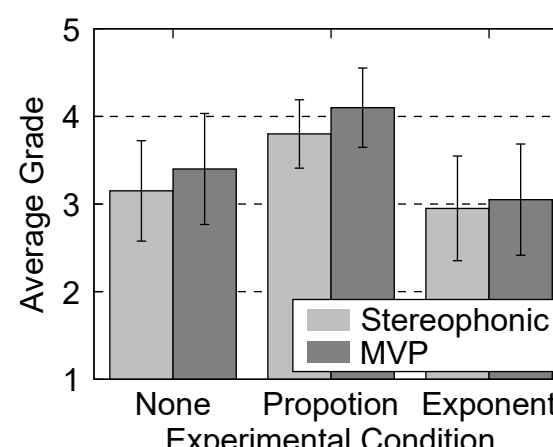
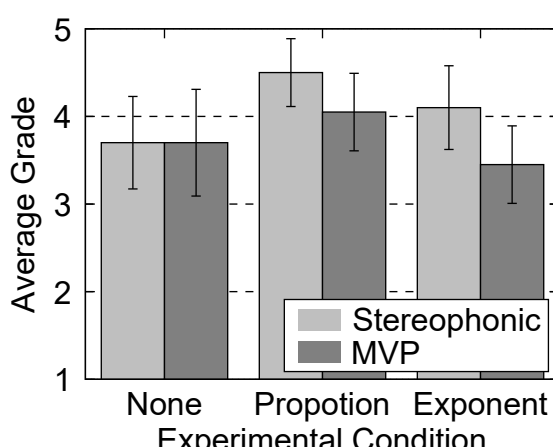
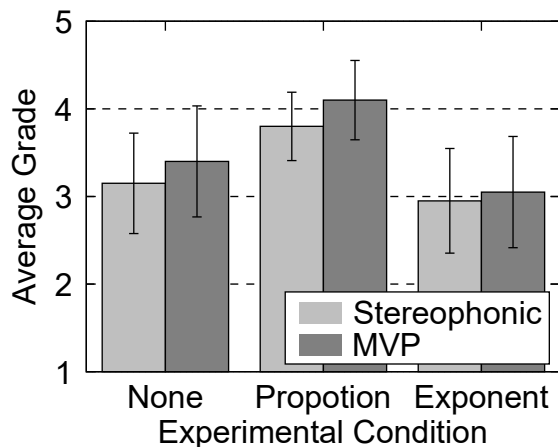
評価実験結果

• 条件ごとの評定値

– 視聴位置：中央



– 視聴位置：側方



球体位置：中央

球体位置：左

球体位置：上

評価実験結果

- 四要因分散分析（すべて被験者間要因）

source	SS	df	MS	F
A: Sphere position	7.54	2	3.77	2.72 ⁺
B: Viewing position	10.51	1	10.51	7.58 ^{**}
C: Sound level variation	66.05	2	33.03	23.82 ^{****}
D: Sound playing	0.61	1	0.61	0.44
AB	17.03	2	8.52	6.14 ^{***}
AC	10.46	4	2.62	1.89
AD	9.10	2	4.55	3.28 [*]
BC	1.36	2	0.68	0.49
BD	0.23	1	0.23	0.17
CD	0.41	2	0.20	0.15
ABC	12.71	4	3.18	2.30 ⁺
ABD	2.88	2	1.44	1.04
ACD	4.44	4	1.11	0.80
BCD	2.84	2	1.42	1.02
ABCD	1.16	4	0.29	0.21
error[WC]	948.25	684	1.39	
Total	1095.60	719		

評価実験結果（音再生方式）

• 音再生方式（要因D）に関する検定結果

– 有意差あり

• AD（5%有意）

- 球体位置との
1次交互作用

↓

– 単純主効果（AD）

• 有意差あり

- 球体位置：中央

• 有意差なし

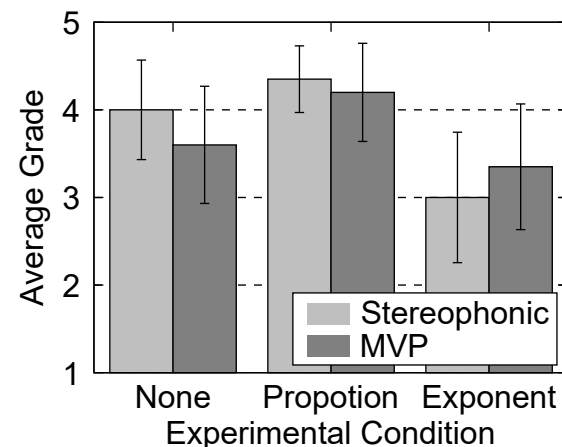
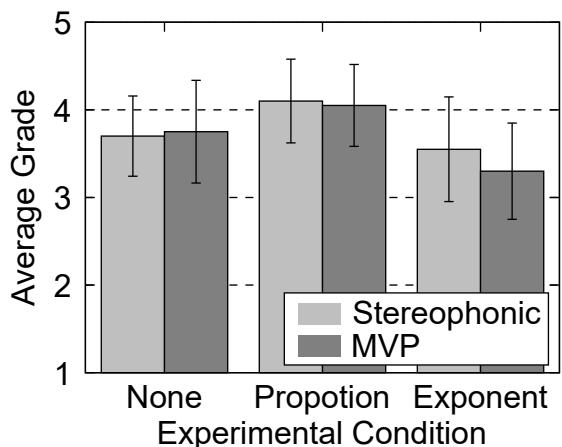
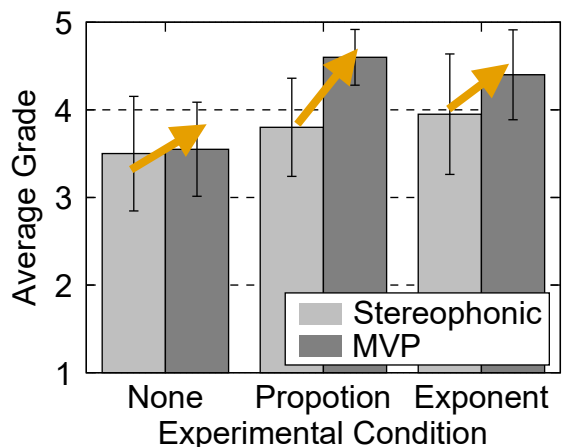
- 球体位置：左，上

source	SS	df	MS	F
A: Sphere position	7.54	2	3.77	2.72 ⁺
B: Viewing position	10.51	1	10.51	7.58 ^{**}
C: Sound level variation	66.05	2	33.03	23.82 ^{****}
D: Sound playing	0.61	1	0.61	0.44
AB	17.03	2	8.52	6.14 ^{***}
AC	10.46	4	2.62	1.89
AD	9.10	2	4.55	3.28 [*]
BC	1.36	2	0.68	0.49
BD	0.23	1	0.23	0.17
CD	0.41	2	0.20	0.15
ABC	12.71	4	3.18	2.30 ⁺
ABD	2.88	2	1.44	1.04
ACD	4.44	4	1.11	0.80
BCD	2.84	2	1.42	1.02
ABCD	1.16	4	0.29	0.21
error[WC]	948.25	684	1.39	
Total	1095.60	719		

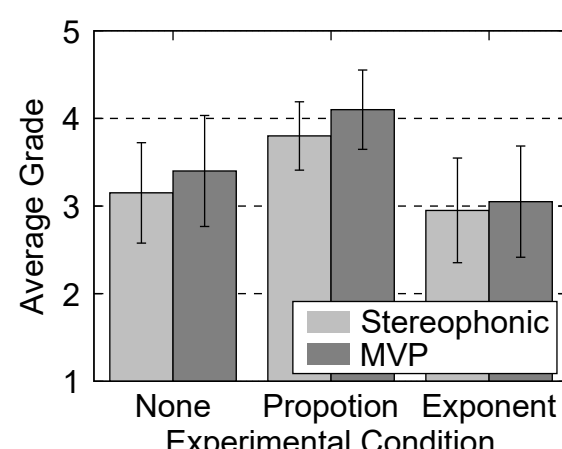
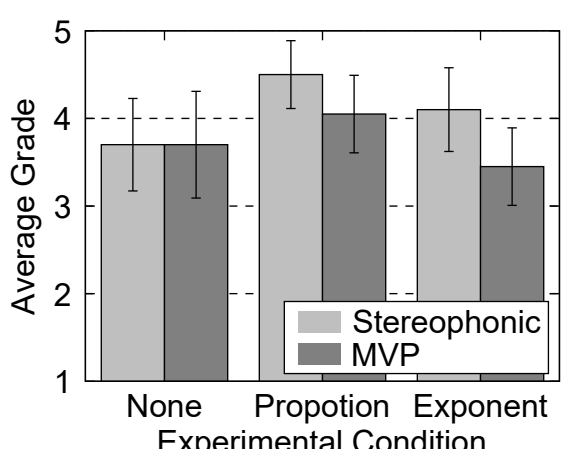
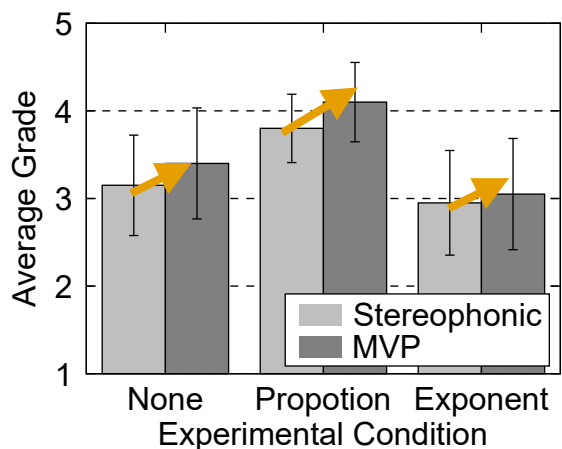
評価実験結果（音再生方式）

- 球体位置が中央の場合にMVP方式の方が良い

– 視聴位置：中央



– 視聴位置：側方



球体位置：中央

球体位置：左

球体位置：上

評価実験結果（音量変化手法）

• 音量変化手法（要因C）に関する検定結果

- 有意差あり

- C（0.1%有意）

- 主効果

↓

- 多重比較（C）

- 有意差あり

- 変化なし&比例増大

- 比例増大&指数増大

- 有意差なし

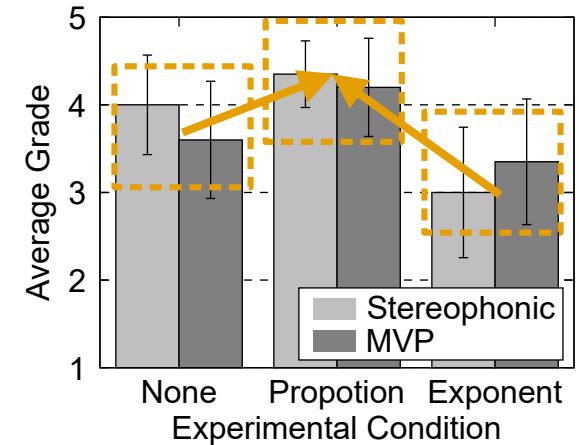
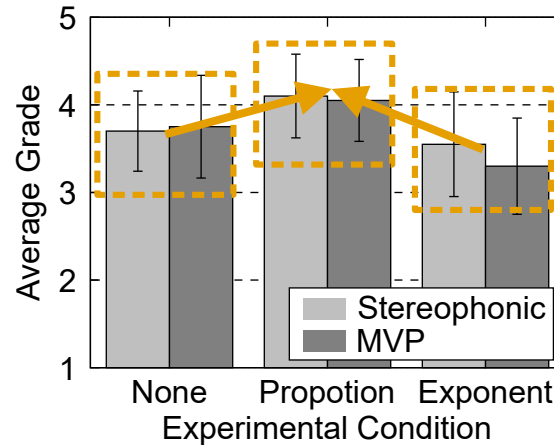
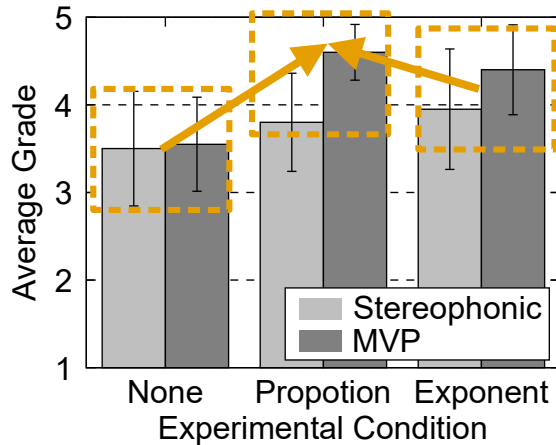
- 変化なし&指数増大

source	SS	df	MS	F
A: Sphere position	7.54	2	3.77	2.72 ⁺
B: Viewing position	10.51	1	10.51	7.58 ^{**}
C: Sound level variation	66.05	2	33.03	23.82 ^{****}
D: Sound playing	0.61	1	0.61	0.44
AB	17.03	2	8.52	6.14 ^{***}
AC	10.46	4	2.62	1.89
AD	9.10	2	4.55	3.28 [*]
BC	1.36	2	0.68	0.49
BD	0.23	1	0.23	0.17
CD	0.41	2	0.20	0.15
ABC	12.71	4	3.18	2.30 ⁺
ABD	2.88	2	1.44	1.04
ACD	4.44	4	1.11	0.80
BCD	2.84	2	1.42	1.02
ABCD	1.16	4	0.29	0.21
error[WC]	948.25	684	1.39	
Total	1095.60	719		

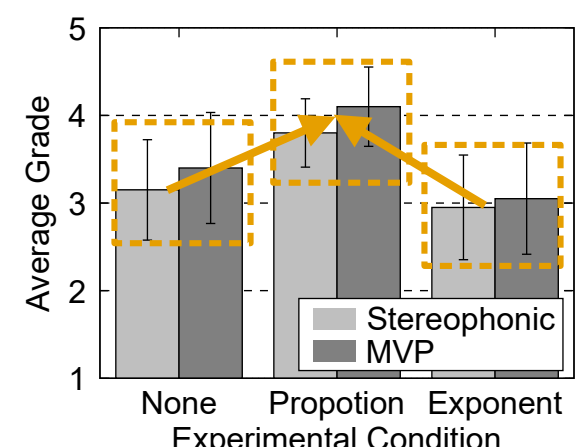
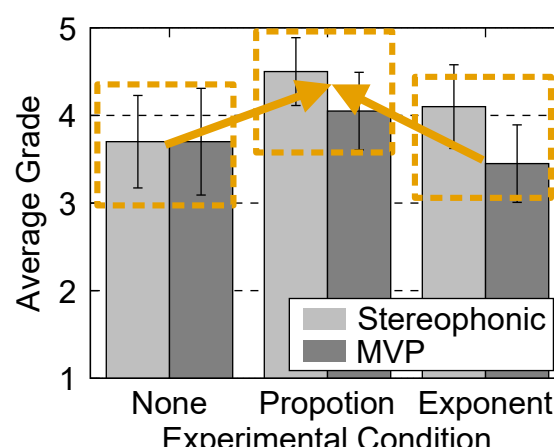
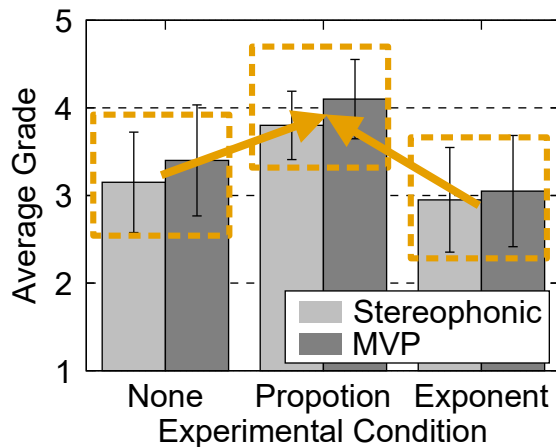
評価実験結果（音量変化手法）

- 比例増大のときに最も良い

– 視聴位置：中央



– 視聴位置：側方



球体位置：中央

球体位置：左

球体位置：上

まとめ

- MVP方式による奥行表現手法の可能性を検討
 - ステレオホニックも再生できるシステムを制作
- 制作システムを用いた評価実験を実施
 - 映像と音の一致度に基づいて評価
 - 映像が中心にある場合
 - MVP方式はステレオホニック方式よりも良い
 - 比例的に音量を変化させれば最も良い
- 今後の課題
 - 球体をより遠くから移動させた場合の検討
 - 物理的な現象を理解させたうえで一致度を評価