

TEllipsoid: 遠隔会議のための 視線方向を正しく伝える 顔画像提示用楕円球型ディスプレイ

東京工業大学 長谷川晶一研究室 修士2年
一居 太郎

背景

- 今日、様々な**情報通信技術**が発達・普及しているが、**対面会話**が最も基本的なコミュニケーション手段
 - 重要な意思決定などは、**高い交通費・人件費**をかけてでも対面会話で行われることが多い
- 空間的に**離れた**人々が対面しているかのように会話できる**遠隔会議システム**の実現
 - 大きなメリット（ex. コスト削減）

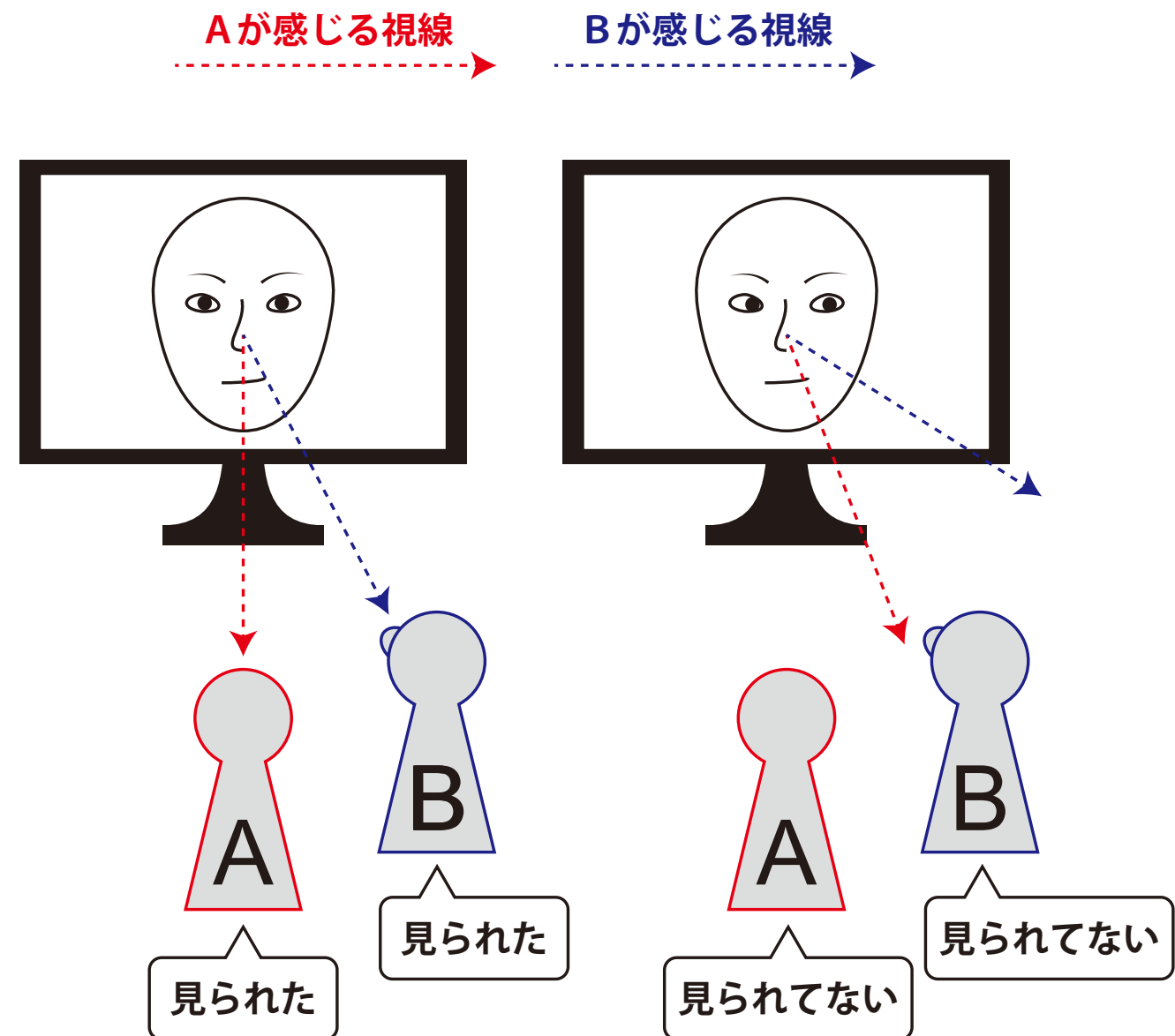
背景

- 現状のテレビ会議で用いられる**平面ディスプレイ**では、コミュニケーションで重要な役割をもつ**非言語情報**の適切な伝達が難しい
- 3人以上の多人数会話では、**視線**や身振りによって**話者交替**が調整される[1][2]
- 特に**視線**は、**モナリザ効果**が発生するため適切な伝達が困難

背景

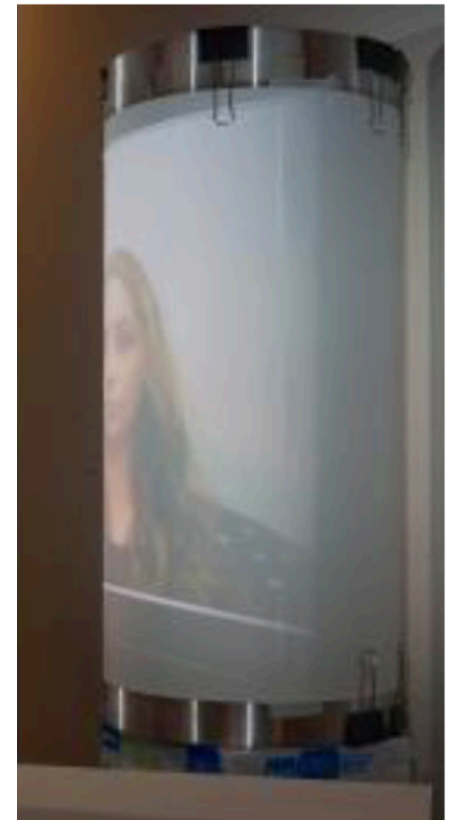
- モナリザ効果 [3]

- 正面を見ている顔画像
→ どの方向から見ても
目が合っていると感じる
- 正面を見ていない顔画像
→ どの方向から見ても
目が合っていないと感じる



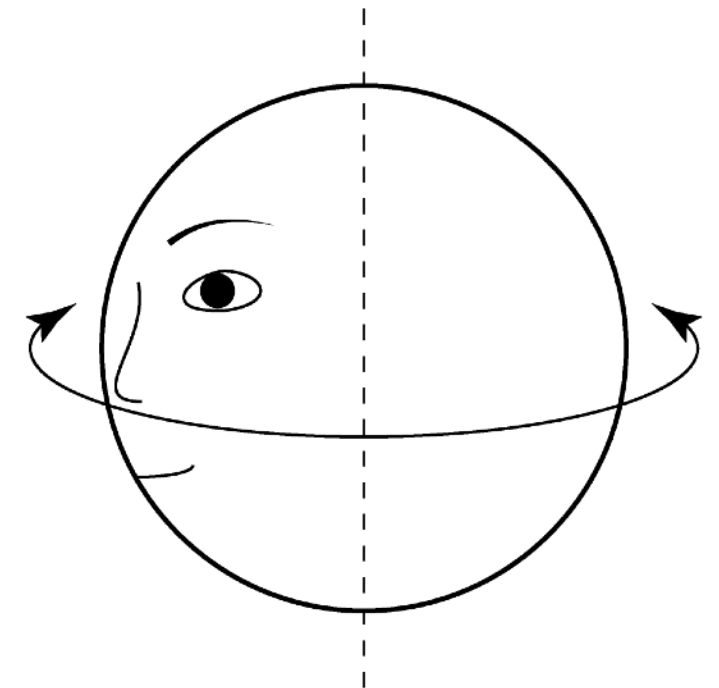
背景

- ① モナリザ効果の**解消**
 - **多視点3Dディスプレイ**^[4]や**立体顔形状ディスプレイ**^[5]で
モナリザ効果を解消可能
→**駆動機構**が必要で**騒音・保守運用**に問題
 - **曲面スクリーン**に投影された顔画像でも
モナリザ効果を解消可能^[6]
→より**リーズナブル**



背景

- ② 遠隔会議システムを**実用**するための**利便性**
 - 不特定多数が利用できるための**汎用性**
 - **製造コスト・故障リスク**の低さ
 - → **駆動機構**を最小限にする必要
 - → 顔を**左右90°**まで向ける必要
 - **鉛直軸対称**な回転体形状のディスプレイ
 - 左右回転を**映像のみ**で表現可能



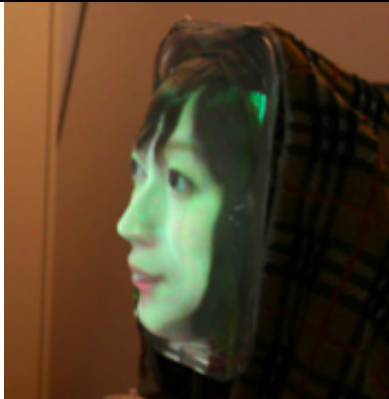
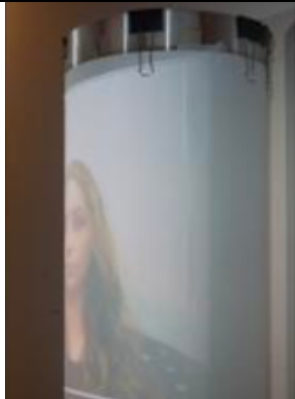
背景

- ③ 提示像と実際の外見の**同一性**
 - 遠隔会議システムでの**対話者**→**以前**対面会話した/**以後**に対面会話する相手
 - 表示される顔画像が実際の外見と**大きく異なる**
→受話者が提示像を対話者として**認識しづらくなる** [7]
 - 人間は相手が誰であるか顔パーツの**全体的な配置情報**で同定 [8][9]
→**顔パーツ**配置や**輪郭**が実際の外見と同様に見えることが必要
 - テーブルを囲んだ会議では正面側**180°**の範囲から見られる
→**視野角**の広さも必要

背景

- 実用的な遠隔会議システムには以下の3要素が必要
 - ① モナリザ効果の**解消**
 - ② 遠隔会議システムを**実用**するための**利便性**
 - ③ 提示像と実際の外見の**同一性**
- これらを**全て**満たす手法は現状存在しない

先行研究

手法	多視点3D ディスプレイ[4]	立体顔形状 ディスプレイ[5]	曲面 スクリーン[6]	半球型 スクリーン[10]
写真				
特徴	高速 プロジェクタ と 回転金属板 を用いて 顔画像を立体的に表示	顔型 のスクリーンに 顔画像を投影 / 頭部の回転に 駆動機構 が必要	円筒型 のスクリーンに 顔画像を投影 / 視野角 が狭い	半球型 スクリーンに アニメ調 の 線画顔画像を投影
モナリザ効果の 解消	◎	◎	○	×
実用のための 利便性	×	×	○	○
実際の外見との 同一性	◎	◎	×	△

提案/目的

- モナリザ効果解消・利便性・同一性を両立するものとして
顔画像提示用**楕円球型ディスプレイを提案**
- 楕円球面：**曲面**をもつ・鉛直軸**対称**・**輪郭**が実際の顔に近い

提案/目的

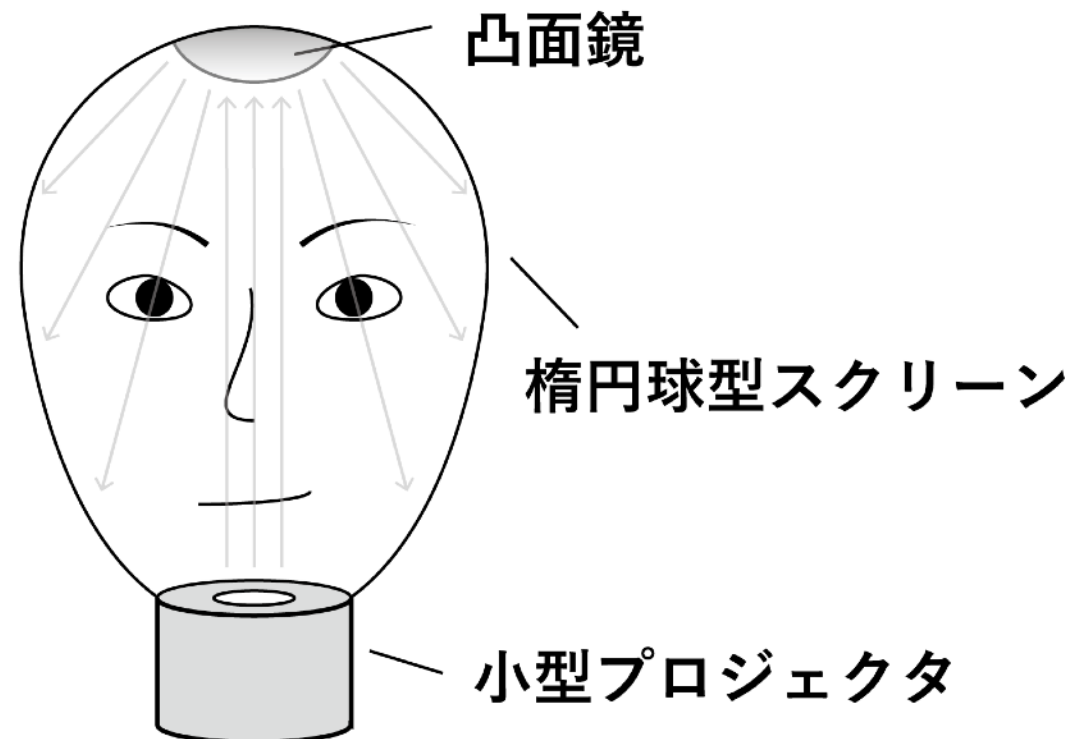
- モナリザ効果解消・利便性・同一性を両立するものとして
顔画像提示用**楕円球型**ディスプレイを提案
- 楕円球面：**曲面**をもつ・鉛直軸**対称**・**輪郭**が実際の顔に近い

目的

楕円球面スクリーンに投影された顔画像による適切な視線方向の伝達

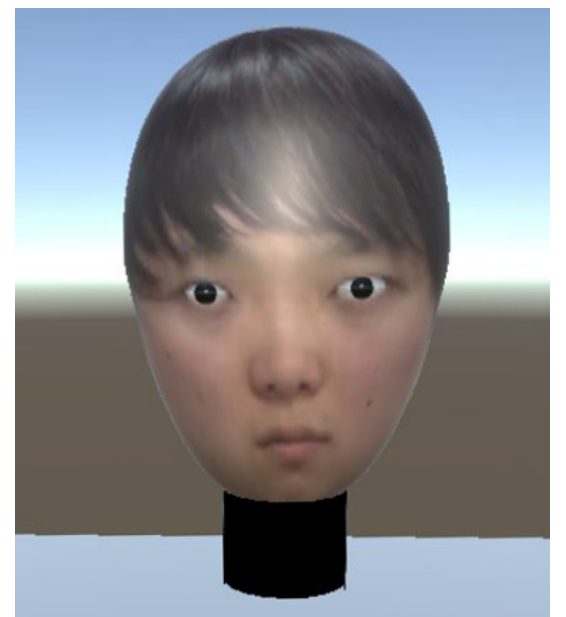
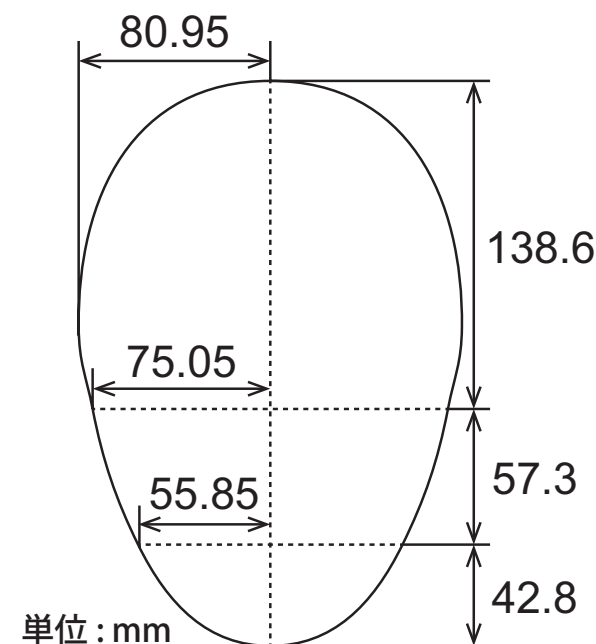
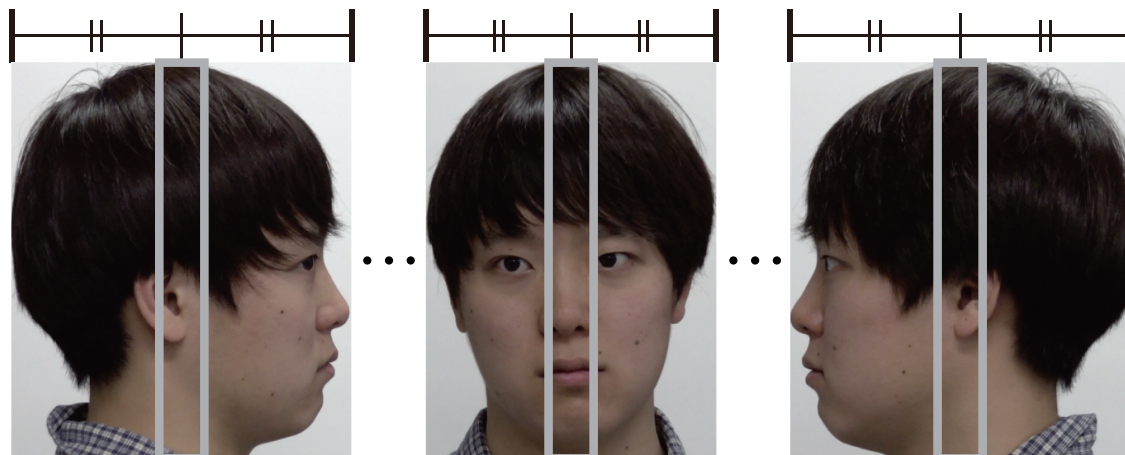
提案手法

- **TEllipsoid (Tele + Ellipsoid)**
 - 小型プロジェクタから投影された顔画像を凸面鏡で反射させ、楕円球型スクリーンに投影



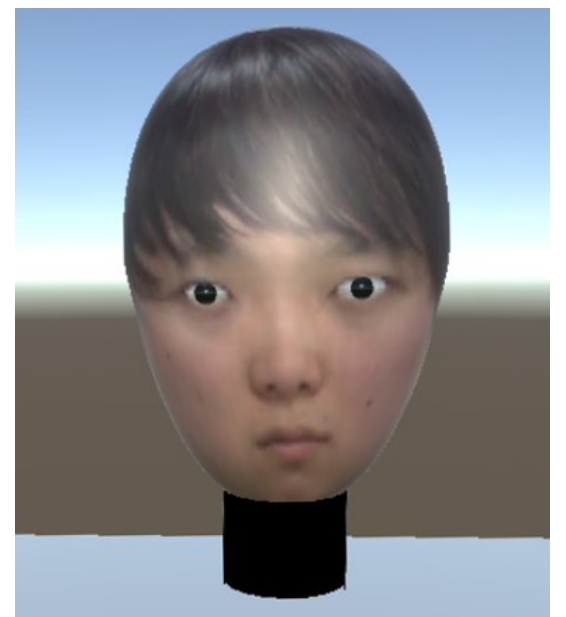
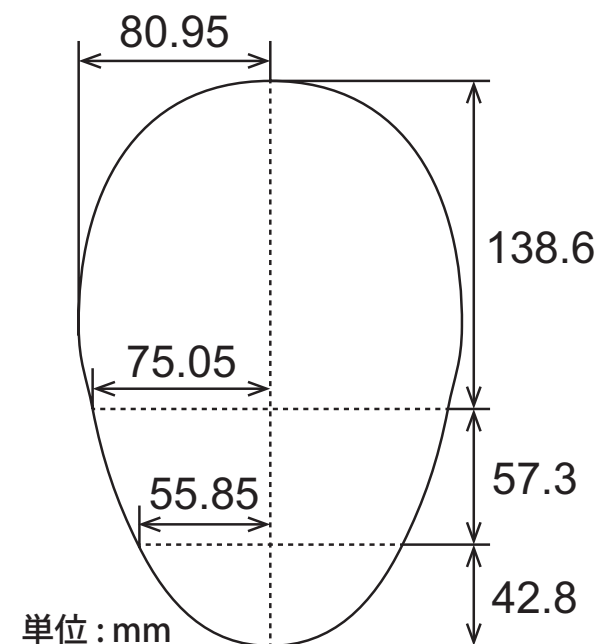
提案手法

- プロトタイプ1：VR空間内
 - Unity(2019.1.2f1)を用いて作成し、ヘッドマウントディスプレイ(Oculus Quest)で観察
 - 提示像は人物を **360° 全周撮影**した画像を合成し、スクリーンに**逆円筒状投影**
 - スクリーン形状は日本人青年男子の**平均顔寸法**をもとに設計 [11]



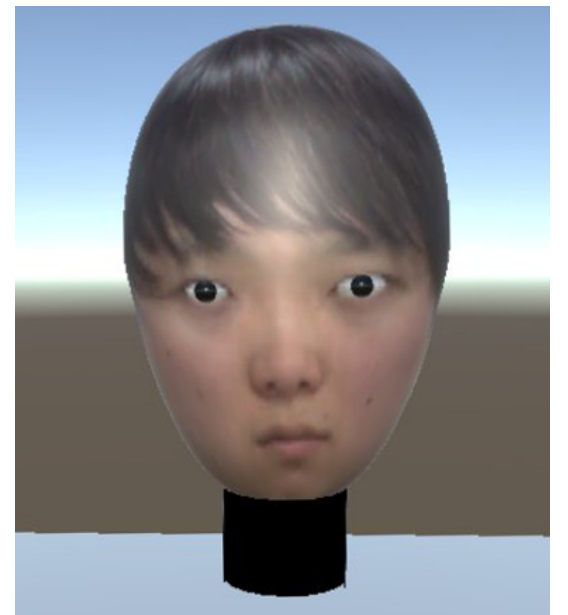
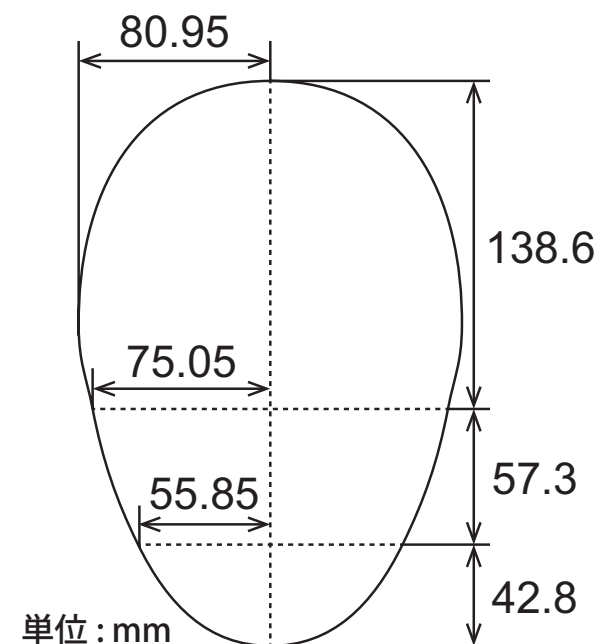
提案手法

- プロトタイプ1：VR空間内
 - Unity(2019.1.2f1)を用いて作成し、ヘッドマウントディスプレイ(Oculus Quest)で観察
 - 提示像は人物を **360° 全周撮影**した画像を合成し、スクリーンに**逆円筒状投影**
 - スクリーン形状は日本人青年男子の**平均顔寸法**をもとに設計 [11]



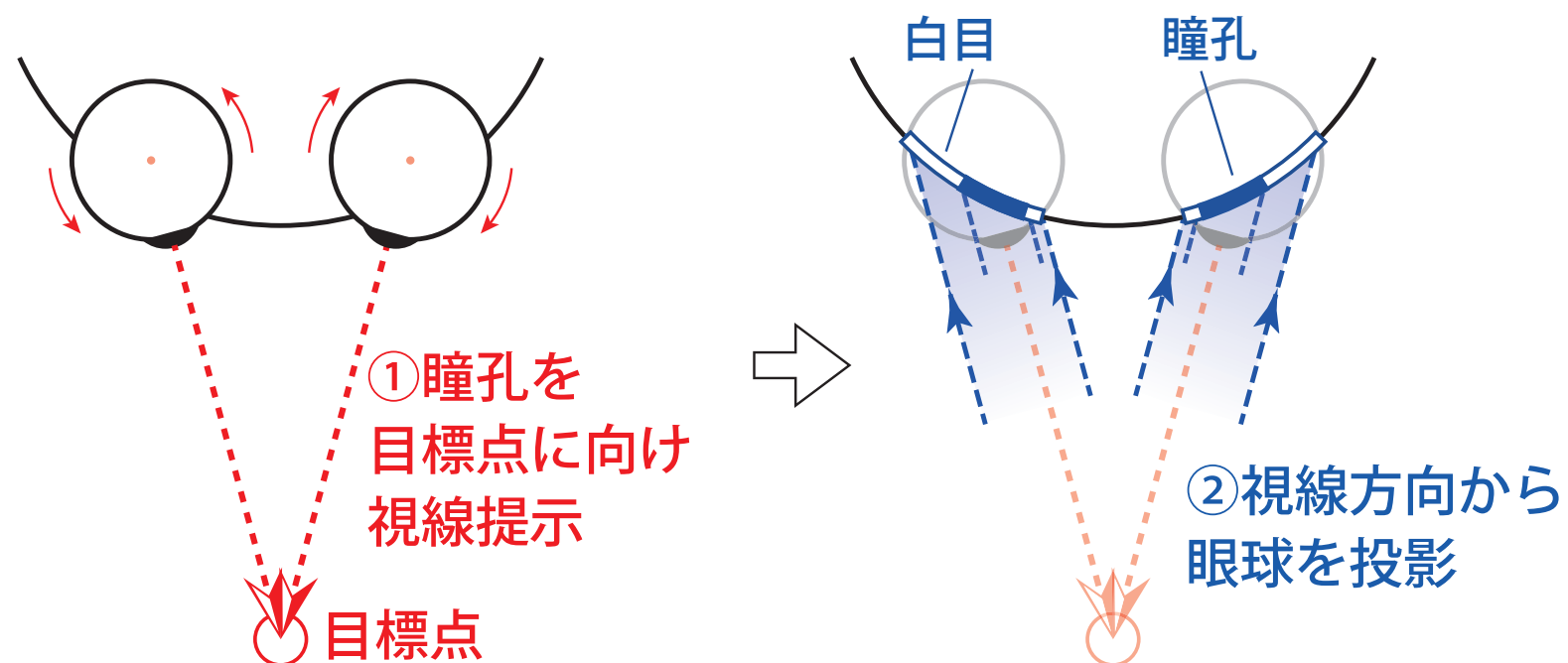
提案手法

- プロトタイプ1：VR空間内
 - Unity(2019.1.2f1)を用いて作成し、ヘッドマウントディスプレイ(Oculus Quest)で観察
 - 提示像は人物を **360° 全周撮影**した画像を合成し、スクリーンに**逆円筒状投影**
 - スクリーン形状は日本人青年男子の**平均顔寸法**をもとに設計 [11]



提案手法

- 視線提示機能
 - 眼球モデルの瞳孔を目標点に向け、視線方向から楕円球面上に平行投影
 - 目標点から観察すると歪みなく見える投影方法
 - 左右位置・回転中心：眼窩の中心に合わせる
 - 上下/前後位置・大きさ：実物に合わせる



提案手法

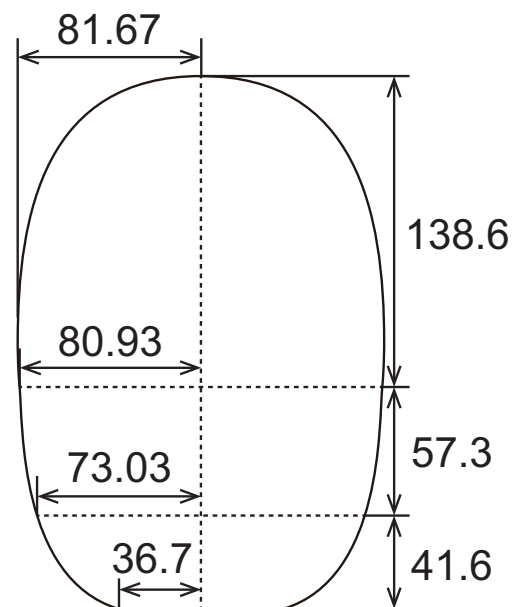
- プロトタイプ2：実デバイス
 - スクリーン: 3Dプリント (PETG製, **0.4mm**厚)
 - プロジェクタ: 小型**レーザ**プロジェクタを使用
 - 凸面鏡: 球面鏡 (半径110 mm, 厚さ16mm)
 - Unityで製作した**等価な光学系**で
プロジェクタから投影する映像を生成



提案手法

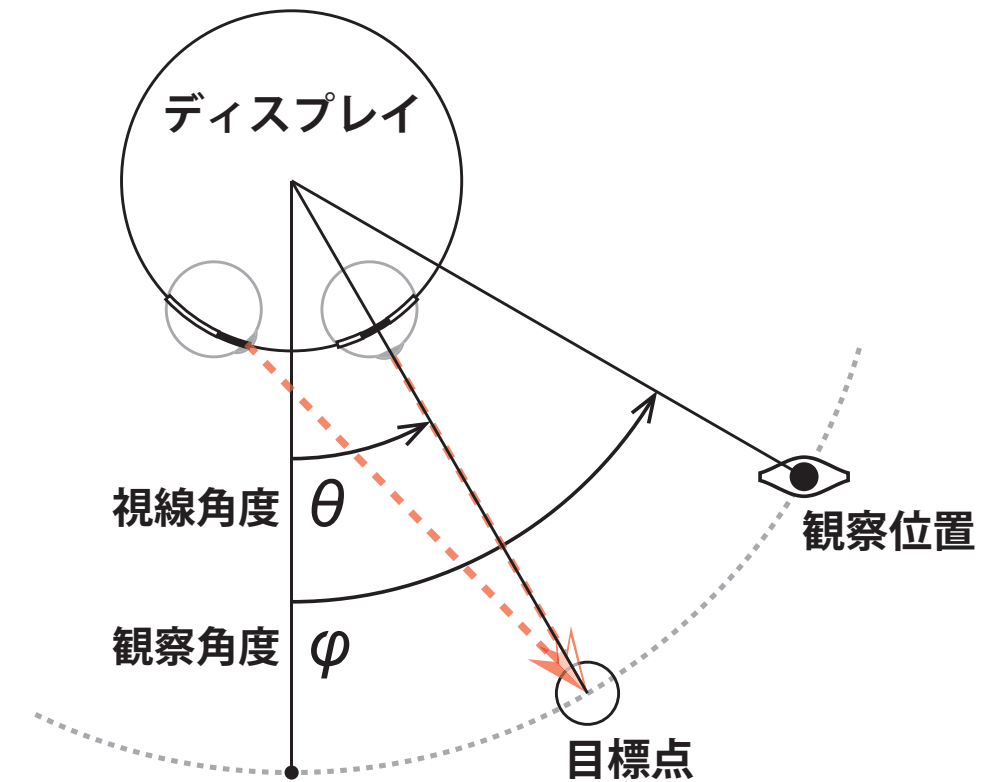
- プロトタイプ2：実デバイス

- スクリーン形状は**鼻や口の配置**および**横顔の自然さ**を改善するため一部を変更
- 提示像は**顎の輪郭**を表現するために一部を黒く**塗り潰した**
- **豊満でない正面顔と自然な横顔**の輪郭を両立するように塗り潰し領域を**調整**
- 顔の輪郭が視線方向に影響する**Wollaston effect** ^[12] の誘起も期待される



実験1-1 (VR空間内)

- 目的
 - 特定の方向からのみ視線が合ったと知覚できるか
 - 視線角度と視線一致を知覚する観察角度の関係の調査
- 条件
 - 実験参加者：研究室内の成人男女11名
 - VR空間内(Oculus Quest)で、目の高さを合わせたディスプレイを1 mの距離から観察
 - 視線角度 $\theta \in \{-40^\circ, -32^\circ, -24^\circ, -16^\circ, -8^\circ, 0^\circ, 8^\circ, 16^\circ, 24^\circ, 32^\circ, 40^\circ\}$
 - 観察角度 $\phi \in \{-90^\circ, -60^\circ, -30^\circ, 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ\}$
- 手順: 11×7=77 通りの刺激をランダムに5秒ずつ提示し、目が合った場合のみボタンで回答



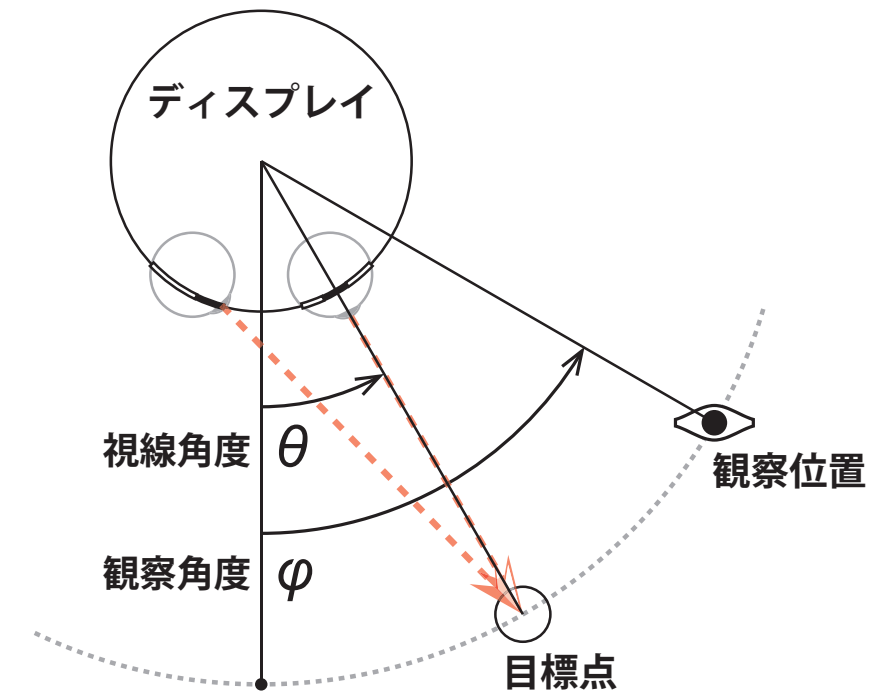
結果1-1

- 各刺激に対して**視線一致**を知覚した**人数**
- 視線角度**と視線一致を知覚する
観察角度は概ね比例関係にあったが、値は必ずしも一致しなかった

視線角度 $\theta / ^\circ$	観察角度 $\varphi / ^\circ$						
	-90	-60	-30	0	30	60	90
-40	2	4	0	0	1	0	0
-32	0	5	1	0	0	0	0
-24	0	10	7	0	0	0	0
-16	0	8	9	0	0	2	0
-8	0	3	7	2	0	0	0
0	0	1	1	11	1	1	1
8	0	0	0	1	7	5	0
16	0	0	0	0	9	9	0
24	1	0	0	0	3	10	0
32	0	0	0	0	0	6	0
40	0	0	0	0	1	2	2

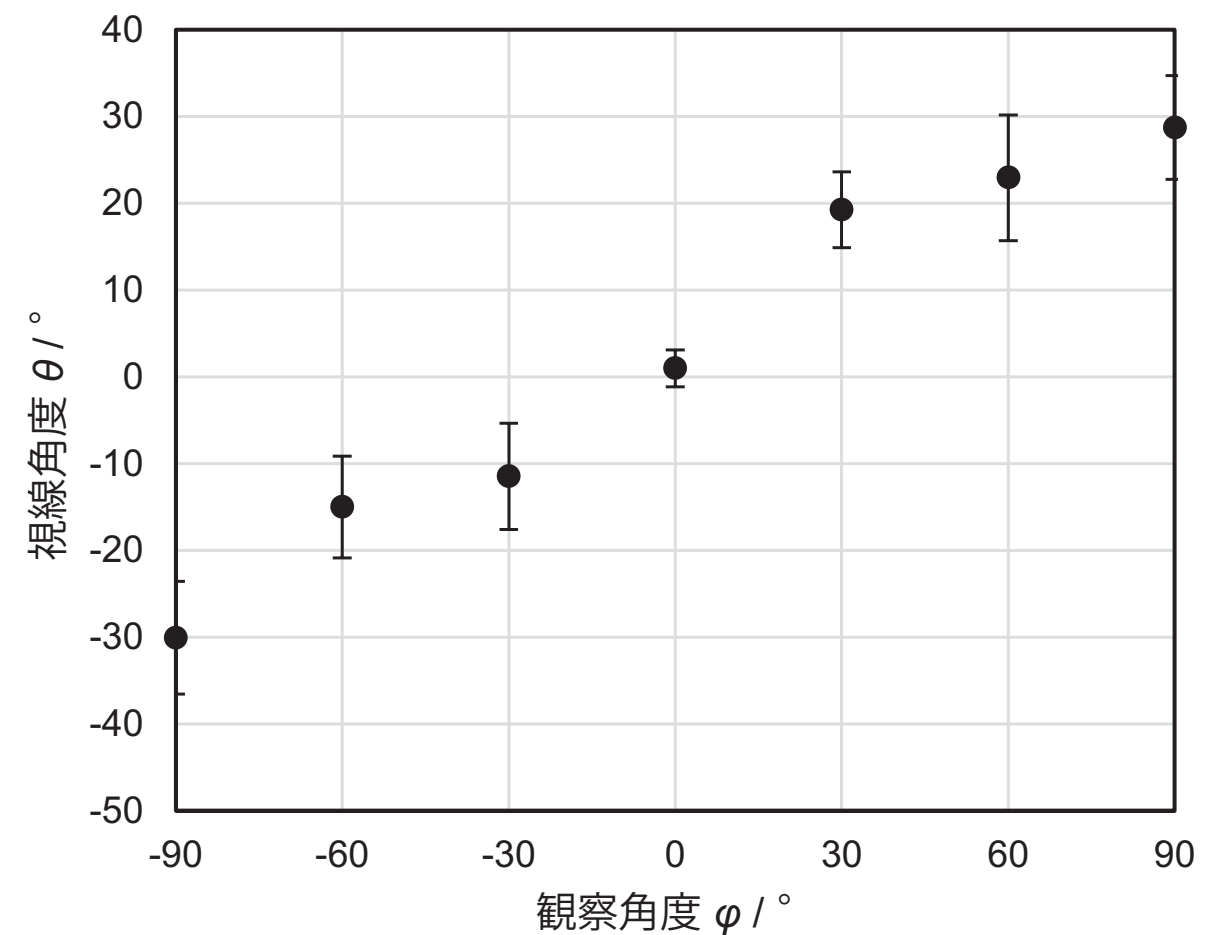
実験1-2 (実デバイス)

- 目的: 各**観察角度**で、視線一致を最も強く知覚する厳密な**視線角度**の調査
- 条件
 - 実験参加者：研究室内の**成人男女11名**
 - **暗室**で、目の高さを合わせたディスプレイを**1.5 m**の距離から観察
- 手順
 - **観察角度** $\phi \in \{-90^\circ, -60^\circ, -30^\circ, 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ\}$ をランダムに提示
 - ボタンを押して視線角度を**調整**し、視線一致を最も強く知覚する**視線角度**を回答
 - ボタンを押すごとに視線角度は 2° or 0.5° ずつ変化させ、0.5秒間消灯



結果1-2

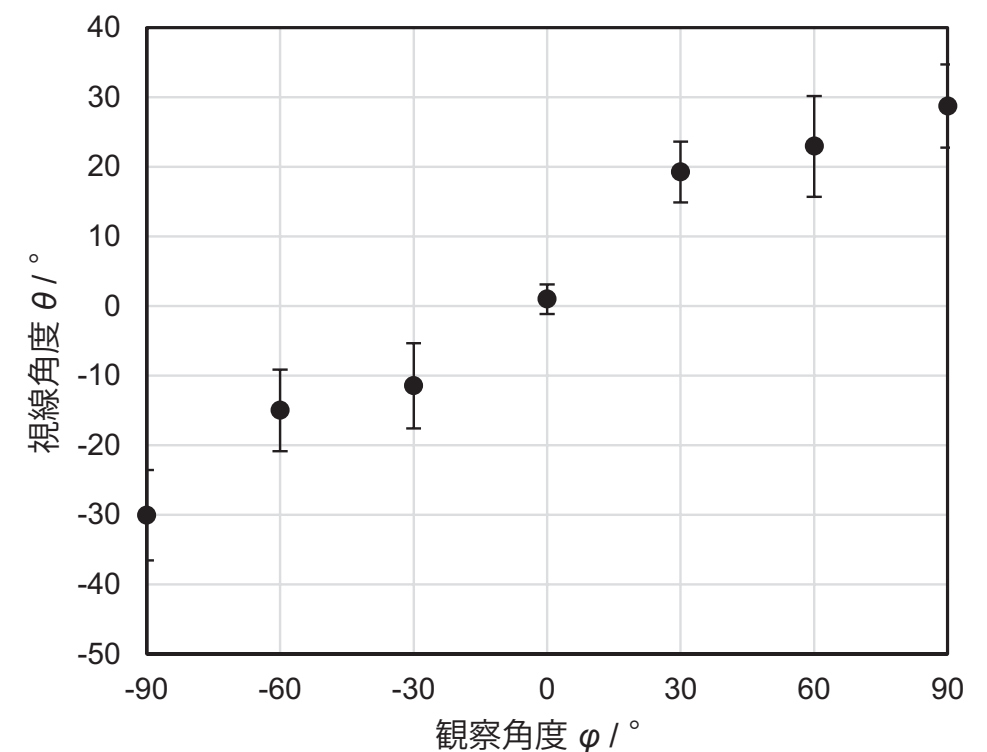
- 各**観察角度**に対する、視線一致を最も強く知覚する**視線角度**
- 実験1と同様の結果
- **観察角度**と視線一致を知覚する**視線角度**は概ね比例関係にあったが、値は必ずしも一致しなかった



考察 モナリザ効果の解消

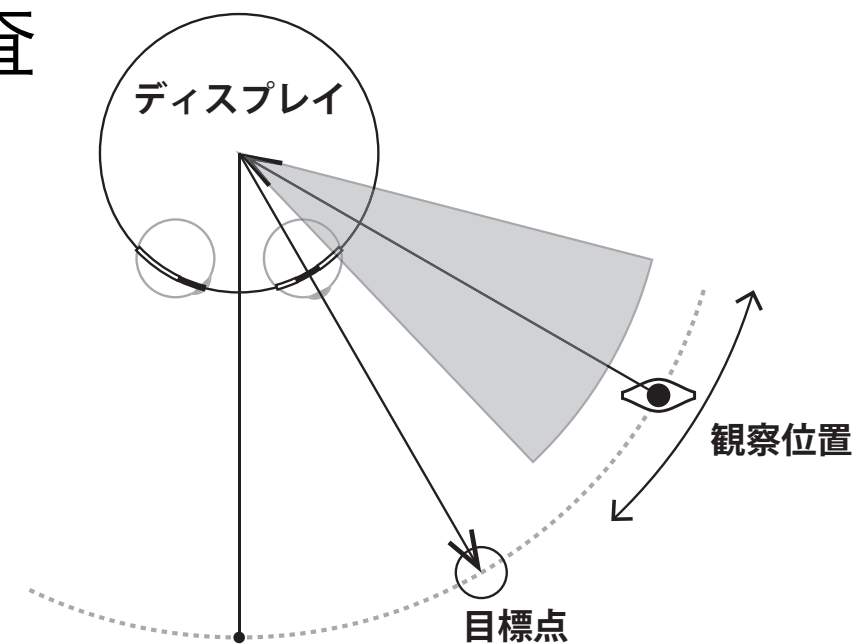
- 正面を見ている顔画像
→ 視線一致を知覚するのは概ね**正面のみ**
- 正面を見ていない顔画像
→ **特定の範囲**で視線一致を知覚しやすい傾向
- → モナリザ効果はある程度**解消**
- 視線角度が $\pm 8^\circ$, $\pm 16^\circ$, $\pm 24^\circ$ のとき、
視線一致を知覚しやすい観察角度は**複数**ある
→ **同時に複数人**が視線一致を知覚するおそれ
→ 詳細に調べる必要

	観察角度 $\varphi / ^\circ$						
	-90	-60	-30	0	30	60	90
視線角度 $\theta / ^\circ$	-40	2	4	0	0	1	0
	-32	0	5	1	0	0	0
	-24	0	10	7	0	0	0
	-16	0	8	9	0	0	2
	-8	0	3	7	2	0	0
	0	0	1	1	11	1	1
	8	0	0	0	1	7	5
	16	0	0	0	0	9	9
	24	1	0	0	0	3	10
	32	0	0	0	0	0	6
	40	0	0	0	0	1	2



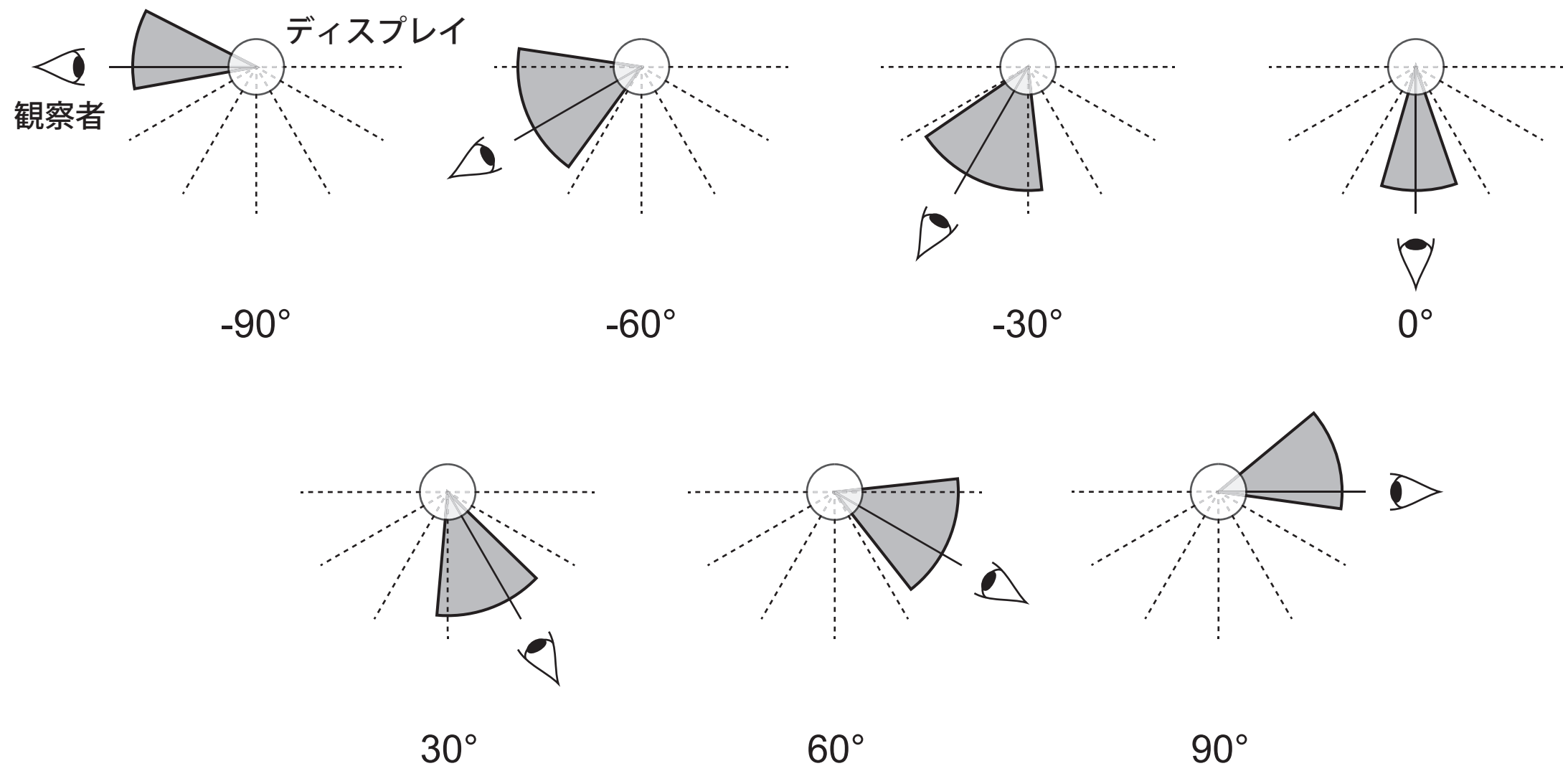
実験2

- 目的: 実験1-2で得た各**視線角度**について、視線一致を知覚する**観察角度の範囲**を調査
- 条件: 実験1-2と**同様**
- 手順
 - 実験1-2で答えた視線角度と観察角度の**組み合わせ**から観察角度をずらしていき、視線一致を**全く知覚しなくなった**角度を回答
 - 各観察角度についてランダムに実行し、**左右両方**について調査



結果2・考察

- 実験1-2で得た各視線角度について、視線一致を知覚しうる
観察角度の範囲



結果2・考察

- 正面からの角度幅は最大でも**38.5°**（1.5mの距離で**99cm**に相当）
→会議で**隣り合った**参加者が38.5°以上離れていれば**一人ずつ**に視線提示可能
- 視線一致を知覚する範囲に明確な**境界**はなく、視線一致確率の**正規分布**として存在^[13]→**心理学的絶対閾**はより狭い可能性がある

	観察角度	-90	-60	-30	0	30	60	90
左端	平均	(-117.0)	-98.5	-55.6	-16.1	-5.0	38.1	82.1
	標準偏差	(15.5)	14.5	13.5	5.5	12.7	10.0	3.5
	角度幅	(27.0)	38.5	25.6	16.1	35.0	21.9	7.9
右端	平均	-79.8	-36.1	6.4	19.1	45.8	96.2	(129.6)
	標準偏差	3.9	8.3	17.3	8.9	6.9	14.1	(21.0)
	角度幅	10.2	23.9	36.4	19.1	15.8	36.2	(39.6)

実験3

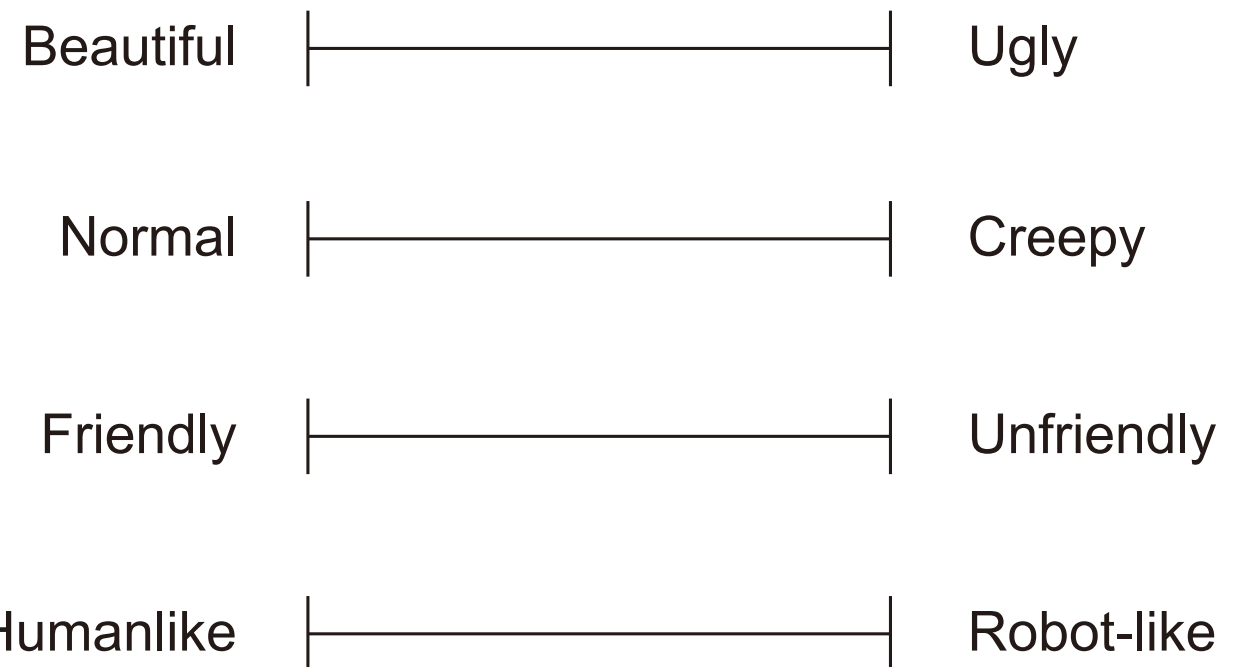
- 目的

- 提示像が遠隔参加者であると認識できるか評価
- 提示像にどのような印象を抱くか評価

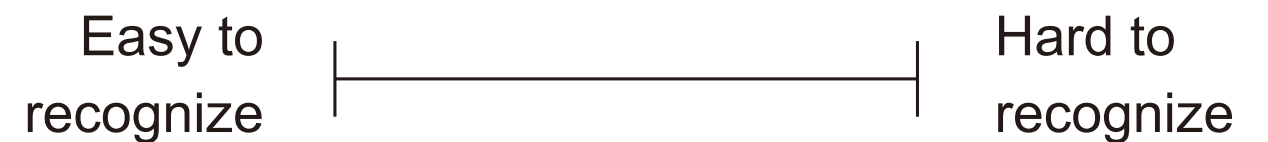
- 条件

- 実験参加者：成人男女11名
- ビジュアルアナログスケール（VAS）で評価
- 暗室で実施・視線角度を調整可能

1. How do feel about the face?



2. Can you recognize who is that person?



結果3・考察

- VASに記録された印は線分全体の長さに対する左端から印までの長さの比に変換
- 質問 "How do you feel..." : 比の平均値はいずれも**0.5**に近い
→ 提示像に対する印象は**ほぼ中立**
- 質問 "Can you recognize..." : "**Easy** to recognize"に近い
→ **半分以上**の実験参加者が提示像が誰であるか簡単に**認識**できた
→ 提示像と実際の外見の**同一性**は高い

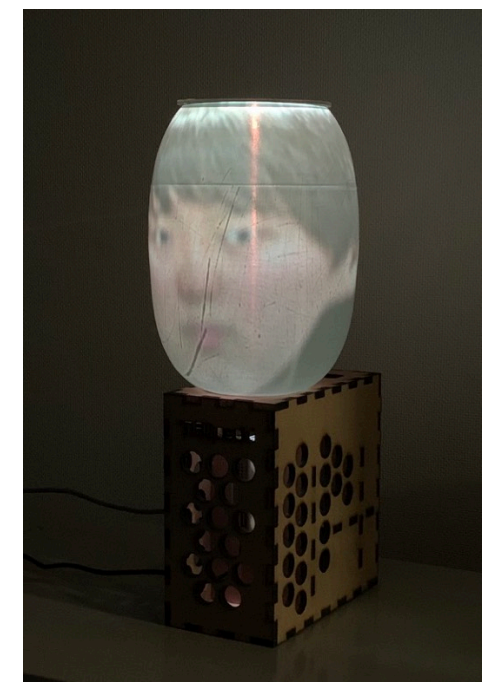
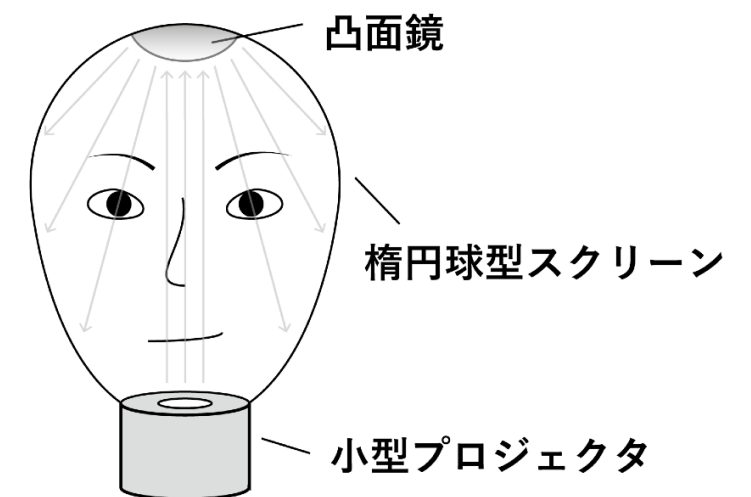
	平均	標準偏差	中央値
質問 : "How do you feel about the face?"			
Beautiful(0) – Ugly(1)	0.499	0.123	0.504
Normal(0) – Creepy(1)	0.453	0.175	0.421
Friendly(0) – Unfriendly(1)	0.481	0.219	0.504
Humanlike(0) – Robot-like(1)	0.405	0.201	0.329
質問 : "Can you recognize who is that person?"			
Easy to recognize(0) – Hard to recognize(1)	0.357	0.262	0.271

結論

- 実用的な遠隔会議システムに必要な「**モナリザ効果の解消**」 「**実用上の利便性**」
「**実際の外見との同一性**」を両立するものとして、
顔画像提示用**楕円球型ディスプレイを提案**

- 視線伝達能評価
 - モナリザ効果は**解消された**
 - テーブルを囲んだ会議で、隣り合った参加者が
38.5°以上離れていれば、**一人ずつ**に視線提示が可能

- 印象評価
 - 提示像に対する印象は**ほぼ中立**
 - **半分以上**の実験参加者が提示像が誰であるか**簡単に認識**できた



今後の展望

- **遠隔会議システムとしての完成**
 - 表情・まばたき・口唇動作の表出機能の実装
 - 表情キャプチャ・同期機能の実装
 - 遠隔参加者への会議室の 180°パノラマ映像伝送機能の実装
- **自分以外の顔画像の実装・評価**
- デバイスと**視線一致しない**場合の視線伝達能評価
- 上下方向・前後(輻輳)方向の視線伝達能評価

参考文献

- [1] Duncan, Jr., S. (1972) "Some signals and rules for taking speaking turns in conversation," *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol.23, pp.283- 292.
- [2] Kendon, A., (1967) "Some functions of gaze direction in social interaction," *Acta Psychologica*, Vol.26, pp.22-63.
- [3] Sheena Rogers, Melanie Lunsford, Lars Strother, Michael Kubovy, (2003) "The Mona Lisa effect: Perception of gaze direction in real and pictured faces."
- [4] A.Jones, M.Lang, G.Fyffe, X.Yu, J.Busch, I.Mcdowall, M.Bolas, and P. Debevec. Achieving eye contact in a one-to-many 3d video teleconferencing system. *ACM Transactions on Graphics*, 28(3):64:1–8, Aug. 2009.
- [5] 三澤 加奈, 石黒 祥生, 暦本 純一, LiveMask : 立体顔形状ディスプレイを用いたテレプレゼンスシステムにおけるコミュニケーションの評価, *インタラクシオン 2012*, pp.41-48, 2012
- [6] Ye Pan , Anthony Steed, A gaze-preserving situated multiview telepresence system, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, April 26-May 01, 2014, Toronto, Ontario, Canada
- [7] 平家雅之, 川崎裕達, 田中貴紘, 藤田欣也, 類似度と好感度を両立する個人化アバタのデフォルメ法の検討, *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, Vol.13, No.3, pp.243-254, 2011.
- [8] R. Cabeza, V. Bruce, T. Kato, and M. Oda. The prototype effect in face recognition: Extension and limits. *Memory & Cognition*, 27(1):139– 151, Jan 1999.
- [9] 井上 さくら, 山本 美恵子, 山崎 和広, 顔形態印象の客観 的評価技術の開発, *日本化粧品技術者会誌*, Vol.34, No.3, pp. 249-254, 2000.
- [10] F. Delaunay, J. de Greeff and T. Belpaeme, "A study of a retro-projected robotic face and its effectiveness for gaze reading by humans," 2010 5th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI), Osaka, 2010, pp. 39-44.
- [11] 河内まき子・持丸正明、2005 AIST人体寸法データベース、産業技術総合研究所H16PRO 287
- [12] W.H.Wollaston. Xiii. on the apparent direction of eyes in a portrait. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 114(1):247– 256, Jan. 1824.
- [13] J. Hakala, J.K'atsyri, T. Takala, and J.H'akkinen. Percep- tion of stereo-scopic direct gaze: The effects of interaxial distance and emotional facial expressions.*Journal of vi- sion*, 16:5, 2016.