

SCOPEセミナー2017

視覚触覚間の感覚間相互作用を利用した 形状伝送システムの研究開発

研究代表者

東京大学大学院情報理工学系研究科 鳴海拓志

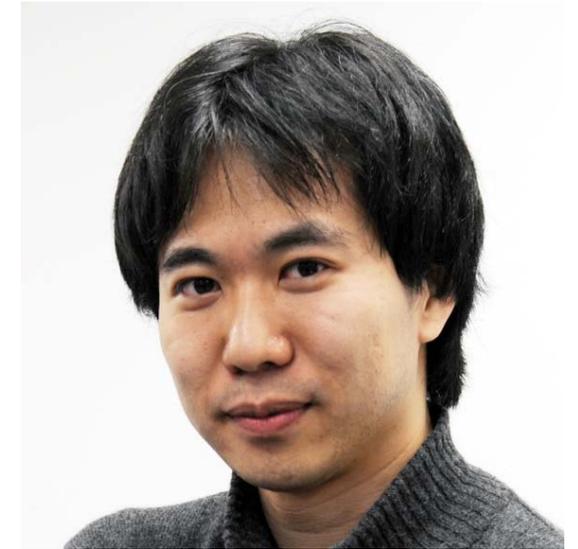
研究分担者

廣瀬通孝, 谷川智洋



自己紹介

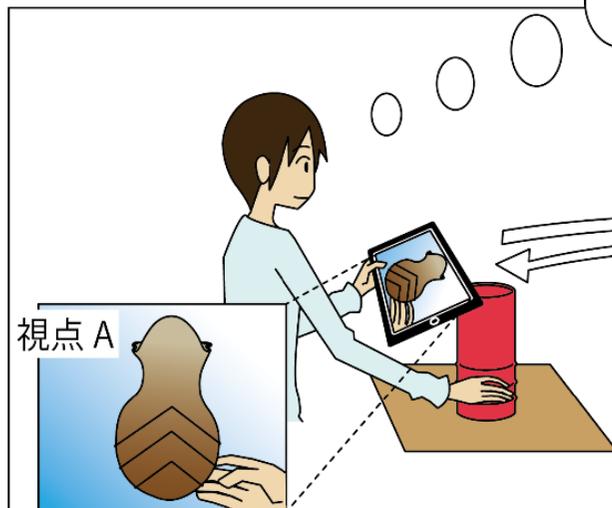
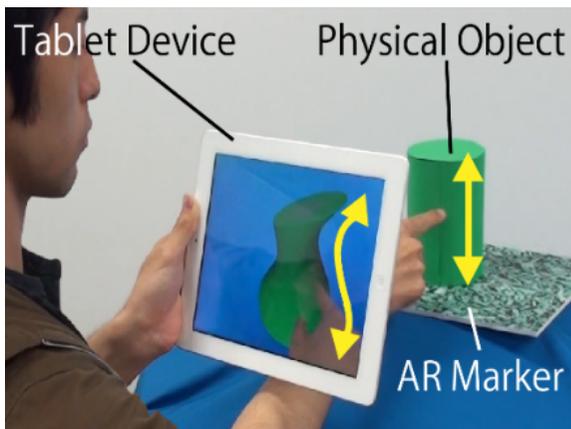
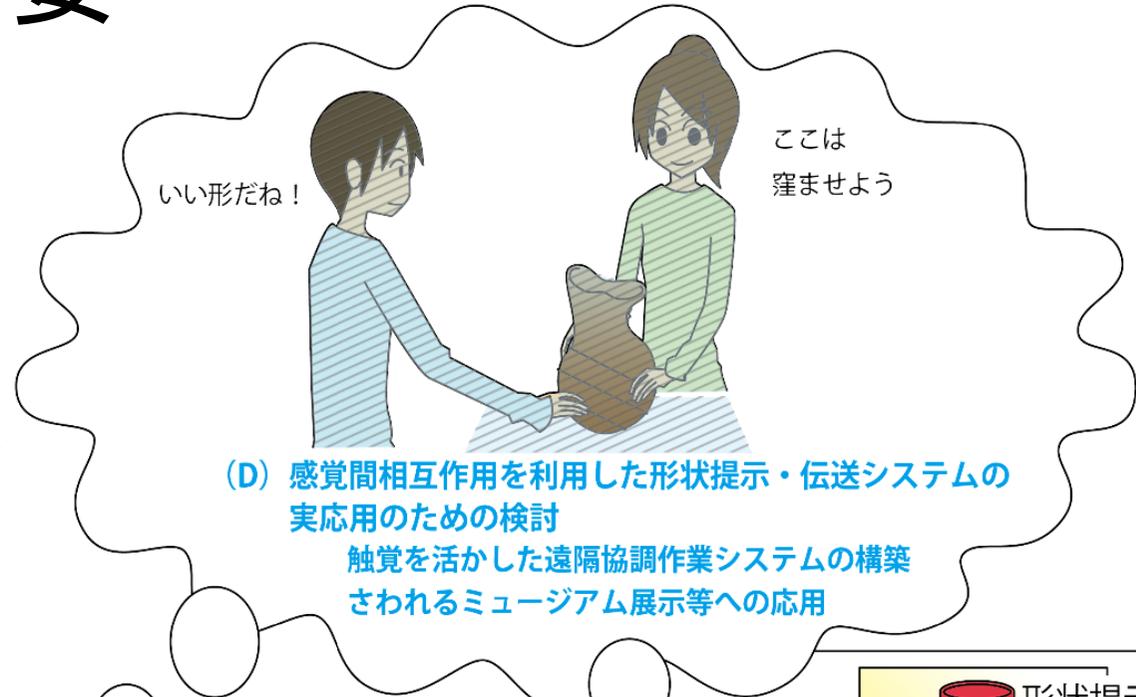
鳴海拓志



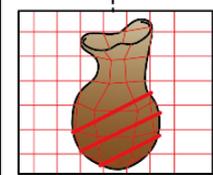
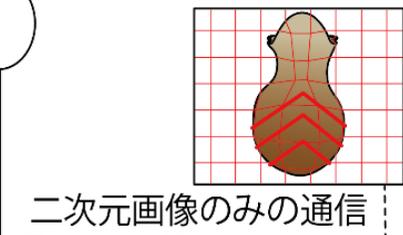
- 東京大学大学院情報理工学系研究科
廣瀬・谷川・鳴海研究室 講師
- narumi@cyber.t.u-tokyo.ac.jp
- <http://www.cyber.t.u-tokyo.ac.jp/~narumi/>
- 研究分野
 - バーチャルリアリティ (特に五感インタフェース)
 - 拡張現実感
 - 超現実テレプレゼンス

SCOPEでの研究の概要

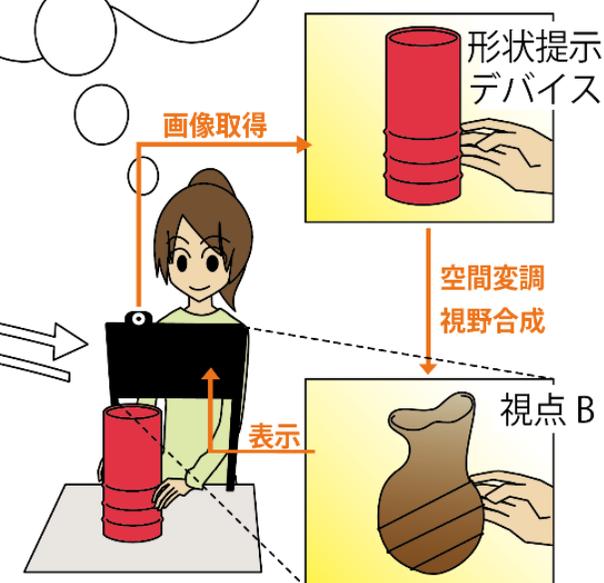
視覚触覚間相互作用を利用した
触知覚提示手法を通信に応用し、
簡易に高精細な触知覚の取得・
伝送・再現を可能にするシステムを
実現する。



(C) 任意視点視触覚生成技術
任意背景で利用できる手・物体領域抽出
手とバーチャル物体の幾何学的整合性保持

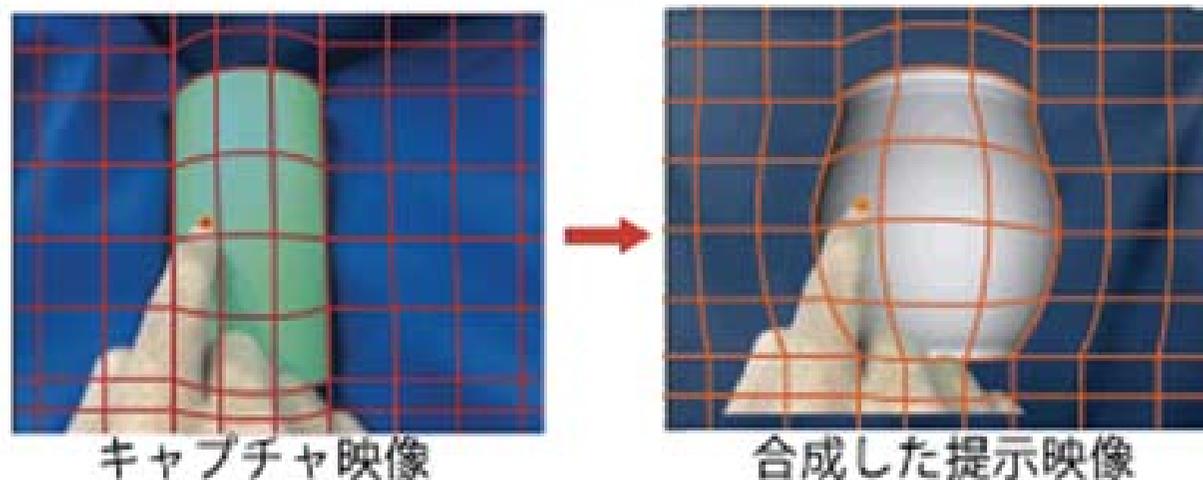
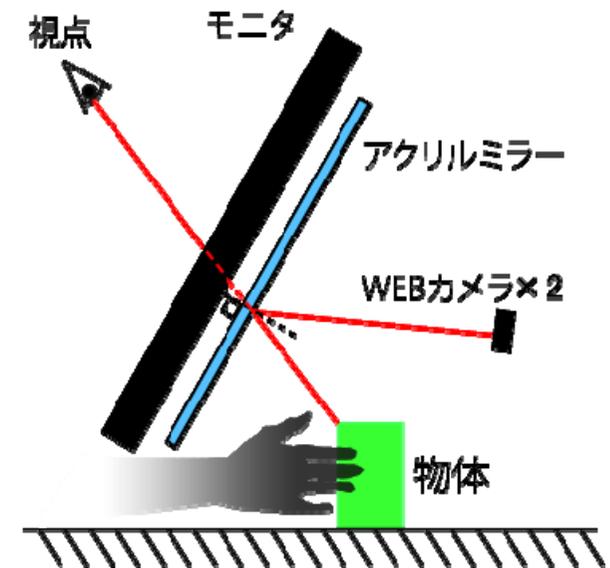


(A) 視触覚モデリング技術
視覚触覚間相互作用で
多様な触要素を生起するための
二次元歪みマップ生成



(B) Perception-based Shape Display 技術
視覚触覚間相互作用を利用した複雑形状の提示
手形状変形手法による多様な接触方法への対応

Perception-based Shape Display



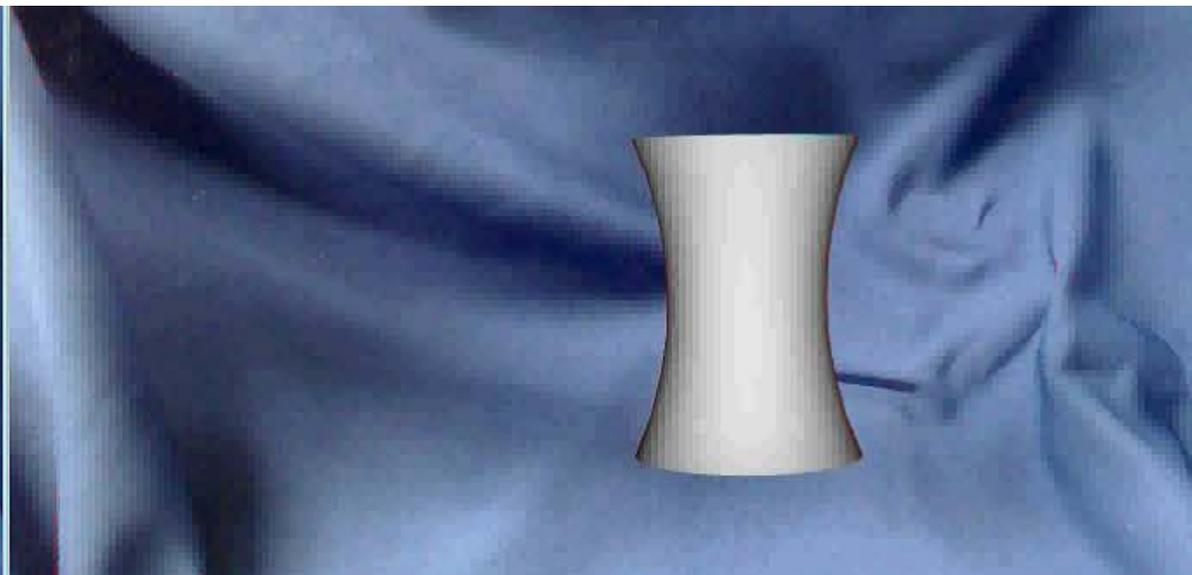
映像中の手の位置を適切に変化させることで単一の触対象から多様なバーチャル物体に触れたような触覚を提示

三次元のなぞりに対する効果の検証

実際の様子(形状A)



提示映像(形状B)



visual \ physical	1	2	3	4	5	6
1	85.0	15.0	5.0	20.0	0.0	
2				触知覚率[%]		5.0

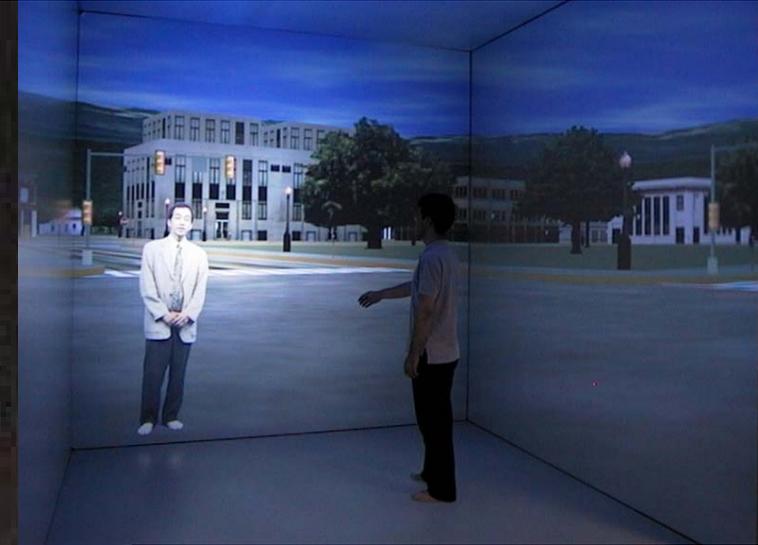
手の表示無し

visual \ physical	1	2	3	4	5	6
1	95.0	75.0	80.0	90.0	60.0	
2				触知覚率[%]		80.0

手の補正表示あり

VRによる没入型共同作業環境

1997-2002: ネットワーク+VRで遠隔地をつなぐ



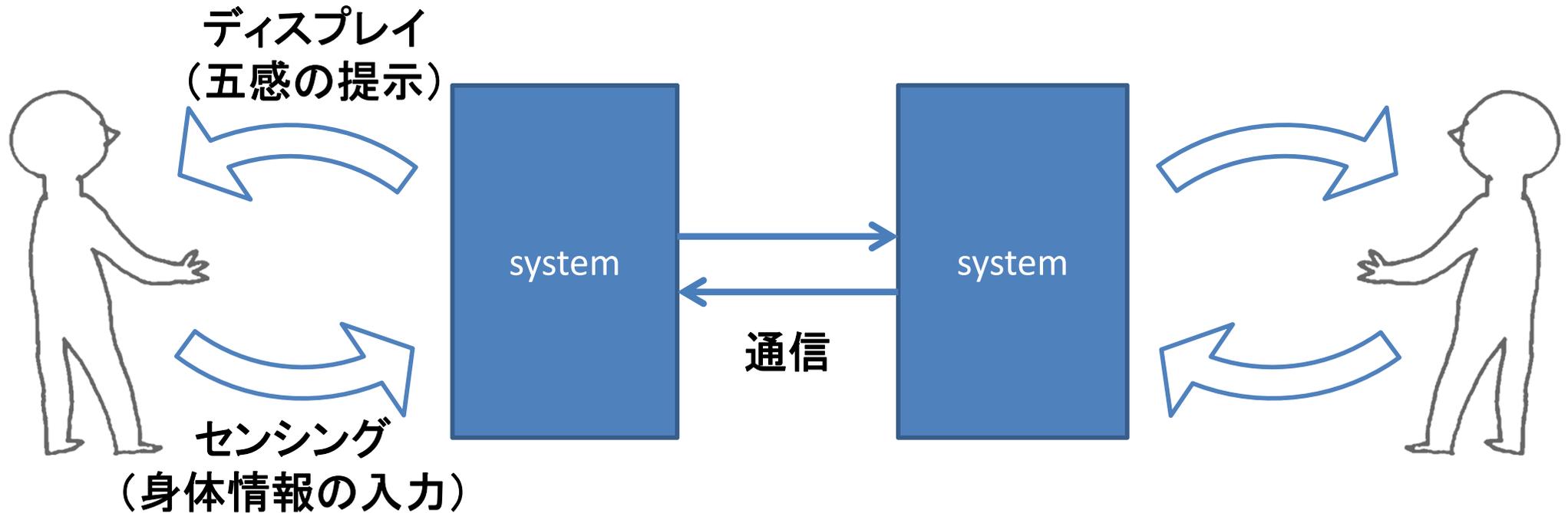
CABIN/Tokyo

VR ready時代 (Oculus Touch/ Medium, 2016)



VRで見るだけでなく
触って形を確かめたい

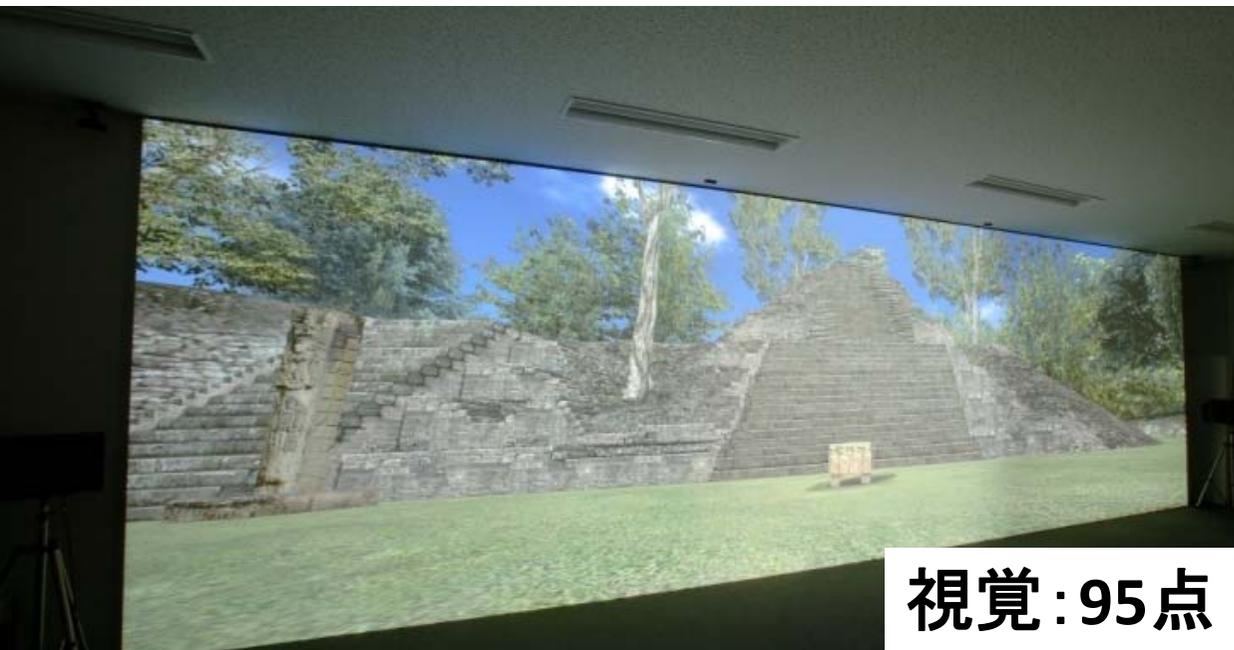
五感情報通信



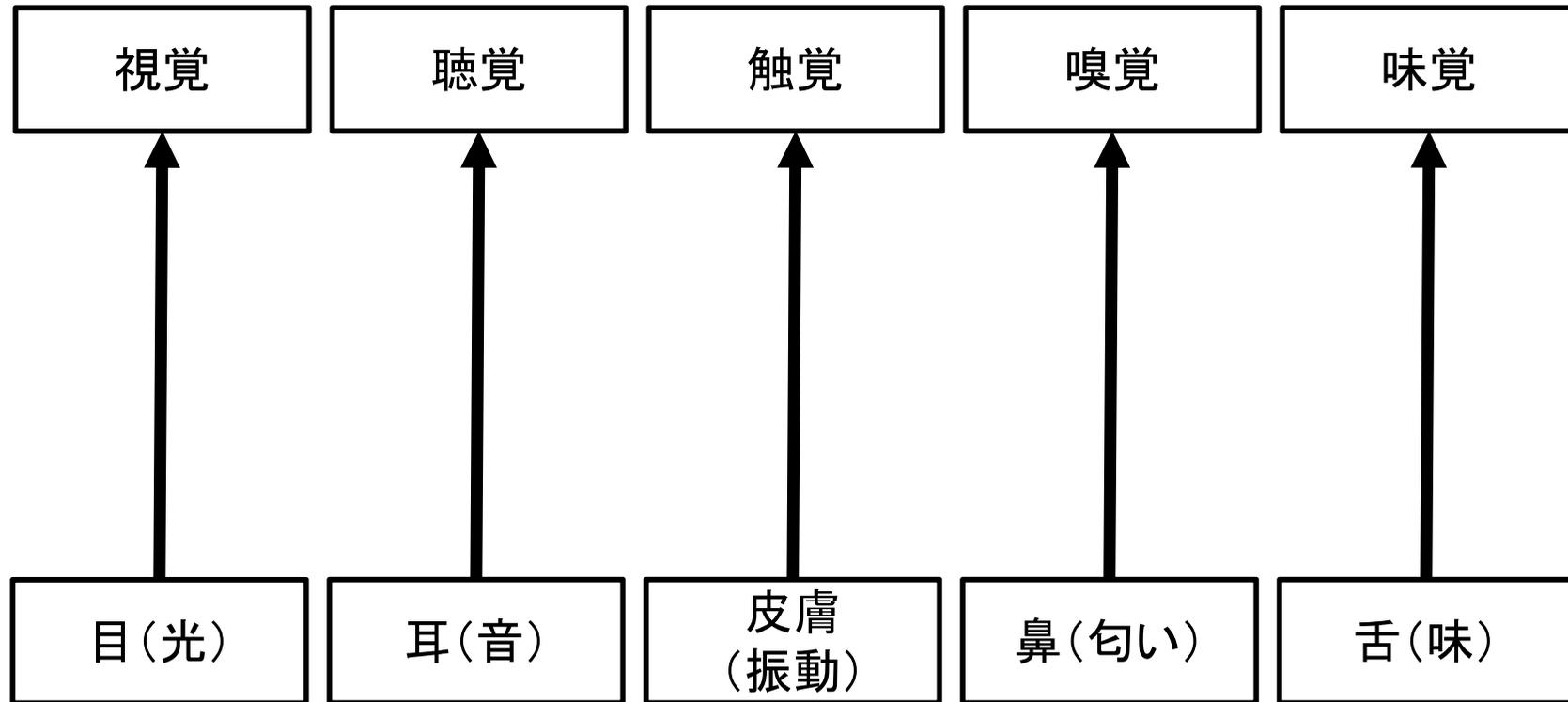
五感情報通信の技術と課題

- 五感情報の入出カインタフェース
 - どう提示するか？ どう入力するか？
- 五感情報の伝送
 - 感覚チャネルを増やすほどデータ量が増大
- 五感情報通信のその先
 - 実現して嬉しいことは？

五感情報提示・通信技術の現状



古典的な感覚提示モデル



- 提示する刺激と受け取る感覚は1対1対応

従来の触力覚ディスプレイ

- 物理的な力・形状を再現・出力することで表現

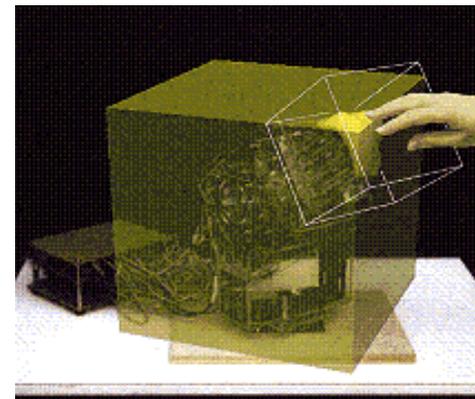
装着型
例: Cyber Grasp



接地型
例: PHANTOM



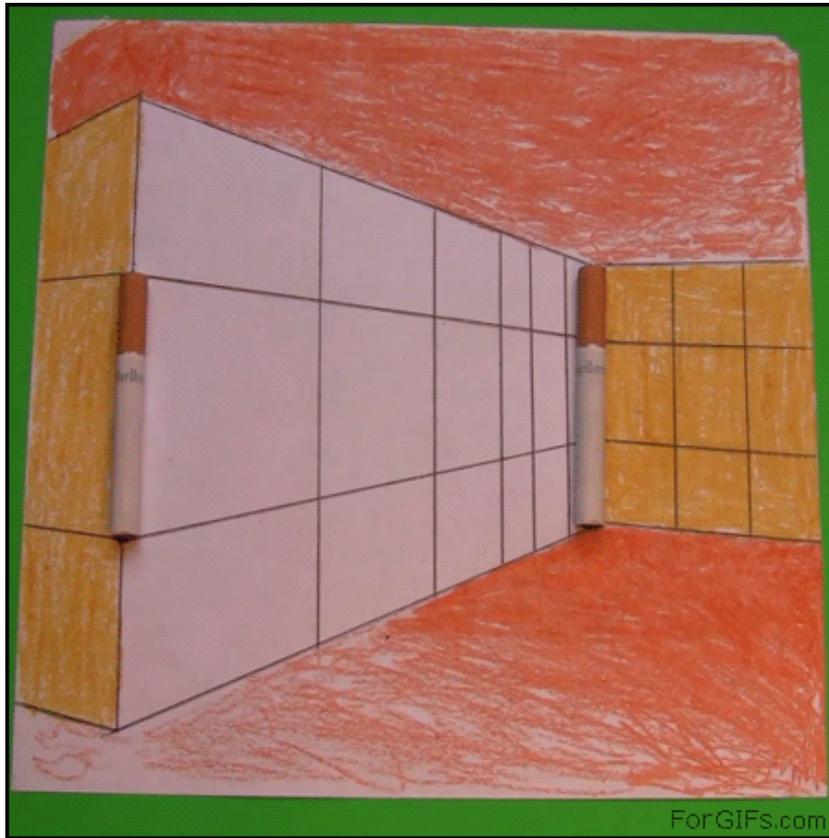
形状変形
例: Partial Surface Display



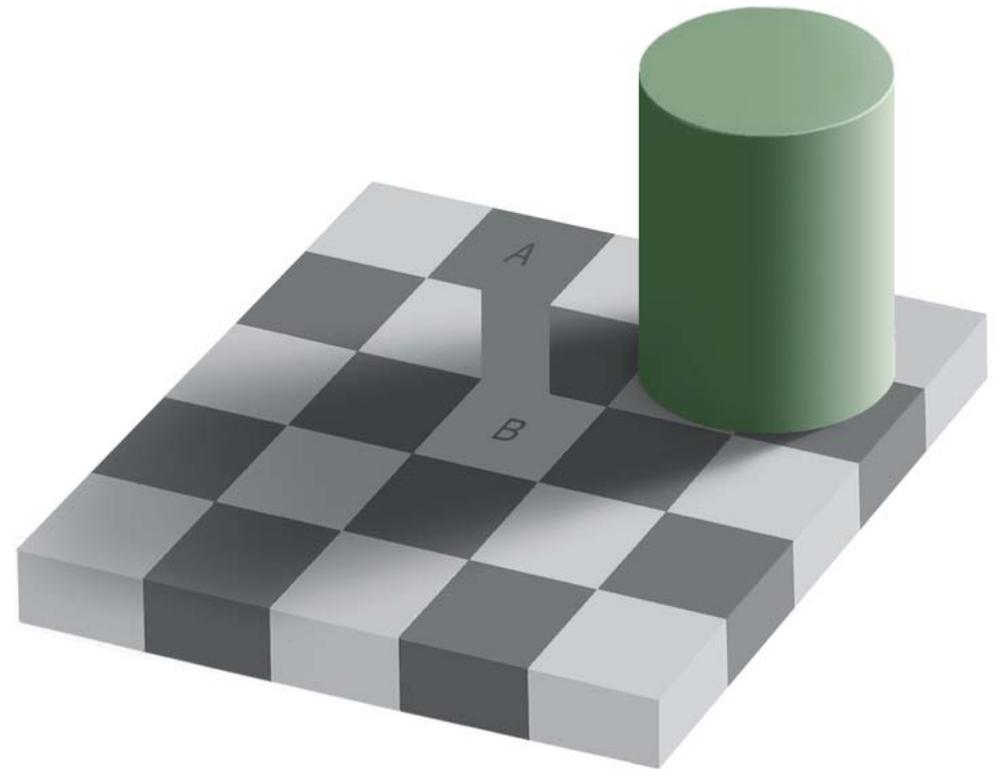
- 提示可能な触力覚の強さ・精度・分解能とその機構の複雑さの間にトレードオフがある
→ 実現できる触力覚コンテンツの質と導入の容易さが両立しない

物理世界と知覚世界は異なる

- 実世界の物理特性と、知覚された脳内世界の特性は必ずしも一致しない

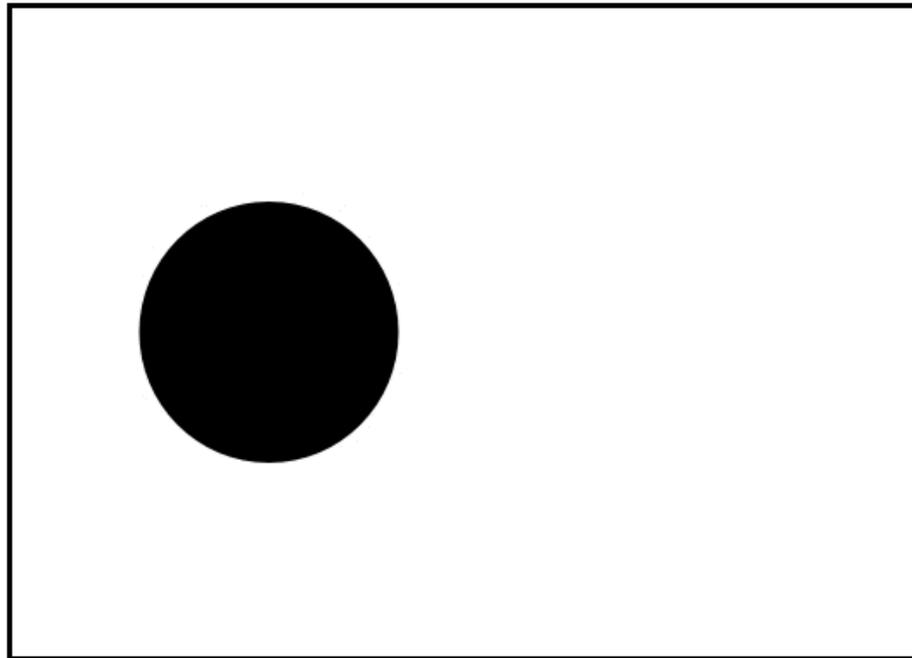


どちらのたばこが長い？



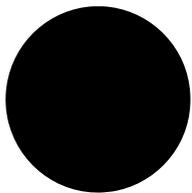
AとBはどちらが明るい色か？

錯覚で何ができる？



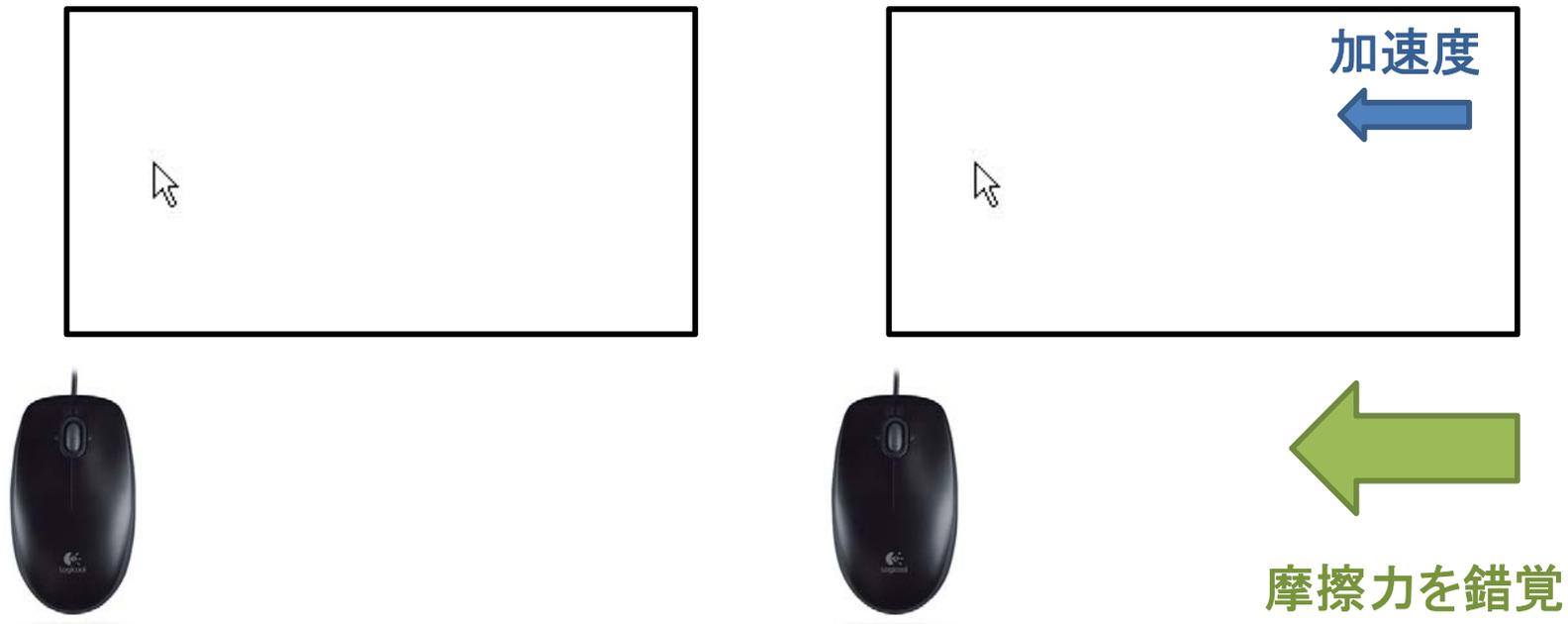
粒子型ディスプレイ(佐藤ら,2009)

- 仮現運動+残像を利用
 - 画像をスクロールさせることで少ない画素でも高い解像度
-
- 仮現運動とその利用
 - 実際は非連続な画像が連続して動いているように見える
 - 映画が24fpsでいいのは仮現運動のおかげ
 - 錯覚はある種の情報圧縮に使える



多感覚の相互作用の例：Pseudo-Haptics

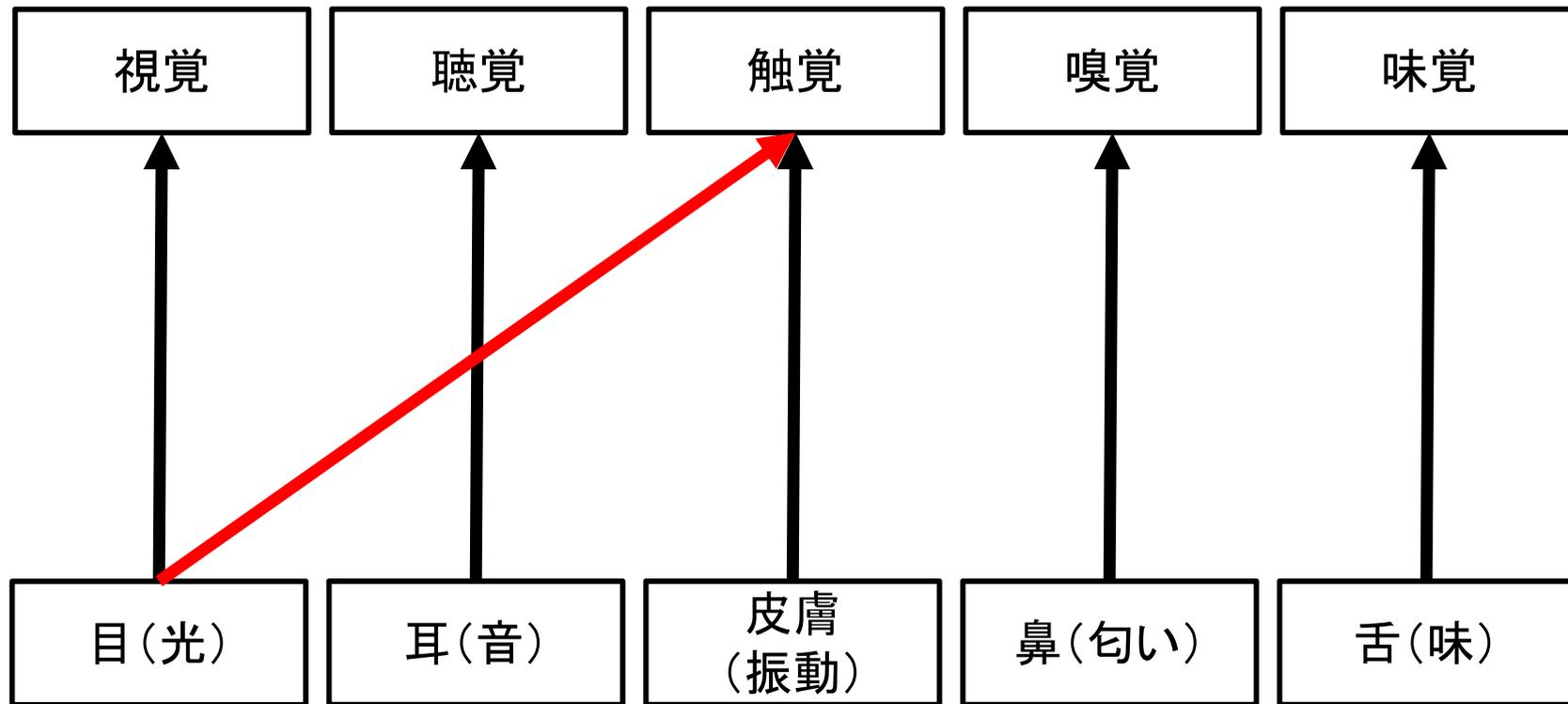
- ▶ 視覚中での体の動きと、自分で感じている体の動きとの間に不整合が生じた際に、視覚による情報が優勢になって、擬似的な触力覚が生じる錯覚
- ▶ 例：マウスに追従して動くマウスポインタ



ある感覚を出して他の感覚を感じさせることが可能
= 多感覚情報を効率的に圧縮できる

クロスモーダルな感覚提示

手に力がかかっている
に違いない！

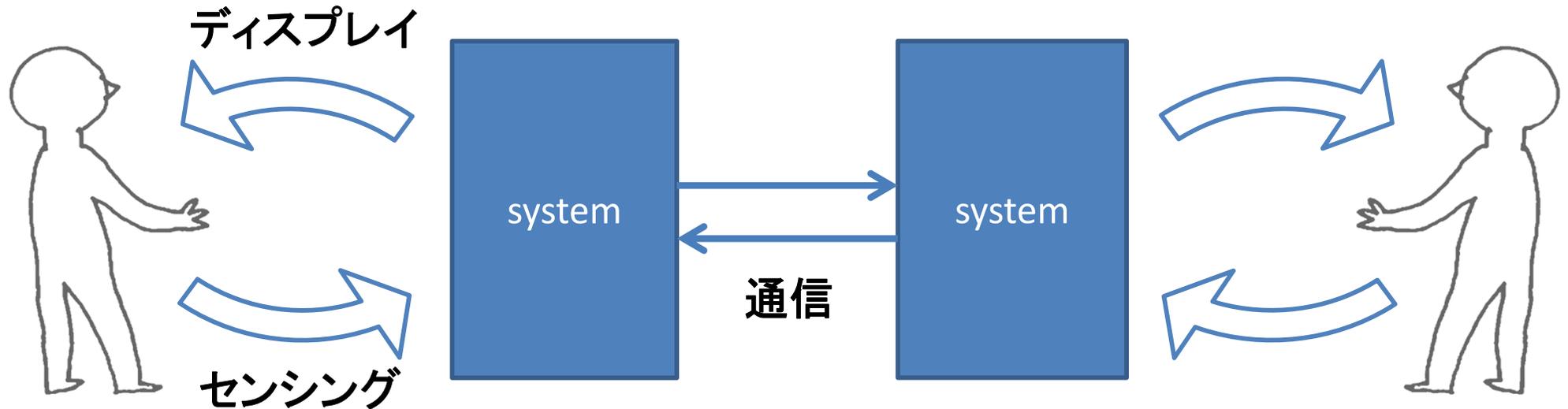


カーソルの動き

???

良く起こる感覚同士の結びつきを脳が覚えると、
経験を引き出してきて違う感覚の情報を補完する

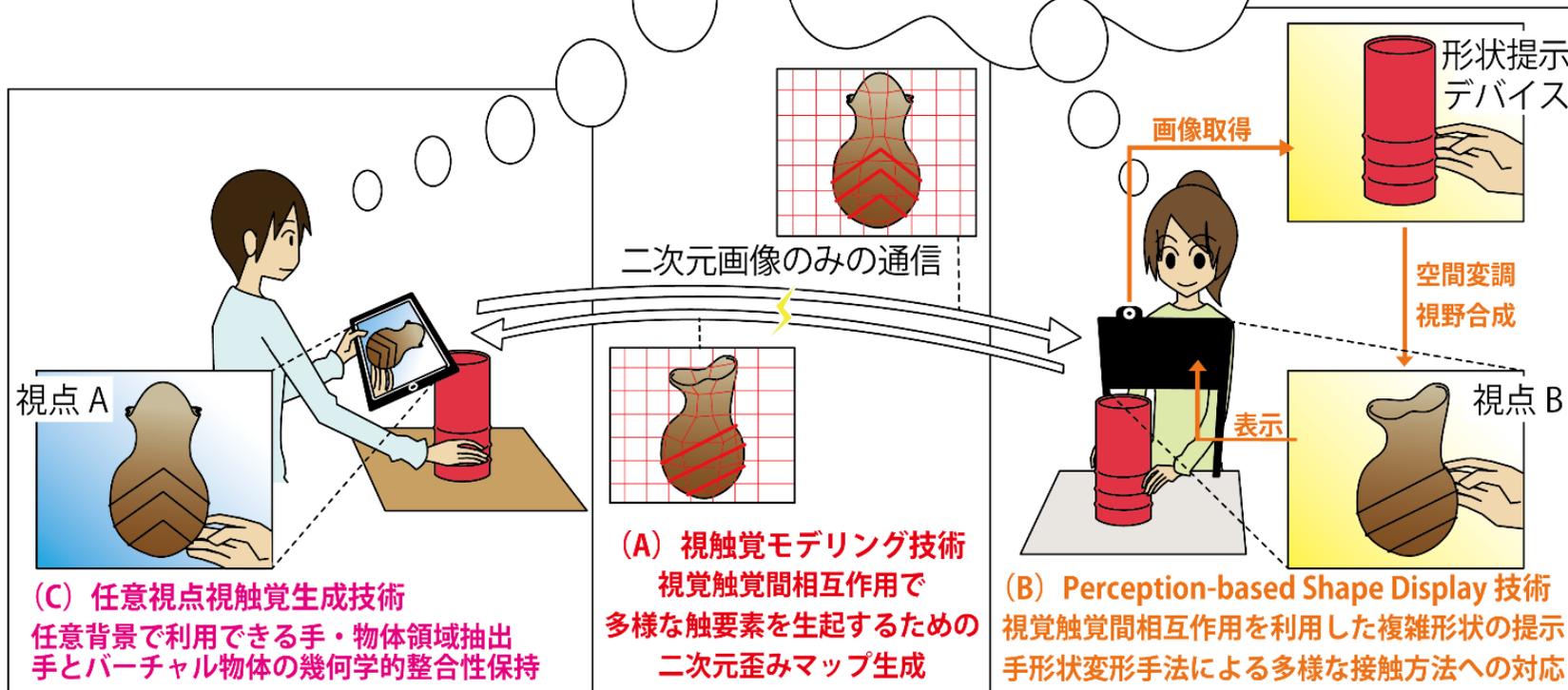
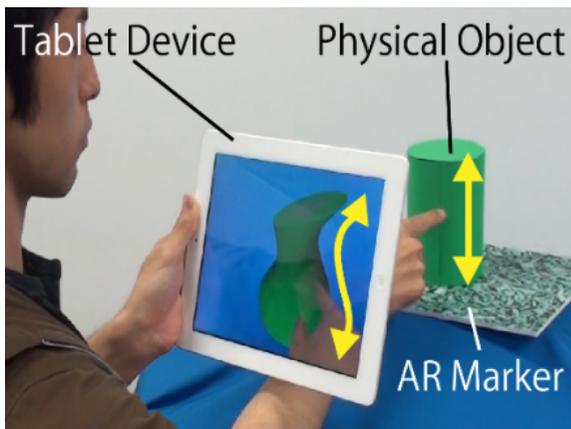
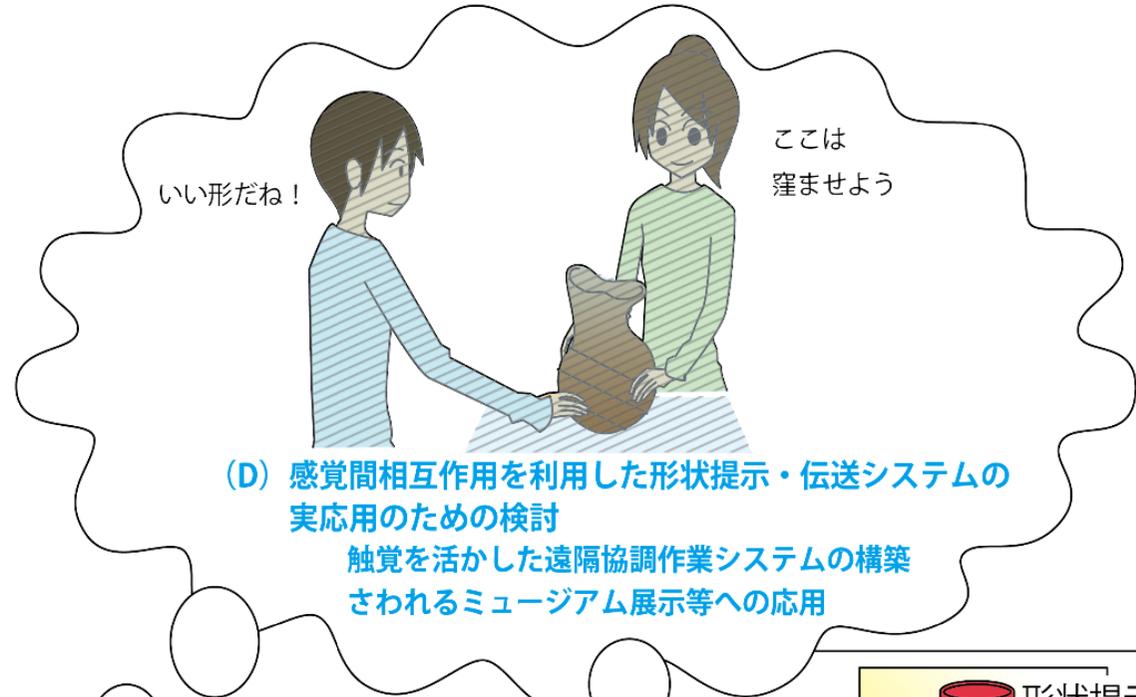
五感情報通信と錯覚応用



- 五感情報の入出カインタフェース
 - 簡単な機構で五感を入出力可能になる
- 五感情報の伝送
 - 多感覚情報のデータ量を圧縮できる
- 五感情報通信のその先
 - 博物館応用などいくつかのアプリケーション
 - 錯覚応用によるコミュニケーション拡張・能力拡張

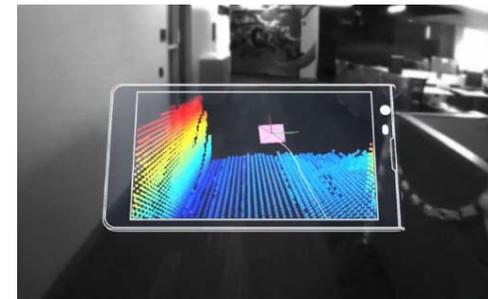
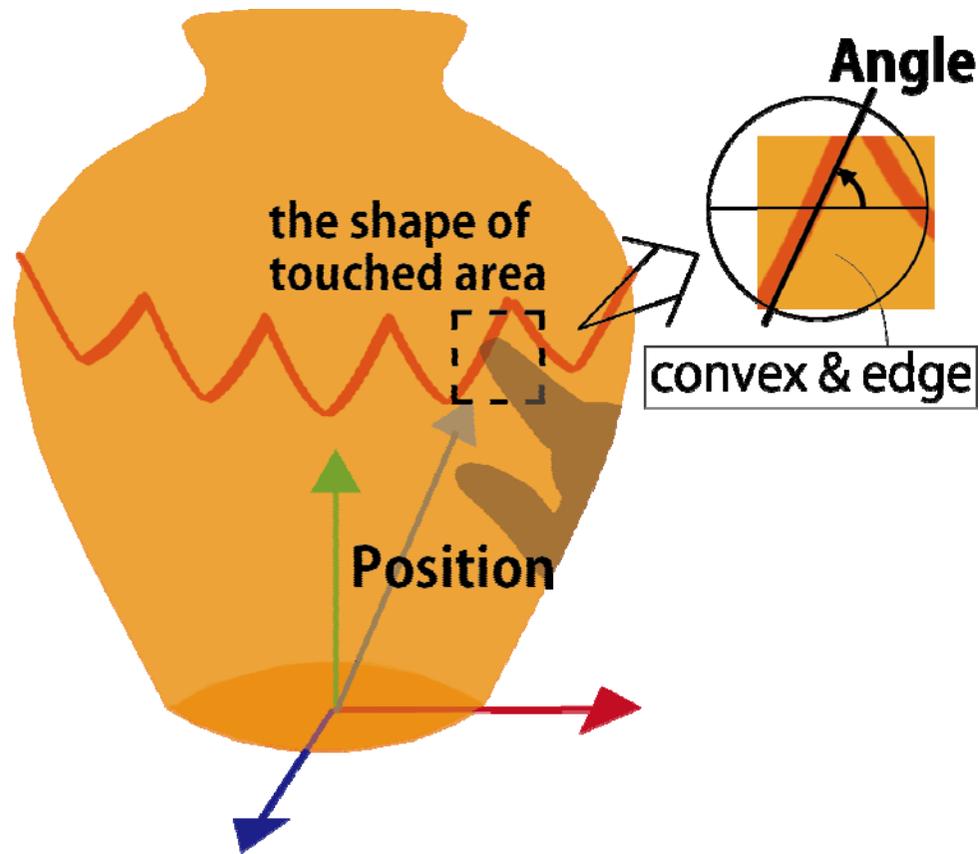
研究項目

- A) 視触覚モデリング
- B) Perception-based Shape Display
- C) 任意視点視触覚生成
- D) 応用を通じた検証・評価

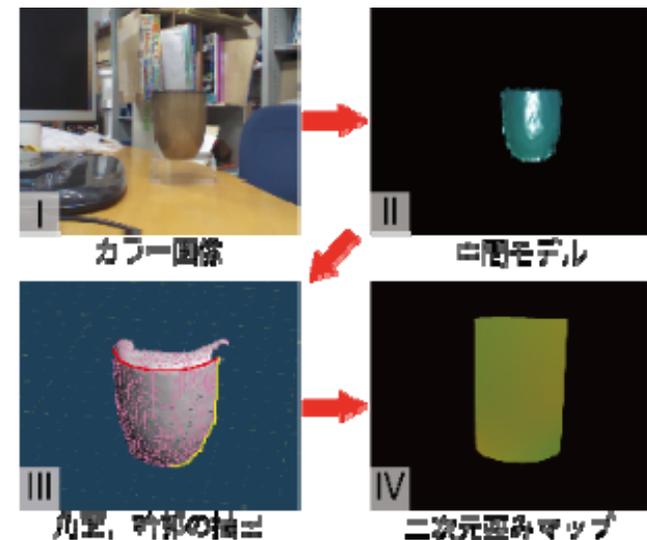


(A)視触覚モデリング技術

物体の持つ触要素を分解し，各触要素の知覚を再現提示するための歪みマップを生成するアルゴリズムを開発



②実物の画像+奥行きを取得

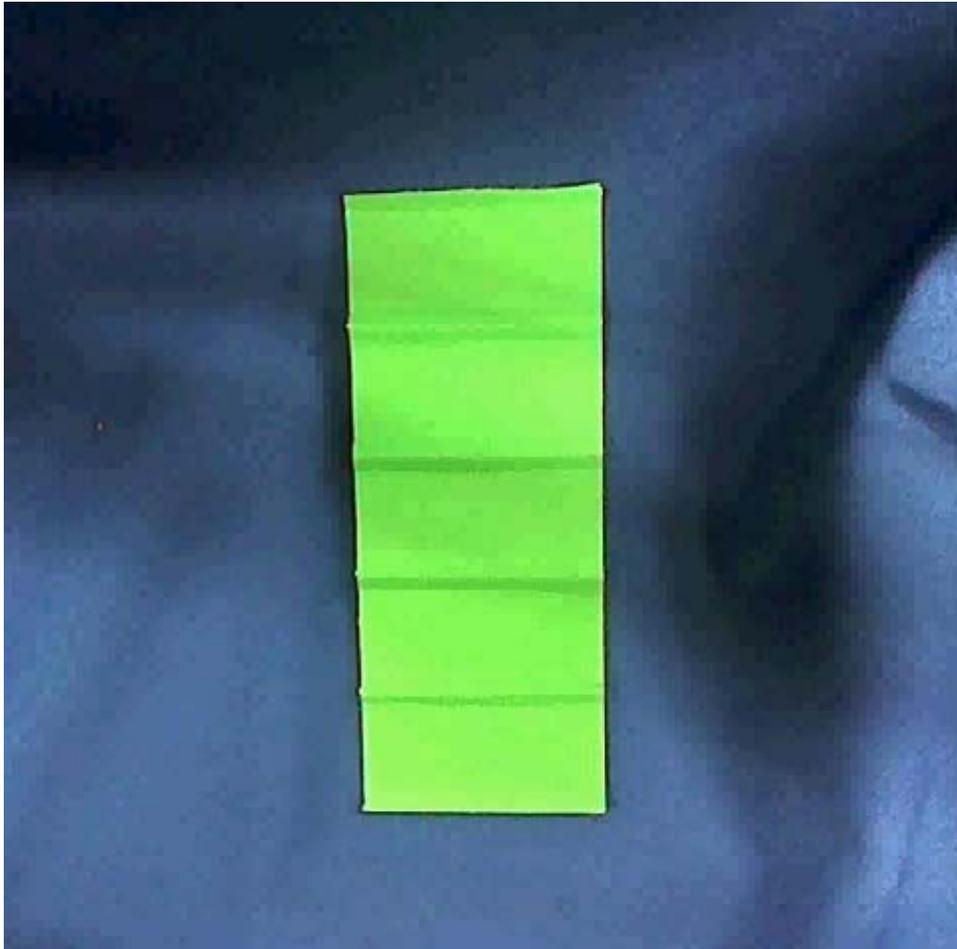


①触要素(曲面, 角, 柔らかさ等)の同定

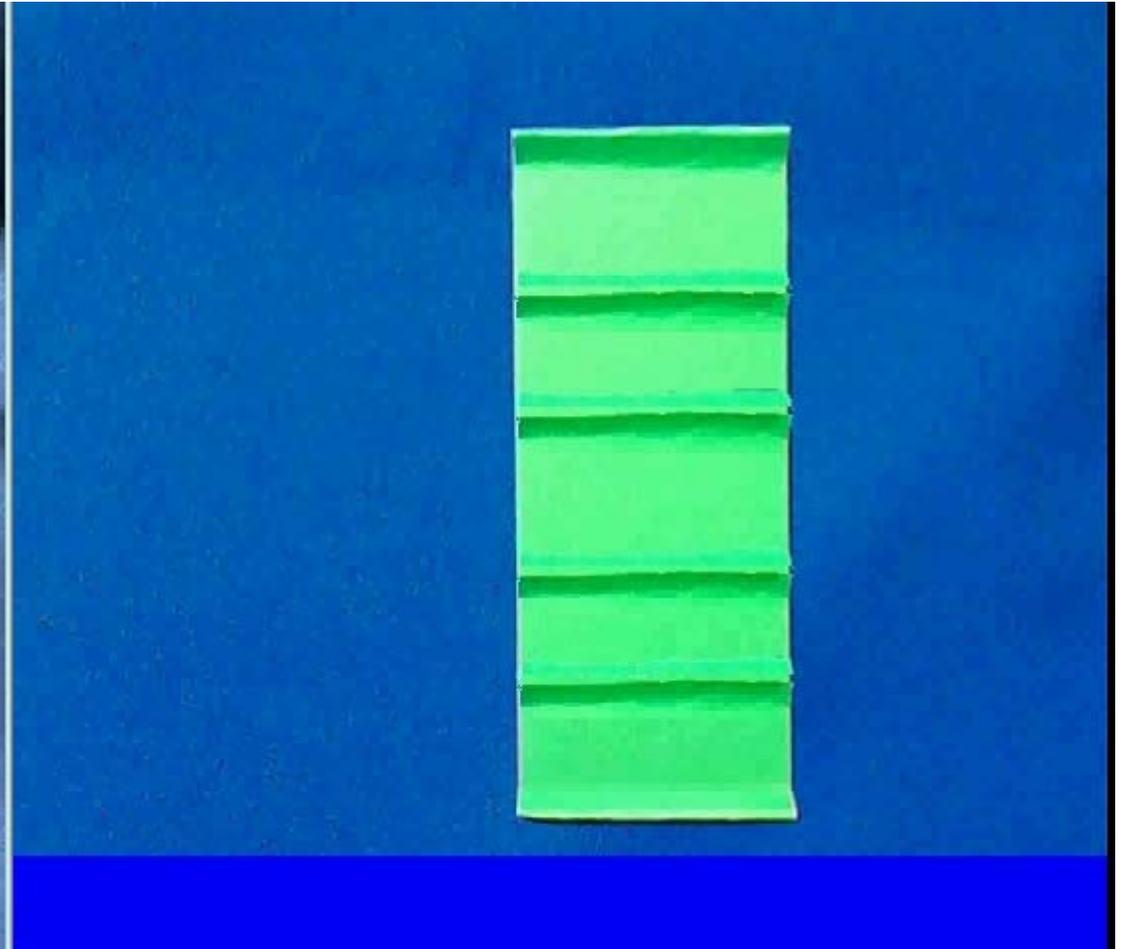
③物体を触要素に分解しマップ化

角の空間配置(位置)に対する効果の検証

実際の様子(形状A)



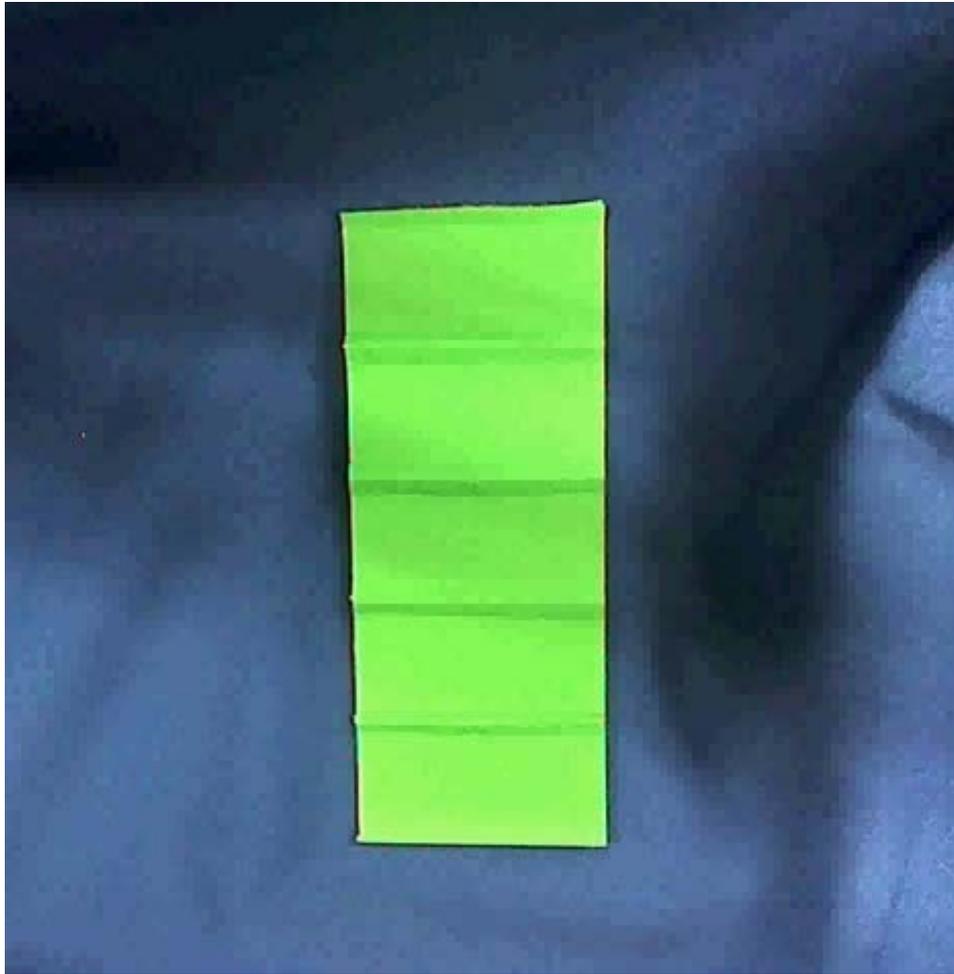
提示映像(形状B)



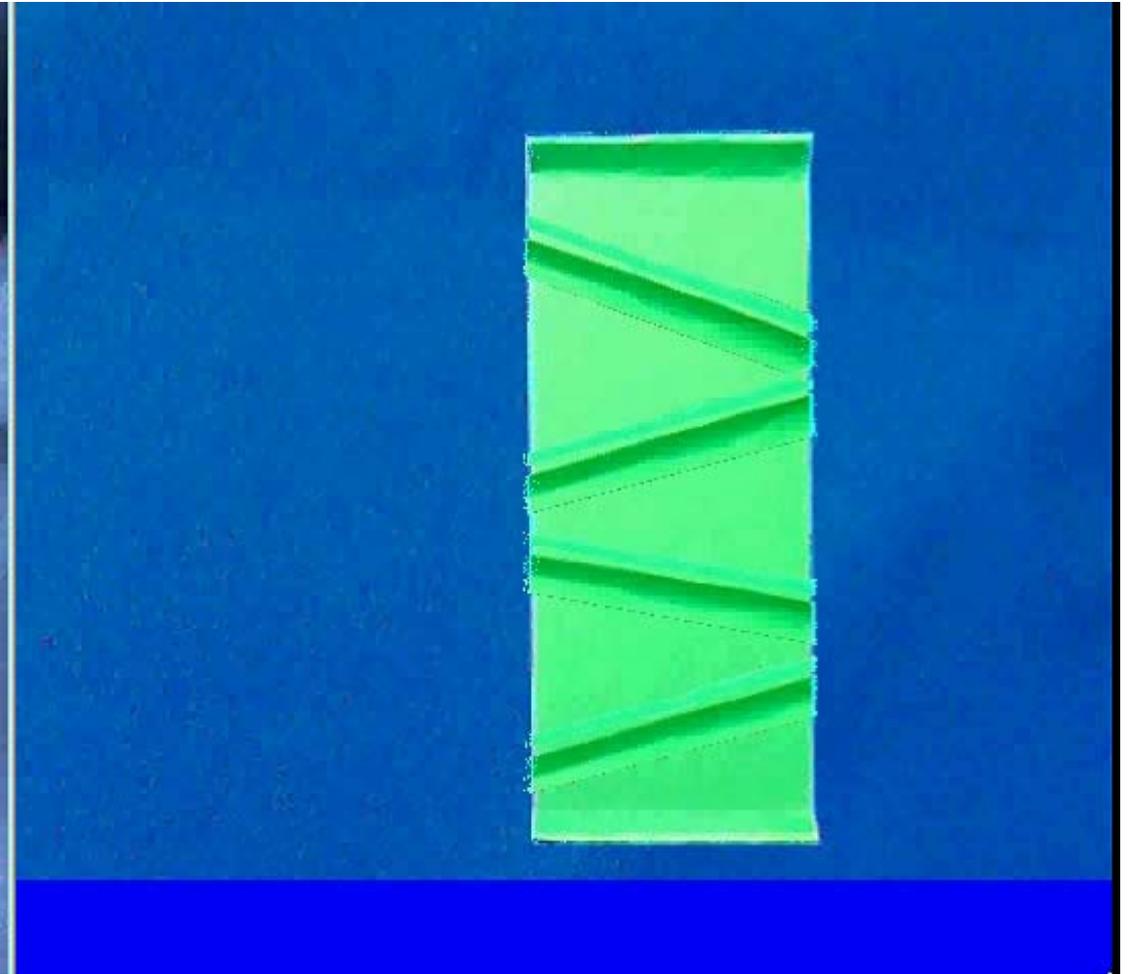
実際に触っている物体と提示映像内の
物体で角を指が通過するタイミングをそろえる

角の空間配置(角度)に対する効果の検証

実際の様子(形状A)



提示映像(形状B)



実際に触っている物体と提示映像内の
物体で角を指が通過するタイミングをそろえる

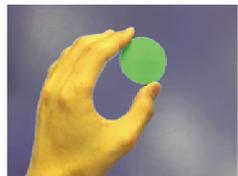
握った時の物体の大きさ知覚に対する影響

実際の様子

合成映像



captured image



×0.67

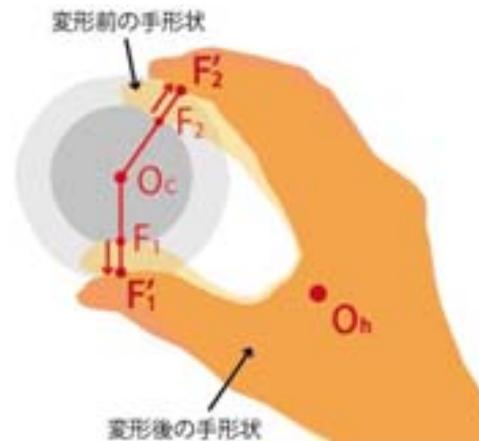


×1.00



×1.50

composed image

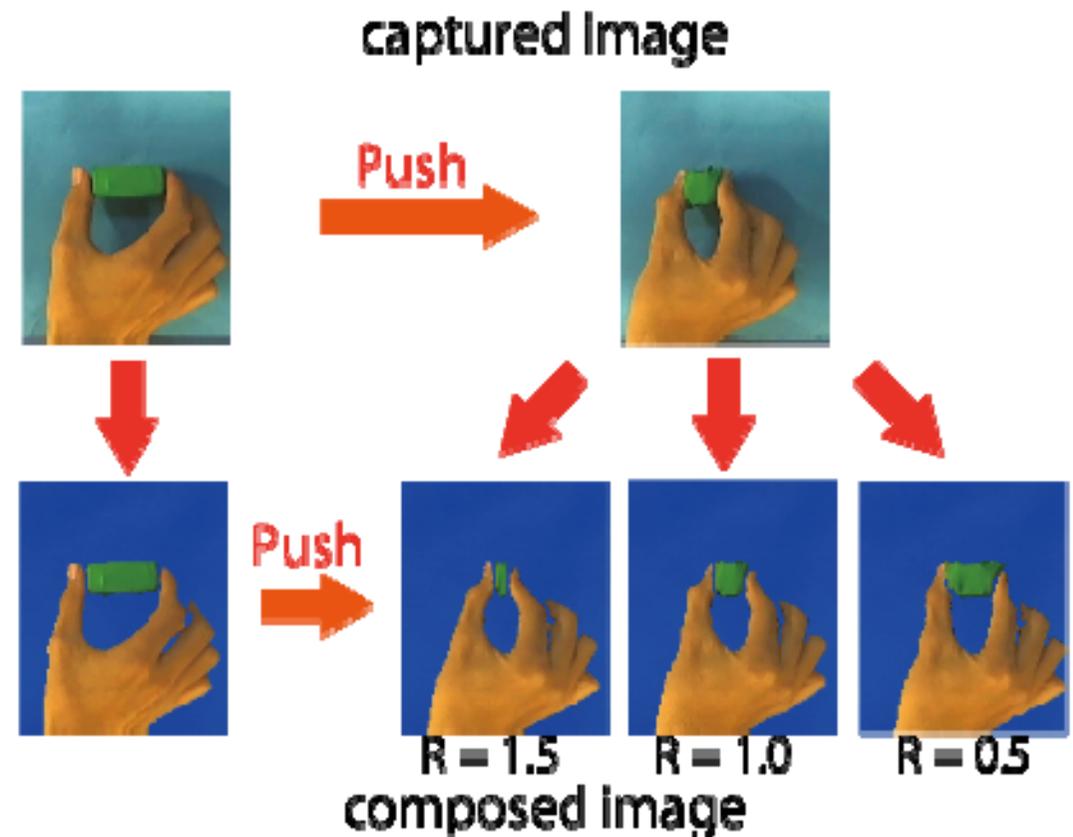
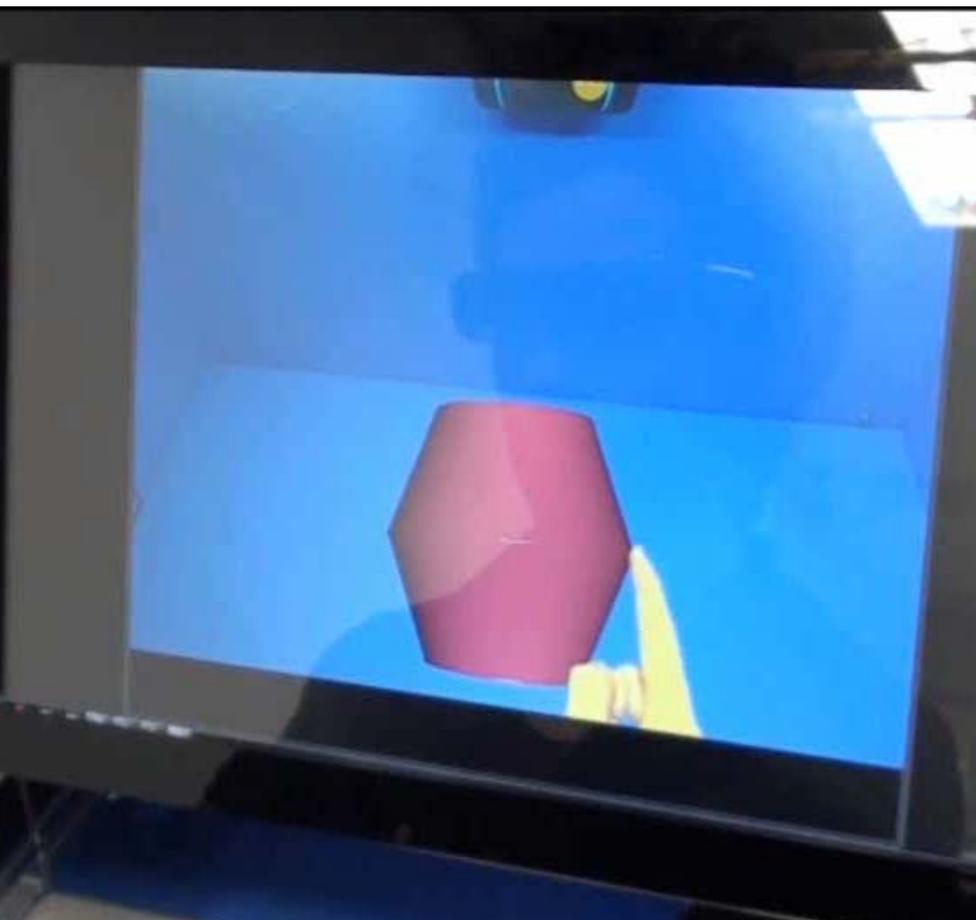


制御点(接触位置, 重心)の移動を元に

Rigid MLS method
を用いて手画像を変形

動的な触要素（柔らかかさ知覚）の操作

- 押し込み圧力に応じて物体が変形する視覚刺激を生成することで、物体の柔らかかさ知覚を変化



持ち上げ時の動きの見えの変化による 重量知覚の操作

Reduced movement

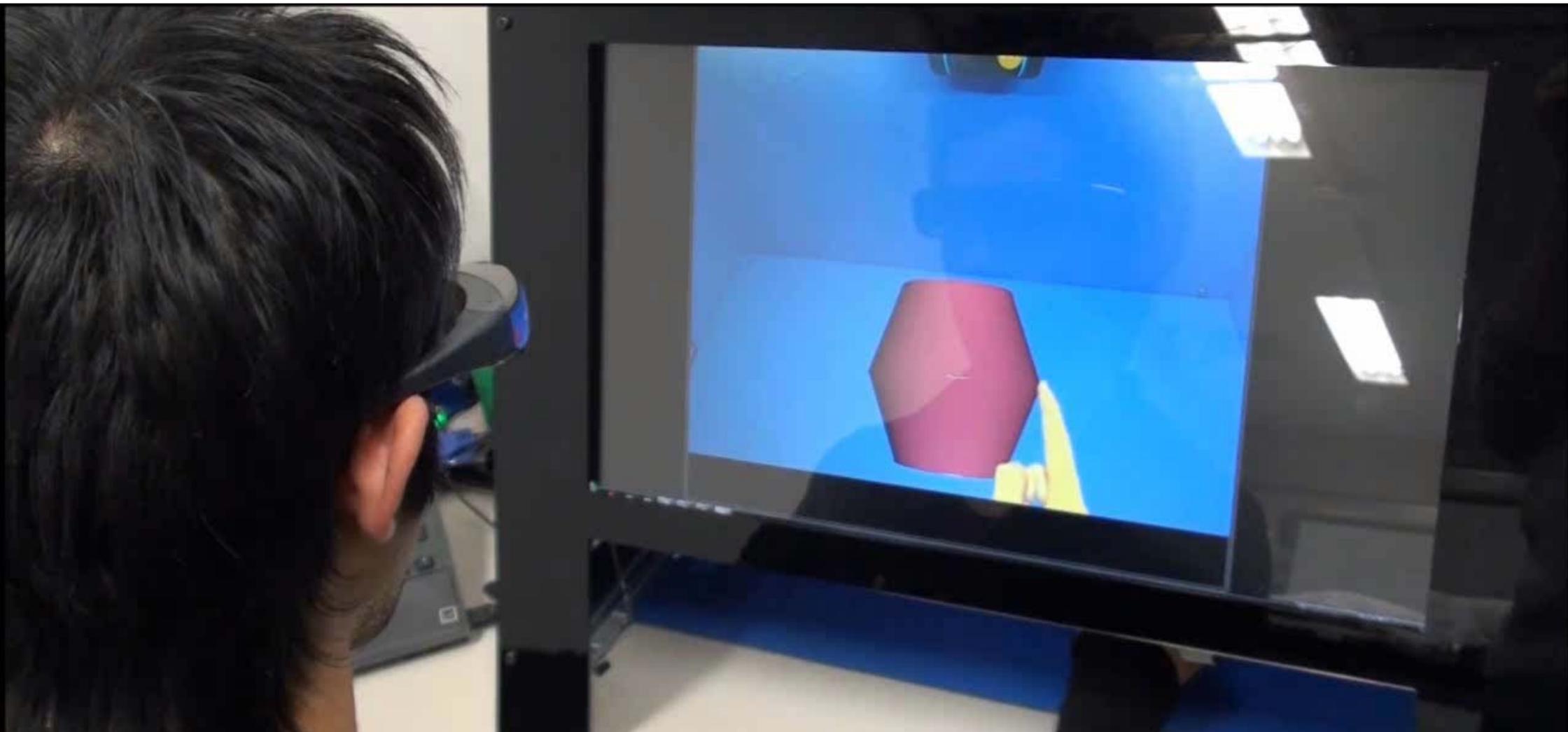
Actual movement

Enlarged movement



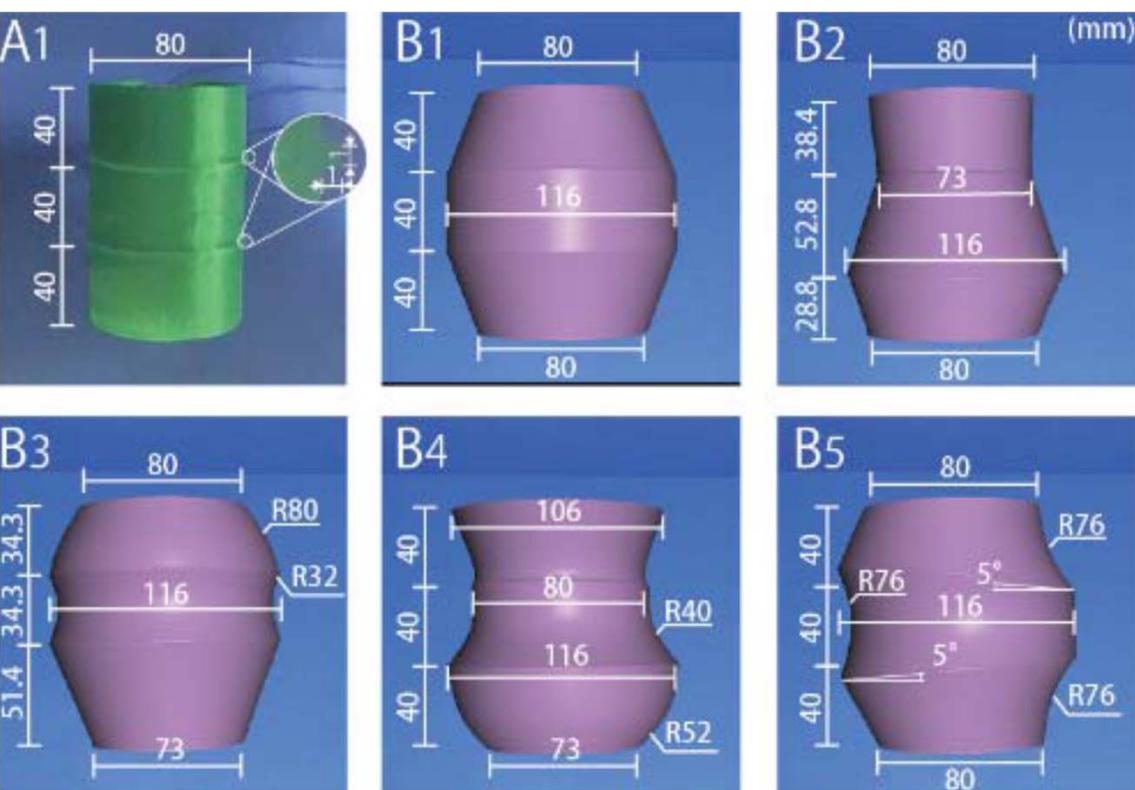
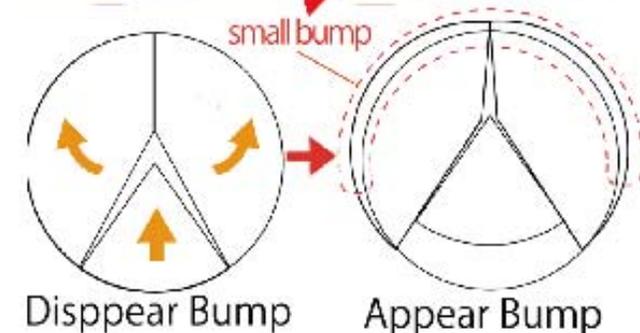
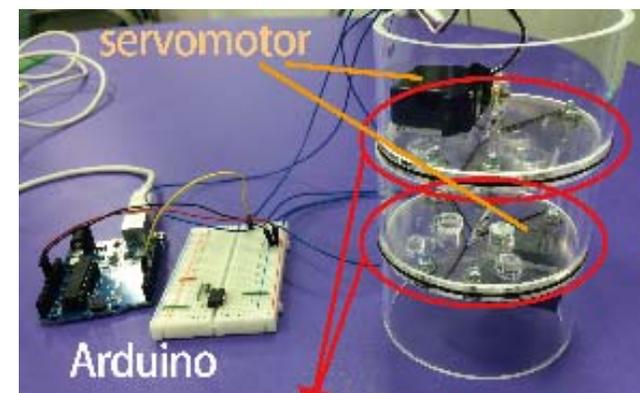
(B) Perception-based Shape Display技術

複雑形状・動的触要素を再現提示できるディスプレイ手法,
多様な触り方を許容できるディスプレイ手法を開発



角と曲率の組み合わせの効果

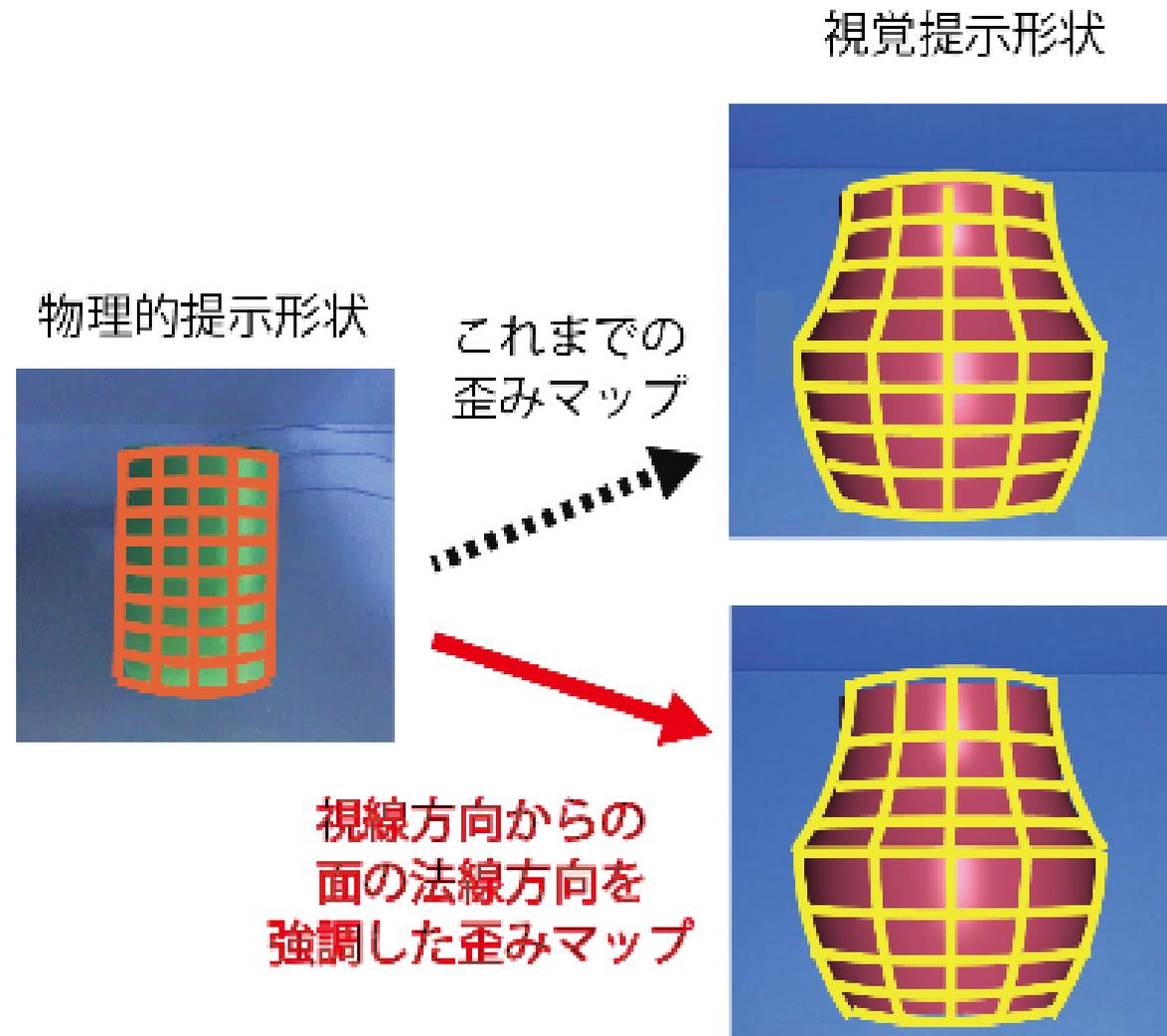
- 角の出し入れが可能なデバイスを構成
- 曲面と角が複雑に入り乱れた形状でも70%以上の触知覚再現が可能な変調方式を実現



With in range of "agreement"	virtual shape	B1	B2	B3	B4	B5
	Ratio S		94.4	77.8	66.7	77.8
Ratio H		86.1	77.8	62.1	72.2	69.4
θ		100	100	100	100	77.8
R		100	100	58.3	72.2	66.7
Total rate of "agreement"		86.1	77.8	58.3	72.2	66.7

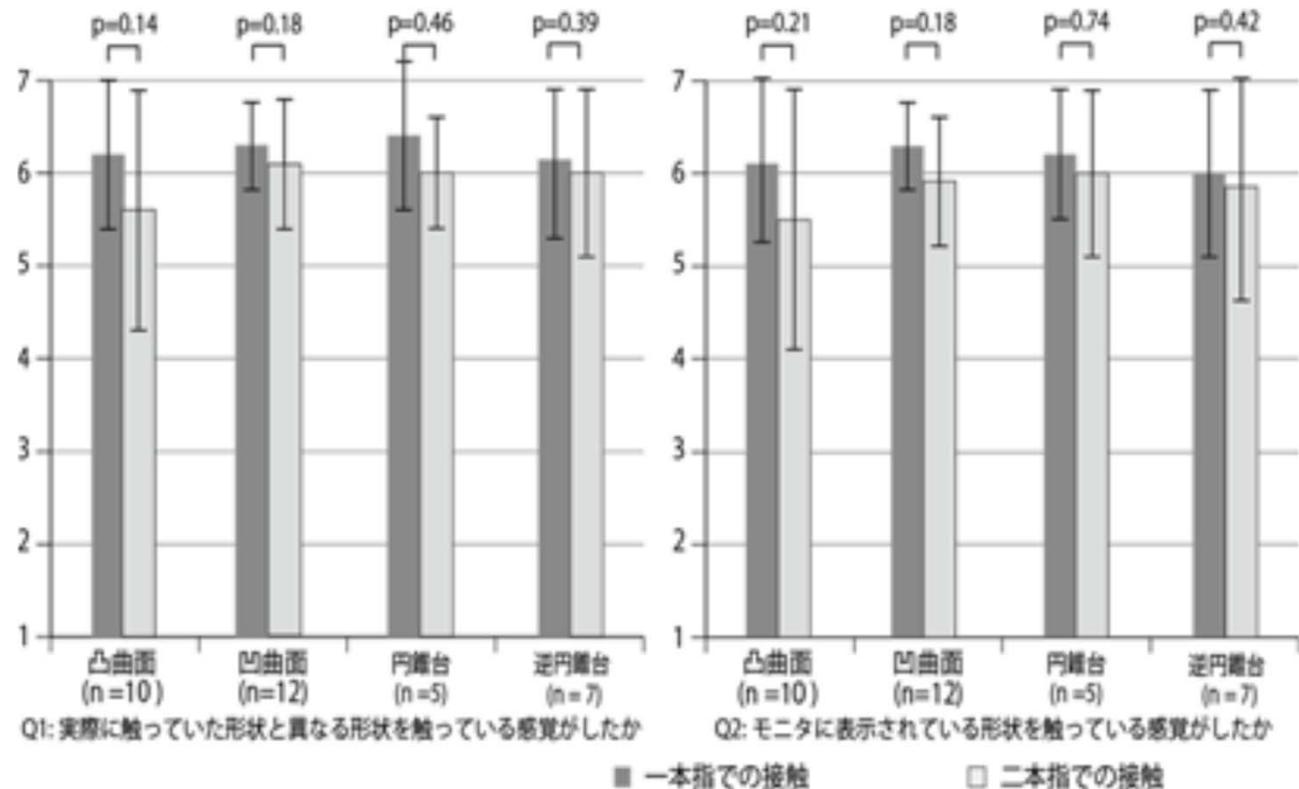
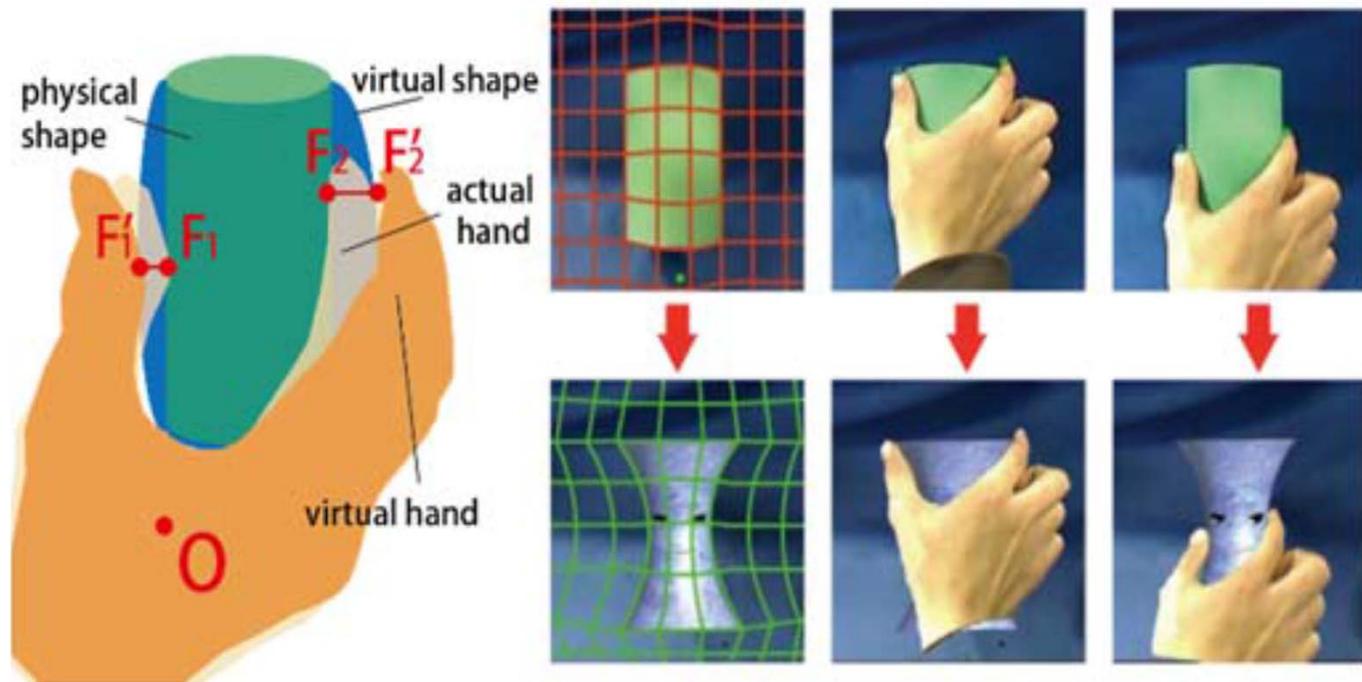
接線方向の強調による知覚の補正

- 前述テストで角付近の曲率の大きな変化が出にくいことを確認
- 歪みマップのメッシュの切り方を、視点から見た面の法線方向を強調するように不均一にする
- これにより剪断方向の擬似触力覚が生起し、システムの形状知覚操作能力が向上



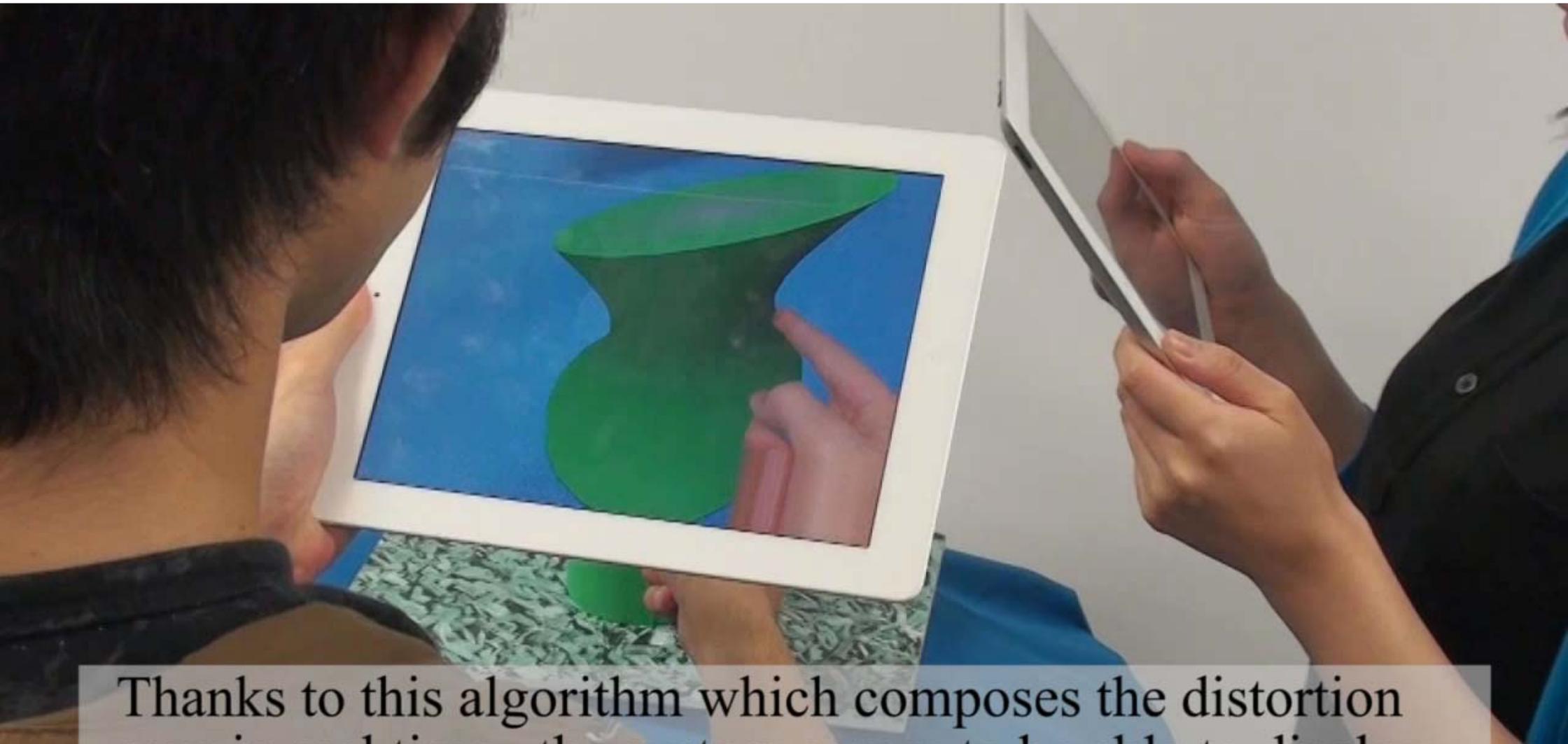
多様な接触方法への対応

- 形状変形アルゴリズムを手に対して適用、一本指でのなぞりだけでなく、多指での掴みにも対応
- 一本指と同等の知覚提示効果を出せることを確認



(C) 任意視点視触覚生成技術

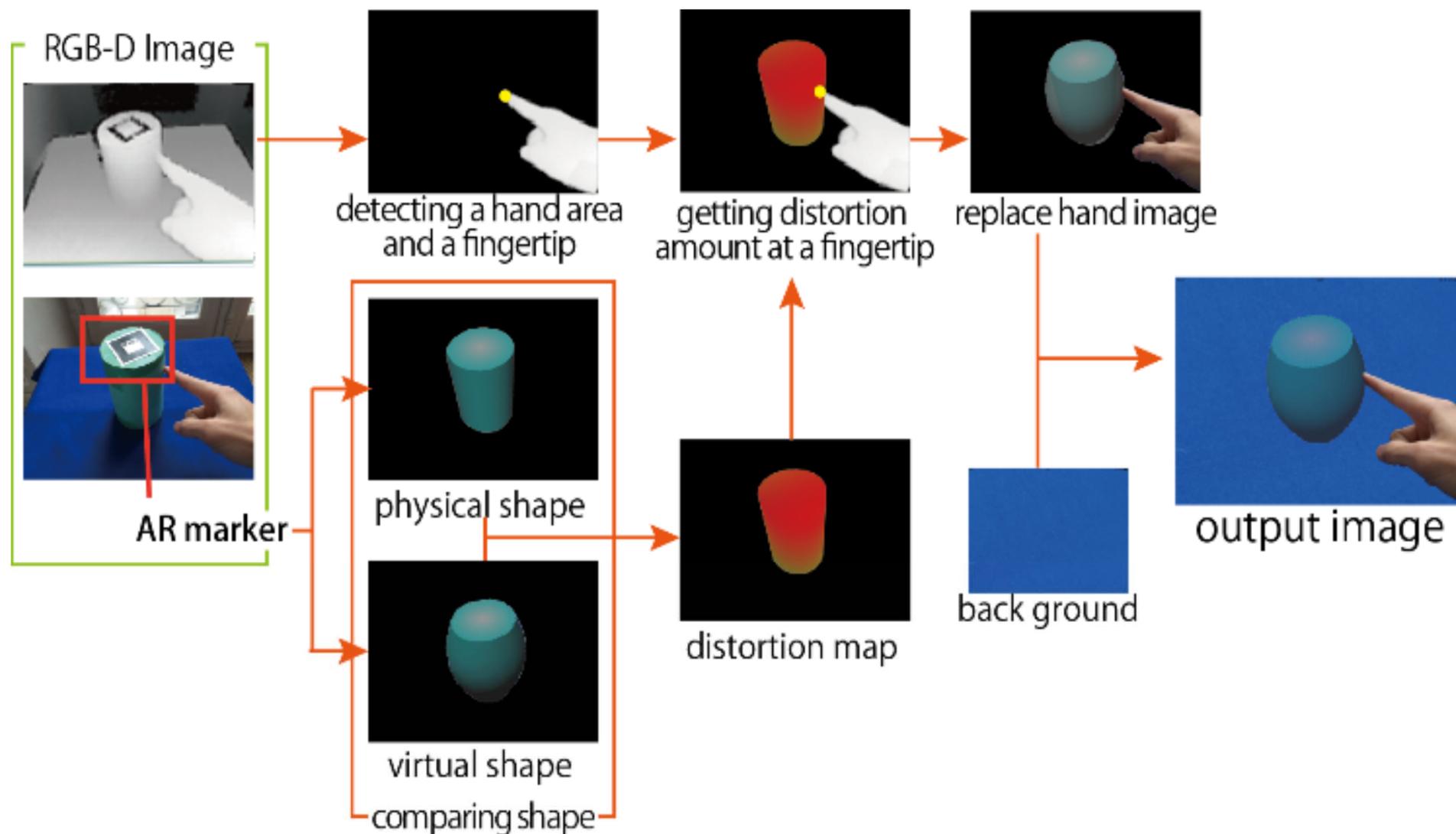
任意の視点・背景において、指の遮蔽などがあっても視触覚相互作用を生起可能にするアルゴリズムを開発



Thanks to this algorithm which composes the distortion

任意視点・任意背景への対応

- カラー+奥行き画像，物体添付のマーカ情報を利用し，任意視点・任意背景での接触判定，手位置変調合成を実現



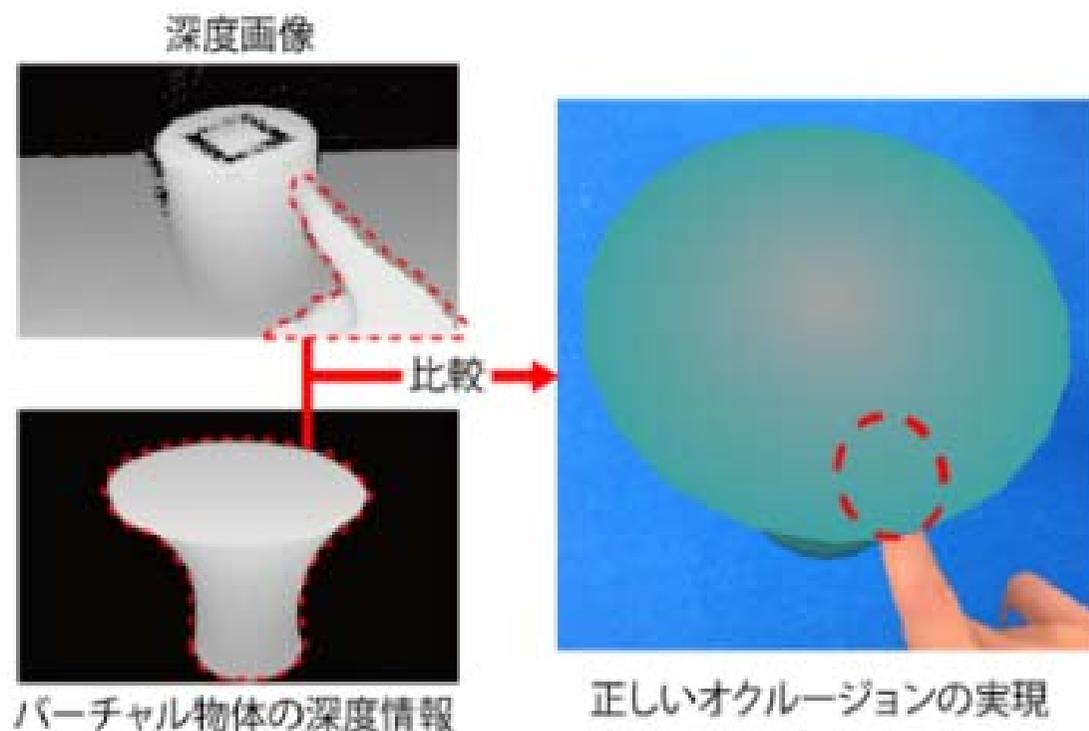
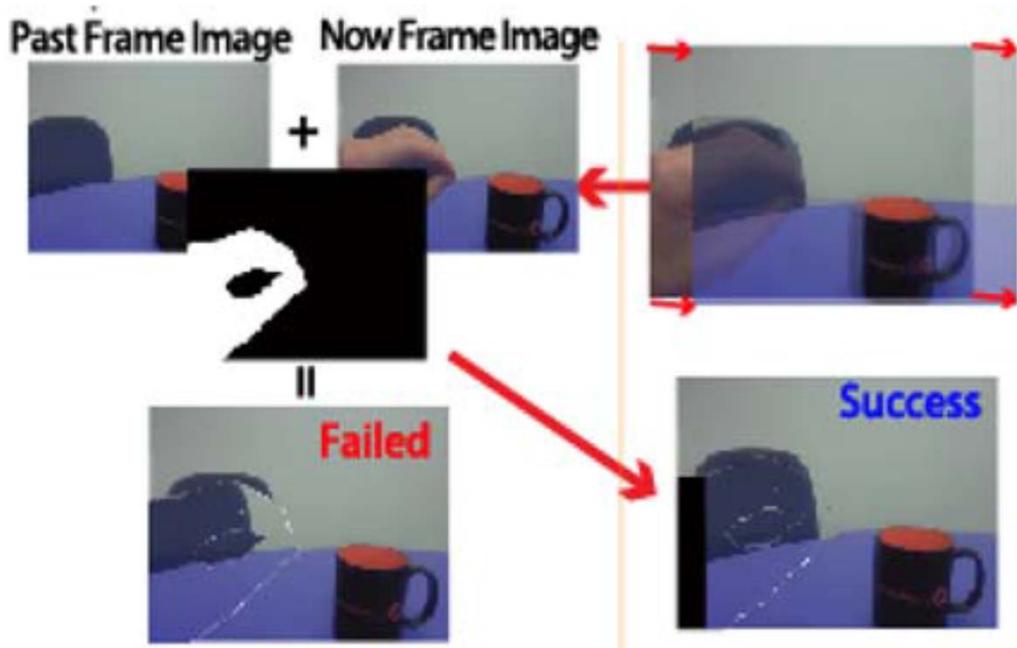
手画像の正しい合成表示

手領域の抽出・消去・再合成

- デプス・色情報を用いて手領域を抽出し、手を消去した画像を作成
- 変形した手画像を合成表示

オクルージョンへの対応

- デプス情報を利用することで、指が物体の影に隠れる場合にも幾何的整合性がとれた映像提示を実現

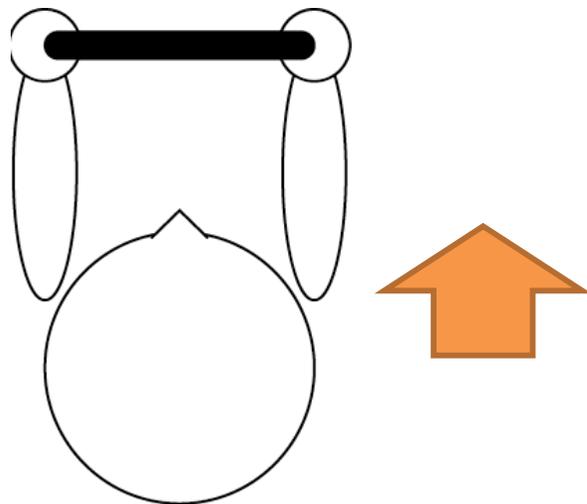


遠隔共同作業における視点共有・視点誘導



視点を共有・誘導するための擬似力覚の利用

- タブレット端末を持っていろいろな角度から物体を見る際に，ユーザの動きに応じて映像の移動量に変化を与えることで特定の方向を向くように視線誘導を行う



目標位置→



VR空間における鑑賞行動の誘導

表示画面



マップ



ユーザの動作



ユーザの入力を僅かに変化させ
特定の対象へと鑑賞行動を誘導

並進変換

誘導方向へ移動

$$v' = (1 + h)v$$

非誘導方向へ移動

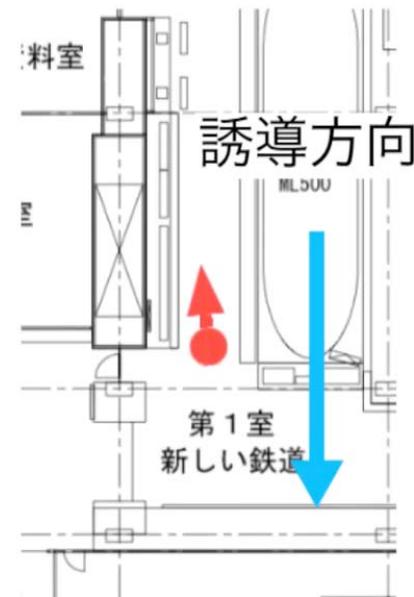
$$v' = (1 - h)v$$

v : 変換前の速度

v' : 変換後の速度

h : 変換の強さを
決定する定数
($0 < h < 1$)

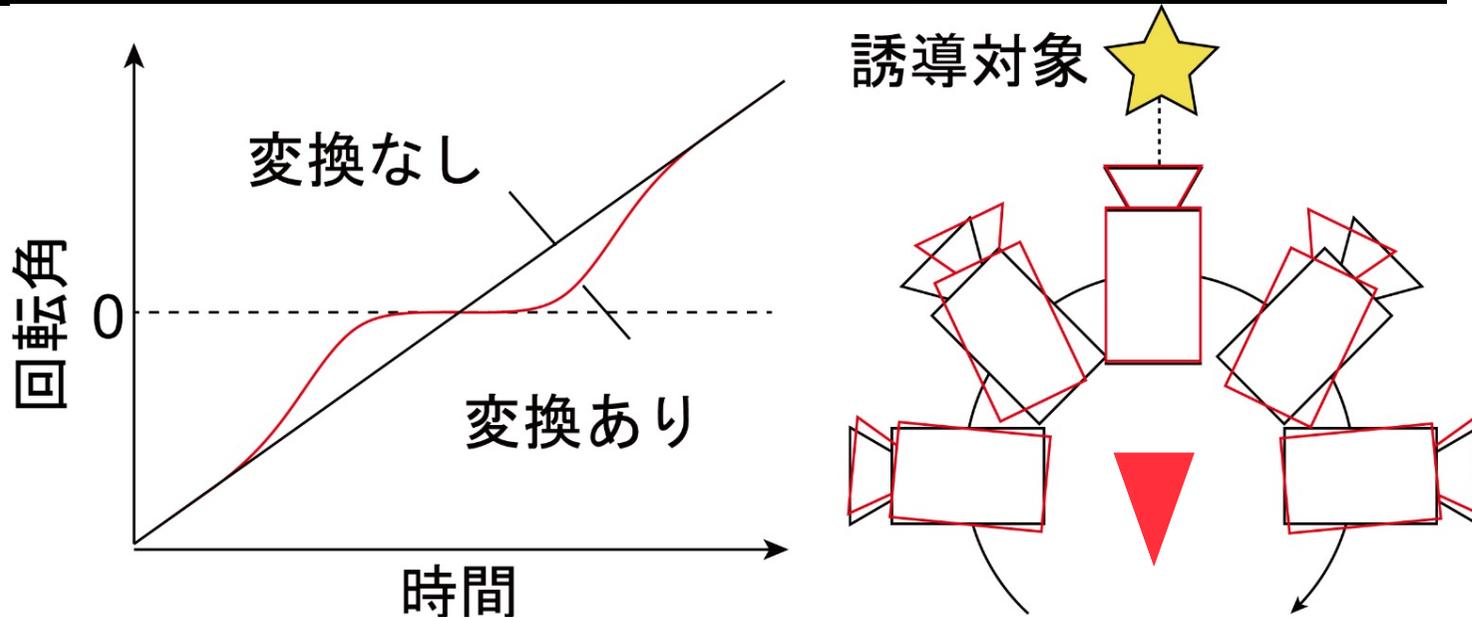
本研究では $h = 0.5$



回転変換適応例

変換なし

変換あり



一般展示空間での実証実験

大阪ナレッジキャピタルThe Lab.にて一般ユーザを対象として
実証実験

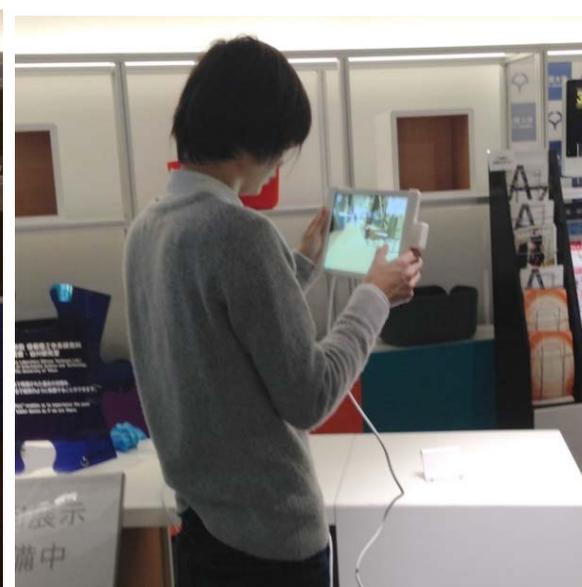
博物館をVR空間で再構築したiPadアプリケーションを実装



The Lab.



展示の説明
展示の設定

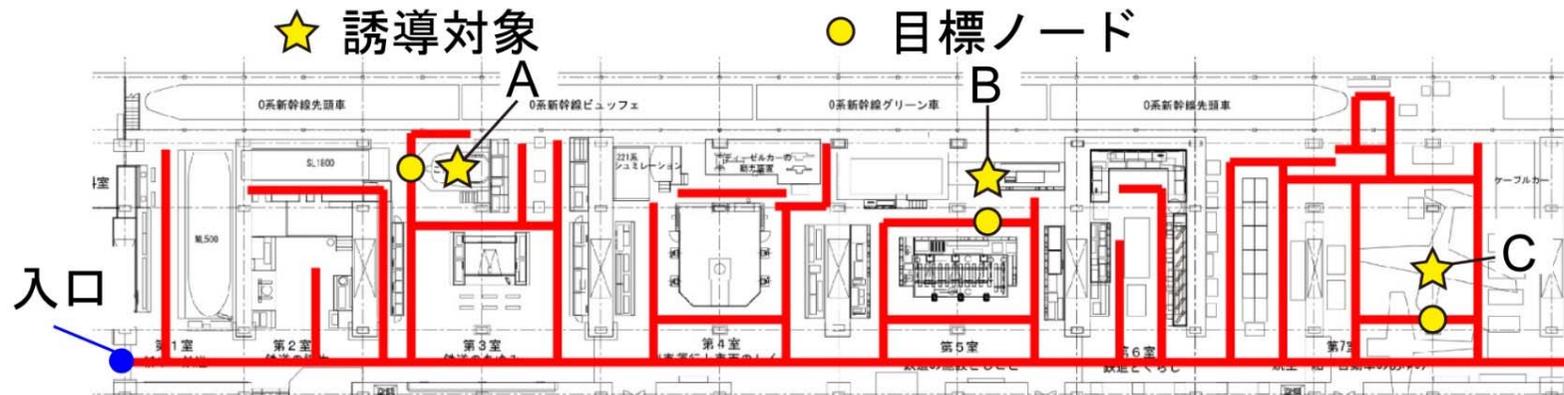


展示体験の様子

※倫理委員会の確認の元で実施

実験条件と被験者数

4つの誘導条件 × 3つの誘導対象の12条件で実験



被験者数(人): 合計2,877人

※地図の一部を表示

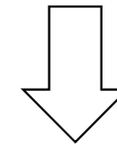
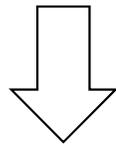
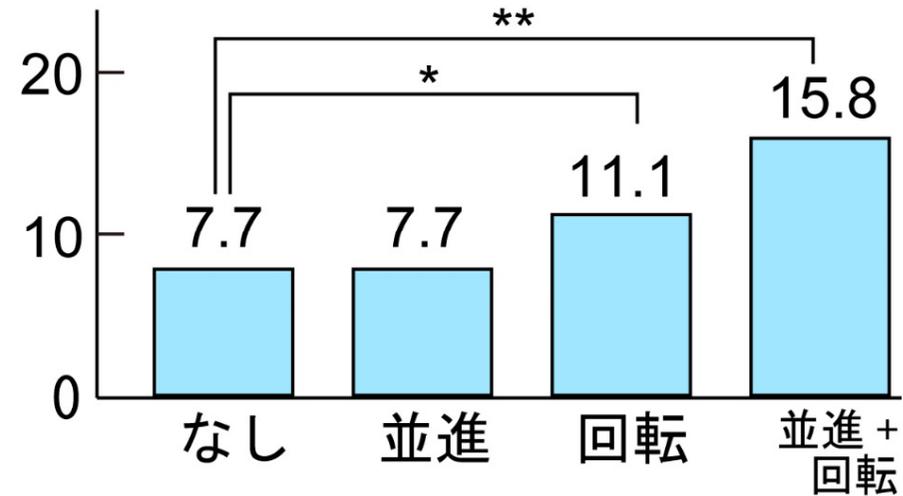
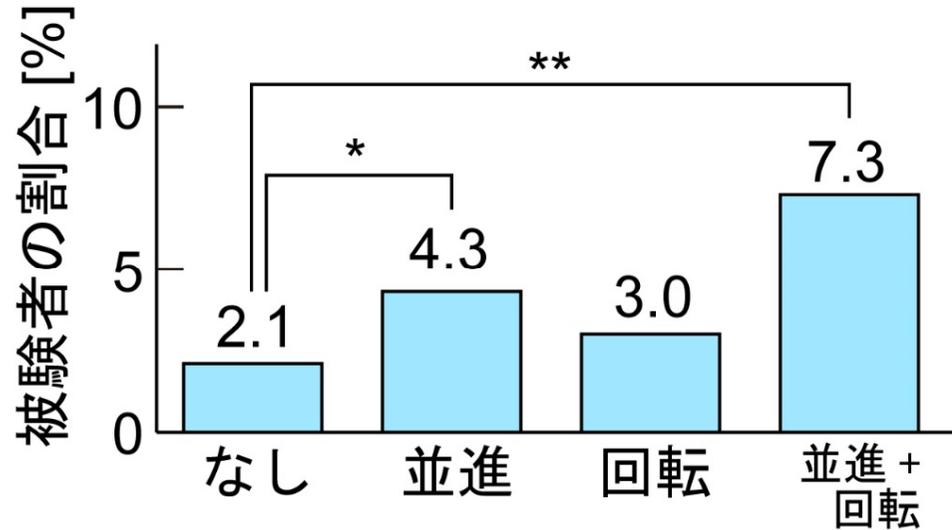
	展示物A	展示物B	展示物C
誘導なし(なし)	202	233	294
並進変換のみ(並進)	194	242	281
回轉變換のみ(回転)	203	227	298
並進変換+回轉變換(並進+回転)	193	245	265

対象への到達率と注視率

※3対象の合算値

対象へ到達した被験者の割合

対象を注視した被験者の割合



- 並進変換, 回転変換それぞれに誘導効果
- 並進+回転を合わせることでより強い誘導効果
- 回転変換による注視誘導効果

* $p < 0.05$ ** $p < 0.01$

研究開発成果の展開・波及効果創出の取組

- 開発技術の活用・展開

- 触覚をともなう共有モデリングシステムの活用
- ミュージアム展示を含む公共空間での技術活用
(2016年04月～ 京都鉄道博物館での展示に活用中)



共有モデリングシステムの活用



京都鉄道博物館での展示

超臨場感コミュニケーション産学官フォーラム
Ultra-Realistic Communications Forum

感じあえる コミュニケーション



フォーラム

- ▶ 設立趣意書 ▶ 会長挨拶
- PDF 規約 ▶ 概要
- PDF 幹事会運営要綱
- PDF 企画推進委員会運営要綱

部会

- PDF 実証実験部会設置要綱
- PDF 将来展望・調査部会設置要綱
- PDF 超体験デザイン・評価部会設置要綱

組織

- ▶ 組織図
- ▶ 役員名簿 ▶ 幹事名簿
- ▶ アドバイザリコミッティ名簿
- ▶ フォーラム会員名簿

入会・登録の変更

- ▶ 入会案内
 - ▶ フォーラム入会・登録変更
 - ▶ 部会、WG、作業班登録・登録変更
- (只今作成中です)

超臨場感テレワークワーキンググループ

会員専用ページ (ログイン)

NEW URCF 3D疲労評価報告書ダウンロード

URCF へのお問合せ

クロスモーダルデザインWGのねらい

- 表現したい「体験」にフォーカスして知覚を設計するための理論・技術を議論・体系化する
 - 多感覚の相互作用を積極的に利用にした工学技術
 - 構成論的アプローチによる多感覚統合の新理論構築
- 工学的メリット
 - 質感、気持ち、行動を直接設計可能な新しい技術体系実現
 - 情報量の圧縮による五感情報通信実現
 - 製造・運用コストの圧縮
- 現在までに12回のワークショップを開催



クロスモーダルデザインWG website

October 22, 2013



Pseudo-haptic feedback on softness:柔らかさの錯触覚に関する研究

視触覚のクロスモーダルの研究として、柔らかさに対する研究も実施されています。

電気通信大学の野嶋研では、錯触覚現象の一つとして、物理的硬さの不変な物体を握った際に、適切な視覚刺激を組み合わせることで知覚される硬さ感覚が変化する現象について報告しています。

HOME

ABOUT

人間の感覚がもつクロスモーダルな特性をインタフェース応用する技術の調査と体系化を中心として、新しい種類の五感技術の将来展望を議論するための会です。

WORKSHOP

ワークショップのご案内や開催報告です。

CROSS-MODAL DESIGN EXAMPLES

「これってクロスモーダルデザイン？」という事例を紹介しています。 [こちらの投稿フォーム](#) から掲載してほしい事例を投稿することもできます。

関係する感覚ごとに探すこともできます。
[視覚](#) [聴覚](#) [触力覚](#) [嗅覚](#) [味覚](#) [内臓感覚](#)

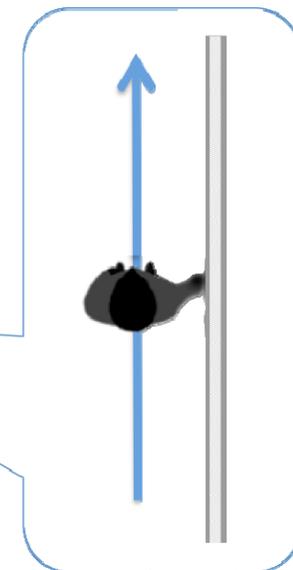
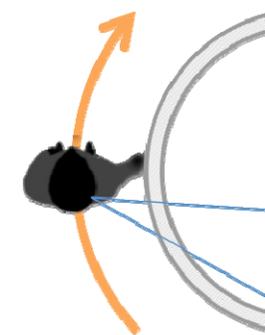
<http://crossmodal-design.tumblr.com/>

研究成果の発展・将来の可能性

- 視触覚リダイレクション
 - 形状知覚・物体知覚の操作から空間知覚の操作へ
- 超現実テレプレゼンス
 - 遠隔コミュニケーションだからこそできる
対面を超えたコミュニケーションを実現
 - 触覚や注意誘導がもたらす心理効果を
積極的に増幅して利用する

視触覚リダイレクション

視覚操作に加えて触覚手がかりを与えると
感覚間相互作用によって空間知覚を
より強く操作することができるようになる



実空間

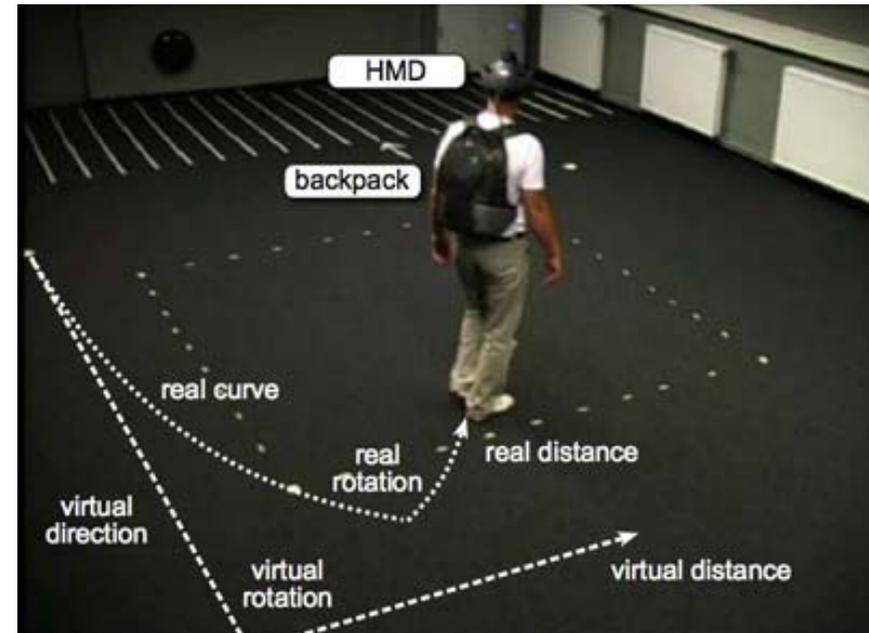
VR空間



Redirected Walking

20m×20mのVR空間を歩いて体験するのに20m×20mの実空間が必要では意味がない。

まっすぐ歩いていると感じさせつつ実は曲がって歩かせることで、狭い部屋で広い空間を体験させられる。



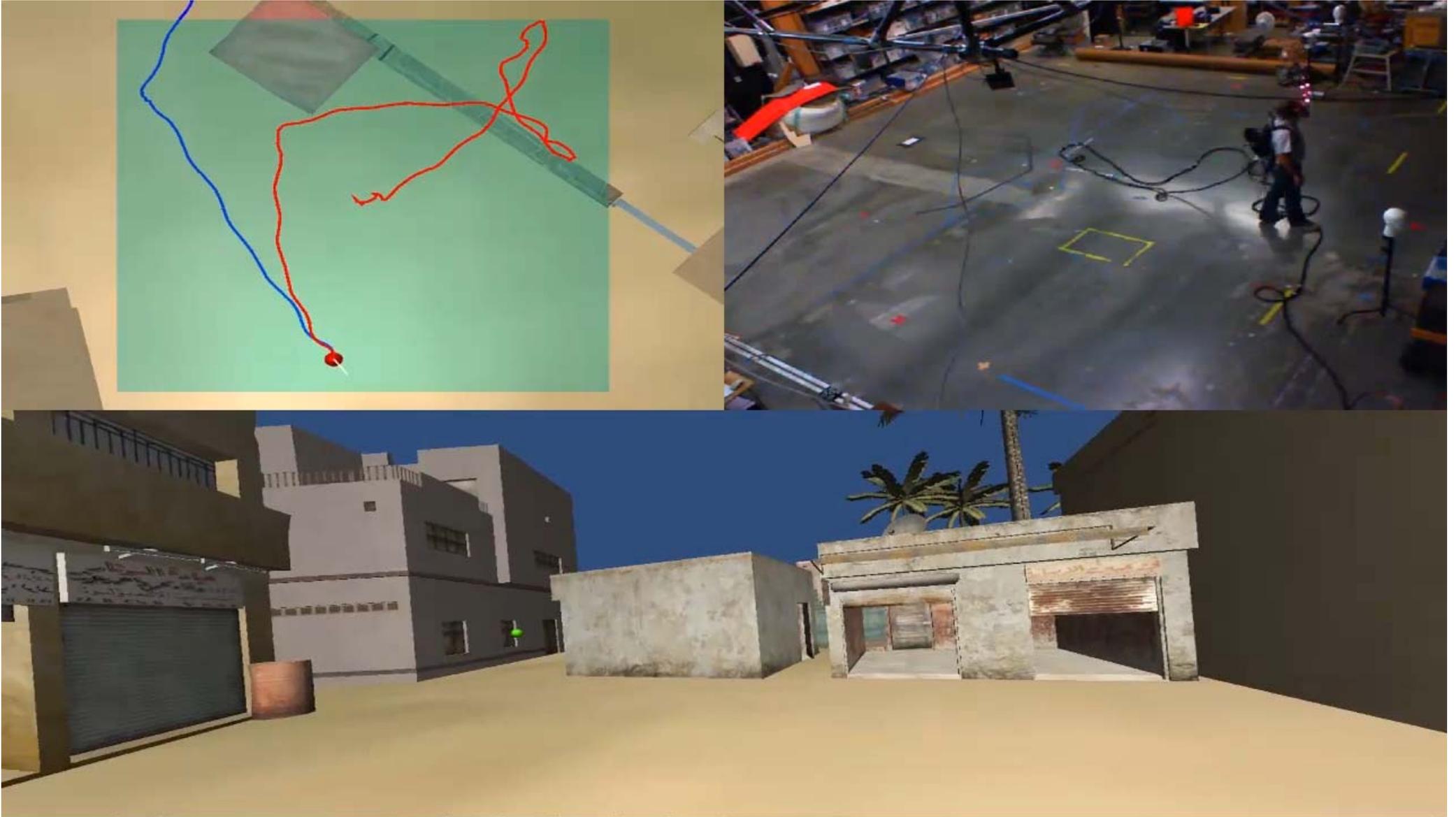
Real room



Virtual environment

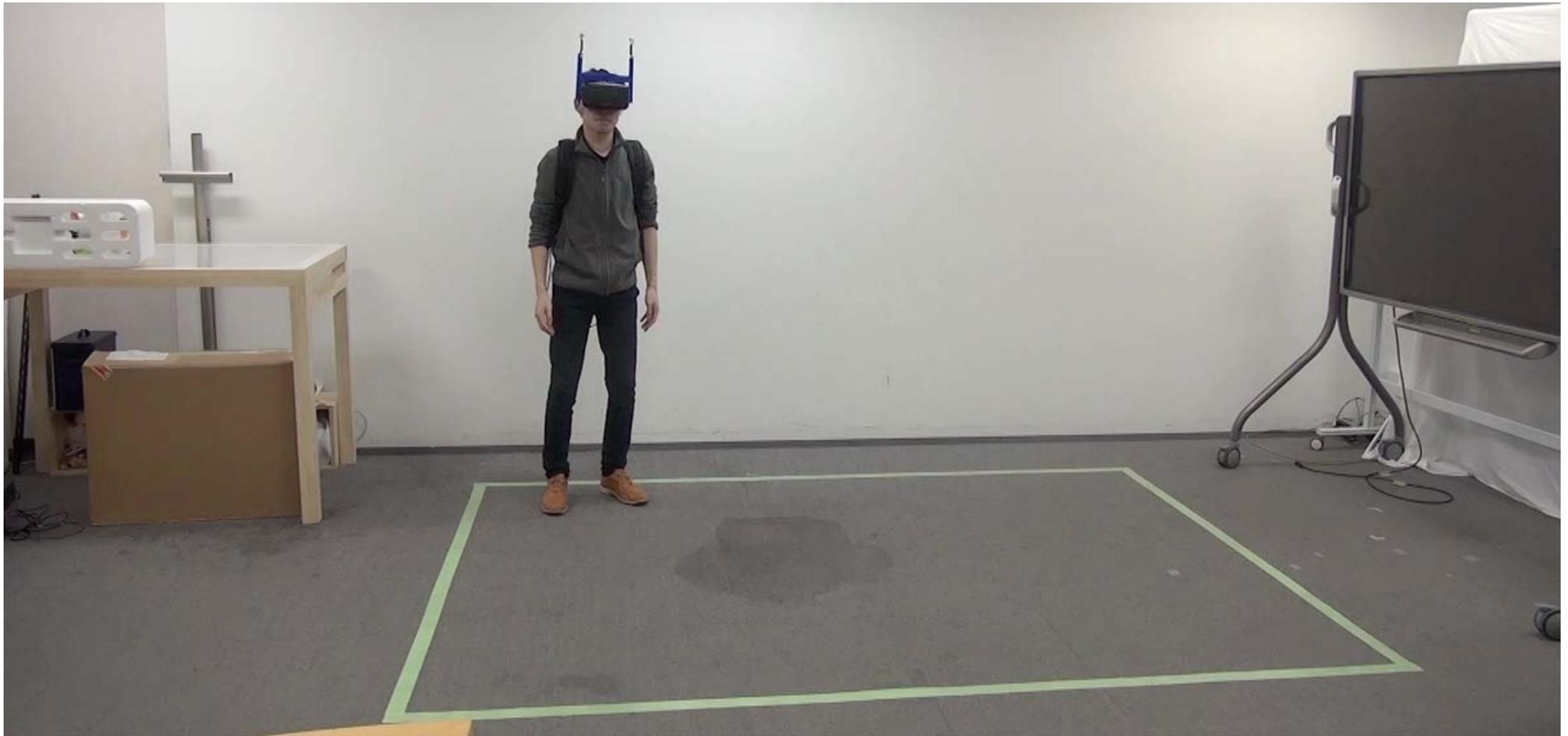


Redirected Walking (回転の操作)



回転操作の持つ制約

頻繁に回転させなければならない, 回転すると酔う

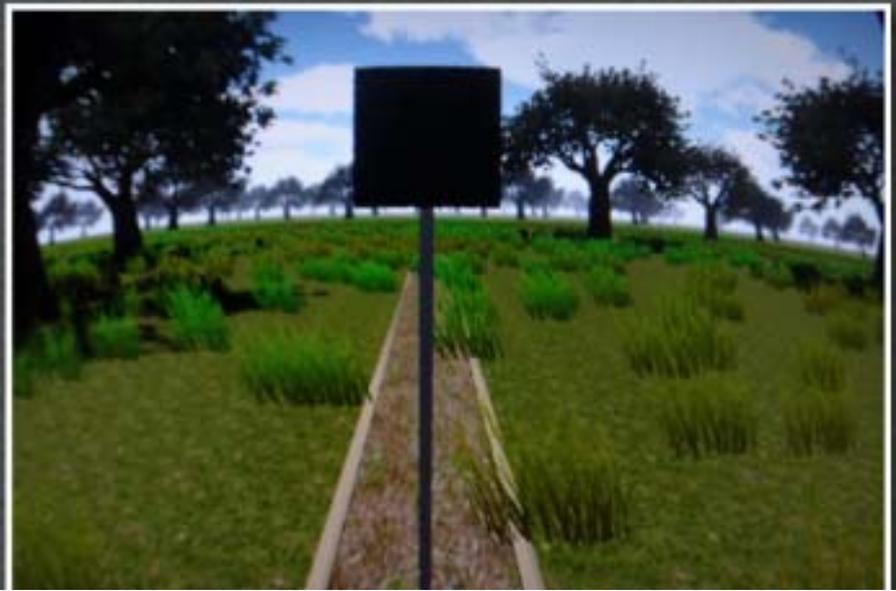


T. C. Peck, H. Fuchs, and M. C. Whitton, Evaluation of reorientation techniques and distractors for walking in large virtual environments, TVCG '09: on, 15(3), pp. 383–394.

曲率の操作

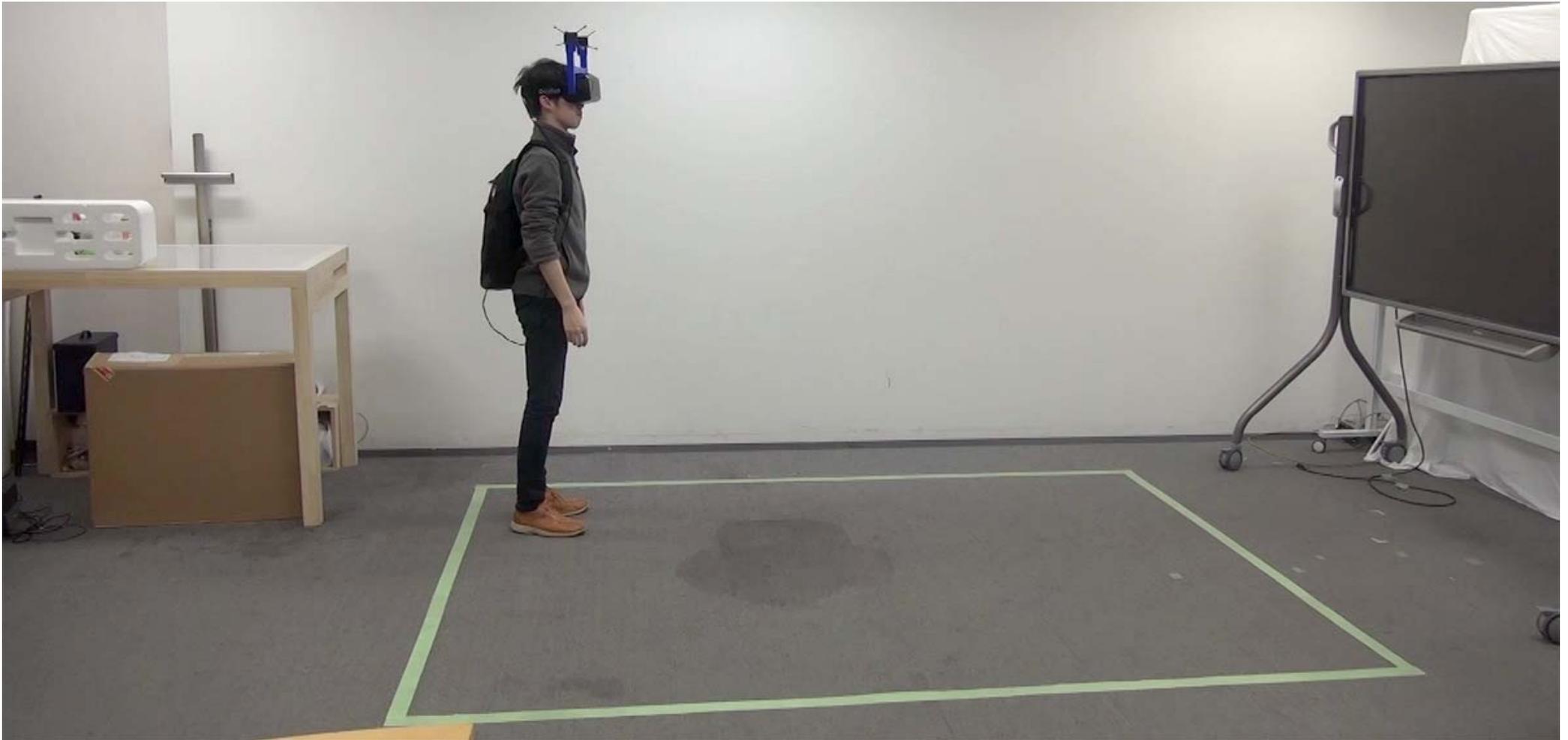
HMD

Wiimote



曲率操作の持つ制約

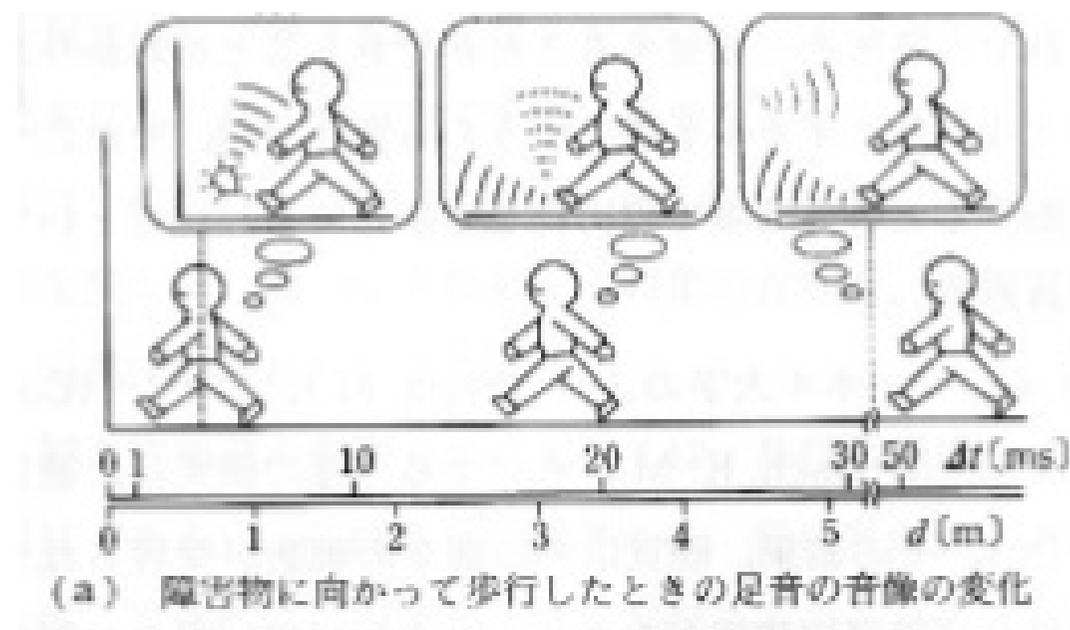
曲率操作で真っ直ぐ歩いていると感じるには
直径44m以上の円弧を歩く必要がある



F. Steinicke, G. Bruder, J. Jerald, H. Frenz, and M. Lappe. Estimation of detection thresholds for redirected walking techniques, TVCG '10 on, 16(1): pp. 17–27.

空間知覚の構成要素

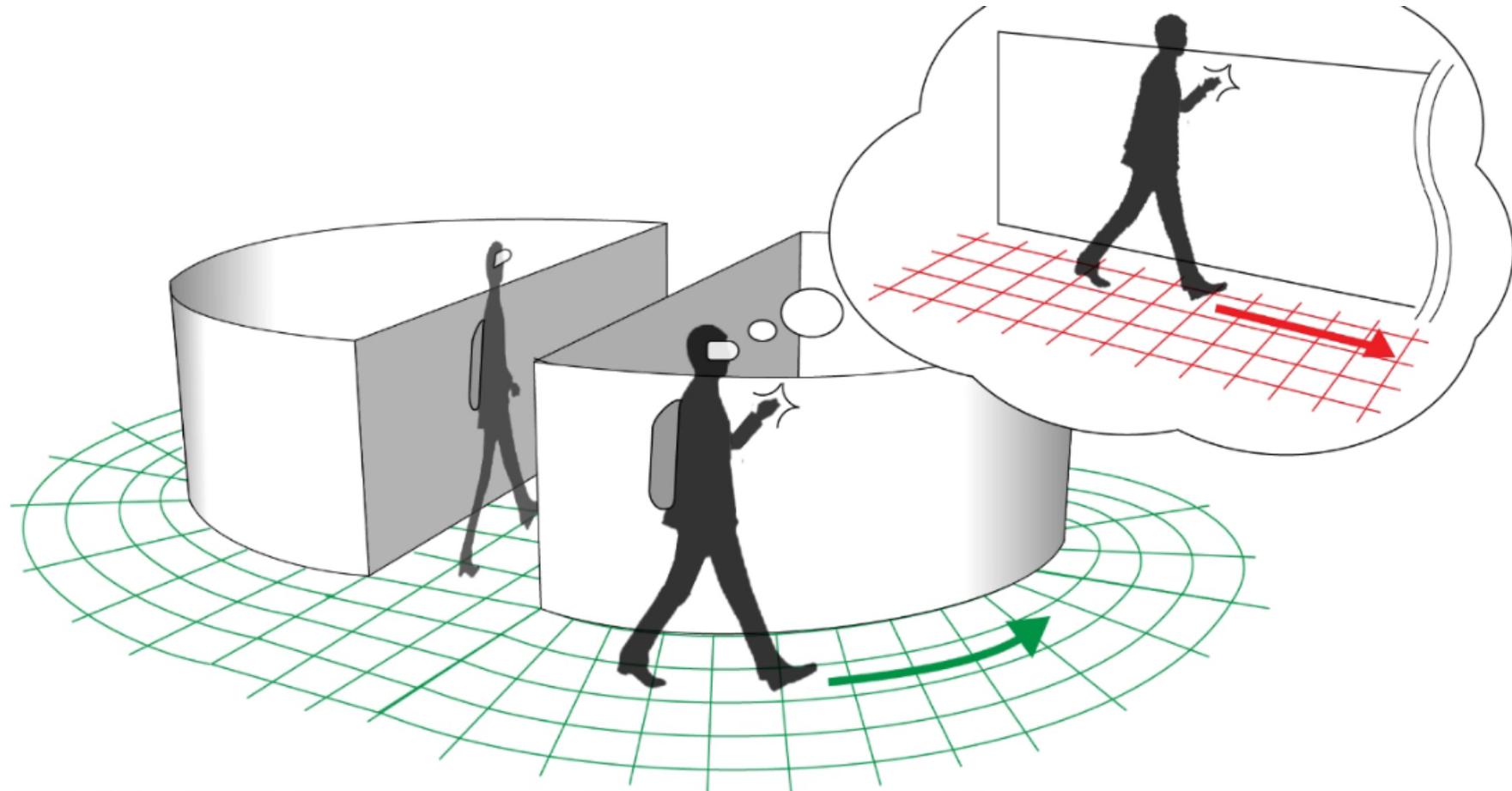
- 空間知覚とは、視覚、聴覚、前庭覚、体性感覚、化学感覚(嗅覚)などほぼすべての感覚を動員して統合し、3次元的な外界空間を脳内で表現する過程である。 - 脳科学辞典より



障害物知覚の2つのステップ

Unlimited Corridor: 無限に歩いて探索できるVR空間の実現

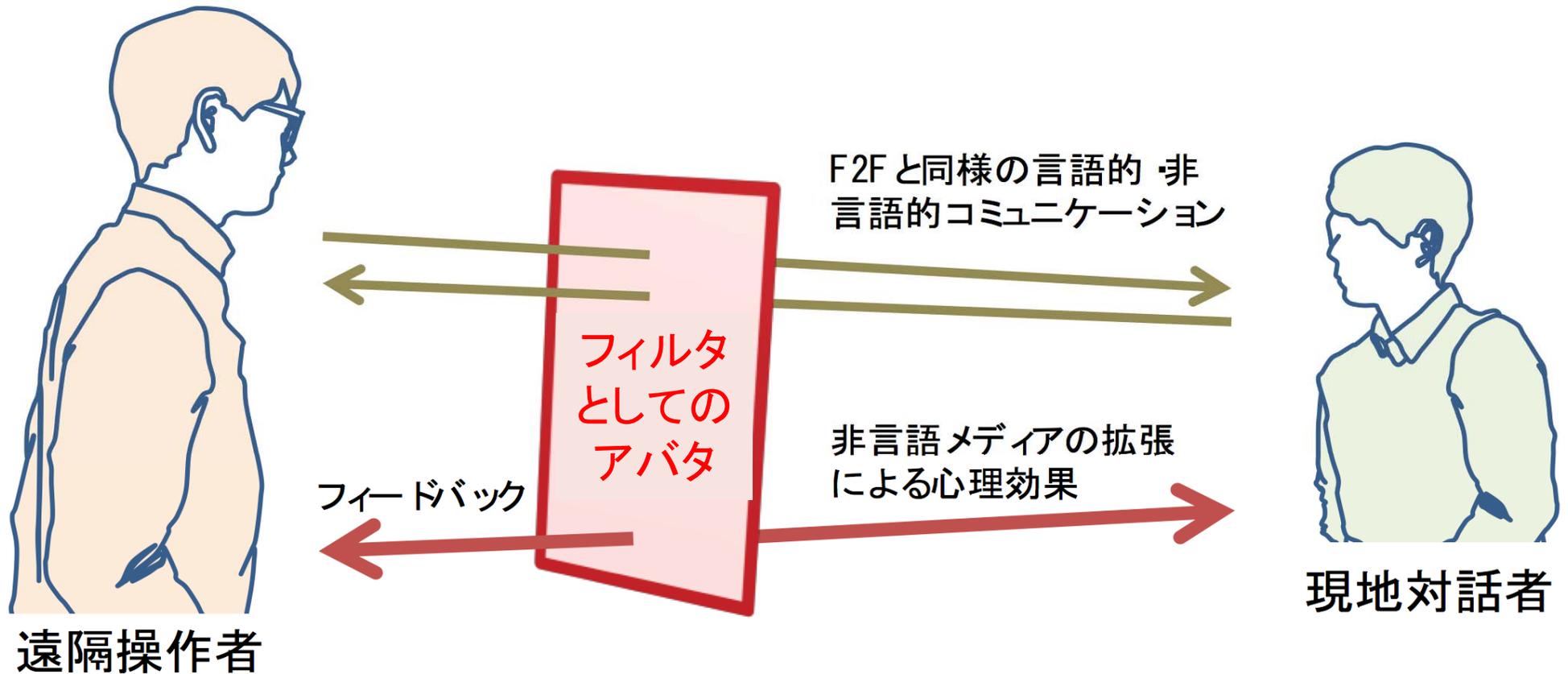
*



Although most of RDW techniques only used visual stimuli, we recognize space via multisensory input. Therefore, we propose a novel RDW method using the visuo-haptic interactions.

超現実テレプレゼンス

テレプレゼンスでは全ての情報を伝えることは難しい...
他方、**情報にフィルタを掛けられる**ことは利点になり得る



- やりとりされる情報にフィルタをかけることで心理効果を増幅し、現実以上の効果を生む
→対面よりも豊かなコミュニケーションを実現

*

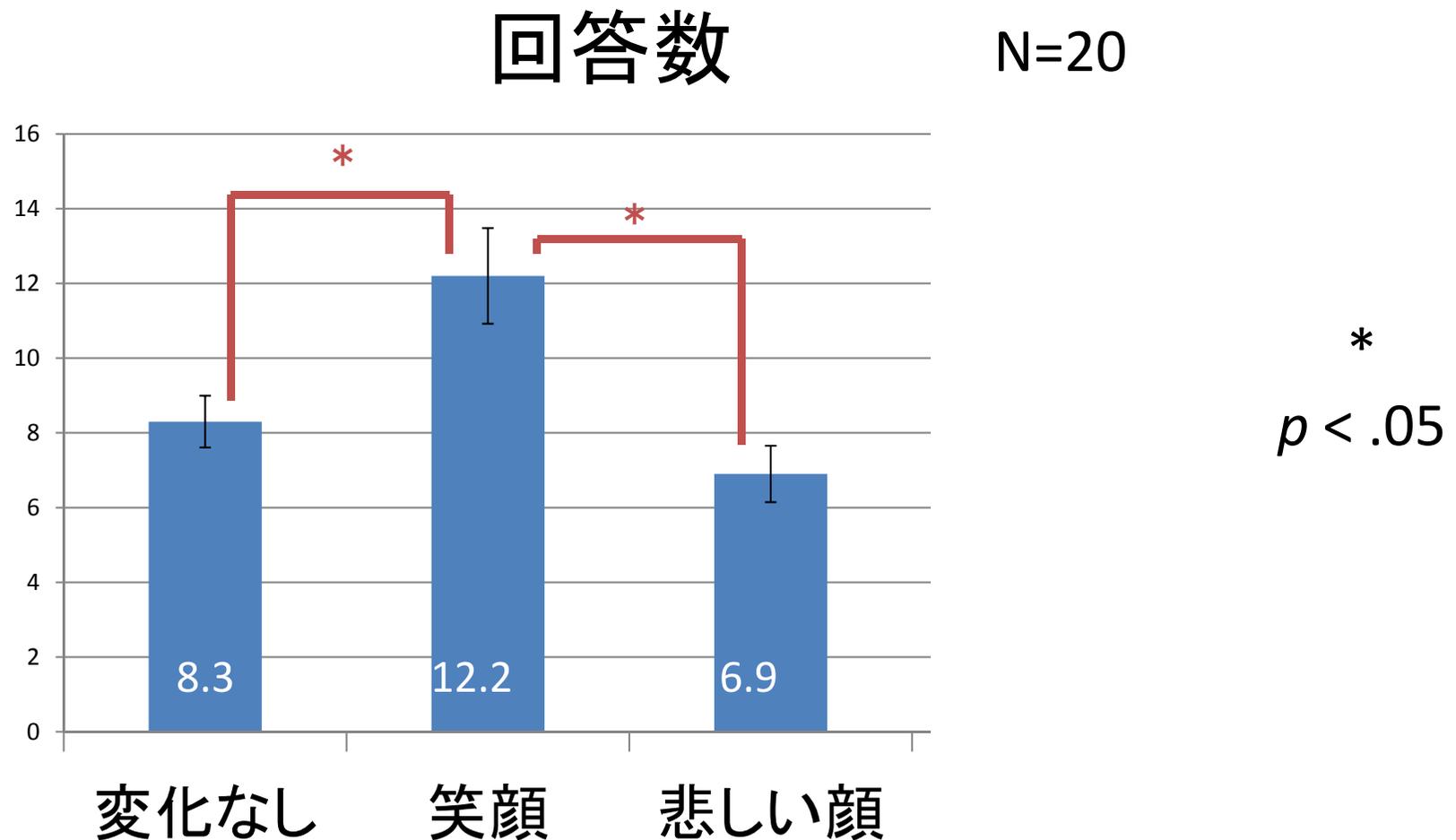
SmartFace: テレカンファレンスにおける創造性の向上

相手の顔が笑っているようにみせると、ブレストで出るアイデアが増える



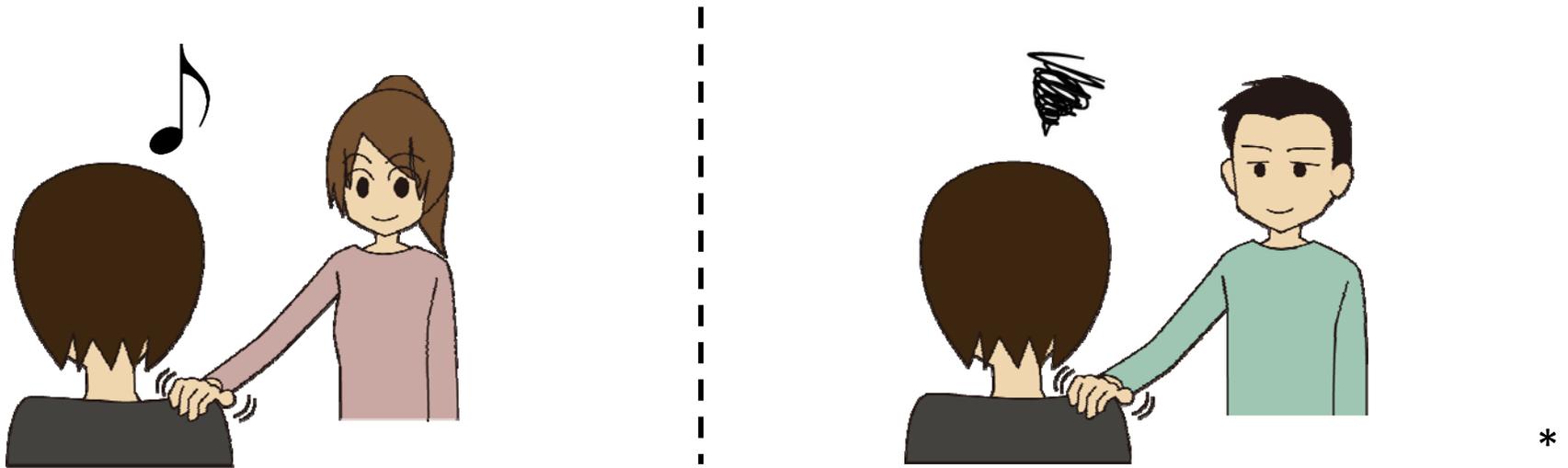
ブレインストーミングの回答数

- お互いに笑顔に見せた時に、有意に多い



コミュニケーションにおけるタッチ

- ソーシャルタッチ（社会的行動としてのタッチ）
 - 利他的な行動を誘発する，承諾率の上昇，ストレスの低減
[Crusco et al. 1984; Gueguen 2002; Koole et al. 2013]
 - 遠隔でのタッチ（Mediated Social Touch）も同じ効果を持つ
[Haans et al. 2006]



- タッチの効果は，性別に大きく影響される
- 同性間（特に男性間）で行われるタッチは異性間よりも不快に感じられやすい [Heslin 1983][Haans et al. 2012]

ソーシャルタッチアバター

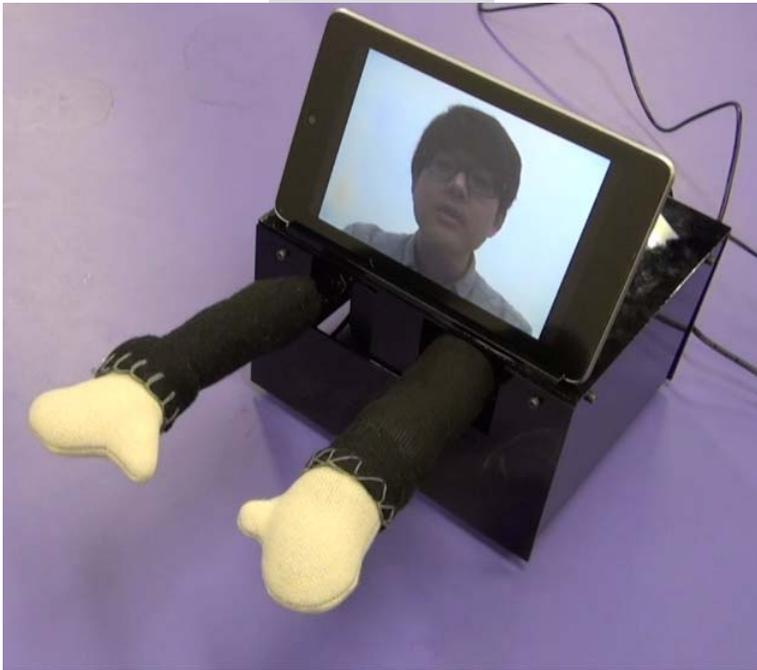
*

**"You will perform the task
with a PC in your right-hand side."**



視聴覚変換による性別印象操作

Original

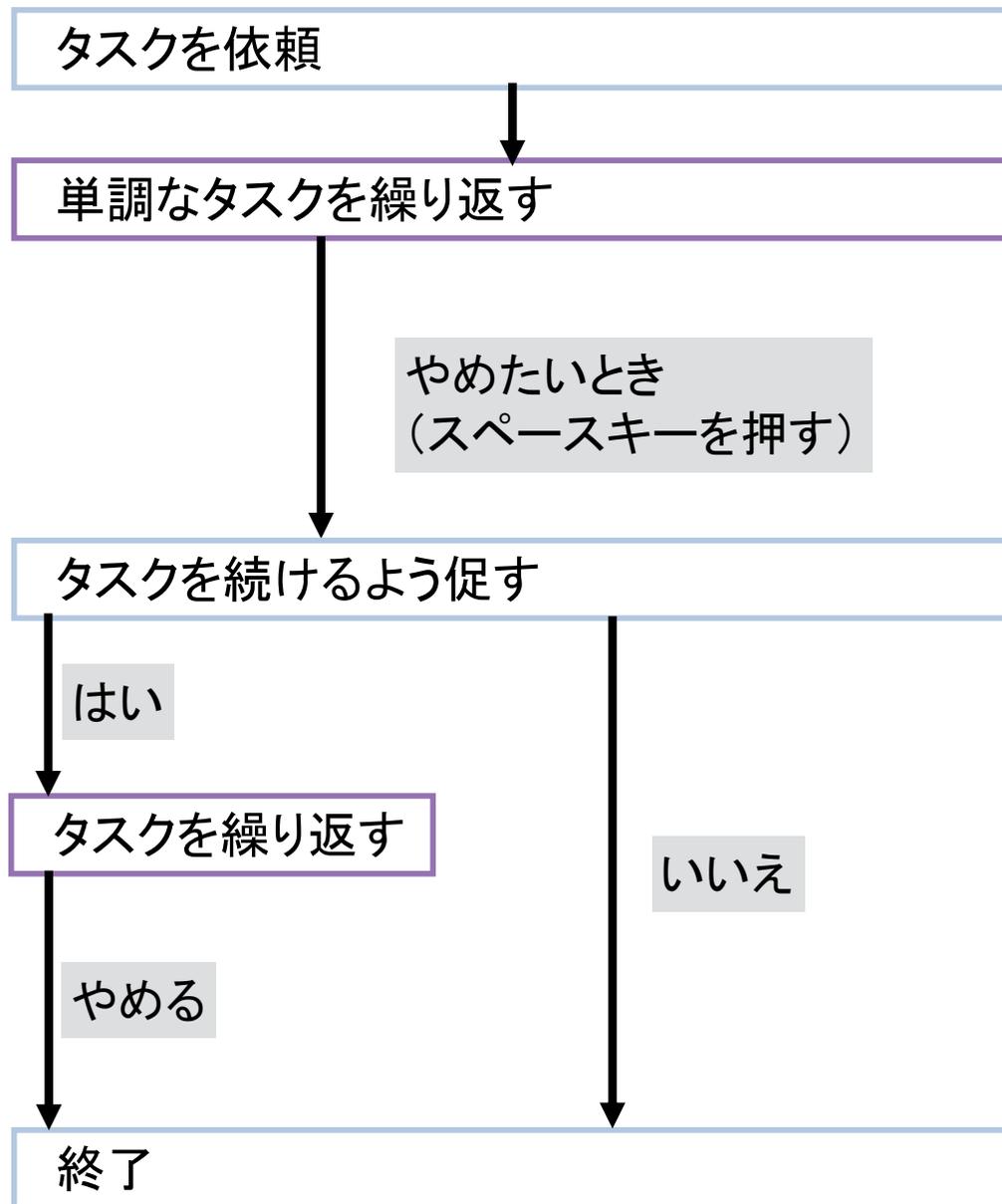


Avatar
(with conversion)



*

実験手順

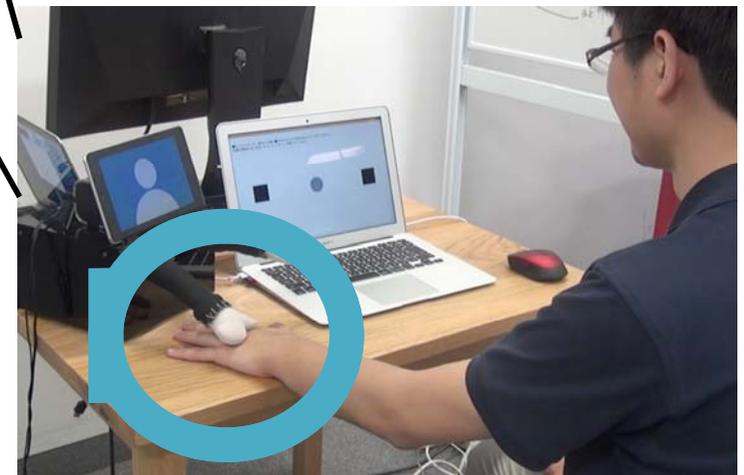


Male/Female conditions



without Touch

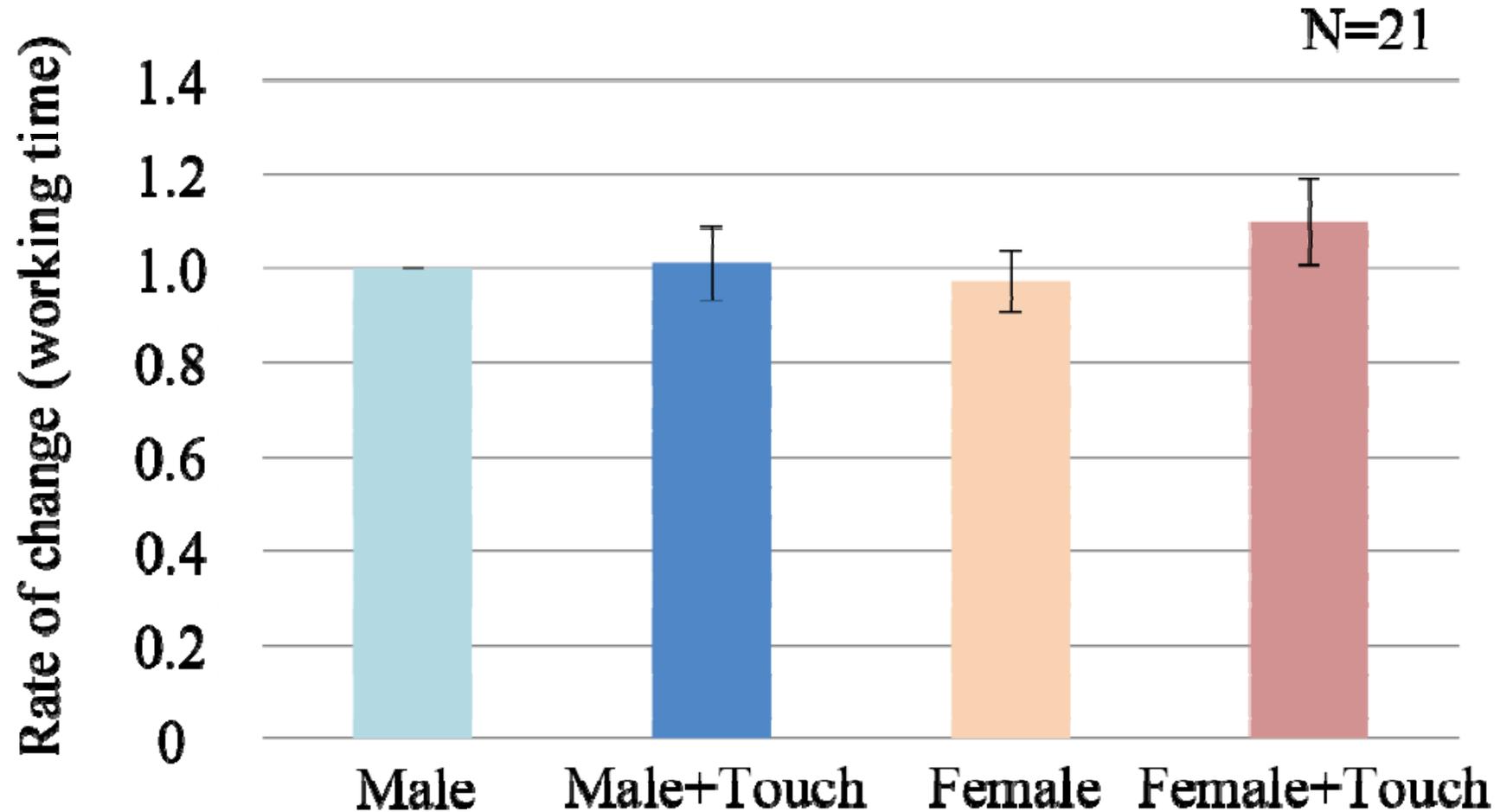
Male/Female + Touch conditions



with Touch

*

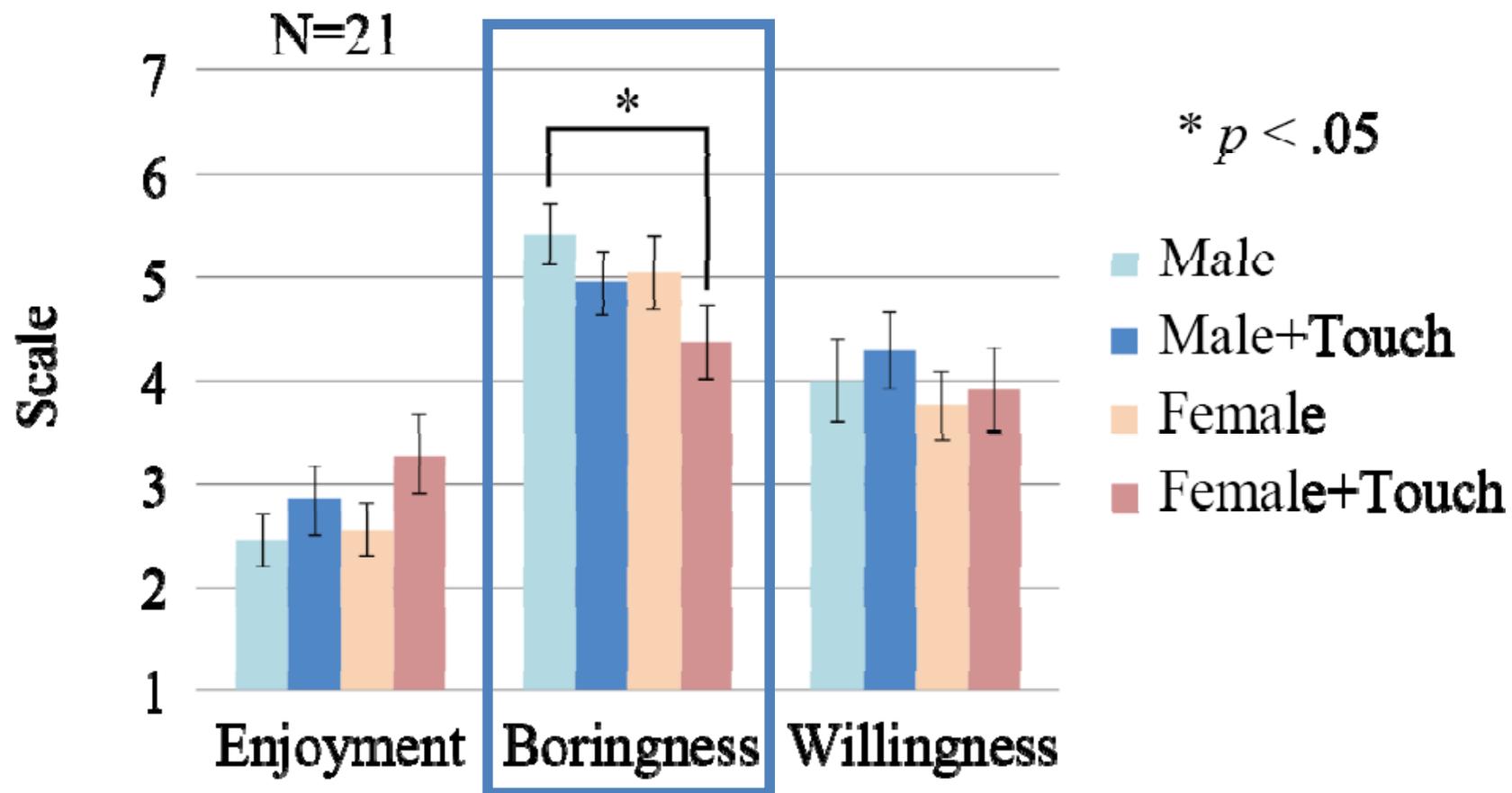
Result : 作業量



Female+Touch condition

で作業量が 10%増加 (insignificant)

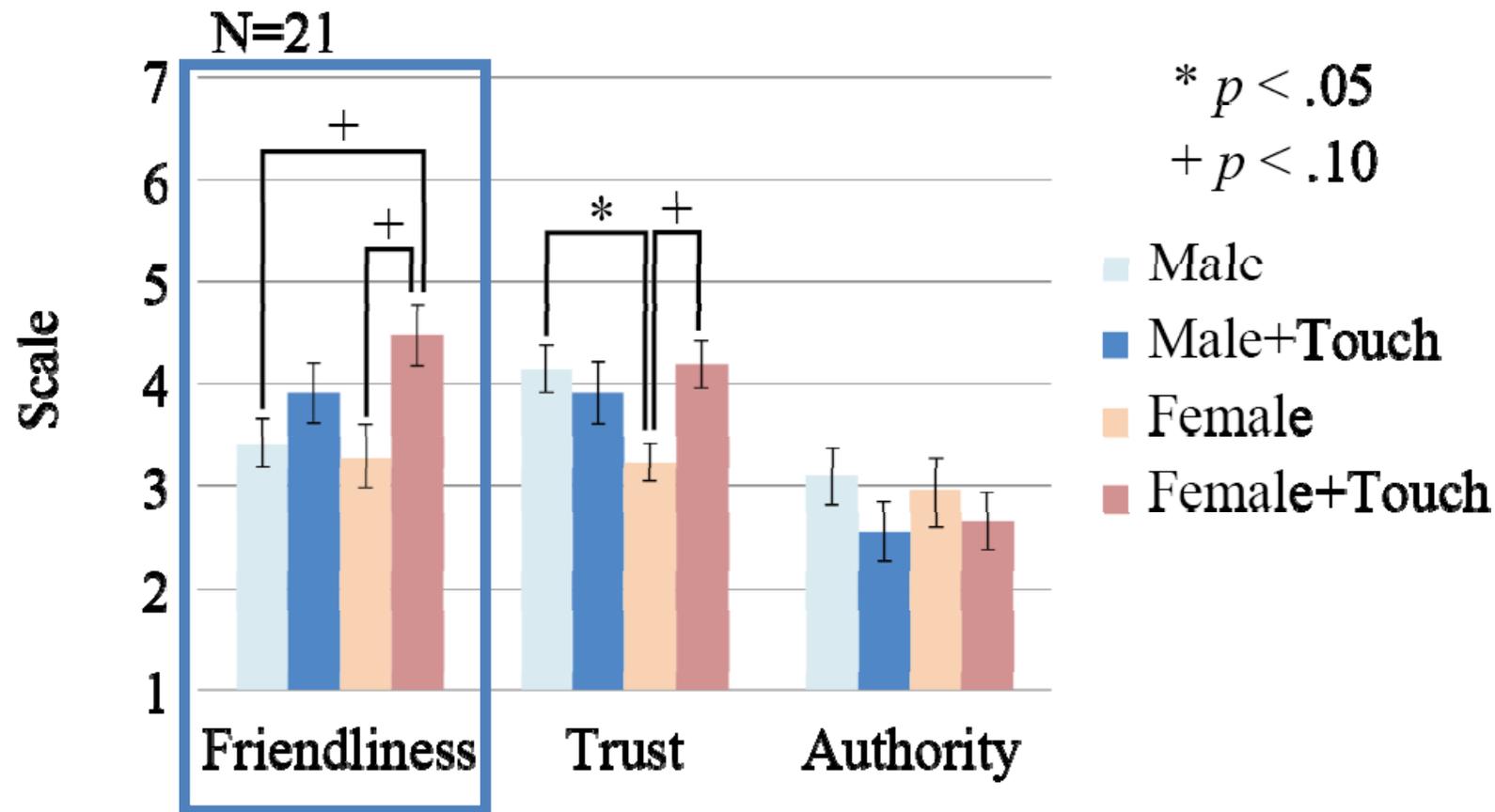
Result : タスクへの印象



単調なタスクへの退屈さの感じ方:

Female+Touch condition < Male condition

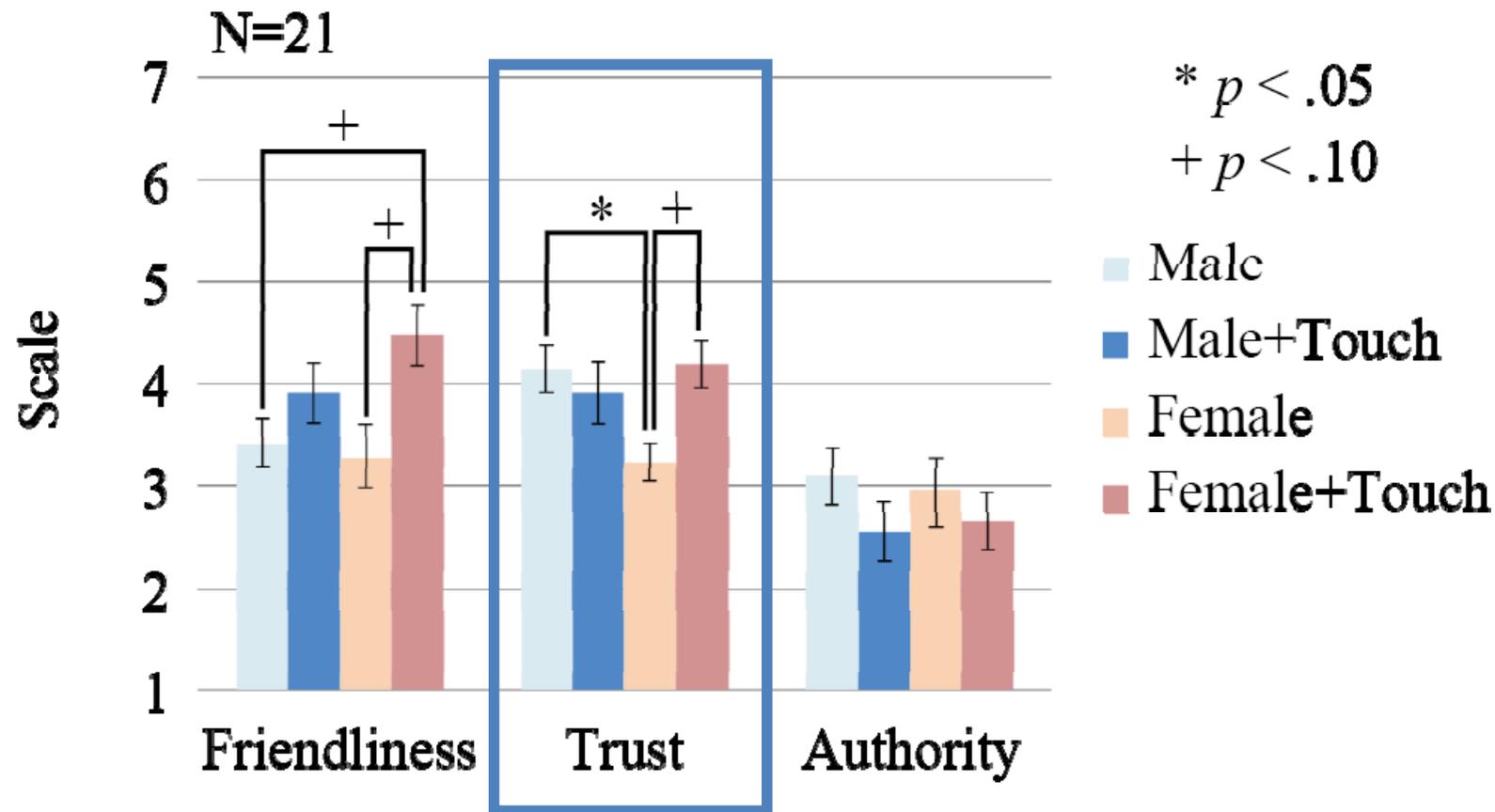
Result : オペレータへの印象



オペレータへの親近感:

Female+Touch condition > Male / Female condition

Result : オペレータへの印象



オペレータへの信頼感

Female condition < Male, Female+Touch condition

感覚間相互作用を利用した触力覚伝送

- 視覚と触力覚のクロスモーダル効果を利用することで簡易なシステム・限られた情報伝送量でも多様な形状知覚を表現可能な触力覚伝送手法を実現
- 実用に向けた必要な改良・新規手法の開発や、ワークショップでの利用、展示への応用などを通じて多くの知見を蓄積することができた
- 触力覚がもたらす効果を利用して視線や注意を誘導したり、良い心理効果をもたらすこともでき、これらを最大限活用すれば、対面よりも効果的な遠隔共同作業が実現できる可能性もある

鳴海拓志

narumi@cyber.t.u-tokyo.ac.jp



Cyber Interface Laboratory

<http://www.cyber.t.u-tokyo.ac.jp/~narumi/>