

# ChameleonMask: 人の存在感を提示する仮面型テレプレゼンスシステム

三澤 加奈\* 暦本 純一\*†

**概要.** ChameleonMask は、遠隔ユーザの顔が表示された顔ディスプレイを代理人が着用することで、社会的な存在感と身体的な存在感の提示を目指したテレプレゼンスシステムである。多くのテレプレゼンスシステムは、遠隔ユーザの存在感を提示するのに自律移動ロボットを用いてきた。一方、本システムは遠隔ユーザの代理として“ひと”に着目した。代理人は、遠隔ユーザの顔がリアルタイムでストリーミングされ、音声コミュニケーションがとれる顔ディスプレイを着用する。また、遠隔から出される指示に従い、遠隔ユーザの代わりに務める。初期の実験では、代理人を遠隔ユーザ本人だとみなされる傾向にあった。そこで、遠隔ユーザが代理人に指示を出せるアプリケーションの実装を行った。そして、遠隔ユーザが代理人に指示を出すときにどのように感じるのか、代理人が遠隔ユーザの身体になる時どのように感じるのか実験を行った。その結果、遠隔ユーザは ChameleonMask を用いると外出したい意向が高まり、代理人は遠隔ユーザの要望を満たしたいと考える傾向にあり、代理人になることに好意的だった。

## 1 はじめに

テレビ会議システムは、遠隔ユーザを“ここにいる”ように感じさせ、臨場感の高いコミュニケーションを可能にする。しかし、部屋に設置されているため使用用途に限られる。そこで、空間内の移動を可能にしたのが、テレプレゼンス用の自律移動ロボットである。遠隔ユーザの顔を表示した画面と背丈程の躯体に車輪が搭載している。遠隔ユーザは、現地の様子を見てシステムを制御することにより空間を自由に移動する。自律移動ロボットは、多くの場面での利用を期待されており、現地にいる人、遠隔ユーザとも満足感が高いと言われている [16]。

しかし、これらのシステムはまだ完全とは言えず、実世界で人間の代わりにするには多くの課題が残る。一つは、システムと人の見た目の違いである。見た目の違いはコミュニケーションに影響を与える [17]。システムの高さ調節によって背丈を合わせられるが、安定性を維持するため、しばしば実物の人物より小さいことが多い。二つ目は、環境に応じて声の音量調整ができないことである [5]。その結果、聞こえにくい遠隔ユーザの質問を誰かが復唱する必要があったり、逆に音量調整ができないため話し声が大きすぎるが起こる。三つ目は、“自律移動できる”システムでありながら、問題が起こるたびに人の手助けを必要とする点である。Raeらは、自律移動ロボットを用いた遠隔共同作業で、高さを伴うタスクは作業効率が落ちることを報告した [17]。また、自律移動ロボットは床の障害物や階段で立ち往生しやすい。もし、複数の人々が遠隔からこのようなシステムを用いて参加したら、広いスペースで



図 1. Surrogate に対峙する遠隔ユーザ

あっても混雑するであろう。

これらを解決するために、ChameleonMask を提案する。テレプレゼンスにおけるの存在感とは、その人が誰であるかを規定する社会的存在感と実体としての身体的存在感があると考えられる。本システムでは、この二つの存在感を提示するために、人間の代理人を起用した。多くの研究は、人間らしい振る舞いをロボットの開発で実現しようとした。しかし遠隔ユーザの社会的立場、使用する環境、必要とされる動作は多様で複雑性に富む。そこで、人間の代用を人間がするコミュニケーションツールを開発した。本論文では、ChameleonMask の紹介とこれまで明らかにした実験について報告する [3, 11]。

## 2 関連研究

メディアアートでは、タブレットを独自のコンテンツで顔に装着する作品<sup>123</sup>がいくつか存在する。しかし、代理人を遠隔ユーザの“からだ”とし、遠

Copyright is held by the author(s).

\* 東京大学

† ソニーコンピュータサイエンス研究所

<sup>1</sup> Tablet man, <http://www.news2u.net/releases/106083>

<sup>2</sup> Yamada Taro project., <https://vimeo.com/82250584>

<sup>3</sup> iPad Head Girl, <https://youtu.be/fLPMLJgGsiA>

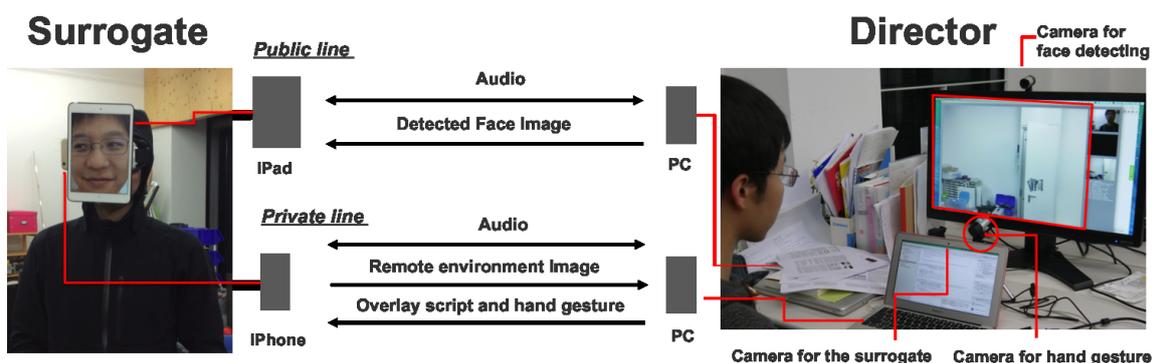


図 2. Public line は director と現地にいるひとたちの通信経路である。音声と認識された顔画像が surrogate の iPad に送られる。Private line は, surrogate と director 間の通信経路である。Surrogate の周辺環境は, 視野映像と音声によって Director に送られ, それを見て director は指示を出す。

隔ユーザの“仮面”を身につけたテレプレゼンスに関する研究はない。

## 2.1 遠隔コミュニケーションにおける存在感

遠隔ユーザの存在感を高めるためには, ディスプレイの動作 [15] やシステムの可動性 [16], ジェスチャー表現 [1] が効果的だと報告されている。これらのシステムは, 遠隔ユーザの顔を映すディスプレイ, スピーカ, マイクから構成されている。3D の顔形状ディスプレイを使用した研究もある [12, 13]。アイコンタクトは, 対面コミュニケーションで重要な役割を果たすため, 遠隔コミュニケーションでもアイコンタクトを実現させる研究が行われているが [14], 3D の顔型ディスプレイを用いるとアイコンタクトがとりやすいことがわかっている [10]。Geminoid[20] は人間そっくりのアンドロイドロボットである。本人と酷似した外観は存在感が強いが, 機械構造が複雑なため人間の多様な動作が実現できない。また視覚, 聴覚に加えて, 触覚を伝えるテレプレゼンスシステム [21] もあるが, これらは開発コストが高い。本研究は, より高い存在感を提示するために, 人間の能力に着目した。

## 2.2 インターネットを使った人間のスキル活用

本システムは遠隔ユーザが代理人にインターネットを介して要望を伝え, 動いてもらうことで周囲の人たちとコミュニケーションをとる。このように遠隔ユーザが現地にいる人々と体験を共有する研究がいくつかある。Tele-Actor[4] は, 遠隔地で通信することができるウェアラブルシステムである。Omnipresenz<sup>4</sup> は, 視界の共有を目指したソーシャルサービスである。Jackin は, カメラが搭載されたヘッドセットによって 360° 映像を遠隔ユーザと共有するシステムである [6]。本システムとこれらの

違いは, 現地の様子を遠隔ユーザと共有するだけでなく, 遠隔ユーザの存在感をマスク上に提示することである。Teroos は, 肩乗せの小さなロボットを介して遠隔ユーザとコミュニケーションするシステム [7] である。現地の人からすると, 装着者とロボットの二者を相手にコミュニケーションをとることになる。一方, ChameleonMask は代理人が遠隔ユーザに成り代わるため, 一者を相手にコミュニケーションをとるシステムである。近年, ユーザが小さな仕事をアウトソーシングしたり, 自身の能力を売買するオンラインサービス<sup>5,6</sup>が増えている。Amazon Mechanical Turk<sup>7</sup> が, 頭脳のマーケットプレイスならば, ChameleonMask は, 身体マーケットプレイスになる可能性がある。

## 3 ChameleonMask

ChameleonMask は, 遠隔ユーザの代理人が装着するウェアラブルマスクシステムである。遠隔ユーザの顔の表情がストリーミングされ, マスク上に表示される。遠隔ユーザの顔を持つ代理人は, 遠隔ユーザの動作を見て模倣する。遠隔ユーザは, マスクから送られる代理人の視野や状況を見て, 周囲の人たちとコミュニケーションをとる。

ChameleonMask の枠組みの中では, 3 つの主要な立場が存在する。遠隔ユーザ (director), 代理人 (surrogate), および現地にいる人々である。Director は遠隔地から参加したい意向のある人であり, surrogate にどこへ行きたいか, どう振る舞ってほしいかを指示する。Surrogate は, director からの指示を受けて, director に代わって振る舞うユーザである。Surrogate は, 映像と音声によって自身の周辺状況を director と共有する。現地にいる

<sup>5</sup> Taskrabbit, <https://www.taskrabbit.com/>

<sup>6</sup> Fiverr, <https://www.fiverr.com/>

<sup>7</sup> Amazon Mechanical Turk, <https://www.mturk.com>

<sup>4</sup> Omnipresenz, <http://www.omnipresenz.com/>

人々は, surrogate を通して director と話をする対象であり, director の同僚や会議の参加者にあたる. ChameleonMask の目的は, 彼らに director と実際にコミュニケーションをしているかのような感覚にさせることである.

社会的存在感: 身体の中で, それが誰であるかを規定できる主要な部位に顔がある. そこで director の表情をディスプレイに表示し, 音声を伝えるシステムが必要だった. 顔マスクをつくるには, 顔映像をディスプレイにプロジェクションする方法が考えられる [10, 12, 13]. プロジェクションは, 顔の細部や動きを高精度に再現できるが [2], プロジェクタを配置する場所がないためウェアラブルシステムには不向きである. そのほか, 3D プリンタで湾曲した 3D 光学ディスプレイをつくる方法 [22] や, フレキシブルディスプレイを用いて顔マスクをつくる方法が考えられる. ChameleonMask は新しいコミュニケーションフレームなので, マスクを開発する以前に人がどのように感じるのかを優先的に調べることにした.

身体的存在感: ウェアラブルシステムは, コミュニケーションを阻害しないデザインにすべきである [19]. そこで, ChameleonMask が人や社会がどのように反応するか調べることにした. また, 顔以外の身体は本人に似せる場合, 同じような背丈, 体格, 文化慣習を持つ人が望ましいと考えている. そして, surrogate は director に身体を貸してるので周囲の人々と会話をせず, surrogate 自身のキャラクターや存在は隠す必要があると考えている.

#### 4 フィジビリティの初期検証

ChameleonMask の実現可能性を調べるためフィールドテストを行っている [3]. 人々がプロトタイプマスクを着用した surrogate を見て, どんな反応をするのか観察を行った. また, 個人事業主の衣料品店にて事前許可を得て, 被験者が surrogate と director 役を交互に務め, 買い物をさせてもらった. 離れた場所にいる director からの指示の元, surrogate は店内を見て回り, 商品を手に取ったり店員と会話をした.

実験中の会話や行動から, 人々は director を surrogate 本人だとみなす傾向があった. なぜ director がマスクを被り, iPad を介して会話しているのか疑問に思っていた. また, 買い物の実験では, 店員は director と話しているような感覚がしたと言っていた. さらに, 実験からシステムの改善点を二点得た. 一点目は, 重量の軽量化である. プロトタイプシステムは, iPad の後ろに単眼のヘッドマウントディス



図 3. Surrogate は HMD (Hacosco) にセットされたフレネルレンズを通して iPhone の外カメラからの映像とコーナーに表示された director を見る. この映像は director に送られている.

プレイ (HMD) としてハコスコ<sup>8</sup> と iPhone が設置されていたため, 前方に比重がかかっていた. フルフェイスのヘルメット型マスクは頭にフィットするものの, 長時間着用するには重く, 窮屈だった.

二点目は, surrogate への指示の出し方である. プロトタイプシステムでは, 音声による指示出しのみだった. Director の口頭の指示によって, surrogate は何をしてほしいのか理解できていたが, surrogate が騒がしい場所にいる時, 指示ははっきりと伝達されない. そこで, 文字による指示出し機能を足すことにした. また, ジェスチャーの指示の出し方を工夫する必要があった. Surrogate は, director を視野内の小枠で見ることができ, “いることがわかると安心する” という声があるものの, 小枠に映る director の手のジェスチャーを読み取るには小さかった. そこで, 手のジェスチャーが分かりやすいアプリケーションを実装した.

#### 5 システム概要

基本構成は, director の顔を映すディスプレイ, surrogate のために外の映像を取得するカメラと表示するディスプレイである. 人の顔サイズに合い, 装着できる重さを考慮して 7.9inch の iPad mini を用いることにした. Surrogate の視界の確保と director の指示を伝えるため, iPhone6 で動くアプリケーションを実装し, ハコスコにセットして使った. 使用したハコスコデラックスモデルは, プラスチック製でゴムバンドが着いている. さらに装着時のクッション性を上げるため, ゴーグルのフレームをとりつけた. ChameleonMask は, 二つの通信回線, Public line と Private line を持つ. Director が surrogate と会話をする時, Public line から Private line へ切り替えて使用する.

Public line は, director が現地にいる人と顔映像と音声を用いてコミュニケーションする通信である. そこで, director の顔を切り取って PC から iPad に送るアプリケーションを実装した. 顔画像

<sup>8</sup> Hacosco, <http://hacosco.com/en/>.

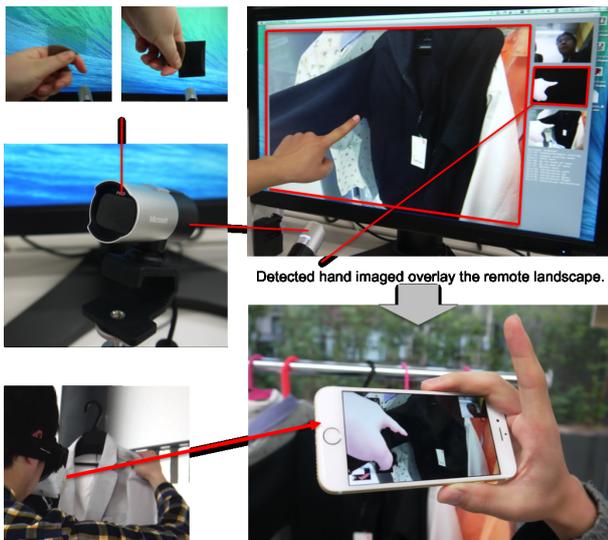


図 4. LCD ディスプレイの光学現象を利用．偏光フィルターをカメラにとりつけ、黒背景から手を検出して抜き出し、surrogate が見る映像にオーバーレイしている．

は、USB カメラで取得した画像に Haar-like 検出器を用いており、取得した顔画像はリアルタイムで送られる．音声の通信は、Skype を用いている．声の音量が低すぎる場合、surrogate が、iPad の音量を調整したり、Private line を用いて director にもっと大きく話すよう指示を出すことができる．

Private line は、surrogate と director 間の通信である．Surrogate から遠隔の映像と音声を送られる．Surrogate は、director と話すためにマイク付きイヤホンを身に付けている．

Surrogate が、マスクを着用すると視界が遮断される．そこで、surrogate の視界を確保するために、iPad にハコスコを設置した．Surrogate はハコスコに配置した iPhone 6 カメラから没入感のある映像を見る．人間の視界よりも狭いが、iPhone から取得される映像は明瞭なので相手と話したり歩き回ることができる．Surrogate が見ている外側の映像は、director の PC へも送られる．音声通信は、Skype を介して行われる．

### 5.1 指示の出し方

ロボットを制御するには、命令に対する事前の設定と細かな機能が必要だ．しかし、人は状況の判断や遠隔ユーザの気持ちを音声から理解できる．よって、Director からの指示の出し方は単純化でき、もし director の指示が surrogate に正しく伝わっていないことに気づいたら、伝えればよい．また、タスクの内容に指示の出し方は依存する．これらを考慮し、指示を出す基本的なアプリケーションを実装した．

Script mode は、遠隔ユーザのタイピング文字

を画面上に表示するアプリケーションである．周囲が騒がしく指示が聞きにくい時や、surrogate の周囲に人がおり、surrogate だけ話したい時に役に立つ．Private line の使用時、音声は surrogate のみには聞こえないがディスプレイに映った director の口が動いているため、読唇されたり不信に思われる可能性があるからだ．

Hand gesture mode は、モニタに向けた director の手のジェスチャーを視覚的に伝える．Director は、surrogate が見ている映像をモニターで見えており、ポインティングした手や指が surrogate の視界にオーバーレイするようにした．このモードは、director がどんな行動をしてほしいのか十分に説明できない場合に有効である．例えば「直進」や「右に曲がって」という指示は単純で理解しやすいが、「これ取って」といった指示代名詞を含む要求や「馬を撫でて」というような説明が難しい動作は見せた方が早い．

手のジェスチャーを検出するために、偏光フィルターを使用した．LCD ディスプレイは、光が水平方向に偏光する特徴がある．偏光フィルタは、LCD の光に対して垂直にカメラへ装着されると、LCD ディスプレイから取得される画像は、フィルタによってブロックされる [8]．この光学現象を利用し、黒い背景から director の手のジェスチャーを検出させ、surrogate の見ている映像にオーバーレイさせた．

## 6 実験

今後、ChameleonMask を実用的な場面で使うことを想定し、director と surrogate の役割を理解するため実験を行ったものを紹介する [11]．

### 6.1 実験 1：Director の役割を調べる

Director は、遠隔にいるためにある行動ができないとき、surrogate に代わりを依頼する．Director の求める行動はコミュニケーションにとどまらず、プレゼンテーションや会議の参加など多岐に渡る．これらの要望に surrogate が応えられるのか、自律移動システムと比較して操作しやすいのか調べる必要があった．

設定したタスクは、事前に用意したルートに被験者が surrogate を遠隔から案内して果物屋に連れて行き、商品を購入するものである．実験中、通行人からの干渉をさけるため、「実験中」と記載したボードを surrogate 役の首から下げ、果物屋の店主に実験の承諾を得た．Surrogate の性格や対応の違いによって実験結果に差が出ないように、同じ surrogate が担当した．被験者は、4 人の男性と 5 人の女性で年齢が 22 ~ 28 歳の大学生であり、本プロジェクトと関わりのない人たちである．また、surrogate と面識がないため両者の関係性による影響はない．実験は、1) システムの説明、2) システム評価、3) テ

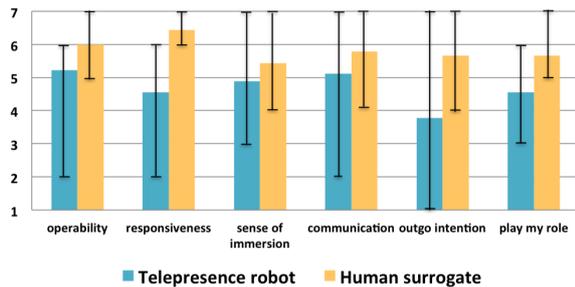


図 5. 実験 1 の結果

スト後のアンケート、および 4) インタビューの順番で行った。

また、自律移動ロボットとのユーザビリティと比較するため、実験室から決められたルートで建物を出て大学構内を走り、門まで行く操作を比較体験してもらった。使用したシステムは、Double<sup>9</sup>であり、被験者には最初に基本操作を練習する時間を設けた。アンケートは、7点を最高点にしたリッカート法で行った。質問は、以下の通りである。Q1. 自律移動システム/Surrogateは、操作しやすかったか？ Q2. 思った通りに、自律移動システム/Surrogateは動いたか？ Q3. その場にいるような臨場感を感じたか？ Q4. 遠隔の環境を確認することができたか？ Q5. 自律移動システム/Surrogateを使用して外出したいか？ Q6. 遠隔地に自分の代わりに自律移動システム/Surrogateを送り込みたいか？

結果を図 5 に示した。5%の有意水準で有意差があったのは Q2, Q5, Q6 である。自律移動システムの回答に開きが生じた理由として、周囲の状況把握がしづらく、操作性に不安を抱える傾向があった。

## 6.2 実験 2: Surrogate の役割を調べる

Surrogate は他人 (すなはち director) を助けたいと思うのか。自分の身体を貸すときにどう思うのか。これらの疑問は今後 ChameleonMask がどのような場面で使えるのか調べる上で重要である。タスクは、実験環境の衣料品店にて director のショッピングを surrogate が手伝うものにした。参加した被験者は、4人の男性と 4人の女性、年齢は 22~28歳の大学生、社会人からなる本プロジェクトと関わりがない人たちである。被験者と同性の director が対応した。Director は、すべての被験者に対して同じ対応が取れるよう、事前に練習をし、用意したシナリオを読み上げてもらった。

また、スクリプトや手のジェスチャーを使った指示を出してもらった。ユーザ調査の後、7点を最高点にしたリッカート尺度でアンケートを取った。(M: Mean, SD: Standard Division, 1. Director の指示は伝わったか? M: 6.13, SD: 0.64, 2. Director



図 6. 左: Director が近くで見てみたい洋服を指差し。右: Director の顔がディスプレイに表示。Surrogate は洋服を取って Director に見せている。

の要求をこなすのは難しかったか? M: 3.38, SD: 2.39, 3. Director から指示されるのは嫌な気がしたか? M: 2, SD: 0.93, 4. Director のために気を回し自主的に動こうとしたか? M: 5.38, SD: 0.74, 5. Director の指示は多い方がいいか? M: 5.5, SD: 1.31, 6. Director の役に立っていると思ったか? M: 5.88, SD: 0.35, 7. Surrogate になるのに準備が必要か? M: 4.25, SD: 1.67 8. 身体を貸すアルバイトがあったら応募者がいると思うか? M: 5.63, SD: 0.52) 実験より、予想に反して被験者が surrogate になることを肯定的に受け止めていることがわかった。そして、director の要望に応えようと自主的に動いていた。Director の役に立っている実感が寄与した可能性が高い。また、多くの参加者が手のジェスチャーが視覚的に理解しやすいと答えた。Director がパーカーのジッパーを開くジェスチャーを取ったとき、被験者が開けたところを観察した。

## 7 考察

### 7.1 身体的存在感と社会的存在感

本システムでは、遠隔ユーザはロボットではなく人間を遠隔操作する。surrogate に対峙した人は、会話相手を director 本人だと思っていた。見た目には不信感を抱いても、次第に画面上の director との会話に集中する傾向にあった。

実験 1 の間、Double を操作していたら、興味を持った通りすがりの人が、声がけなくスマートフォンで写真を撮る行為が見られた。しかし、ChameleonMask に対しては好奇心で見て、写真を撮ることはなかった。これは、人々が対峙した対象を人か物のどちらと見なしているかを示している。

### 7.2 自律移動ロボット vs 代理人

比較実験は、どちらかの優劣を明らかにするものではない。テレプレゼンスシステムは、用途に応じて必要なものが異なると考えている。それゆえ、今回のように人間が役に立つこともあれば、ロボットが向くタスクもある。今後、どんな状況で、どのようなシステムが適しているのか調べる必要がある。

<sup>9</sup> Double, <http://www.doublerobotics.com/business/>

### 7.3 人間が人間を遠隔操作すると何が起ころのか

人の活用はロボットを開発するより安い場合があるが、人の操作は難しく、慎重さを要す。例えば、機械と違い director と surrogate の性格や人間関係など不確定な要素が混ざるからだ。Surrogate は極力 director に似せるべきだと考えていたが、一方で両者の違いはお互いを補完させる。人々は、自身の得意な能力に特化した surrogate になることができ、その能力を必要とする人が director になる。また、誰かの身体を借りるだけでなく、誰かに顔を貸すシステムでもある（対照的に言えば、誰かに顔を借りる）。これは顔と体を分離させるため実現でき、応用範囲を広げる。今後、身体能力を貸し借りできる Human Turk ビジネスがあれば、様々な能力の surrogate に協力を請うことができるであろう。

## 8 まとめ

本研究は、自律移動ロボットが完全に人間の代わりになりえるのか疑問に据え、人を用いたテレプレゼンスシステムを提案した。初期の検証から surrogate は遠隔ユーザ本人と見なされる傾向があったため、システム要件を整理した。また、director と surrogate の役割を理解するために、ユーザスタディを行った。その結果、ChameleonMask は使用可能性があることがわかった。特に、surrogate は director の要求を汲み取りたいと思う傾向があり、surrogate になることへポジティブな印象を持っていた。今後は、実用的な場面での応用を検討している。

## 参考文献

- [1] Adalgeirsson, S. O., and Breazeal, C. Mebot: A robotic platform for socially embodied presence. *Proc. of HRI '10*, 15–22.
- [2] Bermano, A., Brüschweiler, P., Grundhöfer, A., Iwai, D., Bickel, B., and Gross, M. Augmenting physical avatars using projector-based illumination. *ACM Trans. Graph.* 32 '13, 189:1–189:10.
- [3] Kana, M., and Jun, R. ChameleonMask: Embodied Physical and Social Telepresence using human surrogates. *Proc. of CHI '15 EA*,
- [4] Goldberg, K., Song, D., Khor, Y., Pescovitz, D., Levandowski, A., Himmelstein, J., Shih, J., Ho, A., Paulos, E., Donath, J., Berkeley, U., and Mit, J. D. Collaborative online teleoperation with spatial dynamic voting and a human "teleactor". *Proc. of ICRA '02*, 1179–1184.
- [5] Hayamizu, A., Imai, M., Nakamura, K., and Nakadai, K. Volume adaptation and visualization by modeling the volume level in noisy environments for telepresence system. *Proc of HAI '14*, 67–74.
- [6] Kasahara, S., and Rekimoto, J. Jackin: Integrating first-person view with out-of-body vision generation for human-human augmentation. *Proc. of AH '14*, 46:1–46:8.

- [7] Kashiwabara, T., Osawa, H., Shinozawa, K., and Imai, M. Teroos: A wearable avatar to enhance joint activities. *Proceedings of CHI '12*, 2001–2004.
- [8] Koike, H., Nishikawa, W., and Fukuchi, K. Transparent 2-d markers on an lcd tabletop system. *Proc. of CHI '09*, 163–172.
- [9] Lee, MK., and Takayama, L. "Now, I have a body": Uses and social norms for mobile remote presence in the workplace. *Proc. of CHI '11*, 33–42.
- [10] Misawa, K., Ishiguro, Y., and Rekimoto, J. Livemask: A telepresence surrogate system with a face-shaped screen for supporting nonverbal communication. *Proc. of AVI '12*, 394–397.
- [11] Misawa, K., and Rekimoto, J. Wearing Another's Personality: A Human-Surrogate System with a Telepresence Face. *Proc. of ISWC'15*
- [12] Morishima, S., Yotsukura, T., Binsted, K., Nielsen, F., and Pinhanez, C. Hyper mask projecting a talking head onto a real object. *Proc. of MMM '00*, 403–412.
- [13] Lincoln, P., Welch, G., Nashel, A., Ilie, A., and Fuchs, H. Animatronic shader lamps avatars. *Virtual Reality '11*, 15(2-3)225–238.
- [14] Kuster, C., Popa, T., Bazin, J.C., Gotsman, C., and Gross, M. Gaze Correction for Home Video Conferencing. *Trans.on Graph'12*, 174:1–174:6.
- [15] Nakanishi, H., Kato, K., and Ishiguro, H. Zoom cameras and movable displays enhance social telepresence. *Proc. of CHI '11*, 63–72.
- [16] Rae, I., Mutlu, B., and Takayama, L. Bodies in motion: Mobility, presence, and task awareness in telepresence. *Proc. of CHI '14*, 2153–2162.
- [17] Rae, I., Takayama, L., and Mutlu, B. The influence of height in robot-mediated communication. *Proc. of HRI '13*, 1–8.
- [18] Jennifer, G.S., Alan, D., Simon, L., and Alice, B. Understanding interaction in ubiquitous guerrilla performances in playful arenas. *A framework for understanding and designing telepresence. '05*, 3–17.
- [19] Toney, A., Mulley, B., Thomas, B.H., and Piekarski, W. Minimal social weight user interactions for wearable computers in business suits. *Proc. of ISWC. '02*, 57–64.
- [20] Sakamoto, D., Kanda, T., Ono, T., Ishiguro, H., and Hagita, N. Android as a telecommunication medium with a human-like presence. *Proc. of HRI '07*, 193–200.
- [21] Tadakuma, R., Asahara, Y., Kajimoto, H., Kawakami, N., and Tachi, S. Development of anthropomorphic multi-d.o.f. master-slave arm for mutual telexistence. *Trans.on Graphics 11 '05*, 626–636.
- [22] Willis, K., Brockmeyer, E., Hudson, S., and Poupyrev, I. Printed optics: 3d printing of embedded optical elements for interactive devices. *Proc. of UIST '12*, 589–598.