

ビデオ型HMDを用いた仮想空間への現実像投影による 衣類選択支援システム

加藤 慶^{†1} 牧野 光則^{†1}

概要：近年、衣料品市場が伸び悩んでいる原因として、衣料品市場のeコマース(EC)化の縮小が考えられる。衣料品市場のEC化縮小の一因は消費者がネット通販では衣料品を試着できないことであり、自宅で試着できるシステムの普及が必要である。それは消費者が自宅で手軽に行える必要があり、ARを用いた仮想的な試着システムが適している。既存システムに大型ディスプレイにユーザの全身を映すものがある。しかし、これは大型ディスプレイを使用するため自宅用としての普及に適していない。そこで本研究では、手軽に大型ディスプレイと同じ感覚を得られ、近年普及しつつあるヘッドマウントディスプレイ(HMD)とWebカメラ、そして鏡を用いた仮想試着システムを提案する。提案システムとしてHMD上に風景画像と、Webカメラから取得した映像上に衣類のCGを重畳した映像を表示する衣類選択支援システムを開発した。

キーワード：CG, AR, HMD

A Support System of Clothes Selection with Projection of Real Scene onto a Virtual Space Represented on Video See-Through HMD

KATOH KEI^{†1} MAKINO MITSUNORI^{†1}

1. はじめに

通信販売(通販)は商品を様々なメディアで展示し、それを見た消費者から注文を受けて商品を販売する小売業態の一つである。通販は使用するメディアによって細分化されており、カタログ通販、テレビ通販に並び、ネット通販(eコマース, EC)も主要な一つである。

近年、多くの通販市場が緩やかに縮小しているなか[1]EC市場は拡大を続けている。それにともない、通販市場規模は2004年からの10年間で2倍の6兆円超となった[2]。EC市場は今後も拡大を続け、2020年には60兆円規模になると予想されている[3]。2014年次の日本のGDPは524兆円である[5]。EC市場の拡大は、日本経済の成長にとって重要な要因である。

企業がECに対応することをEC化という。EC化が進むことで、消費者にとって選択肢が増え需要が活性化し、その産業分野の市場を拡大という特徴がある[4]。

EC化が多くの産業分野で進む中、進まない市場として衣料品がある[7]。EC化が進む産業分野の市場が拡大する一方、EC化が進まない衣料品市場は伸び悩んでいる[6]。2013年次、衣料品市場は9兆円超えており[7]、衣料品市場の拡大も日本経済の成長にとって重要な要因である。

衣料品市場の拡大を図るため、衣料品市場が伸び悩む原因としてEC化が考えられる。衣料品市場のEC化縮小の理由を分析し対応することは日本経済の成長にとって有意義である。

ECにおける衣料品の返品・交換理由の20%に「思っていたイメージと違った」[10]と挙げられている。人の持つ想像力には限界があり、衣料品を単体で見ただけで自身の着姿を正確にイメージするのは困難である。現在、店舗で

^{†1} 現在、中央大学大学院理工学研究科
Presently with Graduate School of Science and Engineering,
Chuo University

衣料品を購入する消費者の3割強は場合によっては試着し、6割は必ず試着しているという[8]。また、同じ商品の色違いを試着する消費者も少なくない。消費者が衣料品の購入に踏み切るには、購入前に衣料品を試着する必要がある。

一方、大手ECサイトには購入前に衣料品を送るといった試着システムや[11]、本来クーリング・オフという無条件契約解除制度が適応されない通販において[12]、届いた衣料品を着てからでも返品可能というシステムを導入しているところがある[13]。こういった試着システムが大手ECサイトで普及しつつあるにも関わらず衣料品市場のEC化は拡大しない。消費者が衣料品を購入する条件は試着だけではないと考えられる。

衣料品購入のきっかけとして、一目ぼれによる衝動的な買い物という意見が多く存在する[14]。さらに、人の購買意欲は時間経過と共に低下する[15]。

以上のことから、消費者が衣料品の購入に踏み切るには、衣料品に興味を持った際即座に試着できる環境が必要であると考えられる。

手元のない衣料品を仮想的に試着する場合、カメラなどで撮影されたユーザ像にCGの衣料品を重畳表示するAugmented Reality(拡張現実, AR)を用いた方法が適している。さらに、人が衣料品を選ぶ際、着用場所が大きな要素となるため[16]、仮想試着システムはユーザ像の背景を選択する機能が必要である。

現在、それら機能を備えた仮想試着システムとしてスマートフォンやユーザの全身を映す大型ディスプレイを用いたものがある。スマートフォンを用いた仮想試着システムでは画面に映し出された姿勢が固定された人画像を編集することができる。大型ディスプレイを用いたシステムはカメラで撮影された映像を常に映すことでディスプレイを鏡のように使用し、そこに映ったユーザに衣料品を重畳表示することができる。仮想試着システムは試着を再現するものであり、実際に試着しているような臨場感が必要である。現在市場に出回っているスマートフォンは画面サイズは平均5インチ(inch, in)前後、大きいもので7inである。スマートフォンの画面に映し出された人画像を編集するシステムでは、仮想試着を行うのは10cm程の人画像となり臨場感は低くなる。一方、180cm程度の人が全身を映すためには50in程度のディスプレイが必要となる。現在日本の家庭で普及しているディスプレイのサイズは平均34.6inである[19]。また、ディスプレイにはサイズに応じた適正視聴距離がある。50inのディスプレイは適正使用距離から計算した場合、12畳以上の部屋で使用することが推奨されている。マンションで一人暮らしの若者が50inのディスプレイを購入した場合、日常的な使用時に適正な視聴距離を守ることが困難である[18]。こういった理由から、大型ディスプレイを用いたシステムの普及は難しい。

近年、コンピュータグラフィックス(Computer Graphics,

CG)技術が普及し、その応用分野の一つであるAR技術も広く使われるようになった。それに伴い、ARによる現実への情報付与をハンズフリーで体感できるヘッドマウントディスプレイ(Head Mounted Display, HMD)も広く知られるようになった。HMDはメガネのレンズのようなディスプレイを用いて、ユーザの視界に対して広範囲に干渉することが可能なデバイスである。なかでもビデオ透過(ビデオ型)HMDはユーザの視界を網羅するため視界すべてに情報付与をすることも可能であり、高い臨場感を提供できる。一般に、HMDは専門家向けのデバイスだと認識されがちだが、近い将来その価格を大きく低下させ広く普及し、その市場規模はテレビを抜くと考えられている[21]。ビデオ型HMDは、広い視野角に映像を提供できるため大型ディスプレイの代わりになりうる。

スマートフォンや大型ディスプレイ以外を用いた、高い臨場感で仮想的に試着できるシステムが必要である。そのシステムの普及は、消費者がECで衣料品を購入する手助けとなり、衣料品市場の活性化、日本経済の成長に繋がる。

人の印象形成において、非常に大きな要素となるのは服装の特徴である[22]。着用場所と服装の比較をすれば、衣料品の印象を確認できる[16]。このことから、衣料品選択を支援する仮想的な試着システム(仮想試着システム)のデバイスとして、顔を覆うビデオ型HMDを使用できる。

以上のことから、本研究では自宅で仮想的な試着ができる環境の普及に貢献することを目的とし、高臨場感のビデオ型HMDを用いた仮想試着システムの提案を目標とする。評価実験では目標に対するアンケートを行い、過半数以上の高評価を目標の達成とする。

2. 関連技術

2.1 AR

ARとはCG技術の応用分野の一つであり、現実空間とコンピュータが作りだした仮想空間を融合する技術である。一般に、ARといえばスマートフォンを使い、カメラ越しの現実空間に情報を付与するもの、と思われがちだが実際には視覚系、聴覚系、触覚系がある。視覚系ARのハードウェアは、現実空間の画像を取り込むカメラ、CGの合成処理をするコンピュータ、AR処理後の画像を表示するディスプレイで構成され、スマートフォンをカメラを用いるものはこれにあたる。近年、コンピュータの処理能力が向上したことや、コンピュータに接続しやすいカメラが安価に入手できるようになったことで、視覚系AR技術の研究はより活発になった[23]。

2.2 HMD

HMDとは、頭部に装着する出力装置のことであり、多くの製品はゴーグルやヘルメットの形状をしている。



図 1 Oculus Rift Development Kit 2 [24]

Fig. 1 [

Oculus Rift Development Kit 2]Oculus Rift Development Kit 2 [24]

2.3 ビデオシースルー方式

ビデオシースルー方式は、非透過型 HMD とカメラで構成される。本来非透過型 HMD を装着した場合には、現実空間の映像を見ることは出来ない。しかし、カメラを用いて現実空間の映像を取得し、その映像を非透過型 HMD へ出力することで現実空間を見ることができる。この方式を用いて AR を実現した場合、カメラで撮影した現実映像に仮想的な情報を重畳出力する。この方式を用いると、映像の合成が自在にできる。

2.4 Oculus Rift Development Kit 2 [24]

Oculus Rift は、Oculus VR 社が開発したバーチャルリアリティ向け HMD である。視野角が 90~110°と非常に広く、画面解像度は 1920 × 1080 である。Development Kit 2 は応答の早い有機 EL パネルを搭載している。重量は HMD は 440g である。ビデオ型 HMD として使用する場合は、別途カメラを用意する必要がある。

3. 関連システムと課題

3.1 COORDINATE+[25]

COORDINATE+は、株式会社東芝が開発した iPhone/Android 用アプリケーションである。COORDINATE+では 10 体のアバターから試着用モデルを選択し、そのモデルに対して登録されたアウターやトップス、ボトムスを自由に組み合わせた仮想試着ができる。図 2 のようにユーザが撮影した写真を背景にすることも可能で、環境に合わせた仮想試着ができる。また、登録された衣料品のデータはメーカーが実際に販売しているものを用いており、専用のボタンからオンラインショップへ移動し選択した衣料品を購入することができる。しかし、スマートフォンでの利用を想定しており、その仮想試着を行うのはスマートフォンの画面に映る小さいモデルである。さらに、試着用モデルは姿勢を固定しており、腕などを動かすことはできない。試着画面では衣料品を変更する際、変更用のタブを開き衣料品を選択する必要がある、スマートフォンやシステムへの慣れが必要である。



図 2 COORDINATE+:背景挿入結果

Fig. 2 COORDINATE+:Insert scenery



図 3 バーチャルフィッティング:使用風景 [26]

図 4 Virtual Fitting:Using scene[26]

3.2 バーチャルフィッティング [26]

バーチャルフィッティングは大日本印刷株式会社 C&I 事業部が開発したシステムである。バーチャルフィッティングはカメラと大型タッチディスプレイで構成されている。ユーザは登録された衣料品を試着した状態でカメラの前に立つと、画面のタッチ入力により衣料品を任意の色に変更できる。図 4 はシステムの使用風景である。

3.3 関連システムと本システムが解決すべき課題

上記の仮想試着システムを、使用デバイスの臨場感に直結する特徴に着目したうえで便宜上「小型ディスプレイ端末を用いた仮想試着システム」「大型ディスプレイ端末を用いた仮想試着システム」と区別する。自宅で使用するシステムとして普及につながるかという観点におけるそれぞれの問題点を以下に挙げる。

小型ディスプレイ端末を用いた仮想試着システム

- 試着するモデルが小さく、姿勢が固定されていて臨場感が低い。

- 操作にはデバイスへの慣れが必要である。

大型ディスプレイ端末を用いた仮想試着システム

- 形の異なる衣料品を試着する場合、その都度着替える必要がある。

- 大型ディスプレイの普及が難しい。

上記の問題点を解決するため、提案システムは下記の要

件を満たす必要がある。

- 操作にコントローラを用いない。
- 試着するモデルはユーザの等身大であり、任意に動かせる。
- システム利用の際、着替える必要がない。
- 普及の可能性が高いデバイスを用いる。

4. 提案システム

4.1 提案システムの概要

本研究では、自宅で仮想的な試着ができる環境の普及を目的とし、ビデオ型 HMD を用いた仮想試着システムを提案する。提案システムでは、ユーザの視野角に広く映像を出力するビデオ型 HMD である Oculus rift を使用する。Oculus rift 前部には映像取得のためのカメラを固定する。提案システムはトップスの仮想試着に対応しており、衣料品データの表示位置・大きさの決定に AR マーカーを用いる。また、衣料品データは胴部データ・腕部データに分割しており、腕の角度を AR マーカーで取得することで腕部データが腕の動きに追従する。

提案システムは着用場所を考慮した衣料品選択を支援するため、カメラ映像の後ろに風景画像を出力する。また、提案システムはユーザが全身鏡を見ながら使用することを想定している。全身鏡の端に AR マーカーを貼付することで全身鏡のサイズを取得し、そのサイズに合わせたカメラ映像を Oculus rift に表示する。それにより、風景の中で試着をしている感覚をユーザに提供する。また、操作を直感的にするため衣料品データ及び風景データの切り替えは AR マーカーによって行う。

衣料品データの表示には OpenGL, GLUT を、マーカーの認識には ARToolKit を用いる。風景画像の表示には OpenCV を用いる。

4.2 使用ライブラリ及びツール

本提案システムのプログラムに、ARToolKit, OpenGL, GLUT, OpenCV を使用する。また、oculus rift 上への映像表示には Virtual Desktop [27] を使用する。以下にそれぞれの説明を示す。

- ARToolKit
マーカー認識型 AR アプリケーションの実装を手助けする C/C++用のプログラミングライブラリである。ARToolKit のマーカーは黒い正方形の枠に囲まれており、内部のパターンの差異を認識して仮想オブジェクトを発生させる。
- OpenGL
Silicon Graphics 社が開発し、現在 Khronos グループ [28] が策定している OS に依存しない標準 3 次元グラフィックスライブラリである。3D オブジェクトを生成できるほか、静止画や動画をテクスチャとして仮

想オブジェクトに貼り付けられる。

- GLUT
描画機能しか持たない OpenGL をサポートするためにウィンドウ作成・イベント制御を行うライブラリである。これにより、ユーザのパソコンの環境に依存せずシステムを利用することができる。
- OpenCV
Intel が開発し、現在は Itseez がメンテナンスを行っているコンピュータビジョン向けライブラリである。開発画像や動画を処理するための機能が数多く実装されている。
- Virtual Desktop
パソコン画面を Oculus rift に表示するアプリケーション。起動には Oculus0.7 および 0.8Runtime のインストールが必要である。

4.3 提案システムの流れ

提案システムの流れを以下に示す。

step1.ユーザは事前に使用する鏡及び身体にマーカーを貼付する。

step2.システム起動後、システムは背景用画像及び衣料品モデル、マーカーのパターンデータを読み込み、背景表示用ウィンドウ・カメラ映像表示用ウィンドウを表示する。

step3.システムは背景表示用ウィンドウに背景を、カメラ映像表示用ウィンドウに Web カメラから取得した映像を表示する。

step4.マーカーを認識した場合、対応した処理をする。

step1, 2, 4 の具体的な内容を以下に示す。

4.3.1 step1

システム使用の際、ユーザは鏡用マーカーを鏡の上部左右に二カ所、下部の任意の位置に一カ所貼付する。その後、右肩甲骨、左肩甲骨、右肩、右手首、左肩、左手首に対応するマーカーを計六枚貼付する。左右の肩甲骨に貼付するマーカーの外側の側辺は胴の直線状に、上部は肩の線に沿うよう調節し、左右肩に貼付するマーカーはそれらに隣接させる。

4.3.2 step2

システムは任意の数の背景及び衣料品モデルを読み込む。また、鏡用マーカー三点、肩甲骨等の身体用マーカー六点、背景切り替え用及び衣料品切り替え用マーカー二点の計十一点のマーカーのパターンデータを読み込む。この際、鏡用マーカーは鏡越しに使用するため、左右反転させたパターンデータを読み込む。背景画像は 1920 × 1080 の JPEG データを使用する。背景用ウィンドウは 1920 × 1080、カメラ映像表示用ウィンドウは初期状態を 800 × 600 とし背景ウィンドウ中心に表示する。

4.3.3 step4

鏡用マーカーを三点認識した場合、鏡の上部左右二カ所のマーカー間の横軸距離を x 、鏡の上部左マーカーと下部マーカー



図 5 全身鏡

Fig. 5 Full-length mirror



図 6 ビデオ型 HMD

Fig. 6 Video see through
head mounted display



図 7 サイズ変更前

Fig. 7 Screen:
Before changing size



図 8 サイズ変更後

Fig. 8 Screen:
After changing size

の縦軸距離を y としてカメラ映像表示用ウィンドウを横距離 x , 縦距離 y としてリサイズする。リサイズを安定させるため、閾値を 3cm 設ける。

身体用マーカを六点認識した場合、左右肩甲骨マーカ間の距離で衣料品データをリサイズし胸部パーツを出力、肩と手首のマーカから取得した角度に対応させ、肩マーカを基点に腕部パーツを出力する、

背景切り替え用マーカ、衣料品切り替え用マーカを認識した場合、認識時間合計 1 秒おきにそれぞれ切り替える。背景・衣料品切り替えによって登録されたデータの最後に到達すると、最初に戻って繰り返す。

4.4 提案システムの特徴

提案システムの特徴を以下に示す。

- システムの操作はマーカにより行う。
- 全身鏡の枠内のみカメラ映像を表示する。
- カメラ映像を除き、視界は風景画像が占める。
- 複数マーカにより表示する衣料品のサイズを自動変更し、腕の角度に合わせて腕部の角度が変わる。

5. 実装

5.1 実装結果

提案システムの衣料品データは DOSCH DESIGN [29] の clothes データを、背景画像はフリー素材を使用した。

提案システムでは、身長 180cm 程の成人男性が問題なく全身を写すことが可能な、鏡面部の高さ 113cm 幅 30cm の全身鏡を使用する。全身鏡にマーカを貼付した図 5 に示す。

Oculus Rift Development Kit 2 に BUFFALO 製 web カメラ BSW50KM02BK を固定したビデオ型 HMD を図 6 に示す。

システム起動時、カメラ映像表示ウィンドウのサイズが初期状態である 800×600 の時のシステム画面を図 7 に、その画面が鏡用マーカを認識し縮小した時のシステム画面を図 8 に示す。

マーカを身体に添付しカメラ映像範囲に入り、システムによって仮想試着をしている時のシステム画面を図 9 に示す。

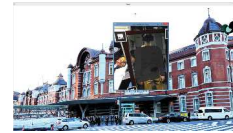


図 9 仮想試着画面

Fig. 9 Screen:Virtual fitting

表 1 アンケート結果

Table 1 Questionnaire result

	1	2	3	4
1 全身鏡利用による臨場感	2	4	2	0
2 マーカ操作の直観性	4	4	0	0
3 服の表示位置の正確さ	0	3	4	1
4 服のサイズの的確さ	0	2	5	1
5 カメラ映像サイズの適切さ	0	2	5	1
6 背景表示	3	3	1	1

5.2 評価

システム評価は、被験者に対する事前アンケートとシステム体験後のアンケートによって行う。被験者は衣料品切り替え及び背景切り替え機能を用いて、登録されている衣料品モデル及び背景を全部一度ずつ体験する。

被験者は社会人 8 名である。被験者のうち、HMD の経験者は 0 名であった。また、全身鏡を用いた服装確認を日常的に行っている被験者は 2 名、ときどきするという被験者は 1 名いた。

アンケートの結果を表 1 に示す。アンケートは 4 段階評価とし、値が小さいほど高評価である。

5.3 評価考察

項目 1. システムの鏡の前での使用することについて、7 割以上の高評価を得た。日常的に全身鏡を使用する被験者から特に高い評価を得たことから、着替えをして全身鏡を見る感覚を提供できたといえる。

項目 2. マーカ操作について、全員から高評価を得た。このことから、直感的な操作を実装できた。

項目 3,4 で 6 割以上が低評価だったことから、衣料品データの編集・出力方法に問題があったと考えられる。被験者の体型の確認及び衣料品データへの反映方法を改善する必要がある。

項目 5. カメラ映像サイズの適切さについて、6 割以上の

低評価となった。全身鏡を使用しないと答えた被験者の全員が低評価とし、鏡を使用する被験者のうち2名が高評価とした。鏡を日頃使わない人からカメラ映像範囲の狭さについて指摘があったことから、全身鏡を使い慣れていないことが低評価の一因と考えられる。

項目6. 背景表示について、7割以上の高評価を得たことから、背景表示機能が衣料品選択支援に有用だと示せた。

6. 結論

本研究では高臨場感を実現することを目標とし、鏡越しにユーザが身体に貼付したARマーカを認識し、大きさ・位置を合わせた衣料品データを重畳表示する機能やカメラ映像の後ろに風景画像を出力する機能、そして鏡に貼付されたマーカを認識しカメラ映像表示ウィンドウをリサイズすること機能を備えたビデオ型HMDを用いた仮想試着システムを実装した。

アンケート結果から、提案システムは、全身鏡を使用して着替えをする感覚を提供でき、背景に風景画像を表示することで衣料品選択を支援する直感的なシステムであると結論付けられる。今後の課題として、より多くの評価実験を行うこと、ユーザの体格をより正確に取る手法の検討が挙げられる。

謝辞 本研究の一部は、JSPS研究費No.24500129、中央大学理工学研究所共同研究、中央大学基礎研究費の助成を受けた。

参考文献

- [1] ベルーナ：市場の動向, <http://ir.belluna.co.jp/irinfo/invest/overview/> (2016.02.10).
- [2] 公益社団法人日本通信販売協会：通販市場、6兆円市場へ, <https://www.jadma.org/pdf/2015/20150826press2014market%20size.pdf> (2016.02.10).
- [3] 東洋経済ONLINE：急拡大するeコマースの衝撃(上), <http://toyokeizai.net/articles/-/48945> (2016.02.10).
- [4] DBJ：Eコマース市場の拡大と小売業への影響, http://www.dbj.jp/ja/topics/report/2013/files/0000012758_file2.pdf (2016.02.10).
- [5] 内閣府：国民経済計算(GDP統計), <http://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/menu.html> (2016.02.10).
- [6] Japan Direct Marketing Association：売上高調査(統計), https://www.jadma.org/statistics/sales_amount/ (2016.02.10).
- [7] 株式会社矢野経済研究所：国内アパレル市場に関する調査結果2015, <http://www.yano.co.jp/press/pdf/1459.pdf> (2016.02.10).
- [8] 神奈川県：平成26年度第2回消費生活モニターアンケート調査, <http://www.pref.kanagawa.jp/uploaded/attachment/765780.pdf> (2016.02.10).
- [9] 東京都クリーニング生活衛生同業組合：通信販売の落とし穴を知っておこう, <http://www.tokyo929.or.jp/column/buy/5.php> (2016.02.10).
- [10] 株式会社ドゥ・ハウス：通信販売における返品経験についての調査, <http://www.dohouse.co.jp/news/publicity/20121025-2/> (2016.02.10).
- [11] マルイのネット通販：ネット通販商品お受け取りサービス, <http://voi.0101.co.jp/voi/webshop/wcps/index.jsp> (2016.02.10).
- [12] 独立行政法人国民センター：クーリング・オフ, http://www.kokusen.go.jp/soudan_now/data/coolingoff.html (2016.02.10).
- [13] 楽天：試着して返せる返品送料無料とは, http://event.rakuten.co.jp/fashion/free_return_shipping/ (2016.02.10).
- [14] サンケイリビング新聞社：OLマーケットレポート, <http://www.sankeiliving.co.jp/research/ol/0922.html#q3> (2016.02.10).
- [15] 創価大学学術機関リポジトリ：購買意欲向上に関する諸仮説の検証と追究：Ⅱ, <http://libir.soka.ac.jp/dspace/handle/10911/3733> (2016.02.10).
- [16] 内田直子, 小林茂雄, 長倉康彦：外空間と内空間における女性服装の適合度, 日本官能評価学会誌. Vol.2, No.1, pp.29-37.
- [17] SHARP：部屋の大きさに最適な液晶テレビ, http://www.sharp.co.jp/support/advice/aquos/select_01.html (2016.02.10).
- [18] SUUMO：20代社会人シングル男女の一人暮らしデータ2009, http://suumo.jp/article/oyakudachi/oyaku/chintai/fr_data/f0svy003/ (2016.02.10).
- [19] BCN：プレリリース, <http://www.bcn.co.jp/press/press.html?no=302> (2016.02.10).
- [20] e-Stat 政府統計の総合窓口：全国表, <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000001058732&cycode=0> (2016.02.10).
- [21] BloombergBusiness：Goldman Sachs Has Four Charts Showing the Huge Potential in Virtual and Augmented Reality, <http://www.bloomberg.com/news/articles/2016-01-13/goldman-sachs-has-four-charts-showing-the-huge-potential-in-virtual-and-augmented-reality> (2016.02.10).
- [22] 永野 光朗 小嶋 外弘：服装特徴と印象形成 手がかりの優位性の検討：一手がかりの優位性の検討一, 繊維製品消費科学会誌 pp.288-293. 1990.
- [23] 橋本直：3Dキャラクターが現実世界に誕生! ARTToolKit 拡張現実感プログラミング入門, ASCII, 2002.
- [24] oculus:Development Kit 2, <https://www1.oculus.com/ja/oculus-rift-development-kit-2-order-page/> (2016.02.10).
- [25] 株式会社東芝：COORDINATE+, https://www.toshiba.co.jp/cl/industry/virtual_fitting/contents/coordinate.htm (2016.02.10).
- [26] 大日本印刷株式会社：バーチャルフィッティング, http://www.dnp.co.jp/cio/solution/detail/10099332_5309.html (2016.02.10).
- [27] Virtual Desktop：Home, <http://www.vrdesktop.net/> (2016.02.10).
- [28] Khronos：クロノスグループ日本語サイト, <http://jp.khronos.org/> (2016.02.10).
- [29] Dosch Design Kommunikationsagentur GmbH：DOSCH 3D：Clothing, <https://www.doschdesign.com/products/3d/Clothing.html> (2016.02.10).