

立体的プロジェクションマッピングとインタラクション による遠方現実空間との接点を感じられる オンラインお絵描きコンテンツの開発

安 素羅^{1,a)} 水野 慎士^{1,b)}

概要：本研究ではオンラインユーザが手描きキャラクタを介して遠方の現実空間との接点を持つことができる新しいインタラクティブコンテンツの開発を行った。このコンテンツは Web ページ上で描いたキャラクタが遠方の現実空間に投影される共創型プロジェクションマッピングであり、オンラインユーザは投影された映像をライブ配信で観察する。このとき、映像は立体的かつ現実空間の物体とのオクルージョンを正しく保って投影されるため、描いたキャラクタが遠方の現実空間に登場したように観察される。そして、オンラインユーザは身体動作やボタン操作によって遠方に投影された自分のキャラクタとのインタラクションが可能である。また、現実空間の人は投影されたキャラクタたちとのインタラクションも可能であり、オンラインユーザはその様子をライブ配信で観察することができる。実験では様々な場所から参加したユーザがコンテンツを楽しめる可能性があることを確認した。

1. はじめに

みんなと一緒に紙に絵を描きながら、CG などのデジタル体験ができるコンテンツはとても人気がある。例えば、チームラボの「お絵描き水族館」[3]、リトルプラネットの「デジタル紙相撲」[4]などがお絵描きに基づくデジタルコンテンツとしてよく知られている。そして、著者たちもこれまで、「不思議なスケッチブック」[5][6]、「お絵描きダンスステージ」[7]、「お絵描き i-Can/Toyota City Connection」[8]などのお絵描きベースの CG コンテンツを開発して、様々なイベントで活用してきた。

“みんなでの紙へのお絵描き”と“CG”を組み合わせたコンテンツの人気はいくつかの理由が考えられる。まず、お絵描きは最も身近な創作活動であり、特に子供を中心としてお絵描きが好きな人が多いことがシンプルな理由である。そして、紙へのお絵描きという現実空間での親しみのある創作活動によって、CG という”バーチャルとの接点”が持てることが大きな魅力となる。また、現実空間でみんなが集まって、一人ずつお絵描きをしながらで CG 映像を作り上げてみんなで見るといった共創の観点も挙げられる。

前述したコンテンツはいずれも、“現実とバーチャルとの接点”と“共創”の要素を備えている。「お絵描き水族館」

は、紙への塗り絵を行いながら CG の海の生物を作り上げていき、みんなでバーチャル水族館を充実させていく。「デジタル紙相撲」は、お絵描きから作られた CG 力士がバーチャル土俵に集合して、参加者みんなで飛び跳ねながら CG 力士を集団対戦させる。そして、著者らが開発した「お絵描きダンスステージ」では、お絵描きで作った CG キャラクタにユーザ自身の動きで振り付けを行い、三次元 CG のバーチャルダンスステージに登場させて、多くのキャラクタを集団でダンスをさせる。

このようなお絵描きベースの CG コンテンツにおいて、紙とペンを用いたお絵描きはパソコンやタブレットに置き換えることで容易にデジタル化することができる。そして、これを Web アプリ化すれば、ユーザはそれぞれ別の場所でお絵描きして、それぞれの場所で CG 化されたお絵描きを鑑賞するというオンライン化が可能である。しかし、コンテンツが持っていた紙へのお絵描きという現実空間の操作がデジタル化されるため、コンテンツがデジタル/バーチャルで完結してしまい、これまで存在していた現実とバーチャルとの接点がなくなる。また、一人でモニタ内のイラストを眺めるだけでは共創も感じにくくなってしまいう可能性が高い。つまり、お絵描きベースの CG コンテンツが人々を惹きつけてきた 2 つの主要な要素がなくなることになる。

筆者らは、デジタル化/オンライン化したお絵描きベー

¹ 愛知工業大学大学院 経営情報科学研究科

^{a)} b21704bb@aitech.ac.jp

^{b)} s_mizuno@aitech.ac.jp

スのCGコンテンツが人を惹きつけるには、お絵描きのデジタル化で失われた現実とバーチャルとの接点を別の部分で作り出すことが有効だと考えた。そこで本研究では、生成されたCG映像を提示する部分に着目する。具体的には、現実とバーチャルとの接点を感じられる映像提示手法として、実物体との正しいオクルージョンを保持した立体的なプロジェクションマッピングを用いる。また、この映像提示手法でオンライン上のユーザが同じ現実空間に対して身体動作を含む様々な方法でインタラクションを行うことで、共創の感覚も得られることを目指す。

本研究では、筆者らが開発した「お絵描きダンスステージ」のオンライン化に際して提案手法を適用する。そして、システムの実装と実験を行い、提案手法の有用性を検証する [1][2]。遠方のオンライン映像とのインタラクション方法としては、Web アプリでのボタン操作に加えて、身体動作によるインタラクションも可能にする。

2. 関連研究

本研究とは異なる方法で現実/アナログとバーチャル/デジタルとの接点を生み出す取り組みをいくつか紹介する。

NTTは遠方の実空間の臨場感を徹底的に再現するライブエンターテインメント技術「Kirari!」を開発している [9]。ここでは、遠方の実空間にいる人の映像や音声を切り出し、周囲物体の位置関係や音声方向などの三次元情報、照明などの環境情報と共に同期しながら転送して、それらを用いて視野角 180 度の高精細映像としてリアルタイムで生成する。なお、インタラクションは考慮していない。大阪芸術大学と NAKED はスマートフォンの光で大きなオブジェクトにインタラクティブに映像を表示させるコンテンツ「Prism Garden」を制作している [10]。この作品はオンラインには対応しておらず、表示される映像は事前に制作されたものから選択される。小田島らはタブレットでのお絵描きによって博物館展示物にインタラクティブにプロジェクションマッピングを行うコンテンツを提案している [11]。この研究では、提案コンテンツによって展示物と鑑賞者との新たな関係性の構築を狙っている。なお、このコンテンツもオンラインには対応していない。anno lab は大分県の「不均質な自然と人の美術館」内に太陽光とのインタラクションを実現するメディアアート「太陽と月の部屋」を展示している [12]。このアートはデジタル技術を用いながら、太陽の位置や現在の天候といった究極のリアル/アナログ空間とのインタラクションを実現している。

これらの既存研究に対して、本研究では筆者らの「お絵描きダンスステージ」を対象として立体的なプロジェクションマッピングとインタラクションを組み合わせた映像配信によって、オンラインユーザが遠方の現実空間との接点を感じて、それを介してオンラインユーザ同士の共創も感じさせることを目指している。

3. 提案手法の概要

本研究では、バーチャル/デジタルで完結しがちなオンラインお絵描きコンテンツに対して、立体的なプロジェクションマッピングとインタラクションを適用することで、オンラインユーザに遠方の現実/アナログと接点や共創感を感じさせる手法を提案する。そして、提案手法を用いたオンライン版「お絵描きダンスステージ」を開発して提案手法を検証する。

従来の「お絵描きダンスステージ」は、紙にペンでキャラクターを描いてカメラの前に差し出すとキャラクターがCG化して、次々と三次元CG空間のダンスステージに登場して踊り出すコンテンツである。キャラクターの動きはユーザ自身のダンスで付けることも可能である。そして、CGキャラクターがダンスステージで踊る三次元CG映像がディスプレイに表示されて、ユーザはそれを鑑賞して楽しむ。

オンライン版「お絵描きダンスステージ」では、紙へのペンでのお絵描きはWebアプリ化されてPCやタブレットでのデジタルお絵描きとなる。つまり、現実でのお絵描きはバーチャルでのお絵描きに置き換えられる。その代わりに、CG化されたキャラクターの映像提示について、バーチャル/デジタルで完結していた通常のディスプレイ表示から、現実/アナログとの接点があるプロジェクションマッピングに置き換える。

本研究のプロジェクションマッピングは一般的な映像投影方法ではなく、トリックアートの原理によって映像が立体的に観察できる投影手法を用いる。また、キャラクターが現実空間の人や物体の後ろに隠れるなど、現実空間の実物体との正しいオクルージョンを保持する。そして、トリックアートに対応した位置にカメラを設置して、投影された様子をライブ配信する。これにより、オンラインユーザは自分が描いたキャラクターが遠方の現実空間に立体的に現れて踊り出す様子を視聴することができる。これにより、ユーザはお絵描きを通じて遠方の現実空間との接点を感じることが期待される。

オンラインユーザは、遠方の現実空間に立体的に投影された自分の描いたキャラクターとのインタラクションを行うことができる。具体的には、ユーザ自身の身体動作によってキャラクターを自分と同じように動作させたり移動させたりすることができる。また、Webアプリのボタン操作によってもキャラクターを動作させることができる。さらに、自分の描いたキャラクターが遠方の現実空間の人と同じ動作やジャンプなどのインタラクションを行う様子も観察することができる。これらにより、視覚だけでなくインタラクションによってCGキャラクターが現実空間に存在している感覚を高める。

なお、人が現実空間の投影領域に入ったとき、オンラインユーザからはその人がCGキャラクターと共存しているよ

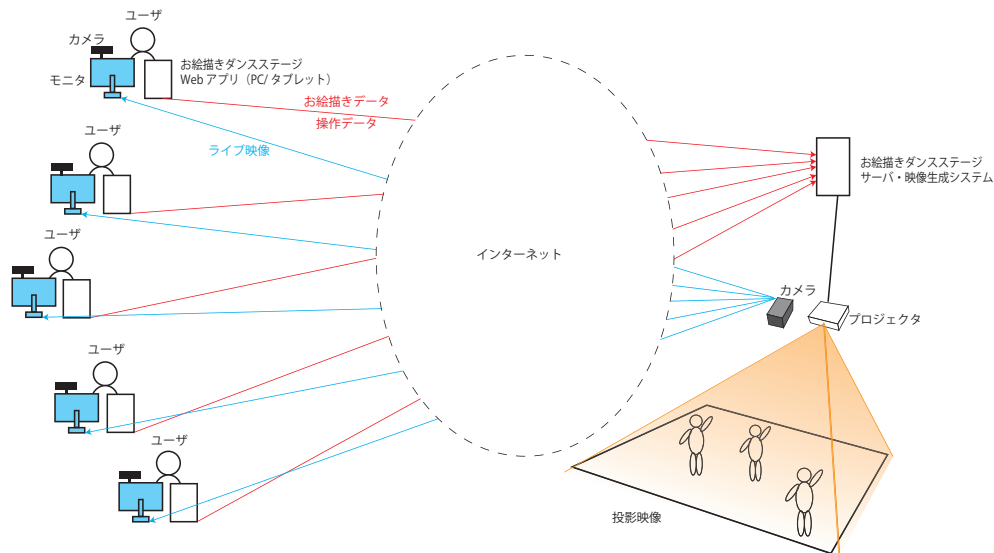


図 1 システム構成

うに見えるが、本人から見た投影映像は歪んでいる。そのため、投影領域から配信映像が視聴できるモニターなどを設置する必要がある。また、人が入れる投影サイズであればトリックアートの原理で立体的に観察できる領域は少なくとも 4.5 人が同時に見られる広さとなる。そのため、配信カメラ位置付近に近付けば、通りすがりの人でも立体的な CG キャラクタ映像と人の共存を直接楽しむことができる。これは専用デバイスを用いた MR コンテンツでは困難で、プロジェクションマッピングならではの特徴と言える。

お絵描きと映像の視聴は Web 経由で行うため、オンライン版「お絵描きダンスステージ」はインターネットが繋がればどこからでも体験することができる。そして、様々な場所のユーザーがそれぞれキャラクタを描くことで、現実空間に登場するキャラクタも増えていく。各ユーザーは自分の描いたキャラクタが他の人が描いたキャラクタと現実空間で共演する様子を視聴することができるため、他の人たちとのコンテンツの共創も感じられることが期待される。

4. オンライン版「お絵描きダンスステージ」の実現手法

4.1 システム構成

図 1 に本研究で提案するオンライン版「お絵描きダンスステージ」のシステム構成を示す。システムは大きく分けて、ユーザーがキャラクタの描画操作やインタラクションを行う Web アプリと、Web サーバ・映像生成システムで構成されている。また、映像が投影された様子を配信するためのライブ映像サービスを併用する。

Web アプリはユーザーの描画操作を受け付けるインタフェースを持つ。また、カメラやボタンによってユーザーのインタラクション操作も受け付ける。そして、描画されたキャラクタの画像データやインタラクションのための操作

データをインターネット経由でサーバに送信する。

Web サーバがキャラクタ画像を受信すると、映像生成システムがキャラクタを CG モデル化して、ダンスステージで踊る CG キャラクタの映像を立体的投影を考慮しながら生成してプロジェクタで投影する。その際、投影領域の状態を三次元カメラで撮影して、現実空間の物体との正しいオクルージョンやインタラクションに用いる。オンラインや現地でのインタラクション操作に対しては、リアルタイムで CG キャラクタを反応させて映像に反映させる。

映像が投影された様子はカメラで撮影しており、Zoom や YouTube Live のライブ映像としてユーザーに配信する。そのため、ユーザーは自分が描いたキャラクタや他のオンラインユーザーが描いたキャラクタが現実空間に登場したり、自身の動作や現地の人々の動作にインタラクティブに反応する様子を鑑賞することができる。

4.2 Web アプリ

4.2.1 インタフェース

ユーザーが操作してお絵描きやインタラクション操作を行う Web アプリを図 2 に示す。Web アプリは、絵を描くためのキャンバス、ペンの色と太さを変更するパレット、絵の確認と転送のためのボタン、キャラクタとのインタラクション用のボタンで構成されている。ボタンでのインタラクションの種類はジャンプ、スピン、ライトアップである。また、ユーザーの身体動作によるインタラクションを行う場合はカメラも用いる。Web アプリは HTML, PHP, JavaScript で実装している。

Web アプリはプロジェクションマッピング映像を視聴するためのライブ映像配信システムと併用する。映像が YouTube Live で配信される場合は Web アプリにライブ映像が埋め込まれて、Zoom の場合には別途稼働させる。



図 2 「お絵描きダンスステージ」用 Web アプリの画面

オンラインユーザは初めにキャンバスでキャラクターを描いて送信する。そして、ライブ映像中に自分が描いたキャラクターが登場したら、身体動作やボタン操作でキャラクターとのインタラクションを行う。身体動作によるインタラクション用のカメラはユーザが自由にオンオフすることが可能で、好きな操作方法を選べるようになっている。

4.2.2 画像データおよびインタラクションデータの送信

ユーザが描いたキャラクターは PNG 形式の画像としてサーバに送信する。ボタンによるジャンプやスピンのインタラクション操作はテキストデータとして送信する。Web アプリへのアクセスはセッションで管理しており、キャラクター画像やインタラクション用のテキストデータには各ユーザのセッション ID を付与する。

カメラでユーザを撮影することで、Web アプリはユーザの関節点を二次元的にリアルタイムで取得することができる。実装には Media Pipe を用いており、頭、肩、手、腰、膝、足など 15 箇所の関節座標を取得する。Media Pipe は映像中にユーザの上半身だけが写っていても全身の関節座標を返すが、その座標値は不正なことが多い。そこで、少なくとも上半身は写っていることを前提として、人の肩幅が身長約 23% であるという統計調査 [13] に基づいて、Media Pipe で取得した両肩の座標値からユーザの身長を推定する。そして、取得した頭の座標値と両足の座標値に基づくユーザの身長測定値と、計算で求めた身長推定値を比較することで、両足の座標値が不正でないかを判定して、カメラ中のユーザが全身か上半身だけかを判断する。上半身だけが写っている場合には、ユーザは直立しているとして下半身の関節座標を自動生成する。15 箇所の関節座標はセッション ID を付与した上で、テキストデータとして逐次サーバに送信する。

4.3 Web サーバ・映像生成システム

4.3.1 手描きキャラクターの CG 化と配置

キャラクターの CG 化手法やモーション適用手法は、従来の「お絵描きダンスステージ」と同じである。映像生成シ

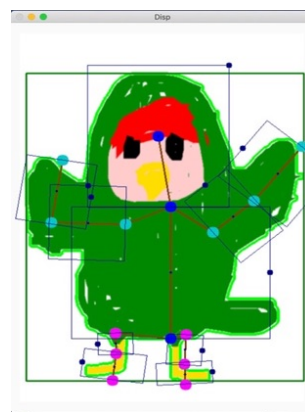


図 3 手描きキャラクターの分割とボーン挿入の様子

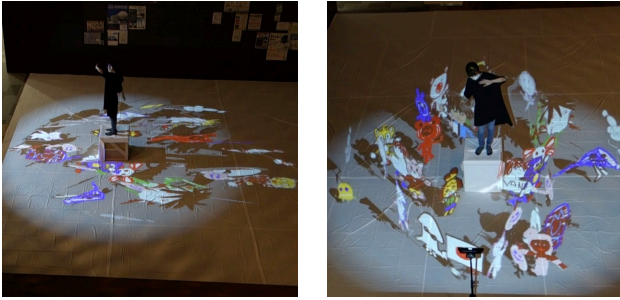
ステムは Web アプリからサーバに送られてきたキャラクターの画像を頭、胴、左右上腕、左右前腕、左右大腿、左右下腿の 10 個のパーツに分割してボーンを挿入する (図 3)。これらの処理は初めにシステムが自動で行った後に手動で調整する。パーツ分割とボーン挿入により、手足を動かすことができる二次元的な CG キャラクターが生成される。システムは 15 箇所の関節点に基づく 10 秒のダンスモーションデータを事前に取得して保持しており、CG キャラクターにはモーションデータの 1 つがランダムで付与される。

モーションが付与された CG キャラクターは、生成されるたびに三次元 CG で構成されたダンスステージ内に配置される。そのため、オンラインユーザがキャラクターを描いて送信する度にダンスステージ上の CG キャラクターの数は増えていく。各 CG キャラクターにはそれを描いたユーザのセッション ID が付与される。

4.3.2 インタラクション

4.2.2 節で述べたように、Web アプリから送られるユーザのインタラクション操作データにもセッション ID が付与されている。そのため、各ユーザが操作を行うと、ダンスステージに配置されている CG キャラクターのうち、同じセッション ID を持つものだけが反応する。ジャンプやスピンの操作データを受信した場合は該当するキャラクターをジャンプさせたり回転させる。ライトアップ操作データを受信した場合は該当キャラクター上方にスポットライト光源を設置する。これにより、各ユーザが自分の絵から生成された CG キャラクターとインタラクションすることを実現している。

Web アプリからユーザの関節座標データが送られた場合には、データと同じセッション ID を持つキャラクターについて、事前に付与したモーションデータを関節座標データに基づくポーズに入れ替える。関節座標データはリアルタイムで逐次送信されるため、データをキャラクターに連続的に適用することで、ユーザが描いたキャラクターがユーザと同じ動作をすることになる。なお、システムは両手を同じ方向に伸ばすといった特定のジェスチャを判定し



(a) アナモルフォーシスを考慮し (b) 投影映像をプロジェクタ位置
た歪んだ投影映像 から観察した様子

図 4 アナモルフォーシスによる立体的な投影映像の生成例

ており、ジェスチャによってキャラクターをダンスステージ
内で移動させることができる。

4.3.3 立体的に観察される投影映像の生成

本研究では立体的な投影映像のためにアナモルフォーシ
スの原理を用いる。アナモルフォーシスはトリックアート
の手法の一つで、正面からは歪んで見える映像が、ある特
定の位置から眺めたときには正しく観察されて、周囲の実
物体との関係から立体的に観察されるものである。

投影映像にアナモルフォーシスの効果を与える手法は文
献 [14] と同様である。まず、プロジェクタの設置状況（設
置位置、投影方向、投影領域との関係）と、プロジェクタ
の投影特性（画角、光軸）を事前に測定する。そして、プ
ロジェクタの設置状況に合わせて視点位置、視線方向、CG
キャラクターの配置といった視野変換とモデリング変換を設
定するとともに、プロジェクタの投影特性に合わせて投影
変換を設定する。この設定で生成された三次元 CG 映像を
対象のプロジェクタで投影すると、プロジェクタ位置から
見たときに映像が立体的に観察されるアナモルフォーシス
映像となる。そのため、配信用カメラをプロジェクタ付近
に設置すれば、ライブ映像では CG キャラクターなどの CG
物体が現実空間に立体的に現れたように観察される。

図 4 に本研究での立体的な映像の投影例を示す。アナモ
ルフォーシスの効果を考慮した歪んだ投影映像が、プロ
ジェクタ位置からは立体的に観察されていることがわかる。

4.3.4 オクルージョン矛盾の解消

4.3.3 節の手法により、投影される CG キャラクターはア
ナモルフォーシスの原理で立体的な位置や形状を持ち、現
実空間に存在するように観察される。そのため、CG キャ
ラクターの位置によっては実物体の後ろに隠れるべき場合
もある。しかし、プロジェクタは見える投影範囲内のすべ
てに映像を投影するため、CG キャラクターを隠すべき実物
体にも映像が投影されてしまい、オクルージョンの矛盾が発
生する場合がある。図 5 の例では、人の背後に隠れるべき
キャラクターが人の体に投影されており、オクルージョン矛
盾が発生している。オクルージョン矛盾は CG 物体が現実
空間に存在するような観察感覚を低下させてしまう。

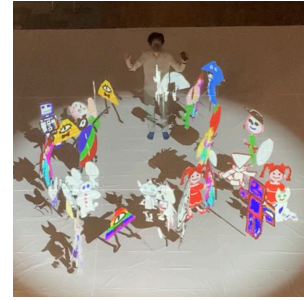
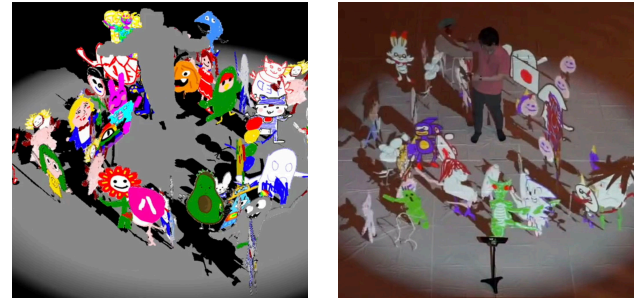


図 5 オクルージョン矛盾発生の様子



(a) 実物体の CG モデルの深度 (b) 実物体に隠れるべき CG キャ
ラクターを削除して投影した様子

図 6 オクルージョン矛盾を解消した映像投影例

そこで、本研究では三次元 CG の隠面消去処理の技術を用
いて投影映像と実物体との正しいオクルージョンを実現
する。まず、現実空間に固定された実物体を事前に CG 物
体としてモデリングしておき、表示用の CG 空間に深度情
報のみを配置する。それにより、CG キャラクター映像の中
で、現実空間の実物体の後ろに隠れるべき領域は映像から
削除されるため、その映像を映像しても CG キャラクターと
実物体との正しいオクルージョンが保持されることになる。

加えて、移動する実物体に対応するため、現実空間に三
次元カメラである Kinect を設置する。そして、投影領域内
の実物体のスキャンとモデリングをリアルタイムで行い、
固定実物体の CG モデルの場合と同様に表示用の CG 空間
に深度情報を配置する。これにより、人などが投影領域に
入り込んだ場合でも、CG キャラクターと人との間で正しい
オクルージョンが保持される。

図 6 にオクルージョン矛盾を解消した映像投影例を示
す。提案手法によって、実物体に隠れるべき CG キャラ
クターが投影映像から削除されて、投影結果ではオクルー
ジョン矛盾が発生していないことがわかる。

4.3.5 現実空間でのインタラクション

オクルージョン矛盾解消のために用いた Kinect は、人
のマーカレスモーションキャプチャにも用いる。Kinect によ
って現実空間の投影領域にいる人の関節を取得し、その
モーションを CG キャラクターに反映させることで、人と
CG キャラクターを同じように動作させる。また、人の腰関
節の上下動によってジャンプを感知し、キャラクターも同時

にジャンプさせる。このように、CG キャラクタたちは現実空間の人とのインタラクションも行う。オンラインユーザは自分の描いたキャラクタが遠方の現実空間にいる人とインタラクションしている様子を観察することで、遠方の現実空間との接点をより強く感じる事が期待できる。

5. 実験

5.1 イベントでの実証実験

5.1.1 概要

2021年7月30日と8月7日に、イギリス・ロンドンで開催された日本文化紹介イベント「HYPER JAPAN 2021」にオンライン版「お絵描きダンスステージ」をオンライン出展して実証実験を行った。また、2021年8月18日にもロンドンのユーザ向けに追加の実証実験を行った。

なお、イベントの趣旨を考慮して「お絵描きダンスステージ」には盆踊りをイメージしたアレンジを施した。具体的には、現実空間に盆踊りの舞台を模した台を設置して、オンラインユーザが作成したCGキャラクタは音頭風のBGMの中で台の周囲を回りながら回りながら踊る。なお、オンラインユーザによるインタラクションはボタン操作でのジャンプ、スピンのみで、身体動作によるインタラクションは行っていない。

5.1.2 実験条件

機材配置の様子を図7に示す。使用したプロジェクタは明るさが5,500lm、画像サイズが1920×1200画素で、床面から約5.2mの高さから約45度の角度で投影した。投影映像は上底約7.5m、下底約5.2m、高さ約5.6mの台形で映し出された。投影する床面にはシーツを敷き詰めておき、大きく白いスクリーンの代わりとした。

Webサーバおよび映像生成システムはMac Pro (3.2GHz Intel Xeon W, AMD Radeon Pro Vega II) 上に実装した。WebサーバはMAMPを用いて構築しており、映像生成システムはC++でOpenGL, OpenCV, OpenNI等のライブラリを用いて実装した。

ライブ配信は、7月30日はストリーミング配信ソフトであるOBS Studioを用いたYouTube Live配信、8月7日はYouTube Liveに加えてZoomを用いた配信も行った。また、8月18日はストリーミング配信ソフトを使用しないYouTube Live配信とZoomを用いた配信を行った。

5.1.3 実験結果

図8に実証実験の様子を示す。7月30日と8月7日の2日間のイベントでは、合わせて主にイギリスなどからのべ約100人がコンテンツにアクセスした。同時アクセス人数は正確には把握していないが、インタラクションの様子では最大でも10人程度であったと思われる。参加者はアニメやゲームなど日本のポップカルチャーに興味がある若者が中心で、お絵描きコンテンツを用いた従来のリアルイベントに比べると子供の参加者は少なかったと思われる。

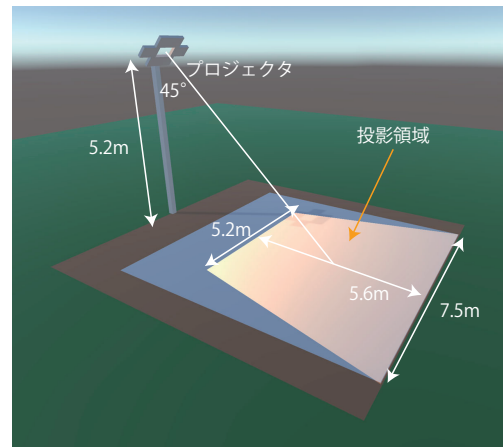


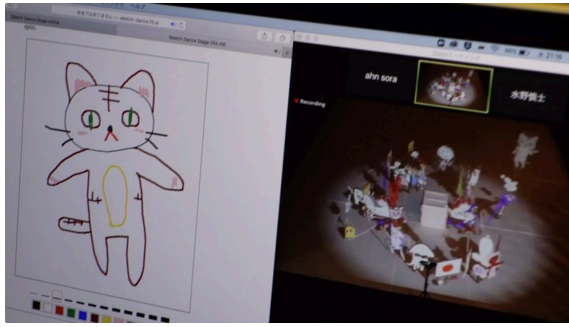
図7 イベント実証実験での機材配置の様子

YouTube Liveのコメント欄では、「自分のキャラクタが出ています」「キャラクタたちが人と一緒に踊っている」といったコメントが見受けられた。また、一つのキャラクタがジャンプやスピンをすると、しばらくして他のキャラクタも呼応したようにジャンプやスピンをする様子が見られた。そのことから、イギリスの参加者たちはWebでのお絵描きを楽しみながら、遙か遠方の日本の現実空間との接点がある程度感じられたり、他のユーザの操作を真似て自分もキャラクタを操作するといった共創の感覚も得られたのではないかと推測される。

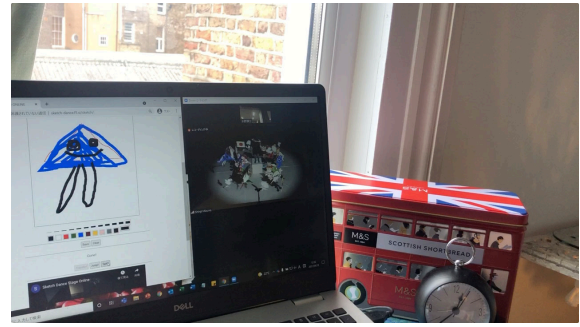
Webからのジャンプ操作やスピン操作に対するキャラクタの反応は、ネットワークトラフィックの状況によって稀に遅延が発生した以外はリアルタイムで行われた。ただし、ライブ配信映像については、YouTube Liveのライブ配信では10秒程度の遅延が見られた。CGキャラクタが連続的にジャンプしたりスピンしたりする様子が何度も見られたが、オンラインの参加者がジャンプ操作やスピン操作をしても映像上ではすぐに反映されないため、連続的に操作を行っていたと思われる。

イベントでは主催者のYouTubeアカウントから映像を配信する都合上、ストリーミング配信ソフトを使用する必要があったため、OBS Studioを用いた。YouTube Liveの映像遅延発生のおおきな原因の一つは、ストリーミング配信ソフトの使用だと思われる。実際、8月18日の実験では筆者らのYouTubeアカウントからストリーミング配信ソフトを介さずに直接配信を行った際には遅延は大きくても1秒程度であった。イギリスから参加したユーザも自分の描いたCGキャラクタとのインタラクティブ性を十分に感じられたとの報告を受けた。なお、Zoomでの映像配信では遅延はほとんど確認されず、映像とのインタラクションは問題なく実現できた。

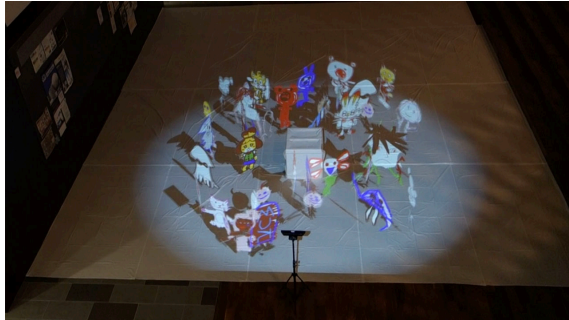
なお、今回の投影サイズの場合は、現実空間の配信用カメラから2m以内の位置から観察すれば、主観的には投影映像は十分に立体感に観察できた。



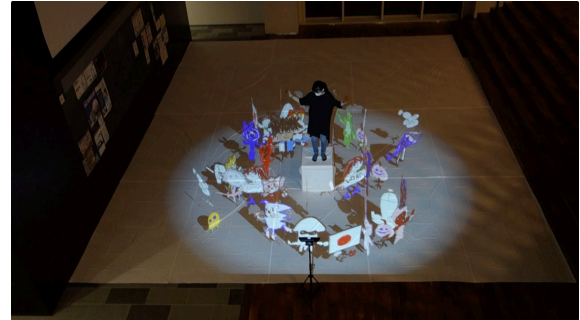
(a) オンラインユーザのお絵描き操作とライブ配信映像視聴の様子 (日本)



(b) オンラインユーザのお絵描き操作とライブ配信映像視聴の様子 (イギリス)



(c) それぞれの振り付けで踊る CG キャラクターたち



(d) 現実空間の人と一緒に踊る CG キャラクターたち



(e) オンラインユーザの操作によってジャンプする CG キャラクター



(f) 現実空間の人に合わせて一斉にジャンプする CG キャラクターたち

図 8 「HYPER JAPAN 2021」での実証実験の様子

5.2 身体動作によるインタラクション実験

イベントでの実証実験の段階では実装されていなかった身体動作によるインタラクション機能を新たに実装して実験を行った。使用した PC 等の機材はイベントでの実証実験と同じであるが、インタラクション機能の検証のためプロジェクションマッピングは実施せずに映像を大型モニターに表示した。オンラインで参加したユーザは 5 名で、それぞれが PC (MacBook) で Web アプリを操作しながら、Zoom で配信される大型モニター映像を視聴した。

まず、図 9 にオンラインユーザが身体動作によってキャラクターを操作している様子を示す。カメラ映像にユーザ上半身だけが写っている場合には、オンラインユーザの手の動きだけがキャラクターに反映されて (図 9(a)), 全身が写っている場合には手だけでなく足の動きもキャラクターに反映されることを確認した (図 9(b))。5 人が同時に身体動作を行った場合でもキャラクターは問題なく動作した。なお、

この実験ではジェスチャによる移動は行わなかった。

Zoom で配信された映像中のキャラクターのオンラインユーザの身体動作に対する遅延は 1 秒程度であった。参加したユーザからは、自分の身体動作によってキャラクターが動いていることは十分に感じられるという意見が得られた。ただし、キャラクターの動きのフレームレートは使用する PC の性能の影響を受けた。MacBookPro (M1 チップ) で Web アプリを操作した場合には 15fps 程度のフレームレートが得られたが、MacBook (Core i5 1.3GHz) で操作した場合には数 fps のフレームレートであった。使用する PC の性能によって Media Pipe の実行速度が変化しており、それが操作するキャラクター動作のフレームレートに影響を与えたと思われる。

6. まとめ

本研究では、お絵描きベースの CG コンテンツの魅力の



(a) 上半身の身体動作での操作



(b) 全身の身体動作での操作

図 9 ユーザが身体動作でキャラクタを操作する様子

一つとして、現実とバーチャルとの接点、および共創に着目した。そして、オンライン化に伴う絵描きのデジタル化/バーチャル化によって失われた現実とバーチャルとの接点について、CG 映像の立体的なプロジェクションマッピングを行いながらライブ配信することで、現実空間とバーチャル空間との新たな接点を生み出す映像提示手法を開発した。また、提案映像提示手法によって、オンライン上のユーザが同じ現実空間に対してインタラクションを行うことを実現して、共創の感覚も得られる手法も提案した。

そして、著者らが開発してきた「お絵描きダンスステージ」のオンライン化に際して提案手法を適用して、実装したシステムを用いて実証実験を行った。実験では、海外から参加したユーザがお絵描きを通じて日本の現実空間に立体的なプロジェクションマッピングを行ったりインタラクションを行ったりすることが確認でき、提案手法が有用であることが示唆された。

現時点で提案手法を適用したコンテンツを用いたイベントの実施は1回だけであり、身体動作を用いたインタラクションは少人数による実験だけでイベントは未実施である。特にテキストファイルを用いた身体動作中の間接座標データの送受信は、同時に5名程度のオンラインユーザであれば問題ないが、より多くのユーザが操作を行った場合には対応できなくなる可能性が高い。今後、身体動作を用いたインタラクションを適用したコンテンツでイベントを行い、参加者からのフィードバックを得ながら提案手法をより詳細に検証するとともに、システムの改良や拡張を行いたい。また、提案手法を筆者らがこれまで開発してきた他のお絵描きベースコンテンツに適用したり、全く新しい絵描きベースコンテンツの提案や開発も行いたい。

謝辞

実験実施に協力していただいた HYPER JAPAN スタッフの皆様および実験用機材の提供に協力していただいた NTT ドコモ東海の皆様に感謝致します。本研究の一部は、公益財団法人大幸財団の研究助成によって行われました。

参考文献

- [1] 安素羅, 水野慎士, 舟橋健司: 立体的映像を用いたオンライン参加型プロジェクションマッピングの開発, 情報処理学会研究報告, Vol. 2021-DCC-29, No. 19 (2021).
- [2] S. Ahn, S. Mizuno: Sketch Dance Stage Online: Three-dimensional CG projection of hand-drawn characters to real space and interaction, Proc. of ACM SIGGRAPH ASIA 2021 Posters (2021).
- [3] チームラボ: お絵描き水族館, 入手先 (<https://futurepark.teamlab.art/playinstallations/sketch.aquarium/>) (参照 2022.10.10).
- [4] リトルプラネット: デジタル紙相撲, 入手先 (<https://litpla.com/attraction/paperrikishi/>) (参照 2022.10.10).
- [5] 近藤菜々子, 水野慎士: スケッチブックでのお絵描きを三次元 CG で拡張する映像ツールの提案とその実現方法, 情報処理学会論文誌・デジタルコンテンツ, Vol. 1, No. 1, pp. 1-9 (2013).
- [6] 水野慎士: 輪郭検出を用いた「不思議なスケッチブック」のCG表現拡張とイベント展示のためのビューア開発, 芸術科学会論文誌, Vol. 17, No. 4, pp. 72-82 (2018).
- [7] 水野慎士, 磯田麻梨乃, 伊藤玲, 岡本芽唯, 近藤桃子, 杉浦沙弥, 中谷有希, 廣瀬元美: インタラクティブコンテンツ「お絵描きダンスステージ」の開発, DICOMO2015 論文集, pp. 1841-1846 (2015).
- [8] S. Mizuno: Digital Contents for Creating and Watching 3DCG of Vehicles Based on Drawing their Pictures, IEEE Transactions on Image Electronics and Visual Computing, Vol. 8, No. 2, pp. 91-99 (2020).
- [9] NTT: 超高臨場感通信技術 Kirari!, 入手先 (<https://group.ntt.jp/magazine/blog/kirari/>) (参照 2022.10.10).
- [10] 大阪芸術大学, NAKED: Prism Garden, 入手先 (<https://naked.co.jp/works/9535/>) (参照 2022.10.10).
- [11] 小田島慧, 柳英克: インタラクティブなプロジェクションマッピングによる文化財展示の提案, インタラクション2017 論文集, 1-408-78, pp. 365-370 (2017).
- [12] anno lab: 太陽と月の部屋, 入手先 (<https://nature-and-human.art/rooms/>) (参照 2022.10.10).
- [13] 産業技術研究所デジタルヒューマン研究センター: AIST/HQL 人体寸法・形状データベース 2003, 入手先 (<https://www.airc.aist.go.jp/dhrt/fbodydb/index.html>) (参照 2022.10.10).
- [14] 安素羅, 水野慎士: 位置情報を考慮した移動する自動運転車からのプロジェクションマッピング, 情報処理学会論文誌・デジタルコンテンツ, Vol. 10, No. 2, pp. 1-13 (2022).