

# 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

安 素羅<sup>1,a)</sup> 水野 慎士<sup>1,b)</sup>

**概要:** 本研究では、オンライン上のユーザが遠方の現実空間との接点を持つことを目的として、Web ページ上で描いたキャラクタを現実空間に投影する共創型のインタラクティブプロジェクションマッピングの開発を行う。ユーザはライブ配信で投影された映像を観察する。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。ユーザは Web ページ内のボタンを介してキャラクタとのインタラクションが可能であり、遠方の現実空間にいる人もキャラクタとのインタラクションが可能となっている。このコンテンツにはインターネットが繋がればどこからでも参加可能である。世界中の様々な場所の人たちが、自分たちの描いたキャラクタを介して、オンラインおよび現実空間の人たちとコミュニケーションをすることができる。実験では海外からの参加者もほぼリアルタイムなインタラクションを楽しめることを確認した。

## Development of a Projection Mapping Method by Online Participation Using 3D Images

AHN SORA<sup>1,a)</sup> MIZUNO SHINJI<sup>1,b)</sup>

**Abstract:** In this research, we develop a co-creation type interactive projection mapping that projects characters drawn on a web page into a real space in order for online users to have contact with a remote real space. Users observe images projected by live distribution. Since images are projected with three-dimensional and correct occlusion between objects in the real space, drawn characters are observed as if they appeared in a remote real space. Users are able to interact with characters through buttons in a web page, and people in a remote real space are able to interact with characters from anywhere. People from various places in the world can participate in this event from anywhere if the internet is connected. In the experiment, we confirmed that participants from overseas can enjoy near-real-time interaction.

### 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」[1]、リトルプラネットの「デジタル紙相撲」[2] 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」[3][4]、「お絵描きダンス

ステージ」[5]、「お絵描き i-Can/Toyota City Connection」[6] 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かき”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”が持つ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う共創の観点も挙げられる。

<sup>1</sup> 愛知工業大学大学院 経営情報科学研究科  
Graduate School of Business Administration and Computer  
Science, Aichi Institute of Technology, Aichi Toyota 470-  
0392, Japan

a) b21704bb@aitech.ac.jp

b) s\_mizuno@aitech.ac.jp

前述したコンテンツはいずれも、“リアル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、お絵描きで作り上げた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。

2020年からの新型コロナウイルス感染拡大の影響で、ほとんどのリアルイベントは中止や延期となり、施設は休止に追い込まれた。これは、お絵描きに基づくデジタルコンテンツを用いたイベントや施設も例外ではなく、チームラボやリトルプラネットの施設は一時休止となり、著者らが関わる「お絵描きダンスステージ」や「不思議なスケッチブック」を用いたイベントはほぼすべてが中止となった。感染予防対策を実施して再開したものもいくつかあるが、以前のように実施できないことが実情である。

リアルで実施できなかったイベント等の再開の解決策の一つとして、イベントのオンライン化やコンテンツのデジタル化がある。お絵描きに基づくCGコンテンツにおいては、紙にペンでお絵描きしていた部分をパソコンやタブレットでデジタル化することになる。デジタル化したお絵描きをWebアプリにすれば、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ようなイベントも可能である。このような方法によるお絵描きCGコンテンツのオンライン化は技術的にはそれほど難しくない。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バーチャル化されるため、これまで存在していたリアルとバーチャルの接点がなくなることになる。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、お絵描きに基づくCGコンテンツが人々を惹きつけてきた大きな要素が二つともなくなってしまうことになる。

デジタル化/オンライン化したお絵描きベースの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られる。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。そして、現実とバーチャルとの接点を感じられる新しい映像の提示手法を提案する。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、著者らが開発した「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。

## 2. 関連研究

本研究とは異なる方法で、バーチャルと現実空間との接点を生み出す取り組みはいくつか行われている。

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[7]。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を用いて、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[8]。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たものである。

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[9]。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。

これらの既存研究に対して、本研究では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実空間との接点を感じ、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

従来の「お絵描きダンスステージ」では、紙にペンでキャラクタのお絵描きを行ってからカメラの前に差し出すとキャラクタが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。キャラクタの振り付け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ものであった。

「お絵描きダンスステージ」のオンライン化に際して、紙へのペンでのお絵描きはWebアプリ化され、PCやタブレットでのデジタルお絵描きとなる。つまり、現実空間からバーチャル空間へ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の映像提示について、バーチャル/デジタルで閉じていた通常のディスプレイ表示から、現実/アナログと接点のある手法に置き換える。

本研究で提案する現実/アナログと接点のある映像提示手法とは、現実空間へのプロジェクションマッピングであ

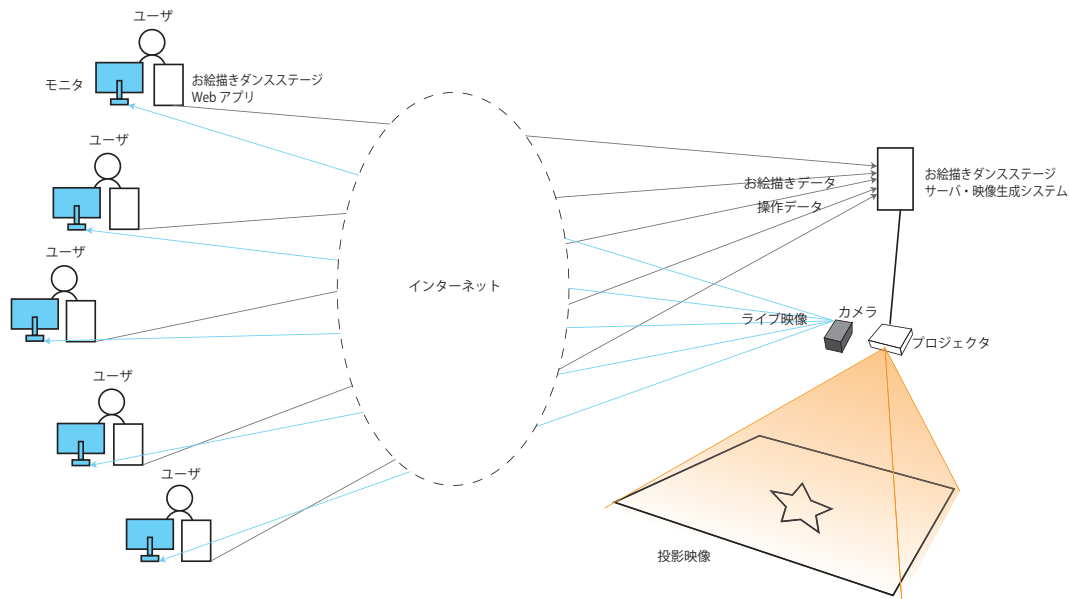


図 1 システム構成

る。そして、一般的な映像の投影方法ではなく、映像が立体的に観察できる投影手法を用いる。そのため、デジタルでお絵描きしたキャラクターが現実空間に登場したように観察される。そして、プロジェクションマッピングされた映像はライブ配信され、ユーザは描いたキャラクターが遠方の現実空間に現れて踊り出す様子を視聴することができる。これらの結果として、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られる。

立体的なプロジェクションマッピングには、トリックアートでよく用いられるアナモルフォーシスの原理を適用する。そして、プロジェクションマッピングされ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前後関係を保持する。また、現実空間にいる人の動作に反応するインタラクションや、Web 経由でユーザ自身が描いたキャラクターとのインタラクションを実現する。これらにより、視覚と対話で 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。ライブ配信を鑑賞しているユーザは、自分のキャラクターが空間を超えて遠方の現実空間に登場していること、つまりリアルとの接点をより強く感じられる。

お絵描き、および映像の視聴は Web 経由で行うため、オンライン化した「お絵描きダンスステージ」はインターネットさえあ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がそれぞれキャラクターを描くことで、現実空間に登場するキャラクターも増えていく。各ユーザは自分の描いたキャラクターが他の人が描いたキャラクター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。

## 4. 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化した「お絵描きダンスステージ」のためのシステム構成を示す。システムは大きく分けて、ユーザがキャラクターの描画操作やインタラクションのボタン操作を行う Web アプリ部と、サーバと映像生成システム部で構成されている。また、Zoom や YouTube Live など映像ライブ配信のためのサービスを併用する。

Web アプリはユーザの描画操作などを受け付けながら、インターネット経由でサーバにアクセスして、キャラクター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送信する。そして、サーバではキャラクター画像を受信すると、映像生成システムが手描きキャラクターを CG 化するとともに、ダンスステージとそこで踊る CG キャラクターの三次元 CG 映像を立体視を考慮しながら生成して、プロジェクタで生成映像を投影する。また、インタラクション操作に対してはリアルタイムで CG 映像を変化させる。

投影映像はカメラで撮影しており、立体的なライブ映像としてユーザに配信する。そのため、ユーザは自分が描いたキャラクターが現実空間に登場したり、ボタン操作によってキャラクターがインタラクティブに反応することを鑑賞することができる。

### 4.2 Web アプリ

ユーザが操作してお絵描きやインタラクション操作を行う「お絵描きダンスステージ用」の 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、絵の確認と転送ボタン、そ



図 2 「お絵描きダンスステージ」用 Web アプリの画面

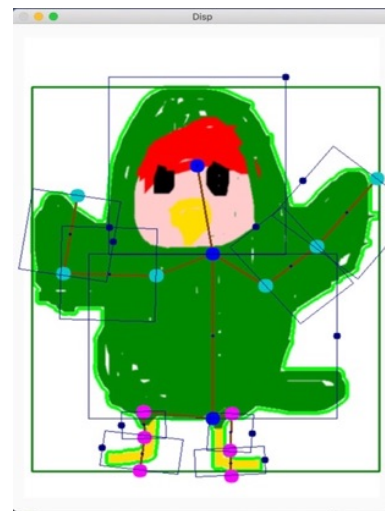


図 3 手描きキャラクターの分割とボーン挿入の様子

してインタラクションを行うためのジャンプボタンとスピンボタンで構成されている。プロジェクションマッピング映像が YouTube Live で配信される場合はライブ映像が埋め込まれる。

Web アプリはサーバ上に HTML, PHP, JavaScript で実装している。描いたキャラクターは PNG 形式の画像としてサーバに転送される。また、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される。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操作用テキストデータには各ユーザーのセッション ID が付与される。

#### 4.3 手描きキャラクターの CG 化・配置・インタラクション

キャラクターの CG 化は、従来の「お絵描きダンスステージ」と同じ手法を用いる。映像生成システムは 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取得して、図 3 に示すように頭、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。これら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の結果、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。そして、事前に取得した多数のダンスモーションデータから 1 つがランダムで選択されてキャラクターに適用されることで、CG キャラクターを踊らせることができる。

ダンス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、多くのオンラインのユーザーがキャラクターを描いて送信することで、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 キャラクターには各ユーザーで個別のセッション ID が付与される。

ジャンプやスピンなど Web アプリでの各ユーザーの操作にもセッション ID が付与されており、三次元 CG の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、該当

するセッション ID を持つものだけをジャンプさせたり回転させる。これにより、各ユーザーが自分の絵から生成された CG キャラクターとのインタラクションを行うことを実現している。

#### 4.4 立体的に観察される投影映像の生成

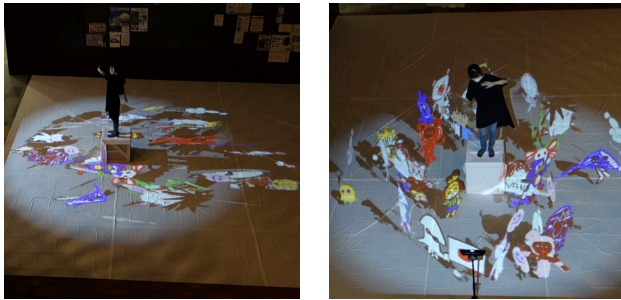
本研究では、立体的な投影映像のためにアナモルフォーシスの手法を用いる。アナモルフォーシスはトリックアートの手法の一つで、正面からは歪んで見える映像が、ある特定の位置から眺めたときには正しく観察されて、周囲の実物体との関係から立体的に観察されるものである。

投影映像にアナモルフォーシスの効果を与えるため、プロジェクタの設置状況（設置位置、投影方向、投影領域の関係）、およびプロジェクタの投影特性（画角、光軸）を事前に調べておく。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などの視野変換とモデリング変換を設定して、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、ライブ映像配信用のカメラをプロジェクタのすぐそばに設置すれば、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投影映像の生成例を示す。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。

#### 4.5 オクルージョン矛盾の解消

プロジェクタで映像を投影した場合、プロジェクタから見える投影範囲内のすべての場所に映像が投影される。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



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

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



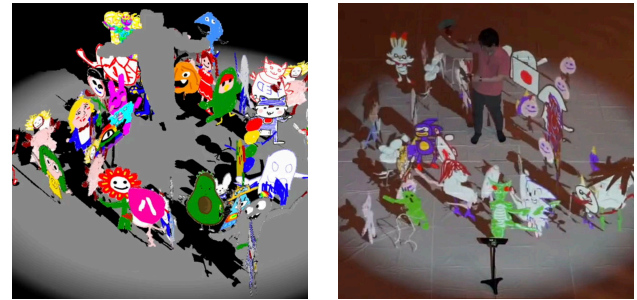
図 5 オクルージョン矛盾発生の様子

体的な位置や形状を持ち、現実空間との位置関係も保持している。そのため、CG キャラクタ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が、その実物体に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が人の体に投影されてしまい、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の発生は、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。

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。まず現実空間の実物体をあらかじめ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を設置している。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、事前設置CGモデルと同様に表示用の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キャラクタと人との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。



(a) 実物体のCGモデルの深度情報を表示用のCG空間に配置した様子 (b) 実物体に隠れるべきCGキャラクタ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

移動実物体のリアルタイムモデリングに用いる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キャラクタに反映させることで、人とCGキャラクタを同じように動作させることができる。また、人の腰関節の上下動によってジャンプを感知し、キャラクタも同時にジャンプさせることもできる。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を実現している。そして、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、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 実験概要

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」へのオンライン出展という形で、オンライン化した「お絵描きダンスステージ」を用いた実証実験を行った。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、現実空間に台を設置してキャラクタは台を回りながら移動させる、台の上に人が乗って踊る、音頭風のBGMを流すなど、「お絵描きダンスステージ」に盆踊りをイメージしたアレンジを施した。

### 5.2 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。

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

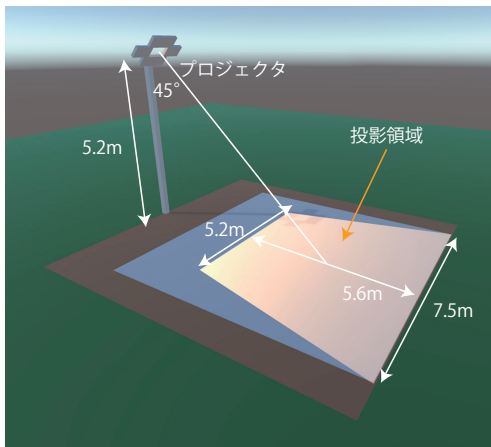


図 7 実験での機材配置の様子

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。

### 5.3 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 名がコンテンツにアクセスした。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。

YouTube Live のコメント欄では、「自分のキャラクタが出ている」「キャラクタたちが人と一緒に踊っている」と言ったコメントが見受けられた。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 数秒の遅延が見られた。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 の映像遅延発生の大きな原因の一つは、この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日の実験はイベントではないため、著者らの 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 秒程度であり、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。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。

## 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、絵描きのデジタル化/オンライン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手法を開発して、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。

今回の実証実験で開発したコンテンツは、著者らの従来の「お絵描きダンスステージ」を拡張したものである。そのため、キャラクタ画像からの CG キャラクタの生成で手動操作が必要になる場合があり、お絵描きしてから CG キャラクタが表示されるまで 30 秒程度の時間を要するときもある。今後、CG キャラクタを完全に自動で生成する手法を開発するつもりである。また、自分のキャラクタの自由操作によるオンラインユーザ同士のコミュニケーション、オンラインユーザ自身のダンスモーションの CG キャラクタへの反映、オンラインユーザによるダンスステージ自体の作成など、より多彩なインタラクションの実現をしたいと考えている。さらに、「お絵描きダンスステージ」以外の新しいお絵描きベースコンテンツの提案、開発も行っていきたい。

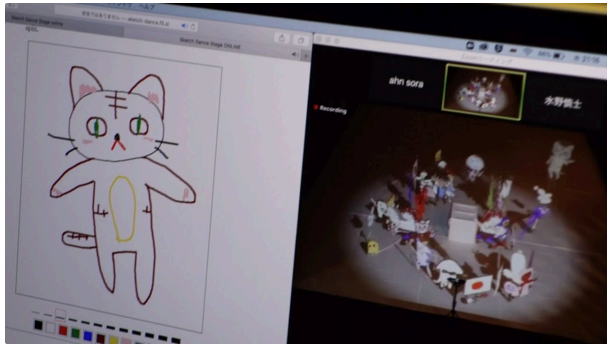
## 謝辞

実証実験の実施に協力していただいた HYPER JAPAN のスタッフの皆様、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。

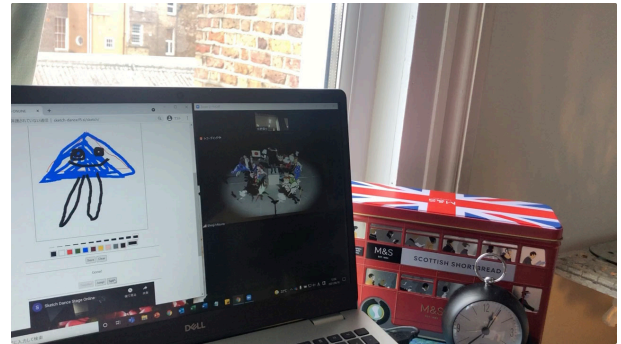
本研究の一部は、公益財団法人大幸財団の研究助成によって行われました。

## 参考文献

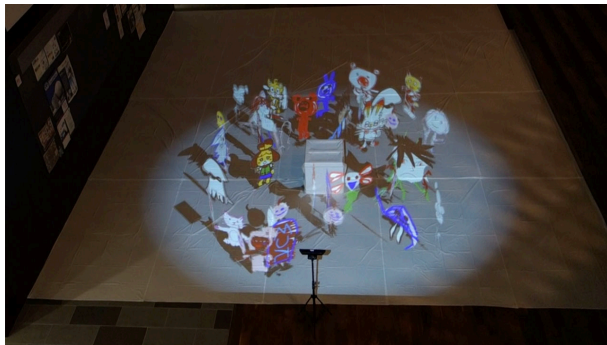
- [1] チームラボ: お絵描き水族館, 入手先 (<https://futurepark.teamlab.art/playinstallations/>)



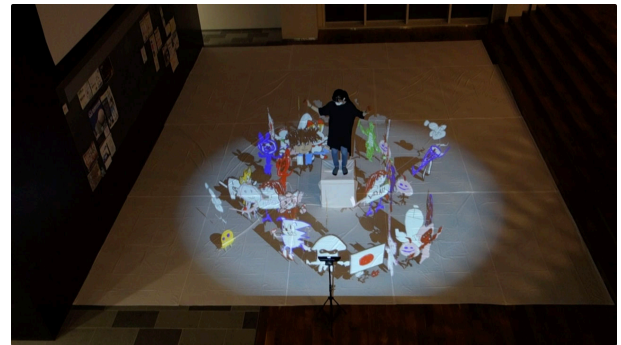
(a) オンラインユーザのお絵描き操作とライブ配信映像視聴の様子 (日本)



(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 キャラクタたち



(d) 現実空間の人と一緒に踊る CG キャラクタたち



(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



(f) 現実空間の人に合わせて一斉にジャンプする CG キャラクタたち

図 8 「HYPER JAPAN 2021」での実証実験の様子

- sketch\_aquarium/) (参照 2021.10.9).
- [2] 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 2021.10.9).
  - [3] 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).
  - [4] 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).
  - [5] 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).
  - [6] S. Mizuno: Digital Contents for Creating and Watching 3DCG of Vehicles Based on Drawing their Pictures, IIEEJ Transactions on Image Electronics and Visual Computing, Vol. 8, No. 2, pp. 91-99 (2020).
  - [7] NTT: 超高臨場感通信技術 Kirari!, 入手先 (<https://group.ntt.jp/magazine/blog/kirari/>) (参照 2021.10.9).
  - [8] 大阪芸術大学, NAKED: Prism Garden, 入手先 (<https://naked.co.jp/works/9535/>) (参照 2021.10.9).
  - [9] 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, インタラクシオン 2017 論文集, 1-408-78, pp. 365-370 (2017).