

# ディスプレイ付きニューコンセプトカートと床面を用いた インタラクティブプロジェクションマッピング

榊原 拓実<sup>1</sup> 水野 慎士<sup>1</sup>

**概要:** 本稿では、前後左右にディスプレイが埋め込まれたニューコンセプトカート“SC-1”の側面映像と、床面に投影された映像とが連動するインタラクティブプロジェクションマッピング作品を紹介する。この作品では、カートの走行に応じて床面映像がインタラクティブに反応する。また、床面映像とカート側面の映像が互いに連動しながら反応する。制作した作品は2019年8月30日から3日間、愛知県国際展示場“Aichi Sky Expo”のオープニングイベントの中で展示を行った。

**キーワード:** プロジェクションマッピング, ニューコンセプトカート, インタラクション, 3DCG, LiDAR

## Interactive Projection Mapping using New Concept Cart with Display and Floor

TAKUMI SAKAKIBARA<sup>1</sup> SHINJI MIZUNO<sup>1</sup>

**Abstract:** This paper introduces an interactive projection mapping where the side images of a new concept cart “SC-1” with embedded displays on the front, back, left, and right, and the image projected on the floor are linked. In this work, the floor image reacts interactively as the cart runs. In addition, the floor image and the cart image react to each other while interlocking with each other. The produced work was exhibited at the opening event of the Aichi International Convention & Exhibition Center “Aichi Sky Expo” for 3 days from August 30, 2019.

**Keywords:** projection mapping, new concept cart, interaction, 3DCG, LiDAR

### 1. はじめに

CGのアートやエンタテインメント分野への応用として、イベントの演出などでプロジェクションマッピングが盛んに用いられている。プロジェクタの高輝度化やCGの高精細化によって大規模なプロジェクションマッピングが比較的容易に実現することが可能となり、東京駅 [1] や大阪城 [2] などの建造物に対するプロジェクションマッピングは一般の人にも広く知られるようになってきた。

そして、近年はユーザなどの動きにインタラクティブに反応するプロジェクションマッピングがいくつも制作され

ている。例えば、古民家の障子を用いたプロジェクションマッピングでは、観覧者の動きに応じて花火が打ち上がるなど映像が反応して、見るだけでなく参加できるプロジェクションマッピングとなっている [3]。また、舞台「魔界転生」では、役者にマーカを取り付けることで、役者の移動に応じた舞台壁面へのプロジェクションマッピングを行い、オーラなどの演出映像が実現されている [4]。

このように様々な種類のプロジェクションマッピングが提案される中、本稿では固定位置に投影された映像と移動体に映された映像とが連動したプロジェクションマッピングを提案・制作したので報告する。移動体としては、前後左右の側面にディスプレイが埋め込まれたソニー製ニューコンセプトカート“SC-1”を使用する (図1) [5]。カートは映像が投影された床面上に設定された楕円軌道を走行す

<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



図 1 ソニー製ニューコンセプトカート“SC-1”

る。このとき、LiDARを用いてカートの位置をリアルタイムに取得して、カートの位置に合わせて床面上の映像を変化させることで、インタラクティブ性を持たせる。また、カートの側面映像の変化と床面映像の変化を連動させる。

固定位置に投影された映像と移動体とが連動したプロジェクションマッピングとしては、舞台の背景映像と移動する透過型映像装置の映像とのコラボレーションがある [6][7]。この作品では、CG キャラクターが移動体によって舞台上に登場したあとに移動体から降りて、舞台上の半透明スクリーンに移動するという演出を行っている。ただし、このプロジェクションマッピングではあらかじめ CG キャラクターが降りる場所が決まっておき、インタラクティブ性はない。それに対して、本稿では作品では床面映像と移動するカートの映像がコラボレーションしながらインタラクティブを行うという、従来にないプロジェクションマッピングを実現している。

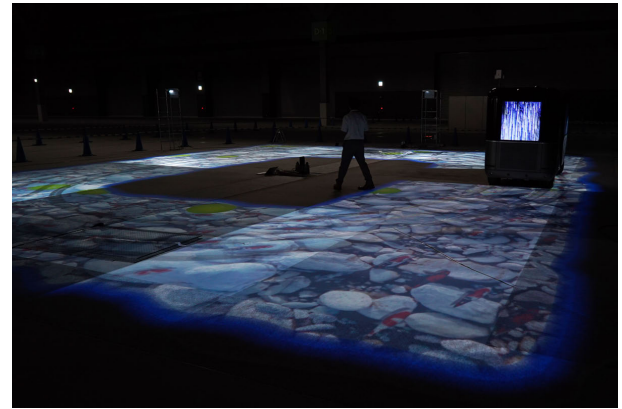
制作したプロジェクションマッピングはイベントで一般の人々に披露した。このときはカートに乗ることもできたため、観覧者は床面映像と移動するカートの側面映像とのコラボレーションを鑑賞するだけでなく、床面映像の中を移動しながら鑑賞するという楽しみ方も可能であった。

以降の章では、作品の概要、作品を実装するための機器や技術、イベントでの展示の様子について述べる。

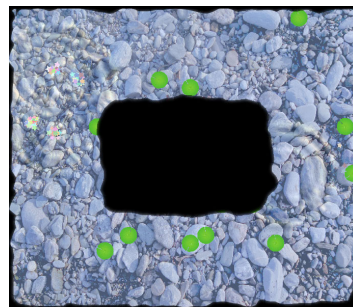
## 2. プロジェクションマッピング作品について

本稿で紹介するプロジェクションマッピング作品は、床面に投影された映像と、床面映像上を走行するニューコンセプトカート“SC-1”の前後左右の側面に埋め込まれたディスプレイの映像によって構成される。図 2 に床面とカート側面に映像が表示された様子を示す。

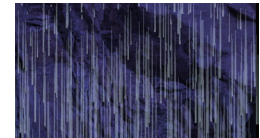
床面に投影される映像は水路をイメージしたもので、水底には石が敷き詰められている (図 2(b))。一方、カートの側面ディスプレイに表示される映像は滝をイメージしたもので、水が流れ落ちるアニメーションが表示されている (図 2(c))。カートが走行する軌道は水路に設定されており、長径 6m、短径 5m の楕円状である。カートは軌道に沿って最高速度約 4km/h で走行する。



(a) 全体の様子



(b) 床面投影映像



(c) カート側面映像

図 2 床面とカート側面を用いたプロジェクションマッピング

作品全体は、水路、移動する滝、そしてそれらの中を泳ぐ鯉を要素として、「滝から鯉が水路に登場」「鯉がカートを避けながら遊泳」「鯉がカートを追って泳ぐ」「鯉が滝を上って退出」というサイクル構成のシナリオとなっている。図 3 にシナリオの流れを示す。

カートが動き始めると、床面映像ではカートの移動に合わせてタイヤ付近から波紋が発生して水面が揺らぐ。そして、カート側面映像では次々と鯉が滝を下っていき、床面映像のカートの下から鯉が水路に放たれる (図 3(a))。鯉の数は 100 匹である。床面映像中の水路に放たれた鯉は自由に泳ぎ回っている (図 3(b))。ただし、カートが近付くと、避けるように急いでカートの反対方向に泳いでいく。

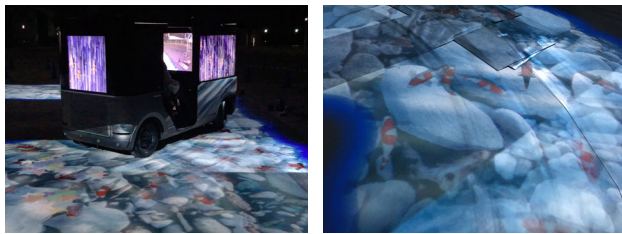
しばらくすると、床面映像中の鯉はカートを追いかけて泳ぎ始める (図 3(c))。そして、カートに追いついた鯉は床面映像からカート側面映像に移り、滝を泳いで上っていく (図 3(d))。最終的には全ての鯉が滝を登って退出する。

## 3. 実装方法

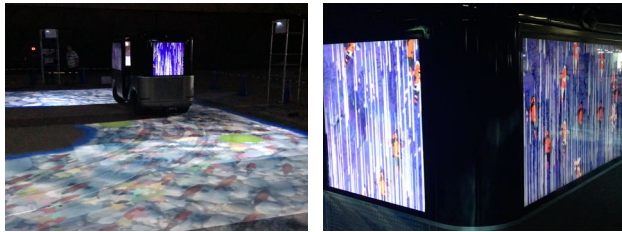
### 3.1 システム構成

本プロジェクションマッピング作品は、大きく分けてカート追跡システム、床面映像生成システム、カート側面映像生成システムで構成されている。各システムはワイヤレスネットワークで接続されており、カートの位置や鯉の移動に関するデータの送受信を行う。

カート追跡システムは、2 台の二次元 LiDAR (北陽電機



(a) カート側面の滝を下って床面の水路に登場する鯉 (b) 水路を遊泳する鯉



(c) カートを追って泳ぐ鯉 (d) カート側面の滝を上る鯉

図 3 作品のシナリオ

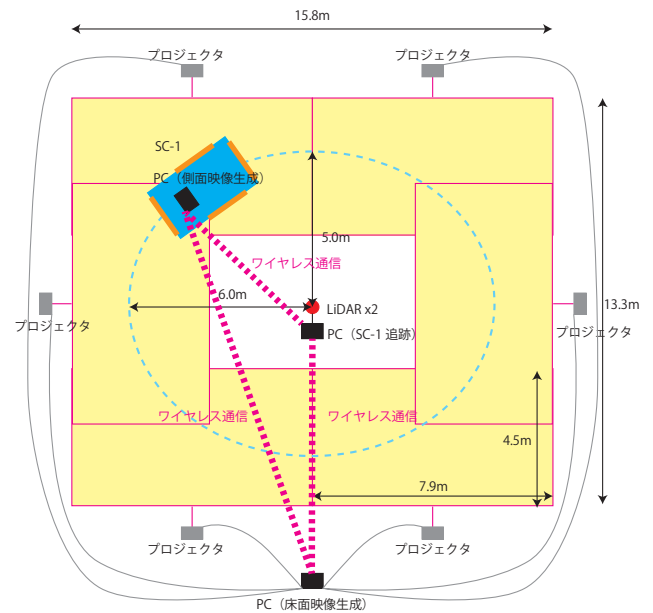


図 4 各システムの設置イメージ

UST-20LX) と PC (MacBookPro) で構成されている。二次元 LiDAR はカートの走行軌道の中央に設置する。

床面映像生成システムは、6 台の超短焦点プロジェクタと PC (MacPro) で構成されている。1 台の超短焦点プロジェクタを高さ約 1.8m の台上に設置することで、床面に 7.9×4.5m の映像を投影することができる。そして、6 台のプロジェクタによる映像を口の字状に並べることで、カートが走行する楕円状軌道を覆うことができる。

カート側面映像生成システムは、1 台の PC (MacBookPro) をニューコンセプトカート “SC-1” に設置したものである。“SC-1” は全長 3.14m、全幅 1.31m、全高 1.85m で、乗車定員は 3 名である。そして、前後左右の側面には窓の代わりに 55 インチの 4K ディスプレイが埋め込まれている。また、車内前方には 49 インチの 4K ディスプレイが埋め込まれており、ディスプレイ映像によって車内から前方を目視することができる。運転は車内でのコントローラ操作、5G による遠隔操作、GPS 等を用いた自動運転、誘導線による自動運転などが可能である。

図 4 に各システムの設置イメージを示す。また、図 5 に実際のプロジェクタの設置の様子を示す。



図 5 プロジェクタの設置の様子

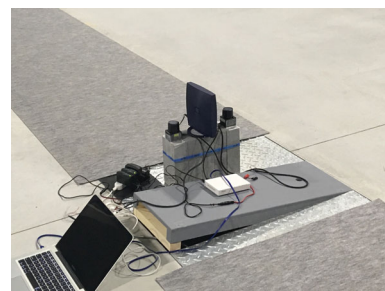


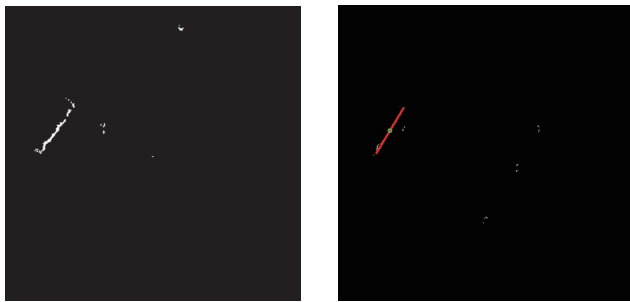
図 6 軌道中心に設置した 2 台の二次元 LiDAR

### 3.2 カート追跡システム

カート追跡システムでは、2 台の二次元 LiDAR をカートが走行する楕円軌道中心の高さ約 20cm の位置に設置する。今回使用した LiDAR は、1 台では 270 度の範囲内しかスキャンできないため、2 台の LiDAR の向きを 180 度ずらして設置 (図 6) することで、周囲 360 度を 0.125 度の分解能でスキャンすることが可能となる。

カートの位置と方向の取得は画像処理手順に基づいて行う。始めに、2 台の LiDAR から得られたスキャン結果のうち、特定の距離内 (約 7m) のデータを統合して二値画

像に変換する (図 7(a))。このとき、楕円軌道中心に設置した LiDAR からは、カートの側面が線分のように観察される。そこで、得られた二値画像に対して確率的ハフ変換を施すことで画像中の線分を抽出する (図 7(b))。ここで、カートのサイズは既知であるため、検出された線分の中で最もカートの全長に近いものをカートの側面であると判定する。カートの側面の線分が得られれば、カート自体の位置と方向が容易に取得できる。カートの位置と方向はワイヤレスネットワーク (TCP 通信) によって床面映像生成システムおよびカート側面映像システムに送信する。送信頻



(a) 二値画像に変換した LiDAR のスキャン結果 (b) 確率的ハフ変換による線分の検出

図 7 画像処理手順に基づくカートの位置と方向の取得

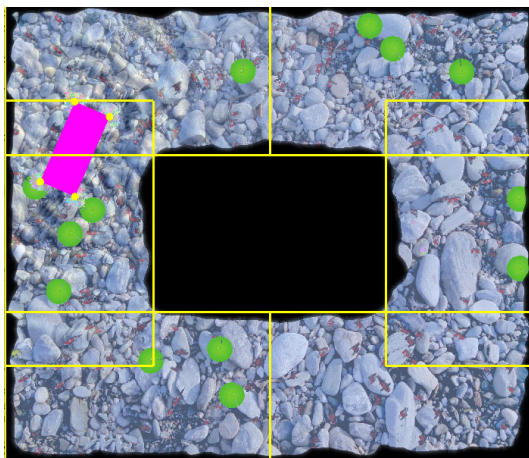


図 8 床面映像の全体シーン

度はネットワーク環境によって変化するが、概ね 3fps 程度である。

### 3.3 床面映像生成システム

床面映像生成システムでは、三次元 CG によってシーン全体を生成して、シーン中から 6 つの領域を切り出す (図 8)。6 つの領域はそれぞれ床面に映像を投影する 6 台のプロジェクタと対応関係にあり、各領域の映像を対応する各プロジェクタに送出する。なお、6 台のプロジェクタの映像はお互いに重なっている部分があるため、投影床面が均一な色で、かつ各プロジェクタの輝度や色が一致していれば、重なり部分を考慮した領域の切り出しが望ましい。しかし、今回の展示では床面の色が均一でなかったことや、調達できたプロジェクタの輝度が継時変化でかなりばらついていてことなどから、重なり部分を考慮しない領域の切り出しを行った。

CG シーンを構成する要素は、主に水面、水底、鯉、水草、エフェクト (星) に分類される。水面と水底は二次元格子構造になっており、水面は半透明でレンダリングを行い、水底は石のテクスチャを施している。そして、カート追跡システムから得られたカートの位置と方向に基づいてカートのタイヤの位置を計算すると、タイヤに相当する座標を中心として正弦波を発生させて、水面格子の各頂点の

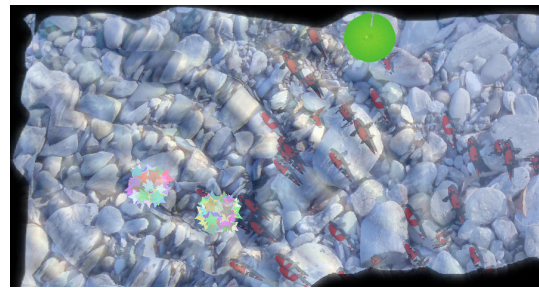


図 9 水面上の波紋と擬似的な屈折

座標を垂直方向に変化させる。これにより、水面のシェーディングでハイライトが変化して、カートのタイヤ付近を中心とした波紋が観察される。このとき、水面の各頂点の垂直方向の座標変化量を水底の対応する頂点の水平方向の移動量に適用することで、波紋の変化に応じて水底のテクスチャが変形する。これにより、水による光の屈折を擬似的に再現している (図 9)。水草は水面の揺れに伴って揺れる。またエフェクトはカートのタイヤの位置に発生しては徐々に消えていく。

鯉は文献 [8] と同様の構造や動きの制御となっている。具体的には、各鯉は目標点に対する引力、鯉同士の反発力、障害物に対する反発力を組み合わせることで、かかる力を決定して、それに基づいて泳ぐ速度を決定している。鯉の映像は、短冊状に分割された二次元平面に鯉の画像をテクスチャマッピングしたものである。そして短冊の先頭が決定された速度に基づいて移動して、後方の短冊は微妙に形状を変化させながら前方の短冊に追従する。これにより、魚独特の体をくねらせながら泳ぐ様子を再現している。今回、鯉がカートを避けながら泳ぐときにはカートの位置に障害物を置き、鯉がカートを追いかけるときにはカートを全ての鯉の目標点としている。

床面映像生成システムは、滝と水路の鯉の移動に関する情報をカート側面映像生成システムとワイヤレスネットワーク (UDP 通信) 経由で送受信している。「滝から鯉が水路に登場」するシチュエーションでは、滝から水路に移動した鯉の情報を取得するたびに、カートの位置から鯉を出現させる。これにより、移動するカートの滝を下った鯉がカートの下から水路に登場する様子を実現している。また、「鯉がカートを追って泳ぐ」シチュエーションでは、カートに追いついた鯉をシーンから削除するとともに、その情報をカート側面映像生成システムに送信する。

### 3.4 カート側面映像生成システム

カート側面映像生成システムでも、三次元 CG によってシーン全体を生成して、シーン中から 4 つの領域を切り出す (図 10)。4 つの領域はそれぞれカートの前後左右側面のディスプレイと対応関係にあり、各領域の映像を対応する各ディスプレイに送出する。

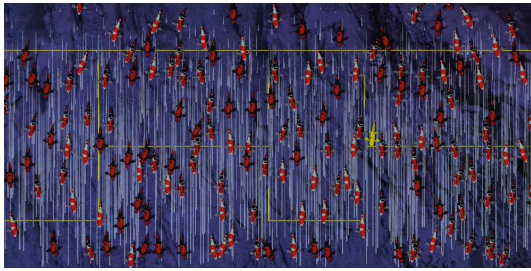


図 10 側面映像の全体シーン

CGシーンの要素は、流水、背景（岩）、鯉に分類される。流水はテクスチャを貼り付けた多数の細長い格子を、長さや透明度を変化させながら少しずつ下降させることで、滝を流れ落ちる水を表現している。鯉の制御は基本的には床面映像生成システムの場合と同じであるが、滝を上るときには重力を考慮して、目標点への引力を適切に変化させることで、滝を苦労して上る様子を再現している。

「鯉がカートを追って泳ぐ」シチュエーションでは、水路から滝に移動した鯉の情報を床面映像生成システムから取得するたびに、カートの側面映像の全体シーンに鯉を出現させる。これにより、カートに追いついて水路から消えた鯉がカートのいずれかの側面の滝を上って退出していく様子を実現している。

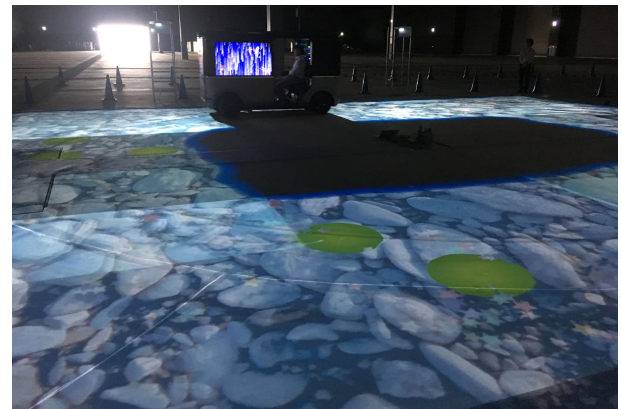
なお、待機状態ではコンテンツ制作に関わった団体名を表示している。

#### 4. イベントでの展示

制作したインタラクティブプロジェクションマッピングは、2019年8月30日から9月1日の3日間、愛知県国際展示場「Aichi Sky Expo」のオープニングイベントの中で展示を行った。図11に展示の様子を示す。

ニューコンセプトカート“SC-1”は、5G通信による遠隔監視を行いながら誘導線による自動運転を行った。そのため、来場者は床面映像とカート側面映像がカートの動きにインタラクティブに反応する様子を外から鑑賞するだけでなく、カートに乗り込んで移動しながら、床面映像を前方のディスプレイ越しまたは左右の開口部から直接間近に鑑賞することも可能であった。

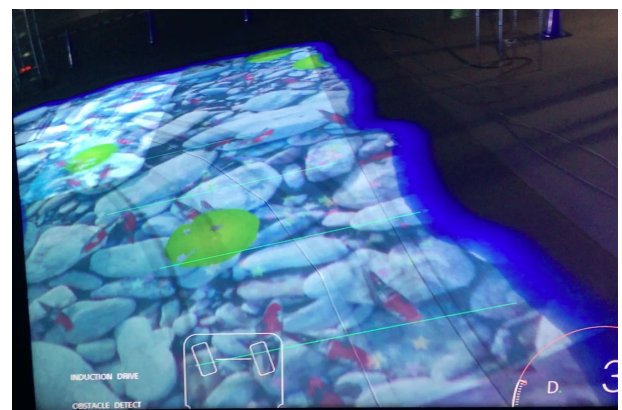
展示では、カートに乗るために並ぶ待ち行列ができた。そして、並んでいる最中でも床面とカート側面の映像を楽しんでいる様子が見られた。観覧者からは「水の表現が綺麗だ」「実際にそこに池があるみたい」「鯉が活着しているみたい」などの好評価の感想が多く聞かれた。たくさんの鯉がカートの滝を下って一斉に水路に放たれるシーンでは、観覧者から歓声が上がる時もあった。また、100匹の魚の中に特別に、1匹の金色の鯉、1匹のシュモクザメを紛れ込ませており、これらがカート側面の滝を上るのを見つけて喜んだり、水路の中で泳ぐ姿を一生懸命探す様子も見受けられた。



(a) 走行中のカート



(b) カートに乗るための待ち行列



(c) 車内からディスプレイ越しに見た前方

図 11 愛知県国際展示場「Aichi Sky Expo」のオープニングイベントでの展示の様子

そして、カートに乗り込んで鑑賞した場合には、まるで水が張られた水路の上を静かに走っているような感覚が得られた。特に、全面のディスプレイ越しに見る床面映像は両眼視差の影響がなくなるため、直接眺めるよりもかえってリアリティがあるように思われた。

その他、自動運転の利用に関する専門家からは、広い駐車場で移動や大きなショッピングモールで活用できれば、普通だったら嫌になる長い距離の移動が逆に楽しくなる可能性があり、人々の注目も集めることからデジタルサインージとしての用途も期待できる、という意見も得られた。

なお、展示中は観覧車のカートの乗降の補助やカート発

信の係員 1 名が常にカートの走行軌道内におり、カートとの位置関係によっては短い時間内でカートが追跡できない場合があったが、インタラクティブ映像への影響はほとんど感じられなかった。また、シナリオシチュエーションの切り替えはカートの位置と経過時間によって自動で行うことも可能であるが、待ち行列ができる程の大勢の観覧者がおり誤作動した場合の影響の大きさを考慮して、切り替えは手動で行った。

## 5. まとめ

本稿では、床面に投影された映像とその上を移動するカートの側面映像がカートの移動にインタラクティブに反応するプロジェクションマッピング作品の制作を行った。使用したカートは、自動運転に対応することで窓の代わりにディスプレイを埋め込んだニューコンセプトカート“SC-1”である。自動運転が普及することで、アナログ的に外を眺めるガラス窓は必ずしも必要ではなくなることも十分に考えられることであり、そのような時代が到来したときの新しい車の活用方法の一つを例示できたのではないかと考えている。

今後は、本稿と同様に位置固定映像と移動体映像を組み合わせながら、よりエンタテインメント分野に特化したコンテンツを開発することを検討している。

## 謝辞

本稿で紹介したプロジェクションマッピング作品の制作にあたり、ニューコンセプトカート“SC-1”やプロジェクタ等の機材、展示機会等を提供していただいたソニー(株)および(株)NTTドコモに感謝する。

## 参考文献

- [1] “(株)NAKED: TOKYO HIKARI VISION”, <http://naked-inc.com/works/383> (2012).
- [2] “大阪城 3D プロジェクションマッピング 2014-2015”, <https://youtu.be/iXBAxt2YeWo> (2014).
- [3] 水野慎士, 小栗真弥, 小栗宏次, 安田孝美: “日本の伝統的住宅を用いたインタラクティブ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. 7, No. 1, pp. 22-32 (2019).
- [4] “日本テレビ開局 65 年記念舞台「魔界転生」”, <http://makaitensho.jp/> (2018).
- [5] ソニー(株): “ニューコンセプトカート「SC-1」”, [https://www.sony.co.jp/brand/stories/ja/our/products\\_services/sc-1/](https://www.sony.co.jp/brand/stories/ja/our/products_services/sc-1/) (2017).
- [6] 巻口誉宗, 高田英明: “両面透過型多層空中像表示技術の提案と実装”, 情報処理学会研究報告, Vol. 2019-DCC-21, No. 50, pp. 1-6 (2019).
- [7] NTT 公式チャンネル: “超歌舞伎 2018 「積思花顔競 - 祝春超歌舞伎賑-」 Supported by NTT”, <https://youtu.be/VYMHkVJT3p4> (2018).
- [8] 岩崎妃呂子, 水野慎士, 秋葉陽児: “いけばなと CG によるインタラクティブデジタルコンテンツ “デジタル枯山水” と “いけばな影絵” ”,

情報処理学会論文誌・デジタルコンテンツ, Vol. 5, No. 1, pp. 1-7 (2017).