

手描き 3DCG 空間内に没入して移動するコンテンツの 提案と開発

水野 慎士¹

概要: 本研究では、手描きの絵から三次元 CG 空間を生成して、さらに生成した三次元 CG 空間内にまるで没入したような感覚で移動することができるデジタルコンテンツ「らくがきクルーズ」の提案と開発を行った。三次元 CG 生成は紙にカラーペンで描いた絵に基づいており、建物や木の絵に基づいて三次元 CG の街が構築されて、絵から生成された車の三次元 CG モデルが CG の街の中を走り回る。そして、車内にディスプレイが設置されたカートに乗ると、構築された三次元 CG の街の中から眺めた映像がディスプレイに表示され、カートが動くときディスプレイ映像もカートの動きに合わせて三次元 CG の街の中を移動する。これにより、ユーザは自分の絵から生成された三次元 CG の街の中に没入して、カートの動きを実際に感じながら三次元 CG の街を移動できるという、これまでにない体験が可能となった。

キーワード: 3DCG, 没入, お絵描き, インタラクション, コンテンツ制作

Proposal and Deveopement of a Content to Immerse and Move in a Hand-drawn 3DCG space

SHINJI MIZUNO¹

Abstract: In this research, we propose and develop an interactive content “Rakugaki Cruise” that can create a 3DCG space from hand-drawn pictures and move in the created 3D CG space as if being immersed in it. 3DCG generation is based on a picture drawn with color pens on paper. A 3DCG city is constructed based on pictures of buildings and trees, and 3DCG model of the cars generated from the pictures are running in the CG city. Then, getting on a cart with a display installed inside the car, the image viewed from the built 3DCG city is displayed on the display, and when the cart moves, the image on the display also moves according to the movement of the cart. As a result, users will be able to immerse themselves in the 3DCG city created from their own pictures and move around the CG city while actually feeling the movement of the cart.

Keywords: 3DCG, immersion, sketching, interaction, content creation

1. はじめに

対象者として子供が多く含まれるイベントやエンタテインメント施設では、参加者自身が創作活動を行いながらコンテンツに積極的に関わる体験型デジタルコンテンツが多く用いられるようになってきている。例えば、チームラボによる「お絵かき水族館」[1]では、参加者が魚やイカな

ど海の生物の塗り絵を行い、塗り絵から生成された CG モデルを CG 水族館で泳がせることで、参加者みんなで CG 水族館の生物を充実させていく。また、リトルプラネットによる「SKETCH RACING」[2]では、参加者が塗り絵によって車の三次元 CG モデルを作成して、参加者同士がそれぞれ作成した車でレースを競い合う。

そして、著者らも同様のコンセプトを持つデジタルコンテンツをいくつも開発してイベントで使用してきた。例えば、「お絵描きダンスステージ」[3]は、参加者がお絵描き

¹ 愛知工業大学情報科学部
Faculty of Information Science, Aichi Institute of Technology

とダンスを行うことでダンスする CG キャラクタを作成して、参加者みんなで CG ダンスステージで踊る CG キャラクタで充実させていくコンテンツである。また、「Toyota City Creation」[4] は、参加者が車の絵を描くことで街の中を走る車を増やしていくコンテンツとなっている。

このように、参加者自身が創作活動を行いながらコンテンツ自体を作り上げていくことは、完成されたコンテンツを単に体験するだけに比べて、全体的な体験時間が長くなりコンテンツの内容に直接関わることができたりするため、参加者の満足度が高くなることが期待できる。そして、コンテンツの一部の内容が毎回変わるため陳腐化しにくいといったメリットもある。例えば、「お絵かき水族館」は 2013 年に登場してから 7 年近く経過した 2020 年時点でも、イベントで使われて人気を博している。

このような背景の中、本研究では参加者が創作活動によってコンテンツ内容に積極的に関わることができ、コンテンツ体験時には参加者自身の創作作品に没入することができるデジタルコンテンツ「らくがきクルーズ」の提案と開発を行った。このコンテンツでは、参加者は紙にカラーペンで自由に絵を描くと、その絵から街の三次元 CG が自動的に生成される。また、別の紙に車の絵を描くと、その絵から車の三次元 CG が自動的に生成されて三次元 CG の街の中を走り回る。そして、参加者はディスプレイ付きカートに乗ると、自分の絵から生成された三次元 CG の街の中に入ったような感覚を得ることができる。さらに、カートの移動に合わせて三次元 CG の街の中を移動しながら観察することもできる。

2. 関連研究

前章で述べたように、参加者の塗り絵やお絵描きに基づいて CG を生成して内容を充実させていくコンテンツはいくつも存在する。そしてコンテンツとインタラクションも可能だが、コンテンツの観察は客観的、俯瞰的な視点のものがほとんどである。

カートなどの乗り物に乗って CG 空間に没入することができるコンテンツとしては、本研究と同様にディスプレイ付きカートを用いた「ムーンライトクルーズ」[5] や、HMD を装着して VR 空間や AR 空間でゴーカートを実際に運転する「VR GO KARTS」[6]、「HADO KART」[7] が開発されている。しかし、これらのコンテンツにおいて体験者が没入できるのは、コンテンツ開発者によってあらかじめ用意された三次元 CG 空間だけである。

「Quill」は HMD を装着した VR 空間内に没入しながら、体験者自身が三次元 CG を制作することができる [8]。ただし、制作には HMD とコントローラが必要な上、コントローラを使った三次元的描画の習得が必要なため、誰でも気軽に体験できるという訳ではない。

本研究で提案、開発を行った「らくがきクルーズ」は、

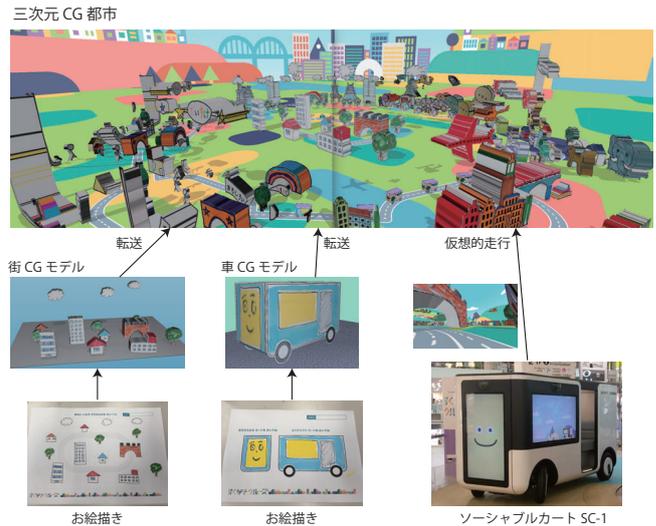


図1 「らくがきクルーズ」の概要

自身が没入するための三次元 CG 空間を完成させていくという点で、従来コンテンツと比べて参加者のコンテンツ内容に対する関与が大きい。そして、単に自分の絵から生成された三次元 CG を俯瞰的に観察するだけでなく、その中に入り込んで移動できるという、従来のコンテンツにはない特徴を持つ。そのため、体験者コンテンツに対する満足度も高くなることが期待される。

3. コンテンツについて

3.1 概要

本研究で提案、開発を行った「らくがきクルーズ」は、2種類のお絵描きとカートへの乗車という2つの体験によって構成されている。図1にコンテンツの概要を示す。

お絵描きは街のお絵描きと車のお絵描きの2種類で、どちらも紙にカラーペンで描く。街のお絵描きでは、体験者は家、ビル、樹木、橋、看板、雲など、街の中で見かけそうなものを自由に描く。そして、描いた絵をカメラに差し出すと、描いた家や樹木などがそれぞれ三次元 CG モデル化されて、それらが配置された CG の街が自動的に生成される。そして、複数の CG の街が結合されて、三次元 CG 都市が構築されていく。

車のお絵描きでは、体験者は車の側面と上面、または側面と前面を自由に描く。そして、描いた絵をカメラに差し出すと、車の三次元 CG モデルが自動的に生成される。生成された車の CG モデルはお絵描きによって構築された三次元 CG 都市に登場して走り始める。

体験者はディスプレイ付きカートに乗ることで、構築された三次元 CG 都市に没入したような感覚を得ることができる。カートは三次元 CG 都市内に仮想的に置かれた状態になっている。カートの内部前方には大型のディスプレイが設置されており、三次元 CG 都市内に置かれた仮想的なカートの中から外を眺めたような CG 映像が表示される。

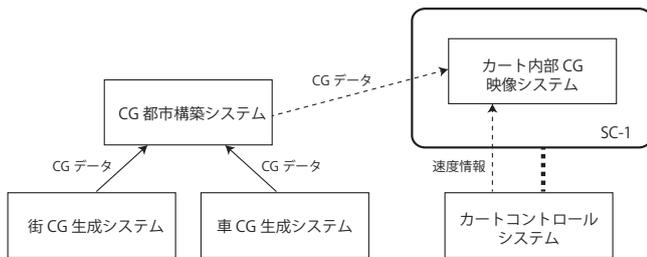


図2 システム構成

カートは決められたコースを走るようになっており、カートが動き始めると三次元CG都市内の仮想的カートも同じように動き始めて、その結果としてカート内部ディスプレイに表示されたCG映像も動き始める。そのため、体験者は実際にカートの動きを体で感じながら、自分の絵から生成された三次元CGの街をカートで移動するような体験をすることができる。そして、移動中には自分の絵から生成されたCGの車とすれ違うこともある。

3.2 システム構成

「らくがきクルーズ」は、街CG生成システム、車CG生成システム、CG都市構築システム、カート内部CG映像システム、カートコントロールシステムから構築される(図2)。

街CG生成システム、および車CGシステムは、それぞれPCとWebカメラから構築される。そして、どちらのシステムもCG都市構築システムにネットワークで接続されており、それぞれ生成した街や車のCGモデルデータをCG都市構築システムに送信する。そして、CG都市構築システムは受け取ったデータを用いて三次元CG都市を構築する。

カート内部CG映像システムはCG都市構築システムとネットワークで接続されており、CG都市構築システムから三次元CG都市のデータを取得してカート内部のCG映像をリアルタイムで生成する。また、カート内部CG映像システムはカートコントロールシステムともネットワークで接続されており、カートの移動速度情報を常時取得している。そして、カートの移動速度情報に基づいて、三次元CG都市内の仮想カートを移動させる。

使用するカートは、ソニーとヤマハが共同で開発したソーシャルカートSC-1である(図3)。SC-1は全長3.14m、全幅1.31m、全高1.83mで、乗車定員は5名である。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、車外の前後左右の側面には55インチの4Kディスプレイが埋め込まれている。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。「らくがきクルーズ」では内部ディスプレイを利用しており、運転は誘導線によって行う。



図3 ソーシャルカートSC-1

4. お絵描きからの三次元CGモデルの生成

4.1 街CG生成システム

4.1.1 「不思議なスケッチブック拡張版」について

街CG生成システムでは、紙にカラーペンで描いた街の絵をWebカメラで撮影することで、三次元CGの街を自動的に生成する。実装手法は筆者らが開発した「不思議なスケッチブック拡張版」[9]に基づいており、生成したCGの街の中を走り回ることを考慮したCGモデルの三次元拡張などを行っている。

「不思議なスケッチブック拡張版」の手法の概要を以下に述べる。三次元CGモデルの生成は、紙にカラーペンで描いた絵をWebカメラで撮影して、その画像を解析することで行う。初めに、適応型しきい値処理などを用いて絵の中から描かれたオブジェクト領域を抽出して背景から切り離す。そして、各オブジェクト領域ごとに二次元格子で構成されたモデルに領域内画像を貼り付けることで、オブジェクトの二次元CGモデルを生成する。そして、絵の中での各オブジェクトの位置に基づいて、対応する各二次元CGモデルを三次元CG空間中に配置することで、絵の三次元CG化を行う。

4.1.2 街CG生成システムのための改良

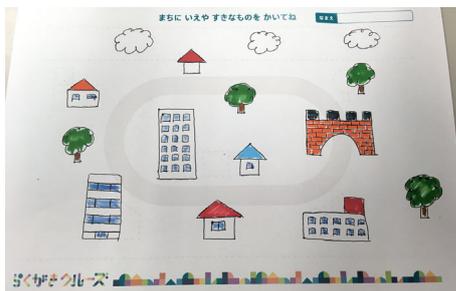
「不思議なスケッチブック拡張版」をそのまま用いて三次元CGの街を生成した場合、建物や樹木などのCGモデルは三次元的に配置されるが、各モデルは二次元であるため、まるで演劇の書き割りのようなシーンが構築される。「らくがきクルーズ」では生成された三次元CGの街の中を動き回るため、構成要素が二次元モデルのままでは十分な没入感が得られない可能性がある。

そこで、本研究では「不思議なスケッチブック拡張版」で生成される各オブジェクトのCGモデルを三次元化する改良を行った。まず、二次元CGモデルを生成するまでは従来手法と同じである。次に、各オブジェクト領域に対してDouglas-Peucker法[10]を適用して、領域輪郭の多角形近似を行う。そして、得られた多角形を用いて多角柱を生成する。このとき、多角柱の色は頂点ごとに対応するオブジェクト領域の色に基づいて決定して、高さはしきい値を超えない範囲でオブジェクト領域の幅に比例させる。最後

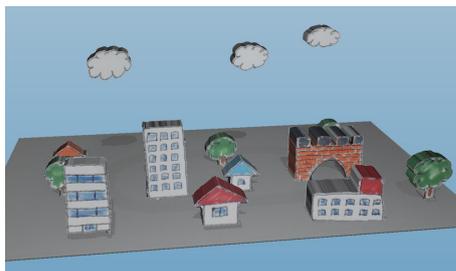


(a) 家 (b) 樹木 (c) 橋

図 4 お絵描きからの三次元 CG モデルの生成



(a) 街のお絵描き



(b) 街の三次元 CG モデル

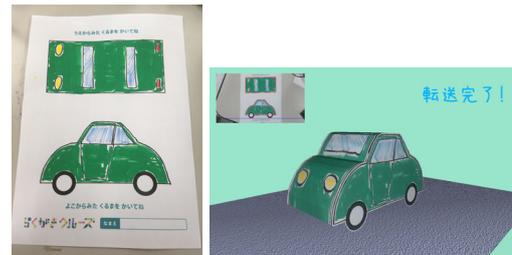
図 5 お絵描きからの街の三次元 CG モデルの生成

に、多角柱の両底面に二次元 CG モデルを貼り付けることで、全ての面がオブジェクトの色に基づいて彩色された三次元 CG モデルが生成される。図 4 にお絵描きから生成された建物や樹木の三次元 CG モデルの例を示す。

生成される各オブジェクトの CG モデルのデータは、オブジェクト領域画像、二次元格子データ、多角柱用頂点データ、配置座標で構成されており、これらの集合によって 1 枚の絵から生成される街の三次元 CG モデルが生成される (図 5)。

4.2 車 CG 生成システム

車 CG 生成システムは、筆者が開発した「Toyota City Creation」と「お絵描き i-Can」で用いた手法 [4] をほぼそのまま適用している。「Toyota City Creation」は紙にカラーペンで描いた車の側面と上面の絵を Web カメラで撮影すると、撮影画像を解析して車の三次元 CG モデルを自



(a) セダンの三次元 CG モデルの生成



(b) ワゴンの三次元 CG モデルの生成

図 6 お絵描きからの車の三次元 CG モデルの生成

動的に生成する。詳細の説明は参考文献 [4] に譲るが、領域抽出、領域輪郭の多角形近似と多角柱化に基づいており、前節で述べた不思議なスケッチブックの改良と同様の手法を用いている。「お絵描き i-Can」は電車の側面と前面の絵を描くことで電車の三次元モデルを生成するもので、三次元 CG モデルの生成手法は「Toyota City Creation」とほぼ同じである。

本研究では、「Toyota City Creation」と「お絵描き i-Can」を融合した手法を用いている。「Toyota City Creation」では、紙の上側と下側にそれぞれ車の上面と側面の絵を描き、「お絵描き i-Can」では紙の左側と右側にそれぞれ電車の前面と側面の絵を描くことになっている。今回は、領域の位置関係を解析することで、どちらの方法で描いたのかを自動的に判別して、それぞれの描き方に適した三次元 CG モデル化手法を適用している。なお、「らくがきクルーズ」では電車は登場しないが、バスやミニバンなどの車種は前面の見た目が重要なため、上面ではなく前面を描いてもらうことにしている。図 6 にお絵描きから生成された車の三次元 CG モデルの例を示す。

なお、車の三次元 CG モデルは、側面画像、上面/前面画像、二次元格子データ、多角柱用頂点データで構成されている。

4.3 CG 都市構築システム

CG 都市構築システムは、街 CG 生成システムで生成した街の三次元 CG モデルデータ、および車 CG 生成システムで生成した車の三次元 CG モデルデータをネットワークで受信して蓄積することで、CG 都市の三次元モデルを構築する。

CG 都市構築システムは、受信した街の三次元 CG モデルを三次元 CG 空間に順に並べていくことで、より広大な都市の三次元 CG モデルを生成する。都市の三次元 CG モ



図 7 構築された三次元 CG 都市

デル内にはあらかじめ道路を表す複数の経路情報が座標リストの形式で用意されている。そして、受信した車の三次元 CG モデルに対して、順次走行する道路と初期座標を割り当てることで、車の三次元 CG モデルは割り当てられた道路を自動的に走り始める。図 7 に 8 つの街から生成された都市の三次元 CG モデルの例を示す。

なお、実際にカートが走行するルートに合わせて、都市の三次元 CG モデル内で仮想的なカートが走行する道路を示す座標リストと、初期座標および方向をあらかじめ設定している。

5. カートによる三次元 CG 都市内の観察と移動

5.1 カート内部 CG 映像システム

カート内部 CG 映像システムは、CG 都市構築システムから CG 都市の三次元 CG モデルデータを取得して、リアルタイム三次元 CG 映像を生成して表示する。

カート内に設置されたディスプレイの映像生成のため、三次元 CG 都市モデルに設定されている走行ルートと視点位置、視線座標に基づいて、仮想的なカートを配置する。そして、仮想的なカートから眺めた三次元 CG 都市モデル CG 映像を生成する。このとき、実際のカートでの体験者の着座位置とディスプレイサイズに基づいて画角を適切に設定する。

このように生成した CG 映像を、カート内のディスプレイに表示してカート内から観察すると、カートが実際に三次元 CG 都市内にあって、その中から三次元 CG 都市を観察しているように感じさせることができる。図 8 にカート内のディスプレイ越しに三次元 CG 都市を観察した様子を示す。

5.2 カートの移動情報の取得と適用

カート内部 CG 映像システムは、カートコントロールシステムからネットワーク経由でカートの速度情報を逐次取得している。取得した速度情報は、しきい値によって走行



図 8 カート内ディスプレイから見える三次元 CG 都市

状態と停止状態に二値化する。

「らくがきクルーズ」では、カートは誘導線に沿って自動的に走行しており、走行ルートと走行時間、そして停止位置は常に一定である。速度もほぼ一定である。そのため、カートの移動状態の時間から、ほぼ正確にカートの位置が計算でき、向きも定まる。

三次元 CG 都市内の仮想カートの走行ルートは実際のカートの走行ルートにそのまま対応している。そのため、カートが走行状態のとき、仮想的カートも走行ルート上で一定速度で移動させれば、仮想的カートの位置と向きは実際のカートと同期する。

なお、カートの走行状態と停止状態を識別するしきい値、および三次元 CG 都市内の走行ルート上の速度は実験的に決定している。

6. コンテンツの実装とイベント展示

6.1 実装

イベント用に、本研究で提案、開発した「らくがきクルーズ」を実際に実装した。

街 CG 生成システムと車 CG 生成システムでは MacBookPro 15 インチ (2.9GHz Core i9) を用いており, CG 都市構築システムとカート内部 CG 映像システムでは Mac Mini (3.2GHz Core i7) を用いている. 街 CG 生成システムと車 CG 生成システムには, Full HD の Web カメラが接続されている. カートコントロールシステムは Windows PC である.

イベントでは, カートに乗らなくても三次元 CG 都市が俯瞰的に眺められるように, 外部に設置した連結ディスプレイに映像を提示するシステムも構築した. このシステムはカート内部 CG 映像システムとほとんど同じものである.

ソフトウェア実装は C++で行った. 三次元 CG 映像の生成は OpenGL を用いている. また, 画像解析のために OpenCV, サウンド生成のために OpenAL を用いている. 街 CG 生成システムおよび車 CG 生成システムと CG 都市構築システムは有線ネットワークで接続されており, OSX 標準のファイル共有によってデータの送受信を行っている. また, CG 都市構築システムとカート内部 CG 映像システムは無線ネットワークで接続されており, OSX 標準のファイル共有によってデータの送受信を行っている. カート内部 CG 映像システムはカートコントロールシステムとも無線ネットワークで接続されており, MQTT でカートの速度情報を取得している.

CG 都市構築システムでは, 中心の街と正 7 角形状の並んだ周囲の 7 つの街, 合わせて最大 8 つの街 CG モデルが配置されて三次元 CG 都市を構築する. 最新の街は中心に配置され, それ以外の街は周囲に配置される. そして, 9 個以上の街 CG モデルが与えられた場合には, 最も古い街が削除されていく. また, 最大で 70 台の車の CG モデルが同時走行可能であり, それを超えた場合には古い車 CG モデルから削除されていく.

イベントでは, 実際のカートは楕円に近いルートを走行した. そして, 仮想カートの走行ルートは, 最も新しく読み込んだ街 CG モデル内に設定することにした. そのため, 街 CG 生成システム用に台紙を用意して, カートが走行するルートを薄く示しておいた. 実際に使用した台紙を図 9 に示す. これにより, 仮想カートの走行ルート上に建物が配置されないようにしたり, 走行ルートを跨ぐ橋を作ったりすることが容易となった. そして, 台紙上に示された走行ルートを考慮して生成された街 CG モデルがそのまま三次元 CG 都市に配置されることを考慮して, 車 CG モデルが走行する道路を三次元 CG 都市内に設定した. 図 10 に設定した道路の様子を示す. なお, 用紙の上部領域に描いたオブジェクトは空中に浮かぶようにした. これにより, 雲, 鳥, 飛行機を用紙の上部に描くことでそれらを空間中に浮かべることが可能となっている.

車のお絵描きについては, 参加者の多くが子供であることを考慮して, 側面を描く描く領域にはタイヤ, 上面や前

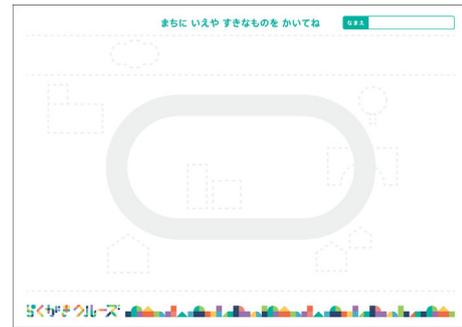


図 9 街のお絵描き用の台紙

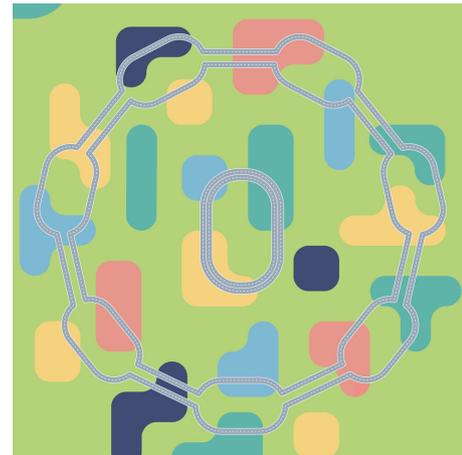


図 10 三次元 CG 都市に設置した道路

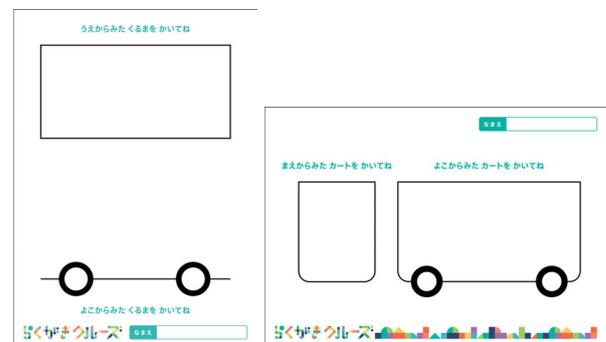


図 11 車のお絵描き用の台紙

面を描く領域には長方形をあらかじめ描いた台紙を用意した. これらの部分はどのような形の車であっても形状は変化しないため, 体験者による自由な形の車の創作にはあまり影響しないと思われる. また, SC-1 をモチーフにした台紙も用意した. 図 11 に使用した台紙を示す.

6.2 実験

お絵描きで生成した街の三次元 CG モデルと車の三次元 CG モデルによって構築された三次元 CG 都市内をカートに乗って走行する実験を行った.

カート前面のディスプレイに自分で描いた絵から生成された三次元 CG 都市が表示されている状況は不思議な感覚であった. そして, カートが動き始めると同時にディスプ



図 12 イオンモール沖縄ライカムでのイベントの様子

レイに表示された CG 映像も動き始めると、実際に三次元 CG 都市内を移動しているような錯覚が得られた。カートの速度は 2km/h 程度と非常に低速であるが、カーブでは遠心力も感じられるため、カートの動きに合わせて動く三次元 CG 映像との相乗効果で、三次元 CG 都市内への大きな没入感があった。

6.3 イベント展示

「らくがきクルーズ」は、2020 年 2 月 28 日から 4 月 12 日まで、沖縄県のイオンモール沖縄ライカム内のイベントスペースで有料コンテンツとして展示された。図 12 に展示の様子を示す。

体験者の大部分は幼稚園から小学生の子供とその親であった。街のお絵描きでは 15 分以上掛けて絵を描く体験者が大部分で、30 分以上絵を描き続けている体験者も少なくなかった。そして、描いた街の絵から街の三次元 CG モデルが生成されて、三次元 CG 都市を構築する 1 つの街として大画面に登場すると、親子で喜んでいる様子が見られた。

そして、カートに乗り込んで自分の絵から生成された三次元 CG 都市内を移動しながら観察しているときは、自分で描いた建物が見えてきたり自分で描いた車がすれ違ったりすると画面に指をさしながら喜び、自分で描いた橋の下をくぐると歓声を上げる様子が見られた。体験後の子供達に感想を聞く限り、ほぼ全ての子供がこの体験に大いに喜んでいる様子であった。そして、同伴した親からは、子供と一緒にこんな時間に時間を掛けてお絵描きを楽しんだことはなかったという感想も得られており、子供だけでなく親も満足できる体験であったと考えられる。

7. まとめ

本研究では、実際のカートに乗って、自分のお絵描きから生成した三次元 CG 都市内に没入して移動するような体験が可能な「らくがきクルーズ」の提案と開発を行った。本研究で提案したような体験を実現しているデジタルコンテンツはこれまでになく、イベント展示での体験者からも非常に好評であった。

今回のイベント展示ではカートの走行ルートが限られていたため、インタラクティブ性はあまり高いものではなかった。筆者らは LiDAR を使ってカートの位置をリアルタイムで取得して、その動きを映像にリアルタイムに適用するインタラクティブコンテンツの開発をすでに行っており、本研究と融合させることで、自分のお絵描きから生成した三次元 CG 空間に対して、より高いインタラクティブ性を持つ没入体験を実現したいと考えている。

謝辞

ソーシャルカート“SC-1”の提供やカートコントロールシステムの開発に協力していただいたソニー（株）に感謝致します。

参考文献

- [1] チームラボ, “お絵描き水族館”, https://futurepark.teamlab.art/playinstallations/sketch_aquarium/ (2013).
- [2] ワンダープラネット, “SKETCH RACING”, https://litpla.com/attraction/sketch_racing/ (2018).
- [3] 水野慎士, 内藤将司, 岡部紗千子, 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, “「お絵描きダンスステージ」の提案”, 情報処理学会インタラクシ

- ン 2015 論文集, C69, pp. 989–993 (2015).
- [4] S. Mizuno, “Digital Contents for Creating and Watching 3DCG of Vehicles Based on Drawing”, Proc. of IEVC 2019, 5A, 7pages (2019).
 - [5] カヌチャリゾート, “ムーンライトクルーズ”, <https://www.kanucha.jp/feature/stafan/event/moonlightcruise/> (2019).
 - [6] Master of Shapes, “VR GO KARTS”, <https://masterofshapes.com/work/vr-go-karts/> (2018).
 - [7] meleap, “HADO KART”, <https://meleap.com/hadokart/coinrush/jp/> (2018).
 - [8] Inigo Quilez, “Quill: VR drawing in the production of Oculus Story Studio’s new movie”, SIGGRAPH 2016, Real-Time Live! (2016).
 - [9] 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).
 - [10] D. H. Douglas, T. K. Peucker, “Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature”, The Canadian Cartographer 10, pp. 112–122 (1973).