情報処理学会論文誌　デジタルコンテンツ　Vol.3　No.1　10–19 (Feb. 2015)

推薦研究論文

子どもを意欲的にペーパークラフト作りへと導く3次元ゲームシステムの開発

鈴木 浩[1,a)]　佐藤 尚[1]　速水 治夫[1]

受付日 2014年7月15日, 採録日 2014年12月1日

概要：ペーパークラフトは，子どもにとって身近な創作活動である．ペーパークラフトを支援するシステムとして，3 次元オブジェクトから展開図を生成するシステムやディスプレイに表示された展開図に絵を描くことでオリジナルのペーパークラフト作品を制作できるシステムが開発されている．しかしながらこれらのシステムでは，コンピュータの操作に慣れていない子どもにとってコンピュータ操作の面で敷居が高く，簡単にオリジナルのペーパークラフト作品を作ることが難しい．また，こうしたシステムの多くが，制作支援をすることを目的としており，ペーパークラフトを使った創作活動に対する意欲を高めることを目的としていない．そこで本論文では，子どもたちを意欲的にペーパークラフト作りへと導くために，ペーパークラフトを利用した 3 次元ゲームシステムを提案する．本システムでは，ロボットになる紙の展開図にユーザがペンを使って絵や模様を描き，その絵や模様を 3 次元ゲームに登場するロボットのテクスチャとして利用する．3 次元ゲームでは，モーションセンサを使うことでユーザがデザインしたロボットを自らの身体を使って操作することができる．

キーワード：ペーパークラフト，3 次元ゲーム，kinect，Unity3D，ワークショップ

Development of 3D Game System That Attracts Children to Actively Participate in Paper Craft Activities

Hiroshi Suzuki[1,a)]　Hisashi Sato[1]　Haruo Hayami[1]

Received: July 15, 2014, Accepted: December 1, 2014

Abstract: Paper craft is a well-known and popular handicraft for children. A system that generates a paper craft template from 3DCG objects and another that constructs original paper craft models by drawing paper craft templates using a computer are developed to aid the creation of paper crafts. However, it is difficult for computer-illiterate users to construct original paper craft models with these systems. Further, these systems are not used to promote paper craft handiwork, but to construct a paper craft template more easily. In this paper, we developed a 3D game system that attracts children to actively participate in paper craft activities. This system uses the picture painted in the paper craft template as the texture of a robot in 3D video games. Further, in a 3D video game, users can operate their custom-designed robots using body movements, detected by motion sensors.

Keywords: paper craft, 3D video game, kinect, unity3D, workshop

1. はじめに

近年，コンピュータを利用したデジタルデザイン技術が発展し，ぬいぐるみやステンシルデザインといったハンドワークのデザインを支援するシステムの研究開発が行われている [1], [2]．それにともない，このようなシステムを利用した創作系のワークショップが大学や科学館などの教育的な施設で数多く実施され，子どもたちが先端技術に触れ合ながらものづくり体験ができる機会として重要視されている．ペーパークラフトは，こうした工作系ワークショップとして利用される手軽で身近なテーマの 1 つである．

1　神奈川工科大学情報学部
Faculty of Information Technology, Kanagawa Institute of Technology, Atsugi, Kanagawa 243–0291, Japan
a)　hsuzuki@ic.kanagawa-it.ac.jp

© 2015 Information Processing Society of Japan

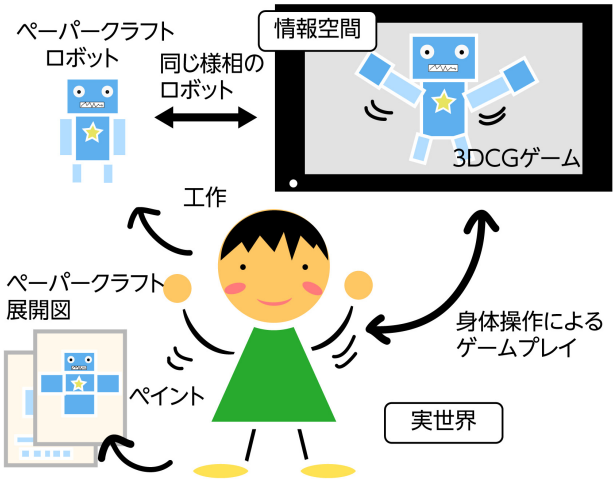

図 1　システムの概念図
Fig. 1　System overview.

ペーパークラフトは，平面の紙から立体オブジェクトとして組み上げる基となる展開図が重要な要素である．そのため，3 次元モデルからペーパークラフトの展開図を生成できるシステム [3], [4] や，ポップアップカードを制作できるシステム [5], [6] など，展開図の作成を支援するシステムが開発されている．しかしながら，上記のシステムは，マウスとキーボードといった，従来のインタフェースを利用することが一般的である．そのため，マウスやキーボードの操作に不慣れな子ども（特に未就学児）が積極的に参加できる創作環境とはいいがたい．また，自由な展開図の作成が可能であったとしてもペーパークラフトに対する興味のない子どもを自発的に創作活動に向かわせることは難しい．

一方で，子どものコンピュータの操作スキルや創作意欲を気にすることなく手軽に創作活動ができるシステムとして，お絵かきを支援するシステムが数多く開発されている．このようなシステムでは，スケッチブックに描いた絵をストップモーションアニメーションにするシステム [7] や描いた自動車の絵をレースアニメーションに利用するシステム [8]，描いた絵の形や色を認識して 3 次元モデルで拡張するシステム [9] などが登場している．これらのシステムは，単純に紙にペンで絵を描くというアナログなインタラクションに情報技術を融合させることで，誰もがお絵かきが楽しめる創作環境を提供している．加えて，コンピュータを利用した演出や，しかけによって，絵を描くことへの動機や創作意欲を刺激することを試みている．

そこで，本論文では，コンピュータの操作に不慣れな子どもや，ペーパークラフト作りに興味を持っていない子どもを意欲的にペーパークラフト作りへと導くシステムとして，ペーパークラフトと 3 次元ゲームを組み合わせた「シャドウロボシステム」[10] を提案する．シャドウロボシステムの概念図を**図 1** に示す．

本システムは，対象年齢を 3 歳〜12 歳までの子どもとして定めている．システムの流れは次のとおりである．はじめに，ペーパークラフトのロボットとなる紙媒体の展開図に自由に絵を描き，オリジナルのロボットをデザインする．次に，絵を描いた展開図をスキャナでデジタル画像として変換し，その画像を 3 次元ゲームに登場するロボットのテクスチャとして利用する．3 次元ゲームでは，モーションセンサを利用して子どものモーションデータを取得し，身体動作を利用してロボットを操作する．最後に展開図を組み上げることで紙のペーパークラフトを作成する．

2.　関連研究

著者らは，子どもにペーパークラフト作りをさせるためには，まず「作る」という行為そのものに向かわせることが最も重要であると考えている．本システムでは，アナログなインタラクションによる創作活動と身体操作による 3 次元ゲームとを融合させることで，システムを体験することの窓口を広げ，子どもたちを積極的にペーパークラフト作りに参加させることをねらいとした．以下に，アナログなインタラクションによる創作活動を提供することの利点と，3 次元ゲームを利用することの効果について関連研究を交えながら述べる．

2.1　誰もが体験できるインタラクション

GUI 上でペーパークラフトの展開図に色を塗り，オリジナルのペーパークラフトを作成できるシステムは，これまでにも開発されている前記の文献 [3], [4] のほかにも，タッチパネルによる操作を可能としている文献 [11], [12] などがある．これらのシステムでは，子どもがシステムの使い方を学習する必要があるだけでなく，マウスやタッチ操作でペンや筆と同じ感覚で絵を描くには，ある程度の訓練や慣れが必要となる．また，こうしたシステムの多くは，子ども 1 人に対して 1 台のコンピュータの利用を前提としているため，十分なコンピュータを確保できない場合は，同時に多数の子どもが創作活動をすることがでない．こうした制約は，ワークショップなどのイベントを実施した場合に年齢制限や定員などを設ける原因となっている．

一方，本システムでは，紙媒体の展開図に絵を描くことがシステム体験の入口となっている．絵を描くという行為は，学習や訓練をする必要がなく，文化や世代を越えて誰にでも体験することができる．また，展開図とペンさえあれば，手軽に創作活動にとりかかることができるため，絵を描くことができるスペースさえあれば，多数の子どもに対しても同時に創作環境を提供することができる．

さらに，本ステムに導入した 3 次元ゲームでは，ゲームパッドを使った操作ではなく，身体動作による直感的な操作を可能としている．このため，ゲームの操作に関する説明や訓練をあまりしなくてもゲームを楽しむことができる．以上のように，提案システムは，体験にあたってコン

© 2015 Information Processing Society of Japan

ピュータ操作のスキルを問わないため，コンピュータの操作に不慣れな子どもでも手軽に体験することが可能である．また，参加人数に応じて複数台のコンピュータやディスプレイが必要となるが，順番にゲームをプレイすることで定員制限なくシステムを体験させることができる．

2.2　3 次元ゲームによる創作意欲の刺激

実世界における創作活動では，子どもが作り上げた作品を情報技術で演出することで，子どもの創作意欲を刺激するシステムが数多く開発されている．紙媒体へのお絵かきを 3 次元モデルのテクスチャとして利用するシステム [13], [14] や，お絵かきの色や形をパラメータとして扱い，パブリックビューイングにアニメーションとして表示するシステム [8], [15]．さらに，こうしたアニメーションにインタラクティブ性を加えたシステム [9], [16] も見られる．これらのシステムは，情報技術を使った表現で子どものお絵かきを拡張するという点で本システムとの関連が深いが，どれもペーパークラフト作りを対象としておらず，本格的なゲームの要素を含んでいない．ユーザが自作したキャラクタをゲームに登場させる手法は，従来からゲームへの感情移入を高めるために利用されているが，ペーパークラフト作りと身体操作によるゲーム体験とを組み合わせたものは，これまで見当たらない．

近年では，ゲームの要素を社会的な活動やサービスに導入することで，意欲を高め，活動を持続させることを目的としたゲーミフィケーション [17] が広く認知されている．また，従来からゲームを教育に導入することで，学習活動への意欲の向上や複雑な概念の理解などに効果があることが報告されている [18]．このようにゲームの要素を他の活動に導入することで，対象とする活動に対する意欲を向上させる試みはこれまで様々な分野で実施されている．本システムでは，ゲームの魅力をペーパークラフト作りに利用するため，子どもがデザインしたロボットを 3 次元ゲームに登場させ，身体操作による 3 次元ゲームを可能とすることで，作品への感情移入やペーパークラフト作りへの創作意欲を刺激することをねらいとした．

3.　本システムの要件

著者らが，ペーパークラフトに 3 次元ゲームを加えるにあたって最も考慮した点が，実世界での創作活動であるペーパークラフトと情報空間で展開される 3 次元ゲーム，そしてユーザのゲーム体験をシームレスにつなげることであった．なぜなら，実世界でユーザ自身がデザインし，制作したロボット（作品）とゲームに登場する 3 次元モデルで表現されたロボットが，同じものであると感じられない場合や，ロボットを自分の身体操作で動かしていると感じられない場合は，それぞれの活動につながりがなくなり，別個の活動として分断されてしまうからである．このような場合では，ペーパークラフトを利用した創作活動と 3 次元ゲームとの間に違和感が生じ，ペーパークラフトに 3 次元ゲームを導入する意味がなくなるだけでなく，創作活動や 3 次元ゲームに対する意欲まで損なう可能性がある．反対に，うまくそれぞれの活動をつなげることができれば，コンピュータを利用したこれまでにない創作活動を提供できると考えた．

また，本システムを体験することを通じて制作するペーパークラフトロボットの展開図は，何度も作りたいと思うような魅力を持ちつつも，誰もが作ることができるような手軽で分かりやすい形態である必要がある．

以下本論文では，開発したシャドウロボシステムの概要と実現方法を述べるとともに，効果検証として実施した子ども向けのワークショップ「たたかえ!! ぼくらのシャドウロボ」について報告し，本システムの有効性について考察する．

4.　シャドウロボシステムの概要

4.1　シャドウロボシステムの構成

本システムは，ユーザがペーパークラフトの展開図に独自のロボットをデザインし，そのロボットを自らの影のように身体動作で操ることが可能であるため，「シャドウロボシステム」と名付けている．シャドウロボシステムは，ユーザがペイントする展開図であるロボペーパー，展開図の画像を保存するテクスチャサーバ，3 次元ゲームを実行するクライアントから構成されている．サーバとクライアントの接続には，無線ルータを利用して独自のネットワークを作ることで，複数台のクライアントを使った構成も可能となっている．本システムの構成を図 **2** に示す．

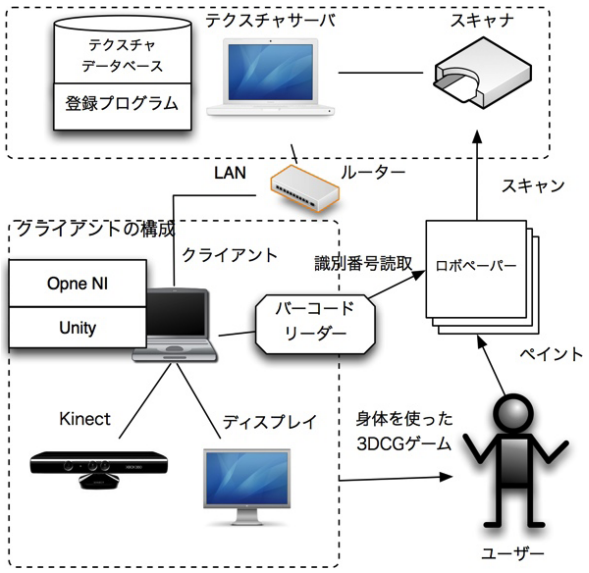

図 **2**　シャドウロボシステムの構成
Fig. 2　Diagram of shadow robot system.

© 2015 Information Processing Society of Japan

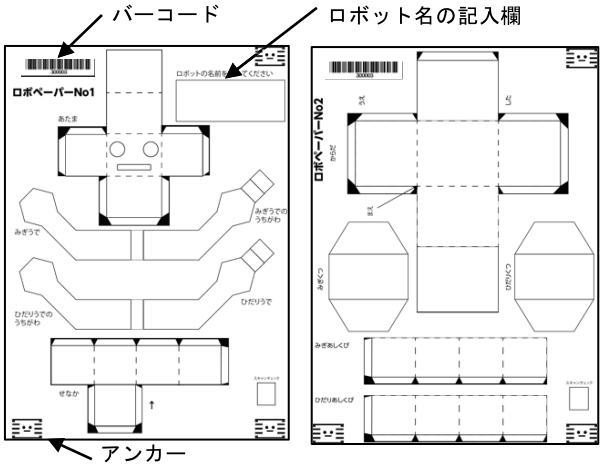

図 3　ロボペーパー
Fig. 3　Image of the robot-paper.

4.2　ロボペーパー

ロボペーパーは，ペーパークラフトロボットの展開図とバーコードが印刷されたクラフト紙である．ロボペーパーを図 3 に示す．頭部や胴体，腕などロボットのパーツの展開図が白紙の状態で A4 用紙 2 枚にわたって印刷されている．この展開図の部分をハサミで切り取って組み上げることで，紙のペーパークラフトロボットになる．誰もが簡単に作れる工夫として，ロボットの展開図には曲線を入れることを避け，直線的で比較的単純な形としてデザインした．

各ロボペーパーを識別するためにロボペーパーの左上部には，重複のない識別番号のバーコードが印刷されている．この識別番号により各ロボペーパーとスキャナで取り込んだ後の画像データとの関連づけができる．また，ロボペーパーの左上以外の角には，アンカが印刷されている．このアンカは，ペイントされた展開図を 3 次元ゲームに登場するロボットのテクスチャとして利用するための前処理に必要となる．

自作するロボットに対して感情移入をさせるために 1 枚目には，デザインするロボットの名前を記入する欄を設けている．本システムでは，このロボット名の部分を画像として取り込み 3 次元ゲームが開始されるときのタイトル画面に利用している．

4.3　テクスチャサーバ

4.3.1　テクスチャサーバの概要

テクスチャサーバには，ロボペーパーをデータ化するスキャナが接続されている．このスキャナで取り込んだロボペーパーの画像ファイルは 3 次元ゲームで利用できるようにテクスチャデータベースによって管理されている．本システムでは，紙媒体のロボペーパーと 3 次元 CG で利用するテクスチャ画像とを関連づけるために 2 つの前処理を必要とする．1 つ目がロボペーパーに記載されているバーコード No を認識すること，2 つ目がゲーム上でのロボットモデルにロボペーパーの画像をずれることなくマッピングできる画像へと変更することである．それぞれの前処理は，テクスチャサーバにインストールされている登録プログラムで処理している．

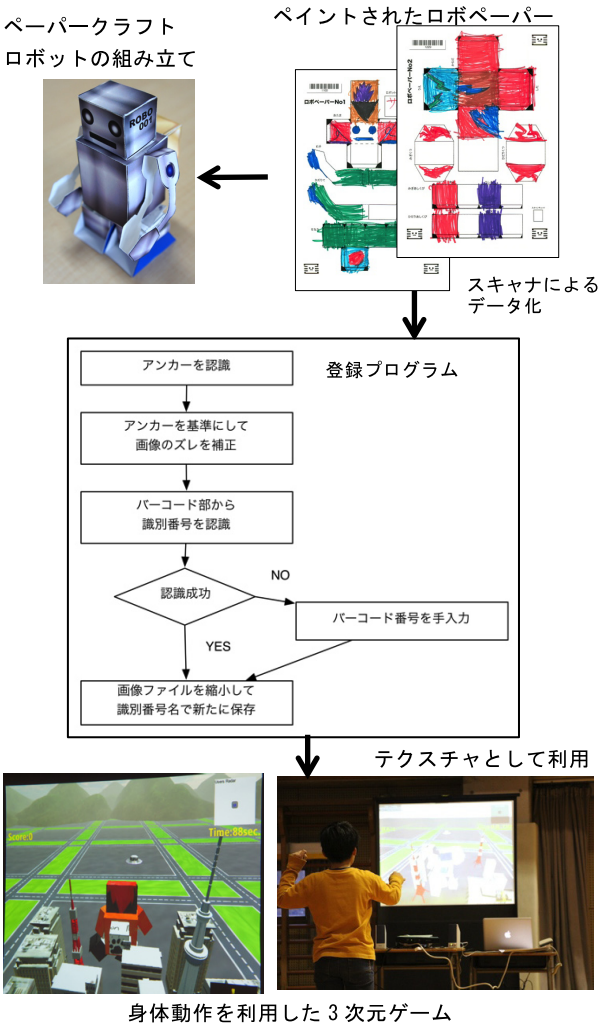

図 4　シャドウロボシステムの処理手順
Fig. 4　The Process of shadow robots system.

4.3.2　登録プログラム

ゲームに登場するロボットモデルにテクスチャをマッピングするためには，UV 展開の座標値に合った画像ファイルが必要である．しかしながら，毎回違った紙媒体を取り込むスキャナでは，読み取り時に各紙媒体によって座標のズレが生じ，スキャナから取り込んだ画像をそのままゲームに利用すると，適正にテクスチャマッピングされていないロボットモデルとなってしまう．

登録プログラムは，このスキャナによって生じる画像のズレを補正し，適正なテクスチャへと変換するとともに，画像に記されているバーコードを認識し，バーコードに記された認識番号を取得する．登録プログラムを含めた本システムの処理手順を図 4 に示す．

スキャナによって取り込まれたロボペーパーの画像デー

© 2015 Information Processing Society of Japan

タは，指定されたフォルダ内にタイムスタンプによるファイル名で自動作成される．登録プログラムでは，はじめに，指定されたフォルダ内に新たに作成された画像ファイルを検出する．次に検出した画像データの中からバーコードや展開図を取得するための基準点となるアンカを認識する．さらに，このアンカに基づいてバーコード部や展開図を検出し，バーコード部からは，識別番号を取得する．バーコードの番号取得には，識別取得ライブラリである ZBar を利用している．最後に，アンカを基準として画像のズレを補正した PNG ファイルを生成し識別番号のファイル名で処理後のフォルダに保存する．

ロボペーパーに記されているアンカやバーコード部は，ユーザがロボペーパーにペイントする際に誤って不明瞭にしてしまうことが考えられた．アンカへの対応としては，アンカをロボペーパーの右上，右下，左下の 3 つ部分に配置し，スキャン後に最も明瞭なアンカを基準とすることとした．

バーコードへの対応としては，スキャン後に登録プログラムが，バーコードの番号を正常に検出できなかった場合に，バーコードの番号を目視によりキーボード入力ができるようにした．

識別した番号とテクスチャ用に生成した画像ファイルは，生成時間と識別番号，ファイルの URL とともにテクスチャデータベースへと格納する．こうすることで，バーコードの識別番号を検索キーにして，各ロボペーパーのテクスチャを利用できる．

4.4　クライアント

4.4.1　クライアントの構成

クライアントは，ロボペーパーに対応した 3 次元ゲームを実行する役割がある．各クライアントには，身体動作を利用したゲームができるように，モーションセンサとゲームプログラム，そして，バーコードリーダがそれぞれ設置およびインストールされている．また，各クライアントは，ネットワークルータを介してテクスチャサーバと接続し，スキャナによって取り込まれたロボットのテクスチャデータを共有できるようになっている．

4.4.2　3 次元ゲームの概要

3 次元ゲームには，あらかじめシナリオが設定されている．これは，ユーザがオリジナルのロボットをデザインすることや，オリジナルロボットをデザインした後に違和感なく，身体動作を使った 3 次元ゲームを体験できるようにするためである．

シナリオは，自分たちの住んでいる街を次々と破壊していく敵から自分の街を守るために戦うロボットをデザインすること，そして，作り上げたロボットを身体動作で操作することで敵を撃退し，街に平和を取り戻すことを目的としたものである．

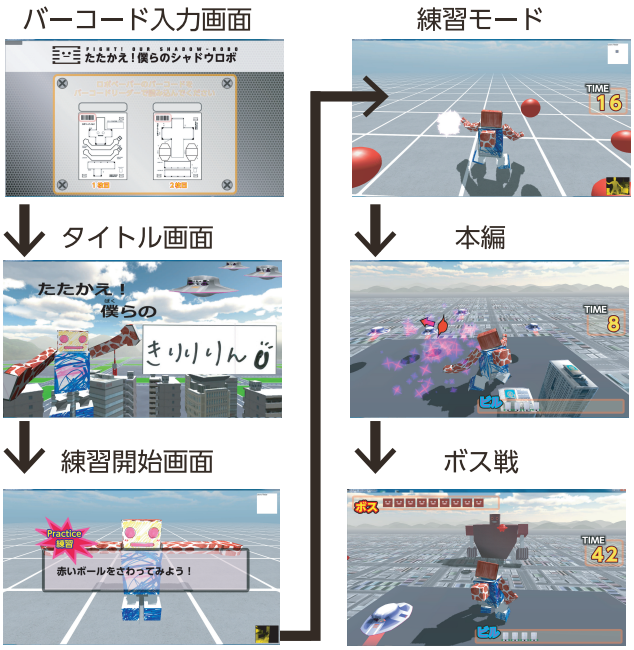

図 5　3 次元ゲームの流れ
Fig. 5　The flow of 3DCG game.

本ゲームの開発環境には，ゲーム開発の容易さや，開発したゲームアプリケーションの配布の利便性を考慮し，Unity テクノロジー社のゲームエンジンである Unity3D を利用した．また，本ゲームで利用するプレイヤの身体動作の認識には，Microsoft 社の Kinect を使用した．Unity3D と Kinect との間のモーションデータのプロトコルには，Unity 準拠の OpenNI ライブラリである ZDK 利用し，Unity3D 上に展開されるロボットの 3 次元モデルのボーンに Kinect からのモーションデータをあてはめた．

4.4.3　3 次元ゲームの流れ

図 5 に本ゲームの流れを示す．本ゲームでは，まず，バーコード入力画面でバーコードリーダを利用してロボペーパーのバーコードから識別番号を読み取り，テクスチャデータベースから識別番号に対応したテクスチャを呼び出す．次に，スキャナで取り込んだ展開図をマッピングした 3 次元モデルのロボットとロボット名が表示されたタイトル画面が表示される．

タイトル画面が表示された後に，練習モードが始まる．この練習モードは，画面上に浮遊する 5 つの球体を触ることで身体を使ったゲーム感覚を得るためのイントロダクションとなっている．

ゲームの本編では，画面上に表示されている建物を破壊しようとする敵キャラクタが次々と登場するので，オリジナルロボットを操作して建物の破壊を阻止する．90 秒間ですべての建物が壊されなければ，ステージにボスが登場し，30 秒以内にボスを倒すとゲームクリアとなる．

© 2015 Information Processing Society of Japan

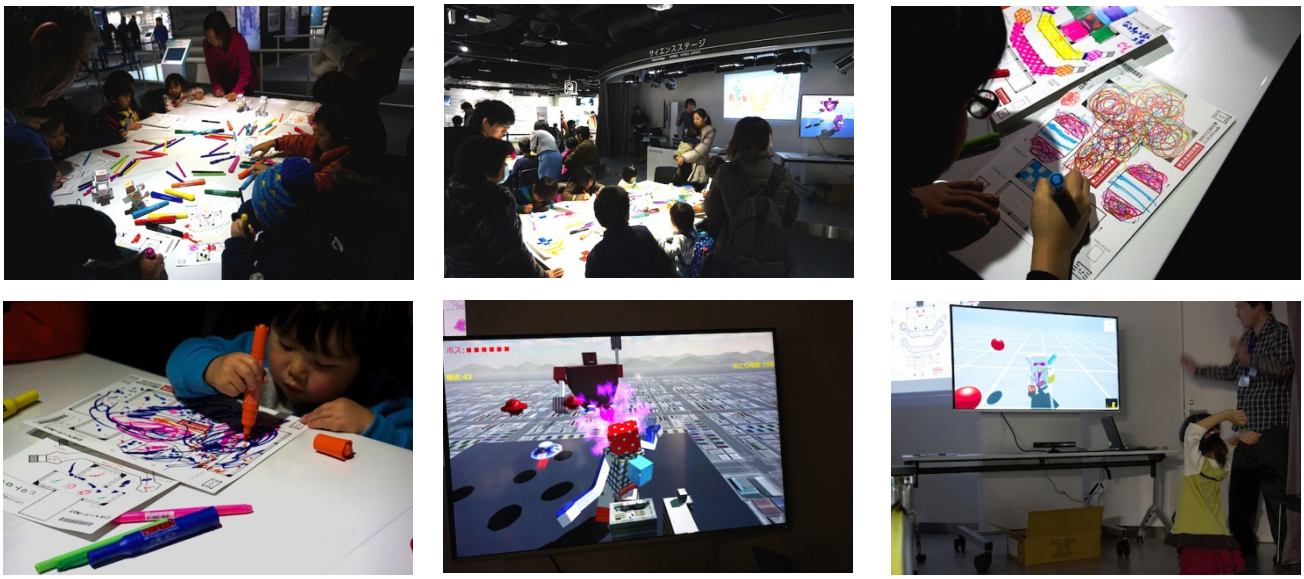

図 6　ワークショップ「たたかえ!! 僕らのシャドウロボ」の様子
Fig. 6　Image of “Fight! Our Shadow Robot” Workshop.

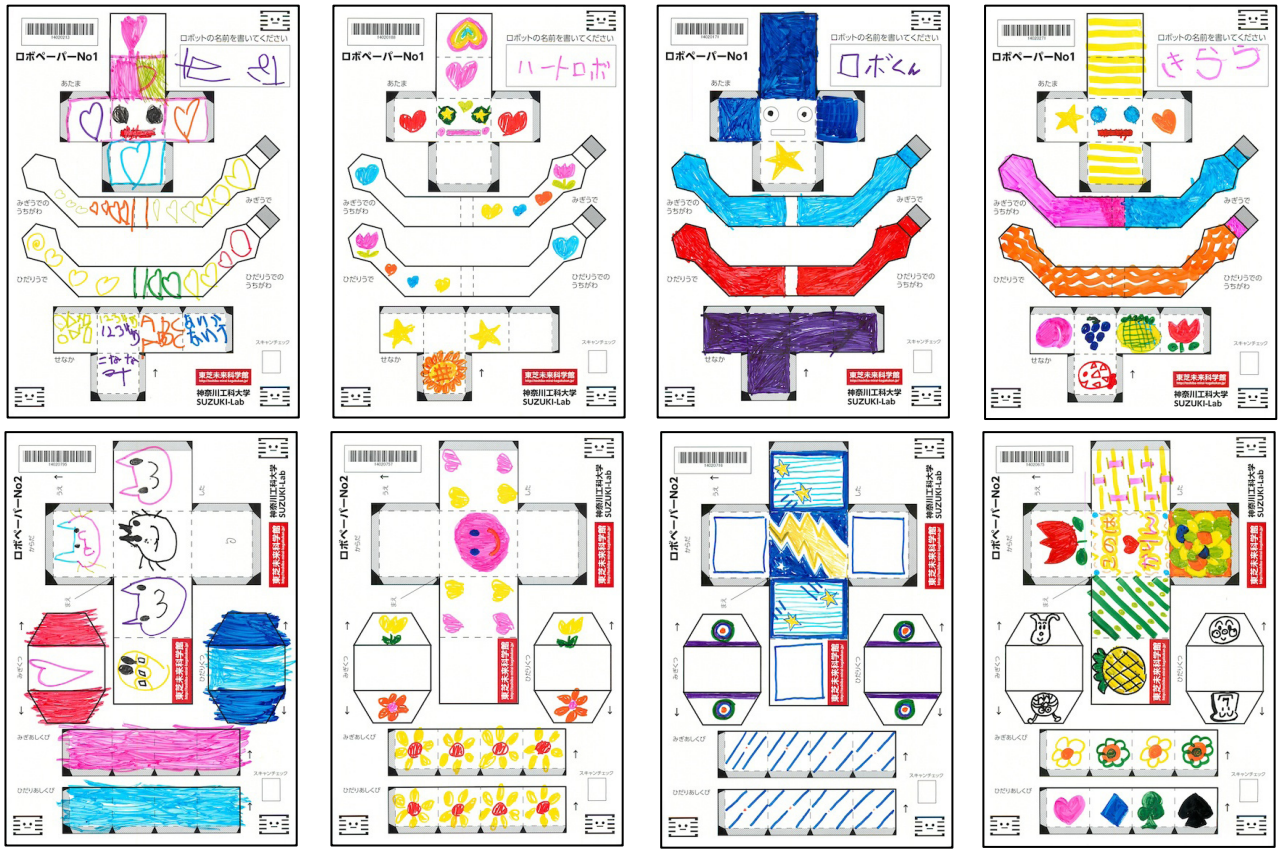

図 7　子どもたちがデザインしたオリジナルロボットの作品例
Fig. 7　The Works of the original robots that has been painted by children.

5.　ワークショップの実施と評価

本システムを利用したワークショップをこれまでに様々な教育的な施設で実施してきた．本論文では，H26 年 2 月 1 日と 2 日に川崎市にある東芝未来科学館で開催された「東芝未来科学館オープニングイベント」で実施した工作系ワークショップ「たたかえ!! 僕らのシャドウロボ」を取り上げ，本システムの効果について検討する．

図 6 に実施したワークショップの様子を示す．また，図 7 に子どもたちがデザインした作品例を示す．

© 2015 Information Processing Society of Japan

表 1　ワークショップ後に調査したアンケート項目
Table 1　Questionnaire items.

Q1	たたかえ!!僕らのシャドウロボは楽しかったですか？	(5)楽しかった	(1)つまらなかった
Q2	自分がつくったロボットがゲームに登場していると感じることができましたか？	(5)感じた	(1)感じなかった
Q3	自分がつくったロボットをからだでうごかしていると感じることができましたか？	(5)感じた	(1)感じなかった
Q4	自分がつくったロボットに満足していますか？	(5)満足	(1)不満
Q5	時間があればまたロボットをつくりたいですか？	(5)つくりたい	(1)つくりたくない
Q6	家に帰ってからロボットをつくりますか？	(5)つくりたい	(1)つくりたくない
Q7	たたかえ!!僕らのシャドウロボを体験して楽しいと思ったことは何ですか？ 下の楽しかったことの中から1位～3位までを選んで[ ]に書いてください.		
7-A	自分で好きなようにロボットに絵をかけること		
7-B	友達と一緒にロボットがつくれること		
7-C	自分で描いたロボットがゲームに登場すること		
7-D	からだでロボットをうごかせること		
7-E	ともだちのロボットをたくさん見られること		
7-F	自分で描いたロボットを紙でつくれること		
7-G	その他		

5.1　ワークショップの様子

オープニングイベントでのワークショップでは，なるべく多くの子どもたちに本システムを体験してほしいという科学館側の要望から，お絵かきができるテーブルを 24 席設け，開いているテーブルがあれば，順次座っていく自由形式のワークショップとして実施した．また，ロボペーパーへのお絵かきと 3 次元ゲームの体験までをイベント会場で実施し，ロボットの組み立ては自宅で行ってもらうこととした．3 次元ゲームによる体験ができるクライアントは 2 台準備し，お絵かきが終わった子どもから順番に 3 次元ゲームを体験してもらった．

ワークショップが開始されると，すぐに 24 席あったお絵かき用の机が埋まり，その後イベント終了まで席が空くことなく，つねに盛況な状態であった．

描き上げたロボペーパーをスキャナにより読み取り，自分がデザインしたロボットがゲームに登場したときは，デザインした子どもだけではなく，その場で画面を見ている参加者からも笑顔が溢れていた．またロボットを操作する子どもたちは，非常に楽しそうに身体動作によるゲームを体験していた．イベント 2 日目には，1 日目で体験した子どもが自宅でペーパークラフトのロボットを作成し，会場に組み立てたロボットを持ち込んで再び体験するというリピータを何人も見ることができた．

東芝未来科学館の館員からは，本システムは，ロボットとお絵かき，ペーパークラフト，そして，ゲームという子どもたちが好きなものが融合しており，ものづくりのきっかけとして，非常に有効であるという意見をいただいた．さらに，ペーパークラフトという物理的な作品が残せるので，体験の思い出を自宅に持ち帰ることができることがすばらしいという意見もいただいた．

5.2　アンケート調査

本ワークショップの体験者に，アンケートによる調査を実施した．**表 1** に実施したアンケートの内容を示す．アンケートの Q1 から Q6 までの設問には 5 件法による調査を実施し，Q7 に関しては，ワークショップの中でどのような活動が楽しかったのかを明らかにするために，自分が楽しいと感じた活動に順位付けをしてもらい，1 位を 3 点，2 位を 2 点，3 位を 1 点として集計結果をスコア化した．

表 2　体験者の内訳
Table 2　Detail of participants.

年齢	男子	女子	計
3歳	10	3	13
4歳	21	17	38
5歳	13	11	24
6歳	16	13	29
7歳	22	5	27
8歳	20	6	26
9歳	17	16	33
10歳	20	6	26
11歳	6	2	8
12歳	4	0	4
計	149	79	228

表 3　Q1–Q6 の回答
Table 3　Result of questionnaire Q1–Q6.

質問	男子平均	女子平均	全体平均
Q1	4.80	4.67	4.75
Q2	4.89	4.89	4.89
Q3	4.77	4.73	4.76
Q4	4.81	4.71	4.77
Q5	4.86	4.66	4.79
Q6	4.54	4.77	4.62

収集したアンケートの中から，本システムの対象年齢と一致する 3 歳から 12 歳までの男女 228 名を抽出した．**表 2** に抽出した体験者の内訳を示す．また，アンケートの結果を**表 3**，および**図 8** に示す．図 8 に示した Q7 の結果に関しては，体験者全体の総スコアに対するそれぞれの項目

© 2015 Information Processing Society of Japan

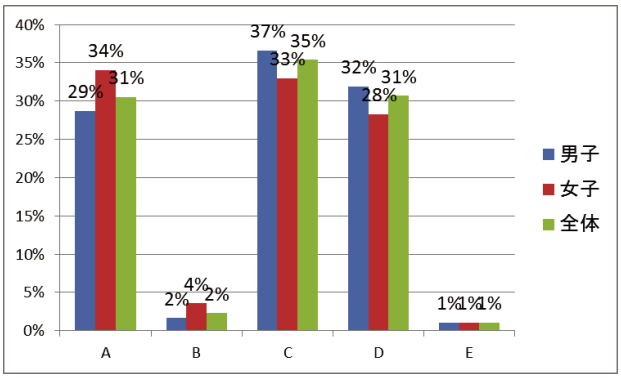

図 8　Q7 の集計結果
Fig. 8　Aggregate percentage of Q7.

の割合のほかに，男女で本ワークショップの体験者数が異なっていたため，男女別に集計し，各項目の男女それぞれの総スコア対する割合を示している．

6.　考察

ワークショップ実施により得られた知見を述べるとともに，アンケート結果を基に，システム要件であったペーパークラフトと 3 次元ゲームとをシームレスにつなげることができたかどうかや，子どもたちの創作意欲にどのような効果があったのかを考察する．

6.1　システム要件に関する考察

子どもたちが自らデザインしたロボットがゲームに登場していると感じたかどうかについては，Q2 の回答が示すように，ほとんどの体験者から自分で作成したロボットがゲームに登場していると感じさせることができた．

また，Q3 の自分が作ったロボットを身体で操作していると感じたかどうかについても同様に高い評価を得ることができた．これらの結果から，実装したシステムは，要件であったペーパークラフトを利用した創作活動とデジタル空間で展開される 3 次元ゲームとをシームレスにつなげることに成功していたと考えられる．

6.2　インタラクションに関する考察

システムのインタラクションに関しては，展開図に絵を描くときに，どの面がロボットの胴体の正面となるのかという質問や，誤ってバーコードの上にペンで描いてしまったという問合せなどがあったが，絵を描くこと自体に戸惑ったり，躊躇したりする子どもはおらず，様々な色のペンを使って自分たち独自のロボットを懸命にデザインしていた．バーコードを誤って塗ってしまった場合は，スキャナで展開図を取り込む際に，バーコードの番号を手入力することで対応できていた．

3 歳程度の幼児が体験するときには，子どもが絵を描く傍らで両親が一緒にロボペーパーを描く姿を見ることができた．これは，本システムを体験することの容易さが象徴されている光景であったと考えられる．

3 次元ゲームの操作に関しては，直感的に操作方法を覚えられるように練習モードを導入したことが効果的に機能し，自らデザインしたロボットを操作できる 3 次元ゲームに夢中となっていた．Q7 の「7-A：自由に絵を描くことができること」や，「7-D：からだでロボットを操作できること」が高評価であることからも，誰にでも参加できるというインタラクションを備えていることが，満足度が高いワークショップとして評価された一因であると考えられる．

6.3　3 次元ゲームの効果に関する考察

イベント会場に訪れる子どもたちは，まず身体動作によるゲームをプレイしている他の子どもの姿に惹きつけられ，その後，スタッフによりワークショップの説明を受けてから体験したいという意思表示をすることが一般的な流れであった．このことから，身体動作による 3 次元ゲームが子どもたちの興味をワークショップに引き付ける効果を発揮していた．しかしながら，本システムを体験したほとんどの子どもたちが，3 次元ゲームによる体験だけを望むのではなく，自分の作ったオリジナルロボットによるゲーム体験を望んでいた．アンケート結果の Q7 の「7-C：自分で描いたロボットがゲームに登場すること」が全体的に見て最もスコアが高いことから推測すると，ワークショップを体験するきっかけは，身体操作によるゲームを見かけたことだが，展開図に描いたオリジナルロボットが 3 次元ゲームに表示されることが子どもにとって創作意欲につながっていたと考えられる．一方で「7-F：自分で描いたロボットを紙で作れること」という元来のペーパークラフト作りを指す項目が最も低いスコアとなっている．この結果は，ワークショップの会場でペーパークラフトの組み立て作業をしなかったことに起因していると考えられる．しかし，Q5 の「時間があれば，もっと別のロボットを作りたいですか？」や，Q6 の「家に帰ってからロボットをつくりますか？」というオリジナルロボットを作ることへの意欲を問う項目では，全体的に高い評価を得ることができた．また，イベント期間中に自宅でロボットを作成し，組み上げたロボットを持って再び会場に訪れるリピータを何人も見ることができたことから，子どもたちが，本システムを通して自作したオリジナルロボットのペーパークラフトを作成することに楽しみを感じていたと推察できる．

以上のことから，本システムで扱ったロボットのペーパークラフトを作ることに対する創作意欲を向上させることには成功したといえる．しかしながら，本システムを体験した子どもたち全員がペーパークラフト全般に対する創作意欲が向上したかどうかについては，さらなる調査が必要だと考える．

© 2015 Information Processing Society of Japan

6.4　男女による評価の差

表 2 の体験者数の内訳が示すようにワークショップの参加者の割合は男子のほうが，女子に比べて 2 倍近く体験していたことが分かる．今回のワークショップは，事前予約なしに，自由に参加できる形式をとっていたため，本ワークショップをイベント会場で見かけたが，体験することを望まなかった女子が多数いたということも考えられる．

アンケート調査による評価では，男女に大きな差はなかったが，図 8 に示した Q7 の結果を男女で比較すると，男子は，3 次元ゲームに関する活動が楽しいと感じる傾向がやや強いが，女子は，展開図に絵を描けることが最も楽しいと感じていたことが分かる．表 3 に示した Q1 のシステムの満足度や Q5 の再体験に関する質問では，男子の方が女子よりも，わずかながら評価値が高かった．これらの結果の原因は，本システムのシナリオである，戦うロボットを作成することや，3 次元ゲームがアクションゲームとしての要素が強かったことなど，男子にとって共感しやすいコンテンツであったことが理由だと推測できる．

7.　まとめと今後の展望

本研究では，子どもを意欲的にペーパークラフト作りへと導くシステムとしてペーパークラフト作りに 3 次元ゲームを利用したシャドウロボシステムを提案し，その実現方法を示した．また，本システムの有効性を検証するため，本システムを利用したワークショップを実施した．ワークショップ実施後のアンケート結果から，本システムが実世界での創作活動であるペーパークラフトと 3 次元ゲームとをシームレスにつなげることに成功していたことが分かった．また，アナログなインタラクションを基に，ワークショップの参加の窓口を広げたことや，ペーパークラフトと 3 次元ゲームを融合させることで，子どもたちをペーパークラフト作りが含まれたワークショップに導くことができた．

しかしながら，今回のワークショップでは，ペーパークラフト全般への意欲向上に対する評価ができなかったことが課題としてあげられる．この課題を解決するために，これまでに開発されている 3 次元モデルから自由な展開図を作成できるシステムと本システムとを比較することで，子どものペーパークラフトを作ることへの参加動機や創作意欲がどのように変化するかを調査したい．また，現状のゲームでは，女子に対する参加動機が十分でない可能性があるため，たとえば，ダンスをするゲームや，衣装の着せ替えができるゲームなど，女子向けのコンテンツについても検討する必要がある．

今後のシステムの発展としては，本システムに「ストーリーテリング機能」を追加・実装することで，より教育的なワークショップとして展開できると考えている．

ストーリーテリングは，思考力や言語力，表現力，コミュニケーション能力などの発達に有益であると考えられており，小学校や幼児を対象に情報技術を利用したストーリーテリングを試みた研究 [19] が実施されている．また，ストーリーテリングによる教育法は，小学校だけでなく，中学校，高校，大学など，高学年の教育現場でも導入されている [20]．今回実装したゲームのメインキャラクタであるロボットへのペイントのほかに，敵キャラクタや，守るべきものを自由にデザインし，ストーリー（ロボットが戦うための理由）を創作するワークショップとして展開することを予定している．

謝辞　本システムを開発するにあたって，数々の教育的施設においてワークショップ実施のご協力をいただきました．

本研究は中山隼雄科学技術文化財団の平成 24 年度研究助成 A を受けたものです．

参考文献

[1] Igarashi, Y. and Igarashi, T.: Pillow: Interactive Flattening of a 3D Model for Plush Toy Design, Lecture Notes in Computer Science, Springer (*SmartGraphics 2008*), Rennes, France, Vol.5166/2008, pp.1–7 (Aug. 2008).

[2] Igarashi, Y. and Igarashi, T.: Holly: A Drawing Editor for Designing Stencils, *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol.30, No.4, pp.8–14 (2010).

[3] Mitani, J. and Suzuki, H.: Making Papercraft Toys from Meshes using Strip-based Approximate Unfolding, *Proc. ACM SIGGRAPH2004*, pp.259–263 (2004).

[4] ペパクラデザイナー：多摩ソフトウエア有限会社，入手先 ⟨http://www.tamasoft.co.jp/pepakura/index.html⟩（参照 2014-07）.

[5] Pan, J.-S., Yang, C.-N. and Lin, C.-C.: The Creation of V-fold Animal Pop-Up Cards from 3D Models Using a Directed Acyclic Graph, *Proc. ICS 2012*, pp.465–475 (2012).

[6] Li, X.-Y., Shen, C.-H., Huang, S.-S., Ju, T. and Hu, S.-M.: Popup: Automatic paper architectures from 3D models, *Proc. ACM SIGGRAPH 2010*, papers, Article No.111 (2010).

[7] KOMAKOMA Designing tools for Animation Workshops：布山タルト，入手先 ⟨http://komakoma.org⟩（参照 2014-07）.

[8] 激走紙レーサー：リコー，入手先 ⟨http://oekaki.ricoh.co.jp⟩（参照 2014-07）.

[9] 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, No1, pp.1–9 (2013).

[10] Hiroshi, S., Sato, H. and Hayami, H.: Fight our shadow robot, *Proc. ACM SIGGRAPH 2013*, *Studio Talks Article*, No.15 (2013).

[11] Foldify: pixle, available from ⟨http://www.foldifyapp.com⟩ (accessed 2014-07).

[12] どーもタウン：日本放送協会，入手先 ⟨https://www.nhk.or.jp/domo/town/⟩（参照 2014-07）.

[13] colAR App, HIT lab NZ, available from ⟨http://colarapp.com⟩ (accessed 2014-07).

[14] Chromville: Imascono Art S.L., available from ⟨http://chromville.com⟩ (accessed 2014-07).

© 2015 Information Processing Society of Japan

[15] うごく！シャッフルぬりえ，株式会社ピコトン，入手先 ⟨http://picoton.com/⟩.
[16] お絵かき水族館，チームラボ株式会社，入手先 ⟨http://www.team-lab.com/sketchaquarium⟩.
[17] 井上昭人：ゲーミフィケーション—〈ゲーム〉がビジネスを変える，NHK 出版 (2012).
[18] Egenfeldt-Nielsen, S.: *Beyond edutainment: The educational potential of computer games*, Continuum Press (2007).
[19] 伊藤俊廷，グェントゥンゴク，杉本雅則，稲垣成哲：GENTORO：モバイル複合現実環境におけるストーリーテリング支援システムの設計と評価，情報処理学会論文誌，Vol.50, No.12, pp.2819–2830 (2009).
[20] McLellan, H.: Digital storytelling in higher education, *Journal of Computing in Higher Education*, Vol.19, Issue 1, pp.65–79 (2007).

鈴木 浩　（正会員）

神奈川工科大学助教．2006 年情報科学芸術大学院大学メディア表現学科修了（メディア表現修士）．現在，インタラクションデザインに関する研究に従事．専門はメディア表現．日本教育工学会，日本バーチャルリアリティ学会各会員．

佐藤 尚　（正会員）

神奈川工科大学教授．1989 年国際基督教大学大学院理学研究科修士課程修了，博士（理学）．埼玉大学工学部助手等を経て，現職．コンピュータグラフィックス等の教育・研究に従事．

速水 治夫　（フェロー）

神奈川工科大学教授，評議員．1970 年名古屋大学工学部卒業．1972 年同大学院工学研究科修士課程修了．1993 年工学博士．1972〜1998 年 NTT にて，メインフレーム，データベースプロセッサ，グループウェア，ワークフローの研究開発に従事．1994〜1998 年電気通信大学大学院客員教授．1998 年より現職．データベース，グループウェア，Web アプリケーション関連の教育・研究に従事．電子情報通信学会会員．

© 2015 Information Processing Society of Japan