

子どもを意欲的にペーパークラフト工作へと導く 3次元ゲームシステムの開発

鈴木浩† 佐藤尚† 速水治夫†

ペーパークラフト工作は、紙を利用して立体的なオブジェクトを作成する手軽で身近な工作活動である。ペーパークラフト工作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オブジェクト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ユーザにとってコンピュータ操作の面で敷居が高く、ストレス無くオリジナルのペーパークラフト作品をつくるのが難しい。また、こうしたシステムの多くが、展開図を自動生成することを目的としており、ペーパークラフト工作への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、子ども達を意欲的にペーパークラフト工作へと導くために、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、ペーパークラフトロボットになる紙の展開図にユーザがペンを使って模様を描き、その模様を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、モーションセンサー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。

Development of 3D game system that attracts children to actively participate in paper craft activities.

HIROSHI SUZUKI† HISASHI SATO† HARUO HAYAMI†

Paper craft is a well-known handicraft in which 3D objects are modeled using papers. 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.

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]。それに伴い、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、一般市民や子ども達が先端技術に触れ合う機会として重要視されている。

上記のシステムでは、工芸品を制作する際に難易度が高いと思われる制作過程をコンピュータが代替することで制作の難易度を下げ、工芸品制作の窓口を広げている。しかしながら、こうしたシステムの多くは、マウスやキーボードによるコンピュータ操作が必要不可欠である。

コンピュータの操作に慣れていないユーザにとって、コンピュータの操作が十分にできないことがストレスとなり、その結果として工芸品への創作意欲が削がれてしまうことは、想像に難くない。つまり、コンピュータを利用したものづくり系のワークショップは、制作する敷

居はさがったものの、コンピュータの操作面から誰もが気軽に創作活動を実施できるというわけではない。

コンピュータの操作を気にすることなく創作活動ができるシステムとしてドローイングを支援するアプリケーションが数多く開発されている。描画を支援するシステムでは、マウスだけでなく、ペンタブレットやタッチパネルをペンや筆の代わりにしてディスプレイ上に描画することが一般的である。しかしながら、このような機器を使用するインタフェースでは、実世界でペンを握り、スケッチブックに描くことと同じように、スムーズに絵を描くことが難しいと考えられる。例えば、子どもに対する描画アプリケーションの調査研究[3]によると、マウスやペンタブレットを使った描画では、十分に思い描いた絵を描くことが難しいことを示唆している。

このような機器やインタフェースの問題から、ディスプレイやデバイスを実世界の紙やペンとして見立てるのではなく、紙に描いたイラストなどをコンピュータで拡張することによって創造的な活動を支援するシステムが開発されている。例えば、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[4]

† 神奈川工科大学 情報学部
Faculty of Information Technology, Kanagawa Institute of Technology

や描いた自動車の絵をレースゲームに利用するシステム[5]、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[6]などがある。

これらのシステムでは、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デジタル技術を融合させることで、コンピュータ操作が苦手なユーザや子どもに対してもストレスを感じさせることなく創作活動が行える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に成功している。

本論文では、ペーパークラフト工作に上記のようなアナログ的なインタラクションとデジタル技術を融合させることで、誰もがとりくめる特徴を持ちながらペーパークラフト工作をすることへの動機や探索意欲を刺激するシャドウロボシステム[7]を提案する。

2. 関連研究

ペーパークラフトは、紙という身近なメディアを利用して、立体的なオブジェクトを制作する造形活動である。材料が紙であることから、展開図の形や模様 オリジナリティを加えられるので、大人が趣味として楽しむような本格的な立体造形から、手軽にとりくめる雑誌の付録や小学校の図画工作の授業など幅広い分野で利用されている。

ペーパークラフトは、平面の紙から立体オブジェクトへと組み上げることができる展開図が最も重要な要素である。この展開図の制作を支援するシステムとして3次元モデルからペーパークラフトの展開図を生成するシステム[8][9]や、ポップアップカードを制作できるシステム[10][11]が開発されている。上記のシステムは、3次元モデルを利用することで複雑なペーパークラフトの展開図を簡単に制作することを可能としているが、展開図の元となる3次元モデルの制作支援は対象としていない。そのため、コンピュータの操作に慣れていない大人や子ども達が独自のペーパークラフトを制作することは難しく、あらかじめ決められた3次元モデルから展開図を作成することとなる。

あらかじめ決められた展開図にオリジナリティを加える手法として、展開図に直接絵を描くことが考えられる。紙へのドローイングに関しては、前述した通り、コンピュータとの相性が良いため、様々なシステムが展開されている。ペーパークラフトに関しては、ディスプレイに表示された展開図にタッチパネルなどでドローイングするシステム[12]があるが、紙媒体のペーパークラフトとドローイングを組み合わせたシステムは見られない。

本システムではペーパークラフトロボットの展開図に描かれるドローイングをデジタルデータに変換し、変換したデータを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。こうすることで、ユーザが実世界で制作するペーパークラフトのロボットをゲームに登場させることができる。また、3次元ゲームでは、モーションセンサーを利用し、身体動作でロボットを操作してゲームを体験することができる。

本システムに類似したシステムとして紙の用紙に自由にドローイングし、タブレット端末などのカメラを通してドローイングされた3次元モデルを表示するARシステム[13]がある。紙媒体への塗り絵と3次元オブジェクトとを関連づけている点において本システムと類似しているが、本システムは、このドローイング作業に加え、身体動作による3次元ゲームやペーパークラフトを工作する活動など、ペイント以外の創作活動を含んでいる。

また、自分で制作したオリジナルのペーパークラフトを動かす研究[14]があるが、実世界でペーパークラフトを動かすためには、特殊なツールキットが必要なだけでなく、ペーパークラフトの動きがツールキットに対応した動きに限定されてしまう。一方、情報空間に実世界で制作するペーパークラフトと同様のモデルを展開することで、ゲームやアニメーションといった演出が加えられるだけでなく、モーションセンサーなどの直感的なインタフェースを利用して、ユーザが制作したオリジナルのロボット(作品)を自らの身体を使って操作することが可能となる。自分の制作したロボットがゲームに登場し、身体操作によってゲームがプレイできることは、特に子ども達にとって作品への強い感情移入や創作意欲につながると思われる。

さらに本システムは、ユーザの実作業として、展開図にペンを使って絵を描く、身体動作によってゲームをプレイする、そして、展開図からロボットを組み立てるといった誰もがとりくめるインタラクションとなっている。

以上のことから本システムは、コンピュータを利用しながらも複雑な操作を必要とせず、コンピュータの操作に慣れていないユーザでもコンピュータを通じた造形活動を楽しむことができると考えられる。

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。

3. シャドウロボシステムの概要

3.1 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、

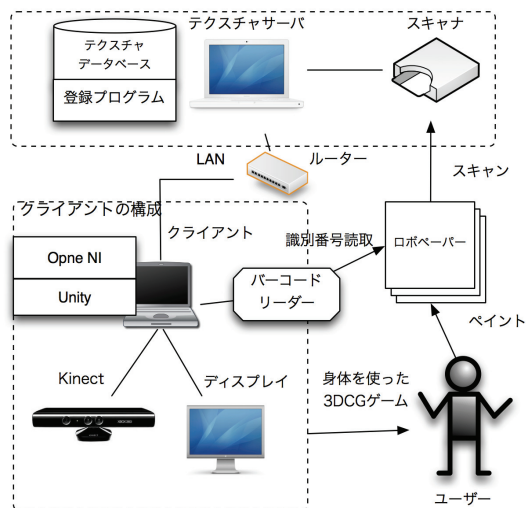


図 1 シャドウロボシステムの構成
 Fig.1 Diagram of Shadow robot system

展開図の画像を保存するテキストサーバ、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、無線ルータなどを利用して独自のネットワークをつくることで、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1に示す。

3.2 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2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はA4用紙2枚に渡って印刷されている。この展開図の部分をはさみで切り取って組み上げることで、紙のロボットになる。

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付与されている。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、

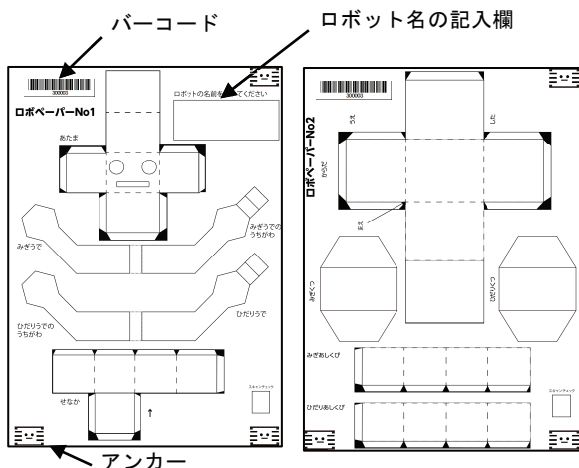


図 2 ロボペーパー
 Fig.2 Robot-paper

ロボペーパーの左上以外の角には、ペイントされた展開図を3次元ゲーム上のロボットのテキストチャとして利用するための前処理に必要なアンカーポイントが印刷されている。

自作するロボットにより強い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時のタイトル画面に利用している。

3.3 テクスチャサーバ

3.3.1 テクスチャサーバの概要

テキストサーバには、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キスト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で利用するテキスト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。それぞれの前処理作業は、テキスト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。

3.3.2 登録プログラム

ゲームに登場するロボットモデルにテキスト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、適正にテキストマッピングされていないロボットモデルになってしまう。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、適正なテキストへと変換するとともに、画像に記されているバーコード部分を抜き出し、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3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画像データ上のバーコード部や展開図を取得するための基準点となるアンカーを認識する。さらに、このアンカー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、アンカー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

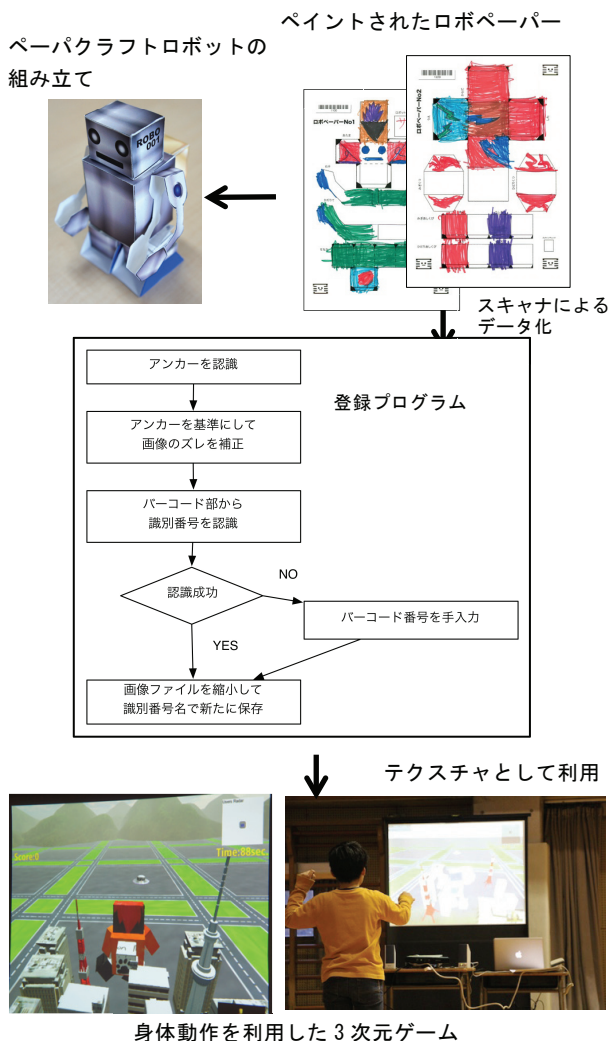


図 3 シャドウロボシステムの処理手順
 Fig.3 The Process of Shadow Robots system

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ーやバーコード部は、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ため、その対応として、アンカーをロボペーパーの右上、右下、左下の3つに準備し、最も明瞭なアンカーを基準とすることとした。

バーコード部への対応としては、バーコードの番号が正常に検出できなかった場合に目視による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。

3.4 クライアント

3.4.1 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、モーションセンサーとゲームプログラム、そして、バーコードリーダーがそれぞれ設置及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ーを介してテクスチャサーバと接続し、テクスチャデータを共有できるようになっている。

3.4.2 3次元ゲームの概要

ユーザがオリジナルのロボットをデザインした後に、違和感を感じることなく、身体動作を使ったゲームを体験できるように、本ゲームでは、自分達の住んでいる街を次々と破壊していく敵から街を守るために戦う自分だけのオリジナルロボットを創り上げ、更にそのロボットを自分の身体動作で操って敵を倒すというシナリオを設定している。

本ゲームの開発環境には、開発の容易さや開発したアプリケーションの配布の利便性から鑑みて、Unityテクノロジー社のUnity3Dを利用した。また、本ゲームで利用するプレイヤーの身体動作の認識には、Microsoft社のKinectを使用し、Kinectが認識した骨格情報をUnity準拠のOpenNIライブラリであるZDK利用してUnity上の3次元モデルへと当てはめた。

3.4.3 3次元ゲームの流れ

図4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ー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

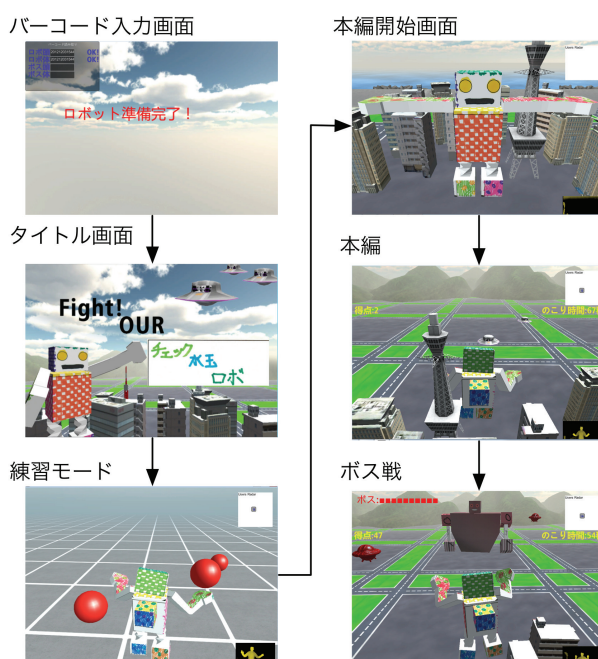


図 4 3次元ゲームの流れ
 Fig.4 The flow of 3DCG game

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。この練習モードでは画面上に浮遊する5つの球体に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ー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。

4. ワークショップの実施と評価

本システムの有効性を評価するために、2012年12月3日に放課後NPOアフタースクールらと共に都内のS小学校において本システムを利用した「たたかえ!!ぼくらのシャドウロボ」ワークショップを実施した。実施したワークショップではシャドウロボシステムとして、テキストチャサーバ用のPC1台とクライアント端末を4台準備した。

ワークショップを進行するスタッフには、ロボペーパーのペイント作業を説明するスタッフ2名と、スキャナによって展開図の取り込みを行うスタッフ1名、さらにクライアント端末を操作するスタッフ4名、ペーパークラフトロボットの工作作業を補助するスタッフ2名の計9名であった。ワークショップの実施時間は2時間半程度で、参加者は、小学校1年生から4年生の計25名(男子15名,女子10名)であった。ワークショップの風景を図5に示す。

システムの評価方法として、ワークショップ実施後にアンケート調査を実施した。アンケート調査では、1.主観的に本ワークショップが楽しかったかどうか、2.本ワークショップで体験できるどのような活動が楽しかったのか、3.工作への意欲が高まったかどうか、4.ロボット



図5 ワークショップ風景
 fig.5 The Photo of Workshop

への感情移入はできたかどうかの4点に注目し、表1のような設問を作成して調査した。

アンケート項目とQ2以外の結果を表1に、Q2の結果を図6に示す。Q1とQ3,Q4に関しては5段階評価で、Q2に関しては、それぞれの活動の楽しさの度合いの差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を付けさせ、集計結果をスコア化した。

Q2より、項目Aの「好きなようにロボットに絵をかいたこと」と項目Cの「自分で描いたロボットがゲームに出たこと」、そして項目Dの「からだをつかってロボットをうごかせたこと」の3つの項目に関して楽しさを強く感じていることがわかる。一方で、項目Fの「ロボットを紙でつくったこと」という元来のペーパークラフト工作の活動を指す項目がA,C,Dの項目よりも低いスコアとなっているが、Q3の「時間があれば、もっと別の

表1 アンケート結果

Table.1 Result of questionnaire

Q1. このワークショップは楽しかったですか? 1. とても楽しかった(21) 2. 楽しかった(3) 3. まあまあ(1) 4. 楽しくなかった(0) 5. まったく楽しくなかった(0)
Q2: このワークショップで楽しいと思ったことはなんですか? 下の理由に順位をつけてください。 (同じぐらいときは同じ順位をつけてください。) ※1位5P, 2位4P, 3位3P, 4位2P, 5位1Pとしてスコア化 結果は図4参照 A. 好きなようにロボットに絵をかいたこと B. 友達と一緒にロボットをつくったこと C. 自分でかいたロボットがゲームに出たこと D. からだでロボットを動かしたこと E. ともだちのロボットをたくさん見たこと F. ロボットを紙でつくったこと
Q3. 時間があれば、もっと別のロボットをつくりたいですか? 1. とても作りたい(20) 2. 作りたい(4) 3. どちらでもない(0) 4. 作りたくない(1) 5. まったく作りたくない(0)
Q4. 家にかえてから自分のつくったロボットを使ってゲームで遊びたいですか? 1. とても遊びたい(20) 2. 遊びたい(3) 3. どちらでもない(2) 4. 遊びたくない(0) まったく遊びたくない(0)

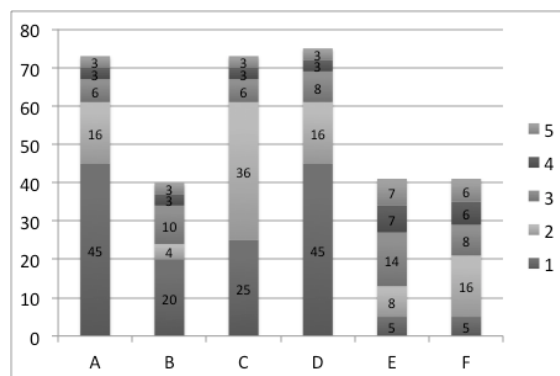


図6 アンケートQ2の結果
 fig.6 Result of questionnaire Q2

ロボットを作りたいですか？」という工作意欲を問う項目では、ほとんどの参加者からとても作りたいという回答を得ている。また、他の項目 B や項目 E などワークショップという場に伴う楽しさの項目と比較してもスコアが同程度であることから、工作することが楽しくなかったのではなく、3次元 CG ゲームや身体動作による操作といった先端技術による演出がペーパークラフト工作に上手く適合していたため、演出部分が強調され、演出部分が相対的に高評価になったと考えられる。加えて、Q1の結果では、ほとんどの参加者が本ワークショップについてとても楽しかったと回答している。以上のことから子ども達は、楽しみながら意欲的にペーパークラフト工作に取り組んでいたと考えられる。

5. まとめと今後の課題

本論文では、子ども達を意欲的にペーパークラフト工作へと導く3次元ゲームシステムを提案し、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「たたかえ!!ぼくらのシャドウロボ」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、本システムが子ども達を意欲的にペーパークラフト工作へと取り組ませることができることわかった。

今後の課題として、アンケート Q4 の結果にもあるように参加者は、自作したロボットのデータを利用して遊びたいと強く望んでいることがわかっている。現行では、シャドウロボシステムの3次元 CG ゲームを実施しない限り自作したロボットの閲覧や、操作をすることができない。今後は本ワークショップで得られたロボットの画像データを WEB 上で公開し、ネットワークを通じて遊べるコンテンツを備えた専用サイトを構築する予定である。

参考文献

- [1] Igarashi,Y.,Igarashi,T. "Pillow: Interactive Flattening of a 3次元 Model for Plush Toy Design" Lecture Notes in Computer Science, Springer (SmartGraphics 2008), Vol. 5166/2008, pp.1-7, Rennes, France, August 2008.
- [2] Igarashi,Y.,Igarashi,T. :”Holly:A Drawing Editor for Designing Stencils,IEEE Computer Graphics and Applications,30(4),pp.8-14(2010).
- [3] 森田健宏:”幼児のパソコン利用導入期における入力デバイスの操作性についての検討”,日本教育工学会論文誌,vol.29,No4,pp.627-635(2006).
- [4] KOMAKOMA Designing tools for Animation Workshops:布山タルト,<<http://komakoma.org>> (参照 2013-11).
- [5] 激走紙レーザー:リコー,<<http://oekaki.rioh.co.jp/>> (参照 2013-11).
- [6] 近藤菜々子,水野慎士:”スケッチブックでのお絵描きを3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).
- [7] Hiroshi,S.,Sato,H.,Hayami,H.:Fight our shadow robot,Proc. ACM SIGGRAPH 2013, Studio Talks Article No. 15 (2013).
- [8] Mitani,J., Suzuki,H.:Making Papercraft Toys from Meshes using Strip-based Approximate Unfolding,Proc. ACM SIGGRAPH2004,pp.259-263 (2004).
- [9] ペパクラデザイナー:多摩ソフトウェア有限公司,<<http://www.tamasoft.co.jp/pepakura/index.html>> (参照 2013-11).
- [10] Xian-Ying Li,Chao-Hui,Shen,Shi-Sheng,Huang,Tao Ju,Shi-MinHu:Popup: automatic paper architectures from 3次元 models, Proc. ACM SIGGRAPH 2010, papers, Article No. 111(2010).
- [11] Jeng-Shyang Pan,Ching-Nung Yang,Chia-Chen Lin:The Creation of V-fold Animal Pop-Up Cards from 3次元 Models Using a Directed Acyclic Graph,Proc. ICS 2012, pp.465-475(2012).
- [12] Foldify:pixle,<<http://www.foldifyapp.com>> (参照 2013-11).
- [13] colAR App:HitlabNZ<<http://colarapp.com>>(参照 2013-11)
- [14] Kening,Z.,Shengdong,Z.:AutoGami: a low-cost rapid prototyping toolkit for automated movable paper craft,CHI '13 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems,pp.661-670(2013).