

推薦研究論文

# 擬似的三次元コピーの生成とインタラクションの実現方法

上原 悠永<sup>1,a)</sup> 水野 慎士<sup>1,b)</sup>

受付日 2014年1月15日, 採録日 2015年5月29日

**概要:** 本論文では三次元物体をコピーして複製を制作することを擬似的に体験するとともに, その三次元 CG コピー物体とのインタラクションを行うことができる CG システムを提案する. システムは, ユーザがスクリーン上に配置した三次元物体を上方からスキャンして三次元形状と色の情報を取得する. そしてスクリーン上から物体を取り除くと, システムはスキャンデータに基づいて三次元物体の CG 映像を生成してスクリーンに表示する. このときシステムはユーザの視点の位置を認識して運動視差立体視による三次元 CG を生成する. そのため, 取り除いた三次元物体のコピーがそのままスクリーン上に存在しているような三次元 CG 映像を様々な位置から観察することができる. そしてシステムは, 静止している物体だけでなく, 動いている物体に対してもデータのスキャンと三次元 CG アニメーションの生成が可能である. 生成した三次元 CG アニメーションは静止物の三次元 CG コピー物体と同様に様々な位置から観察することができる. さらにユーザが三次元 CG コピー物体に手を近づけることで, 三次元 CG コピー物体の変形やサウンド生成, 色塗りなどの操作を対話的に行うことができ, 三次元 CG コピー物体を触るような動作のインタラクションが可能である.

**キーワード:** 運動視差, 立体視, 三次元 CG, インタラクション, Kinect

## A Method of Creating Virtual Photo Copies and Interaction with Them

YUTO UEHARA<sup>1,a)</sup> SHINJI MIZUNO<sup>1,b)</sup>

Received: January 15, 2014, Accepted: May 29, 2015

**Abstract:** In this paper, we propose a novel CG system in which users can experience creating 3D photocopy of physical objects and interact with virtual objects simulatively. A user puts 3D objects on a screen of the system, and the system scans the 3D objects to get their 3D shapes and colors. After taking away the 3D objects, the system generates a 3DCG image of the 3D objects based on their scan data. The system creates a stereoscopic 3DCG image based on motion parallax by following a viewpoint of the user, and the user could feel the removed objects being left as they were, and the user can observe the 3DCG image from any positions. It is possible to use our system for moving 3D objects and can see a 3DCG animation from any points. When bringing a hand near to the 3DCG objects, the system computes the position of the hand and performs contact decision with the 3DCG objects. When it is judged to contact with them, the system deforms 3DCG objects, makes sounds, and paints the CG objects. The user could feel touching the 3DCG objects with a hand.

**Keywords:** motion parallax, stereoscopy, 3DCG, interaction, Kinect

### 1. はじめに

近年のコンピュータ技術や映像技術の発達により, 現実

世界を三次元データとして記録することや, それらのデータを用いて現実世界を三次元 CG 映像で再現することなどが可能となった. たとえばレーザースキャナを用いて遺跡や文化財の三次元形状を取得してデジタル保存する研究 [1], [2] や, 複数ビデオによる多視点映像やモーションキャプチャを用いて舞踊データを保存する研究 [3], [4] などが報告されている. 一般大衆向けの 3D カメラ/ビデオも開発されており, 家族の思い出などを三次元映像として記

<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, Toyota, Aichi 470-  
0392, Japan  
<sup>a)</sup> ue.to120@gmail.com  
<sup>b)</sup> s.mizuno@aitech.ac.jp

録したり，3D 写真プリントを作成したりすることもできる．さらに最近では 3D プリント技術の進化と普及が進んでおり，実世界を三次元的に記録したり映像で確認したりするだけでなく，実際の物として作り出すことも可能となった．三次元情報を用いたエンタテインメントも注目を集めており，たとえば砂場の起伏をリアルタイムで取得して，高さに応じて変化する映像を砂場自体に投影することで，新しい砂場遊びを実現したコンテンツも提案されている [5]．このように現実世界の三次元データの取得とそのデータの様々な提示方法に関する技術が進歩することでその活用範囲が大きく広がるとともに，三次元データとのインタラクションは重要なトピックとなってきている．

このような背景の中，本研究では現実世界の三次元物体の記録と映像提示，そしてインタラクションを実現する CG システムを提案する．このシステムでは，ユーザが三次元物体をテーブルトップスクリーン上にセットすると，システムは物体を上方から瞬時にスキャンして物体の三次元形状と色を取得する．そして物体を取り除くと，システムはスキャンデータに基づいて三次元物体の CG を生成してテーブルトップスクリーンに表示する．このときシステムはユーザの視点位置を認識して運動視差立体視による三次元 CG を生成する．そのため，ユーザは取り除いた三次元物体がそのまま立体映像として残っているように感じ，それを様々な位置から観察することができる．すなわち，現実世界の三次元物体をコピーしてその場で三次元 CG コピー物体を制作することを擬似的に体験できる CG システムである．そして，このシステムでは静止した三次元物体だけではなく，動きのある三次元物体のデータ取得と提示も可能である．さらにユーザが三次元 CG コピー物体に手を近づけることで，変形や色塗りなどの三次元 CG コピー物体とのインタラクションを行うことができる．

本論文では，データ取得方法，映像生成手法，インタラクションの実現方法，実験と考察について述べる，

## 2. 提案システムの概要

### 2.1 構成

提案システムはテーブルトップスクリーン，処理用 PC，プロジェクタ，そしてスクリーン上方に設置された RGB-D カメラで構成される．図 1 にシステム構成を示す．

システムはスキャンモードとディスプレイモードを切り替えて動作する．システムがスキャンモードの場合は，システム上部の RGB-D カメラを用いて，ユーザがスクリーン上に配置した三次元物体の色データと深度データを取得する．提案システムでは，スキャン対象が動きのある三次元物体の場合でも各データを時系列データとして連続的に取得することで対応可能である．そして取得したデータに基づいて物体の三次元データを生成する．

スクリーン上から三次元物体を取り除くとシステムは

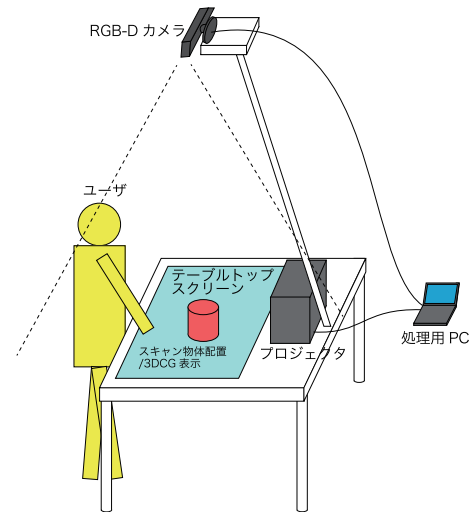


図 1 システム構成

Fig. 1 The components of the system.

ディスプレイモードとなり，スキャンした物体の三次元データを CG としてスクリーン上に表示する．このとき，システムは RGB-D カメラの情報を用いてユーザの視点位置を追跡する．そしてユーザの視点位置の移動に応じて三次元 CG をリアルタイムで更新していく．これにより，ユーザはテーブルの周りを動き回りながら様々な位置から物体の三次元 CG を観察することが可能である．そして，後述する運動視差立体視の原理により，三次元 CG コピー物体がまるでその場所にあるように立体感を感じながら観察できる．動きのある物体の場合には，スキャンデータを連続的に表示することで三次元 CG アニメーションが生成され，これを様々な位置から観察することが可能である．

提案システムでは，三次元 CG コピー物体といくつかの方法でインタラクションを行うことが可能である．ユーザが三次元 CG コピー物体に手を近づけた場合には，RGB-D カメラの情報を用いてその位置を認識して，手と三次元 CG コピー物体との接触判定を行う．そして手が三次元 CG コピー物体に接触していると判定した場合には，三次元 CG コピー物体を変形させて効果音を再生する．これによりユーザは三次元 CG コピー物体に触れているようなインタラクションが可能である．また，三次元 CG コピー物体の色を変化させることで，擬似的に色塗りを行うことも可能である．

### 2.2 運動視差立体視の概要とシステムへの適用

提案システムでは，CG 物体がテーブル上に実際に存在しているようにユーザに感じさせる．そのため，テーブル上に投影した映像を様々な位置から立体的に観察できる必要がある．これは運動視差立体視の原理を用いて実現している．運動視差とは，立体物を観察するときに観察者または立体物が移動することで生じる見え方の変化である．図 2 に示すように，運動視差では観察者の移動にともなっ

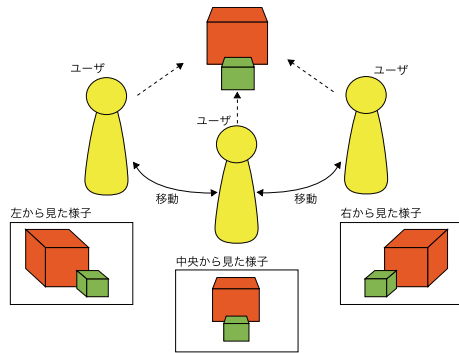


図 2 運動視差の概要

Fig. 2 Motion parallax.

て今まで見えなかった部分が見えるようになったり、近くの物体が遠くの物体に比べて見え方が大きく変化したりする。Rogers らの研究では、運動視差のみで三次元形状と奥行きに関する十分な情報が得られることを示している [6]。そのため、ユーザの視点に合わせて映像を変化させて運動視差を再現することで立体視を実現することが可能である。このような運動視差立体視では、専用のディスプレイやメガネなどは必要ではなく、ホログラフィックのように CG で表示された物体が実際にその場に存在するような感覚となる。そして運動視差立体視を利用した応用研究もいくつか報告されている [7], [8], [9]。

本研究でも、CG 物体の表示には運動視差立体視の原理を用いている。スキャンした物体がテーブルトップにそのまま残っているような三次元 CG 映像を生成するためには、CG 空間の座標系と投影方法を適切に設定するとともに、ユーザの視点を追跡しながら視点に応じた CG を逐次生成してテーブルトップに投影する必要がある。

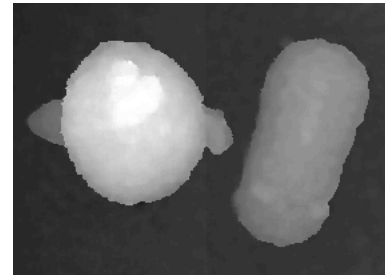
### 3. データの取得と映像生成

#### 3.1 三次元物体のデータ取得

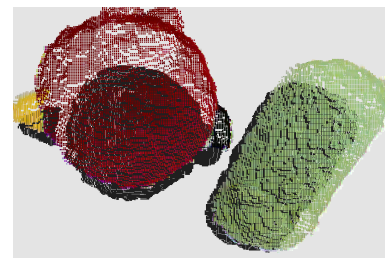
本研究では RGB-D カメラとして Microsoft Kinect を用いており、システムのスクリーン上方に設置している。スキャンモードでは、Kinect はスクリーンに置いたコピー対象三次元物体 (図 3(a)) をスキャンして、その物体の色データおよび深度データを取得する (図 3(b))。動きのある三次元物体に対しては色データと深度データを時系列データとして連続的に取得する。そして、取得したデータから色情報を持つ三次元点群データを生成する (図 3(c))。また  $x$ - $z$  平面上に配置した三角形メッシュ平面の各頂点の  $y$  座標を深度データに基づいて変化させることで、三次元物体の形状を表現する三角形メッシュデータを生成する。このとき、提案システムでは CG 生成のための仮想空間の座標を実空間の座標と一致させている。そのため、三次元点群データや三角形メッシュデータは三次元物体が置いてあったスクリーン上の場所にそのまま配置される。



(a) 色データ



(b) 深度データ



(c) 三次元点群データの CG 表示

図 3 Kinect で取得した色データと深度データ、および三次元 CG 物体が生成されたデータ、

#### 3.2 視点位置の推定

ディスプレイモードでは、スクリーン上方に設置した Kinect はユーザの視点位置の追跡のために用いる。図 4 にユーザ視点位置の決定の様子を示す。ユーザはスクリーンの周囲で映像を観察するため、ユーザの頭部は Kinect から見て最も高い点となる (図 4(a))。そこで、スクリーン上方から取得した深度データの中で最も大きな高さ  $h_{max}$  を求めて (図 4(b))、 $h_{max}$  との差がしきい値  $h_t$  以下の高さを持つ領域をユーザの頭部として抽出する。そして頭部領域の高さの平均値  $h_{avg}$  を求めてから、頭頂部から目までの高さの差  $e$  を考慮して  $(h_{avg} - e)$  を視点の  $y$  座標とする。そして頭部領域の中心を  $x$ ,  $z$  座標としてユーザの視点位置を決定する (図 4(c))。なお、 $h_t$  の値および  $e$  の値は実験的にそれぞれ 150 (mm), 50 (mm) としている。

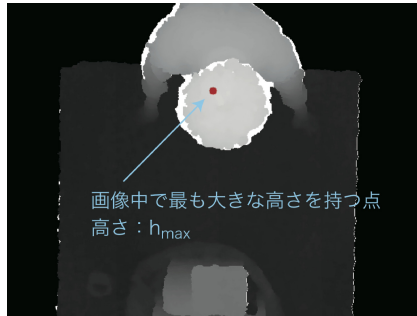
#### 3.3 運動視差を考慮した映像生成

図 5 に提案システムでの映像生成の概要を示す。提案システムでは、運動視差立体視を用いてテーブルトップに三次元 CG が存在するように感じさせるため、実空間と CG 空間の座標系を一致させている。そして、テーブルに配置

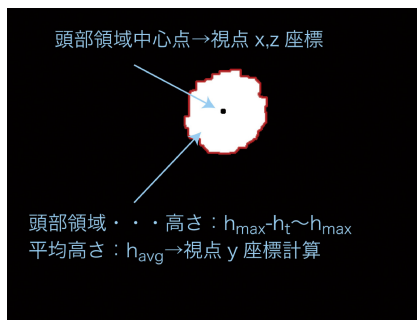




(a) ユーザとシステムの位置関係



(b) 深度データから最も大きな高さの値を取得



(c) 頭部領域の抽出と視点座標決定

図 4 深度データに基づくユーザ視点位置の推定

Fig. 4 Estimation of the position of a user's viewpoint using depth data.

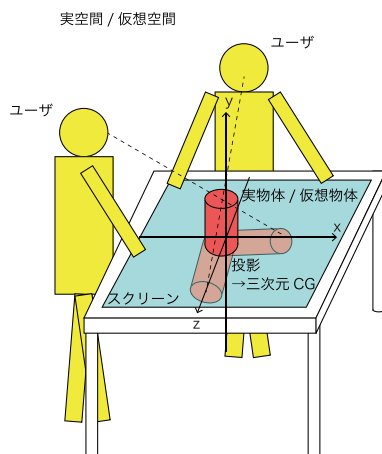


図 5 運動視差立体視に対応した三次元 CG 生成

Fig. 5 Creating 3DCG by applying stereoscopy with motion parallax.

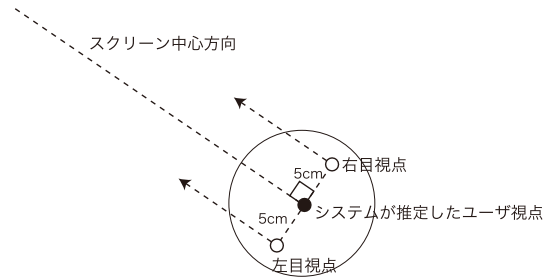


図 6 両眼視差立体視への対応

Fig. 6 Applying stereoscopy with binocular parallax.

した物体、テーブルトップスクリーン、ユーザ視点をそれぞれ、物体をスキャンして得られた三次元データ、CG 生成用投影面、CG 生成用視点に対応させてから CG 映像を生成して、テーブルトップスクリーンに映し出す。生成された映像を正面から観察した場合、映像が歪んで表示されている場合がある。しかし、ユーザ視点からテーブルトップに映し出された映像を観察した場合には、物体がテーブルトップに配置されているような CG 映像となる。そして、ユーザの位置の移動に応じて CG 映像を逐次更新することで運動視差が再現されるため、まるで物体がテーブルトップに存在するように立体感を感じながら、三次元 CG を様々な位置から観察することが可能となる。

### 3.4 両眼視差立体視への対応

提案システムでは 3D 対応プロジェクタを用いることで両眼視差立体視と組み合わせることも可能であり、より大きな立体感が得られることが期待される。

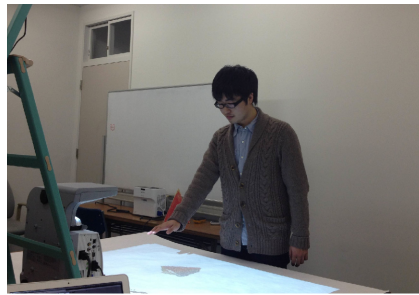
図 6 に両眼視差立体視への対応の仕組みを示す。ユーザはスクリーン中心に向かって立っていると想定する。そして、3.2 節で得られた視点位置をスクリーン中心方向と垂直な方向に移動させることで、右目視点と左目視点の位置を決定する。そして、それぞれの視点位置に応じた映像を生成して 3D 対応プロジェクタで表示することで、ユーザ視点に応じた両眼視差立体視映像が生成される。なお、現状システムでは、左右の目は顔の中心からそれぞれ 5cm ずつ離れているとしている。

以上により、ユーザはスクリーン周囲を自由に動き回りながら、運動視差立体視だけでなく両眼視差立体視にも対応した映像を観察することが可能となる。

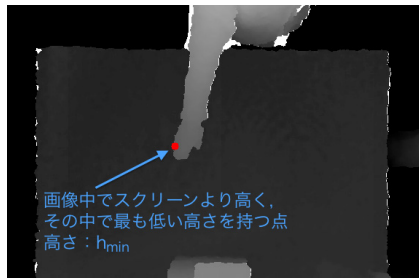
## 4. インタラクション

### 4.1 手の位置の取得

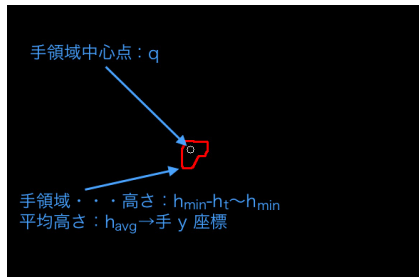
提案システムでは、表示した三次元 CG を触れるなど、手によるインタラクションを行うことができる。そのため、ユーザの手の位置を三次元的に取得する必要がある。ユーザの手の位置の推定には、視点位置の推定と同様にスクリーン上部に設置した Kinect を用いる。図 7 にユーザの手の位置の決定の様子を示す。ユーザが三次元 CG コ



(a) ユーザとシステムの位置関係



(b) スクリーンより高い値のうち、最も低い高さの値を取得



(c) 手の領域の抽出と視点座標決定

図 7 深度データに基づくユーザの手の位置の推定

Fig. 7 Estimation of the position of user's hand using depth data.

ピー物体を観察しながら手を差し出した場合、手の位置はスクリーン面よりも上にある物体の中で最も低い位置となる (図 7(a)). そこで、スクリーン上方から取得した深度データの中で、スクリーン面よりもしきい値  $h_{ts}$  以上高い位置にある領域の中での最下点  $h_{min}$  を求める (図 7(b)). その後、求めた高さ  $h_{min}$  と、 $h_{min}$  との差がしきい値  $h_t$  以下の高さを持つ領域をユーザの手領域として抽出する (図 7(c)). そして、頭部領域と同じ手法で手の中心座標  $q$  を決定する.  $h_{ts}$  の値および  $h_t$  の値は実験的にそれぞれ 200 (mm), 100 (mm) としている. なお、現時点では操作は片手のみに対応している.

#### 4.2 様々なインタラクション

手の中心座標  $q$  が決定すると、図 8 に示すように手の中心座標に仮想的な半径  $r$  の球を配置する. そして、手の中心座標  $q$  と三次元 CG コピー物体を構成する各頂点の座標  $p$  との距離を調べることで接触判定を行う. すなわち、 $|p - q| < r$  の場合、手と三次元 CG コピー物体に接触が

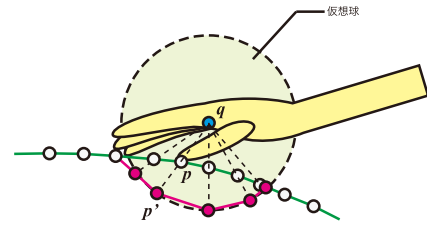


図 8 仮想球との接触判定に基づく頂点移動と変形表現

Fig. 8 Movement of vertices for deformation by collision detection with a virtual sphere.

あったと判定し、三次元 CG コピー物体の頂点座標  $p$  を点  $p'$  へと移動させる. 点  $p'$  は以下の式により決定する.

$$p' = q + r \frac{p - q}{|p - q|}$$

この処理により、ユーザが三次元 CG コピー物体に対して手を近づけることで三次元 CG コピー物体の頂点座標が移動し、三次元 CG コピー物体を手で触れて変形させたような表現が可能となる.

さらに、提案システムではユーザは手を使って三次元 CG コピー物体に仮想インクで仮想的に色塗りを行うことができる. まず、三次元 CG コピー物体の変形と同様の方法で、手と三次元 CG コピー物体との接触判定を行う. 接触があった場合、三次元 CG コピー物体の頂点座標  $p$  が持つ色の RGB データ  $c_p$  を変化させることで、三次元 CG コピー物体の色塗りを実現する. 仮想インクの色はシステム中であらかじめ決めておき、RGB データを  $c_q$  とする. このとき、色データ  $c_p$  の変化は以下の式で表すことができる.

$$c_p = (1 - a)c_p + ac_q$$

なお、 $a$  ( $0 < a < 1$ ) は色塗りの濃さを表すパラメータである. この処理により、ユーザが三次元 CG コピー物体に触れ続けると、三次元 CG コピー物体の頂点の色  $c_p$  があらかじめ設定しておいた色  $c_q$  に徐々に近づいていく. そして使用する色を変更しながら重ね塗りを行うことで、ユーザは様々な色を作り出して色塗りを行うことが可能である.

## 5. 実験と考察

### 5.1 実装環境

提案システムを実装して実験を行った. 使用した機材は MacBookPro (Core i7, 2.7 GHz), Kinect, 超単焦点プロジェクタで、スクリーンの大きさは  $1,220 \times 725$  (mm) となっている. Kinect はスクリーン直上の 1,800 (mm) の位置に設置して、 $640 \times 480$  (画素) で色データおよび深度データを取得する. データの取得および三次元 CG の表示は 30 (フレーム/秒) で行う. 図 9 にシステムを設置した様子を示す.

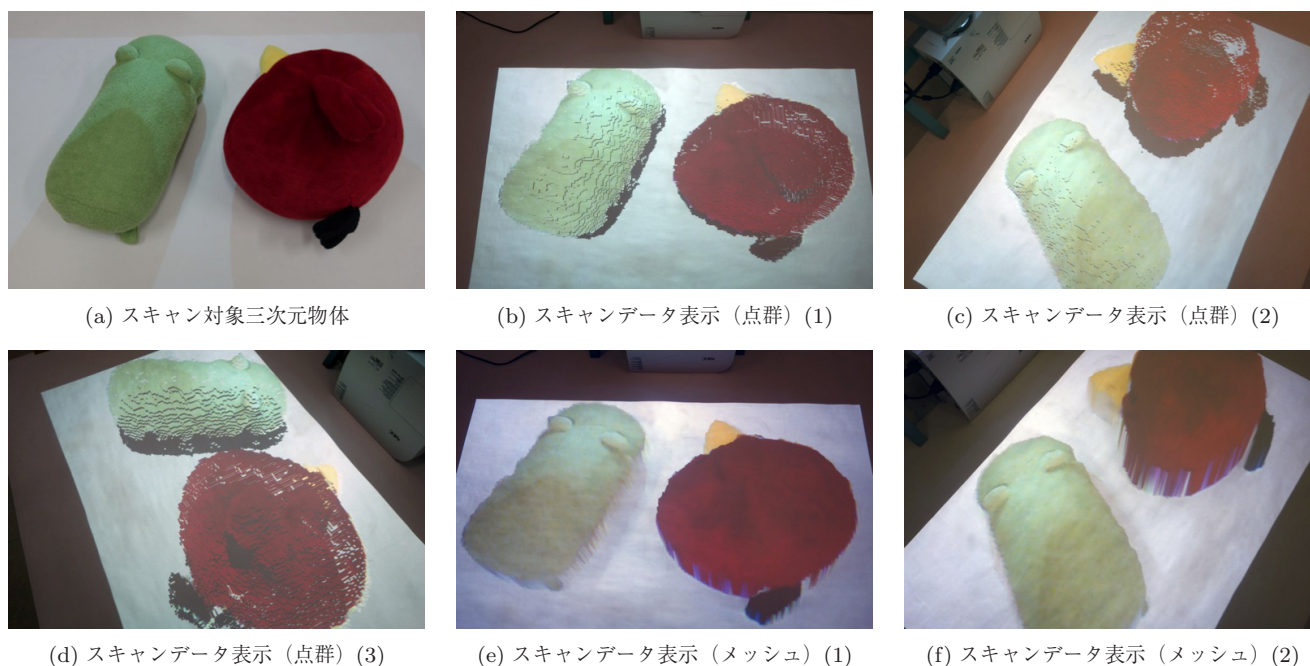


図 10 三次元物体のスキャンと三次元 CG コピー物体表示の実験例 (1)

Fig. 10 An experiment of scanning 3D physical objects and displaying 3D copies (1).



図 9 提案システムの外観

Fig. 9 Overview of the system.

## 5.2 静止物体のコピー実験

システムで静止した物体をコピーした実験結果を図 10 に示す。初めにシステムをスキャンモードにして、ユーザはスキャンしたい三次元物体をスクリーン上に配置する (図 10 (a))。物体の大きさは、テーブル上に配置可能でユーザが実際に観察できる高さであれば特に制限はない。スキャンは瞬時に終わり、自動的にディスプレイモードに移行する。そして物体をスクリーンから取り除くと、ユーザの位置からは物体がそのまま残像のように残っているような三次元 CG 映像を観察することができた (図 10 (b))。その後ユーザが移動すると、ユーザの視点位置を推定しながらリアルタイムで三次元 CG を更新することで、三次元

CG コピー物体の映像を様々な位置から観察することができ、運動視差の効果によって三次元 CG コピー物体がまるでそこに存在するような立体感を得られることも確認した (図 10 (c), (d))。提案手法では上方に設置した Kinect で得られた深度情報に基づいて視点位置を推定して運動視差を再現しているため、Kinect の撮影範囲内であればテーブル周囲のどの方向からでも運動視差立体視 CG を観察することができる。三次元 CG は三次元点群データまたは三角形メッシュデータに基づいて生成され、表示方法はいつでも切り替えることができる (図 10 (e), (f))。

なお、提案システムを用いて三次元 CG 物体を観察する場合には、両目よりも片目で観察した方が圧倒的に強い立体感を感じることができる。これは、映像はあくまで平面上に投影しており両眼視差は得られないため、両目で観察した場合には、両眼視差としては平面、運動視差としては立体となり、2つの立体知覚に矛盾が生じるためだと考えられる。実験で用いたプロジェクタは 3D メガネによる両眼視差に対応しており、両眼視差を併用することでより大きな立体感が得られることを確認した。

図 11 に三次元物体と三次元 CG コピー物体を並べて配置した例を示す。このとき三次元 CG コピー物体は三角形メッシュデータによる表示を行っている。ユーザが移動すると、その視点位置に応じて CG 映像が変化するため、三次元 CG コピー物体は三次元物体と同様の見え方となった。三次元物体と三次元 CG コピー物体は、形や大きさ、動き、見え方がそれぞれ同等となるため、三次元物体がその場で複製されたように感じることができた。

図 12 に人間をコピーした例を示す。提案システムを用



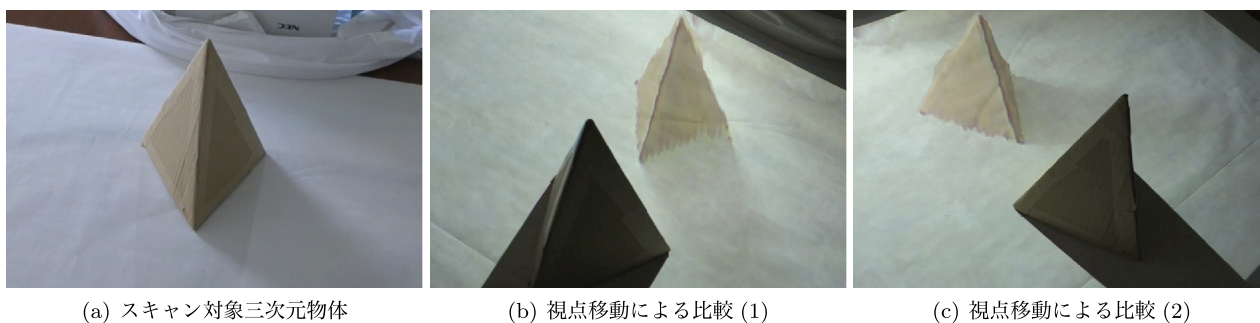


図 11 三次元物体と三次元 CG コピー物体の比較

Fig. 11 Comparison between a 3D physical object and a 3D copy.



図 12 三次元物体のスキャンと三次元 CG コピー物体表示の実験例 (2)

Fig. 12 An experiment of scanning a 3D physical object and displaying a 3D copy (2).

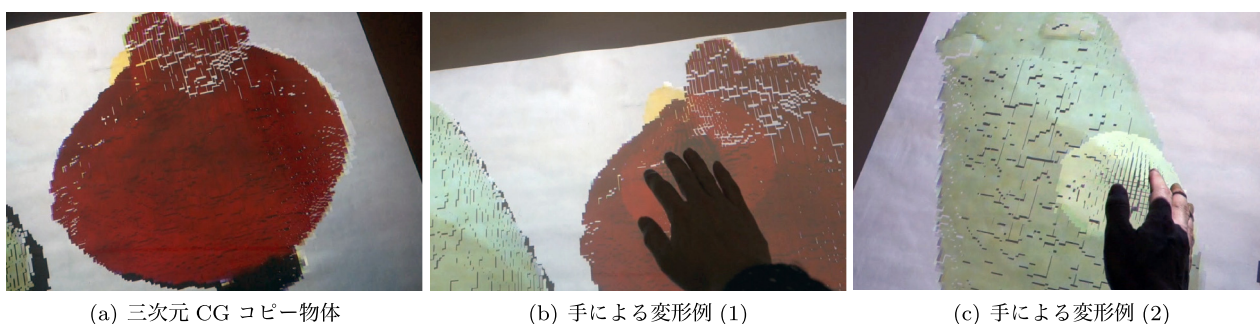


図 13 三次元 CG コピー物体を手で仮想的に触って対話的に変形させる実験例

Fig. 13 An experiment of interactive deformation of 3D copies with a hand.

いることで、スクリーン上に横たわった人間の三次元 CG コピー物体を生成することができた。さらに運動視差による立体視の適用により、人間の三次元 CG コピー物体が実際にその場に横たわっているように観察することができた。このように比較的大きな物体であってもコピーおよび観察が可能であることを確認した。

図 13 に三次元 CG コピー物体を手で仮想的に触って変形させる例を示す。ユーザが表示されている三次元 CG コピー物体に手を近づけると、手の位置付近に表示されている点群が移動して、三次元 CG コピー物体を対話的に変形できることを確認した。効果音も付加することで、触感はないものの視覚と聴覚の効果によって三次元 CG コピー物体に触っているような雰囲気が得られた。

ユーザが手を使って三次元 CG コピー物体に色塗りをした例を図 14 に示す。ユーザが三次元 CG コピー物体に手を近づけると、手の位置付近に表示されている点群の色が

変化して、三次元 CG コピー物体に対話的に着色できることを確認した。現在、仮想インクとしては赤、青、緑を用意しており、重ね塗りを行うことで様々な色に着色することができた。

### 5.3 動きのある物体のコピー実験

動きのある三次元物体に対する時系列データの取得と映像生成の実験を行った。現状は最大 4 秒 (120 フレーム) のデータ取得が可能であり、スキャンしたデータを連続的に表示することで三次元アニメーションが生成される。そしてユーザは様々な方向から三次元 CG アニメーションを観察することが可能である。

図 15 の実験では、対象物体が動く様子を様々な方向から観察できることを確認した。しかし、運動視差は視点位置の移動による見え方の変化が立体感を知覚させるため、対象物体が大きく動く場合には運動視差による見え方の変

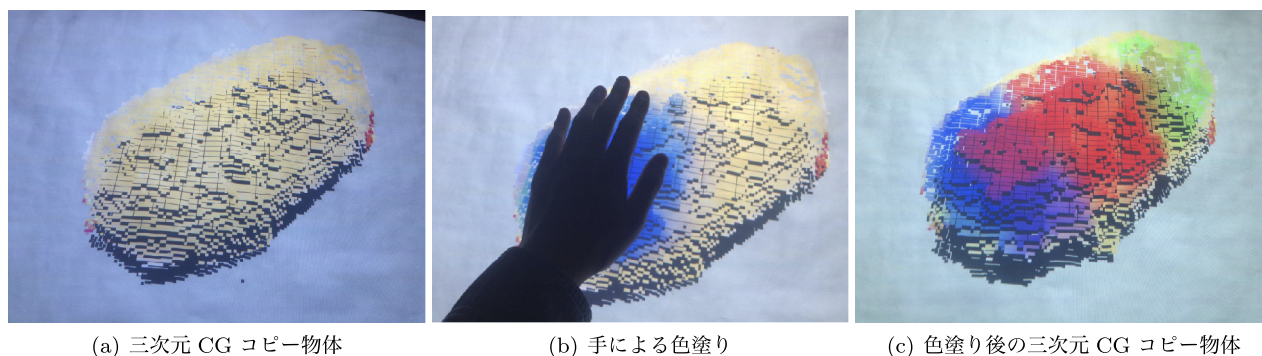


図 14 三次元 CG コピー物体を手で仮想的に触って対話的に色塗りを行う実験例

Fig. 14 An experiment of interactive painting of a 3D copy with a hand.

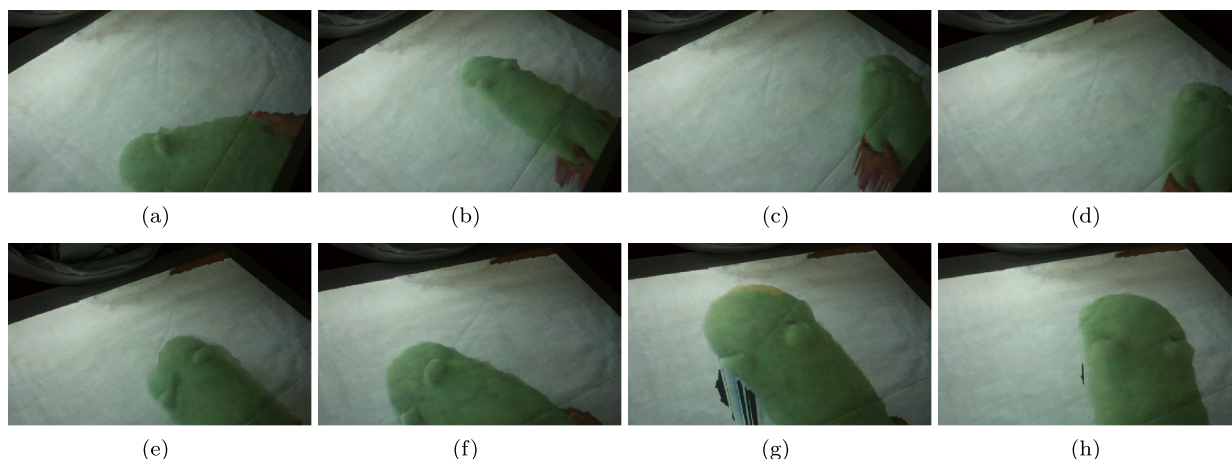


図 15 動作する三次元物体のスキャンと表示の実験例（動作はアルファベット順）

Fig. 15 An experiment of scanning and displaying a kinetic 3D physical object (1).

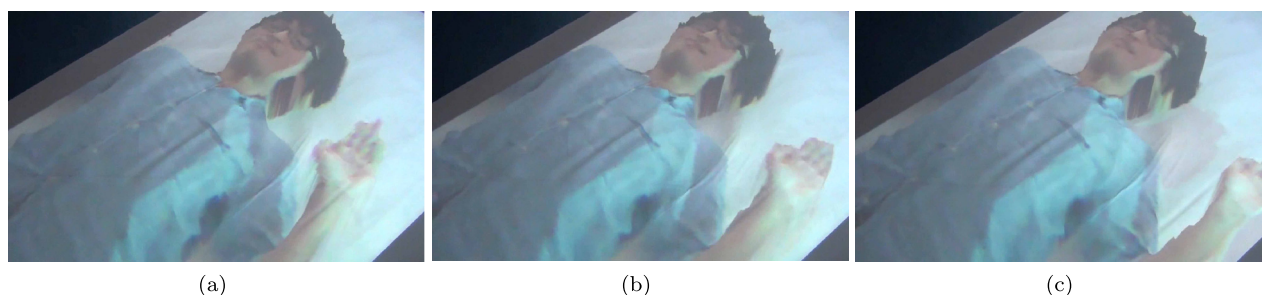


図 16 動作する三次元物体のスキャンと表示の実験例 2（動作はアルファベット順）

Fig. 16 An experiment of scanning and displaying a kinetic 3D physical object (2).

化が物体自身の動きによる見え方の変化に混じってしまい、静止している物体に比べてやや立体感が得られにくいことを確認した。3D メガネを用いた両眼視差立体視と組み合わせた場合には、大きな動きのある物体をコピーした場合であってもはっきりとした立体感が得られた。

一方、図 16 の実験例でも対象物体は動いているが、胴体部分はほとんど静止しているため、その部分で十分な運動視差が得られるため静止物体と同様な立体感が得られた。

#### 5.4 応用実験

提案システムはテーブル上の実物体を三次元的にスキャンして、実物体を取り除いた後でも運動視差立体視三次元

CG を用いて実物体がテーブル上に残っているように表示することができる。そのため、写真や通常の三次元 CG では伝えることが難しい物体のサイズ感を、提案システムではそのまま伝えることができる。この特徴は、科学館などにおいて展示が難しかったり移動が困難だったりするものを展示する手法として注目されている。

そこで名古屋市科学館の展示物をシステムでスキャンして表示する実験を行った。図 17 に実験の様子を示す。対象物体は小惑星イトカワの 1/1,000 模型であり、通常は展示室隅のガラスケースに入れられており、離れた場所で 1 方向からしか観察することができない。提案システムでスキャンして表示した場合、イトカワの模型を様々な方向か



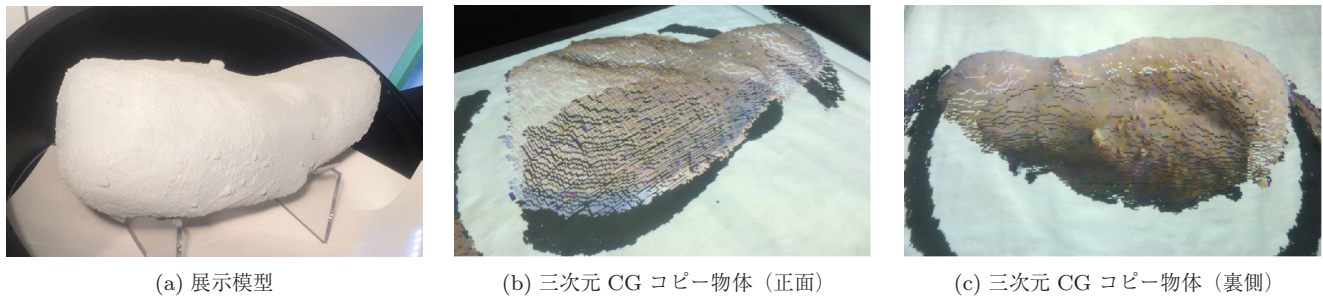


図 17 科学館の展示模型をコピーした例

Fig. 17 An experiment of copying an exhibition of a science museum.

ら実物と同じサイズ感を得ながら観察することができた。科学館学芸員からもサイズ感を直感できる展示手法として有効であるとの評価を得た。

### 5.5 考察

提案システムでは、スクリーン上方の 1 台の Kinect で物体の三次元スキャンとユーザの視点位置および手の位置の推定を行った。物体のスキャンについては、三次元物体の大きな形状および立体感を得るには十分な品質のデータが得られた。ただし、深度データの画素数は  $640 \times 480$  画素であり、詳細形状を再現することはできない。また、上方からのスキャンのみのため、側面は死角となりデータが生成されない。これらの問題を解決する方法の 1 つとして、複数台の Kinect の使用などがあげられる。

また、視点位置や手の位置の推定については、Kinect の測定範囲内に入っている場合は、テーブル周囲のどの位置であってもかなり安定した値となっており、精度についても生成される映像やインタラクションに関しては問題はなかった。ただし、ユーザが背中を曲げるような姿勢をとると背中が頭として誤認識される場合があった。

三次元 CG コピー物体とのインタラクションでは、手の位置に配置した 1 つの球と三次元 CG コピー物体を構成する各点との接触判定しか行っていない。そのため、三次元 CG コピー物体の細かい変形や色塗りを行うことができなかった。この問題を解決するために、新たに手の形状を認識させて、三次元 CG コピー物体との接触判定を手の形状に合わせて行うなどの工夫が必要であると考えられる。

提案システムはこれまで DICOMO2014 などの学会や大学祭などのイベントで一般向けにも展示実験を行っている。この中では約 100 人の人がシステムを体験しており、体験者の年齢は最も低い年齢は 3 歳程度で、最も高い年齢は 70 歳であった。

体験者に対する聞き取り調査では、運動視差による立体感ほとんどの体験者が知覚できた。ただし、ごくまれに立体感が得られないという体験者も存在した。また、両眼視差立体視と併用した場合にはすべての体験者が立体感を感じられたと答えたが、眼鏡を掛けることで立体感が得ら

れることが当たり前だと感じる体験者が何人もおり、不思議な感覚を与えるという目的の場合には両眼視差立体視は必ずしも必要ではないと思われた。

システムのスクリーンは一般的なテーブルトップに設置しており、高さは約 70 cm である。そのため、身長が 100 cm に満たない小さな子供の場合にはテーブルトップを観察することが困難であり、大人が抱きかかえて観察させる必要があった。それ以外の人については観察環境に大きな問題は見られなかった。

### 6. まとめ

本研究では現実世界の三次元物体の記録と映像提示を行う新しい CG システムを提案した。提案システムを用いることで、任意の三次元物体を動作を含めて瞬時にコピーして、三次元映像として再現しながら任意の位置から立体感を感じながら観察することができる。また三次元 CG コピー物体を手で仮想的に触れて変形させる、着色するなどの対話的な操作も可能である。提案システムでは、実物体と同等の大きさや見え方の三次元 CG コピー物体を生成して観察することができたため、通常では移動が困難な物体や人前に出しにくい貴重な物体などをあらかじめコピーしておくことで、実物と同じサイズ感で立体的に観察することが可能なため、たとえば科学館などの展示物に应用することも可能であると考えられる。また錯覚や錯視の 1 つと見なすことができるため、教育やエンタテインメント分野での活用を検討している。

本論文ではテーブルトップスクリーンを用いたが、提案システムは壁面投影にも対応可能である。また透過型スクリーンなどを用いることで、ホログラムのような表示も実現可能であると考えている。提案システムでは三次元 CG コピー物体とのインタラクションが可能であるため、握手などの対話的操作が可能な立体視等身大パネルとしての利用や、広告としての活用も考えられる。

今後の課題としては、高精細の RGB-D カメラを複数台使用することで正確で死角の少ない三次元形状の擬似的複製を行うことや、より安定した視点位置の推定、表示物体の移動などのインタラクションの実現、提案手法を拡張し

た遠隔コミュニケーションなどがあげられる。

謝辞 本研究の一部は JSPS 科研費 26330420, 25280131 の助成を受けた。

#### 参考文献

- [1] 大石岳史, 増田智仁, 倉爪 亮, 池内克史: 改創建期奈良大仏及び大仏殿のデジタル復元, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.10, No.3, pp.429-436 (2005).
- [2] 西村正三, 原 健司, 木本啓介, 松田 浩: 3D レーザ・デジタル画像を用いた軍艦島計測と損傷図作成—3D 点群のレンダリング・ひび割れ描画支援システム, 日本写真測量学会誌・写真測量とリモートセンシング, Vol.51, No.1, pp.46-53 (2012).
- [3] 徐 建鋒, 山崎俊彦, 相澤清晴: 極座標表現を用いた形状特徴ベクトルによる 3 次元ビデオのセグメンテーション, 情報処理学会論文誌: コンピュータビジョンとイメージメディア, Vol.47, SIG10(CVIM15), pp.208-217 (2006).
- [4] 吉村ミツ, 甲斐民子, 黒宮 明, 横山清子, 八村広三郎: 赤外線追跡装置による日本舞踊動作の解析, 電子情報通信学会論文誌 D-II, 情報・システム, II-パターン処理, Vol.J87-D-II, No.3, pp.779-788 (2004).
- [5] BLDGBLOG: Touchscreen Landscapes, 入手先 (<http://bldgblog.blogspot.jp/2014/10/touchscreen-landscapes.html>) (参照 2015-01-10).
- [6] Rogers, B.J. and Graham, M.: Motion Parallax as an Independent Cue for Depth Perception, *Perception*, No.8, pp.125-134 (1979).
- [7] 原田一馬, 菅野祐介, 佐藤洋一: 運動視差を用いたマルチタッチインタラクション, *Interaction 2012 論文集*, pp.795-800 (2012).
- [8] 玉井康之, 末永 剛, 栗田雄一, 松本吉央, 小笠原司: 運動視差提示による実画像 3 次元ディスプレイの提案, 第 25 回日本ロボット学会学術講演会論文集, 1H-12 (2007).
- [9] 塚田真未, 川島卓也, 水野慎士: 運動視差を用いた立体視 CG システムの構築と科学館での活用の検討, 情報処理学会研究報告 デジタルコンテンツクリエーション, Vol.2013-DCC-4, No.3, 6 pages (2013).



水野 慎士 (正会員)

平成 5 年名古屋大学工学部情報工学科卒業, 平成 7 年同大学大学院博士前期課程修了, 平成 10 年同大学院博士後期課程修了. 博士 (工学). 平成 11 年豊橋技術科学大学情報処理センター助手, 平成 21 年愛知工業大学情報科学部講師を経て, 平成 22 年同准教授, 現在に至る. コンピュータグラフィックス, 画像処理, マルチメディア等に関する技術の開発やそれらを応用したデジタルコンテンツに関する研究に従事. 画像電子学会奨励賞, インタクション 2005 プログラム委員特別賞, DICOMO2012 優秀論文賞・野口賞各賞受賞. 画像電子学会, 芸術科学会, 日本バーチャルリアリティ学会各会員.



上原 悠永 (学生会員)

平成 3 年生. 平成 26 年愛知工業大学情報科学部コンピュータシステム専攻卒業. 現在, 愛知工業大学大学院在学中. コンピュータグラフィックスの研究に関する従事.