

# 簡易な3次元ビデオ計測システムとWebベースのデータ共有サービスによる効率的な教育コンテンツ作成支援

森永 寛紀<sup>\*1</sup> 牛之濱 宅哉<sup>\*1</sup>, 木村 亮介<sup>\*1</sup>, 赤木 康宏<sup>\*2</sup>,  
三嶋 道弘<sup>\*1</sup>, 小野 智司<sup>\*1</sup>, 山之上 卓<sup>\*3</sup>, 川崎 洋<sup>\*1</sup>

Efficient Educational Content Creation System Based on 3D Video Data  
Using 3D Data Capturing and Editing System with Web-based Data Sharing Service

Hiroki Morinaga<sup>\*1</sup>, Takuya Ushinohama<sup>\*1</sup>, Ryousuke Kimura<sup>\*1</sup>, Yasuhiro Akagi<sup>\*2</sup>,  
Michihiro Mikamo<sup>\*1</sup>, Satoshi Ono<sup>\*1</sup>, Takashi Yamanoue<sup>\*3</sup>, Hiroshi Kawasaki<sup>\*1</sup>

**Abstract** – In this paper, we present an interactive 3D animation creation system that enables the user to capture, edit the moving objects and share them easily on the web. Recently, educational concept called active leaning has been becoming important in the field of education. The difference between the active leaning and usual education is that the learner actively absorbs the educational information not only from the lecturer, but also from other media contents such as videos and images. Therefore, various kinds of media contents aiming for active learning are required to help the learners. As the one of such media contents, we developed a system that can create 3D video data and share them on a web service. Concretely, in our system, the 3D contents are acquired by using Kinects on a graphical user interface. By using the proposed system, the user can edit and integrate the other contents such as music and images easily. The contents can be uploaded on the web server that provides the experience to manipulate the 3D animation intuitively through a touch interface. In this paper, we explain the overview of the proposed system and the details of the our algorithms to reconstruct 3D data. The experiment shows our system can obtain the 3D data efficiently by using a novel approach. As the conclusion, we show some demos to validate that the system is available for educational use and a user can operate the proposed system efficiently.

**Keywords** : education, active leaning, 3D contents, web service, Kinect

## 1 はじめに

本論文では、教育支援のための3次元ビデオ編集、共有、表示システムを提案する。近年、アクティブラーニングと呼ばれる学習方法が盛んになってきた。これは、従来の教える側が一方向的に学ぶ側に情報を教える方法ではなく、様々な取り組みを通して、学ぶ側が自ら深く学ぶための方法である。提案するシステムの目的は、この様々な取り組みの中の一役を担うことである。本システムを使用することで、教える側は見本となる動作を撮影後、それを効率的に3次元ビデオコンテンツとして作成し、配信可能となる。ここで言う3次元ビデオコンテンツとは、3次元データを時系列的に再生可能なデータ形式のことである。本システムで

扱うデータは3次元であるため、学ぶ側は見本となる動作を様々なカメラ位置から見る事が可能である。本システムにより、学ぶ側は効果的に対象の動きを追うことができ、効率的に技術を習得できる。

従来、移動する3次元データを用いたビデオは主に映像制作の分野で使用されている。例えば、映画、ゲームなどの産業分野では、仮想的なキャラクタに動きを追加するために使われる。これには、事前に専用のマーカーを用いて演者の動きを計測し、それを基にキャラクタに動きを加える。これはモーションキャプチャと呼ばれ、専用のスタジオを用いて撮影され、編集される。このように、以前から移動する3次元データと、それを用いたアニメーションの作成は専門家により行われてきたため、3次元キャラクタを用いて自由にアニメーションを作成するためには熟練した技術が必要であり、コンピュータグラフィクスやVRシステムに基礎的な素養のあるユーザであっても、全てのユーザが気軽に作成することは困難であった。

近年、3次元データを取得するための機器が身近に

<sup>\*1</sup>鹿児島大学工学部情報生体システム工学科

<sup>\*2</sup>東京農工大学スマートモビリティ研究拠点

<sup>\*3</sup>福山大学工学部情報工学科

<sup>\*1</sup>Department of Information Science and Biomedical Engineering, Kagoshima University

<sup>\*2</sup>Smart Mobility Research Center, Tokyo University of Agriculture and Technology

<sup>\*3</sup>Department of Computer Science, Fukuyama University

なってきた [1]. これらは計測対象に赤外線を照射し、投影されるパターンから 3 次元情報を取得する. そのため, 対象は専用のマーカーを装着する必要がなく, また, 専用のスタジオなども必要ない. このような機器を用いることで得られた 3 次元情報を用いた, 新たなメディアコンテンツが現れ始めている.

さらに, 現在, Web サイトを用いた動画共有に関心が高まっている [2] [3]. 利用者は自分の好きな動画をサーバにアップロードし, それを世界中で共有することができる. これらの動画共有サイトは, 学ぶ側にとっても有用である.

これらの背景から, 本論文では, 教える側, 学ぶ者の双方にとって活用しやすいアクティブラーニングのためのシステムを提案する. すなわち, 3 次元ビデオデータを利用した, 学習支援システムである. 本システムは, 1. 簡易計測システム, 2. GUI 編集システム, 3. Web 共有サービス, 4. タブレットによる閲覧システムからなる. 簡易計測システムにより, 3 次元データになじみのない利用者でも簡単に 3 次元ビデオコンテンツを作成できる. 編集には, グラフィカルユーザインターフェイス (Graphical User Interface: GUI) を用いることで, コンピュータグラフィックスや VR システムに詳しくないユーザであっても, 3 次元ビデオを制作しやすい環境を構築した.

作成したデータは, Web 共有サービスにより, Mooc (Massive open online course) やアクティブラーニングでダイレクトに活用できる. さらに, 3 次元ビデオを Web ブラウザやタブレット端末を用いて, 直観的に様々な方向から対象を見ることができる閲覧システムを開発した. これらにより, 簡単なコンテンツ作成とそれによる高い学習効果が期待される. このように, 3 次元ビデオを作成するために計測し, 計測したデータを編集し, 閲覧まで実現する, 統合されたシステムは, これまで開発・実用化されていない.

本論文は以下のように構成される. 第 2 章で関連研究を述べる. 第 3 章で提案するシステム全体の流れを示す. 第 4 章で, Kinect を用いた 3 次元データ取得方法の詳細について述べ, 第 5 章で, 取得した 3 次元データから 3 次元ビデオを作成する方法を述べる. 第 6 章, 第 7 章で, 作成した 3 次元ビデオを表示するユーザインターフェイスについて説明する. 第 8 章で, 提案するシステムを用いた場合の 3 次元ビデオ作成時間について説明する. 本システムでは, 同様の 3 次元モーション作成システムと比較し, より短時間で作成することができる. また, 位置合わせを自動化することで, コンテンツ作成者の負担を減らすことができる. 最後に, 第 9 章で, 提案するシステムの今後の展望を述べ, 全体のまとめとする.

## 2 関連研究

### 2.1 データ共有サーバを用いた教育利用

以前より各所で仮想空間を教育で利用する試みが行われている. 高橋らは “Laputa Project” と名付けられたプロジェクトにおいて, 利用者間で相互にやりとりが可能な 3 次元空間上で語学教育を行った例について述べている [4]. このプロジェクトは, 3 次元空間を使うことにより, 授業が活性化し, 学生の匿名性が保障され, ログが残り, シミュレーションが可能になるなどの利点があった. しかしながら, このプロジェクトは 3 次元仮想空間の中にある利点を十分活用できていない. Laputa Project と同様の授業をテキストベースのチャットシステムで行うと, より楽に授業をおこなうことができたとの報告もある [5].

仮想空間を使った授業は, 遠隔授業が容易になる利点がある. しかしながら, Laputa Project も含めた実時間のチャットを中心としたシステムでは, 遠隔授業を行う場合, 時間調整が困難になるような欠点もある.

その後, WebCT や Moodle などの, 教育用 CMS (Course Management System) が多く利用されるようになった [6][7]. これらの CMS では, Web サーバに教材や議論の場を置き, 学生はいつでもどこでも教材を閲覧することが可能で, 実時間でも, 非同期でも, 学生間で議論を行うことが可能であり, テストの実施や課題提出なども可能である.

最近では, Mooc [8][9][10] や反転授業 [11] など, 教育目的で動画コンテンツを利用する事例が増えている. 一般的に使える教材用として広く公開されたり販売されたりしている動画コンテンツもある [12]. YouTube [2] や Ustream [13], ニコニコ動画 [3] などの動画が大学を含む様々な教育機関の授業で利用される場合もある [14][15].

授業で動画コンテンツを利用することにより, 言葉で表現することが困難な事象も受講者は容易に把握することが可能になり, 内容によっては, 動画を使わなかった場合と比べて, 学習時間をかなり短くすることができる.

動画コンテンツが Web サーバに格納されることにより, 授業の参加者は, いつでもどこでも, そのコンテンツを視聴することが可能になる. Mooc はコンテンツが Web で公開されていることを前提としている. 反転授業は事前に Web サーバに格納された教材を使って事前に学習する.

現在教育用として使われている動画コンテンツの多くは 2 次元動画であるが, もし, コンテンツとして, 様々な異なる方向から見る事ができる 3 次元動画が利用できると, 科学技術教育, 医療教育, 体育教育などで 3 次元の物体や生物器官や人体の動きが容易に把

握できるようになり、学習時間をさらに大幅に短くできる可能性がある。例えば、ダンスの授業で振付を学習する場合、通常の 2 次元の動画では立体的な動きを見たり、異なる方向から動作を見たりすることは困難であるが、動く 3 次元モデルであれば、これらを見ることが容易になる。

渡辺らは 3 次元動画画像を用いた遠隔教育システムの研究を行っている [16]。このシステムは、指導者が 3 次元動画画像を用いて身体動作を示し、受講者は提示された画像を見て疑問点等を質問することによって、両者のコミュニケーションを図りながら授業を進めることができるものである。また、このシステムでは、3 次元動画画像の特徴を生かして、受講者が自由に視点を変えながら動作を観察することが可能である。しかしながら、渡辺らのシステムで提示される 3 次元画像は、3 次元モデリングツールを使って手入力で作成されている。このような方法で 3 次元モデルを作成し、動作を付けることは簡単ではない。このシステムでは実時間の遠隔教育を想定して、クライアントとサーバ側で表示される画像が同期されるように工夫が行われているが、サーバ側もクライアント側も専用のアプリケーションが利用されており、一般的な Web ブラウザで容易に利用できるようなものではない。

これに対し、我々のシステムは、動く 3 次元モデルを容易に作成することが可能であり、それを一般的な Web ブラウザを使って容易に視聴することが可能である。

## 2.2 3 次元ビデオコンテンツの直感的操作

3 次元ビデオコンテンツを教育目的で利用する際、簡潔かつ直感的な操作が可能であることが重要となる。3 次元のコンテンツの自由度 (Degree Of Freedom: DOF) は 2 次元の画面より高いため、3 次元のコンテンツを 2 次元の画面上でのジェスチャで制御するためには、特別な考慮が必要になる。Cohé らは、3 次元オブジェクトを制御するためのジェスチャの認識手法を提案している [17]。Bruno らはタッチインターフェースとジェスチャによる 3 次元オブジェクトの設計システムを提案している [18]。異なるジェスチャ入力の方法としては、Held らは現実世界の人形と仮想 3 次元空間のオブジェクトを Kinect を使って相互作用させることにより、3 次元コンテンツを作成するシステムを提供している [19]。彼らのシステムは、現実世界の経験とコンピュータを組み合わせたものであるが、3 次元ビデオコンテンツの場合は、さらに時間方向を含めた合計で 4 次元のコントロールが必要とされるため、上述のシステムを単純に適用することはできない。

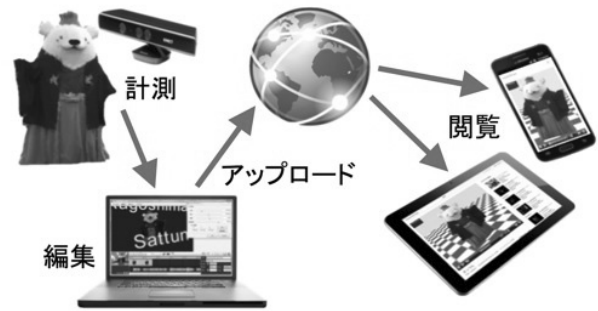


図 1 システム構成  
Fig.1 System construction

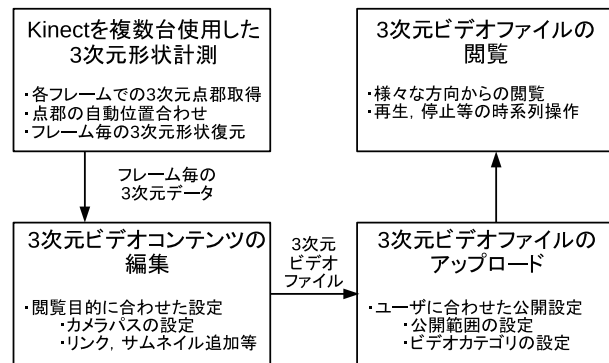


図 2 システム概要  
Fig.2 System overview

## 3 システム概要

本章では、本システムの構成と、本システムで利用される独自の 3 次元ビデオファイルのフォーマットについて述べる。

### 3.1 システム構成

本システムの構成を図 1 に示す。本システムは Kinect 複数台と、Kinect 制御・3 次元ビデオコンテンツ編集用の PC、3 次元ビデオコンテンツをアップロードするためのサーバーで構成され、ユーザは各自、それら携帯デバイスで閲覧することができる。本システムは、計測、編集、アップロード、閲覧という 4 つの段階からなる (図 2)。まず、3 次元ビデオコンテンツとして共有したい対象を計測する。計測には Kinect を用いる。また、複数台の Kinect を用いることで全周計測を行うことができる。Kinect を複数台使用し、モーションデータをフレームごとの 3 次元点群として取得する。複数台 Kinect の同時制御と、形状の効率的な統合手法に本システムのオリジナリティがある。入力として計測した 3 次元データは、編集システムを用いて必要なシーンの選定や音声の編集、必要に応じてテキストの入力やハイパーリンクの設定を行い、独自フォーマットの 3 次元ビデオファイルとして出力する。編集システムより出力した 3 次元ビデオファイルは、Web ベースのデータ共有サービスへアップロードすること

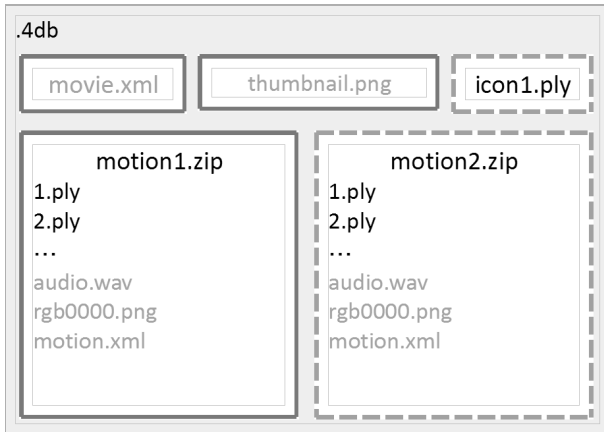


図3 4db フォーマット  
Fig. 3 4db format

で、インターネットを通して共有する。共有された3次元ビデオコンテンツは、Webブラウザを搭載したタブレットやスマートフォンにて閲覧できる。

### 3.2 3次元ビデオファイルのフォーマット

本節ではまず、本システム全体で利用される、3次元ビデオファイルのフォーマットについて述べる。このファイルフォーマットでは、時系列3次元形状情報を1つのモーションと考え、複数のモーションをまとめて、“4db”という拡張子で1つのファイルとして取り扱う。

4dbファイルが持つデータを図3に示す。このファイルは、モーションデータとして“motion1.zip”や“motion2.zip”，メインモーション名や描画時のカメラ位置など全体の設定を記述した“movie.xml”，Web表示時に使用されるサムネイル画像の“thumbnail.png”やモーション間推移用のボタンとして機能する立体形状“icon1.ply”などを持つ。また各モーションは，“1.ply”や“2.ply”など時間で連続した3次元形状データと、次モーションに推移するためのリンク情報や描画時のカメラ設定などを記述した“motion.xml”，モーションのサムネイル画像である“rgb0000.png”や音声ファイルの“audio.wav”などを持つ。各モーションをまとめてzip形式で圧縮し、複数のモーションを4dbファイルとしてまとめている。このようにフォーマットがシンプルであり、公開されているため、一般のプログラム開発者であれば、拡張、独自のシステムを作ることができ、これも本システムの特徴といえる。

## 4 簡易計測システム

本章では、Kinectを用いて簡易に3次元全周形状を取得するための計測システムについて述べる。このシステムでは、全周計測に必要な最小限の構成として、Kinect2台以上を用いた同期計測を行う。その際、複数台のKinectを用いるために、PCのUSBポート数

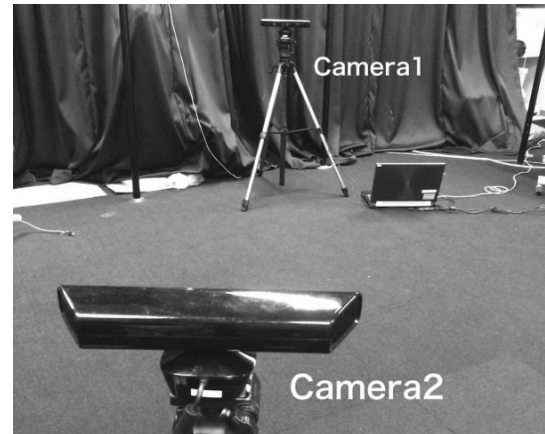


図4 2台のKinectからなる3D計測システム  
Fig. 4 3D data capturing system

や配置の際のケーブル長などの制限が生じる。そこで、本システムでは、同一ネットワーク上の他のPCに接続されているKinectをネットワーク経由で制御するシステムを構築した。これによりKinectを自由に配置して全周計測を行うことが出来る。

### 4.1 システム構成

このシステムは、複数台のKinectを用いて簡易に対象物体の全周を3次元形状計測することを使用目的としているため、PCに接続されている複数台のKinectを制御し、同時に計測を行う(図4)。

計測システムはコア部分とGUI部分に分離しており、コア部分はKinectによる3次元計測を、GUI部分は利用者に対する入力受け付けと計測結果の出力を行う。コア部分では、Kinectなどのデバイス選択や、計測時のフレーム数やフレームレートの設定、オプションとして人体骨格や顔のトラッキングの有無の選択などを行うことで、Kinectによる3次元形状計測を開始し、計測データをメモリ上に格納する。格納したデータは4db形式で出力することが出来る。また、コア部分はCLI(Command Line Interface)も持つため、これによりスクリプトファイルからの呼び出しによる計測なども行うことができる。GUI部分では、計測設定の入力やデバイス間の位置情報、計測時のカラー画像やデプス画像、3次元形状のリアルタイム表示や、計測結果の4dbファイルへの変換や保存などを行う。

このシステムの特徴として、ネットワーク上にある他のPCとTCP通信を行うことにより、そのPCに接続されているKinectを制御できることがある。

### 4.2 複数モーションの同期

複数台のKinectの計測結果を統合する際、計測データの同期が必要となる。これに対し、Kinectではハードウェアレベルでの同期やSDKの機能による同期などの手段は提供されていない。本システムでは、データ取得時のタイムスタンプを用いることで、計測デー



図 5 3次元オブジェクトを追加する様子  
Fig. 5 Importing 3D objects



図 6 カメラパスの設定  
Fig. 6 Setting camera path

タの同期を行う。また、ネットワークを経由して複数の PC を計測に用いる際には、利用者の操作する PC と計測用 PC の時間差を取得することでデータ間の同期を取っている。この際、Kinect の計測可能な FPS は最高でも 30 であり、それより低い速度で動く物体であれば、そのずれは知覚可能である。しかし、フレーム間の変化自体が小さいために知覚されるずれも小さい。具体的には、発生するずれは、物体の速度と、FPS から求まるフレーム間時間により求まるずれの最大値  $\frac{1}{60}[\text{sec.}]$  から、速度  $\times \frac{1}{60}$  となる。高速で移動する物体に対して、このずれは大きくなるが、その場合、高速であるため、人が知覚するのは難しい。

## 5 3次元モーションの編集システム

3次元モーションの編集を行うために、本システムでは GUI を用いている。この GUI では計測された 3次元モーションを確認するための再生機能に加え、音声の編集、3次元オブジェクトの追加などが可能である。また、特徴的な機能として 3次元モーションに追加されたオブジェクトに対してハイパーリンクの設定を行うことが可能である。

### 5.1 編集機能

3次元モーションに対して行うことができる編集機能を順に述べる。

#### 3次元オブジェクトの追加

編集 GUI で追加することができる 3次元オブジェクトには、テキストと PLY や OBJ 形式の 3次元形状の 2種類がある。編集 GUI によりオブジェクトを追加した様子を図 5 に示す。また、追加したオブジェクトは操作画面により回転・平行移動、サイズの変更を行うことができる。テキストに対してはさらに文字、色、厚さの変更も可能である。

#### ハイパーリンクの設定

追加した 3次元オブジェクトはそのオブジェクトをクリックすることで任意の Web ページや 3次元モー

ションを表示させることができる。ハイパーリンクの設定は 3次元オブジェクトの操作画面上で行う。関連する Web ページや他の 3次元モーションを表示することで補足の説明や異なる動作を視聴者に示すことができ、より教育効果が高まると期待される。

#### カメラパスの設定

3次元動画の特徴としてモーションを任意の視点から視聴することが可能である点が挙げられる。編集 GUI では視聴者が視点の操作をしなくとも、モーションの全周を見ることができるようデフォルトのカメラパスを設定することが可能である。カメラパスの設定を行っている様子を図 6 に示す。

#### 5.2 複数形状の自動位置合わせ

3次元動画ではモーションを様々な視点から視聴可能な利点がある。しかし、1視点の計測のみでは対象物体の全周をカバーできないため、複数の視点からモーションを計測する必要がある。複数視点から得られたモーションは位置合わせすることで、全周モーションを得ることができる。複数台の Kinect による全周形状復元手法としては、複数フレームの人物の動作とボーン情報を用いてカメラの位置推定する手法がある [24]。しかし、カメラ位置の推定には最低でも 3台の Kinect が必要であり、スケルトンの取得ができない環境では用いることができない。そのため、本システムでは少ない視点数でも全周復元を実現するために、重複領域の小さな 2形状や 3形状においても位置合わせが可能な位置合わせ手法 [20] を用いる。この手法は、重複領域が小さな形状でも位置合わせが可能のため、対象物体の前面と背面の 2視点のみの計測で全周形状を得ることも可能である。また、位置合わせには計測したモーションの形状を利用するため、別途キャリブレーション用のオブジェクトを用意する必要はない。これも本システムのメリットの一つである。モーション全体の位置合わせは、ある時刻の 1フレームの形状による位置合わせ結果を他のフレームに対しても適用する

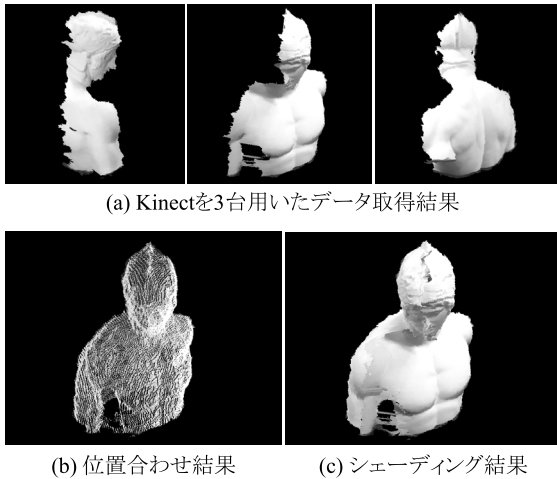


図7 計測により得られた3次元形状再構築  
Fig. 7 3D data reconstruction

ことで行われる。本システムで位置合わせに用いる形状は、計測開始直後の1フレームとしている。

3視点から得られた形状と、位置合わせを行った結果を図7に示す。図7(a)にKinectを3台用いたデータ取得結果、図7(b)にそれぞれを位置合わせした結果、そして、図7(c)にシェーディングした結果を示す。図7(b)では、それぞれのKinectから得られるデータを色分けし、緑、赤、白に対応させている。位置合わせにより1視点のみでは見ることができない部分も確認することができる。また、Kinectを固定しておくことで位置合わせ結果のパラメータを再度適用することができる。これにより、計測ごとに位置合わせを行う手間を省くことが可能である。

## 6 Webベースでのデータ共有サービス

Webブラウザを利用して3次元ビデオコンテンツをアップロードし、共有・閲覧するためのWebサービス“Hyper3Dcast”を製作した。本章では、本Webサービスについて述べる。

### 6.1 3次元ビデオファイルアップローダ

3次元ビデオコンテンツの投稿者は、WebブラウザよりHyper3Dcast内のアップローダにアクセスすることで、3次元ビデオファイルのアップロードが可能である。アップロードには利用者登録が必要であり、TwitterやFacebookといったソーシャルネットワークサービスのアカウントでサインアップできる。図8に示すアップロード画面では、タイトルや説明、カテゴリ、タグ、動画の公開レベルなどを選択した後、.4db形式で書き出された3次元ビデオファイルを選択し、アップロードを行う。アップローダは投稿者からアップロードされた.4db形式の動画ファイルを受け取ると、内包するモーションデータと全体設定ファイル、サム

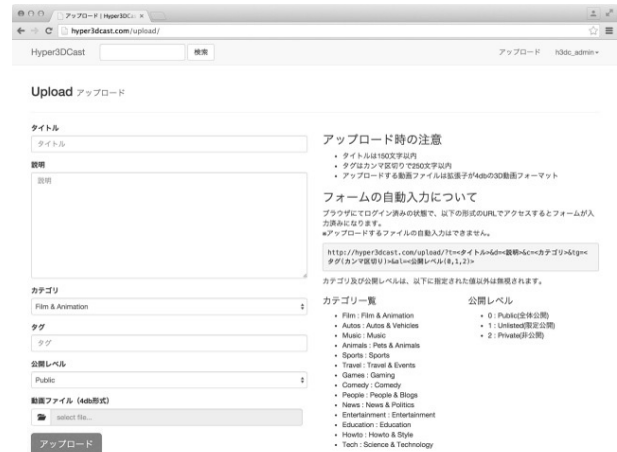


図8 アップロードページ  
Fig. 8 Screenshot of the uploading window

ネイル画像、音声ファイルを展開し、アップロード時に設定した情報のデータベースへの登録と共にサーバに保存される。アップロード処理が完了すると、投稿された3次元ビデオコンテンツ再生ページに対して個別のURLが発行される。また、同時にQRコードも発行されるため、タブレットなどの端末でこれを読み取ることで、容易に3次元ビデオコンテンツ再生ページへアクセスできる。

本システムの編集GUIで書き出し、アップロードする3次元ビデオファイルは通常、SD (Standard Definition) 画質であるが、書き出しの際にHQ (High Quality) 画質を選択することで高解像度の3次元ビデオファイルを生成することが可能である。このHQ画質の3次元ビデオファイルは、より高性能な処理が可能な端末で再生されることを目的として用意されている。アップローダでは、HQ画質の3次元ビデオファイルもアップロードすることが可能であり、閲覧者がビューアから選択することで閲覧できる。

本Webサービスでは動画の公開レベルを公開、非公開、限定公開の3種から選択できる。公開は本Webサービスにアクセスする全員が再生することができ、検索の対象となる。非公開は投稿者のみが、本サービスにログインした状態でのみ閲覧可能となる。限定公開は、投稿者と、投稿者から3次元ビデオコンテンツ再生ページのURLを教えてもらった人のみが閲覧可能となる。このように公開レベルを設けることで、投稿する3次元ビデオコンテンツの利用用途や共有したい範囲に柔軟に対応できる。

### 6.2 3次元ビデオコンテンツビューア

図9に3次元ビデオコンテンツの再生ページを示す。アップロードした3次元ビデオファイルに対して発行されたURLにアクセスすることで、閲覧者は投稿された3次元ビデオコンテンツを再生ページ内のビュー



図 9 3 次元ビデオコンテンツ再生ページ  
Fig. 9 A screenshot of the viewing window

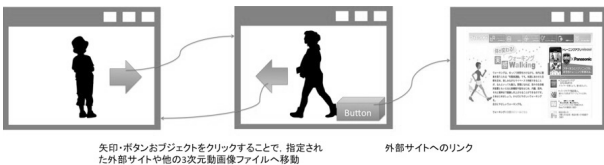


図 10 3 次元ビデオコンテンツ内に設定したハイパーリンクの挙動  
Fig. 10 Linking to other 3D video and external sites

アで再生することができる。

閲覧者が再生ページにアクセスすると、ビューアは URL に対応するアップロード済みの 3 次元ビデオファイルの情報と全体設定ファイルを取得する。さらに、全体設定ファイルに記述された情報から、フレームごとの 3 次元形状データを読み込む。すべての 3 次元形状データが Web ブラウザにキャッシュされると、再生開始ボタンが表示され、これをクリックすることで 3 次元ビデオコンテンツの再生が開始される。ビューア上では、マウス操作により自由に視点を変更することができる。

3 次元ビデオファイルは、SD 画質、HQ 画質の 2 タイプがあり、HQ 画質で再生が可能である場合、それを示すボタンが表示される。

また、3 次元ビデオファイルによっては、ハイパーリンクが指定されたオブジェクトを持っている場合がある。このようなオブジェクトは、クリックすることで別の 3 次元ビデオコンテンツ再生ページや外部の Web サイトへジャンプすることができる (図 10)。

ビューアは、3 次元形状のレンダリングに WebGL を用いている。これにより、WebGL に標準対応した Web ブラウザであれば、特別なプラグインをインストールすることなく、3 次元ビデオコンテンツを閲覧可能である。これは本手法の大きなメリットの一つで



図 11 Hyper3Dcast に投稿された 3 次元ビデオコンテンツをクライアントアプリケーションより取得した様子  
Fig. 11 The application shows 3D videos posted on Hyper3Dcast

ある。また、WebGL に対応したブラウザを搭載するスマートフォンやタブレットであれば、PC 同様に閲覧可能である。この場合、タッチ操作にて自由な視点変更をすることができる。

## 7 タブレットによる直感的表示システム

3 次元ビデオコンテンツ作成者によって制作されたコンテンツは、提案する Web ブラウザを用いたビューアとは別に、クライアントアプリケーションによる閲覧が可能である。こちらでは Android OS を搭載したタッチ操作が可能なタブレット端末などで、3 次元ビデオコンテンツをインタラクティブに操作することができる。このアプリケーションは Hyper3Dcast から API 経由で情報を取得し、Hyper3Dcast に投稿された 3 次元ビデオコンテンツの情報を一覧にして取得することができる。

閲覧者はコンテンツ作成者がアップロードした 3 次元ビデオコンテンツを Android OS 搭載端末にダウンロードすることが可能であり、ダウンロードした 3 次元ビデオコンテンツはアプリケーションに実装されているビューアで閲覧することが可能である。また、WebGL を用いず、OpenGL で実装されているため、WebGL に対応していないスマートフォン、タブレットでも 3 次元ビデオコンテンツを閲覧することが可能である。ビューア上では、画面をタッチ、スワイプすることによって 3 次元ビデオコンテンツを様々な角度、視点から閲覧することができる。また、ダウンロードされた 3 次元ビデオファイルは端末内に保存することができ、一度ダウンロードした 3 次元ビデオコンテンツはネットワークに接続してなくてもアプリケーション内での閲覧が可能である。そのため、事前に 3 次元ビデオファイルをダウンロードしておくことによって、学校の体育館や、プールなど、ネットワー

ク接続に制限のある環境でも3次元ビデオコンテンツの閲覧が可能である。

## 8 実験

本システムでは、3次元モーションデータを作成する手段として、2台のKinectをネットワークで接続したシステムを用いて全周計測を行った。同様に3次元モーションデータを作成するソフトウェアとして、MMD (MikuMikuDance)[21]がある。MMDはボーンを持ったモデルを編集ソフトウェア上で操作し、移動方向と移動量を設定していくことで3次元モーションデータを作成できるものである。本章では、本システムでの計測とMMDで作成した場合で、同一モーションの作成に掛かった時間について比較した。本論文で比較対象をMMDとした理由は以下による。

1. このような目的で従来一般的に使用されてきたモーションキャプチャシステムは、マーカーを付けたり、専用の高額な装置が必要であり、今回の目的にそぐわない。
2. Kinectなどによるマーカーレスで安価なモーションキャプチャは、柔道着やスカートと言った服装ではうまく動作しない。
3. MMDは、本システムと同様に全周データのモーションを容易に生成でき、自由な視点から閲覧することができるシステムである。
4. Webベースの動画共有サービスへ投稿されるコンテンツ作成ソフトウェアとして、多数の利用事例がある。

時間を比較した理由は、本システムは教育現場で使用されることを想定しているからである。すなわち、教育現場では教える時間が限られている。そのため、例えば、教える側が実演し、それを3次元ビデオコンテンツを用いて解説する場合、なるべく、授業の進行の妨げとならず、早く作成できることが望まれる。それを示すため、今回は作成時間の比較を行った。

また、後半では、2台で計測したデータを全周データにする際の位置合わせにおいて本システムによる自動で行った場合と手動で行った場合に掛かる時間についての比較、タブレットを利用した3次元ビデオコンテンツの操作について述べる。

### 8.1 3次元ビデオコンテンツ作成

今回、検証のために作成した3次元モーションはmagic, dance, maemawariの3種類で、それぞれ、腕を振る動作(5秒)、ダンス(10秒)、前回り受身(5秒)である。この3次元モーションを4人の操作者がMMDで作成した場合、magicで平均34分20秒、

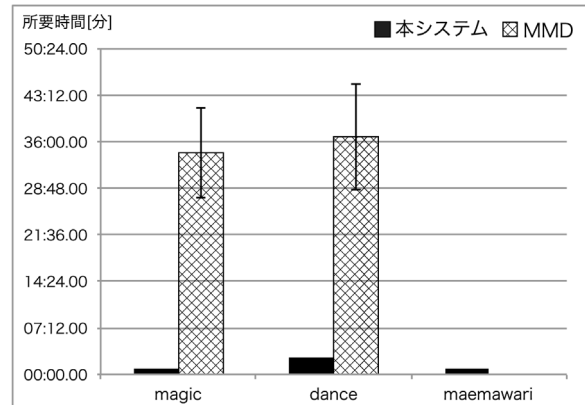


図12 本システムの3次元データ計測・作成時間とMMDでの作業時間

Fig. 12 The comparison of the editing time to make 3D video data

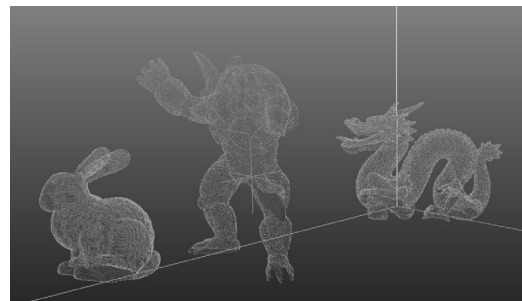


図13 位置合わせに用いた3次元データ

Fig. 13 The 3D data used in reconstructing

danceで平均36分45秒の作業時間を要した。また、maemawariは動作が複雑なため、MMDでの作成が困難であった。本システムによる3次元モーションデータ計測では、撮影の開始から、撮影が終了し、計測したデータが全て出力されるまでの時間を測定した。

図12は本システムの計測による3次元モーションデータ作成と、MMDでの3次元モーションデータ作成に掛かる平均所要時間のグラフである。グラフより、本システムによる3次元モーションデータは、MMDによる作成と比較して短時間で行えることがわかる。また、MMDでは操作者の馴れや工夫によって3次元モーションデータの作成に掛かる時間に大きく差がでた。これに対し、本システムの場合、3次元モーションの取得対象が実際の動作をする時間と、出力処理時間の合計が3次元モーションデータの作成時間となるため、PC上のソフトウェアを操作する作業に不慣れた利用者でも、同様に短時間で3次元モーションデータの作成が可能であると考えられる。

### 8.2 自動位置合わせ

2方向からの計測を行った3次元データは、全周データとして扱うために、位置合わせを行い1つに結合する必要がある。この位置合わせの作業を自動で行った場合の処理に掛かる時間と、手動で行った場合に掛か



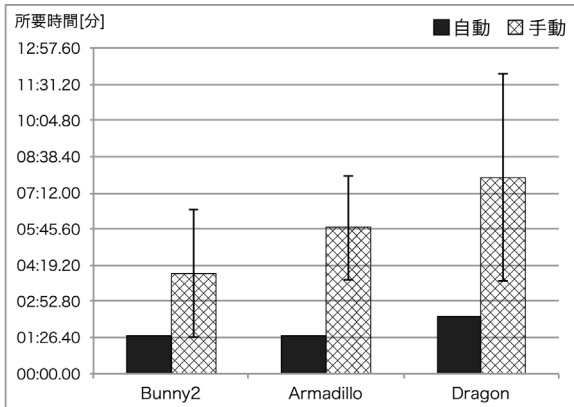


図 14 自動および手動位置合わせに掛かる時間  
Fig. 14 The comparison of the processing time to reconstruct 3D data

る時間を計測し、比較した。比較に用いるデータは、Stanford 大学が 3D Scanning Repository [22] で提供している 3 種類 (Bunny2, Armadillo, Dragon) (図 13) で、それぞれ前後方向から撮影されたものである。手動による位置合わせでは、7 人に位置合わせのためのソフトウェアを操作してもらい、あらかじめ設定した許容誤差範囲内に収まるまでの時間を計測した。この時の誤差の計算には、同様に Stanford 大学が提供している全周統合済みデータを使用した。また、実験に際しては、プレトレーニングとして、計測に用いない対象一つを用いて位置合わせ練習を行っている。図 14 は自動および手動による位置合わせを行った際の平均所要時間のグラフである。手動での位置合わせを行った場合、複雑な形状になるほど、位置合わせの所要時間が増え、操作者によって時間に大きく差が出るのがわかる。これに対し、本システムの自動位置合わせによる処理に掛かる時間は、手動に比べて短く、複雑な形状においても安定した処理性能を発揮することがわかる。また、位置合わせ時の誤差は手動の場合に比べると 2 桁近く高い精度が出た。

この結果より、本システムの 3 次元計測手法に必須である、全周データ作成のための位置合わせについて、高速かつ精度の良い全周データ生成が可能となり、3 次元コンテンツの作成にかかる負担を軽減することができると思われる。

### 8.3 提案システムを用いた学習効果

さらに、提案するシステムにより、効率的に所望の情報を得ることができることを示すため、被験者を用いて実験を行った。

被験者には、箱を積み上げるようすを撮影した動画を見せ、そこで示されているように、箱を配置するように指示した。被験者は、本システムが想定するユーザである教育関係者と同等の能力を持つと想定される大学 4 年から修士 2 年の 15 名である。



図 15 提案手法と比較のために用いたビデオ  
Fig. 15 The proposed 3d video and previous methods for comparison.

実験では動画を見た被験者が、示された箱と同じ配置にするまでに要した時間を計測した。図 15 に実験に用いた 3 種類の動画の 1 フレームを示す。図 15(a) は提案するシステムにより作成された 3 次元ビデオ、図 15(b) は 3 方向から撮影したビデオ、図 15(c) は 1 方向から撮影したビデオである。被験者には 3 種類のビデオのうち、どれか一つを見せて実験した。これは、同じ被験者が 3 種類のビデオで実験を行った場合、箱の配置を記憶してしまうのを防ぐためである。被験者は、箱を配置する際、動画を停止し、繰り返し再生することができる。さらに、提案するシステムでは、マウスで操作することで様々な方向から見るができる。

図 16 に、それぞれの動画の場合で箱を配置するために要した時間の平均を示す。図 16 からわかるように、提案するシステムにより作成されたビデオを用いた場合は、他のビデオを用いた場合と比べ、より速く箱を配置することができた。さらに、提案するシステムの優位性を示すために t 検定を行った。帰無仮説は、それぞれ、「提案するシステムにより作成されたビデオと 3 方向からのビデオで箱を配置する時間に差がない」、「提案するシステムにより作成されたビデオと 1 方向からのビデオで箱を配置する時間に差がない」とした。前者、後者に対して、棄却率 5%(0.05) で t 検定を行った。両側検定で、それぞれ、 $P(T \leq t)$  は 0.0065, 0.0112 となった。この結果、帰無仮説は棄却され、提案するシステムにより作成されたビデオを用いることで、その他のビデオよりも、速く箱を配置できることが示された。よって、提案するシステムを用いることで、効率的に情報を得ることができていることがわかる。つまり、効率的に学習できているといえる。また、この実験は、提案するシステムが人物の動作を対象とするだけではなく、物体を対象とした場合にも有効であることを示している。

### 8.4 タブレットを用いた使用例

ネットワークを通じて入手した 3 次元ビデオコンテンツをタブレット端末上で操作している様子を示す (図 17)。本システムには、古川らが提案する手法 [23] により、3 次元ビデオコンテンツ内のループを自動的に検出し、永遠に滑らかに再生し続ける機能や、モーション同士をなめらかに動作遷移する機能が盛り込ま

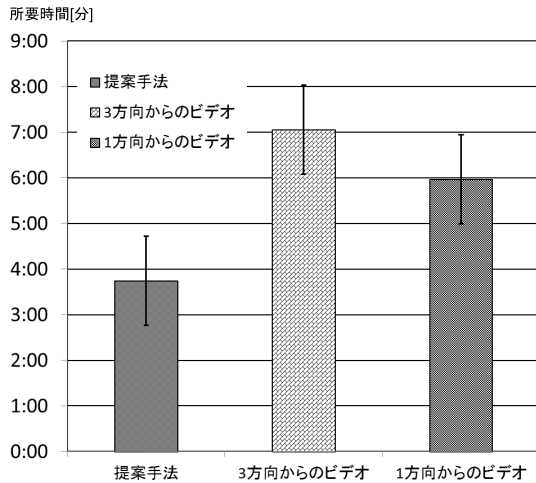


図 16 箱を配置するまでにかかった平均時間  
Fig. 16 The time to arrange the boxes



図 17 閲覧の様子  
Fig. 17 Browsing 3D video using a tablet device

れている (図 18). このように連結された 3 次元ビデオコンテンツは, タブレットのタッチパネルを用いたジェスチャ認識により滑らかな動作遷移を行うことができる (図 19). 図 19 で示す矢印をタッチすることで, 閲覧者はループ状態から動作遷移を行うことができる.

このように本システムでは時間方向と, 物体の動きや視点の場所といった 3 次元空間上でのコントロールが可能である. これにより, 閲覧者は直感的な操作により, 3 次元ビデオコンテンツを操作可能となる.

## 9 まとめ

本論文では, 教育支援のための 3 次元ビデオ編集, 共有, 表示システムを提案した. 本システムを用いることで, 教える側は見本となる動作を撮影後, それを GUI を用いて効率的に 3 次元ビデオコンテンツとして作成し, 配信可能である. 配信された 3 次元ビデオコンテンツは Web サイトから自由に閲覧可能である. さらに, 本システムでは 3 次元データを使用し, 学ぶ側は見本となる動作を任意のカメラ位置から見るこ

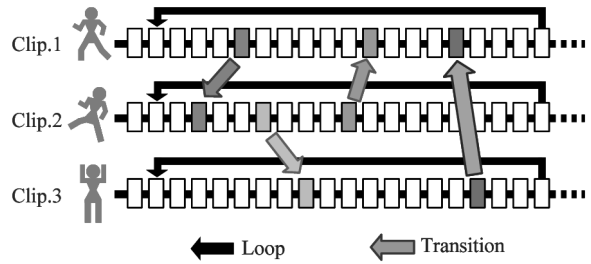


図 18 状態遷移を伴うアニメーションの構成例  
Fig. 18 Animations composed of state transitions

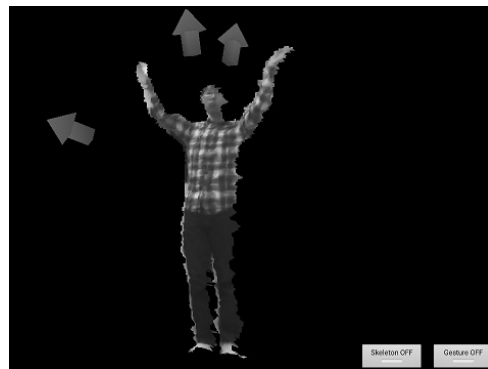


図 19 タブレットでの状態遷移制御  
Fig. 19 Manipulating state transitions on a tablet device

が可能である. これにより, 効率的に学習することができる.

また, システムの有用性を確認するため, モーションデータ作成時間と位置合わせにかかる時間を比較実験した. 本システムは, モーションデータを他手法と比べて, 高速に同等な結果を得ることができる. また, 位置合わせを自動化したことにより, コンテンツ作成者の負担を軽減した.

今後の課題として, 本システムを実際に教育現場で利用してもらうことで, より教材として有用性の高い 3 次元ビデオコンテンツが作成可能なシステムへの改良や, より学習効果の高いビューア的设计に反映していくことが望まれる. また, 教育以外の目的での利用も検討している.

## 参考文献

- [1] Microsoft Xbox 360 Kinect, <http://www.xbox.com/en-US/kinect>.
- [2] YouTube, <http://www.youtube.com/>.
- [3] ニコニコ動画, <http://www.nicovideo.jp/>.
- [4] 高橋里美, 志水俊広, 井上奈良彦, 鈴木右文, 山内正一, : Laputa Project: The Potential of the 3D Interactive Education System in College English Education, Proceedings of The Fourth Conference on Foreign Language Education and Technology, pp.429-435, 2001 年.
- [5] 藤本純子: 「話す」と「書く」のはぎまで-チャットの活用によるドイツ語授業のインタラクションの活性化-, 独語独文学研究年報, 2005 年.
- [6] 梶田将司: コース管理システムの発展と我が国の高等

教育機関への波及，メディア教育研究，第1巻，第1号，pp. 85-98，2004年。

- [7] Takashi Yamanoue, et al.: Information and Communication Technology Infrastructure and Management for Collaboration with Regional Universities and Colleges, Proceedings of the 39th annual ACM SIGUCCS conference on User services, pp.25-30, 2011.
- [8] 山田恒夫: MOOC とは何か ポスト MOOC を見据えた次世代プラットフォームの課題, 情報管理, 第57巻, 第6号, pp. 367-375, 2014年.
- [9] gacco, <http://gacco.org>.
- [10] jmooc, <http://www.jmooc.jp>.
- [11] 重田 勝: 反転授業 ICT による教育改革の進展, 情報管理, 第56巻, 第10号, pp. 677-684, 2014年.
- [12] Takashi Yamanoue, Michio Nakanishi, Atsushi Nakamura, Izumi Fuse, Ikuya Murata, Shozo Fukada, Takahiro Tagawa, Tatsumi Takeo, Shigeto Okabe, Tsuneo Yamada: Digital Video Clips Covering Computer Ethics in Higher Education, Proceedings of the 33rd annual ACM SIGUCCS conference on User services, pp.456-461, 2005.
- [13] Ustream, <http://www.ustream.tv/>.
- [14] 竹野茂: Ustream の英語授業への効果的な活用法, 宮崎公立大学人文学部紀要, 第22巻, 第1号, pp. 281-296, 2015年.
- [15] 駒大 GMS 学部 2015 年度実践メディアビジネス講座, <http://live.nicovideo.jp/watch/lv222670215>.
- [16] 渡辺陽太郎, 木村淳, 角山正博: 三次元動画画像を用いた遠隔教育システム (Web 技術の教育利用/一般), 電子情報通信学会技術研究報告, 教育工学, 第108巻, 第146号, 2008年.
- [17] Aurélie Cohé and Martin Hachet.: Understanding user gestures for manipulating 3d objects from touchscreen inputs, Proceedings of Graphics Interface 2012, pp. 157-164, 2012.
- [18] Bruno De Araujo, Géry Casiez, Joaquim Jorge, and Martin Hachet.: Modeling on and above a stereoscopic multitouch display, In 3DCHI-The 3rd Dimension of CHI, pp. 79-86, 2012.
- [19] Robert Held, Ankit Gupta, Brian Curless, and Maneesh Agrawala.: 3d puppetry: a kinect-based interface for 3d animation. In UIST, pp. 423-434. Citeseer, 2012.
- [20] T. Ushinohama, Y. Sawai, S. Ono, and H. Kawasaki.: Simultaneous entire shape registration of multiple depth images using depth difference and shape silhouette. In Proceedings of the 12th Asian Conference on Computer Vision (ACCV'14), 2014.
- [21] Vocaloid Promotion Video Project, <http://www.geocities.jp/higuchuu4/>
- [22] The Stanford 3D Scanning Repository, <http://graphics.stanford.edu/data/3Dscanrep/>
- [23] Masayuki Furukawa, Yasuhiro Akagi, Yukiko Kawai, and Hiroshi Kawasaki. Interactive 3d animation creation and viewing system based on motion graph and pose estimation method. In Proceedings of the ACM International Conference on Multimedia, pp. 1213-1216, 2014.
- [24] Genzhi Ye, Yebin Liu, Nils Hasler, Xiangyang Ji, Qionghai Dai, and Christian Theobalt.: Performance capture of interacting characters with handheld kinects. In Proceedings of the 12th European Conference on Computer Vision - Volume Part II, ECCV'12, pp. 828-841, 2012.

## [著者紹介]

森永 寛紀



2014年3月鹿児島大学工学部情報生体システム工学科卒業。同年鹿児島大学大学院理工学研究科情報生体システム工学専攻，現在に至る。コンピュータビジョンの研究に従事。

牛之濱 宅哉



2014年3月鹿児島大学工学部情報生体システム工学科卒業。同年鹿児島大学大学院理工学研究科情報生体システム工学専攻，現在に至る。コンピュータビジョンの研究に従事。

木村 亮介



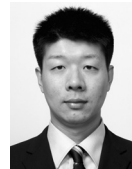
2015年9月鹿児島大学工学部情報生体システム工学科卒業。同年鹿児島大学大学院理工学研究科情報生体システム工学専攻，現在に至る。コンピュータビジョンの研究に従事。

赤木 康宏



2006年東京農工大学大学院電子情報工学専攻修了。2006年～2012年同大助教，2012年鹿児島大学特任講師，2013年同大特任准教授，2014年東京農工大学特任准教授，現在に至る。高度運転支援に関する研究に従事。博士(工学)。

三嶋 道弘



2013年広島大学大学院工学研究院情報部門修了，2014年同部門特任助教，2015年鹿児島大学学術研究院理工学域工学系情報生体システム工学専攻，現在に至る。コンピュータグラフィクスおよびコンピュータビジョンの研究に従事。博士(工学)。

小野 智司



2002年筑波大学大学院博士課程工学研究科修了。2003年鹿児島大学工学部情報工学科助手。2010年同大学理工学研究科情報生体システム工学専攻准教授，現在に至る。進化計算とその応用の研究に従事。博士(工学)。

山之上 卓



1987年九州大学大学院総合理工学研究科博士後期課程単位取得退学。九州工業大学，鹿児島大学を経て，2015年福山大学工学部教授，現在に至る。ネットワークの管理運営に関する研究等に従事。博士(工学)。

川崎 洋 (正会員)



2003年東京大学大学院工学研究科博士課程後期修了。2008年埼玉大学工学部情報システム工学科准教授，2009年INRIA フランス国立研究所客員教授，現在に至る。2010年鹿児島大学理工学研究科情報生体システム工学専攻教授。博士(工学)。