

# 3D スキャニング技術を用いたインタラクティブアートの 時空間アーカイブ

## Interactive art spatio-temporal archive that utilizes 3D scanning technology

小川圭祐（東京工芸大学 助教） 田中省吾 赤羽亨  
OGAWA Keisuke, TANAKA Shougo, AKABANE Kyo

### 1. 概要

インタラクティブアートにおけるインタラクションは、多くの場合、鑑賞者の空間的な振る舞いと作品の時間的な変化の関係として現れる。本研究では時間的な変化を 3D データとして記録できる装置を開発し、インタラクション（鑑賞者の空間的な振る舞いと、作品の時間的な変化の関係）を含めた作品記録、およびその活用まで含めたアーカイブ手法の開発を目指す。

研究は以下の方向性を持つ。

- ・ オーディエンスの鑑賞記録（鑑賞者ボーン撮影システム）
- ・ 作品の 3D スキャニング（TimeBased3D Recording System）
- ・ 3D スキャンデータの閲覧（TimeBased3D Viewer）

本稿では「TimeBased3D Recording System」と「TimeBased3D Viewer」について述べる。

### 2. 背景

現在注目されている非接触で行う 3D スキャニング技術は、その利便性により測量や、文化財のデータ保存などに用いられている。これらは深度センサーにより被写体とカメラとの距離を算出し、被写体を 3D のモデルとしてデータに収めるものであり、被写体＝静物を様々な角度から撮影し深度データを多角的に取得し、最終的に取得したデータをひとつのモデルデータとして統合する。ここ数年で 3D スキャニングを行えるセンサーハードウェアの低下価格化が進み、一般にも流通し始めている。それらの中には静物のスキャニングのみならず、人の動作など時間的な変化の取得も可能なものが出てきている。例えば、家庭用ゲーム機のコントローラーインターフェースとして開発された Kinect センサーなどは、時間的な変化をスキャニングできる代表的なものとして挙げられる。

本研究では、インタラクティブなインスタレーション作品（空間的な要素を含む表現形式）の記録に、これらの 3D スキャニング技術を取り入れることを試みる。作品の記録に 3D スキャニング技術を活用することにより、従来のカメラ撮影では取得することが困難であった作品の立体的詳細や、鑑賞者の位置、鑑賞者の空間的な振る舞いと作品の時間的な変化を記録することを目指している。

### 3. リサーチ・撮影実験

本研究を進めるにあたり、既存の 3D スキャナに関するリサーチを行った。またそのうち 2 つの 3D スキャナを使った撮影実験（2015 年 9 月 11 日 IAMAS ギャラリー）を通して、各スキャナの機能評価を行った。そのうちの 하나가、深度データの時間的変化を記録する Microsoft の Kinect と組み合わせ、時間軸を持った 3D スキャニングを可能にしたオープンソースのアプリケーション「DepthKit」。もう一つが、高精細な 3D キャプチャーを行えるカメラセンサーとして DotProduct LLC の「DPI-7kit」である。DPI-7 は一般的なキャプチャー方法である静止画のモデルデータを生成するものであるが、展示空間についてこれらの高精細なカメラがどのように表現をキャプチャーできるのかの検証の必要についても考慮し撮影実験を行った。

#### 3.1 実験

実験の方法として、実際に大澤悟のデバイス作品「Interaction Sketch」を展示し、その空間で検証対象の 3D スキャナを用いてスキャニングを試みた。その上で、「鑑賞者の空間的な振る舞いと作品の時間的変化を記録する」ということがどの程度達成出来るか効果測定を行った。「Interaction Sketch」は約 20 立方 cm の作品群である。その中から幾つかの作品を選び、クローズアップした画角でのインタラクションや、人体全体と作品の両方を同時に捉える画角などを逐次検討しながら撮影することを試みた。

#### 3.2 実験結果

実験を行った結果、現状の撮影のシステムでの課題点を以下に挙げる。

今回利用した Kinect の深度の認識距離は約 0.4~3.5m である。これに対し「Interaction Sketch」のサイズは約 20cm であり、画角的に最適なサイズで 3D スキャニングを行うことが困難であった。もともと、人体の動きを取得することを想定して設計されているため、比較的小さなものと、それを触る人の手というインタラクションを捉えるには画角が広すぎた。また、鑑賞者の体全体と、展示台の上に置かれた作品の両方を捉える画角での撮影も試みたが、この場合は人体の動きは捉えることができたが、作品自体の動きを捉えることは困難であった。

DPI-7kit は認識距離は 3m 以内程度と限定されているため、「Interaction Sketch」を捉えるのに比較的に適した画角と言える。しかしながら、そもそも静物を取るための 3D スキャナのため、対象物の時間的変化を記録することができない。そのため、鑑賞者に逐一静止してもらいながらインタラクションをスキャンしていく方法をとった。この方法は、鑑賞者の自然なインタラクションを記録したと言うのには程遠く、またデータの閲覧に関しても時間軸を持ったデータ再生について別途考えなくてはならないという問題もあった。



図1 撮影実験の様子



図2 DPI-7kit によるスキャンデータ

## 4. 3D スキャニングシステム「TimeBased3D Recording System」の開発

### 4.1 TimeBased3D Recording System (TB3dRS) の開発要件

前章の撮影実験から、対象物の時間的変化を記録する 3D スキャニングシステムを独自に開発する必要性が浮かび上がってきた。時間的変化を記録するための 3D スキャニングのシステムは一般的でない事、また現状の Depth kit では精度やオペレーションに不足を感じた事などから、新たなセンサーハードウェアの選定を行った。

選定のポイントとしては、ある程度の精度を満たす事と、場合によってシステムを自身の手で拡張可能な柔軟なプラットフォームであることが望ましい。

リサーチによりセンサーやスキャニングのシステムは機器による精度の違いは有れども、深度データを取得しそれらをモデルデータとしてマッピングするといった大まかなプロセスは同様である可能性が明らかになった。これらを解釈した上で、1 フレーム毎のモデルデータを順次取得しデータを格納するといった改良を加える事で、時間軸を持った 3D データを取得し確認することを可能とするアプリケーション TimeBased3D Recording System の開発計画を立てた。

### 4.2 TimeBased3D Recording System (TB3dRS) の開発プロセス

検討の結果、Occipital 社の「Structure Sensor」と同型の OEM 製品 iSense (3D Systems 社) を利用した開発を行うことにした。iSense (Structure Sensor) は iPhone や iPad に取り付けて手持ちでスキャニングする事を想定されたセンサーハードウェアであり、iOS アプリケーションで制御する。またアプリケーションについては Structure SDK により独自に開発できる API が提供されている。Structure SDK はサンプルアプリケーションも多く提供されており、空間をスキャニングするものや AR を実現するものなど様々だが、現在において時間軸を持った 3D データのスキャニングに特化したものは用意されていない。よって API を用いた開発を行う事で本研究のためにカスタマイズした検証環境を構築できるのではと考えた。

以上の点を踏まえ、新たな検証のためのアプリケーションの開発と、次なる実験の準備を行った。

実験の対象としたのはクワクボリョウタの「10 番目の感傷 (点・線・面)」である。この作品は、5m×7m の広さの空間に置かれた作品で、鉄道模型に取り付けられた光源がレール上を走り、様々なオブジェクトを照らしながら立体的な影絵を生み出していく作品である。

iSense (Structure Sensor) の深度の取得距離は 0.4m ～ 3.5m であり、取得距離を近づけるほどの解像度 (精度) が上がり、離れるほど解像度 (精度) が荒くなる。Kinect V1 の深度の取得範囲(Near Mode)が 0.4～3.5m であ iSense (Structure Sensor) とさほど変わらないため、5m×7m の展示空間の作品全体をスキャンするためにはなんらかの工夫が必要である。

しかし iSense (Structure Sensor) は iPad に装着できる取り回しの良さがあり、深度の調節またはその検証が iPad の画面を見ながら手持ちでモニタリングできるという利点がある。空間の全景を収める事の困難さに代わりは無いが、どの程度の認識距離で深度データを取得できるかが手持ちで素早く確認できる。今回の実験対象の作品「10 番目の感傷 (点・線・面)」はすべて地面に配置されているため、真上から俯瞰して撮影することで比較的容易に作品をスキャンすることが可能と考えられた。これらの利点を加味し、当初の計画の達成のための検証機材として期待できるアプリケーションの開発に着手した。

### 4.3 TimeBased3D Recording System (TB3dRS) の実装

実装された iPad アプリケーションは、本稿でモデルデータと記しているメッシュデータを、1 フレームごとにキャプチャーし、一旦メモリ上にスタックした後に、3D モデルデータの一般規格である OBJ ファイルとして連番で書き出すものである。iSense (Structure Sensor) の SDK は現在 Objective-C で提供されているため、本アプリケーションも Objective-C にて実装された。



図 3 開発した TimeBased3D Recording System(TB3dRS)

また、今回の実験対象の作品の展示範囲に足を踏み入れず真上から撮影可能にするために、ジブアームに iPad を取り付け、アプリケーションの撮影を遠隔操作で行えるための udp 通信機能も実装された。そして、取得できた連番の OBJ ファイルをプレゼンテーションするために、openFrameworks を用いた 3D スキャンデータの閲覧ビューワーも別途実装された。

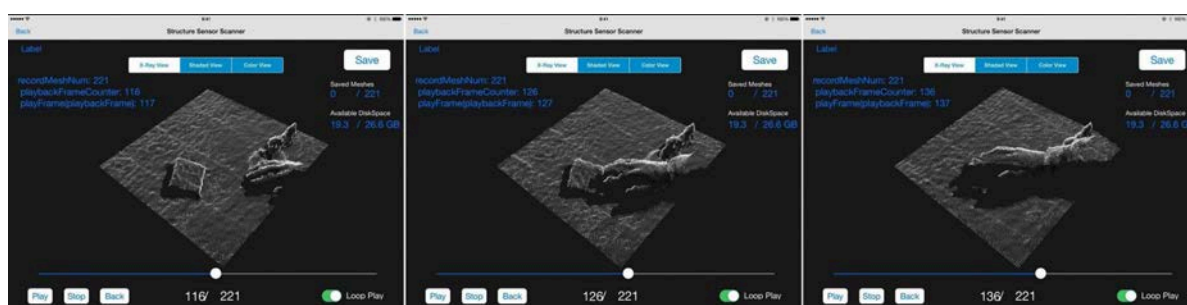


図 4 TB3dRS の画面 時間的变化を 3D データとして取得できる

## 5. 3D スキャンデータの閲覧ビューワー「TimeBased3D Viewer」の開発

### 5.1 TimeBased3D Viewer (TB3dV) の開発要件

「TimeBased3D Recording System (iSense + Structure)」でスキャンした連番の OBJ ファイルを、PC 上で再生・確認するための閲覧ビューワー「TimeBased3D Viewer」を開発する必要性が生じた。開発要件として、複数の 3D スキャンデータを一覧で表示できること、選択した 3D スキャンデータを任意の視点から見る機能、再生／停止などが挙げられる。また、複数のスキャンデータを同一の仮想空間上に手動で配置できる機能を設け、それによって一度にスキャンできないような広い空間を使った作品等を、部分ごとに分けてスキャンし、その後閲覧ビューワー上で結合・再配置することで再現可能にすることも要件とした。

### 5.2 TimeBased3D Viewer (TB3dV) の実装

実装方法としては、連番の Wavefront OBJ 形式ファイルとして保存されたコマ撮りの 3D スキャンデータを、あらかじめ全て読み込み、それを順次表示することで動画のように時間軸のある 3D データの再生を実現した。3D スキャンデータの描画方法は、一般的なポリゴンメッシュ表示、ワイヤーフレーム表示、頂点表示の 3 種類から選べるようにし、ワイヤーフレームと頂点表示では X 線写真のように内部や背景を透過させた状態で表示できるように実装した。時間軸を持った 3D スキャンデータは容量が大きくなるため、多数のデータを同時再生するには 4GB 以上のメモリが扱える 64bit アプリケーションとして開発する必要がある、開発環境として Mac OSX 10.10.5 と openFrameworks 0.9.2、比較的高性能な iMac を使用した。データ容量は 3D スキャンデータの頂点数やフレーム数、同時に読み込むファイル数に基本的に比例する。また撮影されたスキャンデータには、撮影フレームごとにタイムスタンプが記録されており、それをビューアに読ませることで、時間軸の再現を含めた再生も技術的には可能だが、現時点ではまだ実装されていない。



図 5 TimeBased3D Viewer

## 6. 「10 番目の感傷（点・線・面）」の 3D スキャンニング

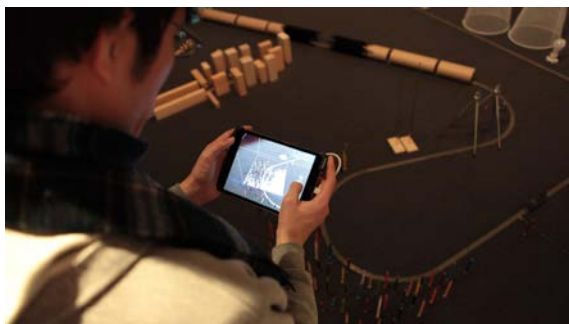


図 6 3D スキャンニング実験の様子

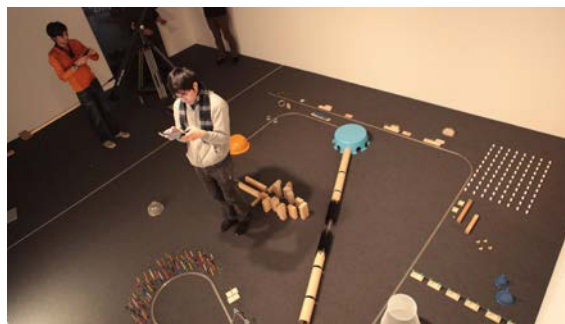


図 7 空間を分割してスキャンニングする様子



IAMAS ギャラリーに設置した「10 番目の感傷（点・線・面）」を撮影対象として、3D スキャニング実験（2016 年 1 月 23 日-24 日）を行った。実験ではまず作品の真上から定点で全景を収めることを試みたが、最大認識距離 3.5m を確保しても作品全体は写りきらず、また深度情報もかなり荒くなり、電車模型のような小さなオブジェクトは認識出来なかった。そのため電車模型の動きが深度データとして取得できる距離を手持ちで測定し、電車模型の動きを分割してスキャニングする方法を取った。分割してスキャニングしたデータは全部で 42 カットとなった。これらのデータを TB3dV に読み込んで表示できるようにした。

## 7. 今後の展開

ここまでの研究を通し、TimeBased3D Recording System (TB3dRS) 、TimeBased3D Viewer (TB3dV) の両方について改善すべき点が明確になった。TB3dRS に関しては、1 度にスキャンできる範囲の狭さの問題が挙げられる。これを解決するためにハードウェアの特性上 3D スキャナの画角を大幅に広げることは現実的ではないため、今後は複数台の 3D スキャナでの同時スキャンの可能性を探って行く予定である。またスキャンデータのプレビューが、現状ではスキャン時に記録されたタイムスタンプと対応させて再生されていないので、この点も改善する。一方、TB3dV に関しても同様に、タイムスタンプに沿った再生が実装されていないため、まずはこの点を解決する必要がある。また複数のスキャンデータを仮想空間上に再配置するためのインターフェースの整備がされていないので、その点を改善し、様々な撮影データを簡単に配置できる、自由度の高いソフトに改善する。また、今後は閲覧時のユーザーインターフェースについても注目し、データの利用方法に対応づけながら検討していく予定である。

### 謝辞：

本研究は、以下の助成を受けて行われた。

科研費 挑戦的萌芽研究 「3D スキャニング技術を用いたインタラクティブアートの時空間アーカイブ」（研究分担者：齋藤正和（名古屋学芸大学 講師）、池田泰教（名古屋造形大学 非常勤講師）、八嶋有司（IAMAS 産業文化研究センター 研究員））

文化庁 文化芸術振興文化芸術振興費補助金 メディア芸術アーカイブ推進支援事業  
「IAMAS メディア表現アーカイブ・プロジェクト」

また、以下の方々（敬称略）の協力を得て撮影実験を行った。

**展示協力：**クワクボリョウタ「10 番目の感傷（点・線・面）」、大澤 悟「Interaction Sketch」

**撮影協力：**高尾俊介（IAMAS 産業文化研究センター 研究員）、イトウユウヤ（NTT インターコミュニケーション・センター [ICC] テクニカルスタッフ）、山下 健（TAB）、富田太基（TAB）、株式会社ケイズデザインラボ、株式会社オーピーティー