

# 魚の位置と動きに対応した 映像演出システムの提案

小山内 晴紀<sup>1,a)</sup> 鈴木 啓太<sup>1</sup> 澤野 弘明<sup>1</sup> 土屋 健<sup>2</sup> 小柳 恵一<sup>3</sup>

**概要：**水族館では来客動員数の増加を目的とした演出の一つとして、水槽への映像投影システムを導入している。これまでの映像投影技術では、あらかじめ用意した映像素材もしくは画像のテクスチャを投影するのみであり、現実の魚の動きを考慮した演出に関する研究は提案されていない。そこで本稿は水槽における魚の位置及び動きを考慮した映像演出システムを提案する。まず赤外線カメラを用いて水槽内の映像を取得し、動的背景差分法により魚の位置を検出する。検出した魚の位置や移動ベクトルにより演出映像を変化させ、水槽の背面に設置したディスプレイに表示して顧客に提示する。また埋込み型水槽を想定してプロジェクタによる映像演出システムを提案する。提案システムを実装し、小型水槽で実験を行なった結果、魚の動きに応じた映像効果が確認された。

**キーワード：**水族館, 映像演出システム, 映像効果, 魚

## A Proposal of a Video Effect System Corresponding to a Fish Position and Movement

**Abstract:** In an aquarium, a video effect system to a water tank is utilized for increasing the number of customers. The previous works use a video effect or a texture prepared in advance, and an actual fish movement is not considered. We propose a projection system tracking a fish. The system uses an infrared camera capturing a video, and it is analyzed to detect a fish position. A video effect is provided in the position on an installed display attached on the water tank. The proposed system with a projector is also proposed for an implanted water tank. The video effect corresponding the position is confirmed in the experiment with a small water tank.

**Keywords:** Aquarium, projection system, video effect, fish

### 1. はじめに

河川や海に生息する生物を中心に展示する水族館では、来場者の興味を惹きつけるための工夫が日々提案されている。例としてイルカショーのような飼育員との演出やイワシの群れの動きを利用したイワシトルネード [1] などのコンテンツにより、他の水族館との差別化を目指している。本稿では水族館におけるデジタル技術を取り入れたコンテ

ンツに着目する。仮想空間上に魚と水槽を構築し、モバイル端末によるインタラクションを実現したバーチャルアクアリウム [2] が Seo らによって提案されている。電子広告でも取り入れられている、利用者とのインタラクションはユーザの興味を惹くために有用であるが、全て仮想空間で実現されているため臨場感を十分に得ることは難しい。また、モバイル端末のカメラで仮想空間における魚を現実空間の映像に重ね合わせる AR アプリケーション [3][4] が提案されている。現実世界で仮想空間の魚やペンギンとの撮影やインタラクションが可能であるが、モバイル端末の性能の限界により高解像度のコンピュータグラフィックスの表現が難しいことや、ディスプレイを通じた表現であること、そしてモバイル端末内のみで完結することから、水族

<sup>1</sup> 愛知工業大学  
Aichi Institute of Technology

<sup>2</sup> 諏訪東京理科大学  
Tokyo University of Science, Suwa

<sup>3</sup> 早稲田大学  
Waseda University

a) b13712bb@aitech.ac.jp

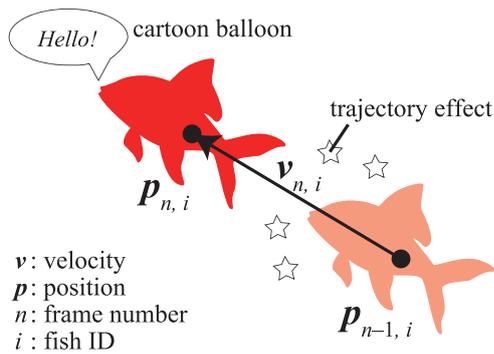


図 1 魚と演出効果

館への直接的な動員数増加には繋がらないと考えられる。水族館をデジタル技術で拡張するデジタルコンテンツとして、利用者が描いた魚をプロジェクタで壁面に投影する簡易プロジェクションマッピング [5] や、水族館の水槽へ映像を投影する展示作品 [6] が提案されている。水族館の壁面や水槽を利用することにより臨場感の向上が期待されるが、仮想空間の魚や映像素材を事前に準備する必要があること、現実の魚とのインタラクションは行われていない。そこで筆者らは、魚の位置に応じて映像を動的に変化させて提示する映像演出システムを提案する。提案システムではカメラで撮影された水槽内の魚を画像処理技術により検出し、検出された魚の位置や移動方向に応じた映像演出をディスプレイやプロジェクタで利用者に提示する。ここで水槽内の明るさが暗いことを想定して、展示としての影響が少ない赤外線照射機及びカメラを用いる。本論文では家庭用小型水槽に密着して設置されたディスプレイによる映像提示及び、プロジェクタによる映像提示について実験を行う。提案システムの実験により、水族館で展示する際に起こりうる課題と展示案について述べる。

## 2. 魚への映像演出システム

### 2.1 概要

提案システムではカメラで水槽内の魚を撮影し、画像処理技術により魚の位置を検出し、移動方向を算出する。魚の付近に、魚の動きに付随する吹き出しと軌跡のような追跡型映像演出 [7] を行う。魚と演出映像の位置関係を図 1 に示す。図 1 のようにフレーム  $n$  の魚  $i$  の位置を  $p_{n,i} = (x_{n,i}, y_{n,i}, z_{n,i})$  と定義する。ここで原点を、水槽を正面から見て左上の隅として取り扱う。魚の移動方向は  $v_{n,i} = p_{n,i} - p_{n-1,i}$  で求められる。本稿では小型水槽を対象とし、以下に水槽と密着したディスプレイと、プロジェクタを利用した映像演出システムについて述べる。

### 2.2 ディスプレイを用いた映像演出システム

ディスプレイを用いた映像演出システムでは観賞用の小型水槽、上面と側面に設置された赤外線カメラ、赤外線照

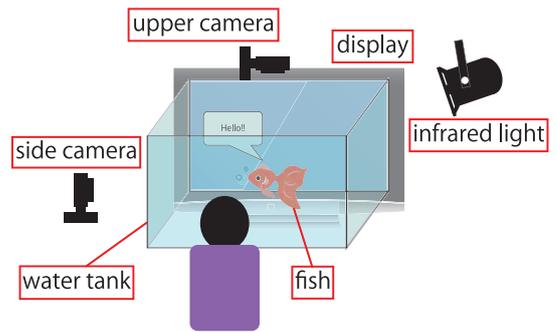


図 2 ディスプレイ設置型システムの使用機材の位置関係

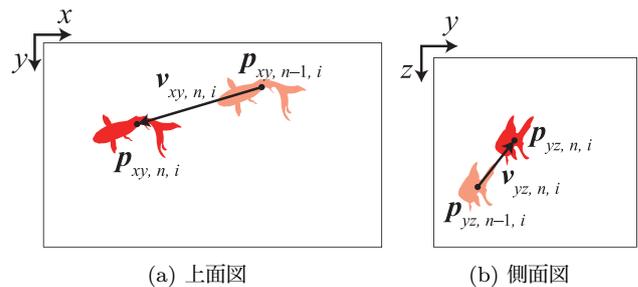


図 3 二つのカメラから取得した魚の位置座標 (三次元空間上における同じ Y 軸を使用)

射機を使用する。使用機材の位置関係を図 2 に示す。ここで小型水槽内の照度が低いことを前提として、可視光ではない赤外線照射機及びカメラを用いる。上面と側面に設置された二つのカメラを位置合わせすることで、水槽を三次元空間で表現する。上面および側面に設置したカメラから取得した魚の座標をそれぞれ  $p_{xy,n,i} = (x_{xy,n,i}, y_{xy,n,i})$ ,  $p_{yz,n,i} = (y_{yz,n,i}, z_{yz,n,i})$  と定義し、図 3 に示す。提案システムの処理の流れを以下に示す。

#### 0) 事前処理

動物体である魚を検出するために、森田らにより提案された動的背景差分 [8] を用いる。この差分法では、映像中の  $m$  フレーム分の輝度振幅を計算し、利用する。輝度振幅はフレームが更新される度に計算される。

#### 1) 入力画像から重心座標の計算

入力画像は上面および側面に設置されたカメラから取得される。映像中の魚の領域を示す二値画像は上記の背景差分法を用いて生成される。生成した二値画像に発生するノイズを削減するために収縮処理を行い、領域の大きさを復元するために膨張処理を行う。魚領域の輪郭を抽出し、抽出された輪郭から重心座標を計算する。重心座標は輪郭を形成する点の平均座標から計算される。重心座標を計算する際、水槽側面に映り込んだ魚が原因で誤検出してしまう場合が考えられる。誤検出した重心座標は必ず魚の近くに出現するため、水槽の中心に近い方の座標を魚の重心座標として選択することで、誤検出した重心座標を取り除く。

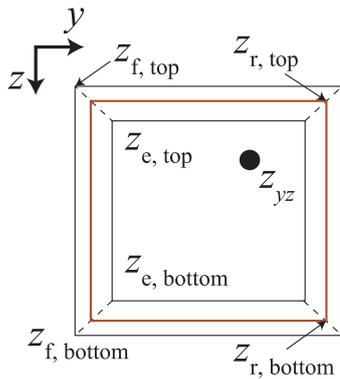


図 4 側面から見た透視投影図

## 2) 位置合わせ

上面および側面から撮影されたそれぞれの魚の重心座標を、三次元空間で位置合わせを行う。側面カメラで観測される  $z$  軸方向の重心  $z_{yz}$  は、水槽の手前と奥では、図 4 のような透視投影の関係から三次元空間における座標  $z_n$  は異なる。上面から観測される  $xy$  平面上の  $x$  座標  $x_{xy}$  と、上面カメラの  $x$  軸上の横幅  $x_{f,width}$  を用いて、三次元空間における  $z_n$  を次式で求める。

$$z_{r,top} = z_{e,top} - (z_{e,top} - z_{f,top}) \frac{x_{xy}}{x_{f,width}} \quad (1)$$

$$z_{r,bottom} = z_{e,bottom} + (z_{f,bottom} - z_{e,bottom}) \frac{x_{xy}}{x_{f,width}} \quad (2)$$

$$z_n = (z_{f,bottom} - z_{f,top}) \frac{z_{yz} - z_{r,top}}{z_{r,bottom} - z_{r,top}} \quad (3)$$

ここで手前、背面、相対的な位置をそれぞれ  $f, e, r$ 、上部と下部をそれぞれ  $top, bottom$  の添字で表す。

## 3) 移動方向の計算

提案システムで映像中の魚を追跡するためにフレーム間で魚の ID の引き継ぎを行う。フレーム  $n-1$  における魚  $i$  の重心座標を、フレーム  $n$  において最も距離が近い重心座標へ移動させる。また魚  $i$  の移動方向  $v_{n,i}$  は、 $p_{n,i}$ 、 $p_{n-1,i}$  の差分により計算される。

## 4) 演出映像の生成

吹き出し及び軌跡の演出映像の位置は移動方向  $v_{n,i}$  により決定される。吹き出しは魚の進行方向に対して前面上部に、軌跡の演出は魚を追跡するように描画される。吹き出しの内容にはあらかじめ用意されたテキストを利用し、軌跡の演出映像には星の形状を描画する。

## 2.3 プロジェクタを使用した映像演出システム

本稿ではプロジェクタを使用した映像演出システムについて述べる。前節で述べたディスプレイ型システムでは、水槽が壁面埋込み型の場合は赤外線カメラ、赤外線照射機、及び背面ディスプレイを水槽周辺に設置することは難しい。そこで出力装置としてプロジェクタを水槽正面に配

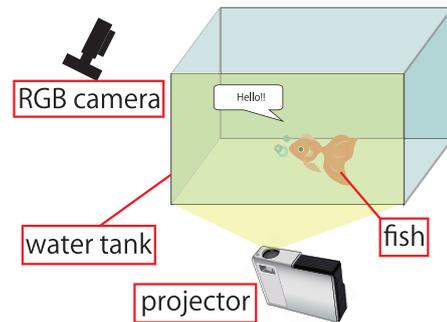


図 5 プロジェクションを利用した映像演出システムにおける使用機材の位置関係

置し、水槽正面に演出映像を投影する。また水槽内の照度が高く、光量を充分に取得できる状態を想定して、RGBカメラを用いる。使用するプロジェクタには、投影された光の反射を防ぐため、超短焦点モデルを使用する。以下にディスプレイ型システムとの差分処理を述べる。

## 0) プロジェクタの位置合わせのための事前処理

プロジェクタを使用した映像演出システムにおける使用機材の位置関係を図 5 に示す。まずカメラで観測されているプロジェクタの投影面と画像平面上の領域の位置合わせを行う。入力画像内の水槽の四点およびプロジェクタで投影された範囲内の水槽の四点を手動で選択し、射影変換行列を求める。求めた射影変換行列をフレームごとに適用して位置合わせを行う。

## 5) 演出映像に対するマスク画像生成

RGBカメラを用いる場合、プロジェクタで投影された演出映像を、魚領域として誤検出する場合があります。そこで魚領域のみを検出するために演出映像の領域に対してマスク画像を生成する。フレーム  $n$  で生成されたマスク画像は、フレーム  $n+1$  における魚領域の検出時の入力画像に対して使用される。

## 3. 実験結果と投影実験における考察

### 3.1 実験環境

本節では提案システムによる実験を行う。実装環境として、Mac OS X Ver. 10.8.5, 2.9 GHz Intel Core i7 CPU, 8GB 1,600 MHz DDR3 Memory の PC を用いた。魚の検出と演出映像の描画のための画像処理ライブラリには OpenCV Ver. 2.4.3 を使用した。小型水槽には  $30 \times 51 \times 36$  cm の大きさを用いた。赤外線カメラ iBUFFALO BSW20KM11BK に赤外線透過フィルタを取り付けて、水槽の上面と側面に、高さ 15cm, 横 25cm の位置にそれぞれ設置した。使用した赤外線照射機と赤外線カメラを図 6 に示す。赤外線カメラで取得した画像サイズは  $1,920 \times 1,080$  pixels である。また上部の赤外線カメラ画像



(a) 赤外線照射機 (b) 赤外線カメラ

図 6 赤外線照射機と赤外線カメラ

から生成された二値画像には収縮処理 30 回，膨張処理 33 回を行い，側面の画像には収縮処理を 5 回のみ行った．対象の魚として金魚二匹を利用した．ディスプレイの大きさは  $60 \times 44 \text{cm}$  で，画面サイズは  $1,920 \times 1,080 \text{pixels}$  である．動的背景差分には  $m = 100$  フレーム分の輝度振幅を計算した．またプロジェクタを使用した映像演出システムに利用した RGB カメラは LOGICOOOL C920t で，水槽の正面  $50 \text{cm}$  の位置に設置した．RGB カメラ画像から生成された二値画像には収縮処理 20 回，膨張処理 17 回を行った．プロジェクタには RICOH PJ WX4130 を使用した．吹き出しのテキストは“HELLO!”と“I'm hungry!!”とした．

### 3.2 ディスプレイを使用した映像演出システムによる実験

上面および側面から取得した入力画像，検出した魚領域，魚の重心座標，位置が決定された演出映像，実験結果を図 7 に示す．また，魚の移動による演出映像の描画位置の変化を図 8 に示す．このとき処理速度は  $3.57 \text{fps}$  であったため，十分な処理速度を確保できていないが，コマ落ちをしながらも吹き出しと軌跡の演出映像は魚の位置に対応した座標の周辺に描画された．また，図 9 のように二つの吹き出しが見かけ上，重なって描画されるという課題が確認された．解決方法として，魚の位置や移動方向を考慮して演出映像を近距離で描画しない仕組みの構築が挙げられる．また提案システムでは透視投影による課題を解決するための位置合わせを行っているが，誤差により魚の位置が正しく検出されないことが確認された．観測者にとって見かけ上，正確に投影するために，吹き出し及び軌跡の演出映像を少しだけ揺らして提示する方法を今後実装する予定である．

### 3.3 プロジェクタを使用した映像演出システムによる実験

プロジェクタを利用した映像演出の実験を行う前に，投影映像を目視で視認可能であるかの事前実験を行う．演出映像が透過しないように半透明の塩化ポリエチレンのフィルムを投影面に設置した．投影画像，フィルムを使用せずに正面から投影した画像，フィルムとプロジェクタを正面及び背面に設置して投影した画像を図 10 に示す．図 10(b) のようにフィルム無しの場合，投影された映像を視認できず，図 10(c) のようにフィルムを設置した場合は視認可能であることが確認できた．またディスプレイ型と同様に背面から投影した場合についても目視で視認可能であることが確認できた．事前実験に基づいて，水槽の正面にフィルム

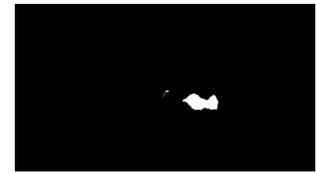


(a) 入力画像 (上面)

(b) 入力画像 (側面)



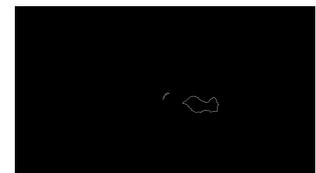
(c) 抽出領域 (上面)



(d) 検出領域 (側面)



(e) 重心 (上面)



(f) 重心 (側面)



(g) 演出



(h) 実験結果

図 7 ディスプレイを使用した映像演出システムによる実験結果

を設置して投影する方式にて実験を行なった．入力画像，重心画像，位置が決定された演出映像，実験結果を図 11 に示す．実験の結果，ディスプレイ型システムと同様にプロジェクタの投影により魚への映像演出が確認された．

### 3.4 大規模水槽における観測実験

小型水槽の実験では明るさが生活環境に近い環境であったが，水族館の場合，水槽内外の明暗差が大きいために考えられる．また水槽の大きさの問題など，実際に展示する際のいくつかの課題が考えられる．大規模水槽を想定した場合，金魚よりも大きな魚が飼育されており，移動速度に



(a) 1 フレーム



(b) 2 フレーム



(c) 8 フレーム



(e) 11 フレーム

図 8 魚の位置による演出の位置の変化

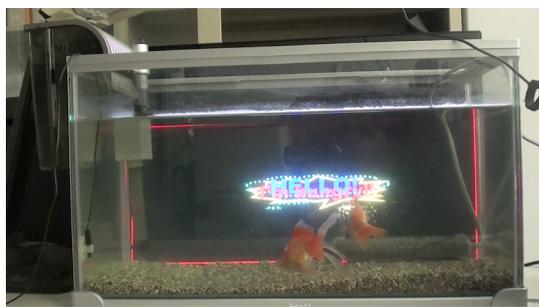


図 9 吹き出しの重なり



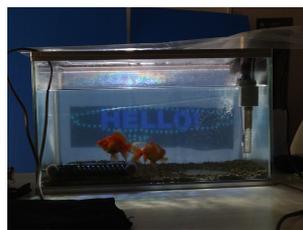
(a) 投影画像



(b) 水槽正面に直接投影



(c) 水槽正面のスクリーンに投影



(d) 水槽背面のスクリーンに投影

図 10 水槽への投影実験

大きな違いがあることが予想される。また魚の種類及び水槽の厚さによっては、プロジェクタの光による影響が少なからず考えられる。飼育員の協力のもと、A 水族館にて赤外線カメラ及び赤外線照射機を利用した観測実験を行なった。観測実験に使用した大規模水槽をデジカメで撮影した画像及び赤外線カメラで撮影した画像を図 12 に示す。撮影の結果、水槽手前の近距離範囲の魚を赤外線カメラで観測することができた。しかし、赤外線照射機によって照射



(a) 入力画像 (前面)



(b) 重心



(c) 演出 (射影変換前)



(d) 実験結果 (プロジェクタ)

図 11 プロジェクタを利用した映像演出システムによる実験結果

可能な赤外線の距離は短く、限られた範囲の魚しか撮影できないことが確認された。この原因として、ガラスの厚みと水分子により赤外線が吸収されるためであると考えられる。よって今後は RGB カメラによる観測実験を行い、大規模水槽におけるシステムの構築を目指す。

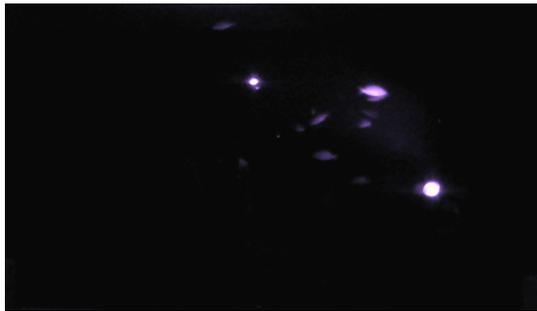
### 3.5 水族館展示に向けての映像演出

今回提案した映像演出では、魚の位置及び移動方向に対応して吹き出し及び軌跡を描画している。水族館展示ではその他にも来場者の興味を惹きつける映像演出が考えられるため、今後検討していく演出について述べる。

水族館には魚名板ぎょめいばんと呼ばれる紹介パネルが設置され、魚名板には水槽内にいる魚の名前や特徴が書かれている。魚名板を参照することで水槽内で飼育されている魚の情報を知ることができるが、魚名板で説明されている魚が水槽内のどこに存在するか見つけられない場合がある。そこで提案システムを応用して、検出した魚の種類を認識し、その魚の位置に種類や説明文などの情報提示を行う演出方法について検討する。演出方法の例を図 13 に示す。魚の種類に応じて紹介文を提示することで、水槽内の魚を見ながらその魚の情報を一目で確認でき、来場者の魚に対する興味



(a) 撮影実験に利用した大規模水槽  
(デジカメで撮影)



(b) 赤外線カメラによる撮影結果

図 12 大規模水槽を利用した撮影結果

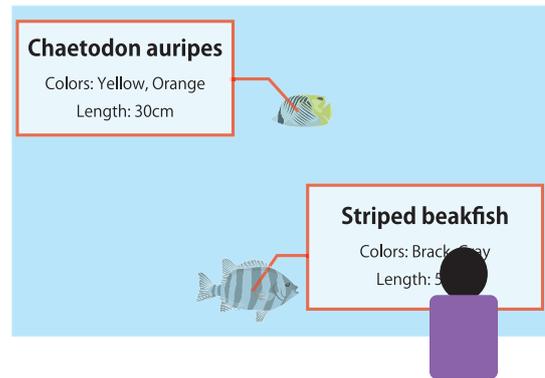


図 13 情報提示を行う演出方法の例

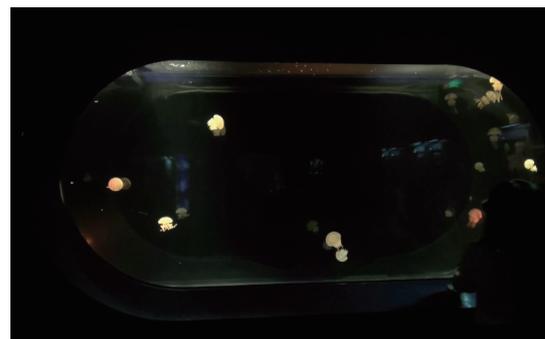


図 14 半透明な媒体 (クラゲ)

や理解を向上させる手助けになることが期待される。

また提案システムを魚類以外への適用も想定している。ワニやトカゲなどの爬虫類や、クラゲなどの刺胞動物に対しても水槽に対する映像演出を行う。例として図 14 のようにクラゲのような半透明の媒体の場合には、クラゲ周辺に演出映像を投影することにより、クラゲ自身が光源になるような演出が実現できることが期待される。それに加え金魚の場合と同様に軌跡による演出を行うことにより、デジタルアートとして位置づけた演出を目指す。

最後に来場者とのインタラクションによる映像演出について検討する。本論文で提案した演出では、魚が一方向的に吹き出しによるコメントを行う仕組みであるが、来場者の動きを利用したインタラクションを利用することにより、魚と擬似的に会話が可能になる。また児童などが水槽を叩いて驚かせるという問題も、仕組み上の都合により立ち位置を限定することで改善されることが期待される。来場者とのインタラクションについても今後の検討課題とする。

#### 4. 終わりに

本稿では、魚の位置と動きに対応した映像演出システムを提案した。ディスプレイとプロジェクタを利用したシステムについて実験を行い、魚の位置及び移動方向に応じた映像演出が確認された。また水族館における観測実験を行い、今後の展示に向けて予想される技術的課題を述べた。最後に来場者の興味を惹きつける映像演出の案について述べ、検討課題とした。今後の課題として技術的課題の改善や 3.4 節で挙げた演出案の実装が挙げられる。

#### 謝辞

本研究は JSPS 科研費 26330118, 10313925 の助成を受けた成果である。

#### 参考文献

- [1] 名古屋港水族館: <http://www.nagoyaaqua.jp/aqua/>
- [2] Y. Seo and J. Choi: "Interactive Virtual Aquarium with a Smart Device as a Remote User Interface", *Int'l Conf., MulGraB 2011, Held as Part of the Future Generation Information Technology Conference, FGIT 2011, in Conjunction with GDC 2011*, Vol. 262, pp 324-331 (Dec. 2011)
- [3] Useless Creations Pty Ltd: "Fish Fingers! 3D Interactive Aquarium FREE", <https://itunes.apple.com/us/app/fish-fingers!-3d-interactive/id368996494?mt=8> (confirmed in Nov. 2014)
- [4] サンシャイン水族館: "ペンギンナビ", <http://penguinnavi.erba-hd.com/ad/> (confirmed in Nov. 2014)
- [5] teamLab Inc.: "お絵かき水族館", <http://kids.team-lab.com/attraction/aquarium/> (confirmed in Oct. 2014)
- [6] 新江ノ島水族館: "ナイトアクアリウム", <http://www.enosui.com/recommend/nightaquarium.html> (confirmed in Nov. 2014)
- [7] ABEJA Inc.: <http://www.fukidasystem.com/> (confirmed in Nov. 2014)
- [8] 森田真司, 山澤一誠, 寺沢征彦, 横矢直和: "全方位画像センサを用いたネットワーク対応型遠隔監視システム", *信学論 (D-II)*, Vol. J88-D-II, No. 5, pp. 864-875, (2005-5)