

紙媒体を併用したインタラクティブシステムの研究  
An interactive system connecting paper and digital media

神奈川工科大学大学院工学研究科

情報工学専攻 博士学位論文

鈴木 浩

# 概要

技術の発展に伴い、高機能化・小型化が益々進んだコンピュータは、我々の日常生活の至る所に利用されるようになってきたが、これまでコンピュータのインタフェースとして一般的に利用されてきた GUI だけでは、日常生活における様々な人間のインタラクションに対応することが不十分となっている。このため、近年、実世界の人とモノ、そしてコンピュータとをシームレスに融合することをテーマとしたインタフェースやインタラクティブシステムに関する研究が盛んに実施されており、実世界において、コンピュータの恩恵を人が効果的に得られる技術や手法の重要性が高まっている。このような背景のもと、本研究では、実世界に即した情報環境の構築を目指し、情報技術とメディア表現の双方の観点から人とコンピュータとをシームレスにつなげることができるインタフェースとして「紙媒体」に着目した。

紙媒体は人間にとって最も親しみやすい媒体の一つであり、その慣れ親しんだインタラクションを模擬して、紙媒体の代替を目的とする電子機器がこれまでに数多く登場している。例えば、新聞や雑誌、広告に対する電子書籍やデジタルサイネージなどがその代表例である。しかしながら、これらの電子機器は、未だに代替しきっていない。その理由は、紙媒体の持つ利点にあると考える。紙媒体には、手触りや質感といった物理的な特徴や、一覧性、可読性の高さなど、電子機器にはないインタフェースとしての利点が数多く備わっている。紙媒体の代替を目指した電子機器は、圧倒的な情報量や動的な表示変化などを備えるが、これら紙媒体の利点を凌駕するような利便性を未だに発揮できていない。そこで、本研究では、技術の発展と共に活用範囲が衰微しつつある紙媒体の現状に対し、紙媒体を永遠のメディアとして位置づけ、紙媒体そのものを情報技術と併用することで新しい紙媒体の利活用手法を提案する。これにより、以下の3つの効果が期待できる。

1. 直感的なインタフェースの実現
2. 紙媒体が持つ過去の資産の活用
3. 将来にわたって紙媒体の価値を向上

本研究では、紙媒体とデジタル情報とをシームレスにつなげ、上記の効果を引き出す手法として、紙媒体上に表現されるコンテンツの特徴や特質を考慮してコンピュータ処理と連携するために、紙媒体上のコンテンツの2次元座標値を利用する座標値連携方式を確立した。本手法を利用することで、紙媒体の機能や利点を活かしつつ、情報技術を利用した情報環境を構築することができる。その具体例として、これまで紙媒体が利用される分野として主要な「情報提示」と「紙工作」に対して本手法を利用したインタラクティブシステムを開発し、その有効性を示す。

本論文は7章から成り立っている。

第1章では、紙媒体と情報技術をシームレスにつなげ、実世界に即した情報環境を構築することの意義とその背景を述べる。

第2章では、従来の紙媒体と情報技術を利用しシステムの研究動向として、(1) 情報提示、(2) 直感的なインタラクション、(3) アート・エンターテイメントへの応用の3つの観点から関連研究を概観し、本研究の位置づけを明らかにする。

第3章では、紙媒体と情報技術をシームレスに連携する紙媒体を併用した情報デザインの手法として、座標値連携方式を提案し、本手法のコンセプトと活用手法について述べる。

第4章では、第3章で述べた座標値連携方式を利用した情報提示分野への具体例として超音波によるセンシングで紙媒体の2次元座標値を取得する技術を開発し、本技術を利用したハイパーパネル type1 を提案した。ハイパーパネル type1 は、ユーザが携帯端末をパネル上に置き、システムがこのパネル上のオブジェクトの位置を超音波センサによって取得し、その2次元座標をハイパーテキストのアンカーのように利用することで、ポスターの特定記述とデジタル情報とをシームレスに連携することができる。このような特徴を持つハイパーパネル type1 は、評価実験により、誰にでも直感的にポスターのレイアウトに関連づけられたデジタル情報が取得できるシステムとして機能することが示された。

第5章では、第4章で述べた技術を拡張し、複数の2次元座標値を同時に取得する技術を開発し、複数人での情報閲覧できるハイパーパネル Type2 を提案した。ハイパーパネル Type2 は、座標位置を取得する小型デバイスとユーザの持っている携帯端末を利用し、超音波センシングができる小型デバイスを紙媒体のポスターに配置することで、複数のユーザが同時に異なるデジタル情報を閲覧することができた。小型デバイスをポスターに貼るという直感的なインタラクションを備えた本システムは、評価実験により、携帯端末の操作に慣れていないユーザにとっても素早く目的とする情報を取得しやすいシステムであることが示された。

第6章では、紙媒体の機器操作不要の特徴や紙の質感、加工のしやすさなどに着目し、紙媒体上に手描きした絵をテンプレートマッチングにより座標のずれを生じさせずにデジタル化する技術を開発し、本技術を利用した具体例として紙工作とデジタル表現とを組み合わせた「シャドウロボシステム」を提案した。本システムでは、ユーザの身体操作で自作した3DCG ロボットを動かせる3次元ゲームと組み合わせることで、自作した紙工作ロボットを動かしているような模擬体験をユーザに与えることができた。これらのことから、描く・貼る・加工するなどのアナログ工作による表現活動と3DCG やゲームといったデジタル表現とをシームレスに連携した新たなインタラクティブシステムを提案することができた。

第7章は、まとめとし、論文全体のまとめを行った。以上、本論文では、紙媒体を併用したインタラクティブシステムの有効性を示すため、「情報提示」と「紙工作」の2つの分野に対して、座標値取得方式を利用したシステムの開発した。本研究でまとめた成果は、紙媒体の価値を一層高めるものであり、様々な用途のインタラクティブシステムやコンテンツへの応用が可能である。今後、本研究によって提案した手法を利用して紙媒体を利用した新たなインタラクティブシステムの実現への道筋を示すものとなることが期待される。

# 目次

## 第1章

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| 序論                          | 1 |
| 1.1 はじめに                    | 1 |
| 1.2 本研究の背景                  | 1 |
| 1.2.1 実世界に即した情報環境を構築することの意義 | 1 |
| 1.2.2 タンジブルユーザインタフェース       | 2 |
| 1.2.3 実世界志向インタフェース          | 2 |
| 1.2.4 ユビキタスコンピューティング        | 2 |
| 1.2.5 紙媒体に着目した理由            | 2 |
| 1.3 本論文の構成                  | 3 |

## 第2章

|                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| 紙媒体と情報技術を利用したシステムの研究動向            | 5 |
| 2.1 はじめに                          | 5 |
| 2.2 情報提示を目的としたシステム                | 6 |
| 2.2.1 紙媒体を配置するパネル側にシステムを付随する手法    | 6 |
| 2.2.2 QRコードを利用した手法や NFC タグを利用した手法 | 6 |
| 2.2.3 AR 技術を利用した手法                | 6 |
| 2.2.4 情報提示における従来手法のまとめ            | 6 |
| 2.3 直感的なインタラクション                  | 7 |
| 2.4 アート・エンターテインメントへの利用            | 8 |
| 2.5 本研究の目的                        | 8 |
| 2.5.1 操作の複雑化                      | 9 |
| 2.5.2 運用と制作の非効率                   | 9 |
| 2.5.3 紙媒体の価値の向上                   | 9 |
| 2.6 まとめ                           |   |

## 第3章

|               |    |
|---------------|----|
| 座標値連携方式の提案    | 10 |
| 3.1 はじめに      | 11 |
| 3.2 座標値連携方式   | 11 |
| 3.3 本研究のアプローチ | 11 |



|                              |    |
|------------------------------|----|
| 3.3.1 情報提示におけるハイパーパネルシステムの提案 | 11 |
| 3.3.2 紙工作における座標値連携方式の利用      | 13 |
| 3.4 まとめ                      | 14 |

## 第4章

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 座標値を利用した情報提示システム              | 15 |
| 4.1 はじめに                      | 15 |
| 4.2 ハイパーパネル Type1 の構成         | 15 |
| 4.3 本システムの特徴と利点               | 16 |
| 4.3.1 本システムの特徴                | 16 |
| 4.3.2 タブレット端末でのポスター表示との違い     | 16 |
| 4.3.3 Kinect などを利用したサイネージとの違い | 17 |
| 4.4 プロトタイプの実装                 | 17 |
| 4.4.1 座標取得装置                  | 17 |
| 4.4.2 コンテンツ表示システム             | 19 |
| 4.4.3 実装したプロトタイプの制約           | 20 |
| 4.4.4 コンテンツオーサリングシステム         | 22 |
| 4.5 プロトタイプの評価                 | 25 |
| 4.5.1 デモンストレーション展示            | 25 |
| 4.5.2 アンケート調査結果               | 26 |
| 4.6 考察                        | 27 |
| 4.7 本システムの展開例                 | 28 |
| 4.7.1 ナビゲーションツールとしての利用        | 28 |
| 4.7.2 街頭看板としての利用              | 28 |
| 4.7.3 展示解説ツールとしての利用           | 29 |
| 4.8 まとめ                       | 29 |

## 第5章

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 複数人が異なるパートを<br>閲覧可能な情報提示システム | 30 |
| 5.1 はじめに                     | 30 |
| 5.2 インタラクション                 | 32 |
| 5.3 システムの要件                  | 32 |
| 5.3.1 ビューポイントタグの座標値の取得       | 32 |
| 5.3.2 想定利用人数                 | 32 |
| 5.3.3 ビューポイントタグのデザイン         | 32 |

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 5.3.4 ビューポイントタグの必要分解能       | 33 |
| 5.3.5 マルチ閲覧                 | 33 |
| 5.4 関連事例                    | 33 |
| 5.4.1 従来の紙媒体を利用した手法との違い     | 33 |
| 5.4.2 タッチパネルを利用したサインージとの違い  | 34 |
| 5.5 プロトタイプの実装               | 35 |
| 5.5.1 プロトタイプの制約             | 35 |
| 5.5.2 案内一覧ポスターとデジタル情報との関連づけ | 35 |
| 5.5.3 ビューポイントタグの実装          | 36 |
| 5.5.4 座標値の取得                | 37 |
| 5.5.5 複数台配置したときの座標値の測定      | 37 |
| 5.5.6 タグ情報受信モジュール           | 38 |
| 5.5.7 実装したプロトタイプの性能評価       | 38 |
| 5.5.8 ビューアの実装               | 39 |
| 5.5.9 システムに対応した案内一覧ポスターの制作  | 40 |
| 5.6 評価実験                    | 42 |
| 5.6.1 実験概要                  | 42 |
| 5.6.2 実験結果                  | 43 |
| 5.6.3 自由記述の結果と考察            | 45 |
| 5.7 考察                      | 46 |
| 5.7.1 インタラクションについて          | 46 |
| 5.7.2 複数のビューポイントタグの配置について   | 46 |
| 5.7.3 物理的なオブジェクトを利用することの利点  | 47 |
| 5.8 まとめと今後の課題               | 47 |
| 5.8.1 座標値取得のセンサの改良          | 47 |
| 5.8.2 3つ以上利用した場合の認識手法       | 48 |
| 5.8.3 ビューアの改善               | 48 |

## 第6章

|                        |    |
|------------------------|----|
| 紙工作への応用                | 49 |
| 6.1 はじめに               | 49 |
| 6.2 関連研究               | 50 |
| 6.2.1 誰もが体験できるインタラクション | 50 |
| 6.2.2 3次元ゲームによる創作意欲の刺激 | 51 |
| 6.3 本システムの要件           | 51 |
| 6.4 シャドウロボシステムの概要      | 53 |
| 6.4.1 シャドウロボシステムの構成    | 53 |

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 6.4.2 ロボペーパー          | 53 |
| 6.4.3 テクスチャサーバ        | 53 |
| 6.4.4 クライアント          | 55 |
| 6.5 ワークショップの実施と評価     | 57 |
| 6.5.1 ワークショップの様子      | 57 |
| 6.5.2 アンケート調査         | 58 |
| 6.6 考察                | 58 |
| 6.6.1 システム要件に関する考察    | 59 |
| 6.6.2 インタラクションに関する考察  | 60 |
| 6.6.3 3次元ゲームの効果に関する考察 | 60 |
| 6.6.4 男女による評価の差       | 61 |
| 6.7 まとめと今後の展望         | 61 |

## 第7章

|          |    |
|----------|----|
| 本論文のまとめ  | 63 |
| 謝辞       | 65 |
| 本研究による成果 | 66 |
| 参考文献     | 67 |

# 第1章

## 序論

### 1.1 はじめに

技術の発展に伴い、高機能化・小型化が益々進んだコンピュータは、我々の日常生活の至る所に利用されるようになってきたが、これまでコンピュータのインタフェースとして一般的に利用されてきた GUI だけでは、日常生活における様々な人間のインタラクションに対応することが不十分となっている。このため、近年、実世界の人とモノ、そしてコンピュータとをシームレスに融合することをテーマとしたインタフェースやインタラクティブシステムに関する研究が盛んに実施されており、実世界において、コンピュータの恩恵を人が効果的に得られる技術や手法の重要性が高まっている。このような背景のもと、本研究では、実世界に即した情報環境の構築を目指し、情報技術とメディア表現の双方の観点から人とコンピュータとをシームレスにつなげることができるインタフェースとして「紙媒体」に着目した。

紙媒体は人間にとって最も親しみやすい媒体の一つであり、その慣れ親しんだインタラクションを模擬して、紙媒体の代替を目的とする電子機器がこれまでに数多く登場している。例えば、新聞や雑誌、広告に対する電子書籍やデジタルサイネージなどがその代表例である。しかしながら、これらの電子機器は、未だに代替しきっていない。その理由は、紙媒体の持つ利点にあると考える。紙媒体には、手触りや質感といった物理的な特徴や、一覧性、可読性の高さなど、電子機器にはないインタフェースとしての利点が数多く備わっている。紙媒体の代替を目指した電子機器は、圧倒的な情報量や動的な表示変化などを備えるが、これら紙媒体の利点を凌駕するような利便性を未だに発揮できていない。そこで、本研究では、紙媒体を永遠のメディアとして位置づけ、紙媒体そのものを併用することで、紙媒体とデジタル情報とを結びつけた直感的なインタフェースを実現し、紙媒体とデジタル技術の双方の利点を併せ持ったインタラクティブシステムを提案する。

本研究では、紙媒体とデジタル情報とを効果的に結びつけるために、紙媒体の2次元座標の上に表現されるコンテンツの特徴や特質を活かしつつコンピュータの処理に利用する手法を確立した。本手法を利用することで、紙媒体の機能や利点を活かしつつ、情報技術を利用した情報環境を構築することができる。その具体例として、これまで紙媒体が利用される分野として主要な「情報提示」と「紙工作」に対して本手法を利用したインタラクティブシステムを開発し、その有効性を示す。

### 1.2 本研究の背景

#### 1.2.1 実世界に即した情報環境を構築することの意義

個人が利用することを想定して作られた PC では、当初から GUI が利用されていた。世界ではじめてパーソナルコンピュータとして開発された Alto ではすでに現在と同じような GUI が利用されており、現在までデスクトップコンピュータの形態は大きく変わっていない。GUI は、視認性や操作性に優れ、マウスなどのポインティングデバイスによる操作が可能のため、パーソナルコンピュー

タを利用する UI のスタンダードとして今日でも利用されている。しかしながら、デスクワーク以外の人間とのインタラクションに関しては、GUI では対応することがむずかしく、人間の振舞いにあわせてコンピュータを直感的に操作する以下のような UI の研究がこれまで数多くなされている。

### 1.2.2 タンジブルユーザインタフェース

タンジブルユーザインタフェース (TUI) [1] とは、マサチューセッツ工科大学 (MIT) の教授である石井裕が提唱するユーザインタフェースの形態である。タンジブルユーザインタフェースでは、既存の GUI のように、物理世界を「メタファ」としてグラフィカルにシミュレートするのではなく、物理世界そのものをインタフェースに変えることを目的としている。このため、TUI では、「汎用的」なインタフェースを実現するのではなく、特定のアプリケーション・ドメインにおける操作向上を目的に、特化されたインタフェースを指向している。特にそのドメインにおいて、人々が長年にわたって培ってきたスキルや経験を活かし、物理的表現の直接操作や直感的な理解容易性のメリットを基礎に、デジタルの力により、さらにそれらのメリットを増大させるというのが基礎理念である。

### 1.2.3 実世界志向インタフェース

実世界指向インタフェース [2] とは、東京大学の歴本純一が提唱している Virtual Reality (VR) と現実世界での人間の活動を重視したインタフェースの形態である。VR は、よりリアルな世界を計算機の中に構築することで計算機世界での情報のやりとりを豊かにする試みである。しかし、人間は普段は現実世界を生きているのであり、結局は計算機の世界と通常の世界の両方で活動を行わなければならない。VR が人間を計算機の世界に取り込むのに対し、実世界指向のインタフェースは、人間が活動する世界にコンピュータをとけこませるというアプローチをとる。人間は計算機に向かって仕事をするのではなく、現実世界の物や人を相手に活動をする。計算機は計算機として人の前に現れるのではなく、人間の現実世界での活動の状況に応じてさりげなく支援を行なう。

### 1.2.4 ユビキタスコンピューティング

ユビキタスとは、「どこにでもある」「遍在する」という意味のラテン語である。ユビキタスコンピューティング [3] は、その名のとおりコンピューティングが、生活の多様な場面に遍在する世界を予見してアメリカ合衆国のマーク・ワイザー (Mark Weiser ゼロックスパロ・アルト研究所) によって 1991 年に提唱された概念である。ユビキタスコンピューティング環境でのインタフェースでは、GUI と異なり、利用者の現実空間での作業の支援が主な目的となる。現在では、携帯端末や情報家電のように、利用者のまわりに情報機器が無数に存在する環境となっており、キーボードやマウスによる入力ではなく、部屋の温度や明るさなどの空間情報や、テーブルやドア、壁や床などの環境構成する要素との対話操作など様々な状況での操作が考えられる。

### 1.2.5 紙媒体に着目した理由

上記の研究の共通した目的は、物理的なインタフェースを操作することによってコンピュータ操作の煩わしさを解消し、コンピュータによって得られる恩恵を最大限に高めることにある。これら

の研究のポイントは GUI 上でマウスを利用した間接的インタラクションではなくコンピュータによる処理と実世界のオブジェクトとをいかにシームレスに繋ぐかが重要であり、現実世界での人の活動を軽視することはできない。そこで本研究では、コンピュータの処理と現実世界のモノとして人が最も慣れ親しんだメディアの1つである紙媒体に着目した。

### 1.3 本論文の構成

本論文は7章から構成されている。第1章では、紙媒体と情報技術をシームレスにつなげ、実世界に即した情報環境を構築することの意義とその背景を述べた。

第2章では、従来の紙媒体と情報技術を利用したシステムの研究動向として、(1) 情報提示、(2) 直感的なインタラクション、(3) アート・エンターテイメントへの応用の3つの観点から関連研究を概観し、本研究の位置づけを明らかにする。

第3章では、紙媒体と情報技術をシームレスに連携する新たな情報提示の手法として、ポスターレイアウトの座標位置に結びつけてデジタル情報を提示することができるハイパーパネルシステムを提案し、その手法とコンセプトを述べる。本手法では、従来方式のように紙媒体に細工をする必要が無いため、すでに作成されている通常のポスターに対してもデジタル情報を付与できる利点がある。また、物理的なオブジェクトをポスターの任意の場所に置くことでデジタル情報を閲覧できるため、直感的な操作が可能である。

第4章では、第3章で述べたハイパーパネルシステムを実現するシステムとしてハイパーパネル type1(以下 HP-type1) を提案し、プロトタイプシステムの実装とその評価について述べる。HP-type1 は、ユーザが携帯端末をパネル上に置き、システムがこのパネル上のオブジェクトの位置をセンサにより取得し、その2次元座標をハイパーテキストのアンカーのように利用することで、ポスターの特定記述とデジタル情報とをシームレスに連携することができる。このような特徴を持つ HP-type1 は、評価実験により、誰にでも直感的にポスターのレイアウトに関連づけられたデジタル情報が取得できるシステムとして機能することが示された。

第5章では、HP-type1 の課題であった、複数人での情報閲覧を解決するためハイパーパネル Type2 (以下 HP-type2) を提案し、プロトタイプの実装と評価を実施した。HP-type2 は、座標位置を取得する小型デバイスとユーザの持っている携帯端末を利用し、小型デバイスを紙媒体のポスターに配置することで、複数のユーザが同時に異なるデジタル情報を閲覧することができた。小型デバイスをポスターに貼るという直感的なインタラクションを備えた本システムは、評価実験により、携帯端末の操作に慣れていないユーザにとっても素早く目的とする情報を取得しやすいシステムであることが示された。

第6章では、紙媒体の機器操作不要の特徴や紙の質感、加工のしやすさなどに着目し、本手法を応用したエデュテイメントシステムとして、紙工作とデジタル表現とを組み合わせた「シャドウロボシステム」を提案する。シャドウロボシステムでは、デジタル空間に展開される3DCGのロボットと対をなす展開図を紙媒体にあらかじめ準備し、ユーザが展開図に描き込んだ絵や模様をスキャナーにより読み取ることでデジタル空間上に表示される3DCGロボットのテクスチャとして利用することができる。本システムを利用した評価実験では、アナログ工作とデジタル表現がシームレスに連携した創作環境を提供できることが示された。



第7章は、まとめとし、論文全体の総括をして、結論を述べる。

## 第 2 章

# 紙媒体と情報技術を利用したシステムの研究動向

### 2.1 はじめに

現在、一般に流通している文字・画像情報はデジタルコンテンツの形で作られることが多い。このデジタル情報と人間とのインタフェースとして紙媒体（ハードコピー）と表示メディア（ソフトコピー）があり、それぞれ独自の分野を築き発展してきた。しかしながら、近年では、同じ素材（デジタルコンテンツ）が出力方式の違いで人間に対して異なるインタラクションを示し、異なる展開をすることへの疑念が出てきた。それは、ハードコピーとソフトコピーそれぞれがもつ長所、欠点が絡んだ問題であり、両者の長所を兼ね備えた第三のヒューマンインタフェースを待望するようになっている。

紙媒体の長所は、手に持って明視の距離で反射画像として見られる、読めることであり、文字・画像情報を基に思考、正しい理解、判断、記憶等が脳内で行われ、人に親和性ある道具として長い間親しまれてきた。ディスプレイを始めとした表示メディアの長所は、デジタル情報をそのまま見て読めることであり、その利便性から現在、人が情報を得る窓口として大きな割合を占めている。しかし、表示メディアの情報を見ながら紙へ出力する事が頻繁に行われていることなどがトリガーとなり、紙媒体のような機能を持った表示メディア開発の考えが出されてきた。それが、ハードコピーとソフトコピーの機能のそれぞれの長所を併せ持たせようとする携帯端末やデジタルサイネージなどの情報提示システムである。

本章では、これまで、紙媒体の代替やあるいは、併用して利用することを目的としたシステムでは、どのように紙媒体と情報技術とを使い分けているかを明らかにするため、近年の紙媒体を利用したシステムの研究動向として、(1) 情報提示、(2) 直感的なインタラクション (3) アート・エンターテイメントへの応用という 3 つの観点から既存研究を調査し、紙媒体を利用したインタラクティブシステムの在り方を探る。

### 2.2 情報提示を目的としたシステム

紙媒体を利用することで情報提示を目的としたシステムには、(1) 紙媒体を配置するパネル側にシステムを付随する手法、(2) QR コードを利用した手法や NFC タグを利用した手法、そして (3) Augmented Reality 技術を利用した手法が主な手法であると考えられる。以下それぞれの既存手法についてまとめる。

#### 2.2.1 紙媒体を配置するパネル側にシステムを付随する手法

本手法を利用したシステムとしては、大日本印刷が開発した電波ポスター PiPorta[4] は、A4 サ

イズの印刷物を掲示できる IC タグリーダーを備えた卓上型のポスターシステムである。このシステムでは、閲覧者が持っている携帯電話の IC タグを PiPorta にかざすことでシステムが IC タグを認識し、コンテンツに応じた情報を電子メール経由で閲覧者へと自動送信することができる。このため、閲覧者が独自のアプリケーションを操作しなくても、掲示されているコンテンツのデジタル情報にアクセスすることができる。また、サイボックステクノロジー社の開発した Smart ポスター [5] は、A1 サイズのポスターの任意の場所に 6 箇所までタッチスポットと呼ばれる領域を設定することができる。それぞれのタッチスポットに異なる情報を関連づけられるため、一枚のポスターに掲示されている複数のデジタル情報をレイアウトに合わせて閲覧者に提供することが可能である。

### 2.2.2 QR コードを利用した手法や NFC タグを利用した手法

近年では、NFC 機能を搭載したスマートフォンが発売され、徐々に普及し始めている。NFC を利用したデジタルサイネージの特徴は、スマートフォンを NFC タグにかざすことで様々なデータのやりとりができるインタラクションの手軽さにある。この特徴を活かし、ポスターと連携した観光地案内サービス [6][7] が展開されている。NFC では、NFC タグをポスターに記されているレイアウトごとに埋め込むことで、レイアウトごとのデジタル情報にアクセスすることが可能である。

### 2.2.3 AR 技術を利用した手法

スマートフォンを利用してポスターに記載されたマーカを読み込み AR としてデジタル情報の提供を行うデジタルサイネージが実用化されている。Wikitud[8] や Junaio[9] では、スマートフォンに専用のアプリケーションをインストールし、スマートフォンのカメラでポスターに記載されたマーカを読み込むことで、ポスターに記載された写真が動画として再生されるサービスや 3D モデルが重層表示されるサービスが展開されている。

### 2.2.4 情報提示における従来手法のまとめ

紙媒体を配置するパネル側にシステムを付随する手法では、紙媒体に対応したデジタル情報の提供を行っているが、デジタル情報の提示は、紙媒体一枚に対して一つ、もしくは、複数個までとなっており、例えば観光マップなど多くの店舗や名所がポスターの一箇所に密集している場合や、数十個以上必要な場合には対応することができない。しかし、この手法では、設置側にしかけを持たせるため、印刷するポスターに細工を必要としないという利点がある。

QR コードや NFC タグを利用する手法ではポスターごとに NFC タグを埋め込む作業が必要となり、通常の紙媒体のポスターと比べ紙媒体を作成するコストが高くなる。また、閲覧者が NFC 機能を搭載したスマートフォンを持っていないとサービスを得ることができない。また、この手法では、ポスター 1 枚ごとに物理的に IC タグを付与する作業が必要となる。QR コードを利用した手法においては、QR コードの他に、カラーマーカ [10] やフラクタルバーコード [11] などがある。この手法では、ポスターに記載されている項目ごとにデジタル情報との関連づけを行う必要があるため、内容とは関係のないマーカを紙面に複数印刷することが避けられない。これは、ポスターの可読性やデザインを損なう恐れがある。この課題に対応するために特殊なインクを利用して不可視のマーカを利用する方法 [12],[13] が登場している。しかしながら、これらの手法では、カメラ側に赤

外線 LED やブラックライト LED といった装備が必要であることや特殊なインクを使って印刷しなければならない。

AR 技術を利用したデジタルサイネージの特徴には、紙媒体の印刷後に紙媒体への細工が不要な点あげられるが、本来では、コンテンツとは関係のないマーカをポスターに掲載することが避けられない。この問題に関しては、特徴的なオブジェクトをマーカとして認識することでマーカレスによる AR が実現 [14] されており、イラストをマーカとみなすメディアアート作品 [15] なども提案されている。この場合では、マーカレスで認識するためのテンプレートとして利用する画像を必要とするだけでなく、画像によっては認識率が低下するなどの制約がある。また、この手法においても NFC のシステムと同様に閲覧者がスマートフォンを持っていない場合にサービスを受けることができない。

## 2.3 直感的なインタラクション

紙媒体とのインタラクションは、人間が慣れ親しんだインタラクションであり、この慣れ親しんだインタラクションを拡張する様々なシステムがこれまでに開発されてきている。紙媒体の手触りや質感、加工のしやすさに注目し、紙媒体を利用することで直感的なインタラクションを実現したシステムとして、株式会社 GOCCO が開発した Pit システム [16] がある。Pit システムでは、スマートフォンやタブレットのスクリーンに特殊インクを使用した印刷物を触れさせることで、アプリや WEB に組み込んだ任意の情報コンテンツを呼び出すことができる。紙の置く、開く、閉じるといったインタラクションに注目したシステムとしては、大日本印刷が開発した AR パンフレット [16] がある。AR パンフレットは、マーカが印刷された紙のパンフレットをテーブルに置くと、その周囲に追加・補足情報、解説映像などを投影し、パンフレットの情報を拡張することができる。さらにこうした紙媒体パンフレット親しみやすさに着目し、ナビゲーション機能を拡張したシステムとして、上田らが開発したナビゲーションパンフレットシステム [17] がある。このナビゲーションパンフレットでは、展示会場の特定のエリアで紙のパンフレットを開き、紙に記されている展示物のレイアウトを指差すことで、床面にその展示物の場所を示す矢印が投影される。このような紙との直接的なインタラクションにより博物館における紙媒体と AR 表示によるナビゲーションの有効性を示している。

紙媒体の手触りや、柔軟性、そして加工のしやすさに着目したシステムとしては、牧野らの紙の変形と張りをを用いた映像操作インタフェースの研究 [18] がある。このシステムでは、テーブルの上に円筒状に張った紙に対してプロジェクションし、その紙を押したり、吹いたりすることによって、インタラクティブにコンテンツを変えることを試みている。

## 2.4 アート・エンターテイメントへの利用

紙に絵を描くというインタラクションは、学習や訓練をする必要がなく、文化や世代を越えて誰にでも体験することができる。また、紙とペンさえあれば、手軽に創作活動にとりかかることができるため、絵を描くことができるスペースさえあれば、多数の利用者に対しても同時に創作環境を提供することができる。このような利便性から紙媒体に絵を描き、それをアートやエンターテイン

トに利用するシステムがこれまで数多く登場している。たとえば、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 [20] 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 [21], 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 [22] などがある。これらのシステムに共通して言えることは、紙媒体をスキャナやカメラなどで紙媒体に表現されたお絵かき部分をコンピュータに取り込みそれぞれの目的に応じて利用することである。つまり、このようなシステムは、2次元の紙媒体への表現を基として、その表現をいかにコンピュータで拡張するかを目的としており、コンピュータは紙媒体に表現されたお絵かきに演出を加えることや、もともとアナログでもできた機能をデジタル技術でその利便性を向上しているにすぎない。これらのことから紙媒体の特徴である、紙媒体の質感や手触り、加工のしやすさなどに着目し、コンピュータと紙媒体との表現を一体としたエンターテインメントシステムは、ほとんどないといえる。

## 2.5 本研究の目的

本章では、これまでの紙媒体を利用したシステムとして情報提示を目的としたシステム、直感的なインタラクションを実現するシステム、アート・エンターテインメントへ応用したシステムを概観した。これらのまとめとして、以下の点があげられる。

情報提示の手法として、マーカーやICタグを利用する場合は、紙媒体とデジタル技術とのつながりが完全に分離しており、紙媒体専用の利用というより、ID識別技術の紙媒体への応用であることがわかる。この応用手法は、一部、紙媒体の特徴を利用しているが完全に紙媒体主体として開発された技術ではないため、これらの技術を紙媒体で利用するためには、情報提供者・閲覧者ともにコストがかかる。更に、デジタル情報にアクセスするための手法が特殊な利用環境が必要な場合では、閲覧者がシステムを操作するハードルが高くなり、手軽に誰もが利用することが難しくなる。紙媒体の特徴に焦点をあてて、直感的な操作を目的としたシステムから鑑みると紙媒体が元来持っているインタラクションを拡張することで、操作に関するハードルは低くなる傾向がある。しかしながら、これらのシステムは直感的な操作を可能とするために、プロジェクタや特殊なインクによる印刷など利用環境を整える必要がある。これは、紙媒体の特徴であるはずの手軽さや、利用のしやすさという観点に大きく反するものであると考える。

一方、アート・エンターテインメントの分野では、細工を必要としない紙媒体そのものをインタフェースとして利用し、紙媒体へ描くというインタラクションに焦点を当てたシステムが目立つ。これにより、利用者の操作コストは低くなり、子どもをはじめとした誰もがコンピュータの恩恵を受けた活動を行うことができる。ただ、これらのシステムは、お絵かきに演出を加えることや、もともとアナログでもできた機能をデジタル技術でその利便性を向上しているにすぎず、紙媒体とデジタル技術が融合した新たな体験を提供しているとは言い難い。これらのことをまとめるとこれまでの紙媒体を使用したシステムには以下の3点の課題があると考えられる。

1. 操作の複雑化
2. 運用と制作の非効率
3. 付加価値としての考慮

以下それぞれについて述べる。



### 2.5.1 操作の複雑化

紙媒体を利用する利点は、誰もが利用する際に迷わず、学習なしで簡単な操作ができることにあ  
る。情報提示をはじめとした携帯端末を利用したシステムやインタラクティブなデジタルサイネー  
ジは、技術を加えることで、利用環境が複雑化し、利便性を追求したため誰もが簡単に利用するこ  
とができなくなっている。QRコードやNFCタグ、AR技術を利用した情報提示システムはどれも、  
閲覧者に比較的高度な機器操作を要求し、携帯端末の機器操作だけでなく、アプリの操作も習得す  
る必要があるため、コンピュータ操作になれていない利用者が初見で操作するには敷居が高い。

紙媒体にデジタル技術を併用することで、操作に関する課題を克服するためには、システムを利  
用することが使いやすいだけでなく、使いたいとユーザに思わせるインタフェースを備える必要が  
あると考える。このような「使いたくなるインタフェース」には、操作事態の楽しさと、未来的な  
印象、そして、五感に訴えるなどの特徴があると考えられており、これまでの紙媒体を利用したシ  
ステムではこれらの要素が満たされていない。

### 2.5.2 運用と制作の非効率

紙媒体は、安価で安く、手軽に利用できるという利点がある。紙媒体の特徴を活かし、そのイン  
タラクションを拡張するシステムの多くは、機能を実現するために特別な環境を構築し、準備しな  
ければ実現することができず、誰もが手軽に運営できるものではない。また、システムを利用する  
ために利用する紙媒体においても、紙媒体側に細工が必要であったり、制作に特別な工程が必要で  
あったりすることでシステム利用のためのコストが増えることが問題である。紙媒体を併用した新  
たなインタラクティブシステムでは、できる限りこれまで紙媒体を制作する技術や設備、環境を変  
えず、過去の紙媒体もそのまま利用できるような手軽な利用環境が望ましい。

### 2.5.3 付加価値としての考慮

これまでの紙媒体を併用したシステムの多くは、紙媒体を既存技術を展開する一つの媒体として  
利用しているため、従来の紙媒体そのものの価値を高めることを目的としてはいない。また、ア  
ート・エンターテイメント分野においても、紙媒体ではなく、絵を描くことのできる他の媒体（例  
えばホワイトボードなど）で代用することが可能であり、必ずしも紙媒体である必要はない。紙媒体  
を併用するインタラクティブシステムでは、デジタル技術を利用することにより、紙媒体そのもの  
の価値も高めることが重要である。

## 2.6 まとめ

本章では、本研究の背景として、これまでの紙媒体を利用したシステムでは、どのように紙媒体  
と情報技術とを使い分けているかを明らかにするため、近年の紙媒体を利用したシステムの研究動  
向として、(1) 情報提示、(2) 直感的なインタラクション (3) アート・エンターテイメントへの  
応用という3つの観点から既存研究を調査した。これらの調査結果から、本研究の問題意識として、  
紙媒体を併用したインタラクティブシステムには(1) 操作の複雑化、(2) 運用と制作の非効率(3)  
付加価値としての考慮の3点があることを述べた。



# 第3章

## 座標値連携方式の提案

### 3.1 はじめに

2000年に及ぶ長い歴史をもつ紙は、表示媒体として優れた利便性と親和性を発揮してきた。紙が人間に対して提供する利便性は、紙の軽さ、薄さ、文字の鮮明度、引きちぎり等の分断の容易さ、パラパラめくり、簡単なページ配列の変更などその利便性には、比類がない。紙媒体の利用手法は、主に記録（書く・描く）と閲覧にある。また、紙媒体の加工のしやすさから、折り紙やペーパークラフトなど、紙の素材を活かした工芸品も数多くつくられている。しかしながら機能主体で考えると紙の「優位性」は絶対的ではなく、特に動作を伴う作業において要求実現度が低くなる場合もある。例えば、辞書や地図など、検索を必要とする用途では電子化が最も進んでいる。

紙は一般に読みやすさの点ではディスプレイよりも優位にあると考えられるが、辞書や地図などでは、読みやすさに対する要求度が、検索性などの機能と比較すると低位にあることが電子化に拍車をかける結果になっていると思われる、これらのことを総括すると、電子機器としての機能や利便性と、紙媒体としての読みやすさや理解のしやすさ（親和性）とを分離して各々のデジタル機器の実現方法が考えられ、実装されてきたことが紙媒体を越えるニューメディアを生み出すためのメインストリームであるといえる。しかしながら、本来これらのシステムは、機能の面では分離しつつも、人がメディアに相対して利用する時に、表面的には一体となっていなければならない。つま

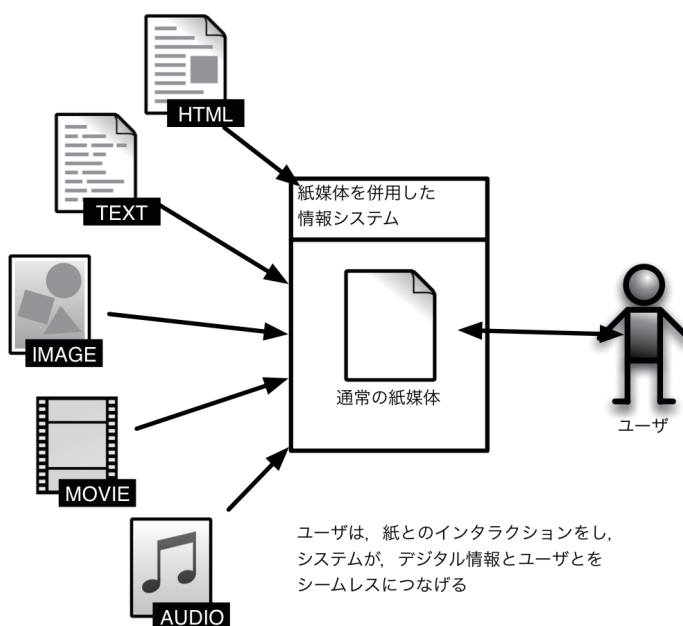


図 3-1 紙媒体を併用したシステムの概念図

り、図 3-1 が示すようにコンピュータによるデジタル技術と紙媒体というアナログメディアが融合し、ユーザから見て一体となっている必要がある。

## 3.2 座標値連携方式

紙媒体の持つ利点を損なわず、紙媒体と情報技術が一体となったインタラクティブシステムを実現するために、本研究では「座標値連携方式」を提案する。座標値連携方式とは、紙媒体の持つ 2 次元座標値に着目し、座標値を基準点として、紙媒体の用途に合わせたコンピュータ処理を行う情報デザイン手法である。この手法により、紙媒体の用途に応じて様々なインタフェースデザインを工夫することで、紙媒体を併用しながら紙媒体の座標値に関連付けられた詳細なデジタル情報を有機的に提供することや、紙媒体に描かれた表現をデジタル空間の表現として利用することができる。

## 3.3 本研究のアプローチ

本研究では、2 章で挙げた、操作の複雑化、運用と制作の非効率紙媒体の価値の低減という 3 つの課題を克服するため座標値連携方式を利用したインタラクティブシステムとして、紙媒体による主要な利用分野として考えられる「情報提示」と「紙工作」の分野における紙媒体を併用したインタラクティブシステムを提案・試作し、本手法の有効性を示す。

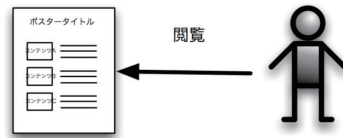
### 3.3.1 情報提示におけるハイパーパネルシステムの提案

公共の場においてこれまでの情報提示として、従来から紙や布に印刷したポスターや垂れ幕などの情報提示手法がある。これらの方法で掲示できる情報は、紙や布の物理的な大きさに限られるだけでなく、掲示できる情報が、静的であるため、同じ形態での情報の更新にコストを必要とする。また従来のポスターや垂れ幕では、閲覧者にとって興味のある情報が記載されていた場合には、紙面に記された内容以上の情報を得るために、閲覧者が後ほど自ら行動して調べる必要があり、閲覧者が広告の情報にアクセスするまでに手間と時間がかかる。紙媒体の利点として、非常に安価なため、様々な場所に掲示できる手軽さや、従来からある情報掲示の方法であるため、万人が情報を受け取ることが出来る。通常ポスターと情報技術を利用したポスターとの関係を図 3-1 に示す。通常ポスターは、媒体として紙を利用しているため、手軽にあらゆる場所へと利用することが出来る。しかしながら、情報掲示の媒体を紙や布などの物理的な制約に縛られており、時間と共に情報が変化する動的な情報掲示や、音や動画などのマルチメディアによるインタラクティブな情報掲示をすることができない。

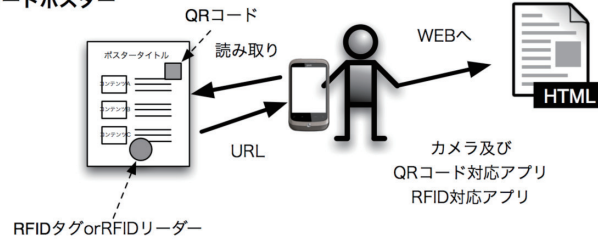
これらの問題を解決するために、閲覧者を WEB ページなどへ誘導し、詳細な情報を掲示するための手法としてスマートポスター (2) が開発され、実用化されている。

しかしながら、スマートポスターは、紙ポスターと同じで、掲示されたポスター自体の情報の更新を行うにはコストがかかる。また、スマートポスターに対応した携帯電話機種とアプリケーションを利用する必要があり、携帯電話を持っていないユーザや携帯電話を使いこなせない閲覧者 (いわゆる情報弱者) に対しては、紙媒体に掲載されている情報以上のことを伝えることができない。さらに、(1) (2) とともに閲覧者が自ら積極的にアクション起こさない限り、ポスターに記載され

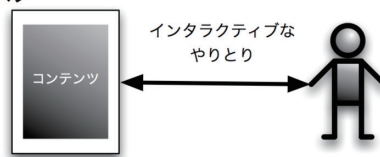
(1) 紙媒体のポスター



(2) スマートポスター



(3) デジタルポスター



(4) GPS位置情報広告

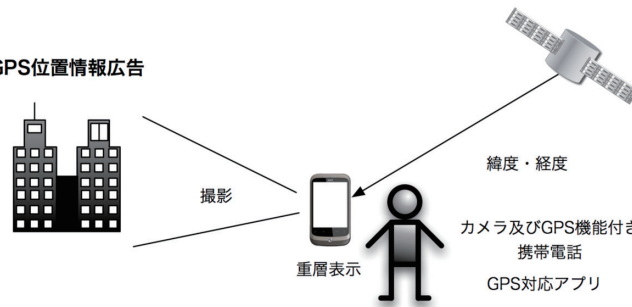


図 3-2 従来の紙媒体と情報提示システムの比較

た詳細な情報へとアクセスすることができない。加えて、この手法では、閲覧者の情報への興味の項目や深度（どのくらい興味があるか、掲示された情報の何に興味があって詳細情報へとアクセスしてきたのか、といった閲覧者の興味の強さや項目、ポスターは見たが詳細情報へとアクセスしてこなかった人がどのくらいいたのか、など）を知ることができない。

上記の問題を解決するために、大型ディスプレイやタッチパネルを備えたデジタルポスター（3）が開発されているが、大型ディスプレイによるデジタルポスターは大がかりな設置工事が必要となり、導入コストが高いだけでなく、維持管理においてもかなりのコストを必要とするため、都市部の駅や大型商業施設など一部の場所での利用にとどまっている。

GPSを利用してユーザの位置情報に対して情報を発信するサービス（4）も実用化されているが、都会のビルの谷間等では視線の通る衛星が少なくなり、数m~数十mの誤差が生じることもある。また、室内や、数メートルの範囲で異なった情報掲示をすることが困難である。これらの課題を解決するために、実世界の紙媒体の座標値をセンシングにより取得し、自然なインタラクションにより紙媒体から情報取得が行えるハイパーパネルシステムの開発を行う。

本システムは以下の3つの機構により構成されている。

1. 実世界にある物体の空間座標値の取得を可能とする装置とその座標値の任意の場所を指し示す

ことができる装置

2. 指し示した座標値の詳細なコンテンツをパッド型端末に呈示できるユーザ・インタフェースを備えた閲覧システム

3. 前記ユーザ・インタフェースに表示するためのオーサリングするシステム

これらの組み合わせにより、実世界にある物体の座標値にあわせて情報を掲示することができる。このシステムをポスターに適応した場合には、ポスターに印刷されている位置にパッド型の端末をユーザが任意の場所に動かし、位置を指し示すことにより、その位置情報の詳細コンテンツをデジタルデータで表示することができる。このため、従来技術（１）（２）の問題点であった、動的な情報掲示や、閲覧者の情報への興味の深度といった閲覧履歴の取得ができる。また、本システムでは従来技術（３）のデジタルサイネージに比べ、安価に製作でき、設置も簡単になると考えられる。そのため、大がかりな設置工事を必要とせず導入や維持管理においても大幅なコストカットができ、（３）の問題点であったコストの軽減が見込まれる。さらに、本システムは、紙媒体の特徴をもっているため、情報弱者にも気軽に扱うことができ、万人がデジタルによる情報の取得ができる。

加えて、本システムは、従来の紙ポスターをベースとして新たにデジタルコンテンツを追加することができるため、すでに製作されたポスターに付加価値をつけることができる。

### 3.3.2 紙工作における座標値連携方式の利用

これまでの紙媒体を利用した表現活動を支援するシステムの多くは、紙媒体にユーザが絵を描くことを支援するシステムや、紙媒体に書かれた絵をデジタル表現の演出に利用することがほとんどである。その理由として、２次元に書かれた絵や模様をデジタルカメラやスキャナによってデジタル化させれば、様々なデジタル表現に利用することが可能だからである。これらのシステムの本質的な要素は、絵をデジタル化することであり、紙媒体そのもののメディアに着目したシステムではない。すなわちこれらのシステムは、絵を描くという行為ができるのであれば、他の媒体を利用しても問題ないため、システムが紙媒体そのものの価値を向上させているわけではない。

紙媒体を利用した表現活動には、絵画のほかに、張絵、折り紙、ペーパークラフトなど、絵を描くという行為だけでなく、紙媒体の加工のしやすさを利用した工作活動があるが、このような紙工作をテーマとし表現活動を支援するとともに紙媒体の価値を向上させるシステムはほとんどみられない。そこで、本研究では、この紙工作の１つであるペーパークラフトに焦点を当て、座標アンカー手法を利用することで紙媒体の価値を高めるインタラクティブシステムの開発を試みる。

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、展開図の形や模様独自の要素を加えられるので、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 [23][24] や、ポップアップカードを制作できるシステム [25][26] 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生成できるが、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展開図を制作することは容易ではない。

初心者や子ども達が独自の要素を持つペーパークラフトを作る方法として、無地の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、これまで様々なシステムが展開されている。そこで、本研究では、あらかじめ準備された3次元モデルの展開図にユーザが絵を描き、その画像を取り込んで情報空間で展開することによって誰もが3次元モデルのテクスチャをデザインできるインタラクティブシステムを構築する。

このようなシステムを開発するためには、以下4つの要件が必要である。

1. 各ユーザがお絵かきした紙を管理できる個別認識可能な手法
2. 情報空間に展開される3次元モデルと同様のペーパークラフトとなる展開図
3. 紙媒体をデジタル化した時に座標のずれを補正するシステム
4. 3次元モデルを利用したコンテンツ

これら4つの要件を満たしたシステムを構築することで、ユーザの紙媒体へのインタラクションを情報空間で展開することができる。また、この展開図を組み上げることで、情報空間に展開される3次元モデルと同じものを現実空間でも制作することが可能となり、紙媒体の価値を向上させる新たなインタラクティブシステムを提案できる。

### 3.4 まとめ

本章では、紙媒体とデジタル情報をつなげる手法として、紙媒体の座標値を基準点とした連携方式である。座標値連携方式について述べた。本手法により、紙媒体を併用したインタラクティブシステムに利用することの特徴として、紙媒体を従来のメディアのまま利用しながら情報技術によるサービスを展開することができるため、システムに対するユーザは、直感的な操作が可能となる。また、この手法は、システムを利用するにあたって特殊な制作工程を実施する必要がないため、これまで培われてきた制作環境や制作技術などをそのまま利用することが可能となる。また、従来は制限のある紙媒体の情報を無制限なデジタル情報とシームレスにつなげることで、紙媒体自体の価値を向上させることにつながる。更に、手法としては非常にシンプルであるため、紙媒体自体に大きな変化を与えずに利用することが可能であり、様々な用途に応用することができる。

まとめると、本研究で提案する座標値連携方式を利用することにより、紙媒体を併用したインタラクティブ効果として、以下の3点が上げられる。

1. 直感的なインタフェースの実現
2. 紙媒体の過去の資産の活用
3. 紙媒体の価値の向上

これらの効果はオールドメディアとして扱われ、利活用の場をデジタル機器などのニューメディアに奪われつつあった紙媒体に再度脚光を当てたハイブリットメディアとして有効活用が期待できる。以下、本論文では、座標値連携方式を情報提示の分野と紙工作の分野に利用した具体例として「ハイパーパネルシステム」と「シャドウロボシステム」とを開発し、本手法の有効性を考察する。

# 第4章

## 座標値を利用した情報提示システム

### 4.1 はじめに

情報提示分野における紙媒体を併用したインタラクティブシステムとして本章では、ハイパーパネル Type 1 を提案し、超音波センシングによって座標値が取得できるインタフェースを設計した。また、WEB 環境により、通常の紙媒体のデータに関して、簡単なマウス操作で紙媒体を本システムに対応したシステムとして関連付けることができる。コンテンツオーサリングシステムについても合わせて説明する。

### 4.2 ハイパーパネル Type1 の構成

本章で提案するハイパーパネル Type1 では、ポスターに記されているコンテンツをハイパーリンクのアンカーのように扱い、対象となるコンテンツのデジタル情報をタブレット端末のディスプレイにインタラクティブに提示することを可能にする。また、従来から情報提示手法として利用されている紙媒体との連携を重視し、NFC タグの埋め込みやマーカークの配置など、紙媒体側に細工を必要としないしくみを実現する。具体的には、ポスターの表面に上下左右にスライド可能なタブレット端末を配置し、このタブレット端末のポスター上の位置情報を認識することで、ポスターのレイアウトごとに静止画や動画などのデジタル情報を提示することを可能にする。

ポスターによる情報提示は、商品解説や観光案内、展示会場のナビゲーションサインなど様々な用途が考えられる。そのため、ポスターの用途やコンテンツに柔軟に対応できるように任意の位置に分かりやすくデジタル情報を設定できる必要がある。これらの点を踏まえた本システムの概念図

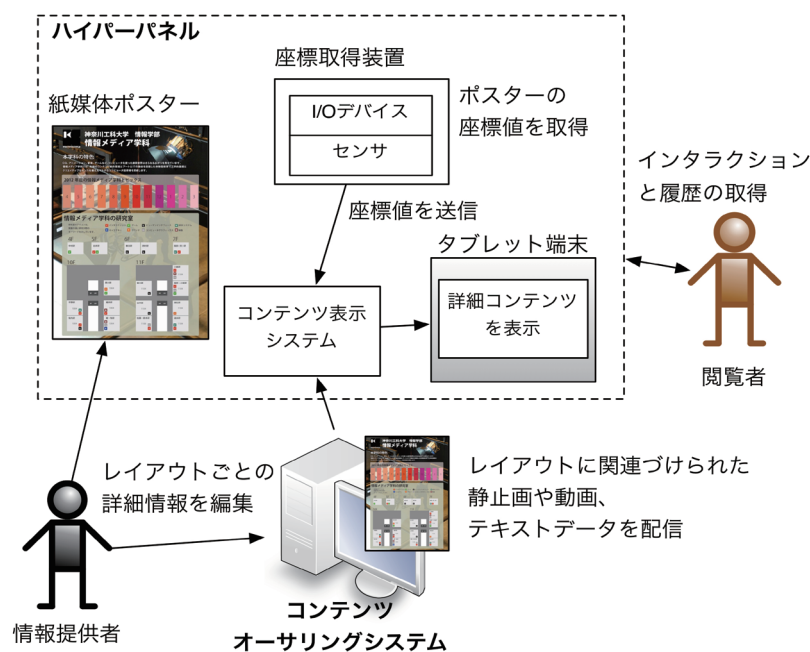


図 4-1 ハイパーパネル Type1 の概念図



を図 4- 1 に示す。

本システムは、ポスターの表面にタブレット端末を配置した実空間上の座標値を取得する座標取得装置と取得した座標値を元にポスターに記載されているレイアウトごとのデジタル情報を提示するコンテンツ表示システム、そして、デジタル情報の配置や静止画や動画などのデジタル情報を登録・編集できるコンテンツオーサリングシステムの3つのシステムにより構成されている。

## 4.3 本システムの特徴と利点

本章では、関連事例としてあげた従来の紙媒体とスマートフォンなどのモバイル端末とを利用したデジタルサイネージシステムとを比較し、本システムの利点や特徴について述べる。

### 4.3.1 本システムの特徴

NFC や AR 技術など、これまでのモバイル端末をベースとしたデジタルサイネージシステムでは、スマートフォンを閲覧者が持っていない場合にサービスを受けることができない。この点は、他の研究でも指摘されている [13]。

本システムでは、紙媒体のポスターをタブレット端末付のパネルに据え置く形態を採用しているため、設置型の大型タッチパネルを備えたデジタルサイネージ [27][28] のようにスマートフォンを持っていない閲覧者に対しても情報を提供することができる。紙媒体の特徴を活かし、パネル側に仕組みを持たせる形式としては [4][5] と似ているが、これらのシステムとは異なり、ポスターに記載されているレイアウトに応じてデジタル情報を提示することができるので1枚のポスターのコンテンツに対して、数十個以上のデジタル情報を配置することができる。

ポスターに記されたポスター内容とデジタル情報とを関連付ける手法として、NFC タグを利用した手法 [6][7] や AR 技術を利用した手法 [8][9] と異なり、タブレット端末のポスター上の座標値を利用しているため、紙媒体側に細工を必要としない。この利点として従来方式では、情報提供者がポスターを制作する際に、制作工程で考慮しなければならなかったマーカ―や NFC タグの見せ方や配置といった制約を意識する必要がない。

また、すでに製作されているポスターに対してもデジタル情報を追加することができるため、過去に作成したポスターに対して付加価値をつけることができる。

加えて、本システムではコンテンツ表示システムを利用して QR コードや AR マーカ―をインタラクティブに表示することや、NFC 機能を備えたタブレット端末を利用することもできるため、NFC を利用したサイネージや AR 技術を利用したサイネージと同様のサービスを展開することも可能である。つまり、提案方式は従来方式を包含する方式といえる。

デジタル情報の表示に関しては、タッチパネルを備えたタブレット端末を利用することで、大型のタッチパネル式のデジタルサイネージと同じように、設置した場所や時間帯に合わせて静止画像や動画などを利用したリッチなコンテンツの再生やインタラクティブな情報提示ができる。

### 4.3.2 タブレット端末でのポスター表示との違い

ポスターの文字や写真は、通常 A0 や A1 サイズで読むことを前提として記載されている。そのためタブレット端末の画面サイズで全画面表示すると、文字サイズが小さくなり可読性が低下する。

文字を読みやすいサイズに調節するためにピンチ操作によって文字を拡大するが、相対的に写真も拡大されるため、拡大と縮小を繰り返すこととなる。この方法では、ポスター全体の内容を把握しにくいだけでなく、興味のある項目に到達するまでに時間がかかる。これは、スマートフォンなどでのタッチパネル操作に慣れていない人にとって、情報を得にくいというえに複雑な操作を要求することとなる。これに対し、本手法では物理的にタブレット端末をスライドさせることが紙媒体のポスター位置の「指し示し」と「デジタル情報表示」を兼ねているため、複雑な操作を必要とせず、ポスターのどの場所の内容を見ているかを直感的に理解できる。

### 4.3.3 Kinect などを利用したサイネージとの違い

近年では、Kinect などのセンサを利用したデジタルサイネージが登場している。Kinect を利用すれば、比較的安価で容易に人の動きに併せたインタラクティブな情報を提示するデジタルサイネージを制作できる。しかしながら、Kinect は、赤外線を投射し、その反射を感知しているため、設置する場所の明るさや閲覧者の服装、そして、身長などにセンサの感度が影響を受ける。また、デジタルサイネージにプロジェクタを利用している場合は、プロジェクタの投射位置や Kinect の設置位置などを検討する必要があるなど、設置や運用において注意を払うべき項目が多い。

一方、本システムは、座標取得装置内でタブレット端末の位置を実測する単純な方法を採用しているため、設置場所の環境やユーザの服装などの外部要因によってシステムの機能が影響されることはない。また、ハイパーパネルは、座標取得装置とタブレット端末が一体化しているため、大がかりなデジタルサイネージシステムのようにプロジェクタの投射位置やセンサの位置を検討する必要がない。

また、本システムは、携帯することが前提にあるタブレット端末を利用していたため充電機による駆動が可能である。このことから、利用するタブレット端末に依存するが、本システムは、電源取得ができない場所でも数時間単位での利用が可能である。これらの特徴から、本システムは、大型タッチパネル形式のデジタルサイネージや Kinect などを利用したサイネージシステムと比べて管理や運用での利便性が高いと考えられる。

本論文では、以上のような特徴と利点を持つハイパーパネルにコンテンツオーサリングシステムを加えたハイパーパネルシステムを紙媒体とタブレット端末とを組み合わせた新たなデジタルサイネージとして提案する。

## 4.4 プロトタイプの実装

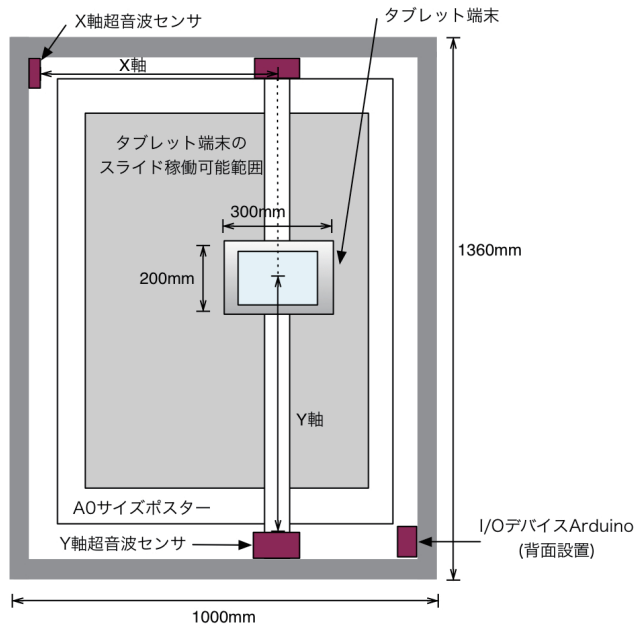
本章では、ハイパーパネルシステムの提案手法を評価するために実装したプロトタイプについて述べる。筆者等は、JIS 規格の A0 サイズのポスターに対応したハイパーパネル [17] を制作した。制作したシステムの写真と構成図を図 4-2 に、システム構成を表 4-1 にそれぞれ示す。

### 4.4.1 座標取得装置

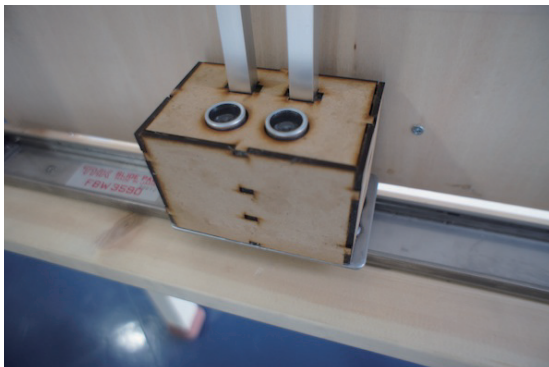
座標取得装置は、ポスター上のタブレット端末の位置をコンテンツ表示システムへとリアルタイムに送信する装置である。本プロトタイプでは A0 サイズのポスターに対応するため、A0 サイズより一回り大きい 1000mm × 1360mm



(a) 実装した座標取得装置



(b) 座標取得装置の構成図



(c) Y 軸取得のための超音波センサ



(d) X 軸取得のための超音波センサ

図 4-2 実装したプロトタイプ

表 4-1 プロトタイプの構成表

| 構成デバイス  | 製品名   | 仕様  |
|---------|---|---|
| タブレット端末 | Acer Iconia W700  | CPU:Corei3 1.8GHz<br>メモリ:4G<br>OS:WINDOWS8<br>11.6inch ディスプレイ<br>画像解像度 190ppi<br>最大表示解像度 1920 × 1080  |
| I/Oデバイス | Arduino-Uno<br>Arduino ワイヤレスSD<br>シールド<br>XBeeエクスプローラ<br>USB<br>XBee 802.15.4 モ<br>ジュール × 2 | Microcontroller:ATmega328<br>Flash Memory 32KB(ATmega328)<br>SRAM 2KB(ATmega328)<br>EEPROM 1KB(ATmega328)<br>Clock Speed 16MHz<br>zigbee(IEEE 802.15.4) |
| 超音波センサ  | parallax PING)))  | 測定範囲2cm-3m<br>通信形式:Positive TTLpulse  |



の木製のオリジナルフレームを制作した (図 4-2(a) 参照).

タブレット端末をポスター上に配置した際の座標値の取得には、様々な手法が考えられたが、今回のプロトタイプでは、比較的容易に物体までの距離が取得できる Parallax 社製の超音波センサ (PING)))Ultrasonic Distance Sensor を利用した。超音波センサとタブレット端末へのデータの送受信には、充電池による駆動も可能である I/O デバイス Arduino と近距離無線通信規格である ZigBee を利用できる Arduino ワイヤレス SD シールド及び Xbee Explore USB を使用した。これらの環境により、無線を介したシリアル通信で計測した距離データをタブレット端末へと送信することが可能となる。座標取得装置のフレームの上部及び下部には、ベアリングが使用されたスライドパックを設置し、2つのスライドパックをアルミ棒によって固定した。このアルミ棒に沿ってタブレット端末が上下にスライドできる機構を備えることで、閲覧者は A0 ポスター上でタブレット端末を上下左右にスライドさせることができる。座標取得装置では、A0 ポスター上のタブレット端末の位置を計測するために、図 4-2 の (b) に示すように超音波センサをフレームの左上部と支柱に各 1 台設置した。それぞれの設置状態を図 4-2(c)(d) に示す。また、超音波センサからタブレット端末の中心までの横軸と縦軸の距離を図 4-2 の (b) に示すように、それぞれ X 軸と Y 軸として定義した。

#### 4.4.2 コンテンツ表示システム

座標取得装置から送信されるタブレット端末の位置情報に合わせて写真や静止画などのデジタル情報を表示できるアプリケーションを openFrameworks により実装した。

ポスターの表面にタブレット端末を配置すると、タブレット端末の背面になる内容が閲覧者から見えなくなる。そのためタブレット端末の背面に複数の掲示内容が存在する場合に、見たい内容を指し示すことが難しくなると考えられた。そこで今回のプロトタイプでは、ポスター上のタブレット端末の背面に当たる内容をタブレット端末のディスプレイに表示し、タブレット端末がポスターのどのレイアウト上にあるのかを直感的に理解できるようにした。

##### 印刷物と表示画像の扱い

今回のコンテンツに利用した紙媒体の大きさは、JIS 規格の A0 サイズであり、実寸サイズは 841mm × 1189mm となる。ディスプレイ上の画像にポスターに印刷されたイメージが透過しているように見せるためには、ディスプレイに表示されている画像と紙媒体に印刷されているイメージのスケールを合わせる必要がある。今回利用したタブレット端末の画面解像度は 190ppi であったため、画面サイズを 1024px × 768px に設定し、コンテンツの画像サイズ 6391px × 9046px へと変換して扱っている。

##### デジタル情報の表示範囲とデータ

実装したプロトタイプでは、デジタル情報を管理するデータモデルとして図 4-3 に示す XML を利用している。デジタル情報の表示範囲には、紙媒体に印刷されるポスターの画像データの左上を原点とし、紙面に配置されているレイアウトごとに矩形の左上を開始点、右下を終了点とした領域をデジタル情報表示領域として設定している。プロトタイプで利用するコンテンツ例として図 4 に示すポスターを作成した。このポスターでは、29 箇所を静止画や動画などのデジタル情報を閲覧できるように設定した。

| タグ名     | 属性名           | 属性値        |
|---------|---------------|------------|
| paper   | title         | ポスタータイトル   |
|         | poster_url    | ポスター画像のURL |
|         | contents_num  | コンテンツ数     |
|         | direction     | コンテンツの向き   |
|         | resolution    | 画像の解像度     |
| contens | size          | 画像サイズ      |
|         | con_id        | コンテンツのID   |
|         | content_title | コンテンツのタイトル |
|         | content_pos   | コンテンツの位置   |
|         | picture_num   | 写真の数       |
|         | movie_num     | 動画の数       |
| picture | pic_id        | 写真のID      |
|         | picture_title | 写真のタイトル    |
|         | picture_url   | 写真のURL     |
| movie   | movie_id      | 動画のID      |
|         | movie_title   | 動画のタイトル    |
|         | movie_url     | 動画のURL     |

```
<?xml version="1.0"?>
<paper title="Information Media Poster" poster_url="images/media.jpg" contents_num="29"
  direction="vertical" resolution="300" size="10092,14288" >
  <contents con_id="0" content_title="April" contents_pos="252,1395,428,1920" picture_num="1" movie_num="0"/>
  <contents con_id="1" content_title="May" contents_pos="512,1395,688,1920" picture_num="1" movie_num="0"/>
  .
  .
  <picture pic_id="0" picture_title="Media_topics1" picture_url="images/20120405.jpg"/>
  <picture pic_id="1" picture_title="Media_topics2" picture_url="images/20120516.jpg"/>
  .
  .
  <movie mov_id="0" movie_title="Kasuga-lab" movie_url="images/kasuga.MP4"/>
  <movie mov_id="1" movie_title="Nishimura-lab" movie_url="images/nishimura.MP4"/>
  .
  .
</paper>
```

図 4-3 デジタル情報を管理する XML の例

座標取得装置には、タブレット端末を操作しやすいように取手がついたフレームを取り付けている。また、フレームの背面にはタブレット端末が自重で落下しないようにネオジウムマグネットを利用し、閲覧者が任意の位置でタブレット端末を固定できるようになっている。

### デジタル情報へのリンク方式

閲覧者は、座標取得装置の前に立ち、取手をつかんで、タブレット端末をポスターの任意の位置にスライドすることでその位置に関連したデジタル情報を閲覧することができる。このタブレット端末を利用したデジタル情報の閲覧方法には、自動閲覧と選択閲覧の2種類が考えられた。

自動閲覧とは、タブレット端末がデジタル情報の関連付けがされているデジタル情報表示領域内にある場合に自動的にデジタル情報を再生する方式である。選択閲覧とは、タブレット端末が同じく、デジタル情報を持っている領域内にある場合に閲覧メニューを表示し、閲覧者が見たい情報を選択する閲覧方式である。今回のプロトタイプでは、図 4-4 に示すように1つのコンテンツに対して複数の写真や動画を提示するために、後者を選択している。

タブレット端末のディスプレイには、ポスターの背面部分にあるイメージが表示され、ディスプレイの中心点が指定されたデジタル情報表示領域内に入っていると画面左上の閲覧メニューが自動で表示される。表示される閲覧メニューには、関連付けられている静止画や動画がまとめられているので、閲覧者が閲覧メニューをタップすることで静止画や動画などの閲覧画面へと切り替わる。

また、デジタル情報を閲覧している間は、タブレット端末を別のデジタル情報表示領域へとスライドさせても自動的に切り替わらない仕様としている。

### 4.4.3 実装したプロトタイプの制約

本プロトタイプの設置にあたっては、プロトタイプを固定するために立てかける台を独自に作成し、安定させるため図 4-5 のようにポスターが傾斜した設置とした。従来の紙媒体のポスターは、このような人の手が届く位置だけでなく、天井や壁面の上部など様々な場所に配置できるが、本システムは、NFC を利用したポスターや大型ディスプレイにタッチパネルを備えたシステムと同じように、人の手が届く空間に配置し、ハイパーパネルに掲示されているポスターに関心を持った閲覧者に対してより詳細な情報を提供することを支援するシステムとして開発している。つまり、本システムは、ポスターに対峙するまでの過程については一般のポスターと同様と考える。

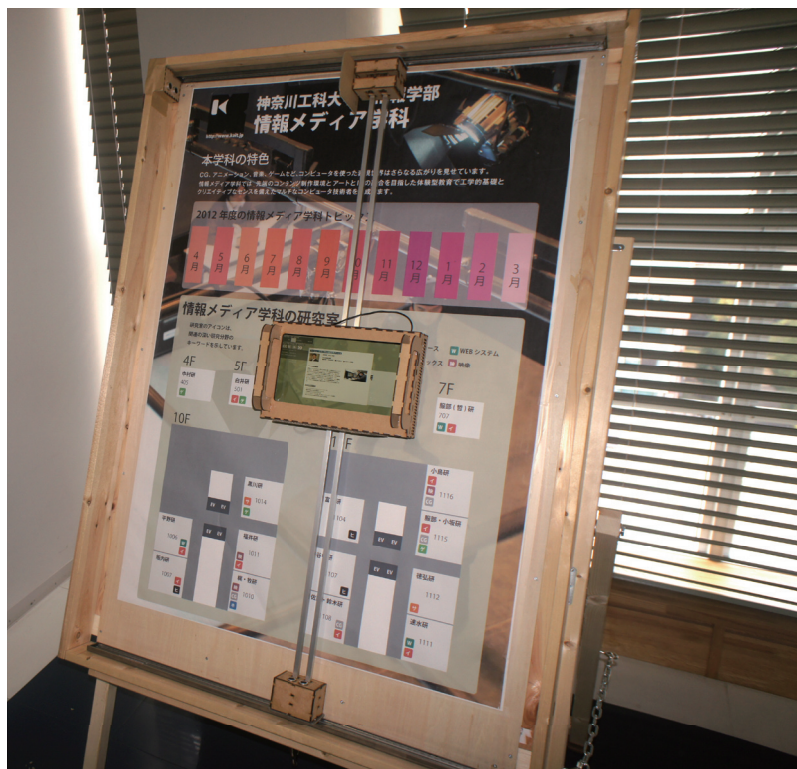
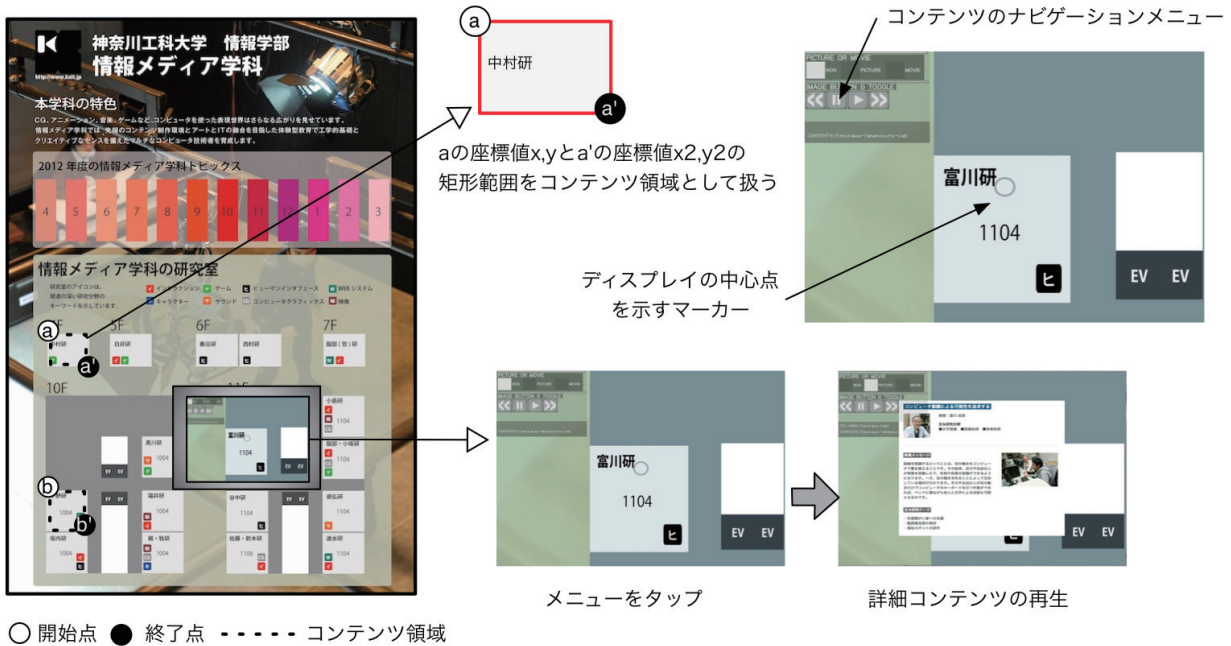


図 4-5 紙媒体ポスターを設置したハイパーパネル Type1

プロトタイプの制作にあたっては、加工のしやすさやコストの面から座標取得装置の素材として木材を利用しているため、タッチパネル式のデジタルサイネージと比べて設置や運用面での利便性に有意差があるとは言えない。しかしながら、座標取得装置のフレームやタブレット端末を設置するカバー部を、アルミ板など軽量の素材を使用構成することや、コンテンツ表示システムで利用するタブレット端末をプロトタイプで利用している Acer Iconia w700(重量:950g)ではなく、その後発売された Apple iPad mini(重量:310g)など、より軽量のタブレット端末を利用することで



らなる軽量化が見込まれる。

また、ポスター上にあるタブレット端末の位置座標を取得する手法として、今回は超音波センサを利用しているが、本システムは、この仕様に限定するものではなく、赤外線距離センサやフォトリフレクタによる計測も考えられる。

#### 4.4.4 コンテンツオーサリングシステム

紙媒体ポスターのレイアウトに基づいてインタラクティブなコンテンツを展開するには、様々な手法が考えられるが、どれも専門的なプログラミングの知識や技術が必要である。比較的容易に実現できる HTML 文書によるブラウザ表示においても、HTML や CSS の知識を必要とし、テキストエディタによる HTML 文書のプログラムを行うか、HTML 文書を手軽に編集できるソフトウェアが必要となる。筆者等は、こうした専門的な知識やソフトウェアがなくても紙媒体ポスターのレイアウトに写真や動画などのデジタル情報の関連付けができるコンテンツオーサリングシステム [18] を制作した。本オーサリングシステムは、Web での利用を想定とし、マウス操作のみで、ハイパーパネル用にポスターのレイアウトと、写真や動画などのデジタル情報とを関連付けることができる。

関連付けた結果はマッピングデータとして Web 上のデータベースに蓄積される。本オーサリングシステムの利用者 = 情報提供者は Web ブラウザ上にポスターなどの画像情報を表示させ、その画像上でデジタル情報を関連付ける座標位置 = デジタル情報領域を指定し、デジタル情報のデータと一緒に、その座標位置をサーバ上のデータベースに登録することができる。この操作を繰り返すことで、ポスターレイアウトの座標位置とデジタル情報とを関連付けするためのマッピングデータが蓄積される。また、本オーサリングシステムはマッピングデータを確認するために、デジタル情報のプレビュー機能を提供する。マッピングデータとデジタル情報は、コンテンツ表示システムが読み込み可能な形式でタブレット端末にダウンロードされる。

本オーサリングシステムの機能は大きく分けて 4 つある。それらは (1) ポスターなどの画像登録、(2) デジタル情報の関連付け、(3) デジタル情報のプレビュー、(4) マッピングデータとデジタル情報のダウンロードである。



ポスターなどの画像登録機能は、利用者が画像ファイルをサーバにアップロードするためのものである。デジタル情報の関連付け機能は、ポスターレイアウト上で指定した領域にデジタル情報をリンクして登録するためのものである。デジタル情報のプレビュー機能は、関連付けられたデジタル情報を Web ブラウザ上で確認するためのものである。マッピングデータとデジタル情報のダウンロード機能は、それらをコンテンツ表示システムに読み込み可能にするためのものである。次節で各機能の詳細を述べる。

#### デジタル情報の関連付け

本オーサリングシステムの利用者は登録フォームで画像ファイル、用紙サイズ (A0, A1 など)、用紙の向き (縦・横) や画像のピクセルサイズ (縦・横)、解像度、そしてメモを入力してサーバに送信することができる。ポスターなどの印刷物は 300dpi 以上の高い解像度の画像で印刷されることが一般的であるため、コンテンツオーサリングシステムでは、オーサリング用に最大横幅が

# 画像選択

キーワード(メモで検索):

|   | サイズ | 向き | メモ                   | 日時                  |
|---|-----|----|----------------------|---------------------|
|  | A0  | たて |                      | 2013-03-21 15:14:16 |
|  | A1  | よこ | 2011年、なつのオープンキャンパス予告 | 2012-12-08 20:27:10 |

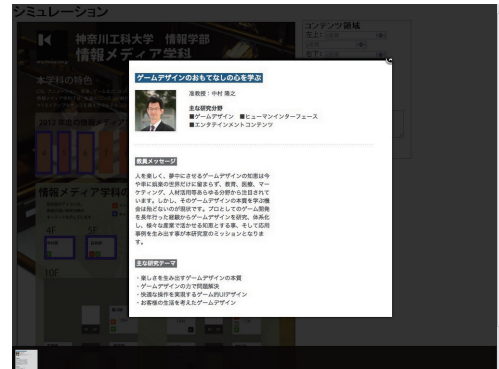
[新規登録はこちら](#)

(a) 紙媒体ポスターとの関連づけ画面

## オーサリングツール



(b) マッピング画面



(c) デジタル情報プレビュー画面

図 4-6 コンテンツオーサリングシステムの GUI

800px で比率を合わせた 72dpi のサムネイル画像を自動で生成し、このサムネイル画像でオーサリングを行う。登録すると図 4-6(a) のように画像一覧に表示される。画像一覧から処理対象の画像をクリックすると、図 4-6(b) のようなデジタル情報を関連付けるための画面 (以下ではマッピング画面) が表示される。マッピング画面は画像が表示されるデジタル情報表示領域指定部 (画面の左) とデジタル情報を入力するための入力フォーム (同右、以下ではデジタル情報入力フォーム) から

構成される。ポスターなどの用紙には縦置きと横置きがあるため、用紙の向きにあわせて画像の表示領域、具体的にはデジタル情報表示領域指定部の高さを調整するようになっている。

デジタル情報表示領域指定部の画像上をマウストラッグすることで、デジタル情報を関連付ける矩形領域を図 4-6(b) のように指定し、デジタル情報入力フォームに、領域タイトルと画像などのデータファイルを入力してサーバに送信する。関連付けられる矩形領域は画像上に表示されると同時に、その領域の左上と右下の点の XY 座標が、デジタル情報入力フォームに自動入力され、その値がサーバに送信される。

ポスターのレイアウト配置に関しては、矩形以外にも円形や多角形を利用したレイアウトも利用されるが、今回実装したプロトタイプでは、利用頻度が高いと考えられる矩形によるレイアウトに限定して実装した。また、矩形の領域を指定する場合、ポスターの内容によって矩形の重なりが包含関係になることがあるが、階層構造を持たせると、閲覧の際にタブレット端末の操作が複雑化することが予測された。コンテンツオーサリングシステムは、紙媒体に手軽な手法でデジタル情報を提示することを目的としているため、1つの矩形に対して1つの階層でデジタル情報を提供することにした。

矩形領域の重なりを防ぐため、すでにデジタル情報が関連付けられた領域はリストで管理され、常にデジタル情報表示領域指定部に表示されるようになっている。

オーサリングシステムでは、縮小したサムネイル画像で矩形領域の指定を行っているため、ハイパーパネルのコンテンツ表示システムでデジタル情報を表示する矩形領域を扱う際には、ポスター画像を登録する際に入力した解像度と画像サイズの値を利用して比率を合わせている。

## デジタル情報のプレビュー

マッピング画面からプレビュー機能のページ(以下ではプレビューページ)に移動することができる。プレビューページは、画像表示部とデジタル情報表示部から構成される。画像表示部にはデジタル情報が関連付けられている領域が青枠で示されており、その枠にマウスポインタを合わせると、枠の色が赤色になると同時に、デジタル情報表示部に領域タイトルなどが表示される。さらに領域をクリックすると、プレビューページ上にデジタル情報表示用のボックスを重ねて表示し、そのボックスに登録されたデジタル情報が図 6(c) のように表示・再生される。ポスターの向きが縦置きの場合、画面をスクロールする必要があるが、画面のスクロールに追従してデジタル情報表示部を自動スクロールするようになっている。

## マッピングデータとデジタル情報のダウンロード

ハイパーパネルを利用して情報提供するために、本オーサリングシステムによって作成されたマッピングデータを図 3 に示した XML 文書として書き出すことができる。書き出された XML 文書と静止画や動画などのデータをコンテンツ表示システムに読み込ませることでハイパーパネルを利用してデジタル情報を提示することができる。

## データベース

本オーサリングシステムのデータベースはマッピングデータを管理するためのテーブルとポス

ターなどの画像を管理するためのテーブルからなる。マッピングデータ用のテーブルはデジタル情報表示領域の XY 座標とその領域に関連付けられたデジタル情報の形式などの情報を格納する。画像管理用のテーブルでは用紙のサイズや向きなどの情報を格納する。両テーブルは各画像に付与される識別番号で結び付けられている。

## コンテンツオーサリングシステムの実装

本オーサリングシステムはサーバクライアント方式の Web アプリケーションシステムとして実装した。サーバサイドを PHP と MySQL で、クライアントサイドを HTML5 と JavaScript で実装した。

デジタル情報に関連付けする機能であるデジタル情報表示領域指定部に、HTML5 の Canvas API を利用した。マッピング画面の読み込み完了時や登録ボタンのクリック時のイベント処理、ファイルのアップロード処理などには jQuery とそのプラグインを使用している。デジタル情報表示領域指定部の画像上でのマウスドラッグによる矩形領域の指定と描画をラバーバンドで実装した。具体的には、画像上でのドラッグの開始時 (マウスボタンが押されたとき) の XY 座標を記憶し、ドラッグ時のマウスの位置を追跡し、その動きに合わせて四角形を描画する。マウスの動きに合わせて四角形を描画するために HTML5 の Canvas API の clearRect を実行しているが、それを実行するとポスターなどの画像や、すでに関連付けられている領域を示すための四角形まで消されてしまうため、画像などをすべて再描画してからマウスの動きに合わせて四角形を描画するようになっている。レビューページの画像表示部では、HTML5 の CanvasAPI で実現している。

Canvas 領域の上部に画像サイズと同じ大きさの透明画像を重ね合わせて表示し、その透明画像にデジタル情報が関連付けられている領域を、HTML のクリッカブルマップの area 要素で指定する。これにより、area 要素で指定された矩形領域にマウスポインタが合わさったとき、マウスオーバーのイベント処理が実行され、デジタル情報表示領域の赤枠とデジタル情報を表示する。レビューページ上にコンテンツ表示用ボックスを重ねて表示するために、jQuery の zoombox プラグインを利用している。デジタル情報をサーバに登録するときは、画面遷移を伴わないようになっており、同一ページ上で連続してデジタル情報の関連付けを実行することができる。デジタル情報の登録が成功した場合、すでに関連付けられた領域のリストに追加され、デジタル情報表示領域指定部に常に表示されるようになる。

## 4.5 プロトタイプの評価

### 4.5.1 デモンストレーション展示

本システムの提案手法を評価するために今回実装したハイパーパネルのプロトタイプを 2013 年 3 月 24 日に実施された K 大学のオープンキャンパスにてデモンストレーション展示を実施した。デモンストレーション展示の様子を図 7 に示す。

今回のハイパーパネルは、K 大学内のキャンパス内のパブリックスペースに設置し、紙媒体のコンテンツは、オープンキャンパスの目的に合わせ K 大学 M 学科の各研究室を紹介する内容とした。

実験では、調査員 1 名がハイパーパネルの使い方を簡単に説明し、パネル操作後に応じてくれた体験者にアンケートによる調査を実施した。また、操作の体験者の反応を確認するためにビデオカメラによる定点撮影を実施した。





図 4-7 デモンストレーション展示の様子

調査に利用したアンケートは、1. 本システムの利用方法の理解度、2. システムの操作性、3. デジタル情報の可視性、4. ポスター内容への興味の喚起、5. 本システムへの興味という5つのことに焦点を当て、5件法により表4-2のような項目で調査した。また、これらの項目に加え自由記述によるコメントを求めた。

#### 4.5.2 アンケート調査結果

デモンストレーション展示での体験者は18名であった。アンケート調査を行った結果と回答の割合をそれぞれ表4-3、図4-8に示す。アンケート結果から本システムの理解度に関するQ1では、評価値4.78と高い評価を得ることができた。撮影したビデオカメラによると、体験者は、調査員から本システムの使い方を十分に説明されなくても直感的に本システムがどのようなシステムであるかを理解し、積極的にタブレット端末を動かしているようだった。座標取得装置には、タブレット端末を動かすための取手があるため、どのような装置であるかを推測しやすいのだと考えられた。

Q2のシステム操作に関する設問では、評価3.33とあまり高い評価を得られなかった。この理由として、タブレット端末のスライド移動に関しては、比較的スムーズな移動が可能であったが、タブレット端末の位置によって支柱が若干傾いてしまうことがあり、この傾きによって、測定される距離にずれが生じることに原因があった。また、今回距離測定に利用した超音波センサでは、瞬間的に0.2～0.5mm程度の揺らぎが生じるため、ディスプレイに表示される背景画像が小刻みに振動することもあり、透明のアナロジーをスムーズには再現することができなかったことも操作感に影響していたと考えられた。

Q3のコンテンツ表示がわかりやすかったかに関しては、評価値4.17と比較的高い評価を得た。本システムでは、タブレット端末の背面にあるポスターを眺めながらこのコンテンツに関連する静止画や動画を同時に見ることができるため、一覧性に優れた情報閲覧ができることがわかった。これは、ポスターのコンテンツとタブレット端末のデジタル情報を同時に閲覧できる効果であると考えられた。

Q4のポスター内容に興味を持てたかどうかの設問に関しては、評価値4.11であった。体験者はタブレット端末を任意の場所にスライドさせ、情報閲覧をする形態を新鮮に感じているようだった。

表 4-2 アンケートの項目

| 設問 | 質問内容                   |                            |
|----|------------------------|----------------------------|
| 1  | システムの利用方法を理解できましたか     | 理解できた(5)<br>解らなかった(1)      |
| 2  | システムを思うように操作できましたか     | 操作できた(5)<br>操作できなかった(1)    |
| 3  | 写真や動画の表示は、わかりやすかったですか  | わかりやすかった(5)<br>わかりにくかった(1) |
| 4  | ポスターの内容に興味がもてましたか      | 興味を持てた(5)<br>興味を持てなかった(1)  |
| 5  | 街頭でこのようなシステムがあれば利用しますか | 利用する(5)<br>利用しない(1)        |

表 4-3 アンケートの結果

|      | 項目1  | 項目2  | 項目3  | 項目4  | 項目5  |
|------|------|------|------|------|------|
| 評価値  | 4.78 | 3.33 | 4.17 | 4.11 | 4.89 |
| 標準偏差 | 0.42 | 0.75 | 0.60 | 0.74 | 0.46 |



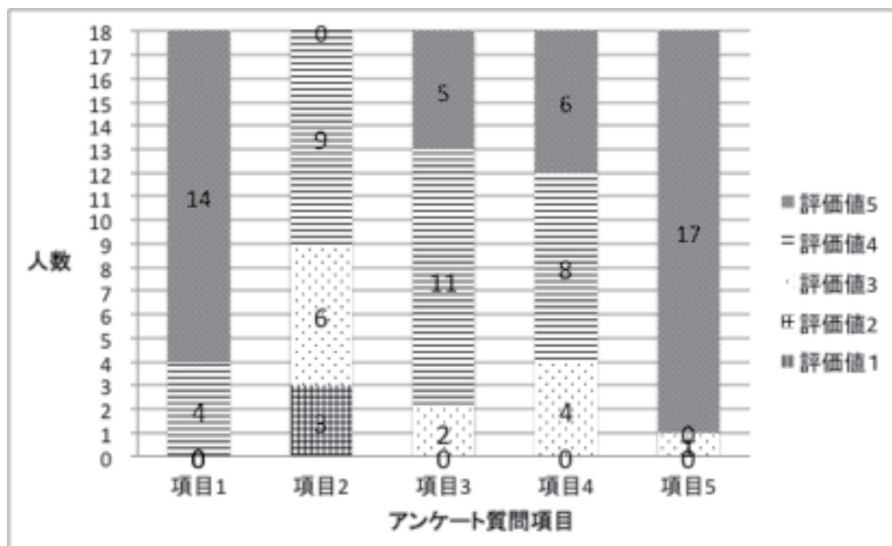


図 4-8 アンケート項目ごとの結果

加えて、自由記述にあったコメントとしてタブレット端末を動かしてデジタル情報を探ることが楽しいといったコメントがあった。このことから、本システムでは、タブレット端末を動かすことでAOポスターに記されたコンテンツを探る感覚を体験者に与え、タブレット端末を動かすことにエンタテインメント性を感じていたと考えられた。Q5の本システムへの興味に関する設問では、評価値4.89と最も高い評価値を得ることができた。このことから紙媒体とタブレット端末を組み合わせることでデジタル情報を閲覧する本システムがデジタルサイネージとして受け入れられる可能性が高いことが示唆された。

## 4.6 考察

今回の実験結果は、ハイパーパネルシステムが閲覧者だけでなく、情報提供者にとっても利点となる結果であったと考えられる。なぜなら、情報提供者は閲覧者にポスターに記された内容に関心を持たせたいということが前提にある。そのためには、ポスターに記されている内容を見るように閲覧者を誘導することが重要だと考える。

紙媒体のポスターを含むマーケティングの分野では、従来からAIDMAと呼ばれる理論モデルが提唱されている。AIDMAモデルは、消費者の商品を購入までのプロセスである「注意 (Attention)」「関心 (Interest)」「欲望 (Desire)」「記憶 (Memory)」「行動 (Action)」の頭文字を取ったものであり、消費者の購入までの心理を分析するために利用されている。これまでAttentionを支援することに注目したデジタルサイネージの研究 [30][31] が実施されており、マーケティング分野では、消費者の商品購入への入口となるAttentionが重要視されている。

本論文で提案するハイパーパネルシステムは、マーケティング分野での利用に限った使用を想定していないが、Q1の結果からも分かるとおり、ハイパーパネルは、その形態から自然とタブレット端末を操作したくなるという魅力がある。つまり、閲覧者にタブレット端末を操作したいと思わせることができるため、閲覧者はタブレット端末を操作することで、ポスター内容と必然的に関わることになる。

さらに、Q4の結果からタブレット端末を操作することにエンタテインメント性を感じていることがわかった。この楽しさを利用して情報提供者が伝えたい情報を上手く組み合わせることで、閲覧

者の記憶に残る情報提示をできる可能性があると考えられる。

例えば、紙媒体とタブレット端末とを組み合わせたユニークな広告展開として [32][33] などがあり、タブレット端末と紙媒体を組み合わせた広告展開はクリエイティブなマーケティングの分野でも注目されている。

本システムはマウスによる簡単な操作で紙媒体との連携が可能であるため、紙媒体に記されている内容と関連付けるデジタル情報を工夫することで、閲覧者の記憶に残るインタラクティブな情報提示ができる可能性がある。これらのことから、本システムは、閲覧者の利点だけでなく、情報提供者のからの利点も高いと考えられる。

## 4.7 本システムの展開例

プロトタイプシステムを利用した評価実験により本システムが新しいデジタルサイネージとして受け入れられる可能性が高いことが示唆された。そこで、本章では、本システムを利用することで展開できるデジタルサイネージの利用例を検討する。

### 4.7.1 ナビゲーションツールとしての利用

デジタルサイネージの利用方法として代表的な利用ケースが、観光案内や施設のナビゲーションである。本システムは、タブレット端末の紙媒体上の位置情報を取得するため、地図のような位置情報が重要なコンテンツと親和性が高いと考えられる。例えば観光案内図であれば、名所や名店の位置にタブレット端末をスライドさせることで、写真や動画などを利用してそれら情報を提示することができる。

しかしながら、観光案内のデジタル情報を閲覧させるだけでは、利用効果が十分に得られない可能性がある。そのため、観光案内マップの中で、閲覧者が興味のある内容を見つけた場合は、その場所のさらに詳細な情報を記した Web ページの URL などを閲覧者の端末へ送信するような工夫が必要である。この工夫としては、コンテンツ表示システムを利用してインタラクティブに QR コードを表示させる手法 [22] や、タブレット端末と一緒に NFC タグを配置するなど本システムに紙媒体を利用した従来の情報提供技術を組み合わせる方法が有効だと考えられる。

### 4.7.2 街頭看板としての利用

本システムを街中での利用例として、オープンカフェなどで利用されている街頭看板が考えられる。本システムは、タッチパネルを備えた大型ディスプレイのデジタルサイネージよりもコストが安く、軽量化できる可能性が高く、設置や移動が容易になるため、街頭看板の利用にも適していると推測する。

オープンカフェなどの街頭看板では、その日のお勧めメニューなど即時性の高い情報が表示されている。デジタルサイネージであれば、ネットワークを利用して即時性の高い情報を動的に提示することができる。本システムを利用した場合は、メニュー看板上をスライドさせることで興味のあるメニューの料理の画像や料理の解説を提示することができるだけでなく、NFC を組み合わせることで電子マネーを利用して、メニュー選択後に会計できるサービスも展開できる。

### 4.7.3 展示解説ツールとしての利用

タブレット端末をスライドさせる操作に適した使用例として、展示解説ツールが考えられる。博物館や美術館では、展示品や作品を年表と一緒に時系列に解説することも少なくない。この年表を利用した解説に本システムを入り用することで年表の位置によって詳しい情報を掲示することができる。また、風景画や宗教画などレイアウト位置に意味のある絵画作品の解説に本システムを利用することによって、絵画作品の位置関係を考慮した作品解説が展開できる。

## 4.8 まとめ

本論文では、紙媒体とタブレット端末とを組み合わせた新たなデジタルサイネージシステムとして、ハイパーパネルシステムという新たな手法を提案した。本システムは、ポスター上のタブレット端末の位置を計測し、その位置情報に基づいてレイアウトごとに動画や静止画などのデジタル情報を表示することができる。本提案手法は、従来のQRコードやNFCによる手法とは異なり、紙媒体側に細工を必要としない特徴がある。本提案手法を評価するために、ハイパーパネルシステムが実現できるハイパーパネルのプロトタイプとコンテンツオーサリングシステムを実装した。

プロトタイプを用いた評価実験から、ハイパーパネルが閲覧者の情報閲覧を支援するだけでなく、情報提供者の情報発信者における利点もあることがわかった。評価実験での結果を踏まえ、今後はポスター内容との連携を深めたハイパーパネルのコンテンツを制作する予定である。さらに、ネットワークを利用したコンテンツ配信や閲覧者が所有するモバイル端末へのコンテンツ配信など、コンピュータの利点である通信機能を備えるシステムとして充実させていきたい。

## 第5章

# 複数人が異なるパートを 閲覧可能な情報提示システム

### 5.1 はじめに

イベント会場や商業施設、駅などの人が多く集まる場所では、イベント日のスケジュールや、イベントのプログラム紹介、店舗紹介、施設案内、観光名所など、いくつもの項目が一覧に表示されるポスター（以下案内一覧ポスターと呼ぶ）で情報提供することが一般的である。このようなポスターでは、記載できる範囲に限られることや、ポスターに記載された情報を更新することができないため、柔軟な情報提供ができなかった。近年では、このような紙媒体の弱点を補うために、タッチパネルを備えた大型ディスプレイによるデジタルサイネージが登場している。これらのシステムは、タッチパネルを操作することでインタラクティブに情報提示をすることができるが、デジタル機器操作になれていない閲覧者に対する直感的な理解や操作性の面での配慮が少なく、誰もが利用しやすいシステムとはいえなかった。このような課題を解決するため、著者らは、これまでの情報技術と紙媒体との関係を見直し、紙媒体の手軽さや一覧性、親しみやすさといった利点を活かしつつ、情報技術で機能を強化するシステムとしてハイパーパネル Type1(以下 HP-Type1)[29],[34]を開発した（[34]では「ハイパーパネル」と称していたが、本論文で提案するシステムとの区別を明確にするためにハイパーパネル Type1 と称す）。

HP-Type 1は、座標取得装置に掲示されたポスターの上に携帯端末を配置し、その携帯端末のポスター上の座標値をWebのハイパーリンクのアンカーのように利用していた。これにより、ポスターのレイアウトごとのデジタル情報をインタラクティブに表示することが可能であった。この手法は、従来のQRマーカ―やNFCタグを利用した手法とは異なり、マーカ―の印刷や物理的なタグの埋め込みなど、紙媒体側に細工を必要とせず、直感的な操作によってポスター上のデジタル情報を閲覧者に提供することが可能であった。しかしながら、HP-type1は、デジタル情報を閲覧する携帯端末と座標取得装置とがハードとして一体であったため、複数の閲覧者が同時に利用することができなかった。著者らが開発したHP-Type1を含め、従来のデジタルサイネージでは、主に一名の閲覧者がシステムと対面し、情報取得することを想定している。この手法では多くの閲覧者が利用したい場合でも、一人の閲覧要求しか満たすことができない。そこで、本論文では、複数の閲覧者が案内一覧ポスターに記された内容に関するデジタル情報を直感的に情報取得できるシステムとして、ハイパーパネル Type2(以下 HP-Type2)を提案する。

### 5.2 ハイパーパネル Type2 の概要

本論文で提案するHP-type2は、これまで開発してきたHP-Type1を発展させたシステムである。HP-Type1の情報発信者にとっての利点は、紙媒体のポスターを手軽にインタラクティブな情報提示を行えるデジタルサイネージにできることであり、閲覧者にとっての利点は、直感的な操作によ

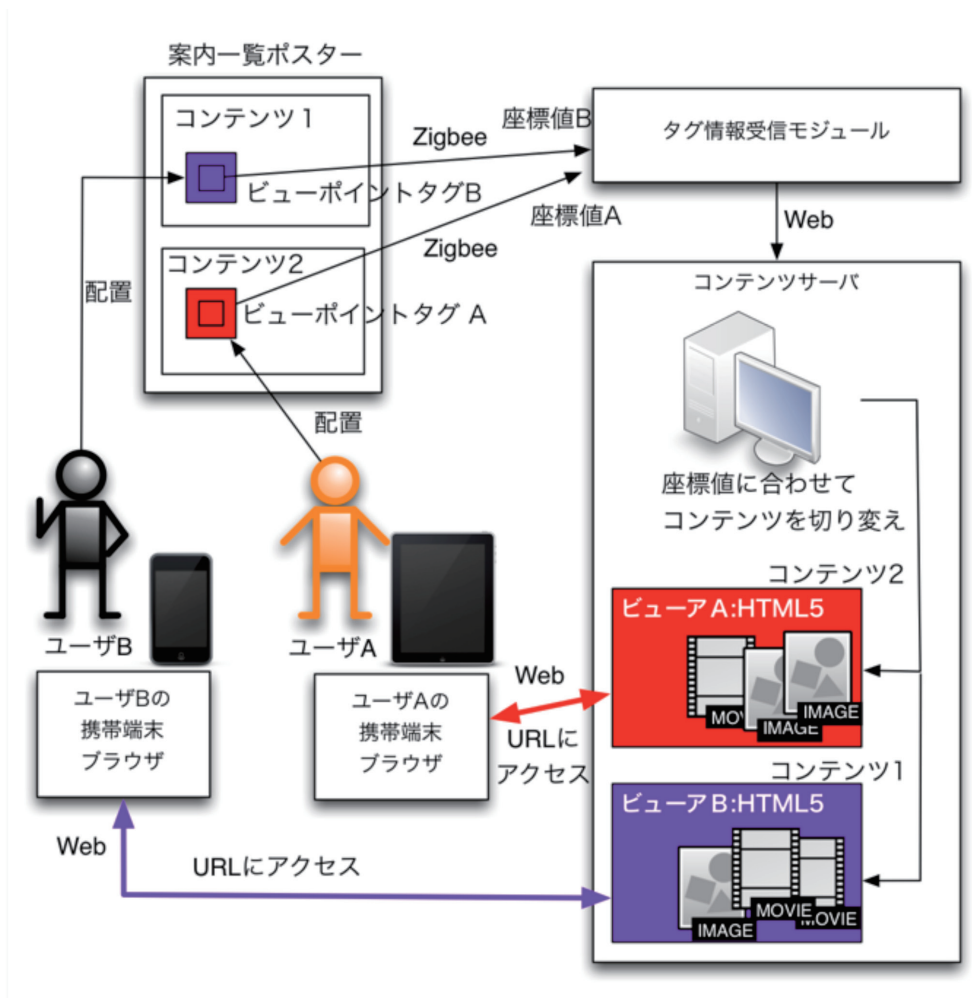


図 5-1 システムの概要図

る情報取得ができることであった。HP-type2 においてもこの基本コンセプトは変えず、座標値によるアンカー取得手法を利用することで、紙媒体を併用することの利点を保ちながら複数の閲覧者による同時閲覧（以下マルチ閲覧と呼ぶ）を実現することを目指した。

座標値の取得に関しては、直感的な操作を可能とするため、閲覧したいと考えたポスター上の場所に物理的なオブジェクトを配置し、配置した場所の座標値を取得できる「ビューポイントタグ」を考案した。また、デジタル情報の閲覧に関しては、閲覧者が持つ携帯端末を利用することを想定した。図 5-1 にビューポイントタグを利用した HP-Type2 の概要図を示す。

### 5.2.1 インタラクション

本システムでは、A0 サイズの案内一覧ポスターに関連づけられた静止画や動画などのデジタル情報をネットワークに接続された閲覧者の持つ携帯端末で閲覧することを想定している。本システムを利用する閲覧者の想定インタラクションは以下の通りである。

1. 閲覧者が案内一覧ポスターを掲示した HP-Type2 の前に立つ。
2. スマートフォンを始めとした携帯端末のブラウザでビューポイントタグに関連づけられたビューアの URL にアクセスする。



3. 案内一覧ポスターで詳細情報を閲覧したい項目が記された場所にビューポイントタグを配置する。

4. ビューアで配置した案内一覧ポスターの位置に関連づけられた静止画や動画などのデジタル情報を閲覧する。

以下 3, 4 を繰り返す。

## 5.3 システムの要件

2.1 に記載したインタラクションを実現するためのシステム要件として、座標取得の方法と、想定利用人数、ビューポイントタグのデザイン、分解能、マルチ閲覧について考察した。以下に考察した要件を記す。

### 5.3.1 ビューポイントタグの座標値の取得

直感的な操作でビューポイントタグを案内一覧ポスターに配置し、座標値を取得するためには、測定のためのキャリブレーションや初期化などの手続きを省き、手軽に素早く距離測定ができる必要がある。また、提案システムは、複数のタグを利用することを想定しているため、複数と同時に設置しても挙動に不具合が生じないことも考慮しなければならない。これらの要件から著者等は、指向性を持った距離測定ができる超音波センサを採用した。超音波センサは複数利用することで、超音波が干渉する可能性があるが、測定のタイミングをタグ配置時に限定することにより干渉による影響を避けられる。

### 5.3.2 想定利用人数

A0 の案内一覧ポスターに対して閲覧者が複数人いる場合には、ビューポイントタグを同時に直接配置できる閲覧者は、2 名から 3 名が適当であると考えられる。これ以上の閲覧者が人の手が届く範囲で A0 サイズの案内一覧ポスターにビューポイントタグを配置することは空間的に困難であり、3 名を超える閲覧者が案内一覧ポスターの前でビューポイントタグを操作することは、紙面の一覧性や可読性の面から考慮しても現実的ではない。しかしながら、ポスターからやや離れた位置でそれぞれのビューポイントタグにアクセスし、デジタル情報を取得する閲覧者数はこの限りではなく、一つのビューポイントタグに同時にデジタル情報を見ることができる閲覧者数は、十名程度を想定する。

### 5.3.3 ビューポイントタグのデザイン

案内一覧ポスターの上にビューポイントタグを配置することによって、紙面のデザインや可読性がある程度損なわれてしまうが、本デバイスで設置する行為は、閲覧者が見たいと思う場所を明示的に示すという意味も伴っている。このため、サイズが小さすぎる場合は、同じタグを利用する他の閲覧者がタグを見失ってしまう可能性がある。さらに、同じ形のビューポイントタグを複数配置した場合には、それぞれのビューポイントタグを見分けることが難しくなる。これらの理由から、ビューポイントタグの大きさやデザインは、案内一覧ポスターの可読性をできるだけ損なわないデザインでありながら、目印としての機能も果たすようなものでなければならない。また、本システ

ムは、携帯端末の機器操作が不慣れな閲覧者に対しても直感的な操作による利用を想定しているため、煩わしい機器操作を必要としない仕様であることが望ましい。

#### 5.3.4 ビューポイントタグの必要分解能

A0 サイズの案内一覧ポスターでは、A4 サイズのチラシなどとは違い、ある程度の距離から見ることを想定している。このため様々な写真やイラストを大きく表示することや、エリアごとにまとめて表示することが多い。また、視認性が高まるように、大きな文字を利用することが一般的である。小さな文字サイズで記述される場合は、文章を閲覧者に読ませるために、詳細な説明や解説などが記されている可能性が高く、この場合では、パラグラフ単位での対応が好ましいと考えられた。そこで著者らは、ビューポイントタグの必要な最低分解能を 96 ポイント (33.6mm) と定めた。この数値は、A4 サイズの標準文字サイズである 12 ポイントを A0 サイズに拡大した 48 ポイントの値に行間を含めた数値である。

#### 5.3.5 マルチ閲覧

HP-Type2 では、閲覧者が持つ携帯端末をデジタル情報閲覧のためのデバイスとして想定しているため、様々な携帯端末の OS に対応できなければならない。また、スマートフォンの操作に慣れていない閲覧者に対しても動画や静止画などのデジタル情報の閲覧が簡単にできるようにシンプルな GUI を備えている必要がある。このため、システム利用にあたっては、ソフトのインストールを必要とせず、携帯端末を日々利用している手続きの延長として利用できることが望ましい。これらの理由からデジタル情報を閲覧するビューアは、HTML5 で実装し、各ブラウザでタグごとに準備された URL にアクセスすることで複数人での閲覧を実現する。

### 5.4 関連事例

#### 5.4.1 従来の紙媒体を利用した手法との違い

紙媒体をベースとして複数の閲覧者が、案内一覧ポスターからデジタル情報を閲覧できる手法として、QR コードを利用した手法や NFC タグを利用した手法があるが、近年では、Augmented Reality 技術を利用した手法登場している。本論文では、それらの従来技術を、1.RFID タグや NFC タグを紙媒体に付与する手法、2. 可視・不可視のインクを使ってマーカを印刷し、そのマーカをアンカーとしてデジタル情報にアクセスする手法、3. マーカ以外のオブジェクトをマーカとみなして実現する手法とに分類し、本手法との比較をおこなう。

1 の手法では、RFID や NFC タグに対応した携帯端末を持っていない閲覧者はサービスを受けることができない。また、IC タグのリンク情報と案内一覧ポスターレイアウトの位置とを管理する必要があるだけでなく、案内一覧ポスター 1 枚ごとに物理的に IC タグを付与する作業が必要となる。これに対し、本システムでは、座標値をアンカーとする HP-Type1 と同じ手法を利用しているため、紙媒体側に物理的なタグの埋め込みなどの細工を必要としない。

2 の手法としては、QR コードの他に、カラーマーカ [10] やフラクタルバーコード [11] などがある。この手法では、案内一覧ポスターに記されている項目ごとにデジタル情報との関連づけを行う

必要があるため、内容とは関係のないマーカーを紙面に複数印刷することが避けられない。これは、案内一覧ポスターの可読性やデザインを損なう恐れがある。この課題に対応するために特殊なインクを利用して不可視のマーカーを利用する方法 [12],[13] が登場している。しかしながら、これらの手法では、カメラ側に赤外線 LED やブラックライト LED といった装備が必要であることや特殊なインクを使って印刷しなければならない。これに対し、本手法では、マーカーによる認識を必要としないため、紙面をデザインする際に、マーカーの位置や場所をあらかじめ想定する必要がない。また、過去に作成したポスターに対してもデジタル情報を付加することができる。

ビューポイントタグを配置した時に、紙面の可読性やデザインをある程度損なうことになるが、配置前は、通常の紙媒体と変わりのない紙面を閲覧することが可能であるし、座標値を取得した後に、タグを撤去することもできる。

3の手法として、近年では、マーカーの代わりに特定のオブジェクトの画像やオブジェクトの背景画像をマーカーの代わりとしてデジタル情報を展開するシステム [14] が開発されている。これらの手法は、それぞれの閲覧者の利用環境に合致したアプリケーションをインストールする必要がある。これに対し、本手法では、OSに備え付けのブラウザからビューアにアクセスするだけで利用することができるため初見でシステムを利用するための条件がこれらの手法よりも緩和されている。

#### 5.4.2 タッチパネルを利用したサイネージとの違い

著者らが開発した HP-type1 も含め、従来のインタラクティブなデジタルサイネージの多くは、複数の閲覧者に情報提供することを想定していない。このため複数の項目に渡って情報を取得したい場合でも一項目ずつ情報を取得する単一的なアプローチでの情報取得となる。この単一的なアプローチでは、一人の閲覧要求しか満たせないということだけでなく、複数の満足できる情報を探しだすために多くの時間を費やしてしまう可能性がある。

この課題を解決するためデジタルサイネージとスマートフォンを連携させることで複数の閲覧者が同時に異なる情報が得られるデジタルサイネージの研究が行われている。[35]では、デジタルサイネージに表示されるコンテンツをサイネージの前でジェスチャーを行うことでサイネージに表示される情報をスマートフォンにコピーすることができる。[36]では、複数の閲覧者が、手持ちのスマートフォンをサイネージに表示されるポインタ操作のリモコンとして利用し、利用者の選択によってディスプレイに表示される面積が動的に変化する。上記のシステムは、複数の閲覧者に対して情報提供を可能とする点で本システムと類似している。しかしながら、本システムは、これらのシステムとは異なり、大型ディスプレイを利用していないため設置・運用に関して柔軟に対応できる利点がある。小型デバイスであるビューポイントタグは、数時間単位でバッテリーによる駆動が可能である。このため本システムを使用する場合は、必ずしも電源付近で設置・運用をする必要がない(Wi-Fi ルーターやサーバは電源が必要だが、無線通信を可能としているためポスターの近くに置く必要はない)。さらに紙媒体のポスターとそれを掲示するパネルを利用しているため、運搬が容易であり、気軽に設置位置を変更することができる。イベント会場や商業施設では、曜日や時間帯によって参加者数の増減があるなど、時系列に空間の状況が動的に変化することも少なくない。このような場合では、あらかじめ備え付けられたサイネージシステムでは、多数の閲覧者に対応です

ることができない場合も考えられるが、本システムは、必要に応じて手軽に運用数を増減させることができる。

## 5.5 プロトタイプの実装

提案した HP-type2 のコンセプトを評価するためにプロトタイプを実装した。表 5-1 にプロトタイプの構成表を示す。また、本システムを動作させるための案内一覧ポスターも合わせて制作した。以下実装したプロトタイプシステムと制作したポスターコンテンツについて説明する。

### 5.5.1 プロトタイプの制約

今回実装したプロトタイプは、実利用を目的としたものではなく、本システムのコンセプトを評価するための最低限の性能を備えたものである。そのため、スムーズに複数のビューポイントタグを配置する場合のインタラクションが評価できるように同時に利用できるタグの数を2つまでとした。また、本来であれば、インターネット経由でデジタル情報を配信することが望ましいが、システムを設置する環境によっては、インターネット環境が無い場合や、あったとしても安定したインターネットの回線速度が保証されないこと、ブラウザ側にプロキシサーバの設定をする必要があることなど、プロトタイプを利用するにあたって、システムとは直接関係のない要因によって不安定な挙動なることが予想された。そこで、プロトタイプでは、独自の Wi-Fi ネットワークを構築し、そのネットワーク上にコンテンツサーバを設置した。

### 5.5.2 案内一覧ポスターとデジタル情報との関連づけ

コンテンツとして利用する案内一覧ポスターや、レイアウトごとの静止画・動画などデジタル情報の登録や編集作業は HP-Type1 と同様のコンテンツオーサリングシステムを利用する。コンテンツオーサリングシステムでは、ポスター画像をシステムに登録し、GUI 上にポスターの画像が表示させる。次に表示された画像をマウスによって矩形として選択し、ポスター上の矩形の左上と右下を開始点と終了点をとした数値を取得する。これに合わせて、画像データや動画データをデジタル

表1 プロトタイプの構成

| 構成デバイス  | 製品名   | 仕様  |
|---------|---|---|
| タブレット端末 | Acer Iconia W700  | CPU:Corei3 1.8GHz<br>メモリ:4G<br>OS:WINDOWS8<br>11.6inch ディスプレイ<br>画像解像度 190ppi<br>最大表示解像度 1920×1080  |
| I/Oデバイス | Arduino-Uno<br>Arduino ワイヤレスSD<br>シールド<br>XBeeエクスプローラ<br>USB<br>XBee 802.15.4 モ<br>ジュール×2 | Microcontroller:ATmega328<br>Flash Memory 32KB(ATmega328)<br>SRAM 2KB(ATmega328)<br>EEPROM 1KB(ATmega328)<br>Clock Speed 16MHz<br>zigbee(IEEE 802.15.4) |
| 超音波センサ  | parallax PING)))  | 測定範囲2cm-3m<br>通信形式:Positive TTLpulse  |



情報閲覧領域として、コンテンツデータベースに登録する。ビューポイントタグの座標値がそれぞれのデジタル情報閲覧領域内にある場合に関連するデジタル情報をビューアにて閲覧することができる。

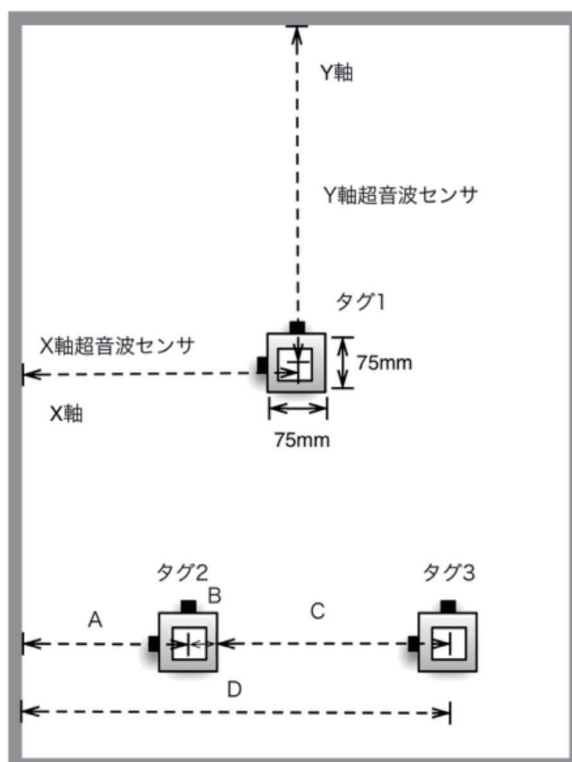
なお、本システムの制約として、包含関係にあるコンテンツや矩形以外のレイアウトに対してデジタル情報に関連づけることはできない。

### 5.5.3 ビューポイントタグの実装

ビューポイントタグを図 5-2 に示す。今回実装したビューポイントタグは、中心が開いた形状を



ビューポイントタグの外装と内部



A0サイズポスター

図 5-2 実装したビューポイントタグとタグの配置例

採用している。中心が開いていることで、タグを配置した箇所のポスター内容をすべて隠すのではなく、配置した箇所がある程度見られるようにすることで、配置のしやすさとポスターの見やすさの両立を試みている。

#### 5.5.4 座標値の取得

ビューポイントタグによる座標値の取得には、Sparkfun社の超音波センサであるUltrasonic Range Finder - Maxbotix HRLV-EZ4を2個利用している。超音波センサによる距離の測定を可能とするために案内一覧ポスターを設置するフレームの周囲には、3cm程度の幅を持たせた反射板を設置した。これにより、設置したビューポイントタグの超音波センサがそれぞれのフレームまでの距離を測定する。図2に示すようにタグの中心からフレームの左部までの距離をX軸、タグの中心からフレーム上部までの距離をY軸として扱う。垂直に貼られたポスターにビューポイントタグを適宜固定するために、フレームにスチール製の板を敷き、ビューポイントタグの背面にネオジウム磁石を取り付けた。こうすることで、ホワイトボードに貼り付ける磁石と同じ要領で掲示されたポスターの任意の場所にビューポイントタグを配置することができる。

さらに、タグの配置と撤去したタイミングを自動で取得するために、ビューポイントタグの背面に光センサを設置した。これにより、背面の明るさの変化をトリガーとして座標値取得だけでなく、タグの配置と撤去の状態をタグ情報受信モジュール(5.5.6参照)に送信することができる。

#### 5.5.5 複数台配置したときの座標値の測定

複数箇所のコンテンツを閲覧するために、ビューポイントタグには、それぞれタグIDが設定されている。ビューポイントタグは、ポスター設置時と撤去時にタグIDと座標値、そして、配置時と撤去時の状態を送信する。この情報を受け取ったタグ情報受信モジュールは、それぞれのタグがポスターの座標上のどの位置に配置されているのかを表5-2にあるタグ履歴データベースによって管理する。履歴データベースは、レコードのシリアルNo, タグID, コンテンツID, X軸, Y軸, 行動時

表 5-2 タグ履歴データベースに格納されるデータ例

| serial | tag_id | con_id | x_coordinate | y_coordinate | time            | on_posetr |
|--------|--------|--------|--------------|--------------|-----------------|-----------|
| 533    | 3      | 3      | 481          | 582          | 2014/3/18 18:15 | 1         |
| 532    | 1      | 2      | 273          | 373          | 2014/3/18 17:59 | 0         |
| 531    | 1      | 2      | 273          | 373          | 2014/3/18 17:55 | 1         |
| 530    | 3      | 1      | 606          | 1080         | 2014/3/18 17:54 | 0         |
| 529    | 2      | 3      | 481          | 582          | 2014/3/18 17:54 | 0         |
| 528    | 1      | 3      | 481          | 582          | 2014/3/18 17:53 | 1         |
| 527    | 3      | 2      | 274          | 375          | 2014/3/18 17:51 | 1         |
| 526    | 2      | 1      | 605          | 1081         | 2014/3/18 17:50 | 1         |
| 525    | 3      | 2      | 276          | 373          | 2014/3/18 17:50 | 0         |
| 524    | 1      | 1      | 604          | 1080         | 2014/3/18 17:46 | 0         |
| 523    | 2      | 1      | 604          | 1080         | 2014/3/18 17:46 | 0         |
| 522    | 2      | 1      | 601          | 1078         | 2014/3/18 17:40 | 1         |
| 521    | 1      | 3      | 481          | 580          | 2014/3/18 17:35 | 1         |

間、設置状態 (1 の場合は設置, 0 の場合は撤去) の各値が格納される. 表 2 の 1 列目は, タグ id3 がデジタル情報閲覧領域 No3 の上にあり, 配置箇所が X 軸 481mm で Y 軸が 582mm, 行動時間が 2014 年 3 月 18 日 18 時 15 分に設置したことを意味している. これらの情報を基に, 例えば, 図 5-2 のタグ 2, タグ 3 のように 2 つのビューポイントタグが X 軸上に重なって配置された場合に, タグ情報受信モジュールは, 後から配置されたタグ 3 の位置を把握するために, 履歴データベースにアクセスし, 設置状態を基にタグ 2 のモジュールが設置されているかどうかを判定する. タグ 2 が設置されていた場合は, タグ 3 が測定した距離 C の値にビューポイントタグの大きさの半分の値である B とタグ 2 の配置位置である距離 A とを足した距離 D の値を算出し, その値に基づいて, 案内一覧ポスターに関連づけられているデジタル情報の ID をタグ履歴データベースに格納する. この手法では, 3 台以上のタグに対応することが困難であるが, 2 台までのビューポイントタグの位置を比較的容易に求めることができる.

### 5.5.6 タグ情報受信モジュール

タグ情報受信モジュールは, 複数のビューポイントタグの座標値を取得し, その値を Web 経由で履歴データベースに格納する役割がある. 本来であれば, スタンドアローンによる実装が相応しいが, プロトタイプでは, Web 通信による想定外のトラブルを避けるため, コンテンツサーバに実装した.

ビューポイントタグとタグ情報受信モジュールとの通信に無線通信規格である Zigbee を利用している. Zigbee は, 複数の端末と同時に接続可能な上, データ欠損の恐れが少なく, 省電力で可動する特徴がある. このため, センサーネットワークに適した無線規格としてデジタル家電などに利用されおり, 複数のビューポイントタグを利用する本システムに相応しいと考えられた. 本システムでは, Zigbee による送信が可能な Arduino Fio 及び Xbee を利用し, 受信側には, Xbee explore を利用した.

### 5.5.7 実装したプロトタイプの性能評価

実装したビューポイントタグを利用して座標値取得における分解能と座標値取得におけるタグの許容角度, そしてタグ 2 個による座標値の取得の 3 つの性能について評価を実施した.

#### 測定範囲の分解能

実装したビューポイントタグの分解能は, X 軸, Y 軸ともに 2.54cm であった. この値は, 著者らが定義した A0 案内一覧ポスターにおける必要な分解能の値より性能として上回っているため, 本システムのインタラクションを評価するにあたっては, 十分な分解能であると考えられた.

#### 配置の許容角度

プロトタイプにより実装したビューポイントタグは, 超音波センサ X 軸と Y 軸を固定して設置しているため, ビューポイントタグを案内一覧ポスターに配置する場合は, 直角に配置することが望ましい. しかしながら, 人の自然なふるまいでタグを直角に置くことは難しく, 必ずいくらかの傾きが生じることとなる. そのため, ビューポイントタグの傾きにより座標値がどの程度影響され

るか調査する必要があった。また、人が自然なふるまいでタグを配置した場合に、どの程度の傾きが発生するかについても合わせて調査する必要があった。そこで、タグを設置することで生じる傾きを調査するために、被験者として大学生及び大学院生 8 名 (男子 6 名, 女性 2 名) による調査実験を行った。8 名の被験者には、ビューポイントタグをイーゼルに設置した A0 サイズのホワイトボードの上段部 (140cm ~ 100cm), 中段部 (100cm ~ 60cm), 下段部 (60cm 以下) の異なる場所にそれぞれ配置してもらい、その配置角度を記録した。記録した結果を表 5-3 に示す。表 5-3 に示すように、被験者の誤差角度の平均が 2.92 度で、最大誤差角度が 7 度であった。

実装したビューポイントタグの傾きの許容度を調べるため、中心に 98 ポイント (38.3mm) の正方形を配置した A0 サイズの用紙を準備し、その正方形の上に、ビューポイントタグを配置して座標値を測定した。次に配置したタグを 1 度ずつ傾け、コンテンツの範囲から座標値が外れる限界角度を調査した。この結果ビューポイントタグは、96 ポイントのコンテンツ範囲の場合、左右 10 度までの傾きであれば、許容できることを確認した。このことから、人の自然なふるまいでビューポイントタグを設置することで、A0 ポスターの任意の場所の座標値取得することが可能であることを確認した。

## タグ 2 個による座標値の取得

実装したプロトタイプと提案した手法により、同時に 2 つのタグを配置した実験を実施した。同時に 2 つのタグを配置した場合に、15cm 以下の測定距離を正確に測れないことが分かった。このため、プロトタイプでは、すでに設置されているタグに重なる位置となる右側や下側に 2 つ目のタグを設置する場合は、15cm 以上タグから離して設置する必要があった。このことから、2 個以上のタグを使う場合は、観光地案内マップのように近接したコンテンツが記載される場合があるポスターで使用することは難しいと考えられた。しかしながら、イベント案内など複数のコンテンツが均等にレイアウトされるグリッドシステム [37] によって制作された A0 案内一覧ポスターでは、写真や画像、文章ブロックといったコンテンツの中心から他コンテンツの中心まで 15cm 以上離れることは珍しくないため、条件が満たされたレイアウトの案内一覧ポスターにおいては本システムのインタラクションを評価する上で問題ないと判断した。

|         | 上段   | 中段   | 下段   | 平均   |
|---------|------|------|------|------|
| 被験者1(男) | 3    | 5    | 3    | 3.67 |
| 被験者2(女) | 1    | 7    | 3    | 3.67 |
| 被験者3(男) | 3    | 2    | 5    | 3.33 |
| 被験者4(男) | 3    | 2    | 1    | 2.00 |
| 被験者5(男) | 3    | 4    | 2    | 3.00 |
| 被験者6(女) | 3    | 3    | 5    | 3.67 |
| 被験者7(男) | 2    | 1    | 3    | 2.00 |
| 被験者8(男) | 0    | 2    | 4    | 2.00 |
| 平均      | 2.25 | 3.25 | 3.25 | 2.92 |

表 5-3 配置角度の結果





図 5-3 ビューアの GUI

### 5.5.8 ビューアの実装

プロトタイプでは、独自の Wi-Fi ネットワークに携帯端末を接続し、Web ブラウザにビューポイントタグごとに設定された URL を入力することで各ビューポイントタグのビューアにアクセスすることができる。

ビューアは、デジタル情報の取得手法として jQuery を利用しているため、動的に動画や静止画などのコンテンツを切り替えることができる。なお、ビューアでの動画ファイルの再生には、様々なブラウザに対応している jPlayer[38] を利用した。図 5-3 に実装したビューアの GUI 画面を示す。

ビューアの画面左上には、座標取得ボタンが配置されており、このボタンを押すことによって、最新の位置情報に更新することができる。次に、コンテンツ取得ボタンを押すことにより、デジタル情報を取得し、それぞれの画面をタップすることによって、静止画と動画のデジタル情報を閲覧することができる。

表 5-4 ポスターに関連づけられるデジタル情報

| id | コンテンツタイトル             | 写真の数 | 動画の数 | 動画内容    |
|----|-----------------------|------|------|---------|
| 0  | NO DIGITAL DATA       | 0    | 0    | なし      |
| 1  | 海外情報メディア研修            | 11   | 2    | スナップ    |
| 2  | 国際情報メディア実習_1          | 9    | 1    | スナップ    |
| 3  | Siggraph Asia 2010_1  | 6    | 1    | スナップ    |
| 4  | 海外情報メディア研修_2          | 4    | 1    | スナップ    |
| 5  | 国際情報メディア実習_2          | 9    | 1    | スナップ    |
| 6  | Laval Vrtual 出展       | 4    | 1    | スナップ    |
| 7  | Siggraph Asia 2010_2  | 6    | 1    | スナップ    |
| 8  | siggraph2013          | 6    | 1    | スナップ    |
| 9  | FossilTears           | 10   | 1    | アニメーション |
| 10 | little_friend         | 6    | 1    | アニメーション |
| 11 | ZZZoo Pillows1        | 4    | 1    | 作品紹介    |
| 12 | 瞬間少年〇〇                | 2    | 2    | 作品紹介    |
| 13 | ソーラーカープロジェクト          | 6    | 1    | スナップ    |
| 14 | I shadow              | 4    | 1    | 作品紹介    |
| 15 | ケータイプロジェクト            | 4    | 1    | スナップ    |
| 16 | たたかえ僕らのシャドウロボ         | 7    | 1    | 作品紹介    |
| 17 | FOOD PRACTICE SHOOTER | 3    | 1    | 作品紹介    |



図 5-4 制作したオリジナルポスター

## 5.5.9 システムに対応した案内一覧ポスターの制作

本システムに対応したコンテンツとして K 大学 M 学科の案内一覧ポスターを制作した。M 学科では、6 つのコースに加え、ゲームクリエイター特訓やプロダクション CG クリエイター特訓、キャラクタークリエイター特訓などのプロジェクト形式の授業があるだけでなく、特色ある様々な学科のイベントがあり、これらを合わせて受験生に紹介する必要がある。そのため、M 学科の概要だけでなく、近年の学内プロジェクトの成果や教員の研究内容などを M 学科の特徴を網羅的に提示する必要があった。制作した案内一覧ポスターを図 4 に示す。制作した案内一覧ポスターは、ブロック単位にコンテンツを配置し、見出しや写真などで、閲覧者の注目を惹きつけるようにデザインした。また、このデザインはプロトタイプのパフォーマンスを考慮し、デジタル情報が閲覧できるコンテンツの中心位置を 15cm 以上の間隔で離している。

ポスターに記された各コンテンツの内容は、概略やイメージ図が表示されているだけであり、このポスターだけでは、それぞれ項目について十分に理解することは難しい。

本システムを利用することで、このような様々な項目が盛り込まれているポスターの情報補完ができると考えられた。今回のポスターでは、23 個の異なる内容が記されており、コンテンツとして、学生のアニメーション作品や教員のインタラクティブ作品などが含まれている。

デジタル情報が閲覧できる領域は、図 5-4 に示す赤枠の範囲に記載された写真イメージ部の 17 のコンテンツに対し、表 5-4 に示したデジタル情報を左上から順番に関連づけた。

これ以外の場所にビューポイントタグを配置した場合はビューアには、「NO DIGITAL DATA」と表示される。

## 5.6 評価実験

### 5.6.1 実験概要

実装したプロトタイプシステムと、案内一覧ポスターを利用して本システムの評価実験を実施した。体験者は、K 大学のオープンキャンパスに参加した 10 代後半から 40 代までの男女の 37 名である。体験者の内訳を表 5 に示す。実験では調査員一名が本システムの使い方を簡単に説明した後、体験者がビューポイントタグを紙面の任意の場所に配置してデジタル情報の閲覧を行ってもらった。2 台のビューポイントタグを使用した。デジタル情報の閲覧には、基本的に参加者が所有



図 5-5 評価実験の様子

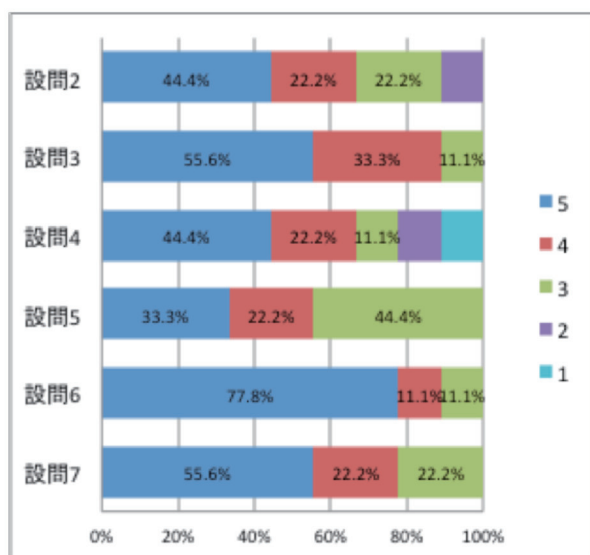


表 5-5 被験者の内訳

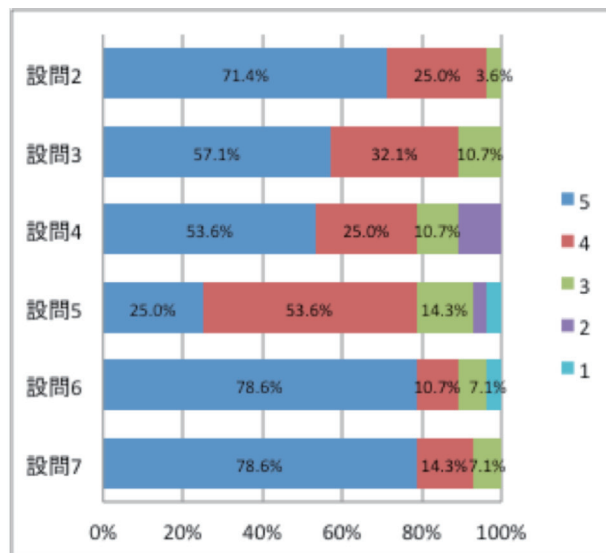
| 年代  | 性別 | 未熟練者 | 熟練者 | 計  |
|-----|----|------|-----|----|
| 10代 | 男  | 6    | 19  | 25 |
|     | 女  | 1    | 4   | 5  |
| 20代 | 男  | 0    | 2   | 2  |
|     | 女  | 0    | 0   | 0  |
| 30代 | 男  | 0    | 0   | 0  |
|     | 女  | 0    | 1   | 1  |
| 40代 | 男  | 0    | 2   | 2  |
|     | 女  | 2    | 0   | 2  |
| 計   |    | 9    | 28  | 37 |

表 5-6 アンケートの項目

| 設問  | 質問内容                        | 回答                      |
|-----|-----------------------------|-------------------------|
| 設問1 | スマートフォンの操作に慣れていますか          | (1)慣れている<br>(2)慣れていない   |
| 設問2 | ハイパーパネルの使い方は理解できましたか        | (5)理解できた<br>(1)理解できなかった |
| 設問3 | ハイパーパネルを操作したいと思いましたか        | (5)思った<br>(1)思わなかった     |
| 設問4 | ハイパーパネルシステムを思うように操作できましたか   | (5)操作できた<br>(1)操作できなかった |
| 設問5 | ポスターの内容は理解できましたか            | (5)理解できた<br>(1)理解できなかった |
| 設問6 | ハイパーパネルはポスターの補足情報として役立ちましたか | (5)役立った<br>(1)役立たなかった   |
| 設問7 | 将来的に本システムが普及したら利用したいですか     | (5)利用する<br>(1)利用しない     |



スマートフォンの操作に慣れていると回答したグループBのアンケート結果(N=28)



スマートフォンの操作に慣れていないと回答したグループAのアンケート結果(N=9)

図 5-6 アンケート結果

する携帯端末を利用してもらったが、携帯端末を持っていない参加者には、あらかじめ準備した閲覧用の携帯端末 (iPad mini) を体験者に貸し出した。図 5-5 に本実験の様子を示す。

始めに 3 分程度、簡単にシステムの使い方とデジタル情報が関連づけられている箇所を説明し、その後、任意の場所にビューポイントタグの設置及び、デジタル情報の閲覧を体験してもらった。

本システムの体験後には、アンケートによる調査を実施した。調査に利用したアンケートでは、1. スマートフォンの操作の熟練度、2. システムの利用方法の理解度、3. 案内一覧ポスターコンテンツの可視性、4. 案内一覧ポスターのコンテンツに対する興味の喚起、5. 本システムに対する興味という 5 つの項目に焦点を当て、表 5-6 のような設問で調査した。また、自由記述によるシステム利用の感想を求めた。



## 5.6.2 実験結果

実験で得られた、デジタル情報の閲覧履歴を表5-7に示す。実験では、約4時間の間に2つのビューポイントタグで、合計126回のデジタル情報の閲覧履歴があった。このうち閲覧時間が5秒以下の履歴が8件あり、これらは、目的としたデジタル情報を取得できなかったことで閲覧者がすぐにタグを動かしたと考えられたため、デジタル情報が取得出来なかった設置回数として集計した。

1人平均の閲覧数が3.03個、平均視聴時間は、2分36秒であった。最も閲覧されたデジタル情報は、id10のアニメーション作品であった。アンケート調査の設問1に基づいて、スマートフォンの操作が熟練しているグループと熟練していないグループの2つのグループに分けてアンケート結果の集計を行った。集計結果を図5-6にスマートフォンの操作が未熟だと回答したグループAとスマートフォンの操作に熟練していると回答したグループBの結果を示す。

設問2のシステムの理解については、グループAの理解度は、スコア5(理解できた)とスコア4を合わせた結果が66.6%であった。一方でグループBの結果は、96%と高い理解度を得ることができた。このことから本システムは、スマートフォンの操作に慣れている体験者にとって非常に安易に理解できるシステムであると考えられる。設問3のシステムの興味に関しては、スコア5とスコア4を合わせた結果がグループAでは、88.9%、グループBでは、89.2%とほぼ同程度の評価を得ることができた。このことから、本システムは、スマートフォン操作の熟練度に関係なく、システムへの興味を喚起することがわかった。設問4のシステム操作に関しては、グループAとグループBでは、グループBの方が操作に関する評価がやや高いという結果となった。これはスマートフォ

表5-7 評価実験でのデジタル情報の閲覧履歴

| id | コンテンツタイトル             | 閲覧数 |
|----|-----------------------|-----|
| 0  | NO DIGITAL DATA       | 5   |
| 1  | 海外情報メディア研修            | 8   |
| 2  | 国際情報メディア実習_1          | 0   |
| 3  | Siggraph Asia 2010_1  | 3   |
| 4  | 海外情報メディア研修_2          | 2   |
| 5  | 国際情報メディア実習_2          | 14  |
| 6  | Laval Vrtual 出展       | 9   |
| 7  | Siggraph Asia 2010_2  | 2   |
| 8  | siggraph2013          | 12  |
| 9  | FossilTears           | 16  |
| 10 | little_friend         | 22  |
| 11 | ZZZoo Pillows1        | 2   |
| 12 | 瞬間少年〇〇                | 4   |
| 13 | ソーラーカープロジェクト          | 2   |
| 14 | I shadow              | 3   |
| 15 | ケータイプロジェクト            | 4   |
| 16 | たたかえ僕らのシャドウロボ         | 8   |
| 17 | FOOD PRACTICE SHOOTER | 2   |
|    | 取得失敗                  | 8   |
| 合計 |                       | 126 |

表 5-8 自由記述の項目

| インタラクションに関する感想           |   |       |
|--------------------------|---|-------|
| 意見1                      | タグを移動させることで、動画を切り替えられることにおどろいた。   | 10代男性 |
| 意見2                      | タッチパネルではなく、ものを動かすことで画面が変わることが不思議だった。                                    | 10代男性 |
| 意見3                      | このようなシステムはいままで見たことがない。  | 10代男性 |
| 意見4                      | QRコードなどを利用しなくても動画が見られるのですごいと思った。  | 20代男性 |
| 意見5                      | 置くだけなので、使い方が簡単で利用しやすいと感じた。  | 40代女性 |
| ポスターと同時にデジタル情報を閲覧することの感想 |   |       |
| 意見6                      | ポスターで大まかな情報を得たあとに見たいものを選び、タブレットで詳しい情報を得られることはうれしいと感じた。                  | 30代女性 |
| 意見7                      | 掲示されているポスターと一緒に見ることが出来るのでわかりやすいと思う。                                     | 10代男性 |
| 意見8                      | 以前、画面を触るものを使ったことがあり、その時は何を見ればよいかわからなかったが、これは、見たいと思ったものの動画が見られるのでわかりやすい。 | 20代男性 |
| ビューポイントタグのデザインに関する感想     |   |       |
| 意見9                      | タグを設置することで、どの場所をみているかがわかりやすい。   | 40代女性 |
| 意見10                     | ポスターに置くタグが少し大きい気がします。   | 40代男性 |
| 意見11                     | タグを真っ直ぐに置くことが難しい。   | 10代女性 |
| ビューアに関する感想               |   |       |
| 意見12                     | ボタンを押して更新するのではなく、自然と動画が切り替わるとうれしい。                                      | 40代男性 |
| 意見13                     | 自分の持っている端末を利用できることが便利で良い。   | 10代女性 |
| 意見14                     | ソフトを入れたわけではないのに利用できることが不思議  | 10代男性 |

ンの熟練度による差がアンケート結果に反映されたと考えられる。しかしながら、グループ A の体験者の 6 割以上が、スコア 5 とスコア 4 を選択していることから、本システムは、スマートフォン操作に慣れていない体験者でも十分に操作ができるシステムであると考えられる。

設問 5 の案内一覧ポスターの理解度を問う設問に関しては、グループ A とグループ B で結果にばらつきが出ているため、今回作成した案内一覧ポスターの紙面のみでは内容が伝わりにくいものであったと体験者が感じていたと考えられる。一方で設問 6 の本システムの案内一覧ポスターを補足する機能に関しては、グループ A、グループ B 共に高い評価を得ることができた。これらの結果から、本システムが案内一覧ポスターの情報を効果的に補完していたことが推測される。

設問 7 の本システムが将来的に普及した場合の利用の可能性については、グループ A では、8 割近くの体験者がスコア 5、スコア 4 を回答し、グループ B では、同じく、約 9 割の体験者が利用したいと回答している。以上のことから、本システムは、スマートフォンの操作に慣れていない体験者でもスマートフォンの操作に慣れている体験者と同程度の高い受容性があることがわかった。

### 5.6.3 自由記述の結果と考察

アンケートによって得られた自由記述を項目別に分類し表 5-8 のようにまとめた。ビューポイントタグの設置やデジタル情報の閲覧に戸惑う体験者はおらず、ビューポイントタグを動かすことで、それぞれの興味のあるデジタル情報を閲覧することができていた。特に、物理的なタグを移動させることで、携帯端末のコンテンツを切り変える手法は、感覚的に新しく感じるようで、情報取得の手法としてこれまでにない新鮮な体験を得たという感想が多かった (表 5-8: 意見 1~5)。

他にも、案内一覧ポスターを眺めながら掲載されている内容に関連する静止画や動画を同時に見

ることができるため、一覧性に優れた情報閲覧ができるという意見があった(表6:意見6,7)。これは、以前開発した HP-type1 と同様に案内一覧ポスターのコンテンツと携帯端末の詳細情報を同時に閲覧できる効果であると考えられる。

ビューポイントタグの超音波センサを利用した距離測定は、おおむね正確に測定することができたが、タグを設置したときに大きな傾きがあった場合に、測定距離に誤差が生じることがあった。この問題に関しては、ビューポイントタグに傾きを防止するために、加速度センサで、ビューポイントタグの傾き具合を検出し、閾値を越えた場合にアラートを鳴らすなどの対応をする必要があると考える。

本システムの高い汎用性が発揮された場面として、専用のアプリケーションをインストールしなくても、参加者が持っているスマートフォンを利用して、案内一覧ポスターのデジタル情報を閲覧することができた。その場で、独自のネットワークに接続し、所定の URL にアクセスするだけで、自分の持っているスマートフォンが、ビューポイントタグと連動することに、おどろいたという意見があった(表5-8:意見13)。また、スマートフォンに搭載された OS に関係なく閲覧できることに利便性の高さを感じているようだった(表5-8:意見14)。

ビューポイントタグの形状に関しては、大きすぎるという意見(表5-8:意見10)と、現状のままでも見やすいという(表5-8:意見11)、2通りの見解を得ることができた。大きすぎると回答した理由には、複数のビューポイントタグを紙面に配置する場合、タグが紙面の一覧性を損なうということが原因だと考えられる。

今回のビューアの GUI については、ビューポイントタグの移動を行ってから更新ボタンを押すことでブラウザのコンテンツを閲覧する流れになっていた。この操作の仕方が直感的な操作ではないため、ビューポイントタグが異なる場所に配置されたときに、閲覧できるデジタル情報が自動で切り替わることが望ましいという意見(表5-8:意見12)もあった。

## 5.7 考察

### 5.7.1 インタラクションについて

紙媒体による案内一覧ポスターでは伝えられる情報量が限られているため、必要最低限の重要な情報だけを精査して表示することが一般的である。このため閲覧者にとって、何が記述されているかがわかりやすく、初見における理解度は、大型ディスプレイを用いたデジタルサイネージよりも高い。本システムは、このような特徴を持つ紙媒体ポスターをそのまま活かしながら、情報技術によって、動的な情報を加えるシステムであり、アナログな感覚とデジタルな技術を併せ持つハイブリッド型の情報提示手法である。この効果は、直感的に情報取得ができるインタフェースと情報伝達のわかりやすさにあると考える。紙媒体の案内一覧ポスターとビューポイントタグを利用した情報選択は、デジタル機器の操作に慣れていない閲覧者にとっても受容性が高く、従来から見慣れたポスターという情報提示手法に無理のなく付加価値を加えることのできる手法だと考える。

### 5.7.2 複数のビューポイントタグの配置について

実験中に2台のビューポイントシステムを同時に利用した場合、次のような利用形態がよく見ら



れた。数人のグループで、1人がある場所のデジタル情報を取得すると、他の体験者がすぐにビューポイントタグを別のコンテンツの上に配置して、他のデジタル情報を取得して閲覧していた。つまり、2人が別々のビューポイントタグを利用するのではなく、1台のビューポイントタグを2人以上で共有して利用する場合が見られた。

これには次の2つの理由が考えられた。1つ目は、ビューポイントタグにより、知りたい対象のデジタル情報のアンカーを入手してデジタル情報を自己の端末で受信すると閲覧することができるようになるため、その閲覧者にビューポイントタグが一時的に不要となるからだと考える。もう1つの理由が、単純に案内一覧ポスターを閲覧しながらシステムを操作できる人数は案内一覧ポスターの幅による制限のため、2名から3名が限界であったため、自然に1台のビューポイントタグを共有して利用し始めたのだと考える。このように、複数人のグループでデジタル情報を閲覧する場合は、1つのビューポイントタグを共有することが自然発生的に行われたため、複数人グループにおいて複数のビューポイントタグを必ずしも必要としないと考える。このため、複数人で本システムを利用する場合は、今回のような並列の情報を取得するのではなく、別の意味づけを持ったタグとして利用することのほうが、利便性の高いサービスを提供できる可能性がある。

### 5.7.3 物理的なオブジェクトを利用することの利点

本システムは、従来のデジタルサイネージと違い物理的なオブジェクトを案内一覧ポスターに配置することで、情報取得をすることができる。この物理的なオブジェクトを利用する利点は、複数のタグを利用する場合に閲覧者が同時に異なる観点の情報を直感的に収集できることだと考える。例えば、提案システムを観光案内マップに利用する場合、グルメ情報や名所情報、イベント情報など、ビューポイントタグの意味づけに合わせてタグの配色や記載する文字を変えることで、異なる意味づけをしたタグとして明確に分けることができる。これらの異なるビューポイントタグを手にとって利用することが、すでに情報選択を意味しており、この直感的なわかりやすさは、GUIのみのインタラクションでは得られない効果であると考え。この手法は、目的を共有したグループが本システムを利用し、一度に多角的な情報収集をする場合に有効な手立てであると考え。

## 5.8 まとめと今後の課題

本論文では、これまでの開発したHP-Type1を拡張し、複数人が同一の案内一覧ポスターを見ながら、それぞれが異なるデジタル情報を閲覧できるHP-Type2を提案した。また、提案したシステムに基づき、ビューポイントタグとそのビューアのプロトタイプを実装した。評価実験では、プロトタイプに対応した案内一覧ポスターを利用して、複数人が異なるデジタル情報を閲覧できることを確認できた。

実験結果から、提案システムを利用することで紙媒体と情報技術とを組み合わせた新たな情報閲覧手法を提供できることがわかった。また、体験後のアンケート結果からスマートフォンの操作に慣れていない体験者にとってもスマートフォンの操作に慣れていない体験者と同程度の高い受容性を得ることができた。実験結果を基に、本システムを利用したインタラクションや複数のビューポイントタグを配置することの意味、物理的なオブジェクトを配置することの利点など実利用する場合の知見を述べた。

しかしながら、現状のシステムは、コンセプトの初期段階であり実際に街頭で利用するには、解



決すべき課題が多い。特に改良が必要な課題がビューポイントタグの測定精度の向上、3つ以上タグを利用した場合の認識手法の確立、ビューア機能の改善の3つが上げられる。最後に今回明らかになった課題とその解決の見通しを述べる。

### 5.8.1 座標値取得のセンサの改良

座標値の取得には超音波センサを利用したが、今回利用したセンサでは、15cm以下の測定をすることができない。これに対応するために、近距離測定ができる赤外線センサを併用することが考えられる。これにより、超音波センサの値が20cm以下の場合、赤外線センサの値を利用することで、近距離の測定も可能となる。

### 5.8.2 3つ以上利用した場合の認識手法

現在の複数認識の手法ではビューポイントタグの数を3個以上に増やすと正常な動作ができなくなる。この解決策として、案内一覧ポスターを設置するパネル側に NFC タグをマトリックス状に配置し、ビューポイントタグに NFC リーダを搭載することを検討している。タグのサイズが、現在よりも大きくなるが、ビューポイントタグ設置時に NFC タグの位置を読み取ることで、おおよその設置位置情報を取得できるため、今回提案した手法と組み合わせることで認識できるタグの数を格段に増やせると考えられる。

### 5.8.3 ビューアの改善

今回は、制作した学科紹介の案内一覧ポスターに合わせたため、閲覧できるデジタル情報は、静止画と動画が閲覧できる GUI であった。今後はタグに異なる意味づけをすることで、提供する情報が変わることが見込まれるため、文字情報や写真そして、動画を提供するコンテンツの種類によって適切に配置できる GUI が必要だと考えられる。

# 第6章

## 紙工作への応用

### 6.1 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 [39],[40]。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、子ども達が先端技術に触れ合ながらものづくり体験ができる機会として重要視されている。ペーパークラフトは、こうした工作系ワークショップとして利用される手軽で身近なテーマの1つである。

ペーパークラフトは、平面の紙から立体オブジェクトとして組み上げる基となる展開図が重要な要素である。そのため、3次元モデルからペーパークラフトの展開図を生成できるシステム [23],[24] や、ポップアップカードを制作できるシステム [25],[26] など、展開図の作成を支援するシステムが開発されている。しかしながら、上記のシステムは、マウスとキーボードといった、従来のインタフェースを利用することが一般的である。そのため、マウスやキーボードの操作が不慣れな子ども（特に未就学児）が積極的に参加できる創作環境とは言いがたい。また、自由な展開図の作成が可能であったとしてもペーパークラフトに対する興味のない子どもを自発的に創作活動に向かわせることは難しい。一方で、子どものコンピュータの操作スキルや創作意欲を気にすることなく手軽に創作活動ができるシステムとして、お絵かきを支援するシステムが数多く開発されている。このようなシステムでは、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 [20] や描いた自動車の絵をレースアニメーションに利用するシステム [21]、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 [22] などが登場している。これらのシステムは、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情報技術を融合させることで、誰もがお絵かきが楽しめる創作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を試みている。

そこで、本論文では、コンピュータの操作が不慣れな子どもや、ペーパークラフト作りに興味を持っていない子どもを意欲的にペーパークラフト作りへと導くシステムとして、ペーパークラフトと3次元ゲームを組み合わせた「シャドウロボシステム」[41]を提案する。シャドウロボシステムの概念図を図6-1に示す。

本システムは、対象年齢を3歳～12歳までの子どもとして定めている。システムの流れは次のとおりである。はじめに、ペーパークラフトのロボットとなる紙媒体の展開図に自由に絵を描き、オリジナルのロボットをデザインする。次に、絵を描いた展開図をスキャナでデジタル画像として変換し、その画像を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、モーションセンサを利用して子どものモーションデータを取得し、身体動作を利用してロボットを操作する。最後に展開図を組み上げることで紙のペーパークラフトを作成する。

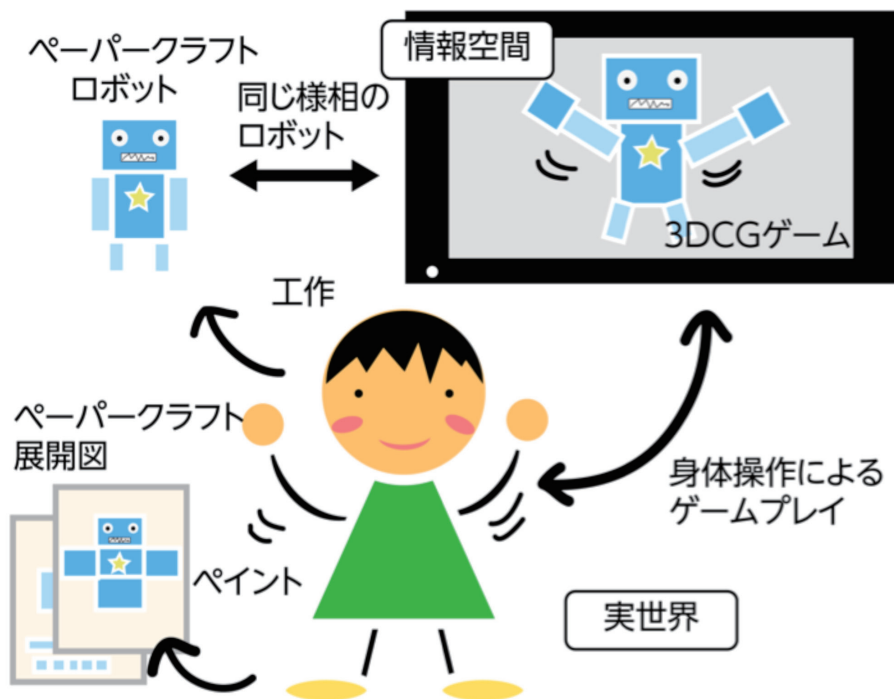


図 6-1 システムの概念図

## 6.2 関連研究

著者らは、子どもにペーパークラフト作りをさせるためには、まず「作る」という行為そのものに向かわせることが最も重要であると考えている。本システムでは、アナログなインタラクションによる創作活動と身体操作による3次元ゲームとを融合させることで、システムを体験することの窓口を広げ、子ども達を積極的にペーパークラフト作りに参加させることをねらいとした。以下に、アナログなインタラクションによる創作活動を提供することの利点と、3次元ゲームを利用することの効果について関連研究を交えながら述べる。

### 6.2.1 誰もが体験できるインタラクション

GUI上でペーパークラフトの展開図に色を塗り、オリジナルのペーパークラフトを作成できるシステムは、これまでも開発されている上記の[23],[24]の他にもタッチパネルによる操作を可能としている[42],[43]などがある。これらのシステムでは、子どもがシステムの使い方を学習する必要があるだけでなく、マウスやタッチ操作でペンや筆と同じ感覚で絵を描くには、ある程度の訓練や慣れが必要となる。また、こうしたシステムの多くは、子ども一人に対して一台のコンピュータの利用を前提としているため、十分なコンピュータを確保できない場合は、同時に多数の子どもが創作活動をする事ができない。こうした制約は、ワークショップなどのイベントを実施した場合に年齢制限や定員などを設ける原因となっている。

一方、本システムでは、紙媒体の展開図に絵を描くことがシステム体験の入口となっている。絵を描くという行為は、学習や訓練をする必要がなく、文化や世代を越えて誰にでも体験することができる。また、展開図とペンさえあれば、手軽に創作活動にとりかかることができるため、絵を描くことができるスペースさえあれば、多数の子どもに対しても同時に創作環境を提供することがで

きる。

さらに、本システムに導入した3次元ゲームでは、ゲームパッドを使った操作ではなく、身体動作による直感的な操作を可能としている。このため、ゲームの操作に関する説明や訓練をあまりしなくてもゲームを楽しむことができる。以上のように、提案システムは、体験にあたってコンピュータ操作のスキルを問わないため、コンピュータの操作が不慣れな子どもでも手軽に体験することが可能である。また、参加人数に応じて複数台のコンピュータやディスプレイが必要となるが、順番にゲームをプレイすることで定員制限なくシステムを体験させることができる。

### 6.2.2 3次元ゲームによる創作意欲の刺激

実世界における創作活動では、子どもが作り上げた作品を情報技術で演出することで、子どもの創作意欲を刺激するシステムが数多く開発されている。紙媒体へのお絵かきを3次元モデルのテクスチャとして利用するシステム [44],[45] や、お絵かきの色や形をパラメータとして扱い、パブリックビューイングにアニメーションとして表示するシステム [21],[46]。更に、こうしたアニメーションにインタラクティブ性を加えたシステム [22],[47] も見られる。これらのシステムは、情報技術を使った表現で子どものお絵かきを拡張するという点で本システムとの関連が深い。どれもペーパークラフト作りを対象としておらず、本格的なゲームの要素を含んでいない。ユーザが自作したキャラクターをゲームに登場させる手法は、従来からゲームへの感情移入を高めるために利用されているが、ペーパークラフト作りと身体操作によるゲーム体験とを組み合わせたものは、これまで見当たらない。

近年では、ゲームの要素を社会的な活動やサービスに導入することで、意欲を高め、活動を持続させることを目的としたゲーミフィケーション [48] が広く認知されている。また、従来からゲームを教育に導入することで、学習活動への意欲の向上や複雑な概念の理解などに効果があることが報告されている [49]。このようにゲームの要素を他の活動に導入することで、対象とする活動に対する意欲を向上させる試みはこれまで様々な分野で実施されている。本システムでは、ゲームの魅力をペーパークラフト作りを利用するため、子どもがデザインしたロボットを3次元ゲームに登場させ、身体操作による3次元ゲームを可能とすることで、作品への感情移入やペーパークラフト作りへの創作意欲を刺激することをねらいとした。

## 6.3 本システムの要件

著者らが、ペーパークラフトに3次元ゲームを加えるにあたって最も考慮した点が、実世界での創作活動であるペーパークラフトと情報空間で展開される3次元ゲーム、そしてユーザのゲーム体験をシームレスにつなげることであった。なぜなら、実世界でユーザ自身がデザインし、制作したロボット(作品)とゲームに登場する3次元モデルで表現されたロボットが、同じものであると感じられない場合や、ロボットを自分の身体操作で動かしていると感じられない場合は、それぞれの活動につながりがなくなり、別個の活動として分断されてしまうからである。このような場合では、ペーパークラフトを利用した創作活動と3次元ゲームとの間に違和感が生じ、ペーパークラフトに3次元ゲームを導入する意味がなくなるだけでなく、創作活動や3次元ゲームに対する意欲まで損なう可能性がある。反対に上手くそれぞれの活動をつなげることができれば、コンピュータを利用



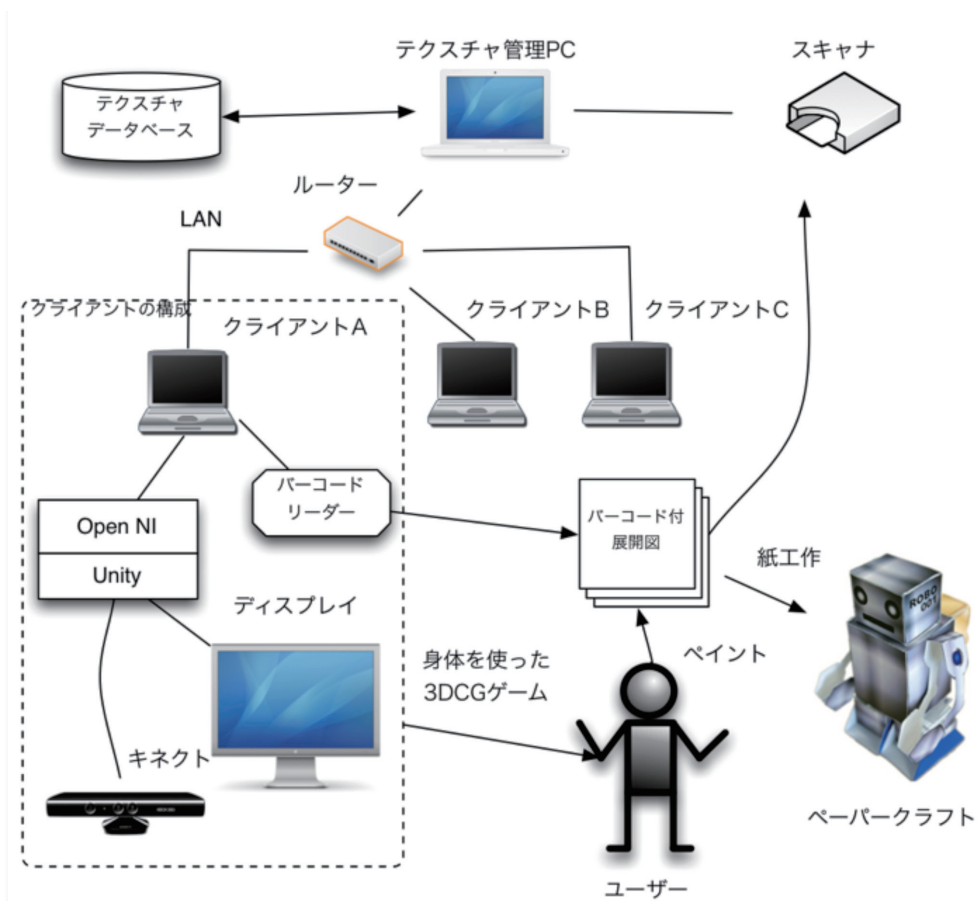


図 6-2 システムの構成図

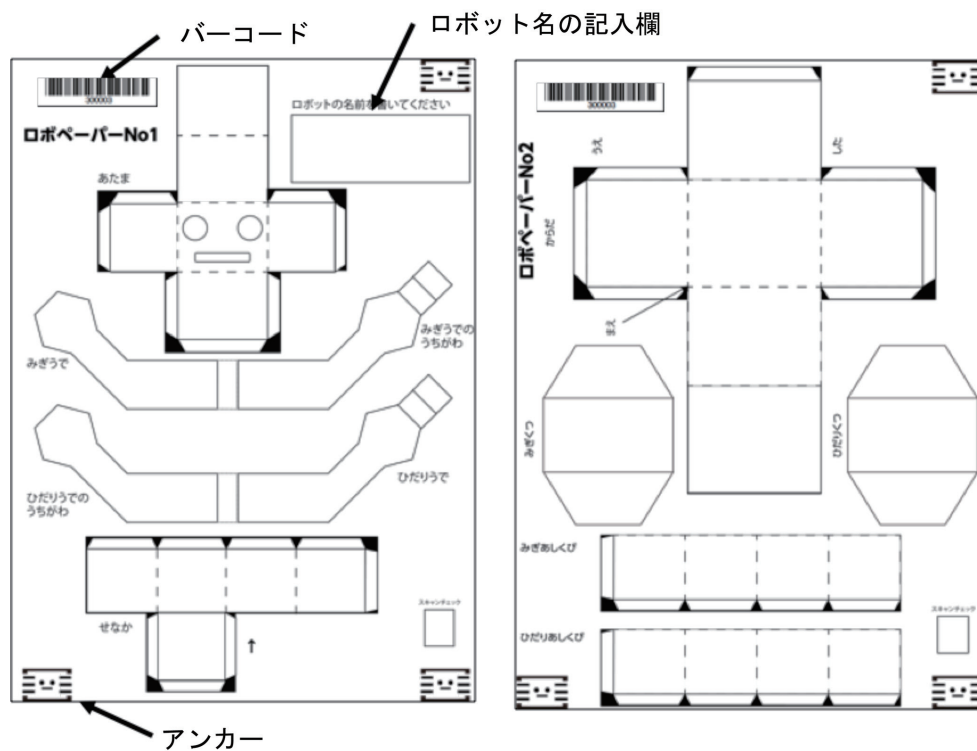


図 6-3 ロボペーパー

したこれまでにない創作活動を提供できると考えられた。

また、本システムを体験することを通じて制作するペーパークラフトロボットの展開図は、何度もつくりたいと思うような魅力を持ちつつも、誰もが作ることができるような手軽で分かりやすい形態である必要がある。

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。

## 6.4 シャドウロボシステムの概要

### 6.4.1 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、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6-2に示す。

### 6.4.2 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6-3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ハサミで切り取って組み上げることで、紙のペーパークラフトロボットになる。誰もが簡単につくれる工夫として、ロボットの展開図には曲線を入れることを避け、直線的で比較的単純な形としてデザインした。

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印刷されている。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、ロボペーパーの左上以外の角には、アンカーが印刷されている。このアンカーは、ペイントされた展開図を3次元ゲームに登場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となる。

自作するロボットに対して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。

### 6.4.3 テクスチャサーバ

テキストサーバの概要

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チャ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で利用するテク

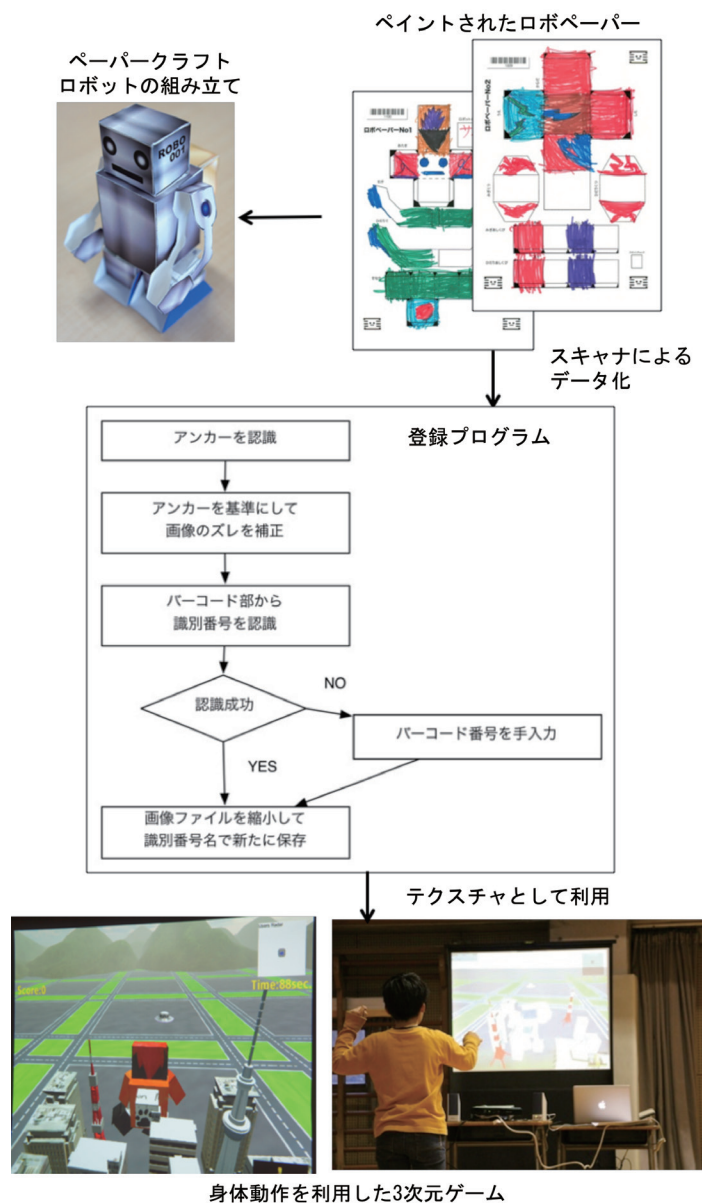


図 6-4 システムの流れ

スチャ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。それぞれの前処理は、テクスチャ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。

## 登録プログラム

ゲームに登場するロボットモデルにテクスチャ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、適正にテクスチャ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、適正なテクスチャへと変換するとともに、画像に記されているバーコードを認識し、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 6-4 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バーコード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。アンカーへの対応としては、アンカーをロボペーパーの右上、右下、左下の 3 つ部分に配置し、スキャン後に最も明瞭なアンカーを基準とすることとした。

バーコードへの対応としては、スキャン後に登録プログラムが、バーコードの番号を正常に検出できなかった場合に、バーコードのナンバーを目視により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。

## 6.4.4 クライアント

### 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、スキャナによって取り込まれたロボットのテクスチャデータを共有できるようになっている。

### 3 次元ゲームの概要

3 次元ゲームには、あらかじめシナリオが設定されている。これは、ユーザがオリジナルのロボットをデザインすることや、オリジナルロボットをデザインした後に違和感なく、身体動作を使った 3 次元ゲームを体験できるようにするためである。

シナリオは、自分達の住んでいる街を次々と破壊していく敵から自分の街を守るために戦うロボットをデザインすること、そして、作り上げたロボットを身体動作で操作することで敵を撃退し、街に平和を取り戻すことを目的としたものである。本ゲームの開発環境には、ゲーム開発の容易さや、開発したゲームアプリケーションの配布の利便性を考慮し、Unity テクノロジー社のゲームエンジンである 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 を使用した。Unity3D と Kinect との間のモーションデータのプロトコルには、Unity 準拠の OpenNI ライブラリである ZDK 利用し、Unity3D 上に展開されるロボットの 3 次元モデルのボーンに Kinect からのモーションデータを当てはめた。



### 3次元ゲームの流れ

図 6-5 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つの球体を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。

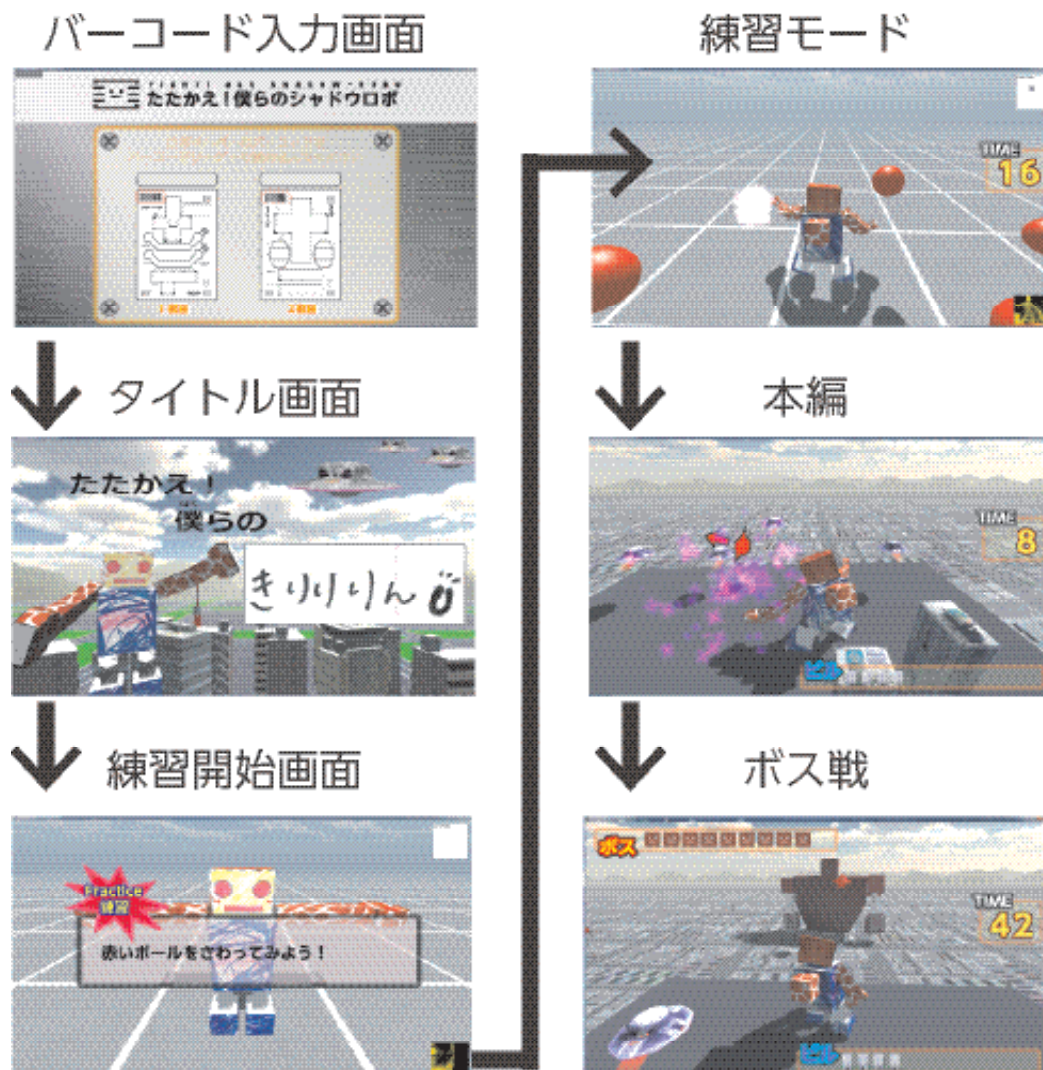


図 6-5 3次元ゲームの流れ

## 6.5 ワークショップの実施と評価

本システムを利用したワークショップをこれまでに様々な教育的な施設で実施してきた。本論文では、H26年2月1日と2日に川崎市にある東芝未来科学館で開催された「東芝未来科学館オープニングイベント」にて実施した工作系ワークショップ「たたかえ!! 僕らのシャドウロボ」を取り上げ、本システムの効果について検討する。

図6-6に実施したワークショップの様子を示す。また、図6-7に子ども達がデザインした作品例を示す。

### 6.5.1 ワークショップの様子

オープニングイベントでのワークショップでは、なるべく多くの子ども達に本システムを体験して欲しいという科学館側の要望から、お絵かきができるテーブルを24席設け、開いているテーブルがあれば、順次座っていく自由形式のワークショップとして実施した。また、ロボペーパーへのお絵かきと3次元ゲームの体験までをイベント会場で実施し、ロボットの組み立ては自宅で行ってもらうこととした。3次元ゲームによる体験ができるクライアントは2台準備し、お絵かきが終わった子どもから順番に3次元ゲームを体験してもらった。

ワークショップが開始されると、すぐに24席あったお絵かき用の机が埋まり、その後イベント終了まで席が空くことなく、常に盛況な状態であった。

描き上げたロボペーパーをスキャナにより読み取り、自分がデザインしたロボットがゲームに登場した時は、デザインした子どもだけではなく、その場で画面を見ている参加者からも笑顔が溢れていた。またロボットを操作する子ども達は、非常に楽しそうに身体動作によるゲームを体験していた。イベント2日目には、1日目で体験した子どもが自宅でペーパークラフトのロボットを作成し、会場に組み立てたロボットを持ち込んで再び体験するというリピーターを何人も見ることができた。

東芝未来科学館の館員からは、本システムは、ロボットとお絵かき、ペーパークラフト、そして、

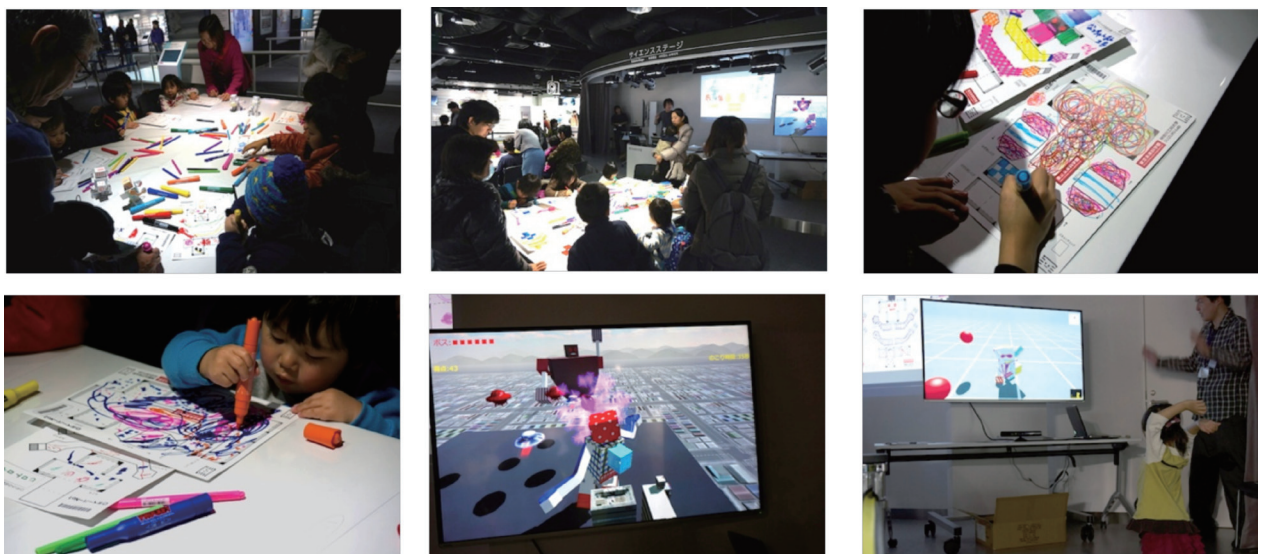


図6-6 ワークショップの実施風景



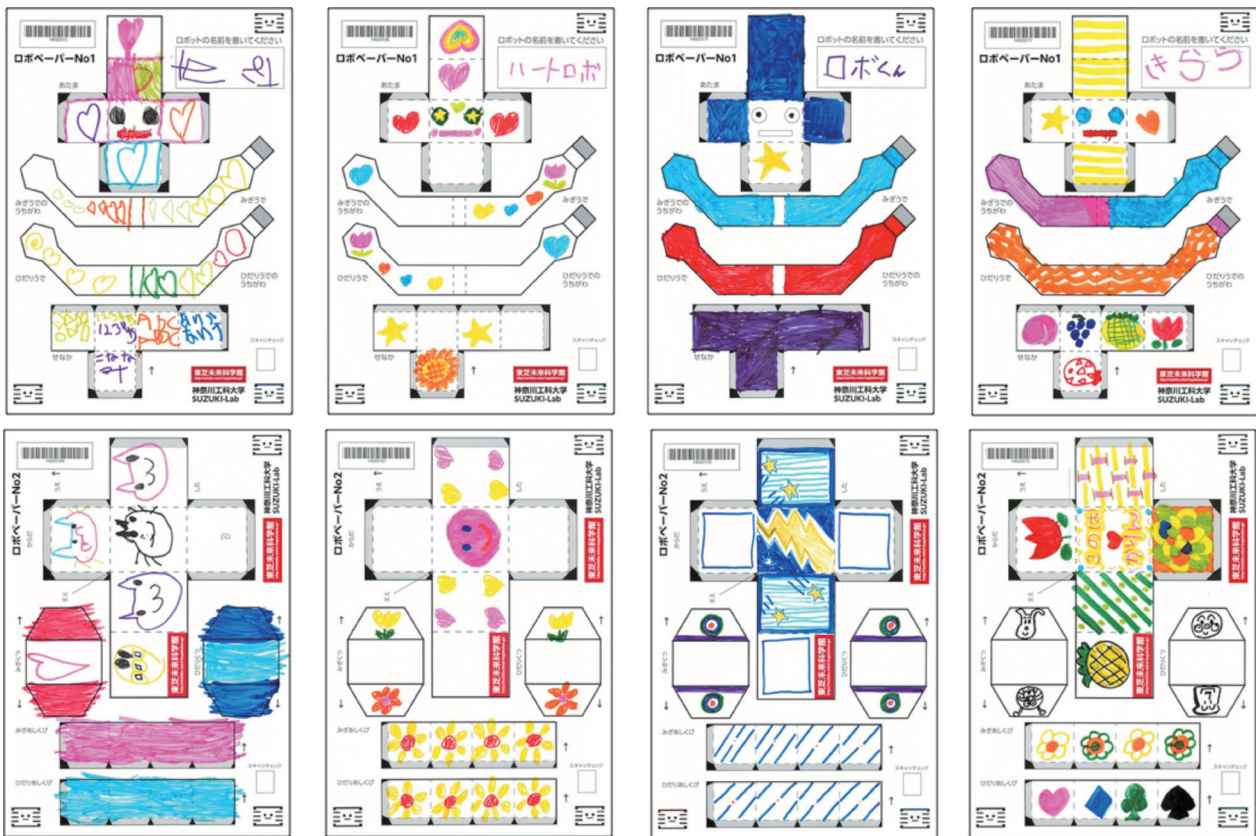


図 6-7 子ども達が制作した作品例

ゲームという子ども達が好きなものが融合しており、ものづくりのきっかけとして、非常に有効であるという意見をいただいた。さらに、ペーパークラフトという物理的な作品が残せるので、体験の思い出を自宅に持ち帰ることができるというのが素晴らしいという意見もいただいた。

### 6.5.2 アンケート調査

本ワークショップの体験者に、アンケートによる調査を実施した。表 6- 1 に実施したアンケートの内容を示す。アンケートの Q1 から Q6 までの設問には 5 件法による調査を実施し、Q7 に関しては、ワークショップの中でどのような活動が楽しかったのか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付けをしてもらい、1 位を 3 点、2 位を 2 点、3 位を 1 点として集計結果をスコア化した。

収集したアンケートの中から、本システムの対象年齢と一致する 3 歳から 12 歳までの男女 228 名を抽出した。表 2 に抽出した体験者の内訳を示す。また、アンケートの結果を表 3 及び、図 8 に示す。図 8 に示した Q7 の結果に関しては、体験者全体の総スコアに対するそれぞれの項目の割合の他に、男女で本ワークショップの体験者数が異なっていたため、男女別に集計し、各項目の男女それぞれの総スコアに対する割合を示している。

### 6.6 考察

ワークショップ実施により得られた知見を述べるとともに、アンケート結果を基に、システム要件であったペーパークラフトと 3 次元ゲームとをシームレスにつなげることができたかどうかや、子ども達の創作意欲にどのような効果があったのかを考察する。

表1 アンケートの項目

|     |   |          |            |
|-----|---|----------|------------|
| Q1  | たたかえ!!僕らのシャドウロボは楽しかったですか？   | (5)楽しかった | (1)つまらなかった |
| Q2  | 自分がつくったロボットがゲームに登場していると感じることができましたか？  | (5)感じた   | (1)感じなかった  |
| Q3  | 自分がつくったロボットをからだでうごかしていると感じることができましたか？                                       | (5)感じた   | (1)感じなかった  |
| Q4  | 自分がつくったロボットに満足していますか？   | (5)満足    | (1)不満      |
| Q5  | 時間があればまたロボットをつくりたいですか？  | (5)つくりたい | (1)つくりたくない |
| Q6  | 家に帰ってからロボットをつくれますか？   | (5)つくりたい | (1)つくりたくない |
| Q7  | たたかえ!!僕らのシャドウロボを体験して楽しいと思ったことは何ですか？<br>下の楽しかったことの中から1位～3位までを選んで[ ]に書いてください。 |          |            |
| 7-A | 自分で好きなようにロボットに絵をかけること   |          |            |
| 7-B | 友達と一緒にロボットがつかれること   |          |            |
| 7-C | 自分で描いたロボットがゲームに登場すること   |          |            |
| 7-D | からだでロボットをうごかせること  |          |            |
| 7-E | ともだちのロボットをたくさん見られること  |          |            |
| 7-F | 自分で描いたロボットを紙でつかれること   |          |            |
| 7-G | その他   |          |            |

表2 体験者の内訳

| 年齢  | 男子  | 女子 | 計   |
|-----|-----|----|-----|
| 3歳  | 10  | 3  | 13  |
| 4歳  | 21  | 17 | 38  |
| 5歳  | 13  | 11 | 24  |
| 6歳  | 16  | 13 | 29  |
| 7歳  | 22  | 5  | 27  |
| 8歳  | 20  | 6  | 26  |
| 9歳  | 17  | 16 | 33  |
| 10歳 | 20  | 6  | 26  |
| 11歳 | 6   | 2  | 8   |
| 12歳 | 4   | 0  | 4   |
| 計   | 149 | 79 | 228 |

表3 アンケートの結果

| 質問 | 男子平均 | 女子平均 | 全体平均 |
|----|------|------|------|
| Q1 | 4.80 | 4.67 | 4.75 |
| Q2 | 4.89 | 4.89 | 4.89 |
| Q3 | 4.77 | 4.73 | 4.76 |
| Q4 | 4.81 | 4.71 | 4.77 |
| Q5 | 4.86 | 4.66 | 4.79 |
| Q6 | 4.54 | 4.77 | 4.62 |

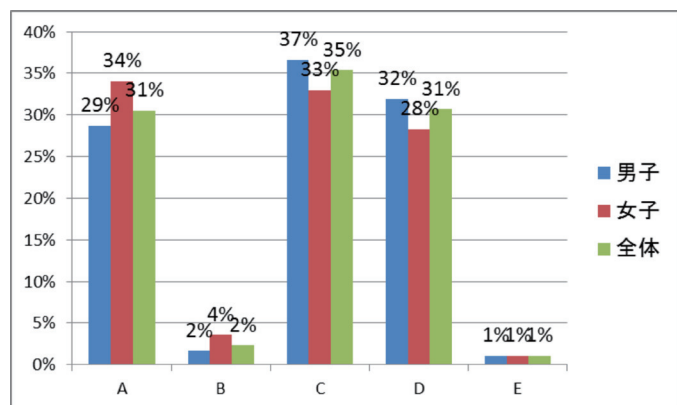


図 6-8 項目 7 のアンケート結果

### 6.6.1 システム要件に関する考察

子ども達が自らデザインしたロボットがゲームに登場していると感じたかどうかについては、Q2 の回答が示すように、ほとんどの体験者から自分で作成したロボットがゲームに登場していると感じさせることができた。



また、Q3の自分がつくったロボットを身体で操作していると感じたかどうかについても同様に高い評価を得ることができた。これらの結果から、実装したシステムは、要件であったペーパークラフトを利用した創作活動とデジタル空間で展開される3次元ゲームとをシームレスにつなげることに成功していたと考えられる。

### 6.6.2 インタラクションに関する考察

システムのインタラクションに関しては、展開図に絵を描くときに、どの面がロボットの胴体の正面となるのかという質問や、誤ってバーコードの上にペンで描いてしまったという問い合わせなどがあったが、絵を描くこと自体に戸惑ったり、躊躇したりする子どもはおらず、様々な色のペンを使って自分たち独自のロボットを懸命にデザインしていた。バーコードを誤って塗ってしまった場合は、スキャナで展開図を取り込む際に、バーコードの番号を手入力することで対応できていた。

3歳程度の幼児が体験するときには、子どもが絵を描く傍らで両親と一緒にロボペーパーを描く姿を見ることができた。これは、本システムを体験することの容易さが象徴されている光景であったと考えられる。

3次元ゲームの操作に関しては、直感的に操作方法を覚えられるように練習モードを導入したことが効果的に機能し、自らデザインしたロボットを操作できる3次元ゲームに夢中となっていた。Q7の「7-A:自由に絵を描くことができること」や、「7-D:からだでロボットを操作できること」が高評価であることから、誰にでも参加できるというインタラクションを備えていることが、満足度が高いワークショップとして評価された一因であると考えられる。

### 6.6.3 次元ゲームの効果に関する考察

イベント会場に訪れる子ども達は、まず身体動作によるゲームをプレイしている他の子どもの姿に惹きつけられ、その後、スタッフによりワークショップの説明を受けてから体験したいという意思表示をすることが一般的な流れであった。このことから、身体動作による3次元ゲームが子どもたちの興味をワークショップに引き付ける効果を発揮していた。しかしながら、本システムを体験したほとんどの子ども達が、3次元ゲームによる体験だけを望むのではなく、自分の作ったオリジナルロボットによるゲーム体験を望んでいた。アンケート結果のQ7の「7-C:自分で描いたロボットがゲームに登場すること」が全体的に見てもスコアが高いことから推測すると、ワークショップを体験するきっかけは、身体操作によるゲームを見かけたことだが、展開図に描いたオリジナルロボットが3次元ゲームに表示されることが子どもにとって創作意欲につながっていたと考えられる。一方で「7-F:自分で描いたロボットを紙でつくれること」という元来のペーパークラフト作りを指す項目が最も低いスコアとなっている。この結果は、ワークショップの会場でペーパークラフトの組み立て作業をしなかったことに起因していると考えられる。しかし、Q5の「時間があれば、もっと別のロボットを作りたいですか？」や、Q6の「家にかえってからロボットをつくりませんか？」というオリジナルロボットを作ることへの意欲を問う項目では、全体的に高い評価を得ることができた。また、イベント期間中に自宅でロボットを作成し、組み上げたロボットを持って再び会場に訪れるリピーターを何人も見ることができたことから、子ども達が、本システムを通して自作したオリジナルロボットのペーパークラフトを作成することに楽しみを感じていたと推察できる。

以上のことから、本システムで扱ったロボットのペーパークラフトを作ることに対する創作意欲を向上させることには成功したといえる。しかしながら、本システムを体験した子供たち全員がペーパークラフト全般に対する創作意欲が向上したかどうかについては、更なる調査が必要だと考える。

#### 6.6.4 男女による評価の差

表 6-2 の体験者数の内訳が示すようにワークショップの参加者の割合は男子のほうが、女子に比べて 2 倍近く体験していたことがわかる。今回のワークショップは、事前予約なしに、自由に参加できる形式をとっていたため、本ワークショップをイベント会場で見かけたが、体験することを望まなかった女子が多数いたということも考えられる。

アンケート調査による評価では、男女に大きな差はなかったが、図 6-8 に示した Q7 の結果を男女で比較すると、男子は、3 次元ゲームに関する活動が楽しいと感じる傾向がやや強いが、女子は、展開図に絵を描けることが最も楽しいと感じていたことがわかる。表 3 に示した Q1 のシステムの満足度や Q5 の再体験に関する質問では、男子の方が女子よりも、わずかながら評価値が高かった。これらの結果の原因は、本システムのシナリオである、戦うロボットを作成することや、3 次元ゲームがアクションゲームとしての要素が強かったことなど、男子にとって共感しやすいコンテンツであったことが理由だと推測できる。

### 6.7 まとめと今後の展望

本研究では、子どもを意欲的にペーパークラフト作りへと導くシステムとしてペーパークラフト作りに 3 次元ゲームを利用したシャドウロボシステムを提案し、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、本システムが実世界での創作活動であるペーパークラフトと 3 次元ゲームとをシームレスにつなげることに成功していたことがわかった。また、アナログなインタラクションを基に、ワークショップの参加の窓口を広げたことや、ペーパークラフトと 3 次元ゲームを融合させることで、子ども達をペーパークラフト作りが含まれたワークショップに導くことができた。

しかしながら、今回のワークショップでは、ペーパークラフト全般への意欲向上に対する評価ができなかったことが課題としてあげられる。この課題を解決するために、これまでに開発されている 3 次元モデルから自由な展開図を作成できるシステムと本システムとを比較することで、子どものペーパークラフトを作ることへの参加動機や創作意欲がどのように変化するかを調査したい。また、現状のゲームでは、女子に対する参加動機が十分でない可能性があるため、例えば、ダンスをするゲームや、衣装の着せ替えができるゲームなど、女子向けのコンテンツについても検討する必要がある。

今後のシステムの発展としては、本システムに「ストーリーテリング機能」を追加・実装することで、より教育的なワークショップとして展開できると考えている。

ストーリーテリングは、思考力や言語力、表現力、コミュニケーション能力などの発達に有益であると考えられており、小学校や幼児を対象に情報技術を利用したストーリーテリングを試みた研究 [50] が実施されている。また、ストーリーテリングによる教育法は、小学校のみならず、中学校、

高校，大学など，高学年の教育現場でも導入されている [51]。今回実装したゲームのメインキャラクターであるロボットへのペイントの他に，敵キャラクターや，守るべきものを自由にデザインし，ストーリー（ロボットが戦うための理由）を創作するワークショップとして展開することを予定している。

# 第7章

## 本論文のまとめ

本研究では、実世界でのモノと人とのインタラクションによって利益や恩恵を得られる技術や手法の重要性や価値の高まりを背景に、モノとして、人間が最も慣れ親しんだメディアである紙媒体に着目した。第2章では、これまでの紙媒体を利用したシステムを（1）情報提示を目的としたシステム、（2）直感的なインタフェースを備えたシステム、（3）アート・エンターテインメントに応用したシステムの3つの観点から概観し、紙媒体を利用したシステムには、1. 操作の複雑化、2. 運用と制作の非効率性、3. 紙媒体の価値の向上に関して課題があることを示した。

これらの課題を解決するため、本研究では、紙媒体の2次元座標に着目し、紙媒体の座標値をデジタル情報へのアンカーとして利用する「座標値連携方式」を確立し、この手法を情報提示の分野に利用したシステムと、紙工作の分野に応用したシステムを提案した。

第4章では、提案した座標値連携方式を利用した具体的なシステムとして、「ハイパーパネル Type1」のプロトタイプを設計・実装した。ハイパーパネル Type1 は、携帯端末を備えた座標取得装置が超音波センサによるセンシングによって、実世界のポスターの座標値を取得することができる。また、この装置をポスターの各パートに配置することで、その座標値を基に有機的にデジタル情報を閲覧することを可能とした。さらに、ハイパーパネルシステムに対応できるコンテンツを簡単に制作できるように、WEB ベースのコンテンツオーサリングシステムを開発した。ハイパーパネル Type1 の特徴として、利用する紙媒体のポスターには、細工を必要としないため、QR コードや NFC タグなどを利用した従来の手法とは異なり、通常の紙媒体の制作工程によって作られたポスターを簡単にデジタル技術が対応したサイネージへとすることができる。このことは、新たに作られるポスターだけではなく、過去に作られたポスターでも簡単にデジタル技術を利用したポスターとして利用することができるという利点も持っている。また、従来の大型ディスプレイにタッチパネルを備えたシステムとは違い、小型デバイスによる駆動が可能のため、設置や運用面での利便性が向上し、柔軟な運用環境を提供することが可能となった。評価実験では、本システムを利用することによって直感的な操作で誰もが簡単に紙媒体ポスターに関連づけられたデジタル情報を取得できるだけでなく、本システムを操作することに楽しみを覚えるという評価が得られた。

第5章では、4章で提案したハイパーパネルの課題であった。複数人で異なるデジタル情報を閲覧することを可能とするため、ハイパーパネル Type1 のシステム原理を利用した「ハイパーパネル Type2」を開発した。

ハイパーパネル Type2 では、閲覧者が紙媒体ポスターの任意の場所を指し示すという行為と座標値の測定を兼ね備えた「ビューポイントタグ」と取得した座標値を受信する「座標値受信モジュール」そして、座標値を基に HTML5 により、ビューポイントタグが配置された紙媒体ポスターのパートに関連するデジタル情報を表示する「ビューア」から構成されている

本システムの特徴は、ビューポイントタグを紙媒体ポスターに配置することで、特別なアプリケーションをインストールしなくても、利用者の手持ちの携帯端末のブラウザをつかって閲覧すること



ができることである。また、複数のビューポイントタグを利用することによって、複数人がポスター上の異なるコンテンツを同時にみることが可能となった。評価実験により、本システムが、スマートフォンをはじめとした携帯端末の操作に慣れているユーザだけでなく、慣れていないユーザにとっても許容度が高いシステムであることが示された。

第6章では、座標値連携方式を応用し、紙媒体に表現されたペーパークラフトの展開図に手描きした絵をテンプレートマッチングにより座標のずれを生じさせずにデジタル化し3DCGオブジェクトのテクスチャとして取り込む技術を研究開発した。これにより、だれもが容易に、直感的に3DCGオブジェクトのテクスチャをデザインできるようになった。これを利用し、主として児童ユーザが描いた絵を3DCGロボットのテクスチャとして利用し、そのロボットをユーザの身体動作で動かせるゲームを備えた「シャドウロボシステム」を開発した。本システムは、子どもをはじめとして体験者を魅了し、紙媒体とデジタル技術が融合した新たな体験を多くのユーザに提供することができた。また本システムの運用に関しても、専門的な知識や技術がなくてもシステム運用ができるようにパッケージ化を実施し、その結果、2か月にも及ぶ展示期間で運用することが可能であった。

以上の本研究によって開発したシステムは、直感的な操作を備えることによって操作の複雑化から解放し、小型デバイスやオープンソースを利用することにより、システムの運用と制作の非効率性を改善する具体例として示すことができた。さらに本研究によって開発した3つのシステムは、どれも紙媒体の付加価値を高める利点があり、紙媒体を併用することで、紙媒体の価値を向上させるシステムとして機能した。

本論文でまとめた成果は、実際に我々の日常空間に配置して利用することを念頭に検討しており、今後さまざまな分野・用途に実際に応用可能である。また、座標値連携方式のみならず、他の入力手法と組み合わせることにより、より多彩なインタラクションが実現できると考えられる。今後、本研究で提案したシステムが、紙媒体を併用した情報提示システムやアート・エンタテインメントなどの分野におけるプラットフォームとなり、さらには新たなインタラクションの実現への道筋を示すものとなることが期待される。

# 謝辞

本研究を遂行し、学位論文をまとめるにあたり、多くのご支援とご指導を賜りました。行く当てのなかった私の博士課程での指導をお引き受けくださいました指導教官の速水治夫教授に、深く感謝しております。研究遂行におけるアドバイスや、論文指導など多大なるご支援とご教授をいただきました。また、研究の方向性の相談やアドバイス、共同研究者としてシステム開発を共に実施していただくなど、本研究の遂行において多くのご支援をいただいた駒澤大学の服部哲准教授に深く感謝申し上げます。研究遂行にあたり、日々の研究だけでなく、多くのご指導をいただき、暖かく見守っていただいた。佐藤尚教授に深く感謝申し上げます。

シャドウロボシステムの制作及び、ワークショップの実施に関して、神奈川工科大学の佐藤・鈴木研究室のメンバーに多くのご支援を賜りました。ありがとうございます。特に初期のシャドウロボシステムと一緒に作り上げたメンバーである津布久直樹氏、杉本光啓氏、三浦大二郎氏に心より感謝申し上げます。

本システムを利用したワークショップの実施にあたって、多くの機会をいただいた NPO 法人 CANVAS の皆様、放課後アフタースクールの皆様、東芝未来科学館の皆様に感謝申し上げます。

加えてシャドウロボシステムの活動に補助金をいただいた中山隼雄科学技術財団に感謝申し上げます。

本論文の作成に当たり、審査委員として多くのご助言をいただいた、上平員丈教授、納富一宏教授、そして、名古屋大学の安田孝美教授に深く御礼申し上げます。

# 本研究による成果

## 査読付き印刷論文

- (1) 鈴木浩, 服部哲, 佐藤尚, 速水治夫, “ポスター上の座標位置に対応したデジタル情報を表示可能なハイパーパネルシステムの提案”, 情報処理学会論文誌, Vol.55, No.1, pp151-162(2014.1).
- (2) 鈴木浩, 服部哲, 佐藤尚, 速水治夫, ポスターの複数の座標位置に対応したデジタル情報が閲覧できるハイパーパネル Type2 の提案 “, 情報処理学会論文誌, デジタルコンテンツ Vol.4 No.1, pp20-32(2015.2) .
- (3) 鈴木浩, 佐藤尚, 速水治夫 “子どもを意欲的にペーパークラフト作りへと導く 3次元ゲームシステムの開発”, 情報処理学会論文誌, デジタルコンテンツ ,Vol.4 No.1, pp10-19(2015.2).

## 国際会議論文 (査読付き)

- (1) Hiroshi Suzuki, Sato hisashi Haruo Hayami, “Fight our shadow robot” ,SIGGRAPH’ 13, ACM SIGGRAPH2013 Studio Talks, Article No.15  
DOI>10.1145/2503673.2503688
- (2) Naoki Suga, Hiroshi Suzuki, Hisashi Sato, "Fight!! our shadow robo: digital workshop by using paper craft", Image Electronics and Visual Computing Workshop2012, Kuching, Malaysia, Nov 21-24, 2012 CD-ROM 収録

## 口頭発表

- (1) 鈴木浩, 佐藤尚, 速水治夫, “ポスターの複数の座標位置に対応したデジタル情報が閲覧できるハイパーパネル Ver.2 の提案”, 研究報告デジタルコンテンツクリエーション (DCC), 2014-DCC-7(19), 1-6(2014).
- (2) 鈴木浩, 佐藤尚, 速水治夫, “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”, 研究報告デジタルコンテンツクリエーション (DCC), 2014-DCC-6(18), 1-6(2014).
- (3) 鈴木浩, 服部哲, 速水治夫, “ゲームエンジンを利用したワークショップコンテンツの研究開発”, 日本教育工学会第29回全国大会講演論文集, No.1, pp23-26(2013).
- (4) 服部哲, 鈴木浩, 佐藤尚, 速水治夫, “ハイパーパネルにおける座標位置に詳細コンテンツを関連付けるためのオーサリングシステムの試作”, 研究報告グループウェアとネットワークサービス (GN) 2013-GN-87(16), 1-5 (2013-03-11)
- (5) 鈴木浩, 服部哲, 佐藤尚, 速水治夫, “空間位置に対応した詳細コンテンツ提示システム”, 情報処理学会研究報告, Vol.2013, 2013-GN-86(16), (2013.1).

## 特許出願

- (1) 鈴木浩, 服部哲, 速水治夫: 情報提供システム 特開 2014-127109

## 受賞

- (1) 第3回キッズワークショップアワード 最優秀賞, CANVAS, 2012
- (2) 第7回キッズデザイン賞, キッズデザイン協議会, 2012

## 参考文献

- [1] ISHII,H.Tangible Bits : Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms,Proceedings of CHI, 234-241, (1997).
- [2] 暦本 純一:実世界指向インタフェースの研究動向,コンピュータソフトウェア,Vol.13 No.3, pp.4-18(1996).
- [3] 坂村健:ユビキタス・コンピュータ革命,角川書店(2002).
- [4] 大日本印刷株式会社:電波ポスター PiPorta. <http://www.dnp.co.jp/ictag/seihin/pack/denpaposter02.html> (参照 2013-04-09).
- [5] サイボックステクノロジー株式会社:Smart ポスター. <http://www.zybox.jp/smart0011.htm> (参照 2013-04-09).
- [6] ヤフー株式会社,大日本印刷株式会社,日本航空株式会社:Touch!JAL!. <http://feature.loco.yahoo.co.jp/touch-jal/> (参照 2013-04-09).
- [7] Francisco,B.,Irene,L.,Ruiz,M.,Ángel,G,N.:A NFC-based pervasive solution for city touristic surfing,Personal and Ubiquitous Computing Vol15 Issue 7, pp.731-742(2011) .
- [8] Wikitud.<http://www.wikitude.com/> (参照 2013-04-09).
- [9] Junaio.<http://www.junaio.com/> (参照 2013-04-09) .
- [10] スマートアイコン,(株)カラーコードラボラトリーズ, <http://www.colorzip.co.jp/cz-wp-3.0.1-ja/>(参 2014-10-17).
- [11] フラクタルコード, <http://www.atmarkit.co.jp/news/200706/08/sony.html>(参照 2014-10-17).
- [12] 上條浩一,南正輝,森川博之,ハイパリンク不可視マーカ,電子情報通信学会論文誌 . D, 情報・システム J92-D(8), 1425-1439, (2009).
- [13]Grid Onput ,グリッドマーク株式会社, <http://www.gridmark.co.jp/gridonput.html>(参照 2014-10-17).
- [14]SmartAR,(株)SONY,<http://www.sony.co.jp/SonyInfo/News/Press/201105/11-058/> (参照 2014-10-17).
- [15] 赤松正行:ウロボロスのトーチ .<http://akamatsu.org/aka/works/uroboros/> (参照 2013-04-09).
- [16] 株式会社 GOCCO:[http:PIT システム .<http://goccojapan.com/pit.html>](http://pitシステム.<http://goccojapan.com/pit.html>)(参照 2014-11-15).
- [17] 大日本印刷株式会社:AR パンフレット .<[http://www.dnp.co.jp/cio/solution/detail/10099328\\_5309.html](http://www.dnp.co.jp/cio/solution/detail/10099328_5309.html)>
- [18] 上田哲也,笠原邦彦,小田将史,原豪紀,もたい五郎,斎藤武,中川剛志:パンフレッ



- トを利用したインタラクティブ案内システム, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 16(1), pp.13-22(2011).
- [19] 牧野 由樹子, 筧 康明:"Metamorphic Light: 紙の変形と張りをを用いた映像操作インタフェースの検討", 情報処理学会シンポジウムインタラクシオン 2011, デモ発表 (2011.3).
- [20] KOMAKOMA Designing tools for Animation Workshops: 布山タルト, <<http://komakoma.org>> (参照 2014-7).
- [21] 激走紙レーザー: リコー, <<http://oekaki.ricoh.co.jp>> (参照 2014-7).
- [22] 近藤菜々子, 水野慎士:"スケッチブックでのお絵描きを三次元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).
- [23] Mitani, J., Suzuki, H.: Making Papercraft Toys from Meshes using Strip-based Approximate Unfolding, Proc. ACM SIGGRAPH 2004, pp.259-263 (2004).
- [24] 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 2014-7).
- [25] Xian-Ying Li, Chao-Hui, Shen, Shi-Sheng, Huang, Tao Ju, Shi-Min Hu: Popup: automatic paper architectures from 3D models, Proc. ACM SIGGRAPH 2010, papers, Article No. 111(2010).
- [26] Jeng-Shyang Pan, Ching-Nung Yang, Chia-Chen Lin: The Creation of V-fold Animal Pop-Up Cards from 3D Models Using a Directed Acyclic Graph, Proc. ICS 2012, pp.465-475(2012).
- [27] Florian, A., Stefan, S., Albrecht, S., Jörg, M., Nemanja, M.: How to evaluate public displays, PerDis '12 Proceedings of the 2012 International Symposium on Pervasive Displays Article No. 17(2012).
- [28] Uta, H., Nina, V., Kai, K., Helsinki, G., Jacucci, H., Sheelagh C., Ernesto A.: Large displays in urban life - from exhibition halls to media facades, CHI EA '11 CHI '11 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems pp.2433-2436(2011).
- [29] 鈴木浩, 服部哲, 佐藤尚, 速水治夫, 空間位置に対応した詳細コンテンツ提示システム, 情報処理学会研究報告, Vol.2013-GN-86, No16(2013).
- [30] 森 博志, 白鳥 和人, 星野 准一: 往来者の注意を喚起するヴァーチャルヒューマン広告提示システム, 情報処理学会論文誌 52(4), pp1453-1464(2011).
- [31] 小田 将史, 松尾 佳菜子, 原 豪紀, もたい五郎: リアルタイム画像合成技術を用いたデジタルサイネージシステム, 情報処理学会研究報告. CG-140(1), pp1-5(2010).
- [32] トヨタ自動車株式会社: Introducing the Entirely New Lexus ES in Cine Print. <<http://www.lexus.com/stunning/>> (参照 2013-04-09).

- [33]Reporters Without Borders Non Governmental Organization :The Voice. Cannes Lions International Festival of Creativity,Cannes Media Lions 2011,[http://www.canneslionsarchive.com/featured/channelList.cfm?playlist\\_id=5528](http://www.canneslionsarchive.com/featured/channelList.cfm?playlist_id=5528)( 参照 2013-04-09).
- [34] 鈴木浩, 服部哲, 佐藤尚, 速水治夫, ポスター上の座標位置に対応したデジタル情報を表示可能なハイパーパネルシステムの提案, 情報処理学会論文誌, vol55-1,pp.151-162(2014).
- [35]James,S. Jon,C. Hao,F. and Pin,H,H.:Smart Signage: A Draggable Cyber-Physical Broadcast/Multicast Media System,IEEE,Green Computing and Communications (GreenCom), 2012 IEEE International Conference on pp.468 - 476(2012).
- [36] 宮田章裕, 瀬古俊一, 青木良輔, 橋本遼, 石田達郎, 伊勢崎隆司, 渡辺昌洋, 井原雅行, デジタルサイネージとモバイル端末を併用した複数人向け情報提示システムの評価, 電子情報通信学会技術研究報告, 研究報告, 信学技報 113(470),pp7-12(2014).
- [37]Grid Systems in Graphic Design, Arthur Niggli(1996).
- [38] jPlayer,happyworm,<http://jplayer.org>( 参照 2014-10-17).
- [39]Igarashi,Y.,Igarashi,T.: "Pillow: Interactive Flattening of a 3D Model for Plush Toy Design" Lecture Notes in Computer Science, Springer (SmartGraphics 2008), Vol. 5166/2008, pp.1-7, Rennes, France, August 2008.
- [40]Igarashi,Y.,Igarashi,T.:” Holly:A Drawing Editor for Designing Stencils,IEEE Computer Graphics and Applications,30(4),pp.8-14(2010).
- [41]Hiroshi,S.,Sato,H.,Hayami,H.:Fight our shadow robot,Proc. ACM SIGGRAPH 2013, Studio Talks Article No. 15 (2013).
- [42]Foldify:pixle,<<http://www.foldifyapp.com>> ( 参照 2014-7).
- [43] どーもタウン:日本放送協会, <<https://www.nhk.or.jp/domo/town/>>( 参照 2014-7).
- [44]colAR App:HIT lab NZ<<http://colarapp.com>> ( 参照 2014-7).
- [45]Chromville:Imascono Art S.L.,<<http://chromville.com>> ( 参照 2014-7).
- [46] うごく! シャッフルぬりえ:株式会社ピコトン, <<http://picoton.com/>>( 参照 2014-7).
- [47] お絵かき水族館:チームラボ株式会社, <<http://www.team-lab.com/sketchaquarium>>( 参照 2014-7).
- [48] 井上昭人:ゲーミフィケーション—<ゲーム>がビジネスを変える,NHK出版(2012).
- [49]Egenfeldt-Nielsen, S.: “Beyond edutainment: The educational potential of computer games” . Continuum Press(2007).
- [50] 伊藤俊廷, グェントウンゴク, 杉本 雅則, 稲垣 成哲 :GENTORO : モバイル複合現

実環境におけるストーリーテリング支援システムの設計と評価, 情報処理学会論文誌, 50(12),pp2819-2830 (2009).

[51]Hilary McLellan:Digital storytelling in higher education. Journal of Computing in Higher Education Vol.19, Issue 1, pp 65-79(2007).