

Title	自己決定理論に基づいた運動の動機付けを支援するインタラクティブコンテンツの研究
Sub Title	Study on interactive content to enhance the exercise motivation based on self-determination theory
Author	窪田, 尚洋(Kubota, Takahiro) 小木, 哲朗(Ogi, Tetsuro)
Publisher	慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科
Publication year	2016
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2016年度システムデザイン・マネジメント学 第233号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	<a href="https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40002001-00002016-0035">https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40002001-00002016-0035</a>

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

修士論文

2016 年度

自己決定理論に基づいた運動の動機付けを  
支援するインタラクティブコンテンツの研究

窪田 尚洋

(学籍番号 : 81533193)

指導教員 小木 哲朗

2017 年 3 月

慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科  
システムデザイン・マネジメント専攻

# 論 文 要 旨

学籍番号	81533193	氏 名	窪田 尚洋
論文題目：  自己決定理論に基づいた運動の動機付けを支援するインタラクティブコンテンツの研究			
(内容の要旨) コンピュータ技術の発達に伴い、コンピュータグラフィックス等を用いたデジタルコンテンツの制作が盛んになってきている。コンテンツがデジタルになったおかげで入出力装置を介し、利用する人とやりとりされる情報を通して、随時コンテンツの内容を変更し人に提供するというインタラクティブコンテンツが実現しやすくなった。 近年ではセンサ技術や画像処理技術、音声処理技術などを組み合わせることでユーザの動作に対してリアルタイムに反応するインタラクティブコンテンツが可能となりエンタテインメントの分野やコミュニケーションツールなどで大きな注目を集めている。特にスポーツ競技の分野においてはセンサ類を用いてトップアスリートの運動解析や画像解析など行われるようになり、さらにスポーツエンタテインメントの分野では既存のスポーツ競技にデジタルの要素を足し、新しいスポーツ体験を提案するなど多くの試みが行われている。しかし、スポーツ競技という観点での利用は進む一方、運動という観点では未だインタラクティブコンテンツが利用される例は少ない。継続的な運動を行い健康寿命伸ばすことが重要だと叫ばれるなか、数多くの技術や方法論を複合し、ユーザに新しい体験を与えることができるインタラクティブコンテンツの利用に期待が高まっている。 そこで本研究では、インタラクティブコンテンツが運動の動機付けを支援する効果があるという仮説を立て、その検証、評価を行った。具体的には運動の動機付けには内発的動機づけ高めることが必要不可欠であり、内発的動機づけを高めるために、センサやカメラから得られたユーザの身体情報からリアルタイムに視覚フィードバックを行うインタラクティブなシステムを構築し、自己決定理論に基づいて評価する実験を行った。 今回、その実験結果からインタラクティブコンテンツがユーザの運動の動機付けを高める結果が確認できたため、本提案の有効性と妥当性を示すことができた。			
キーワード (5 語) インタラクティブコンテンツ, 自己決定理論, 運動の動機付け, 内発的動機付け, 視覚フィードバック			

## SUMMARY OF MASTER'S DISSERTATION

Student Identification Number	81533193	Name	TAKAHIRO KUBOTA
<p><b>Title</b></p> <p style="text-align: center;">Study on Interactive Content to Enhance the Exercise Motivation Based on Self-Determination Theory</p>			
<p><b>Abstract</b></p> <p>Production of digital contents using computer graphics and other techniques are getting active with the development of computer technology. Interactive contents, which provide adapted contents for the users based on the information obtained through an I/O device, became feasible by the digitized contents.</p> <p>In recent years, interactive contents attract attention of entertainment, communication tool and other industry since it became to be able to response in real time against the action of users by the combination of sensor technologies, image processing technologies or voice processing technologies. Especially in the field of sports, motion analysis and image analysis using sensors came to be implemented, and a lot of attempts are implemented in the sports entertainment field such as providing new sports experience by adding digital element on existing sports. However, interactive contents are not widely used for exercise while it is getting popular from the perspective of sports. Lengthening healthy life span by constant exercise is considered important, and effective utilization of interactive contents has high expectation by providing new experience for the users as the result of compounding several techniques and theory.</p> <p>Therefore, this study verifies and evaluates the hypothesis that interactive contents have an effect of supporting motivation for exercise. Specifically, an interactive system that gives visual feedback of physical information of the users in real time to enhance intrinsic motivation is built, and an experiment is implemented based on Self-Determination Theory for the evaluation. The result of the experiment shows effectiveness and validity of the hypothesis since the effect of enhancing motivation for exercise is confirmed.</p>			
<p><b>Key Word(5 words)</b></p> <p>Interactive Content, Self-Determination Theory, Exercise Motivation, Intrinsic Motivation, Visual Feedback</p>			

## 目次

第1章 序論 .....	9
1.1 研究背景 .....	9
1.2 インタラクティブコンテンツ .....	15
第2章 インタラクティブコンテンツの歴史 .....	21
2.1 遊びの科学的研究 .....	22
2.1.1 「遊び」の歴史とコンピュータを用いたコンテンツとの関係 .....	22
2.1.2 コンピュータを使ったゲーム .....	26
2.2 近年のメディアアートやテクノロジーアートとの関係 .....	28
2.2.1 即興音楽 .....	28
2.2.2 ヴィジュアルミュージック .....	30
2.2.3 クリエイティブコーディング .....	32
2.3 インタラクティブコンテンツの社会的活用事例 .....	34
2.3.1 リハビリテーション .....	34
2.3.2 自治体での活用例 .....	35
2.3.3 企業広告での活用事例 .....	37
第3章 自己決定理論 (Self-Determination Theory) .....	38
3.1 自己決定理論 .....	39
3.1.1 自己決定理論による動機付け .....	39
3.1.2 内発的動機付けと外発的動機づけ .....	41
3.2 動機付けを満たす要素 .....	43
3.2.1 自己有能感 .....	43
3.2.2 自己決定感 .....	44
3.3 外的要因がもたらす2つの効果 .....	45
3.3.1 アンダーマイニング効果 .....	45
3.3.2 エンハンシング効果 .....	47
3.4 外的要因の機能 .....	49
3.4.1 道具的／誘引機能 .....	49
3.4.2 評価的／フィードバック機能 .....	50
3.4.3 社会的制御／制約機能 .....	51
第4章 システムの構築 .....	52
4.1 リアルタイムフィードバック .....	52
4.2 システム構成 .....	53

4.2.1	システムの目的と全体図.....	53
4.2.1	openFrameworks の活用.....	56
4.2.2	追加アドオン.....	60
4.2.3	Kinect の活用.....	61
4.3	画像処理.....	63
4.3.1	モーションキャプチャについて.....	63
4.3.2	深度情報取得.....	64
4.3.3	背景差分法、2 値化.....	65
4.3.4	オブティカルフロー.....	68
4.4	画像変化.....	70
4.5	コントロールインタフェース.....	73
第 5 章	評価実験.....	83
5.1	インタラクティブコンテンツの注目度実験.....	83
5.1.1	実験概要.....	83
5.1.2	実験の目的.....	83
5.1.3	実験環境.....	83
5.1.4	実験方法.....	86
5.1.5	パーティクル設定の検討.....	87
5.2	注目度実験結果.....	90
5.3	エンハンシング効果確認実験.....	93
5.3.1	実験概要.....	93
5.3.2	実験の目的.....	93
5.3.3	ラジオ体操の効能.....	95
5.3.4	実験方法.....	96
5.3.5	アンケート項目.....	101
5.4	実験結果.....	103
5.4.1	対応ある t 検定結果.....	103
5.4.2	実験の考察.....	104
第 6 章	インタラクティブコンテンツの可能性.....	107
6.1	新たなインタラクティブコンテンツ.....	107
第 7 章	結論.....	109
7.1	研究の考察.....	109
7.2	今後の研究課題.....	110
	謝辞.....	112
	参考文献.....	113

## 目次

- 1.1 デジタルコンテンツの市場規模の推移とデジタル化率
- 1.2 動画解析ソフトを使ってフォームチェック
- 1.3 バーチャルホッケーの様子
- 1.4 健康日本 21(第二次)の推進に関する資料
- 1.5 博物館の AR 技術利用例
- 1.6 テレビのインタラクティブ化
- 1.7 ドイツのビールブランド「Astra」社のデジタルサイネージ
- 2.1 ソマパズル
- 2.2 自己決定理論による連続体としての動機づけ
- 2.3 己有能感と自己決定感の関係
- 2.4 仮説イメージ図
- 2.5 道具的／誘引機能
- 2.6 評価的／フィードバック機能
- 2.7 評価的／フィードバック機能
- 3.1 エンタテインメントシステムの定義
- 3.2 Table for Two
- 3.3 オデッセイ
- 3.4 カラーオルガン
- 3.5 James Whitney 「Lapis」
- 3.6 Design by Number 表示画面
- 3.7 Wii Fit
- 3.8 Wii Fit によるリハビリテーション
- 3.9 環境活動紹介コンテンツ「TreeViewer」
- 3.10 3D で環境活動を紹介する様子
- 3.11 4K3D 座喜味城コンテンツ
- 3.12 SAI DRIVE-GO-ROUND
- 4.1 システムの全体図
- 4.2 openFrameworks
- 4.3 openFrameworks の重要ファイル
- 4.4 Kinect
- 4.5 Kinect 内蔵機能
- 4.6 LIGHT CODING と TOF 方式
- 4.7 背景差分例

- 4.8 2値化処理
- 4.9 オプティカルフロー
- 4.10 流体シミュレーション
- 4.11 Emit all time in contour
- 4.12 Emit only if movement
- 4.13 画像変化ブロック図
- 4.14 MAIN MENU／BASICS
- 4.15 Kinect panels
- 4.16 OPTICAL FLOW
- 4.17 PARTICLE EMITTER
- 5.1 TH-P42VT2
- 5.2 CR-PL12K
- 5.3 通行人とシステムの関係
- 5.4 モニタ出力画面
- 5.5 差分画像
- 5.6 2値化画像
- 5.7 パーティクル効果の設定値
- 5.8 被験者の延人数
- 5.9 2人以上同時に使うケース
- 5.10 システム使用時間
- 5.11 年代別体力年齢
- 5.12 NP-V300W 3000Lumens High Brightness Mobile
- 5.13 人物とシステムの関係
- 5.14 実験の様子
- 5.15 アンケート用紙
- 5.16 アンケート結果



## 表目次

- 1.1 アナログ、デジタルとインタラクティブコンテンツの関係
- 1.2 インタラクティブコンテンツの関連分野
- 4.1 3つのファイル機能
- 4.2 Kinect センサのスペック項目
- 5.1 Kinect v1 の仕様
- 5.2 Kinect の使用(エンハンシング効果確認実験)

# 第1章 序論

第1章では現状及び問題提起を行なったうえで本研究の提案を行い、現在定義されているインタラクティブコンテンツの説明を行う。

## 1.1 研究背景

コンピュータ技術の発達によって、コンテンツの多くはコンピュータを使って制作される、またコンピュータを使って制作されたコンテンツはコンピュータもしくはそれと同様の機能を持つ家電などで利用されることが多い。近年ではFig. 1.1で示すようにコンテンツのデジタル化が急速に進んでいる。一般財団法人デジタルコンテンツ協会が行った「デジタルコンテンツの市場規模の推移とデジタル化率の調査」[1]によると過去10年間でデジタルコンテンツが市場を占める割合が約2倍になり、それに伴ってデジタル化率も大きく伸びているのがわかる。これを牽引したのはテレビ放送のデジタル化だが今後はインターネット広告、電子書籍、電子雑誌のようにデジタル化の伸び代を持つ分野と、ゲームのようにデジタル化した市場自体の拡大が牽引する形でデジタル化率がさらに高まる見込みである。

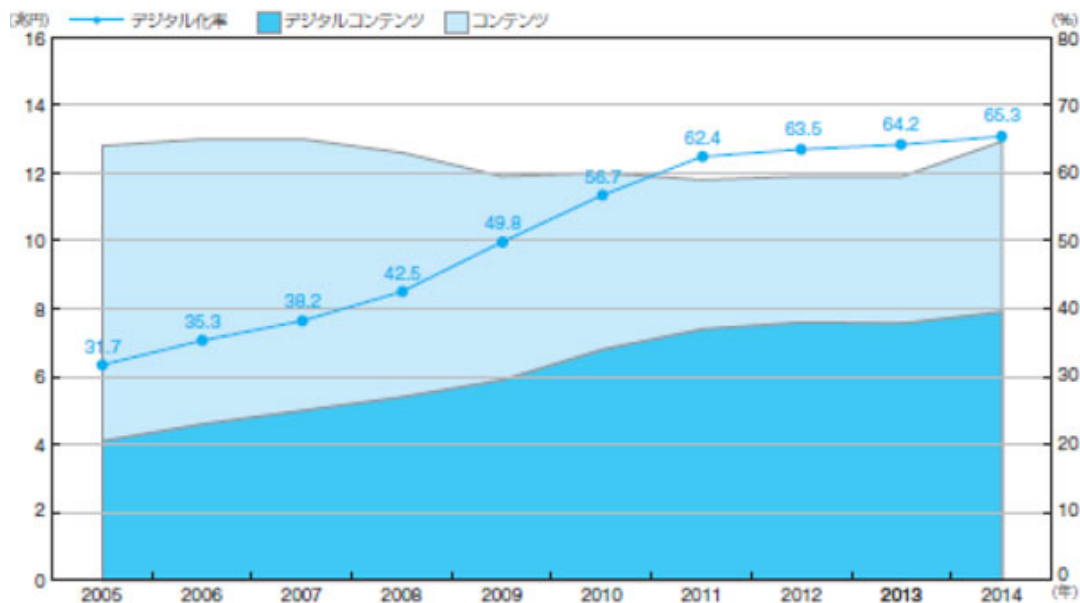


Fig. 1.1 デジタルコンテンツの市場規模の推移とデジタル化率

このようにデジタルコンテンツは情報処理や映像表示の能力を向上させながら、ゲームやアニメなどのコンテンツ産業を発展させる原動力となってきた。またコンテンツがデジタルになったおかげで入出力装置を介し、利用する人とやりとりされる(インタラクション)される情報を通して、随時コンテンツの内容を変更し人に提供するというインタラクティブコンテンツが実現しやすくなり、センサ技術や画像処理技術、音声処理技術などを組み合わせることでユーザの動作に対してリアルタイムに反応するインタラクティブコンテンツが可能となった。これはエンタテインメントの分野やコミュニケーションの分野などで大きな注目を集めている。

特にスポーツ競技の分野においてはセンサ類を用いてトップアスリーの運動解析や画像解析などが行われるようになり Fig. 1.2 で示すよう

に、選手のバッティングの情報を元にフォームの改善などがなされている。

さらにスポーツエンタテインメントの分野では既存のスポーツ競技にデジタルの要素を足し、新しいスポーツ体験を提案するなど多くの試みが行われている。ここでは一例としてFig. 1.3 アミューズメント施設で実際に設置されているゲームを下記に記す、ここでは床面のスクリーンに映し出された映像の中で自分の体をコントローラ変わりにしてバーチャルホッケーを行なっている。

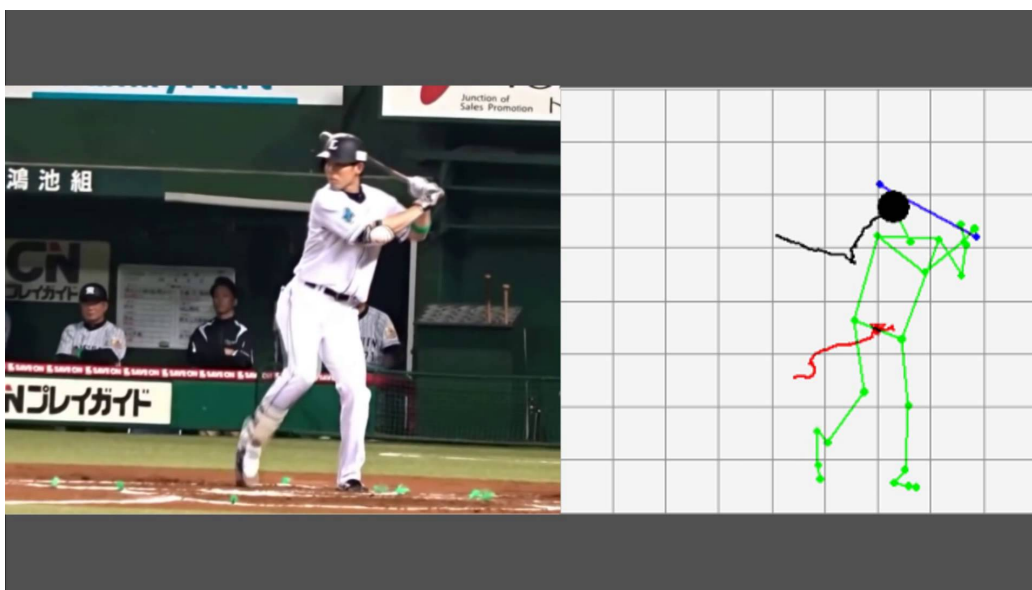


Fig.1.2 動画解析ソフトを使ってフォームチェック



Fig.1.3 バーチャルホッケーの様子

しかしスポーツ競技や遊びという観点での利用は進む一方、運動という観点では未だインタラクティブコンテンツが利用される例は少ない。コンテンツの制作や表現を支援するコンテンツ技術は、情報処理や映像表示の能力を向上させながら、ゲームやアニメなどのコンテンツ産業を発展させる原動力となってきた。コンピュータグラフィクスや3D、VRなどの技術分野に加え、身体を用いたインタフェース技術や人間の五感に働きかける技術など、新たな技術の研究開発も活発に行われ、芸術やコミュニケーションの分野でも新たな文化を生み出している。今後このようなコンテンツ技術は、医療やロボットなど他の産業分野に応用することで、より大きな役割を発揮することが期待されているが未だその検証は部分的なものであり、運動に対する明確な根拠となる検証がほとんどないのが現状である。

また、Fig. 1.4 は厚生労働省が発表している日本の男女別平均寿命と健康寿命の対比である。平均寿命と健康寿命との差は日常生活に制限のある「不健康な期間」を意味し、この調査から平成 22 年時点で男性は 9.13 年、女性は 12.68 年となっている、今後平均寿命の延伸に伴い、この健康寿命との差が拡大すれば、医療費や介護給付費の多くを消費する期間が増大することになる、この点から健康増進のために全年齢を対象に運動習慣の定着が求められている。

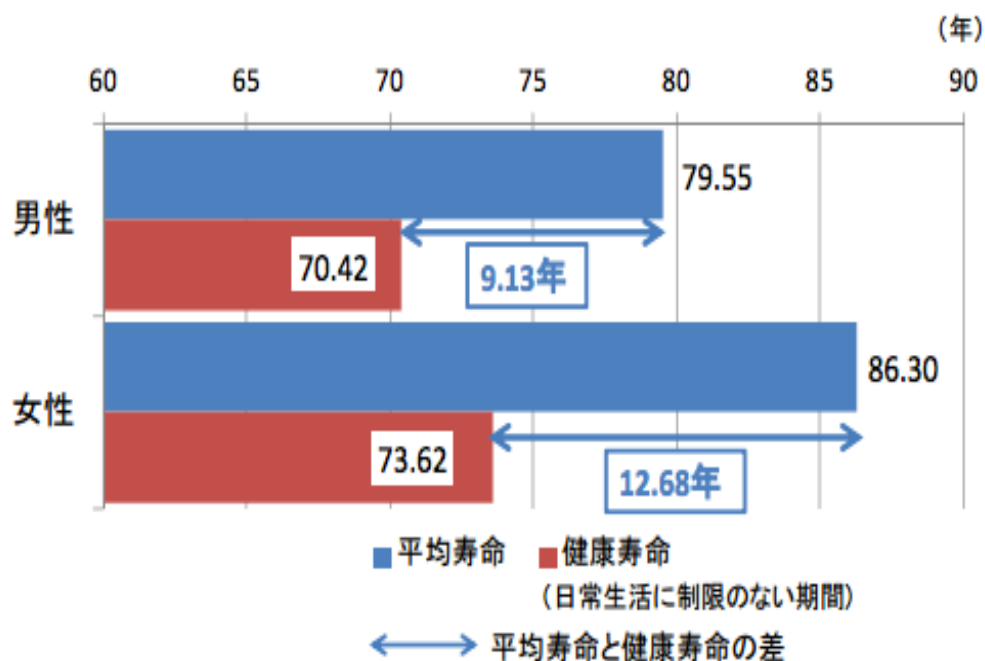


Fig.1.4 健康日本 21(第二次)の推進に関する資料 (平成 22 年版)

そこで本研究では、特に視覚にフィードバックをもたらすインタラクティブコンテンツを使い、運動の動機づけに役立てることがで

きるかを検証した。運動の習慣化にはそれを続ける動機付けが必要なのは自明である。本研究では例えばラジオ体操の様な単純で退屈だが短時間で運動効果が高い運動をインタラクティブコンテンツにすることで動機付け支援に役立てることができないかという仮説のもと研究を行っている。また、その際の評価基準として Deci & Ryan によって確立された動機づけ現象全般に関わる理論である「自己決定理論」 [2]を使用した。

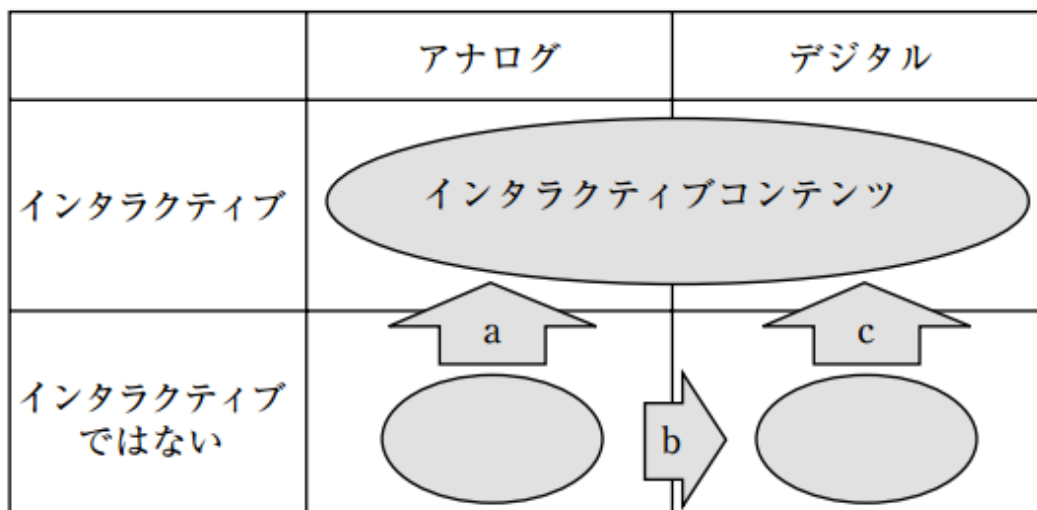
## 1.2 インタラクティブコンテンツ

この項では現在のインタラクティブコンテンツの位置づけや重要性を述べる。

インタラクティブコンテンツの定義として北村が提唱している[3]「ある情報を含むコンテンツを、制作者や提供側から一方的に送りつけるだけではなく、それを見たり利用したりしている人からの反応に応じて、内容を適宜変更・修正して、ある頻度で連続して提供する形式のコンテンツを一般にインタラクティブコンテンツと呼ぶ」と示されている。

原理的には、アナログとデジタル、そしてインタラクティブか否かの組み合わせで、4種類の可能性がありえる。その関係を Table. 1. 1 に示す。

Table.2.1 アナログ、デジタルとインタラクティブコンテンツの関係(北村 2014)





代表的なアナログコンテンツは本やポスターなどの印刷物であり、これらは本来インタラクティブではないが、例えば飛び出す絵本などアナログのままにインタラクティブ性を付加して魅了を増したコンテンツは昔からよく利用されてきた (Table. 1.1)。最近ではアナログ情報をデジタル情報に関連付ける手段としてバーコードや AR マーカー、IC タグなどを用いてデジタル化し、さらにインタラクティブ性を付加し価値を増す工夫も見られる。これらはアナログコンテンツが取り扱うことが多い美術館や博物館などで試みられていることが多い (Fig. 1.5)。



Fig.1.5 博物館の AR 技術利用例

一方インタラクティブではないデジタルコンテンツの代表は従来の映画やテレビ放送であるが、最近ではテレビ放送などで実験的にインタラ

クティブ性を導入する動きも見られる (Fig. 1.6)。



Fig.1.6 テレビのインタラクティブ化

インタラクティブコンテンツは人に分かりやすさ等の利便性を提供できるだけでなく、利用する人との間でのやりとりを適切に行わせることによって、その人の感動の大きさや、さらには満足感も高めることができる、さらにインタラクティブ性を取り入れたことによって表現力を増したコンテンツは臨場感を高めることもできる、インタラクションの方法は言語情報も用いる場合もあれば非言語の場合もある。非言語情報のやりとりで代表的なものは手や指のジェスチャーや身体そのものを使ったジェスチャーなどが挙げられる、またマウスやコントローラなどの入力装置を操作するものはコンピュータの誕生以来ずっと使用され続けている。

Table. 1.2 は主にデジタルコンテンツに絞って、直接的に関係を持つと思われる関連分野を要素技術、理論方法論、応用や展開先にまとめたも

のである。

Table.1.2 インタラクティブコンテンツの関連分野

主な要素技術	理論、方法論	応用、展開先
ユーザインタフェース コンピュータインタラクション コンピュータグラフィックス アニメーション 画像・映像処理 音楽情報処理 人工知能 など	情報科学 心理学 知覚・認知科学 感性学 医学 社会学 デザイン学 人間工学 など	放送・通信 映画・芸術 インターネット web ソーシャルメディア ゲーム(ビデオ・シリアス) 教育・医療・福祉 出版・広告 スポーツ 音楽・ファッション など

インタラクティブコンテンツ制作のために重要な分野とされているのがユーザインタフェースやヒューマンコンピュータインタラクションと呼ばれる分野の知見や技術である。これらはコンテンツと人との間に良いやりとりを実現し、利用する人に素敵な体験を提供する。視覚系の情報は画像・映像処理やコンピュータビジョンの技術を用いて、また聴覚系のコンテンツは音楽情報処理によって実現されている。

また触覚や力覚、体性感覚などの感覚情報を用いたコンテンツや、これらを視覚・聴覚に組み合わせたマルチモーダルなコンテンツはバーチャルリアリティの分野で盛んに研究されている技術を利用して実現することができる。さらにオーグメンテッドリアリティの技術は、現実世界のアナログコンテンツをデジタルコンテンツに関連づけたインタラクティブなコンテンツを制作するために有力である。

インタラクティブコンテンツに関係する理論や方法論に関しては、心理学、認知科学、感性学、デザイン学、人間工学、医学、生理学などの

知見を利用して数多くのコンテンツが作られている。

ソーシャルゲームやコンソールゲームなどはインタラクティブコンテンツの代表的な応用・展開の例であるが、それに限らず様々な分野で利用され、その範囲はさらに拡大しつつある。デジタル化と共にインターネットと連携してインタラクティブ性をさらに高めた高付加価値を持つコンテンツが生まれ、我々が生活する環境の身の回りにある様々なアナログコンテンツをデジタルコンテンツに関連づけ、インタラクティブ化する流れは今後ますます発展すると思われる。例えばドイツのビール会社が設置したデジタルサイネージバー(Fig. 1.7)はサイネージに埋め込まれたカメラで性別と年齢を分析し、大人の女性だけにビールを勧めるという機能を盛り込んだ、このサイネージに男性や子供が近づくと年齢を忠告し、男性への販売を拒否するなどいった機能も実装している。



Fig. 1.7 ドイツのビールブランド「Astra」社のデジタルサイネージ

Fig. 1.7 は一例ではあるが、このように通行する人の状況や興味に応じて効果的に情報を提供するデジタルサイネージなどインタラクティブコンテンツは日常生活の様々な場面での導入が検討されている。

## 第2章 インタラクティブコンテンツの歴史

第3章ではインタラクティブコンテンツの歴史を「遊び」に関する科学的研究を引用しつつ、コンピュータを用いたコンテンツや近年のメディアアートやLIVEコーディングに至るまでの解説を行うことを目的とする。またそうした背景から実際に様々な状況で使用されているインタラクティブコンテンツを紹介する。



## 2.1 遊びの科学的研究

### 2.1.1 「遊び」の歴史とコンピュータを用いたコンテンツとの関係

インタラクティブコンテンツを語る前にその主要技術であるコンピュータを用いた遊戯コンテンツを語る必要がある。ここではその源流となる「遊び」の歴史から「エンタテインメントシステム」までの説明を行う。

遊びについて注目した研究は長い歴史を持つ、人間はなぜ遊ぶか、なぜ面白いと感じるかといった人間解明に迫る分野は認知科学やロボット開発と共に、また現代であれば AI 分野と共に継続して探求されている。白井の論文である「エンタテインメントシステム」[7]の中で、その研究分野は大きく3つに分類されている。まず「人間はなぜ遊ぶのか」「なぜ面白いと感じるのか」といった源流や遊びの理論に関する研究があり、次に「その遊びはどのような種類のものであるか」という分類、そして実際の遊びを観察して行動から分類、動機、発達に結びつける研究である。

近代から現代へ遊び論を発展させたのは、文化の基礎として遊び論を論じたホイジンガ、社会や文化の指標として遊びを捉え直そうとしたカイヨワの両者である。ホイジンガはオランダの歴史・文化しかであり代表的な著書「ホモ・ルーデンス」[8]において遊ぶという一見不真面目に見られる行為が一般的に考えられているより真面目な機能を果たしている、人間文化の本質と密接に関わりあっているという問題提起をしている。ホイジンガがまとめた「遊び」の形式的な特徴は以下のようなになる。

- 1 第一に自由な行為である、命令されてする遊びは遊びではない
- 2 「必要」や「欲望」の直接的満足という課程の外にある、また遊びはこの欲望の過程を一時的に停止させる
- 3 日常生活から「場と持続時間によって区別される」完結性と限定性が「遊び」の特徴を作り、反復が可能になる
- 4 一つの固有な「絶対的秩序」が続べている「遊び」は秩序そのものである
- 5 「遊びは美しくあろうとする傾向」がある、秩序や緊張、リズムやハーモニーといった性質がある

また、現代に入りフランスの思想家であるカイヨワがその著書「遊びと人間」[9]においてホイジンガの「ホモ・ルーデンス」における「遊び」の理論的分析と文明の発展における役割の重要性を高く評価した上で以下のようにホイジンガの説を再定義した。

- 1 「自由な活動」遊戯者が強制されないこと、もし強制されれば遊びはたちまち魅力的な愉快的な楽しみという性質を失ってしまう。
- 2 「隔離された活動」あらかじめ決められた明確な空間と時間の範囲



内に制限されていること。

- 3 「未確定の活動」ゲーム展開が決定されていたり、先に結果が分かっていたりしてはならない。創意の必要があるのだから、ある種の自由が必ず遊戯者の側に残されていなければならない。
- 4 「非生産的活動」財産も富も、いかなる種類の新要素も作り出さないこと。(賭博のような)遊戯者間での所有権の移動を除いて、勝負開始時と同じ状態に帰着する。
- 5 「規則のある活動」約束ごとに従う活動、この約束ごとは通常法規を停止し、一時的に新しい法を確立する。そしてこの法だけが通用する。
- 6 「虚構の活動」日常生活と対比した場合、二次的な写実、または明白な非現実であるという特殊な意識を伴っていること。

これらカイヨワが再定義した説はホイジンガの説に比べより洗練されている。カイヨワとホイジンガの研究によってこの時代の遊びの特徴の分類化がなされ、またこれは遊びの本質という面でも非常によく整理されており現代のエンタテインメント制作の場でも引用されることが多い。

これらを受けて白井は遊びの6つの条件を満たし、遊戯者が自発的に「遊戯状態」を保てるようにコンピュータを用いて設計されたシステムを「エ

「エンタテインメントシステム」と名付けた。Fig. 3.1はそれを図解したものである。自由、隔離、規則、無利益、虚構などはよりシンプルな要素として再定義され、「場所」「行動」「物質」といった界面と接点の存在などが明確に示された。現代で考えるとコントローラなどの電気信号の入力やバーチャル世界の行動が想定されるが、これらは各システムによって具現化が異なる。

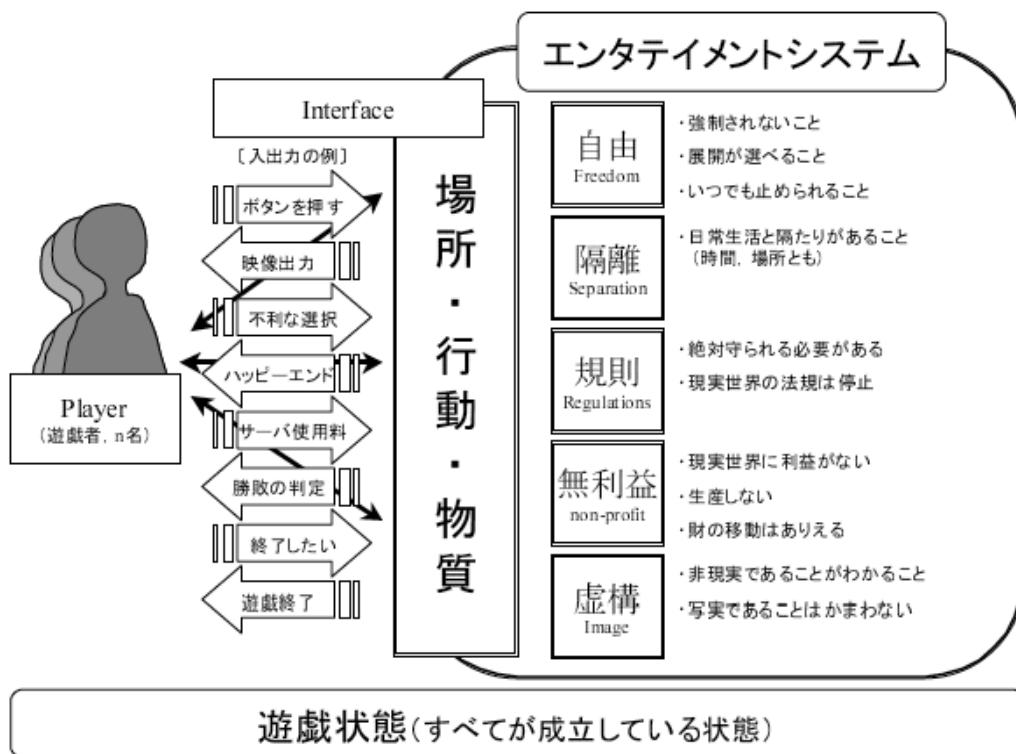


Fig. 3.1 エンタテインメントシステムの定義 (白井 2004)

## 2.1.2 コンピュータを使ったゲーム

インタラクティブコンテンツの代表的なものにコンピュータゲームがある。本項ではその歴史を紹介する。

「計算を扱う機械」の起源は、紀元前2000年頃に古代バビロニアで発明された「アバカス」と呼ばれる現在のそろばんの原型となっているものまで遡れる。そしてそれをプログラム可能な計算機、コンピュータとして発達させたのは 19 世紀イギリスの数学者チャールズ・バベッジである。チャールズ・バベッジの構想ではすでに機械にゲームを行わせることを予想していたとされているが、実際にユーザが遊ぶことができるコンピュータゲームが作られたのは1912年になる。この年にスペインの技術者レオナルド・トーレス・ケペードの発明した「エド・アヘッドレシスタ」が最初のコンピュータゲームと呼ばれている。これはチェス対局の終盤を再現した「詰みチェス」と呼ばれるゲームで、実際のチェス盤上で機械が操作する白のキングとルークが人間の使う黒のキングを詰ませるものであった。1958 年にはオシロスコープモニターを使った「Table for Two」(Fig.3.2)と呼ばれるテニスゲームが誕生した。

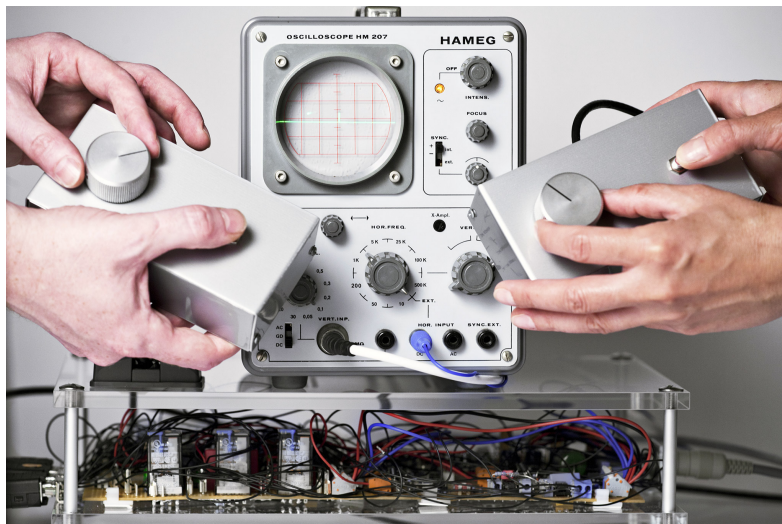


Fig.3.2 Table for Two

1960年代に入りいくつものコンピュータゲームが開発されるが「Table for Two」のように特殊なモニタやミニコンピュータと呼ばれた専用装置を使ってプレイするものであったため一般のユーザに普及することはなかった。しかしラルフ・ベアが家庭用テレビを使ってプレイできるゲーム機のアイディアを考案 1972年には世界初の家庭用ゲーム機である「オデッセイ」(Fig.3.3)を発表した



Fig.3.3 オデッセイ

その後、家庭用ゲーム機は様々なメーカーがハードウェアを開発し、中でも任天堂の「ファミリーコンピュータ」や「ゲームボーイ」、SONY の「Play Station」、Microsoft の「Xbox」などが全世界に大きく普及した。

いずれのコンピュータゲームもユーザの入出力に応じて内容が適宜変更されていくものであるためインタラクティブコンテンツの定義に当てはまる。また、近年ではオンライン上で複数のユーザが同時プレイすることが増えインタラクションの対象が人と機械だけでなく、人と人同士のインタラクションがコンピュータゲーム内で生まれている。

## 2.2 近年のメディアアートやテクノロジーアートとの関係

### 2.2.1 即興音楽

視覚にフィードバックもたらずインタラクティブコンテンツに対して、聴覚に働きかけるインタラクティブコンテンツは古い歴史を持つ、「即興音楽」に代表されるそれは「完全即興」や「フリー・インプロゼーション」と呼ばれ現代でも JAZZ ミュージシャンや HIPHOP ミュージシャンなどが新たな音楽を作り続けている。

ここで「即興音楽」の歴史的概観を Dobbins, B[10]の文献を参考にしながら若干の考察を付け加えて述べる。

#### \* 古代

即興演奏の始まりは、古代ギリシャ人と共に西側から起こる。彼らは、自己の娯楽のためあるいは芸術的訓練のために、それを練習し特別な宗教的祭日は詩と音楽の両方の即興のための好機であった。

#### \* 中世

西方教会の単旋律聖歌であるグレゴリアン・チャントの発展と共にヨーロッパの伝統の一部となった。

#### \* バロック時代

即興は 17・18 世紀のバロック時代そして初期古典派の時代に頂点に達した。全ての教会、宮廷、社会制度の中で即興はなくてはならない文化になった

#### \* 古典派からロマン派

古典派の時代では即興演奏は多くの部分で用いられていたが、バロック時代に見せた隆盛は衰え始めた。この時代の代表的なフォームの一つに独奏協奏曲のカデンツァが挙げられる

#### \* 近代から現代

**JAZZ** の起こりによって改めて即興演奏が定着し始める。しかし **JAZZ** の即興スタイルは全く無規則に演奏されるのではなく、原曲のコード進行またはそこから音楽理論的に展開可能なコードに基づいて行われている。またクラシック作曲家の間でも即興演奏への新たな関心が生まれるようになった、それは自由な無調性、気まぐれの電氣的機械の操作を含む比較的無規律なものであった。

以上のように即興演奏の歴史は古代まで遡り現代まで形を変え脈々と受け継がれている。これらの即興音楽は演奏者、聴衆、音楽的に展開可能な理論などに反応して内容を適宜変更していく。これはインタラクティブコンテンツの定義である「ある情報を含むコンテンツを、制作者や提供側から一方的に送りつけるだけではなく、それを見たり利用したりしている人からの反応に応じて、内容を適宜変更・修正して、ある頻度で連続して提供する形式のコンテンツを一般にインタラクティブコンテンツと呼ぶ」に合致する。

## 2.2.2 ヴィジュアルミュージック

人は流れている音楽に対して何らかのイメージを想起する、昔からそのイメージを具現化できないか模索してきた、絵画などにはその歴史の痕跡がしっかりと残されている。しかし近年になって音楽の具現化という表現は大きな進歩を見せている。ここではその代表例であるヴィジュアルミュージックと呼ばれる文化を紹介する。

ヴィジュアルミュージックは音楽を視覚的に表現、もしくは音楽と視覚表現を融合させる試みで、映像面では抽象性の高いものとなるケースが多い。音楽と視覚的な要素を融合するという試みは、カラーオルガン (Fig. 3.2) など主に音楽の分野でそれ以前に遡ることができ、これらはヴィジュアルミュージックの担い手たちにも直接的・間接的に影響を与えた。



Fig. 3.4 カラーオルガン



ヴィジュアルミュージックはコンピュータの開発に伴い新たな展開を迎える。ジョンとジェームズのホイットニー兄弟は1950年後半からコンピュータをはじめとするテクノロジーをヴィジュアルミュージックの分野に積極的に導入し、モーション・グラフィックス（彼らが設立した会社名でもある）は、広告など商業的な分野とも絡みながら独自の発展を遂げた(Fg. 3.3)。

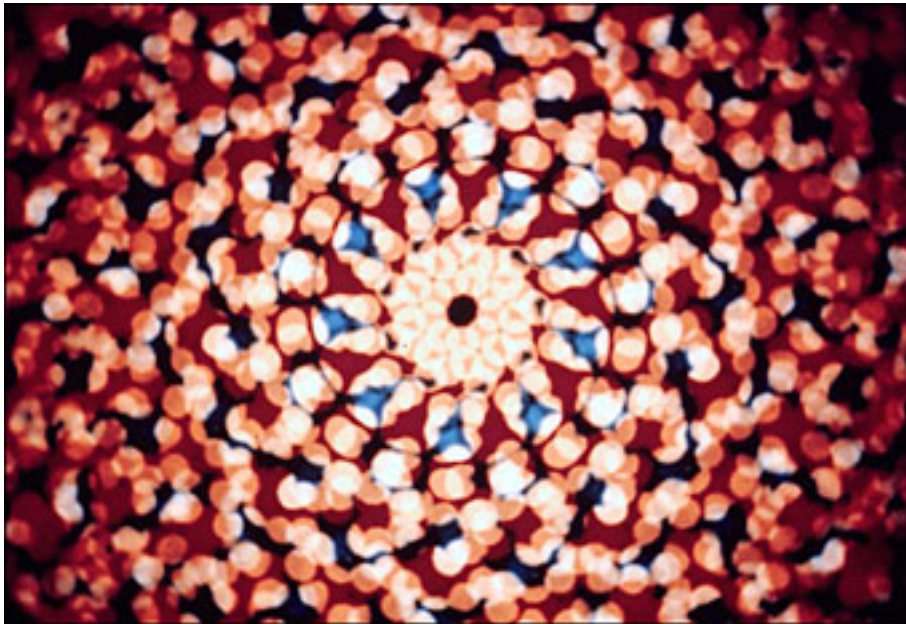


Fig. 3.5 James Whitney 「Lapis」

ヴィジュアルミュージックおよびモーション・グラフィックスは今でも、音楽に合わせて予め用意しておいた映像を即興的に選び音楽とインタラクティブに視覚表現を作っていく VJ（ビデオ・ジョッキー）の表現では欠かせないものであり、現在ではLIVE コーディングなどの派生分野が存在する、これはプログラムをリアルタイムに実行しながらコーディングする行為を見せるパフォーマンスであり、主に音楽や映像を生成することが多い。



### 2.2.3 クリエイティブコーディング

前項で説明した LIVE コーディングは、一般的にクリエイティブコーディングの一種とみなされる。クリエイティブコーディングとはアートとテクノロジーによる創作の世界で使われる言葉で、特にプログラミングによって新たな表現を生み出す「運動」を指す。

クリエイティブコーディングの定義が明確に打ち出されたのはジョン・マエダ著書である「Creative Code : Aesthetics + Computation」[11]を発表した2004年頃と思われる。氏は1999年にアーティストやデザイナーが、コンピュータ・サイエンスやプログラミングの知識がなくても簡単なコードを書くことによって創作することができるアプリケーション「Design by Number」[12]を発表した(Fig.3.4)、これは JAVA と呼ばれるプログラミング言語をベースに構築されている。

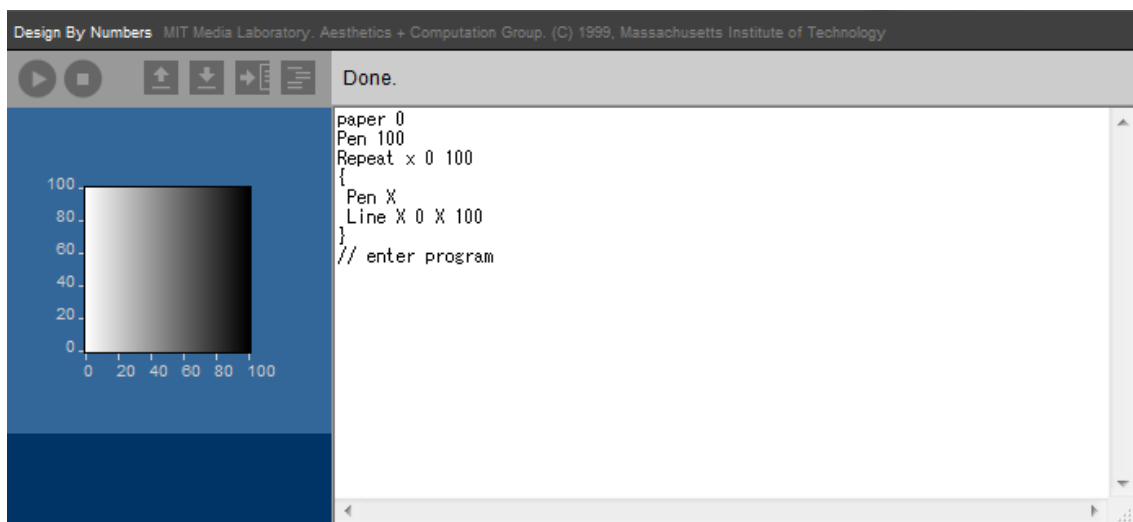


Fig. 3.6 Design by Number 表示画面

そしてこの「Design by Number」をジョン・マエダ氏と共に開発にあたった2人であるケシー・リースとベン・フライの両者が2001年から「Processing」[13]の開発を始めた。「Processing」は「Design by Number」と同じコンセプト・同

じ言語 Java をベースにしたもので「Design by Number」の正当な発展系となった。また 2005 年からザガリー・リーバーマンを中心に「Processing」と同じ形式で、C++ をベースに開発されているのが「openFrameworks」である。他にも同じ考え方をベースにしたプログラミングの開発環境が様々なプログラミング言語をベースに作られている、このように「Design by Numbers」をきっかけに「Processing」「openFrameworks」を代表して「すべての人が創作に使えるプログラミングツールを作る」という考え方を共有し、これらのツールで創作活動を行うことを特に「クリエイティブコーディング」と呼んでいる。

## 2.3 インタラクティブコンテンツの社会的活用事例

### 2.3.1 リハビリテーション

近年、バーチャルリアリティ技術を応用した **Game Based Exercise**(以下、**GBE**)によるリハビリテーションが注目されている、これはコンピュータゲームのインタラクティブ性を利用したリハビリテーションである。特に任天堂の **Wii Fit** を利用してリハビリテーションは国内外の介護施設で実施を取り入れているところも多い。理由としては比較的安価で操作性もわかりやすく、ゲーム性を取り入れているのでリハビリテーションを受ける側も楽しみながら行うことができることが挙げられる。中でも高齢者の立位バランス向上を目的とした運動療法として導入するリハビリテーション施設も多く、そういった効果を検証した実験結果も散見される[14]。これらの研究では **GBE** によってバランス能力の改善が認められたという報告もあり、有用なリハビリテーションツールであると指摘されている。



Fig. 3.7 Wii Fit



Fig. 3.8 Wii Fitによるリハビリテーシ

ョン

### 2.3.2 自治体での活用例

インタラクティブコンテンツの導入は行政や自治体での活用も進められている。東京都中央区では環境活動の PR コンテンツとしてインタラクティブコンテンツが使用されている(Fig.3.7)。



Fig. 3.9 環境活動紹介コンテンツ「TreeViewer」

「TreeViewer」と呼ばれるこのコンテンツは環境への取り組みを江戸、現代、未来という切り口で紹介している。これは各コーナーに設けた大型のタッチパネルで江戸時代や現代の環境への取り組みを 3D で紹介するコンテンツ (Fig.3.8)と小型画面上で木を描きそれを大画面のイラストの森に植えていくというゲーム性に富んだインタラクティブコンテンツから構成されている。



Fig. 3.10 3D で環境活動を紹介する様子

また、沖縄の読谷村歴史資料館では世界遺産である座喜味城を4K 画質、タッチパネル式でユーザに提供している。これは座喜味城をレーザ計測しそのデータを元に3D 化し、ユーザの操作によって360度自由な角度から楽しめるコンテンツになっている。



Fig. 3.11 4K3D 座喜味城コンテンツ



### 2.3.3 企業広告での活用事例

近年の広告物は最新のテクノロジーを常に取り入れ、ユーザに新たな印象変化をもたらし続けている。とりわけ最近の傾向としては Fig.1.7 のドイツのビール社である Astra 社のデジタルサイネージ広告のように今まで据え置きだった広告物をセンサやカメラなどを取り付けユーザとのインタラクションを引き起こすものが増えてきている。また、もう一つの傾向としてはインタラクティブ動画の増加が認められる、2014 年にトヨタ社が発表した「SAI DRIVE-GO-ROUND」(Fig.3.10)では恋人役の女性と夜の首都高速をドライブするという設定がされていて、ユーザはマウスをドラッグすることで車内や夜景を 360 度見られるほか、ドライブの時間軸を「付き合って最初のドライブ」「2年目のドライブ」「4年目、最後のドライブ」の 3 通りに切り替えることができる。



Fig. 3.12 SAI DRIVE-GO-ROUND

## 第3章 自己決定理論 (Self-Determination Theory)

第2章ではインタラクティブコンテンツによって運動の動機づけ支援を行うために、その評価軸として使用している「自己決定理論」についての説明を行う。運動の動機づけには「自己決定理論」で説かれている内発的動機づけを高める必要がある、これを満たすためには「自己決定感」と「自己有能感」を高める必要があり、本研究ではその「自己決定感」と「自己有能感」を高め、その結果内発的動機づけを高める効果である「エンハンシング効果」に注目した。これは外的事象によって「自己決定感」と「自己有能感」が高まる現象を指し、本研究の仮説の重要な理論となっている。すなわち本研究の仮説として外的事象をインタラクティブコンテンツによって置き換え、ユーザがそれを体験することによってエンハンシング効果が確認できるかという仮説を立てた。本章では自己決定理論における内発的動機づけにフォーカスし順序立てて説明をする。

## 3.1 自己決定理論

### 3.1.1 自己決定理論による動機付け

Deci & Ryan により提唱された自己決定理論の独創性は従来の動機づけ研究における外発・内発の二元論から脱した点と、内発的動機づけを促進するためには、自立性の欲求すなわち自己決定感と有能感の欲求を満たす必要があることを明らかにした点にある。

Deci が 1971 年に行った「ソマパズル実験」によると、大学生を2つのグループに分け、当時流行していた「ソマ」(Fig.2.1)というパズルを課題として与えた。「ソマ」というのは、7種類のブロックを組み合わせることで飛行機、犬などの立体モデルを作る遊びである。実験では5種類のブロックが用意された。

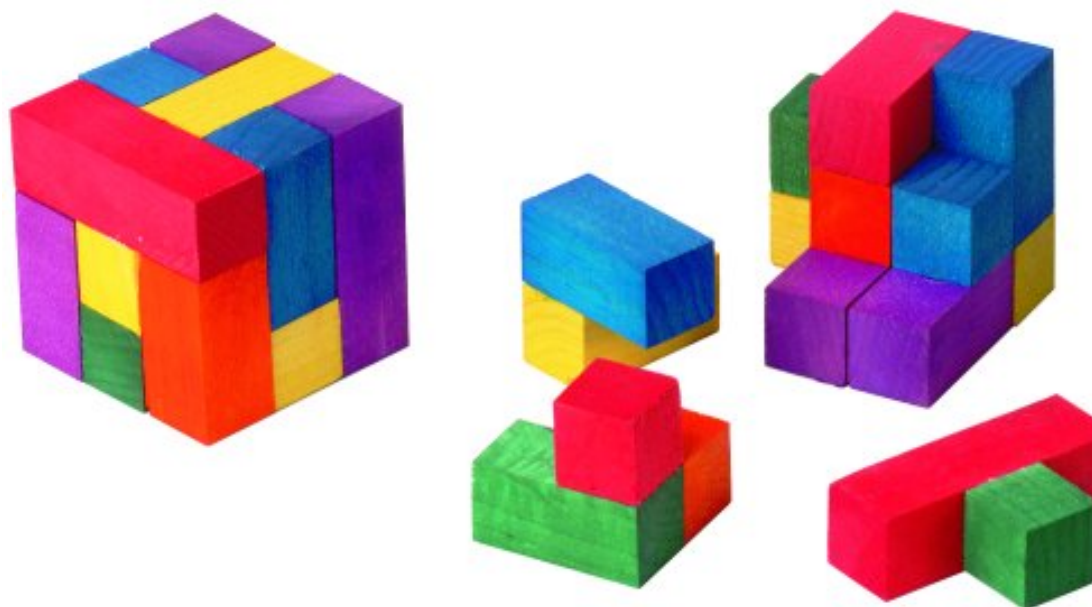


Fig. 2.1 ソマパズル



この実験では30分間で課題を行い、8分間の休憩を挟み、再び課題に取り組んでもらうといった内容になっていて、休憩時間はトイレに行くや部屋に置かれた雑誌を読んでもいいなど何をしていても良いことになっていた。また一つのグループには金銭的報酬を支払ったが、もう一つのグループには何の報酬も与えなかった。ここで Deci が注目したのは休憩時間の2つのグループの過ごし方である。結果は報酬与えられたグループの大半は休憩時間に別のことをやり、報酬を与えられなかったグループの多くの被験者が休憩時間にも関わらず熱心にパズルに興じているといった結果になった。このことから Deci は基本的に人間は金銭的な報酬よりも、その物事自体の楽しさ、充足感によって強く動機づけられる、つまり「内発的動機づけの方が外発的な動機づけよりも強い」といった理論を導いた。しかし内面化の過程を通して外発的な影響であっても自律的な動機づけに変化しうるとも説かれている。

### 3.1.2 内発的動機付けと外発的動機づけ

2.1.1でも述べたように Deci & Ryan によって自己決定理論が提唱され従来の内発的動機づけと外発的動機づけの研究に対して新たな知見がもたらされた。そこで Deci & Ryan のモデルを表すと Fig.1.8 のような図になる。[4]

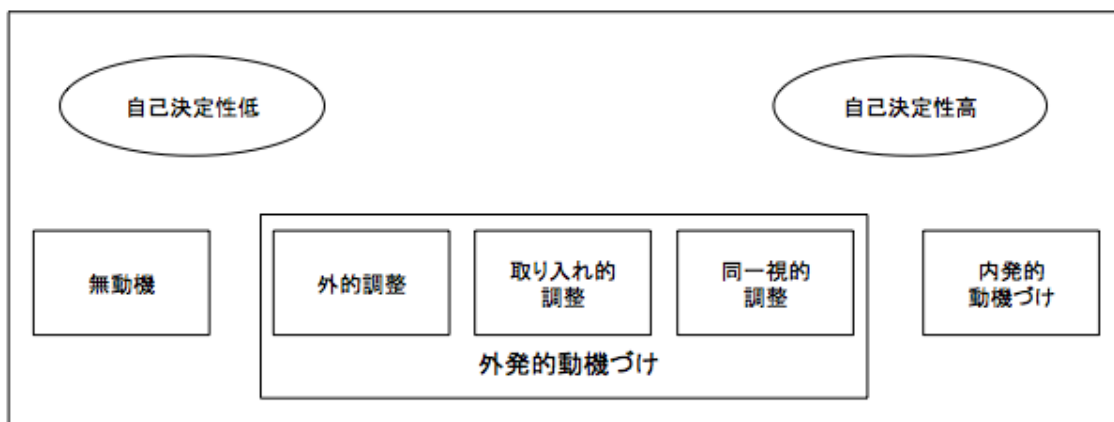


Fig. 2.2 自己決定理論による連続体としての動機づけ (Deci & Ryan, 2002)

自己決定理論による内発的動機づけは人間に生得的に備わっているものであり、自己決定された動機づけのプロトタイプとして概念化されている。また、これまでの多くの研究に置いて、外発的動機づけは自立性がないもの、つまり内発的動機づけとは相対するものとして捉えられてきた[5]。それに対して自己決定理論では外発的に動機づけられる行動であっても、内面化(identification)と統合(internalization)の過程を通して自己決定的になる場合もあるとし、自己決定の度合いに基づいて3つに分類した。

最も自己決定の程度が低い外発的動機づけは外的調整(external

regulation)であり、この段階では報酬などの外部圧力によって、行動が調整されている。このタイプの動機づけは「単位を取らなければダメだから勉強する」「親に叱られないために勉強する」場合などが挙げられる。

取り入的調整(introjected regulation)では自己価値を維持するなど自尊心に関連したものであり、行動は内的圧力によって調整されてくる。例えば名誉心や恥ずかしさから、それをやり続けている状態を指す。

自己決定のかなり高い段階が同一視的調整(identified regulation)になる。この段階では行動を個人的に重要なものとして受容し、その価値を高めた上で行動を調整しており、活動は内的な因果として位置付けられている。このタイプの動機づけには「野球選手になりたいから練習する」「外国で働きたいから英語を勉強する」など、ある行為を目標や成長に必要なだと自ら感じ能動的に行っている状態を指す。また内発的にも外発的にも動機づけられていない状態は無動機(amotivation)の状態とされている。

自己決定理論の中で最も自己決定的で動機づけが高い状態が「内発的動機づけ」にあたる。これはある行為に対しそれをやること自体に楽しさを感じ継続的にやり続けてしまう状態をさす。「絵を描くのが楽しいから描く」「演奏が楽しいから演奏をする」「走るのが楽しいから走る」など自分自身から湧き上がる欲求としてそれを行っている。しかしこの状態に様々な外的要因が関わり出すと「外的調整」「取り入的欲求」「同一視的欲求」に下がることもあり得る。

## 3.2 動機付けを満たす要素

### 3.2.1 自己有能感

Deci によれば内発的に動機付けられた行動とは「人がそれに従事することにより、自己を有能で自己決定的であると感知することができるような行動」と言及している。人は生得的に有能感と自己決定の欲求を持っており、この2つがモチベーションの重要な源泉となっている (Fig. 2.3)。これらが高まることで内発的動機づけは増加する。ここで言う自己有能感 (competence) とは有能さの感覚であり、自分が環境に影響を及ぼしている言う感覚を指す。

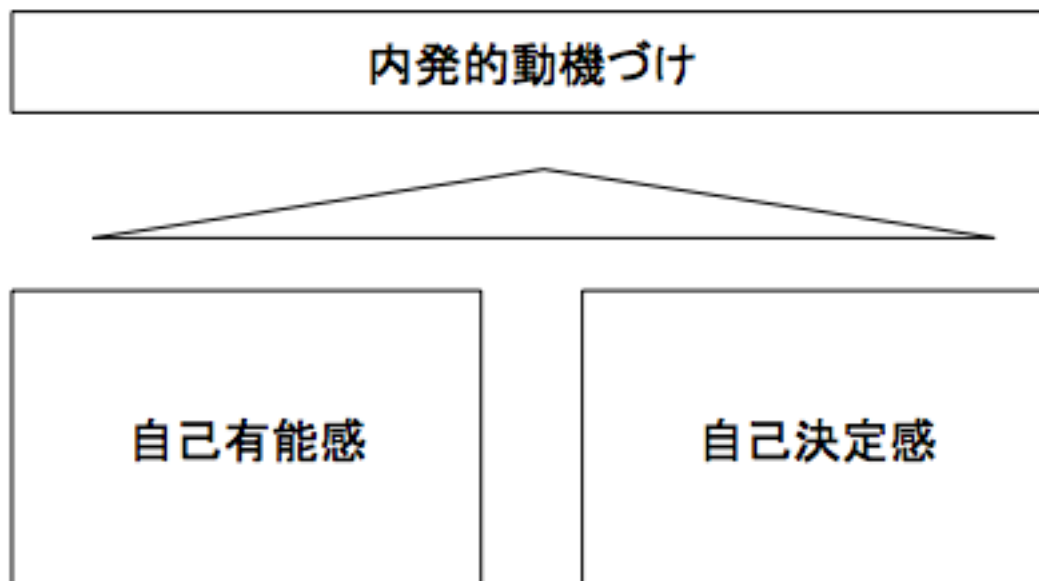


Fig. 2.3 自己有能感と自己決定感の関係

### 3.2.2 自己決定感

自己決定感(self-determination)とは自己が何者にも拘束されず自発的に行動していると言う感覚を指す。

有能感と自己決定感の増加が見込めれば内発的動機づけは増加する。つまり有能感を持つことによって行動の主体としての自己の存在を意識することができ、自ら決定し行動を選択することによって納得して取り組むことができる。ここから外部環境に偶然的に支配されるのではなく、自ら主体となって自律的に環境を支配しようとする行動へのモチベーションが生まれることになる。

## 3.3 外的要因がもたらす2つの効果

### 3.3.1 アンダーマイニング効果

アンダーマイニング効果とは内発的な動機づけが物質的な外的報酬を与えることによって低下する現象を指す。

アンダーマイニング効果を説明するには 2.1.1 で述べた Deci の実験を参考にするとわかりやすい。

Deci が 1971 年行った実験では、大学生を対象に実験群（12名）と統制群（12名）を設け、1日1セッションずつ計3日間にわたり被験者に興味のある課題（soma puzzle）を与えて、金銭報酬が内発的動機づけに及ぼす影響を検討した。第1セッション終了後、実験群の学生には、明日の第2セッションでは1題ごとの正解につき1ドルの報酬（金銭）が与えられることが告げられた。これに対して統制群の学生には第1セッション終了後そうした外的な強化は何ら与えられなかった。第2セッションでは、実験群にはパズルが解けるごとに一定の金銭を与えると予告し、実際に金銭報酬が与えられた。その後、第2セッション終了後、実験群の学生に対して次の第3セッションではもう報酬が与えられないことが言いわたされた。一方、統制群ではそのような報酬の予告はされず、金銭報酬も与えられなかった。第3セッションでは、両群とも第1セッションと同じようにパズル解きが行われた。そして両群とも2題終了した時点で口実を作って8分間部屋を離れた。この間、被験者は当該パズルを含めてその場にある魅力的な玩具や雑誌のどれに取り組んでもよいとされた。このとき当該パズルに従事していた時間が内発的

な動機づけの指標とされた。その結果、実験群では、第1セッションの休憩時にパズルにふれた時間（平均248秒）第2セッションの休憩時にパズル解きに費やした時間（平均313秒）に比べ、第3セッションの休憩時にパズルふれていた時間は急激に低下した（平均198秒）これに対して統制群では第1セッションの休憩時が（213秒）、第2セッションの休憩時にパズル解きに費やした平均時間が205秒であったのに対して、第3セッションでは（241秒）にまで増加した。

以上の結果は、課題を解くときに金銭という外的報酬を与えると当初持っていた課題に対する内発的動機づけを低下させることを明らかにした。

また鹿毛[5]の行った研究によると、監視、期限、評価教示のような外的拘束によっても同様のアンダーマイニング効果が生じることが確認されている。

### 3.3.2 エンハンシング効果

しかし、外的報酬が全てアンダーマイニング効果を示すわけではない。言語報酬や何らかのフィードバックが逆に内発的動機付けを高める場合がある。この現象はエンハンシング効果と呼ばれている。

Deci は欲求を自己決定(self-determination) と有能さ(competence) の認知に焦点を当てて説明した。すべての人間は有能さと自己決定への欲求を持っていることを前提とした上で、外的な要因が内発的動機づけに影響を及ぼす2つの側面を仮定している。1つは外的要因の制御的側面である。すなわち外的要因によって認知された因果律の所在（自らの行動始発の原因が内的なものか外的なものかという認知）が内的から外的へと変化し、自己決定感が低められることによって内発的動機づけが低下するという側面である。もう一つの側面は情動的側面と呼ばれ、これは外的要因が当人の課題に対する自己決定感と有能感に影響を及ぼす側面を指す。すなわち、もし外的要因によってある人の有能感や自己決定感が高められるならば内発的動機づけは増加し、逆に低められるならば内発的動機づけは低下する。以上のような外的要因の影響過程は、外的要因のもつ2つの側面のうちどちらが相対的に顕現的であるかによって、二者択一的に働くとされた。外的誘因が自己決定感や有能感を低めるならばアンダーマイニング効果が生じ、逆に外的誘因が自己決定感や有能感を高めるならばエンハンシング効果が生じると説明している。すなわち事象の理解や技能の上達によって得られる有能感や満足感の経験を内部的な情報状態とし、これを喚起する外的事象が内発的動機付けを高める現象をエンハンシング効果と呼ぶ。



この事から本研究の仮説である「インタラクティブコンテンツによってエンハンシング効果が確認できるか」を構築した。つまり事象の理解や技能の上達によって得られる有能感や満足感を喚起する外的事象をインタラクティブコンテンツに置き換えエンハンシング効果が観測できればインタラクティブコンテンツによって動機付け支援ができたと言える。

Fig. 2.4 は仮説をわかりやすくイメージ化したものである。この仮説の検証については5章にて説明する。

### インタラクティブコンテンツを使って内発的動機づけを高めるには

#### ・エンハンシング効果

事象の理解や技術の上達によって得られる有能感や満足感の経験を内部的な情報状態とし、これを喚起する外的事象が内発的動機づけを高める現象

置き換え

### 外的事象 → インタラクティブコンテンツ



Fig. 2.4 仮説イメージ図

## 3.4 外的要因の機能

### 3.4.1 道具的／誘引機能

現在ではアンダーマイニング効果とエンハンシング効果のメカニズムを外的報酬の3つの機能としてまとめられている[6]。

1つ目は道具的／誘引機能でありか従事に伴う社会的あるいは物的報酬の情報が、報酬を得る期待を高め、外発的動機付けを高める機能である。

これは課題に従事することによって、その見返りとして物的報酬や金銭的報酬または社会的賞賛が得られるかどうかの期待となっている。これが満たされる場合に外発的動機づけが高まるとされている。Fig.2.5は道具的／誘引機能をまとめたものである。

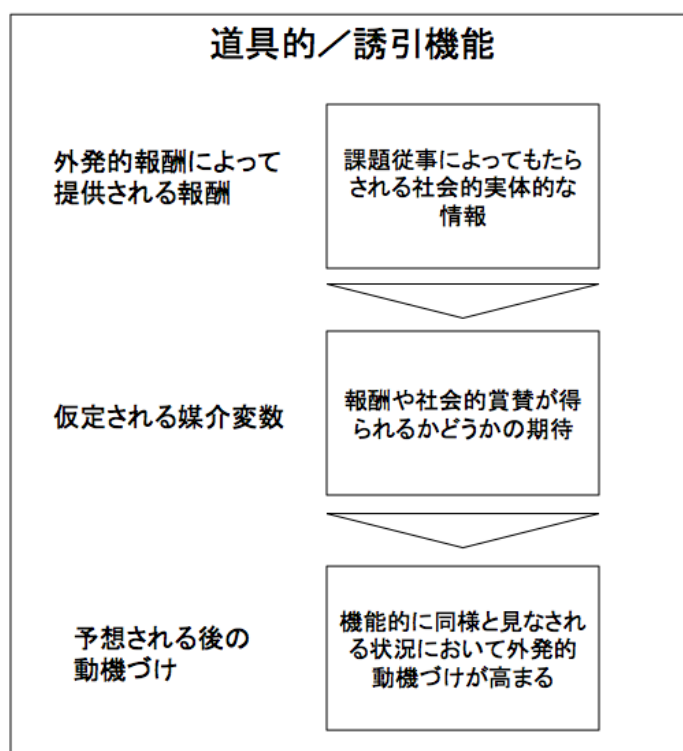


Fig. 2.5 道具的／誘引機能

### 3.4.2 評価的／フィードバック機能

2つ目は評価的／フィードバック機能である。これは成功や失敗に関わる情報、活動に対する有能さ(無能さ)に関する認知に影響し、内発的動機付けを高める、または低める機能を指す。Fig.2.6 は評価的／フィードバック機能をまとめたものである。

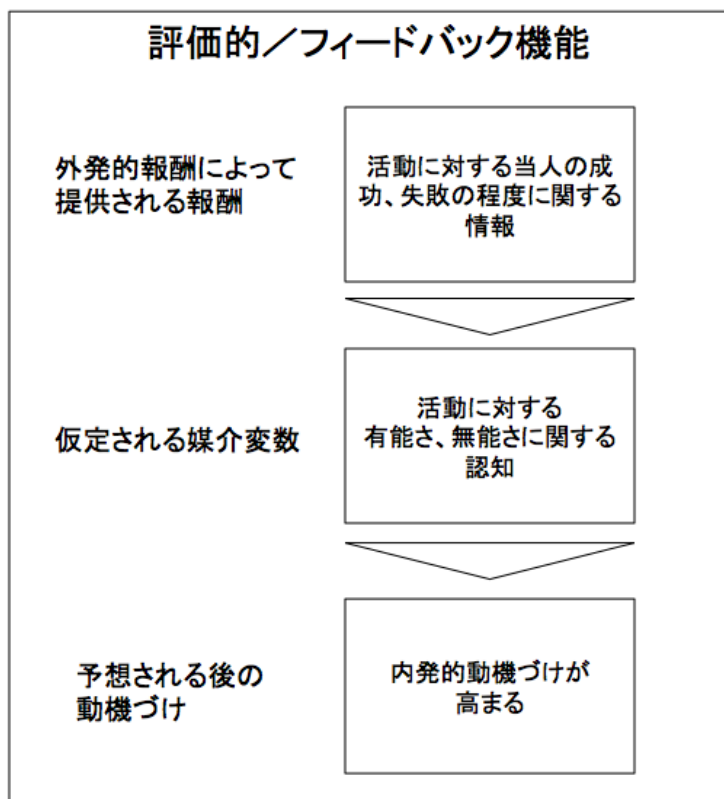


Fig. 2.6 評価的／フィードバック機能

### 3.4.3 社会的制御／制約機能

3つ目は社会的制御／制約機能である。これは外的制約に関する情報が、課題に従事することが「仕事」なのか「遊び」なのかという認知に影響し、その課題を「仕事」だと判断した場合には外的報酬のない状況で内発的動機づけを低下させる機能を指す。これ逆に課題を「遊び」と認知できた場合それを否定することができると考えられる。Fig.2.7は社会的制御／制約機能をまとめたものである。

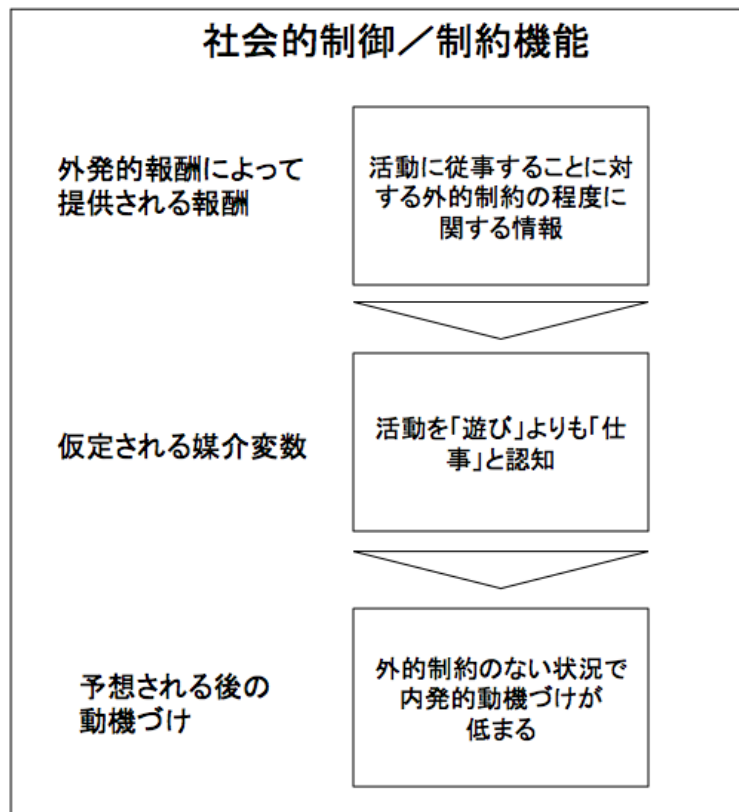


Fig. 2.7 評価的／フィードバック機能

## 第4章 システムの構築

### 4.1 リアルタイムフィードバック

ここでは本システムの重要な要素である、視覚に対するリアルタイムフィードバックが与える影響や効果をいくつか紹介する。

理学療法の実臨床現場では感覚フィードバックを用いた検証が多くなされている。

3.3.1 で触れた Wii Fit 用いたリハビリテーションもその一環であるが、特に視覚フィードバックはよく利用されその効果も明らかになっている[15][16]。

Ronsse[17]らは視覚フィードバックと聴覚フィードバックを与えた際の上肢運動学習において、視覚フィードバックは学習の習熟過程での学習効果が大きいことを報告している。つまり視覚フィードバックがもたらされている間は集中度が増加しその結果として学習効果が高まるという訳である。

またコンピュータゲームなどはそのほとんどが視覚フィードバックに依存していると考えて良い。代表的な例としてユーザは入出力装置を介してコンピュータ側に指示を送り、そのフィードバックとしてコンピュータはリアルタイムにユーザに対して視覚フィードバックをもたらし、その結果ユーザとコンピュータとのインタラクションが生まれ、さらにそこにストーリーが存在しユーザが達成する目標を見つけることができればそのゲームに没入することになる。

## 4.2 システム構成

### 4.2.1 システムの目的と全体図

本研究ではインタラクティブコンテンツを使って運動の動機づけ支援を行うことを目的としている。Fig.4.1は平成27年にスポーツ庁が調査した「体力・運動能力調査結果概要及び報告書について」であるがその中の「運動実施状況が[週1日以上]の者の年齢割合」は義務教育が男女ともに義務教育が終了した時点で低下をはじめ50歳のあたりから上昇している。

### 運動実施状況が「週1日以上」の者の年齢別割合

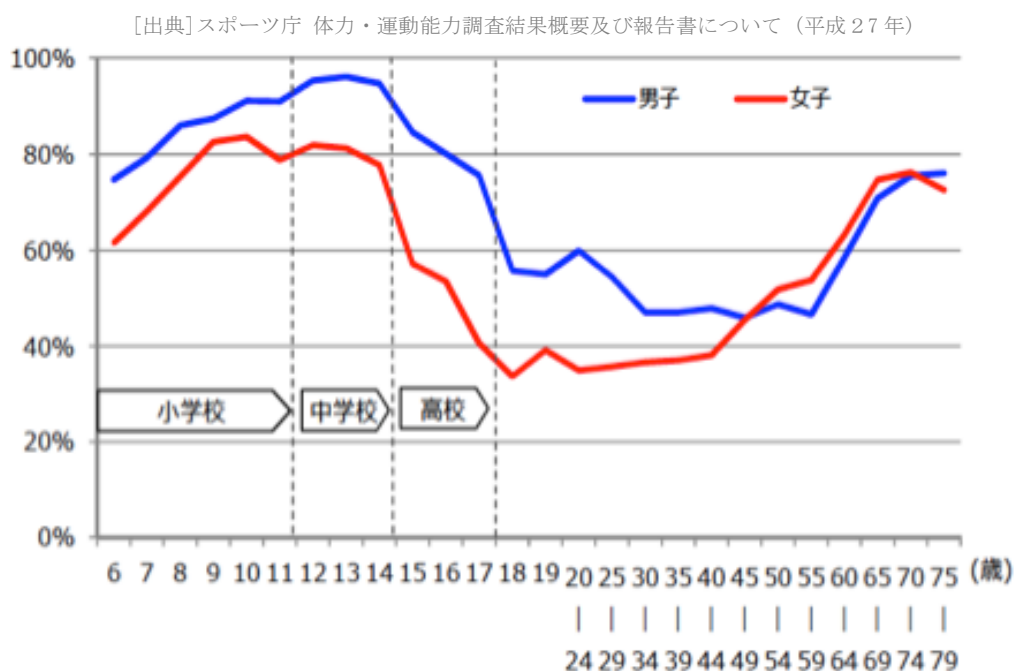


Fig.4.1 運動実施状況が「週1日以上」の者の年齢別割合

ここからわかることは男女ともに働く世代の運動習慣の低下が読み取れる。また、平成25年に文部科学省が行なった「体力・スポーツに関する世論調査」

(Fig.4.2)で「運動しなかった理由[この一年間に運動しなかった]と答えた者」という項目では「忙しくて時間がない」という理由が全体の 50%を占めた。

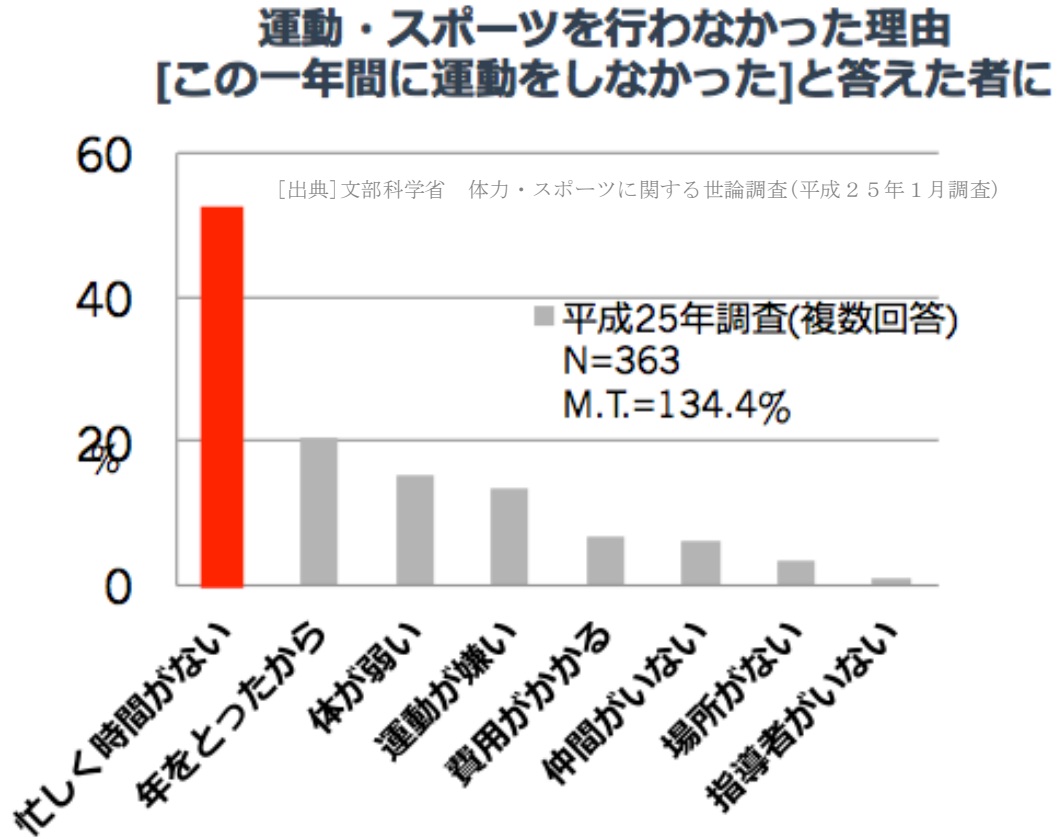


Fig.4.2 体力・スポーツに関する世論調査

以上のことから

- ・ 働く世代の運動習慣の低下
- ・ 運動をしない一番の理由は「時間がない」
- ・

の2つのことが読み取れる。

そこで本研究では「主に働く世代に使ってもらう、短い時間で運動効果のあるインタラクティブコンテンツ」を検討した。例えばオフィスや学校のフリースペ

ースなどで簡単に使ってもらえるようなものが望ましいと考える。そこで本研究では実際にシステムを構築し、学校などのフリースペースに設置して通行者の注目を集めるかの実験と、インタラクティブコンテンツによって運動の動機づけが高まるかを検証している。

Fig. 4.3 はシステムの全体図である。このようにユーザの動きに反応して視覚フィードバックをもたらすシステムを構築した。

システムの概要として、まずユーザの動き検知には Microsoft の Kinect を使用しユーザの深度情報を取得、それを制御するコンピュータに出力しコンピュータ側では openFrameworks を使って深度情報から背景差分、2 値化処理を行いユーザの輪郭に沿ってパーティクルが飛び回る効果をつけプロジェクターで壁面に投影、またはディスプレイに出力するシステムとなっている。

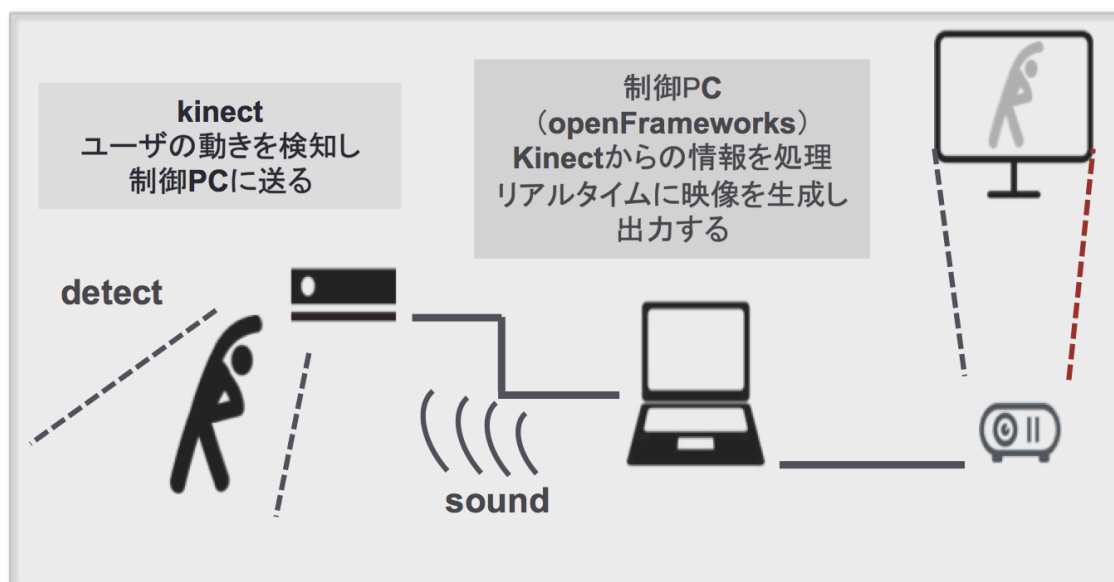


Fig.4.1 システムの全体図



#### 4.2.1 openFrameworks の活用

本研究で使用するインタラクティブコンテンツを作成するために openFrameworks(Fig.4.2)と呼ばれるインタラクティブなコンテンツやメディアアートを作成することに特化したフレームワークを使用した。



Fig. 4.2 openFrameworks

openFrameworks は Mac OS X、Windows、Linux で動作させることが可能なフレームワークである。2次元や3次元の図形の描画、アニメーション、サウンドの録音と再生、動画のキャプチャと再生、マウスやキーボードにインタラクション、ネットワーク活用など、マルチメディアコンテンツを制作するための様々な機能をすぐに利用できるフレームワークとして提供されている。通常これらの機能をプログラムするためには多くの煩雑な処理が伴うが openFrameworks を利用することで、そのような煩雑な作業の多くは「アドオン」を追加することで簡単な命令を呼び出すだけで実現され、より想像的な部分に専念することが可能になる。

C++をベースにした `openFrameworks` は、Java ベースにした `Processing` に大きな影響を受けている。しかしその得意とする範囲は `Processing` と比較すると多少異なる。`openFrameworks` の最大の利点はコンピュータの性能を最大限に発揮できる点にある、これは Java に比べて C++がより低レベル、つまりコンピュータのハードウェアに近い部分での処理を記述できるということに起因する。例えば、大量の 3D オブジェクトを一気に描画する処理などは `openFrameworks` が最も得意とする処理であり、また画像認識などの処理を高速に行いたい場合にも `openFrameworks` は優れている。

`openFrameworks` は C++のプログラミング言語のライブラリの集合体であり、C++は長い歴史を持つ汎用的な言語であるため、様々なオープンソースのライブラリ資産がある。それらの既存ライブラリを利用してグラフィックには `OpenGL`、オーディオの入出力には `RtAudio`、フォントの表示には `FreeType`、画像の入出力には `FreeImage`、動画の再生やキャプチャには `QuickTime` が使用されている。Table4.1 と Fig.4.3 に C++で記述する `openFrameworks` で重要な3つのファイルの役割とその構造を図式化したものを記す。

Table.4.1 3つのファイル機能

main.cpp	プロジェクト全体の起点となるファイル。 画面のサイズなどを指定する。
testApp.h	アプリケーションのヘッダファイル。 プログラムの材料一覧のような機能を果たす。
testApp.cpp	アプリケーションの処理の内容を記述する部分

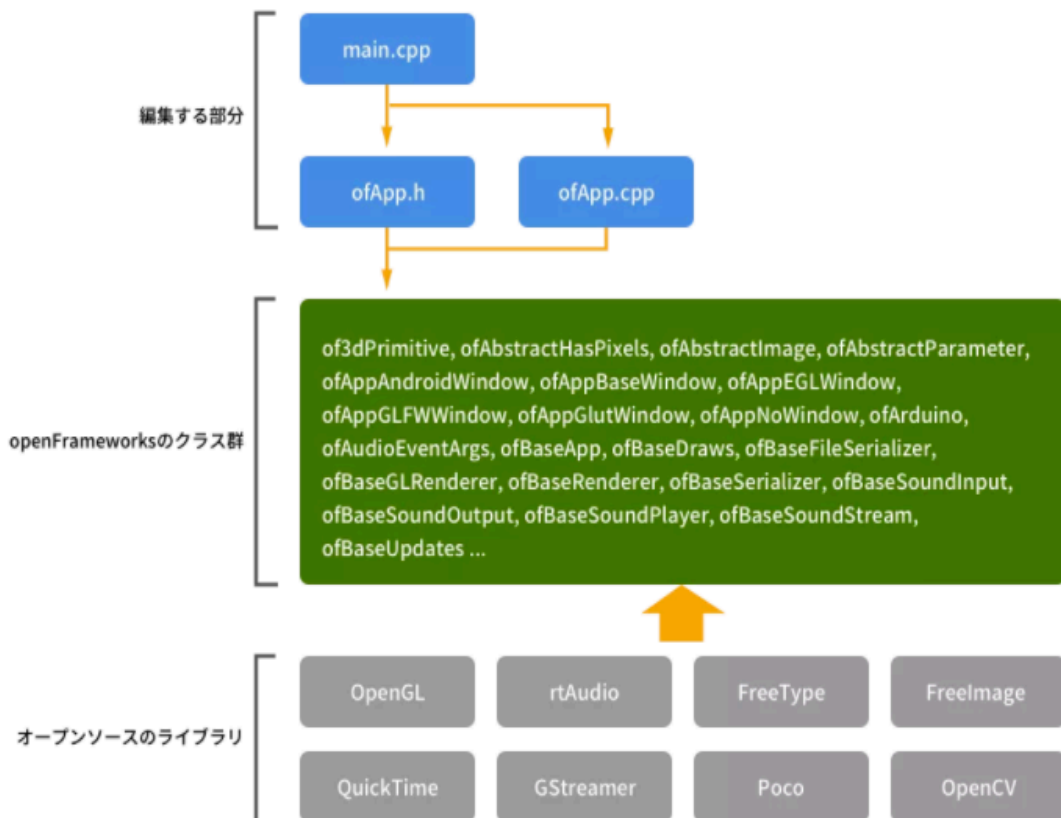


Fig.4.3 openFrameworks の構造

openFrameworks は MIT License[18]で配布されているので商用／非商用、公式／非公式、オープンソース／クローズソースで利用できる。プラットフォームに関しては 5 つの OS(Windows、OSX、Linux、iOS、Android)をサポートしていて、開発環境は XCode、Code::Blocks、Visual Studio、Eclipse をサポートしている。openFrameworks の特徴は「Do it with others」と自ら呼ぶように様々な自作「アドオン」を無料で公開し、ユーザのクリエイティビティをみんなで高め合うことにある。それにより現在では ofxaddons.com[19]で公開されているだけでも 1500 以上の「アドオン」が存在しユーザに無料で提供されている。最後に本研究で使用している openFrameworks のバージョンは openFrameworks 0.8.4. であり、OS は OSX、開発環境は XCode[20]を使っている。

## 4.2.2 追加アドオン

今回、本システムを作成するにあたり使用した「アドオン」(追加外部ライブラリ)とその機能を以下に示す。

- ofxKinect[21]

Microsoft Kinect を openFrameworks で作業するために必要なラッパー

- ofxCV[22]

オブジェクト検出、追跡及び認識を含む分析、画像の強調及び補正

- ofxFlowTools[23]

流体シミュレーションや、GLSL シェーダーを利用したオプティカルフローとパーティクル

- ofxUI[24]

グラフィックユーザインタフェース

- ofxSecondWindow [25]

複数のウィンドウや、グラフィックスを1つのウィンドウに統合できる。また別々に分けることもできる

### 4.2.3 Kinect の活用

本システムではユーザの動きをリアルタイムに検知するために Microsoft 社が販売している家庭用ゲーム機である「Xbox 360」に付属する周辺機器である Kinect (Fig.4.4)を使用している。Kinect は Xbox360 向けに開発されたゲームデバイスである。複数のセンサを搭載していて、物理コントローラを用いずにジェスチャーだけでゲーム操作を行うための機器である。RGB カメラに加えて深度情報を取得する Depth カメラを搭載していて、640×480 の解像度で RGB-D データを容易に取得することが出来る(Table.4.2)。現在は PC 向けに開発された Kinect for Windows も発売されている。深度画像の取得可能範囲は 50cm から 10m とされていて、空間内に存在する人物の位置を取得しモーションキャプチャを行うことが可能である。人物の骨格モデルを用いて画像内にいる複数人の位置情報やジェスチャー判別を行うことが出来る。これらの技術は、Kinect の深度カメラを提供している Natural Interaction のためのフレームワークである OpenNI や、Microsoft 社による開発キット Kinect for Windows SDK 等を用いて PC 上で操作することが可能になる。

Kinectでは640×480 ピクセルの色画像のピクセル一つ一つに距離データが付加されている。よって最大約30万個の位置情報データを 1 フレームごとに取得することが出来る。このデータから点群はKinectを原点にした三次元座標に変換ことが出来る。しかし得られる映像には多くのノイズや欠落が発生する。



Fig.4.4 Kinect



Fig.4.5 Kinect 内蔵機能

Table.4.2 Kinect センサのスペック項目

ビデオカメラ最大解像度	1280×1024ピクセル
距離画像センサ最大解像度	640×480ピクセル
フレームレート	30fps
距離取得可能範囲	0.5～10m
姿勢認識可能範囲	0.8～4m
垂直視野	43°
水平視野	57°
チルトレンジ	-30～+30°
アレイマイク	本体下部に4機
音声フォーマット	16-kHz, 16ビットモノラルPCM

## 4.3 画像処理

### 4.3.1 モーションキャプチャについて

ユーザの動きに対してリアルタイムエフェクトを生成するためには、画像からユーザの身体情報と移動情報を取得する必要がある。このような現実の人物や物体の動きをデジタル的に記録し処理することをモーションキャプチャと呼ぶ。本研究でのモーションキャプチャについては追加アドオンである ofxCV に一連の機能が実装されているため、それを採用している。以下にグラフィックス効果前のモーションキャプチャ処理のブロック図を記す(Fig.4.6)。

まずユーザの動きを Kinect の赤外線カメラで撮影し画像の距離情報を取得する、その情報から背景差分を行い、移動物体に対してトラッキングを行う。そして 2 値化を行い輪郭情報得る、その後オプティカルフローにより物体の移動速度や移動距離のベクトル情報を取得。それらの情報を元にグラフィックスの生成を行う。



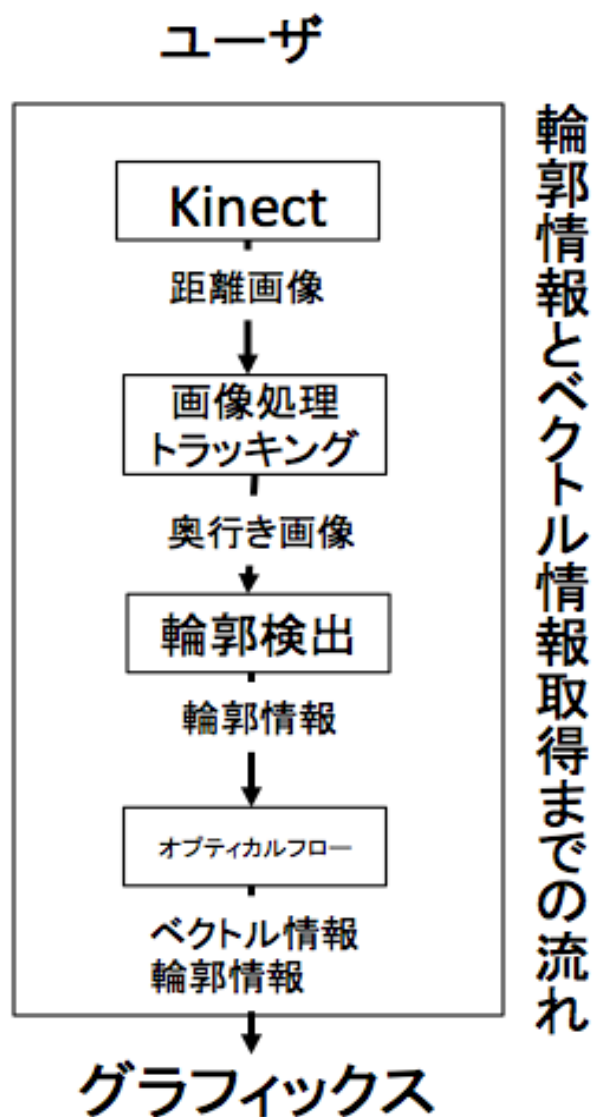


Fig.4.6 モーションキャプチャのブロック図

### 4.3.2 深度情報取得

本システムでは「ofxCV」を用いてユーザの輪郭情報とベクトル情報を取得している。ここではそれらの情報を取得するまでの流れを記す。まず Kinect の距離画像センサ(Depth センサ)が距離を測定する方法

として最もよく使うのは、TOF (Time of Flight) 方式と LIGHT CODING 方式である。TOF 方式は赤外線レーザを照射し、受信した反射光の時間差を利用して距離測定を行う。LIGHT CODING 方式ではそれとは異なり特定のパターンを赤外線レーザで照射し、反射光のパターンを解析して、その歪みから距離を測定している。反射光のパターンは対象までの距離に応じて歪みが生じるため各パターンドットの移動量から三角測量でセンサからの距離が計算できる。本システムでは LIGHT CODING 方式を採用した。Kinect センサにはイスラエル「PrimeSense」社の距離画像センサチップの PS1080 が使われている。Fig.4.5 は LIGHT CODING の照射パターンと TOF 方式の照射パターンを比べたものである LIGHT CODING の照射パターンはランダムドットではなく周期性を持たせたパターンで構成されており、単一の点の位置を特定できるという特徴がある。この方式により周辺光の影響を減らし高速 3D マップの生成が可能になっている。

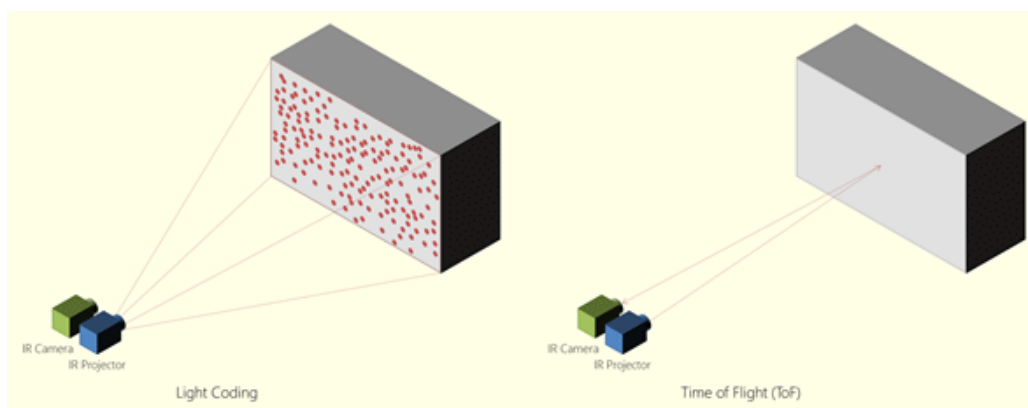


Fig.4.6 LIGHT CODING と TOF 方式

### 4.3.3 背景差分法、2 値化

本システムでは背景差分法と 2 値化処理によって人物の外接情報を取得している。ここではその背景差分法と2値化処理の説明を行う。

背景差分法とは固定カメラなどで事前に取得した画像と現在撮影している画像を比較することで、事前に取得した画像には存在しない物体を抽出する処理を指す。この時事前に取得しておいた画像を背景画像と呼び、背景画像に存在しない物体が占める領域を前景領域、それ以外を背景領域としている。

背景差分法では背景画像を用いて現在の入力画像との差を計算し、適度な閾値処理をすることで移動物体を抽出することができる。これを表したものが Fig.4.7 である、これにより背景画像には当初なかった移動する物体(人)が検知されている。

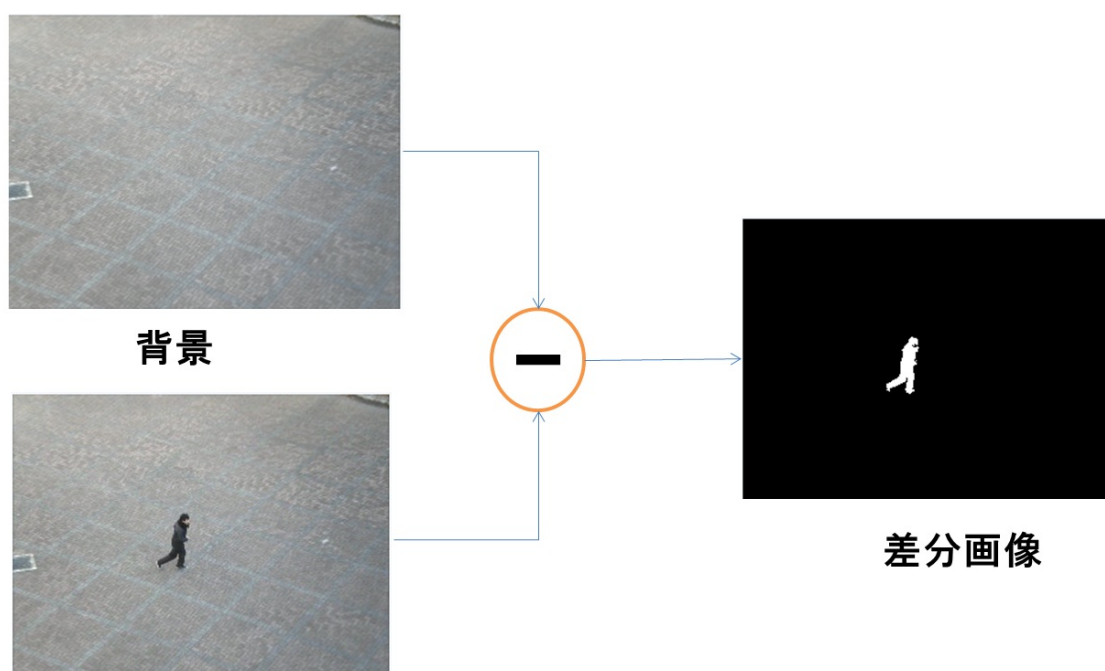


Fig.4.7 背景差分例

またこれを式で表すと式で表すと以下の様になる。

移動物体がない状態の画像(背景画像)を  $I_b = (x, y)$ 、現在の入力画像を  $I_m = (x, y)$  とする、この時差分画像  $I_d = (x, y)$  は次式で与えられる。

$$I_d(x, y) = I_b(x, y) - I_m(x, y)$$

本システムでは得られた差分画像に対してより明瞭な外接情報を得るためにさらに 2 値化処理を行っている。2 値化処理とは濃淡のある画像を白と黒の 2 階調に変換する処理である。これはある閾値を求めて、各画素の値が閾値を上回っていれば白、下回っていれば黒に置き換える。Fig.4.8 は 2 値化処理を表したものになる。ここでは閾値「100」に設定した場合、各画素の値が 100 以下のものが黒になり、100 以上のものが白になっている。

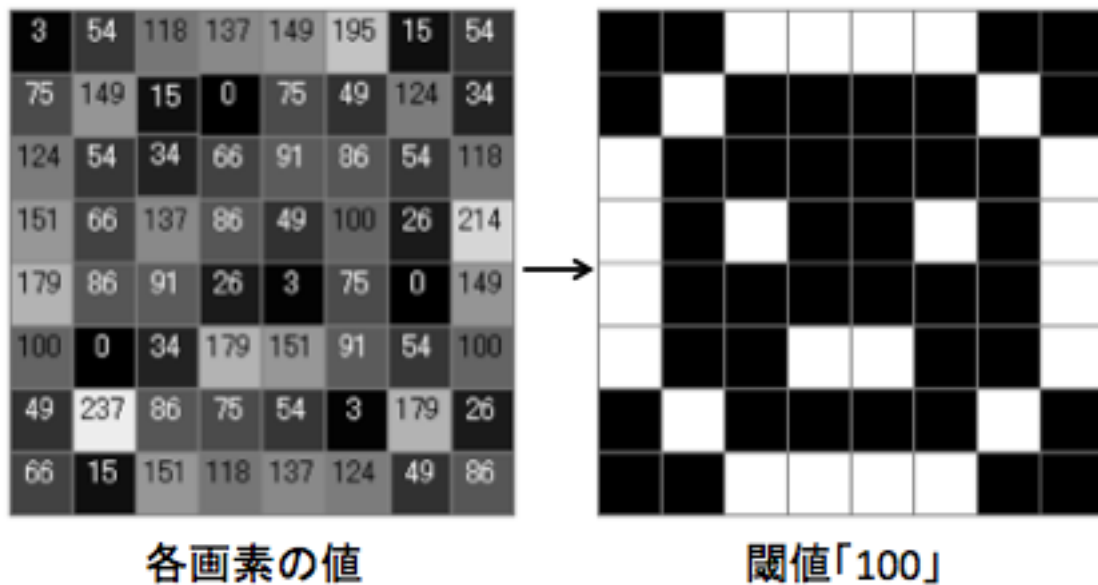


Fig.4.8 2値化処理

また2値化処理は次式で与えられる。

$$I_{res}(x, y) = \begin{cases} 1 & (I_d(x, y) > T) \\ 0 & (I_d(x, y) \leq T) \end{cases}$$

この時、閾値  $T$  の設定により動態の領域検出を決めることができる。

#### 4.3.4 オプティカルフロー

オプティカルフローはデジタルで構成された画像間の各画素が時間的にそれぞれどれだけ動いたかを求め、その物体の動きを速度ベクトルで表現したものになる(Fig.4.9)。これを行うことによって移動物体の検出や、その動作の解析を行うことができる。

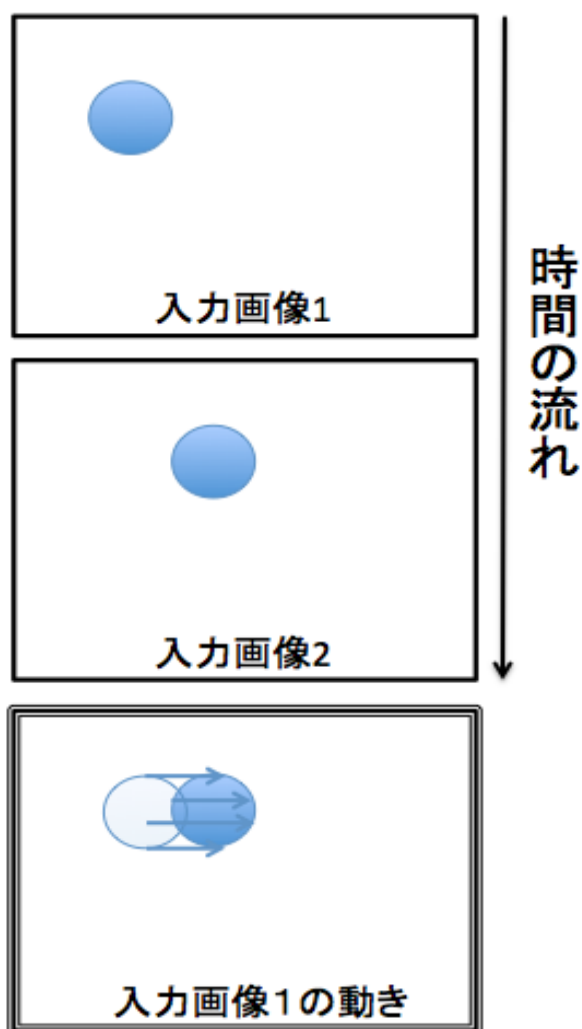


Fig.4.9 オプティカルフロー

本システムでは追加アドオンである ofxCV に実装が提供されているオプティカルフロー機能を用いて移動物体の検出を行なっている。ofxCV では sparse 型と dense 型と呼ばれる解析の仕方が実装されている。sparse 型は画像の中の特徴的な点に絞って解析を行う特徴がある。一方で dense 型は画素全体の動きを解析することを特徴としている。今回のシステムでは dense 型を採用している。理由としては体の動きなど大きく動く際にもある一点の範囲を細かく抽出するのではなく、全体的な動きの抽出を行いたいためである。

## 4.4 画像変化

本システムではアドオンの「ofxFlowTools」を使用して画像変化を行なっている。「ofxFlowTools」では2種類エフェクト効果が選択でき一つは Fig.4.10 の「流体シミュレーション」と呼ばれるものである。これはユーザの動き(ベクトルと輪郭情報)によって視覚流体の動きが視覚的に変化をもたらすエフェクトとなっている。しかしその描画処理の複雑さにより GPU の性能を著しく消費してしまい、今日現在、市販されている一般的なコンピュータであるとレイテンシやフリーズが発生する。これらは、高性能の GPU や並列処理などにより解決できるが、本システム構築の目的は「インタラクティブコンテンツによって内発的動機づけを確認する」ことにあるため複雑な処理を必要とする「流体シミュレーション」の採用はしなかった。



Fig.4.10 流体シミュレーション

一方で「ofxFlowTools」が提供しているもう一つの機能である「パーティクル」はユーザの動き(ベクトルと輪郭情報)に対してパーティクルが飛び回る効果を指す。具体的には2種類の機能が実装されていて一つは Fig.4.11 のようにユーザの挙動がなくても常に輪郭に沿ってパーティクルがくっついている状態 (Emit all time in contour)と Fig.4.12 のユーザの挙動があった場合パーティクルが周りに飛び散る効果(Emit only if movement)である。

両者を比較したところ、(Emit only if movement)の方が視覚効果が派手であることから今回の作成したシステムでは (Emit only if movement)を採用した。

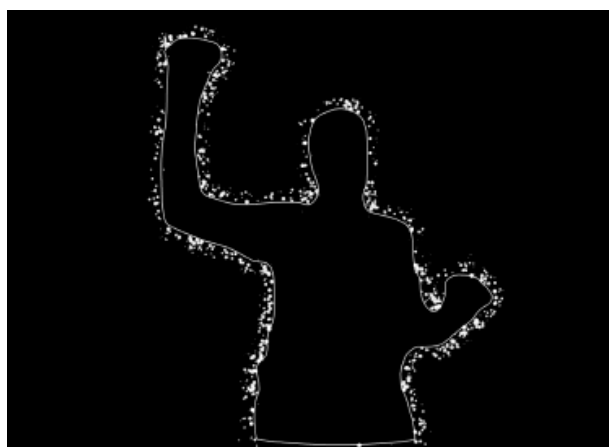


Fig.4.11 Emit all time in contour



Fig.4.12 Emit only if movement



また、「ofxFlowTools」で行なっているこれらの処理をブロック図で表すと Fig.4.13 となる。

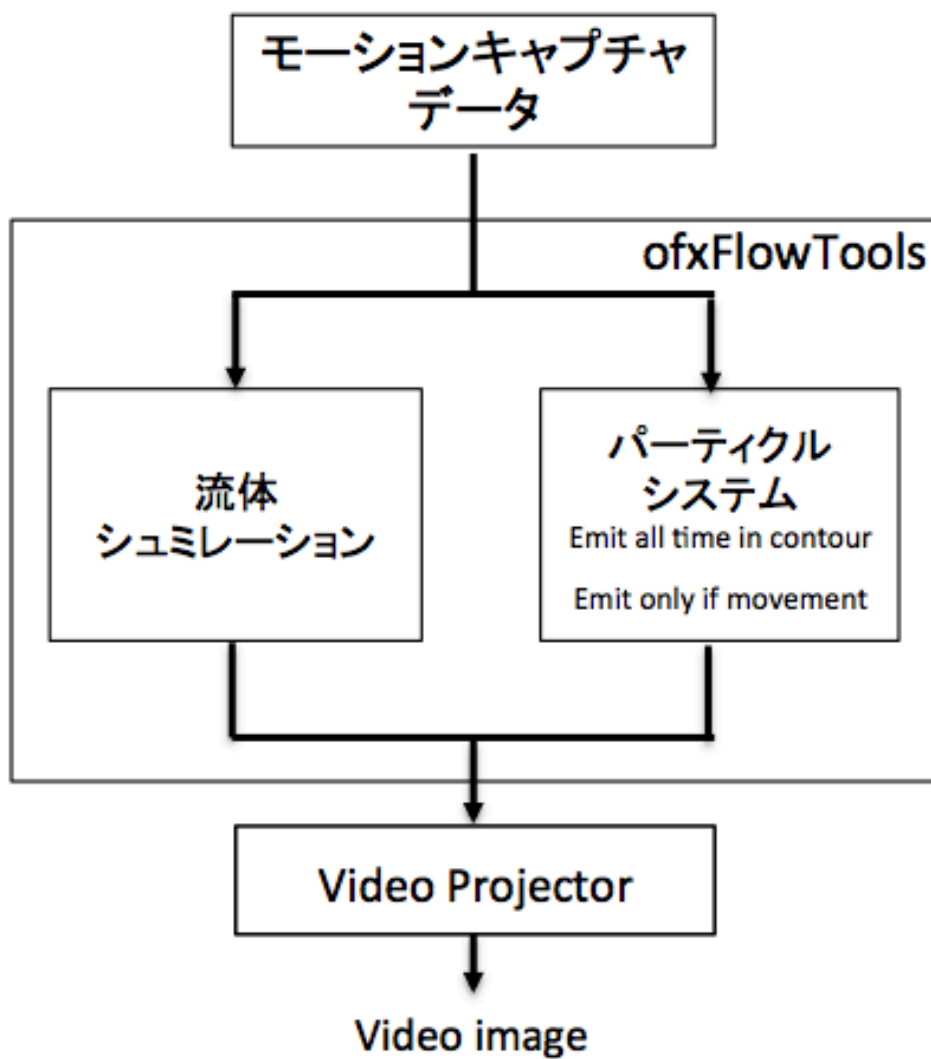


Fig.4.13 画像変化ブロック図

## 4.5 コントロールインタフェース

本研究では `openFramework` 用に作成された全ての異なる GUI アドオンを調べ最終的に「`ofxUI`」を採用した。このアドオンは最小限のデザインのため使いやすく、制御インタフェースの設定をセーブまたはロードして使うことができる。

この GUI 上で閾値など `Kinect` の入力値のデータ処理の設定や視覚効果であるパーティクルの増減の設定を行うことができる。ここでは様々な制御コマンドが整備されているが、本システムではその一部のみしか使用していないため未使用の箇所の説明は省略する。またこのインタフェースを使った画像変化の制御に関しては `Fabia Serra Arrizabalaga`[26]のシステムを参考にしている、他のコマンドを使った詳しい画像変化の制御に関してはこちらを参照されたい。

### 1 MAIN MENU

このインタフェースは 8 つの異なるパネルに分割されており、ウィンドウの左側に常に表示されている。ユーザはパネルを開き、対応する番号(1~8)をキーボードで押すことでその機能にアクセスできる(Fig4.14)。

### 2 BASICS

このパネルでは `Kinect` カメラの入力を調整するための一般的な設定とパラメータが含まれている

#### •Background

出力ウィンドウの背景色を変更する

•Setting

XML ファイルを利用して、コントロールインタフェースの設定を保存、ロード及びリセットを行う

•Interpolation

映像の補間フレームの数

•FBO

フレームバッファオブジェクトの ON/OFF

•Music

保存した音楽を再生、停止できる

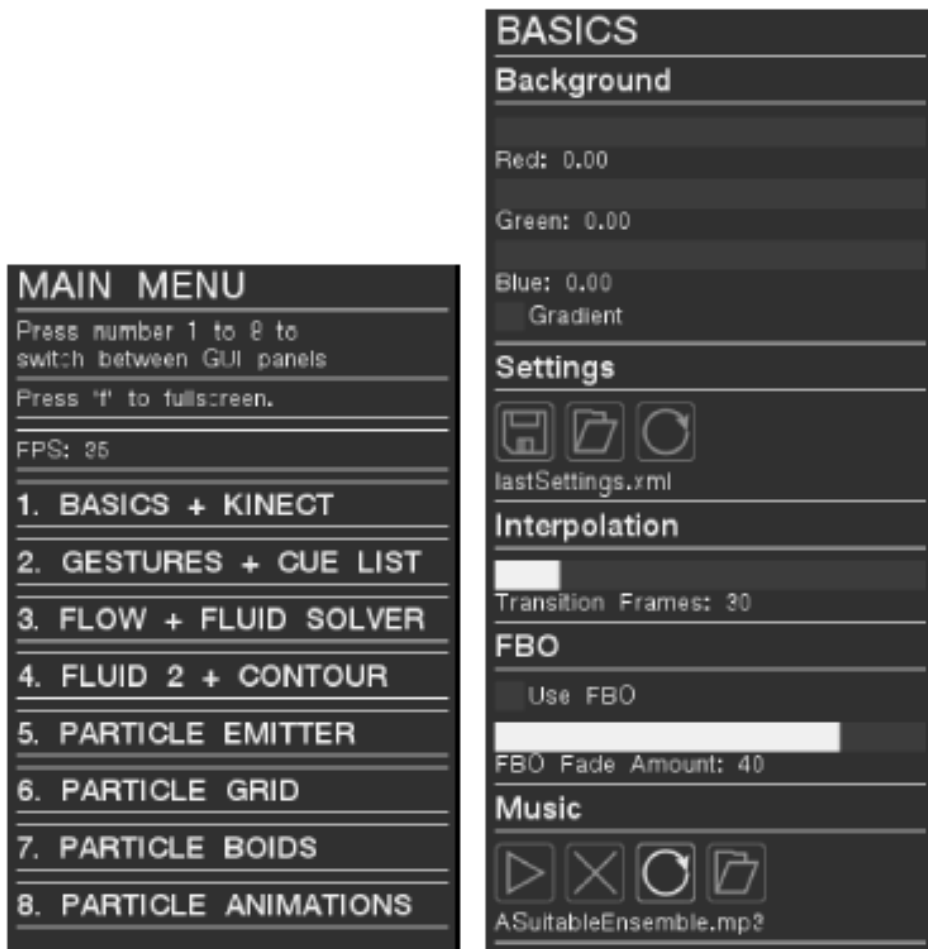


Fig.4.14 MAIN MENU/BASICS

### 3 KINECT(Fig,4.15)

Kinect の設定パラメータ各種

- Up and Down Keys

インタラクションの空間を定義するための傾斜角の設定

- Reset Kinect

Kinect の設定を初期化

- Flip Kinect

画像を反転

- Clipping Range

深度センサの near と far の設定。この範囲以外は無視する

- Threshold Range

深度情報の閾値設定、範囲を超えるものは全て黒みになる

- Contour Size

ブロボの最大値と最小値の設定

- Left/Right Crop

深度画像を左から右にトリミングする

- Top/Bottom Crop

深度画像を上から下にトリミングする

- Depth Number of Erosions

深度画像の収縮処理の回数

- Depth Number of Dilations

深度画像の膨張処理の回数

• **Depth Blur Size**

深度情報に対してのブラー処理の設定

• **IR Threshold**

赤外線画像の閾値を設定する

• **Markers Size**

blobの最大値と最小値の設定

• **IR Left/Right Crop**

赤外線画像を左から右にトリミングする

• **IR Top/Bottom Crop**

赤外線画像を上から下にトリミングする

• **IR Number of Erosions**

赤外線画像の収縮処理の回数

• **IR Number of Dilatons**

赤外線画像の膨張処理の回数

• **IR Blur Size**

赤外線画像に対してのブラー処理の設定

• **Tracker persistence**

トラッカーの持続フレーム数

• **Traker max distance**

新しいオブジェクトを認識するまでの距離の設定

• **Show Markers**

識別ラベルの ON/OFF

•Show Markers Path

マーカーのパス表示

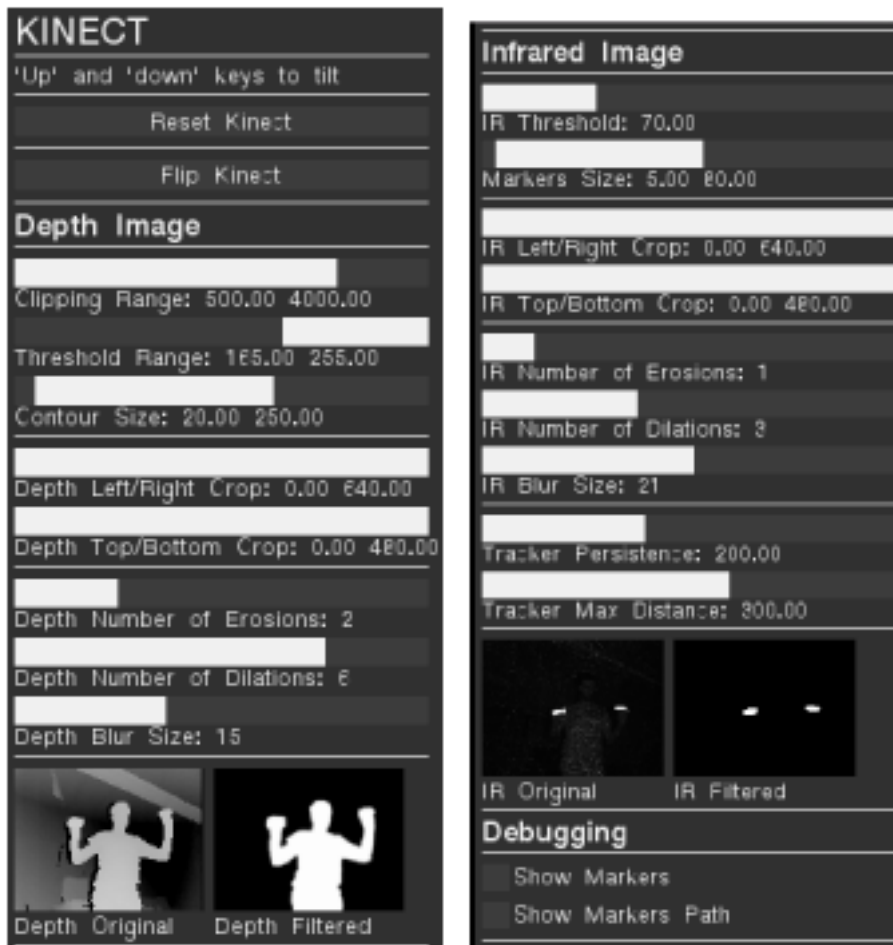


Fig.4.15 Kinect panels

4 OPTICAL FLOW (Fig,4.15)

オプティカルフローのパラメータ各種

•Eye icon

オプティカルフローの有効化／無効化

•Flow Strength

強度設定

• **Threshold**

動きがあるか判断する閾値

• **Inverse X**

ベクトルの水平方向を反転させる

• **Inverse Y**

ベクトルの垂直方向を反転

• **Time Blur Active**

時間の経過とともにベクトルフィールドのぼかしを生かす

• **Time Blur Decay**

時間経過とともにぼかしの減衰

• **Time Blur Radius**

ぼかしの半径サイズ

• **Show Optical Flow**

オプティカルフローを画面上に描画する

• **Show Scalar**

オプティカルフローをスカラー描画する

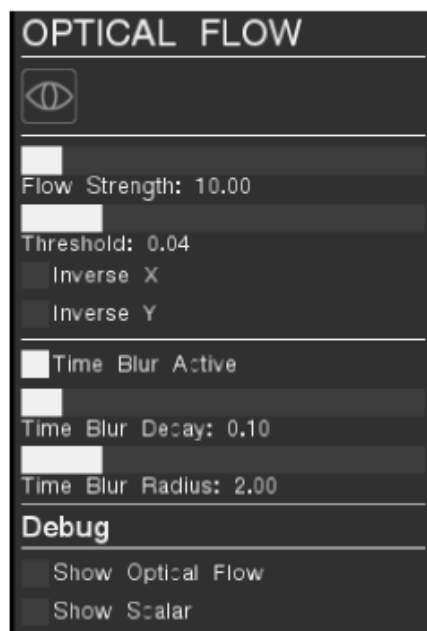


Fig.4.16 OPTICAL FLOW

## 5 PARTICLE EMITTER (Fig,4.16)

パーティクルの制御

- Eye Icon

パーティクルの有効化／無効化

- Red／Green／Blue

新しいパーティクルに色をつける

- Opacity

全てのパーティクルの不透明度の制御

- IR Marker

赤外線マーカーをインタラクティブの作用源として設定する

- Contour

輪郭線をインタラクティブの作用源として設定

- Particles/sec



1秒ごとに生成されるパーティクルの数

•Velocity

新しいパーティクルの初期速度

•Velocity Random

パーティクルのランダム性

•Velocity from Motion

パーティクルが入力ソースと逆の動きをする設定

•Emitter Size

パーティクルの放出領域の拡大

•Emit all time

パーティクルを生成し続ける

•Emit all time on contour

輪郭の上にパーティクルが常に生成された状態

•Emit only if movement

動きがあった場合にパーティクルが生成される

•Friction

時間とともにパーティクルの速度を減少させる

•Gravity X

水平方向に重力を加える

•Gravity Y

垂直方向に重力を加える

•Turbulence

パーティクルの動きにノイズを与える

- Bounces

パーティクルをウィンドウの境界で跳ね返す

- Steers

パーティクルをウィンドウの境界に達する前に遠ざける

- Infinite

境界をなくす

- Repulse

パーティクルを反発させ合う

- Repulse Dist

パーティクル間の反発距離

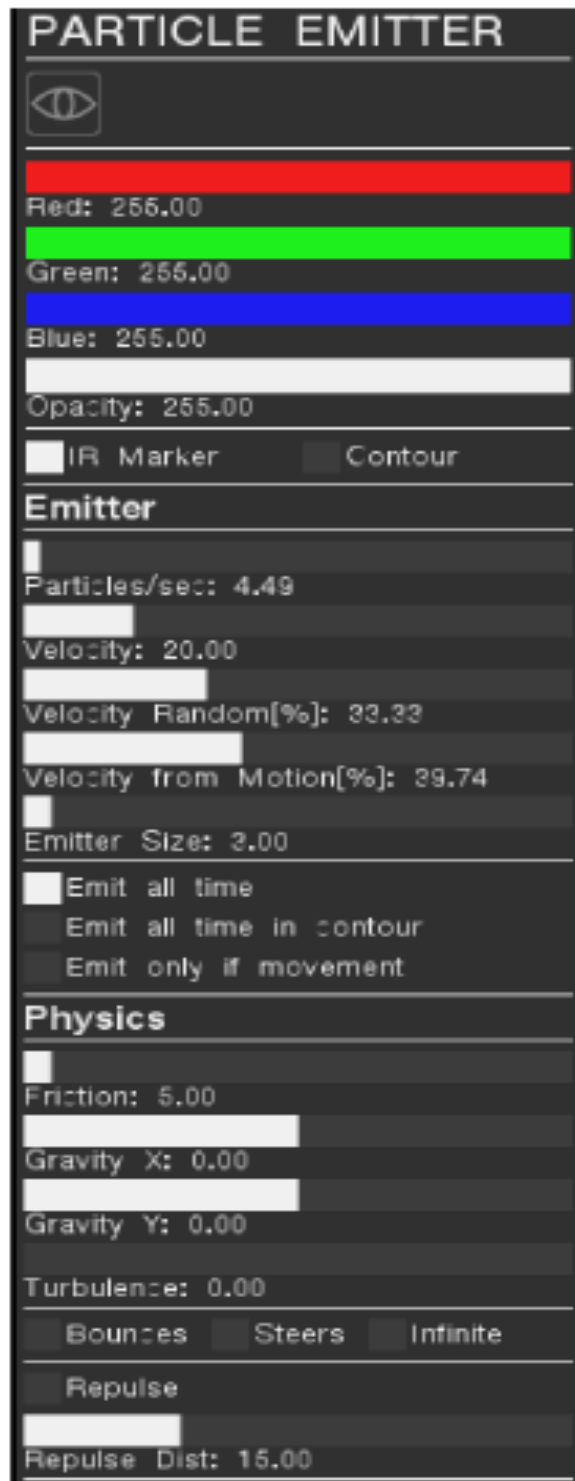


Fig.4.17 PARTICLE EMITTER

## 第5章 評価実験

### 5.1 インタラクティブコンテンツの注目度実験

#### 5.1.1 実験概要

作成したユーザの動きによって視覚フィードバックをもたらすインタラクティブコンテンツを使ってシステムの注目度実験を行なった。オフィスや家などに本システムまたは類似のシステムがあったと仮定し、意図せず発見した場合などに本システムに注目し使用するか調査をする。今回、大学内の人の交通が多いフリースペースに本システムを設置し2時間の経過実験を行なった。その際に通行した延べ人数と実際にシステムを利用した人数を以下に示していく。

#### 5.1.2 実験の目的

この実験では本システムまたはそれに類似したインタラクティブコンテンツがオフィスや学校などの人が集まる休憩室やフリースペースなどにあったと仮定し、それを発見した人々がシステムを使ってくれるかを調査することを目的としている。実験の結果により本システムに気づき利用する人が多いと判断できた場合、このシステムに運動プログラムのような何らかのコアとなる内容を付加することは有効であると考えることができる。

#### 5.1.3 実験環境

本実験では、インタラクティブコンテンツの設置場所として慶應義塾大学日吉

キャンパスの協生館3F の大部屋を実験環境として利用した。設置したシステムとして、ディスプレイは Panasonic 製 TH-P42VT2 を使用した(Fig.5.1)。また通行者の視認性を高めるためディスプレイスタンドに設置し地上から約150 cm の高さに設置、スタンドは CR-PL12K を使用した(Fig5.2)。



Fig..5.1 TH-P42VT2



Fig..5.2 CR-PL12K

TH-P42VT2 上部に Kinect を取り付け、制御するコンピュータは MacBook,1.2GHz,メモリ 8GB 1600MHz DDR3,グラフィックス Intel HD Graphics 5300 1536MB を使用した。また Kinect の設定値としては Table.5.1 の様になる。本実験では水平角を57度、鉛直角を 43 度に設定し、測定範囲を 0.8~4.0(m)に設定した。この値は Kinect の設定のほぼ最大値であり、設定の理由としては有効範囲を広げることでより多くの人に気づいてもらうためである。測定範囲内に人が通行した場合、本システムによりディスプレイに自身の外接情報とパーティクル効果が表れるようになっている。

本実験のシステムを図示したものが Fig.5.3 となる。

Table.5.1 Kinect の仕様

Resolution	640*480[pixel]
Frame rate	30[FPS]
Horizontal angle of view	57[deg]
Vertical angle of view	43[deg]
Measurable range	0.8~4.0[m]

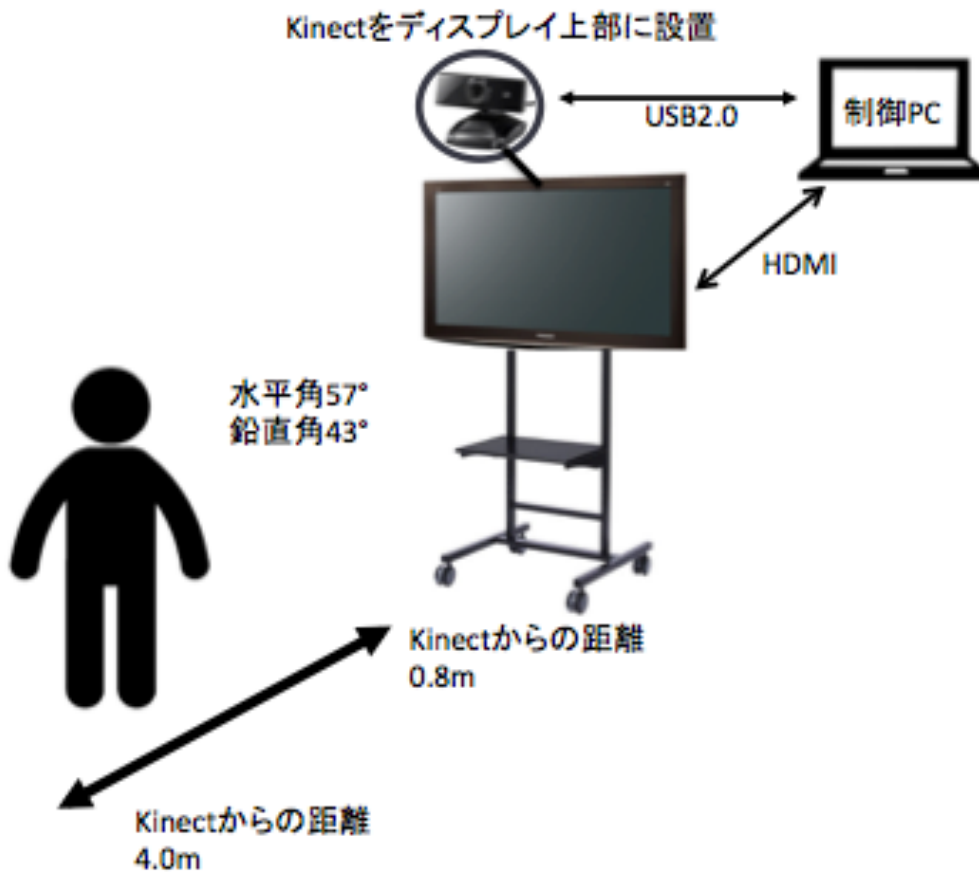


Fig.5.3 通行人とシステムの関係

#### 5.1.4 実験方法

本実験では、オフィスや学校などの休憩室やフリースペースなどに作成した視覚フィードバックをもたらすインタラクティブコンテンツを設置し、ユーザの関心を集めることができるか検証することを目的としている。そのため今回の実験で行なった実験方法は人の往来が多い場所(大部屋)に無造作に本システムを設置した、実験条件として通りがかる人々には何の事前情報も与えず、また大型ディスプレイも普段ある場所に設置し、さらに部屋の入り口などにコンテンツの存在を示唆する張り紙なども一切使用しなかった。これによりたまたまそれに気づいた通行者が足を止め本インタラクティブコンテンツの興味を持つかどうかを検証できると考える。今回の実験では学校が長期休みに入っている平日15:15～17:15の合計2時間の経過実験を行なった。Fig.5.4 はディスプレイの出力画面となっている。また Fig5.5,5.6 は制御 PC 側での管理している画像情報の画面である。



Fig.5.4 モニタ出力画面



Fig.5.5 差分画像



Fig.5.6 2値化画像

今回の実験では通行人が通らなかった場合、つまり人を検知せずシステムが動作していない状態の画面は黒み状態にした、これによりディスプレイの電源が入っていない状態を模倣することができる。また本システムに気づき差分画像内ではその存在は認識できるが Kinect の認識範囲である 0.8~4.0(m)以内に入っていない通行人はシステムを利用したと見なすことはせず人数のカウントから除外した。

### 5.1.5 パーティクル設定の検討

本実験では、作成したユーザの動きによって視覚フィードバックをもたらすインタラクティブコンテンツを採用している。映像効果としてはレイテンシやフリーズの問題から「流体シミュレーション」ではなく、「パーティクル」効果を採用した。本項では、その設定値の決定に至った理由を記す。

まず黒い画面でしっかりと映像効果を確認するためにパーティクルの色は白を採用した。これはコントロールインタフェースの RGB 値を全て 255 にすることで実現できる。また「ofxCV」で得たユーザの輪郭情報に沿うようにパーティク



ルを出現させたいので「Contour」コマンドを ON にしてパーティクルの発生源をユーザの外接に設定した、これによりユーザの外接上に白いパーティクルを出現させることが可能になる。また、パーティクルの種類に関しては先に述べた「Emit only if movement」に設定した。エミッター関連の設定に関しては「Particles/sec」の設定値は 40 前後に設定した、この値を超えてくるとパーティクルの数が多すぎる印象があり、自分の動きに対して反応している感覚が薄れてくると判断し、同様に値が少なすぎると同じ印象が受けると推測した。パーティクルの速度に関しては初期速度を設定する「Velocity」と時間と共に減速する「Friction」、垂直方向の重力設定である「Gravity Y」が特に重要になる。本システムはユーザの動きに対してパーティクルが飛び出す形で放出され、すぐに減速しながら落下するという形をとっている。理由としては減速しない場合はパーティクルが初期速度のまま放出され続けるため環境に影響を与えている実感が薄れると判断した、これは逆に減速を加え、さらに磨直方向に重力を設定することによって物理法則がある現実と類似する環境を作り出すことができると考えられる。この設定により本システムではパーティクルが初期速度は速く放出され減速しながら落下するという効果を実現している。また「Velocity Random」の設定値を 50%前後に「Velocity from Motion」の値は 40%前後「Repulse Dist」は 4 前後に設定した。これらランダム性やパーティクル同士の反発性を設定することによっての動きが均一で単調な動きになることを防ぐことができる。

Fig.5.7 はその設定値の画面である

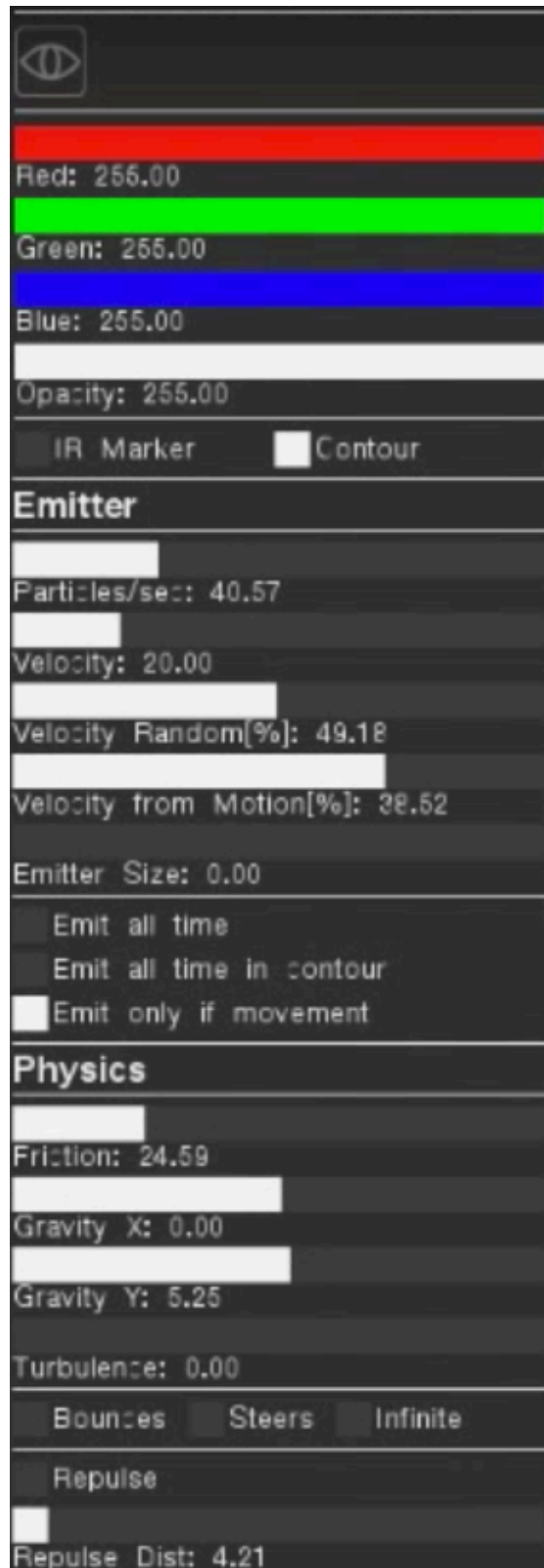


Fig.5.7 パーティクル効果の設定値

## 5.2 注目度実験結果

本システムの前を通り過ぎた人を計測するため、実験中は同時にビデオカメラ撮影を行なった。その録画した映像を元に集計した人数は Fig.5.8 の様になる。

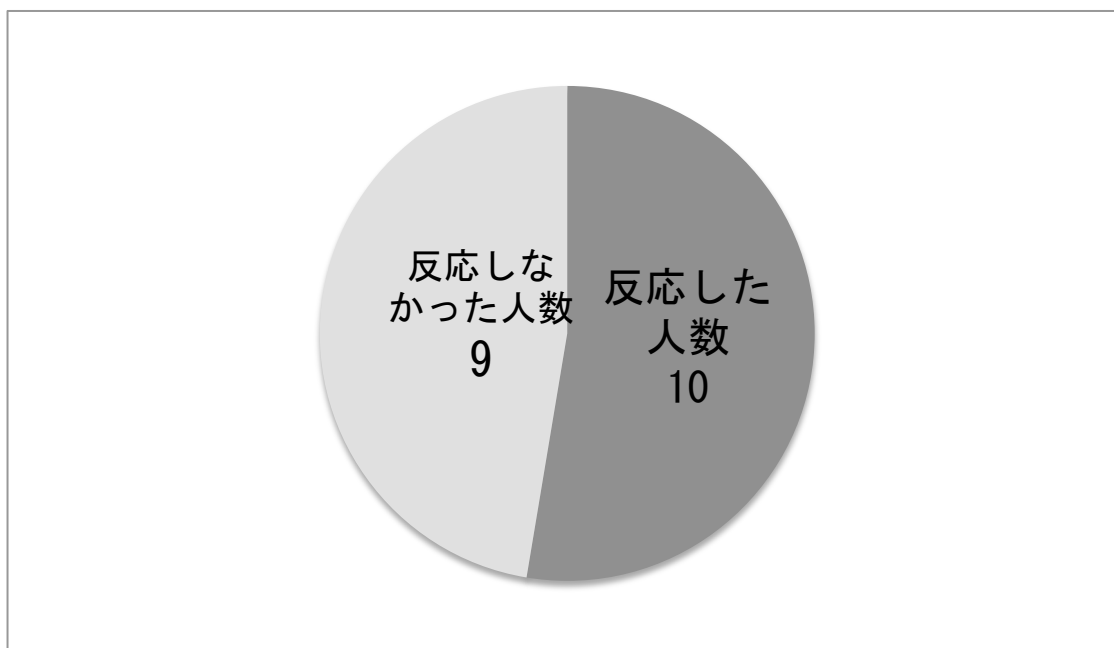


Fig.5.8 被験者の延人数

結果として 2 時間の間に本システムの前を通り過ぎた人数は延 19 人に及んだ、その中でインタラクティブコンテンツに気づき立ち止まった人は 19 人中10人という結果となった。これを考察すると、まず事前情報なしでやっていたこともあり当初の予想としては 4 分の1程度の人が気がつけば良いと思っていたが半数以上の人インタラクティブコンテンツに気づき立ち止まった結果となった。このことから、いつもの体験している空間の中で普段と少し違う現象が起きると人の注意を引くことになるかと推察できる。また、Fig.5.9 のように 2 人以上のグループで反応するケースもあったが本実験では単独で行動している通行者が反応することが多かった。また、気づいてはいるものの反応を示さないという状態

もいくつか見受けられた、これは周りに人がいて見られるのが恥ずかしいなどの思考が働いて立ち止まることを拒否したケースもあるのではないかと予想できる。

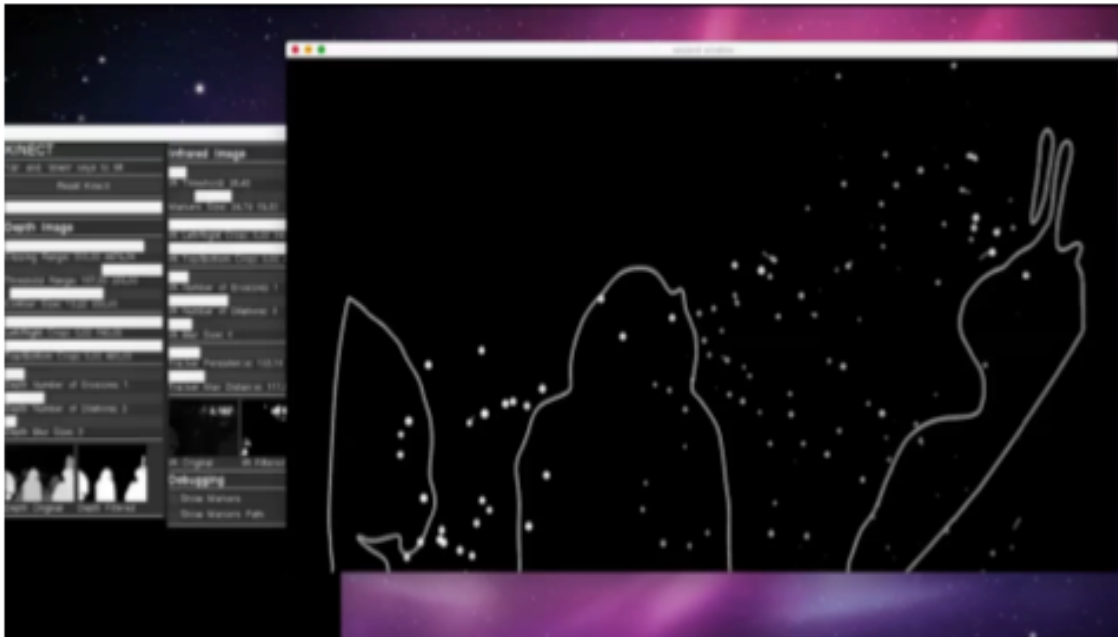


Fig.5.9 2人以上同時に使うケース

さらにシステムに気づいたが **Kinect** の有効範囲内に入ることはなく通り過ぎた人も何人か見受けられ、中には有効範囲外で立ち止まり、システムに対して動作を行おうと試みる人もいた、しかし **Kinect** からの距離が遠かったためシステムが反応せず諦めてその場を立ち去る結果となった。このような事例では通行者はディスプレイの正面には立つが距離的な有効範囲の把握ができていない、つまり水平角と鉛直角に問題はないが **Kinect** からの距離の認知には改善の余地があると考えられる。

また、立ち止まった人の中で本システム使用した経過時間を計測した。それをまとめたものが **Fig.5.10** になる。

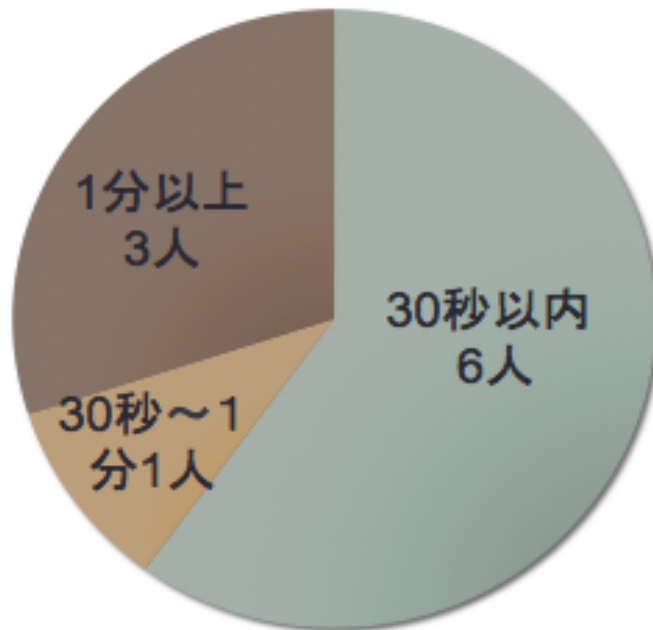


Fig.5.10 システム使用時間

その結果、システムを使用してくれた 10 人の内、30 秒以内システムを使用してくれたのが 6 人となり、30 秒から 1 分以内が 1 人、1 分以上が 3 人という結果になった。インタラクティブコンテンツの中にストーリーなど楽しさを付加する要素は入っていないにも関わらず、ある程度の時間システムを使用する人が多かった。このことから視覚フィードバックをもたらすインタラクティブコンテンツは人の興味の対象になり得ることが伺える。

今回は大学院が休みだったケースもあり母集団自体が小さくなっている。大学院が通常通り行われている日に実施した場合は反応する人数も増えるのではないかと予想できる。

## 5.3 エンハンシング効果確認実験

### 5.3.1 実験概要

前回行った、インタラクティブコンテンツの注目度実験から、作成した視覚フィードバックをもたらすインタラクティブコンテンツは無意識化でも人の興味を惹く対象でありそこに何らかのコアとなるコンテンツを実装させることは有用であることが示唆された。本実験では作成したインタラクティブコンテンツによって本研究の仮説である「インタラクティブコンテンツによってエンハンシング効果が生まれる」を検証することにする。

エンハンシング効果とは外的事象によって内発的動機付けが高まることを指す現象であることから、その外的事象を本システムのインタラクティブコンテンツとし、それを被験者に体験してもらい体験後のアンケートから統計処理を行い仮説の検証していく。

### 5.3.2 実験の目的

本研究での仮説「インタラクティブコンテンツによってエンハンシング効果が生まれる」を検証する目的として、運動継続という観点では明確なゴールがないため一生涯の継続が求められる。しかし実際には単純な作業で楽しくないことや肉体的苦痛などが伴い、継続するための動機づけが低下することが多いことから、動機づけを損なわない状態で行うためにインタラクティブコンテンツが有効かどうかを検証することが重要だと考える。

先にも述べたがリハビリテーションでの活用などで運動機能向上に役

立つという報告はあるが、インタラクティブコンテンツ自体がユーザの動機づけを促したという報告は未だない。そこで本実験では作成した視覚フィードバックをもたらすインタラクティブコンテンツを用いて、それを検証した。この実験によりエンハンシング効果が確認でき内発的動機付けに影響を及ぼすことが証明できれば、本研究で提案しているオフィスや学校などの休憩所やフリースペースなどで利用者の興味を惹きつけ、システムの利用者が少し体を動かしたくなるコンテンツを作るきっかけの有用な知見になり得ると考えられる。

### 5.3.3 ラジオ体操の効能

本実験では被験者に「ラジオ体操」を行ってもらった。理由としては被験者の全員が知っている体操であるためと健康増進にとっても効果があるためである。

2014年に一般財団法人簡易保険加入組合が行なった「ラジオ体操の実施効果に関する調査研究」ではラジオ体操継続者は、基礎代謝量と筋肉量から求める体内年齢が男女ともにそれを行っていない調査対象に比べ男性は10歳前後、女性は15歳前後も若くなるという結果になった (Fig.5.11)[27]。また毎日ラジオ体操をしている高齢者は生活活動能力(歩行能力、動作始動能力、反応能力、身辺作業能力)において歩行能力と握力に特に優れ、身体の筋肉を維持することにおいて好影響を及ぼすことがわかっている。

このことからラジオ体操を継続して行うことによって健康増進に大きな影響を与えるコンテンツであることから若い年齢の時から習慣化が望まれる。

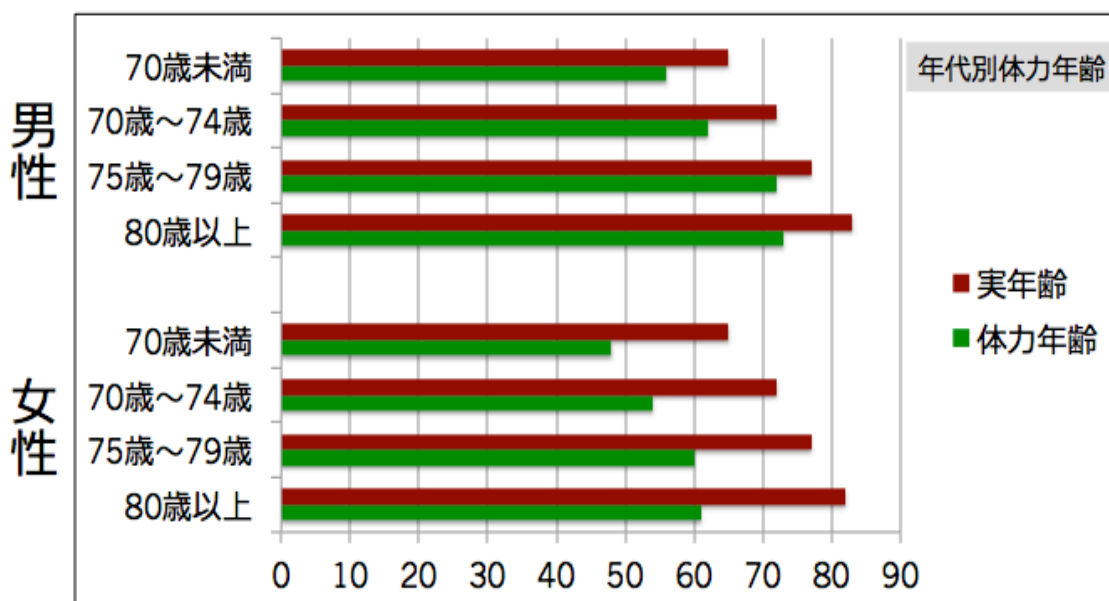


Fig.5.11 年代別体力年齢



#### 5.3.4 実験方法

今回の実験では 20 代から 40 代の男女 10 名に対して実験を行なった。被験者には直前まで実験概要を伝えず、一人ずつ部屋に入ってもらい実験の内容を告げた。被験者に取り組んでもらう内容は本システムである視覚フィードバックをもたらすインタラクティブコンテンツを使ったラジオ体操と本システムを使用しない通常状態のラジオ体操を行なってもらった。また本システムで使用したインタラクティブコンテンツは Fig. 4.12 の自身の体のラインを残しその周りをパーティクルがユーザの動きに連動して動くコンテンツを使用した (Emit only if movement)。この理由としては流体のエフェクトであると、フレームレートを落としても処理の複雑さから若干の遅延が発生し、ユーザの挙動に合わせてリアルタイムフィードバックを返すという当初の目的から外れることになるためである。これは処理能力が高い GPU などを使用すれば解決できる問題かもしれないが、本実験の一番の目的は何らかの視覚フィードバックを返すインタラクティブコンテンツによってエンハンシング効果を確認することにあるため、そのエフェクト効果の種類については現段階において特別に言及しない。そのため本実験における Kinect の設定は遅延なくフィードバックを返せるパーティクルを使用した。また処理の軽減のためフレームレートを 30fps から 24fps に下げた、水平角と鉛直角は注目度実験の時と同様に水平角  $57^\circ$ 、鉛直角  $43^\circ$  に設定した。Kinect からの距離に関しては前回の実験から 1m 減らし 0.8~3.0(m) に設定した。この理由としては実験場所が会議室であり、そこまでの有効範囲を設定する必要がないためである。本実験で使用した Kinect の設定は

Table. 5.2 で記した通りである。

Table. 5.2 Kinect の使用 (エンハンシング効果確認実験)

<b>Resolution</b>	<b>640*480[pixel]</b>
<b>Frame rate</b>	<b>24[FPS]</b>
<b>Horizontal angle of view</b>	<b>57[deg]</b>
<b>Vertical angle of view</b>	<b>43[deg]</b>
<b>Measurable range</b>	<b>0.8~3.0[m]</b>

使用したプロジェクターは NEC 社の NP-V300W 3000Lumens High Brightness Mobile を使用した (Fig. 5.12)。これを HDMI ケーブルで制御 PC と接続し壁から 2.8m の位置から投影した。



Fig. 5.12 NP-V300W 3000Lumens High Brightness Mobile

Fig. 5.13 は本実験を図示したものである。ユーザには壁から 2m の地点で体操を行なってもらった。またユーザの目線と同じ高さに投影した像がくるように被験者によって投影する高さを少し変更して実験を行なった。

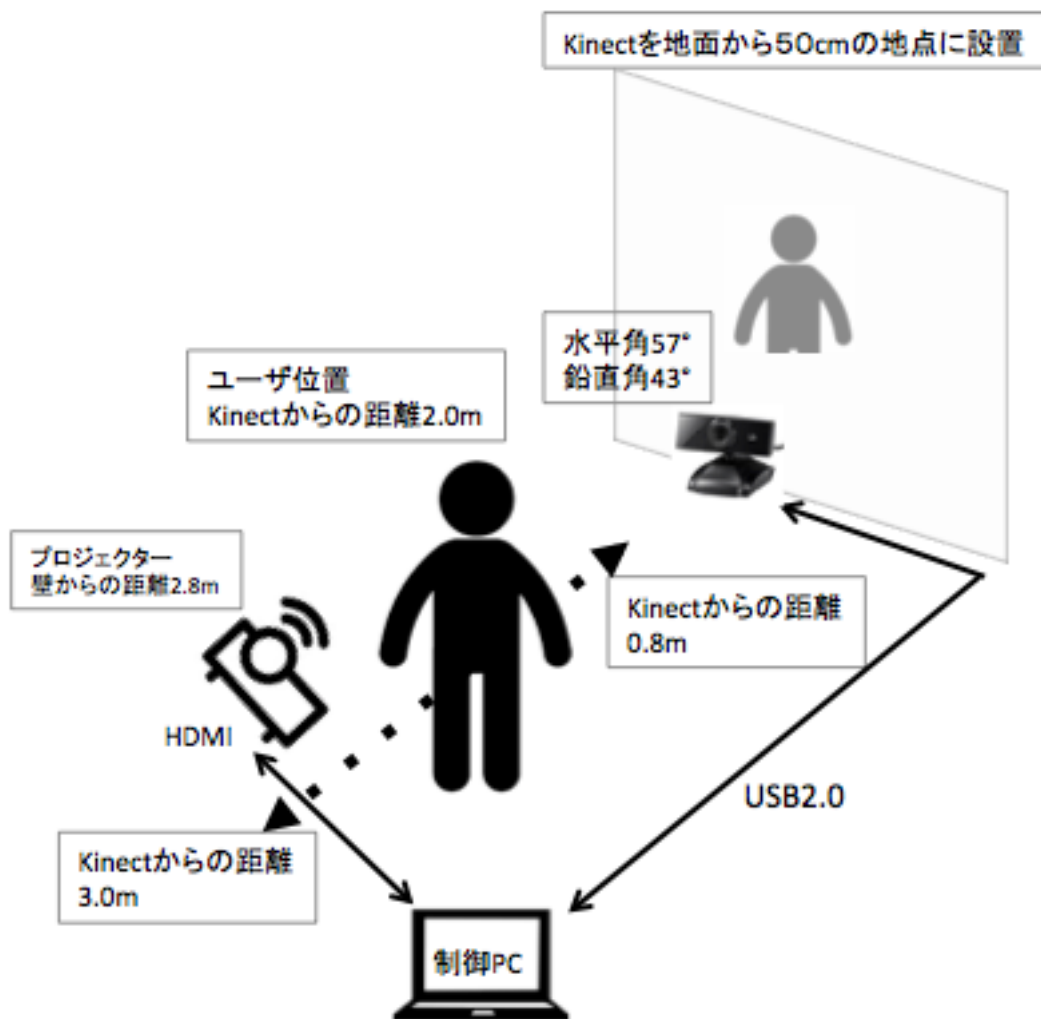


Fig. 5.13 人物とシステムの関係

今回の実験ではアンケート処理で対応ある t 検定を行うため、被験者に

は「視覚フィードバックありのラジオ体操」から取り組んでもらう組と「視覚フィードバックなしのラジオ体操」に取り組んでもらう組とを半分になるように分けて行なった。またラジオ体操を思い出す時間を与えずに実験を行なった。Fig. 5.14 は実験の様子である。ラジオ体操の音楽は被験者が Kinect から 2m の位置に立ち呼吸を整えてから音楽をスタートさせた。尚ここで使用した音楽は「ラジオ体操第一」までで「ラジオ体操第二」は含まれない。また、パーティクル効果の設定に関しては 5.1.5 で述べた値と同じ設定で実験を行なった。



Fig. 5.14 実験の様子

### 5.3.5 アンケート項目

今回の実験では5問の設問を7段階の評価で行うアンケートを用意した。いずれも自己決定理論に基づきエンハンシング効果測定に有効な設問と仮定できるものを設定した。

アンケートの項目は

「集中して体操を行えた」

「自信を持って体操を行えた」

「体操後満足感を感じた」

「楽しく体操を行えた」

「自由に体操を行えた」

の5項目である。

「自身を持って体操を行えた」と「体操後満足感を感じた」はどちらも「評価的／フィードバック機能」に結びつい、自己有能感に関する項目である。これは活動そのものに対する当人の成功や失敗に関する情報であり、活動に対する有能さの認知を指すからあるからである

「楽しく体操を行えた」と「自由に体操を行えた」は「社会的制約機能」に結びつき自己決定感に関する項目である。これは活動を嫌々やらされている仕事としてではなく自ら楽しんで行なっている自発的な状態を指す。

「集中して行えた」はどちらの項目にも結びつくものではない。これは視覚FBありの体操が集中度に与える影響を調べるために設けた項目となっている。



## 5.4 実験結果

### 5.4.1 対応ある t 検定結果

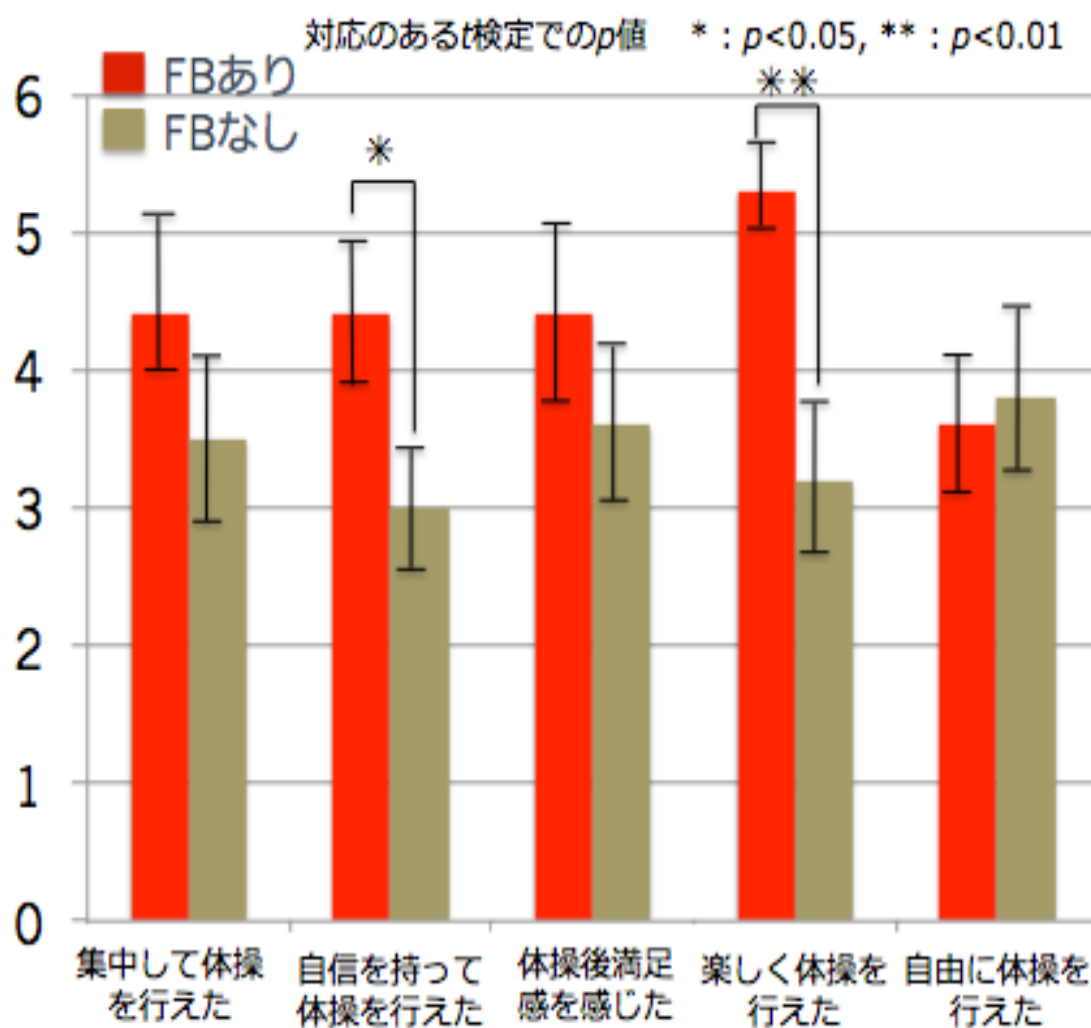


Fig.5.16 アンケート結果

成人男女10名に実験を行なってもらった結果は Fig.5.16 のようになった。まず「集中して体操を行えた」の項目ではフィードバックあり(以下 FB あり)の平均値が 4.5(標準偏差 1.11)となりフィードバックなし(以下 FB なし)の平均値は



3.5(標準偏差 1.2)となった。次に「自信を持って体操を行えた」の項目では FB ありの平均値が 4.4(標準偏差 1)となり FB なしでは平均値 3(標準偏差 0.9)となった。「体操後満足感を感じた」の項目では FB ありの平均値が 4.4(標準偏差 1)となり FB なしでは平均値 3(標準偏差 0.9)となった。「楽しく体操を行えた」の項目では FB ありの平均値が 5.3(標準偏差 0.6)となり FB なしでは平均値 3.2(標準偏差 1.1)となった。最後に「自由に体操を行えた」の項目に関しては FB ありの平均値が 3.6(標準偏差 1)となり FB なしの平均値は 3.8(標準偏差 1.2)という結果になった。

この結果から「自信を持って体操を行えた」では有意水準5%で FB ありに有意差が確認できた。さらに「楽しく体操が行えた」では有意水準1%で FB ありに有意差を確認することができた。

#### 5.4.2 実験の考察

今回の実験結果では「自信を持って体操を行えた」と「楽しく体操を行えた」に有意差が確認できた。特に FB ありの「楽しく体操を行えた」に関してはインタラクティブコンテンツが持つエンタテイメント性が強く作用したせいか被験者に対して強く印象付ける形となった。また FB ありの「自信を持って体操を行えた」に関しては被験者自らの動きによって視覚効果を生むことから環境に影響を与えることができ、さらには自分の体のラインもわずかながら残しておいた点が結果に繋がったと推測する。

以上2つの項目で有意差が確認できたことによって、仮説である「インタラクティブコンテンツによってエンハンシング効果が生まれる」の妥当性を証明できたことになる。先にも述べたがその理由として有意差が出た2つの項目がエン

ハンシング効果の評価軸である外的報酬の 2 つの機能を満たすものであるからである。

まず「自信を持って体操を行えた」は外的報酬の 2 つの機能の1つである「評価的／フィードバック機能」に対して密接に結びつく。なぜなら「自信を持って体操を行えた」は活動そのものに対する当人の成功や失敗に関する情報であり、活動に対する自己有能さの認知であるからである。

また「楽しく体操を行えた」はもう一つ機能である「社会的制約機能」と結びつく項目である。これは報酬のない活動を単純にやらされている事柄と認識した場合、内発的動機づけは低下するが、それを遊びと認知した場合は内発的動機づけの低下を否定することができる、つまり自らの意思で自発的に行なっていると判断することができ自己決定感に起因する

以上のことから、外的報酬の2つの機能を満たす結果になり、インタラクティブコンテンツを使ってエンハンシング効果が確認できたと言える。この結果によって視覚フィードバックをもたらすインタラクティブコンテンツはユーザの内発的動機づけ増加を助けることがわかった。

しかし、同じ自己有能感に関連する項目であった「自由に体操を行えた」に関しては有意差が確認できなかった。これは「自由に」という言葉の定義が何を指しているのか不明瞭であり、被験者間によってその解釈が違っていたと推測される。なぜなら結果的にラジオ体操を強要されているのにも関わらず「自由に体操を行えた」というのは矛盾をはらんでいるからである。しかし被験者によってはこの項目を以前に行ったラジオ体操よりも強制感が少なく自発的に行なっている感覚があったと拡大的に解釈をしてくれる方もいた。

また「体操後満足感を感じた」の項目に関してはFBありの方が得点が高かつ

たが有意差は確認できなかった。これも後から考察するに「体操後気分が晴れやかになった」など「満足感」が指す意味をもう少し明確にしアンケート取るべきだったと思われる。最後に「集中して体操を行えた」に関しても有意差を確認できなかった。

## 第6章 インタラクティブコンテンツの可能性

### 6.1 新たなインタラクティブコンテンツ

インターネットが我々の生活を一変させ、それはさらに日々進化を遂げている。今ある既存技術がインターネットと結びつき我々の生活をより豊かにしてくれることは容易に予想がつく、しかし未だコンテンツがインターネットと結びついた例は少ない、コンピュータゲームなど一部例外はあるが今後このような分野でも様々な取り組みが行われることと予想でき本研究の意義もそこにある。例えば有機 EL 技術が発達すれば部屋の壁一面に張りめぐらせることだって可能になる、それがもたらす環境変化は照明器具が必要なくなりテレビも物理的に必要なくなる。また同時にクラウド技術の発達によりパーソナルコンピュータも必要なくなる可能性も出てくる。そのような時代になった場合コンテンツだけ昔のまま取り残されることはない。そこでは、より直感的により高度なインタラクティブ技術が求められることだろう。例えばエレクトリックコマースでは商品と売り場と購入者をシームレスに結んだサービス展開も可能であるし、また演劇や音楽コンサートなどの演出で様々な試みが日夜されているが、今後それらは家庭やオフィスなどにも対象範囲を広げることと予想される。

健康増進の観点で言えば自宅で行える運動が大きく変化するはずである、今までは自宅で行うフィットネスはヨガやストレッチ、または DVD などのエクササイズコンテンツであった、これらがブラウザ上にコンテンツが置かれ web カメラだけの使用など、最低限のハードウェアだけでインタラクティブなコンテンツを行える日はそう遠くないはずである。そうなった場合ブラウザ上にコンテンツ

があるので内容の更新性が容易でありユーザは常に楽しみながら自宅で運動ができる。また自宅行えるコンテンツであれば環境を変え、オフィスや学校などでも応用が可能である。

本研究は健康増進について行ったが、インタラクティブコンテンツの本質は様々な要素技術を複合してユーザに新しい体験を与えることにある。今後は、我々が思いもしなかったものと結びつき、新しい体験だけでなく新しい価値を生む原動力になるはずである。

## 第7章 結論

### 7.1 研究の考察

本論文では「インタラクティブコンテンツが運動の動機づけ支援になり得るか」を検証した。インタラクティブコンテンツはその定義として「ある情報を含むコンテンツを、制作者や提供側から一方的に送りつけるだけではなく、それを見たり利用したりしている人からの反応に応じて、内容を適宜変更・修正して、ある頻度で連続して提供する形式のコンテンツを一般にインタラクティブコンテンツと呼ぶ」となっている。ユーザの反応に対してコンテンツの内容が変更または修正されフィードバックされるものを指しているが、そのフィードバックの仕方は視覚、聴覚、触覚、など五感の一つに対してフィードバックされるものや、またはそれらを複合した形でフィードバックされるものが多い。本システムでは視覚のみにフィードバックをもたらすインタラクティブコンテンツを作成して2つ実験を行なった。1つ目の実験では作成したインタラクティブコンテンツがユーザの関心を集めるかを調べるために行った。これはオフィスや学校などのフリースペースに設置した場合、無意識に体を動かすコンテンツになることを目標として行った実験である。結果は情報揭示をしなかったにも係わらず半数以上の人システムに気づき使用してくれた。

またこの実験では運動プログラムの実装までは行っていなかったが、結果から推測するに何らかのコアとなる運動プログラムを実装することは有効であると考えられる。次の実験では視覚フィードバックをもたらす

インタラクティブコンテンツが動機づけ支援となり得るかを検証した。ここでは短時間で極めて運動効果が高く健康増進に役立つとされているラジオ体操を用いて被験者にFBありのラジオ体操とFBなしのラジオ体操を行ってもらった。動機づけ支援となったかを計る評価軸としてはDeci & Ryanが提唱している「自己決定理論」を使用した。「自己決定理論」の中にある「エンハンシング効果」に注目し仮説をたて実験を行った。これは外的事象によりユーザの内発的動機づけが高まる効果を指し、この外的事象をインタラクティブコンテンツによって置き換えたものである。実験結果では2つの項目に有意差が確認でき、どちらもエンハンシング効果が生まれたことを裏付ける項目であったことから、本研究の仮説を証明できたと言える。これは同時に「インタラクティブコンテンツは運動の動機づけ支援になり得る」という妥当性確認が取れたことになる。

## 7.2 今後の研究課題

視覚フィードバックをもたらすインタラクティブコンテンツが内発的動機づけを高める効果があることがわかった、またそれを用いて人が集めるフリースペースなどに設置し、それが関心を集める存在であることは示唆された。しかし歩くだけをとっても「曲げる」「伸ばす」「蹴る」などの様々な運動の特性が複合されている。これらを細く分析し最適なフィードバックの研究が必要である。また実際に運動プログラムを実装してオフィスなどで経過実験を行っていない。今後はそういった運動の特性に対する最適な視覚フィードバックの検討と、ユーザが

継続的に運動をするためのコンテンツの研究、その両軸からのアプローチが求められていると考える。今回得られた知見を活かしてさらなる研究に邁進したい。



## 謝辞

この研究は、周りの方々のサポートがなければ決して完成することはできませんでした。

研究に関わってくださったすべての方々に、心より感謝の意を表します。特に研究の立案から実際の構築、実験、発表練習に至るまで大変親身になってご指導くださった小木哲朗教授に感謝致します。

副査を担当してくださった白坂成功准教授にも感謝致します。お忙しい中にも関わらず時間を割いていただき、研究に関連した情報や具体的なアドバイスをいただき、私の研究の糧となるご指導を下さいました。

最後に同じ研究室の皆様及びシステムデザイン・マネジメント研究科の学生の皆様に本論文に関する助言や議論、実験などにご協力いただきました。心より御礼申し上げます。

2017 年 2 月 16 日

慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科

システムデザイン・マネジメント専攻

窪田 尚洋

## 参考文献

- [1] 一般財団法人デジタルコンテンツ協会:2011「デジタルコンテンツの市場環境変化に関する調査研究」
- [2] Deci, E.L. (1975). *Intrinsic motivation*. New York: Plenum.
- [3] 北村喜文,2014「インタラクティブコンテンツ:総論」;映像メディア学会誌, Vol. 68, No.2, pp.113-115
- [4] Deci,E.L.&Ryan,R.M.2002 *Handbook of Self-Determination Research*, Rochester, NY : TheUniversity of Rochester Press.
- [5] 鹿毛 雅治,1995 特徴的な達成現象とその理解 宮本美沙子・奈須正裕(編) 達成動機の理論と展開 続・達成動機の心理学 金子書房 pp.217-227 .
- [6]Deci, E.L., & Ryan, R.M. 1985 「Intrinsic motivation and self-determination inhuman behavior」. New York: Plenum Press.
- [7] 白井 暁彦. 2004 「エンタテインメントシステム」.芸術科学会論文 誌 Vol3, pp 22-34
- [8] Johan Huizinga, 1938,“ Homo Ludens ”, (高橋 英夫訳『ホモ・ルーデンス』中公文庫,1973).
- [9] R. カイヨワ, 多田道太郎, 塚崎幹夫 (訳), 1990,「遊びと人間」, 講談社学術文庫 920,
- [10] Dobbins,B. 1980 Improvisation: An Essential Element of Musical Proficiency,MEJ, MENC, Vol.66-5, pp.36-41
- [11] John Maeda 2004 「Creative Code : Aesthetics + Computation」 Thames & Hudson
- [12] <http://dbn.media.mit.edu/>
- [13] <https://processing.org/>
- [14]松尾篤,森岡周,冷水誠,前岡浩,庄本康治,2010 「家庭用ゲーム機器を使用した運動介入が身体機能・脳活動に及ぼす影響」;健康医科学研究助成論文集 pp.82-90
- [15] Dault MC, de Haart M, et al. 2003 「Effects of visual center of pressure feedback on postural control in young and elderly healthy adults and in stroke patients」; Hum Mov Sci. pp221-236
- [16] Faugloire E, Bardly BG, et al. 2005「Exploring coordination dynamics of the postural system with real-time visual feedback」 *Neurosci Lett*.374: pp136-141.

- [17] Ronsse R, Puttemans V, et al. 2011 「Motor learning with augmented feedback: Modality-dependent behavioral and neural consequences. Cerebral Cortex」 21: pp1283- 1294.
- [18] <https://opensource.org/licenses/MIT>
- [19] <http://ofxaddons.com/categories>
- [20] <https://developer.apple.com/jp/xcode/>
- [21] <https://github.com/ofTheo/ofxKinect>
- [22] <https://github.com/kylemcdonald/ofxCv>
- [23] <https://github.com/moostrik/ofxFlowTools>
- [24] <https://github.com/rezaali/ofxUI>
- [25] <https://github.com/genekogan/ofxSecondWindow>
- [26] <https://github.com/fabiaserra/crea>
- [27] 一般財団法人 簡易保険加入者協会: 2014 「ラジオ体操の実施効果に関する調査研究」