

博 士 論 文

行動促進のためのインタラクティブシステムの
構成手法に関する研究

佐藤彩夏

論文要旨

健康や技術習得など、何かの目的のために新たな行動を起こし、それを継続するためには動機づけが必要となる。動機づけは、給与、賞賛など外的な報酬による「外発的動機づけ」と、満足感、達成感など内的な報酬による「内発的動機づけ」とに二分される。内発的動機づけは、行動そのものから報酬が得られるため、動機づけが継続しやすい。さらに、人の行動を決定づける要因として、ある行動に対してどの程度うまく遂行できるかを予測する「自己効力感」という心理学の概念がある。高い自己効力感を持つ人は、自信を持って積極的に行動を起こすことができる。一方で、自己効力感が低い人は、自分にはできそうにないと感じ、行動を起こす前に諦めたり、行動に対して無関心になりやすい。先行研究では、高い自己効力感を持つ人ほど、内発的動機づけを用いて行動をすることも明らかになっている。つまり、自己効力感の高まりは、結果として継続的な行動にも繋がる。従来、これらの心理学的概念は、心理学の分野において、臨床現場での活用や行動変容の評価手法として用いられてきた。

一方で、Human Computer Interaction (HCI) の分野では、人とコンピュータが相互に作用する「インタラクティブシステム」による、人の行動支援研究が活発に行われている。インタラクティブシステムには、ユーザのセンシング、ユーザへのリアルタイムフィードバック、ユーザに合わせたリアルタイムな調節、という3つの特徴を持つ。ユーザの行動を促進するためには、これらの特徴を活かして、ユーザが行動したくなるような設計を行うことが重要である。従来の行動支援研究は、特定の行動に特化しているため、行動全般のインタラクティブシステムの構成手法は体系化されてこなかった。また、これまでのユーザインタフェース設計に関する研究は、ユーザの行動そのものの体験を向上させるための研究が多く、行動の前後の体験や、継続性にまで踏み込んでいない。

本研究では、継続的な行動促進を目的としたインタラクティブシステムの構成手法を提案する。自己効力感の向上に影響を与える要素と、インタラクティブシステムの特徴を踏まえて、次の4つの構成手法の要素を導き出した。1つ目は「達成目標の設定」である。これは、達成すべきことが明確になるような具体的な内容でかつユーザが認識できるように設定する。2つ目は「ユーザに合わせた調節」である。この中にはさらに2種類の調節があり、1種類目はユーザに能力に合わせた調整、2種類目はユーザの身体状態に合わせた調節である。3つ目は「フィードバックの提供」である。この中には3種類のフィードバックがあり、1種類目は目標達成時のフィードバック、2種類目は段階的フィードバック、3種類目は失敗時のフィードバックである。4つ目は「疑似体験の提供」である。これには2種類の方法があり、1種類目は他者の体験を見聞きすること、2種類目はバーチャル体験を提供することである。これら4つの要素は、自己効力感の向上と、自己効力感の低下の防止に寄与するため、結果としてユーザの自己効力感を高め、継続的な行動促進へと繋がる。

本論文では、構成手法の具体的なインタラクティブシステムへの適用方法を示すためにケーススタディを行った。19種類の既存の行動支援システムと、構成手法を比較し、各項目に該当する

かどうかを評価し、満たしていない項目については具体的な改善案を提案する。これにより、インタラクティブシステムを設計する際に考慮すべき点を体系化し、さまざまな種類のシステムに適用できることを示した。一方で、本研究の課題と、研究の余地があることが明らかとなった。「ユーザに合わせた調節」については、センシング技術や機械学習などによる解析技術が発展することで、これまで以上に詳細なユーザの状態が把握できるようになり、「フィードバックの提供」については、行動改善のモデルとなる情報の形式知化により、本研究の活用の幅が広がることが期待される。今後、本研究を活用して行動促進のためのインタラクティブシステムを構築することで、人の健康、能力向上、目標達成に貢献すると考える。

目次

第 1 章	序論	10
1.1	背景と目的	10
1.2	従来のユーザインタフェース研究	11
1.3	本研究の位置づけ	17
1.4	本論文の構成	18
第 2 章	行動のメカニズム	20
2.1	内発的動機づけと外発的動機づけ	20
2.2	行動を決定づける要因と自己効力感	21
2.2.1	自己効力感に影響を与える 4 つの情報源	22
2.2.2	自己効力感の事例	24
2.3	まとめと本論文の方針	27
第 3 章	行動促進のためのインタラクティブシステムの構成手法	28
3.1	インタラクティブシステムの特徴	28
3.2	構成手法の 4 要素	29
3.2.1	(1) 達成目標の設定	29
3.2.2	(2) ユーザに合わせた調節	30
3.2.3	(3) フィードバックの提供	31
3.2.4	(4) 疑似体験の提供	31
3.3	まとめ	32
第 4 章	ケーススタディ 1：協調型運動支援システム	34
4.1	背景	34
4.1.1	運動の効果	34
4.1.2	運動ができない原因	35
4.1.3	運動の動機づけ	35
4.1.4	能力差とハンディキャップ	38

4.1.5	運動不足の原因	38
4.2	「開放型空間」における協調型エクサゲームの設計方針	39
4.2.1	参加しやすい設計	40
4.2.2	途中参加/離脱可能な設計	40
4.2.3	参加者間の年齢/身体差が影響しにくい設計	40
4.2.4	簡易で頑丈なセンシング	40
4.3	バーチャル二人三脚システム「何人何脚!?!」	41
4.3.1	システム構成	42
4.3.2	開放型空間でのデモの実施と観察結果	42
4.4	バーチャル大縄跳びシステム「大縄オーケストラ」	43
4.4.1	システム構成	44
4.4.2	プレイヤーの体験の流れ	45
4.4.3	デモの実施と改良	46
4.5	評価実験	47
4.5.1	実験環境	47
4.5.2	実験手法	49
4.6	実験結果	49
4.6.1	「参加しやすい設計」に関する結果	51
4.6.2	「途中参加/離脱可能な設計」に関する結果	51
4.6.3	「参加者間の身体差が影響しにくい設計」に関する結果	51
4.6.4	参加者間の関係の結果	54
4.6.5	参加/不参加理由の結果	54
4.6.6	音のフィードバックの結果	54
4.7	考察と議論	55
4.7.1	適切な運動時間・継続的な運動について	55
4.7.2	適切な難易度設定について	56
4.7.3	システムの設置について	56
4.7.4	応用について	57
4.8	構成手法との比較	57
4.8.1	「何人何脚!?!」について	58
4.8.2	「大縄オーケストラ」について	60
4.9	まとめ	62
第 5 章	ケーススタディ 2：運動強度に合わせた運動支援システム	63
5.1	背景	63
5.2	関連研究	64

5.2.1	コーチングを目的とした研究	64
5.2.2	トレーニングを目的とした研究	64
5.2.3	プロジェクターを用いたインタラクティブシステム	65
5.2.4	協調型運動システム	65
5.2.5	身体に合わせた運動システム	65
5.2.6	異なる役割で協調するシステム	65
5.3	デザイン可能な運動環境：Designable Sports Field (DSF)	66
5.3.1	DSF の特徴	67
5.4	DSF を適用した運動支援システム「スポコン」	68
5.4.1	システム構成	68
5.4.2	デザイナーの役割	68
5.4.3	プレイヤーの役割	70
5.5	評価実験	72
5.5.1	実験1：心拍数の制御実験	72
5.5.2	実験2：動きの制御実験	72
5.5.3	被験者	73
5.5.4	実験手法	73
5.5.5	実験結果	74
5.6	公共空間でのデモンストレーション	81
5.6.1	参加者	82
5.6.2	観察結果	83
5.7	構成手法との比較	84
5.8	まとめ	87
第 6 章	ケーススタディ3：ファッションコーディネート支援システム	89
6.1	背景	89
6.2	姿を利用したファッションコーディネート支援システム「suGATALOG」	90
6.2.1	アプローチ	90
6.2.2	システム概要	90
6.2.3	機能	91
6.2.4	システムの利用例	93
6.3	評価実験	93
6.3.1	実験手順	94
6.3.2	実験結果	96
6.3.3	考察	98
6.4	試験運用	99

6.5	関連研究	100
6.5.1	服だけの写真を用いたシステム	100
6.5.2	CGを用いたシステム	101
6.5.3	ユーザの身体を用いたシステム	101
6.6	議論	102
6.6.1	記録方法	102
6.6.2	写真データの管理と利用	102
6.6.3	応用	102
6.7	構成手法との比較	103
6.8	まとめ	105
第 7 章	ケーススタディ4：調理支援システム	106
7.1	背景	106
7.2	関連研究	107
7.3	進捗に合わせた調理ナビゲーションシステム「Shadow Cooking」	108
7.3.1	システム構成	108
7.3.2	ユーザの状況の認識	109
7.3.3	システムの利用の流れ	110
7.4	試用実験	112
7.5	議論	113
7.5.1	ユーザの活動の認識について	113
7.5.2	計量以外の手順について	113
7.6	構成手法との比較	114
7.7	まとめ	116
第 8 章	関連研究のケーススタディ	117
8.1	各システムの評価	117
8.2	まとめ	130
第 9 章	考察と議論	133
9.1	構成手法の4要素に関する考察と議論	133
9.2	ソーシャル性	138
9.3	本構成手法の制約	138
第 10 章	結論	140
	参考文献	145

図一覽

1.1	Norman の「行為の七段階理論のサイクル」, Norman の書籍を基に作成 [95]	14
1.2	Norman の「デザインを支援する行為の七段階理論」, Norman の書籍を基に作成 [95]	15
1.3	本研究の位置づけ	17
1.4	論文の構成	19
2.1	Bandura による結果予期と効力予期の関係, 坂野らの書籍を基に作成 [122]	21
2.2	自己効力感と内発的動機づけとの関係	21
2.3	自己効力感に影響を与える要素の全体像, Bandura の書籍の内容を基に作成 [32] .	22
3.1	インタラクティブシステムの特徴と人間の行動に影響を与える心理学要素を掛け合わせた本提案手法	30
3.2	行動促進のための構成手法の 4 要素と行動に影響を与える心理学要素との関係 . .	32
4.1	運動が減ったまたはこれ以上増やせない理由, スポーツ庁「スポーツの実施状況等に関する世論調査」より抜粋 [21]	36
4.2	運動・スポーツが嫌いな理由, スポーツ庁「スポーツの実施状況等に関する世論調査」より抜粋 [21]	37
4.3	バーチャルに二人三脚が体験できるエクサゲーム「何人何脚!?’のプレイの様子とシステム構成	41
4.4	「何人何脚!?’の開始時の画面 (左) と終了時の画面 (右)	42
4.5	「何人何脚!?’のシステム構成図	42
4.6	バーチャルに大縄を跳んで曲の演奏ができるエクサゲーム「大縄オーケストラ」のプレイの様子	44
4.7	「大縄オーケストラ」の状態ごとの表示映像, (1) 待機状態では常に縄が回り続ける (2) プレイヤーが三人プレイしている状態 (3) 中央のプレイヤーが引っかかった (失敗) 状態, 失敗したプレイヤーの足元が赤く点灯する, (4) 曲の最後まで跳び終えた (成功) 状態,	45

4.8	「大縄オーケストラ」の実験を実施した会議室の状況。展示員はルールの説明を一切しなかった。	48
4.9	「大縄オーケストラ」実験中の部屋の様子	48
4.10	「体験者」と「見学者」共通の質問項目のアンケート結果	52
4.11	「体験者」と「見学者」それぞれ異なる質問項目のアンケート結果	53
5.1	「スポコン」のプレイの様子とシステム構成	68
5.2	デザイナーの画面例。左側にはプレイヤーのリアルタイムの心拍数が表示 (d)。右側には運動フィールドのデザインキャンバスが表示。減点アイテム (f) を動かしたり、加点アイテム (g) を生成しながら、プレイヤーの心拍数をコントロールし、適正範囲内 (c) に入るようにデザインする。画面の背景色 (e) は、適正範囲内だと緑色、範囲外だと赤色の変化する。	69
5.3	観察されたプレイヤーの動き。(a) 上方向にジャンプして加点アイテムを獲得するシーン、(b) 横方向にジャンプして減点アイテムを避けるシーン、(c) 床に這って減点アイテムを避けるシーン、(d) 床に這いながら手を伸ばして減点アイテムを避けながら加点アイテムを獲得するシーン、(e) 後方に下がって体のサイズを小さくすることで減点アイテムから避けるシーン、(f) 前方に寄って加点アイテムを獲得するシーン。	71
5.4	実験室の配置	74
5.5	質問項目「楽しめた」に対する7段階評価の結果	75
5.6	デザイナーへの質問項目に対する7段階評価の結果	76
5.7	プレイヤーへの質問項目に対する7段階評価の結果	76
5.8	実験1：心拍数の結果	78
5.9	実験2：動きの実験（左右の動き）の結果	79
5.10	実験2：動きの実験（前後の動き）の結果	80
5.11	公共空間でのデモンストレーションの様子	82
5.12	失敗時のフィードバックの改善例	86
6.1	服だけの写真 (A, B, C) と実際に着た写真 (A', B', C') とを比較した図	90
6.2	suGATALOG の表示例	91
6.3	suGATALOG でシミュレーションを行う一連の流れ	92
6.4	複数のコーディネートと比較できる	93
6.5	各手法の実験の様子	95
6.6	手法2の操作画面	95
6.7	手法3の操作画面	96
6.8	「進捗を示す段階的フィードバック」の改善案	104

7.1	Shadow Cooking システム外観	108
7.2	Shadow Cooking のシステム構成. 深度カメラでユーザの動作や物体の位置を認識し, プロジェクターで直接キッチンカウンターに指示を表示する. キッチンスケールと連動することで計量ミスを防止する.	109
7.3	Bluetooth を埋め込んだキッチンスケール. リアルタイムで数値がパソコンに送られる.	110
7.4	物体の認識の様子. 上図はユーザーから見たキッチンカウンターの様子, 下図は深度カメラから見たキッチンカウンターの様子.	111
7.5	Shadow Cooking の利用シーン. (1) 砂糖をボウルに 50g 入れる手順. 砂糖からボウルに向かって線がアニメーションで表示され, キッチンスケールのイラストに入れるべき分量が表示される. (2) キッチンスケールの数値に応じて現在の入っている量が数字と円グラフで表示される. (3) 前の手順が終わると自動的に次の手順に進む. (4) 混ぜるなどの動作は一定時間手をかざして手動で次へ進む.	112
7.6	smoon システムの外観. レシピと連動して計量カップの容量が自動で変化する	114
8.1	Augmented Dodgeball. 論文より抜粋 [76]	119
8.2	AR を活用したスポーツ HADO. ウェブサイトより抜粋 [9]	119
8.3	心拍ボクシングシステム. Masuko らの論文より抜粋 [66]	121
8.4	ウォーキング支援システム. 左: 仮想ウォーキング機能, 右: グラフ機能. 田部らの論文より抜粋 [106]	121
8.5	P.I.A.N.O. システム. Weing らの論文より抜粋 [89]	122
8.6	切絵支援システム. Higashi らの論文より抜粋 [50]	124
8.7	文字バランス支援システム. 野波らの論文より抜粋 [120]	125
8.8	個別指導支援システム. 中野らの論文より抜粋 [117]	126
8.9	英会話支援システム. 鈴木らの論文より抜粋 [125]	127
8.10	メイクアップ支援システム. 神武らの論文より抜粋 [111]	128
8.11	Smart VideoCooKing. Doman らの論文より抜粋 [40]	129
8.12	ヘアカット支援システム. 中野らの論文より抜粋 [114]	130

表一覧

1.1	Shneiderman のインタフェースデザインの 8 つの黄金律, Shneiderman の書籍より抜粋 [96]	11
1.2	Nielsen の 10 のヒューリスティクス評価, Nielsen Norman Group のウェブサイトから抜粋して翻訳 [42]	13
2.1	自己効力感を高める情報と下げる情報, Bandura の書籍をもとに作成 [32]	24
4.1	体験者・見学者へのアンケート項目	50
4.2	構成手法の項目名の短縮対応表	57
4.3	「何人何脚!?’ の構成手法の該当項目と改善例	58
4.4	「大縄オーケストラ」の構成手法の該当項目と改善例	60
5.1	DSF と他のタイプのスポーツ・運動との比較, DSF は, 協調型とコーチングの要素をかけた合わせた運動環境	66
5.2	自覚運動強度の目安, 日本健康運動研究所より抜粋 [27]	70
5.3	スコポンの構成手法の該当項目と改善例	84
6.1	実験 1 「確信度の比較」の結果	97
6.2	実験 2 「確信が持ちやすかった手法の順位」の結果 (人)	97
6.3	評価手法と男女差の二元配置の分散分析表	98
6.4	suGATALOG の構成手法の該当項目と改善案	103
7.1	Shadow Cooking の構成手法の該当項目と改善案	115
8.1	Jogging over a distance と構成手法との比較	118
8.2	Augmented Dodgeball と構成手法との比較	119
8.3	心拍数ボクシングと構成手法との比較	120
8.4	ウォーキング支援システムと構成手法との比較	122
8.5	P.I.A.N.O. と構成手法との比較	123

8.6	ピアノ学習支援システムと構成手法との比較	123
8.7	切絵支援システムと構成手法との比較	124
8.8	文字バランス支援システムと構成手法との比較	125
8.9	個別指導支援システムと構成手法との比較	126
8.10	英会話支援システムと構成手法との比較	127
8.11	メイクアップ支援システムと構成手法との比較	128
8.12	姿勢改善支援システムと構成手法との比較	129
8.13	Smart VideoCooKing と構成手法との比較	129
8.14	ヘアカット支援システムと構成手法との比較	130
8.15	本論文で紹介したシステムと構成手法との比較一覧	131

第 1 章

序論

1.1 背景と目的

何かの目的のために必要な活動を継続することは難しい。例えば、語学習得のために勉強を始めても飽きてしまったり、新しく楽器を始めようと思っても難しく断念してしまうことがある。また、健康のために摂取カロリーの制限をしても思うように成果が上がらずに諦めてしまうこともある。このように、スキルアップや健康のために行動を起こしたいと思っても、さまざまな原因により継続できないことがある。

こういった人の活動を支援するために、私はこれまで、人間とコンピュータの相互作用に関する研究分野 Human Computer Interaction (HCI) において、インタラクティブシステムの研究を行ってきた。インタラクティブシステムとは、コンピュータとそれを使う人間（以下「ユーザ」）とが双方向に情報をやりとりするシステムである。例えば、これまで一方的に情報を発信していたデジタルサイネージに、人の動きを感知するセンサが組み込まれると、人の動きに応じた情報を提示する、という双方向のやり取りができるようになる。さらに、インターネットとの連携により、コンピュータからの出力の範囲も広がっている。例えば、Google Home[8] や Amazon Echo[1] などのスマートスピーカーは、ユーザの音声入力に対してインターネット上から情報を出力し、今日の天気をユーザに提供したり、遠隔地にある照明を操作したりすることができる。このように、コンピュータ内の既存の情報のみならず、最新の情報をリアルタイムに出力することで、ユーザにとってより便利なサービスの提供ができる。

しかし、ユーザの行動を促進するためには、こういったインタラクティブシステムが存在するだけでなく、ユーザが行動を起こし、継続的に使いたいと思えるシステム設計を行うことが重要となる。これまでのインタラクティブシステムの研究では、個別のシステム設計の検討はされてきたが、体系的な行動促進のための構成手法は示されていない。本研究では、人間の行動のメカニズムに基いた、ユーザの行動促進のためのインタラクティブシステムの構成手法を提案する。

1.2 従来のユーザインタフェース研究

本研究の位置づけを明確にするために、これまで提案されてきた HCI 分野におけるユーザインタフェース設計に関する研究を紹介する。

Shneiderman の対話設計における 8 つの黄金律

コンピュータ科学者の Shneiderman は、対話型システムのためのユーザインタフェースの基本原則「対話設計における 8 つの黄金律」を提唱している [96]。この原則はソフトウェアアプリケーションやウェブサービスなどの対話型のシステムでの活用を前提としている。表 1.1 に、8 つの原則を一覧し、以下に詳細を述べる。

表 1.1: Shneiderman のインタフェースデザインの 8 つの黄金律。Shneiderman の書籍より抜粋 [96]

1	一貫性をもたせる
2	頻繁に使うユーザには近道を用意する
3	有益なフィードバックを提供する
4	段階的な達成感を与える対話を実現する
5	エラーの処理を簡単にさせる
6	逆操作を許す
7	主体的な制御権を与える
8	短期記憶領域のの負担を少なくする

1. 一貫性をもたせる：似たような状況の場合、用語やデザインなどの一貫性を保つ。
(例) 異なる OS のアプリケーションでも、メニューバーの位置を揃えることで、ユーザが迷わず使用できるようにする
2. 頻繁に使うユーザには近道を用意する：使用回数が増えれば、より速くタスクを完了する方法が求められるため、ショートカットなどの近道を用意する。
(例) EC サイトでの 2 回目の利用からは住所など入力不要で決済ができるようにする、コピーアンドペーストのような多用するコマンドにはショートカットキーを設ける
3. 有益なフィードバックを提供する：ユーザに、何が起きているかをシステム側からフィードバックする。頻繁に起こるアクションに対しては控えめなフィードバック、減多に起こらないアクションに対しては目立つフィードバックにする。
(例) 選択したアイコンの色が変わる、ドラッグしているアイコンがマウスを追従する

4. 段階的な達成感を与える対話を実現する：アクションが完了したことを伝える，ユーザに安心感を与える。
(例) 決済が完了したら「ありがとうございました」と表示，まだ進行中のアクションにはプログレスバーを表示
5. エラーの処理を簡単にさせる：出来る限り，ユーザが致命的なエラーを起こさないようなシステム設計にする．その上でエラーが起きた場合，どのようにエラーに対処すべきかや，どのようなエラーであるのか，直感的に分かりやすくユーザに伝える。
(例) オンラインフォームで入力を忘れた場合は該当箇所を目立たせる，ユーザが読んでもわからないようなエラーコードだけを表示しない
6. 逆操作を許す：やり直しができるとユーザが安心するため，ミスをした後，やり直しがきくようにする。
(例) 編集ソフトなどで1つ前に戻れるようにする
7. 主体的な制御権を与える：ユーザが行動の主体になるようにすることで，ユーザがコントロールしているという感覚を与える。
(例) プログラムがクラッシュした際に強制終了するかどうかをユーザに選択させる
8. 短期記憶領域の負担を少なくする：人間の短期記憶には制約があるため，シンプルな表示にし，複数ページの表示は統合し，ウィンドウの動きを減らす。
(例) Apple 社の iPhone はショートカットで使えるアプリの数を4つに制限することで記憶の負担を軽減

この原則は，ウェブサービスやアプリケーションなどのチェック項目として活用することで，ユーザに負担やストレスがかかっているかを発見し，改善することに役立てることができる。

Nielsen の 10 のヒューリスティクス評価

Nielsen は，ウェブのヒューリスティック評価を提唱している [42]。ヒューリスティック評価とは，ユーザビリティの専門家が，評価対象のウェブサイトを見て，様々な問題点を指摘する手法である。この手法は，専門家の経験則に基いて評価するため，効率よく評価できる一方で，専門家の経験や知識に依存するという側面を持つ。表 1.2 に，Nielsen の提唱する 10 のヒューリスティクスをまとめ，以下に詳細を述べる。

1. システムの状態を視覚的にわかるようにする：システムは常に，適切なフィードバックを通じて，妥当な時間内で，ユーザーに対して「何が起きているか」を知らせる。
(例) プログレスバーの表示，「○○中」など何が起きているか表示

表 1.2: Nielsen の 10 のヒューリスティクス評価, Nielsen Norman Group のウェブサイトから抜粋して翻訳 [42]

1	システムの状態を視覚的にわかるようにする
2	システムと実世界を合わせる
3	ユーザに主導権と自由度を与える
4	一貫性と標準化
5	エラーの防止
6	思い出させるのではなく認識しやすくする
7	柔軟性と効率性
8	美しく最小限のデザインにする
9	ユーザがエラーを認識, 診断, 回復できるようにする
10	ヘルプとドキュメント

2. システムと実世界を合わせる：システム特有の用語ではなく，ユーザに馴染みのある言葉を使用する。
 (例) 「シャットダウン」は、「電源を切る」など分かりやすい言葉にする
3. ユーザに主導権と自由度を与える：ユーザがミスをした際にやり直しができるようにする。
 (例) 1つ前に戻ったり，はじめからやり直せるようにする
4. 一貫性と標準化：他のアプリケーションと異なる用語，状態，アクションを使用しないことで，ユーザに混乱を与えないようにする。
5. エラーの防止：優れたエラーメッセージを出すよりも，エラーが起こらないようにする。
 (例) パスワードを設定した後に「数字も含めてください」と表示するのではなく，入力前に条件を伝える
6. 思い出させるのではなく認識しやすくする：ユーザに記憶させるのではなく，見ただけで分かるようにする。
 (例) 使い方の手順を常に参照できるようにする
7. 柔軟性と効率性：初心者，熟練者それぞれに合うようなインタフェースを用意する。
 (例) 初心者向けには分かりやすいガイドの表示，熟練者向けにはショートカットを用意
8. 美しく最小限のデザインにする：無関係であったり，不要な情報を表示しない。

9. ユーザがエラーを認識, 診断, 回復できるようにする: エラーはプログラムコードではなく, 自然言語で表現する. 問題点と解決策を明確に表示する.
10. ヘルプとドキュメント: ヘルプとドキュメントを用意する. これらの情報は, 簡単に検索でき, 分量が多すぎないようにする.

このヒューリスティクス評価も, ユーザがウェブサイトやアプリケーションを利用する際の負担やストレスを軽減するためのチェック項目として活用することができる.

Norman のデザインを支援する行為の七段階理論

認知心理学者の Norman は, 人間がある目的に対して行動するとき, 人間がどのように行動を選択し, 評価するの概念モデルを掘り下げた上で, 道具のデザイン原則を提案している [95]. Norman によると, 人間が何かを使うとき, 次の2つのへだたり「それをどう動かせばよいのか理解しようとする実行におけるへだたり」と「何が起きたのか理解しようとする評価におけるへだたり」に直面すると述べている. この2つの間にへだたりがあると人は道具の使い方が分からなかったり, 誤った使い方をする. 例えば, 取っ手がついた引き出しを見て開けようとしたら, 実は横にスライドして開ける方式だった, という場合, 人が「引き出しを引く」という実行に対して, 「何も起こらない」という評価となり, その間にはへだたりがあるという.

人間の行為には「実行」と「結果の評価」の2つの部分があり, それぞれは図 1.1 のように段階に分かれる. 実行の過程においては, まず「ゴール」を形成した後, それを達成するためのすべての実行可能な物理的な行為を「プラン」する. 次にどの行為を行うかを「詳細化」し, その後「実行」をする. 実行した結果の評価の過程においては, まず外界で何が起こったかを「知覚」し, その意味を「解釈」し, 最後に, 起こったこととこうあって欲しかったこととを「比較」する. これを「行為の7段階理論のサイクル」と呼ぶ.

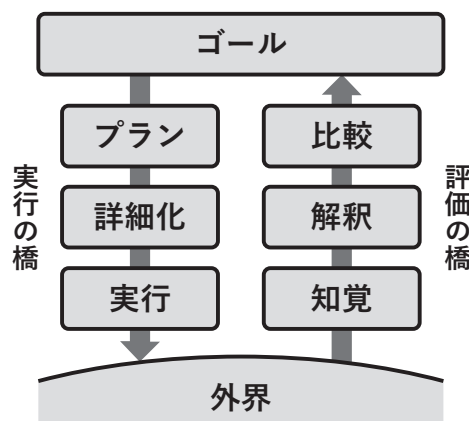


図 1.1: Norman の「行為の七段階理論のサイクル」. Norman の書籍を基に作成 [95]

この行為の7段階理論のサイクルからは、図1.2の7つの問うべきチェックリストが導かれる。デザイナーは、ユーザが各項目への答えを出せるようなデザインを提供する責任がある。この時、実行（図1.2の左側）の質問に答えるのに役立つ情報がフィードフォワード、すなわち何ができるかを教えること、である。そして評価（図1.2の右側）の質問に答えるためにはフィードバック、すなわち何が起こったのかを教えること、が必要となる。さらに、これらはユーザが容易に解釈できる形で提示する必要がある。「行為の7段階理論のサイクル」と7つのチェックリストを元に、Norman は次の7つの基礎的な原理を導いている。

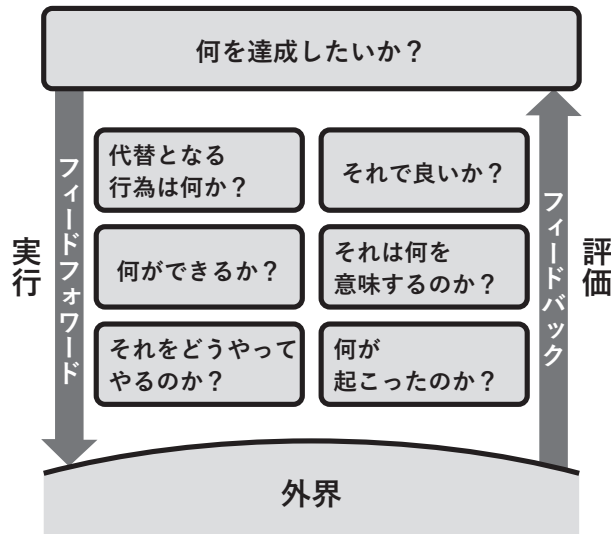


図 1.2: Norman の「デザインを支援する行為の七段階理論」。Norman の書籍を基に作成 [95]

1. 発見可能性：発見可能性：どのような行為が行えるのか、機器の今の状態はどうなっているのかが判断できる。
2. フィードバック：行為の結果と製品やサービスの現在の状態についての完全かつ継続的な情報がある。行為が実行された後、新しい状態がどうなったかが分かりやすい。
3. 概念モデル：デザインは理解と制御感につながるように、システムの良い概念モデルを作るのに必要なすべての情報を伝える。概念モデルは、発見可能性と評価の両方を向上させる。
4. アフォーダンス：望ましい行為を可能にするために適切なアフォーダンスがある。
5. シグニファイア：効果的にシグニファイアを利用することによって、発見可能性を確かなものにし、フィードバックが理解可能なかたちで伝えられる。
6. 対応づけ：制御部と行為の間には良い対応づけの原理に従う。それは、可能な限り空間的なレイアウトや時間的な接近によって支えられる。

7. 制約：物理的，論理的，意味的，文化的な制約を与える．これによって行為を導き，解釈のしやすさを助ける．

これらは，ユーザがものの使い方を理解し，容易に目的を果たすことができるような使いやすい道具をデザインするための基礎的な原理となる．

ゲーミフィケーション

ユーザの行動促進の手法の1つとして，ゲーミフィケーションという考え方がある．ゲーミフィケーションには複数の定義があるが，「ゲーミフィケーション—<ゲーム>がビジネスを変える」[119]の著者，井上は「ゲームの考え方やデザインメカニクスなどの要素を，ゲーム以外の社会的な活動やサービスに利用するもの」と定義している．ペンシルベニア大学のビジネススクールで世界初の「ゲーミフィケーションコース」を開講した Werbach ら [93] は，「非ゲーム的文脈でゲーム要素やゲームデザイン技術を用いること」[93]と定義している．また，ゲーミフィケーションの研究の第一人者である McGonigal によると，「ゲーム」の特徴は「ゴールとルールとフィードバックシステムと自発的な参加」で，ゴールは，「プレイヤーが達成すべき具体的な成果」，ルールは「ゴールに達する上での制約」，フィードバックシステムは「どこまでゴールに近づいているかを示すもの」，そして自発的な参加は「これら3つを知った上で進んで受け入れること」である [94]．このようなゲーム要素を含んだゲーミフィケーションは，幅広いシーンで活用されている．

次に，ゲーミフィケーションの事例を紹介する．井上は，2011年の東日本大震災をきっかけに，節電をゲーム化した「#denkimeter」[5]を制作した．電気メーターの値を記録し，節電するほど戦闘力が高まるというシンプルなゲームで，震災後に電気不足となった地域での節電を促した．

アメリカの第44代大統領のオバマ氏の選挙戦では，支援者の活動度合いがポイントで可視化されるソーシャル・ネットワーク・サービス（SNS）“My.BarackObama.com”が活用された．このSNSでは，徐々にレベルが上がっていったり，ユーザの好きなアクションを選べるといった，ゲームで利用される手法が取り入れられている．

健康にもゲーミフィケーションは活用されている．Nike+ Run Club[13]は，専用のリストバンドやスマートフォンアプリで，ランニングした距離，速度，時間などを計測し，他のユーザーと共有できるサービスである．一人でのランニングは孤独で，継続することが難しいが，他者と競い合うというゲーム要素を取り入れた例である．

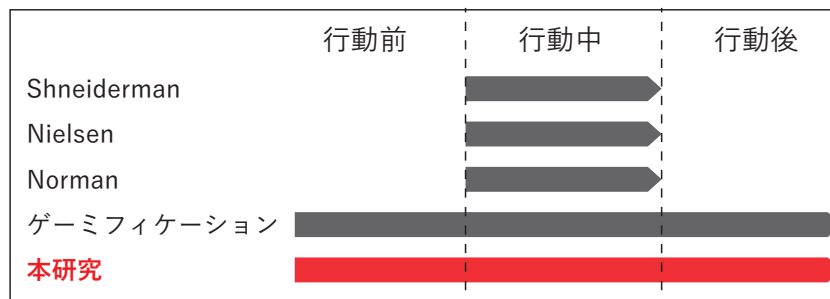
このように，ゲーミフィケーションは社会的なムーブメントから日常生活まで幅広いシーンでユーザを引きつけ，従来はユーザにとって負担となる活動の自発的な実施を促す手法としても活用されている．

1.3 本研究の位置づけ

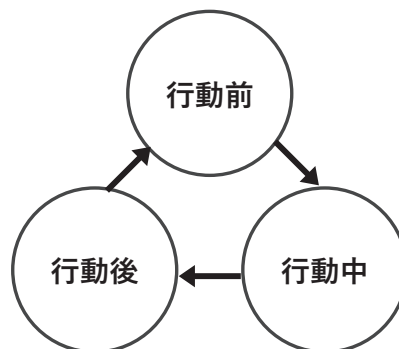
上記で紹介した研究や概念は、ユーザの行動や体験に影響を及ぼすという点では共通しているが、それぞれが影響する行動の範囲が異なる。図1.3-(1)に、人間の行動を(1)行動を起こす前(行動前)、(2)行動を起こしている最中(行動中)、(3)行動した後(行動後)の3つに分類したときのそれぞれの位置づけを示す。

Shneiderman と Nielsen は、ユーザにとって分かりやすく、効率的で、ストレスのないソフトウェアアプリケーションのための原則を提唱している。これらは、ユーザがサービスを使うことを前提とした上で、ユーザがアプリケーションを使用している最中の体験の向上を目的としている。

(1) 影響を与えるユーザの行動範囲



(2) 本研究の目指す行動促進のサイクル



(3) 本研究とゲーミフィケーションとの関係



図 1.3: 本研究の位置づけ

るため、ユーザの「行動中」に影響を与える。Norman は、ユーザが間違えることなく、直感的で分かりやすい道具の設計のための原理を提唱している。これも、ユーザが道具を使う際に関係する設計であるため、「行動中」に影響を与える。これら3つのユーザインタフェースは、その瞬間のユーザ体験を向上させるためのデザイン手法に関するもので、ユーザの行動促進にまで踏み込んではいない。

一方で、ゲーミフィケーションは、ゲームデザインの技術や要素を利用してユーザの行動を促し、体験している最中もユーザを惹きつけ、長時間あるいは長期間の体験をしたくなる手法である。一度の体験のみならず、継続的に使用するような仕組みも含めて設計することも可能である。しかし、ゲーム要素を用いることは、必ずしもすべての行動に適した手法ではない。例えば、料理の上達をしたいときには、ゲームが面白いから料理をする、というのではなく、美味しいものが作れるから、あるいは栄養バランスのいいものが作れるから、といった、その行動によって得られる結果や体験のために行動することが本質である。

本研究は、行動前、行動の最中、そして行動後の体験まで考慮し、さらに次の行動に繋げるという行動促進のサイクルを作り出すことを目指している（図 1.3-(2)）。本研究の手法の中にはゲーミフィケーションの要素も含まれるが、ゲーム要素を外的な報酬として活用するのではなく、内的な体験を強化する役割として活用する（図 1.3-(3)）。これについては、次の章の、心理学における人間の行動のメカニズムを紐解く過程で詳しく解説する。

1.4 本論文の構成

本論文は本章を含めた全10章から構成され、全体の流れは図 1.4 のようになっている。第2章では、人間の行動のメカニズムを探る。その中でも人間の行動を継続的に動機づける「内発的動機づけ」と、人間の行動を決定づける「自己効力感」という心理学の概念について深掘りする。従来の心理学における活用事例を紹介し、インタラクティブシステムへ適用する方法を検討する。第3章では、インタラクティブシステムの特徴を整理し、行動促進のためのインタラクティブシステムの構成手法を提案する。第4～7章では、これまで私が研究してきた5つの行動支援システムについて、第8章では他の研究者による行動支援システムについてケーススタディを紹介する。各システムと提案した構成手法を比較して改善が必要な項目を洗い出し、改善方法を提案する。第9章では、本論文全体を通じた総合的な考察と議論をする。構成手法についてケーススタディから明らかになったこと、制約、課題について触れる。最後に、第10章で本論文のまとめと今後の展望について述べる。

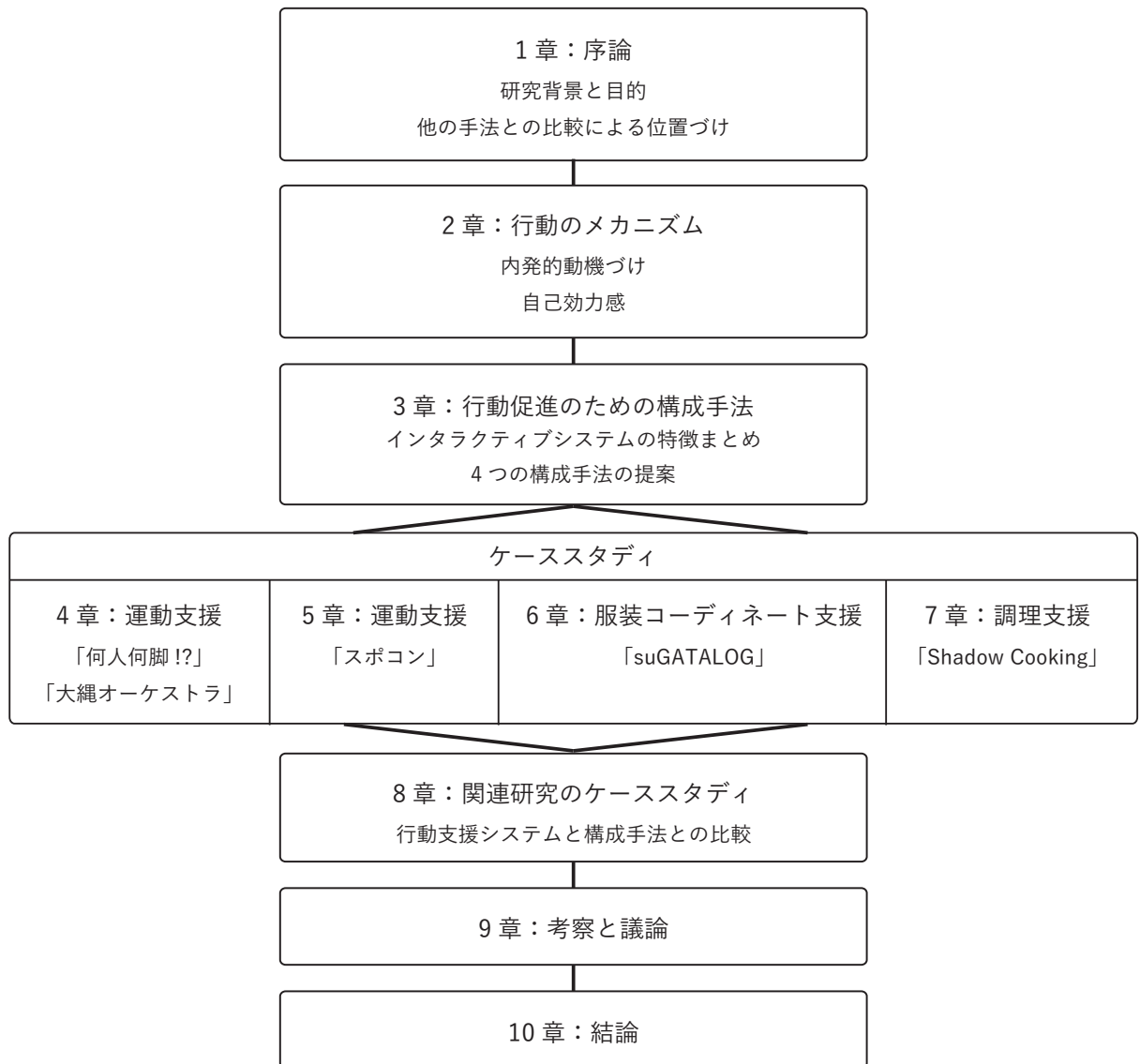


図 1.4: 論文の構成

第 2 章

行動のメカニズム

本章では、心理学の観点から人間の行動のメカニズムについて理解を深め、行動促進のために重要な要素を探る。

2.1 内発的動機づけと外発的動機づけ

人が自発的に行動を起こすためには、目標に向かって行動を喚起させる「動機づけ」を継続させることが必要となる。上淵 [109] によると、動機づけとは「報酬を得て、罰を避ける性質をもった心理学的、行動的なプロセス」である。つまり、人は何か報酬を得るために行動を起こすということになる。この報酬には次の 2 つの種類があり、1 つは、外からの報酬に起因する動機づけ「外発的動機づけ」、もう 1 つは内的な報酬に起因する動機づけ「内発的動機づけ」である。外発的動機づけは、他者から褒められたり、給与を貰うなどなどの外部からのポジティブな報酬だけでなく、叱責や、減給などのネガティブな要素を避ける際にも起こる動機づけである。これは、一時的な動機づけには効果的だが、慣れると効果が薄れてしまったり、外的な要素であるため安定的に受けられる保証がなく、長期的な動機づけには適していない。一方で、内発的動機づけは達成感、成長感、やりがいなど、行動そのものから得られる報酬による動機づけである。これは、外的な報酬を期待せずに行動を支えることができるため外発的動機づけと比べて安定的しており、継続しやすい。森ら [105] は、1 年間に渡る長期的な省エネ行動を追跡し、内発的動機づけが持続的な行動と関連があることを示している。

外発的動機づけには、もともと持っていた内発的動機づけを低下させる「アンダーマイニング効果」と呼ばれる効果が起こることがある。Lepper ら [65] は、子どもを 3 つの群、(1) 絵を描いたら賞を与えることを事前に見せた群、(2) 絵を描いた後に賞を与えた群、(3) 絵を描くだけで何も報酬を与えなかった群、とに分け、絵を描くことに対する動機づけの実験を実施した。その結果、(2)、(3) の群は休み時間も絵を描いて過ごしたが、(1) の群は休み時間に描く時間は短いという結果となった。このように、外的な報酬を貰うことが目的となると、自らの意志で行動を起こ

することができなくなってしまうことがある。つまり、人が自発的にかつ継続的に行動を起こすためには内発的動機づけを行うことが重要である。

2.2 行動を決定づける要因と自己効力感

次に、人の行動を決定づける要因について紹介する。心理学の Bandura は、人間の行動を決定する要因には「先行要因」「結果要因」「認知的要因」があり、これらが絡み合って人の行動に繋がると説いている [32]。行動の先行要因には「結果予期」と「効力予期」という 2 種類の予期機能があるとされている (図 2.1)。

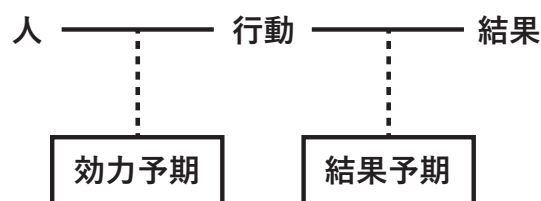


図 2.1: Bandura による結果予期と効力予期の関係。坂野らの書籍を基に作成 [122]

1 つ目の結果予期は、「ある行動がどのような結果を生み出すか」という予期である。2 つ目の効力予期は、「ある結果を生み出すために必要な行動をどの程度うまくできるか」という予期である。これら 2 つの予期をどのように身につけているかによって、行動や気分に影響を及ぼすと言われている。高い結果予期と効力予期を持つ人は、自信に満ちた適切な行動をしたり、積極的に行動を起こすことができる。一方で、低い結果予期と効力予期を持つ人は、無気力、無感動、無関心となり、あきらめたり、抑うつ状態となる。そして、どの程度自分が効力予期を持っているかを認知した時に、その個人には自己効力感（あるいはセルフ・エフィカシー）があるという。別の言い方をすると、自己効力感とは「ある行動を起こす前にその個人が感じる『遂行可能感』」「自分にはこのようなことがここまでできるのだという考え」とも言える [122]。さらに、高い自己効力感を持つ人ほど、内発的動機づけを用い、外発的動機づけを用いないことも明らかになっている [98]。つまり、個人の自己効力感の向上により、内発的動機づけがされ、安定的にかつ継続的な行動ができるようになると言える (図 2.2)。

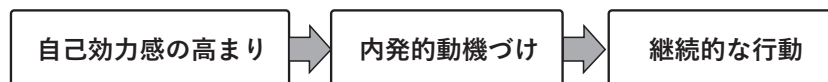


図 2.2: 自己効力感と内発的動機づけとの関係

2.2.1 自己効力感に影響を与える4つの情報源

これから行おうとしている行動に対して、どの程度自己効力感を持っているかは、その人の行動に大きく関連する。高い自己効力感を持つ人は、ある行動を遂行することに対する自信が高いため、積極的に行動を起こすことができる。一方で、自己効力感が低い人は、行動を起こす前に諦めてしまったり、その行動に関心を持たずに行動を起こさなくなってしまう。つまり、自己効力感を高めることができれば、人の行動促進へと繋がる。それでは、自己効力感の程度（高さ/低さ）はどのように決まるのか。自己効力感には「達成体験」「代理体験」「言語的説得」「心身状態」の4つの影響を与える情報源があり、それぞれには自己効力感を高める要因と下げる要因があると Bandura は述べている。以下、それぞれの要素の詳細を説明する（図 2.3）。

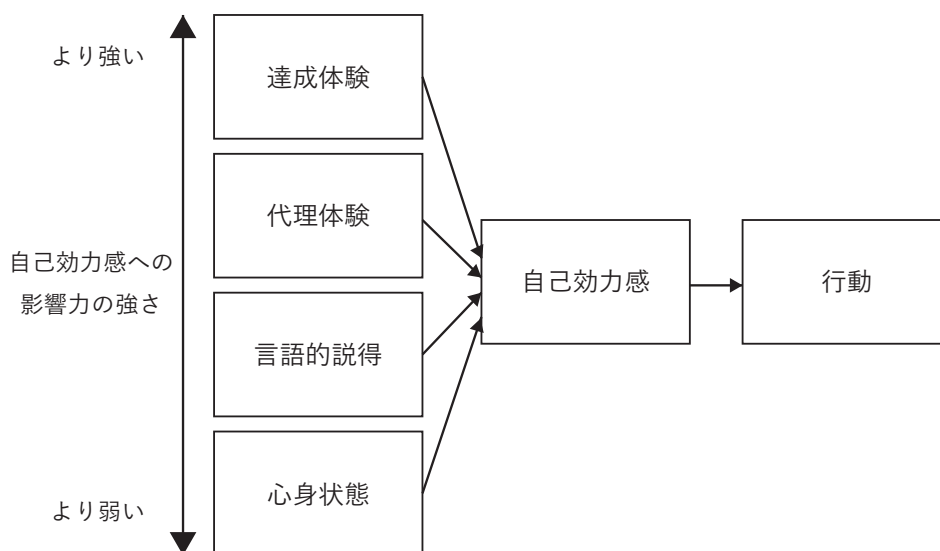


図 2.3: 自己効力感に影響を与える要素の全体像。Bandura の書籍の内容を基に作成 [32]

2.2.1.1 達成体験

1つ目の情報源である「達成体験」は、自らの行動で成功や達成を体験することである。これは4つの情報源の中で最も自己効力感に影響を与える。達成体験をすると、成功するために必要なことは何でもできる、という確証を持てるようになる。ただし、その体験が自分自身にとって容易く成功するような体験のみになると、次からも即時的な結果を期待するようになり、失敗したときにすぐに落胆してしまい、結果として自己効力感が下がってしまう。つまり、自己効力感の向上のためにはその人にとって適切な難易度で達成できることが重要となる。一方で、失敗を体験すると、自己効力感を低下させてしまう。失敗体験が積み重なると、自己効力感が下がり、その行動を起こさなくなってしまう。このように、その人にとって適切な難易度での達成体験を積み

重ね、連続的な失敗体験を防止することが、自己効力感の向上へと繋がる。

2.2.1.2 代理体験

2つ目の情報源である「代理体験」は、他者の達成体験を代理で体験することである。自分以外の人の達成や成功する様子を観察したり、聞いたりすることで、自分自身にも同様のことができるという信念が湧き上がる体験である。この情報源は、4つの情報源の中で2番目に自己効力感に影響を与える。代理体験のモデルとなる人は、自分との類似性が高ければ高いほど、影響を受けやすく、モデルと自分自身がかけ離れていると感じると、影響を受けることは少ない。例えば、親しい友人がランニングをしていると聞くと「自分にもできるかもしれない」と感じられるが、オリンピック選手がランニングをしていると聞いても、「自分とは無関係だ」「オリンピック選手だからできるのだ」と感じてしまうことがある。また同様に、類似したモデルが努力をした結果失敗した様子を見聞きすることも、観察者の自己効力感の低下に繋がる。つまり、類似した他者の達成体験を見聞きすることが、自己効力感の向上に影響する。

2.2.1.3 言語的説得

自己効力感に影響を与える3つ目の情報源は、「言語的説得」である。誰かから、ある行動を実行することを説得されると、自分ではできないと思っていたことも、できるのではないかと感じられる。例えば、どのようにすれば成功できるかを説明されて納得したり、実施したことにより得られる効果を説明される、などが挙げられる。また、実行できたことに対して他者から評価されたり、褒められたりすると、達成できたという思いも強まる。あるいは、失敗をしても激励されることで失敗体験が和らぐ効果もある。一方で、他者から責められたり、怒られたりすると、自己効力感の低下につながる。言語的説得は、「達成体験」や「代理体験」に補助的に付加される要素である。たとえ他者から説得をされても、過去に失敗体験があったり、他者の様子を見聞きして自分には達成ができなそうだと感じると、それらの要素のほうが先行しやすい。

2.2.1.4 心身状態

自己効力感に影響を与える4つ目の要素は「心身状態」つまり心と身体の状態のことを指す。心の状態は、「嬉しい」「楽しい」「リラックスしている」などのポジティブな状態は自己効力感の向上に繋がり、「悲しい」「辛い」「ストレスを感じる」などのネガティブな状態は自己効力感の低下に繋がる。身体の状態には2種類の効力感を低下させる要素がある。1つは生理的な現象で、急な心拍数の上昇や大量の発汗、疲労などの身体状態の変化が自己効力感の低下に繋がる。2つ目は、物理的な痛みで、物が当たったり、筋肉痛などの、肉体の痛みを感じると自己効力感の低下に繋がる。つまり、ポジティブな感情を増やし、身体状態を安定させることで、自己効力感の向上に繋がり、ストレスやネガティブな感情を減少させ、痛みを避けることで自己効力感の低下の防止

に繋がる。この要素も、「達成体験」や「代理体験」に補助的に付加される要素として働く。例えば、達成体験があると多少の辛さや痛みは乗り越えられたりすることがある。

表 2.1: 自己効力感を高める情報と下げる情報. Bandura の書籍をもとに作成 [32]

	自己効力感への影響力			
	より高い			より低い
	達成体験	代理体験	言語的説得	心身状態
自己効力感を高める要素	自分で行動して達成できた体験	類似している他者が達成している様子	他者からの説得, 誘い, 評価, 賞賛	楽しい, 嬉しいなどのポジティブな状態
自己効力感を下げる要素	自分で行動して失敗した体験	類似している他者が失敗している様子	無視, 叱責	疲労, 不安, 痛みなどのネガティブな状態

以上のように、自己効力感には4つの影響を与える情報源があり、最も影響がある要素は「達成体験」、次に「代理体験」、そして「言語的説得」と「心身状態」は達成体験と代理体験の補助的な要素として働く。これらの要素と内容を表2.1にまとめた。次に、自己効力感が活用される場面、手法、効果への理解を深めるために具体的な事例を紹介する。

2.2.2 自己効力感の事例

従来、自己効力感は臨床現場での活用や、社会的背景に伴う経過観察の研究が多くなされてきた。以下、自己効力感を提唱した Bandura の著書 “Self-Efficacy in Changing Societies” [32] と、臨床心理学者の坂野らによる著書「セルフ・エフィカシーの臨床心理学」[122] の中で紹介されているものを中心に自己効力感に関連する研究事例を紹介する。

臨床現場における自己効力感の事例

臨床現場では、患者に精神的な不安が生じたり、治療中に運動や食事制限などの日常的な行動変容が必要となることがある。ここでは、そういった患者の自己効力感に関する関連研究を紹介する。

Gillis[41] らは、手術後に体力が衰退した患者の回復に関する実験を実施した。被験者を2つの群に分け、実験群には、他者の経験の説明（代理体験）と、患者自身にも同様のことをするよう指導と励まし（言語的説得）を行った。その結果、これらを実施しなかった対照群と比べて、実験群は歩行や物を持ち上げるといった活動の改善が見られた。

Gulanick[44] らも、手術後の患者のリハビリテーションに関する実験を実施した。実験群には、実際に運動をさせ（達成体験）、運動中の疲労や心拍数の増加のケアを行い（心身状態）、運動

が終わった後の成果を個人にフィードバックして間違った判断については訂正を行い（言語的説得）、他者の回復を説明したビデオを見せた（代理体験、言語的説得）。その結果、対照群と比べて、歩行や階段をのぼるといった日常生活の行動回復が高い値を示した。

Allen[31]らは、心疾患患者に対して食生活の制限や、禁煙、ストレス管理などの生活習慣の改善に関する実験を実施した。実験群と対照群はどちらも自宅でのセルフケアについて教育を受け、それに加えて実験群は、退院直前にそれらの内容を復習し（言語的説得）、同年齢・同疾患の患者に関するビデオを見せ（代理体験）、喫煙者に関しては禁煙カウンセリングを行った（言語的説得）。さらに、退院後には経過に応じて達成可能な目標設定へと修正を行い（達成体験）、電話での励ましも行った（言語的説得）。その結果、1年後の時点で実験群は対照群と比較して有意に脂肪摂取率が低下し、禁煙率が上がり、身体活動量も増加傾向が見られた。

ストレスにおける自己効力感の事例

嶋田 [123] は、中学1年生を対象とし、自己効力感を高めることにより、テストに対する学生のストレスを軽減する試みを行っている。対象とした学生を実験群と、何も行わない対照群とに分け、実験群には次の働きかけを行った。(1) 予め定期テストの準備をしておけばテストは乗り越えられるはずであるという言語的な指導（言語的説得）、(2) 学生に、「ある先輩の話」として定期テストの準備の例を紹介（代理体験）、(3) 定期テストで時間不足にならないように、自分ができそうな問題から取り組むようにすることを、テストの類似問題を使って練習（達成体験）、(4) 定期テストを受けている場面をイメージし、それほどドキドキしていないことを実体験する（心身状態）、という4つの指導を行った。その結果、実験群の定期テストに対する自己効力感が有意な上昇を見せたことが確認された。また、両群の学生のストレス反応の変化を見たところ、どちらも定期テストが近づくに連れてストレスが上昇しているものの、実験群の方が緩やかな上昇傾向にあることが明らかとなった。このように、自己効力感の向上は、心理的ストレスの予防にも効果があると言える。

学業における自己効力感の事例

Bandura と Schunk[33] は、引き算の能力が劣る児童を対象とした実験を実施した。児童は次の3つの群に分けられ、引き算のトレーニングを受けた。(1) 達成しやすい身近な目標を設定した群、(2) 達成するのに時間と労力を要する遠い目標を設定した群、(3) 目標設定をしない群。その結果、(1)の身近な目標を設定した群は、(2)の遠い目標を設定した群と比べて引き算課題に対する自己効力感が高まり、課題に対する興味も高まり、引き算の能力も向上した。さらに、Schunk[80]は別の実験で、「君には解くことができる」といった言語的説得を行った上での目標設定は、容易な目標よりも困難な目標のほうが児童の自己効力感が高まることを示している。これらの結果から、言語的説得がない場合は身近な目標の方が自己効力感が高まるが、言語的説得と組み合わせることで、困難な目標でも自己効力感を高めることができると言える。

Schunk[79] は、行動に対するフィードバックによる自己効力感に与える影響についても実験を行っている。引き算の計算能力が劣る児童を対象に、計算能力の進歩に対して次の異なるフィードバックを与える4つの群に分けた。(1) 能力に対するフィードバック (例えば, “You are good at this” のような達成に伴うもの) を与える群, (2) 努力に対するフィードバック (例えば, “You’ve been working hard”, “You need to work harder” のような努力に伴うもの) を与える群, (3) 能力と努力の両方に対するフィードバックを与える群, (4) フィードバックを与えない群。その結果, 自己効力感と計算能力が最も上昇したのは(1)の能力フィードバックを与えた群であった。次いで, (2)の努力に対するフィードバックを与えた群と, (3)の能力と努力の両方のフィードバックを与えた群が同程度に成績が上昇し, (4)のフィードバックなしの群が最も劣っていた。この実験結果は, 行動した結果に対するフィードバックは自己効力感の向上に効果があり, 特に成果に対するフィードバックがより自己効力感を向上させる効果があることを示している。フィードバックは言語的説得だけでなく, ポジティブな表現であった場合は「嬉しい」などの心身状態の向上にも影響を与えていると考えられる。

日常生活における自己効力感の事例

自己効力感とは, 日常の中でも当てはめることができる。Ozer[74] は, 自己効力感がいかに女性の生活に影響を与える要素であるかを明らかにした。子供がいても家族と仕事の両方をうまくこなしていける, 仕事のスケジュールを自分で調節することができる, 夫と子供の世話の分担ができる, といったことに対して強い自己効力感を持っている女性は, 精神的にも身体的にもいい状態となる。一方で, 仕事と家庭の両立に対する自己効力感が低い女性は, 健康や精神状態に不安を持っている。

情報科学分野における自己効力感の活用

情報科学分野においても自己効力感の概念が使用されている。佐野ら [107] は, 高次脳機能障害者のリハビリテーションのための調理ナビゲーションシステムの研究において, 障害者が独力で調理ができるようになったかどうかの考察として自己効力感の概念を用いている。具体的には, システム使用後に, これまで家事を担当させてもらえなかった障害者が家族に対して, 調理をしたいことを自己主張したことや, 気分や意欲が向上したことから, 自己効力感が向上した, と考察している。

次郎丸ら [116] は, 大学生の就職活動における筆記試験を支援するためのシステムを提案し, システム使用後のアンケートにおいて「この分野の問題は解くことができる」「今後どのような勉強をすれば良いか分かる」などの項目に対する被験者の評価が上がったことから, 自己効力感が増加した, と考察している。

このように, 自己効力感とは情報システムの評価に活用はされているものの, 自己効力感を向上させるためのシステムの構成手法の体系化はされていない。

2.3 まとめと本論文の方針

本章では、人の行動に影響を及ぼす動機づけと、自己効力感について紹介した。人が自ら行動を起こすためには、外的な報酬よりも、達成感ややりがいなどの内的な報酬による内発的動機づけを行うことの方が効果的である。また、人の行動は結果予期と効力予期によって決定づけられ、効力予期を認識した状態、すなわち自己効力感、が高まることで自信を持って積極的に行動が起こせるようになる。自己効力感には4つの影響を及ぼす情報源があり、最も重要となるのが達成体験、次いで代理体験、これらの補助的な要素として言語的説得と心身状態とがある。そしてそれぞれの情報源には、効力感を高める要素と下げる要素がある。自己効力感が高まると、内発的動機づけを用いて行動するため、結果として安定的でかつ継続的な行動促進に繋がる。

先行事例が示すように、自己効力感は人生や生活のあらゆる場面で影響を及ぼすが、従来の研究では、医師などの専門家や、周囲の家族や友人、そして自分自身が行動を監視し、その行動に合わせて4つの情報源をコントロールする必要があった。情報システムにおいては、自己効力感の評価や考察の活用に残っている。

本研究では、内発的動機づけと、自己効力感の概念をインタラクティブシステムに応用することで、ユーザの行動促進をテクノロジーで支援する。次の章では、どのようにインタラクティブシステムにこれらの要素を適用し、システム設計を行うかについて具体的に述べる。

第 3 章

行動促進のためのインタラクティブシステムの構成手法

本章では、行動促進のためのインタラクティブシステムの構成手法を提案する。この構成手法は行動支援システムの設計時や、既存システムの改善に活用することを想定している。

3.1 インタラクティブシステムの特徴

既に 1.1 節で簡単に述べたが、構成手法を提案するにあたり、ここで改めてインタラクティブシステムの特徴をまとめる。

特徴 1: ユーザのセンシング

1 つ目の特徴は、ユーザのセンシングである。インタラクティブシステムは、相互に情報をやり取りするために、ユーザの位置、動作、身体状態、進捗状況などのユーザの状態をセンシングし、把握する必要がある。ここで、ユーザの状態の把握するための手法をいくつか紹介する。

まず、ユーザの位置を把握する手法は複数あるが、特定の場所にいるかどうかを検出するためには、その場所に圧力を感知する圧力センサや、明るさを検出するフォトフレクタなどの光センサを設置する、などが挙げられる。ユーザの動作の検出手法としては、被写体との距離を取得可能な深度カメラを用いることでカメラとの距離を取得したり、カメラと画像処理技術を用いるといったことが挙げられる。Microsoft 社の Kinect（現在、生産は終了）は、深度カメラと画像処理技術を用いた入力装置で、距離だけでなく、複数の人間の骨格を検出することができるため、手足や頭の位置を容易に把握することができる。ユーザの身体状態の把握のためには、心拍センサによる心拍数、加速度センサによる睡眠状態、筋電センサによる筋肉の活動の計測、といった手法が挙げられる。

また、設計次第でこういったセンサ情報や、ユーザの回答などを基に、ユーザの能力を把握することもできる。ユーザの状態や能力は、変化し続けるため、常に人間が監視し続け、適切な判断をすることは難しいが、コンピュータを用いたシステムでは監視や能力把握のモニタリングを

自動的に行うことができる。

特徴 2: ユーザへのリアルタイムフィードバック

2つ目の特徴は、特徴1の入力に応じてリアルタイムにフィードバックを行うことである。フィードバックとは、入力した側に対して出力を戻すことを指す。例えば、ユーザが特定の場所を触ったら光る、特定の動作をしたら音を鳴らす、といったことが挙げられる。本研究では特に、ユーザの達成あるいは非達成に関するフィードバックを取り扱う。例えば、ゴールを達成すると音が鳴ったり、失敗をすると映像が切り替わったりする。また、失敗の解析により、どのように改善すべきかを示すといったフィードバックが可能な場合もある。従来の自己効力感に関する研究では、人の動きに対して専門家や周囲の人間がリアクションを行う必要があったが、インタラクティブシステムでは、自動的にユーザに達成したことを、あるいは失敗したことを知らせ、体験の認識を強めることが可能となる。

特徴 3: ユーザに合わせたリアルタイムな調節

3つ目の特徴は、特徴1に応じてユーザの能力や状況に合わせた調節をリアルタイムに行えることである。例えば、ユーザの正答率が低い場合は難易度を下げたり、ユーザの心拍数が高すぎる場合は、落ち着かせるようにするなど、予めシステムに組み込んでおくことでユーザの状態に応じた調節をシステム側で自動的に行うことができる。従来は、行動を実施する前に能力を見定め、固定された難易度で実施し、合わなかった場合は変更するなど、実施前に対象者の能力を知る必要があり、さらに難易度が合わない場合は都度調節する必要があった。また、人の能力は常に一定とは限らないため、その日の体調や周囲の環境の影響を受ける可能性がある。インタラクティブシステムでは、これらを予め設計することで、ユーザの変化に合わせてリアルタイムに調節することが可能となる。

3.2 構成手法の4要素

上記のインタラクティブシステムの特徴と、第2章で紹介した人間の行動に影響を与える心理学の要素を掛け合わせ、行動促進のためのインタラクティブシステムの4つの構成手法の要素を提案する(図3.1)。

3.2.1 (1) 達成目標の設定

1つ目の構成手法の要素は、達成目標の設定を行い、ユーザにそれを認識させることである。これは「結果予期」と「達成体験」に寄与する。

2.2節で述べた通り、人の行動を決定する3つの要因のうち、先行要因には、行動の結果を予期する「結果予期」と、その結果を出すために必要な行動をどの程度うまくできるか予期する「効

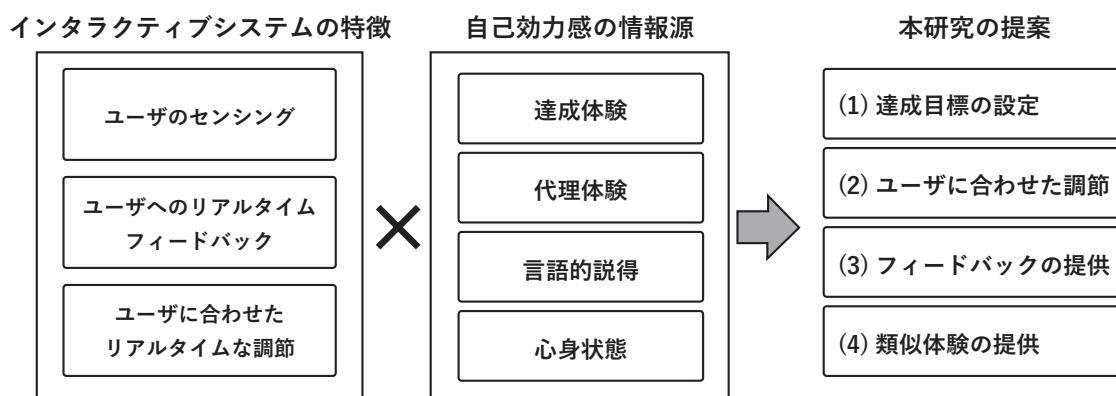


図 3.1: インタラクティブシステムの特徴と人間の行動に影響を与える心理学要素を掛け合わせた本提案手法

力予期」とがある。ユーザが目標を認識することで、行動の結果、何が得られるかを予期することができるため、結果予期に繋がる。Dickinson の実験 [39] では、予め学習の前に、終了後にテストを実施することを伝えたグループのほうが、伝えなかったグループに比べてはるかに良い成績を示したという結果がでている。この結果は、「テストでいい結果を出すために学習をする」というはっきりとした目的意識があるほうが、ない場合と比べて結果予期ができた結果、学習効果が得られることを示している。

さらに、自己効力感に最も影響を与える情報源である達成体験にも繋がる。達成すべき目標がない状態で行動を起こしても、行動と結果が結びつかない。そのため、達成目標を設定しユーザが認識することは、自己効力感を向上するための前提条件となる。

3.2.2 (2) ユーザに合わせた調節

2つ目の構成手法の要素は、ユーザの能力と身体状態に合わせた調節を行うことである。特徴として挙げた通り、インタラクティブシステムはユーザの状態や能力を把握し、ユーザに合わせたリアルタイムな調節をすることができる。ユーザに合わせて、次の2つの調節をリアルタイムに行うことで、自己効力感の向上へと繋げる。

1つ目は、ユーザの能力に合わせて難易度を調節することである。これは、達成体験に寄与する。達成体験は、達成する内容がユーザにとって難易度が高すぎると自分にはできそうにないと感じてしまう。一方で、努力が必要ないくらい難易度が低いと次から高みを目指せなくなってしまい、結果として自己効力感の低下へと繋がる。また、難易度が高いことに起因した失敗体験が積み重なると自己効力感の低下に繋がる。そのため、ユーザが連続の失敗をせず、さらに努力をすることなく達成できるような難易度にならないように調節を行う。瀧沢の内発的動機づけに関する研究 [115] では、難易度の高すぎる課題への取り組みは意欲を下げるということが明らかになってい

ることからも、適切な難易度の調節は行動促進に重要な要素と言える。

2つ目は、ユーザの身体状態に合わせた調節である。これは、心身状態の低下の防止に寄与する。身体の急激な変化や痛みは心身状態の低下の原因となる。そのため、運動などに身体に急激な変化が起こるような行動の場合は、ユーザの身体状態に応じて調節が行えるようにする。この調節は、身体への負担が大きい行動の場合のみ取り入れる項目となる。

3.2.3 (3) フィードバックの提供

3つ目の構成手法の要素は、フィードバックの提供である。これは、次の3つの状況に応じて提供する。

1つ目は、目標を達成したときのフィードバックである。これは、(1)で設定した目標を達成した際に、ユーザに達成したことが認識できる視覚や聴覚などを用いた分かりやすいフィードバックを与えることで達成体験の向上に寄与する。また、達成に対するフィードバックはポジティブなものであるため、心身状態の向上にも影響を与える。既に紹介した計算問題の実験結果 [79] から、能力に対してフィードバックすることは自己効力感の向上に効果があることが明らかとなっている。

2つ目は、達成目標までの進捗を示す段階的フィードバックである。目標達成までの途中段階で、進捗度合いや、成果に対するフィードバックを与えることで、小さな達成体験の積み重ねに繋がる。また、これもポジティブなフィードバックであるため、心身状態の向上にも影響を与える。3つ目は、失敗時のアドバイスや励ましなどのフィードバックである。失敗した際には、失敗したことをユーザに認識させるとともに、どのようにすれば達成できるかのヒントやアドバイスを与える。これにより、ユーザが失敗の原因を理解し、達成するためにどのように改善をすればいいかを納得させる効果がある。これは、どのように行動すべきかを納得することによる言語的説得と、行動の改善による連続の失敗の防止に繋がる。既に述べた、困難な目標でも言語的説得を組み合わせることで自己効力感が高まる、という研究結果 [33, 80] から、失敗時にどう対処すべきかをアドバイスすることは、高い目標の行動促進にも効果的であると言える。

3.2.4 (4) 疑似体験の提供

4つ目の構成手法の要素は、疑似体験の提供である。これは、次の2つの手法のいずれかを取り入れることで、ユーザが行動を実施する前に達成ができそうだと感じられる体験を提供することを目的としている。これらはどちらか一方、あるいは両方を提供する項目である。

1つ目の手法は、類似した他者の体験を見聞きできる環境を提供することである。「類似した他者」とは、例えば学習に関するものであれば学習能力が類似した人、運動に関するものであれば体力、体型、年齢、性別が近いなど、ユーザが類似していると感じる人のことを指す。体験を見聞きできる環境の提供手法としては、システムを使用している様子が他者にも共有されるように

設計をしたり、ビデオや影などで他者の過去の体験が見られるようにすることなどが挙げられる。これは代理体験に繋がる。

2つ目の手法は、ユーザ自身がバーチャルに体験することである。例えば、本番実施前にシミュレーションで簡単な難易度のものを体験したり、バーチャルリアリティ（VR）を用いて疑似体験したり、チュートリアルに従って動かしてみることで、達成体験の提供に寄与する。

3.3 まとめ

本章では、インタラクティブシステムの特徴をまとめた上で、行動に影響を与える心理学の要素を踏まえた、ユーザの行動促進のための4つのインタラクティブシステムの構成手法の要素について述べた。図3.2に構成手法の要素と、それぞれが関連する心理学の要素をまとめた。

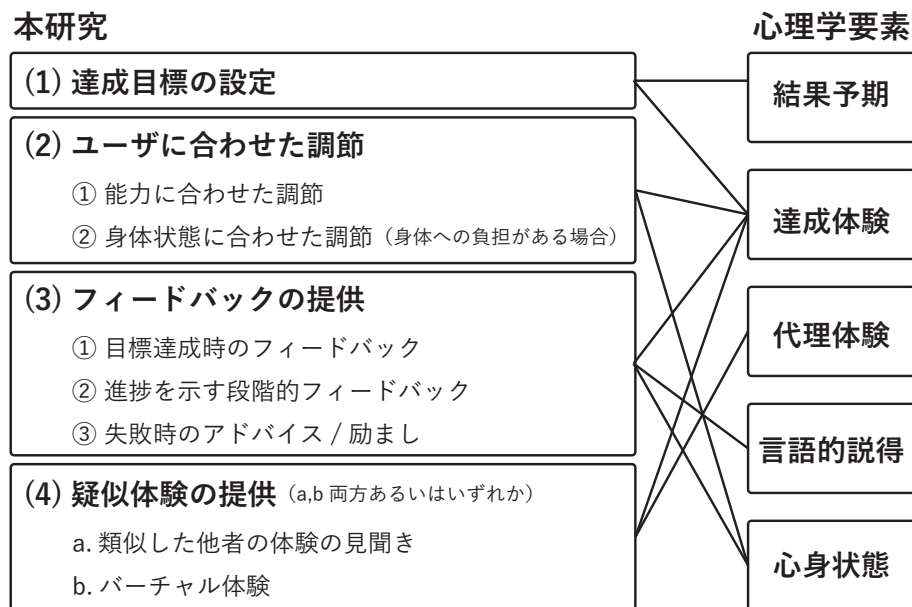


図 3.2: 行動促進のための構成手法の4要素と行動に影響を与える心理学要素との関係

「(1) 達成目標の設定」は、ユーザが目標を認識することで結果予期と達成体験に影響を与える。「(2) ユーザに合わせた調節」は考慮すべきことが2点ある。1つ目は能力に合わせた調節をすることで適切な難易度での達成体験に繋がる。2つ目は身体状態に合わせた調節によるネガティブな身体状態の防止に繋がる。「(3) フィードバックの提供」は、3つの状況に合わせたフィードバックがある。1つ目は目標達成時のフィードバック、2つ目は目標達成までの進捗を示す段階的フィードバックで、これらは達成体験の積み重ねと、ポジティブ精神状態を促す。3つ目は、失敗時にアドバイスや励ましの提供を行うことで言語的説得に影響を与える。「(4) 疑似体験の提供」は、2つの手法がある。1つ目は類似した他者の体験が見聞きできる環境構築によることによる代理体験の

提供である。2つ目はシミュレーションやVRなどを用いて、本番前に達成体験を作り出すことである。これは、両方あるいはいずれかが提供されればよい項目となる。

上記4つの構成手法の要素を行動支援のためのインタラクティブシステムに適用することでユーザの行動を促す。次からの章では、具体的な事例と本構成手法とを比較したケーススタディを紹介する。第4～7章では、構成手法を活用し、私が共同研究者とともに開発した5つの行動支援システムについて、改善点の洗い出しと改善案を提案する。第8章では、他の研究者による、より多くの目的のための行動支援システムのケーススタディを紹介する。

第 4 章

ケーススタディ 1：協調型運動支援システム

本章と次章では、運動支援のためのインタラクティブシステムのケーススタディを行う。本章では、既存のスポーツである二人三脚と、大縄跳びをインタラクティブシステムに応用した 2 つのシステムについて述べる。

4.1 背景

本節では、次の第 5 章にも関わる「運動」の関する背景として、運動の重要性、運動が継続しない原因、そして運動特有の問題について述べる。

4.1.1 運動の効果

「運動」には、大きく次の 3 つの効果がある。1 つ目は、食事や運動不足が原因で発症する生活習慣病などの病気の予防と改善である。摂取エネルギーに対して、消費エネルギーが過剰になると、そのエネルギーが脂肪として蓄えられて肥満となり、肥満が原因となって糖尿病、高血圧脂質異常症、心筋梗塞・脳梗塞といった病気を引き起こす。世界保健機関（WHO）は、全世界の死亡危険因子の第 4 位は「運動不足」と発表し、日本では成人（18 歳以上）の 33.8% が運動不足だと報告している [14]。国際的な医学雑誌 The Lancet は、日本における「危険因子に関連する非感染症疾病と外因による死亡数」では、喫煙、高血圧につづいて、「運動不足」が第 3 位の因子だと報告している [92]。さらに、国民医療費の約 3 割を生活習慣病が占め、深刻な国家課題にもなっている [104]。ワシントン大学健康指標評価研究所の世界肥満実態調査では、世界の成人の過体重・肥満の割合が、1980 年には男性・女性がそれぞれ 29% と 30% だったものが、2013 年にはそれぞれ 37% と 30% になったことが報告されている [73]。厚生労働省の 2014 年の調査によると、日本国内では、男性が 28.7%、女性 21.3% で、過去 10 年間でみて男女ともに大きな変化はなかったことが報告されている [25]。さらに、身体活動量が多い人は、ガンなどの死亡リスクが低いという報告もある [26]。

2つ目に、筋力や身体機能の維持と増進である。運動不足が続くと疲れやすくなったり、体力や持久力が低下する。その結果、歩く速度が落ちたり、重いものが持てなくなったり、転びやすくなるなどの日常生活に支障が出る。また、健康的な体型を維持したり、抵抗力を高めるといった効果もある。

3つ目に、ストレスやうつ病などの精神疾患の改善である。運動がストレスを解消し、不安を取り除く効果があるという研究も報告されている [49]。厚生労働省による「21世紀における国民健康づくり運動（健康日本21）」（健康増進法に基づく国民の健康の増進の総合的な推進を図るための具体的な計画）では、こころの健康を保つためには「適度な運動や、バランスのとれた栄養・食生活は身体だけでなくこころの健康においても重要な基礎となる」と記されている [23]。以上のように、運動は心身の健康に影響を与える重要な活動である。

4.1.2 運動ができない原因

運動は、青年期の精神的成長や、ストレスへの適応性が高まることも報告されており [99]、大人だけでなく、子どもにとっても運動は重要な活動である。しかし、運動は誰でも容易に実施できる活動ではない。2016年のスポーツ庁の「スポーツの実施状況等に関する世論調査」[21]によると、「運動不足を感じる」と回答した人は77%、「体力に不安がある」と回答した人は54.6%であった。運動ができない理由としては、1位が「仕事や家事が忙しいから」(32.8%)、次いで「面倒くさいから」(24.0%)、「年を取ったから」(15.9%)が続き、他にも「運動・スポーツが嫌いだから」(10.0%)、「場所や施設がないから」(7.4%)、「仲間がいないから」(7.1%)等が挙げられている(図4.1)。運動が嫌いな理由の1位は「苦手だから」が68.8%、次いで、「疲れるから」(60.1%)、「時間を取られるから」(31.0%)であった(図4.2)。このように、運動不足を感じていながらも、実際に運動が実施できていない人は多く、運動への苦手意識を持っている人も多い。

4.1.3 運動の動機づけ

運動に取り組むための効果的な手法の一つとして、他者と一緒に取り組むという「ソーシャル性」が挙げられる。スポーツ庁の調査 [21]によると、「運動・スポーツを始めた、あるいは再開したきっかけ」の間に対する回答結果として、高い順に「友人・知人・同僚に誘われた」(23.3%)、「家族に誘われた」(18.9%)、「友人・知人・同僚に奨められた」(8.8%)という結果になっており、半数が他者からの誘いや奨めがきっかけになっている。ソーシャルネットワーキングサービス(SNS)を活用して、健康改善を行う事例も多く報告されている [72]。また、他者と一緒に運動や、習慣づけを促進し合うSNSやアプリも数多く存在 [6, 17, 20] する。ソーシャル性は、教育的意義もあり、幼少期の他者との運動は、身体が鍛えられるだけでなく、他者と関わることで公平、公正な精神や他者との協調を学び、社会において必要とされる行動や知識を育成するという研究報告もある [113]。

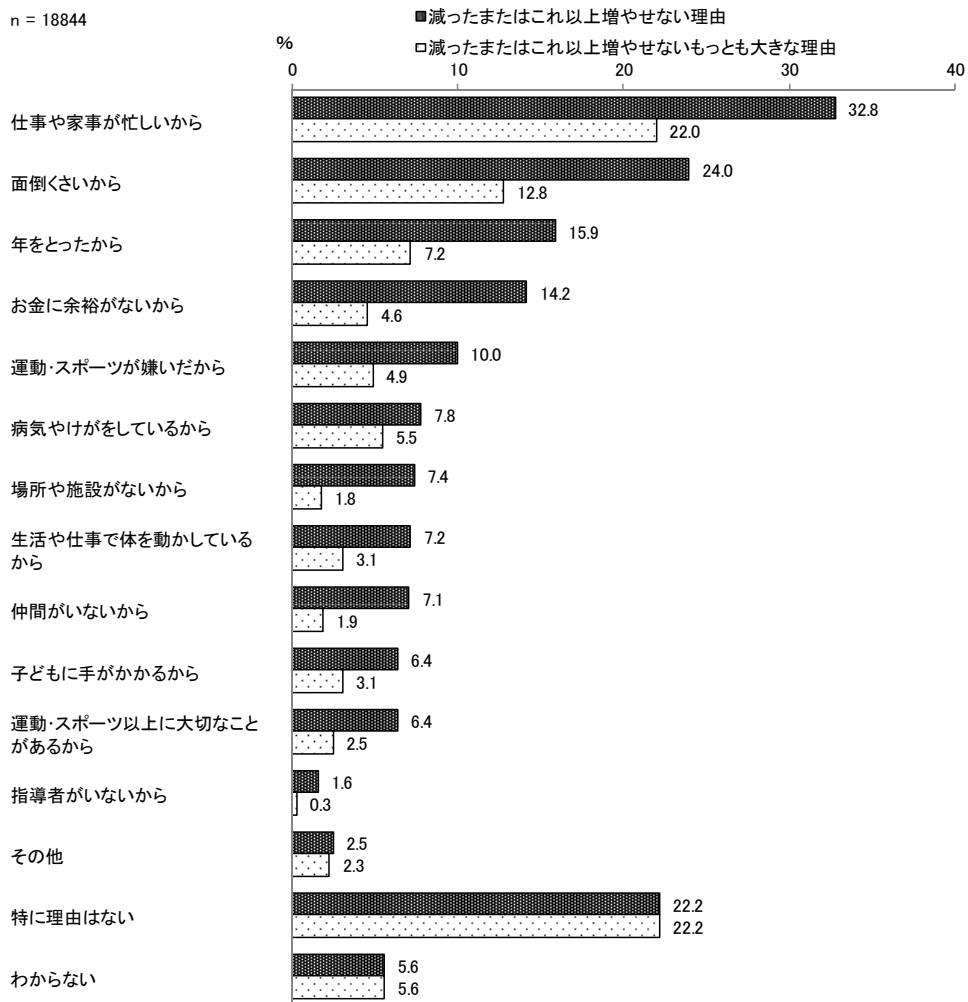


図 4.1: 運動が減ったまたはこれ以上増やせない理由。スポーツ庁「スポーツの実施状況等に関する世論調査」より抜粋 [21]

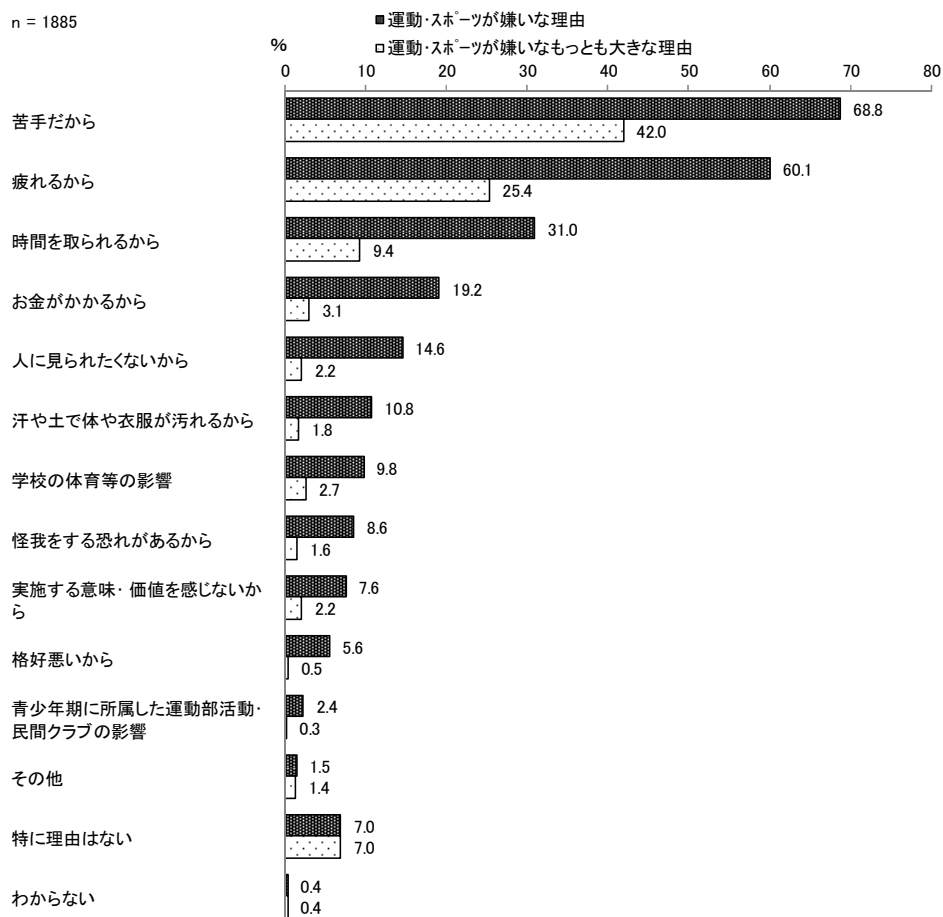


図 4.2: 運動・スポーツが嫌いな理由. スポーツ庁「スポーツの実施状況等に関する世論調査」より抜粋 [21]

4.1.4 能力差とハンディキャップ

しかし、運動やスポーツの能力には個人差がある。その差の原因には、性別、年齢、筋力、熟練度の違いなどが挙げられる。そのため、他者と一緒に運動をする際に、互いの能力が合わず、一緒に楽しめないことがある。対戦型のスポーツの場合、勝利することが価値であるとされるため、敗者、弱者は精神的なダメージを負い、結果としてスポーツに非積極的になることがあるとされている [124]。また、チームスポーツの場合はチームの足を引っ張ってしまっているのではないかと、という精神的な不安が生じることもある。

ゲームやスポーツでは、こういった能力差を埋めるためにハンディキャップ（以下、ハンデ）が設けられることがある。ハンデとは、「競技結果を予測し難くするために、優勢（劣勢）状態のものに対して与える不利（有利）条件をいう。また、競技者の協議能力や体力、身体機能などの違いが生み出す格差を人為的に縮小させる方法をいう」 [103]。ハンデがあるスポーツは、ゴルフやボウリング、ボクシングなどの身体活動を伴うものや、将棋や囲碁などの主に頭脳を用いるものまでである。ゴルフやボウリングは、スコアを競うため、数値の設定を変更することで難易度を調節する。ボクシングでは、体重が規定を超過している選手のグローブを重くすることでハンデをつけるというルールを適用した事例もある。プロレスでは、タッグマッチという、複数人同士で行う競技があり、1対2、2対3など、対戦者の人数に差をつける変則タッグマッチというものもある。将棋や囲碁では、駒や石を下位者が有利になるような配置にすることで難易度に差をつける手法が用いられる。また、障害のある人や、幼児から高齢者、体力の低い人であっても、ルールや用具をその人に合わせて適合（adapt）させることで主体的に取り組む事ができる「アダプテッド・スポーツ」と称されるスポーツも存在する [101]。アダプテッド・スポーツでは、スポーツのルールや用具を、運動する人の能力や身体の特徴などに合わせておこなう。例えば、ツーバウンドでボールを打ち返す車椅子テニスや、1チームで高さの異なる2個のゴールを設置したバスケットボールなどがある [102]。しかし、こういったハンデや難易度調節は、適切に設定することは難しい。特に、対戦型のスポーツでは、適切な難易度調節による勝敗であったかどうかの判断は人によって感じ方が異なる可能性がある。

4.1.5 運動不足の原因

運動不足の原因として、運動する場所や、一緒に運動をする人が減少していることが指摘されている [29]。文部科学省の「スポーツ振興基本計画」 [28] では、子どもの体力の低下に歯止めをかけ、体力を向上させるための施策として、「教員の指導力の向上」や、「子供が体を動かしたくなる場の充実」が挙げられ、さらに、成人のスポーツ実施率を上げるための施策として、「スポーツ指導者の養成・確保・活用」や、「スポーツ施設の充実」が挙げられるなど、場や人の充実が提案されている。しかし、人の育成や雇用、公園やスポーツ施設などを増やすためには、場所と多額の費用が必要となる。運動施設が増えたとしても、運動が苦手な人や、運動へのモチベーションがない人が自らそういった場所に赴くこともなかなか難しい。

Jogging over a distance[70] や, ExerSync[75] のように遠隔地の人との運動を行う研究もあるが, これらは, 既に一緒に運動を行うパートナーがいるユーザを対象としている. Wuらによる, すでに運動をおこなっている人 100 人を対象とした調査 [90] では, 「一緒に運動するパートナーがいない」と回答した人のうち約 6 割の人は「パートナー探しあるいは出会うことに苦労している」と回答し, その理由として, 「同じ目標を持つ人や, スケジュールが合う人が見つからない」, などが挙げられている. 「一緒に運動するパートナーがいる」と回答した人のうち 7 割は「個人と繋がりのある人をパートナーにした」と回答し, 3 割は「運動を通じてパートナーと出会った」と回答している. このように, 運動のパートナーは個人の関係のある人に依存することが多くまた, パートナー探しも容易ではないことも示されている.

以上のように, 運動を行うためには, 「場」と「人」が重要な要素である. 本章では, この 2 つに着目をし, 多数の人が集まる空間で, 他人同士でも参加しやすい運動環境を提案する. 人が集まる環境とは, ショッピングモールや科学館などの, 誰でも訪れることが可能な公共の場や, 展示会場, パーティー会場などの, イベントのために人が集まる場所のことを想定している. 本研究では, このような空間を「開放型空間」と呼ぶ. 場と人が同時に存在している開放型空間で, 他者と運動が行える環境を構築することで運動機会の創出を目指す.

開放型空間における運動を実現するために, まず「何人何脚!?’というバーチャルに二人三脚が体験できるエクサゲームを構築した. このシステムを通して, 開放型空間におけるシステムで重要な要素を探る. その後, 何人何脚!?’の知見を基に, 「大縄オーケストラ」という, バーチャルに大縄跳びが体験できるエクサゲームを構築し, 開放型空間での評価実験を実施した.

4.2 「開放型空間」における協調型エクサゲームの設計方針

開放型空間に適した協調型エクサゲームの設計方針を立てるために, 想定される開放型空間の特徴を以下にまとめる.

- 訪れた場所にエクサゲームが設置されていることをあらかじめ認識していない (つまり, 運動をするつもりで訪れておらず, 遊び方も知らない)
- 来場者ごとに, 参加可能な時間の長さが異なる (買い物の合間, 家族を待っている間, 通りがかりのついで, など空き時間の長短に差がある)
- 来場者ごとに, 年齢・身長・体力が異なる

上記のような, 状況の異なる来場者が開放型空間での協調型エクサゲームに参加するためには, 以下の要素が含まれることが望ましいと考える.

4.2.1 参加しやすい設計

エクサゲームが設置されていることを知らずに開放型空間に訪れた来場者は、予め運動をするモチベーションは持っていない。また、その場で初めてエクサゲームを見るため、ゲームのプレイ方法（以下、「ルール」）も予め知らない。このような状況の人に参加してもらうためには、「参加できそうだ」と感じてもらう必要がある。また、参加するモチベーションがもともとない来場者にとっては、ルールを理解するために説明を聞いたり、文章を読むことは面倒だと感じる要因になると考える。そのために、説明をしなくても理解できるくらいの、単純で分かりやすいルールにすることが重要だと考える。また、参加をするにあたって、参加登録、着替え、何かを身につけるといった、参加のための事前準備をなくすことで、参加の手間を増やさないようにすることも参加しやすくするためには重要だと考える。

4.2.2 途中参加/離脱可能な設計

来場者の空き時間や、体力はそれぞれ異なるため、エクサゲームへの参加時間が柔軟になると、それぞれの持ち時間、体力に合わせた参加が可能になると考える。通常の協調型運動では、途中で抜けたり、途中から参加することは困難であり、ゲームを途中で中断してしまったり、参加するために他の人のプレイが終わるまで待っていないてはならない可能性がある。そこで、ゲームを中断することなく、参加者が任意のタイミングで参加したり、離脱したりできるようにすることで、好きな時間だけ参加できるようになり、来場者が参加しやすくなると思う。

4.2.3 参加者間の年齢/身体差が影響しにくい設計

さまざまな年代の人が訪れる可能性がある開放型空間では、参加者間の年齢、身長、体力などに差がある場合がある。そのため、小さな子供でも理解しやすい、あるいは真似しやすい単純な運動（例えば、足踏み、ジャンプ、など）をルールにすることで、年齢差があっても一緒にプレイしやすくなると思われる。また、身長や力の強さによって差が出るようなルール（例えば、ジャンプして高いところをタッチすると得点する、強く叩くとより多く得点する、など）も適用しないようにする。

4.2.4 簡易で頑丈なセンシング

エクサゲームの構成には、各種のセンシング技術の利用が考えられるが、開放型空間では外乱光の影響があるセンサや、頻繁なキャリブレーションが必要なカメラなどを用いた手法は向いていないと考える。そのため、簡易でかつ、大人数が利用しても故障しにくい耐久性の高いセンシング手法を用いた設計も重要であると思う。



図 4.3: バーチャルに二人三脚が体験できるエクサゲーム「何人何脚!?!」のプレイの様子とシステム構成

4.3 バーチャル二人三脚システム「何人何脚!?!」

以上の4つの要素を踏まえ、「何人何脚!?!」というエクサゲームを実装し、開放型空間でのデモンストレーションでの観察をおこなった。何人何脚!?!は、床に設置された足型の上を、二人三脚と同じ要領で足踏みをし、ゴールを目指す協調型のエクサゲームである(図4.3)。一般的な二人三脚では、2人1組で隣り合った足同士を紐で結び、その状態でゴールを目指して走る競技である。

前に進むためには二人でタイミングを合わせて異なる足を前に出す必要があるため、「1, 2, 1, 2 (イチ・ニ, イチ・ニ)」といった掛け声を掛け合いながら走ることが多い。本システムでは、広い空間がなくても二人三脚が実現できるように、センサとスクリーンを用いて、その場で足踏みをすると目の前のスクリーン内の映像が進み、擬似的に走っているような体験ができるようにした。映像の始まりには「START」、終わりには「GOAL」という文字が表示される(図4.4)が、参加者は映像の位置に関わらず、常に参加者が途中で入ったり抜けたりすることが可能である。さらに、従来の二人三脚とは異なり、3つの理由で足を紐で縛らないことにした。1つ目は、一緒に参加する人が知人ではなかった場合、足を縛ることは抵抗がある人もいることが想定されること、2つ目は、参加時の手間を減らすことで参加しやすくすること、3つ目は、足が引っかかって転倒することによる怪我などのリスクを避けるためである。参加人数は、より多くの参加者が参加できるように、最低2人、最大4人までの参加ができるようにした。次節で紹介するセンサを追加することで、最大参加人数を増やすことも可能である。参加人数が多いほど難易度も増すが、その分映像が進む速度も早くなるように設定した。誰かが失敗すると映像は止まるが、再び正し



図 4.4: 「何人何脚!?’の開始時の画面（左）と終了時の画面（右）

く足踏みを始めると再度映像が進む。画面下部には、各プレイヤーの足踏みの状況を可視化するために、足型のイラストが表示され、足踏みをしているところはイラストが赤色になる。これにより、正しく足踏みが出来ているかどうかを画面上で確かめることができる。画面右側には、現在のスピードがバーで表示される。

4.3.1 システム構成

本システムは、プロジェクター、スクリーン、Gainer[7]、テープスイッチ（型番：オジデン、OT-02A-GY）、ノート PC、棚で構成される（図 4.3）。テープスイッチの上にはクッション性のある素材で制作した足型を設置した。プレイヤーの背後に設置した棚の中にノート PC、Gainer、プロジェクターが収納されている。公共型空間に設置がしやすいように、図 4.5 のようなシンプルな構成になっている。PC は、試作ではノート型の PC（MacBook Pro）を用いたが、本システムは画像解析などを含まず計算量が小さいため、ディスプレイ出力が可能なスティック型 PC や小型 PC でも十分構築可能である。また、プロジェクターの代わりにディスプレイモニターで対応することも可能である。

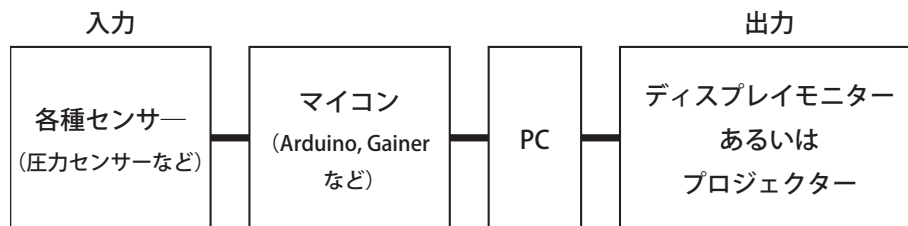


図 4.5: 「何人何脚!?’のシステム構成図

4.3.2 開放型空間でのデモの実施と観察結果

何人何脚!?’のデモンストレーションを、一般の来場者も訪れる大学の展示会にて 6 日間実施した。展示中は、一部の来場者には参加を促したが、概ね参加者が自発的に集まり参加した。参加者

には掛け声をかけるとタイミングを合わせやすい、といったアドバイスは行わなかったが、「せーの、1、2、1、2」と声を掛け合いながらプレイをしている参加者が目立った。参加した人同士の関係は不明だが、観察していた限りでは知人同士と見られる人が多かった。また、観察を通して次の2つの課題が見つかった。

1つ目の課題は、運動のルールが分かりにくい部分があったことである。参加者には、展示員からの説明をおこなった場合とおこなわなかった場合とがあった。説明を受けずに参加した参加者の中には、二人三脚のように参加者同士が異なる足でステップを踏むというルールが分からず、同じ足同士でステップを踏み、画面を進めることが出来ない場面があった。この結果から、足踏みをするという大まかなルールは理解できたものの、左右の足の違いまでは見ているだけで気付くことは難しいことが分かった。

2つ目は、途中で離脱と参加のしにくさである。人によって参加が可能な時間や、疲労を感じるタイミングは異なるため、途中で離脱したり参加したりできることが好ましい。しかし、参加者の中にはゴールにたどり着く前に、プレイの途中でやめる人もおり、一人がやめると全員で抜けてしまうことが多かった。この理由として考えられるのは、人が抜けると動きが中断されてしまうことにあると考える。例えば、3人参加しているときに2番目（真ん中）でプレイしていた人が抜けると、3番目にいた人は、2番目の場所に移動をし、さらにステップを踏む足を変える必要がある。あるいは、1番目の人が抜けると、2番目と3番目の人は1番目と2番目に移動しないとプレイができない。さらに、開始や足踏みのタイミングは、プレイヤー同士で合わせる必要がある。中断するとタイミングを合わせ直す必要がある。このように、一人の中断が参加者全員に影響してしまうと、途中で参加や離脱はしにくくなる。また、ゲームが途中で中断された状態で画面が止まったままになると、画面上には「START」の文字が表示されていないため、現状のステータスが分からないという問題も起こる。

これらの課題を踏まえて、次のシステム「大縄オーケストラ」を設計および実装した。

4.4 バーチャル大縄跳びシステム「大縄オーケストラ」

「大縄オーケストラ」は、大縄跳びとオーケストラの要素を掛け合わせた協調型エクサゲームである（図4.6）。参加者は、バーチャルな大縄に引っかからないように跳ぶことで、オーケストラの音楽が演奏できる。参加者が増えるごとにオーケストラの楽器の音が重なり、音楽が壮大になっていく。曲の最後まで縄に引っかからずに跳べると「成功」となる。本システムは、正面と床の2面のスクリーンとプロジェクターの投影によって大縄跳びをバーチャルに表現する。正面スクリーンには大縄を回すキャラクターと大縄、床面には正面の映像から繋がっているように回る大縄が投影される。参加者は、床スクリーン上の足型の上でジャンプする。今回実装したシステムの最大参加人数は3名だが、「何人何脚!？」と同様に、センサを増やすことで参加可能人数を増やすことが可能である。参加は1名でも可能である。

従来の大縄跳びは、2人の回し手が5～8mほどの長い縄を回し、その間を複数人の跳び手がジャ

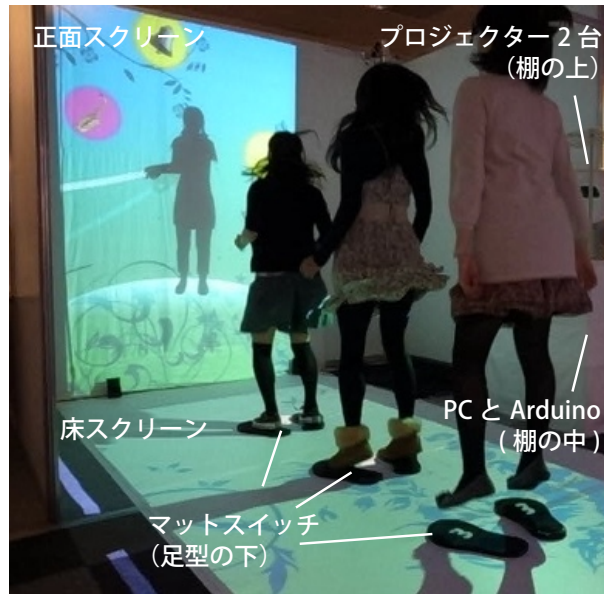


図 4.6: バーチャルに大縄を跳んで曲の演奏ができるエクサゲーム「大縄オーケストラ」のプレイの様子

ンプする競技である。同時に跳ぶ人数が増えるほど難易度は増し、長時間跳ぶことが難しくなるため、参加者全員で息を合わせる必要がある。大縄跳びの遊び方はいくつかあり、同時に全員が跳ぶ場合、1人が入って抜けた後に次の人が入る場合、縄を2本使う場合などがあるが、本システムでは、回す縄は1本、参加者は1人ずつあるいは同時に最大3人で入り、参加者は自由に入ったり抜けたりすることができる、というルールを採用した。また、従来の大縄跳びの場合、縄に引っかかると物理的な痛みを伴うことがあるが、本システムでは縄がバーチャルなため、引っかかったときに痛みを感じることはない。本システムでは画面上のキャラクターが回し手となるため、参加者は全員跳び手となる。以下、跳び手を「プレイヤー」と呼ぶ。

4.4.1 システム構成

本システムは、近接プロジェクター (2台)、スクリーン (2面)、ノート PC、Arduino、マットスイッチ (マットの下などに敷く耐久性の高いスイッチ、型番: オジデン, OM-CVP623)、棚、スピーカーで構成される (図 4.6)。システム内部の構成は、何人何脚?と同様のシンプルな仕組みになっている (図 4.5)。なお、スクリーンはプロジェクターの映像が投影可能な白い壁と床がある場合は不要である。足型の下にフットスイッチを埋め込み、プレイヤーごとのジャンプを検出し、フットスイッチの値は Arduino を介して PC に送られる。PC 側のソフトウェアは、ゲーム開発環境の Unity で実装した。Arduino から送信された値を基に、プレイヤーの状態に応じた音と映像をフィードバックする。次の、体験の流れでフィードバックの詳細を説明する。

4.4.2 プレイヤーの体験の流れ

大縄オーケストラのひとつ通りの体験の流れを説明する。

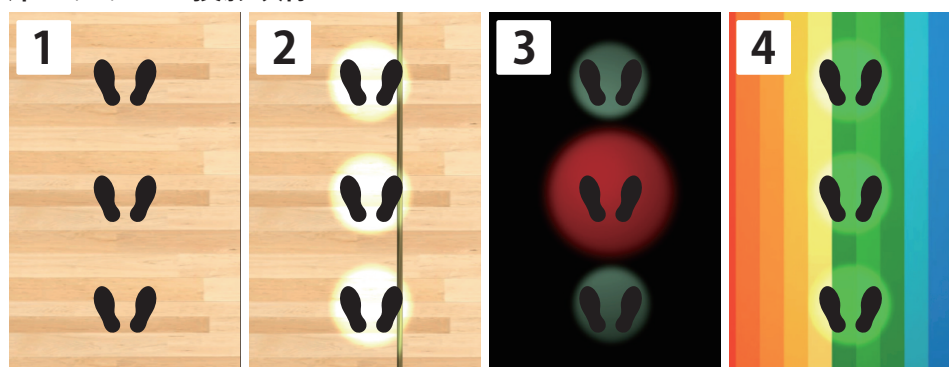
(1) スタンバイ状態（プレイヤーがいない状態）

プレイヤーが不在のスタンバイ状態では、スクリーン上の縄は常に回り続ける。この状態では音楽は流れず、縄が床を通過するたびに「シュッ」という縄が擦れたような効果音のみが鳴る（図4.7-(1)）。

正面スクリーン投影映像



床スクリーン投影映像



※足型部分は映像ではなく、切り抜いたスポンジ素材を物理的に設置

図 4.7: 「大縄オーケストラ」の状態ごとの表示映像。(1) 待機状態では常に縄が回り続ける (2) プレイヤーが三人プレイしている状態 (3) 中央のプレイヤーが引っかかった (失敗) 状態。失敗したプレイヤーの足元が赤く点灯する。(4) 曲の最後まで跳び終えた (成功) 状態。

(2) プレイヤー参加時

プレイヤーは任意のタイミングでゲーム空間に出入りすることができ、参加は1人ずつでも、同時に複数人でも可能である。ゲーム空間に入ったプレイヤーは、縄に引っかからないように縄が

床を通過する度にジャンプをする。プレイヤーが1人の場合は1つ目の楽器（例：バイオリン）のみで音楽の演奏が開始する。同時に、正面のスクリーンにはバイオリンのイラスト、床のスクリーンには跳ぶ度に足元に円形のアニメーションが表示される。2人目の参加者が入るとさらにもう1つの楽器（例：トランペット）の音が重なり、正面と床のスクリーンにイラストとアニメーションが追加される。最大参加人数である3人が参加するとすべての音（例えば、5重奏の場合、残りの3つの楽器の音）が重なりフルオーケストラが演奏され、背景にもすべての楽器が表示される（図4.7-(2)）。途中でプレイヤーが抜けるとそのプレイヤーが担当していた楽器のアニメーションと音は消えるが、他のプレイヤーの音は鳴り続け、プレイを続行できる。

(3) プレイヤーが引っかかった時

いずれかのプレイヤーが縄に引っかかる、つまり縄が床を通過した時に足型の上に足があると、不協和音が鳴って音楽が中断する。床スクリーンは引っかかった人の足元が赤く点灯し、正面スクリーンはキャラクターの悲しげな様子アニメーションが表示される（図4.7-(3)）。引っかかってしばらくすると、再度縄が回り出し、(1)の状態に戻る。

(4) 最後まで演奏を終えた時

全てのプレイヤーが引っかからずに曲の最後まで演奏ができると拍手の効果音が鳴り、正面スクリーンのキャラクターが喜ぶ様子アニメーションが表示される（図4.7-(4)）。しばらくすると、再度縄が回り出し、(1)の状態に戻る。

4.4.3 デモの実施と改良

本システムを使用して、一般の来場者が訪れる科学館（日本科学未来館）での展示と、国内学会 [97] および国際学会 [78] でのデモ発表、子供が集まる地域イベントなどでデモを実施した。本システムは、展示会の度にアニメーションと音楽のコンテンツの変更や、実装に改良を加えた。具体的には、コンテンツはイベントに合わせてアニメーションのキャラクターを人間、ペンギン、サンタクロースに変えたり、音楽の長さや曲を変えた。実装は、主にセンシング部分を改良した。はじめは、赤外線センサを用いてジャンプの判定をしたが、設置場所が平らでなかったり、参加者がぶつかってセンサが動くとき動作が安定しないことがあった。次に、センサを追加しなくても容易に参加人数が増やせるように Kinect を用いた実装も行ったが、センシング範囲内にプレイヤー以外の人が入ることがあったり、センサの前に人が立っていることがあったりと、動作が安定しなかった。また、こういったカメラを用いた実装は公共の場ではプライバシーを気にして好まれないこともある。さらに、自作の圧力センサも試したが故障することがあったため、耐久性の高い既成品のマットスイッチを最終的に採用した。本システムは、何人何脚!?!と比べて、以下の4つの点でルールが異なる。

(1) 参加者全員が同じ動きをする

- (2) 参加者がいない状態でもシステムが動いている
- (3) システム側がジャンプのタイミングを制御する
- (4) 途中で参加や離脱をしてもゲームが中断されない

(1) は、何人何脚!?では隣り合う人同士の動きが異なることで、ルールが分かりにくいという問題があったため、全員が同じ動きをするルールに変更した。(2) は、参加者がいない状態でも常に縄が回っていることで、参加を促すとともに、参加者がいなくてもルールが分かりやすくなることを狙っている。何人何脚!?はゲームの途中で停止した状態ではゲームのルールも、システムが動いているのかも分からないが、大縄オーケストラはジャンプすることと、システムが動いていることが分かりやすい。(3) は、システム側でジャンプするタイミングを制御することで、何人何脚!?のように参加者が掛け声をかけなくてもいいため、よりも気軽に参加がしやすくなるを考える。(4) は、途中で人が抜けたり入ったりしても、何人何脚!?のようにプレイする位置を移動したり、動きを変えたりする必要がないため、参加者が自分の好きなタイミングでの参加と離脱がしやすくなることを考慮した。

4.5 評価実験

開放型空間に適したシステム設計ができたかどうかを探るために、大縄オーケストラを使用し評価実験を実施した。実験では、幅広い世代の人が訪れる開放型空間にシステムを設置し、来場者の行動観察とアンケート調査から、本システムが「参加しやすい設計」「途中参加/離脱可能な設計」「参加者間の身体差が影響しにくい設計」であったかどうかを検証する。

4.5.1 実験環境

実験は、企業のクリスマスパーティーのイベント会場の一角にて実施した。来場者は、社員と、社員に招待された知人・家族が主で、合計来場者数は約 400 人であった。同会場では、本システムの企画の他に 4 つの企画が同時に開催され、本システムは会場内にある 4.8m × 6m の会議室に設置した(図 4.8)。部屋の壁は白かったが、ホワイトボードが設置されており、そのまま壁に投影可能な場所がなかったため、1 枚の白いターポリン生地(約 1.8m × 6m)を会議室の天井から吊るし、床についたところから床面に養生テープと両面テープで接着し、正面と床のスクリーンを制作した。会議室のドアは常時、部屋の内側に開いた状態であった。図 4.9 は実験で使用した部屋の写真である。

今回の実験で使用した画面上のエフェクトは、クリスマスパーティーに合わせて、サンタ帽をかぶったペンギンのキャラクターが縄を回し、プレイヤーが増えるごとに楽器のアニメーション(左右に約 20 度ずつ回転して行ったり来たりする動き)の表示がペンギンの周りに増えていくと

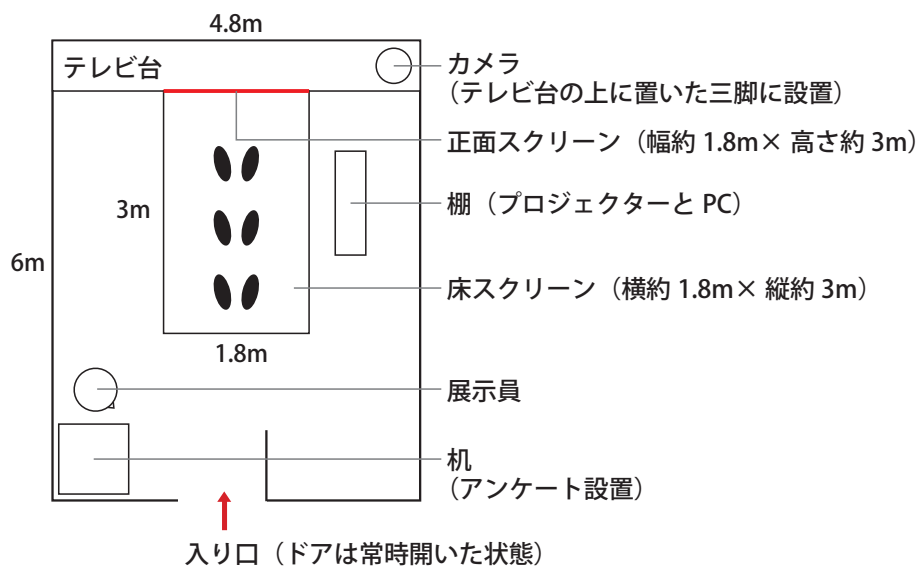


図 4.8: 「大縄オーケストラ」の実験を実施した会議室の状況. 展示員はルールの説明を一切しなかった.



図 4.9: 「大縄オーケストラ」実験中の部屋の様子

いうものにした。音楽は「天国と地獄」などのクラシック音楽を4曲用意し、アップテンポな部分を切り出して30～50秒に編集したものを使用した。

4.5.2 実験手法

実験の評価は、アンケート調査と、目視でのビデオ観察を行った。表4.1にアンケートの内容を示す。パーティーの最中には、乾杯の挨拶と抽選会があり、これらのイベントの際には会議室内から人が全員出たため、評価の対象とした時間は、乾杯の挨拶の30分後の人の流れが落ち着いた時刻から、抽選会が始まる時刻までの約73分間とした。展示員は、アンケート調査のために室内に常時1～3名いたが、入室者へのルールの説明は一切おこなわなかった。

アンケート調査は、会議室の出入り口の近くに設置した机にて実施した。アンケートは、会議室に入って「大縄オーケストラ」を体験した人（以下、「体験者」）、会議室に入ったが体験をしなかった人（以下、「見学者」）のそれぞれを対象に、会議室から退室する際にランダムに回答をお願いした。文字が読める人には紙のアンケートに答えてもらい、文字が読めない子供には口頭で質問をして質問者が回答を記録した。

ビデオは、出入り口とプレイヤーの全員の様子が見える、高い位置に設置した（図4.8）。ビデオ観察では、入室者全員に目視でタグをつけ、(1)入退室時間、(2)プレイ時間、(3)失敗（縄に引っかかった時）あるいは成功（曲の最後まで跳んだ時）の時間、(4)参加者同士が知人と思われるかどうか（ここでは、同じタイミングで入室した、あるいは室内で会話などのやりとりがあった人を「知人」、それ以外を「他人」と定義）、(5)それ以外の観察されたこと、を記録した。

4.6 実験結果

はじめに、実験中の入室者、アンケート回答者、プレイに関する全体の概要を報告する。

ビデオ観察をおこなった73分間に入室した人は、39グループ（「実験手法」で定義した「知人」同士を1グループとする）、合計100名であった。これは、イベント全体の来場者数約400人であったことに対して、約25%が入室したことになる。ビデオ観察では、入室者のうち中高生以下と見られる人は48名、大学生以上と見られる人は52名であった。100名の入室者のうち、大縄オーケストラを体験した人は51名で、そのうち、39名は高校生以下と見られる人であった。

アンケートの回答者は、合計46名（体験者34名、見学者12名）であった。アンケートの回答結果を図4.10と図4.11に示す。回答者のうち、体験者は、中高生以下と、20代以上の割合がそれぞれ約半数ずつであった。見学者は全員20代以上の大人であった。

プレイの総回数は、1回の失敗あるいは成功を「プレイ1回」と数えると、230回であった。そのうち失敗は221回（96%）、成功（曲の最後まで跳べた場合）は9回（4%）であった。1回の平均プレイ時間は19秒で、プレイを始めてから5秒程度の短時間で失敗したケースは37回（「失敗」したうちの約17%）で、これらを除くと、平均プレイ時間は28秒であった。1人あたりの平

表 4.1: 体験者・見学者へのアンケート項目

No.	質問対象者	質問	選択肢
1	共通	性別を教えてください	男性/女性
2	共通	年代を教えてください	幼稚園未満/幼稚園/小学校/中高生/20代/30代/40代/50代/60代以上
3	共通	「縄の動きに合わせてジャンプする」というルールが分かりましたか？	分かった/分からなかった/(誰かから聞くなどして) もともと知ってた
4	共通	「参加する人が増えると音が重なっていく」ということが分かりましたか？	分かった/分からなかった/(誰かから聞くなどして) もともと知っていた
5	共通	参加する人が増えるとペンギンの周りに楽器のイラストが増える」ということに気が付きましたか？	気が付いた/気が付かなかった/(誰かから聞くなどして) もともと知っていた
6	体験者のみ	一緒に遊んだ人は知り合いでしたか？	全員知らない人だった/知らない人もいた/一人だった/知人(友達, 先輩後輩, 恋人など)/家族
7	体験者のみ	なぜ参加しましたか？(当てはまるものすべて)	楽しそうだったから/簡単そうだったから/知人・家族がやっていたから/その他 [自由記入欄]
8	見学者のみ	なぜ参加しませんでしたか？(当てはまるものすべて)	難しそうだったから /ハードそうだったから/ルールが分からなかったから/知人がいなかったから/恥ずかしかったから/時間がなかったから/運動しにくい靴・服装だったから/その他 [自由記入欄]

均プレイ回数は約 5.2 回で、1 回の失敗で離脱する人が 11 人 (22%)、2 回以上挑戦する人が 40 人 (78%) であった。最もプレイ回数が多かった体験者は 42 回で、その体験者はプレイしたうち、自分自身での失敗は 24 回 (57%)、他者による失敗は 17 回、成功は 1 回であった。

4.6.1 「参加しやすい設計」に関する結果

本システムの、「縄の動きに合わせてジャンプする」というルールについて、アンケートでは体験者と見学者は共に 90%以上の回答者が「分かった」と回答した。なお、体験者で「分からなかった」と回答した人は幼稚園児 1 人で、その他の幼稚園以下の 4 名は「分かった」と回答した。この結果から、本システムのルールは小さい子供でも概ね理解できたと言える。体験者が「入室してからプレイを開始するまでの時間」の平均は 60 秒で、体験者の約半数の 45%が 30 秒以内にプレイを開始していた。このことから、参加者がルールを理解することに長い時間を要さなかったと言える。

4.6.2 「途中参加/離脱可能な設計」に関する結果

実験中には、任意のタイミングで参加/離脱が可能な設計に関連する次のような場面が観察された。

- プレイ中の参加者が、「疲れた」と言いながら離脱し、数分後に再度参加した場面
- プレイ中の参加者が、親に声をかけられて離脱する場面

いずれの場合も、ゲームは中断されず、該当プレイヤーのみが抜けている。このように、体力的に疲れたと感じたり、時間がなくなったりしたときに、ゲームが中断されずに離脱ができたという結果となった。

4.6.3 「参加者間の身体差が影響しにくい設計」に関する結果

前述通り、幼稚園児以下を含む 94%の参加者がジャンプするというルールを理解し、実際に身長差や年齢差がある人同士と一緒にプレイしていた様子が観察されたことから、参加者間に年齢差があってもプレイが可能であったと言える。

しかし、アンケートでは、正面スクリーンの楽器のアニメーションが増えるエフェクトについて、体験者のうち「気付いた」と回答した人は 47%であった。体験者であっても半数しか気付かなかった原因として、正面スクリーンに最も近いプレイヤーによって、後ろのプレイヤーの視界が遮られたことが考えられる。これにより、身長やプレイヤーの立つ位置によって体験に差がでることがあることが明らかとなった。

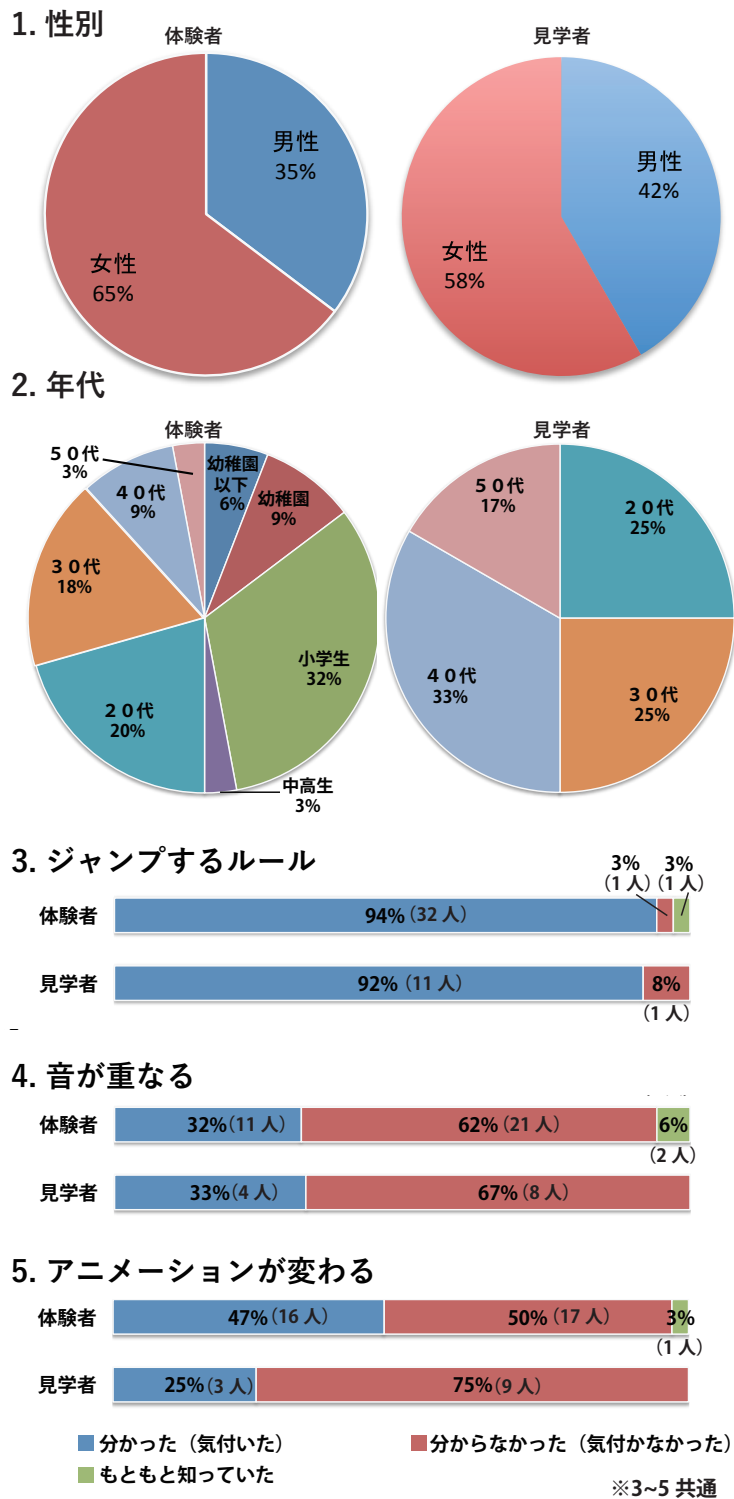
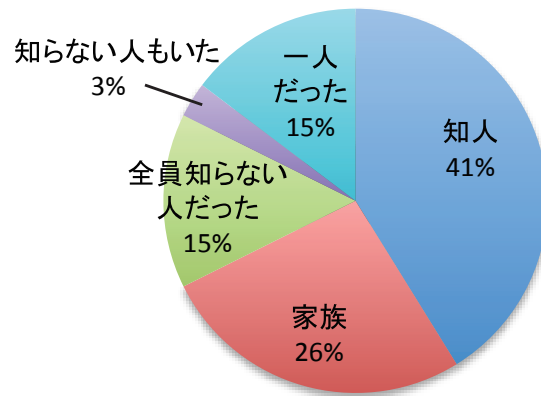
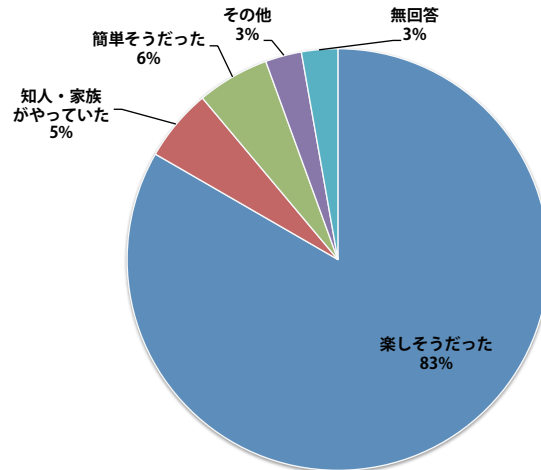


図 4.10: 「体験者」と「見学者」共通の質問項目のアンケート結果

6.一緒に遊んだ人との関係性（参加者への質問）



7.参加理由（体験者への質問）



8.不参加理由（見学者への質問）

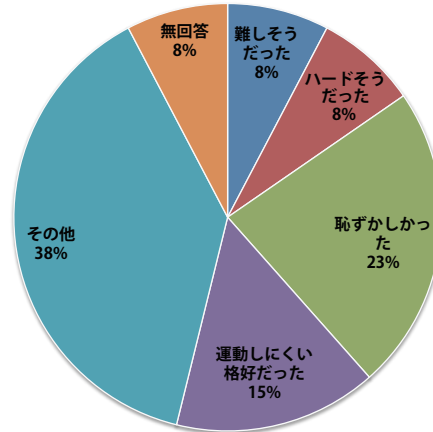


図 4.11: 「体験者」と「見学者」それぞれ異なる質問項目のアンケート結果

4.6.4 参加者間の関係の結果

開放型空間には、知人ではない他人のほうが多い場合が大半だと思われるため、このような場所で協調型運動を行うためには、他人と一緒にプレイができるかどうかも重要である。以下、ビデオ観察での「他人」とのプレイ状況を報告する（「他人」と「知人」の定義については、4.5.2参照）。

1回のプレイでの最大参加人数は、1人の場合が62回（27%）、2人の場合が55回（24%）、3人の場合が113回（49%）であった。つまり、73%が複数人でのプレイであったことになる。この結果は、他者との協調の促進を実現したといえる。また、ビデオ観察から、「他人」と同時にプレイしていた回数は91回であった。これは2人以上でのプレイ回数（168回）の54%にあたる。つまり、半数以上の体験者は、家族や知人以外の人との協調型運動をしたという結果となった。

ビデオ観察では、他者とのプレイ時に以下の様な場面が観察された。

- 他人同士の体験者（成人男性）と見学者（女子小学生）がハイタッチする場面
- 見学者が他人である体験者に「おめでとう」と声をかけたり、拍手をする場面

このように、他者同士でもエクサゲームを介してコミュニケーションが生じたことも確認された。運動を通したコミュニケーションはモチベーション向上に繋がるため、この結果は他人同士でも協調型運動の利点を得られたと言える。

4.6.5 参加/不参加理由の結果

アンケートで、体験者が参加した理由で最も多かったのは、「楽しそうだった」（83%）であった。「知人・家族がやっていた」という他者がきっかけという回答はわずか5%であった。この結果から、体験者は概ね自発的に参加したと言える。一方で、見学者が参加しなかった理由にはバラつきがあったが、「恥ずかしかった」（3人、23%）と、「その他」の自由記入欄に「子供を見ていた」（3人、23%）と記入した人が最も多かった。体験者の76%が子供であったという結果を考察すると、大人も子供と一緒に参加したくなる工夫が必要であると言える。「恥ずかしかった」理由としては、縄に引っかかるとゲームオーバーになる、ということと、子供の参加者が多いため大人が遊ぶのは恥ずかしかった、ということが考えられる。また、子供を見ていたことを不参加理由に挙げていることから、自身が参加するのではなく、見ることを楽しんでいて、という様子も伺える。不参加理由として、「運動しにくい格好だった」と回答した人が2名おり、いずれも女性だったことから、ヒールの靴をはいていたことなどが考えられる。

4.6.6 音のフィードバックの結果

アンケートの結果、参加者が増えるにつれて音が重なるエフェクトについて、体験者と見学者で「気付いた」と回答した人はいずれも3割程度であった。音の変化に気付かなかった理由とし

て考えられるのは、会議室を開けた状態で実験を実施したことにより、会議室外で流れていた大音量の音楽、会話、食器の音などが混ざり、騒がしい環境であったことである。本エクサゲームは、音がなくても目でプロジェクションされた縄を見てジャンプすることが可能で、音は体験を盛り上げるための効果音として用いているため、プレイ自体は行うことが可能である。このように、開放型空間では、騒がしい場合があるため、音がないと成り立たないルールを設定しないことも重要な要素であることが確認された。

以上の結果から、本システムは小さな子供でもルールが理解できたこと、参加者の都合に合わせてゲームへの途中参加、途中離脱できていたこと、2人以上のプレイ場面では半数以上が他者とプレイしていたことが確認された。一方で、参加者の立つ位置や身長によって画面が見えにくくなったり、周囲が騒がしくて音が聞こえにくくなるなど、筆者らが狙った体験ができていない場合があることも明らかとなった。

4.7 考察と議論

本節では、何人何脚!?と大縄オーケストラに関する考察と議論をする。

4.7.1 適切な運動時間・継続的な運動について

適切な運動時間について、厚生労働省による「健康づくりのための身体活動基準 2013」[24]では、健康づくりのための身体活動基準を1日3METs（歩行と同等）以上の運動を毎日1時間行うこととしている。また、「健康づくりのための身体活動指針（アクティブガイド）」では、「健康上の問題で日常生活が制限されることなく生活できる期間」である健康寿命をのばすために、普段より10分多く毎日からだを動かす、「+10（プラステン）」を推奨している。本研究は、自由に途中参加/離脱ができるため、気軽に運動を体験するためには有効であるが、平均プレイ時間が約30秒程度と短いため、十分な運動を行うという意味では目的を果たせない場合がある。また、「大縄オーケストラ」は縄に引っかかると運動が中断される。長時間の運動を目的とする場合は、運動強度をさげたり、「何人何脚!?」のように「失敗」してもゲームが強制終了しないようにする、といった調節が必要になると考える。

体力づくりや、健康を目的とする場合は、継続的な運動が有効である。活動量計などのスマートデバイスは、日常的な運動の計測や可視化には有効だが、継続的な利用が続かないことが多数報告されている[47, 37, 63]。原因としてSNSに繋げる機能はあるものの使っている人がおらずソーシャル性が機能していないことや、装着が習慣化されないことが挙げられている。普段、習慣がなくてかつ一人ではモチベーションを保つことが難しい人が継続的にエクサゲームなどを行うためには、学校、家庭、オフィスなどの日常的にいる空間での設置が有効であると考えられる。こういった空間での利用のためには、その場所に合わせた設計を考慮する必要がある。例えば、オフィス空間では大きな音を出すことが難しいため、音を使わない、あるいは指向性スピーカーに

して参加者にしか聞こえないようにすることや、家庭であれば設置スペースが小さくて済むようなより簡易なシステム構成にすること、などが考えられる。例えば、「大縄オーケストラ」の場合は、プロジェクターを用いずに、センサとLEDでフィードバックを返す、といった最小限の構成にすることで小さくすることが可能である。さらに、毎日プレイしても飽きないようにコンテンツや難易度を複数用意したり、出入口などの必ず通る場所に設置するなどの工夫も長期的な実施には重要な要素となると考える。

4.7.2 適切な難易度設定について

何人何脚!?と大縄オーケストラは、いずれも参加者の身体能力が事前に予測できないため、難易度は参加者全員同じであった。もし設置場所が上記のような毎日通う場所となった場合、RFIDや社員証などを用いて、参加者の年齢や体力、健康診断の結果などに応じて運動強度を設定することも可能になると考える。

ゲームのルールの難易度については、ルールはシンプルな方が参加はし易いが、その分運動も単純になる。もう少し複雑な運動を設定したい場合、プレイの様子動画を流すなど、見るだけで分かる程度のルールであれば応用が可能であると考えられる。ただし、「何人何脚!?」のように参加者の位置によって動きが異なるなど、見たとおりにプレイしたつもりでも正しい動作ができないようなルールは避けたほうが良いと考える。

4.7.3 システムの設置について

開放型空間は、設置可能な場所の面積や、壁の色、すなわちプロジェクションのためのスクリーンが必要かどうか、など設置条件が場所によって異なるため、設置のしやすさも考慮すべき要素の一つである。「大縄オーケストラ」は、プロジェクションする場所が2面あるため、壁や床が平らでかつプロジェクションが見えやすい色ではない場合は、スクリーンの設置が必要である。実際に、今回の実験で使用した部屋は、正面の壁が平らではなく、床も濃い色であったため、正面と床の2面にスクリーンの設置の必要があった。床面はシートを敷いて床に固定するだけで済むが、正面スクリーンについては、天井から吊る形となり、設置に手間がかかった。また、過去の展示では、2面の壁に突っ張り棒を設置して正面スクリーンを構築したケースや、壁のない場所ではパイプとジョイントを用いて簡易な屋倉を建て、パイプにスクリーンを取り付けたケースがあった。より多くの場所に設置できるようにするためには、設置のしやすさも課題である。「大縄オーケストラ」の場合は正面スクリーンをなくして床面のみにすることが考えられる。例えば、BaseLase [71] のような、1つの装置で360度にレーザーを投影可能なシステムを用いることでより広い範囲で多くのプレイヤーの参加も可能になるだろう。ただし、正面スクリーンは周囲の観客から見やすく、遠くからもゲームの存在を確認できるため、集客効果が減少する可能性も考えられる。一方で、正面スクリーンをディスプレイに置き換えた場合、スクリーンの設置が不要になり、設置が簡易になる。大縄オーケストラは、床面がなくなると正面が見えにくくなるため、プレイヤー

の向く方向を90度回転して何人何脚!?と同様の配置にし、ディスプレイ上にジャンプのタイミングを表示することでプレイは可能であると考え、ただし、従来の大縄跳びのような足元に縄が来ることによる「引っかかる」という感覚は得られにくくなり、さらにジャンプのタイミングも縄が来るタイミングが同時ではなくなるため、従来の一体感が失われる可能性がある。

4.7.4 応用について

本章で提案したエクサゲームはいずれも足を使う運動であったため、靴や服装により参加しにくいという結果が得られた。本研究の「開放型空間」における協調型エクサゲームの設計方針を、上半身だけの運動でも参加できるようなエクサゲームへと応用させることでより多くの来場者が参加しやすくなる。例えば、腕を動かしてバーチャルな大玉を転がすといった大玉ころがしをモチーフとしたエクサゲームなどが考えられる。

4.8 構成手法との比較

本節では、「何人何脚!?」と「大縄オーケストラ」それぞれのシステムについて、第3章で提案した構成手法と比較をし、改善点の洗い出しと改善案を提案する。以降、各システムの評価は構成手法の各要素にそれぞれが該当するかどうかを次の3段階で行う。該当する場合は「○」、該当しない場合は「×」、部分的に該当したり、改善の余地がある場合は「△」とする。項目自体に当てはまらない場合は「—」と表記する。各構成手法の項目は表4.2の通りに短縮して表記する。

表 4.2: 構成手法の項目名の短縮対応表

短縮前		短縮後
(1)	達成目標の設定	目標設定
(2)	ユーザに合わせた調節	ユーザに合わせた調節
	① 能力に合わせた調節	能力
	② 身体状態に合わせた調節	身体状態
(3)	フィードバックの提供	フィードバック
	① 目標達成時のフィードバック	目標達成時
	② 進捗を示す段階的フィードバック	段階的
	③ 失敗時のアドバイス/励まし	失敗時
(4)	疑似体験の提供	疑似体験
	(a) 他者の体験の見聞き	他者体験
	(b) バーチャル体験	バーチャル

表 4.3: 「何人何脚!?’の構成手法の該当項目と改善例

構成手法		該当	改善案
(1)	目標設定	△	・達成すべき距離を文字で明示する ・ゴールが見えるようにする
(2)	ユーザに合わせた調節	① 能力	× 判定の調節。ただし、ゲーム性が低下。
		② 身体状態	× 人が抜けても継続可能なルールにする
(3)	フィードバックの提供	① 目標達成時	○ ー
		② 段階的	× 進捗度合いをプログレスバーなどで表示
		③ 失敗時	× 足踏みのタイミングを提示
(4)	疑似体験の提供 (a,b両方/いずれか)	(a) 他者体験	△ 参加者不在時に映像を流す ・画面上のアニメーションと連動して 足型を光らせる
		(b) バーチャル体験	× 練習モードを用意する

○：該当、×：非該当、△：該当するが改善の余地あり、ー：項目自体に該当しない

4.8.1 「何人何脚!?’について

まず、何人何脚!?’と構成手法との比較を表 4.3 に示す。以下、各項目について詳細を述べる。

(1) 達成目標の設定

本システムの達成目標は、「ゴールまで到達すること」である。しかし、達成すべき走行距離はユーザに明示されていない。そこで改善案を2つ提案する。1案目は、達成すべき距離を画面上に文字で明示することである。2案目は、ゴールが見えるようにすることである。陸上競技の100m走のように、ゴールが目の前に見えてることで、ユーザは達成すべきゴールが明確に認識できる。

(2) ユーザに合わせた調節

まず「能力に合わせた調節」について述べる。本システムを達成するために必要な「能力」は、他のプレイヤーと同じ速度で足踏みをする能力である。システムでは参加者が全員同じ速度で足踏みをするルールであるため、各プレイヤーの能力に合わせた難易度の調節はできない。改善案としては、各プレイヤーの足踏みに合わせてシステム側で判定の調節を行う、ということも可能だが、一体となって走る、というゲーム性が損なわれてしまう。そのため、本システムのルールでは、ユーザがタイミングを合わせて足踏みができるように次の項目の「フィードバック」でアドバイスすることが有効である。

「身体状態に合わせた調節」については、参加者は途中で抜けてもプレイは継続が可能である

ため、プレイヤー自身が疲労したら抜けることができる。しかし、本システムは隣り合った人同士が異なる足で足踏みをするというルールであるため、2人のプレイヤーに挟まれたプレイヤーが抜けるとプレイが中断し、残されたプレイヤーは全員が隣り合うように位置を詰めなくてはならない。そのため、中央にいるプレイヤーは疲労したとしても抜けにくい。プレイの中断は、他のプレイヤーの離脱にも繋がりやすい。改善案としては、上述したように、足踏みの速度を各プレイヤーが自身で決めることができるようにすることが1つの案として考えられる。あるいは、真ん中のプレイヤーが抜けてもプレイが中断されずに続行できるような設計に改善することで、疲労したときに抜けやすくなる。

上記の通り、本システムは「能力に合わせた調節」も、「身体に合わせた調節」も現状では該当しないため、改善が必要である。

(3) フィードバックの提供

目標達成時のフィードバックについては、プレイヤーが最後まで走り終わると、画面上には「GOAL」の文字が表示され、目標を達成したことが分かるようになっている。これに加えて、走った総距離や消費カロリーなどを表示すると、より達成を感じることができると考える。

段階的フィードバックについては、進捗状況の表示がないため、あとどのくらい走ればゴールとなるのがプレイヤーには分からない。改善案としては、ゴールに対する現在の地点を、プログレスバー、あるいはゴールまでの残りの距離をカウントダウン形式で数値で表示することが考えられる。

失敗時のアドバイス/励ましについては、現状は明確な失敗を示すフィードバックがないため、誰の足踏みをどう改善すべきか分かりにくい。改善案としては、足並みが揃っていないプレイヤーの画面上にアニメーション、あるいは実際の足型を光らせることで足踏みすべきタイミングを表示し、足踏みのタイミングの改善を促すことが考えられる。このフィードバックは、(1)で述べた能力向上にも寄与すると考える。

上記のように、本システムは「達成時のフィードバック」のみ該当し、「進捗を示す段階的フィードバック」と「失敗時のアドバイス/励まし」については改善が必要である。

(4) 疑似体験の提供

他者の体験の見聞きについては、本システムはプレイしている最中の様子は周囲から見えやすいため、他者からプレイは見やすい環境になっている。しかし、参加者がいないときにはシステムは静止状態であるため、説明がないとプレイ方法も分からない。改善案としては、参加者がいないときには、画面に他者のプレイの様子の動画を流したり、アニメーションで走っている人の後ろ姿を表示させると同時に練造して足型も光るなど、実際にプレイしたときの動きを共有することで、代理体験がしやすくなると考える。

表 4.4: 「大縄オーケストラ」の構成手法の該当項目と改善例

構成手法		該当	改善案	
(1)	目標設定	△	何秒間跳ぶか、あるいは何回跳ぶか明示	
(2)	ユーザに合わせた調節	① 能力	×	正誤判定を調節
		② 身体状態	△	途中離脱可能であることを伝える
(3)	フィードバックの提供	① 目標達成時	○	—
		② 段階的	△	進捗をプログレスバーなどで表示
		③ 失敗時	×	ジャンプのタイミングをアドバイス
(4)	疑似体験の提供 (a,b両方/いずれか)	(a) 他者体験	△	観客から画面が見えやすくする
		(b) バーチャル体験	△	練習モードを用意する

○：該当、×：非該当、△：該当するが改善の余地あり、—：項目自体に該当しない

バーチャル体験も提供されていない。改善案としては、上記したような光る足型に合わせて、本番前に練習ができるように練習モードを用意することが考えられる。

以上のように、本システムは「他者の体験の見聞き」については、プレイヤー不在の際には該当しないため改善の余地がある。さらに「バーチャル体験」も提供することで本番前に小さな達成体験ができるようになる。

4.8.2 「大縄オーケストラ」について

続いて、大縄オーケストラと構成手法との比較を表 4.4 に示す。

(1) 達成目標の設定

本システムの達成目標は、「曲の最後まで演奏すること」である。しかし、何秒間あるいは何回跳んだら達成となるかは明示されていないため、ユーザが達成目標を認識することができない。改善案としては、プレイ開始前に曲の長さ、あるいはジャンプする回数を画面上に表示し、ユーザが達成すべき目標を明示することが考えられる。以上のように、本システムの「達成目標の設定」についてはユーザの認識のしやすさについて改善の余地があると言える。

(2) ユーザに合わせた調節

まず、能力に合わせた調節について述べる。本システムにおける「能力」は、タイミングに合わせてジャンプする能力である。本システムは、参加者全員が同じタイミングでジャンプする必要があるため、全員同じ難易度で運動することとなり、ユーザごとの能力には合わせられない。改善案としては、ジャンプの正誤判定を調節することが考えられる。ゲームの開始直後に失敗をした

参加者については、次のプレイ時にはジャンプのタイミングが少しずれていても何回かジャンプができていと判定することで、連続の失敗を防止する。ただし、これは失敗時のアドバイスもセットで行わないと能力を上げることができないため、(3)の項目とセットで考える必要がある。

身体状態に合わせた調節については、本システムは何人何脚?と異なり、プレイヤーが途中で抜けてもプレイが中断しないため、任意のタイミングで離脱したり、途中参加したりできる。実際に実験でも、途中離脱や参加の様子が確認された。しかし、途中参加/離脱ができることは明示的に示されていないため、認識していないプレイヤーもいる可能性がある。そこで、改善案としては、システム側から「疲れたら一回抜けてみよう。途中からまた参加できるよ。」などのコメントを定期的に知らせることで、疲労した際には抜けること可能だ、ということがユーザに伝わり、身体に合わせた調節がしやすくなるを考える。

上記の通り、本システムは「能力に合わせた調節」は該当しないため改善が必要となり、「身体に合わせた調節」については改善の余地がある。

(3) フィードバックの提供

目標達成時のフィードバックについては、曲の最後まで演奏ができると、アニメーションが切り替わり、拍手の効果音が鳴るため該当する。

段階的フィードバックについては、ジャンプしている間は曲が流れ、ジャンプする度に足元にアニメーションが表示される。しかし、どこまで達成できているか分からないため、改善案としては、ゴールまでどの程度達成できたかをプログレスバーや残り時間などで表示することが考えられる。

失失敗時には誰が引かなかったかがアニメーションで分かるようになっているが、アドバイスや励ましはない。改善案としては、例えば「縄の音がしたときにジャンプしよう」などジャンプのタイミングを文字や音声で教えてあげたり、「惜しい。もう1回チャレンジしてみよう」などの励ましにより、言語的説得に繋げることが考えられる。

以上のように、本システムは「達成時のフィードバック」は該当し、「進捗を示す段階的フィードバック」と「失敗時のアドバイス/励まし」については改善が必要である。

(4) 疑似体験の提供

他者の体験の見聞きについては、本システムはプレイの様子が周囲から見えやすい。しかし実験の結果では、周囲から画面上の映像の変化は見難いことが分かった。改善としては、プレイヤーの並び方や画面の位置を変えるなど、周囲の観客にも見やすい改善をするとより体験が共有されやすくなる。また、プレイヤーがいないときにもアニメーションが常時動いているため、見ていだけでジャンプするタイミングが分かる。実験では、システムの後ろでジャンプして練習する人が複数回観察されたことから、一部の人には「バーチャル体験」もできていた。参加者全員が

バーチャル体験ができるようにする改善案としては、練習モードを用意することで、本番前に小さな達成体験がしやすくなる。

上記より、本システムは「他者の体験の見聞き」と「バーチャル体験」はいずれも改善の余地があることが明らかとなった。

4.9 まとめ

本章では、「時間・空間・仲間」が同時に存在する開放型空間で運動機会を創出するためのシステム設計方針と、それを取り入れたシステムについて述べた。幅広い人が集まる開放型空間では、「参加しやすい設計」「途中参加/離脱可能な設計」「参加者間の身体差が影響しにくい設計」「簡易で頑丈なセンシング」が重要であるという仮説のもと、これらの要素を取り入れた協調型エクサゲーム「何人何脚!?!」と「大縄オーケストラ」を実装した。大縄オーケストラを使用した評価実験では、未就学児から大人までが説明がなくても参加することができ、自身の都合に合わせて参加や離脱する様子も観察された。さらに、他人同士でも積極的な協調参加や、コミュニケーションも確認された。これらの結果より、開放型空間の設計方針が概ね有効であることが確認された。

最後に、各システムと本論文での構成手法を比較し、改善点の洗い出しと改善案を提案した。目標設定については、いずれのシステムも明確にユーザに認識させるための改善が必要であることが分かった。ユーザの能力に合わせた調節については、いずれのシステムの難易度の調節ができないため、フィードバックの提供により補助することを提案した。身体状態に合わせた調節については、大縄オーケストラではユーザ自身が調節できるという点で該当し、何人何脚!?!は改善の余地があることが分かった。フィードバックの提供については、いずれも達成時には該当した。段階的フィードバックについては、いずれも最終的なゴールに対する進捗度合いを表示するという改善が必要となる。失敗時についてもいずれもユーザの能力が向上するようなアドバイスを必要があることが分かった。疑似体験については、大縄オーケストラは参加者の不在時にもジャンプのタイミングを疑似体験できるが、何人何脚!?!ではできないため、改善が必要なことが分かった。

第 5 章

ケーススタディ 2：運動強度に合わせた運動支援システム

本章では、身体の状態に合わせて運動を行う環境「Designable Sports Field」と、そのアプリケーションシステム「スポコン」について述べる。

5.1 背景

対戦型のチームスポーツでは、相手のチームに勝ちたいという気持ちが、チームのモチベーションに大きく寄与する。また、チームメイト同士が互いに励まし合ったり、コミュニケーションを取ることもモチベーションに繋がる。しかし、経験が少なかったり、体力が他のプレイヤーに比べて低いプレイヤーにとっては、チームの足を引っ張っているという気持ちが生じたり、なかなか成果が出せなかったりと、チームスポーツを楽しむことができないことがある。また、チーム間の能力が大きく異なると、対等な対戦にならず、チームとしてもスポーツが楽しめない。スポーツの能力を向上するためには、一定以上のトレーニングを積んで、技能や体力をつける必要がある。

第 4 章で述べた通り、スポーツでは、チーム間に能力差がある場合、点数に差をつけたり、特別なルールを適用するといった、ハンデが使われることがある。しかし、ハンデは必ずしもプレイヤーの体力や能力に適切なものになっているとは限らない。適切に感じられない場合、相手チームやプレイヤーが不公平だと感じることもあり、モチベーション低下にも繋がる。

一方で、スポーツにおける「コーチ」と「プレイヤー」の関係は、プレイヤーを育てたり、技能の向上や体力の増強を目的としているため、競争型ではなく協力型である。コーチは、スポーツやコーチングに関する知識を持っているため、プレイヤー個人の特性や体力などに応じて、プレイヤーに適したアドバイスをすることができる。しかし、コーチになるためには長年の経験や、専門知識が必要である。また、コーチに鍛えられる側の人にも、そのアドバイスに耐えられるだけの相当の体力と精神力も求められる。そのため、コーチをする側もされる側も熟練と努力が要

される。

本章では、対戦型のスポーツとコーチングの特性と問題に着目をし、「プレイヤー」と「デザイナー」という新しい関係で協調して運動を行うことができる「Designable Sports Field」(以下、DSF)という運動環境を提案する。これにより、コーチに必要な経験や専門性がなくてもプレイヤーは適切な運動をすることができ、また、鍛錬されていないプレイヤーであっても、本人に合った、適切な難易度で無理のない運動を行うことができる。本提案で特徴となるのは、運動の難易度を人間自体が調節するというところである。人間が介在することにより、ソーシャル性によるモチベーションの向上・維持の要素を取り入れている。

5.2 関連研究

本設では、DSFに関連する研究を紹介する。

5.2.1 コーチングを目的とした研究

Swimoid[86]は、スイマーの下を自走する水中ロボットで、モニターに写った自分の姿を確認したり、プールサイドにいるコーチから指導を受けることができる。水中ロボットを用いることで、コーチングが難しい場所でもリアルタイムにアドバイスをすることが可能である。CASPER[56]は、遠隔地にいるインストラクタとユーザが、スクリーン上で同じ場所にいるかのように運動が行える高齢者のための運動支援システムである。触覚フィードバックにより、インストラクタからの指示を感覚的に伝達する。このように、これまでは難しかった位置関係での指示者とのコミュニケーションを実現している。

5.2.2 トレーニングを目的とした研究

運動やスポーツのスキルを強化するためには、特定の動きや筋肉を鍛錬するトレーニングをおこなう。通常のトレーニングでは、強化をしたい内容に合わせてトレーニングメニューを組んだり、コーチからの指示に従った内容を実践する。しかし、その内容がその人に合っていなかったり、適切な指示が行えるコーチがいないと、効果的なトレーニングは行えず、場合によっては身体に負担を与えてしまう。情報技術を用いると、ユーザの状態を把握して、難易度の調節を行うことが可能になる。The Bouncer[54]は、スクリーンの表示に応じてボールを投げてスコアを獲得することをことで洞察力と判断力を鍛える個人トレーニングのためのシステムである。スクリーンを用いることで、ユーザの強化したい内容、能力に応じたコンテンツの切り替えが容易にできる。Around me[84]は、走者の前をディスプレイ付きの自走式ロボットが走り、自分自身の姿を映し出すことで、走り方のフォームを正すシステムである。前を走行しているため、走者に正しいフォームを示したり、メッセージを表示することも可能である。Flying sports assistant[51]は、運動者の後方をクアッドコプターが撮影することで、第三者視点での自分のフォームをヘッドマ

ウントディスプレイで確認しながら運動トレーニングを行うシステムである。これらは、情報技術により、個人の能力に合わせたトレーニングや、第三者視点で自分自身を見ることにより、セルフトレーニングを実現している。

5.2.3 プロジェクターを用いたインタラクティブシステム

Videoplace[62]は、プロジェクターを活用した人の身体とインタラクションをする先駆的な研究である。ユーザのシルエットをスクリーンに投影することでインタラクティブな環境の構築を実現している。HoloWall[67]は、手や物体を用いたインタラクションが可能な壁である。これらのプロジェクターを用いた初期の研究のあと、数多くのプロジェクションを活用した研究が盛んに行われている。本研究は、類似した構成に加え、ユーザの身体状態に合わせてデザインを反映することで、ユーザの身体活動を誘発する。

5.2.4 協調型運動システム

他者との運動は、会話やインタラクションなどのコミュニケーションを通して動機づけを行い、持続的に運動が行える効果がある [77]。Swan Boat[30]は、通常は一人で行うトレッドミルでのランニングを、他者と一緒に行うシステムである。Muellerらは遠隔地で複数人と運動を行う複数のシステムを提案している [70, 68, 69]。

5.2.5 身体に合わせた運動システム

体力や運動能力が異なる人同士での対戦型スポーツは、モチベーションの低下に繋がる。既に紹介した研究も含め、心拍数を用いた例は複数存在する [82, 70, 66, 35, 57]。これらは、心拍数を用いてゲームの難易度をコンピュータが調節したり、一緒に運動をしている感覚を増幅することで、対戦相手や、運動パートナーとの能力差を埋めることを狙っている。本研究は、コンピュータではなく人間が、他者の身体状態に合わせた運動環境を構築することで、ソーシャル性を保ちながらも、個人の能力に合った運動を提示している。

5.2.6 異なる役割で協調するシステム




プレイヤーが異なる役割を担うことも、能力の差を埋めるためには有効な手法である。Age Invaders[58]は、遠隔地にいる年齢差のあるペア（例えば、おじいちゃんとその孫）で異なる役割を担って対戦するシューティングゲームである。ゲームの途中ではパズルゲームが出現し、ヒントを出す役割と、解く役割とに分かれる。このように、複数のゲーム要素を含むことで、年齢差のあるチームでも役割分担をしてゲームを行うことを狙っている。Life is a Village[91]は一方のプレイヤーが自転車を漕ぐことでアバターを操作し、もう一方のプレイヤーがWiiリモコンを用いて敵が投げってくる球を避ける協調型エクサゲームである。これらは、身体状態の考慮はされて

いないが、本研究は、身体状態の考慮に加え、デザイナーとプレイヤーという、これまでとは異なる手法での協調を提案している。

5.3 デザイン可能な運動環境：Designable Sports Field (DSF)

DSF は、プレイヤーの身体状態に応じて、他の参加者がデザインをすることが可能な運動環境である。対戦型スポーツの要素と、コーチングの要素を併せ持ち、プレイヤーは、事前の知識や専門性を必要としない。表 5.1 は、他のタイプのスポーツと比較した表である。テニスのダブルスやバスケットボールなどの対戦型でかつチームでの協調があるスポーツは、ルールは固定的で、さらに、チーム内やチーム間の能力が釣り合うことが好ましい。コーチングは、経験や専門性が必要なコーチと、それに耐えられる体力や精神力を持つプレイヤーの関係であり、いずれも誰にでもできる役割ではない。DSF は、「デザイナー」と「プレイヤー」という新しい関係による運動環境で、特別な知識や経験は必要がない。本研究における「デザイナー」の役割は、プレイヤーの身体状態に応じて運動環境を設計することである。例えば心拍数や、血圧などのプレイヤーの身体状態が分かるバイタル情報が適正範囲になるような動きを設計する、といったことを想定している。「プレイヤー」の役割は、デザイナーが設計する環境の中で身体運動を行うことである。

表 5.1: DSF と他のタイプのスポーツ・運動との比較。DSF は、協調型とコーチングの要素をかけた合わせた運動環境

種類	関係性	特徴
対戦型かつ 協調型のスポーツ	プレイヤー ⇄ プレイヤー (対戦 / 協調) 	<ul style="list-style-type: none"> 固定されたルール 運動能力が同等であることが望ましい
コーチング	(アドバイス) コーチ ⇄ プレイヤー (応対) 	<ul style="list-style-type: none"> 経験と専門性が必要
DSF	デザイナー ⇄ プレイヤー (協調) 	<ul style="list-style-type: none"> ルールをデザイン可能 経験と専門性不要

5.3.1 DSF の特徴

身体能力の異なる参加者でも運動を楽しむための DSF の主要な 3 つの特徴について述べる。

5.3.1.1 身体状況に合わせて設計する

DSF システムでは、参加者はデザイナーあるいはプレイヤーの役割を担う。「デザイナー」は、プレイヤーの身体状態や動きが目標とする値になるように運動環境をデザインをする。例えば、プレイヤーの心拍数が目標の範囲内に入るような動き方をするように設計したり、プレイヤーが動く距離が目標値に到達するように設計する。重要となるのは、その目標を下回ったり、上回ったりせずに、目標の範囲内に入れることである。これにより、最初に適正な目標値さえ設定されれば、プレイヤーにとって適正な状態、つまり、難易度として、あるいは体力として、低くも高くもない、ちょうどいい状態になる。一方で、「プレイヤー」は、デザイナーが設計した運動環境の中で、身体動作を伴うゲームをプレイする。それぞれの役割は異なるゴールを持つものの、協力しあってゲームをプレイする。互いに、体力や運動の能力を意識しなくても、結果的に適正な運動ができていくことになる。

5.3.1.2 ヒューマンパワーの利用

第 2 の特徴は、どちらの役割も共に人間が行うということである。どちらかの役割をコンピュータが行うのではなく、どちらも人間が行うことで、互いに意識をし合い、ソーシャル性の要素を保つことができる。さらに、人間が行うことで、コンピュータに行えないようなコミュニケーションが生じたり、プレイヤーの状況を察知することもできる。例えば、プレイヤーが疲れている様子であったり、予想外のことが起きたことを感知し、それに合わせて柔軟に対応することも可能である。加えて、デザインのパターンは、それぞれの役割同士の人間関係や状況に応じて変わるため、コンピュータと比べて、人間的な変化を楽しむことも期待される。

5.3.1.3 シンプルで理解しやすいルール

第 3 の特徴は、プレイヤーとデザイナーいずれのルールや操作方法も、シンプルで理解しやすいことである。シンプルでありながらも、プレイヤーからバリエーション豊かな動きを引き出すことで、動きが単調にならず、飽きにくい設計ができることが重要である。また、参加者に知識や経験がなくても、参加できるようにすることは、最初の参加モチベーションとして重要な要素である。この特徴は、特に運動の経験が少なかったり、体力が低い人、運動へのモチベーションが低い人に効果的である。また、難しい言葉や構造が理解できない小さな子どもなどが理解するためにも重要な要素となる。



図 5.1: 「スポコン」のプレイの様子とシステム構成

5.4 DSF を適用した運動支援システム「スポコン」

本節では、DSF の要素を適用して実装したエクサゲーム「スポコン」を紹介する。スポコンは、2人で参加し、それぞれがデザイナーとプレイヤーの役割を担う。前半と後半とでお互いの役割を交代する。

5.4.1 システム構成

図 5.1 に、スポコンのシステム構成を示す。本システムは、短焦点プロジェクタ (RICOH PJ WX 4141)、深度カメラ (Kinect for Windows v2)、タッチパネル式タブレット PC (Surface Pro 3)、Bluetooth Low Energy 内蔵の心拍センサ (Polar H7) とスマートフォン (iPhone 5) で構成される。

5.4.2 デザイナーの役割

デザイナーは、タッチパネル式のタブレット PC を用いて、プレイヤーの動きをデザインする。プレイヤーが動く範囲のことを「運動フィールド」と呼ぶ。図 5.2 にデザイナー用の画面例を示す。左側には、プレイヤーの現在の心拍数がリアルタイムに表示される。右側は、プレイヤーの運動フィールドをデザインするための画面で、ここを「デザインキャンバス」と呼ぶ。デザインキャンバスは、プレイヤーの目の前に投影されるスクリーンと同期するが、プレイヤーには自分自身の心拍数は表示されない。デザイナーは、プレイヤーの心拍数が目標範囲内を維持することを目標に、運動フィールドをデザインする。

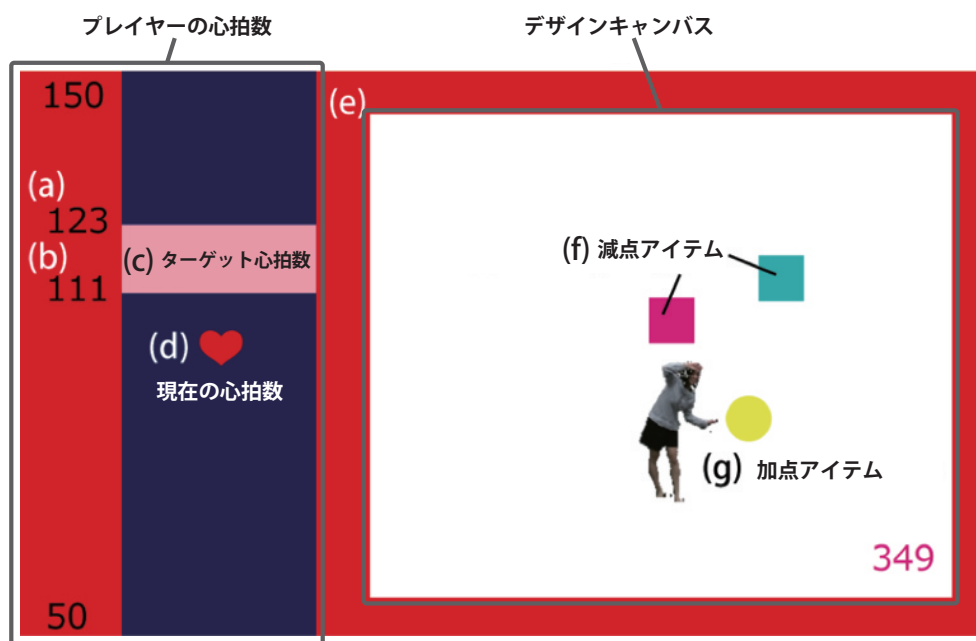


図 5.2: デザイナーの画面例. 左側にはプレイヤーのリアルタイムの心拍数が表示 (d). 右側には運動フィールドのデザインキャンバスが表示. 減点アイテム (f) を動かしたり, 加点アイテム (g) を生成しながら, プレイヤーの心拍数をコントロールし, 適正範囲内 (c) に入るようにデザインする. 画面の背景色 (e) は, 適正範囲内だと緑色, 範囲外だと赤色に変化する.

図 5.2(a) が目標心拍数の上限, 図 5.2(b) が目標心拍数の下限, 図 5.2(c) のピンク色エリアがデザイナーが目指すべきプレイヤーの目標心拍数の範囲である. 図 5.2(d) のハートマークのある位置はプレイヤーの現在の心拍数をリアルタイムに示す. 画面の背景 (図 5.2(e)) は, 心拍数がピンク色の範囲内に収まっているときには緑色, 範囲外の場合は赤色に変化する. 背景の色を目立たせることで, デザイナーは画面左部分をじっくり見なくても, 直感的に範囲内に入っているかどうか分かり, デザインキャンバスに集中することを狙っている. 目標とする心拍数の範囲は, 運動強度を算出するための, 以下のカルボネン法 (Karvonen Formula) の方程式を用いた.

$$\text{目標心拍数} = \text{運動強度} \times (\text{最大心拍数} - \text{安静時心拍数}) + \text{安静時心拍数}$$

最大心拍数は, Tanaka らによる下記の式を利用した [83].

$$\text{最大心拍数} = 208 - 0.7 \times \text{年齢}$$

目標心拍数の範囲は, 運動強度の上限と下限を設定して決定する. この値は, スポコン開始時に設定する事ができる.

運動強度は, どの程度の運動を実施したいかによって設定を変えることを想定している. 運動者が運動の程度を自覚する「自覚度」と運動強度の関係を表す自覚運動強度 [27] を表 5.2 に示す.

表 5.2: 自覚運動強度の目安. 日本健康運動研究所より抜粋 [27]

標示	自覚度	強度 (%)	心拍数 (拍/分)
20	もうだめ	100.0	200
19	非常にきつい	92.9	
18		85.8	180
17	かなりきつい	78.6	
16		71.5	160
15	きつい	64.3	
14		57.2	140
13	ややきつい	50	
12		42.9	120
11	楽に感じる	35.7	
10		28.6	100
9	かなり楽に感じる	21.4	
8		14.3	80
7	非常に楽に感じる	7.1	
6	(安静)	0.0	60

心拍数をコントロールするために、デザイナーは2種類のアイテムをデザインキャンパス上でコントロールする。1つは、プレイヤーが触れると減点される四角い形をした「減点アイテム」(図 5.2(f)) で、アイテム上をスワイプするとスワイプ方向に動き、タップすると動きが止まる。もう1種類は、プレイヤーが触れると加点される丸い形をした「加点アイテム」(図 5.2(g)) で、デザインキャンパス内の任意の場所をタップするとタップした場所にアイテムが出現する。加点アイテムは、プレイヤーが一度触れて加点されると消える。減点アイテムは2つ予め配置されていて、ゲームが開始するとコントロールできるようになる。

5.4.3 プレイヤーの役割

プレイヤーは、ベルト型の心拍センサを胸囲に取り付け、正面のプロジェクションされたスクリーンを見ながら、より多くの点数取れるように、運動フィールド内を動き回る。スクリーン内には、デザイナーがコントロールした減点アイテムと加点アイテムに加え、プレイヤー自身の背景が除去された状態で表示される。背景を除去することで、プレイヤーはアイテムと自分自身の動きに集中できるようにすることを狙っている。また、心拍数はプレイヤーには見えないようになっている。これにより、プレイヤーが自分自身で心拍数をコントロールするのではなく、デザ



図 5.3: 観察されたプレイヤーの動き。(a) 上方方向にジャンプして加点アイテムを獲得するシーン, (b) 横方向にジャンプして減点アイテムを避けるシーン, (c) 床に這って減点アイテムを避けるシーン, (d) 床に這いながら手を伸ばして減点アイテムを避けながら加点アイテムを獲得するシーン, (e) 後方に下がって体のサイズを小さくすることで減点アイテムから避けるシーン, (f) 前方に寄って加点アイテムを獲得するシーン.

イナーによってされるようになり、プレイヤーが運動そのものに集中することを狙っている。減点アイテムがプレイヤーに触れると爆発音のような効果音が鳴り、減点される。加点アイテムに触れるとチャイムのような効果音が鳴り、加点される。減点アイテムから逃げたり、加点アイテムを獲得するために、プレイヤーは図 5.3 に示すように、前後左右に動いたり、ジャンプしたり、アイテムの下をくぐったりする。前後に動くことで、スクリーン内のプレイヤーのサイズを変えることができ、プレイヤーが前方に動く（つまり、深度カメラに近づく）とプレイヤーのサイズが大きくなるため、加点アイテムが取りやすくなる一方で、減点アイテムにぶつかりやすくなる。逆に、プレイヤーが後方に下がる（つまり、深度カメラから遠ざかる）と、プレイヤーのサイズが小さくなるため、減点アイテムから逃げやすくなる一方で、加点アイテムが取りにくくなる。

5.5 評価実験

システムが意図した通りに作用するかを検証するために、スポコンシステムを用いて 2 種類の実験を行った。実験の目的は下記の通りである：

1. プレイヤーとデザイナーそれぞれの難易度は適正であったか
2. デザイナーとプレイヤーいずれの役割も楽しめるか
3. デザイナーがプレイヤーの心拍数を制御できるか
4. デザイナーがプレイヤーの動きを制御できるか
5. プレイヤーの動きと参加者間にどのようなコミュニケーションが起こるか

5.5.1 実験 1：心拍数の制御実験

最初の実験は、心拍数の制御が可能かどうかを検証するための実験である。心拍数の制御が可能になるということは、運動強度の制御も可能になることを意味する。プレイ方法は、前節と同様で、デザイナーは、プレイヤーの心拍数を目標範囲内に入れることを目指して運動フィールドをデザインする。今回の実験では、目標とする運動強度の範囲は、下限を 30%、上限を 40% に設定した。この強度は、「自覚運動強度」でいうと、「楽に感じる」～「ややきつい」の間の範囲である。また、範囲を狭く設定することで、デザイナーが狭い範囲の中でも心拍のコントロールが可能かどうかを評価することが狙いである。運動強度を算出するために、実験開始前にプレイヤーの平常時の心拍数を計測した。

5.5.2 実験 2：動きの制御実験

2 つ目の実験は、動きの制御ができるかどうかを検証するための実験である。動きの制御ができれば、トレーニングへの応用も可能になると考える。プレイ方法は実験 1 と同じだが、ここでは、

デザイナーは心拍数を範囲内に収めることを目的とするのではなく、システムに表示される指示通りの動きをプレイヤーがするようにデザインすることが目的となる。指示には2種類の動きを設定し、一つは左右にプレイヤーを動かすことで、もう一つは前後にプレイヤーを動かすことである。デザイナーの画面には「左右に動かしてください」あるいは「前後に動かしてください」のいずれかがランダムに表示され、時間制限（後述）の真ん中である90秒で切り替わるようにした。

5.5.3 被験者

実験には5組、合計10名の参加者が参加した。いずれも、スポーツや、コーチングの専門家ではない。そのうち2組は親子のペアで、それぞれ、9歳の女子とその父親、8歳の男子とその父親であった。残りの3組は知人同士で、全員20代であった。すべての参加者は、実験のときに初めてスポコンをプレイした。

5.5.4 実験手法

図5.4に実験室の様子を示す。プレイヤーが動き回れる環境フィールドのサイズは $4.5 \times 5 \text{ m}^2$ に設定した。デザイナーはプレイヤーの横に座って操作を行った。実験者は2箇所立ち、1名はデザイナーの後ろ側の、画面と操作している手元が見える場所、もう1名はプレイヤーの動きが見渡せる場所にて、実験の様子を観察した。1回のプレイ時間は3分に設定し、各実験ごとに、デザイナーとプレイヤーが役割を交換した。つまり、各ペアごとに4回の実験を行った。加点アイテムに触れたときには1個につき10点加点、減点アイテムに触れたときは1回につき30点減点され、心拍数が目標範囲内に入っているときに加点アイテムに触れると2倍の20点が加点されるという設定にした。減点アイテムの減点数を加点アイテムよりも多くしている理由は、評価前の簡易実験を、いずれも10点の加点、10点の減点に設定して実施したところ、被験者が途中から減点アイテムを避けなくなり、理由を聞いたところ、「減点される以上に、加点アイテムを取得すればいいと思った」、との回答が得られた。プレイヤーがこのような振る舞ってしまうと、デザイナーが意図した通りにプレイヤーを動かすにくくなるため、減点アイテムでの減点数を高く設定した。参加者にはチュートリアルとして、実験者が実験開始直前に、それぞれの役割をデモンストレーションして見せた。各実験終了ごとに、役割ごとに異なるアンケートへの回答を依頼し、すべての実験終了後にインタビューを実施した。

実験中は、フレームごとに下記の情報を記録し、実験の分析に利用した：

- 減点アイテムの座標
- 減点アイテムの接触判定時のプレイヤーの座標
- 加点アイテムの追加時の座標
- 加点アイテムの接触判定時のプレイヤーの座標

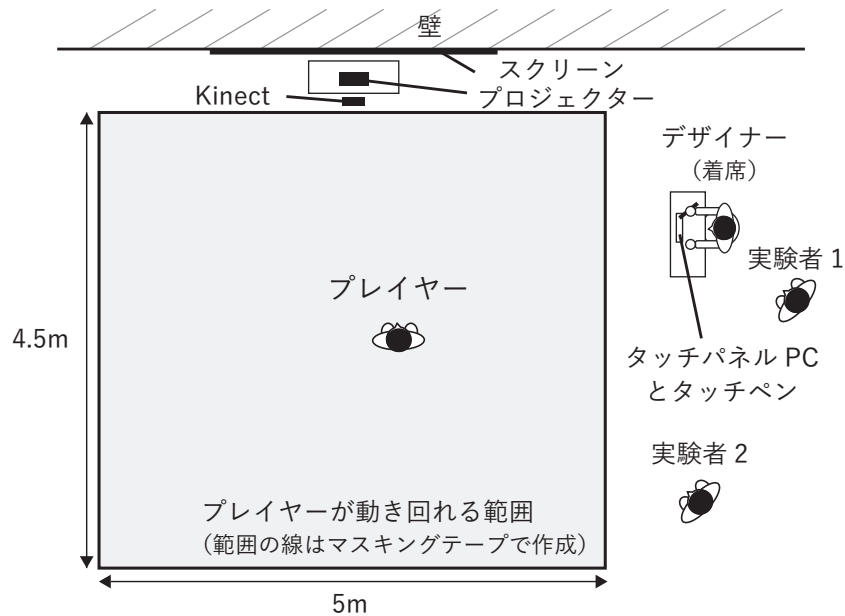


図 5.4: 実験室の配置

- プレイヤーの心拍数
- プレイヤーの頭部, 脚, 腕の 3 次元座標

5.5.5 実験結果

5.5.5.1 アンケート結果

アンケートは、7段階評価で実施し、7が「非常に同意できる」、1が「まったく同意できない」とした。まずは、各役割において参加者が楽しめたかどうかの結果について報告する。図 5.5 は、各役割ごとで楽しめたかどうかの結果である。どちらの実験においてもいずれの役割も平均は約 6 で、概ね楽しめたという結果であった。実験 1 では、被験者のうち 2 名はデザイナーのスコアをプレイヤーよりも高く評価し、3 名はプレイヤーのスコアをデザイナーよりも高く評価し、残りの 5 名はどちらの役割も同じスコアであった。実験 2 では、1 名のみデザイナーのほうが 1 段階高く評価し、残りの 9 名はいずれの役割も同じスコアであった。

「デザイナーのほうがプレイヤーよりも楽しい」と回答した被験者は、インタビューで「プレイヤーをコントロールしている感じがして楽しかった。プレイヤーが、自分の意図してない動きをするのが面白かった。」と回答した。この「意図していない動き」というのは、具体的には、「(デザイナーが) アイテムを上の方に置いてジャンプさせようとしたのに、プレイヤーが前方に動いてきて、画面上の体を大きくしてアイテムを取った」という内容であった。

次に、デザイナーとプレイヤーそれぞれの役割に質問した異なる質問の結果を報告する。

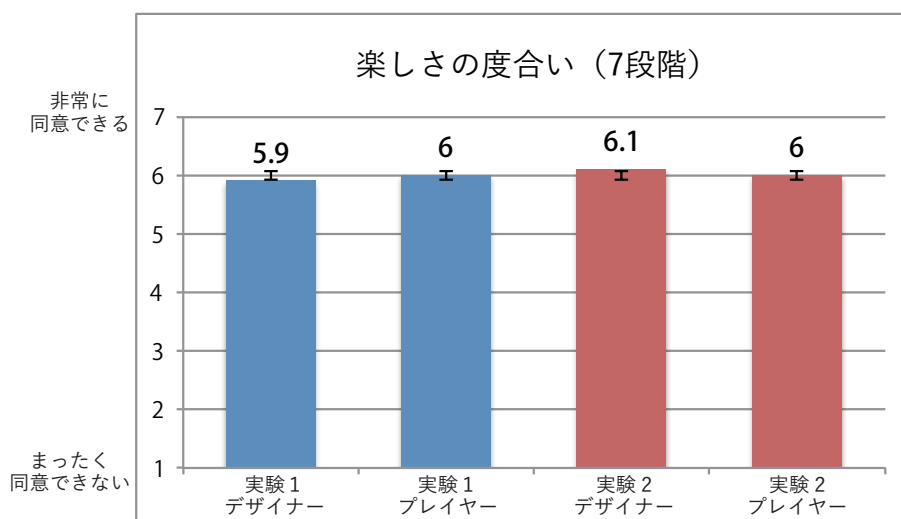


図 5.5: 質問項目「楽しめた」に対する7段階評価の結果

5.5.5.2 デザイナーの結果

まず、デザイナーの結果について報告する(図 5.6)。実験1において、デザイナーは、「操作が簡単だと思った」という項目に対して結果は平均で4.8点であった。内訳は、8名が5以上の「同意できる」で、2名が3以下の「同意できない」であった。実験2では、平均が4.5点で、6名が5以上の「同意できる」であった。内訳は、3名が3以下の「同意できない」、1名が4の「どちらでもない」であった。いずれも、平均としては難しくもなく、簡単でもないという結果となった。後ろから観察していた様子では、操作がわからない様子のおらず、すべての参加者が加減アイテムの追加と、減減アイテムを動かす操作をおこなっていた。参加者のうち最も年齢の低かった8歳の被験者は、いずれの実験も「非常に操作が難しい」を意味する1点と評価した。

次に、「思い通りにプレイヤーが動かせたと思った」という項目に対して実験1の結果は平均で3.8点であった。内訳は、5名が5以上の「同意できる」、4名が3以下の「同意できない」、1名が4の「どちらでもない」であった。実験2では平均が4.5点で、内訳は、6名が5以上の「同意できる」で、3名が3以下の「同意できない」、1名が4の「どちらでもない」であった。こちらも平均としては難しくも簡単でもない、という結果となった。10名中、4名は実験1、実験2いずれも同じ評価、2名は実験1の方を高く評価、4名は実験2の方を高く評価し、実験2のほうがより思い通りに動かせたと感じる人が多い結果となった。

5.5.5.3 プレイヤーの結果

プレイヤーの結果について報告する(図 5.7)。実験1の「疲れたと感じた」に対する結果は、平均で4.1点であった。内訳は、5名が5以上の「同意できる」で、4名が3以下の「同意できな

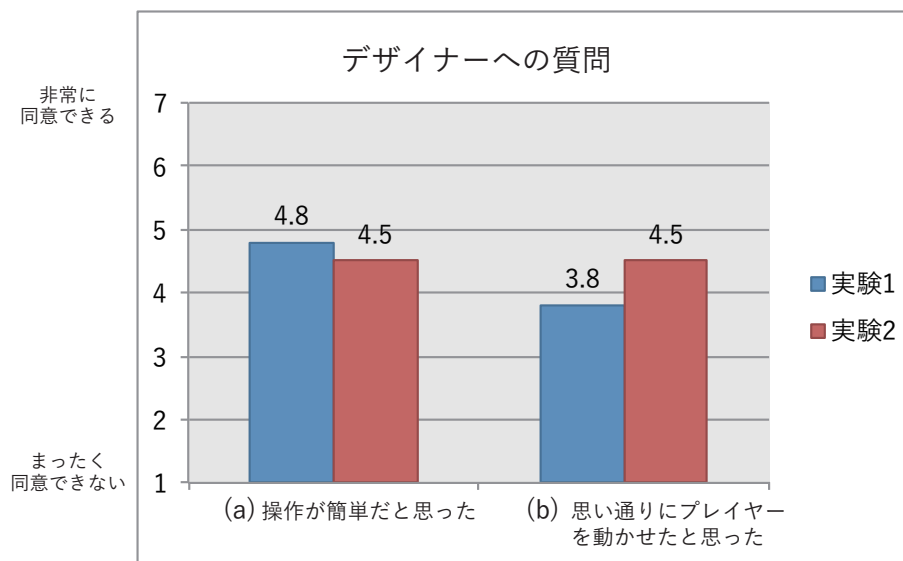


図 5.6: デザイナーへの質問項目に対する 7 段階評価の結果

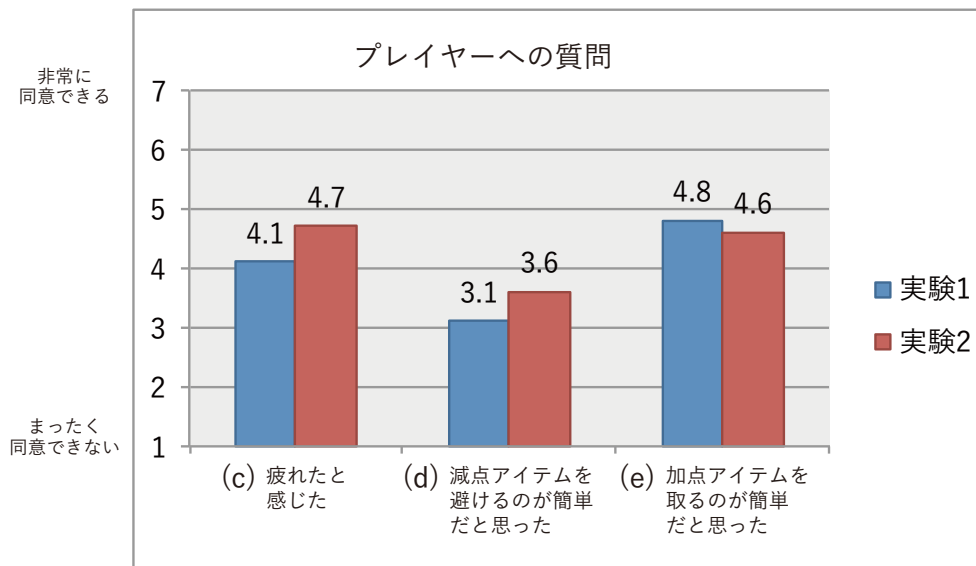


図 5.7: プレイヤーへの質問項目に対する 7 段階評価の結果

い」、1名が4の「どちらでもない」であった。実験2は、平均が4.7点で、内訳は6名が5以上の「同意できる」で、3名が3以下の「同意できない」、1名が4の「どちらでもない」であった。そのうち1名は、実験1で「全く疲れなかった」を意味する1と評価し、別の2名は実験2で「非常に疲れた」を意味する7と評価した。

次に、「減点アイテムを避けるのが簡単だと思った」に対する実験1の結果は、平均3.1点で、内訳は1名が5以上の「同意できる」で、7名が3以下の「同意できない」、2名が4の「どちらでもない」であった。実験2の結果は、平均で3.6点で、3名が5以上の「同意できる」で、6名が3以下の「同意できない」、1名が4の「どちらでもない」であった。自由回答欄の中には、「減点アイテムを止めるのが難しかった」という意見があった。画面内の減点アイテムのサイズが小さくて、動いているアイテムの上をタップするのが難しく感じられる被験者もいたことが示唆される。次に、「加点アイテムを取るのが簡単だと思った」に対する実験1の結果は、平均4.8点で、内訳は7名が5以上の「同意できる」で、2名が3以下の「同意できない」、1名が4の「どちらでもない」であった。実験2の結果は、平均で4.6点で、5名が5以上の「同意できる」で、2名が3以下の「同意できない」、3名が4の「どちらでもない」であった。

以上の結果より、疲労度合いについてはバラつきはあるものの、どちらでもないという回答に近い、という結果であった。また、各アイテムの難易度については、減点アイテムは避けるのがやや難しく感じ、加点アイテムを取るのはやや簡単だという評価結果となった。

5.5.5.4 実験1の心拍数の結果

図5.8は、プレイヤーの心拍数の推移を示す。線が途切れている部分は、心拍数の数値が異常値を記録したり、数字の変化が全くない、つまり正常に記録されなかったため、実験結果から取り除いたところである。ピンク色の範囲は、本実験に置ける目標心拍数の範囲を示す。目標心拍数に入った割合は34%という結果であった。各プレイヤーの心拍数を平均したところ、7割のプレイヤー、つまり7名は、その平均値が範囲内に入っていた。このプレイヤー7名の中には、8歳の男子と9歳の女子がデザイナーの役割を担ったときが含まれる。範囲内に入る率は低かったものの、曲線の動きを見ると、心拍数に近づけようとしている様子が見受けられ、特にプレイヤー7は心拍が上昇しすぎた場合は下がり、下降しすぎた場合は上がる、という結果を繰り返している。この結果から、心拍数の制御は正確に行うことは難しいものの、子どもを含めたデザイナーが、ゆるくコントロールをすることができたと言える。また、今回は、目標心拍数を狭く設定したが、この範囲を広げることで、より範囲内に収まる確率が上がることが予想される。

5.5.5.5 実験2の動きの結果

図5.9は左右に動かす指示があったとき、図5.10は前後に動かす指示があったときの、実際のプレイヤーの動いた道のりを示す。赤い点は、1秒毎のプレイヤーの位置の座標を表し、黒い線は次の地点と繋いだ線を表す。また、各プレイヤーの道のりの経路図の右下には、動いた総距離と、

目標心拍範囲

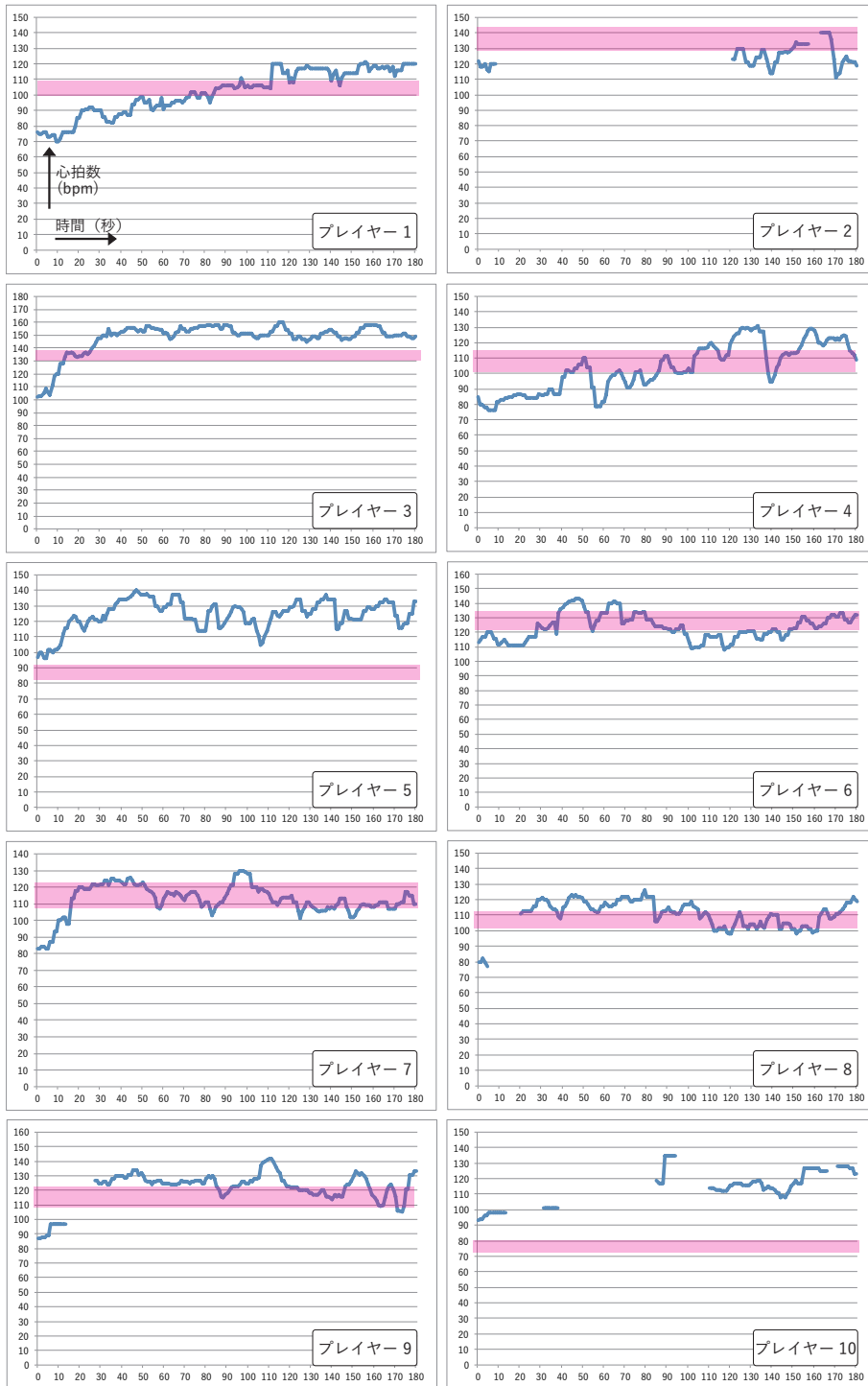


図 5.8: 実験 1 : 心拍数の結果

左右の動き

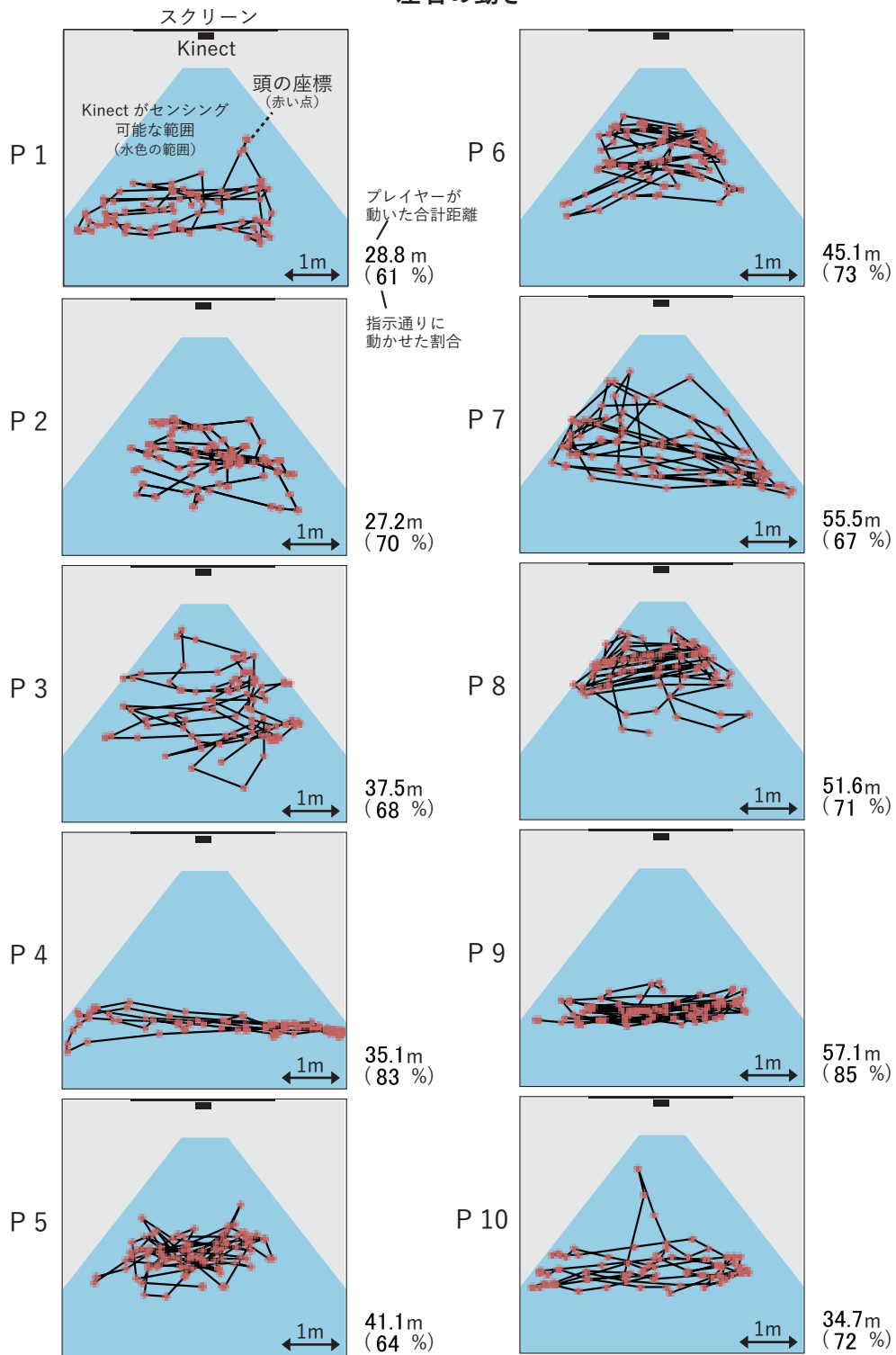


図 5.9: 実験 2 : 動きの実験 (左右の動き) の結果

前後の動き

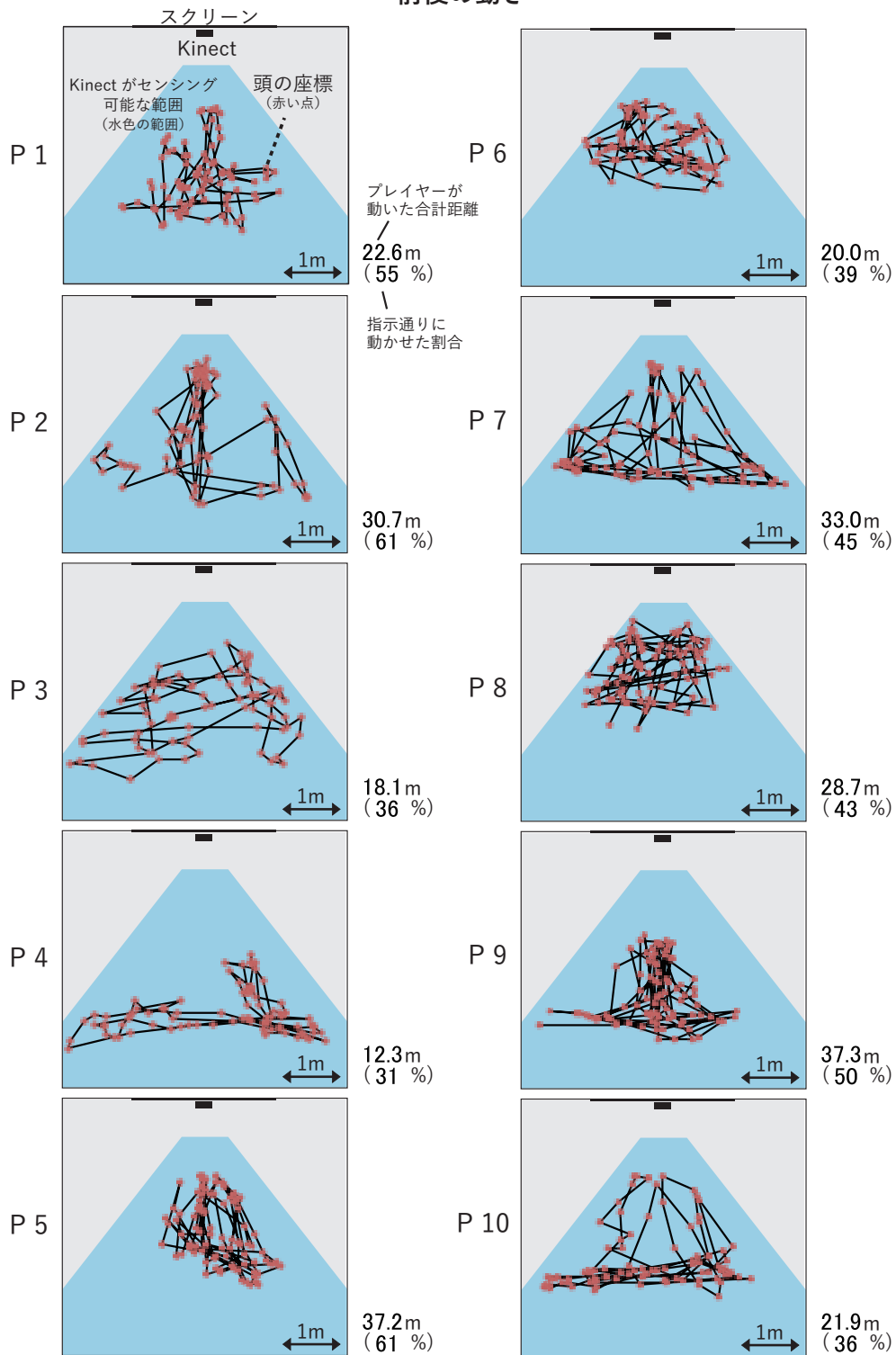


図 5.10: 実験 2 : 動きの実験 (前後の動き) の結果

カッコ内には指示通りに動かさせた割合を示す。左右に動かす指示では、デザイナーは平均 71%の割合で左右に動かすことに成功している。一方で、前後に動かす指示では、平均で 46%と、半分を切る割合となった。最も前後の動きの成功率が高かったのはプレイヤー 2 と 5 でいずれも 61%であった。この 2 名のプレイヤーを操作したデザイナーの、「思い通りにデザイナーを動かせたと思った」というアンケート項目への回答は、いずれも 5 の「やや同意できる」であった。この質問項目に 6 以上の評価をしたデザイナーに対するプレイヤーは 4 と 10 で、プレイヤー 4 は、左右の動きは 83%、前後の動きは 31%、プレイヤー 10 は、左右の動きは 72%、前後の動きは 36%と、割合は多くない。しかし、経路の図を見ると、プレイヤー 4 も 10 も、左右の動きはほぼ左右に動いているように見え、前後の動きも、左右に比べれば前後に動かしているように目視では感じられたことが考えられる。前後の動きは左右に比べると作り出すのが難しかったのもの、ある程度のコントロールはできたことが確認された。アンケートでは「前後の動かし方が難しい」と回答する人が 4 名いた。中には「減点アイテムを活用して意図通りに動かした」と回答し、減点アイテムの動きを活用したデザイナーもいた。また、「前に引き寄せると自然と後ろに下がる」ということを発見した被験者もあり、これは、プレイヤーが画面全体を見渡せるように後ろに下がる性質を発見した例である。また、「何回かシミュレーションすればもっとうまくできる気がする」と回答した人もいた。このように、今回設定した左右の動きをコントロールするためには、ある程度の熟練やコツが必要となることが分かった。また、デザイナーの画面は二次元で表現されているため、前後という奥行き動作を設計することは容易でなかったことが想像される。

5.5.5.6 実験結果のまとめ

実験の結果から、概ね大人も子どもも本システムを楽しめたことが分かった。また、心拍数の制御は、詳細に行うことは難しいものの、ある程度可能であることが分かった。疲労度合いは、概ね平均であったため、適度な運動強度と感じられたことが示された。また、動きのデザインについては、左右の動きはある程度は作れたものの、前後の動きの設計は難しいと感じる被験者が多く、実際に前後の動きは半分以下しか作れなかった。以上より、動きのデザインについては、システムの設計を再検討する必要があると考えられる。

5.6 公共空間でのデモンストレーション

スポコンを用いて、一般客が訪れる公共空間にてデモンストレーションを実施した。公共空間で実施することで、より多くの初見の人に参加してもらい、ルール分かりやすさの検証や、コミュニケーションの観察を行うこと、また公共空間で運用できるかどうかを検証することが狙いである。デモンストレーションは、東京の科学館（日本科学未来館）にて午後の 1 時から 6 時までの合計約 5 時間実施した。今回のデモンストレーションでは、目標心拍数の範囲を 30%~40%から、30%~50%に広げた。また、実験では、肌に触れる形で胸部にベルト型で装着する心拍セン



図 5.11: 公共空間でのデモンストレーションの様子

サを使っていたため、実験前に別室で装着する必要があったが、公共空間での体験には適さない。そのため、今回は、腕時計型の心拍センサ（Mio global 社、MIO alpha）を使用した。また、設置場所は外の光が入るような明るい場所であったため、プレイヤーが見る画面はプロジェクターではなく、80 インチのディスプレイ（Sharp 社、BIG PAD）を使用した。より多くの人が体験できるように、役割の交換は行わなかった。来場者に対しては呼び込みは行わなかったが、自然と列ができた（図 5.11-1）。参加者には、並んでいる間にプレイヤー名、年齢、性別、希望する役割を記入してもらった。プレイヤー名は、最後に点数を出すときの表示に使用し、年齢は運動強度の算出に使用した。

5.6.1 参加者

参加した来場者は、92 人、46 組であった。参加者の年齢の幅は 3 歳から 51 歳までの幅で、平均は 24 歳であった。参加者同士の年齢差からの推測では、38 組は親子、残りの 6 組は家族か知人と見られる年齢の近い人同士であった。プレイヤーを希望した人の平均年齢は約 11 歳で、デザイ

ナーの平均年齢は約 37 歳であった。親子の関係のうち、1 組を除いた他の組は、すべて子供の方がプレイヤーの役割を担った。

5.6.2 観察結果

デモンストレーションの最中に見られたコミュニケーションや、目立った観察シーンを報告する。デモンストレーションの間は、常に参加待ちの列があった。通りがかりに子供から親に参加したいと伝えて参加する来場者が複数人、観察された（例「ママ、これ遊びたい」）。プレイ中のデザイナーの最も多かった発言は、デザイナーがプレイヤーを励ます声であった。例えば、「取りにくい場所に加点アイテムを配置した時）取れるよ！」や、「頑張れ！」といった発言が多かった。次に多かったのは、「左、左！」や、「ジャンプ！」といったような動きのアドバイスを伝えるものであった。プレイ中のプレイヤーの最も多かった発言は、減点アイテムに当たったときに「ああ」と残念そうな声を上げたり、加点アイテムが取れたときに「やったー！」と嬉しそうな声を上げている参加者が目立った。また、減点アイテムに当たったときに「痛い！」と発言する参加者もいて、プレイに没入している様子が見受けられた。また、プレイヤーがデザイナーに対して「ひどい！もっと優しくしてよー」と笑いながら伝えているシーンや、「優しさを感じた」と伝えているシーンも観察された。このように、プレイヤーが、プレイ中は主に画面を見ているものの、デザイナーの存在を常に感じていたことが示唆される。

次に、いくつか観察されたシーンを報告する。6 歳の子供がプレイヤーとして参加し、その母親と見られる女性がデザイナーを担ったとき、子供が遊び方がわからない様子を感じたと思われる母親が、実験者にデザイナーの役割をお願いし、プレイヤーである子供の体を持ち上げてプレイ方法を教示しているシーンが見られた（図 5.11-2）。他の参加者には、プレイしている際にルールが分からなそうな様子の人は見られなかった。また、1 人の子供がプレイヤーを実施し、デザイナーを両親とみられる男女が、どのようにより高い得点を獲得するか相談をしながらプレイする様子も観察された。

1 名の参加者は、電動車いすに乗った状態でプレイヤーとして参加した（図 5.11-3）。彼女は、全体の平均より高いスコアを獲得することに成功した。参加後にインタビューをしたところ、「すごく直感的なゲームだと思いました。電動車椅子だと自分の思うスピードでターンやバックが出来なかつたりするので少々イライラする場面もありましたが、デザイナーが段々私の動きのパターンがわかってきたのか、二人のプレイヤーの間で無言のコミュニケーションとシンクロがとれたように感じました。」というコメントが得られた。このコメントから、プレイ中に会話はなかったものの、互いにコミュニケーションが取れたと感じられたことが分かった。また、予想外の状況でも、人間がデザイナーであったからこそ、柔軟に対応できたことが考えられる。

表 5.3: スコポンの構成手法の該当項目と改善例

役割	構成手法		該当	改善案	
プレイヤー	(1)	目標設定	×	目指すべき点数を表示	
	(2)	ユーザに合わせた調節	① 能力	△	減点アイテムの速度とサイズの調節
			② 身体状態	○	—
	(3)	フィードバックの提供	① 目標達成時	△	同世代のランキング表示
			② 段階的	△	目標までの残りの点数を表示
			③ 失敗時	×	アドバイスを表示
	(4)	疑似体験の提供 (a,b両方/いずれか)	(a) 他者体験	△	参加者不在時には映像を流す
			(b) バーチャル体験	×	練習モードを用意する
デザイナー	(1)	目標設定	○	—	
	(2)	ユーザに合わせた調節	① 能力	×	心拍数の範囲を広げる
			② 身体状態	—	—
	(3)	フィードバックの提供	① 目標達成時	×	心拍範囲内に入っていた割合を表示
			② 段階的	○	—
			③ 失敗時	×	アドバイスを表示
	(4)	疑似体験の提供 (a,b両方/いずれか)	(a) 他者体験	×	・周囲から見やすいプレイ画面 ・映像の表示
			(b) バーチャル体験	×	練習モードを用意する

○：該当、×：非該当、△：該当するが改善の余地あり、—：項目自体に該当しない

5.7 構成手法との比較

本節では、スコポンと構成手法とを比較し、該当する項目と改善案について述べる（表 5.3）。本システムでは、2種類の役割があるため、それぞれについて述べる。

(1) 達成目標の設定

本システムでは、プレイヤーとデザイナーが協力しあって高い点数の獲得を目指す。それぞれ異なる行動をするため、分けて考える。まずプレイヤーの目標は、加点アイテムの獲得と、減点アイテムからの回避により、高得点を獲得することである。しかし、達成すべき点数が設定されていないため、目標設定が不明確である。改善案としては、目標とする点数を表示することが考えられる。これにより、達成目標が明確になると同時に、目標の認識もできる。

一方で、デザイナーの目標は、プレイヤーの心拍数を適正範囲内に入れることである。達成すべき範囲は画面に明示されるため、明確な達成目標の設定がされており、その認識も可能である。

と考える。

以上のように、プレイヤーについては目標そのものの設定を改善する必要があることが分かった。デザイナーは目標設定およびユーザの認識どちらの点においても該当すると言える。

(2) ユーザに合わせた調節

プレイヤーが目標達成のために必要となる能力は、加点アイテムを獲得し、減点アイテムを避ける能力である。現状では、減点アイテムから避けられないと減点され続けてしまう。改善案としては、点数に応じて減点アイテムの速度やサイズを調節することが考えられる。身体状態については、プレイヤーのリアルタイムの心拍数を用いて運動強度に合う運動が提示されるため、身体状態に合わせた調節はできていると言える。ただし、実験の結果では心拍数が目標に合わせてられた割合が平均で7割程度であったため、この割合が高まるようにシステムの改善が必要となる。

デザイナーが目標達成するために必要となる能力は、心拍数に合わせてデザインする能力である。現状では、心拍数の範囲に入れるためにはデザイナーが試行錯誤を重ねるしかかいたため、範囲内に入れられずに終わる可能性もある。改善案として考えられるのは、ダーツの的のように、能力に合わせて心拍数の範囲を広げることである。単に心拍数の範囲だけ広げると、目標のために努力をしなくなってしまう可能性があるため、目標範囲に近いほど高い点数が得られるようにする。これにより、目標に近づけることを目指すという目標を保ちつつも、能力が低い場合でも連続の失敗を避けられると考える。デザイナーは身体に負担がないため、身体状態の調節は項目自体に該当しない。

以上の通り、いずれの役割も能力の調節において改善する余地がある。

(3) フィードバックの提供

プレイヤーの目標達成時のフィードバックは、制限時間が終わると、チームで獲得した点数が画面に表示されるため、視覚フィードバックが提供される。しかし、現状では点数のみを表示するため、獲得した点数が良いのかどうか分からない。改善案としては、(1)で述べたように達成すべき点数に達成したかどうかをフィードバックする事が考えられる。さらに、最終的なスコアが同世代の中でどの程度の位置にあるかランキングで表示する、というフィードバックも考えられる。段階的フィードバックについては、スコアが都度表示されるため該当する。これに加えて、プログレスバーや、残りの獲得すべき点数を表示するなど、目標までの達成度合いを表示するという改善案が考えられる。失敗時のフィードバックについては、失敗、つまり減点アイテムに当たったことは効果音と画面上の視覚効果のフィードバックがあるが、アドバイスや励ましはない。改善案としては、図 5.12-A のように減点アイテムに当たる頻度が高い場合は「後ろに下がると避けやすいよ」や、長時間獲得されていない加点アイテムがあると「前に近づくと取りやすいよ」などのアドバイスを表示させることが考えられる。あるいは、図 5.12-B のように、人の影を表示させその影に重なるように動く、という手法も考えられる。

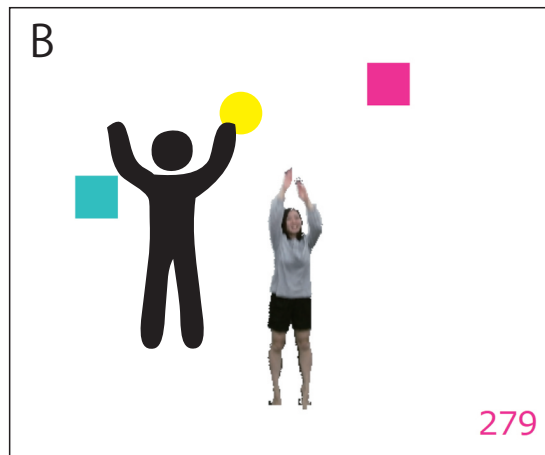
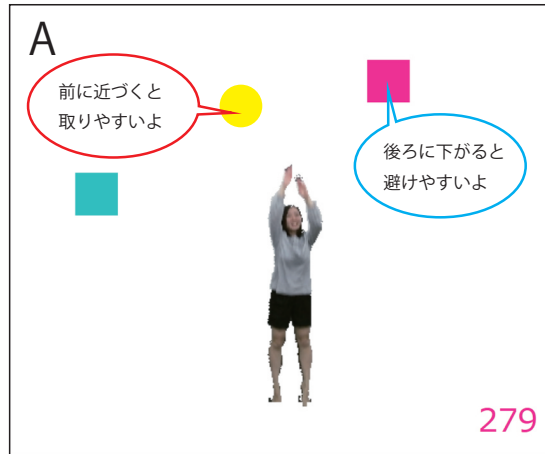


図 5.12: 失敗時のフィードバックの改善例

続いて、デザイナーの目標達成時のフィードバックは提供されていない。改善案としては、ゲーム終了後にどの程度範囲内に入っていたかの割合を表示する事が考えられる。段階的フィードバックについては、範囲内に入っているかどうかを画面の背景色を変えているため該当する。失敗時については、プレイヤーと同様に、心拍数を上げるため、あるいは下げるためのアドバイスの表示が考えられる。例えば、心拍数が低い場合には「加点アイテムもう少し取りにくい場所に置いてみよう」、心拍数が高い場合には「減点アイテムを止めてあげよう」といったアドバイスが考えられる。

以上のように、プレイヤーは、目標設定に合わせたフィードバックの改善が必要なが分かった。デザイナーは、目標達成時と失敗時のアドバイスを追加するべきであることが明らかとなった。

(4) 疑似体験の提供

プレイヤーの他者体験については、プレイヤーの動きと画面が周囲から見やすいため、他者との共有がしやすいと言える。しかし、参加者がいないときには画面は停止状態であるため、プレイ中の映像をスクリーンに流すことで、参加者不在時にも他者体験ができるようになるだろう。

デザイナーについては、画面が小さく、周囲から見えにくいいため他者体験がしにくい。改善案としては、デザイナーの画面をプレイヤー以外に見えやすい大きな画面にすること、あるいはプレイしている動画を流して体験前に見えやすくすることが考えられる。

バーチャル体験についてはいずれの役割も提供されていない。改善案としては、本番前に練習ができるモードを用意して、疑似体験ができるようにすることが考えられる。

以上のように、いずれの役割も、参加者不在時に動画を流すか、あるいは練習モードを提供することで疑似体験の提供を改善する必要があることが分かった。

5.8 まとめ

本章では、身体の状態に合わせて他者がリアルタイムにデザインする運動環境 DSF の概念を提案し、アプリケーションとして「スポコン」を実装した。評価実験では、デザイナーもプレイヤーも概ね楽しめたというポジティブな感情状態の結果がでた。ルールについては、プレイヤーの役割は説明がなくても概ね理解ができたことが確認された。デザイナーについては説明が必要であったが、8歳と9歳の小学生でも正しく操作ができていたことが確認された。公共空間でのプレイ中にはアドバイス、応援、喜びの声などさまざまなコミュニケーションが観察された。また、心拍数の正確なデザインは難しく、心拍数と疲労度には相関性は見られなかった。動きの実験では、左右の動きは概ねデザインができた。前後の動きを2次元というシンプルな構造で作るのは難しく、3次元のほうが作りやすいことが考えられる。

構成手法との比較では、本システムには役割が2種類あるため、それぞれについて設計する必要があることが分かった。プレイヤーについては、目標はあるものの、具体的な達成すべきものが

ないため、明確な目標を提供すべきであることが明らかとなった。デザイナーについては、他者体験の提供がないことが分かった。

第 6 章

ケーススタディ3：ファッションコーディネート支援システム

本章では、毎日の服装選びを支援するためのファッションコーディネート支援システム「suGATALOG」について述べる。

6.1 背景

服装選びは、出かける際に必ず行う活動である。天気、予定、会う人、行く場所などその都度変わる状況に合わせてコーディネートを考える必要がある。さらに、これらのことを考慮した上で選んだ服を着用するが、実際に着てみると頭の中で想定していたイメージと服の広がり方や丈の長さなどが異なり、服を選びなおすことがある。この活動は納得がいくまで、あるいは時間が許す限り繰り返される。また、複数のコーディネートを試しても、結局どの服装がよかったか分からなくなることもある。選ぶ時間があまりないと、過去の記憶から合うと分かっている無難なコーディネートになりがちで、結果として、似たような服装になることが多い。実際に10～60代の男女54人にファッションに関するアンケートを取った結果、83%の人から「いつも同じような服装になりがちである」という回答を得た。また、80%の人が「買ったが着ていない服がある」と回答し、所持する服の活用に困っている。さらに「持っている服で実はもっといい組み合わせがあるのではないかと思う」と回答した人が76%いることから、手持ちの服を活かせていないと感じている人が多いことも分かった。

上記のことを解決するために、ユーザの「姿」でファッションコーディネートのシミュレーションを行うシステム suGATALOG (スガタログ) を提案する。本システムは、ユーザが着替えることなく、パソコン上で自分の姿でのコーディネートを簡単に行える。「姿」とは、実際にユーザが服を着た際の外観と定義する。本章では、本システムの試作と、評価実験および試験運用について報告する。

6.2 姿を利用したファッションコーディネート支援システム「suGATALOG」

suGATALOGとは、日常生活の服の試着時や、外出時のタイミングを利用して撮りためた姿の写真を活用した、ファッションコーディネート支援システムである。なお、本システムは、個人が自宅で服を選ぶ際の利用を対象としている。本章ではsuGATALOGの設計と実装について述べる。

6.2.1 アプローチ

本研究では、着用時と服だけの印象の違いに着目をした。図6.1に、服だけの写真を組み合わせた場合と、その服を実際に着た場合とを比較を示す。AとA'とを比較すると、セーターの形が違い、また顔や手足がないことで自分の顔や髪型と合うか分からない。BとB'を比較するとスカートの広がり方が異なる。CとC'を比較するとチュニックの広がり方が違い、また着丈も実際に着用しないと分からない。そこで、本研究ではA'のような試着した状態の写真を用いて、自身の体へのフィット感や顔や手足のあるリアリティのあるファッションコーディネート支援を行う。これにより、着替えなくても実際に着用したイメージでのファッションコーディネートをねらう。

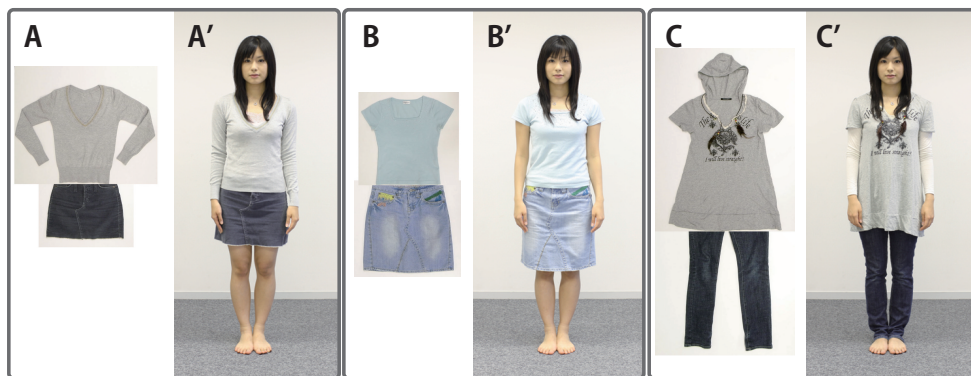


図 6.1: 服だけの写真 (A, B, C) と実際に着た写真 (A', B', C') とを比較した図

6.2.2 システム概要

本システムは、全身鏡に取り付けたウェブカメラと、撮影した写真を用いたウェブ上で動くアプリケーションで構成される。

まずユーザはウェブカメラで服を着用した姿の写真を撮影する。撮影した写真はアプリケーションに取り込まれ、1枚の写真をトップスとボトムスとの境界線で2枚に切り分ける。それらを組み合わせることでトップスとボトムスによるファッションコーディネートのシミュレーションを行うことができる。これにより、ユーザは服を着替えることなく実際に着用しているかのようなシミュレーションが行える。

6.2.3 機能

ここで、suGATALOG のアプリケーション機能について述べる。

6.2.3.1 撮影機能

アプリケーション上のカメラボタンをクリックすると、画面には全身鏡にとりつけたウェブカメラの映像と、立ち位置をガイドする線が表示される。さらに撮影ボタンをクリックすると、5あるいは10秒間のカウントダウンが始まり、ユーザはガイドの線に合わせて鏡の前に立ち、撮影が行われる。写真はデータベース上に蓄積され、アプリケーション上に表示される。本機能により、鏡の前で服装を確認したタイミングで服の記録が行える。

6.2.3.2 カレンダー機能

カメラで撮影された写真は suGATALOG 上のカレンダーに転送される。その日に撮影された日付のマス目に写真を表示する (図 6.2)。本機能では、一ヶ月間の服装を一覧できることでいつ何を着たのかを振り返ることが可能になる。



図 6.2: suGATALOG の表示例

6.2.3.3 試着室機能

図 6.2 の左側の部分を「試着室」と呼ぶ。試着室では、撮りためた写真を利用してコーディネートシミュレーションが行える。カレンダー上の写真で各マスの上部をクリックすると、試着室のトップスにも同じ写真が表示され、カレンダー上で各マスの下部も同様となる。また、トップスの着丈位置は服によって異なるため、試着室の丈調節ボタンで着丈位置を上下に移動させて調節

する。このように、ボトムスの写真の上に、丈を調節したトップスを重ねることで、異なる写真の服を組み合わせてコーディネートシミュレーションが行える。図 6.3 は、カレンダーからトップスとボトムスを選択し、着丈位置を調節する流れを示したものである。本機能により、服を何度も着替えることなく気軽にさまざまなコーディネートを試すことができる。

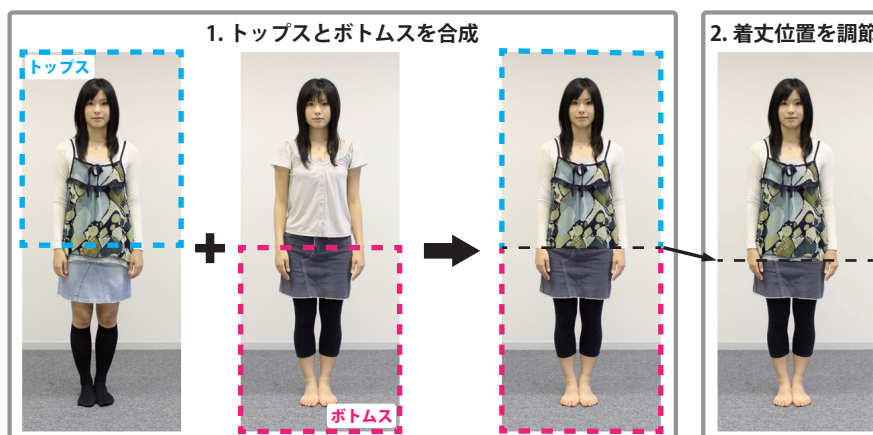


図 6.3: suGATALOG でシミュレーションを行う一連の流れ

6.2.3.4 お気に入り機能

suGATALOG 上の「試着室」の下にある「お気に入り登録ボタン」を押すと、試着室に表示されているシミュレーション画像が図 6.4 のように変化し、「お気に入り」に登録することができる。これをお気に入り機能と呼ぶ。本来、服を着た状態での複数のコーディネートの比較はできないが、本機能により複数のコーディネート写真を並べて比較することができる。

6.2.3.5 自動コーディネート機能

服装を選ぶ際は、通常トップスあるいはボトムスのどちらかを選んでからもう一方の組み合わせを選ぶ。本システムでは、その手法と同様に試着室に表示されているトップスあるいはボトムスをクリックするとその服が固定され、もう一方と組み合わせた最大 10 パターンのコーディネートが表示される。これを自動コーディネート機能と呼ぶ。例えば、試着室に表示されたボトムスをクリックすると、そのボトムスに 10 着のトップスを組み合わせた合成写真が 10 枚表示される。組み合わせる服は、「最近着た服」と「ランダム」から選ぶことができる。最近着た服でコーディネートを行うと、その季節に合った服でのコーディネートができ、ランダムで行うと、最近着ていない服とのコーディネートができる。これまでは、合わなそうだと先入観を持っていたコーディネートをおろそかに試すことは手間となるため避けがちであった。本機能により、今まで試したことのないコーディネートが簡単に試すことが可能となり、予想外なコーディネートを発見す

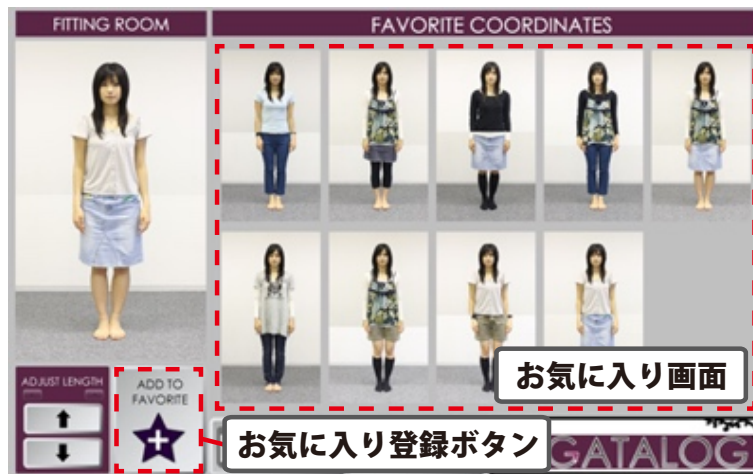


図 6.4: 複数のコーディネートと比較できる

る機会が得られる。なお、ボトムスの写真にトップスの裾が写り込んで不自然に見えることがある。そこで、各写真に記録された丈情報を元に、不自然な組み合わせが提示されないようになっている。

6.2.4 システムの利用例

本システムは、例えば以下のように利用する。

1. 朝起きて、suGATALOG のアプリケーションを起動する
2. 「カレンダー」上の服でいくつかコーディネートで「試着室機能」で試す
3. 履きたいスカートを見出し、「自動コーディネート機能」でそれに合うトップスを探す
4. いくつか気に入ったコーディネートが見つかり、「お気に入り」に登録をする
5. 「お気に入り」の中から一番気に入ったコーディネートを決めて、その服に着替える
6. 鏡の前で服装を確認し、「撮影機能」で今日のコーディネートを確認して出かける

6.3 評価実験

本節では、suGATALOG を使用した場合と使用しなかった場合とを比較した評価実験について述べる。

6.3.1 実験手順

評価実験では、本提案システムが用いている「姿の写真を用いてコーディネートを行う手法」が実際に服を試着することなくコーディネート支援が可能であるかを検証するため、評価実験を実施した。この検証は、被験者が持参するトップス5着、ボトムス5着で組み合わせられる合計25パターンのコーディネートについて、家庭で利用可能と想定される以下の3つのコーディネート手法で比較を行った。

手法1：実物の服を手にとってコーディネート

手法2：服のみの写真を用いてPC上でコーディネート

手法3：姿の写真を用いてPC上でコーディネート(本論文の提案手法)

評価実験で被験者の持参する服を用いた理由は、普段の服装選びに近い状態で評価を行うためである。実験には20歳から30歳の男性6名、女性8名、計14名の毎日服装を選ぶ必要のある大学生が参加した。また、その内8名は研究室内、6名は研究室外の学生であった。なお、持参する服は着用時の記憶のない普段あまり着ない服を優先的に選び、実験当日に着ている服は含まないという条件を付けた。また、実験時に着用した姿が確認できないように実験を実施した部屋には全身鏡は設置していない。

6.3.1.1 実験1【3手法のコーディネートの確信度の比較実験】

被験者が着用イメージを得られているか検証するために、3つの手法それぞれの25通りの各組み合わせについて、被験者は以下の項目にアンケート形式で回答した。

1. この組み合わせで外出できる/できない
2. (1)の判断に確信が【持てる】←5・4・3・2・1→【持てない】

外出可能かという設問の狙いは「試着イメージ」という直接的な設問では、本システムの評価において、直接的な表現過ぎると考えたためである。また、試着イメージというものが曖昧であると考えた。そこで、外出可能かという設問にすることで、被験者自身が他人に見られることや、その結果自分に似合うかどうかを意識させ、その確信度によって、試着イメージが得られているかどうかの判定基準とした。外出できる/できないに関わらず、確信度が高いほど試着イメージが湧くと言える。以下にそれぞれの手法の実験手順を述べる。なお実施する順番は被験者によってランダムに変えた。

手法1：実物の服を手にとってコーディネート

1. 被験者が持参した5着のトップスを1～5のラベル、5着のボトムスをA～Eのラベルがついたハンガーに無作為にかけ、すべてをハンガーラックにかける。
2. 被験者はハンガーラックから服を手にとって眺めたり、服を合わせながら(図6.5)、25パターンすべての組み合わせについて順番に確信度を回答する。



図 6.5: 各手法の実験の様子



図 6.6: 手法 2 の操作画面

手法 2：服のみの写真を用いて PC 上でコーディネート

1. 実験者が、被験者が持参した 10 着の服の写真を 1 枚ずつ、合計 10 枚撮影する。
2. 実験者が写真をパソコンに取り込み、予め用意した操作画面 (図 6.6) にセットアップし、以下のように画面の操作方法を被験者に説明した。
 - 画面の右側にあるトップスの写真をクリックすると左側の上側の写真が切り替わり、右側にあるボトムスの写真をクリックすると左側の下側の写真が切り替わる。
 - 十字キーでトップスの画像を自由に動かすことが可能である。
 - 画面の左側にできたコーディネートを見て確信度を判断する。
3. 被験者は手法 1 と同じ順番で 25 パターンすべての組み合わせについて確信度を回答する。

手法 3：姿の写真を用いて PC 上でコーディネート (本論文提案手法)

1. 実験者が、被験者が 1A(トップス 1, ボトムス A), 2B, 3C, 4D, 5E の組み合わせを着た状態 (姿) の写真を撮影する。

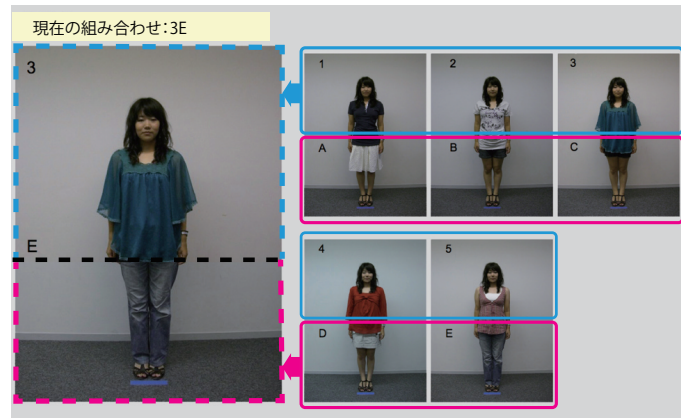


図 6.7: 手法 3 の操作画面

2. 手法 2 と同様に、実験者が写真をパソコンに取り込み、予め用意した操作画面 (図 6.7) にセットアップし、以下のように画面の操作方法を被験者に説明した。

- 画面の右側にある写真の上部 (トップス部) をクリックすると左側の上部の写真が切り替わり、右側にある下部 (ボトムス部) をクリックすると左側の下部の写真が切り替わる。
- 十字キーあるいはマウスクリックでトップスの着丈位置を調節する。
- 画面の左側にできたコーディネートを見て確信度を判断する。

3. 被験者は手法 1, 2 と同じ順番で 25 パターンすべての組み合わせについて確信度を回答する。

なお、手法 2, 3 で用いた操作画面は Adobe Flex Builder 3 で作成し、被験者は Apple 社の MacBook Pro(15 インチ, 解像度 1440 × 900) を利用して操作を行った。

6.3.1.2 実験 2 【3 手法の順位付け】

実験 1 終了後、被験者は 3 つの手法をコーディネートの確信が持ちやすかった順番に順位をつけ、順位付けの理由を述べた。

6.3.2 実験結果

6.3.2.1 実験 1 の結果

表 6.1 に外出できるかどうかの確信度の結果を示す。なお、一度試着している 1A, 2B, 3C, 4D, 5E を各手法の 25 通りの組み合わせから取り除いた。確信度が高いほど、着用した際のイメージが湧きやすいことを表す。すべての組み合わせの確信度の平均値が最も高かった手法は姿の写真を利用した手法 3 で 4.0 であった。また、表 6.1 には被験者ごとの 3 つの手法のうち最も確信度が高い手法のマス目に色付けをしてある。この数が最も多かったのは手法 3 で 11 人であった。

表 6.1: 実験 1 「確信度の比較」の結果

被験者	外出できるかどうかの確信度		
	手法 1	手法 2	手法 3
男性 1	3.5	3.7	4.2
男性 2	3.7	4.2	3.9
男性 3	3.9	3.6	3.9
男性 4	3.3	3.4	3.1
男性 5	2.9	3.4	3.9
男性 6	4.1	3.9	4.4
女性 1	4.2	4.2	4.5
女性 2	4.2	3.8	4.3
女性 3	3.4	3.2	3.8
女性 4	3.9	3.9	4.9
女性 5	4.0	4.1	3.8
女性 6	4.0	3.2	4.2
女性 7	3.9	3.9	3.9
女性 8	2.9	3.0	3.4
平均	3.7	3.7	4.0
男性平均	3.6	3.7	3.9
女性平均	3.8	3.6	4.1

6.3.2.2 実験 2 の結果

3 手法でコーディネートが確信が持ちやすかった順番に順位付けを行った結果を表 6.2 に示す。1 位が最も多かったのが姿の写真を PC 上で用いた手法 3、2 位が最も多かったのが実物の服を用いた手法 1、3 位が最も多かったのが服のみの写真を PC 上で用いた手法 2 であった。

6.3.2.3 各手法の評価の基準

実験終了後に行ったインタビューから得た各手法ごとの評価を (1) 高くした理由 (2) 低くした理由は以下のとおりである。

表 6.2: 実験 2 「確信が持ちやすかった手法の順位」の結果 (人)

	手法 1	手法 2	手法 3
1 位	1	1	12
2 位	11	2	2
3 位	2	11	0

表 6.3: 評価手法と男女差の二元配置の分散分析表

	自由度	変動	不偏分散	F 値	P 値
手法	2	18.37	9.1869	8.9502	0.0001426
男女差	1	4.54	4.5433	4.4262	0.0356892
残差	836	858.11	1.0264		

- 手法 1(実物の服を用いる手法) について
 1. 服の素材や色が分かるため、直接触れて自由度が高いため
 2. 遠くから見られず全体イメージがつかみにくいため
- 手法 2(服のみの写真を用いて PC で操作する手法) について
 1. 客観的に服を見られるため
 2. 服の形が平面で着たイメージが湧かないため
- 手法 3(姿の写真を用いて PC で操作する手法) について
 1. 着替えなくても鏡で見ているようにシミュレーションできたため
 2. 裾が写り込んでいる写真はイメージしづらいため

6.3.3 考察

表 6.3 に示すように、R を使って 3 つの手法の間に男女の確信度の差があるかどうか繰り返しのある二元配置の分散分析を行ったところ、有意水準 0.1% で手法間に有意な差が確認できた。また、表 6.3 より有意水準 5% で男女間に有意な差があることと、表 6.1 の男女の確信度の平均が女性のほうが高いことから、女性のほうが確信を持った判断をしていることが確認できた。確信度全体の平均は 3.774 で、標準偏差は 1.0247838 であった。また、3 手法の実施順序による影響を確かめるため、手法と順序の二元配置の分散分析を行った。その結果、順序では P 値が 0.6928586 となり有意水準 5% で有意差はなかったため、順序効果はないと考える。

6.3.3.1 手法 1 について

実物の服を用いた手法 1 は、アンケート結果で 2 番目に外出できるかどうかの判断がしやすいという結果であった。しかし、確信度の平均値でみると、一番確信度が低いという結果であった。この手法は実際に服を手取るため、服の素材感や色合いも分かり、また扱いの自由度が高い。その反面、近すぎて客観的に組み合わせを見ることができないため、確信度が低かったと考えられる。

また、実験にかかった時間の平均が手法 2、3 と比べて 100 秒以上長くかかったことから、2 と 3 の手法と比べて大きな身体動作を伴うため、手間がかかることが分かった。

6.3.3.2 手法2について

服だけの写真を用いてシミュレーションを行った手法2は、アンケート結果で一番判断がしづらいという結果であった。PC上で複数の服を並べてコーディネートができるため、客観的にコーディネートを見ることができる。しかし、実際に着用した際の立体感がなく服だけ見るとすべて合うように見えてしまうという意見を得た。これらのことから、服だけの写真を用いたシミュレーションは、色などによるコーディネートはできるが、着用イメージは湧きにくいと言える。

6.3.3.3 手法3について

姿の写真を用いてシミュレーションを行った手法3は、評価項目(2)の確信度において最も高い結果であった。実際にユーザ自身が着た際の立体感があることが最大の理由であると考えられる。また、この手法も手法2と同様の理由で客観的にコーディネートをみることができる。さらに、手法1では合わないと思った組み合わせが、着用した姿で見ると意外と合う組み合わせを発見することができたという意見を得た。

この手法は一番確信度が高いと判断していたかつ、外出できるかどうかの判断の数が他の手法と変化している人数が最も多い、9人であった。この結果は姿の写真を用いる手法が最も着用イメージが湧きやすく、かつ、新しいコーディネートの発見ができた、あるいは他の手法でコーディネートしていた場合は着替え直さなくてはいけない可能性を示す。

しかし、トップスの裾の長さが長いものは、写真を切り分けた際に裾が残ってしまうことがあり、その場合は被験者の混乱を招いた。残った裾の色と合わせているのか、組み合わせた写真と色を合わせているか分からなくなるためと考えられる。実際に、裾が出ている写真でのコーディネート写真は、裾が出ていない写真とのコーディネート写真と比べて評価が低かった。

6.4 試験運用

本研究は、自宅での継続的な利用を目的としている。そこで、システムを長期的に利用する試験運用を実施した。試験運用には、男性2名、女性2名が参加し、自宅で3週間利用した。利用者の自宅にはUSBカメラを全身鏡あるいは棚に固定し、同じ立ち位置から撮影するよう指示をした。また、アプリケーションは利用者の所有するパソコンのブラウザから利用した。運用期間終了後、利用者にインタビューを行った。以下にそこで得た意見および考察をシステムの機能ごとにまとめて述べる。

まず「撮影機能」では、3人の利用者から撮影が面倒であるという意見が得られた。本システムは、撮影のためにパソコンの起動が必要となるため、朝急いでいるときの撮影は負担が大きいことが分かった。その結果、出かける前ではなく帰宅してから撮影した日もあったという意見を得た。また、撮影しなかった日が2日間ある利用者が1人いた。一方で、面倒という意見が得られなかった利用者は、常に自宅でパソコンを起動していたことが分かった。本システムは、常に起

動するよう単体で動く設計が有効であると考えられる。

次に「カレンダー機能」では、利用前より服装を意識するようになったという意見が得られた。これは、毎日の服装が一覧できるためであると考えられる。そのうち1人の男性利用者からは、服は違っても似たような色合いを着ていることに気付き、意識的に色の変化のある服を着たという意見が得られた。実際にカレンダーを見ると、灰色の服が3日間続いたあとに黄色が混じった服を着用し、その日以降連続で同じ系統の色を着る頻度が減っていた。また、所有する服が少ないことに気付き、服を新たに購入したという男性利用者もいた。

次に「試着室機能」では、システム上でコーディネートした日は家を出てから服を後悔することが減ったという意見が女性利用者から得られた。これは、画面上で客観的に服装が見られたためであると考えられる。また、ワンクリックでさまざまなコーディネートができるため、服を着替えないうちに納得できるまでコーディネートができたと考えられる。一方で、個人でコーディネートを見ているとどれがいいか分からなくなるという意見も得られた。

次に「お気に入り機能」については、特記する意見はなかった。実際、実験終了後のデータから、この機能を3回以上利用していた利用者は1人だけであったことが分かった。お気に入り機能は複数のコーディネートを比較することを目的とした機能であるが、急いでいるときには利用している暇がなかったと考えられる。

次に「自動コーディネート機能」については、特定の着たい服がある際にその服と合う組み合わせが比較できて便利であるという意見を女性利用者から得た。自動コーディネート機能はある特定の服に対して複数の組み合わせが一覧できるため、お気に入り機能に比べて手間が少ない。また、最終的な結果として、1人の女性利用者からあまり着ていなかった服を実際に着たという意見が得られた。実際には、2着のあまり着ていなかった服を着るようになり、そのうち1着は利用期間中2回着用していた。また、1人の男性利用者からは、初めてこのコーディネートを試した、という意見が得られた。本システムが、普段は試すことのなかったコーディネートを試すきっかけになったといえるだろう。

6.5 関連研究

ファッションコーディネートへの関心や需要は高く、すでに先行研究やいくつかの製品での試みがある。ここでは、それらを「服だけの写真を用いたシステム」「CGを用いたシステム」「ユーザの体に服の写真を重ね合わせたシステム」の3つに分類して紹介しながら、比較および考察する。

6.5.1 服だけの写真を用いたシステム

長尾ら [118] は、ユーザが鏡の前に立ったときにユーザのその日の予定や天気に応じて服のレコメンドを行うシステムを提案している。GUら [43] はユーザの行動に合わせた、オンラインショッピングのための服のレコメンドシステムを提案している。Hayashiら [48] は、手持ちの服にオン

ラインショッピング上の服をプロジェクションしてコーディネートするシステム AteGau を提案している。SONY 社はユーザの予定に応じてコーディネートのおすすめを行ったり、コーディネートに応じて占いなどができるゲーム、My Stylist[12] を販売している。Asa1-coordinator[126] や LMC は [52] 服のトップスとボトムスを手軽に撮影できるタグタンス [85] と連携してコーディネートのおすすめを行うシステムである。坂崎らによる研究 [108] では服の画像の色情報を元にユーザに合ったコーディネートを手助けする。近年、ファッションコーディネートのためのスマートフォン用アプリも増えている。IQON[22] や XZ[18] は服の写真を組み合わせてアプリ上でコーディネートを作ることができる。

服だけの写真を用いたシステムは、それぞれの服が個別に分かれているため、服を管理や、服以外の小物との組み合わせが作りやすい。また、オンラインショッピングなどユーザが持っていない服のコーディネートには有効な手段である。しかし、本研究の評価実験で示されたように、この手法を用いてコーディネートを行うと、実際に着用したイメージは得にくく、服だけの写真では、自分に似合っているかどうかの判断が難しい。一方で suGATALOG は、必ず自分自身が着た姿の写真を用いているため、服の組み合わせだけでなく、自分の顔や体型に合うかどうかの判断もできる。これが、評価実験 1 の「コーディネートへの確信度」の向上に繋がったと考える。

6.5.2 CG を用いたシステム

ユーザの動きに合わせて CG の服を合成させる研究 [112, 34, 38] など、3DCG でのコーディネートは、さまざまな方向からファッションコーディネートを検討できるメリットがある。さらに、重ね着や、実在しない服を CG に合わせてシミュレーションすることもできるだろう。しかし、実際に着用することを目的としてコーディネートするためには課題も多い。着用イメージでコーディネートするためには、まず、CG は自分自身とまったく同じ体型でなくてはならない。さらに、髪型や化粧なども本人同様でないと、リアリティに欠ける。このようなシミュレーションをするためには、現時点では全身スキャンが可能である立体スキャナーのスタジオを用意しなければならない。さらに、服の 3D モデル化も必要であり、手間や時間がかかる。

suGATALOG は、3DCG のようにさまざまな角度から服装を検討をするような柔軟性はない。しかし、大掛かりな装置は必要とせず、シンプルな手法でありながら、ユーザの顔や体型に合うかという実際の着用イメージでファッションコーディネートが行える。

6.5.3 ユーザの身体を用いたシステム

Zugara 社の The Webcam Social Shopper[16] は、鏡状のディスプレイに服の写真が表示されることで、鏡の前であたかも服を自分の体に当てているかのように見られるシステムである。このようなシステムは、本提案システムと同様に着替える手間がないため気軽に利用できる。服装の記録の手間がない利点がある一方で、上に重ねた画像は実際に本人が着用した形ではないため、ユーザの体へのフィット感は劣る。しかし、新たな服の購入にはこのようなシステムが有効である

といえる。

近年では、ユーザの体型を計測することで、服の購入に役立てるサービスも出現している。LIKE A GLOVE[11] は下半身のサイズ計測が可能なレギンスで、ユーザの体型に合わせた服をリストアップしてくれる。ファッション EC サイト ZOZOTOWN を運営する株式会社スタートトゥデイは、ユーザの身体を採寸することのできる伸縮センサー内蔵の採寸ボディースーツ ZOZOSUIT[19] を発表している。こういったサービスが普及すると、オンラインショッピングにおける、服のサイズが合わない問題が軽減され、ユーザの買い物体験が向上すると考えられる。

6.6 議論

6.6.1 記録方法

suGATALOG では、鏡の前で服を確認するという、これまでに人が行っている活動の流れの中で記録する方法を用いることで、自然なライフログをねらった。しかしながら、運用実験の結果では、手間であるという意見もあった。したがって、今後記録システムをより単純で手間にならない仕組みにしていくことで、suGATALOG はより日常的なアプリケーションなるだろう。たとえば、タグタンスで用いられるようなクローゼットを閉じたタイミングでの自動撮影などが参考になる。他にも玄関にセンサとドアにカメラを組み込むことで、靴や鞆を持った外出直前に記録を行えば、靴のコーディネートも範囲にいれることができる。センサネットワークがインフラとして一般的になったユビキタス環境では、本システムが真価を発揮できると考えられる。

6.6.2 写真データの管理と利用

今回の運用では3週間であったが、1年～2年と継続利用していくと、データの量も膨大になる。その結果組み合わせられるパターンも膨大になる。そのためユーザが自らひとつひとつ組み合わせて検証することは現実的ではない。この際、自動コーディネート機能によって手間を軽減しながらも手持ちの服を最大限活用できるだろう。今回の実装では、最近着た服かすべての服のランダムでの組み合わせしかできないが、たとえば季節での組み合わせや、土日祝日の服など、範囲を限定した自動コーディネートなども考えられる。これによって得られるコーディネート傾向を絞るため、よりの確な自動コーディネートを実現し、レコメンデーションシステムとしても可能性が期待できる。

6.6.3 応用

本システムで撮りためた写真はウェブ上にアップロードされているため、ネットワークの接続があればどこからでも参照できる。これを利用して、アパレルショップなどの店頭で試着した服と手持ちの服とのコーディネートを行うといった応用ができる。また、ショップの店員に手持ちの服と合うコーディネートをしてもらうこともできるだろう。さらに、本システムは服装を記録す

ることを目的に撮影をしているが、全身が写っているため、髪型や化粧や体型なども同時に記録できる。これを利用して、例えば、美容室で同じ髪型や化粧をしてもらいたいときに使用したり、ダイエット支援といった活用も考えられる。

6.7 構成手法との比較

本節では、suGATALOG と構成手法とを比較し、該当項目と改善案について考察する（表 6.4）。

表 6.4: suGATALOG の構成手法の該当項目と改善案

構成手法		該当	改善案
(1)	目標設定	○	—
(2)	ユーザに合わせた調節	① 能力	× カラーコーディネート、天気、スケジュールに応じたレコメンド
		② 身体状態	—
(3)	フィードバックの提供	① 目標達成時	△ ゲーミフィケーション要素を入れる
		② 段階的	○
		③ 失敗時	× カラーコーディネートのアドバイス
(4)	疑似体験の提供 (a,b両方/いずれか)	(a) 他者体験	× 他者のコーディネートを表示
		(b) バーチャル体験	○

○：該当、×：非該当、△：該当するが改善の余地あり、—：項目自体に該当しない

(1) 達成目標の設定

本システムは、着用する服のコーディネートを決定することができるシステムであり、それが目標でもある。コーディネートを決定したいユーザが本システムを利用するため、その時点でユーザもこの目標を認識していると言える。

(2) ユーザに合わせた調節

服を選ぶために必要となる能力は複数ある。例えば、服の色の組み合わせが合っているかどうかというカラーコーディネートの知識や、その日の天気に適した服が選べること、同じ人と会うときに同じ服を着ないこと、などが挙げられる。現状のシステムにはこれらを支援する機能はないため、この項目は該当しない。改善案としては、適切なカラーコーディネートの提示、その日の気温に適した服のレコメンド、スケジュール帳と連動してその日に避けるべき服装を提示、などが考えられる。身体への負担はないため「身体状態」は項目自体に該当しない。以降、身体への負担がないシステムについては表に「—」と表記する。



図 6.8: 「進捗を示す段階的フィードバック」の改善案

(3) フィードバックの提供

本システムは、服を決定して着替えた際に、システムに記録することを前提としている。現状では、記録した服はカレンダー上に表示される。これは毎日の成果に対する段階的フィードバックでもあり、服を決定したという目標達成時のフィードバックでもあると言える。より達成感を与えるためには、ゲーミフィケーションの要素を活用することが考えられる。例えば、図 6.8 のように記録した日数や異なるコーディネートの数に応じてレベルが上がっていく、といったフィードバックを追加することで、達成度合いを可視化することが考えられる。

本システムにおける「失敗」は、コーディネートの数が増えないことや、同じコーディネートが続くこと、色の組み合わせが合わないことなどが挙げられる。そこで、記録した服の写真に応じて、色の組み合わせのアドバイスをしたり、新しいコーディネートの提案をする、といった改善が考えられる。

(4) 疑似体験の提供

他者体験については、本システムは個人で使用することを想定しているため、SNS などを活用した他者との共有の機能はないため、この項目は該当しない。改善案としては、インターネット上の画像検索結果を活用し、所有している服と類似した服とのコーディネート例を表示する、といった改善が考えられる。

バーチャル体験については、本システムは、実際に服を着用する前に仮想的に服の試着ができる。実験の結果では、実際に服を着たときの着用イメージが湧きやすいという結果だったことより、行動（つまり、服の着用）前に疑似体験が提供されていると言える。

6.8 まとめ

本章では、ユーザの姿に着目したファッションコーディネート支援システム suGATALOG の提案、試作および評価実験を行った。本システムでは、実際に着た姿の写真を利用するため、顔や体型を含めてコーディネートシミュレーションが行える。これにより、ユーザは着替えることなく手軽にさまざまなコーディネートを試すことができる。本システムの有用性を評価するために実物の服、服だけの写真、姿の写真の3つの手法を用いた実験では、本提案手法である姿の写真を用いた手法は、実物の服や服だけの写真を用いたシミュレーションより確信を持ってコーディネートができ、有用であることが分かった。構成手法との比較では、能力に合わせた調節、失敗時のフィードバックの提供がなく、改善が必要なことが明らかとなった。

第 7 章

ケーススタディ 4：調理支援システム

本章では、初心者のための料理ナビゲーションシステム「Shadow Cooking」の事例について紹介する。

7.1 背景

食事は、運動と並ぶ健康に影響を与える活動である。食事の偏り、カロリーの過剰摂取、加工食品や特定の食品の過剰摂取は、糖尿病や、肥満などの生活習慣病の原因となることが知られている。食事を作る行為、すなわち調理ができると、栄養やカロリーのコントロールができるようになり、生活習慣病の予防にも繋がる。一方で、調理技術が低い人ほど、外食や欠食が増え、即席ラーメンなどの加工食品の利用が多いという調査結果も報告されている [100]。また、調理は創作活動の 1 つでもあり、調理そのものが達成感を与える。しかし、調理には計量や、食材を切る、混ぜる、煮る、焼くなどの多くの手順があり、それに伴う数多くの調理道具や料理用語があり、経験や知識が必要になる。

料理のレシピには、調理の手順や、材料の分量が記載されているが、こういった知識や経験が乏しいと、記載内容が理解できず、レシピ通りに作れないことがある。さらに、調理者はレシピを見ながらどこまでの手順を終えたか自分自身で管理する必要があるが、一般的なレシピは 1 つの手順に複数の文章が書いてあったり、分量が分かれて記載されていることが多いため、どこまで終えたか分からなくなったり、手順を飛ばしてしまったり、見間違えてしまうことがある。このように、レシピと調理者の動作が分かれていることが原因となって失敗を招くことがある。こういった失敗は、達成を妨げ、自己効力感の低下につながり、調理への苦手意識の形成の原因となる。

調理の失敗の原因として、「計量のミス」も挙げられる。計量時に分量を間違えると、料理の味や外観が著しく損なわれることがある。また、計量には「グラム」「cc」「ml」「さじ」「カップ」など複数の単位が存在し、初心者にとっては混乱が生じることがある。調理中にどのようなミスが起こるか観察するために、調理初心者と調理経験者（「お菓子を作ったことがある」と回答した人）

両方を対象に通常のレシピを用いてマフィンを調理する実験を実施し、実験後にインタビューを実施した。以下に、特筆すべき内容を箇条書きにする。

- 調理初心者が「1カップ入れる」という手順で、通常は計量カップを用いて計量するべきところを、計量スプーンを用いて計量をした結果、入れるべき分量が大幅に不足する場面が観察された。実験後のインタビューでは、「カップが何かわからなかったので適当な道具を使った」という回答が得られた。
- 調理初心者が、数種類の材料を入れた後「混ぜる」という手順で、どの道具を使うべきか分からず、通常は泡立器を使ったほうがよく混ぜるところを、ゴムベラを使用し、しっかりと混ぜなかったことにより、粉がダマになってしまう場面が観察された。実験後のインタビューでは「どの道具を使って混ぜればいいのか分からなかった」という回答が得られた。
- 調理初心者はインタビュー時に、「(計量スプーンが複数置いてある状況下で) 大きじと小さじが分からなかった」と回答し、調理経験者も「どれが大きじスプーンで、どれが小さじスプーンなのか自信がなかった」と回答した。
- 実験で使用したレシピは材料の分量と、調理手順が分かれて記載があり、材料の分量部分には「砂糖、小麦粉、ベーキングパウダー、サラダ油」がまとめて「A」とくくられる記載があり、調理手順には「Aを入れて混ぜる」となっているところで、調理初心者が小麦粉を入れずに最後まで気づかずに終える場面が観察された。

上記の実験から、一般的に用いられるレシピには、計量ミス、道具の選択ミス、手順を飛ばすミスが起こることが分かった。

本章では、手順をステップ・バイ・ステップでユーザの進捗に合わせて提示するシステムを提案する。これにより、上記のようなミスをなくし、料理がスムーズに行えることで、調理の達成体験を生み出し、自己効力感の向上を目指す。

7.2 関連研究

CounterActive[55] は、レシピをキッチンカウンターに投影し、カウンターをタッチすると操作をすることができるシステムである。Panavi[87] は、フライパンに温度センサを埋め込み、料理において重要な温度管理を行うシステムである。このシステムではレシピは別のモニターに表示される。Kitchen of the Future[81] は、キッチンに複数のモニター、カメラ、フットスイッチを埋め込んだシステムで、遠隔地のキッチンともコミュニケーションが可能なシステムである。Cooking Navi[46] や Smart Video CooKing[40] は、動画や写真などレシピと融合することで、レシピの内容が初心者でも分かりやすくなるシステムである。これらのシステムは、調理環境とレシピが離れているため、調理者は、レシピと実作業を行き来しながら調理を進める必要があるため、手順

を飛ばしたり、読み間違えるリスクがある。キッチンにはさまざまな食材や、いくつもの異なる手順があり、キッチン内の物体や動作の認識は複雑だがである。そういった認識に特化したシステムも存在する [53, 64] 例えば, Lei ら [64] は, 深度カメラを活用することで, 混ぜる動作や, 大さじ何杯入れたかなどの細かい動きを認識することに成功している。本研究では, 調理活動を認識するだけでなく, ユーザの進捗状況に応じた調理全体の支援システムを提案する。

7.3 進捗に合わせた調理ナビゲーションシステム「Shadow Cooking」

Shadow Cooking は, ユーザの状況に合わせて, 作業空間に調理手順を直接投影する調理ナビゲーションシステムである (図 7.1)。ユーザの進捗に応じて, ステップ・バイ・ステップで次に行うべき動作をユーザに提示する。「ステップ・バイ・ステップ」とは, 従来のレシピのように 1 つの手順に複数の手順が書いてあるものを, 一つ一つの動作に分解したもののことを指す。例えば, 「小麦粉と砂糖とベーキングパウダーを入れる」という手順の場合は「小麦粉を 100g ボウルに入れる」「砂糖を 50g ボウルに入れる」「ベーキングパウダーを 5g ボウルに入れる」といったように, 手順を細かく分解する。本システムは, レシピとキッチンそのものを融合することで, 従来のように, レシピとユーザの動作が乖離していることによって起こる問題を解決し, 調理作業に集中することができるようになると思われる。



図 7.1: Shadow Cooking システム外観

7.3.1 システム構成

本システムは, ノートパソコン, 深度カメラ (xtion), プロジェクター, キッチンスケールで構成される (図 7.2)。深度カメラとプロジェクターはキッチンカウンターの上部に設置される。深度カメラから材料や調理器具の位置を認識し, プロジェクターで材料や道具などに直接指示を投影する。キッチンスケールには Arduino と Bluetooth モジュールを埋め込み, 無線で計量情報が



図 7.2: Shadow Cooking のシステム構成. 深度カメラでユーザの動作や物体の位置を認識し, プロジェクターで直接キッチンカウンターに指示を表示する. キッチンスケールと連動することで計量ミスを防止する.

リアルタイムにノートパソコンに送信されるようになっていく (図 7.3). ユーザが調理を開始すると, ステップ・バイ・ステップで手順が投影され, ユーザの進捗具合に応じて手順が自動で進んでいく.

7.3.2 ユーザの状況の認識

ユーザの進捗具合は, 深度カメラで物体の位置を認識することで判断する. 各材料の深度に閾値は予め設定されており, 明らかに異なる形状や高さの物体が置いていないかの判断を行う. 例えば, 小麦粉を置くべきところに卵や牛乳が置いてあると, 形状や高さが異なるため間違っていることをユーザに知らせる. 一度正しい材料が置かれたことが認識されると, その物体の高さはシステムに記録される. これにより, 調理中に深度カメラと材料の間にユーザの手などが被ったときでも, 物体の高さの情報は維持される. 図 7.4-1 は, キッチンカウンターの様子である. 材料が置いていないところには材料の名前とその形状の線が白色で表示され, 正しい物体が認識されると線が青くなる. 図 7.4-2 は深度カメラから見た様子である.

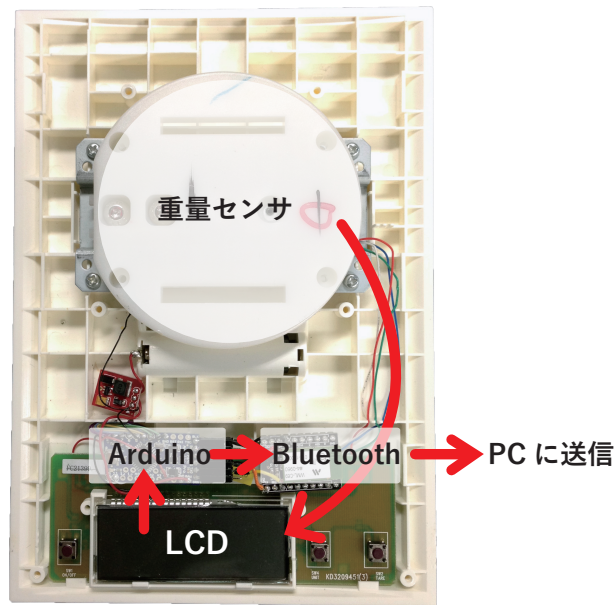


図 7.3: Bluetooth を埋め込んだキッチンスケール。リアルタイムで数値がパソコンに送られる。

7.3.3 システムの利用の流れ

以下に、システムの大まかな利用の流れを示す。

準備

始めに、キッチンカウンター上に材料と道具の場所と形状の線が表示される（図 7.4-1）。ユーザは、その線に合わせて材料や道具を置いていく。すべての材料が設置されると、自動的に次の手順に進む。

調理

ユーザは、図 7.5 のように、矢印や、分量、短い指示の文字などを見ながら調理を進める。例えば、「砂糖を 50g ボウルに入れる」という手順の場合は、砂糖からボウルに向かって線が流れるようにアニメーションが表示され、キッチンスケールのイラストには「0/50g」という数字が表示される（図 7.5-1）。直接、材料と道具の上に指示が表示されることで、間違った道具や材料の使用を防ぐ。次に、砂糖をボウルに入れると、リアルタイムに入った分量が数字と円グラフで可視化される（図 7.5-2）。これにより、材料の入れすぎや不足を防ぐ。必要な分量を入れ終わると、自動的に次の手順に進む（図 7.5-3）。このとき、間違った材料を持ち上げたり、分量を入れすぎると、表示が赤くなって間違っていることを警告する。材料を入れ終え、その材料がその後の手順で不要な場合は、材料に表示されていた線が消える。これにより、これ以降の手順ではその材料

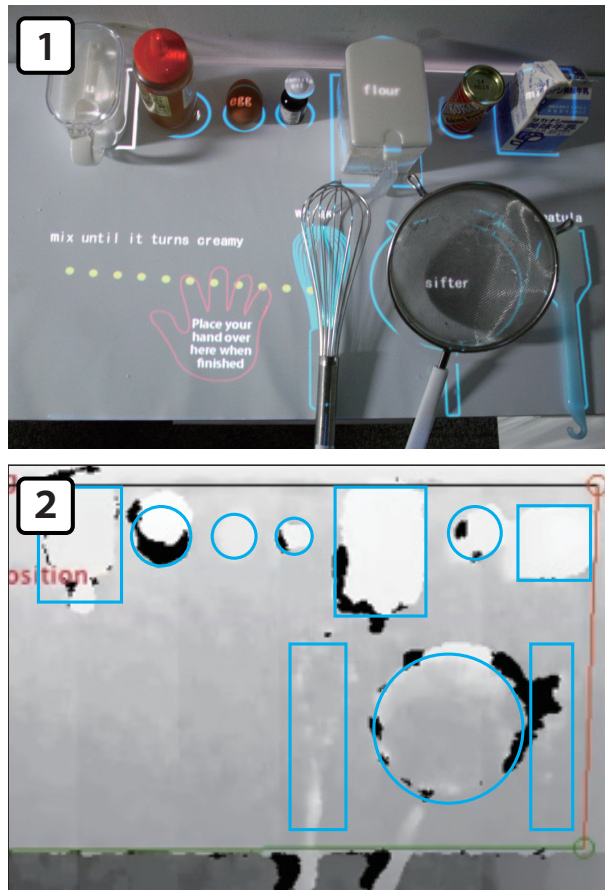


図 7.4: 物体の認識の様子。上図はユーザーから見たキッチンカウンターの様子、下図は深度カメラから見たキッチンカウンターの様子。

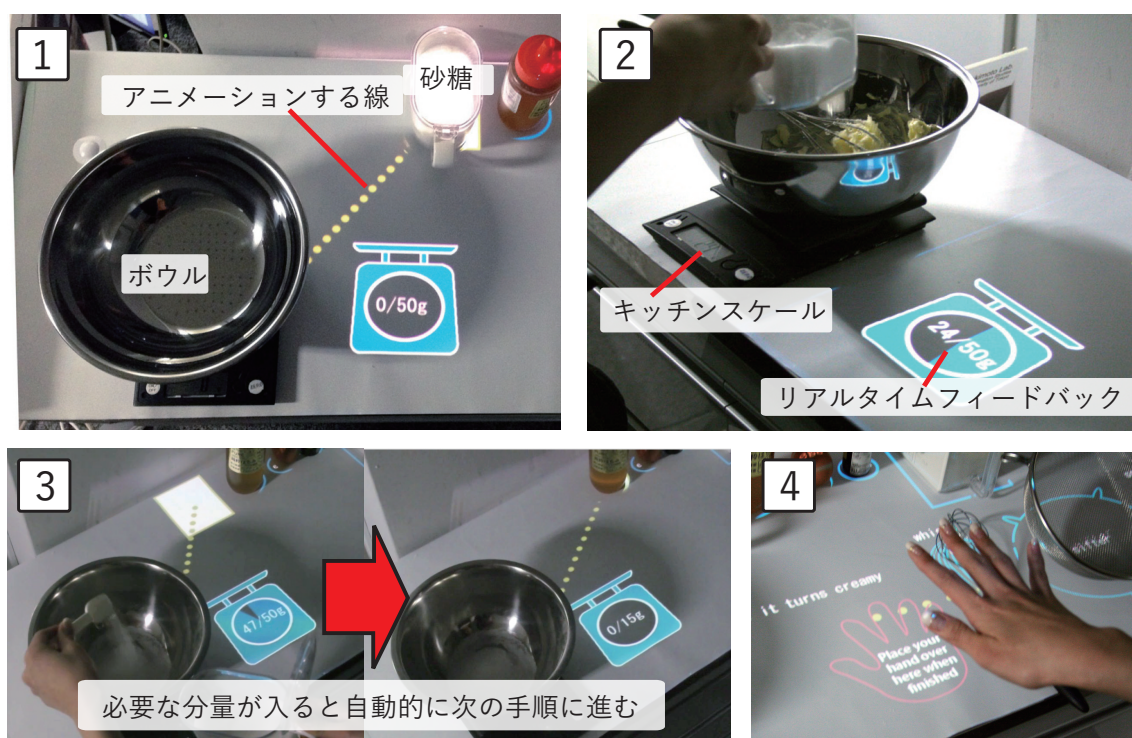


図 7.5: Shadow Cooking の利用シーン. (1) 砂糖をボウルに 50g 入れる手順. 砂糖からボウルに向かって線がアニメーションで表示され, キッチンスケールのイラストに入れるべき分量が表示される. (2) キッチンスケールの数値に応じて現在の入っている量が数字と円グラフで表示される. (3) 前の手順が終わると自動的に次の手順に進む. (4) 混ぜるなどの動作は一定時間手をかざして手動で次へ進む.

を使わないことが分かり, ユーザは材料をしまうことができる. 物体の位置の認識だけでは次の手順に行くことが分からない場合, 例えば, 「混ぜる」などの手順の場合は, 図 7.5-4 のように手順を終えたら手をかざすという指示が表示される.

7.4 試用実験

Shadow Cooking を使って間違えずに調理ができるかどうか試用実験を実施した. 実験には男性 1 名, 女性 1 名が参加した. 実験では, 予備実験と同様にマフィンのレシピを用いた. 被験者のうち男性はお菓子作りの経験がなく, 女性は年に数回程度の頻度お菓子作りをする経験者であった. 被験者には, 通常のキッチンスケールの使い方 (ON/OFF スイッチと, 押す度に数値がゼロにリセットされるボタンの説明) のみを説明し, あとはシステムの指示に従うように指示した. 手順を間違えないかどうかを見るために, キッチンカウンターの上部にカメラを取り付け, 上からの

様子を観察した。調理終了後にはインタビューを実施した。

結果として、いずれの被験者も手順としてのミスをすることなくマフィンを完成させることができた。インタビューでは、いずれの被験者も、システムで理解できなかった指示はなかったと回答した。一方で、3つの問題の指摘があった。1つ目は、女性の被験者からの指摘で、「よく混ぜる」という指示のときに「どのくらい混ぜればいいのか不安になった」という意見があった。2つ目は、牛乳を入れる場面で、必要な分量は理解していたものの、意図せず牛乳が勢いよく入り、分量を超えてしまう場面があり、被験者から「ゆっくり入れる」などの指示がほしい、という意見があった。3つ目は、「バニラエッセンスを2滴入れる」という手順で、2滴という少量をキッチンスケールでは検出できず、バニラエッセンスを持ち上げた後すぐに次の手順に進んでしまい、「焦った」との意見があった。

7.5 議論

7.5.1 ユーザの活動の認識について

Shadow Cooking は現状、物体の所在と材料の使用量でユーザの進捗状況を認識している。本システムの設計にあたって、AR マーカーや、RFID タグの利用も検討したが、ナマモノなど、調理に使用するもの全てにマーカーを付けるのは現実的ではないと判断した。また、画像認識だけで材料の認識をするのは、材料ひとつとっても色や形状が異なるものが多いため確実ではない。そのため、現状のように指定した場所にユーザが材料を一度置いてから指示をするという手法を用いた。

運用実験では、細かい画像認識を用いなくても多くの手順を認識することができ、ユーザも手順に迷うことなく調理が進められた。しかし、重量が大きく変わらない材料（例えば、バニラエッセンス2滴）を使用する場合や、混ぜるなどの行為は認識することが難しい。こういった動作は、同じく深度カメラを用いて細かい動作を認識する関連研究 [64] と組み合わせることで、混ぜた回数や振り入れた回数などの認識が可能になると考えられる。

7.5.2 計量以外の手順について

本システムは、材料の計量と混ぜることが中心となるため、本システムで対応可能な料理の工程は限られている。料理には、炒める、蒸す、材料を切るなど、他にも数多くの手順がある。こういった手順では、Panavi[87] のように温度センサで火加減を管理する手法や、熱センサを使う手法 [61] を用いて視覚化することが有効である。また、切るという手順も、くし切り、乱切り、みじん切りなどさまざまな切り方があるため初心者には難しい。また、こういった手順も文字だけでは分かりにくいいため、Cooking Navi[46] や Smart Video CooKing[40] のように、動画や写真などを表示して状態を示すことも有効である。



図 7.6: smoon システムの外観。レシピと連動して計量カップの容量が自動で変化する

7.5.2.1 他の計量道具について

実験結果では、牛乳が入りすぎてしまう場面があった。こういった液体を入れるときには、直接注ぐのではなく、他の道具を使うことで入れすぎを防ぐことができると考える。例えば、材料の必要な分量に応じて、入る容量が自動的に変わる計量スプーン [88] (筆者の先行研究, 図 7.6) と組み合わせることで、入れすぎ防止の効果があると考えられる。

7.6 構成手法との比較

本節では、Shadow Cooking と構成手法とを比較し、改善について考察する。表 7.1 に本システムにおける構成手法の該当する項目とその改善例をまとめる。

(1) 達成目標の設定

本システムの達成目標は、レシピ通りの料理を調理することである。このシステムは、ユーザーは調理したいレシピを自ら選択するため、目標を認識した上でシステムを使用していると言える。

(2) ユーザに合わせた調節

レシピ通りの調理をするために必要な能力は、調理に関連する知識を持つことである。調理に必要な知識には複数あるが、本システムでは、計量については知識がなくても調理ができるようにキッチンスケールで支援をしている。一方で、実験の結果からも、「混ぜる」などの手順ではどの程度混ぜるべきか分からなかったり、分からない調理単語が出てきた際の支援は行っていない。改善案としては、例えば、手順の中に知らない調理用語が出てきた際には、関連研究で紹介した

表 7.1: Shadow Cooking の構成手法の該当項目と改善案

構成手法		該当	改善案
(1)	目標設定	○	—
(2)	ユーザに合わせた調節	① 能力	△
		② 身体状態	—
(3)	フィードバックの提供	① 目標達成時	×
		② 段階的	△
		③ 失敗時	○
(4)	疑似体験の提供 (a,b両方/いずれか)	(a) 他者体験	×
		(b) バーチャル体験	—

○：該当、×：非該当、△：該当するが改善の余地あり、—：項目自体に該当しない

Cooking Navi[46] や Smart Video Cooking[40] のように動画や画像で参照できるようにする、ということが考えられる。

(3) フィードバックの提供

本システムでは、目標達成時のフィードバックは提供されない。改善案としては、調理中にミスがなかった場合には「大成功!」と表示をするなど、ユーザの達成度合いに応じたフィードバックの提供が考えられる。しかし、本システムは計量と道具や調味料の位置に関するユーザの動きのセンシングしかしていないため、それ以外の達成度合いはシステムで把握することができない、という制約がある。

段階的フィードバックについては、ユーザの計量状態や、ものの位置に応じた視覚フィードバックが提供される。しかし、目標達成までの進捗が分からないため、これに加え、プログレスバーや「1/8」のように完成までの進捗が分かるように改善することが考えられる。

失敗時のフィードバックについては、間違えたものを手に取ったり、計量を間違えると赤く光ることでユーザに知らせるフィードバックがあるため、提供されていると言える。

(4) 疑似体験の提供

本システムは、他者体験とバーチャル体験のいずれの疑似体験も提供がない。他者体験の改善案としては、他者が作った料理の写真や、調理動画の提供が考えられる。例えば、クックパッド株式会社が提供する料理レシピサイト cookpad[3] における、料理を作ったことを共有する「つくれば」機能のようなものや、同社が提供する cookpad TV[4] や dely 株式会社の Kurashiru[10] といったを短く編集したレシピ動画などを活用することで、調理前に他者の体験を共有することに繋がると考える。

7.7 まとめ

レシピと調理環境を統合する調理ナビゲーションシステム Shadow Cooking を提案した。従来のレシピでは一つの手順に複数の指示があり、さらにレシピと調理環境が離れているため、読み間違えたり、手順を飛ばしたり、間違った材料や道具を使ってしまうなどの問題があった。本研究では、ステップ・バイ・ステップで、材料や調理道具そのものに直接指示を表示することで、こういった問題を防ぎ、調理者が調理手順に集中できる環境を構築した。試用実験では、初めてお菓子を作った被験者でも間違えることなく調理をすることができた。本システムは、計量と混ぜる手順に特化したシステムであるため、今後は関連研究との統合により、火を使った調理や、材料を切るといった手順への対応により、レシピの幅が広がると考える。構成手法との比較では、目標達成時のフィードバックと、疑似体験の提供がなく、改善が必要なことが明らかになった。

第 8 章

関連研究のケーススタディ

本章では、構成手法の応用範囲を広げるために、より幅広い目的のための行動支援システムのケーススタディを紹介する。

8.1 各システムの評価

本節では、「運動支援」「技術習得支援」「生活支援」の3種類にカテゴライズし、14種類の行動支援システムを紹介する。なお、第4～7章では4つ目の項目「疑似体験」について、事例を示すために他者体験とバーチャル体験の項目を分けて表記したが、この項目はどちらかのみ該当で良いため、本章では1つに統合して表記する。

運動支援システム

Jogging over a distance[70] は、遠隔地のランナー同士がヘッドセットを繋いで心拍数を共有しながら走れるジョギング支援システムである。ランナーは心拍計とヘッドセットを身につけ、互いの目標心拍数に応じて相手の声の聞こえる方向が変わることで一緒に走っているような感覚が得られる。例えば、どちらの走者もそれぞれの目標心拍数に近い数値で走っているには場合は右耳から相手の声が聞こえ、隣を走っているような感覚になる。あるいは、一方の走者の心拍数が目標心拍数より早く、もう一方は目標心拍数付近の場合は、前者の声が前方から聞こえ、前を走っているような感覚となる。

Jogging over a distance を構成手法と比較すると表 8.1 の通りとなる。「(1) 目標設定」は走ることだが、距離や時間などのユーザが達成すべき明確な目標がないため改善が必要となる。改善案としては、二人で一緒に走るという特徴を活かして、例えば二人の走る総距離を目標とすることが考えられる。このとき、設定する距離は互いの能力に合う目標設定が望ましい。例えば、ランニング用のスマートフォンアプリの Nike+ Run Club[13] では、ユーザの「走りたい頻度」や「距離」などに合わせたトレーニングプランが提案される。このように、ユーザが設定した目標に合

わせて目標を設定することは「(2) ユーザに合わせた調節」にも繋がる。さらに (2) については、各ランナーはそれぞれの目標心拍数を設定できるものの、互いの心拍数に引っ張られて適正な運動強度にならない可能性がある。例えば、走者 A が 120%、走者 B が 100% で走っている場合、走者 B にとっては、走者 A が前方を走っているように感じられるため、走者 B がそれに合わせようとして速度を上げると、両者ともに目標心拍数を越えた状態となり、身体への負担が生じる。改善案としては、目標心拍数を基準として音の聞こえ方が変わるようにする、つまり、例え両者の目標心拍数の程度が同じであっても、目標心拍数を越えていたら両者ともに前方を走っているように感じ、下回っていたら後方を走っているように感じるようにする、という方法が考えられる。これにより、両者は互いの心拍数の度合いではなく、自分の適正心拍数に合わせて走ろうとすることができるようになると考える。次に「(3) フィードバック」については、システム側からの提供はない。改善案としては、前述した Nike+ Run Club などのランニングアプリのように 1km 走るごとに音声でお知らせしたり、目標達成時に「お疲れ様でした」のような声がけをし、アプリ上にランニングの成果が貯まっていく、という段階的および目標達成時フィードバックが考えられる。「失敗時」については、2つの失敗と改善案が考えられる。1つ目は、目標心拍数と差がある状態のとき、前述したように目標心拍数を中心として音の位置が変わるようにすることで、速度を上げるべきか落とすべきかがユーザに知らせることができる。2つ目は、目標とする距離が走れなかった場合、心拍数の状態に応じて次回の設定すべき目標距離と心拍数をシステム側がアドバイスすることが考えられる。最後の「(4) 疑似体験の提供」については、一緒に走っている走者の心拍数の状態が共有されるため「他者体験」が該当する。

表 8.1: Jogging over a distance と構成手法との比較

(1) 目標設定	(2) ユーザに合わせた調節		(3) フィードバック			(4) 疑似体験
	能力	身体状態	目標達成時	段階的	失敗時	他者体験/バーチャル
×	△	△	×	×	×	○

Augmented Dodgeball[76] は、バーチャルなパラメーターを使用し、各プレイヤーのライフポイントが可視化されるドッジボールである。パラメーターはプレイヤーの身体能力に応じて調節することが可能で、周囲から見えやすいモニターに表示される (図 8.1)。

Augmented Dodgeball と構成手法との比較は表 8.2 の通りである。「(1) 目標設定」は、従来のドッジボールと同様に「相手チームに勝利すること」であり、プレイヤーはこの目標を認識した上でプレイに参加していると考えられる。「(2) ユーザに合わせた調節」については、このシステムは疲労しすぎないように試合が 15 分程度で終わるようにシミュレーターで計算されている。さらに、チームの能力に合わせてパラメーターが変動するようになっている。そのため、能力と身体状態に合わせた調節はできていると言える。ただし、ドッジボールはボールが身体に当たることで痛みを伴う可能性があるため、例えば、Hado[9] (図 8.2) のような現実世界とバーチャルな映像を融合した AR (Augmented Reality) を用いたシステムを活用することで身体状態の低下を防



図 8.1: Augmented Dodgeball. 論文より抜粋 [76]

ぐ、という手法も考えられる。「(3) フィードバック」については、勝利した際のフィードバックには明確な記載はないが「勝利」という分かりやすい結果がでる。また、パラメーターによって試合の状況が可視化されるため段階的フィードバックもある。失敗時のフィードバックはないため、例えば、ボールを当てられたプレイヤーに対して「包み込むようにボールを取ってみよう」などアドバイスをしたり、敗北した場合には次回設定すべきパラメーター値のアドバイスが受けられる、という改善が考えられる。「(4) 疑似体験」は、ライフポイントのモニターも含め、他者から見やすい設計となっているため、プレイヤーも周囲の観客も「他者体験」が可能である。

表 8.2: Augmented Dodgeball と構成手法との比較

(1) 目標設定	(2) ユーザに合わせた調節		(3) フィードバック			(4) 疑似体験
	能力	身体状態	目標達成時	段階的	失敗時	他者体験/バーチャル
○	○	△	○	○	×	○

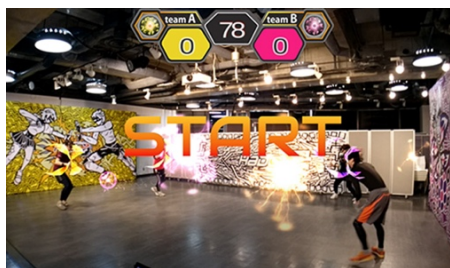


図 8.2: AR を活用したスポーツ HADO. ウェブサイトより抜粋 [9]

Masuko ら [66] は、心拍数を利用したコンピュータ対戦型のボクシングゲームを提案している（以下、心拍ボクシングシステムと称する）。ボクシングの動作によりバーチャルなモンスターを倒し、行うべき動作はユーザの心拍数に応じて自動的に変わる。

表 8.3 に心拍ボクシングシステムと構成手法との比較を示す。「(1) 目標設定」は、バーチャルなモンスターを倒すことである。画面にはモンスターの体力がメーターで表示されるため、これをゼロにして倒すということは認識できると考える。「(2) ユーザに合わせた調節」について、このシステムに必要な能力は、モンスターの状態に合わせて正しいボクシングの動作を行える記憶力や反射神経であるが、これに対する調節は行っていない。改善案としては、反応が遅い場合には行うべき動作を写真やイラストなどで表示する、といったことが考えられる。ボクシングの動作は運動強度が異なる 7 種類あり、心拍数に応じて自動的に調節されるため、身体状態の調節は該当する。「(3) フィードバック」については、目標達成時にはモンスターを倒すという分かりやすいフィードバックがある（図 8.3）。プレイヤーとモンスターの互いの残りの体力がメーターで表示されることで段階的フィードバックも提供される。失敗時のフィードバックは提供されていない。改善案としては、攻撃ができていない場合には「もっと早く」などのアドバイスや、負けた場合には「惜しい。もう一回挑戦してみよう。」といった励ましを行うことが考えられる。「(4) 疑似体験」も提供はない。他者体験を取り入れるためには、本番のプレイ前に他者がプレイした動画を見るということが考えられる。バーチャル体験を取り入れるためには、練習モードで体験をしてから本番をプレイするということが考えられる。

表 8.3: 心拍数ボクシングと構成手法との比較

(1) 目標設定	(2) ユーザに合わせた調節		(3) フィードバック			(4) 疑似体験
	能力	身体状態	目標達成時	段階的	失敗時	他者体験/バーチャル
○	×	○	○	○	×	×

田部ら [106] は、セルフモニタリングとソーシャル要素を活用して競争を促進するウォーキング支援システムを提案している（以下、ウォーキング支援システム）。SNS 上で繋がった仲間やライバルと仮想的な地図上をウォーキングすることで対応意識や仲間意識を向上させる機能（図 8.4 左）と、グラフとランキングにより他者との歩数比較が行える機能（図 8.4 右）を兼ね備える。ユーザは現実世界の知人だけでなく、顔見知りでない人を競争相手として登録でき、このときに歩行ペースが類似した人を選ぶことができるため、ユーザに合うライバルを発見することができる。

表 8.4 にウォーキング支援システムと構成手法との比較を示す。このシステムの「(1) 目標設定」は、ユーザが設定した歩行数あるいは体重が達成すべき目標となる。ユーザ自身で設定をするため、目標は認識可能である。「(2) ユーザに合わせた調節」については、歩行ペースが類似したライバルをユーザが選ぶことができるため、能力および身体状態に合わせた調節も可能である。「(3) フィードバック」については、グラフとランキングにて進捗状況および達成状況が可視化される。一方で、失敗、すなわち目標が達成できなかった場合、あるいはランキングが下がったときのフィー

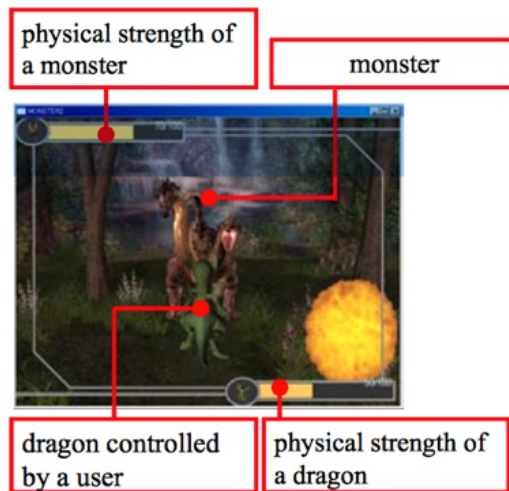


図 8.3: 心拍ボクシングシステム. Masuko らの論文より抜粋 [66]

ドバックは提供されていない. 改善案としては, 状況に応じた適切な目標設定や, 目標達成のためのウォーキングのペースで歩くべきかのアドバイスをしたり, 能力の近いライバルをレコメンドする, といったことが考えられる. 「(4) 疑似体験」については, 知人やライバルの状況を見ることができると該当する.

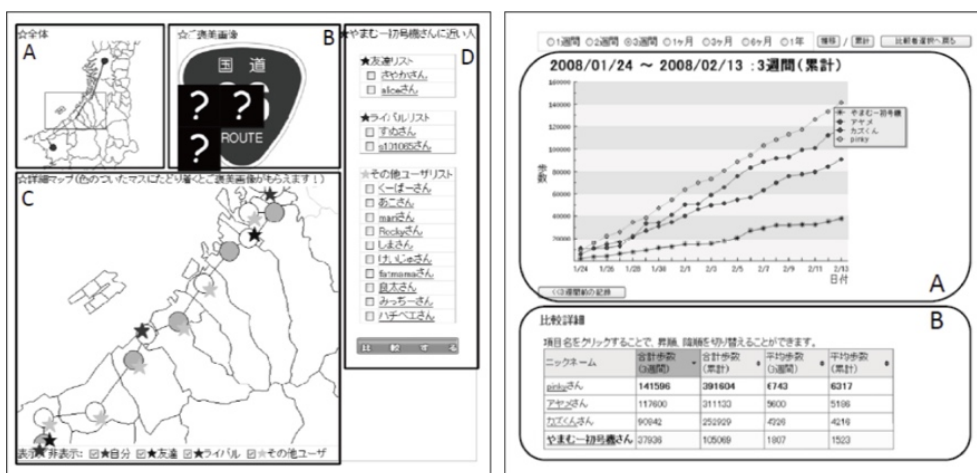


図 8.4: ウォーキング支援システム. 左: 仮想ウォーキング機能, 右: グラフ機能. 田部らの論文より抜粋 [106]

表 8.4: ウォーキング支援システムと構成手法との比較

(1) 目標設定	(2) ユーザに合わせた調節		(3) フィードバック			(4) 疑似体験
	能力	身体状態	目標達成時	段階的	失敗時	他者体験/バーチャル
○	○	○	○	○	×	○

技術習得支援システム

P.I.A.N.O.[89] は、楽譜が読めない初心者でも弾けるように楽譜を用いず、ピアノとその周辺に直接指示をプロジェクションすることでピアノの学習支援を行うインタラクティブシステムである (図 8.5)。このシステムには3つのモードがあり、まず Listen モードで曲のメロディーを熟知し、次に Practice モードでピアノを弾く練習をし、最後に Play モードで本番を弾く。Practice モードでは正しく弾けるまで次に進まないようになっている。Play モードではユーザの能力に合わせた一定のテンポで弾けるようになっている。弾くキーを間違えたかどうかは光の色で可視化される。

表 8.5 に P.I.A.N.O. と構成手法との比較を示す。「(1) 目標設定」について明確な明記はないが、弾く曲が設定されていると考えられる。目標となる曲が明示されるため目標設定も認識できると言える。「(2) ユーザに合わせた調節」については、能力に応じた曲の速度を選ぶことができるため該当する。「(3) フィードバックの提供」については、正しく弾けたかどうか可視化されるため、達成度合いの確認と同時に、間違えたところをその場で直すことができるため失敗時のアドバイスにもなっている。達成時のフィードバックに関する記載はないため、Play モードの終了時に正しく弾けた割合を点数で可視化する、という改善が考えられる。「(4) 疑似体験」については、Practice モードで本番前に練習ができるため、バーチャル体験が該当する。

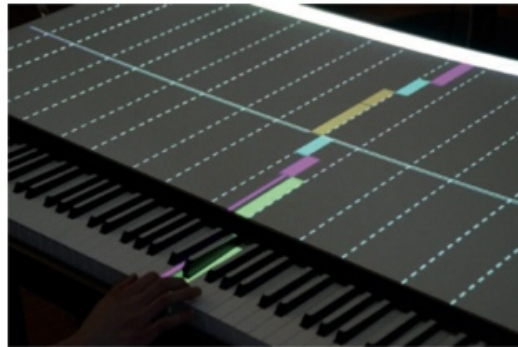


図 8.5: P.I.A.N.O. システム. Weing らの論文より抜粋 [89]

福家ら [121] も、初心者のためのピアノ学習支援システムを提案している (以下、ピアノ学習支援システム)。このシステムの特徴は、ユーザに合わせた難易度調節を多段階で行っていることで

表 8.5: P.I.A.N.O. と構成手法との比較

(1) 目標設定	(2) ユーザに合わせた調節		(3) フィードバック			(4) 疑似体験
	能力	身体状態	目標達成時	段階的	失敗時	他者体験/バーチャル
○	○	—	×	○	○	○

ある。

表 8.6 にピアノ学習支援システムと構成手法との比較を示す。「(1) 目標設定」は弾きたい曲を演奏することで、曲は明示されるためユーザは目標が認識可能である。「(2) ユーザに合わせた調節」については、ユーザが自身の習熟度に合わせた練習モードを選択することができるため該当する。「(3) フィードバックの提供」については打鍵ミスをした際に鍵盤がプロジェクションの投影により赤く光ることで、失敗したことを知ることができる。一方で、正しく打鍵できたことに対する段階的フィードバックはないため、P.I.A.N.O. のように正しく打鍵できたところも色付けするといった改善が考えられる。目標達成時のフィードバックについても記載はないため、このシステムにおいてもスコア化などによる成果の可視化が有効となると考える。「(4) 疑似体験」については、模範演奏の再生機能があり、これは「他者体験」に相当する。さらに「ミスの許容度」という、ある程度の打鍵ミスは許容範囲内とされる概念を用いることで、演奏したい楽曲をスムーズに演奏できるようにしており、これは「バーチャル体験」に相当し、初心者であっても達成体験をしやすくなる。なお、このシステムではモチベーションに関する評価実験が行われている。難易度調節の有無を比較したところ、初心者にとって難易度の高い曲を選曲したにも関わらず「モチベーションが維持できたか」という質問に対するスコアが、難易度調節があった場合のほうが有意に高いことが明らかとなったことが報告されている。

表 8.6: ピアノ学習支援システムと構成手法との比較

(1) 目標設定	(2) ユーザに合わせた調節		(3) フィードバック			(4) 疑似体験
	能力	身体状態	目標達成時	段階的	失敗時	他者体験/バーチャル
○	○	—	×	×	○	○

Higashi ら [50] は、初心者のための切り絵の学習システムを提案している（以下、切絵支援システム）。切り絵の制作に最も重要な要素となるナイフにかかる圧力を、タブレット PC とナイフ付きのスタイラスペンで計測し、画面上に適切な圧力であるかどうかリアルタイムにフィードバックする（図 8.6）。

表 8.7 に切絵支援システムと構成手法との比較を示す。「(1) 目標設定」は綺麗な切り絵を制作することとなる。切る対象となる形状が表示されるため、ユーザは目標の認識が可能である。「(2) ユーザに合わせた調節」はないため、改善案としてはユーザの能力に合わせた形状を目標としたり、線の複雑さを変化させて調節する、といったことが考えられる。「(3) フィードバック」につい

では、圧力に応じて正しいかどうかはその都度フィードバックされるため、「段階的」と「失敗時」は該当する。目標達成時のフィードバックはないため、例えば、正しい圧力で切れた度合いや、最終的に完成した切り絵の完成度を点数化する、といったことが考えられる。記載はないが、ナイフを外すことで実際に紙を切る前に練習ができるため、バーチャル体験による「(4) 疑似体験」もできると考える。



図 8.6: 切絵支援システム. Higashi らの論文より抜粋 [50]

表 8.7: 切絵支援システムと構成手法との比較

(1) 目標設定	(2) ユーザに合わせた調節		(3) フィードバック			(4) 疑似体験
	能力	身体状態	目標達成時	段階的	失敗時	他者体験/バーチャル
○	×	—	×	○	○	○

野波ら [120] は、文字を正しく整えて書く書写のための、文字バランス学習支援システムを提案している（以下、文字バランス支援システム）。タブレットと導電性テープが付いた筆を用いて、熟練度に合わせたガイドに合わせてタブレット上に置いた半紙に文字を書くと、正確性の採点が提供される。

表 8.8 に文字バランス支援システムと構成手法との比較を示す。このシステムの「(1) 目標設定」は整った字を書けるようになることである。対象となる文字が表示されるため、ユーザは目標の認識が可能である。「(2) ユーザに合わせた調節」については、図 8.7 のような熟練度に合わせたガイドをユーザが選択することができる。この時、ユーザのスコアに合わせて次回選ぶべきガイドの難易度をシステムがアドバイスするとよりユーザは難易度調節がしやすくなると思う。「(3) フィードバック」については、半紙を基準にした文字の相対的な位置、大きさ、画の位置関係の 3 つの要素に応じた採点が行われるため、目標達成時のフィードバックがあると言える。段階的フィードバックはないため、正しく書けたところに色をつけたり、「Good」などのポジティブなコメントを表示するといった改善が考えられる。失敗時については、各項目ごとの点数が出るため改善が必要な項目は分かるが、どのように改善すべきか具体的なアドバイスはない。改善案としては、失敗したところをどのように修正すべきかのアドバイスを表示したり、苦手な項目の練習

ができるようにする、といったことが考えられる。「(4) 疑似体験」については、見本の文字をなぞるという手法そのものが「他者体験」である。

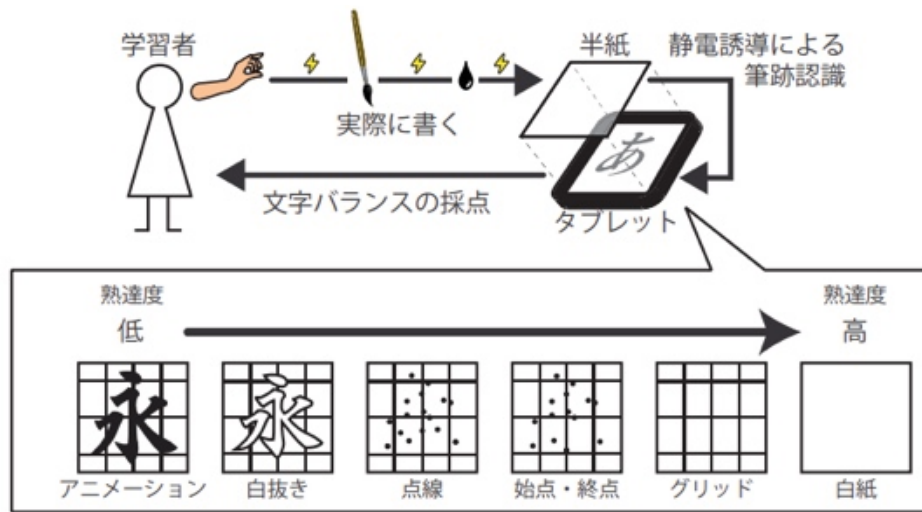


図 8.7: 文字バランス支援システム, 野波らの論文より抜粋 [120]

表 8.8: 文字バランス支援システムと構成手法との比較

(1) 目標設定	(2) ユーザに合わせた調節		(3) フィードバック			(4) 疑似体験
	能力	身体状態	目標達成時	段階的	失敗時	他者体験/バーチャル
○	○	—	○	×	×	○

中野ら [117] は、学習指導者および学習者のための個別指導支援システムを提案している（以下、個別指導支援システム）。学習者の学習ログを活用し、学習指導者が個別指導を行うためのアドバイスを提供する（図 8.8）。

個別指導支援システムは、学習指導者と学習者の 2 種類の対象者がいるため、それぞれについて評価する。表 8.9 に構成手法との比較を示す。まず学習指導者の「(1) 目標設定」は学習者に適切なアドバイスを行うことであるが、具体的に達成すべき目標は設定されていないため非該当となる。改善案としては、指導する学習者の成績の向上や、学習者からの評価の向上を設定することが考えられる。学習指導者には教員だけでなく指導歴が浅いティーチングアシスタント (TA) が含まれることを考慮し、学生の理解度と学習状況に適したアドバイスをシステムが生成して提供するため、「(2) ユーザに合わせた調節」に該当する。「(3) フィードバック」の提供はないため、例えば、指導後の学生の成績を可視化したり、上手く指導ができなかったと感じたときに、指導歴の長い教員のノウハウを提示する、と言ったことが考えられる。「(4) 疑似体験」も提供がないため、類似した状況での他者のアドバイス手法の提供や、バーチャルな学習者に対してシミュレー

ションが行える指導練習支援などの改善手法が考えられる。

続いて学習者について評価する。学習者の「(1) 目標設定」はTA との面談時に学習目標を設定するため、ユーザが認識できる目標設定がされていると言える。「(2) ユーザに合わせた調節」はシステム側からはないが、学習指導者がアドバイスする仕組みがセットとなるため、ユーザの学習状況に合わせたアドバイスがされると言える。「(3) フィードバック」については、勉強量や理解状況が把握でき、さらにクラス順位が表示されるため、達成時と段階的フィードバックは該当する。失敗時のアドバイスについては、学習指導者からのアドバイスが該当する。「(4) 疑似体験」は提供されていない。改善案としては、過去に成績が向上した人が実施した学習方法の提示、といった他者体験の共有が考えられる。

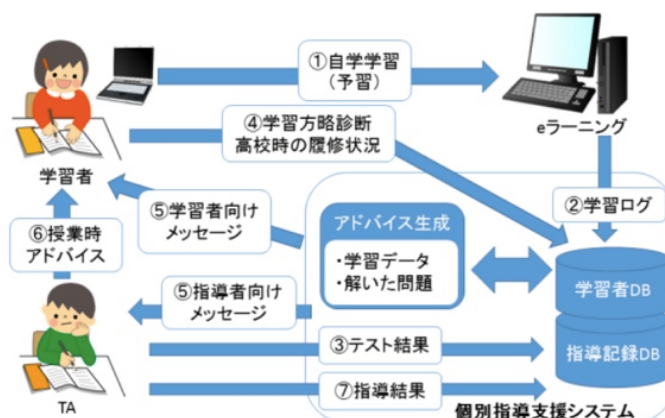


図 8.8: 個別指導支援システム。中野らの論文より抜粋 [117]

表 8.9: 個別指導支援システムと構成手法との比較

対象者	(1) 目標設定	(2) ユーザに合わせた調節		(3) フィードバック			(4) 疑似体験
		能力	身体状態	目標達成時	段階的	失敗時	他者体験/バーチャル
学習指導者	×	○	—	×	×	×	×

鈴木ら [125] は、英会話学習者のための応答タイミングを練習するためのシステムを提案している（以下、英会話支援システム）。対話相手となる CG キャラクタの状態が 4 段階で変化してタイムプレッシャーを与えることで、英会話における適切なタイミングでの応答を促す（図 8.9）。

表 8.10 に英会話支援システムと構成手法との比較を示す。このシステムの「(1) 目標設定」は英会話において適切なタイミングで応答することである。ユーザがこの目標を認識するためには、CG の顔が変わる前に応答することを明示する必要がある。「(2) ユーザに合わせた調節」の設定はないため、例えば、英会話の能力に応じて対話内容を変える、といった改善が考えられる。このシステムにはユーザに対する「(3) フィードバック」はないため、改善案としては、適切なタイミ

ングで発話ができただ際には CG の表情が笑顔になるなどのポジティブな表現をし、最終的なスコアを表示することで成果を可視化することが考えられる。また、タイミングよく発話ができなかった場合には、改善すべき点をアドバイスしたり、「もう 1 回挑戦してみよう」といった励ましを提供することが考えられる。このシステムそのものがバーチャルなキャラクタとの「(4) 疑似体験」である。これに加えて、ネイティブや上級者による、適切な発話タイミングを見せることで他者体験も付加する事ができるだろう。

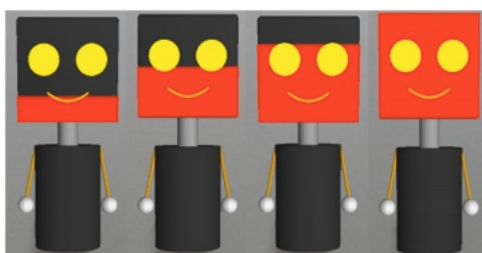


図 8.9: 英会話支援システム. 鈴木らの論文より抜粋 [125]

表 8.10: 英会話支援システムと構成手法との比較

(1) 目標設定	(2) ユーザに合わせた調節		(3) フィードバック			(4) 疑似体験
	能力	身体状態	目標達成時	段階的	失敗時	他者体験/バーチャル
△	×	—	×	×	×	○

生活支援システム

神武ら [111] は、ユーザの好みの顔画像に基づいたメイクアップ支援システムを提案している(以下、メイクアップ支援システム)。ユーザが指定した顔画像をシステムに入力すると、図 8.10 のようにユーザの顔画像上にメイク後のシミュレーション画像と、メイクにおすすめの商品の候補が提示される。ユーザは提示された画像を横に並べて参考にしながらメイクをすることができる。

表 8.11 にメイクアップ支援システムと構成手法との比較を示す。このシステムの「(1) 目標設定」は好みのメイクアップをすることである。この時、ユーザが好みの写真を設定するため、明確に目標の認識ができる。「(2) ユーザに合わせた調節」については、ユーザが実際にメイクをする際の支援はないため該当しない。改善案としては、ユーザが実際にメイクした顔に合わせたアドバイスの表示をすることが考えられる。「(3) フィードバック」の提供はないため、メイク後にどの程度シミュレーションに近いメイクができたかのスコアや、シミュレーションと異なる点をアドバイスすることが考えられる。また、メイクしている最中に実物の顔にプロジェクションなどでガイドの線を表示することも有効なフィードバックである。「(4) 疑似体験」については、他者とユーザの顔を用いたシミュレーションを行っているため他者体験とバーチャル体験が同時に該当する。

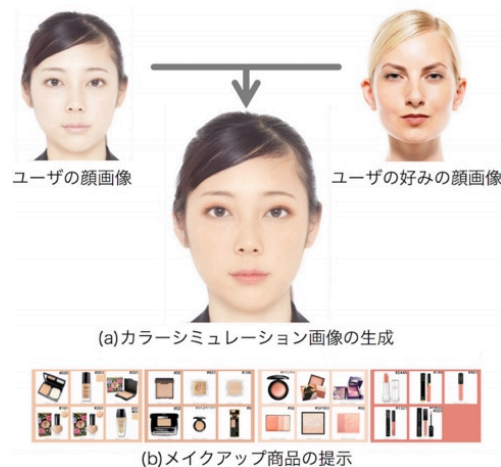


図 8.10: メイクアップ支援システム. 神武らの論文より抜粋 [111]

表 8.11: メイクアップ支援システムと構成手法との比較

(1) 目標設定	(2) ユーザに合わせた調節		(3) フィードバック			(4) 疑似体験
	能力	身体状態	目標達成時	段階的	失敗時	他者体験/バーチャル
○	×	—	×	×	×	○

森ら [110] は、姿勢悪化を検出して音で通知する、姿勢改善支援システムを提案している（以下、姿勢改善支援システム）。加速度センサを身につけることでユーザの姿勢を検出し、姿勢が悪化した部位、方向、度合いに応じて音の種類や高低、テンポを変化させて通知して適切な姿勢修正を促す。

表 8.12 に姿勢改善支援システムと構成手法との比較を示す。このシステムの「(1) 目標設定」は姿勢を改善することであるが、具体的に達成すべきことが不明確である。改善案としては、正しい姿勢が一定時間以上保てることを目標とする、といったことが考えられる。「(2) ユーザに合わせた調節」については、ユーザが姿勢を保てなかった場合の調節はないため、改善案としては目標設定の時間を調節する、といったことが考えられる。「(3) フィードバック」については、姿勢悪化時、つまり「失敗」の状態が音の種類で分かるため、どこを改善すべきが分かる。一方で、段階的フィードバックと、達成時、つまり姿勢が改善したことに対するフィードバックはない。改善案としては、システムを使用したことによる姿勢の改善の可視化が考えられる。これにより、ユーザは日々の姿勢の改善を認識し、達成体験が得られる繋がる。「(4) 疑似体験」の提供もないため、改善としては、システムを使用したユーザの改善例の提示や、姿勢改善した際のユーザの姿勢をシミュレーションで提示する、といったことが考えられる。

Smart VideoCooking[40] は、レシピに動画や写真などを融合したマルチメディアレシピアプリである。レシピの中に出てくる切り方などの調理手順に関する用語をタップすると詳しい動

表 8.12: 姿勢改善支援システムと構成手法との比較

(1) 目標設定	(2) ユーザに合わせた調節		(3) フィードバック			(4) 疑似体験
	能力	身体状態	目標達成時	段階的	失敗時	他者体験/バーチャル
×	×	—	×	×	○	×

画を見ることができる (図 8.11)。

表 8.13 に Smart VideoCooKing と構成手法との比較を示す。このシステムの「(1) 目標設定」は、料理を完成させることである。このシステムも Shadow Cooking と同様に、調理したいレシピはユーザが自ら選択するため、目標を認識した上でシステムを使用していると言える。「(2) ユーザに合わせた調節」については、わからない単語を参照することができるため、ユーザの能力に合わせた調節ができていると言える。「(3) フィードバック」については、システム側のサポートはない。改善案としては、画面に表示されている手順が全体のうちのどの手順であるかを示すことで段階的フィードバックができる。達成時には参照した用語に基いて新しく学んだ単語を一覧したり、完成した料理の写真を自動記録して調理履歴を表示するなどのフィードバックが考えられる。また、調理手順で失敗を防止するために、火加減や混ぜ方など注意が必要な手順においては、レシピ上にアイコンや文字で注意喚起をするとともに、関連動画を紐付けることも有効であると考えられる。「(4) 疑似体験」については、他者の調理動画を参照できるため提供されていると言える。

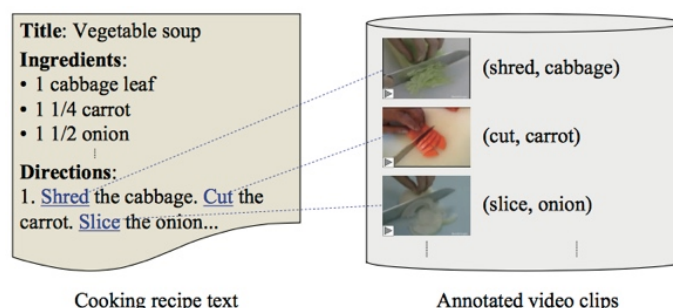


図 8.11: Smart VideoCooKing. Doman らの論文より抜粋 [40]

表 8.13: Smart VideoCooKing と構成手法との比較

(1) 目標設定	(2) ユーザに合わせた調節		(3) フィードバック			(4) 疑似体験
	能力	身体状態	目標達成時	段階的	失敗時	他者体験/バーチャル
○	○	—	×	×	×	○

双見ら [114] は、移動型カメラを用いたセルフヘアカット支援システムを提案している (以下、ヘアカット支援システム)。カットしたい部分に合わせてカメラの位置が自動で動き、ユーザはそ

の映像を見ながらセルフカットが行える（図 8.12）。

表 8.14 にセルフカット支援システムと構成手法との比較を示す。このシステムの「(1) 達成目標」は自分だけで上手くヘアカットを行うことである。しかし、具体的に目標とする具体的な髪型の設定はないため、ユーザがどのように切るべきか具体的なイメージを持つことができない。改善案としては、自分の髪質や長さに合わせて、目指す髪型を選択することが考えられる。「(2) ユーザに合わせた調節」はないため、目標の髪型に応じて切るべき場所のガイドを表示する、といった改善案も考えられる。「(3) フィードバック」はないため、(1) で提案した目標とする髪型に対して(2) で述べたように、ガイドに合わせてカットができているかどうかをフィードバックし、バランスが悪い場合には調節するためのアドバイスを提示する、といった改善が考えられる。「(4) 疑似体験」の提供もないため、カットをする前に目標とする髪型のヘアシミュレーションの機能を付けることが考えられる。また、このシステムはこれまで見たことがなく、使い方が想像できないことが予想されるため、他者がこのシステムを使用している映像を見せることも有効であると考えられる。

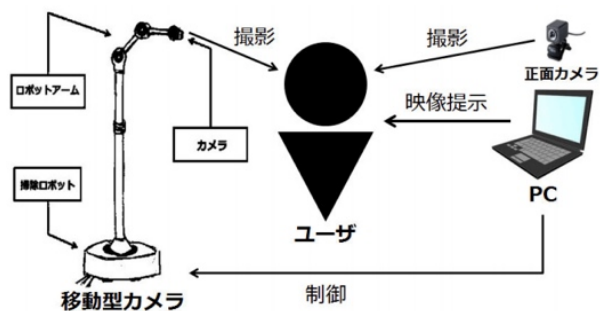


図 8.12: ヘアカット支援システム. 中野らの論文より抜粋 [114]

表 8.14: ヘアカット支援システムと構成手法との比較

(1) 目標設定	(2) ユーザに合わせた調節		(3) フィードバック			(4) 疑似体験
	能力	身体状態	目標達成時	段階的	失敗時	他者体験/バーチャル
×	×	—	×	×	×	×

8.2 まとめ

本章では、生活支援に関するシステムと構成手法を比較し、該当しない項目については改善方法を提案した。構成手法との比較により、既存システムにおける行動促進のための改善すべき点が明らかとなった。表 8.15 に、第 4~7 章で紹介したシステムと本章で紹介したシステムを 3 つのカテゴリ「運動支援」「技術習得支援」「生活支援」に分類し、構成手法と比較した表を一覧する。

表 8.15: 本論文で紹介したシステムと構成手法との比較一覧

カテゴリ	システム名	(1) 目標設定	(2) ユーザに合わせた調節		(3) フィードバック			(4) 疑似体験	
			能力	身体状態	目標達成時	段階的	失敗時	他者体験/バーチャル	
運動支援	何人何脚!?	△	×	×	○	×	×	△	
	大縄オーケストラ	△	×	△	○	△	×	△	
	スポコン	プレイヤー	×	△	○	△	△	×	△
		デザイナー	○	×	—	×	○	×	×
	Jogging over a distance	×	△	△	×	×	×	○	
	Augmented Dodgeball	○	○	△	○	○	×	○	
	心拍ボクシングシステム	○	×	○	○	○	×	×	
	ウォーキング支援システム	○	○	○	○	○	×	○	
技術習得支援	P.I.A.N.O.	○	○	—	×	○	○	○	
	ピアノ学習支援システム	○	○	—	×	×	○	○	
	切絵支援システム	○	×	—	×	○	○	○	
	文字バランス支援システム	○	○	—	○	×	×	○	
	個別指導支援	学習指導者	×	○	—	×	×	×	×
		学習者	○	○	—	○	○	○	×
	英会話支援システム	△	×	—	×	×	×	○	
生活支援	suGATALOG	○	×	—	△	○	×	○	
	Shadow Cooking	○	△	—	×	△	○	×	
	メイクアップ支援システム	○	×	—	×	×	×	○	
	姿勢改善支援システム	×	×	—	×	×	○	×	
	Smart VideoCooKing	○	○	—	×	×	×	○	
	ヘアカット支援システム	×	×	—	×	×	×	×	

○：該当、×：非該当、△：該当するが改善の余地あり、—：項目自体に該当しない

「(1) 目標設定」について、達成すべき目標が明確でないシステムは、具体的な目標設定に改善すべきことが分かった。また、明確な目標はあるものの、ユーザが認識できるように明示されていないシステムについては改善の余地があることが分かった。

「(2) ユーザに合わせた調節」のうちの「能力に合わせた調節」については、設定した目標に対して必要な能力に合わせた調節がシステム側、あるいはユーザ自らできないシステムは、改善が必要となることが分かった。「身体状態に合わせた調節」については、身体に負担のある運動支援システムで取り入れる必要のある項目であることが分かった。また、複数ユーザが対象となるシステムの場合は、それぞれの身体状態を考慮した調節ができるような改善の余地があることが分かった。

「(3) フィードバック」のうちの「目標達成時」については、目標設定に対して達成できたこと

を明示する項目であるため、目標設定が不明確なシステムと、達成を明示していないシステムについては改善する必要があることが分かった。「段階的」については、最終的なゴールまでの達成度合いが示されてないシステムについて改善が必要であることが分かった。「失敗時」については、失敗したことをフィードバックするだけでなく、どのように改善すべきかのアドバイスを提示、あるいは、励ましのメッセージの提示がないシステムについては改善が必要となる。

「(4) 疑似体験」のうちの「他者体験」については、他者への共有がないシステムあるいは不十分なシステムについては改善の余地があることが分かった。「バーチャル体験」については、シミュレーションや、本番前の練習ができるシステムは該当することが分かった。

第 9 章

考察と議論

本章では、ここまで紹介してきたケーススタディの内容を元に、提案した構成手法について考察と議論をする。構成手法の各要素に関する議論に加え、構成手法に関係するソーシャル性についてと、構成手法の制約について述べる。

9.1 構成手法の 4 要素に関する考察と議論

(1) 達成目標の設定

達成目標の設定については、ケーススタディを通して明らかとなった目標設定の方法と、ユーザが目標を認識するための手法について述べる。

まず、目標設定は対象となるユーザ毎に明確にする必要がある。スポコンや個別指導支援システム [117] は、対象ユーザの役割が異なるため、それぞれのユーザについて目標設定をし、残りの項目についても分けて考える。

これを踏まえた上で、達成目標の設定は、ユーザが具体的に達成すべきことが分かる具体的な内容となる必要がある。スポーツ支援システムについては、すべてのシステムの目的は「運動をすること」であるが、この目標では具体的にユーザは何を達成したら良いか不明確である。スポコンについては、デザイナーの達成目標は「プレイヤーの心拍数を一定範囲内に収める」こととなり、明確である。一方で、プレイヤーの目標は「より多くの点数を取る」ことで、具体的に何点取るべきであるかが分からないため、具体的な数値などを定める必要がある。Jogging over a distance[70]については、「ランニングする」ことが目的であるが、具体的な走る時間や距離などの設定がないため、達成目標は不明確である。個別指導支援システム [117] の学習指導者は「指導をする」、姿勢改善支援システム [110] は「姿勢を良くする」、ヘアカット支援システム [114] については「髪を切る」など、具体的に達成すべき指標がないものについては、「学習者の成績を上げる」「いい姿勢を 1 時間保つ」「この髪型にする」など、ユーザが達成すべき具体的な指標を示す必要がある。一方で、Augmented Dodgeball[76] と心拍ボクシングシステム [66] は、「勝敗」という明

確な達成目標がある。また、切絵支援システム [50] や、メイクアップ支援システム [111] などの具体的な課題となる絵や目標となるメイクの完成イメージが表示されるシステムについても明確な目標が提示されている。以上のように、「運動」のような抽象的な目的や、「姿勢を良くする」「髪を切る」などの具体的に達成内容が設定されていない目標については、具体的な指標を設定することで達成目標が明確になる。

次に、ユーザが目標を認識する手法について議論する。ユーザが目標を認識するためには、次の3種類の手法があることが明らかとなった。1つ目は目標を明示的に示すことである。心拍ボクシングシステム [66] は、倒す相手のライフポイントが表示されるためそれをゼロにすることが明らかである。切絵支援システム [50] や、文字バランス支援システム [120] や、メイクアップ支援システム [111] は、最終的な出来上がりの絵、文字、写真が表示されるため、完成形が明らかである。一方で、大縄オーケストラは、どの程度跳び続けたらゴールに到達するか表示されないため、初めて参加する際にはゴールが認識しにくい。2つ目は、ユーザ自身が目標を設定することである。例えば、ウォーキング支援システム [106] はユーザ自身が歩行数や体重を設定することで、ユーザが確実に目標を認識することができる。Shadow Cooking や、Smart VideoCooking[40] も、ユーザがレシピを選ぶため、ユーザは目標を認識した上でシステムを使用する。一方で、Jogging over a distance[70] や、ヘアカット支援システム [114] などの目標設定が不明確なシステムは、第8章で提案した通り、ユーザが目標設定することで認識可能となる。一方で、システム設計に取り込まなくていい例もある。suGATALOG は「服装を決定する」というユーザの目的と、システムでできることとが一致しているため、システム側で明示しなくても目標は明らかである。また、Augmented Dodgeball[76] は、ユーザが既存のドッジボールの方法を知っていることを前提としているため、より多くの得点を取って勝利する、という目標は既知である。以上のように、ユーザが目標を認識するためには、目標を明示するか、ユーザが設定することが有効である。一方で、システムを使用する前にユーザが目標を明確に分かっている場合には、システム設計に取り入れる必要はない。

ユーザが目標を設定するシステムの場合は、設定するためのヒントを提供することも重要である。例えば、ピアノ支援でユーザが曲を選択する際には、初心者のユーザが難易度の高い曲を知らずに選択してしまうと、難易度が合わず、達成しにくくなってしまふ。そのため、曲の難易度を事前に示してあげることでユーザは目標が設定しやすくなる。また、ランニング支援システムの場合は、初心者はどの程度走るのが適切であるか分からない。既に述べた Nike+ Run Club[13] のようにいくつかの質問に回答すると目標を提案してくれたり、3つの難易度から選択するなど、ユーザが選択しやすいような選択肢を与えることもヒントとなる。

(2) ユーザに合わせた調節

ケーススタディを通して明らかになった、「能力に合わせた調節」と「身体状態に合わせた調節」それぞれの調節するための手法と、課題について述べる。

まず、「能力に合わせた調節」は、「(1) 目標設定」を達成するためにユーザに必要となる能力を明確にすることで、調節する内容が明らかとなった。ピアノ学習支援システム [121] では、ピアノを演奏する能力が必要となり、ユーザは能力に合わせて目標設定ができるため、能力に合わせた調節が可能となっている。ウォーキング支援システム [106] は、歩く能力が必要となり、自分と近い能力のユーザをライバルに設定できるため、能力に合わせた調節が可能なシステムである。これらのシステム事例が示すように、能力に合わせた調節は、目標設定とセットとなる場合もある。一方で、システムのルールの設定上、能力に合わせた調節ができない場合もある。何人何脚!?では、他のプレイヤーと足踏みのタイミングを合わせる能力が必要となるが、タイミングを合わせることができないプレイヤーに対する支援がない。改善案として、ユーザごとに好きな速度で足踏みをする、ということも考えられるが、ルールそのものが変わってしまう。そのため、第4章で提案したように、ルールを変えずに調節を行うためには、足踏みのタイミングをアドバイスする、という「(3) フィードバック」の中の失敗時のアドバイスと組み合わせる手法が考えられる。

次に、「身体状態に合わせた調節」については、運動システムのような身体への負担が大きい行動支援システムにおいて考慮する必要があることが分かった。スポコンと心拍ボクシング [66] は、心拍数に応じて、運動強度を調節することで、身体状態への負担を制御している。大縄オーケストラは、ユーザが好きなタイミングで離脱と参加ができるため、ユーザが自ら身体状態に合わせた調節ができる。一方で、何人何脚!?は途中で抜けにくい設計になっているため、調節がしづらい。また、Jogging over a distance は心拍数を活用しているものの、パートナーに引っ張られて心拍数が目標の値が高すぎたり低すぎたりしてしまう可能性があるため、改善の余地がある。また、身体への痛みの中には Augmented Dodgeball [76] のように、ボールが当たる、というルール上避けられないものもある。ボールをバーチャルにするといった手法もあるが、ドッジボールとは全く異なるスポーツになってしまう。自己効力感「心身状態」よりも「達成体験」と「代理体験」の方が影響力が強いため、避けられない痛みがある行動の場合には、難易度調節による達成体験や、フィードバックの提供による精神状態の向上の要素を取り入れることで、痛みによる心身状態の低下を緩和することが有効となると考える。

続いて、両方の調節の手法について述べる。いずれの調節も、ユーザが自ら調節する場合と、ユーザ以外が調節する場合とがある。ピアノ学習支援システム [121]、ウォーキング支援システム [106] などは、ユーザが自ら目標や難易度を選べる。こういったシステムは、システム側で能力の把握ができないような支援にも適用することができる。一方で、心拍ボクシング [66] は、ユーザは自らのレベルが分からない状態でもシステムが自動的に調節してくれる。スポコンは、これらの特徴を掛け合わせたシステムで、人間がセンサとなってユーザの身体に合わせた調節を行う。システム側が自動で調節を行うと、ユーザが自分自身の能力や体力を把握しなくてもいいため、ユーザの利点が大きいが、そのためには技術的な課題と、ユーザ体験への影響がある。技術的な課題については、例えば、ヘアカット支援システム [114] においては、ユーザが目標とする髪型にカットができるようにするためには、髪の状態、ユーザの動き、ハサミの角度など複雑に絡み合う要

素を踏まえて、システムがユーザに伝わるように提示して支援する、といったことが考えられるが、実現は容易ではない。ユーザ体験への影響については、例えば、ピアノ学習支援システムの調節を自動的に行うためには、ユーザが曲を弾きながら、システム側がユーザの能力に適した楽曲を提示する、ということも考えられるが、これを行うとユーザの課題曲が途中で変わってしまい、気持ちよく楽曲を弾くことができなくなる。

(3) フィードバックの提供

フィードバックに関連するゲーミフィケーションとの関係性についての議論と、ケーススタディを通して明らかになったフィードバック手法、研究の余地について議論する。

フィードバックは、第1章で紹介した「ゲーミフィケーション」の要素が大きく関係する項目である。Werbachら [93] は、ゲーミフィケーションの最も一般的な要素はポイント、バッジ、リーダーボードの3つであると述べている。1つ目の「ポイント」は、「効果に対するスコアを効果的に記録することによるフィードバック」である。これは進捗を明示的に示すことができ、勝敗もここに含まれる。例えば、スポコンは、進捗を示す段階的フィードバックにポイントを活用している。2つ目の「バッジ」は「ユーザが取り組む目標のことで、ユーザができることのガイダンス」である。例えば、suGATALOGの改善案として述べた、記録日数やコーディネート日数を可視化する、という提案はこれに当たる。3つ目の「リーダーボード」は他者と比較したときの立ち位置を示すものである。例えば、スポコンの最終スコアをランキングにして示すことで、他者と比較したときの自分の立ち位置を知ることができるだろう。しかし、ランキングを示すだけだと、ランクが低かった場合、失敗体験に繋がってしまう。そのため、達成体験の提供のために、例えば、スコアのみでのランキングにするのではなく、加点アイテムを獲得した個数や、適正な心拍範囲に入っていた時間など、複数の指標を用いたり、最も素早い動きをした瞬間のスクリーンショットを表示するなど、ユーザの成果が出たところをフィードバックすることが考えられる。あるいは、ランキングが低かった場合にも、改善するためのアドバイスの提案や、励ましのメッセージの表示などは心身状態の低下にも繋がる。このように、ゲーミフィケーションの要素は、達成時、段階的、失敗時それぞれのフィードバックに含まれるが、本研究においては段階的フィードバックや、失敗時のアドバイスおよび励ましといった、失敗体験と心身状態低下の防止を行うことが重要である。

フィードバックには上記の事例のような可視化をするという手法以外にも、音や触覚などさまざまな手法がある。例えば、紹介した姿勢支援システム [110] は音のフィードバックにより姿勢矯正を促しているが、振動を用いたシステム [59] や、ディスプレイへのポップアップを用いたシステム [60] などもある。Hallerら [45] はフィードバックの比較実験で、ユーザが感じる煩わしさは物理的アバタ、画面への表示、振動の順で低いと述べている。これらはすべて姿勢を支援することを目的としたシステムであるが、使用するシチュエーション、重視するユーザ体験によって異なるため、システム毎の検討と評価が必要となる。

失敗時のアドバイスについては、研究の余地のある領域である。アドバイスのためには次の3つの要素、(1) 失敗をシステム側が認識するための技術と、(2) アドバイスするための情報源と、(3) 有効なフィードバック手法、が必要となる。例えば、suGATALOG では失敗時のアドバイスとして、服の写真に応じた色や組み合わせをシステムが提案する、という改善案を示したが、これには(1) ユーザの着用している服の形状や色の画像処理により認識をした上で、(2) 「大きめのトップスには短いスカートやタイトなパンツが合う」「ピンクのトップスにはグレーが合う」などのアドバイスのモデルとなる情報源が必要となり、(3) それをイラストで示すのか、他者が着用している服の写真で示すのか、ユーザが改善しやすい有効なフィードバックをおこなう必要がある。あるいは、テニスなどのスポーツを上達を目的としたシステムの場合は、例えば(1) ユーザのラケットの握り方や重心のかけ方などをセンサーや画像解析などで計測し、(2) どこに力を入れるべきか、どのようなフォームがいいか、といったプロのテニスプレイヤーのアドバイスを数値化し、(3) 直接ユーザの腕に振動を与えたり、シミュレーション動画を見せたりする、といった手法でユーザにフィードバックすることが考えられる。以上の例が示すように、目的に応じた技術と、アドバイスのための情報源がない場合には、新たな開発や蓄積が必要となる。

(4) 疑似体験の提供

ケーススタディから明らかとなった「他者体験」と「バーチャル体験」それぞれの手法について考察する。

「他者体験」を設計する際には、モデルとなる人物は出来る限り身近な人や、能力が近い人であることが望ましい。ウォーキング支援システム [106] における SNS 上のライバルは、自分の近い能力や目標を持つ人を選択することができるため、明示的に能力の近い人をモデルにすることができる。あるいは、大縄オーケストラや、Augmented Dodgeball[76] のように、プレイをする前に他者の体験を見ることができるシステムは、対象となるユーザの幅を広くすることで、より幅広い世代が代理体験しやすくなる。このような観客がいるシステムでは、見ているだけでも理解可能なルールや、観客が見やすい設計にすることも代理体験がしやすくなる要素と考える。また、SNS などで他者の体験を共有する際にはプライバシーの考慮も必要である。他者に共有する際には匿名性を保つことや、知人同士の繋がりであっても、どのような情報が他者に共有されるのかをユーザが明確に認識できるようにすることで、安心してシステムを使用することができ、心身状態の低下の防止に繋がる。

「バーチャル体験」の手法としては、シミュレーションと、本番前の練習、の2種類があることが明らかとなった。シミュレーションの例としては、suGATALOG、メイクアップ支援 [111]、ピアノ学習支援システム [121] が挙げられる。suGATALOG は、実際の服に着替える前に、システム上で服の組み合わせのシミュレーションが行える。メイクアップ支援も、メイクをする前に、完成イメージをシミュレーションすることができる。ピアノ学習支援システムでは、ある程度の打鍵ミスを許容して、スムーズに演奏をする体験ができる。本番前の練習については、P.I.A.N.O.[89]

における Practice モードが相当する。また、大縄オーケストラでは、練習モードの提供はしていないが、実験でシステムの外で練習をする参加者が複数見られた。こういった単純な動作のシステムの場合には、周囲で練習ができることを知らせる、といった練習の方法の提示だけでも「本番前の練習」が可能である。

9.2 ソーシャル性

4つの構成手法の要素以外に行動促進に影響を与える可能性のある「ソーシャル性」について議論する。大縄オーケストラの実験では、目標達成時に「おめでとう」といった声かけや、ハイタッチなど、他者とのコミュニケーションが観察された。スポコンの実験でも、デザイナーがプレイヤーを応援したり、アドバイスをする場面が観察された。また、Jogging over a distance[70] や、ウォーキング支援システム [106] では、他者との仲間意識や競争といったソーシャル性を生み出している。自己効力感に関する研究でも、治療中の患者に対して電話で励ましたり [31]、学習者に対して事前に「君には解くことが出ている」と伝えたり [80]、行動した結果に対して言葉でフィードバックする [79]、といった他者からの声かけは言語的説得や、心身状態の向上に寄与していることが明らかとなっている。

しかし、ソーシャル性には2つの懸念点がある。1つ目は、自己効力感を低下させるリスクである。他者との競争やランク付けは敗北した際に失敗体験と、心身状態の低下に繋がる。そのため、「(3) フィードバックの提供について」で述べたように、他者との勝敗やランク付けなどの他者との比較がある場合には、段階的フィードバックと失敗時の励ましの要素を付加することで、自己効力感の低下を緩和されると考える。2つ目は、不安定かつ不確実な要素である、という点である。人からのフィードバックは得られるかどうかが不確実で、内容もポジティブなものとは限らない。また、一緒に人からのフィードバックがポジティブに働くかどうかはその人との関係も影響する。このように、ソーシャル性は不安定かつ不確実な要素であるため、本研究の構成手法の要素には入れていない。しかし、ソーシャル性を取り入れることは他の研究が示しているように、自己効力感の向上にも寄与するため、付加する要素としては効果的であると考えられる。

9.3 本構成手法の制約

最後に、構成手法の制約について述べる。本研究は、心身状態と密接に関わる自己効力感と、インタラクティブシステムの3つの特徴「ユーザのセンシング」「ユーザへのリアルタイムフィードバック」「ユーザに合わせたリアルタイムな調節」を活かした設計を元に行っているため、以下のようにユーザへの負荷の心身負荷の高い目標やシステムで支援できない内容は適さない。

心身への負荷が高い目標：「1週間で体重を10kg落とす」「1週間で偏差値を30上げる」といった短期的に急激な変化や成長をもたらす内容は心身に大きな負担をかけることになるため本構成

手法には適さない。ただし、このような目標は、期間あるいは最終成果をユーザに合わせて調節することができれば、構成手法に適用をすることができるようになる。例えば、体重を落とすことが目的である場合は、ユーザの現在の体重、年齢などに応じて期間や目標設定をすることで心身への負担が軽減する。

具体性がない目標：「お金持ちになる」「賢くなる」といった漠然とした目標は、システムで計測すべきことや、フィードバックすべきことが不明確であるため、インタラクティブシステムへの適用ができない。これらを構成手法へ適用するためには、例えば「給与の高い会社で働くために資格を取得する」「賢くなるために毎週本を1冊読む」といったように目標を詳細化し、システムが計測できる形に変換することが必要となる。

外的な報酬となる目標：「上司から褒められる」「給与を上げてもらう」といった、他者からのフィードバックが目的となる目標は、外発的動機づけに繋がりがやすいため、継続的な行動を目的としている場合には適さない。また、他者からの結果が目標となると、システム側から達成に対するフィードバックができない。こういった目標も、前項目のように詳細化し、システムがフィードバック可能な内的な報酬に落とし込むことで、本構成手法が適用できるようになる。

以上のように、本研究の構成手法を適用するためには、心身状態への負荷の考慮と、インタラクティブシステムに適用ができる形への細分化が必要となる。

また、個別のシステム設計については、検証が必要となる。本構成手法は、行動支援システムを設計する際に活用することを想定している。システム設計者は、支援内容に合わせて各項目を設計し、数あるセンシング手法やフィードバック手法の中からより効果的なものを選択する必要がある。効果のある選択は、目的や使用する状況、重視するユーザ体験によって異なるため、個別な設計と検証が必要となる。本博論のケーススタディは選択の際の参考になると考える。

第 10 章

結論

本論文では、ユーザの行動促進のためのインタラクティブシステムの構成手法を提案し、さまざまな行動支援システムのケーススタディを示した。人の行動のメカニズムは、心理学の分野で長年研究され、その中でも、安定的かつ継続的な行動促進に影響を与える内発的動機づけと、内発的動機づけに繋がる自己効力感の高まりが影響することが明らかにされてきた。従来、自己効力感とは臨床の現場での活用や、自己効力感の変容の考察など、専門家による活用に留まっていた。情報科学の分野においてはシステムの評価や考察に活用されてきたが、情報システム全体の構成手法として体系的にまとめられていなかった。本研究では、自己効力感の概念を、「ユーザのセンシング」「ユーザへのリアルタイムフィードバック」「ユーザに合わせたリアルタイムな調節」という特徴を持つインタラクティブシステムに適用することで、人間の行動を支援するためのシステム設計の体系的な構成手法を導き出した。本構成手法は、従来のユーザインタフェース研究のように、ユーザの行動そのものの支援だけでなく、行動前と行動後を含めた体験を含めた体験を支援することで、ユーザの継続的な行動促進のサイクルを生み出すことを目的としている。以下に、構成手法の要点と、残された課題、そして今後の展望についてまとめる。

構成手法の各要素の要点

インタラクティブシステムの特徴と、自己効力感に影響を与える情報源を踏まえて、行動促進のためのインタラクティブシステムの構成手法の4要素「(1) 達成目標の設定」「(2) ユーザに合わせた調節」「(3) フィードバックの提供」「(4) 疑似体験の提供」を示した。ケーススタディにより、各要素の重要な点が以下の通り明らかとなった。

(1) 達成目標の設定

- 「結果予期」と「達成体験」に繋がる
- 対象ユーザ毎に設定する

- 具体的で明確な目標にする
- ユーザが認識できるようにする
- ユーザが設定をする場合はヒントを提供する
- 外的な報酬を目標としない

(2) ユーザに合わせた調節

- 「達成体験」と「ポジティブな心身状態」に繋がる
- ユーザの能力と身体状態に合わせて調節する
- 調節する能力は目標に合わせて設定する
- 身体状態は身体に負荷のある行動のみ調節する
- ユーザが選択する手法とシステムが自動調節する手法とがある

(3) フィードバックの提供

- 「達成体験」と「言語的説得」と「ポジティブな心身状態」に繋がる
- フィードバックは目標達成時、段階的、失敗時に提供する
- ゲーミフィケーション要素を有効に活用する
- シチュエーションやユーザ体験に合わせたフィードバック手法を選定する

(4) 疑似体験の提供

- 「達成体験」と「代理体験」に繋がる
- 他者体験の見聞き、バーチャル体験のいずれかを提供する
- ユーザ自身ができると感じられる体験を提供する
- 他者体験は、出来る限り能力や関係が近い人のものを提供する
- 他者体験の共有はプライバシーを配慮する
- バーチャル体験はユーザが容易に達成可能なものを提供する

今後の課題と展望

ケーススタディにより、3つの課題と研究の余地が残されていることが明らかとなった。1つ目は、ユーザの状態と能力を把握するための技術的課題である。ユーザの状態把握はセンシングや解析技術に依存するため、適した技術がない場合には新たな開発、あるいは代替手段での対応が必要となる。例えば、ユーザの動きについては、モーションキャプチャの技術により人間の詳細な動きが把握できるようになった。さらに、Microsoft社のKinectにより、安価でかつ容易な実装が可能となった。また、Qoncept社の機械学習と特徴量抽出アルゴリズムを用いたトラッキングシステムQoncept 4D Tracker[15]は、従来の計算量の多い大掛かりでかつ高額なシステムと比べて、手に入りやすい機材を使用することで手軽でかつ安価に実現している。このように、センシング技術の向上に加え、扱いやすさや、低価格化も技術の発展に寄与する。

2つ目は、ユーザの状態と能力に応じた調節に関する研究の余地である。ユーザの能力に合わせた難易度の調節はAI（人工知能）の分野においても大きな研究テーマの一つでもあり、AIで調節可能な範囲は拡大してきている。一方で、スポコンのようにコンピュータと人間の能力を融合することも解決手段の一つである。Amazon Mechanical Turk[2]やHaptic Turk[36]は、コンピュータが得意とすることと人間が得意とすることをかけ合わせることで、互いの強みを活かしたサービスや体験を提供している。このように、AIの研究発展も本研究の精度の向上に繋がる。

3つ目は、失敗時のアドバイスのためのモデルとなる情報の形式知化である。システムがユーザに対してアドバイスを提供するためには、アドバイスの元となるの情報の情報をシステムが保有し、適切な形で提供する必要がある。例えば、大縄オーケストラにおいてはジャンプするタイミングのアドバイスをを行う、という改善案を提案した。これはシステムがジャンプすべきタイミングを制御しているため提供が可能なアドバイスである。英会話支援システムでは、発話すべきタイミングをシステムが持っているため、ユーザにもそのタイミングを知らせることができる。しかし、まだコンピュータや人間が理解できるような文字や数値になっていない知識や身体動作、つまり暗黙知は、形式知化する必要がある。こういった情報の形式知化は、高齢化社会や若者の製造業離れといった社会課題の解決のためにも取り組まれている研究テーマの一つであるが、その分野での成果は本研究にも活かすことができる。また、情報の形式知化と、失敗時のアドバイスは、セットで考えることも重要であると考え。例えば、料理においては、混ぜ方、火加減、キッチンでの立ち位置、道具の配置場所など、熟練者が無意識のうちに実行しているノウハウがある。こういった暗黙知をシステム側で形式知化するシステムと、その情報を活用して、例えば熟練者の立ち位置や道具の場所を影で示すというシステムを一体にすることで、情報の蓄積と活用が同時に行えるようになるだろう。

以上のように、本博士論文で示した行動支援のためのインタラクティブシステムの構成手法は、他の研究分野の発展や、技術の進歩に伴い、共に発展することが期待できる。本研究により人間の行動を促進することで、人類の健康、能力向上、目標達成に貢献すると考える。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、本当に多くの方々に支えていただきました。この場を借りて感謝を申し上げます。

まずは、在学時だけでなく私が社会人になってからも、お忙しい中お時間をいただきご指導をいただきました東京大学大学院情報学環 暦本純一教授に心より感謝を申し上げます。研究に対してのみならず、私生活においても好奇心を持ち輝いている姿に、研究者としてだけでなく、一人の人間としても多くのことを学ばせていただきました。本研究を無事にまとめ上げることができたのは、先生から頂いたご助言、ご指導のおかげです。

東京大学大学院情報学環 越塚登教授、中尾彰宏教授、お茶の水女子大学 椎尾一郎教授、東京工業大学 小池英樹教授には、審査を通して多くの貴重なご意見をいただきました。深く感謝いたします。

安村通晃教授とは慶應義塾大学環境情報学部の2年生のときに出会い、HCIの世界に入るきっかけとなりました。おかげで、私はこの世界に魅了され、博士課程まで研究をするに至りました。出会えたことを感謝いたします。慶應義塾大学在学中には樋口文人博士に suGATALOG の評価実験に関しましてご助言をいただきました。感謝申し上げます。同じく慶應義塾大学で出会った渡邊恵太氏は当時、私が初めて出会った博士課程の学生でした。大学院のときには五十嵐 ERATO にて研究補助員として一緒に働かせていただきました。私の博士課程に在学中には、研究の社会実装をするべく一緒に起業をするに至りました。これからも一緒にチャレンジをし続けたいと思っていますので、引き続きどうぞ宜しくお願いします。

お茶の水女子大学大学院では椎尾一郎教授のもとで、研究のご指導をいただきました。先生のお人柄、研究室の楽しい雰囲気のお陰で、充実した大学院生活を送ることができました。御礼申し上げます。椎尾研究室では、生涯の親友となる横窪安奈氏と出会いました。私が博士課程に進学することになったときに応援をしてくれ、社会人になってから博士論文の執筆が思うように進まない私を心から励ましてくれました。私がここまで諦めずに博士論文を書ききることができたのは安奈氏のおかげです。心から感謝します。

暦本研究室の皆様には修士課程のときから在学中、そして単位取得退学後も、日々の研究の助言のみならず、合宿やイベント、私生活においても刺激的で楽しい時間を一緒に過ごさせていただきました。女性が少ない中、辻田眸博士、中村裕美博士との日々の会話は心の支えとなりまし

た。また、社会人でありながら博士号を取得した三澤加奈博士の姿には励まされました。先輩である石黒祥生氏には、本博士論文執筆にあたってご助言をいただきました。後輩の喜多唯氏とは、料理という類似した研究テーマを持ち、多くの有益な議論をさせていただきました。さらに、社会に出てからも活躍している後輩、同期、先輩の姿には日々、刺激を受けております。心から感謝申し上げます。

株式会社 QUANTUM 代表取締役副社長 及部智仁氏には、私が入社する前から博士号を取ることに理解を示し応援をしていただきました。代表取締役社長兼 CEO 高松充氏、常務取締役兼 COO 伊東和弘氏、新倉史子氏を始めとした QUANTUM の皆様は、仕事と研究の両立に苦しむ私を応援し、優しい言葉をかけてくださいました。心より感謝申し上げます。

夫でもあり、開発仲間でもある村田佑介氏には、研究において実験に協力していただいたり、論文の相談にのっていただいただけでなく、日々の生活と心のサポートをしていただきました。夫の支えがなければ、この論文の完成はさらに辛くて困難なものになっただろうと感じています。本当にありがとうございました。

本研究の遂行にあたりご協力いただいた皆様、研究を応援してくれた友人の皆様に感謝を申し上げます。なお、本研究の一部は、未踏 IT 人材発掘・育成事業、日本学術振興会特別研究員奨励費の支援を受けました。深く感謝申し上げます。

最後に、私を産み育て、博士課程まで進学をさせてくれた両親と、私が理系に進むきっかけを与えてくれた姉に、心から感謝します。

参考文献

- [1] Amazon Echo, https://www.amazon.co.jp/dp/b071zf5kcm/ref=famstripe_rad.
- [2] Amazon Mechanical Turk, <https://aws.amazon.com/jp/mturk/>.
- [3] Cookpad, <https://cookpad.com/>.
- [4] cookpad video, <https://cookpad-video.jp/>.
- [5] #denkimeter, <http://www.denkimeter.com/>.
- [6] Exercisefriends.com, <http://exercisefriends.com/>.
- [7] Gainer, <http://gainer.cc/>.
- [8] Google Home, https://store.google.com/product/google_home?hl=ja.
- [9] HADO, <http://meleap.com/>.
- [10] kurashiru, <https://www.kurashiru.com/>.
- [11] LIKE A GLOBE, <http://likeaglove.me/>.
- [12] Mystylist(マイスタイリスト), <http://www.jp.playstation.com/scej/title/mystylist/>.
- [13] Nike + run club, <https://www.nike.com/jp/ja-jp/c/running/nike-run-club>.
- [14] Prevalence of insufficient physical activity among adults - data by country, <http://apps.who.int/gho/data/node.main.a893?lang=en>.
- [15] Qconcept 4D Tracker, <http://qconcept.co.jp/ja/technology.html>.
- [16] The webcam social shopper, <http://webcamsocialshopper.com/>.
- [17] Workout buddies, <https://www.workoutbuddies.com/>.
- [18] XZ(クローゼット), <https://itunes.apple.com/jp/app/xz-クローゼット/id909369654?mt=8>.

- [19] ZOZOSUIT, <http://zozo.jp/zozosuit/>.
- [20] みんなチャレ, <https://minchalle.com/>.
- [21] スポーツ庁「スポーツの実施状況等に関する世論調査（平成 28 年 11 月調査）」, http://www.mext.go.jp/sports/b_menu/toukei/chousa04/sports/1381922.htm.
- [22] ファッションコーディネート IQON[アイコン], <https://itunes.apple.com/jp/app/fasshonkodineto-iqon-aikon/id497264307?mt=8>.
- [23] 厚生労働省「休養・こころの健康づくり中間報告案」, http://www1.mhlw.go.jp/topics/kenko21_11/b3.html.
- [24] 厚生労働省「健康づくりのための身体活動基準・指針」, http://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunit suite/bunya/kenkou_iryuu/kenkou/undou/index.html.
- [25] 厚生労働省「平成 26 年国民健康・栄養調査報告」, <http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/eiyuu/h26-houkoku.html>.
- [26] 国立研究開発法人 国立がん研究センター「身体活動量と死亡との関連について」, <http://epi.ncc.go.jp/jphc/outcome/320.html>.
- [27] 日本健康運動研究所. <http://www.jhei.net/exer/walking/wa02.html>.
- [28] 文部科学省「スポーツ振興基本計画」, http://www.mext.go.jp/a_menu/sports/plan/06031014.htm.
- [29] 文部科学省「子供の体力の低下の原因」. http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/gijiroku/attach/1344534.htm.
- [30] Miru Ahn, Sungwon Peter Choe, Sungjun Kwon, Byunglim Park, Taiwoo Park, Soho Cho, Jaesang Park, Yunseok Rhee, and Junehwa Song. Swan boat: Pervasive social game to enhance treadmill running. In *Proceedings of the 17th ACM International Conference on Multimedia*, MM '09, pp. 997–998, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [31] JK Allen, DM Becker, and RT Swank. Factors related to functional status after coronary artery bypass surgery. *Heart & lung : the journal of critical care*, Vol. 19, No. 4, pp. 337–343, July 1990.
- [32] Albert Bandura. *Self-Efficacy in Changing Societies*. Cambridge University Press, 1997.
- [33] Albert Bandura and Dale Schunk. Cultivating competence, self-efficacy, and intrinsic interest through proximal self-motivation. *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 41, No. 3, pp. 586 – 598, 1981.

- [34] David Baraff and Andrew Witkin. Large steps in cloth simulation. In *Proceedings of the 25th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, SIGGRAPH '98*, pp. 43–54, New York, NY, USA, 1998. ACM.
- [35] Fabio Buttussi, Luca Chittaro, Roberto Ranon, and Alessandro Verona. Adaptation of graphics and gameplay in fitness games by exploiting motion and physiological sensors. In *Proceedings of the 8th International Symposium on Smart Graphics, SG '07*, pp. 85–96, Berlin, Heidelberg, 2007. Springer-Verlag.
- [36] Lung-Pan Cheng, Patrick Lühne, Pedro Lopes, Christoph Sterz, and Patrick Baudisch. Haptic turk: A motion platform based on people. In *Proceedings of the 32Nd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '14*, pp. 3463–3472, New York, NY, USA, 2014. ACM.
- [37] James Clawson, Jessica A. Pater, Andrew D. Miller, Elizabeth D. Mynatt, and Lena Manykina. No longer wearing: Investigating the abandonment of personal health-tracking technologies on craigslist. In *Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing, UbiComp '15*, pp. 647–658, New York, NY, USA, 2015. ACM.
- [38] Frederic Cordier and Nadia Magnenat-Thalmann. A data-driven approach for real-time clothes simulation. In *Proceedings of the Computer Graphics and Applications, 12th Pacific Conference, PG '04*, pp. 257–266, Washington, DC, USA, 2004. IEEE Computer Society.
- [39] John Dickinson. Retention of intentional and incidental motor learning. *Research Quarterly. American Alliance for Health, Physical Education and Recreation*, Vol. 49, No. 4, pp. 437–441, 1978.
- [40] Keisuke Doman, Cheng Ying Kuai, Tomokazu Takahashi, Ichiro Ide, and Hiroshi Murase. Smart videocooking: A multimedia cooking recipe browsing application on portable devices. In *Proceedings of the 20th ACM International Conference on Multimedia, MM '12*, pp. 1267–1268, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [41] Hauck WW Shinn JA Sparacino PA Tompkins C. Gilliss CL1, Gortner SR. A randomized clinical trial of nursing care for recovery from cardiac surgery. *Heart & lung : the journal of critical care*, Vol. 22, No. 2, pp. 123–133, Mar 1993.
- [42] Nielsen Norman Group. 10 usability heuristics for user interface design, <https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>.

- [43] Sida Gu, Xiaoqiang Liu, Lizhi Cai, and Jie Shen. Fashion coordinates recommendation based on user behavior and visual clothing style. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Communication and Information Processing, ICCIP '17*, pp. 185–189, New York, NY, USA, 2017. ACM.
- [44] M Gulanick. Is phase 2 cardiac rehabilitation necessary for early recovery of patients with cardiac disease? a randomized, controlled study. *Heart & lung : the journal of critical care*, Vol. 20, No. 1, pp. 9–15, 02 1991.
- [45] Michael Haller, Christoph Richter, Peter Brandl, Sabine Gross, Gerold Schossleitner, Andreas Schrempf, Hideaki Nii, Maki Sugimoto, and Masahiko Inami. Finding the right way for interrupting people improving their sitting posture. In *Human-Computer Interaction – INTERACT 2011*, pp. 1–17, Berlin, Heidelberg, 2011. Springer Berlin Heidelberg.
- [46] Reiko Hamada, Jun Okabe, Ichiro Ide, Shin'ichi Satoh, Shuichi Sakai, and Hidehiko Tanaka. Cooking navi: Assistant for daily cooking in kitchen. In *Proceedings of the 13th Annual ACM International Conference on Multimedia, MULTIMEDIA '05*, pp. 371–374, New York, NY, USA, 2005. ACM.
- [47] Daniel Harrison, Paul Marshall, Nadia Bianchi-Berthouze, and Jon Bird. Activity tracking: Barriers, workarounds and customisation. In *Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing, UbiComp '15*, pp. 617–621, New York, NY, USA, 2015. ACM.
- [48] Yasuyuki Hayashi and Soh Masuko. Ategau: Projector-based online fashion coordination system. In *CHI '13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '13*, pp. 973–978, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [49] Adam Heenan and Nikolaus F. Troje. Both physical exercise and progressive muscle relaxation reduce the facing-the-viewer bias in biological motion perception. *PLOS ONE*, Vol. 9, No. 7, pp. 1–12, 07 2014.
- [50] Takafumi Higashi and Hideaki Kanai. Stylus knife for paper-cutting: A system for controlling a knife. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '17*, pp. 2638–2645, New York, NY, USA, 2017. ACM.
- [51] Keita Higuchi, Tetsuro Shimada, and Jun Rekimoto. Flying sports assistant: External visual imagery representation for sports training. In *Proceedings of the 2Nd Augmented Human International Conference, AH '11*, pp. 7:1–7:4, New York, NY, USA, 2011. ACM.

- [52] Koji Tsukada Hitomi Tsujita, Keisuke Kambara and Itiro Siio. Last-minute coordinator: Fashion coordination system using logs. In *Adjunct Proceedings of Ubicomp 2009*, pp. 208–209, 2009.
- [53] Clare J. Hooper, Anne Preston, Madeline Balaam, Paul Seedhouse, Daniel Jackson, Cuong Pham, Cassim Ladha, Karim Ladha, Thomas Plötz, and Patrick Olivier. The french kitchen: Task-based learning in an instrumented kitchen. In *Proceedings of the 2012 ACM Conference on Ubiquitous Computing, UbiComp '12*, pp. 193–202, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [54] Mads Møller Jensen, Majken K. Rasmussen, Florian "Floyd" Mueller, and Kaj Grønbaek. Keepin' it real: Challenges when designing sports-training games. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '15*, pp. 2003–2012, New York, NY, USA, 2015. ACM.
- [55] Wendy Ju, Rebecca Hurwitz, Tilke Judd, and Bonny Lee. Counteractive: An interactive cookbook for the kitchen counter. In *CHI '01 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '01*, pp. 269–270, New York, NY, USA, 2001. ACM.
- [56] Azusa Kadomura, Akira Matsuda, and Jun Rekimoto. Casper: A haptic enhanced telepresence exercise system for elderly people. In *Proceedings of the 7th Augmented Human International Conference 2016, AH '16*, pp. 2:1–2:8, New York, NY, USA, 2016. ACM.
- [57] Mallory Ketcheson, Zi Ye, and T.C. Nicholas Graham. Designing for exertion: How heart-rate power-ups increase physical activity in exergames. In *Proceedings of the 2015 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play, CHI PLAY '15*, pp. 79–89, New York, NY, USA, 2015. ACM.
- [58] Eng Tat Khoo, Shang Ping Lee, Adrian David Cheok, Sameera Kodagoda, Yu Zhou, and Gin Siong Toh. Age invaders: Social and physical inter-generational family entertainment. In *CHI '06 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '06*, pp. 243–246, New York, NY, USA, 2006. ACM.
- [59] Rushil Khurana, Elena Marinelli, Tulika Saraf, and Shan Li. Neckgraffe: A postural awareness system. In *CHI '14 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '14*, pp. 227–232, New York, NY, USA, 2014. ACM.
- [60] Joohee Kim, Na Hyeon Lee, Byung-Chull Bae, and Jun Dong Cho. A feedback system for the prevention of forward head posture in sedentary work environments. In *Proceedings*

- of the 2016 ACM Conference Companion Publication on Designing Interactive Systems, DIS '16 Companion, pp. 161–164, New York, NY, USA, 2016. ACM.
- [61] Yui Kita and Jun Rekimoto. Thermal visualization on cooking. In *2013 23rd International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT)*, pp. 92–96, Dec 2013.
- [62] Myron W. Krueger, Thomas Gionfriddo, and Katrin Hinrichsen. Videoplace—an artificial reality. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '85, pp. 35–40, New York, NY, USA, 1985. ACM.
- [63] Amanda Lazar, Christian Koehler, Joshua Tanenbaum, and David H. Nguyen. Why we use and abandon smart devices. In *Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, UbiComp '15, pp. 635–646, New York, NY, USA, 2015. ACM.
- [64] Jinna Lei, Xiaofeng Ren, and Dieter Fox. Fine-grained kitchen activity recognition using rgb-d. In *Proceedings of the 2012 ACM Conference on Ubiquitous Computing*, UbiComp '12, pp. 208–211, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [65] Mark R. Lepper, David Greene, and Richard E. Nisbett. Undermining children’s intrinsic interest with extrinsic reward: A test of the “overjustification” hypothesis. In *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 28, pp. 129–137, 1973.
- [66] Soh Masuko and Junichi Hoshino. A fitness game reflecting heart rate. In *Proceedings of the 2006 ACM SIGCHI International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, ACE '06, New York, NY, USA, 2006. ACM.
- [67] Nobuyuki Matsushita and Jun Rekimoto. Holowall: Designing a finger, hand, body, and object sensitive wall. In *Proceedings of the 10th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '97, pp. 209–210, New York, NY, USA, 1997. ACM.
- [68] Florian 'Floyd' Mueller, Stefan Agamanolis, Frank Vetere, and Martin R. Gibbs. Remote impact: Shadowboxing over a distance. In *ACM SIGGRAPH 2008 Posters*, SIGGRAPH '08, pp. 94:1–94:1, New York, NY, USA, 2008. ACM.
- [69] Florian 'Floyd' Mueller and Martin Gibbs. A table tennis game for three players. In *Proceedings of the 18th Australia Conference on Computer-Human Interaction: Design: Activities, Artefacts and Environments*, OZCHI '06, pp. 321–324, New York, NY, USA, 2006. ACM.

- [70] Florian Mueller, Frank Vetere, Martin R. Gibbs, Darren Edge, Stefan Agamanolis, and Jennifer G. Sheridan. Jogging over a distance between europe and australia. In *Proceedings of the 23Nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '10, pp. 189–198, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- [71] Jörg Müller, Dieter Eberle, and Constantin Schmidt. Baselase: An interactive focus+context laser floor. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '15, pp. 3869–3878, New York, NY, USA, 2015. ACM.
- [72] Lennart E. Nacke, Matthias Klauser, and Paul Prescod. Social player analytics in a facebook health game. In *Proceedings of HCI Korea*, HCIK '15, pp. 180–187, South Korea, 2014. Hanbit Media, Inc.
- [73] Marie Ng, et al. Global, regional, and national prevalence of overweight and obesity in children and adults during 1980-2013: a systematic analysis for the global burden of disease study 2013. *The Lancet*, Vol. 384, No. 9945, pp. 766–781, 2017/10/08.
- [74] Elizabeth M. Ozer. *Managing Work and Family: The Effects of Childcare Responsibility on Perceived Self-efficacy and the Psychological Health of New Working Mothers*. Stanford University, 1992.
- [75] Taiwoo Park, Uichin Lee, Bupjae Lee, Haechan Lee, Sanghun Son, Seokyoung Song, and Junehwa Song. Exersync: Facilitating interpersonal synchrony in social exergames. In *Proceedings of the 2013 Conference on Computer Supported Cooperative Work*, CSCW '13, pp. 409–422, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [76] Kadri Rebane, Takahiro Kai, Naoki Endo, Tomonari Imai, Takuya Nojima, and Yohei Yanase. Insights of the augmented dodgeball game design and play test. In *Proceedings of the 8th Augmented Human International Conference*, AH '17, pp. 12:1–12:10, New York, NY, USA, 2017. ACM.
- [77] Glyn C. Roberts and Darren C. Treasure. *Advances in Motivation in Sport and Exercise*. Human Kinetics Pub, 2012.
- [78] Ayaka Sato, Anna Yokokubo, and Siio Itiro. The group jump rope orchestra - an interactive system to present a sense of togetherness. In *7th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, ACE '10, 2010.
- [79] Dale Schunk. Ability versus effort attributional feedback: Differential effects on self-efficacy and achievement. Vol. 75, pp. 848–856, 12 1983.

- [80] Dale Schunk. Developing children’s self-efficacy and skills: The roles of social comparative information and goal setting. *Contemporary Educational Psychology*, Vol. 8, No. 1, pp. 76 – 86, 1983.
- [81] Itiro Siio, Noyuri Mima, Ian Frank, Tetsuo Ono, and Hillel Weintraub. Making recipes in the kitchen of the future. In *CHI '04 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '04, pp. 1554–1554, New York, NY, USA, 2004. ACM.
- [82] Tadeusz Stach, T. C. Nicholas Graham, Jeffrey Yim, and Ryan E. Rhodes. Heart rate control of exercise video games. In *Proceedings of Graphics Interface 2009*, GI '09, pp. 125–132, Toronto, Ont., Canada, Canada, 2009. Canadian Information Processing Society.
- [83] Hirofumi Tanaka, Kevin D Monahan, and Douglas R Seals. Age-predicted maximal heart rate revisited. *Journal of the American College of Cardiology*, Vol. 37, No. 1, pp. 153–156, 2001.
- [84] Junya Tominaga, Kensaku Kawauchi, and Jun Rekimoto. Around me: A system with an escort robot providing a sports player’s self-images. In *Proceedings of the 5th Augmented Human International Conference*, AH '14, pp. 43:1–43:8, New York, NY, USA, 2014. ACM.
- [85] Koji Tsukada, Hitomi Tsujita, and Itiro Siio. Tagtansu: A wardrobe to support creating a picture database of clothes. In *Adjunct Proceedings of the 6th International Conference on Pervasive Computing*, pp. 49–52. ACM, 2008.
- [86] Yu Ukai and Jun Rekimoto. Swimoid: A swim support system using an underwater buddy robot. In *Proceedings of the 4th Augmented Human International Conference*, AH '13, pp. 170–177, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [87] Daisuke Uriu, Mizuki Namai, Satoru Tokuhisa, Ryo Kashiwagi, Masahiko Inami, and Naohito Okude. Panavi: Recipe medium with a sensors-embedded pan for domestic users to master professional culinary arts. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '12, pp. 129–138, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [88] Keita Watanabe, Ayaka Sato, Shota Matsuda, Masahiko Inami, and Takeo Igarashi. smoon: A spoon with automatic capacity adjustment. In *VRIC 2012 proceedings*, Laval Virtual 2012, 2012.
- [89] Matthias Weing, Amrei Röhlig, Katja Rogers, Jan Gugenheimer, Florian Schaub, Bastian Könings, Enrico Rukzio, and Michael Weber. P.i.a.n.o.: Enhancing instrument learning via interactive projected augmentation. In *Proceedings of the 2013 ACM Conference on*

- Pervasive and Ubiquitous Computing Adjunct Publication, UbiComp '13 Adjunct*, pp. 75–78, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [90] Mike Wu, Abhishek Ranjan, and Khai N. Truong. An exploration of social requirements for exercise group formation. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '09*, pp. 79–82, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [91] Jeffrey Yim and T. C. Nicholas Graham. Using games to increase exercise motivation. In *Proceedings of the 2007 Conference on Future Play, Future Play '07*, pp. 166–173, New York, NY, USA, 2007. ACM.
- [92] 『ランセット』日本特集号プロジェクト研究チーム. 『ランセット』日本特集号「国民皆保険達成から 50 年」. No. 978-4-88907-135-1. (公財) 日本国際交流センター, 2011.
- [93] ケビン・ワーバック, ダン・ハンター, 三ツ松 新 (監修), 渡部典子 (翻訳). ウォートン・スクールゲーミフィケーション集中講義. CCC メディアハウス, 2013.
- [94] ジェイン・マクゴニガル, 妹尾堅一郎 (監修), 武山政直 (解説), 藤本徹 (翻訳), 藤井清美 (翻訳). 幸せな未来は「ゲーム」が創る. 早川書房, 2011.
- [95] D. A. ノーマン, 岡本明 (翻訳), 安村通晃 (翻訳), 伊賀聡一郎 (翻訳), 野島久雄 (翻訳). 誰のためのデザイン? 増補・改訂版 — 認知科学者のデザイン原論. 新曜社, 2015.
- [96] ベン・シュナイダーマン, 東基衛 (翻訳), 井関治 (翻訳). ユーザー・インタフェースの設計—使いやすい対話型システムへの指針. 日経 BP 社, 1987.
- [97] 横窪安奈, 佐藤彩夏, 椎尾一郎. 大縄オーケストラ: 身体動作と音楽を融合したインタラクティブシステムの提案. In *EC2010*, 2010.
- [98] 伊藤崇達, 神藤貴昭, 高嶋重行, 竹内温子, 菅井勝雄, 前迫孝憲. 自己効力感, 不安, 自己調整学習方略, 学習の持続性に関する因果モデルの検証: 認知的側面と動機づけ的側面の自己調整学習方略に着目して. 日本教育工学雑誌, Vol. 27, No. 4, pp. 377–385, 2004.
- [99] 永松俊哉, 鈴川一宏, 松原功, 植木貴頼, 須山靖男. 青年期における運動・スポーツ活動とメンタルヘルスとの関係. 体力研究, Vol. 107, pp. 11–14, 2009.
- [100] 久保加織, 堀越昌子, 岸田恵津, 増澤康男, 細谷圭助, 中西洋子, 成瀬明子. 調理技術教育プログラムの構築に向けてのアンケート調査. 日本調理科学会誌, Vol. 40, No. 6, pp. 449–455, 2007.
- [101] 矢部京之助, 草野勝彦, 中田英雄. アダプテッド・スポーツの科学: 障害者・高齢者のスポーツ実践のための理論. 市村出版, 2004.

- [102] 矢部京之助, 田口貞善, 伊坂忠夫. スポーツサイエンス入門. 丸善株式会社, 2010.
- [103] 小野桂市. スポーツにおけるハンディキャップ設定研究. 教育実践総合センター研究紀要, Vol. 13, pp. 143-149, 2004.
- [104] 厚生労働省. 平成 26 年版厚生労働白書健康長寿社会の実現に向けて～健康・予防元年～ (本文), <http://www.mhlw.go.jp/wp/hakusyo/kousei/14/index.html>.
- [105] 森康浩, 小林翼, 安保芳久, 大沼進. 家庭での省エネルギー行動に対する内発的動機付けの長期的な効果. 社会心理学研究, Vol. 31, No. 3, pp. 160-171, 2016.
- [106] 田部浩子, 吉廣卓哉, 井上悦子, 中川優. 生活習慣病予防のための競争意識を利用した歩行継続支援システム. 情報知識学会誌, Vol. 21, No. 1, pp. 37-53, 2011.
- [107] 佐野睦夫, 宮脇健三郎, 米村俊, 大出道子. 調理ナビゲーションシステムに基づく高次脳機能障害者の認知リハビリテーション. 認知リハビリテーション, 第 18 巻, pp. 72-77, 2013.
- [108] 坂崎俊介, 若原俊彦. 画像検索を応用した洋服のコーディネートアシスト手法の一検討. 電子情報通信学会技術研究報告. ISEC, 情報セキュリティ, Vol. 105, No. 395, pp. 1-6, nov 2005.
- [109] 上淵寿. キーワード 動機づけ心理学. 金子書房, 2012.
- [110] 森祐馬, 榎堀優, 間瀬健二. ウェアラブル加速度センサを利用した姿勢改善補助システム. マルチメディア、分散協調とモバイルシンポジウム 2014 論文集, Vol. 2014, pp. 126-130, jul 2014.
- [111] 神武里奈, 星野准一. 好みの顔画像の色に基づくメイクアップ支援システム. 日本感性工学会論文誌, Vol. 16, No. 3, pp. 299-306, 2017.
- [112] 星野准一, 斉藤啓史. ビデオ映像と cg の合成によるヴァーチャルファッションの実現. 情報処理学会論文誌, Vol. 42, No. 5, pp. 1182-1193, may 2001.
- [113] 久保正秋. 意味生成としての「スポーツ運動」体験の時間性. 体育学研究, Vol. 58, No. 1, pp. 243-256, 2013.
- [114] 双見京介, 寺田努, 塚本昌彦. 移動型カメラを用いたヘアセルフカット支援システム. 研究報告モバイルコンピューティングとユビキタス通信 (MBL), Vol. 2013, No. 4, pp. 1-8, mar 2013.
- [115] 瀧沢絵里. テキスト教示・練習課題の難易度が内発的動機づけに及ぼす影響について. 学習院大学人文科学論集, Vol. 19, pp. 131-149, 2010.

- [116] 次郎丸沢, 松尾徳朗. OME S : 高等教育用就職支援システム. コンピュータ&エデュケーション, Vol. 32, pp. 71-76, 2012.
- [117] 中野有莉, 高木正則, 山田敬三, 佐々木淳. 学習者の理解度と学習状況に応じた個別指導支援システムの提案. 第78回全国大会講演論文集, 第2016巻, pp. 657-658, mar 2016.
- [118] 長尾聡, 高橋伸, 田中二郎. 過去の行動から服のコーディネートを推薦する鏡状アプライアンス. ヒューマンインタフェースシンポジウム 2007 論文集, pp. 973-976, 2007.
- [119] 井上明人. 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.
- [120] 野波淳里, 竹川佳成. 臨書初級者のための文字バランス学習支援システムの提案 (マルチメディア・仮想環境基礎). 電子情報通信学会技術研究報告 = IEICE technical report : 信学技報, Vol. 114, No. 73, pp. 81-86, jun 2014.
- [121] 福家悠人, 竹川佳成, 柳英克. モチベーションを考慮したピアノ学習支援システムの設計と実装. 情報処理学会 インタラクシオン 2015, pp. 118-127, 2015.
- [122] 坂野雄二, 前田基成. セルフ・エフィカシーの臨床心理学. 北大路書房, 2002.
- [123] 嶋田洋徳. 小中学生の心理的ストレスと学校不適應に関する研究. 風間書房, 1998.
- [124] 小林洋平. チームスポーツにおける対人関係の複雑さ : スポーツのもつ両義性からの考察. 金城学院大学論集. 自然科学編, Vol. 10, No. 1, pp. 62-69, sep 2013.
- [125] 鈴木直人, 廣井富, 千葉祐弥, 能勢隆, 伊藤彰則. 応答タイミングを考慮した英会話練習のための音声対話型英語学習システム. 情報処理学会論文誌, Vol. 56, No. 11, pp. 2177-2189, nov 2015.
- [126] 辻田眸, 北村香織, 神原啓介, 塚田浩二, 椎尾一郎. asa1-coordinator : 履歴情報を利用したファッションコーディネート支援. ヒューマンインタフェースシンポジウム 2009 論文集, pp. 85-88, 2009.

業績一覧

博士論文に関わる業績

1. 佐藤彩夏, 横窪安奈, 椎尾一郎, 暦本純一, 運動促進のための開放型空間における協調型エクサゲームの設計指針, 情報処理学会論文誌, 57 巻 12 号, pp.2554-2564, 2016. 【論文誌】
2. Ayaka Sato, and Jun Rekimoto. Designable sports field: sport design by a human in accordance with the physical status of the player. In Proceedings of the 6th Augmented Human International Conference (AH '15), pp.129-136, 2015, Singapore, DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/2735711.2735798> 【国際会議フルペーパー】
3. Ayaka Sato, Keita Watanabe, and Jun Rekimoto, MimiCook: A Cooking Assistant System with Situated Guidance, 8th International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction (TEI 2014), pp.121-124, February 16-19, 2014, Munich, Germany, DOI: 10.1145/2540930.2540952 【国際学会ショートペーパー】
4. Ayaka Sato, Keita Watanabe, and Jun Rekimoto, Shadow Cooking: Situated Guidance for a Fluid Cooking Experience, 16th International Conference on Human-Computer Interaction (HCI2014), pp.558-566, June 22-27, 2014, Crete, Greece, DOI: 10.1007/978-3-319-07446-7_54 【国際会議フルペーパー】
5. Ayaka Sato, Anna Yokokubo, Itiro Sii, and Jun Rekimoto, Collaborative Digital Sports Systems that Encourage Exercise, 16th International Conference on Human-Computer Interaction (HCI2014), pp.332-340, June 22-27, 2014, Crete, Greece, DOI: 10.1007/978-3-319-07227-2_32 【国際会議フルペーパー】
6. 佐藤彩夏, 渡邊恵太, 安村通晃, 姿を利用したファッションコーディネート支援システム suGATALOG の提案と評価, 情報処理学会論文誌, 53 巻 4 号, pp.1277-1284, 2012. 【論文誌】

博論に関連するその他の業績（査読あり）

1. 佐藤彩夏, 渡邊恵太, 安村通晃, 姿を利用したファッションコーディネート支援システム suGATALOG の提案と評価, 情報処理学会論文誌, 53 巻 4 号, pp.1277-1284, 2012. 【論文誌】
2. Ayaka Sato, Keita Watanabe, Michiaki Yasumura, and Jun Rekimoto, suGATALOG: Fashion coordination system that supports users to choose everyday fashion with clothed pictures, 15th International Conference, HCI International 2013(HCII 2013), pp. 112-121, July 21-26, 2013, Las Vegas, USA, DOI: 10.1007/978-3-642-39342-6_13 【国際学会フルペーパー】
3. Ayaka Sato, and Koji Tsukada, CookTab: smart cutting board for creating recipe with real-time feedback, The 2012 ACM Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp '12), pp. 543-544, September 5-8, 2012, Pittsburgh, USA. DOI: 10.1145/2370216.2370301 【国際学会デモ】
4. 佐藤 彩夏, 渡邊恵太, 安村通晃. 姿を利用したファッションコーディネート支援システム suGATALOG の提案と評価. インタラクシオン 2011, (2011.5). 【国内学会フルペーパー】
5. Ayaka Sato, Anna Yokokubo, and Itiro Sii, The Group jump rope orchestra - an interactive system to present a sense of togetherness -, The 7th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology (ACE2010), November 17-19, Taipei, Taiwan. 【国際学会デモ】
6. 佐藤 彩夏, 渡邊恵太, 安村通晃. suGATALOG:ユーザの姿を利用したコーディネート発見支援システム. インタラクシオン 2009, (2009.5). 【国内学会デモ】
7. 佐藤 彩夏, 渡邊恵太, 安村通晃. suGATALOG: ユーザの姿を利用したファッションコーディネート支援システム. WISS2008, (2008.11). 【国内学会デモ】

博論に関連するその他の業績（査読なし）

1. 佐藤彩夏, 暦本純一, Shadow Cooking:円滑な調理のための状況に応じた調理ナビゲーション, 情報処理学会研究報告, UBI, 38 巻 8 号, pp.1-4, 2013.
2. 佐藤彩夏, 横窪安奈, 椎尾 一郎, 何人何脚!? -協調によるコミュニケーション支援システム-, 第 16 回バーチャルリアリティ学会大会, (2011.9).
3. 佐藤彩夏, 塚田浩二, 椎尾 一郎, レクピ: 時間/重量情報を保持するレシピの自動記録システム, WISS2011, (2011.12).

4. 横窪 安奈, 佐藤 彩夏, 椎尾 一郎, 大縄オーケストラ: 身体動作と音楽を融合したインタラクティブシステムの提案, エンタテインメントコンピューティング 2010, (2010.10).

その他の研究業績

1. 渡邊恵太, 佐藤彩夏, 松田聖大, 稲見昌彦, 五十嵐健夫, smoon: Web の実体化による行動支援とその試作, WISS2011(2011.12).
2. 渡邊恵太, 松田聖大, 佐藤彩夏, 稲見昌彦, 五十嵐健夫, smoon: 計らなくて済むスプーン, インタラクション 2011, (2011.3).
3. 佐藤 彩夏, 椎尾一郎. suGATARIUM:眺めるファッションコーディネート支援システム. 情報処理学会全国大会, (2011.3).
4. 佐藤 彩夏, 渡邊恵太, 安村通晃. DropTable: 時間割メタファーを用いたファイル管理システム. WISS2009. (2009.12).

受賞歴

1. インタラクション 2011 インタラクティブ発表賞 (デモ発表賞)
2. 国際バーチャルリアリティコンテスト 2010 未来観客賞受賞 (来場者投票 1 位)
3. Mashup Award 7 優秀賞受賞