

2011年度 卒業論文

ゲームアプリにおける  
触覚フィードバック機能の有用性について

指導教員：三上 浩司 講師  
渡辺 大地 講師

メディア学部 ゲームサイエンスプロジェクト  
学籍番号 M0107031  
石井 琢磨

**2011年度 卒業論文概要**

**論文題目**

ゲームアプリにおける  
触覚フィードバック機能の有用性について

**メディア学部**

**学籍番号：M0107031**

**氏名**

石井 琢磨

**指導  
教員**

三上 浩司 講師  
渡辺 大地 講師

**キーワード**

スマートフォン、ゲームアプリ、操作性、レスポンス、  
フォースフィードバック、触覚フィードバック、MOTIV

近年、スマートフォンが世界的に普及している。また、スマートフォンの普及に伴い、様々なジャンルのスマートフォン用ゲームアプリが登場し、その数を急増させている。しかし、スマートフォンの特性上、ゲームアプリをプレイする際に問題となる要素が複数存在する。

本研究では、そんなスマートフォンの特性から生じる問題の内、操作性に着目した。スマートフォンの特徴として、操作は基本的に、タッチパネル上に仮想表示されるボタンを入力して行う。しかし、表示されるボタンは擬似的なものであるため、触れてもレスポンスが返って来ることはない。よって、押したつもりでも押せておらず、「押し損ねていた」というミスが発生してしまう。ゲームアプリをプレイする上で、多くの場合は瞬間的な、そして複雑な操作が求められる。そのため、押し損ねなどによるミスが重なれば、ゲームプレイに失敗し、プレイヤーのストレスへと繋がる。本研究では、スマートフォンのゲームアプリが持つ操作性の難点を解消し、向上させることを目的とした。

本研究では、タッチパネルに触れた際、表示されている物体の表面に、実際に触れたかのような触覚を提供する「触覚フィードバック技術」を取り入れ、制作したアプリに実装した。これを用いることで、画面上のボタンを入力した際に特殊な振動が発生し、実際にはスマートフォン全体が振動しているにも関わらず、まるで本物のボタンを押したような感覚を表現できる。

そこで、触覚フィードバックをONにしたものと、OFFにしたもの、2パターン of アプリを用意し、被験者に両方のアプリをプレイしてもらい、操作性に関するアンケートを実施した。結果、ゲームアプリの操作性向上を確認し、そのための手法の1つとして、触覚フィードバック技術が有効であることを実証した。

# 目次

<b>第1章</b>	<b>はじめに</b>	<b>1</b>
1.1	研究背景と目的	1
1.2	論文構成	5
<b>第2章</b>	<b>スマートフォンとゲームアプリ</b>	<b>6</b>
2.1	スマートフォンについて	6
2.2	ゲームアプリについて	7
2.3	ゲームアプリの操作性	8
2.4	問題点	9
2.5	対策	12
2.5.1	設定画面での調整	13
2.5.2	アタッチメント	13
2.5.3	新感覚スマートフォン	14
2.6	既存研究と技術	15
2.6.1	既存研究	16
2.6.2	フォースフィードバック技術	17
2.6.3	触覚フィードバック技術	17
2.6.4	MOTIV	18
<b>第3章</b>	<b>検討と実装</b>	<b>20</b>
3.1	問題点のまとめ	20
3.2	ゲームアプリのスタイル	21
3.3	制作方法	21
3.4	ゲームアプリの概要	23
<b>第4章</b>	<b>検証と結果</b>	<b>25</b>
4.1	実験概要	25
4.2	アンケート内容	26
4.3	実験結果	28
4.3.1	客観的評価	28
4.3.2	主観的評価	29

第5章 考察	31
第6章 おわりに	33
謝辞	34
参考文献	35

# 目 次

1.1	iPhone 4 [1]	2
1.2	Xperia arc [2]	2
1.3	DanceDanceRevolution S+	3
1.4	STREET FIGHTER IV	3
1.5	Solo [3]	4
2.1	操作方法 [4]	7
2.2	大きく異なる操作体系 [5]	9
2.3	スマートフォンのゲームについて不満を感じる点	11
2.4	DEVIL MAY CRY 4 refrain	12
2.5	biohazard DEGENERATION	12
2.6	DEVIL MAY CRY 4 refrain	13
2.7	iControlPad [6]	14
2.8	tacticleplus [7]	14
2.9	新感覚スマートフォン [8]	15
2.10	Enzo's Pinball [3]	19
3.1	まいにちいっしょ	21
3.2	LITTLE BIG PLANET 2	21
3.3	What is the Universal Haptic Layer? [9]	22
3.4	起動画面	23
3.5	プレイ画面	23
3.6	クリア画面	24
4.1	アンケート内容	27
4.2	客観的評価 (クリア時間)	28
4.3	客観的評価 (ミス回数)	29
4.4	主観的評価	30

# 第 1 章

## はじめに

### 1.1 研究背景と目的

近年、スマートフォンが世界的に普及している。2011 年の世界市場におけるスマートフォンの出荷台数は 4 億 7465 万台にも上るとされ、先進国のみならず、途上国においても本格普及が始まっている [10]。また、オープンプラットフォームに対応した製品が導入され、後発メーカーが続々と市場に参入していることから、その規模は今後更に拡大して行くと考えられる。

スマートフォンの普及に伴い、様々なジャンルのスマートフォン用ゲームアプリが登場し、スマートフォン本体と同様に、その数を急増させている [11] [12]。今やスマートフォンは、手軽にゲームをプレイすることのできる、世界で最も普及した端末と言える。その市場規模は巨大で、そこでの成功を掴もうと、個人から大手ゲームメーカーまで、ありとあらゆる作り手が続々と参入を果たしている。

しかし、ゲームアプリはスマートフォンの特性も相まって、操作性に難点を持っている [13]。そもそも、スマートフォンそのものが、これまでの携帯電話と比べ、特殊な作りになっている。スマートフォン本体には物理的なボタンが最低限しか備わっておらず、その操作のほとんどを、タッチパネル上に表示される仮想のボタンを入力して行う。だが、それらのボタンが擬似的なものでしかない以上、物理的なレスポンスが返って来ることはない。押せているのか押せていないのかの判断がつかず、押したつもりでも、「押し損ねていた」といった操作ミスが起きる。

次の図 1.1 と 1.2 は、市販されているスマートフォン機種の一例である。



図 1.1: iPhone 4 [1]

<http://ggsoku.com/tag/iphone4/>



図 1.2: Xperia arc [2]

<http://gadget-shot.com/2011/02/27/xperia-arc-home/>

物理的なボタンが最低限しかなく、操作のほとんどをタッチパネルで行うという、スマートフォンの特徴が見て取れる。

基本的な機能を扱う上でなら、操作を間違えたとしても、慌てずに、時間をかけて修正できる。しかし、それがゲームでの操作となると話が変わる。ジャンルにもよるが、多くのゲームでは瞬間的な、また場合によっては複雑な操作が求められ、1度のミスがゲームプレイの失敗に繋がることも少なくない。コンシューマーゲームやアーケードゲームのみならず、スマートフォンのゲームアプリにも、そうした高度な操作を求めるゲームは見受けられる。家庭用ゲーム機で遊ぶことを前提にデザインして制作されたゲームを、そのままスマートフォンに移植したタイトルなどは、特にその傾向が強い。

次の図 1.3 と 1.4 は、市販されているスマートフォン用ゲームアプリの例である。



図 1.3:

DanceDanceRevolution S+ ©2009  
Konami Digital Entertainment

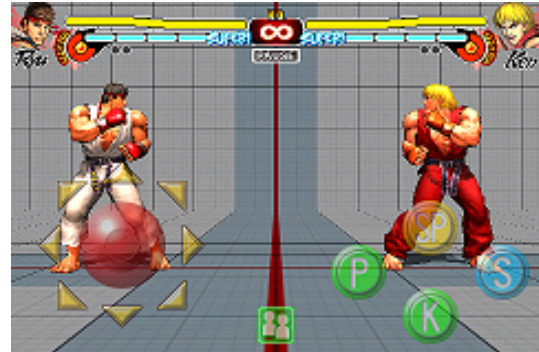


図 1.4:

STREET FIGHTER IV ©2010  
CAPCOM

この2タイトルは、数あるゲームアプリの中でも、仮想ボタンを用いて操作し、かつ操作難度の高いものを示している。

ゲームで操作ミスが重なれば、ゲームプレイに失敗し、プレイヤーのストレスへと繋がり、ゲームそのものの評価にも影響する。

本研究では、そうしたスマートフォンのゲームアプリ特有の操作の難点を解消し、操作性を向上させることを目的としている。特に、難点の1つである、「ボタンの押し損ね」に着目した。押し損ねの解消のため、まず表示されている仮想ボタンを入力した際に、指先にレスポンスが返って来るよう設定する。その際、ただ単純に振動させるフィードバックを起こすのではなく、実際にボタンを押したかのような触感を表現することを目指した。

そのための技術として、「触覚フィードバック機能」[14]の導入を図った。触覚フィードバックとは、タッチパネルに触れた際、そこに表示されている物体の表面に、実際に触れたかのような触覚を振動で再現し、提供する技術である。これを用いることで、画面上の仮想ボタンを押した際に特殊な振動が発生し、実際に



はスマートフォン全体が振動しているにも関わらず、まるで本物のボタンを押したかのような感覚を表現できる。

次の図 1.5 は、触覚フィードバックで素材の質感を再現したアプリの例である。



図 1.5: Solo [3]

<http://www.4gamer.net/games/032/G003263/20110616043/>

この楽器演奏アプリでは、画面に表示されている弦に触れると、本物の弦を弾いたかのような触感が振動で再現される。

本研究では、こうした技術を、実験用に制作した簡易なゲームアプリに実装した。触覚フィードバック機能の実装には、MOTIV[15]を用いた。MOTIVとは、フォースフィードバック機能の基本特許を数多く抱える、米国の Immersion という企業が提供する開発ツールである。これを用いることで、Android 搭載機器や、Android 上で動作するソフトウェアを対象に、効果的な触覚フィードバックを、効率的に実装することができる。

検証実験では、触覚フィードバックを ON にした状態と、OFF にした状態、両方の状態を被験者にプレイしてもらい、客観的評価と主観的評価を行った。客観的評価では、被験者がゲームのクリアに要した時間や、クリアまでに操作をミスした回数を記録し、それらを元に比較を行った。主観的評価では、ゲームをプレイした被験者にアンケートを実施し、5つの問いを5段階で評価してもらい、それ

らを元に比較を行った。その結果に基づき、ゲームアプリの操作性向上と、触覚フィードバック技術が手法の1つとして有効であるかを検証した。

検証の結果、ゲームアプリの作りが影響してしまい、触覚フィードバックを備えても、クリア時間や操作ミス回数に大きな差が生まれることはなかった。しかし、ボタンを入力しやすかったか、ボタンをスムーズに連続で入力できたか、本物のボタンを押しているような触覚を得られたか、操作ミスに素早く気付くことができたか、そしてストレスなくプレイできたかという調査項目においては、触覚フィードバックをONにした状態の方が、OFFにした状態よりも高い評価を得た。これらの結果からも、操作性の向上という点において、一定の成果を見い出せたため、本手法の有用性を確認した。

## 1.2 論文構成

本論文は全6章で構成される。まず第2章でスマートフォンとゲームアプリの現状、それらが抱える問題点、講じられている対策、既存研究や技術について述べる。そして、第3章で本研究で用いる手法の検討と、実装について述べる。その後、第4章で検証を行い、結果をまとめ、第5章でその考察をする。最後に、第6章で本論文全体のまとめを述べる。

## 第 2 章

# スマートフォンとゲームアプリ

本章では、本研究の題材となるスマートフォンとゲームアプリについて述べる。スマートフォンとゲームアプリの現状や、操作性、問題点、対策、並びに既存研究や技術について説明する。

### 2.1 スマートフォンについて

スマートフォンは多種多様な機能を持つため、「多機能携帯電話」と表現される [16]。大画面ディスプレイや大容量のメモリーを搭載し、従来の携帯電話に比べ、より高度なアプリケーションを動作させられる点が特徴である。代表的なものに、Apple 製の iPhone や、Samsung 製の Galaxy などがある。2009 年頃を境に、国内でも急速に普及が進み、今や携帯電話にとって代わる、新たな通信デバイスとして世に広まっている。

機能のみならず、デザインに根ざした操作体系も、また特徴的である。タッチパネルを用いた操作を基本としており、タップやダブルタップ、ドラッグ、フリック、ピンチアウト、ピンチインといった手法を使用する。タップは画面を指で軽く触れる、ドラッグは画面をタッチしたままなぞり、その後に指を離す、フリックは画面を軽く撫でる、といった具合である。

次の図 2.1 は、そうしたタッチパネルの基本的な操作方法を表した図である。

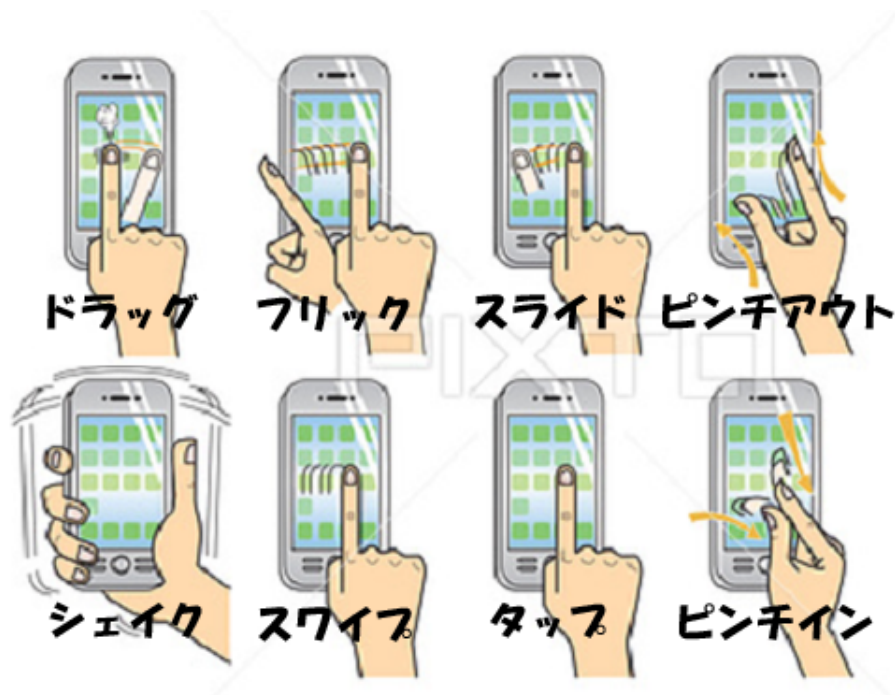


図 2.1: 操作方法 [4]

<http://pixta.jp/graphic/3266897>

こうした操作方法が主なため、ほぼ全てのスマートフォンに共通して、本体には最低限のボタンしか備わっていない。よって、操作時に入力が必要となる場合は、画面上に表示される仮想ボタンを入力して行う。

## 2.2 ゲームアプリについて

スマートフォンのアプリ市場は、本体の普及に合わせて規模を急拡大させており、今も成長を続けている。有名なスマートフォン用ゲームアプリの1つに、『Angry Birds』と言うタイトルがあるが、この作品などは、提供されている iPhone や Android において、総ダウンロード数が5億を突破している [17]。その驚異的な数字を見ても、今日のスマートフォン市場がいかに巨大で、可能性を秘めた市場がよく分かる。今やゲームという分野において、スマートフォン市場は無視する

ことのできない、最も注目すべき場となっている [18]。

市場が巨大なだけあって、アプリの数も凄まじい。iPhone で利用可能な Apple App Store では、約 60 万ものアプリが存在し、ダウンロード数に至っては 180 億回を超えているという [12]。Android 搭載のスマートフォンで利用可能な Android Market でも、約 50 万ものアプリが販売されており、ダウンロード数は 100 億を突破している [11]。一口にアプリと言っても、膨大な数が存在しており、その中の 1 ジャンルであるゲームアプリも、同様に様々な内容のもので溢れている。

スマートフォンのゲームアプリは、いわゆる家庭用ゲーム機で発売されているゲームなどと違い、企業が制作しているもの以外に、個人や、アマチュアがグループで制作しているゲームも大量に配信されている特徴を持つ。そのため、アプリが配信されているストアやマーケットでは、作品のクオリティはもちろん、価格など、あらゆる面で千差万別な作品が入り乱れている。

## 2.3 ゲームアプリの操作性

先述の通り、スマートフォンは操作方法が独特であるため、スマートフォンでプレイするゲームアプリの操作性も、また特殊である。コントローラーを持ってプレイする家庭用ゲーム機や、本体に備え付けられているボタンを押してプレイする携帯ゲーム機など、従来のゲーム機とは違い、スマートフォンでは画面のタッチパネルを直接タップするなどして操作する。その他にも、スマートフォン本体を振る、傾けるといった方法でも、操作が可能である。

次の図 2.2 は、スマートフォンと携帯ゲーム機を比較したものである。



図 2.2: 大きく異なる操作体系 [5]

[http://www.kotaku.jp/2011/01/ngp\\_how\\_big.html](http://www.kotaku.jp/2011/01/ngp_how_big.html)

本体や画面のサイズはもちろん、ボタンの数も大きく異なる。物理的なボタンが多く備わり、それを押して操作する携帯ゲーム機の場合、ボタンを押す際の感触や、反動が返ってくることが見て取れる。しかし、スマートフォンの場合、物理的なボタンは1つしかなく、その操作のほとんどを、凹凸も何もないタッチパネルに触れて操作するため、携帯ゲーム機が持つようなレスポンスは得られないことが分かる。また、スマートフォンでは、ボタンを必要とするゲームでは、画面内に仮想ボタンを表示するなどして、工面しなければならないことも伝わってくる。

## 2.4 問題点

スマートフォンでプレイするゲームアプリは、スマートフォンの特性上、どうしても制約を抱えてしまう。それが操作性にも影響し、問題が生じる。前提として、スマートフォンは持ち歩いて使用する物であるため、利便性なども考慮されて、サイズはコンパクトに収まっている。画面も、従来の携帯電話と比べれば格

段に大きいですが、それでも携帯ゲーム機と比較すると見劣りしてしまう。

ほとんどのゲームでは、プレイしているゲームの状態をプレイヤーに伝えるための情報が表示されている。アクションゲームで言うなら、キャラクターの体力ゲージ、使用している武器やアイテム、ステージのマップなどがそれに当たる。そうした情報を表示するだけでも、画面の四方は埋まってしまうものだが、スマートフォンのゲームアプリの場合、それらに加えて、仮想ボタンも画面内に表示しなければならない。ただでさえ小さい画面の中に、更に多くの要素を詰め込み、表示しなければならないとなると、どうしてもボタン同士の表示間隔が狭まってしまい、そこから押し間違いが生じる。また、ボタンを入力する度に、画面の何割かが指で隠れてしまう。見えない部分、死角が生まれてしまい、判断を誤る場面も出てくる。何より、仮想ボタンがあくまで擬似的なボタンでしかない以上、ボタンの凹凸を押さえることもできなければ、ボタンを押した際の触感を得ることもできない。押せているかどうか分からず、押したつもりでも押し損ねる事態が起きてしまう。

次の図 2.3 は、インターネットゲームのポータルサイト「ハンゲーム」を運営している NHN JAPAN が、800 人のスマートフォンユーザーを対象に、ゲームアプリで不満を感じる点について調査したものを示している [13]。

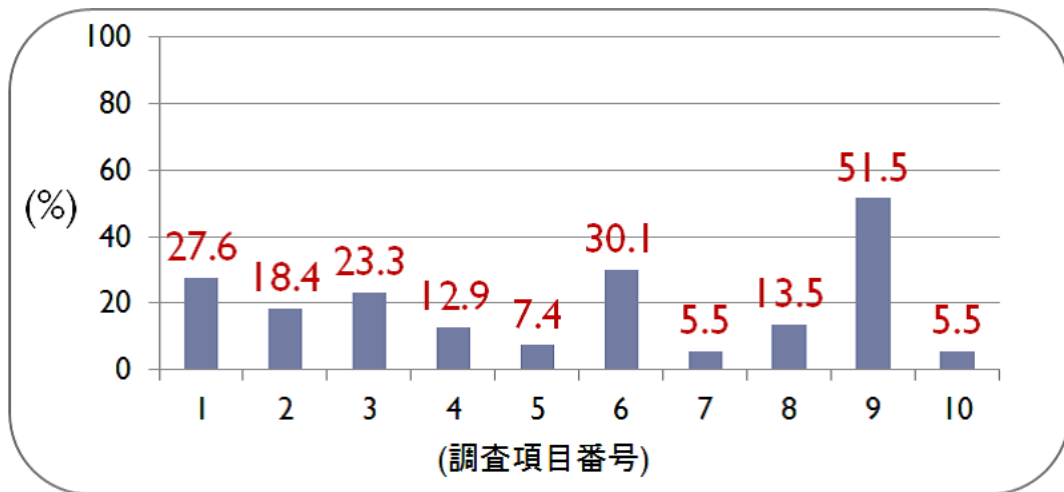


図 2.3: スマートフォンのゲームについて不満を感じる点

なお、各調査項目は次のようになっている。

1. 電波が悪いと遊べない
2. 画面が小さい
3. ゲームが単純
4. 更新が少なくすぐ飽きてしまう
5. PC との連動がない
6. 操作性が悪く疲れる
7. 対戦や協力などリアルタイム性のあるコンテンツが少ない
8. 課金の仕組みが分かりにくい
9. バッテリーの問題で長時間楽しめない
10. その他



不満点における1位こそ、9の「バッテリーの問題で長時間楽しめない」というものだが、2位には6の「操作性が悪く疲れる」とある。この結果からも、多くのスマートフォンユーザーが、ゲームアプリの操作性において不満を持っていることが分かる。

特に、複雑で多様な操作が求められるゲームにおいては、一度の操作ミスが、プレイに大きな影響を及ぼしてしまう。それが原因でプレイヤーのストレスに繋がり、果てには、ゲームそのものの面白さにも影響する恐れが生まれる。

次の図 2.4 と 2.5 は、複雑な操作を瞬時に求められるタイプのゲームを示している。



図 2.4:  
DEVIL MAY CRY 4 refrain ©2011  
CAPCOM



図 2.5:  
biohazard DEGENERATION ©2008  
CAPCOM

表示されている仮想ボタンの数の多さからも、複雑かつ多様な操作が必要であることが見て取れる。なお、両図共に、仮想ボタンが表示されている部分を、赤線で囲って示している。

## 2.5 対策

これまで述べてきた操作性の問題を解消しようと、作り手側も様々な対策を講じている。その例の一部を、それぞれ個別に紹介する。

### 2.5.1 設定画面での調整

一部のゲームアプリには、設定画面でボタンのサイズや位置を、ある程度まで自由に調整することができる機能が備わっている。次の図 2.6 は、その設定画面である。



図 2.6:

DEVIL MAY CRY 4 refrain ©2011 CAPCOM

ボタンを置く位置、大きさ、透明度などを調節できる。また、このゲームでは、遠距離攻撃と近距離攻撃の2種類がある。その攻撃用のボタンを、それぞれ別々に表示するのではなく、1つのボタンにまとめ、敵との距離に応じて自動的に切り替わるようにすることで、表示されるボタンを4つから3つに減らすこともできる。メーカー側も、操作性が抱える難点を解消しようと、対策を講じていることが伺える。

### 2.5.2 アタッチメント

また、物理的な追加装置を用いるケースもある。次の図 2.7 と 2.8 は、スマートフォンのゲームアプリ用コントローラーである。



図 2.7: iControlPad [6]

<http://androidcommunity.com/icontrolpad-confirmed-to-hold-a-list-of-smartphones-many-of-smartphones-many-of-them-android-based-release-date-q1-2011-20101129/>



図 2.8: tactileplus [7]

<http://www.netbooknews.com/13055/tacileplus-adds-gamepad-to-your-tablet-smartphone/tactile-plus/>

これらは実際に商品として発売されており、装着することで、本来ならば備わっていない物理的なレスポンスを、操作時に得ることができる。このような商品を見ても、従来のゲーム機のような操作方法を求めるコアなユーザーがおり、ゲームアプリの操作性向上に、確かなニーズが存在していることが分かる。

### 2.5.3 新感覚スマートフォン

一方で、ゲームアプリに限らず、あらゆる面での操作で触覚フィードバックを提供する、「新感覚スマートフォン」[19]なる技術の開発も進められている。

図 2.9 は、CEATEC 2011 にて展示されていたデモ機を示している。



図 2.9: 新感覚スマートフォン [8]

<http://plusd.itmedia.co.jp/mobile/articles/1105/25/news056.html>

これは KDDI が発表した新技術で、押圧センサーを使っており、ボタンを押し込んだ際の感触をリアルに再現する機能を持つ。現段階では、あくまで技術デモという位置づけに留まっているとのことだが、确实性のある操作性向上の一手段として、その登場に期待がかかる。

## 2.6 既存研究と技術

これまで述べてきたように、ゲームアプリの操作性には問題点が存在し、遊び手のみならず、作り手もそのことを把握しており、改善のための手法が多く生み出されている。だが、本研究では、そうした手法とはまた別に、異なるアプローチで、より簡易に問題を解決することを目指した。そのために参考とした既存研究や、関連する技術を紹介する。

## 2.6.1 既存研究

スマートフォン用ゲームアプリの操作性に関してではないが、共通する問題を解消しようと試みた研究は数多くある。特に、タッチパネルに関する研究は多く、操作面での難点の解消や、精度の向上を図ったもの、新しい操作表現を提案する研究などが見受けられた。こうした事例からも、形や用途は違えど、タッチパネルでの操作は、多くの面で課題や改善点を抱えていることが分かる。

棚瀬らは、タッチディスプレイ型のユーザーインターフェースを利用する際、操作感の欠如から来る問題を解決するため、パネルに遊びを持たせ、その部分を押すことで、触覚フィードバックの実現を図った [20]。

井澤らは、紙の書籍をめくるのに近い感覚で、電子書籍をブラウザでできるインターフェースと、それをを用いた新しい読書体験のインタラクションについての提案を行った [21]。

渡辺らは、視覚障害者のためのタッチパネル利用を可能にするシステムとして、タッチパネルと非接触の状態のユーザーの指を、操作対象のキーへ、聴覚フィードバックによる誘導を行い、その誘導法の比較検証を行った [22]。

高濱らは、小型タッチ端末に搭載されているソフトウェアキーボードは、小型タッチ画面に最適化されておらず、操作性が高いとは言えないため、小型タッチ画面端末に適した日本語五十音用ソフトウェアキーボードを提案し、入力速度と感性の評価を行った [23]。

抱える問題や、それらに対するアプローチこそ違うが、どれもタッチパネルを使用する際の問題を解消し、より操作性を向上させようとしている。中には、棚瀬らの研究のように、本研究が提示する問題と中身が似たものもあるが、用いられている手法などは、スマートフォンのように小さな端末を対象としていないため、異なる手法を提案し、新たに解消をすることを目指した。

## 2.6.2 フォースフィードバック技術

従来のゲーム機の場合、コントローラーで操作を行うと、入力に反応し、振動や力を手に加える、フォースフィードバックという機能が備わっている。例えば、ボタンを入力することでキャラクターがアクションを起こし、その動きに合わせた振動が起きるといった仕様が一般的である。他にも、ゲームセンターに置かれているガンシューティングゲームで、銃を模したコントローラーを操作すると、発砲時の衝撃が再現される。または、カーレーシングゲームで、ハンドルを模したコントローラーを操作すると、カーブの際などにハンドルが重くなり、振動や抵抗感や再現される。こうした機能も、フォースフィードバックの一種である。

ゲームアプリにこの技術を導入し、ボタンを入力する度にレスポンスを発生させることで、ボタンの押し損ねを防ぎ、操作性の向上を図れると考えた。

## 2.6.3 触覚フィードバック技術

タッチパネルなどのディスプレイに触れた際、パネル本来の無機質な感触ではなく、そこに映し出されている物体の表面を、実際に触っているかのような触感を提供する、触覚フィードバック技術というものがある。これを用いれば、振動に触覚を持たせることができ、擬似的でありながら、まるで実物に触れているかのような体験が可能となる。

これは振動を介した技術なので、タッチパネル以外への応用も可能となる。米国にあるペンシルバニア大学では、触覚フィードバック技術を用いたゲーム用触覚フィードバックベストの開発が進められている [24]。FPS ゲームに対応しており、擬似防弾チョッキを着た上で、ゲームをプレイする。すると、被弾した際の衝撃や、切り傷に怪我による出血など、数パターンのフィードバックが、内部モーターから発生する。そうすることで、ゲームプレイに第4次元の感覚を加えられ、よりリアルな体験が可能となる。

スマートフォンに表示される仮想ボタンにこの技術を実装すれば、実際には画

面全体が振動しているにも関わらず、まるで本当にそこにあるボタンを押しているような感覚を味わうことができる。単にフォースフィードバックを実装するのではなく、触覚フィードバックを用いることで、より本格的なレスポンスを表現することを目指した。

#### 2.6.4 MOTIV

触覚フィードバックの実装には、MOTIV を用いた。フォースフィードバックの振動機能で基本特許を数多く所有する、米国の Immersion という企業が提供している開発ツールである。これを用いると、Android 搭載機器や、Android 上で動作するソフトウェアを対象に、触覚フィードバックの実装が可能となる。つまり、Android OS を搭載したスマートフォンやタブレット、それらの端末で動作するゲームアプリに対して、触覚フィードバック機能を効率的に、かつ効果的に実装することができる [25]。

MOTIV を用いて触覚フィードバックを実装する際、最も最適なパフォーマンスを発揮できる機種が、Immersion の公式サイトにて公開されているが、それ以外の機種でも、Android 2.1 以上の OS を搭載している機種ならば、実装は可能であることが、同様に公式サイトに記されている [26]。

現在、触覚フィードバック機能を備えたアプリは数える程しかない。これらも、Immersion の公式サイトにて一例が紹介されている [27]。1.1 研究背景と目的で示した図 1.5 の『Solo』も、MOTIV を用いて制作された楽器演奏アプリで、画面に表示されているギターに触れると、弦を弾いたかのような触感が、振動で再現される。他にも、『Enzo's Pinball』と言うピンボールのゲームアプリがある。

次の図 2.10 は、そのイメージ図である。



図 2.10: Enzo's Pinball [3]

<http://www.4gamer.net/games/032/G003263/20110616043/>

このゲームアプリでは、ピンボールが画面内で弾かれる度に、その衝撃が振動で再現される。ピンボールの筐体が数パターン用意されており、どの筐体でプレイするかでも、返って来る振動が変化する。

しかし、MOTIVを用いて制作されたこれらゲームアプリは、触覚フィードバックを備えてはいるものの、演出面に用いられるだけに終始している。キャラクターを動かすと、実際に地面を蹴って歩いているような感覚や、物を壁にぶつけると、投げたものの種類に合わせたリアルな衝突感などが再現されるといった具合である。こうした振動を起こすことにより、画面内での出来事をよりリアルに表現し、臨場感を演出している。だが、触覚フィードバックを用いることで、操作性の向上を実現したような事例は、確認することはできなかった。

よって、演出のためではなく、操作性を向上させるために、触覚フィードバック機能を用いたゲームアプリを制作することを目指した。



# 第 3 章

## 検討と実装

前章では、スマートフォンの操作が独特であること、スマートフォンを使ってプレイするゲームアプリが、その影響を受けていること、そこに人々が不満を持ち、問題となっていること、問題改善のために活用できる技術について述べた。本章では、前章で述べた技術や開発ツールを、どう用いることで問題を解消できるかを説明し、それを踏まえた上で、制作するゲームアプリについて述べる。

### 3.1 問題点のまとめ

スマートフォンの操作性が抱えている問題と、その解消の可否についてまとめた。

まず、2.3 ゲームアプリの操作性で述べた画面サイズの問題や、仮想ボタンの表示間隔から起こる問題は、除外することとした。画面のサイズに関しては、スマートフォン本体の構造に依存することなので、改善のしようがないためである。同様に、仮想ボタンの表示間隔が原因で、ボタンの押し間違いが起きる点に関しても、画面サイズが固定である以上、対策には限界がある。何より、「ボタンの押し間違い」は、従来のゲーム機でも起こりうる問題のため、スマートフォン特有の問題解決を目的とした本研究では、対象外とした。よって、優先したのは、操作時の物理的なレスポンスが存在しない点である。

これまでも述べて来たように、仮想ボタンを用いてプレイするゲームアプリには、例えそのボタンを入力したとしても、指先にレスポンスが返って来ること

はない。押したつもりでも押せておらず、押し損ねていたという操作ミスを引き起こしてしまう。そこで、ボタンを入力する際に擬似的なレスポンスを返し、かつ実際にボタンを押しているような触感を表現することで、問題の解決を目指した。

## 3.2 ゲームアプリのスタイル

実験に使用するゲームアプリは、誰でも手軽にプレイできるシンプルなものにおいて、仮想ボタンを表示した際、全ボタンを効率良く使用できるジャンルのものを目指した。そこで、次の図 3.1 と 3.2 で示したゲームにヒントを得て、ボタンの早押しを目的としたゲームアプリを制作することにした。



図 3.1:

まいにちいっしょ ©2006 Sony  
Computer Entertainment

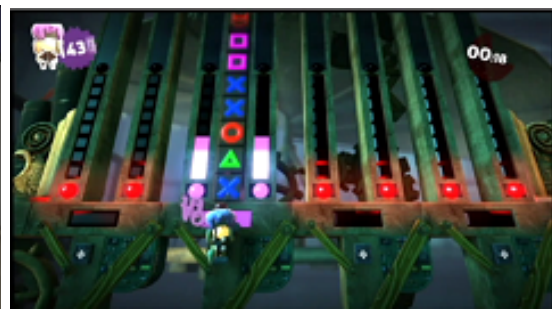


図 3.2:

LITTLE BIG PLANET 2 ©2011 Sony  
Computer Entertainment

## 3.3 制作方法

ゲームアプリの制作は、検証用に用いるスマートフォンが Android を搭載した端末であること、並びに触覚フィードバックを実装するための MOTIV は Android のみに対応していることから、Android プログラミングで行った。制作環境は eclipse で、言語は Java を用いた。

また、Immersion の公式サイトにて配信されている、MOTIV Developer Tools の内、Universal Haptics Layer を使用し、制作したゲームアプリに、触覚フィード

バックを実装した。これにより、ボタンを入力する事でフィードバックが発生し、触覚フィードバックによって、実際のボタンを押した触感を擬似的に再現した。

なお、触覚フィードバックを発生させる原理を、次の図 3.3 に示す。

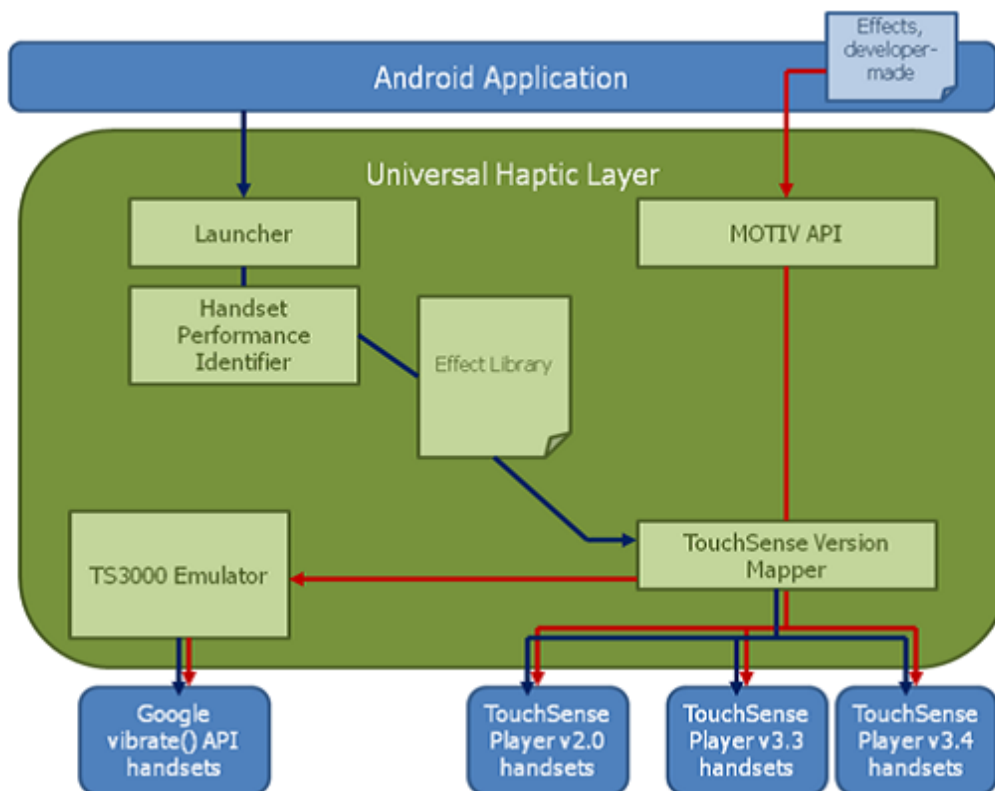


図 3.3: What is the Universal Haptic Layer? [9]

[http://www2.immersion.com/developers/index.php?option=com\\_content&view=article&id=482&Itemid=806](http://www2.immersion.com/developers/index.php?option=com_content&view=article&id=482&Itemid=806)

大まかな説明として、通常であれば、アプリの方から振動を起こそうとしても、スマートフォン本来に備わっている、単純なパターンの振動しか起こすことはできない。しかし、MOTIV、そして Universal Haptics Layer を用いることで、アプリから「こうした振動を起こせ」という詳細な命令を、振動装置に伝えることができる。それにより、単なる振動ではなく、触覚フィードバックを表現することが可能となる。

### 3.4 ゲームアプリの概要

完成したゲームアプリの内容は、3.2 ゲームアプリのスタイルで述べたように、ボタンの早押しを行うシンプルな内容となっている。次の図 3.4、3.5、3.6 は、制作したゲームアプリの一連の流れを追った画像である。

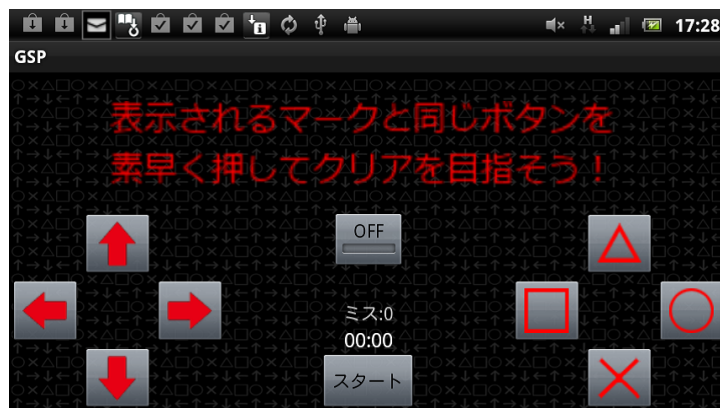


図 3.4: 起動画面

まず、単純なルールが記載された起動画面が立ち上がる。ここから、スタートボタンを押すことで画面が切り替わり、ゲームが始まる。なお、スタートボタンの上部にあるボタンを押すことで、触覚フィードバック機能の ON/OFF を行える。

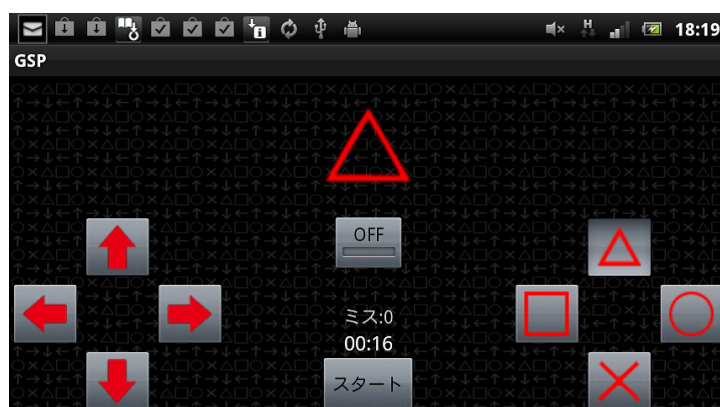


図 3.5: プレイ画面

画面上に表示されるマークと連動したボタンを押すことで、次の画像が表示されていく。間違えたボタンを押した場合、画像は切り替わらず、画面中央のミス回数がカウントされていく。

触覚フィードバックがOFFの状態では、レスポンスは一切存在しないが、ONにしている場合、ボタンを押すとフィードバックが発生する。これにより、ボタンを押し損ねても即座に気付くことができ、ミスに素早く対応できる。また、表示されているマークと違うボタンを押した場合、通常の触覚フィードバックとパターンの異なる振動が発生する為、同様にミスに素早く気づき、対応することが可能となる。



図 3.6: クリア画面

一定回数、入力に成功すると、クリア画面に切り替わり、クリアまでかかった時間、操作をミスした回数が表示される。

# 第 4 章

## 検証と結果

### 4.1 実験概要

前章で述べた通り、触覚フィードバックを備えたゲームアプリを制作した。そして、実際に完成したゲームアプリを被験者にプレイしてもらい、触覚フィードバックの有用性に関する、客観的評価と主観的評価を行った。

ゲームはそれぞれ、触覚フィードバックが ON になったものと、OFF になったものの 2 パターンに分けて行う。客観的評価では、被験者がクリアまでに有した時間と、クリアまでに操作をミスした回数を計測し、評価した。主観的評価では、ゲームアプリをプレイした被験者に対し、5 つの質問を行い、5 段階で評価する。これによって、異なる操作感を持つゲームアプリの評価を比較し、触覚フィードバックの有用性を検証する。実験内容や、評価方法、基準などは、似通った傾向の実験や評価を行っていた研究を参考に考案した [28] [29] [30] [31] [32] [33]。

次に、実験の概要について述べる。

- 調査資料

ボタンの早押しを目的としたゲームアプリ (2 パターン)

5 問の 5 段階評価による調査票

- 調査期間

2012 年 1 月 17～18 日、2 月 8 日

- 被験者

男性 24 名

女性 1 名

- 調査実験の内容

2 パターンあるゲームアプリを順番に、それぞれプレイしてもらう。その際、慣れによる 2 回目のゲームプレイの有利を防ぐため、被験者を、触覚フィードバックを ON にした状態を先にプレイする方、OFF にした状態を先にプレイする方と、2 グループに分けて実験を行う。なお、ゲームのルールと操作方法は、事前に説明を行い、前知識を持ってもらった上でプレイしてもらう。計 2 回のプレイを終えた上で、主観的評価のため、5 つの問いに答えてもらう。客観的評価は、クリアまでに有した時間と、クリアまでに操作をミスした回数を計測し、記録する。

それぞれのゲームアプリの評価を比較し、触覚フィードバックの有用性を検証する。

- 実験を行う環境

端末：Xperia arc SO-01C

OS：Android

Android バージョン：2.3.3

サイズ：高さ 約 125mm × 幅 約 63mm × 厚さ 約 10.9mm

質量：約 118g

ディスプレイ種類：フルワイド VGA TFT

ディスプレイサイズ：約 4.2 インチ

ディスプレイ解像度（ドット数）：480 × 854 ドット

## 4.2 アンケート内容

本研究では、実験の被験者に対し、操作性に関連する 5 つの質問を行い、それに対し、5 段階で評価をしてもらう。評価は 5 が最も高く、1 が最も低いものとする。次の図 4.1 は、質問が記載されたアンケート用紙である。

ゲームアプリにおける触覚フィードバック機能の有用性について  
主観的評価 アンケート用紙

触覚フィードバック機能 有り・無し

ページ( 12).

【Q1】 ボタンを入力しやすかったですか？

いいえ 1 2 3 4 5 はい

【Q2】 ボタンを連続でスムーズに入力できましたか？

いいえ 1 2 3 4 5 はい

【Q3】 本物のボタンを押しているような触感を得られましたか？

いいえ 1 2 3 4 5 はい

【Q4】 操作ミスに素早く気付きましたか？

いいえ 1 2 3 4 5 はい

【Q5】 ストレスなくプレイできましたか？

いいえ 1 2 3 4 5 はい

【Q6】 その他、何かご意見、ご感想などがありましたら、お書き下さい



図 4.1: アンケート内容



## 4.3 実験結果

ゲームアプリを2パターンに分け、それぞれプレイしてもらい、その後に実施したアンケートから得られた結果と、比較検証の結果を示す。

### 4.3.1 客観的評価

次の図 4.2 は、2パターンそれぞれのゲームアプリのクリアまでかかった時間を表し、比較したものである。

	OFF	ON	差		OFF	ON	差
1人目	44秒	43秒	-1秒	14人目	62秒	52秒	-10秒
2人目	38秒	43秒	+5秒	15人目	51秒	44秒	-7秒
3人目	40秒	38秒	-2秒	16人目	42秒	37秒	-5秒
4人目	38秒	39秒	+1秒	17人目	41秒	46秒	+5秒
5人目	47秒	40秒	-7秒	18人目	40秒	47秒	+7秒
6人目	46秒	51秒	+5秒	19人目	39秒	42秒	+3秒
7人目	40秒	39秒	-1秒	20人目	46秒	35秒	-9秒
8人目	39秒	41秒	+2秒	21人目	41秒	45秒	+4秒
9人目	43秒	41秒	-2秒	22人目	55秒	46秒	-9秒
10人目	42秒	45秒	+3秒	23人目	37秒	39秒	+2秒
11人目	52秒	49秒	-3秒	24人目	42秒	42秒	—
12人目	44秒	40秒	-4秒	25人目	39秒	34秒	-5秒
13人目	38秒	39秒	+1秒				

図 4.2: 客観的評価 (クリア時間)

評価を比較してみた所、触覚フィードバックがあることでクリア時間が短縮されたのは25人中13人で、逆に増加したのは25人中11人であった。平均値は、触覚フィードバックがない状態で43.4秒なのに対し、ある方は42.2秒と、ほとんど変化がなかった。

次の図 4.3 は、2 パターンそれぞれのゲームアプリで、クリアまでに重ねた操作ミスの回数を表し、比較したものである。

	OFF	ON	差		OFF	ON	差
1人目	0回	0回	—	14人目	2回	1回	-1回
2人目	0回	1回	+1回	15人目	0回	1回	+1回
3人目	1回	2回	+1回	16人目	4回	3回	-1回
4人目	0回	0回	—	17人目	0回	0回	—
5人目	1回	1回	—	18人目	2回	2回	—
6人目	2回	1回	-1回	19人目	2回	1回	-1回
7人目	1回	1回	—	20人目	4回	1回	-3回
8人目	1回	1回	—	21人目	2回	0回	-2回
9人目	1回	1回	—	22人目	2回	2回	—
10人目	3回	0回	-3回	23人目	4回	3回	-1回
11人目	0回	0回	—	24人目	1回	1回	—
12人目	2回	2回	—	25人目	3回	1回	-2回
13人目	3回	1回	-2回				

図 4.3: 客観的評価（ミス回数）

操作ミスに関しては、触覚フィードバックがあることでミス回数が軽減したのは 25 人中 10 人で、逆に増加したのは 25 人中 3 人であった。触覚フィードバックの有無に関わらず、ミス回数に変化がなかったのは、25 人中 12 名であった。

#### 4.3.2 主観的評価

次の図 4.4 は、2 パターンのゲームアプリをそれぞれプレイした上での評価値を表し、比較したものである。

	入力			連続入力			触感			操作ミス			ストレス		
	OFF	ON	差	OFF	ON	差	OFF	ON	差	OFF	ON	差	OFF	ON	差
1人目	4	4	—	4	4	—	1	2	+1	4	5	+1	4	4	—
2人目	3	3	—	3	3	—	2	4	+2	1	5	+4	3	3	—
3人目	3	4	+1	2	5	+3	1	3	+2	1	5	+1	3	4	+1
4人目	2	4	+2	2	5	+3	1	4	+3	1	5	+4	3	4	+1
5人目	4	4	—	5	5	—	1	2	+1	1	5	+4	4	4	—
6人目	3	4	+1	4	4	—	2	3	+1	2	4	+2	3	5	+2
7人目	4	4	—	2	2	—	1	2	+1	3	5	+2	3	4	+1
8人目	5	5	—	3	5	+2	1	2	+1	2	5	+3	3	5	+2
9人目	3	3	—	3	4	+1	1	3	+2	2	4	+2	2	4	+2
10人目	2	2	—	3	4	+1	2	3	+1	2	4	+2	3	4	+1
11人目	1	3	+2	3	3	—	1	5	+4	1	5	+4	1	5	+4
12人目	3	4	+1	2	5	+3	1	5	+4	1	5	+4	2	5	+3
13人目	4	4	—	4	4	—	1	4	+3	1	5	+4	4	4	—
14人目	2	4	+2	2	5	+3	3	3	—	2	3	+1	1	4	+3
15人目	3	4	+1	3	4	+1	2	3	+1	2	4	+2	3	4	+1
16人目	2	2	—	3	5	+2	2	2	—	2	5	+3	3	5	+2
17人目	2	5	+3	2	4	+2	1	4	+3	3	4	+1	3	5	+2
18人目	3	4	+1	3	3	—	2	3	+1	2	5	+3	2	4	+2
19人目	3	5	+2	2	4	+2	2	2	—	1	5	+4	2	4	+2
20人目	2	2	—	2	4	+2	1	2	+1	1	5	+4	3	4	+1
21人目	4	5	+1	1	2	+1	1	1	—	2	5	+3	2	4	+2
22人目	4	5	+1	3	4	+1	2	4	+2	1	5	+4	3	5	+2
23人目	2	4	+2	2	3	+1	2	3	+1	3	3	—	2	4	+2
24人目	1	1	—	1	1	—	1	3	+2	1	3	+2	2	3	+1
25人目	3	4	+1	2	4	+2	1	3	+2	2	5	+3	2	4	+2

図 4.4: 主観的評価

主観的評価において、触覚フィードバックがある方が、ボタンを入力しやすいと評価したのは、25人中14人、ボタンをスムーズに連続で入力できると評価したのは、25人中16人、本物のボタンを押しているような触感を得られたと評価したのは、25人中21人、操作ミスに素早く気付けたと評価したのは、25人中24人、ストレスなくプレイできたと評価したのは、25人中21人という結果となった。なお、評価において、触覚フィードバックがある方が、ない方を下回るという結果は一切見られなかった。

## 第 5 章

### 考察

前章での評価を検証した結果、客観的評価においては、クリアに要した時間、及びそれまでにミスした回数、共に、触覚フィードバックがある状態の方が数値が改善されたが、どちらも僅かなもので、ほとんど差は出なかった。

これは、ゲームアプリそのものの作りが影響しているためと考えられる。現状のゲームアプリでは、なるべく素早くゲームクリアを目指すと言っても、それを促すシステムが組み込まれている訳ではない。表示されるマークと同じボタンを押さなければならず、ボタンを押し間違えた際はミスとしてカウントされるが、入力に制限時間などがある訳ではないため、ことさらに急ぐ必要がない。制限時間などがないことで、1回1回、しっかり確認を行いながらボタンを押せるため、触覚フィードバックの有無に関わらず、一定のリズムでのプレイを可能とした。よって、急ぎ過ぎや焦りによる操作ミスがほとんど起きず、その回数や、クリアに要した時間も、似通った結果に終わったのだと思われる。

よって、ゲームアプリの仕様を、瞬間的な操作が求められるものに変更すれば、触覚フィードバックの有用性の差が、よりはっきり現れると考える。

主観的評価では、触覚フィードバックがある状態の方が、ない方よりも評価が高い場合がほとんどで、そうでない場合は、変化がない結果となった。

ボタンを入力しやすかったかという点に関しては、触覚フィードバックの有無以前に、ボタンのサイズや、配置具合も考慮して評価されたようで、全項目の内、

評価に変化の見られない数が最も多かった。

ボタンを連続でスムーズに入力できたかどうかについては、触覚フィードバックがあることで、プレイ中に同じマークが連続で表示されても、次が表示されたのか、それともボタンの押し損ないだったのかの区別がつくため、入力の途中にためらうことがなくなり、スムーズな入力へと繋がった。

本物のボタンを押しているような触感を得られたかについても、触覚フィードバックのない方は、そもそも触感も何もないため、触感ある方を評価する被験者がほとんどであった。とは言え、この項目では、触覚フィードバックがある方の評価も低いものが多かったので、よりリアルなボタンの触感を再現する必要がある。

操作ミスに素早く気付けたかどうかに関しては、触覚フィードバックがない方は、ボタンを押し損ねたのか、または押し間違えたのかの判断が、どうしても遅れてしまう。また、同じ画像が連続で表示された場合も、押し損ねによるものなのかの判断がつかず、つい繰り返し押ししてしまい、直後に別の画像に切り替わることで、押し間違いに繋がるミスが生じる。そのため、触覚フィードバックがある方では、押し損ねた場合や、連続で同じ画像が表示された場合でも素早く判断がつき、すぐに次のアクションへと繋げることができた。

ストレスなくプレイできたかという項目に関しては、元々がシンプルなゲームアプリではあるのだが、それでも、触覚フィードバックがある方が評価された。

全体として、触覚フィードバックの有無による操作性の違いは確かに存在し、全項目において、触覚フィードバックがある方が評価を上回った。このことから、触覚フィードバックがあることで、遊び手は操作性の向上を感じ、そこに満足を得ていることが判明した。

## 第 6 章

# おわりに

本研究では、スマートフォンのゲームアプリをプレイする際、操作性が抱える難点を解消し、操作性を向上させることを目的とした。そのための手法として、触覚フィードバックの実装を提示し、実際にそれを実装したアプリを制作することで検証を行った。検証の結果から、クリア時間や操作ミス回数の軽減においては、僅かな差に留まり、ほとんど変化することはなかった。しかし、主観的評価での、ボタンの入力のしやすさ、スムーズな連続入力、本物のボタンを押しているような触感、素早い操作ミスへの気付き、そしてプレイ中のストレスに関しては、触覚フィードバックがある方が、高い評価を得られた。このことから、ゲームアプリをプレイする際、レスポンスの有無が重要であることが判明し、そのための手法として、触覚フィードバックの有用性が証明されたと考える。

今後の展望として、より本物のボタンに近い触感の再現が挙げられる。並びに、瞬間的な判断と操作が求められるゲーム性を実現することで、触覚フィードバックの有用性の差が、よりはっきり現れると考える。主観的評価で実施したアンケートで寄せられた、「音があると良い」などの意見も、同様に検討したい。

# 謝辞

本研究を締めくくるにあたり、ご指導ならびに適切な助言をくださいました、本校メディア学部の三上浩司講師と渡辺大地講師に、心から感謝の意を表します。また、様々な相談、及び協力に乗ってくださった、演習講師と院生の方々、並びに研究室のメンバーに、深く感謝いたします。

## 参考文献

- [1] ガジェット速報. <http://ggsoku.com/tag/iphone4/>.
- [2] ガジェットショット. <http://gadget-shot.com/2011/02/27/xperia-arc-home/>.
- [3] 4Gamers. <http://www.4gamer.net/games/032/G003263/20110616043/>.
- [4] PIXTA. <http://pixta.jp/graphic/3266897>.
- [5] Kotaku Japan. [http://www.kotaku.jp/2011/01/ngp\\_how\\_big.html](http://www.kotaku.jp/2011/01/ngp_how_big.html).
- [6] ANDROID COMMUNITY. <http://androidcommunity.com/iconcontrolpad-confirmed-to-hold-a-list-of-smartphones-many-of-them-android-based-release-date-q1-2011-20101129/>.
- [7] netbooknews.com. <http://www.netbooknews.com/13055/tacileplus-adds-gamepad-to-your-tablet-smartphone/tactile-plus/>.
- [8] ワイヤレスジャパン 2011. <http://plusd.itmedia.co.jp/mobile/articles/1105/25/news056.html>.
- [9] Immersion. [http://www2.immersion.com/developers/index.php?option=com\\_content&view=article&id=482&Itemid=806](http://www2.immersion.com/developers/index.php?option=com_content&view=article&id=482&Itemid=806).



- [10] 矢野経済研究所. 2011-2012 携帯電話世界市場動向調査. [http://www.yano.co.jp/market\\_reports/C53117200](http://www.yano.co.jp/market_reports/C53117200), 2011.
- [11] ケータイ Watch. Android アプリは iPhone アプリを超えるか. <http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/COLUMN/20111205/375874/>, 2011.
- [12] COMPUTERWORLD. アップルの「Mac App Store」、アプリ・ダウンロードが1億回越えを記録. [http://www.computerworld.jp/topics/614/Apple ウォッチ/201303/アップルの「Mac%20App%20Store」、アプリ・ダウンロードが1億回越えを記録](http://www.computerworld.jp/topics/614/Apple%20ウォッチ/201303/アップルの「Mac%20App%20Store」、アプリ・ダウンロードが1億回越えを記録), 2011.
- [13] NHN Japan. 20～30代、働く男女800人が答える「スマートフォン・ゲームに関するアンケート」. <http://prw.kyodonews.jp/open/release.do?r=201104135856>, 2011.
- [14] EE Times Japan. ギターの弦のわずかな感触をあなたの指に、タッチパネル向け新技術が開発. <http://eetimes.jp/ee/articles/1112/07/news055.html>, 2011.
- [15] 4Gamer.net. Immersion, フォースフィードバック技術「Haptics」の開発プラットフォーム「MOTIV」をAndroid向けに展開. <http://www.4gamer.net/games/032/G003263/20110616043/>, 2011.
- [16] IT Pro. Android アプリは iPhone アプリを超えるか. <http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/COLUMN/20111205/375874/>, 2011.
- [17] NHN Japan. 人気ゲーム「Angry Birds」、日本市場で本格展開へ. [http://k-tai.impress.co.jp/docs/news/20111130\\_494521.html](http://k-tai.impress.co.jp/docs/news/20111130_494521.html), 2011.
- [18] シード・プランニング. スマートフォンゲームの市場動向結果. <http://www.seedplanning.co.jp/press/2011/2011090801.html>, 2011.

- [19] ファミ通 App. ボタン操作とタッチ操作が融合した KDDI の新感覚スマートフォン【CEATEC JAPAN 2011】. <http://www.famitsu.com/news/201110/04051391.html>, 2011.
- [20] 棚瀬直政, 島田景司, 長松隆, 赤沢輝彦, 鎌原淳三. パネルの遊びから押せる場所  
が分かるタッチディスプレイの開発. 全国大会講演論文集, Vol. 2011(1), pp.  
315–317, 2011.
- [21] 井澤謙介, 鈴木宣也, 赤羽亨, 山川尚子, 丸山潤, 相坂常朝, 久保元亮樹, 柴山史明,  
竹中寛, 小林茂. 直接操作可能なめくりインタフェースによる新しいインタラ  
クションの提案. 2011.
- [22] 渡辺将充, 竹内義則, 松本哲也, 松本哲也, 大西昇. タッチパネル操作における視  
覚障害者の指の誘導法. 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 108, pp. 53–58,  
2009.
- [23] 高濱健児, 郷健太郎. 親指の往復運動に基づく小型タッチ画面端末向けソフト  
ウェアキーボード. ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 12, pp. 269–275,  
2010.
- [24] Game\*Spark. 大学院生が FPS ゲーム用の触覚フィードバックベストを開発.  
<http://gs.inside-games.jp/news/229/22943.html>, 2011.
- [25] Immersion. Simplify Haptic Software Integration. <http://www.immersion.com/products/motiv/>, 2011.
- [26] Immersion. Featured Handsets. [http://www2.immersion.com/developers/  
index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=  
127&Itemid=759](http://www2.immersion.com/developers/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=127&Itemid=759), 2011.
- [27] Immersion. Featured Apps. [http://www2.immersion.com/developers/  
index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=](http://www2.immersion.com/developers/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=)

102&Itemid=602, 2011.

- [28] 杉山直隆. 立体視ゲームにおける HUD の視認性の向上に関する研究. 東京工科大学, 2010.
- [29] 松本広葉. 読みやすい携帯電話電子書籍ビューアの提案. 東京工科大学, 2007.
- [30] 西村崇宏, 瀬尾明彦, 土井幸輝. 可操作性を用いたタッチパネルの表示面傾斜角度がその操作性に及ぼす影響の評価. 日本経営工学会論文誌, Vol. 61, pp. 23-30, 2010.
- [31] 廣木桂一, 矢谷浩司, 杉本雅則. モバイルデバイスの表裏両面からの操作を連携させることによる効率的な入力手法. インタラクション, Vol. 2005, pp. 61-62, 2005.
- [32] 高橋里奈, 村田厚生. タッチパネル操作における利き手と非利き手のエラー特性の違いについて : 若年者と高齢者の比較. 人間工学, Vol. 45, pp. 173-177, 2009.
- [33] 坂本牧葉, 須藤秀紹, 澤井政宏. タッチパネルインタフェースの色彩から受ける印象が操作に及ぼす影響の検証. 日本色彩学会誌, Vol. 34, pp. 12-13, 2010.