

平成 13 年度

学士学位論文

**PDA画面上のターゲット選択時における  
ボタンのサイズの実用限界と入力方式の比較実験**

An Empirical Study to Compare the Input Strategies and Find  
the Optimal Smallest Size for Targets Selection on PDAs

1020256 今井 淳

指導教員 任 向実

2002 年 2 月 8 日

高知工科大学 情報システム工学科

# 要旨

## PDA画面上のターゲット選択時における ボタンのサイズの実用限界と入力方式の比較実験

今井 淳

携帯情報端末において、画面のデザインや入力方法が作業効率に与える影響はデスクトップ型やノート型のコンピュータに比べて大きいといえる。本研究は、PDAを用いた作業において、ターゲットとなるボタンのサイズはどこまで小さくできるか、という点と、ペン入力とキー入力の2種類の入力方式の特徴のほか、ボタンを選択した際に効果音が鳴るかどうかという点を調査するため実験を行うものである。実験によって得られたデータは解析し、ユーザが使うソフトウェアや使用環境により適合した画面構成や入力方法等を考察する。

**キーワード** PDA, 携帯情報端末, ボタンサイズ, ペン入力, キー入力, 効果音

# **Abstract**

## **An Empirical Study to Compare the Input Strategies and Find the Optimal Smallest Size for Targets Selection on PDAs**

**Jun Imai**

In mobile systems, such as mobile phones and PDAs, the influence which screen composition and the input method have on working efficiency is far greater than on desktop or a note type computers. In order to evaluate the efficiency of various screen layouts and input methods, this study tested PDA target selection using a keyboard input and pen input methods. We focused on (1) the minimum efficient target size; (2) which of the two input systems was best (pen input or keyboard input) and (3) the effect between sound and non-sound interface. Screen composition and input methods, etc. which best suit various types of software and various user environments were also investigated.

*Key words* PDA, Mobile system, Cell size, Pen input, Keyboard input,  
Sound interface

# 目次

<b>第1章</b>	<b>はじめに</b>	<b>1</b>
1.1	概要 .....	1
1.2	背景 .....	2
1.3	目的 .....	3
<b>第2章</b>	<b>実験内容</b>	<b>4</b>
2.1	実験機材 .....	4
2.2	実験概要 .....	5
2.2.1	ペン入力 .....	5
2.2.2	キー入力 .....	6
2.2.3	各種設定等 .....	7
2.3	実験詳細 .....	8
2.3.1	設定項目 .....	8
2.3.2	実験手続き .....	11
2.3.3	データ内容 .....	13
<b>第3章</b>	<b>実験結果</b>	<b>17</b>
3.1	時間 .....	17
3.2	エラー率 .....	19
3.3	アンケート結果 .....	21

## 目次

<b>第 4 章</b>	<b>結論</b>	24
4.1	まとめ .....	24
4.1.1	ペン入力のまとめ .....	24
4.1.2	キー入力のまとめ .....	25
4.2	今後の課題 .....	25
<b>謝辞</b>		27
<b>参考文献</b>		28
<b>付録 A</b>	<b>実験シート</b>	29

# 図目次

図 1.1 携帯情報端末におけるトレードオフの関係の例	2
図 2.1 NTT ドコモ製 PDA G-FORT	4
図 2.2 ペン入力・ボタン A	5
図 2.3 ペン入力・ボタン B	6
図 2.4 キー入力・ボタン C および D	6
図 2.5 キー入力・カーソルの移動および選択	7
図 2.6 試験ソフト設定画面	9
図 2.7 座標を用いたボタンの管理の例	13
図 2.8 ペン入力時の時間計測の概念	14
図 2.9 キー入力時の時間計測の概念	15
図 3.1 各パラメータごとの“Observed time”の平均	17
図 3.2 “Observed time”の平均における標準偏差のグラフ	18
図 3.3 各パラメータごとのエラー率の平均	19
図 3.4 各試行におけるエラー率の標準偏差のグラフ	20
図 3.5 ペン入力の使いやすさについてのアンケート	22
図 3.6 キー入力の使いやすさについてのアンケート	23

# 表目次

表 2.1 試験ソフトで設定できる項目 .....	8
表 2.2 実験で変化させた項目 .....	10
表 2.3 被験者アンケートの質問内容 .....	12
表 2.4 生成される 3 種類のファイル .....	13
表 2.5 Trial file 内の変数一覧 .....	16
表 3.1 “Observed time” の平均の値と標準偏差 .....	18
表 3.2 各試行におけるエラー率とその標準偏差 .....	20

# 第 1 章

## はじめに

携帯電話市場では 1999 年の NTT ドコモによる i モードサービスの開始、PDA 市場では 1996 年の Palm OS の登場や 1997 年の Windows CE の登場などにより、昨今の PDA や携帯電話などに代表される携帯情報端末の普及はめまぐるしいものがある。

デスクトップタイプのパーソナルコンピュータのように大きな表示領域を持たず、場合によっては 1 インチというような限られた表示領域しか持たない携帯情報端末において、入力デバイスやソフトウェアの操作性が及ぼす作業効率への影響は、デスクトップタイプのパーソナルコンピュータのそれに比べ、非常に大きいものであるといえる。

### 1.1 概要

PDA や携帯電話などの携帯情報機器において、画面上に表示されるボタンの大きさと作業効率がトレードオフの関係にあることは、ヒューマンインタフェースデザインの基本的な問題であるといえる。

図 1.1 にあるように、“表示領域が狭い”というハードウェアによる制約が大きい携帯情報端末においては、画面構成のデザインの段階で、「ターゲットは大きすぎてもダメ・小さすぎてもダメ」という相反する制限が発生する。



## 1.2 背景

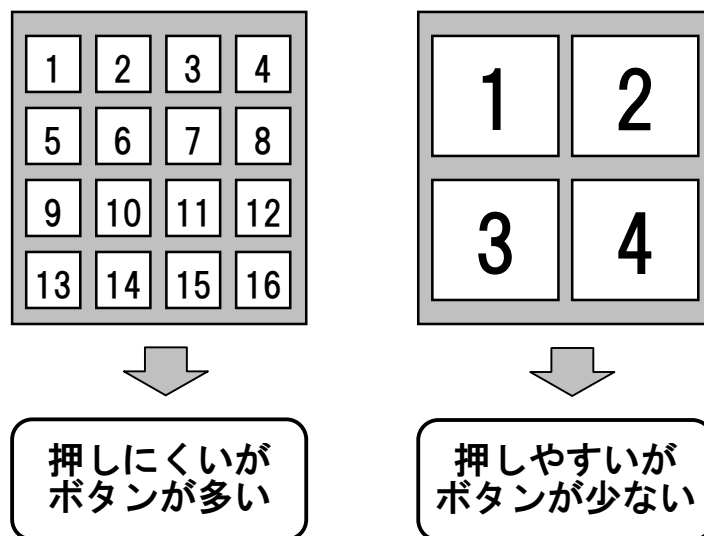


図 1.1 携帯情報端末におけるトレードオフの関係の例

このような“トレードオフの関係”を少しでも改善するためには、まず、そのソフトウェアを使用する場所や環境、キーボードやマウスなどに代表される入力方式、表示させるターゲットの数や大きさなどを考慮し、入力方式やパラメータ組み合わせによって、もっとも作業効率の高い組み合わせを見つけ出すことが重要である。

## 1.2 背景

1.1 で述べたように、携帯情報端末を用いた作業の効率を左右する要素としては、使用環境や入力方式、ターゲットの数や大きさが挙げられるが、これらの要素の他にもうひとつ場合によっては作業に大きな影響を与えるであろう重要な要素がある。

1999 年、PDA のペン入力において、PDA が発する効果音が作業に与える影響について研究したドイツの Stephen A. Brewster 氏の研究論文“Sound in the interface to a mobile computer”<sup>\*1</sup>によれば、表示ボタンサイズが大・小の 2 種類で、それぞれ効果音がある場合とない場合の 2 種類の合計 4 種類の設定で、指定された 5 桁の数字を入力する実験を複数の被験者に対して行った結果、ボタンのサイズが同じであれば、効果音が鳴った場

<sup>\*1</sup> <http://www.dcs.gla.ac.uk/~stephen/>

### 1.3 目的

合の方が高スコアを記録したという結果が出ている。

効果音が鳴ることによって、ユーザが“ ボタンを押した ”という動作を、目だけではなく耳でもモニタリングすることができるようになり、効果音が鳴らない場合に比べて少なくとも作業効率は向上するということはある程度予想することができるが、この実験により実際に実証されている。

例えば、“ 画面上のボタンを押して数字を入力する ”という動作が“ ボタンがアニメーションしない ”という理由により視覚的に確認できない場合において、何らかの処理のモタつきのために画面には入力した数字が表示されなかったため、何度も同じボタンを押してしまい、最終的に少しの時間差でボタンを押した回数分の意図しない数字が一気に表示された、ということを経験した方も多いのではないだろうか。このような場合において、もしコンピュータが“ ボタンを押す ”という処理を受け付けたことを示す効果音がボタンを押すたびに鳴っていたらどうだろうか。その効果は容易に想像できる。

### 1.3 目的

本実験は、携帯情報端末のソフトウェアの設計において、作業効率に特に大きな影響を与えるであろうユーザの入力のしやすさについて、各種パラメータ等の相関関係を調べるために行うものとする。

実験を行うにあたっては、

- 画面上に表示されるボタンの実用し得る限界
- より効率的といえる入力方式
- 効果音による作業への影響

という以上の3点に重点を置き、この3点の相関を調べることにより、開発するソフトウェアにはどのような設計が適しているといえるのかを考察した。

## 第 2 章

# 実験内容

### 2.1 実験機材

本実験には、OS に Microsoft Windows CE が搭載された NTT ドコモ製 PDA “G-FORT” を用い、試験ソフトには Visual Basic を用いて作成した専用の試験ソフトを用いた。

G-FORT に用意された入力方式としては、本体に収納できるタイプの専用スタイラス(以下「ペン」)で画面に直接触れて入力する方式と、本体の表面下部に内蔵されたカーソルキーなどのボタン類(以下「キー」)を押して入力する方式の 2 種類がある。



図 2.1 NTT ドコモ製 PDA G-FORT

## 2.2 実験概要

### 2.2 実験概要

本実験では、ペン入力とキー入力の 2 つを用い、それぞれ以下のような操作で同じ課題を行うものとする。

#### 2.2.1 ペン入力

ペン入力を用いた実験を開始すると、まず、画面に 6×6 マス表示された 36 個の正方形のボタンが表示され、4 隅のボタンのうちの 1 つがランダムに指定され、そのボタンの輪郭が太く表示される。

このボタンがスタート地点となる。このボタンを A とする。

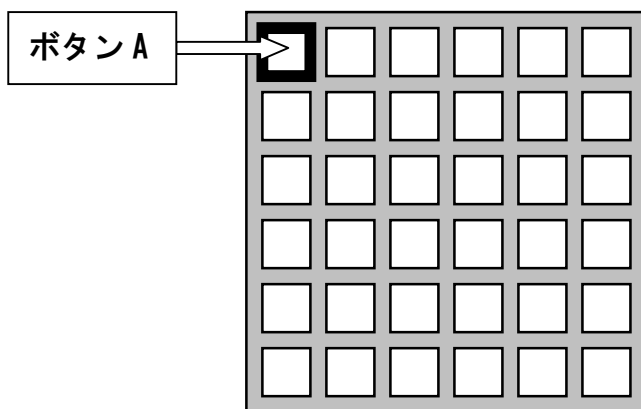


図 2.2 ペン入力・ボタン A

ボタン A をペンで直接タップし選択すると、次は 4 隅以外の 32 個のボタンのうちの 1 つがランダムに指定され、そのボタンの色が変わる。この際、ペンでボタン A 以外の箇所を押しても何も起こらない。ボタン A を押した時点で実験開始となる。

このボタンがターゲット（ゴール地点）となる。このボタンを B とする。

## 2.2 実験概要

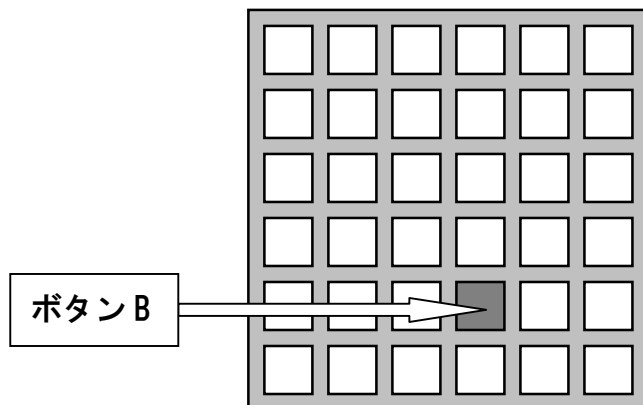


図 2.3 ペン入力・ボタン B

ボタン B もしくはそれ以外の点をタップすると、1 試行を終了したこととなる。

### 2.2.2 キー入力

キー入力を用いた実験を開始すると、まず、画面に 6×6 マス表示された 36 個の正方形のボタンが表示され、ペン入力のとおりと同様に 4 隅のボタンのうちの 1 つがランダムに指定され、そのボタンの輪郭が太く強調される。このボタンを C とする。そして、4 隅以外の 32 個のボタンのうちの 1 つがランダムに指定され、そのボタンの色が変わる。このボタンを D とする。

このとき、ボタン C がスタート地点となり、ボタン D がターゲット（ゴール地点）となる。このとき、ボタン C の輪郭が太く強調され部分がそのままカーソルとなる。

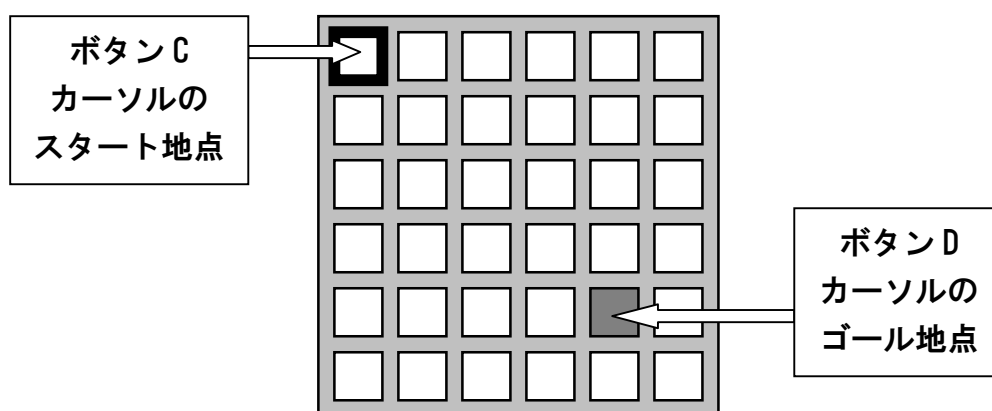


図 2.4 キー入力・ボタン C および D

## 2.2 実験概要

被験者は、カーソルキーを用いて上下左右のカーソル移動を行い、カーソルをスタート地点からターゲットまで移動させる。

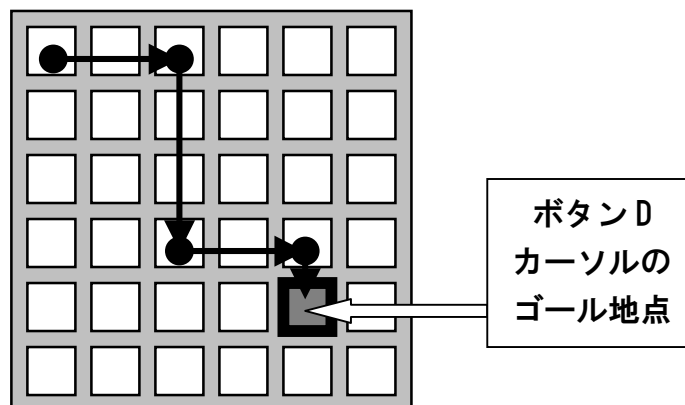


図 2.5 キー入力・カーソルの移動および選択

ボタン D の上にカーソルが到達したらセレクトキーを押して選択する。これで 1 試行を終了したことになる。もし間違ったボタンを選択してしまった場合でも同様である。

### 2.2.3 各種設定等

実験では、2.2.1 および 2.2.2 に示した試行をペン入力とキー入力それぞれ 50 回繰り返し、所要時間やエラー率を計測した。

この試験ソフトは、表示されるボタンの数やサイズなどの画面構成の他、試行回数や入力方法を事細かに設定できるため、上記の実験を各種パラメータを変更することにより、被験者 1 人に対して 16 種類のバリエーションの実験を行った。

実験で得られたデータは、PDA 内に各設定値等が CSV 形式（カンマ区切り）ファイルとして保存されるので、そのファイルをデスクトップタイプのコンピュータに転送することによりデータの集計を行った。

## 2.3 実験詳細

試験ソフトでは、2.2.3にあるように、様々なパラメータの変更を行うことができ、その実験によって得られたデータは非常に詳細なものとなる。

### 2.3.1 設定項目

試験ソフトによって設定できるパラメータと、実験に用いた数値を以下に示す。

表 2.1 試験ソフトで設定できる項目

	項目	可変範囲	実験で用いた設定
<b>Grid setting</b> ボタン自体に関する設定	<b>Grid size</b> ボタン 1 個の 1 辺の長さ	1.0mm～10.0mm (0.5mm 刻み)	2.0mm～5.0mm (1mm 刻み)
	<b>Space size</b> ボタン間の距離	0mm～3.0mm (0.5mm 刻み)	1.5mm 固定
	<b>Cells</b> ボタン数 (○×○マス表示)	1～10,	6 固定
<b>Cell activation</b> ボタン選択の 判定方法 (3 つのうちいずれ かを指定)	<b>Press and release</b> 押して放したとき	*この設定を使用*	
	<b>Released</b> 放したとき	不具合があるため使用せず	
	<b>Pushed</b> 押したとき	不具合があるため使用せず	
<b>Test env.</b> 試行に 関する設定	<b>Test count</b> 試行回数	20～100(10 刻み)	50 回固定
	<b>Test sequence</b> 試行順序	Pen→Key Key→Pen	いずれかを ランダムに指定

試験ソフトには表 2.1 に示した設定項目があり、これらの設定を変えて様々なセッティングで実験を行った。

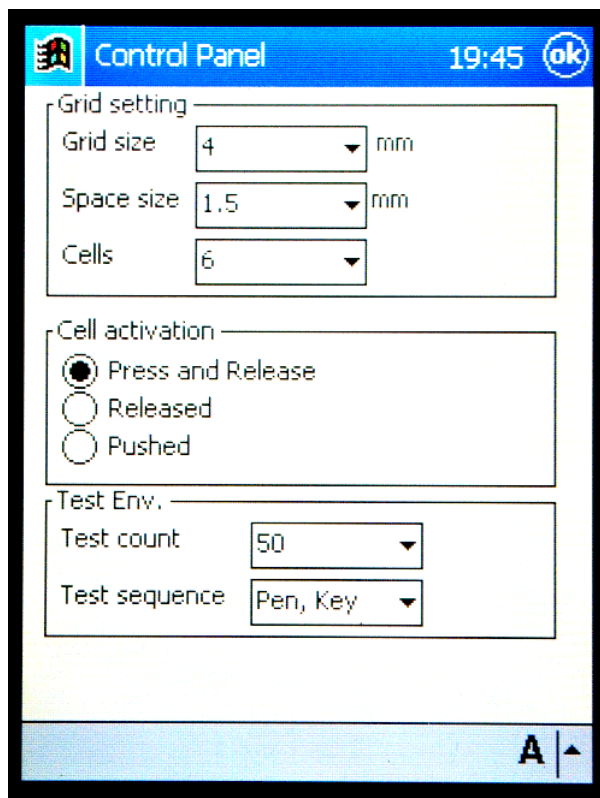


図 2.6 試験ソフト設定画面

入力方法は、ペン入力とキー入力の2種類があり、「Grid setting」と「Cell activation」で設定した実験をペン入力、キー入力それぞれで連続して行った。

ペン入力の実験の後にキー入力の実験を行うか、またはその逆かという実験順序は「Test sequence」で指定できる。

例えば、「Test sequence」を「Pen Key」に設定しておけば、まず、「Grid setting」と「Cell activation」で設定した実験をまずペン入力で「Test count」で指定した試行回数分（本実験では50回）行い、その後に同じ設定でキー入力の実験が始まる、ということになる。

この他、OSの設定で、ペンで画面をタップした際や、キーを押した際になる「カチッ」というような効果音のON / OFFの切り替えを行った。



## 2.3 実験詳細

尚、効果音は、ペン入力ではペンが画面に触れた際であればいつでも鳴り、キー入力ではキーを押すたびにソフトウェアに関係なくいつでも鳴る。つまり決して“ ボタンを押した際のみ鳴る ” や “ 間違っ たボタンを押した際のみ に鳴る ” という効果音ではないのでこの点にはくれぐれも注意されたい。

つまり、各実験での変更項目は、

表 2.2 実験で変化させた項目

ボタンサイズ	2mm, 3mm, 4mm, 5mm
入力方法	ペン入力, キー入力
効果音	ON / OFF (ミュートするか否か)

という 3 点になり、その他のパラメータはすべて固定値となる。ボタンサイズは 4 種類、入力方法は 2 種類、効果音は 2 種類、すべての組み合わせを考えると、 $4 \times 2 \times 2 = 16$  種類であるので、被験者 1 人に対して、合計 16 回の実験を行ったことになる。

"Test count"を 50 回にした理由であるが、本実験では、各種設定を変えてはいるものの、基本的には同じ操作をひたすら繰り返す実験であるため、被験者の疲労や集中力の低下等を考慮すると、例えば 1 人あたり数時間にもおよぶ実験はデータの信憑性自体に問題があるといえるので、1 人あたり 1 時間を切るような時間で実験を行う必要があった。そのため、各種パラメータのバリエーションを少なくするなどしてバランスを整えた結果、"Test count"は 50 回が妥当ではないかという結論に達した。実際の実験では、被験者 1 人あたり 40 分前後で実験を行うことができた。

## 2.3 実験詳細

### 2.3.2 実験手続き

被験者にはまず最初に、実験に移る前の準備として、各種注意事項などの説明を行った。

まず、実験時の姿勢や PDA の持ち方を説明する。持ち方は、ペン入力の場合は、左手で PDA 本体を持ち、右手でペンを持つ（今回の実験で左利きの被験者はいなかったが、もし左利きの場合はこれを逆に持つものとする）ものとし、キー入力の場合は、両手で PDA を持ち、左手親指でカーソルキーを、右手親指でセレクトキーを押すものとする。実験中は PDA を持った手は必ずテーブルなどの台に置くようにし、実験中には決して PDA を膝の上に乘せて操作するようなことのないように説明した。

以上の注意点と簡単な操作説明の後に、練習としてボタンサイズ 4mm、入力順はペン入力 キー入力、効果音 ON、試行回数 20 という設定で練習試行を行い、その後に本実験を行う。

実験後のデータ処理などを円滑に進めるために、被験者 1 人ごとに“実験シート”という用紙を用意し、実験順や、実験を開始した時間等を書き込むようにした。

被験者 1 人に対して 16 回行う実験順は、被験者の“ボタンの大きさや入力方式への慣れ”という点を考慮してランダムに順番を決定した。試験ソフトの仕様上、入力方式の順番 (Test sequence) は“ペン入力の後は同じ設定でキー入力”か“キー入力の後は同じ設定でペン入力”というような順になってしまうため、実験シートでは、まず実験をボタンサイズ 4 種類と効果音の有無の 2 種類の組み合わせで  $4 \times 2 = 8$  種類に分けて実験順を 1 番から 8 番までランダムに決定し、8 種それぞれにおいて“Test sequence”を“ペンから”か“キーから”かをランダムに指定できるようにした。

詳しくは付録 A の“実験シート”を参照されたい。

## 2.3 実験詳細

実験シートの用紙の半分は被験者へのアンケート用紙にもなっており、被験者に対してボタンのサイズごとの使いやすさなどについての意識調査を行った。以下に被験者への質問内容を示す。

表 2.3 被験者アンケートの質問内容

1. 被験者の年齢
2. 被験者の性別
3. 被験者の左右の視力  
(眼鏡やコンタクトレンズ使用者の場合は着用時の視力を記入)
4. ペン入力時の各ボタンサイズごとの使いやすさ(5段階評価)
5. ペン入力時の各ボタンサイズにおいて効果音の有無による使いやすさの違いを  
どれほど感じたか(5段階評価)
6. キー入力時の各ボタンサイズごとの使いやすさ(5段階評価)
7. キー入力時の各ボタンサイズにおいて効果音の有無による使いやすさの違いを  
どれほど感じたか(5段階評価)

## 2.3 実験詳細

### 2.3.3 データ内容

実験で得られたデータは、2.2.3 で述べたように、各実験ごとに（拡張子は txt ではあるが）PDA 内に CSV（カンマ区切り）形式ファイルで保存される。

ペン入力とキー入力( 順番は "Test sequence" で指定 )の一連の実験が終わった時点で、PDA 内には以下の 3 つのファイルが生成される。

表 2.4 生成される 3 種類のファイル

Pen path file	実験時の各種設定と、ペン入力時に被験者がペンで画面を押した座標などの操作情報が記録されている。
Cursor path file	実験時の各種設定と、キー入力時に被験者がどのボタンを何回押したのか、などの操作情報が記録されている。
Trial file	実験時の各種設定と、スタート地点やターゲットの座標や入力方法、そして押したボタンがターゲットかどうかという正誤の表示などが記録されている。

試験プログラム内では、各ボタン（セル）の位置は座標によって指定される。以下にその例を示す。

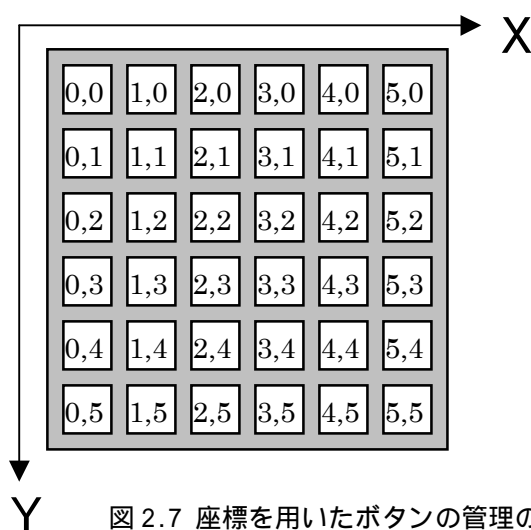


図 2.7 座標を用いたボタンの管理の例

## 2.3 実験詳細

実験で得られる重要なデータとしては、まず所要時間が挙げられる。

ペン入力時における時間計測の概念を以下に示す。

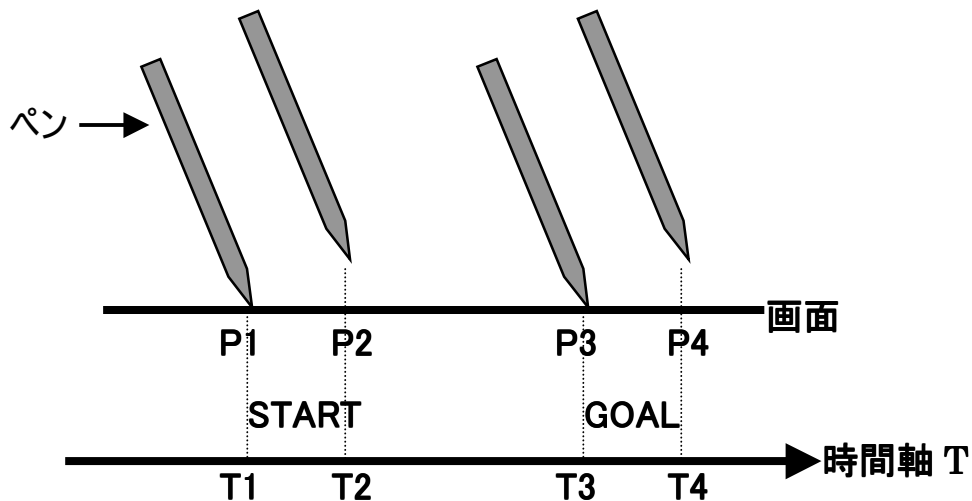


図 2.8 ペン入力時の時間計測の概念

図 2.8 におけるペンの画面との接点 P1 は図 2.2 におけるボタン A、つまりスタート地点にペンで触れた瞬間である。同じく P3 は図 2.3 におけるボタン B、つまりゴール地点、もしくはそれ以外の点にペンで触れた瞬間である。

“スタート地点のボタンを押した”という判定は P1 において行われるので、P1 がスタート地点上であれば、例えばペンで画面に触れたままスタート地点以外の場所に移動してからペンを画面から離しても“スタート地点を正しく押した”という情報は変わらない。それに対して、“ゴール地点のボタンを押した”という判定は P3 では行われずに P4 で行われる。よって、例えば P3 が図 2.3 におけるボタン B の範囲内でなくとも、P4 がボタン B の範囲内にあればよい。実験データには P4 がボタン B であれば“Hit”、それ以外の点であれば“Miss”と記録される。

尚、P2、P4 はそれぞれの状態で、ペンが画面から離れた瞬間である。以上 P1～P4 の 4 つの点に対応した時間をそれぞれ T1～T4 とする。

## 2.3 実験詳細

キー入力における時間測定を以下に示す。

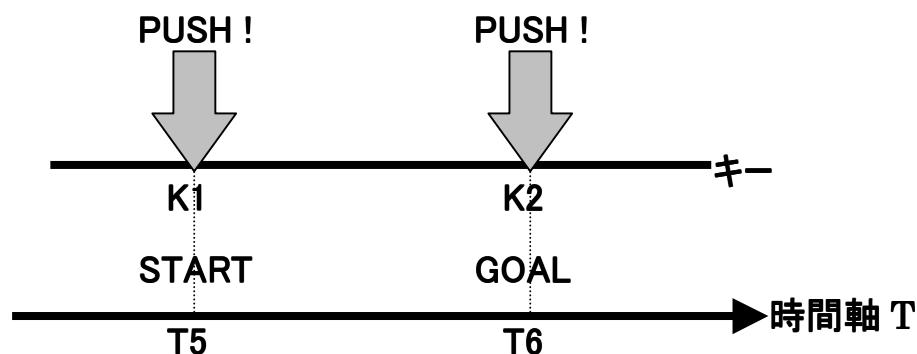


図 2.9 キー入力時の時間計測の概念

図 2.9 における K1 は図 2.4 におけるボタン C、つまりスタート地点から何らかのカーソルキーを押した瞬間である。同じく K2 は図 2.4 におけるボタン D、つまりゴール地点もしくはそれ以外のボタンの上にカーソルキーを移動させてセレクトキーを押した瞬間である。

ペン入力時と同様に、K2 がボタン D であれば"Hit"、それ以外のボタンであれば"Miss"と実験データに記録される。

尚、K1、K2 の 2 点に対応した時間をそれぞれ T5、T6 とする。

本実験では、結果の解析に"Pen path file"と"Cursor path file"は使用せず、"Trial file"に記録された各種の数値を解析することにより結果を求めた。

以上の試験ソフトの仕様をふまえた上で以下に"Trial file"に記録されるすべての変数を示す。

## 2.3 実験詳細

表 2.5 Trial file 内の変数一覧

変数名		解説
基本設定	Test date & time	実験を開始した日付((例) : 01/11/28-19:07:23)
	Grid size	ボタンサイズ (mm)
	Space size	ボタン間隔 (mm)
	Cells [1..10]	ボタン数 ((例)値が 6 ならば 6×6 マス表示)
	Cell activation [1..3]	アクション方法 (表 2.1 参照)
	Test count	試行回数 (本実験では 50)
	Test sequence [1..2]	ペンから(1)か、キーから(2)かの設定
Interaction type [cursor / pen]		入力方法
Trial [0..99]		試行ナンバー (現在何試行目かを表示)
X place of target		ターゲット(ゴール地点)の X 座標
Y place of target		ターゲット(ゴール地点)の Y 座標
Starting position (UL/UR/DL/DR)		開始位置(スタート地点)
Minimum direction change		スタートからゴールまでの最小方向転換回数(0 か 1)
Minimum X movements		ターゲット(ゴール地点)までの X 座標の最低移動回数
Minimum Y movements		ターゲット(ゴール地点)までの Y 座標の最低移動回数
Minimum Path length		ターゲット(ゴール地点)までの最低移動回数 (上記 2 項目の和)
Observed time (msec)		要した時間 T4-T2(ペン入力時) T6-T5(キー入力時)
Observed X place		ペンもしくはキーで実際に押した X 座標
Observed Y place		ペンもしくはキーで実際に押した Y 座標
Hit / Miss		正誤
ミス時のみ	Minimum distance to target	ミス地点からターゲット(ゴール地点)までの距離(mm)
	Direction from target	ミス地点を中心としたターゲット(ゴール地点)の方向
カーソル 入力時のみ	Observed direction changes	実際の方向転換回数
	Observed X movements	実際の X 方向の移動回数
	Observed Y movements	実際の Y 方向の移動回数
	Observed path length	実際にカーソルキーを押した回数
Direction of target from starting cell (L/R/D/U/UL/UR/DL/DR)		スタート地点から見たターゲット(ゴール地点)の場所 (8 方向)
ペン 入力時 のみ	Distance between center of starting cell and center of target cell	スタート地点からターゲット(ゴール地点)までの距離 (ボタンの中心を基準とする) (mm)
	Observed distance moved from P2 to P4 in mm	ペンで実際に押した地点間の距離(mm)

# 第 3 章

## 実験結果

本実験では、最終的に 10 名の被験者に対して実験を行うことができた。

本章では実験で得られたデータを集計し、解析したものをここでは紹介する。

### 3.1 時間

まず、すべての被験者の“Observed time”の平均をボタンサイズ、入力方式、効果音の有無等の各種パラメータごとに算出した。以下にそのグラフを示す。

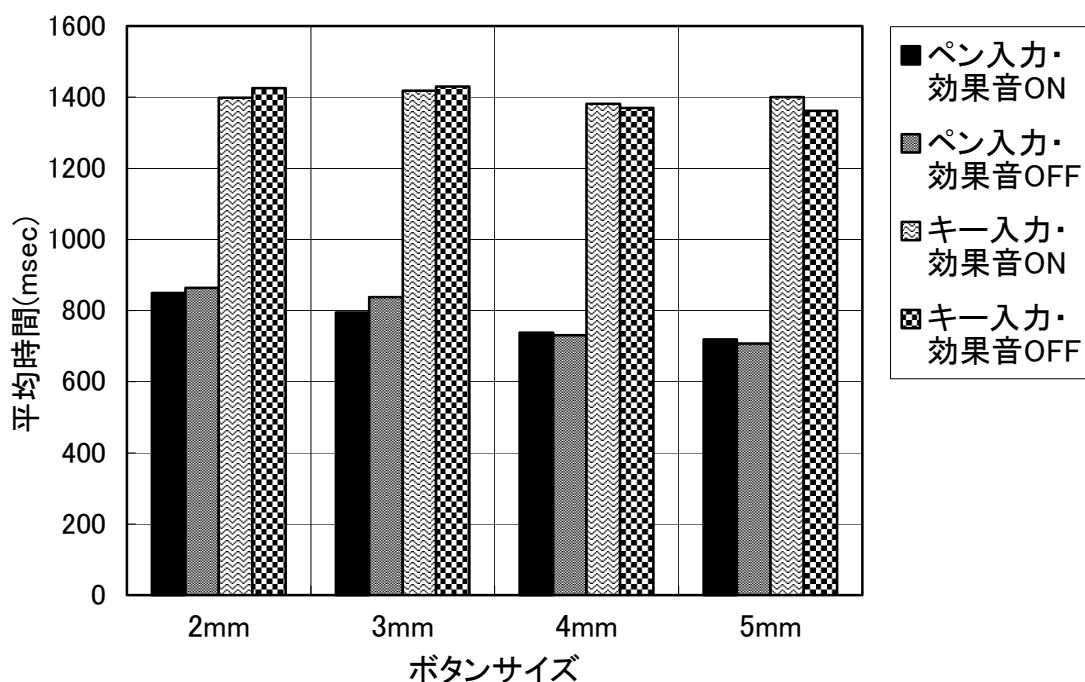


図 3.1 各パラメータごとの“Observed time”の平均



### 3.1 時間

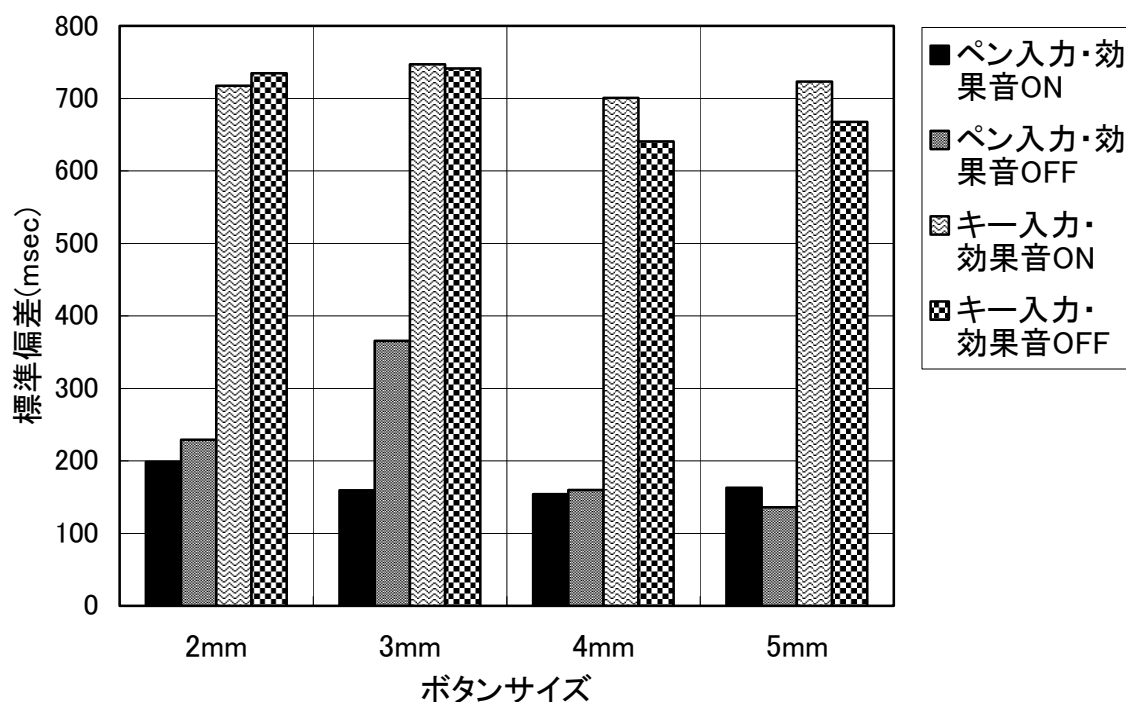


図 3.2 “ Observed time ” の平均における標準偏差のグラフ

表 3.1 “ Observed time ” の平均の値と標準偏差

平均時間 (msec)	ペン入力		キー入力	
	効果音 ON(標準偏差)	効果音 OFF(標準偏差)	効果音 ON(標準偏差)	効果音 OFF(標準偏差)
2mm	849.054(198.496)	863.756(229.215)	1398.74(717.612)	1425.808(734.577)
3mm	794.646(159.448)	837.752(365.522)	1418.586(747.198)	1429.548(741.421)
4mm	737.532(154.033)	731.14(159.942)	1381.238(700.475)	1369.796(640.816)
5mm	718.71(162.735)	707.268(135.857)	1400.246(723.136)	1361.686(667.647)

図 3.1 を見ると、ペン入力時において、若干ではあるが、ボタンサイズが大きくなるにつれて時間が減少する傾向にあることが分かる。

それに対してキー入力時では、明らかにペン入力より実験に時間を要していることが見て取れる。これは、ペンが直接画面に触れて入力するのに対して、キーはカーソルキーを 1 回押してカーソルをひとつずつ移動させる操作を繰り返したあとにセレクトキーで決定という、ペン入力に比べて非常に操作に手間がかかっていることが原因であると

### 3.2 エラー率

いえる。

図 3.2 および表 3.1 に示した各値の標準偏差を見ると、キー入力時の値のばらつきがペン入力時に比べて非常に大きいということが見て取れる。この標準偏差の違いは、前述のように、キー入力はスタート地点からゴール地点の間の距離がボタンを押す回数に大きく影響するので、ゴール地点がスタート地点の近くだと時間が短くなり、遠くなると操作の工程が複雑になり時間がかかってしまうことを示しているといえる。

各ボタンサイズ、各入力方式において、効果音の有無の差はあまり見られなかった。

### 3.2 エラー率

間違ったターゲットを指定した場合（ターゲット以外をタップ、または選択した場合）に記録されるエラー率の平均を各施行ごとに算出したものを以下に示す。

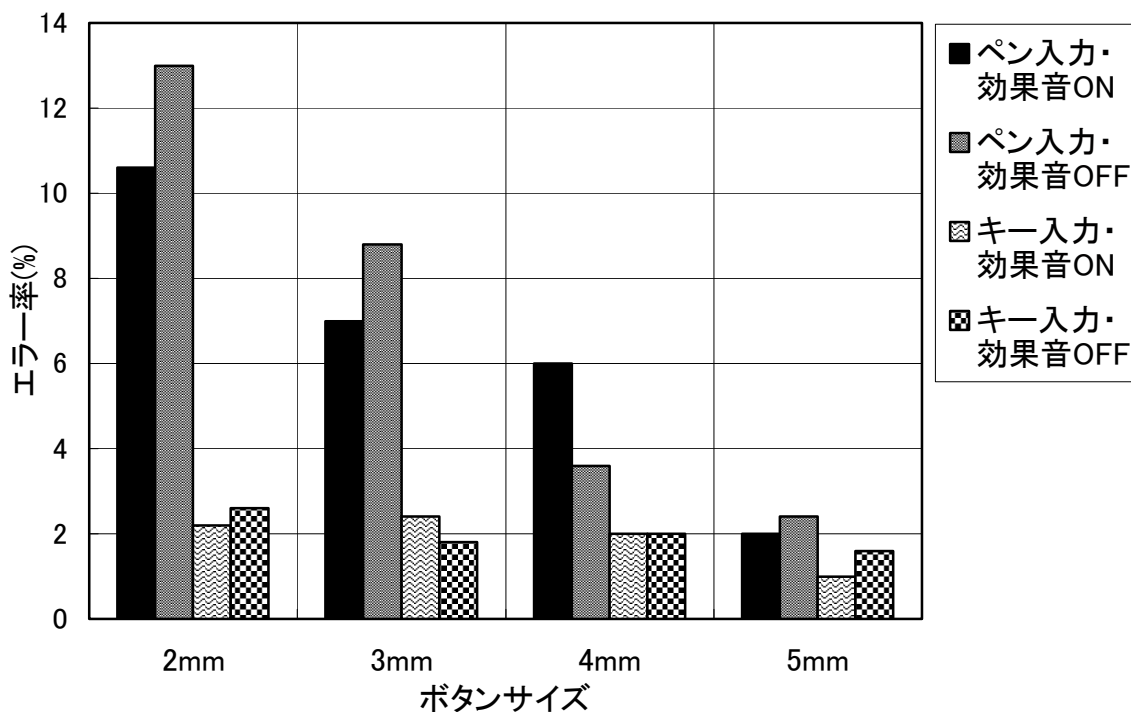


図 3.3 各パラメータごとのエラー率の平均

### 3.2 エラー率

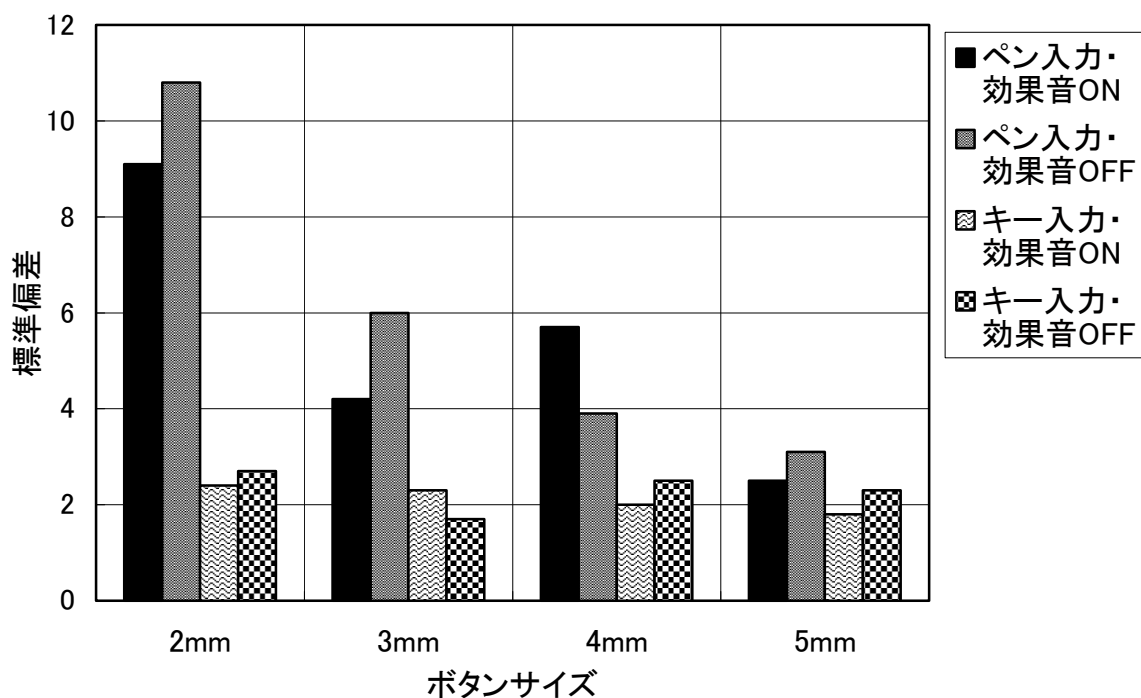


図 3.4 各試行におけるエラー率の標準偏差のグラフ

表 3.2 各試行におけるエラー率とその標準偏差

エラー率(%)	ペン入力		キー入力	
	効果音 ON(標準偏差)	効果音 OFF(標準偏差)	効果音 ON(標準偏差)	効果音 OFF(標準偏差)
2mm	10.6(9.1)	13(10.8)	2.2(2.4)	2.6(2.7)
3mm	7(4.2)	8.8(6)	2.4(2.3)	1.8(1.7)
4mm	6(5.7)	3.6(3.9)	2(2)	2(2.5)
5mm	2(2.5)	2.4(3.1)	1(1.8)	1.6(2.3)

図 3.3 のペン入力のボタンサイズごとのエラー率の推移を見ると、ボタンのサイズが小さくなるにつれてエラー率が急激に上昇していることが分かる。これは、ボタンが一番小さい状態では 2mm というサイズまで小さくなるため、ペンでは当然押しにくくなるのが原因であるといえる。図 3.4、表 3.2 に示した標準偏差と併せて見ると、ボタンのサイズが小さくなるにつれてばらつきが激しくなっていることが分かる。

それに対して、キー入力のグラフを見ると、ペン入力のグラフとは対照的に、ボタン

### 3.3 アンケート結果

サイズが小さくなくても、若干のエラー率の上昇は見られるが、基本的に2%前後というペン入力に比べて非常に低く安定したエラー率を保っているといえる。これは標準偏差の値を見ても同じことがいえる。

効果音の有無によるエラー率の変化は、ペン入力のボタンサイズ 2mm および 3mm の場合において、1.2 で述べた Stephen Brewster 氏の研究にほぼ沿った“効果音が鳴る場合の方が鳴らない場合に比べてエラー率が低い”という結果が出ているように見えるが、ボタンサイズが 4mm になるとその結果が逆転しており、Brewster 氏の研究を完全に実証できたとは言えない結果に終わっている。

### 3.3 アンケート結果

2.3.2 で述べたように、本実験では、実験終了後に被験者に対してアンケートを実施している。ここでは、そのアンケート結果の一部を集計した結果を示す。

このアンケート結果を、3.1 の時間の平均や 3.2 のエラー率などの数値と比較することにより、新たな発見が期待できる。

まず、

ペンを用いた実験で、ボタンのサイズごとの使いやすさはどうでしたか？1 から 5 までの評価でお答えください。(1(非常に使いにくい)~3(普通)~5(非常に使いやすい))
---------------------------------------------------------------------------------------

というアンケートの結果を以下に示す。

### 3.3 アンケート結果

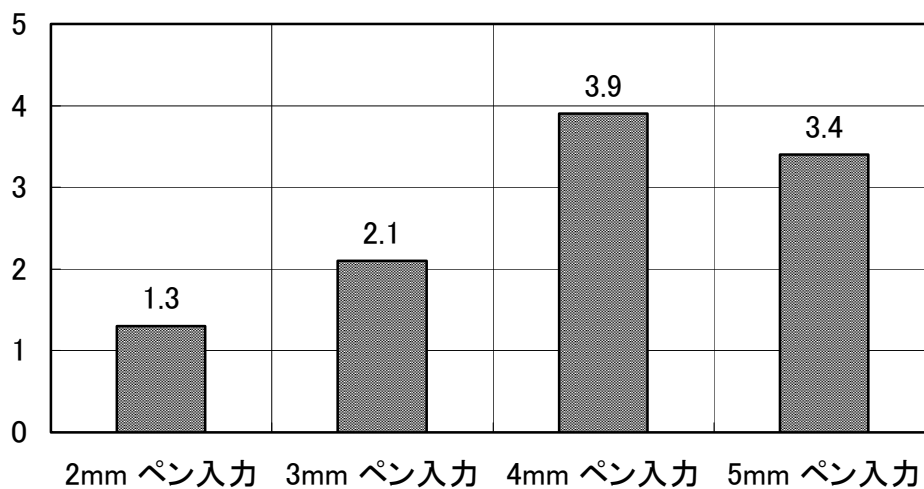


図 3.5 ペン入力の使いやすさについてのアンケート

結果を見ると、当然であるとも考えることができるが、ボタンサイズが 2mm や 3mm の場合の評価は低い。被験者の話を聞くと、この数値に表れている通り、4mm が使いやすいという意見が多かった。2mm は小さすぎるという意見は多く聞かれたが、対照的に 5mm は少し大きすぎるのでは、という意見も聞かれた。

尚、「ボタンの大きさが 2mm とか 3mm とか言われても覚えていない」という被験者も多々見られたので、その際には実際に PDA の画面に表示させて確認した上でアンケートに答えていただくようにした。

つづいて、

キーを用いた実験で、ボタンのサイズごとの使いやすさはどうでしたか？ 1 から 5 までの評価でお答えください。（1(非常に使いにくい)～3(普通)～5(非常に使いやすい)）

というアンケートの結果を以下に示す。

### 3.3 アンケート結果

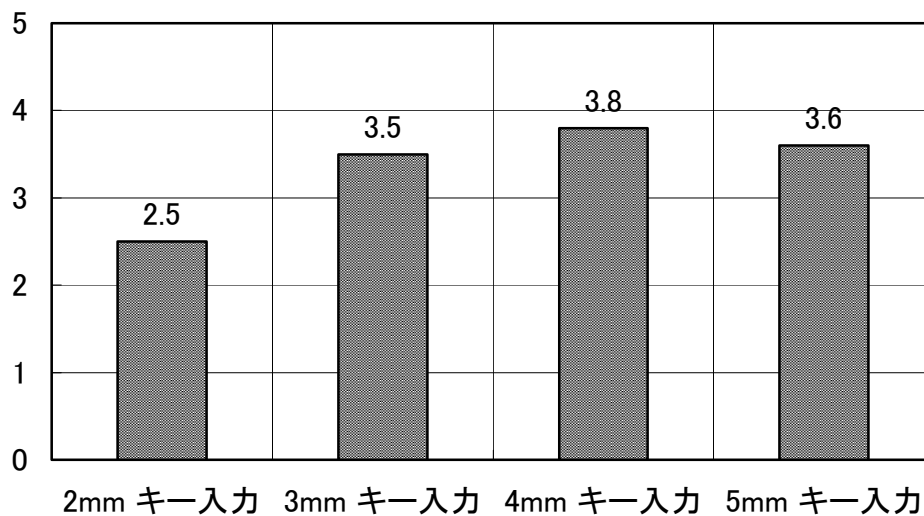


図 3.6 キー入力の使いやすさについてのアンケート

この結果は、図 3.5 に比べてやや緩やかな印象を受けるが、基本的に、“2mm の評価が最も低い”という点と“4mm の評価が一番高い”という点では同じである。

図 3.2 のエラー率のグラフを見ると、ボタンサイズが小さくなってもエラー率はほとんど変化しなかったが、被験者の意見としては、「小さいボタンではペンより使いやすかった」という意見が多く聞かれた。

# 第 4 章

## 結論

### 4.1 まとめ

#### 4.1.1 ペン入力のまとめ

図 3.1 のグラフを見ると、ペン入力画面にペンで直接触って入力するという非常に単純明快な入力方法であるため、キー入力に比べて入力に要する時間が短いことが分かった。その反面、図 3.3 のグラフでは、ボタンのサイズが小さくなるほどエラー率が急激に上昇し、結果的に作業効率を損ねてしまう傾向があることが分かった。

標準偏差を求めることにより分かった点としては、平均時間において、10 人の被験者は基本的に時間のばらつきが少ない反面、エラー率においては、エラーの少ない被験者もいれば非常に多い被験者もいるという、“得意・不得意” というような差が大きく表れている。実際の実験でも、「携帯ゲーム機等に普段から慣れ親しんでいる人の方が速くできそう」というような意見が幾度となく聞かれた。

つまり、ペン入力においては、ターゲットの大きさが、所要時間より、(ある程度のユーザごとの“慣れ”は認められるが)むしろエラー率に大きな影響を与えるので、ターゲットとなるボタンのサイズや、ユーザの“慣れ・不慣れ”には十分注意しなければならないといえる。例えば的確な入力が求められる反面ボタンが比較的少なく済む電卓のようなソフトウェアの入力デバイスとして適しているといえる。

## 4.2 今後の課題

### 4.1.2 キー入力まとめ

キー入力は、ターゲットまでのカーソル移動回数が多い（遠い）ほど当然その移動に時間を要するため、ターゲットまでのカーソル移動回数が少ない（短い）場合はペン入力ほどの速さでの素早い入力が可能だが、総合的に見るとペン入力に比べて非常に時間がかかることが分かった。エラー率を見ると、平均ではペン入力に比べて非常に安定した低い結果が出ており、標準偏差を見てもペン入力のような大きなばらつきもなく、非常に安定したばらつきの少ない結果が出ている。

キー入力方式は、所要時間という点ではペン入力に大きく劣ったが、エラー率はペン入力に比べて低く、ボタンのサイズにあまり左右されずほぼ一定という結果が出た。この傾向は、図 3.2 と図 3.4 に示した平均時間・エラー率それぞれの標準偏差を見比べることによりよく理解できる。

つまり、キー入力においては、ボタンサイズがエラー率に影響をほとんど与えないうえ、エラー率のばらつきも少ないため、小さなターゲットを大量に表示させつつ、しかも誰でも簡単に的確な入力ができるような入力デバイスに適しているといえる。

## 4.2 今後の課題

今後の課題としては、まず、ボタンサイズに代表されるパラメータのバリエーションをさらに増やすということが挙げられる。図 3.3 のエラー率のグラフを見ると、ボタンサイズが大きくなるにつれてペン入力、キー入力それぞれのエラー率が接近しつつあることが見て取れる。例えば、ボタンのサイズのバリエーションをさらに増やして 6mm や 7mm というボタンにおいても実験を行えば、ペン入力とキー入力のエラー率が交差する点が見つかる可能性がある。また、本実験ではボタン間隔は 1.5mm の固定であったが、これを変更することにより新しい発見があるかもしれない。

次に、本実験では 10 人であった被験者の数をさらに増やしてより多くのデータを収集



## 4.2 今後の課題

する、という点が挙げられる。より多くの実験をより多くの被験者に対して行うことにより、より詳しく詳細な結果を求めることができると考えられる。

3点目は、本研究を行うきっかけとなった効果音に関する課題で、今回の実験で“効果音の有無”というパラメータを導入したのは Brewster 氏の研究の実証という目的が大きかったが、今後は効果音の有無だけでなく、どのような音が鳴るのかという“効果音の種類”にも着目して実験を行えば、興味深い結果が得られることが期待できるといえる。

# 謝辞

本研究を行うにあたり、1年間研究のみならず様々な御指導・御助言をいただいた本学情報システム工学科の 任 向実 講師に厚く御礼申し上げます。

そして、様々なアドバイスをしていただいた共同研究先のノキア・ジャパン(株)ノキア・リサーチセンターの溝渕 佐知さんと、本実験に協力していただいた浜村研究室の石坂崇君、遠藤祐亮君、三好貴弘君、そして私の友人たちに心より感謝致します。

# 参考文献

- [1] Brewster, S.A.(1999). *Sound in the interface to a mobile computer*. In Proceedings of HCI International'99 (Munich, Germany), Lawrence Erlbaum Associates, NJ, pp 43-47.
- [2] 難波精一郎, “音の環境心理学入門 –いい音悪い音–”, NEC メディアプロダクツ, ISBN4-87269-159-8(2001-03)

# 付録 A

## 実験シート

この付録では本実験で実験順の決定や確認、そしてアンケートに用いた実験シートを転載する。

\_\_\_\_年 \_\_\_\_月 \_\_\_\_日 \_\_\_\_曜日 \_\_\_\_時 \_\_\_\_分 ~ \_\_\_\_時 \_\_\_\_分

被験者氏名 \_\_\_\_\_

PDA画面上のターゲット選択時におけるボタンのサイズの実用限界と入力方式の比較実験

### 実験シート

実験順	ボタンサイズ (2, 3, 4, 5 (mm))	入力方法 (ペン・キー)	効果音 (ON/OFF)	チェック (実験時間等)
	2mm	(ペン・キー)	ON	
	3mm	(ペン・キー)	ON	
	4mm	(ペン・キー)	ON	
	5mm	(ペン・キー)	ON	
	2mm	(ペン・キー)	OFF	
	3mm	(ペン・キー)	OFF	
	4mm	(ペン・キー)	OFF	
	5mm	(ペン・キー)	OFF	

本番に入る前に、ペンやキーの操作に慣れるため、練習試行をします。

ボタンサイズ 4mm, 効果音 ON, タップ数 20 回の状態でペン・キー両方の練習をします。

## アンケート

1. あなたの年齢・性別をお教えてください。 (        歳 ) ( 男 ・ 女 )
2. あなたの視力をお教えてください。 ( 左        ) ( 右        )
3. ペンを用いた実験で、ボタンのサイズごとの使いやすさはどうでしたか？また、効果音の有無によるそれぞれの使いやすさの違いはどれくらい感じましたか？ 1 から 5 までの評価でお答えください。  
( 1 (非常に使いにくい) ~ 3 (普通) ~ 5 (非常に使いやすい) )  
2mm ( 1 ・ 2 ・ 3 ・ 4 ・ 5 )    2mm のときの効果音 ( 1 ・ 2 ・ 3 ・ 4 ・ 5 )  
3mm ( 1 ・ 2 ・ 3 ・ 4 ・ 5 )    3mm のときの効果音 ( 1 ・ 2 ・ 3 ・ 4 ・ 5 )  
4mm ( 1 ・ 2 ・ 3 ・ 4 ・ 5 )    4mm のときの効果音 ( 1 ・ 2 ・ 3 ・ 4 ・ 5 )  
5mm ( 1 ・ 2 ・ 3 ・ 4 ・ 5 )    5mm のときの効果音 ( 1 ・ 2 ・ 3 ・ 4 ・ 5 )
4. キーを用いた実験で、ボタンのサイズごとの使いやすさはどうでしたか？また、効果音の有無によるそれぞれの使いやすさの違いはどれくらい感じましたか？ 1 から 5 までの評価でお答えください。  
( 1 (非常に使いにくい) ~ 3 (普通) ~ 5 (非常に使いやすい) )  
2mm ( 1 ・ 2 ・ 3 ・ 4 ・ 5 )    2mm のときの効果音 ( 1 ・ 2 ・ 3 ・ 4 ・ 5 )  
3mm ( 1 ・ 2 ・ 3 ・ 4 ・ 5 )    3mm のときの効果音 ( 1 ・ 2 ・ 3 ・ 4 ・ 5 )  
4mm ( 1 ・ 2 ・ 3 ・ 4 ・ 5 )    4mm のときの効果音 ( 1 ・ 2 ・ 3 ・ 4 ・ 5 )  
5mm ( 1 ・ 2 ・ 3 ・ 4 ・ 5 )    5mm のときの効果音 ( 1 ・ 2 ・ 3 ・ 4 ・ 5 )
5. あなたは本実験で用いたような P D A はお持ちですか？お持ちの方は使用歴もお教えてください。  
( 持っている (使用歴    年    ヶ月) ・ 持っていない )

ご協力ありがとうございました。本実験でなにかお気づきの点がありましたら裏面にどうぞお気軽にお書きください。