

携帯情報端末における手書き文字入力枠の最適値

坂井 陽一[†], 加藤 泰史^{††}, 任 向実^{††}, 町 好雄[†]
東京電機大学[†], 高知工科大学^{††}

概要

現在, 市場に出回っている携帯情報端末における手書き文字入力枠のサイズは, ソフトウェアアプリケーションによって様々である. これは, 携帯情報端末における枠サイズをどれくらいに設定すれば人間にとって最適なのか解明されていないためである. そこで, 本論文では携帯情報端末における手書き文字入力枠サイズの最適値について, 入力パフォーマンス(実験 1), 人間の生理パラメータを用いた疲労度(実験 2)及び主観的評価(実験 1, 2)の 3 方向から検討した. なお, 本論文では最適値を使用者の疲労を最小限に抑え, 入力効率の優れた枠サイズと定義した. 実験の結果, 枠サイズの最適値が 1.44 x 1.44 cm 付近であることを明らかにした. また, 枠数との関連についても考察した.

The Optimal Sizes for Pen-Input Character Boxes on Handheld Devices

Youichi Sakai[†], Taishi Kato^{††}, Xiangshi Ren^{††}, Yoshio Machi[†]
Tokyo Denki University[†], Kochi University of Technology^{††}

ABSTRACT

Software applications for handwritten character input on handheld devices (such as PDAs: Personal Digital Assistants) usually show two, but some have four - eight character boxes. However, the optimal size for handwritten character boxes has not been clearly established. This study seeks to determine the optimal size for pen-input handwritten character boxes on PDAs inside which users can most efficiently write English, Chinese, hiragana, alphanumeric characters, and so on. The results will be assessed in terms of high performance factors such as high character recognition rate, minimal stroke protrusions outside the character box (experiment 1); high subjective ratings (experiments 1 and 2), and physiological data such as brain waves (experiment 2). The last term is a unique evaluation approach which allows us to investigate what kind of character boxes a user can write in while maintaining an implicit relaxed state. The analyses of the results of experiments 1 and 2 show that the optimal size of character boxes for the input of alphanumeric characters is approximately 1.44 x 1.44 cm. In addition, the relationships between the size of character boxes and the number of character boxes was also discussed. These results may be regarded as a reflecting universal characteristics of the human use of character boxes. We believe that knowledge of the optimal size of a character input box will be useful when designing the screen interface of PDAs.

1. はじめに

本論文の目的は, 入力にスタイラスペン(以降ペンと略記)を用いる Personal Digital Assistant(以降 PDA と略記)等の携帯情報端末において, ペン

で文字を筆記する際に表示される文字入力(認識)枠のサイズの最適値を求めることである. なお, 本論文では最適値を使用者の疲労を最小限に抑え, 入力効率の優れた枠サイズと定義した. これは

PDA 画面が非常に小さいため、または心地良い使用感を使用者に与えるために実用上における意義が大きいと考える。

現在、PDA におけるペンによる文字入力方法は主に 2 種類ある。1 つは、ペンで画面上に表示されるソフト・キーボードをタップして入力する方法、もう 1 つは、ペンで文字入力枠に文字を手書き入力し、それを認識させて入力する方法である。後者に挙げた入力方法は、ソフトウェアの種類によって枠サイズ、個数等が様々である。個数についてみると、その多くは 2 個（例：Windows CE 標準、図 1 参照）であるが、最近では文字種類に合わせて 4~8 個（例：Decuma Japanese 標準：4 平仮名・片仮名：6 英数：8、図 2 参照）というものも存在する。後者は、画面サイズに制限があるため枠サイズが小さくなるが、文字を通常の筆記のような感覚で入力することができる。しかし、枠サイズは大きいほうが余裕を持って書くことができるため、枠サイズと枠数との間にトレードオフが存在する。



図 1：Windows CE



図 2：Decuma Japanese

したがって、枠サイズの最適値を求めることは、使用者にとって心地良い手書き文字入力インターフェースを設計する上での基礎データとなるものとする。本論文のユニークなところは、従来の入力パフォーマンスやアンケートでの評価だけでなく、人間の生理パラメータを用いることで、疲労度を考慮に入れた枠サイズの最適値を求めたことである。

ペン入力分野において、文字などの記入枠に関する研究として文献[1, 2]がある。しかし、それらと本論文とは次の点で異なる。まず、先行研究の対象は携帯情報端末ではなく、B5 サイズのペンコンピュータであったことである。本論文で対象とする PDA のような携帯情報端末の場合、端末を片手に持って入力しなければならないこと、画面サイズに非常に制限されることなどペンコンピュータと条件が異なる。次に、先行研究の評価指標が枠をはみ出した回数のみであったことである。また、特に入力時の使用者の疲労という生理的な要因を考慮しなかった。そこで、本論文でははみ出し回数だけでなく、文字認識率、文字を間違えて書いた回数、1 文字あたりの平均入力時間及び生理パラメータを用いることで、最適値を求めることにした。このような生理的要因まで考慮して文字入力枠の評価を行ったのは、本論文が初めてである。以降、第 2 章では入力パフォーマンスを用いた評価実験、第 3 章では人間の生理パラメータを用いた評価実験について述べ、最後に総合的考察及び今後の課題を述べる。

2. 実験 1：入力パフォーマンス評価

2.1. 被験者

20 歳から 22 歳まで（平均年齢 22.8 歳）の大学生 11 名と 37 歳の教員 1 名の計 12 名（男女各 6 名、右利き）、内 2 名は過去に 1~1.5 年の PDA 使用経験があった。

2.2. 使用機器

Compaq 製 PDA の iPAQ Pocket PC を用いた。主な仕様は、OS: Microsoft Pocket PC 2002 Software (Windows CE 3.0)、重さ: 約 190g、サイズ: 84 mm(W) x 16 mm(D) x 134 mm(H)、入力の空間分解

能：0.24 mm / pixel である．実験用ソフトウェアは Microsoft embedded Visual C++ を用いて作成した．

2.3. 実験デザイン

2.3.1. 入力字種

入力文字の候補として，平仮名，片仮名，漢字，またはそれらの混合等様々存在するが，本論文では枠の性質を単純に調べる目的から，英数字を筆記した．

2.3.2. 枠の形状及びサイズ

枠の形状は 2 種類（正方形と縦長）を対象とした．正方形の枠サイズはサイズによる影響を調べるため，大きすぎるサイズから小さすぎるサイズまでの以下の 5 種類を対象とした．

- 0.24 x 0.24 cm
- 0.48 x 0.48 cm
- 0.96 x 0.96 cm
- 1.44 x 1.44 cm
- 1.92 x 1.92 cm (Windows CE 標準サイズ)

また，縦長の枠は先行研究[1]の英数字の準最適値を参考に，0.6 cm(W) x 1.18 cm(H)とした．この縦長の枠は，正方形の枠のどのサイズに近いかを調べるために行った．

2.3.3. 枠数

枠が大きいものから小さいものまでの 5 種類の枠サイズについて実験を行うため，枠数は 2 個とした．

2.3.4. 入力姿勢

入力姿勢によって評価が変わってくる可能性があるため，入力姿勢を限定するための予備実験を行った．予備実験は，被験者 10 名を集め各被験者に自由な姿勢で文字を入力してもらい，そのときの姿勢を観察して多数の被験者がとっていた姿勢を実験で採用した．その結果，「座った状態で利き手にペン，他方に PDA を持ち，PDA を持った手を机の上に置いて筆記」という姿勢に限定した．

2.4. 実験の流れ

実験は，被験者 1 名に対して 6 種類の枠サイズをランダムに行った．各実験の間には 10 分間の休憩を挟み，それぞれの影響ができるだけないようにした．評価指標は，文字の認識率，書き間違った回数，枠をはみ出した回数，1 文字あたりの平

均入力時間及びアンケートを用いた．また，被験者には実験環境に慣れてもらうために予め実験前に大小の英字 (A~Z, a~z) を各 1 回，数字 (0~9) を 2 回入力してもらった．



図 3：実験画面

図 3 は，被験者に筆記をしてもらう実験画面である．被験者には実験の概要について説明を行った後，実験の実施方法を示した．以下に実験の流れを示す．

1. 実験画面の表示

実験画面は，上段に入力した文字，中段に入力対象となる例文，下段に文字入力枠が表示される．

2. 文字入力及び表示

例文にしたがって下段の文字入力枠にペンで文字を入力する．入力すべき文字は，色を反転表示される．入力した文字は，認識せずに上段に表示される．右下の「空白」はスペース機能，「一字消す」はバックスペース機能である．文字を間違えた場合は，「一字消す」キーを用いてその場で修正する．入力した文字に過不足があると次には進めない．

実験中には文字認識させていないが，入力した筆記データは残っているので，その筆跡を用いて実験後に認識させ認識率を求めた．これは，間違った文字認識結果が表示されたとき，被験者がもう一度書き直さなければならない等の心理的ストレスを生じさせないためである．目的は，枠サイズの最適値を導き出すことなので，余分なストレスは排除したい．

3. アンケート記入

すべての例文の入力が終わってから「読みやす

さ、書きやすさ、疲労度、枠の好み及び総合評価」について、1(最も悪い)から7(最も良い)までのスケールで評価してもらった。

実験の筆記総字数は被験者 12 名で最終的に 5184 字になった。実験の終了と同時に、筆跡データ、はみ出し回数、書き間違った回数、1 文字あたりの平均入力時間等のデータはファイル形式にして保存された。はみ出し回数は、1 ストローク中にはみ出しが1度でもあれば1回カウントした。書き間違った回数は「一字消す」キーを押した回数で計測した。1 文字あたりの平均入力時間は、文字が筆記されて図 3 の上段に文字が表示されるまでの時間として計測した。

2.5. 結果及び考察

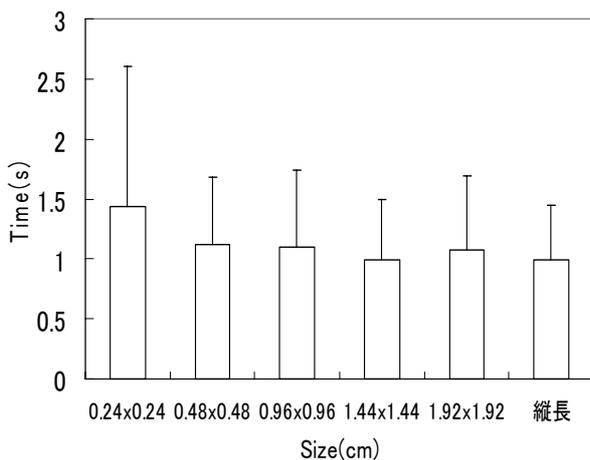


図 4：1 文字あたりの平均入力時間

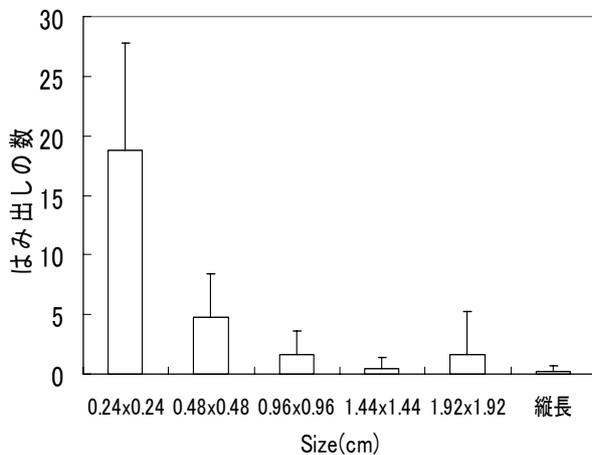


図 5：はみ出し回数

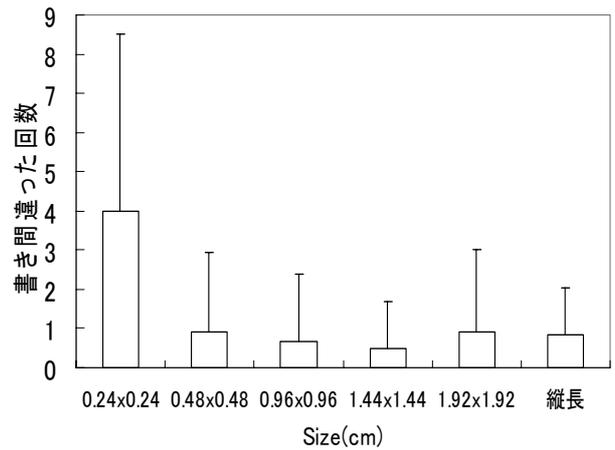


図 6：書き間違った回数

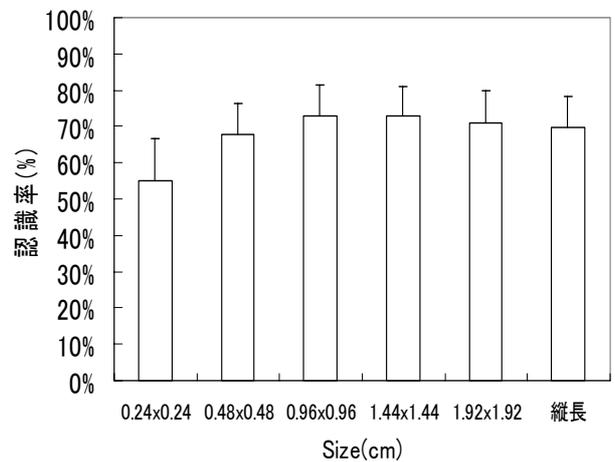


図 7：認識率

1 文字あたりの平均入力時間(図 4)は、各枠間の有意差は認められなかった。その理由としては、枠が大きければ筆記速度は速くなるが、ストロークが大きくなってしまいうので時間がかかり、枠が小さい時はその逆が言えるので、両者に差がなくなる。また多少差があったとしても、枠間の移動時間が枠の大きいものでは多く、小さいものでは少なくなるので、結果的に有意差が認められなかったと考える。はみ出し回数(図 5)は枠間の有意差があった($F(5,66) = 32.96, p < .001$)。はみ出し回数が少なかったのが縦長(mean = 0.25)、その次が 1.44 x 1.44 cm 枠(mean = 0.42)、次に 0.96 x 0.96 cm 枠(mean = 1.67)であった。しかし、三者の間には有意差はなかった。つまり、0.96 x 0.96 cm 枠、1.44 x 1.44 cm 枠、縦長が同程度に、はみ出し

が少ないという結果を得た。これは、1.92 x 1.92 cm 枠の場合は枠間の移動距離が長いため、また 0.48 x 0.48 cm 枠と 0.24 x 0.24 cm 枠の場合は移動対象が小さいため、あるいは単に枠のサイズが小さすぎたために生じたと考えられる。書き間違った回数(図 6)は、各枠間の有意差は認められなかった。その理由としては、今回の実験では認識せずに被験者の筆記文字そのままを表示しており、被験者によっては、ある程度文字として見ることができれば「一字消す」ボタンを押さずに、続けて筆記している。このことが、書き間違った回数に有意な差が認められなかった原因であると考えられる。文字認識率(図 7)は、枠間の有意差があった($F(5,66) = 6.56, p < .001$)。0.96 x 0.96 cm 枠のときに認識率が高かった(mean = 72.80%), 1.44 x 1.44 cm 枠のとき 72.69%であった。しかし、両者の間には有意差はなかった。この結果から、0.96 x 0.96 cm 枠と 1.44 x 1.44 cm 枠は同等な書きやすさであることがいえる。

次に、アンケートの集計結果について評価の高い順に 3 個示す。読みやすさは、1.92 x 1.92 cm 枠(mean = 6.58, $F(5,66) = 5.32, p < .001$), 0.96 x 0.96 cm 枠, 1.44 x 1.44 cm 枠とあった。三者間の有意差はみられなかった。書きやすさは、1.44 x 1.44 cm 枠(mean = 6.58, $F(5,66) = 21.78, p < .001$), 1.92 x 1.92 cm 枠, 0.96 x 0.96 cm 枠となった。三者間の有意差はみられなかった。疲労度の一番少なかったのが 1.44 x 1.44 cm 枠(mean = 6.25, $F(5,66) = 23.67, p < .001$), 1.92 x 1.92 cm 枠, 0.96 x 0.96 cm 枠となった。三者間に有意差はみられなかった。枠の好みは、1.44 x 1.44 cm 枠(mean = 5.6, $F(5,66) = 20.42, p < .001$), 0.96 x 0.96 cm 枠, 1.92 x 1.92 cm 枠であった。三者間の有意差はみられなかった。総合評価は、1.44 x 1.44 cm 枠(mean = 6.25, $F(5,66) = 25.19, p < .001$), 0.96 x 0.96 cm 枠, 1.92 x 1.92 cm 枠となった。三者間の有意差はみられなかった。以上より、アンケートより求まる最適値は、0.96 x 0.96 cm から 1.44 x 1.44 cm 付近であると判断された。

3. 実験 2: 生理パラメータ評価

3.1. 被験者

平均年齢 22.1 歳の大学生 14 名(男性 13 名 女性 1 名), 内 2 名は左利きであった。また, 1 名のみ過去に半年の PDA 使用経験があった。

3.2. 使用機器

PDA 端末及び実験用ソフトウェアは実験 1 と同様である。生理パラメータの測定機器は、NEC 社製 SYNAFIT 500(脳波計) San-ei 社製 BioView G(心電計), BIOPAC Systems 社製 MP100 / EMG100B 及び AcqKnowledge v.3.5.7, キッセイコムテック社製 ATALAS 2.3 を用いた。

3.3. 実験デザイン

入力字種, 枠数及び入力姿勢は実験 1 と同様である。入力テキストは英字新聞より抜粋したものをを用いた。枠サイズについては、以下の 4 種類を対象とした。

- 0.48 x 0.48 cm
- 0.96 x 0.96 cm
- 1.44 x 1.44 cm
- 1.92 x 1.92 cm (Windows CE 標準サイズ)

3.4. 実験の流れ

実験の説明及び練習試行は実験 1 と同様である。実験は、被験者 1 名に対して 4 種類の枠サイズ(計 4 回)を行った。全 4 回の実験後、「書きやすさ, 枠間の移動性, 疲労度及び総合評価」について枠サイズを 1 つ答えてもらうアンケートを記入してもらった。実験の終了と同時に、脳波, ECG 及び EMG 等の生理データはファイル形式にして保存された。実験の流れを以下に示す。

- 安静にして目を閉じた状態 3 分間
(以降, 安静閉眼と略記)
- 文字入力作業 10 分間
(2.4.(2)参照)
- 安静閉眼 3 分間

測定した生理パラメータ及び分類を以下に示す。

- EEG (波) : 精神的疲労度評価
- ECG (R 点電位): 精神的・肉体的疲労評価
- EMG : 肉体的疲労度評価

本論文では、実験における脳波の測定方法に TBM (Task Break Monitoring) 測定法[3]を用いた。この

方法は、作業前後に安静にして目を閉じた状態(以降、安静閉眼と略記)を行い、その時の脳波を 5 m 120 sec 間隔でトポグラフィに変換し、独自の数値変換ソフトを使用して作業前・作業後のそれぞれで波(3.5.1.参照)の平均電圧を求め、作業前を基準として作業後を相対値にすることで疲労度を表す方法である。R点電位(3.5.2.参照)についてもこの時の値を相対値で表した。EMG(3.5.3.参照)については、各実験での作業中の値を 1.92 x 1.92 cm 枠を基準にそれぞれ相対値で表した。

3.5. 生理パラメータについて

3.5.1. 脳波における波(8~13 Hz)

リラックスした状態に表れる波であり、作業前に比べ作業後の波が多いとき、疲労が少ないと判断した。

3.5.2. ECG (R点電位)

評価方法に LF / HF パワー比というものがあるが、この場合 1 分間に 1 つの値しか得ることができないため、本論文では複数の値で平均がとれる R 点電位を用いた。R 点電位は、心臓の収縮時に発生する電気信号であり、この値がそれ以前より高いと副交感神経系が優位な状態となり、作業前に比べ作業後の R 点電位が高いとき、疲労が少ないと判断した。

3.5.3. EMG

筋肉を動かしたときに発生する電気信号であり、この量が少なければ運動量が少なく、したがって疲労は少ないと判断した。なお、実験ではペンを握る手の親指の付け根に装着した。

3.6. 結果及び考察

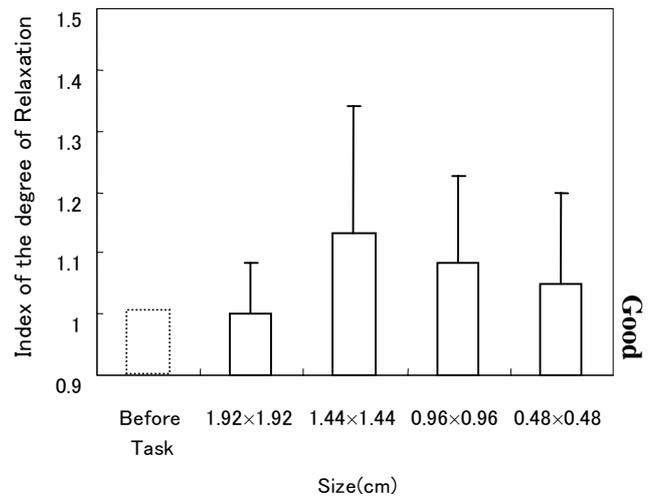


図 8: 波

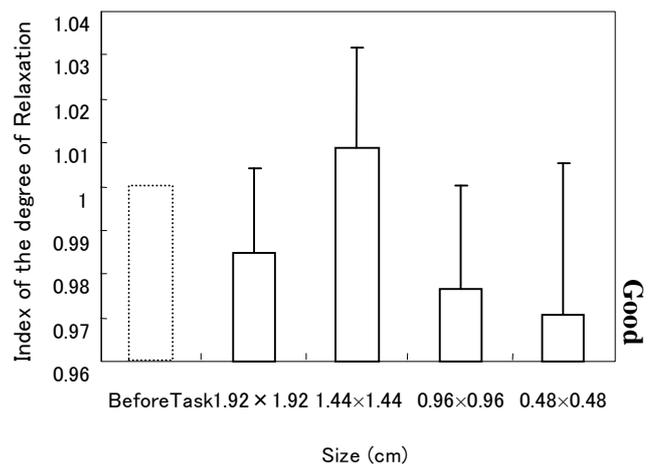


図 9: R 点電位

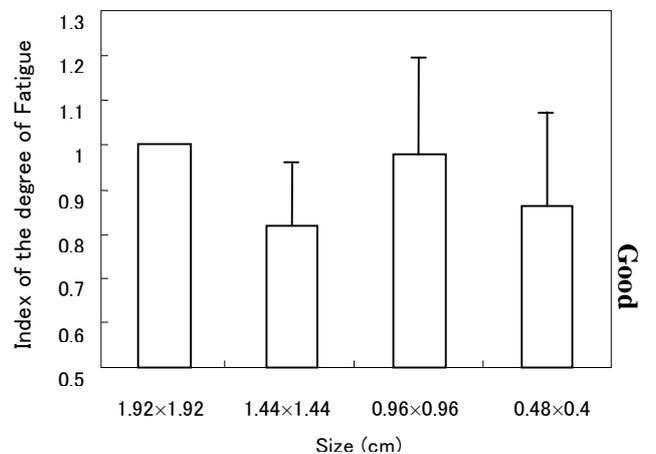


図 10: EMG

波は, 1.44 x 1.44 cm 枠(mean = 1.13, SD = 0.2)において 1.92 x 1.92 cm 枠(mean = 1, SD = 0.08)より高くなったが, 他の枠との有意差はみられなかった(図 8). R 点電位は, 1.44 x 1.44 cm 枠(mean = 1, SD = 0.02)において他の枠より高くなった(図 9). EMG は, 1.44 x 1.44 cm 枠(mean = 0.82, SD = 0.15)において 1.92 x 1.92 cm 枠(mean = 1), 0.96 x 0.96 cm 枠(mean = 0.98, SD = 0.25)より低くなったが, 0.48 x 0.48 cm 枠(mean = 0.86, SD = 0.21)との有意差はみられなかった(図 10). 以上より, 1.44 x 1.44 cm 枠で精神的・肉体的疲労が共に少なかったと考えられた.

次に, アンケートの集計結果を項目別に評価のよい順に示す. 書きやすさは, 1.44 x 1.44 cm 枠(44%), 1.92 x 1.92 cm 枠(37%), 0.96 x 0.96 cm 枠(19%), 0.48 x 0.48 cm 枠(0%), 枠間の移動性は, 1.44 x 1.44 cm 枠(66%), 0.96 x 0.96 cm 枠(24%), 1.92 x 1.92 cm 枠(10%), 0.48 x 0.48 cm 枠(0%), 疲労度は, 1.44 x 1.44 cm 枠(52%), 1.92 x 1.92 cm 枠(29%), 0.96 x 0.96 cm 枠(19%), 0.48 x 0.48 cm 枠(0%), 総合的評価は, 1.44 x 1.44 cm 枠(61%), 1.92 x 1.92 cm 枠(26%), 0.96 x 0.96 cm 枠(13%), 0.48 x 0.48 cm 枠(0%)となった. 以上より, 書きやすさでは 1.44 x 1.44 cm 枠と 1.92 x 1.92 cm 枠がほぼ同等, 枠間の移動性, 疲労度及び総合評価では 1.44 x 1.44 cm 枠の評価が良かった. 書きやすさが 1.92 x 1.92 cm 枠より 1.44 x 1.44 cm 枠の評価が良かったのは, 1.92 x 1.92 cm 枠での文字の大きさが, 通常の筆記での大きさより枠に合わせて多少大きくなったためではないかと考えられた. また, 枠間の移動性が 0.96 x 0.96 cm 枠より 1.44 x 1.44 cm 枠の評価が良かったのは, 枠が小さくなると距離的には短くなるが移動先の的が小さくなってしまいうためではないかと考えられた.

4. 総合的考察及び今後の課題

4.1. 結論

実験 1, 2 及びアンケートより総合的に検討した結果, 枠サイズの最適値が 1.44 x 1.44 cm 付近であると判断した. このことは, 枠サイズの最適値が一貫して存在することを示している. また, この結果より以下のこともわかった.

- ・ 大きい枠ほど認識率が高いとは限らないこ

と(実験 1).

- ・ 大きい枠ほど疲労が少ないとは限らないこと(実験 2).
- ・ 疲労を最小限に抑える枠が存在すること. 今後, 枠数やボタン等の配置, また枠を使わない入力(枠無しの手書き文字認識)との比較を通して, 上記の検討による枠サイズの最適値を携帯情報端末上での各種入力手段の検討と結び付けて行くことが期待できる.

本論文は, PDA 上における枠を取り上げたが, 研究の意味はそれを超えている. 例えば, 文字を記入する枠は, 氏名・住所・社名・年月日等の記入枠, 伝票の金額や品目枠, 文章を書く矩形領域, 絵を描く枠, 式を書く枠等多数存在し, 今後これらの記入のしやすさを向上させるのに有用であると考えられる. なお, この結果は, 認識の有無に関係なく有効である.

4.2. 枠数及びサイズ

ここで枠数の関連について考察する. 枠サイズは「文字の書きやすさ」という観点からみると, 通常ある程度大きいほうが疲れにくいと考えられる. しかし, 4.1.で述べたように大きい枠ほど疲労が少ないとは限らない. これは, 枠サイズが大きくなるにつれて, 必然的に運筆に伴う手や腕の動きまたはペンの移動距離が増加するためである. また, 枠数が複数の場合でも同様のことがいえる. すなわち, 移動距離の増加により疲労が増加すると考えられる. このことは, Fitts の法則[4, 5]より解釈できる. Fitts モデルは以下に示す.

$$ID = \log_2(2A/W + 1)$$

ここで ID は Index of Difficulty の略で移動に伴う難易度を表し, A はターゲット間の距離, W はターゲットの幅を表す. 今回の実験で得られた最適値 1.44 x 1.44 cm を当てはめると $W = 1.44$ cm, 仮にペンの移動を単純に最右の枠の中心から最左の枠の中心への移動と考えると, 戻りの移動距離は枠数 2 個で $A = 1.44$ cm, 3 個で $A = 2.88$ cm である. したがって, 枠数 2 個が最適数と考えられるが(実験 2 のアンケートでは「枠数は 2 個が良い」が 64%), 枠数が多いと以前述べたように文字を通常の筆記のような感覚で入力することができるメリットがあるため「書きやすさ・枠間の移動性」

両方のバランスがとれた枠サイズを検討する必要があり、今後枠が2個以上でのペンの移動時間を検討する必要がある。

4.3. 文字種及び被験者の年齢

本論文での対象文字は英数字のみであり、今後他の文字種、またはそれらの混合等についても検討する必要がある。また、本結果は被験者の人数と年齢に多少依存することは否定できない。例えば高齢者の場合、若年者より大きな枠のほうが良いかもしれない。今後、年齢別の違いについても検討する必要がある。

4.4. はみ出し回数及び認識率

実験1では枠サイズが小さくなるにつれて認識率が低くなった。これは、筆記した文字が小さな枠内に書き込むことができなかつたためと考えられる。一方、はみ出し回数に関係せずに認識率が高い場合があることもわかった。このことは、認識率ははみ出し回数で左右されるのではなく、はみ出し方によって変化するものと考えられた。今後、この点についても検討する必要がある。

4.5. 縦長の枠

本論文で得られた最適値は、先行研究[1]のペンコンピュータ上での準最適値 0.61×1.18 cm より大きくなった。このことは、前述したようにPDAのような携帯情報端末の場合、端末を片手に持って入力しなければならぬことに由来すると考えられた。また、入力パフォーマンスのみ見た場合、縦長の枠は 1.44×1.44 cm 枠の次に評価がよかった。しかし、アンケートの結果からはそれほど良い評価を得たとは言いがたいものがある。これは、

正方形5個の枠の中に縦長の枠が1個あったことが原因である可能性が考えられた。今後、数種の縦長の枠についても検討する必要がある。

謝辞 本研究の一部は、科学研究費補助金(若手研究(B)課題番号14780338)、私立大学学術研究高度化推進事業(ハイテク・リサーチ・センター整備事業)、東京電機大学総合研究所の援助による。本研究に貴重なご意見を頂いた田中宏氏(富士通研究所)に感謝します。

参考文献

1. 任向実, 守屋慎次: ペン入力文字枠の最小値と準最適値, 情報処理学会論文誌, Vol.36, No.3, pp.654-657 (1995).
2. 任向実, 守屋慎次: 手書き入力における字枠と行枠の幅と高さの関係式, 情報処理学会論文誌, Vol.39, No.7, pp.2298-2307 (1998).
3. Chen, S., Ren, X., Kim, H., and Machi, Y.: An evaluation of the physiological effects of CRT displays on computer users, in *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, Vol. E83-A, No.8, pp.1713-1719 (2000).
4. Fitts, P.M.: The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement, *Journal of Experimental Psychology* 47, pp.381-391 (1954).
5. MacKenzie, I.S.: Fitts' law as a research and design tool, in *Human-Computer Interaction* 7, pp.91-139 (1992).