

自動誤り訂正能力を有する走査型文字入力システムの 視覚フィードバック法

森 大毅†

† 宇都宮大学大学院工学研究科
〒 321-8585 宇都宮市陽東 7 丁目 1-2
E-mail: †hiroki@speech-lab.org

あらまし 不正確なタイミングによるスイッチ操作が原因で起こる入力誤りを自動訂正する走査型文字入力システムが提案され、その有効性が確認されている。これまでのシステムは、列選択においてユーザがスイッチ操作を誤った場合、目的の文字にカーソルが到達しないため、直感的でない操作をユーザに強いていた。本報告では、誤り訂正に対応した新しいカーソル形状を導入し、その認知的な効果を調べた結果を述べる。健常者 6 名による文章入力実験の結果、および NASA-TLX によるメンタルワークロード評価の結果から、(i) 3×3 のカーソル形状では顕著にパフォーマンスが低下すること、(ii) 1×3 のカーソル形状が従来の 1×1 のカーソル形状に比べて優れているとは言えないこと、がわかった。これらのことより、十分に習熟すれば従来のシステムのままでも差し支えないと結論付けられた。

キーワード スキャン型文字入力、カーソル、認知、メンタルワークロード

Visual feedback methods for the error-tolerant scanning communication system

Hiroki MORI†

† Graduate School of Engineering, Utsunomiya University
7-1-2, Yoto, Utsunomiya-shi, 321-8585 Japan
E-mail: †hiroki@speech-lab.org

Abstract An intelligent scanning communication system that can automatically correct errors caused by users' inaccurate switch timing has been proposed and its effectiveness was confirmed in the previous works. The system, however, expects somewhat tricky operation of the users, because when a user accidentally selects the next column to the expected one, the cursor never reach the expected character, even though the character would be revived by the error correction facility. This report introduces two new cursor shapes that were proposed as error-correction-aware visual feedback methods. A set of text input experiments was conducted for elucidating the cognitive effects of the cursor shapes. The results revealed: (i) The 3×3 cursor degraded the performance a lot, (ii) the 1×3 cursor was little better than the conventional 1×1 cursor. These results justified the use of the conventional cursor shape, at least for proficient users.

Key words Scanning communication system, cursor, cognition, mental workload

1. はじめに

森らにより提案されたスキャン法に基づく文字入力システムにおける自動誤り訂正 [1]~[3] は、スイッチ操作タイミングと言語情報を利用することで、タイミングのずれが原因で生じる入力誤りを自動的に訂正して出力

するものである。この方式は、ユーザのスイッチ操作タイミング特性が既知であれば非常に強力な誤り訂正能力を有し、シミュレーション実験によれば文字入力誤りの 80%以上を正しく修正できる。また、ALS 患者による実際の文章入力実験においても、誤り訂正をしなかった場合に 77.7%であった文字正解率を 97.7%にまで向上でき

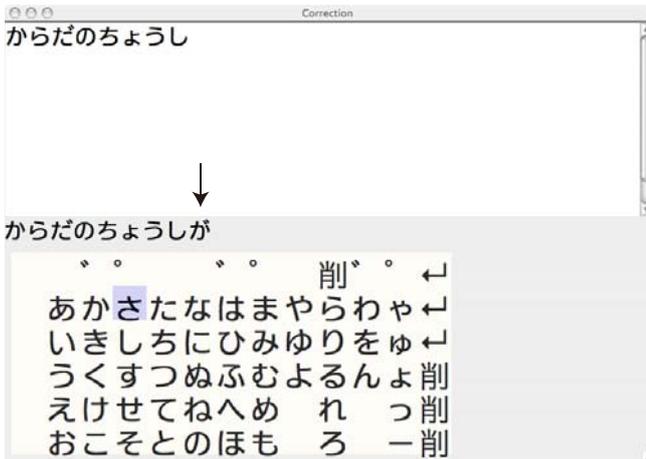


図 1 従来の自動誤り訂正機能付きスキャン型文字入力システムにおけるユーザ体験。「からだのちょうし」まで入力が済んで、次は「か」を入力すべきところ、「か」列でなく「さ」列でスイッチ操作をしてしまった場面。

Fig.1 An illustration of the user experience in using scanning communication system with automatic error correction, where “か” is expected as the next character. The adjacent “さ” column is accidentally selected there.

たことが示されている。

五十音表を利用したスキャン型文字入力では、2回のスイッチ操作により入力する文字が指定される。すなわち、まず列選択が、ついで行選択が行われる。自動誤り訂正の枠組では、列選択および行選択の両方に対して、スイッチ操作タイミングのずれを許容する。しかしながら、1回目のスイッチ操作、すなわち列選択においてユーザが誤ってスイッチ操作をした場合に限って、直感的でないユーザ体験となることが指摘されていた。

このことを図1を用いて説明する。図は、「か」を入力すべきところで誤って「さ」列を選択した場面を表す。この場合、カーソルは「さ」列で縦方向のスキャンを始める。その後、「さ」の位置で行選択が行われたならば、「さ」の近傍に位置する「か」も出力候補文字となり、最終的には「からだのちょうしが」と正しく出力される可能性が高い。システムの自動誤り訂正能力を最大限に利用するためには、カーソルがどの列にあるかを無視し、どの行にあるかだけに注意して操作を行う必要がある。このことを認識させるため、過去の研究における実際の文章入力実験では、被験者には「列が違っていても、構わず目的の文字と同じ行でスイッチを操作する」よう教示していた。しかし、「か」を入力するために「さ」を入力する、というユーザインタフェースは直感的ではない。このことが、自動誤り訂正能力を有するスキャン型文字入力システムの習得の妨げとなったり、ユーザのメンタルワークロード[4]を増大させる原因となったりする可能性もある。

本報告では、自動誤り訂正能力を有するスキャン型文字入力システムにおいて、前述したようなユーザ体験が文章入力タスクに与える影響を明らかにすることを目的とした研究について述べる。その具体的方法として、前述の問題点を解消するための新しいカーソル形状を導入し、文章入力実験の結果を比較する。

新しいシステムの従来システムに対する相異点は視覚フィードバックの方法(=カーソル形状)だけであることに注意を要する。自動誤り訂正アルゴリズムなどを含む、他の要素は全く同一である。

2. 自動誤り訂正アルゴリズム [2]

五十音表上のスキャン型文字入力において、ユーザが文字 C を入力しようとするとき、列 x では時刻 t_x で、行 y では時刻 t_y でスイッチが操作される確率密度関数を $p(t_x, t_y|C)$ とする。自動誤り訂正は、以下の事後確率 $P(C|t_x, t_y)$ を最大にするような C の系列を出力することにより実現される。

$$P(C|t_x, t_y) = \frac{P(C)p(t_x, t_y|C)}{\sum_{\{C, \dots\}} P(C)p(t_x, t_y|C)} \quad (1)$$

$p(t_x, t_y|C)$ をスイッチ操作タイミングモデルと呼ぶ。簡単のため、確率分布は C に依存せず、列方向と行方向の確率分布は独立で、それぞれ1次元分布 $p_x(\cdot)$, $p_y(\cdot)$ に従うと仮定すると、

$$p(t_x, t_y|C) = p_x(t_x - t_{C_x})p_y(t_y - t_{C_y}) \quad (2)$$

と近似できる。ただし、 t_{C_x} , t_{C_y} は文字 C の文字盤上の位置およびカーソルのスキャン間隔によって決まる時間シフト量である。 $p_x(\cdot)$ および $p_y(\cdot)$ は何らかの確率分布で近似し、そのパラメータはスキャン型文字入力システムにより文章を入力させる実験を行うことで推定できる。スキャン間隔を T とすると、ユーザが C を入力しようとするとき列 x 、行 y でスイッチ操作が起こる確率は

$$\begin{aligned} & P(x, y|C) \\ &= \int_{t_{C_x} + (x - x_C)T}^{t_{C_x} + (x - x_C + 1)T} \int_{t_{C_y} + (y - y_C)T}^{t_{C_y} + (y - y_C + 1)T} p(t_x, t_y|C) dt_x dt_y \\ &= \int_{e_x T}^{(e_x + 1)T} p_x(t_x) dt_x \cdot \int_{e_y T}^{(e_y + 1)T} p_y(t_y) dt_y \quad (3) \\ &\equiv P_e(e_x, e_y) \end{aligned}$$

で与えられる。ただし x_C , y_C はそれぞれ文字 C の列および行であり、 $e_x = x - x_C$, $e_y = y - y_C$ はそれぞれ列方向および行方向の誤差を表す。図2は、後述する被験者#4のスイッチ操作タイミングモデル(300 ms)に従って計算した $P_e(e_x, e_y)$ の例である。

	ゝ	°	$e_y = -1$
7e-8	6e-4	7e-6	
あ	か	さ	$e_y = 0$
1e-4	0.957	0.011	
い	き	し	$e_y = 1$
3e-6	0.031	3e-4	
$e_x = -1$	$e_x = 0$	$e_x = 1$	

図2 目標文字近傍の位置でスイッチ操作が行われる確率(例)
Fig.2 An example confusion matrix.

3. 新しいカーソル形状の提案

1.で説明したように、従来の誤り訂正能力を持つスキャン型文字入力システムにおいては、ユーザが列選択を誤った場合、カーソルはユーザの所望の文字を通過しない。実際には行が同じである隣の文字にカーソルが到達したタイミングでスイッチ操作を行うことによって誤りが自動訂正されることが期待されるのであるが、このことがユーザにフィードバックされていないことが、直感的でないユーザ体験の要因であると予想された。

そこで、カーソル形状を工夫することで、出力候補文字を視覚的にユーザにフィードバックすることを考えた。具体的な方法として、今までのようにカーソルの停留位置だけをハイライトするのではなく、出力候補文字全て(現在の実装では3×3文字の範囲)をハイライトすることとした。

予備検討により、3×3文字の範囲を全て同じ色にハイライトすると、中央に位置する実際のカーソル位置がわかりにくいため非常に狙いが付けにくくなり不適切であることがわかった。そこで、中央の文字の部分の濃さは一定とし、周囲の文字の背景色の濃さを、その文字が出力される相対的な確率に応じて決定することとした。1つの方法として、カーソルの濃さを式(1)で与えられる事後確率に比例して決めることも考えられるが、これだとカーソル形状が言語的尤度に応じて複雑に変化してしまう。そこで、式(1)で $P(C) = (\text{定数})$ とし、かつスイッチ操作タイミングモデルを式(3)で置き換えて事後確率化した次式によってカーソルの濃さを決定する。

$$P(C'|x, y) \propto P(x, y|C') \simeq P_e(x - x_{C'}, y - y_{C'}) \quad (4)$$

ここで、 x, y はカーソルの位置を、 C' はカーソル位置近傍の文字を表す。図1を例に説明すると、カーソルは「さ」の位置($x = 4, y = 2$)にあるから、「か」の位置の背景色の濃さは $P(\text{か}|4, 2) \propto P_e(4 - x_{\text{か}}, 2 - y_{\text{か}}) = P_e(1, 0)$ となる。結局のところ、カーソルの濃度分布は図2の混

同行列を上下左右に反転させたような分布となる。実際の背景色は、人間の視覚特性を考慮したガンマ補正により決定する。この新しいカーソル形状を「3×3」と呼ぶことにする(図3中央)。

もう1つのカーソル形状として、カーソル位置の左右の文字の背景色だけを式(4)に従ってハイライトし、上下の列には何も表示しないパターンを考案した(図3右)。このカーソル形状を「1×3」と呼ぶ。この形状を考案した背景は、行選択時にはカーソルがどの行にあるかだけに注意を向ければ良く、所望の文字をハイライトさせるというカーソルに課せられた目的は、左右に幅を持たせるだけで十分に達成できると考えられたことにある。

4. 文章入力実験

これまでに述べた3種類のカーソルを表示できるスキャン型文字入力システムにより、健常者6名に文章を入力させる実験を行った。このシステムでは、スイッチ操作タイミングは列方向および行方向それぞれに対し平均と標準偏差をパラメータとする単一正規分布によりモデル化している。言語モデルには仮名4-gramを用いている。

また、各実験条件におけるメンタルワークロードの比較を行うため、NASA-TLX[4]によるWWL(加重平均作業負担得点)の評価を行った。評価項目は以下の通りである。

(1) 知的・知覚的要求

探す、記憶することをどの程度必要としたか

(2) 身体的要求

ボタンを押す、画面を凝視するなどのことをどの程度必要としたか

(3) タイムプレッシャー

カーソルのペースなどによって感じる時間的切迫感ほどの程度だったか

(4) 作業成績

思った文章をどれだけ入力できたか

(5) フラストレーション

作業中に落胆、イライラ、ストレスをどの程度感じたか

(6) 努力

思った文章を入力するためにどの程度努力したか

被験者#1,#2,#3,#5は自動誤り訂正能力を有するスキャン型文字入力システムの使用経験がわずかで、被験者#4,#6はかなり熟練している。入力させたテキストは、全てひらがなのイソップ童話「北風と太陽」252字である。

実験は、スキャン間隔が300msと200msの2通りの条件で、それぞれ以下の手順で行った。

(1) 通常のカーソル形状(1×1)によるスキャン型

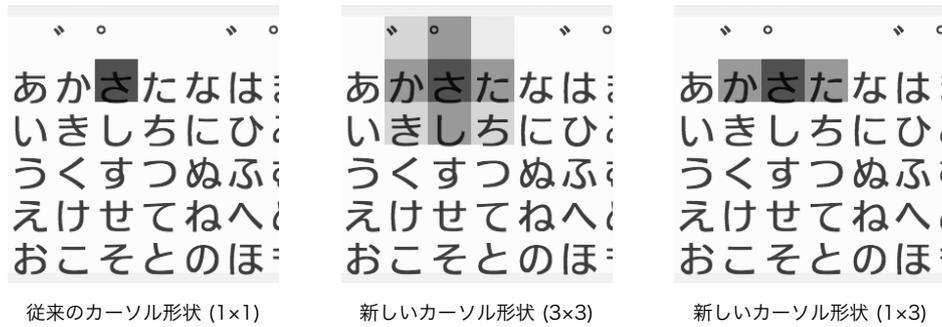


図 3 3 種類のカーソル形状
Fig. 3 Three cursor shapes.

文字入力システムを使って「いろは」47字と「北風と太陽」252字を入力し、スイッチ操作タイミングモデルのパラメータを学習させる。

(2) 通常のカーソル形状 (1 × 1) で自動誤り訂正能力を有するスキャン型文字入力システムにより「北風と太陽」の最初の1文を入力する練習を行い、NASA-TLXの各評価尺度に対する一対比較による重み付けを行う。

(3) カーソル形状 A で自動誤り訂正能力を有するスキャン型文字入力システムにより「北風と太陽」を入力する。その後、NASA-TLX の各評価尺度に対する負担度評価を行う。

(4) カーソル形状 B で自動誤り訂正能力を有するスキャン型文字入力システムにより「北風と太陽」を入力する。その後、NASA-TLX の各評価尺度に対する負担度評価を行う。

(5) カーソル形状 C で自動誤り訂正能力を有するスキャン型文字入力システムにより「北風と太陽」を入力する。その後、NASA-TLX の各評価尺度に対する負担度評価を行う。

カーソル形状 A,B,C には、3! = 6名の被験者で実験順序のバランスが取れるよう 1 × 1, 3 × 3, 1 × 3 をそれぞれ割り当てた。なお、カーソル形状を変化させるのは行方向スキャン時のみで、列方向スキャン時はどの条件でも従来と同一の縦長カーソルを用いた。

文章入力実験の結果を表1 (スキャン間隔 300 ms), 表2 (スキャン間隔 200 ms) にそれぞれ示す。

4.1 3 × 3 カーソルの効果

スキャン間隔が 300 ms はカーソルのスキャン速度が比較的遅く、健常者にとっては余裕を持って入力ができる速度である。表1より、3 × 3のカーソル形状では、従来の 1 × 1 に比べ、被験者 #2, #3, #4, #5 では入力時間が顕著に増加していることがわかる。入力時間の増加の主な要因は、目的の文字の見逃しである。ユーザは目的の文字にカーソルが到達したと確信したタイミングでスイッチ操作を行うが、不確実な場合にはカーソルがもう

表 1 文章入力実験の結果 (スキャン間隔 300 ms)

Table 1 Performance comparison in the “North Wind and The Sun” task for three cursor shapes. (Scan period: 300 ms)

	1 × 1		3 × 3		1 × 3	
	時間 (s)	正解率 (%)	時間 (s)	正解率 (%)	時間 (s)	正解率 (%)
被験者 #1	830	99.2	827	99.2	819	99.6
被験者 #2	803	99.2	853	99.6	801	99.6
被験者 #3	791	100	844	99.6	806	98.8
被験者 #4	902	100	952	98.8	882	99.6
被験者 #5	859	100	1000	98.8	804	99.6
被験者 #6	744	98.8	778	100	761	99.6

表 2 文章入力実験の結果 (スキャン間隔 200 ms)

Table 2 Performance comparison in the “North Wind and The Sun” task for three cursor shapes. (Scan period: 200 ms)

	1 × 1		3 × 3		1 × 3	
	時間 (s)	正解率 (%)	時間 (s)	正解率 (%)	時間 (s)	正解率 (%)
被験者 #1	574	96.0	608	97.2	577	95.6
被験者 #2	586	100	668	98.8	616	98.8
被験者 #3	592	99.6	622	96.0	588	99.6
被験者 #4	565	96.4	885	92.9	826	96.3
被験者 #5	607	98.8	650	98.8	610	98.4
被験者 #6	508	99.2	555	97.2	521	97.6

1周して戻って来るのを待ち、より確実なタイミングで選択しようとする傾向がある。このことより、3 × 3のカーソル形状では、行選択時にタイミングを合わせる事が難しくなったものと考えられる。

また、スキャン間隔が 200 ms は多くの健常者にとってかなり速いスキャン速度であるが、表2から、3 × 3のカーソル形状の副作用がより顕著になっていることがわかる。すなわち、全ての被験者で入力時間が顕著に増加している。

次に、システムから出力される文字の正解率に着目する。表1より、スキャン間隔が 300 ms の場合にはカーソル形状が 1 × 1 と 3 × 3 での違いは小さく、どちらの場合も 100%に近い正解率となっていることがわかる。一

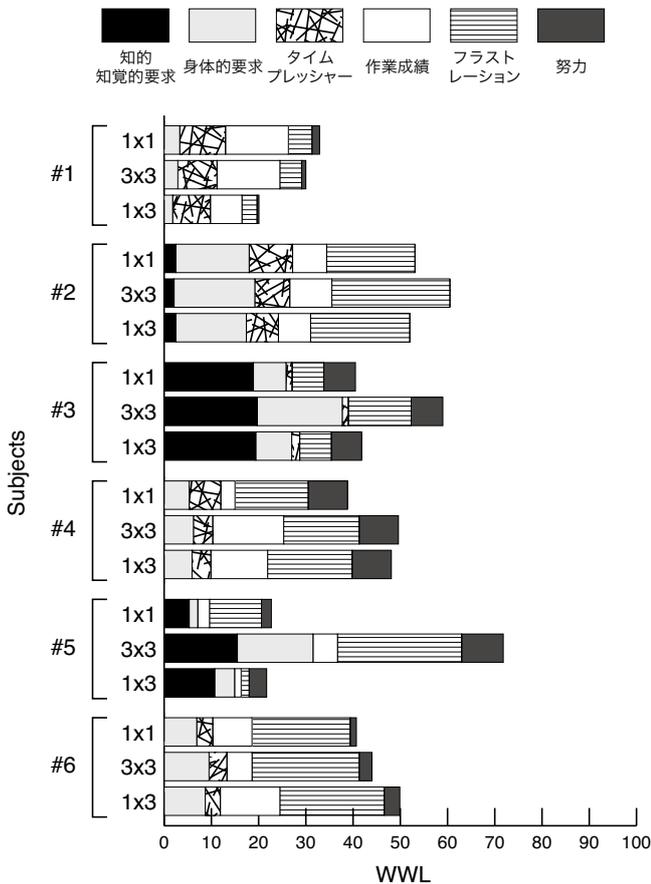


図4 NASA-TLXによるメンタルワークロード (スキャン間隔 300 ms)
Fig.4 Mental workload evaluation with NASA-TLX (Scan period: 300 ms)

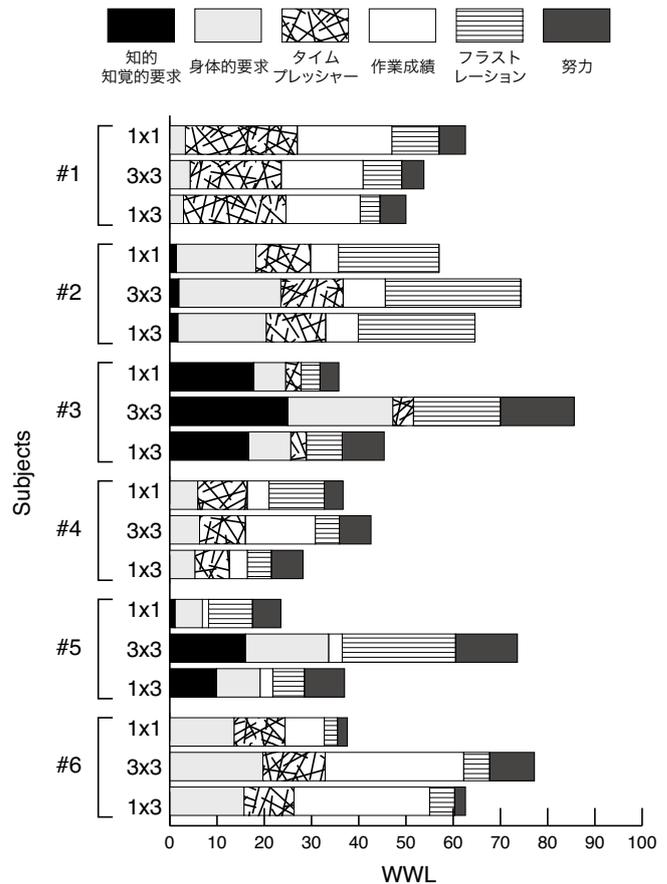


図5 NASA-TLXによるメンタルワークロード (スキャン間隔 200 ms)
Fig.5 Mental workload evaluation with NASA-TLX (Scan period: 200 ms)

方、表2より、スキャン間隔が200 msでは、被験者#3、#4、#6ではカーソル形状を3×3とすることにより正解率が大きく低下している。

以上の結果から、3×3のカーソル形状は、行選択時にタイミングを合わせるのが困難で、視覚フィードバック法としては適当でないと結論づけられる。

4.2 1×3カーソルの効果

1×3のカーソル形状は、行方向に広がりを持つ3×3のカーソルのような副作用を生じないことが期待される。表1より、スキャン間隔が300 msの場合には、1×3のカーソル形状を使用した場合の入力時間は従来の1×1の場合とほぼ同等であることがわかる。また、表2より、スキャン間隔が200 msの場合もほぼ同様であるが、被験者#4だけに入力時間の顕著な増加が見られた。

システムから出力される文字の正解率に関しては、スキャン間隔が200 msの場合に被験者#6で顕著な低下が見られたほかには、スキャン間隔が300 ms、200 msの2条件ともカーソル形状が1×1と1×3で大きな差は見られなかった。

以上の結果から、1×3のカーソル形状は、文章入力に要する時間および出力文字正解率の観点からは従来の

1×1のカーソル形状とほぼ同等であることがわかった。

4.3 メンタルワークロード

文章入力作業におけるメンタルワークロードの評価結果を図4 (スキャン間隔300 ms)、図5 (スキャン間隔200 ms) にそれぞれ示す。

被験者#1を除く5名については、3×3のカーソル形状を用いた場合のメンタルワークロードが大きいことがわかる。メンタルワークロードの増大の要因となった項目は被験者により異なるが、特に身体的要求が一貫して増大している傾向がある。これは、タイミングを取るためにカーソルの色の変化を凝視しなければならなかったことが現れているものと解釈できる。

一方、1×3のカーソル形状を用いた場合のメンタルワークロードを1×1のそれと比べた場合、必ずしも低下していないことがわかる。1×3のカーソルの導入によりシステムからのフィードバックがより直感的になり、結果として知的・知覚的な作業負担が減少することが期待されていたが、その傾向は明らかではなかった。

5. 結論

自動誤り訂正能力を有するスキャン型文字入力システム

ムでは、列選択においてユーザがスイッチ操作を誤り左右にずれた列が選択された場合でも、カーソルの行方向スキャンは選択された列で行われるため、目的の文字にカーソルが到達せず、ユーザインタフェースとして直感的でないことが指摘されていた。本報告では、この問題点を解消するために、上下左右および左右に幅を持つ新しいカーソル形状を導入し、文章入力タスクに与える知覚的影響を調べた。その結果、3×3のカーソル形状では顕著なパフォーマンス低下が認められた。また、1×3のカーソル形状ではパフォーマンスの低下は顕著でなかったが、従来の1×1のカーソル形状と比べて入力速度・文字正解率・メンタルワークロードいずれの面からも優れているとは言えなかった。

以上の結果と、今回の被験者に意見聴取した結果を総合して考察すると、少なくとも十分に習熟したユーザにとっては従来のシステムのカーソルの挙動は必ずしも認知的な悪影響をもたらさず、慣れてしまえば快適に使用することができるものと結論付けられる。

謝辞 実験協力者の小林拓さんに感謝します。本報告は科学技術振興機構「良いシーズをつなぐ知の連携システム(つなぐしくみ)」における委託研究「自動誤り訂正機能を有する高効率なコミュニケーション装置の実用化」の研究成果によるものである。

文 献

- [1] 森 大毅, 粕谷 英樹: “走査型文字入力における自動誤り訂正方式,” ヒューマンインタフェース学会論文誌, **Vol.8**, No.1, pp. 195-202 (2006).
- [2] 森 大毅, 粕谷 英樹, 森田 光哉, 中野 今治: “走査型文字入力におけるスイッチ操作タイミング特性の測定とその自動誤り訂正への応用,” 信学技報, TL2006-48, SP2006-136, WIT2006-80 (2007).
- [3] 森 大毅, “ALS と意思伝達—スキャン型文字入力における言語的戦略,” Brain and Nerve, **Vol.59**, No.10, pp. 1155-1162 (2007).
- [4] 情報福祉の基礎研究会編著, “情報福祉の基礎知識,” ジアース教育新社 (2008).