

高密度キーによるデータ入力システムに対する行動モデル

新居里織*, 米谷昭彦*, 戸荻吉孝*

*名古屋工業大学

携帯電話等に応用が可能なデータ入力システムの開発を行い、動作時間に関する人間行動モデルを構築した。2本の指でキーを押すことによってデータを入力するので、高速入力が可能となる。しかし操作が本装置特有のものになるので、データ入力時間に対して新しくモデルを構築することが必要となる。このシステムを使用していると、指をどのように動かせばよいかわからなくなる「動揺」が突発的に起こる。そこで2種類の動揺を考え、それらの所要時間と動揺を含まない動作時間の計3種類に分けてモデル化を行ったところ、実験データとよい一致を得た。また、得られたモデルパラメータをもとに様々な考察を行った。

Action Time Model for Data Input System with High-density Key Group

Saori Nii*, Akihiko Yoneya* and Yoshitaka Togari*

*Nagoya Institute of Technology

An action time model for a small size data input system is developed. The input device is the one developed by the authors aiming implementation to cellular phones. Simultaneous two finger actions determine the input characters, and a new model is required to describe the user behavior of the device. With this input device, occasionally the user may suddenly get into "panic": the user does not recognize how his/her fingers should be moved to specify the objective character. The panics are classified into two types and the total action time is modeled as the sum of the normal action time and the two type panic times. The obtained model has a good agreement with the experimental result and the model parameters are used to evaluate the usability of the device.

1. はじめに

近年、携帯電話など情報機器の小型化と普及が目覚しいが、その一方で小型情報機器に対する効率のよい文字データ入力方法の開発が望まれている。そこで、著者らは、携帯電話やPDAなどに応用が可能な高密度キーによるデータ入力システムの開発を行っている。^{1) 2)} また次の3つを目的として指の動作と所要時

間に関する人間行動モデルを構築している。

- (i) 開発したデータ入力装置の使いやすさの定量的評価。
- (ii) 装置をより使いやすくするための基礎データの取得。
- (iii) 装置の文字配列の評価のための基礎データの取得。

本発表では、人間行動モデルについてある程

度定量的なモデルが得られたので、それについて述べる。

2 yankee

2. 1 開発のあたっの考え方

「yankee」とは、「Yet Another Nihongo Key Equipment」の略であり、開発した装置を指す言葉である。

開発にあたって、使い始めから習熟期にわたる全体で考えるべきであるとした(図1)。

まず、使用者が最初に使うときに感じるストレスに対して上限がある。したがって、習熟者に対してシステムを最適化してしまうと、初心者には使えないものになってしまう。

また、習熟者にとってストレスはある程度以下の大きさでよく、小さければ良いというものではない。ある程度ストレスのある方が、「快感」があるかもしれない。

さらに、習熟度に応じてシステム自体を変更していけることが望ましい。本システムにおいては表示方法を変えることができるようになっている。

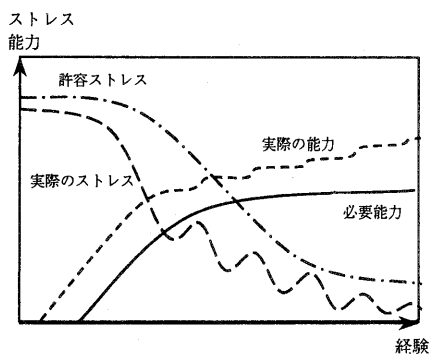


図1：ストレスと能力の遷移

2. 2 yankee 概要

開発したデータ入力装置について簡単に説明する。

現在のプロトタイプでは、入力文字割り当ては、50音を基本とし、母音と子音の情報を2

本の指で同時に指定する方法とした。母音は1列に配置した5個のキーにより指定し、子音は2列に配置した計10個のキーにより指定する。したがって、3列5行計15個のキーが必要であるが、実際にはキャンセルをするためのキーが必要となるので、3列6行計18個のキーを配置した。

大きさについては、携帯電話等を実装可能であることを念頭におき、31mm×13mmの面積の中に、18個のキーを実装した。したがって、キーの横幅は約10mm、行間隔は2.54mm(0.1インチ)となった。

高密度にキーを配置したことによって、問題が生じた。まず一つは、キーが指で隠れてしまうので、手元を見ながらキーを正しく入力することが困難な点である。最初からブラインドタッチを前提にしてしまうと、非熟練者には使えなくなってしまう。そこで、従来のキーを押したときにデータが入力されるという方法ではなく、キー群から指を離したときにデータが入力されるという方法をとった。そして、現在のキーが押されている状態に関する情報を表示機に表示するようにした。これにより、表示機を見ながら指を動かして正しいキーを探し、その時点で指をキーから離すと所望のデータが入力することができる。

もう一つの問題点として、キーを一つだけ押すことが難しく、どうしても複数のキーを押してしまうことが挙げられる。この問題に対しては、3列に配置したキー群のうち、各列からは多くて一つのキーを選択するようにし、各列において押されている複数のキーのうち、手元から一番遠いキーが選択されているものとした。

2. 3 プロトタイプ

このデータ入力装置のプロトタイプとして、評価・解析用のもの(図2)を作成した。携帯

電話への搭載を考えているが、今回はデータ取得のためにマウスに搭載した。これは、パソコンのキーボードの代用ができるものであり、今回の人間行動モデル構築用のデータをパソコンから取得できるようになっている。

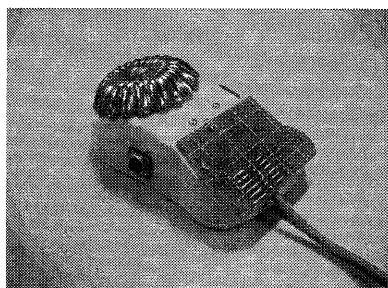


図2：評価・解析用プロトタイプ

プロトタイプで用いたキーと入力文字の組み合わせを表1に示す。日本語モードと英字モードがあり、それぞれについてシフトを用意してある。文字入力、3列に配置したキーに対して、1列、2列、もしくは3列の各列からキーを一つずつ、1本または2本の指で選択するようにした。濁音を持つデータに関しては、2本の指で3つのキーを選択することにより、一つの動作で入力を行うことができるようにした。

3. 構築したモデル

3. 1 モデルの構造

本システムの一文字あたりのデータ入力時間の確率密度関数に対してモデル化を行った。

開発したデータ入力装置は2本の指で操作する。したがってデータ入力時間のモデル化にあたって、よく知られた「フィッツの法則」³⁾ (距離Dだけ離れた、大きさSの的に手を持っていくのに要する時間はD/Sの対数に比例する)だけでは当てはまらなないと考えた。また、開発した装置を使っていると、指をどのように動かせばよいか突発的にわからなくなる「動

揺」が起こることがある。この「動揺」は、使い慣れても発生するので、この影響もモデルに反映させた。

実験データより得られた動作時間の確率密度関数の形状から、2種類の動揺があると考えると実験結果をよく説明できそうだということがわかった。そこで2種類の動揺を次のように解釈した。

打鍵前動揺：動揺時間の分布はほぼ一定時間である。文字を入力する時に、キーに触れる前にどこに指を持っていけばよいのか一瞬わからなくなる動揺と考えられる。

打鍵後動揺：動揺時間の分布は指数分布に従うもの。文字を入力する時に、キーに触れた後でその指を目的のキーの位置までどう動かせばよいかわからなくなる動揺と考えられる。

このような動揺と動揺を含まないものの分布を次のように考えた。

(i) 通常動作時間：X

動揺を含まない動作時間。正規分布を取ると考えることもできるが、時間が0にならないことを考慮し、対数正規分布⁴⁾とした。確率密度関数 $p(x)$ は次のようになる。

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\{-(\log x - \log \mu)^2 / (2\sigma^2)\}$$

(ii) 打鍵前動揺時間：Y

正規分布にするには、分散が小さく推定できなかった。したがって、一定時間 T_β とし、打鍵前動揺が起こる確率を β とした。

$$P(Y=0) = 1 - \beta$$

$$p(y) = \beta \cdot \delta(y - T_\beta) \quad (P(y) \text{ は確率})$$

ただし、 $\delta(\cdot)$ はディラックのデルタ関数である。

(iii) 打鍵後動揺時間：Z

実験データより指数分布と想定することが妥当であると考えた。また、打鍵後動揺が起

こる確率を α とした。

$$P(Z=0)=1-\alpha$$

$$p(z)=\alpha \cdot \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot z}$$

Z が指数分布に従うということは、Z に無記憶性があることになる。したがって、ある期間動揺しても、それ以後の動作はそれまでの動揺の時間には依存しない。

一文字入力するのに要する時間を T とし、

$$T=X+Y+Z$$

という形でモデル化した。

3. 2 要因

キー入力速度はキー位置のどのような特長によって決まるのかを調べた。手法として主成分分析⁵⁾を用い、要因として、次の6つを考えた。

要因1：所要時間

要因2：母音位置

要因3：母音変化幅

要因4：子音位置

要因5：子音変化幅

要因6：子音列変化

もとのデータを各要因に対して分散が1になるように正規化を行い、主成分分析を行った結果を表2に示す。表の数値は

(正規化した固有値ベクトル) × (√固有値)である。

表2：主成分分析結果

	第1成分	第2成分	第3成分	第4成分	第5成分	第6成分
要因1	0.033	-0.692	0.394	-0.225	-0.556	-0.071
要因2	-0.211	-0.645	-0.145	-0.486	0.529	0.037
要因3	0.077	-0.556	0.176	0.770	0.246	-0.035
要因4	-0.158	-0.304	-0.874	0.158	-0.304	-0.003
要因5	0.858	-0.018	-0.156	-0.109	0.095	-0.443
要因6	0.866	-0.119	-0.071	-0.041	-0.021	0.453
固有値	1.661	1.310	1.001	0.917	0.752	0.409

文字入力の所要時間に関する要因を知りたいので、要因1の絶対値が大きい列に注目する。

その列において絶対値が大きいものが主要因となる。その結果本システムでは要因2と3が主要因であることがわかった。要因2と3はそれ自体が互いに強い相関を持っているので、要因としてはどちらか一つを取ることが適切である。今回は要因2の母音位置を採用した。

3. 3 実験

文字入力速度を測定するための実験として次のことを行った。

(i) 実際にプロトタイプで文章を入力

(ii) 一文字あたりに要する時間を測定

(iii) ヒストグラムを作成

測定に用いた入力文章のデータとして次の3種類を用いた。

(a) 標準文章

あるエッセイの冒頭部分で、約150文字の日本語の文章。これは常に同じ文章を入力しているので習熟が早く、熟練者データとして扱うことを目的とした。特定パターンに対するデータしか得られないので、データに多少偏りが存在する危険がある。

(b) デイリーコラム

朝日新聞「天声人語」を入力したときのデータ。これは毎回異なった文章を入力している。上達途中者のデータとして扱う。

(c) 英文

朝日新聞の英語版から抜粋した文章を入力したデータ。これも毎回異なった文章を入力している。英文入力のデータとして扱う。

この実験データより得られた一文字当りの所要時間のヒストグラムをモデルに当てはめた。3種類のデータに対する母音位置別のモデルのパラメータを表3～5に、所要時間の確率密度関数のグラフを図3～6に示す。図3～6のグラフは実線がモデル、点線が実験結果である。ここで、「母音位置 (V1)」とは、キー群

の母音列の手元から一番遠い場所にあるキーを指す(表1参照)。

今回扱ったデータは、スペース、バックスペースのデータを取り除いてある。また標準文章とデیلیーコラムについてはスペース入力後最初のデータも取り除いた。今回用いた環境ではスペースによりカナ漢字変換を行うので、スペース入力直後は変換確認と入力文を読む、というような動作を行っている。機能コードに対する入力時間は特異なので、「文字」そのものの入力速度を考える今回はこれらの場合を除外した。また英文においてはV5を用いた入力文字がなかったので、表5においてV5のデータが含まれていない。

表3：母音位置別モデルパラメータ(標準文章)

	μ	σ	λ	α	β	$\tau\beta$
母音位置(V1)	0.48	0.23	1.86	0.14	0.15	0.36
母音位置(V2)	0.51	0.22	3.75	0.39	0.11	0.50
母音位置(V3)	0.50	0.16	2.99	0.40	0.17	0.35
母音位置(V4)	0.54	0.19	2.65	0.31	0.25	0.35
母音位置(V5)	0.59	0.30	1.90	0.24	0.32	0.33

表4：母音位置別モデルパラメータ(デیلیーコラム)

	μ	σ	λ	α	β	$\tau\beta$
母音位置(V1)	0.59	0.33	1.21	0.24	0.12	0.36
母音位置(V2)	0.46	0.18	2.10	0.73	0.12	0.38
母音位置(V3)	0.52	0.21	2.17	0.42	0.22	0.34
母音位置(V4)	0.57	0.22	1.78	0.47	0.17	0.31
母音位置(V5)	0.66	0.26	1.44	0.60	0.14	0.22

表5：母音位置別パラメータ(英文)

	μ	σ	λ	α	β	$\tau\beta$
母音位置(V1)	0.44	0.29	1.44	0.58	0.04	0.46
母音位置(V2)	0.54	0.19	1.30	0.53	0.18	0.38
母音位置(V3)	0.57	0.18	1.34	0.73	0.13	0.26
母音位置(V4)	0.71	0.32	1.21	0.97	0.38	0.31

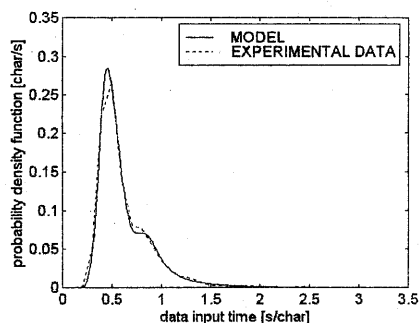


図3：データ入力時間(標準文章 V1)

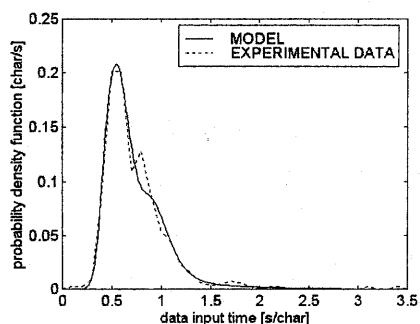


図4：データ入力時間(標準文章 V4)

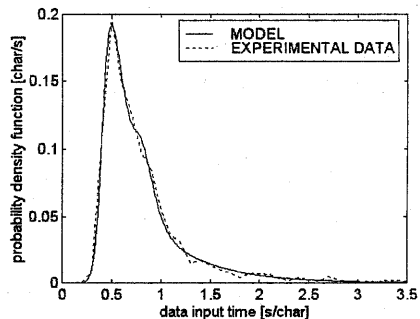


図5：データ入力時間(デیلیーコラム V3)

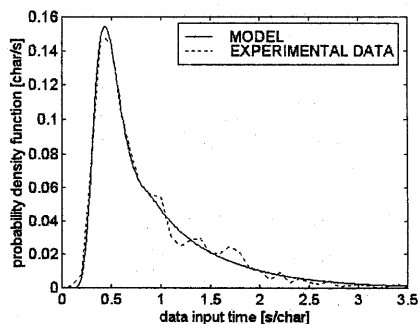


図6：データ入力時間(英文 V1)

3. 4 考察

3. 4. 1 子音への依存

主成分分析より、データ入力の際の所要時間は子音には大きく依存しないことがわかった。この理由として次のことが考えられる。yankeeの子音列は2列あり、子音を選択する指の動きは母音の場合よりも複雑になっている。したがって、少し指を動かす時でも考えなければならず時間を要するので、子音を選択する指の動作時間は、その位置や移動距離にはあまり依存しない。

3. 4. 2 確率密度形状からわかること

位置や入力するデータによって、確率密度関数の形状が異なっている。また、母音位置が下に下がる（手元に近づく）につれて、確率密度関数の2つ目の山が大きくなっている。これより母音位置が上にあるほど、所要時間が短いところに集中する、つまり短時間で文字が入力できることがわかる。

所要時間が長いところでは多少ずれが出てしまうが、データ入力時間のモデルは実験データをよく説明している。したがって仮定したモデルの構造が妥当だと考えられる。

3. 4. 3 モデルパラメータからの考察

μ : 通常動作時間の平均

時間軸に対して対数をとって平均した値が $\log \mu$ となる。ほとんどの場合母音位置が下がるにつれて値は大きくなっている。これからも、母音位置が上にあるほど短時間で入力できることがわかる。

σ : 通常動作時間の標準偏差

時間軸に対して対数をとった標準偏差が σ である。この値はキーの中央ほど小さく、両端ほど大きくなっている。両端

では指の移動距離が大きくなってしまいうことが影響して、ばらつきが大きくなってしまおうと考えられる。

α : 打鍵後動揺率

母音位置が一番上で最も小さくなっている。標準文章では一番下も小さい値を取っているが、標準文章は入力文字パターンの偏りが大きいためであると考えられる。英文の母音位置 V4 での値が特に大きくなっているのは、英文入力のために V4, V5 は使用頻度のあまり高くない特殊文字が多いためである。したがって、キーを押した後の動揺が起りやすくなっていると推測される。

λ : 打鍵後動揺収束率

単位時間内に動揺が収まる割合が λ である。英文では母音位置によってそれほど差は見られない。英文入力では、ほぼ上3行のキーで入力が可能であるので、キーを押したあとに動揺しても、指を動かす範囲が狭いため、入力したい文字が探しやすいためだと考えられる。

標準文章やデイリーコラムといった日本語の場合、この値はキーの中央、すなわち V2, V3, V4 で大きくなっている。プロトタイプではキーの一番上と一番下は、位置が分かりやすいせいか比較的に入力しやすいので、他のキーに比べて緊張感なく入力している。したがって、最初にキーを押したときに正しい文字が選択されていないと緊張感がない分、動揺が大きいため、 λ の値が小さくなってしまおうと考えられる。

β : 打鍵前動揺率

母音位置が下がるにつれて値が大きくなっている。キーを押す前の動揺であるから、位置が下になるにつれて押し

たときの指の形状が不自然になり、動揺が起りやすいと推測した。

T_p ：打鍵前動揺収束時間

これは、どの場合に対してもほぼ同じ値をとっている。標準文章の V2 が一つだけ大きな値になっているのは V2 を用いて入力する文字に読点「、」が含まれているからだと考えられる。

3. 5 結論

作成したモデルから次のことがわかる。

[特等席の存在]

キーの位置が手元から一番離れた場所、すなわち一番上が特等席である。この位置は、指にとって一番無理なくキーを選択できる位置である。また、一番探しやすい位置であり、分かりやすい位置でもある。したがって、この位置に出現頻度の高い文字を配置すれば、データ入力速度が上がると考えられる。

[英文と日本語文入力の差がない]

英文入力と日本語入力で、母音ごとのモデルパラメータの変化の仕方にそれほど差は見られなかった。すなわち、英文、日本語の1文字あたりのデータ入力速度は変わらないといえる。開発した装置は日本語のカナデータを効率よく入力できるようにすることに主眼をおいたが、英文入力も快適に行えることがわかった。

[入力速度]

ある程度慣れてくると、一文字当り 0.5 秒でデータ入力ができることがわかる。これは、文字を確認してから入力する本方式を用いたときの人間の動作時間の限界⁶⁾を考えてみても妥当な値である。また、この値程度で文字入力が行えるならば、過度のストレスや、煩わしさを感じることはない。

4. おわりに

携帯電話に応用が可能なデータ入力装置の開発を行い、その文字配列の最適化などに必要な動作時間に関する人間行動モデルを構築した。

現在、評価・解析用のプロトタイプによるデータ取得は、文字入力画面と操作状態の表示画面が別々になっている状態で行っている。これでは、文字入力を行うときの視線の移動が多くなってしまいます。そこで文字入力を行っているテキストラインへ選択されている文字を直接表示する方法をとり、そのような表示方法をとったときにどのようなときに動揺が発生するかを解析していきたい。また、今回の行動モデルが表示方法にどのように依存しているかも解析していきたい。

さらに今回のモデル化によって得られた結果より、現在の50音に従う文字配列を最適化することによる利点、欠点を定量的に評価していきたい。

参考文献

- 1) 米谷昭彦, 新居里織, 戸荻吉孝: 高密度キーによるデータ入力システムの開発, 情報処理学会研究報告, Vol.2000, No.94, pp.69-76, 2000
- 2) 実用新案登録第3072517号
- 3) 木村泉: さなげ山通信⑧, 家電の恵み - フイツの法則, bit, Vol.30, No.2, pp.54-59, 1998
- 4) 松原望, 縄田和満, 中井検裕: 統計学入門, pp.120-128, 東京大学出版社, 1997
- 5) 有馬哲, 石村貞夫: 多変量解析のはなし, pp.79-126, 東京出版, 1987
- 6) 木村泉: さなげ山通信③, 自称人間国宝! ? - モデル人間プロセッサ, bit, Vol.29, No.7, pp.50-57, 1997

表1：入力文字の割り当て

日本語モード(非シフト)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C0
V1	"あ"	"か"	"さ"	"た"	"な"	"は"	"ま"	"や"	"ら"	"わ"
V2	"い"	"き"	"し"	"ち"	"に"	"ひ"	"み"	"ー"	"り"	"ゝ"
V3	"う"	"く"	"す"	"つ"	"ぬ"	"ふ"	"む"	"ゆ"	"る"	"ん"
V4	"え"	"け"	"せ"	"て"	"ね"	"へ"	"め"	"っ"	"れ"	"ゑ"
V5	"お"	"こ"	"そ"	"と"	"の"	"ほ"	"も"	"よ"	"ろ"	"ま"

日本語シフトモード

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C0
V1	"あ"	"きや"	"しや"	"ちや"	"にや"	"ひや"	"みや"	"や"	"りや"	"ふあ"
V2	"い"	"か"	"し"	"てい"	"に"	"ひ"	"み"	"ー"	"り"	"ふい"
V3	"う"	"きゆ"	"しゆ"	"ちゆ"	"にゆ"	"ひゆ"	"みゆ"	"ゆ"	"りゆ"	"ふゆ"
V4	"え"	"け"	"せ"	"ちえ"	"に"	"ひ"	"み"	"っ"	"れ"	"ふえ"
V5	"お"	"きよ"	"しよ"	"ちよ"	"によ"	"ひよ"	"みよ"	"よ"	"りよ"	"ふお"

V1	C1	C6
V2	C2	C7
V3	C3	C8
V4	C4	C9
V5	C5	C0
VA	CA	CB

キーの名称

日本語モード(非シフト)

	C1	C2	C3	C4	C5
	C6	C7	C8	C9	C0
V1	"ば"	"が"	"ざ"	"だ"	"ば"
V2	"び"	"ぎ"	"じ"	"ぢ"	"び"
V3	"ぶ"	"ぐ"	"ず"	"づ"	"ぶ"
V4	"べ"	"げ"	"ぜ"	"で"	"べ"
V5	"ぼ"	"こ"	"ぞ"	"ど"	"ぼ"

日本語モード

	C1	C6	シフト
	C2	C7	英字モード
	C3	C8	一字英字
	C4	C9	ctrl
	C5	C0	カーソル

カーソルモード(V off)

	C1	←
	C2	↑
	C3	PgUp
	C4	PgDn
	C5	モード解除

カーソルモード(V off)

	C6	→
	C7	↓
	C8	Home
	C9	End
	C0	モード解除

日本語シフトモード

	C1	C2	C3	C4	C5
	C6	C7	C8	C9	C0
V1	"びや"	"ぎや"	"じや"	"ぢや"	"びや"
V2	"びい"	"ぎい"	"じい"	"でい"	"びい"
V3	"びゆ"	"ぎゆ"	"じゆ"	"でゆ"	"びゆ"
V4	"びえ"	"ぎえ"	"じえ"	"あ"	"びえ"
V5	"びよ"	"ぎよ"	"じよ"	"あ"	"びよ"

英字モード

	C1	C6	シフト
	C2	C7	Caps Lock
	C3	C8	日本語
	C4	C9	ctrl
	C5	C0	カーソル

カーソルモード(V1 on)

	C1	シフト+←
	C2	シフト+↑
	C3	
	C4	
	C5	モード解除

カーソルモード(V1 on)

	C6	シフト+→
	C7	シフト+↓
	C8	
	C9	
	C0	モード解除

英字小文字モード

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C0
V1	"a"	"d"	"g"	"k"	"n"	"q"	"t"	"w"	"y"	"z"
V2	"b"	"e"	"h"	"l"	"o"	"r"	"u"	"x"	"v"	"f"
V3	"c"	"f"	"i"	"m"	"p"	"s"	"v"	"y"	"j"	"g"
V4	"("	"<"	"j"	"#"	"/"	"")"	">"	"'"	"z"	"."
V5	"["	"["	"["	"@"	"="	"["	"["	"["	"["	"["

モード共通(カーソルモード以外)

	C1	"1"
	C2	"2"
	C3	"3"
	C4	"4"
	C5	"5"

英字大文字モード

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C0
V1	"A"	"D"	"G"	"K"	"N"	"Q"	"T"	"W"	"Y"	"Z"
V2	"B"	"E"	"H"	"L"	"O"	"R"	"U"	"X"	"V"	"F"
V3	"C"	"F"	"I"	"M"	"P"	"S"	"V"	"Y"	"J"	"G"
V4	"("	"<"	"J"	"#"	"/"	"")"	">"	"'"	"Z"	"."
V5	"["	"["	"["	"@"	"="	"["	"["	"["	"["	"["

モード共通(カーソルモード以外)

	C6	"6"
	C7	"7"
	C8	"8"
	C9	"9"
	C0	"0"

英字モード

	C1	C2	C3	C4	C5
	C6	C7	C8	C9	C0
V1	"`"	"\$"			
V2	"^"	" "			
V3	"~"	"%"			
V4	"`"	"%"			
V5					

モード共通

	C6	C7	C8	C9	C0
V1	C1			半角	小英字
V2	C2			Del	かな
V3	C3				
V4	C4	カタカナ	Ins		
V5	C5	Esc	Tab		

モード共通

	V1	space
	V2	return
	V3	
	V4	BS
	V5	BS