

連続打鍵列の打鍵時間に対する分析と考察

角田博保、粕川正充

電気通信大学 情報工学科、東京工業大学理学部

変換型日本語ワードプロセッサのローマ字入力モード時の打鍵データを収集し、発想などの思考に要する時間を省くことにより滑らかに打たれている連続打鍵列を取り出して打鍵時間を分析した。

被験者4人のそれぞれ数万打鍵のデータの隣接2打鍵(ダイグラフ)分析により、母音打鍵と子音打鍵によって打鍵時間頻度グラフが大きく変わること、同手打鍵では指の位置によって打鍵時間が特徴的であること、必ずしも交互打鍵が同手打鍵より速くないことが明らかになった。

本論文では、連続打鍵列を取り出す手法、切り出された打鍵列を分析した結果を述べ、さらに分析すべき項目を指摘する。

An Analysis of Keystroke Data in Japanese Romanized Input Runs

Hiroyasu Kakuda

Department of Computer Science, The University of Electro-Communications

Masaatsu Kasukawa

Faculty of Science, Tokyo Institute of Technology

People's usual typing pattern is consisted of burst typings and pauses. We call each burst 'run' and are studying about this. We collected keystroke data among our daily works with Romanized Japanese input and sampled run data. Analysis was made for four subjects' keystroke data (total of 100,000) and following results were obtained. Distribution characteristics were different between typing vowel keys and consonant keys. Very fast typings with one hand were often observed and it depended on the relative location of the keys. Typing with alternate hands was sometimes slower than one hand. In this paper, we report the way to separate runs from keystroke data, analysis methods and the results. Further research is also discussed.

1 はじめに

近来日本語ワードプロセッサを使って文章を作成することが一般的になってきた。主にかな漢字変換法が使われており、読みの入力としてもローマ字打ちが多く使われている。かなを直接打鍵する方法（かな打鍵）もあるが、ここではローマ字打ちに限定して議論を進めることにする。

ローマ字打ちに使われるキー配列には、Qwerty、Dvorak、新JIS、Sky、Mykeyなど多くが提案、実用化されている。キー配列の設計時に使われるモデルとしてよくとられるものは、(1) 打鍵間時間の期待値、(2) 文字組（ダイグラフ）の出現頻度、を求めておき、加重平均して平均的打鍵時間を計算するといった測定を容易におこなえるものである。[4]

打鍵間時間の実測データから、一般に交互打鍵の方が同手打鍵よりも高速であるといわれているが、筆者らの経験ではQwerty配列で「さ」をローマ字で打つといった場合、同手であるにも関わらず、ピアノでアルペジオを弾くような指の運動で叩くことになり、結構高速に打鍵できる。上記の単純なモデルでは不十分であると考えた。

そこで、実際に論文を書くといった実作業の生の打鍵時間データを分析して、その中からローマ字綴りとなる打鍵を抽出し、詳細に分析することにした。

実際の作文タイプでは文章内容を考える時間も打鍵時間データとして採集されているので、思考時間を含んだ打鍵を取り除く手法を考え、適用している。

2 分析対象となる打鍵データ

2.1 被験者および素打鍵データ

被験者は4人（KI, KM, YO, NI）である。対象となる打鍵データはそれぞれ論文などの原稿を台本などを見ずに打鍵した実作業の記録から採った。[1] ワープロとしては一太郎と松が使われた。キーボード配列はQWERTYである。

打鍵には、英字キー、数字キー、空白キー、記号キー、機能キー、シフトキー、および、制御キーが含まれ、打鍵時間は10ミリ秒の精度で測定されて

いる。

2.2 打鍵文字の種類

ローマ字を形成する打鍵文字のみを取り扱うことにする。以下に示す英字22文字である。

abcdefghijklmnoprstuwyz

この英字をローマ字英字と呼ぶことにする。アルファベットの残りのlqvxを非ローマ字英字と呼ぶ。非ローマ字英字には外来語（カタカナ）を打鍵するときに使われる文字もあるが、英単語を対象外とするために、ローマ字英字から削除した。ローマ字打鍵全体の傾向に与える影響はごく少ないと考える。

2.3 分析対象打鍵列の取り出し

滑らかにためらいなく連続して打鍵されたローマ字列を連と呼ぶ。連の切り出しは以下の手法による。連の切り出し

1. 全打鍵列から英数字からなる部分打鍵列を取り出す。
2. 部分打鍵列に削除キー打鍵（DEL,BS,Control-H）が後続している場合は部分打鍵列から対応する英数字を削除する。
3. 1秒以上の打鍵間時間によって部分打鍵列を分割する。
4. 打鍵数2以下（打鍵間隔が1以下）の部分打鍵列を捨てる。
5. 数字および非ローマ字英字を含む部分打鍵列を捨てる。

こうして得られた部分打鍵列をローマ字打鍵列と呼ぶ。

1. すべてのローマ字打鍵列から19*19の2打鍵間時間の中央値を計算する。
2. ローマ字打鍵列の各打鍵間隔について、1.で求めた中央値の倍以上離れている打鍵間で分割する。

3. 打鍵数2以下のローマ字打鍵列を捨てる。

以上によって得られたローマ字打鍵列を連と呼ぶ。採集された打鍵データに対するローマ字打鍵列と連それぞれに属する打鍵の個数、平均値、標準偏差を以下に示す。

被験者	種類	打鍵数	平均値	標準偏差
KI	ローマ字打鍵列	35872	18.42	13.64
	連	33347	16.78	10.32
KM	ローマ字打鍵列	14783	15.00	9.51
	連	13594	13.53	6.25
NI	ローマ字打鍵列	58516	15.92	9.80
	連	55031	14.50	6.26
YO	ローマ字打鍵列	21585	19.25	13.62
	連	19601	17.07	9.56

手法に対する理由付け

1. 本研究では滑らかに打鍵している場合の打鍵時間のみ着目する。かな漢字変換時に確定か再変換かを考えて打鍵する打鍵は対象外とする。つまり、いわゆる思考によって打鍵が遅れている場合の打鍵を捨て去り、純粋に運動能力を対象とする。[2] 大雑把にあって1秒以上の間隔でなされた打鍵は捨てる。
2. 削除キーで消される文字は被験者が打ち間違ったと意識して削除するものであるから、指が2つのキーの間に当たってしまったとか、指がすべったとかいった状況にあたるので、打鍵記録から削除すべきである。また、削除キーを打鍵したあとに続く打鍵も削除キー打鍵のために思考が働いたと考えられるのでそれ以前の打鍵とまとめて一つの単位にするのは避けた方がよいと考える。
3. sa とか ki とかいう打鍵数2の打鍵列は滑らかに打鍵しているという定義外だと考えて削除する。
4. 非ローマ字英字を含んだ打鍵列をそのまま一括で捨てるのは、英単語を対象から外すためである。たとえば、save という打鍵列から v だけを除いてのでは sa という打鍵が残ってしまう。この sa は「さ」とは打鍵時間が違うと考え、今後の課題として残した(検証する予定である)。

5. このようにして分割されたローマ字打鍵列には長い思考時間は入っていないが、ちょっとした躊躇といった短い思考時間は当然入っている。つまり、ある打鍵が例外的に遅くなるといった場合である。これを何とか削除したい。

全打鍵の打鍵時間頻度グラフを基にして、ある境界値から上は例外として削除するといった単純な方法では駄目なことは明らかである。各文字の打鍵ごとに打鍵時間頻度グラフを描き、例外打鍵をとりだす方法はましであるが、これも必要な打鍵が削除されてしまう傾向が大きい。

文字 α の打鍵時間を調べてみると、様々な形をしているが、直前の文字を限定すると正規分布に近い形になる。そこで、各2文字間の打鍵時間頻度グラフを描き、それから計算で得られる統計値によって例外打鍵を削除することにした。

方法1 平均値+標準偏差*3以上の打鍵を削除する。

方法2 中央値*2以上の打鍵を削除する。

によって実験してみたところ、方法1ではほとんど削除されなかったが、方法2では尾を引いていた思考時間に当たる部分がきれいに削除されたので、中央値の2倍で切ることにした。

2.4 連の統計データ

上記方法によって分割した連は以下に示すとおりである。

被験者	連の個数	平均連長	標準偏差
KI	6101	5.466	3.076
KM	3096	4.391	1.968
NI	8426	6.531	4.193
YO	3632	5.397	3.588

平均連長とは連に属する打鍵間の個数である。平均的に6打鍵位である。

3 打鍵間時間の分析および考察

連に属するローマ字英字列に対して分析した。

3.1 各打鍵の出現頻度と打鍵時間

各打鍵の出現頻度、平均打鍵時間、標準偏差を表1に示す。項目は出現頻度順に並べてある。単位は10ミリ秒である。

被験者はそれぞれ別の文章を打鍵しているが、驚くほど似た出現順となっている。母音およびnの打鍵が上位を占め、それにつづいて子音のt,k,r,s,hとなっている。母音打鍵は平均打鍵時間が短く、標準偏差も小さい。大体頻度の多いものほど打鍵時間は短く、標準偏差が小さい傾向がある。

母音の打鍵と子音の打鍵に全体を分割し、頻度グラフを図1に示す。横軸に打鍵時間(10ミリ秒単位)、縦軸に対応する打鍵の出現頻度を示す。本来は棒グラフにすべきところであるが、いくつかのグラフを重ねて示す便宜上折れ線グラフで表している。

3.2 母音子音に場合分けした連続2打鍵の出現頻度と打鍵時間

連続2打鍵を母音-子音、母音-母音、子音-母音、子音-子音の4組に分け、それぞれの打鍵間時間をグラフに描いたものを図2に示す。

子音-母音 ki や sa といったローマ字にあたるので、打鍵時間は短いし、標準偏差も小さい。しかし、正規とはいいい難く2山の形をしている。

母音-子音 ローマ字対の切れ目にあたる。1山型をしている。

母音-母音 形は子音-母音とよく似ているが、平均値はより大きい。2山の形は母音打鍵の特徴といえる。

子音-子音組 頻度が少ないので形がはっきりしない。被験者 KM では頻度が多いのはヘボン式で綴るからである。

3.3 子音-母音の場合 — 指の運動特性の考慮

子音-母音について各母音ごとにプロットしたものを図3に示す。

a と o の打鍵グラフは1山であるが、i、u、o は2山をもったグラフとなる。この理由を調べるために、すべての子音-母音の組み合わせについて各母音ごとにその出現頻度の上位10組を平均打鍵時間の短い順に並べて示す(表2)。表の中の最初の項目は打鍵組であり、頻度、平均打鍵時間、標準偏差が引き続く。最後の項目は同手打鍵での指使いを示す。小指から順に4、3、2、1と番号をふり、人指し指に対しては1と0をあてがう。番号0は指をチョコキの形に開いて打鍵する場合にあたる。up、dw はそれぞれ指の上昇打ち、下降打ちを示す。u2、d2 は1段飛びである。また、その後にはxがある場合は、指の運動上から打鍵しにくいことを示す。交互打鍵に当たる場合は空白にしてある。以下、あいうえお順に見ていく。

a 打鍵 交互打鍵と同手打鍵がほぼ均等に現れ、打鍵しにくいパターンもないので、なだらかな安定した打鍵グラフとなっている。

i 打鍵 ki は同指打鍵である。被験者の中でもっとも速いNIでも約150ミリ秒かかっている。この打鍵があるために、図3のグラフが2山になったのである。

u 打鍵 u 打鍵は母音打鍵の中で打ちにくい同手打鍵をもっとも多く含んでいる。ku、ju、hu、mu がそれである。この遅い同手打鍵とそれよりは速い交互打鍵とで2山のグラフとなっている。なお、被験者 YO の yu 打鍵、被験者 KM の hu 打鍵は打鍵しにくいという印がついているにもかかわらず、高速に打鍵できている。指使いを変更しているものと想像できる。

e 打鍵 be と de が打ちにくい打鍵となっており、上の議論と同様に2山となる。

o 打鍵 a 打鍵と同様に打ちやすい打鍵パターンのみからなる。なお、被験者 KI の no と ko 打鍵は少し打ちにくい打鍵であるが、打鍵時間は非常に短くなっている。これはいわゆるピアノでアルペジオを弾くように指が高速に動いていることをあらわしている(アルペジオ効果)。

表1: 各打鍵の打鍵頻度と平均打鍵時間

KI			KM			NI			YO						
a:	4691	10.95	4.69	u:	1957	12.16	4.95	o:	7021	10.60	3.44	o:	2402	9.78	2.81
o:	4487	9.49	3.68	a:	1608	9.86	4.08	u:	6471	11.86	3.55	u:	2271	12.70	5.42
u:	3881	11.46	4.19	i:	1485	12.12	5.60	a:	6396	12.01	4.58	a:	1972	10.96	5.17
i:	3613	11.87	5.50	o:	1477	13.81	4.43	i:	6055	12.81	4.72	i:	1904	14.16	5.99
e:	2731	12.90	6.35	n:	1197	14.64	5.30	n:	4880	17.01	5.13	e:	1794	11.54	6.07
n:	2639	20.13	9.89	e:	1165	10.40	5.45	e:	3904	11.92	4.89	n:	1512	20.76	6.74
t:	2047	25.30	8.57	t:	874	14.92	5.31	k:	3171	18.07	5.20	r:	1484	22.97	8.16
k:	1926	22.65	6.98	r:	847	14.45	4.74	t:	3168	18.17	5.81	t:	1312	26.13	10.04
r:	1660	23.04	8.85	h:	645	11.90	5.94	s:	2877	18.00	6.47	s:	1279	22.20	10.52
s:	1175	29.91	10.71	s:	607	16.27	5.89	r:	2826	15.81	5.13	k:	871	22.73	7.12
h:	907	16.21	10.28	k:	584	18.60	5.98	h:	2480	12.78	8.01	y:	493	24.16	13.07
d:	658	29.78	10.86	m:	267	13.20	7.26	m:	1209	19.06	6.00	h:	477	13.56	8.80
m:	651	27.21	9.01	d:	189	17.63	7.75	g:	925	19.28	6.46	m:	423	20.52	8.06
g:	591	34.18	11.80	g:	163	23.63	8.57	d:	858	20.73	7.22	d:	289	24.77	10.40
y:	496	21.77	11.90	y:	142	24.29	7.29	y:	738	19.83	7.67	g:	250	26.73	9.10
w:	355	32.94	11.62	b:	87	22.20	6.49	b:	647	19.88	8.37	c:	220	24.86	7.81
b:	309	33.85	9.89	j:	76	26.29	10.66	w:	576	24.73	8.13	w:	203	28.06	9.16
j:	178	26.71	9.53	s:	68	20.68	8.03	j:	365	21.06	7.34	b:	138	27.58	10.22
c:	151	32.70	12.31	c:	58	17.66	5.92	s:	161	24.34	9.41	p:	107	23.48	8.27
s:	99	29.41	9.75	w:	52	21.08	7.80	c:	144	23.30	6.85	w:	80	37.56	16.43
p:	75	22.82	9.01	p:	35	18.46	12.71	p:	116	26.07	11.13	j:	68	28.94	11.03
f:	27	82.59	22.70	f:	11	22.64	15.21	f:	43	26.35	11.83	f:	52	31.12	10.90

それに対して被験者NIでは同じ打鍵がそう速くはない。被験者NIは速く打てる場所は速く打つということを経験者NIにのってどの打鍵も同等の速度で打つ習慣を持っているようにみえる。

打鍵をモデル化する立場を離れ、個人認証 [3] をする立場からみると、この個人差は有効である。

全体的にながめてみると、母音の打鍵時間はその直前の子音によって大きく左右される。おおむね、同手打鍵の高速なもの(アルベジオ打鍵)、交互打鍵、同手打鍵の打ちにくいものの順に打鍵時間が並んでいる。そこで、この3種類の打鍵についてグラフを描いてみた(図4)。これから以下のことが導かれる。

1. 交互打鍵はどれもほとんど同じ分布をしている。
2. アルベジオ打鍵と交互打鍵とでは人によってどちらが優位かが変わる。
3. 同手打鍵の方が交互打鍵より標準偏差が小さい。
4. 同手打鍵の打ちにくいものが一番遅い。

3.4 打鍵時間予測

各連ごとに、実際にかかった時間と平均打鍵時間を使って計算した時間を比較し、その誤差の最小自乗近似を求めた。計算は、直前の打鍵を規定しない場合(A)と規定する場合(B)の2通りをおこなった。結果を以下に示す。

被験者	打鍵時間総和 (10ミリ秒)	(A)	(B)
KI	559400.00	0.2912	0.1852
KM	183880.00	0.2239	0.1698
NI	797566.00	0.2056	0.1597
YO	334580.00	0.2726	0.2001

各打鍵の平均時間を独立に使った場合は20数パーセントの誤差であったが、条件つきにすると10数パーセントに向上した。しかし、このような静的な方法ではこれ以上向上は望めない。連の位置による修正などの方策が必要となろう。

4 まとめ

まだ分析の途中であり、満足のいく結果とはなっていないが、いくつかの知見を述べることにする。

交互打鍵では同じ指で打鍵することは絶対に起こらないから極端な打鍵時間の低下はない。そのかわりアルベジオ効果による高速化は期待できない。また、分散は同手に比べて大きい。つまり、いつも同じタイミングで打てるとは限らない。誤打鍵との関係については今後の課題である。

同手打鍵は遅いといわれているが、指の運動特性

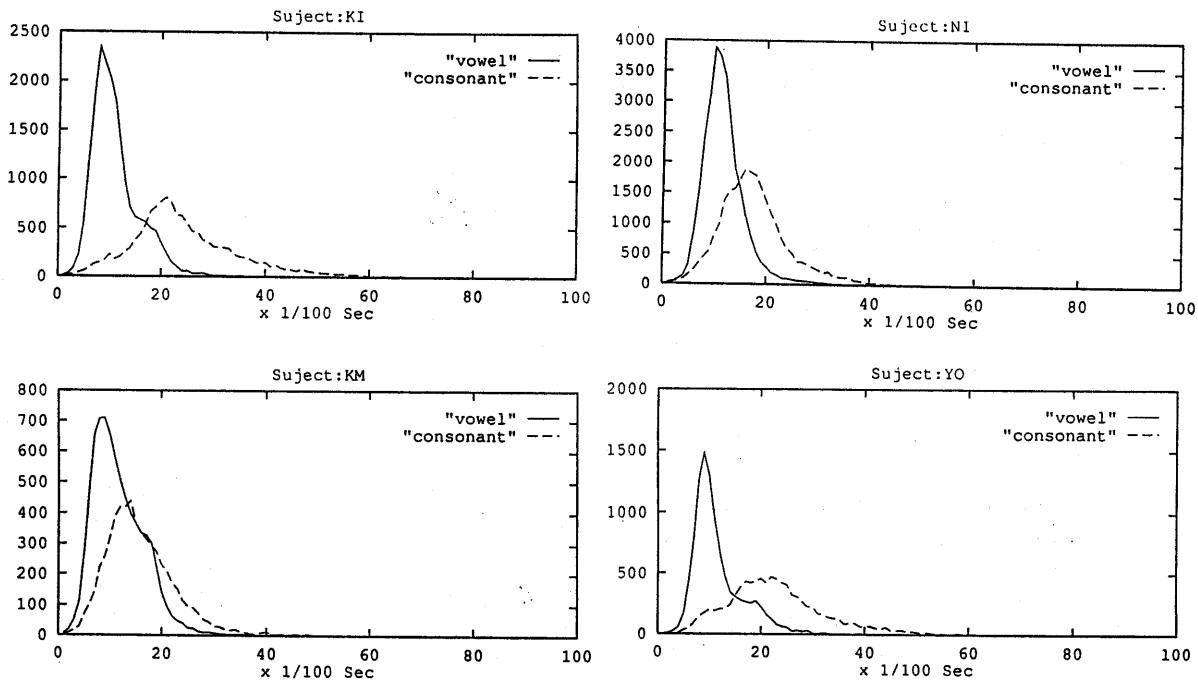


図1: 母音打鍵と子音打鍵の打鍵時間ヒストグラム

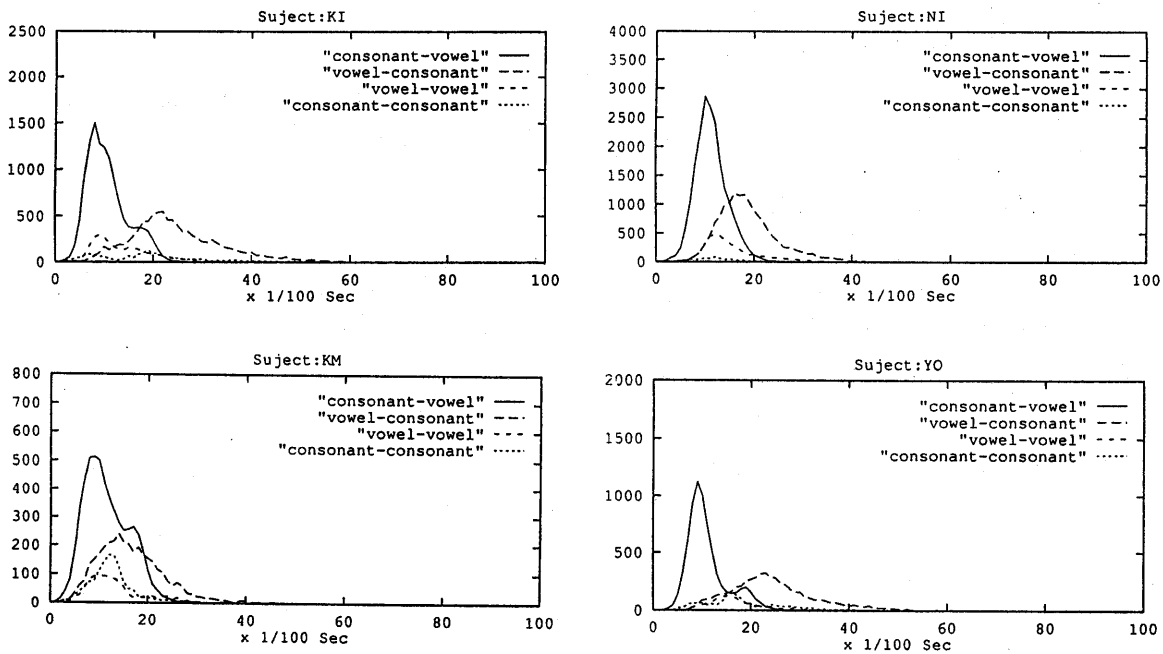


図2: 母音、子音の組合せ打鍵に対する打鍵時間 ヒストグラム

によく合った動きであれば、交互打鍵よりも高速に打鍵できることがわかった。アルベジオ打鍵を利用したキーボードを設計して評価すべきであろう。慣れるとアルベジオ化するかどうかについても検証の予定である。

打ちにくい打鍵組を極力なくすることが大切である。特にQWERTY配列では、u打鍵がh、j、k、mに続く時打ちにくい。そもそも運動特性悪い打鍵列に当たるキーに母音を割り当ててあるのがローマ字打ちの立場からみるといけないのではないだろうか。

打鍵時間に影響を与える要因は、ローマ字打鍵であるかどうか（かなを変換した単位にあたるかどうか）、出現頻度（その打鍵列をどのくらい頻繁に打鍵しているか）、および、指の運動特性とキー配列との関係が考えられる。これらの要因を総合した打鍵モデルを構築することが今後の課題である。

万人にとって高速に打てる配列を設計しようとすると、利用者の一般的特徴を抽出できればよいわけであるが、一般的にこうであるという部分と個人に特別な部分とがある。個人的な部分を抽出すれば、認証システムへと応用ができるであろう。

参考文献

- [1] 森川 治, 木村 泉, 柏川 正充: パソコン用打鍵データ収集システム, 情報処理学会論文誌, Vol.31, No.12, pp.1822-1831
- [2] 木村 泉, 柏川 正充: ワープロ利用者の思考時間に関する統計的モデルの精密化, 情報処理学会研究報告(文書処理とヒューマンインターフェース研究会), 87-DPHI-14, 14-4
- [3] 森 裕子, 小松 賢嗣, 赤池 英夫, 柏川 正充, 角田 博保: 打鍵データに基づく個人認証システムの作成と評価, 情報処理学会研究報告(ヒューマンインターフェース研究会), 91-III-34, 34-6
- [4] Card, S.K., Moran, T.P., and Newell, A.: The Psychology of Human-Computer Interaction., Lawrence Erlbaum Associates, Inc. (1983)

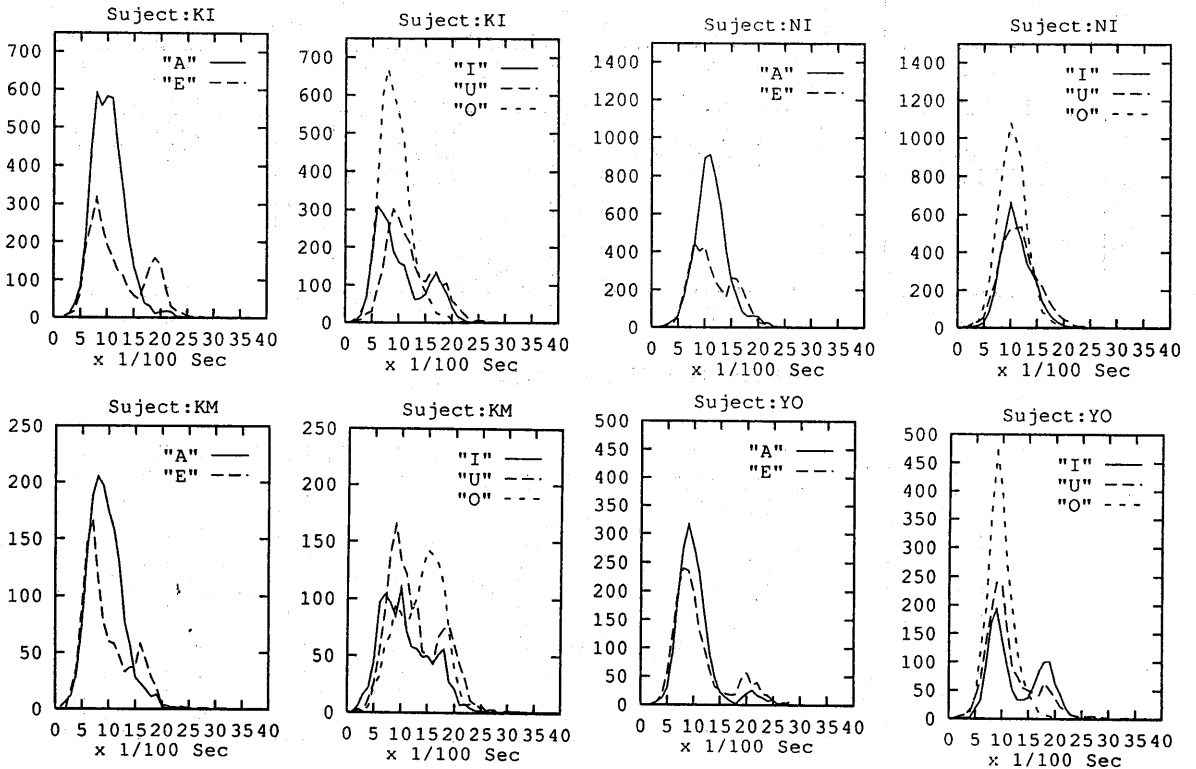


図3: 各母音ごとの打鍵時間ヒストグラム

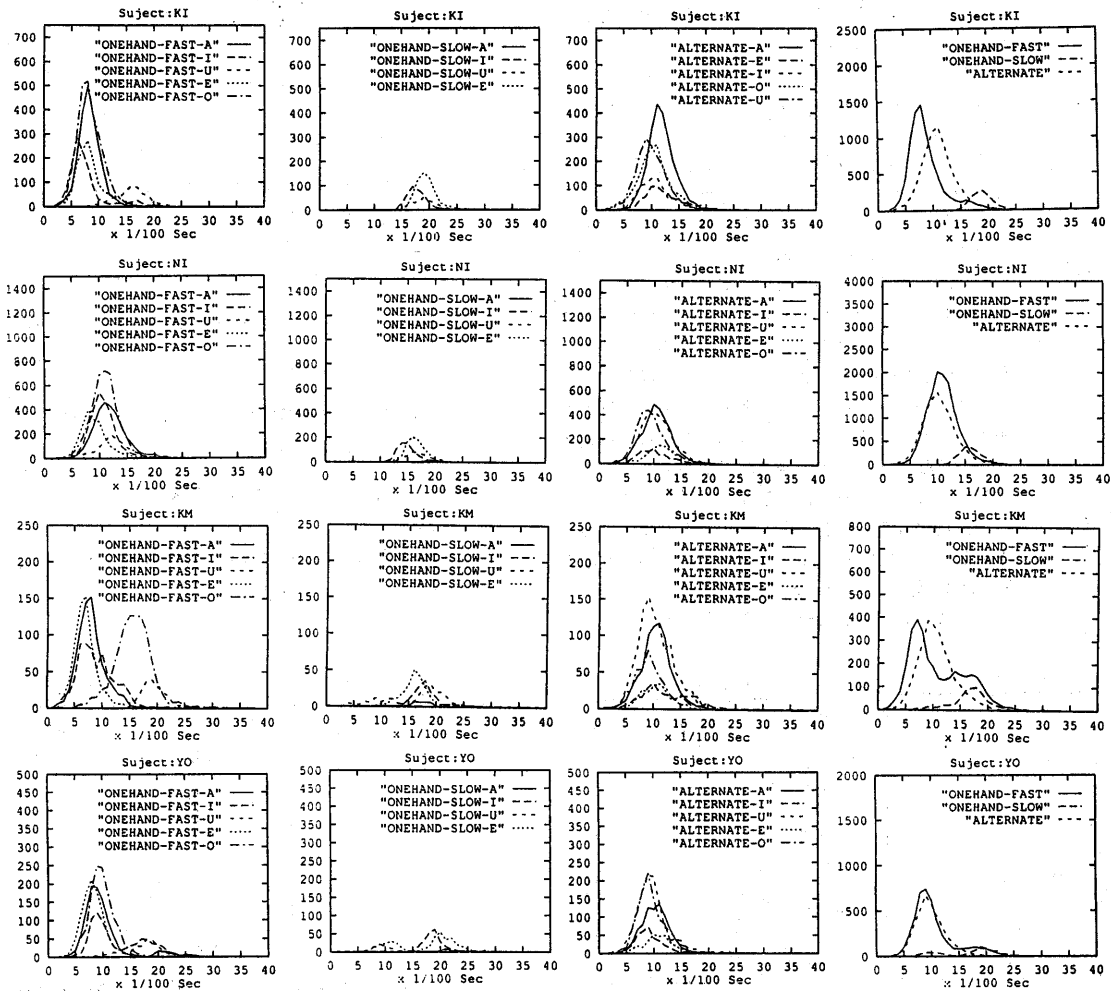


図4: 交互打鍵、同手打鍵の打鍵時間ヒストグラム

ka: 582 7.873 1.758 04tlx	ll: 299 5.993 1.409 12up	fu: 756 9.003 2.552	rc: 488 7.164 1.637 12	no: 801 7.459 1.648 03u2
sa: 323 7.985 2.275 34	hl: 261 6.080 1.461 02up	tu: 396 9.780 2.593	te: 607 8.213 1.901 02	ho: 250 7.728 1.928 03up
ra: 249 8.004 1.667 14lx	nl: 503 7.211 1.690 02u2	lu: 121 10.463 2.924	me: 137 10.482 2.685	ko: 511 8.317 2.438 23up
ga: 409 8.271 1.568 04	tl: 31 9.742 3.454	fu: 81 11.333 3.045	he: 73 11.822 3.220	mo: 435 8.529 2.308 13u2
da: 279 8.548 1.848 24	rl: 211 9.951 3.120	su: 358 11.447 2.757	ge: 51 11.863 3.600 02up	ro: 100 8.900 2.773
na: 302 10.901 2.944	sl: 528 11.131 3.015	zu: 65 15.682 3.739	ke: 375 12.075 2.820	so: 347 9.343 2.915
ba: 140 10.957 3.955 04up	bl: 18 11.444 3.714	ku: 499 16.158 3.142 21up	se: 134 13.022 2.312 32up	yo: 570 9.756 2.080 03
ha: 545 11.470 1.981	gl: 64 12.156 3.035	ju: 55 18.382 1.967 11upx	de: 480 18.917 1.659 22upx	do: 133 9.865 3.937
ka: 520 11.696 2.293	ml: 138 15.275 3.834 12u2	yu: 63 18.651 2.983 01x	be: 111 21.450 2.821 02u2x	to: 765 11.013 3.950
na: 855 12.525 2.698	kl: 377 17.634 1.617 22upx	mu: 62 20.887 1.900 11u2x	ze: 45 21.733 3.056 42u2x	wo: 256 11.555 2.322
wa: 364 9.495 2.765	rl: 654 9.830 2.971	ru: 206 9.107 2.795 41	re: 558 8.318 2.255 12	wo: 509 8.680 2.312
ka: 1107 10.153 2.855	ll: 299 9.863 2.296 12up	ru: 1147 9.932 2.977	ge: 173 9.145 2.427 02up	so: 327 9.183 2.579
na: 691 10.573 2.978	ml: 278 10.212 2.445 12u2	bu: 282 10.475 2.681	te: 856 9.312 2.330 02	to: 913 9.330 2.461
wa: 247 10.781 3.174 34du	hl: 1288 10.282 2.163 02up	su: 1379 10.936 3.181	se: 390 9.722 2.958 32up	wo: 432 10.074 2.753 13u2
ga: 659 11.111 2.361	tl: 63 10.952 2.808	gu: 117 11.846 2.905	me: 78 9.782 2.442	ho: 549 10.277 2.250 03up
ra: 535 11.290 2.359 04	sl: 11 11.909 6.610	yu: 105 15.086 3.699 01x	he: 137 10.796 3.532	ro: 272 10.320 2.530
ba: 227 11.636 3.095 04up	nl: 825 11.393 2.534 02u2	ku: 915 14.148 2.715 21upx	me: 477 11.723 3.028	do: 366 10.363 2.905
ha: 922 11.857 2.926 04du	gl: 38 12.184 3.486	ju: 104 16.337 2.464 11upx	ke: 211 12.806 3.116	ko: 1074 10.778 2.939 23up
ka: 426 12.130 2.972 14du	kl: 639 14.923 1.974 22upx	hu: 100 17.640 2.316 01upx	be: 155 16.516 2.610 02u2x	no: 1287 11.190 2.777 03u2
sa: 336 12.839 3.280 34	cl: 8 22.250 5.203	mu: 130 19.269 3.097 11u2x	de: 682 16.575 1.840 22upx	yo: 716 11.927 2.248 03

表2: 子音 - 母音打鍵の打鍵時間と指使い