

左右対称形キーボードの操作性評価

白鳥嘉勇

NTT 電気通信研究所

人間の手指形状にあわせて、文字キーを左右対称に配置したキーボードの操作性を評価した。試作したキーボードは、現用キーボード(A)と3種の左右対称形キーボード(B, C, D)である。Bキーボードは、現用キーボードを改良したもの、Cキーボードは、M式キーボード(NEC)と類似したもの、Dキーボードは、キー列方向が放射状のものである。本報告は、文章入力時の高速打けん域(300ストロク/分以上)におけるキーボードの形状の効果を明らかにするため、英文タイピストについて3種の実験を行ない、次の点を明らかにした。左右対称形キーボードの推定到達速度は、いずれも約600ストロク/分とほぼ等しい。中でもBキーボードの入力速度は、練習約30時間後に500ストロク/分に達し、現用キーボードにおける入力速度(約350ストロク/分)を約4割上回っている。キーボード形状としては、その習熟特性からBキーボード形状が有利であるとみられる。

Evaluation of symmetrical keyboard operation

Yoshio SHIRATORI

NTT Electrical Communication Laboratories
1-2356 Take Yokosuka-shi 238-03 Japan

Abstract

Evaluation was performed on three symmetrical keyboards (B,C,D) compared with actual keyboard(A). B keyboard has same shape of A keyboard's right side. C keyboard resembles M type keyboard (NEC Corp.). D keyboard has radiate key rows like finger's shape.

Three different examinations were performed by inputting English documents. As the results, it was confirmed that, as follows.

Each symmetrical keyboard's input velocity limit was same about 600 strokes per minutes. In these keyboards, B keyboard's input velocity reaches to 500 strokes per minutes after 30 training hours, where 350 strokes per minutes in A keyboard. From the training curve characteristics, B keyboard shape is desired for suitable keyboard.

1. はじめに

情報化社会の発展に伴い、キーボードは、情報の基本的な入力手段として、益々重要になっている⁽¹⁾。しかしながら、現用キーボードの操作については頸肩腕疲労が発生するとの報告⁽²⁾⁻⁽⁵⁾もあり、人間工学的見地に基づいた改良が望まれている。このような状況において、キーボードを左右の手に合わせて2分割し、左右対称形としたキーボードが望ましいとして種々の検討⁽⁶⁾⁻⁽¹¹⁾がなされている。しかし、キーボード形状を変えたことによって入力速度等にどのような影響を与えるかについての定量的評価はまだ十分ではない。そこで、先に図1に示す3種の左右対称形キーボードと現用キーボードを試作し、LED点灯によるモグラたたきゲームに類似した打けん反応実験結果を報告⁽¹²⁾した。この結果、打けん速度レベルが80ストローク/分程度においては、左右対称形キーボードがいずれも現用キーボードより5~7%早く形状の効果があることを明らかにした。しかしながら、高速打けん時の性能は、明確ではない。

本報告は、高速打けん時におけるキーボード形状の影響を明確にするため実験I(同一被験者が図1の4種キーボードを実験した場合の操作性比較)、実験II(同一被験者が左右対称形キーボードを長期操作した場合の習熟特性)、および実験III(実験IIにおける被験者の筋電位積分値の測定)について述べたものである。

2. 実験I(英短文繰返し入力)

2.1 実験方法

2.1.1 実験キーボード

図1は、試作した4種のキーボード形状を示す。各キーボードの特徴は、次の通りである。

Aキーボード：現用JISキーボードと同一の仕様のもの(キーピッチ：19mm、各キー段の横方向偏位：1/2-1/4-1/2ピッチ)。

Bキーボード：左手の尺側偏位を減少するため、左手側のキー配置を右手のキー配置と対称に配置したもの。

Cキーボード：M式キーボード(日本電気KK)と同じ形状のもの。

Dキーボード：各指のキー列を放射状に配置したもの。

なお、各キーボードのキースイッチは操作性に差異が生じないように同一種とする(キートップ：12 X 12 mm)。

2.1.2 実験装置

図2は、実験装置を示す。実験キーボードのキー押下信号をキー打けん評価装置で検

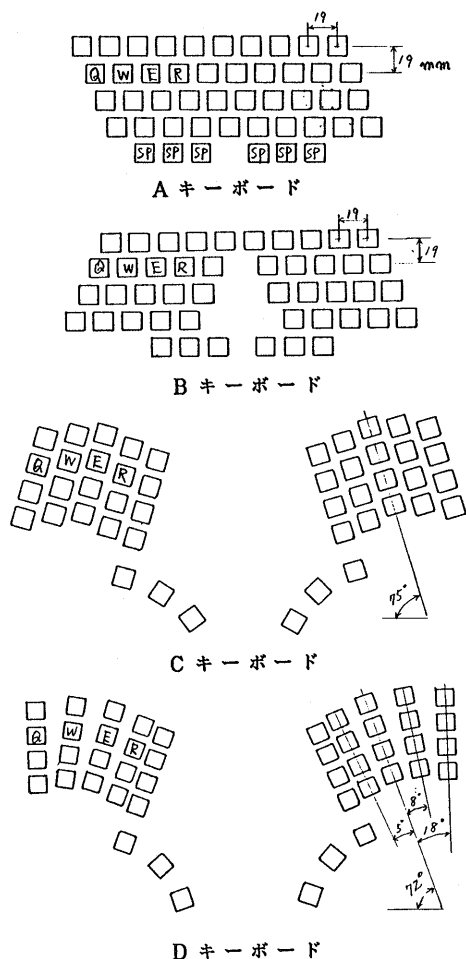


図1 実験キーボードの形状

出し、前回押下した時から今回押下するまでのキーストローク時間間隔データ（分解能1 msec）と、キーコードをパーソナルコンピュータ（日電製PC9801）に送信する。パーソナルコンピュータは、各キーコードに対応する英文字をCRTディスプレイに表示する。各回の実験終了ごとに、キー入力速度および、エラー率をディスプレイに表示する。

2. 1. 3 被験者

被験者は、英文タイピストの女性8名（打けん能力：240～320ストローク/分）である。

2. 1. 4 実験手順

- ① 被験者は、1種のキーボードを1日（約4時間）ずつ実験し、4種キーボードについて計4日間行なう。第1日目にAキーボード以外のキーボードを実験し、第4日目にAキーボードを実験する。
- ② 入力原稿は、英文タイプ練習用テキスト（約80word）である。
- ③ 被験者は、同一テキストを同一キーボードについて入力速度がほぼ飽和するまで（約50回）繰り返し入力する。

④ 入力操作中は、大文字・小文字のシフト操作、および改行操作を行なわない。また、エラーは修正しない。

2. 2 実験結果

2. 2. 1 習熟特性

図3は、入力速度の習熟特性の1例を示す。入力速度は、キー入力時間間隔が5秒以上の場合（出現率：全ストロークの約0.3%）を除外して求めた。同図より、習熟特性は両対数グラフ上で直線となるから、入力速度（V）と実験回数（X）の間には、次式の関係がある。

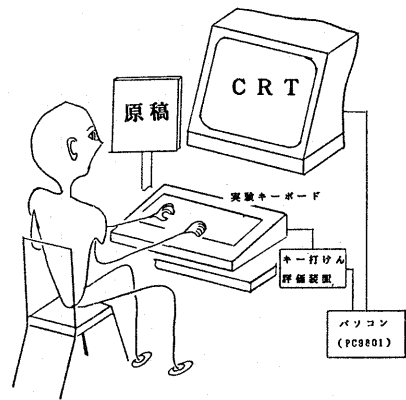


図2 実験装置

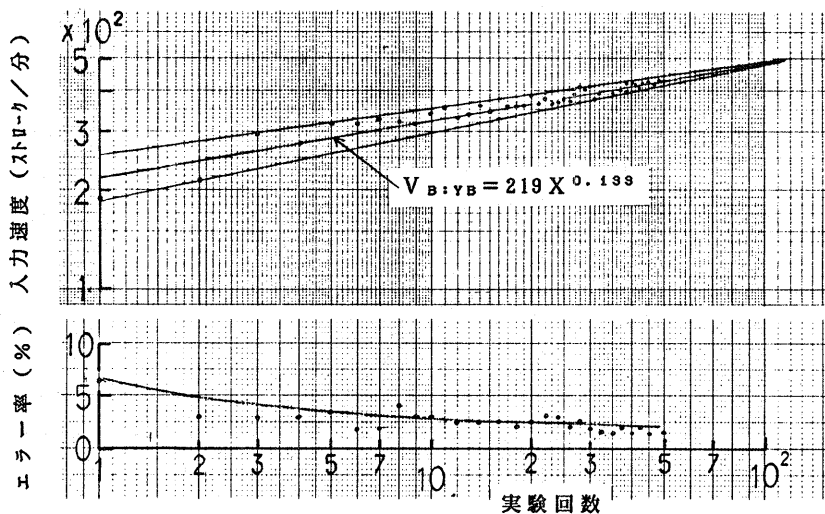


図3 習熟特性の1例 (OPE:YB)

$$V = a X^b \quad (1)$$

(a : 初期値, b : 習熟係数)

中山ら⁽¹³⁾は、タイピング動作における習熟特性の分析について有効な方法を提案している。この主な点は、各実験点を包絡する上限と下限の2値線から上記定数a, bを求めるとともに、作業達成度(Q)および上限値と下限値の変動比(δ)で動的な評価をすることにある。本実験においても、この手法を用いた。同図中に、操作特性値を示す。 $Q_x = V_x / V_\infty$, $\delta_x = a_{Hx} / a_{Lx}$ 。

図4は、被験者9名の4種キーボードにおける習熟特性の平均値を示す。

- ① 入力速度の初期値は、Aキーボードが236ストローク/分と最も高く、Dキーボードが139ストローク/分と最も低い。
- ② 各キーボードの最終到達速度の推定値(Q=1)は、Aキーボードが479ストローク/分と最も高く、次いでD, B, Cキーボードの順(同:460,385,367ストローク/分)である。
- ③ 習熟係数は、①とは逆に、Dキーボードが最も高く、Aキーボードが最も低い。
- ④ 第1回目の実験における作業達成度Q、および変動比 δ は、A, B, およびCキーボードでは、変化が少ない(各0.50, 1.38)。

これに対し、Dキーボードでは $Q=0.45$, $\delta=1.50$ と、初期の作業達成度が低く、変動比も大きい。しかし、実験約50回後は、

各キーボードとも $Q=0.71\sim 0.77$, $\delta=1.07$ と同程度になる。

2. 2. 2 エラー率

エラー率の1例を図3中に示す。実験初期の変動は大きいのが漸次減少する。被験者9名の平均エラー率は、A, B, CおよびDキーボードの場合、各々1.4, 2.8, 3.4, および3.1%である。左右対称形キーボードのエラー率には、大きな差はない。

2. 3 まとめ

実験期間が各キーボード1日(約4時間)と短いため、Aキーボードの習熟特性が、左右対称形キーボードに比べて高く、各被験者の長年にわたる操作経験がまだ強く残っている。B, C, Dキーボードについて、以下のことがわかった。

- ① Bキーボードは、形状がAキーボードに類似しているためか、入力速度の初期値が高く、その最終到達速度の推定値も高い。
- ② Dキーボードは、入力速度の初期値は低い、その習熟係数および最終到達速度の推定値は、最も高い。
- ③ Cキーボードは、入力速度の初期値、習熟係数、および最終到達速度の推定値等が低い。

これより、初期入力速度および習熟係数に特長のあるBおよびDキーボードが有望とみられ、さらに検討することとした。

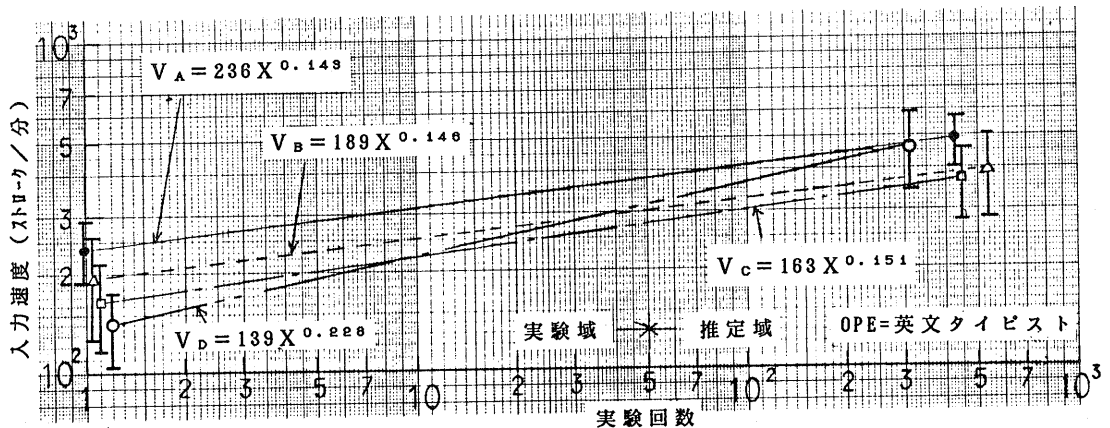


図4 4種キーボードにおける被験者9名の平均習熟特性

3. 実験Ⅱ（BおよびDキーボードにおける長期英文入力実験）

3. 1 実験方法

3. 1. 1 実験キーボード

図5は、BおよびDキーボードの2次試作機の形状を示す。第1次試作機と異なる点は、以下の通りである。

- ① Bキーボードの左右文字キー群の空間をカーソルキー領域とするため、両キー群間（GとHの距離）を約65mmに広げたこと（Dキーボードは67mmで同じ）。
- ② キートップの上面を凹面状にした方が指先が安定するため、大きなキートップ（14×14mm）を用いたこと。
- ③ Dキーボードのキー列方向のピッチを、キートップを大きくしたことに伴い17mmから19mmに広げたこと。

3. 1. 2 実験装置

実験装置は、実験Ⅰの場合と同じである。

3. 1. 3 被験者

被験者は、英文タイピストの女性4名である。各被験者とも、240～320ストローク/分の打けん能力を有し、キーボードの操作経験が7～20年の熟練者である。

3. 1. 4 実験手順

- ① 各被験者について、10日間の実験を行なう。1日の操作時間は約4時間である
- ② 第1日目の前半は、実験環境に慣れること、および現用キーボードの打けん能力測定のための「予備実験」を行なう（約15回）。第1日目の後半から第9日目までは、BあるいはDキーボードを実験する（約120回）。各キーボードについて被験者を2名とする。第10日目は、もとの操作環境に慣れるために現用キーボードを用いて「慣らし実験」を行なう（約15回）。
- ③ 各実験は、英文の入力原稿を文字シフトおよび改行操作をしないで、入力する。

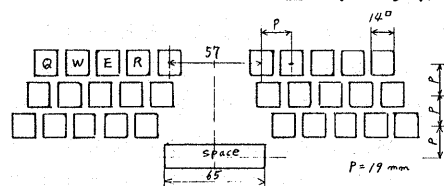
④ 入力原稿は、日本商工会議所（S61版）の英文タイプ練習テキスト（1テキスト：約360word）を用いる。1回の実験は、1テキストを入力する。

3. 2 実験結果ならびに考察

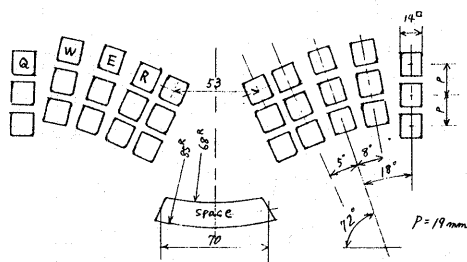
3. 2. 1 習熟特性

図6は、BおよびDキーボードにおける習熟特性を示す。この習熟特性の分析方法は前章で述べた場合と同様である。なお、予備実験の結果、被験者4名の現用キーボード（Aキーボード）の操作レベルは、350±30ストローク/分であり、ほぼ均等な技能を有している。

- ① Bキーボードの2名の被験者の操作技能は、実験10～15回後にAキーボードと同レベルに達する。一方、Dキーボードの場合は、実験30～50回後であり、習熟のし易さが、やや劣っている。これは、Dキーボードのキー配置が放射状であるため、注意深く打けんしていることによる。実験終了時における各被験者の平均到達速度は、Bキーボードが515ストローク/分、Dキーボードが465ストローク/分に達した（Bキーボードが50ストローク/分早い）。これらの値は、いずれ



B キーボード



D キーボード

図5 2次試作機の形状

もAキーボードの打けんレベル（約350ストローク/分）を超えており、左右対称形のキーボード形状が操作性の改善に寄与していることがわかる。

② 各被験者の習熟特性から得られる各キーボードの最終到達速度の平均推定値は、Bキーボードが593ストローク/分、Dキーボードが595ストローク/分であり、速度の差はない。

③ 実験第1回目における作業達成速度Qは、Bキーボードが0.45であるのに対し、Dキーボードは0.41とやや低い。また、変動比δは、Bキーボードが1.4であるのに対し、Dキーボードは、1.6と変動が大きい。これより、Dキーボードの初期の習熟は、やや困難であるとみられる。約200回後における作業達成度および変動比は、いずれもほぼ同程度の値に達する（ $Q=0.76$, $\delta=1.07$ ）。

3. 2. 2 エラー率

BおよびDキーボードの各被験者の実験終期における平均エラー率は、各々1.5%, 2.0%である。これら値は、入力時の修正作業を不可としているためやや高いが各々収束する傾向がある。

図7は、エラー発生状況のワイブル分布の1例を示す。同図は、前回のエラー発生時から今回のエラー発生時までの入力文字間隔別に、その出現頻度を取り、横軸をエラー発生文字間隔、縦軸を累積エラー比率として示したものである。各被験者のエラ

一特性は、約15字以下で起こる初歩的なエラーからなる初期段階と、15~200字で起こる偶発的なエラーからなる中期段階、および200字以上で起こる操作疲労からなる後期段階に分けられる。

表1は、BおよびDキーボード操作者の各1名について、各段階別にエラーを集計し、そのエラー原因を分類したものである。これより、以下のことがわかる。

① 初期エラーの原因のうち、スペースキーの不要および不足に関するものがBキーボードでは、約33%, Dキーボードでは、約58%と高い。したがって、その形状および配置は再検討する必要がある。

② 初期の置換に関するエラーは、Bキーボードが約33%であるのに対し、Dキーボードでは、約10%と少ない。これは、Bキーボード形状が、現用キーボードと比較的類似しているのに対して、Dキーボードの場合は、形状が大きく異なるため、被験者が注意して操作するためと考えられる。なお、中期段階では、各エラーはほぼ同じ割合で減少している。

図8は、初期置換エラーについて、Bキーボードの場合を示したものである。同図より、下段の“V”を“B”に、“C”を“V”と1キー右側にずれて打つ場合が、各々70、25回あり、現用キーボード操作の影響がみられる。上段の“E”を“W”と誤る場合も同様である。また、GをFと誤

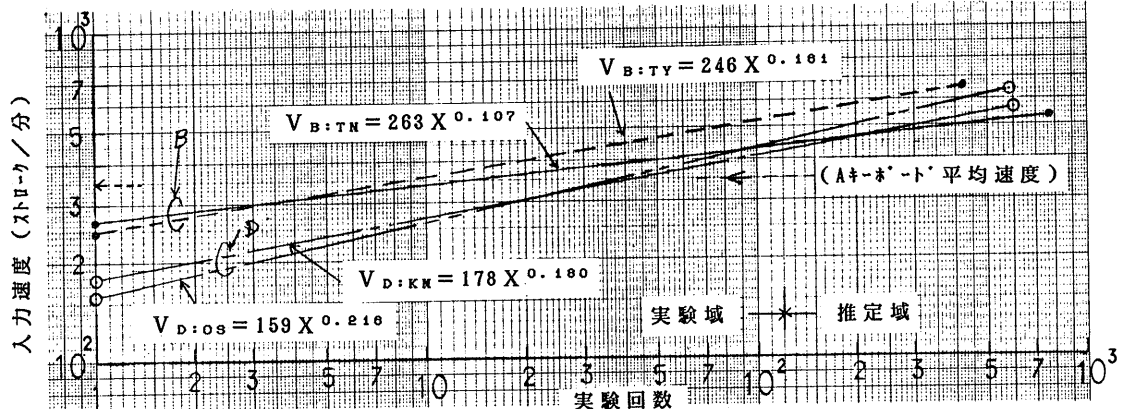


図6 B, Dキーボードにおける被験者各2名の習熟特性

る場合が15回ある。これは、下段のBキーを打けん後に続いてGを打つ際、指を戻す方向が現用キーボードの場合と逆になっているためと考えられる。

3.3 まとめ

左右対称形キーボードの長期実験の結果、以下のことがわかった。

- ① BおよびDキーボードとも、被験者は、すぐにキーボードに慣れる。Bキーボードの方が作業達成度、変動比等の点から慣れ易い。
- ② 入力速度は、現用のキーボードに比べ約3~5割高い450~500ストローク/分が達成された(Bキーボードが50ストローク/分ほど高い)。また、最大到達推定入力速度は、いずれも約600ストローク/分と高い。
- ③ エラーの原因は、スペースキーによるものが多く、その形状および位置に問題が

ある。その他のエラーは、現用キーボードの操作に伴うものであり、徐々に減少している。

以上の点から、左右対称形のキーボードの操作性には、特に大きな差がないとみられる。従って、Bキーボードの形状は、現用キーボードに類似したものであり、有効と考えられる。

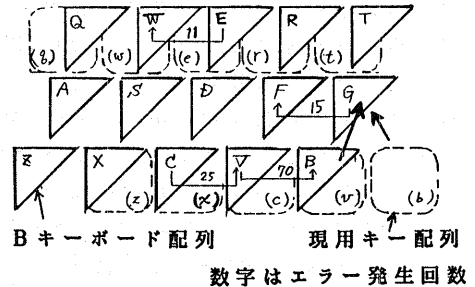


図8 左手側キー配置の比較(エラーの分析)

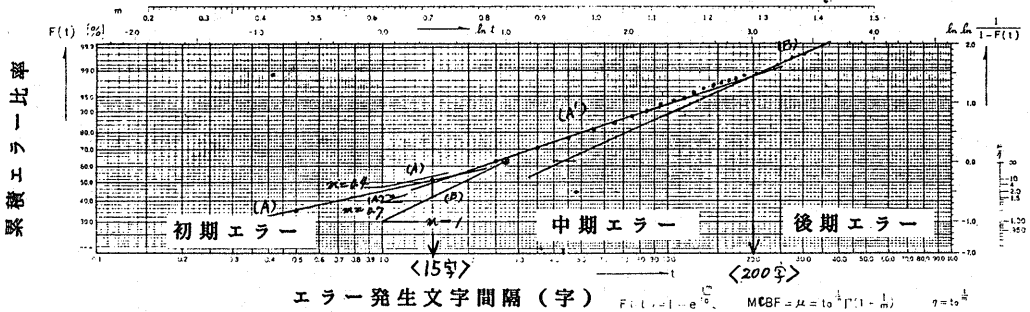


図7 エラー発生状況例(ワイブル分布)

表1 エラー発生原因の分析

エラー発生 文字間隔	OPE:TN, Bキーボード操作				OPE:OS, Dキーボード操作			
	置換	不足	不要	合計	置換	不足	不要	合計
初期段階 (5~10字)	183	113 (66)	267 (122)	563字	72	423 (368)	195 (31)	690字
	33	20	47	100%	11	61	28	100%
中期段階 (100~150字)	103	72 (40)	130 (43)	305	33	107 (86)	85 (14)	225
	34	24	42	100	15	47	38	100
後期段階 (290~)	22	0	16 (3)	38	1	2 (1)	8 (2)	11
	58	0	48	100	9	19	72	100

() 内は、スペースキーのエラー数を示す。

4. 実験Ⅲ (BおよびDキーボード操作時における筋電位の測定)

本実験は実験Ⅱの約2ヶ月後に行なった。

4.1 実験方法

4.1.1 実験手順

- ① 実験キーボード、入力原稿、および被験者は、実験Ⅱの場合と同じである。
- ② 各被験者について2日間の実験を実験Ⅱの場合と同様に行なう。1日の作業時間は、約5時間である。
- ③ 第1日目の前半は、現用キーボードを用いて「予備実験」を行なう(約15回)。第1日目後半から第2日目前半までは、BあるいはDキーボードを実験する(約30回)。各被験者は、実験Ⅱの場合と同じキーボードを操作する。第2日目後半は、現用キーボードを用い、「慣らし実験」を行なう(約15回)。第1回目の筋電位測定実験は、第1日目後半始めに、Aキーボードに引き続いてBあるいはDキーボードの実験を行なう。第2回目の筋電位測定実験は、第2日目後半始めに、BあるいはDキーボードに引き続いてAキーボードの実験を行なう。

なお、各測定において被験者に装着した電極位置は、実験条件を同一するため動かさない。

4.1.2 筋電位測定

筋電位送信機(三栄株製 model 1418)を被験者に装着し、両手の深指屈筋における筋電位信号を受信機で受け、原波形および積分ユニットの出力結果を記録計に出力す

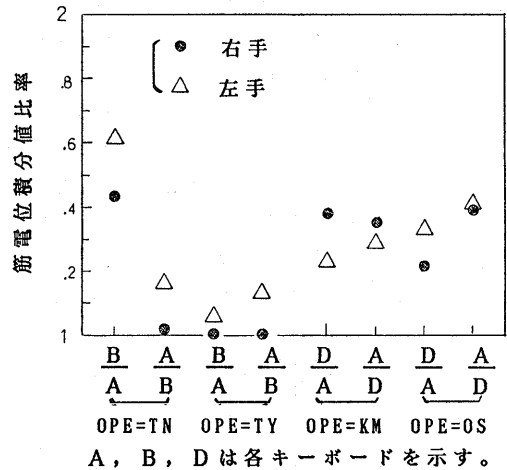


図9 左右手における筋電位積分値比率

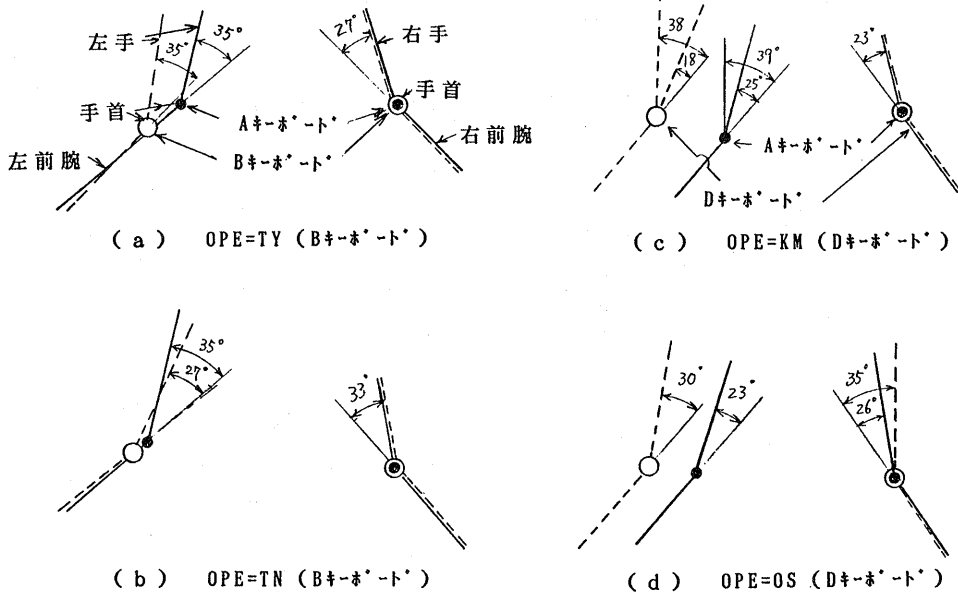


図10 打けん操作時における手首の状況

る。筋電位積分値（負側反転後積分0.5 V・sec/div）は、波数を計数して得る。

4. 2 実験結果

予備実験時における現用キーボードの入力速度は、350ストローク/分であり、実験Ⅱの場合とほぼ同様であった。筋電位測定実験時における各被験者の入力速度は、450～500ストローク/分に達し、実験Ⅱの場合の最終到達速度と同程度になった。

図9は、左右手における筋電位積分値の相対値を示す。同図から、実験に用いるキーボードが異なると、筋電位積分値比率が約1.4倍上昇する傾向がみられる。しかし、左右対称形キーボードの操作性が現用キーボードに比べて特に有効であることは明らかでなかった。

図10は、各被験者の打けん操作時における左右手首の方向を示したものである。これより、キーボードが、左右対称形キーボードに変わった場合でも、現用キーボードとほぼ同じ姿勢で打けんしており、現用キーボード操作の影響が強く残っている。被験者のアンケートにおいても、腕が張る（Bキーボード）、指を広げた状態だと手甲が痛くなる（Dキーボード）等の訴えがある。

4. 3 まとめ

筋電位積分値は、習熟したキーボードから新しいキーボードに変わる場合でも、約4割増加する程度とその変化は少ない。本実験では、被験者を現用キーボードに習熟した英文タイピストにしたため、左右対称形キーボードの操作性に及ぼす効果は明確ではない。この点については、初心者を対象としてキーボードに適したタイピング姿勢を習得した被験者について、さらに検討する必要がある。

5. まとめ

左右対称形キーボードについて、同一種のキーを用いて3種のキーボードを試作し、現用キーボードとの操作性比較を行なった。この結果、以下の点を明らかにした。

(1) 左右対称形のキーボードの操作は、比較的容易に習得できる。入力速度は、約30時間後に450～500ストローク/分に達し、現用キーボードの速度（350ストローク/分）を約4割ほど上回る。エラーは、習熟によって減少し、操作上特に問題とまらない。しかし、初期エラーの多くは、スペースキーによるものであることから、その形状および配置については、さらに検討する必要がある。

(2) 左右対称形キーボードのうちでは、B形キーボードが入力速度の初期値が高く、かつ慣れ易いことから、有望とみられる。

(3) 筋電位の操作性に及ぼす影響は、明確でない。この点については、今後各キーボードのみに習熟した被験者を対象として、さらに検討する必要がある。

終わりに、本研究に際し、有益な御助言を頂いた、当所、小森視覚情報研究部長、小橋主幹研究員ならびに筋電位測定法について、御助言頂いた関西医科大学中迫氏に深く感謝致します。

文 献

- 1) 山田尚勇：入力と編集一向上し続ける理想，情報処理学会シンポジウム「日本語文書と入力と編集」，PP.1-7(1985)
- 2) 中迫勝：キーボードの人間工学的設計人間工学，Vol.22,NO.2,PP.53-61(1986)
- 3) P.Zipp, E.Haider, N.Halpern, and W.Rohmert: Keyboard design through physiological strain measurements, Applied Ergonomics, Vol.14,NO.2,PP.117-122 (1983)
- 4) M.A.Life and S.T.Pheasant: An integrated approach to the study of posture in keyboard operation, Applied Ergonomics, Vol.15,NO.2,PP.83-90(1984)

- 5) 谷井克則：キーボード位置と頸肩腕負担，人間工学，Vol.21,NO.特別号，PP.158-159(1985)
- 6) S.W.Hobday: Keyboard designed to fit hands & reduce postural stress, 9th Congress of the IEA, PP.457(1985)
- 7) M.Nakaseko, W.Huenting, R.Gierer, and E.Grandjean: Ergonomic development of a new keyboard design, 8th Congress of the IEA, PP.176-177(1982)
- 8) 森田正典：日本文新入力方式（M方式）について（第2報），情報処理学会シンポジウム「日本語文書の入力と編集」，PP.25-35(1985).
- 9) 中島徳夫，横溝克己：手のひら形キー配列の人間工学的評価，人間工学，Vol.21, NO.特別号，PP.162-163(1985)
- 10) 小松原明哲，中島徳夫，横溝克己：学習過程からみた日本語ワードプロセッサの“とりつきやすさ”について，人間工学，Vol.23,NO.1,PP25-33(1987)
- 11) 坂村 健：日本人の手の大きさの測定とTRONキーボード，計測自動制御学会，第2回ヒューマン・インターフェース・シンポジウム，PP.99-104(1986)
- 12) 白鳥嘉勇：左右対称形および現用形キーボードの操作性に及ぼす各種要因の効果，情報処理学会第35回全国大会，PP.2561-2562(1987)
- 13) 中山俊一，坂井龍二：タイプ作業に関する動的評価，人間工学，Vol.15,NO.1, PP.49-55(1979)