

第3章 第二次試作キーボードの評価

第1節 評価方法

(1) 肢体不自由者とキーボード操作

試作した特殊キーボードは、キー押下に関連する各種の時間パラメータを変更できるという特徴と、形状そのものが数種類に設定されているという特徴を有している。この中で、キー押下に関連した時間パラメータ変更機能の有効性については、これを目的とした常駐型の各種プログラムが開発され、最近ではWindows95の中にも「ユーザ補助」というホルダーの中にキーの各種時間パラメータを変更できる機能が含まれていることから示すことができる。そこで、今回の評価では、標準キーボードとは異なる形状のキーボードによって操作性が改善されるかどうかを評価の目的とした。

一方、特殊キーボードを必要とする肢体不自由者は二つのグループに分けることができる。一方は、標準キーボードを何とか操作できるものの誤押下などの発生で的確な操作が行えず実用面で問題のあるグループである。これには、頸髄損傷者の一部や脳血管障害による片麻痺者が該当する。他方は、より重度な肢体不自由により、これまで標準キーボードの操作が困難であったグループである。これには、脳性マヒや進行性の神経筋疾患による肢体不自由者などが該当する。

(2) 評価

前者のグループに対しては、標準キーボードと特殊キーボードの両者を使用させて、比較実験を行った。具体的には、両キーボードにおけるキー押下時間とキー押下間隔時間（以下、時間データ）を計測し、このデータを基に両者の差異について客観的な評価を行った。

一方、後者のグループにおいては、標準キーボードの操作ができず比較対照のデータを得ることが不可能なため、適切な特殊キーボードがコンピュータの代替入力デバイスとして使用できるか否かという観点からの試用評価を行った。具体的には、それぞれの残存機能に応じて操作可能な形態と、それに応じた特殊キーボードを選定し、この条件下での操作可能性について主観的な評価を行った。

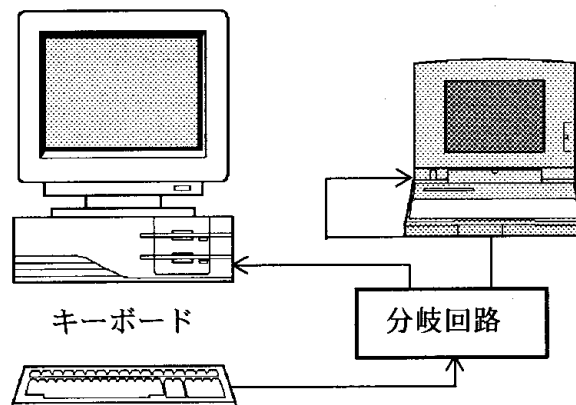
第2節 時間データの計測による評価

(1) 方法

一人の被験者に対して、2種類のキー操作を行わせ、それぞれにおいて時間データを計測した。最初のキー操作は、CRT画面にランダムに表示される文字列（単語）の入力である。これには、特殊キーボードに添付されているテスト・プログラムを使用した。内容は、4文字で構成される単語5個、5文字で構成される単語10個、6文字で構成される単語10個の計25個の単語をランダ

ムな順序でモニター画面に表示し、当該キー押下時の時間データを計測するものである。次のキー操作は、約80文字で構成される単文をCRTに表示しておき、それと同じ文字をキーボードから一文字ずつ入力する操作である。キーボード操作時における時間データを計測するプログラムとしては幾つか開発されているが、メモリに常駐するものが多く使用するアプリケーション・プログラムでの操作性が完全に保証されていない。この問題を回避するため、今回の評価実験では、計測用に専用のハードウェア（別のパソコン）を使用し、計測対象のコンピュータ・システムにおけるキーボードから本体への接続コードを並列分岐して時間データを計測する方式を用いた。これによって、時間データは計測用パソコンにおいて時系列データとして取得される。図3-1は計測システムの構成を示したもので、操作対象のパソコン（ターゲットパソコン）とは別に計測用のパソコンを使用した。ターゲットパソコンは、標準キーボードに替えて特殊キーボードを接続可能とするため、デスクトップ型を使用した。一方、計測用パソコンとしては、ターゲットパソコンから並列分岐したキー押下信号の取得が簡単に行えることを顧慮して、外部キーボード入力端子のあるノード型を使用した。

図3-1 計測システム



(2) 被験者

特殊キーボードの試用を希望した頸髄損傷あるいは脳血管障害による肢体不自由者16名に対し予備実験を行った。これは、時間データの計測結果にキー配列記憶の有無が影響を与えないようにするために、上記希望者に数種類の特殊キーボードを試験的に操作させた後に最適と判断される1機種を選び、テスト・プログラムと時間計測プログラムにより計測を行った。この結果から、標準キーボードよりも特殊キーボードの平均操作時間が下回っており、加えてキー配列を記憶している6名を本実験の被験者として選定した。表3-1に、予備実験の結果から選定した被験者と使用した特殊キーボードを示す。

表 3-1 比較実験の被験者

No.	性別	年齢	障 害 名	上 肢 機 能		特殊キーボード	
				利き手	操 作	No.	キーガード厚
1	男	21	頸髄損傷(C6)	右	右	1 S	2.0mm
2	男	19	頸髄損傷(C5)	右	右	M	3.0mm
3	男	27	頸髄損傷(C6)	左	左	M	5.0mm
4	男	40	脳梗塞	右	右	1 L	7.5mm
5	男	26	クモ膜下出血	右	右	2 L	6.0mm
6	男	65	脳梗塞	右	左	M	3.0mm

(3) 実験手順

評価実験は以下の手順で実施した。

[特殊キーボードによる実験]

- ①テスト・プログラム(キーガード有り)
- ②テスト・プログラム(キーガード無し)
- ③時間計測プログラム(キーガード有り)
- ④時間計測プログラム(キーガード無し)

[標準キーボードによる実験]

- ⑤時間計測プログラム(キーガード無し)

実験は、上記①から②を約90分程度で行い、これを1回として2週間に3回計測した。図3-2に比較実験の様態を示す。

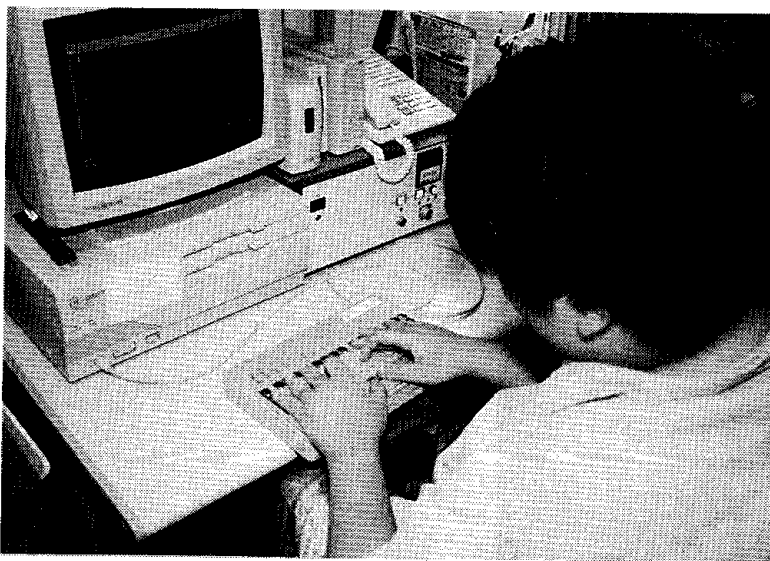
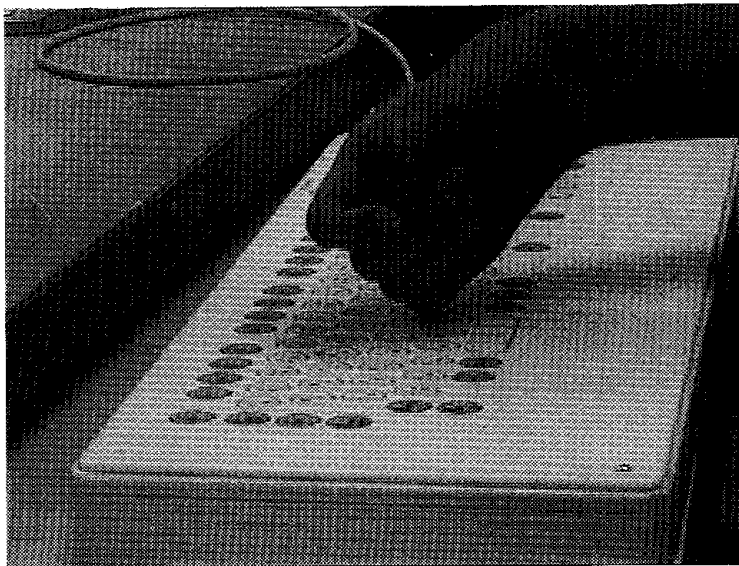
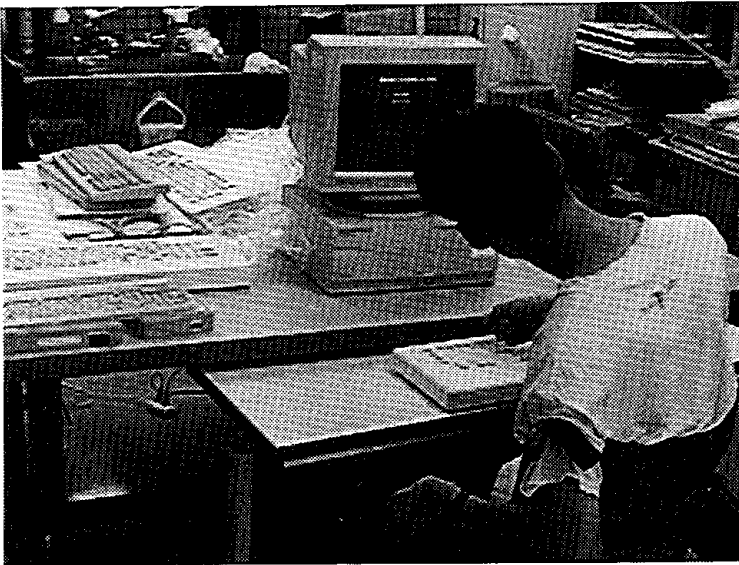
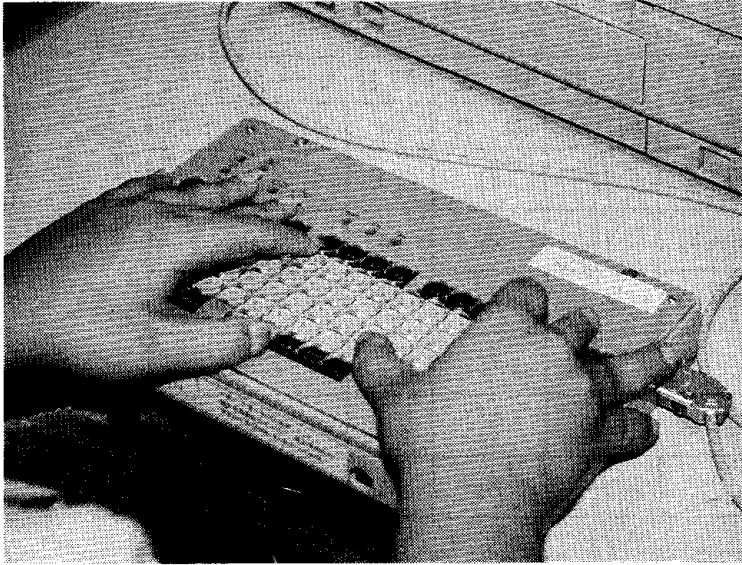
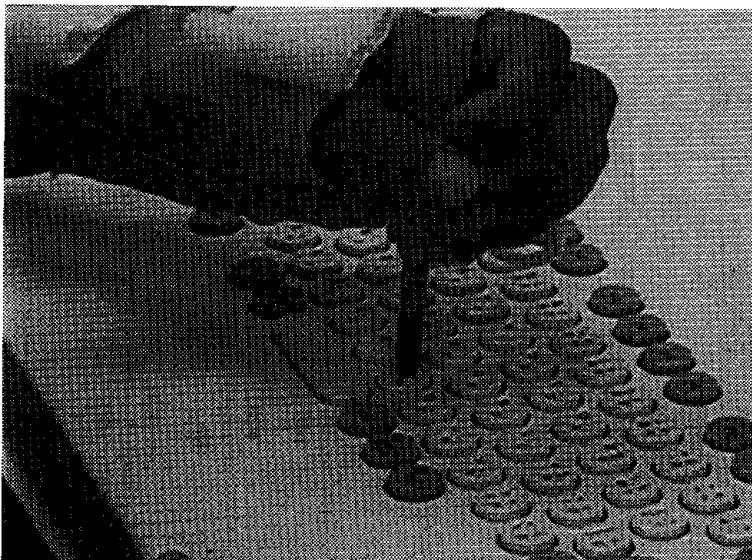


図 3-2 比較実験の様態





(4) 結果

キーボード操作では被験者ごとにスキルの差があるため、計測値の単純比較はほとんど意味を成さない。そこで、各被験者ごとに、標準キーボードの平均キー押下時間と平均キー押下間隔時間（実験手順⑤の結果）を基準としてデータを正規化した。図3-3から図3-5が頸髄損傷者、図3-6から図3-8が脳血管障害者の正規化データである。各図では、左から実験手順の①から④を示している。

図 3-3 操作時間の条件別比較（被験者 1）

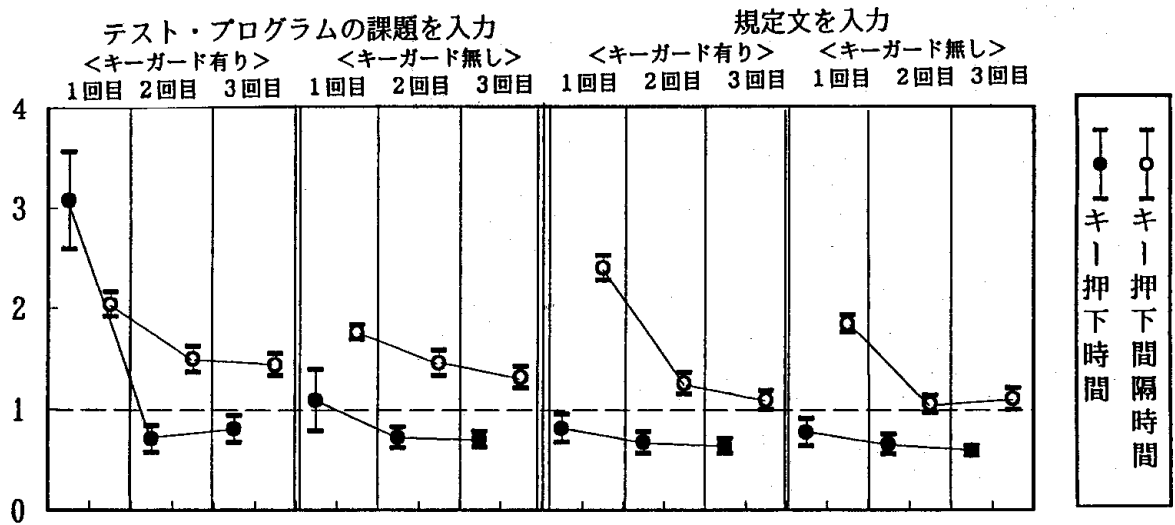


図 3-4 操作時間の条件別比較（被験者 2）

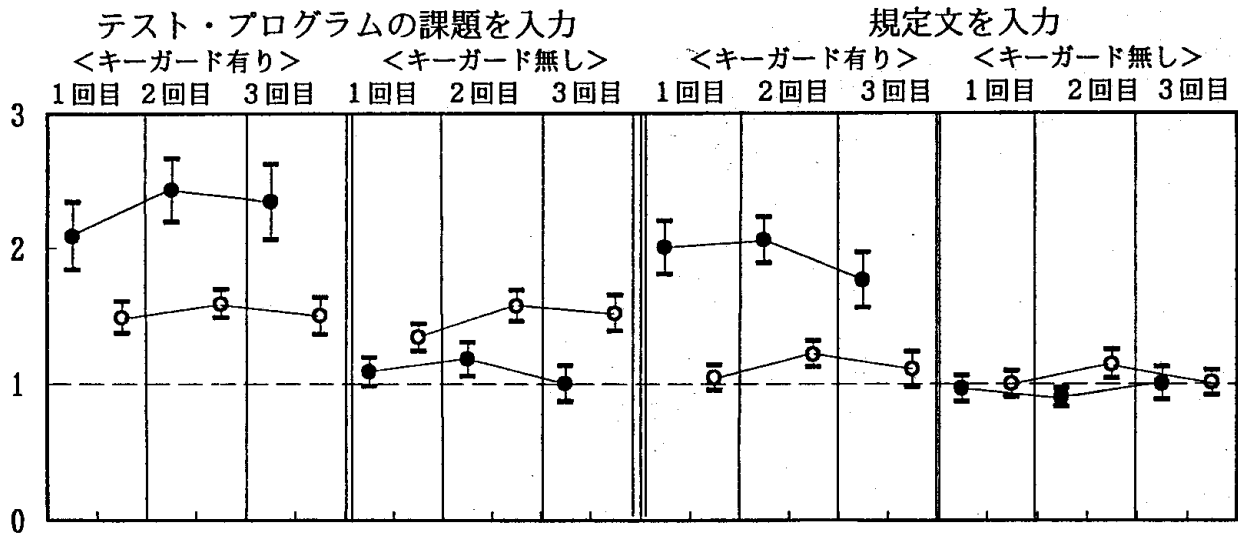


図 3-5 操作時間の条件別比較（被験者 3）

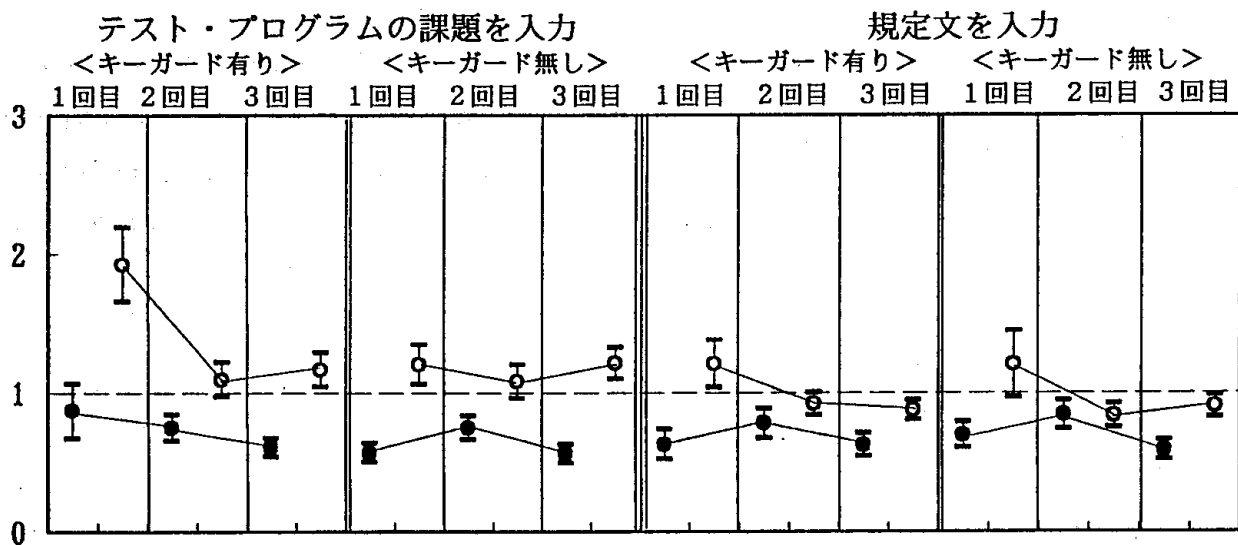


図3-6 操作時間の条件別比較 (被験者4)

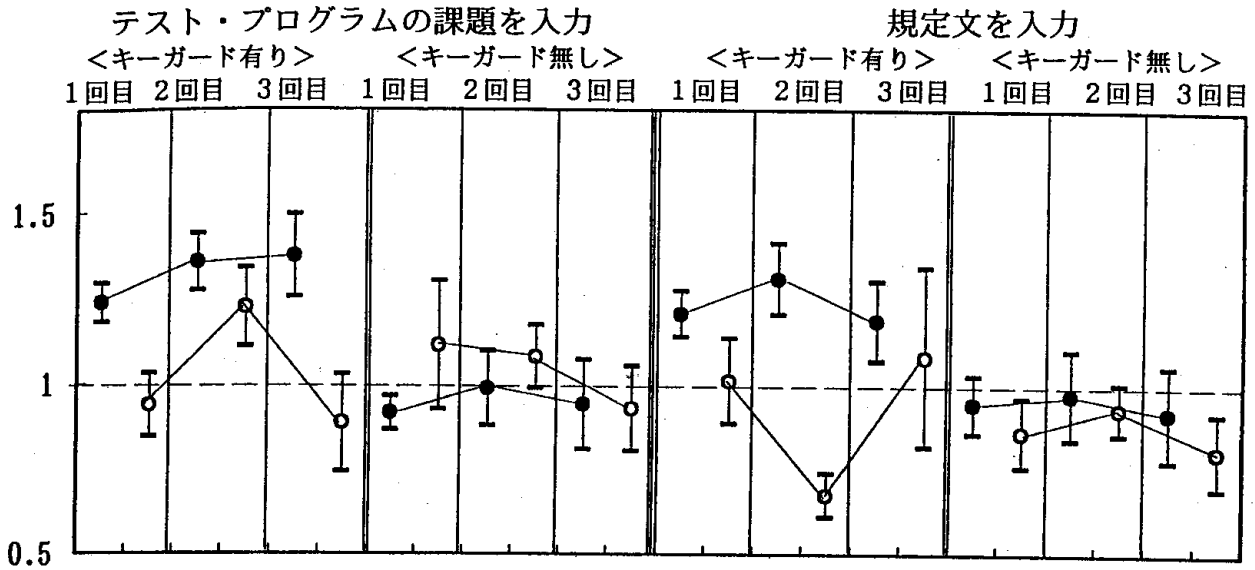


図3-7 操作時間の条件別比較 (被験者5)

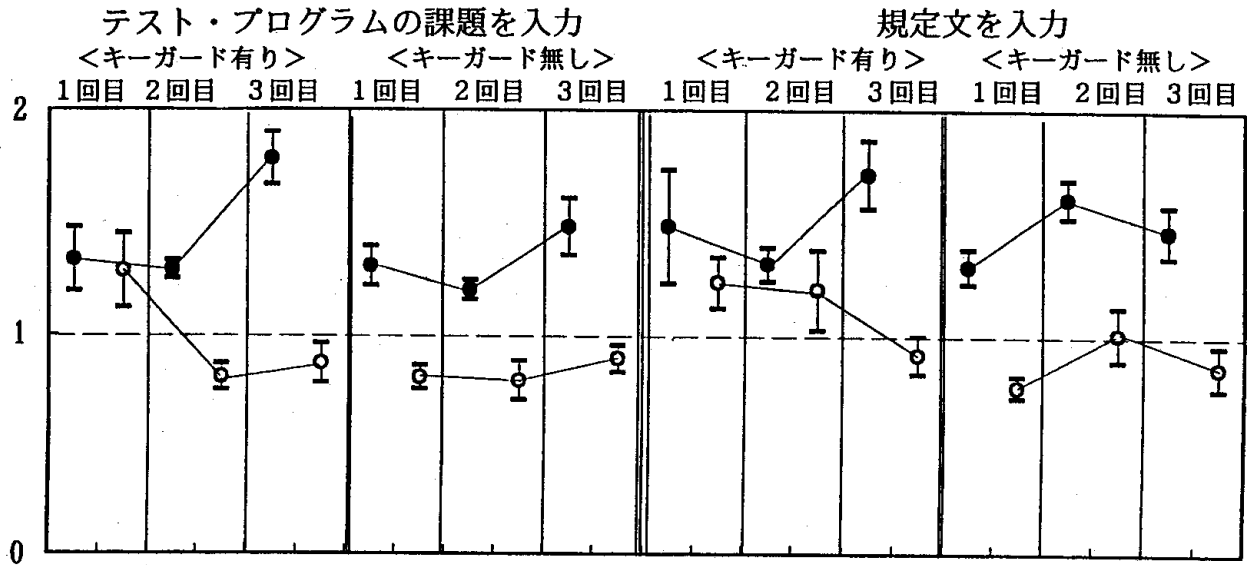
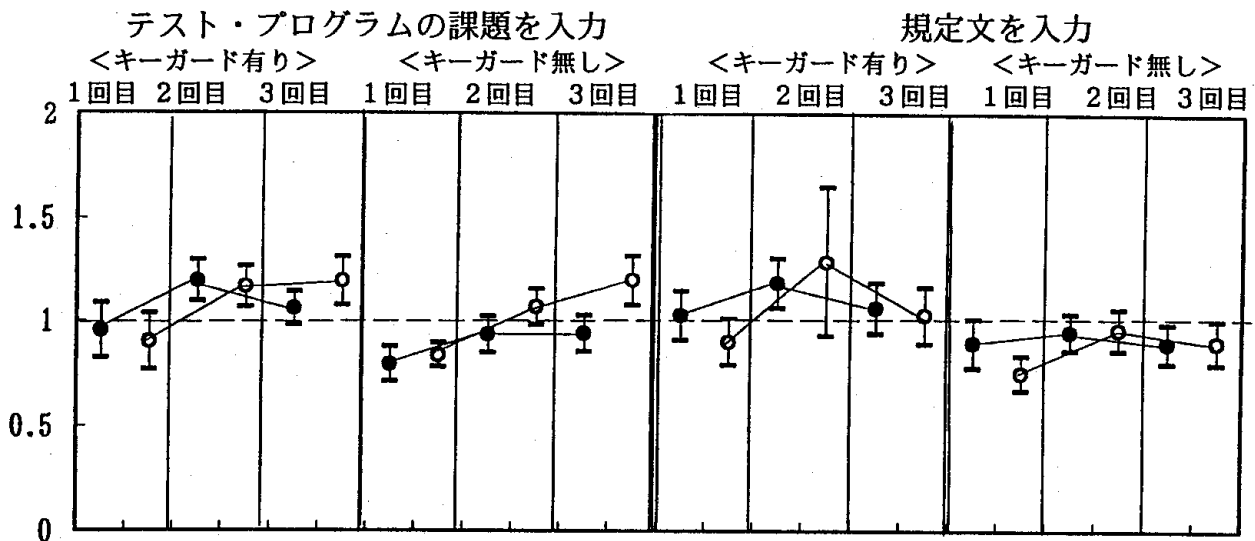


図3-8 操作時間の条件別比較 (被験者6)



(5) 考察

被験者は6名であったが、疾患が頸髄損傷と脳血管障害に二分されたため、それぞれについて考察した。

イ 頸髄損傷者

被験者1と被験者3は操作にスティックを使用しており、いずれも特殊キーボードにおいてキー押下時間が有意に減少した（危険率5%）。一方、被験者2はスティックを使用せず小指の第二関節で押下した。このような操作形態のため、特殊キーボードにおけるキーガードの有無では、キーガード無しにおいてキー押下時間が有意に減少した（危険率5%）。一方、キー押下間隔時間については、一名が初回のみ有意に短くなったが、それ以外では有意差は認められなかった（危険率5%）。

ロ 脳血管障害者

すべての被験者が右利きであったが、被験者4と被験者5が左片麻痺のため右手（利き手）で操作し、被験者6のみ右片麻痺のため左手（非利き手）で操作した。特殊キーボードと標準キーボード間では、利き手で操作した被験者ではほとんど有意差が認められなかったのに対して、非利き手で操作した被験者では有意な差が認められた（危険率5%）。一方、特殊キーボードにおけるキーガードの有無では、利き手で操作した被験者ではキーガード無し、非利き手で操作した被験者ではキーガード有りにおいて、それぞれキー押下時間が有意に減少した（危険率5%）。

(6) まとめ

比較実験により、以下の結果を得た。

イ スティックでキー押下を行う頸髄損傷者では、特殊キーボードを使用することにより、キー押下時間を有意に短縮できる（危険率5%）。

ロ 指の関節で操作する頸髄損傷者では、指の関節がキーガードに接触するケースが多く発生するため、キーガードの効果が得られないため、今回の評価では標準キーボードに比較しての有効性は認められなかった。

ハ 脳血管障害者では、麻痺側が利き手か非利き手であるかにより操作性が異なった。

a 利き手で操作する脳血管障害者では、標準キーボードに対する特殊キーボードの有効性は認められず、逆に標準キーボードの方が有効と認められるケースがあった。

b 非利き手で操作する場合には、特殊キーボードと標準キーボードのキー押下時間において、両者間に有意差が認められた（危険率5%）。一方、特殊キーボードにおいては、キーガードの有無に有意な差があるとは言えなかった。

手で操作した頸髄損傷者では、他の頸髄損傷者の実験結果から、スティックを使用することにより、操作性が向上するものと予測される。本人の希望とは別に、臨床の場における適切な訓練・学習プログラムが必要と考えられる。一方、脳血管障害者では、キーボードを操作する手が利き手であれば標準キーボードで十分な操作性が得られるものと予測される。しかし、非利き手による操作の場合には、将来的には標準キーボードの操作が可能になるとしても、利き手交換などの訓練過程において特殊キーボードが有効と考えられる。

第3節 試用実験による評価

既述したように、標準キーボードの操作が非常に困難か不可能な肢体不自由者を被験者として、特殊キーボードが代替入力デバイスとして使用できるかどうかについて試用実験を行った。

(1) 脳性麻痺者による試用

イ 身体機能

被験者のプロフィールは以下の通りである。

年齢／性別：35歳／男性

診断名：脳性麻痺アテトーゼ型、てんかん。

現病歴：鉗子分娩。満期産未熟児。重症黄疸。

経 過：生下時体重は2370 gで6歳5ヶ月まで家庭で育てていたが、発育不良、療育困難なため、医療療育施設に入所し現在に至る。

移動は肘這いで可能（図3-9）だが、座位保持は困難であり、車椅子にバケットシートと膝ベルトを装着することで安定座位を得ている（図3-10）。粗大運動発達（下肢MAT）、上肢運動発達ともに6ヶ月である。以下に諸機能の状況を示す。

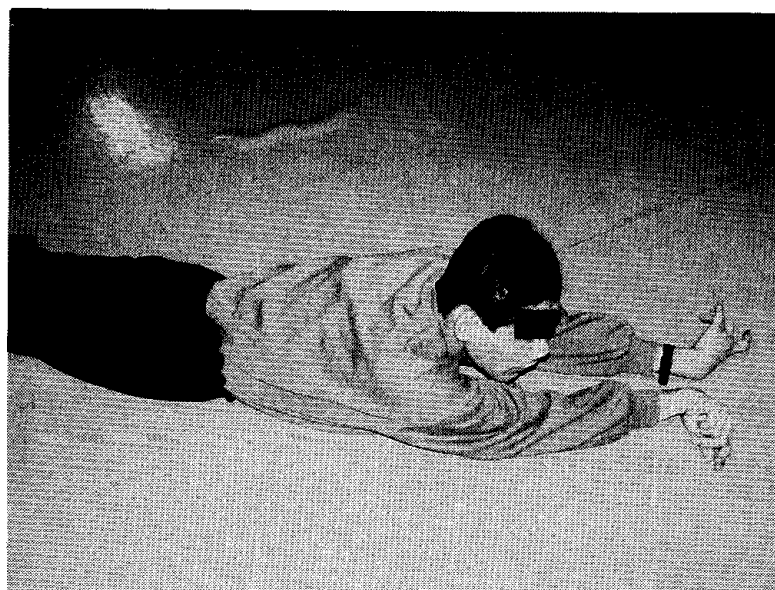


図3-9



図 3-10

a 上肢機能

両上肢とも肩関節に不随意運動が見られ伸展、内旋位で前方にリーチするが、手関節掌屈し手指伸展するために物を握ることは不確実である。

b 日常生活動作

食事、排泄、更衣動作ともに全介助である。

c 知的発達・コミュニケーション機能

田中ビネー知能発達検査で6歳8ヶ月である。意志表示は発声で可能だが不明瞭である。一方、日常的な言語理解は良好である。

ロ コンピュータの使用状況

キーガードを添付した標準キーボードでは、キーが小さいために右母指が正確にキーに入らないため、キー押下が困難であった（図3-11）。このため、アーム付きのジュリービーンスイッチを使用し文字入力の練習をしていた（図3-12）。

ハ 特殊キーボードの試用

試用したキーボードは2L型で、右母指の側面で操作した。眼からキーボード面までの距離は約25cmで、眼とディスプレイの距離は約30cmであった。操作に際しては、右母指以外の他指による誤押下を防止するために、弾性包帯を使用して母指以外を固定した。操作は、車椅子上にテーブルを設置しその上に特殊キーボードを置く姿勢で行った。使用したコンピュータはエプソン製PC-486HX、ディスプレイは14型を用いた。

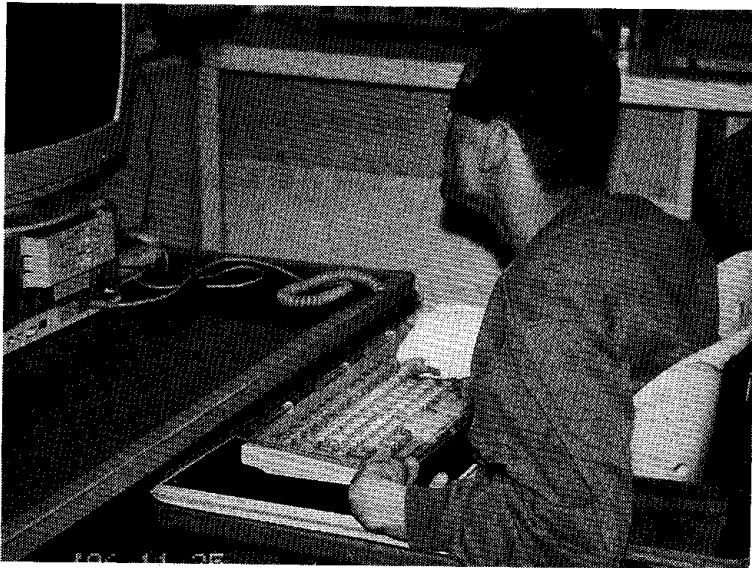


図 3-11

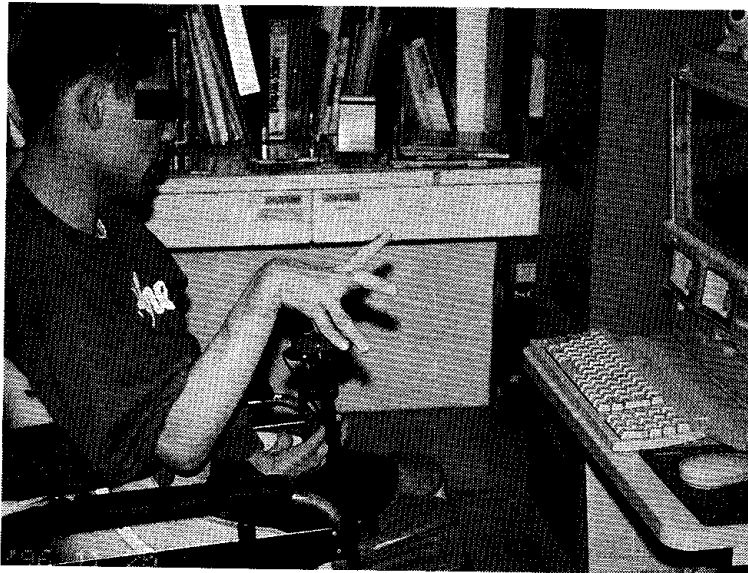


図 3-12

二 試用状況と結果

特殊キーボードを使用して自分の名前を平仮名で入力することを課題とした。被験者が操作対象のキーを確認し易くするため、当該キーのトップに平仮名シールを貼付した。そして、操作の前に、キーボード上の平仮名の位置を作業療法士が指差ししてから被験者にキー入力を行わせた。この結果、操作に時間を要したが、自分の名前をキーボードから確実に入力することができた。

ホ まとめ

本被験者は、今回の特殊キーボード（2L型）を使用することにより、これまで不可能であった「キーボードからの文字入力」が可能となった。これは、キーピッチが標準キーボードよりも2L型特殊キーボードの効果によるものと考えられる。

(2) 頸髄損傷者による試用

頸髄損傷者による試用は、被験者1名について実施した。被験者のプロフィールを表3-2に示す。試用した特殊キーボードは1 S型、2 S型、4 S型で、キーガードや指にゴムの指サックを付けたり付けなかったりして異なる条件を設定した。実施した臨床評価実験の内容及び結果を表3-3に示す。

表3-2 被験者のプロフィール

特殊キーボード（仮称）評価票 (1)
利用者のプロフィール

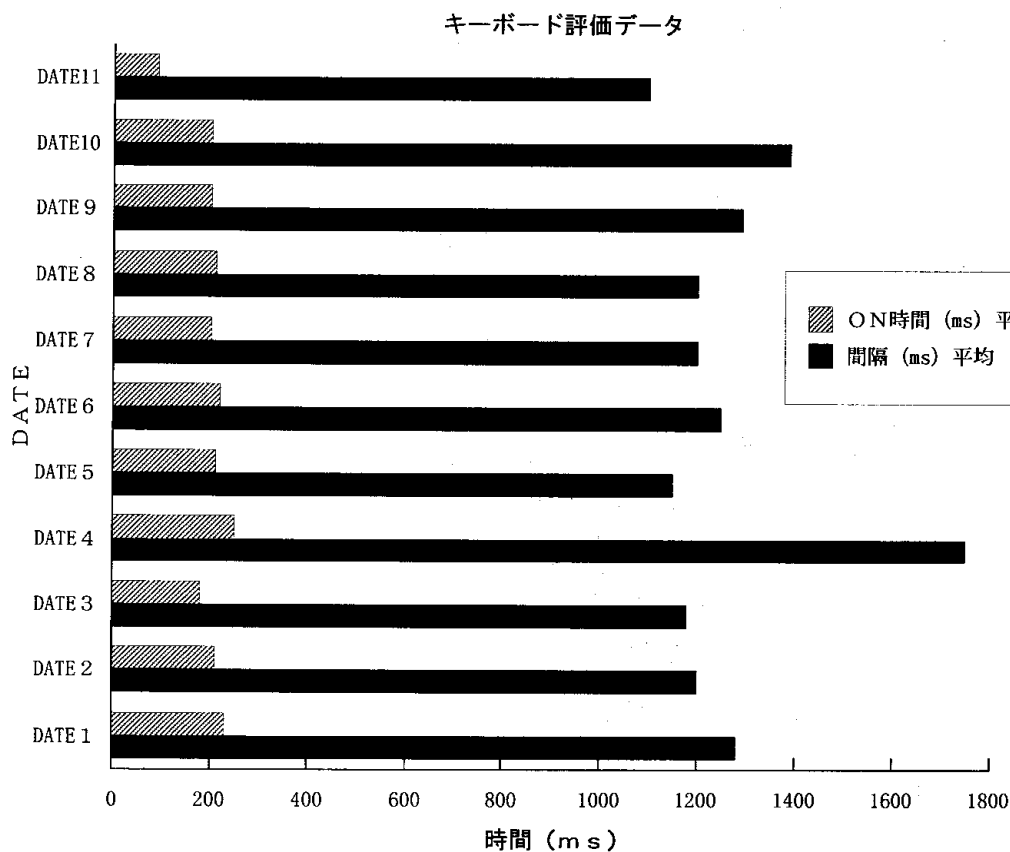
氏 名	K. Y.	生年月日	昭和 38年 7月 *日
障害名 (Impairment) 頸髄損傷			
障害内容 (Disability: 具体的) C 3、4 不全麻痺、運動レベル C 5 左右差あり、左は指が動くが万歳ができない、右は C 4 レベル			
後天性障害の場合の発症 (受症) 年		1988年 (8年2ヶ月)	
現在の立場 (学生、社会人、主婦)		社会人 (会社勤務)	
キーボード操作に使用する身体部位 (具体的に) 左手の中指			
使用しているコンピュータ 機 種 名 : NEC PC9821Cx3 ディスプレイ : 17インチディスプレイ 周辺機器 : その他 (特記事項) 標準キーボード トラックボール (東海理化販売製 TR-03N)			
使用環境 (できれば写真等を添付してください) キーボードと目の概略距離 : 36cm ディスプレイと目の概略距離 : 56cm 使用している補助具/治具 : 左手中指に穴あき指サック使用。 (コクヨ穴あき指サック (抗菌仕様) メクー7 サイズ小) 操作姿勢 : 電動車いすに座って操作。 機器の配置 : 机上にパソコンとキーボード。机は下の空間があいており、電動車いすで中まで入れる。			
これまでのコンピュータ (あるいはワープロ) の使用経験 (期間) (6) 年 () ヶ月程度→ それはワープロ専用機ですか、パソコンですか? () ワープロ専用機 (○) パソコン (機種名 : 9 8 系~DOS/V ソフト名 : 一太郎、花子、Windows、Word、Nifterm) () その他 :			

表 3-3 特殊キーボードの臨床評価実験の条件と結果

実験 番号	使用したキーボ ードの種類		キーガ ード	指サック (中指)	間隔 (ms)		ON時間 (ms)	
					平均	標準偏差	平均	標準偏差
DATA01	2S	特小 2 S	なし	なし	1270	556	249.9	44.6
DATA02	2S	特小 2 S	なし	あり	1117	459	216.7	34.4
DATA03	2S	特小 2 S	あり	なし	1175	362	177.6	32.4
DATA04	2S	特小 2 S	あり	あり	1752	802	254.0	79.0
DATA05	1S	小 S	なし	なし	1142	437	224.5	38.4
DATA06	1S	小 S	なし	あり	1247	713	231.3	60.7
DATA07	1S	小 S	あり	なし	1201	623	199.5	45.8
DATA08	1S	小 S	あり	あり	1194	439	217.3	57.6
DATA09	4S	特特特小 4 S	なし	なし	1287	762	202.7	36.6
DATA10	4S	特特特小 4 S	なし	あり	1384	800	206.1	49.9
DATA11	4S	特特特小 4 S	あり	ペン使用	1113	398	130.2	22.4

キー押下時間は、特殊キーボードに添付されているテスト・プログラムにて計測した。キーボードの時間パラメータは標準に設定した。得られた時間データから、各条件ごとのキー押下時間とキー押下間隔時間を計測した。この平均値を図 3-13に示す。

図 3-13 各条件時のON時間及び間隔時間の平均値



この結果、DATA 2、DATA 5、DATA11等で比較的短いキー押下間隔時間を示した。キー押下時間では、DATA 3、DATA11が小さな値を示した。試用した3種類の特殊キーボードではいずれも問題なく操作できたが、2 Sより1 Sが使い易いとのことであった。各種条件の中では、キーガードに指サックが引っかかってしまうため、DATA 4が最も操作し難いとの評価であったが、キー押下間隔時間も大きな値を示していた。また、通常は使用していないタイプのキーボードである4 Sについても、ペンを用いることにより、他のキーボードと同じように操作が可能であった。

また、各試用の終了後に特殊キーボード評価表を用いて、聞き取りによる評価を行った。この結果、各特殊キーボード間では差がほとんどなく、特徴的なデータとしては以下のものが示される。全般的には、キートップの感触が滑り易い、キートップの沈み込み距離が短い、キー押下時にオンになるまでの力が強すぎる、などの評価が得られた。最終的に1 S、2 Sでは使ってみたいとの意見が得られたが、4 Sは今まで使った経験がなかったせいか、使ってみたいとの意見はなかった。全てのキーボードにおいて、今回の被験者には動作圧が高すぎたようである。これはキーボードが市販のキーを用いて製作しているため、特性の異なるキーを手に入れることが難しく、現在の仕様になっているものであるが、出来れば改良して欲しい点である。

(3) 筋ジストロフィー者による試用

イ 被験者のプロフィール

被験者は25才の男性で、デュシャンヌ型筋ジストロフィーによる四肢麻痺である。両指先は巧緻動作可能で、電動車いすを通常のジョイスティックで操作している。パソコン使用歴は約5年で、ノートパソコンをワープロやゲームに使用している。職業能力開発センターにてコンピュータのコースを受講中に特殊キーボードの1次および2次試作機を利用した。現在、作業所にて文書や画像の入力作業を行っている。

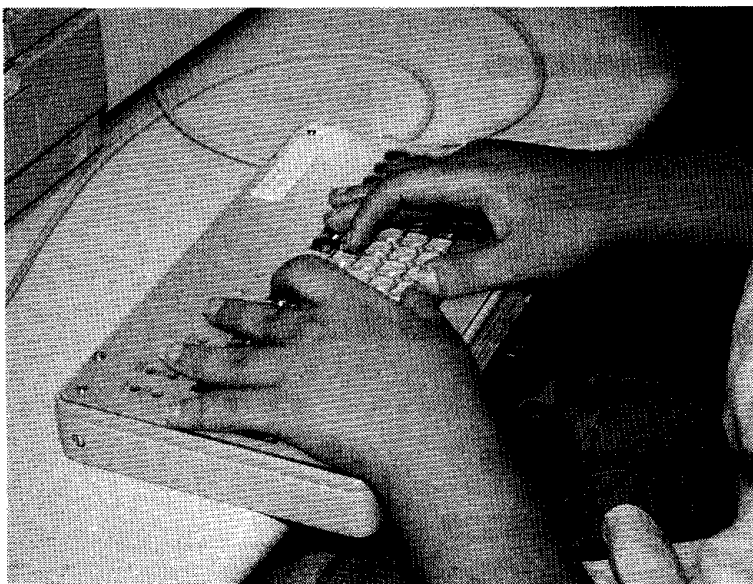


図3-14

ロ 試用方法

今回試用した特殊キーボードは2 S型と4 S型で、図3-14のようにデスクトップパソコン（NEC9801FA）に接続した。試用評価は合計で4回行い、1回目は触ってみるだけ、2回目と3回目はワープロソフトを使用して操作感について意見を聞き、4回目はテスト・プログラムにより時間パラメータのデータを収集した。操作姿勢は電動車いすに乗ったままで、パソコン・テーブル上に設置した特殊キーボードを操作した。キーボードに付属のキーボードカバー（厚さ2mm）をそのまま使用した。この結果、キートップの位置が若干深くなるので指が届き難いことがあった。しかし、キーボードカバー無しでは、中のスイッチが露出してしまい、防塵・防滴上好ましくないと考えられる。操作のための補助具や自助具については、本被験者は特に使用しなかった。

ハ 被験者の感想と評価結果

前述した通り、両手の届く範囲に全てのキーがあることと、両手をキーボードの上に置いてもキーを押してしまうことなしに操作できることがよいという感想であった。前者については、標準キーボードでは指伝いで遠くのキーまで手の位置を移動するところを、小型キーボードではその必要がないので、効率のよいキーボード操作が可能となった。後者については、標準キーボードでは高めのリストパッドを置いたり片手を台の代わりにもう片方の手を置いてキーボード面との距離をとって上からキーを押したりしたのに対して、特殊キーボードではキーボード面にキーが浅く埋め込まれているので、両手をキーボード面に置いた楽な姿勢で、指の腹でキーを押し込むように両手で操作が可能であった。図3-15は試用時におけるキーボード部分を拡大したものである。

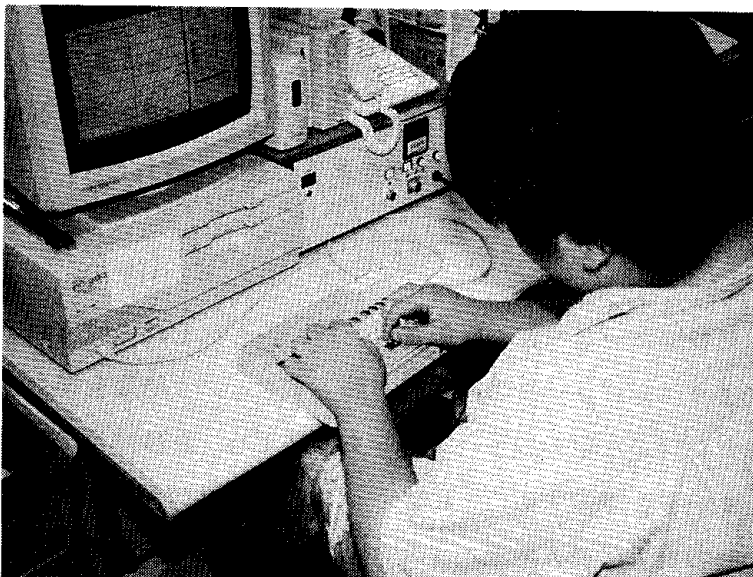


図3-15

リモコンユニットについては、短時間試用した程度なので、有効性については評価できなかった。

しかし、車いすテーブル上で使用する場合に、コードが邪魔にならないという利点が考えられる。また、テーブル上にキーボードを乗せたままで、いったんパソコン操作を中断して、別の場所に移動して、再び戻ってきて作業を再開するという使い方が可能になる。ただし、今回の試用では、リモコンを使用すると、キー操作からキー入力の確認されるまでに、はっきりと分かる時間遅れが感じられるとの意見であった。これがパソコンの処理速度によるものかリモコンユニットの性能なのかは、確認していない。また、今回の被験者は両手操作が可能であったが、当然片手操作の場合もあるため、この場合にはシフトロック機能とその状態表示ランプは非常に有効と考えられる。

二 まとめ

標準キーボードの操作が困難になった筋ジストロフィー者がパソコンを操作する場合には、狭くなった上肢の可動域に合わせたサイズで軽操作力の小型キーボードが一般的に有効である。さらに、小型キーボードは、ある身体機能レベルにあるウエルドニッヒ・ホフマン症患者にも適用可能と考えられる。このような小型キーボードには二つの条件がある。一方は両手の届く範囲に操作に必要な全てのキーが配置されていることである。もう一方は、キーボードカバーなどでキーをキーボード面よりも埋め込むことである。これにより、両手をキーボードの上に置いてもキーを無意識に押下することなく操作できる。今回の特殊キーボード（小型）はこれらの条件を満たしているため、十分な操作性を実現しているといえる。

(4) 試用実験による評価のまとめ

脳性麻痺および筋ジストロフィーの被験者による試用評価では、それぞれ2名および1名と少数であったが、標準キーボードではほとんど不可能であったキー押下が特殊キーボードにより可能となることが示された。また、他の1名（脳性麻痺）においても、これまでに標準キーボードの操作経験がなかったためキー配列を記憶していなかったが、特殊キーボードの使用によりキー入力が可能であることが示された。頸髄損傷者による試用評価では、キーを的確に押下できるステイックや指サックを併用することにより、特殊キーボードを操作できることが示された。

第4節 総合評価

本研究では、肢体不自由者用に開発した特殊キーボードの評価実験を行い、それぞれの障害内容に適した特殊キーボードを選択することによりコンピュータの操作性が向上するという結果を得た。このことは、すべての肢体不自由者にアクセシブルな単一のキーボードを開発することは非常に難しいが、特徴を数種類に分類した個別のキーボードを準備することにより、これまで標準キーボードの操作が困難あるいは不可能であった肢体不自由者も代替入力デバイスとして有効に操作できることが示されたものと考えられる。また、今回の実験には含めなかったが、特殊キーボードの時間パラメータの変更機能については、これまでに標準キーボードの時間パラメータを変更するプログラムが各種開

発され活用されているという経緯から、有効と考えられる。一方、改善点としては、キーボードに使用されている個々のキーにおける動作圧や動作ストロークの変更が指摘された。今回の研究では市販されているキーを利用して特殊キーボードを開発したため、この問題に対しては直接的な対応ができなかったが、動作特性の異なるキーを使用することで解決可能と考えられる。

以上から、本研究において開発した特殊キーボードは、障害により標準キーボードの操作が十分に行えない肢体不自由者のコンピュータ操作環境を改善するために有効と考えられる。