

キーボードを利用した数学ソフトウェアにおける注意点

武庫川女子大学大学院・生活環境学研究科 白井詩沙香

SHIZUKA SHIRAI*

GRADUATE SCHOOL OF HUMAN ENVIRONMENTAL SCIENCES,
MUKOGAWA WOMEN'S UNIVERSITY

武庫川女子大学大学院・生活環境学研究科 仲村裕子

YUKO NAKAMURA†

GRADUATE SCHOOL OF HUMAN ENVIRONMENTAL SCIENCES,
MUKOGAWA WOMEN'S UNIVERSITY

武庫川女子大学 福井哲夫

TETSUO FUKUI‡

MUKOGAWA WOMEN'S UNIVERSITY

1 はじめに

学校教育の情報化は、1980年代より国が推進してきた課題である。2011年4月に文部科学省より発行された「教育の情報化ビジョン」では、授業での教科書や教材の重要性から、ICTを活用した教科書、教材、情報端末の整備の必要性が述べられており、デジタル教科書については2020年度までに全面導入を目標としている[5]。

デジタル教科書には指導者用デジタル教科書と学習者用デジタル教科書がある。特に学習者用デジタル教科書は、一斉学習・協働学習・個別学習を支援することが想定されており、各教科においてコンテンツ開発や供給、配信、活用などの研究が急がれている。

このように、一斉学習・協働学習・個別学習を支援するデジタル教科書の時代がくると、理数系科目では一般の生徒や学生も数式を入力する場面が増えると予想される。そうになると一般の生徒や学生も使い易い、学習者のユーザビリティを考慮した数式のデジタル的取り扱いが重要になってくる。それゆえ、数式の構成要素である特殊記号の取り扱いを無視することはできない。

そこで、我々は2010年度からコンピュータの入力デバイスとして主流であるキーボードに着目し、一般ユーザにとってどの特殊記号が使い易く、あるいは使いづらいのか、また、トレーニングすれば使い易くなるのか明らかにすることを目的に調査を行ってきた[3]。具体的には、特殊記号の打鍵タスクに対するユーザの行動特性について調査を行った。これまでは特殊記号のみタイプトレーニングし、測定する方法で調査を行ってきたが、本研究では、より一般ユーザの利用状況に近い状態で調査を行うために、英数字も含

*mw419064@mukogawa-u.ac.jp

†mw419227@mukogawa-u.ac.jp

‡fukui@mukogawa-u.ac.jp

めて調査を行った。その結果を使用し、使い易さ、トレーニングし易さの観点から各特殊記号を分類した。これらの分類結果からキーボードを利用した数学ソフトウェアにおける注意点について報告する。

2 使い易さ、トレーニングし易さの基準

ここでは、使い易さ、トレーニングし易さを議論するために、それらの基準について明確に定義する。ただし以下の議論は2.1節で述べる打鍵モデルを想定して行われる。

2.1 本研究における打鍵モデル

本研究の打鍵モデルを認知情報処理モデル [4] を参考に、図1のように仮定した。まずディスプレイに1文字の問題が表示されると感覚器である目を介して情報が知覚系へと入力される。次に文字を打鍵するために、認知系において長期記憶と連携しながら判断が行われる。そして最後に認知系での判断結果が運動系に伝達され、指などの運動器を介して打鍵する。このようにディスプレイに1文字表示され、脳内の3つの仮定を経て、正しい文字を打鍵するまでの一連のプロセスを本研究の打鍵とする。

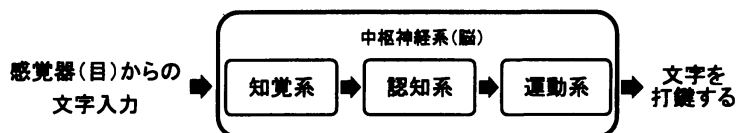


図1: 本研究におけるタイピングテストのプロセス

2.2 使い易い特殊記号、トレーニングし易い特殊記号

本研究における打鍵に関する使い易さの基準は、打鍵時間とミス率で計る。なお、打鍵時間およびミス率は次のように定義する。

打鍵時間：1文字当たりの平均打鍵時間（秒）

ミス率：100文字当たりの平均ミスタイプ数（%）

すなわち、正しいキーを打鍵するまでの打鍵時間が短く、ミス率が低い特殊記号を「使い易い特殊記号」とする。

また、トレーニングし易さの基準は、一定回数のトレーニングによる打鍵時間とミス率の伸び率の高さで計る。なお、伸び率は次のように定義する。

$$\text{伸び率} = \frac{\text{習熟前の値} - \text{習熟後の値}}{\text{習熟後の値}}$$

3 方法

一般ユーザにとってどの特殊記号が使い易く、使いづらいのか、また、トレーニングすれば使い易くなるのかを明らかにするために、タイピングテストとタイブトレーニングを行った。本章では、調査概要および測定内容、調査方法について解説する。

3.1 調査概要

各特殊記号を使い易さ、トレーニングし易さの観点から分類するために、8回のタイブトレーニングの前後（未習熟時と一定習熟時）にタイピングテストを行い、打鍵時間とミス率を計測した。得られた結果を分析することで、どの特殊記号が使い易く、使いづらいのか、また、トレーニングし易く、しづらいのかを明らかにする。

3.2 測定内容

本研究で測定した内容は、タイブトレーニング前と8回のタイブトレーニング後の被験者に、ランダムに2回ずつ出題される52種類の英字、10種類の数字、そして次の32種類の特殊記号を打鍵してもらった際の平均打鍵時間と平均ミス率である。

特殊記号：! " # \$ % & ' () * + , - . / : ; < = > ? @ [\] ^ _ { | } ~

また、本研究では知覚過程において表示された文字の認識に個人差や扱う分野の差をさけるため、ランダムな出題による1文字打鍵に限定して調査を行った。

3.3 調査方法

(1) テスト環境

テスト環境は、実習室にあるPC（Windows7）で、キーボードタイプはOADG109A[2]を使用して行った。打鍵時間、ミス率の計測には、Java言語で開発したプログラム（以下、テストプログラム）を使用した。テストプログラムは、打鍵文字が自動的に出題され、打鍵時間はPCの内部クロックを用いてミリ秒単位で自動計測が行えるようにした。

(2) 被験者

被験者は、「プログラミング論」という授業を受講している本学情報メディア学科2年生99名である。

(3) タイピングテストの方法

指がホームポジションにある状態から出題文字を打鍵するまでの打鍵時間およびミス率を測定するために、毎回まず人差し指のホームポジション“f”又は“j”キーを出題し打鍵させ、それから計測したい文字を出題した。こうすることにより、ホームポジションキーを打鍵した直後は、指がホームポジションキー付近にあるため、特殊記号の打鍵開始状態を統一することができる。

(4) タイブトレーニングの方法と習熟状況

独自開発したタイブトレーニングプログラムを使用し、被験者全員にタイブトレーニングをしてもらった。具体的には、「ホームポジション」、「各キーボード段」、「ランダム問題（キーボードの表示あり／なし）」、「苦手キー練習」の計7種類のコースからなるタイブトレーニングを毎週5分間、計8回行った。

タイブトレーニング時の平均打鍵時間の推移を図2に示す。図2の習熟曲線から打鍵習熟が順調に進んでいることが判る。また、トレーニング前後の散布図を図3に示す。散布図からも打鍵時間・ミス率ともに減少し、習熟していることが見てとれる。そこで、本研究ではトレーニング8回目の状態を一定習熟時の打鍵特性とした。

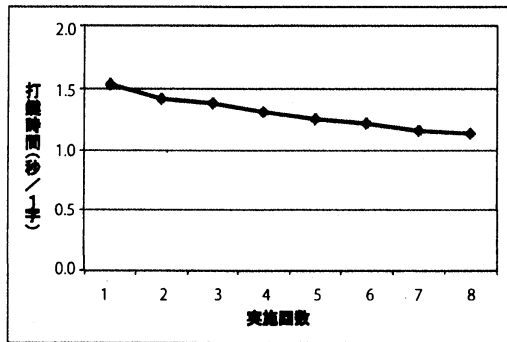


図 2: 打鍵時間の習熟推移

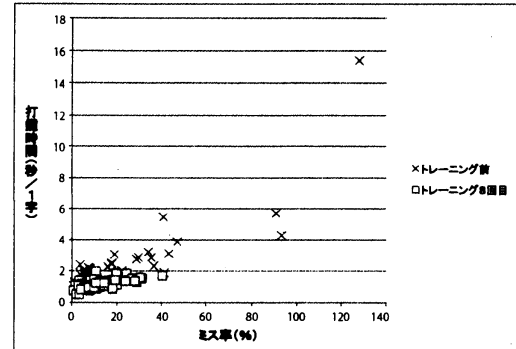


図 3: 未習熟時と習熟8回目の散布図

4 結果

4.1 未習熟時の測定結果

タイピングテストの測定結果より、全特殊記号の総平均打鍵時間を算出した結果、 2.79 ± 0.15 秒/1字となった（英数字を含めた場合は、 1.78 ± 0.05 秒）。結果の特殊記号別の棒グラフを図4に示す。1文字打鍵するのに3秒近く時間がかかり、英数字を含めた平均打鍵時間よりも1秒近く時間がかかっていることから特殊記号が苦手であることが判る。

次に、全特殊記号の総平均ミス率を算出した結果、 $22.7 \pm 2.3\%$ となった（英数字を含めた場合は、 $12.2 \pm 0.9\%$ ）。すなわち100文字打鍵する間に約23文字ミスをするという結果で、ミスが多い。結果の特殊記号別の棒グラフを図5に示す。ここで、|（パイプ）キーのミス率が100%を超えているのは、ほとんどの人がそのキーを正しく打鍵するまでに1回以上のミスをしたためである。

4.2 一定習熟時の測定結果

全特殊記号の総平均打鍵時間を算出した結果、 1.39 ± 0.02 秒/1字となった（英数字を含めた場合は、 1.14 ± 0.01 秒）。未習熟時と比べて、全体として約2倍打鍵が速くなっている。特殊記号別の棒グラフ結果を図6に示す。

さらに未習熟時と一定習熟時の結果から伸び率を算出した結果の特殊記号別の棒グラフを図7に示す。特殊記号別の平均打鍵時間と伸び率のグラフから各特殊記号の習熟の度合いが判る。

一定習熟時の全特殊記号の総平均ミス率を算出した結果、 $16.3 \pm 1.1\%$ となった（英数字を含めた場合は、 $10.9 \pm 0.5\%$ ）。未習熟時より約3割ミスが軽減された。結果の特殊記号別の棒グラフを図8に示す。

さらに、ミス率についても伸び率を算出した結果、図9のような棒グラフとなった。ミス率の伸び率は、マイナスに伸びているキー、すなわちトレーニングによって逆にミスが増えているキーがあった。これらのキーのミス履歴を確認した結果、多くが隣隣キーを打鍵してしまうミスでミス率が増えていることが判った。これは、ホームポジションのずれによるミスで、タッチタイピング形成時に見られるミスと言われている[1]。

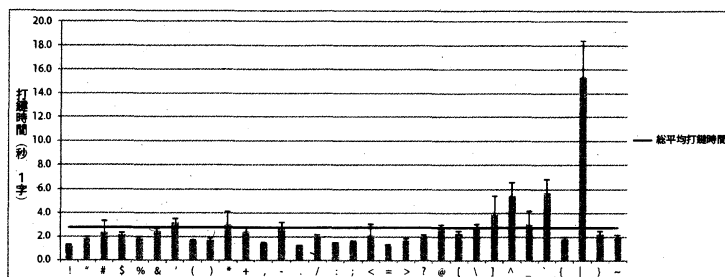


図 4: 未習熟時の特殊記号別平均打鍵時間の測定結果

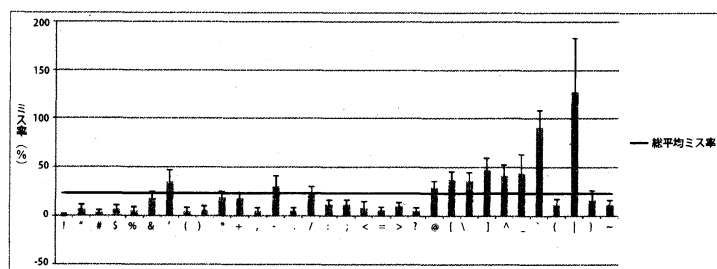


図 5: 未習熟時の特殊記号別平均ミス率の測定結果

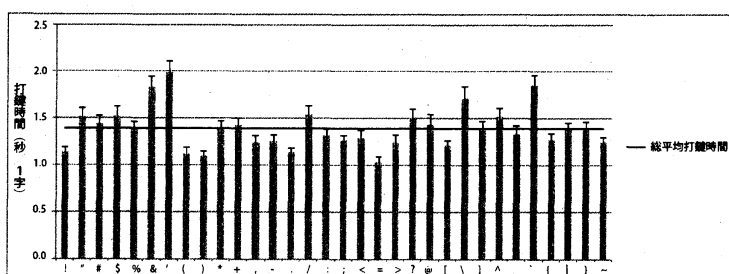


図 6: 一定習熟時の特殊記号別平均打鍵時間の測定結果

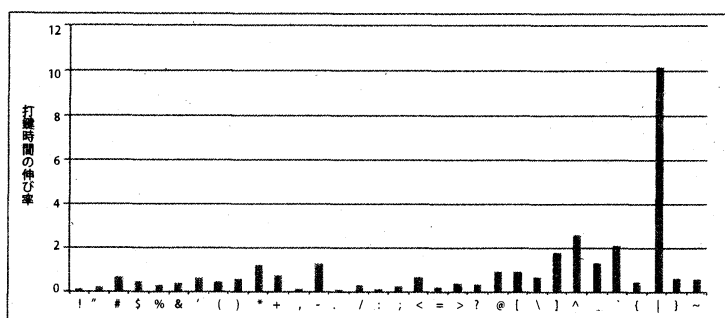


図 7: 一定習熟時の特殊記号別打鍵時間の伸び率結果

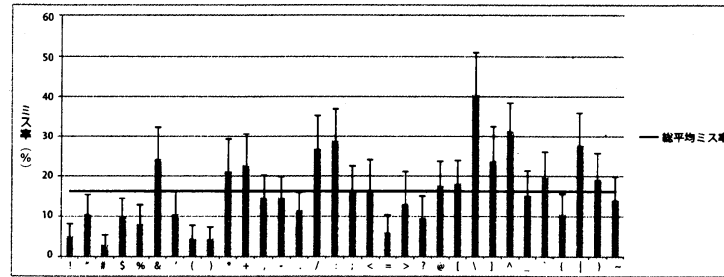


図 8: 一定習熟時の特殊記号別平均ミス率の測定結果

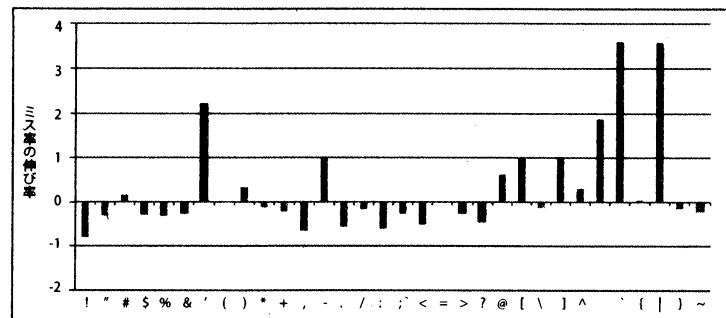


図 9: 一定習熟時の特殊記号別ミス率の伸び率結果

4.3 使い易さの分類

得られた打鍵時間とミス率の両指標の総合的基準を使い易さの基準として、各特殊記号を分類する。分類には標準化した打鍵時間とミス率を使用し、Ward 法によるクラスタ分析を行った。

まずはじめに、クラスタ分析で得られる各クラスタの特徴を明らかにするために、各特殊記号の未習熟時の打鍵時間、一定習熟時の打鍵時間、未習熟時のミス率、一定習熟時のミス率の4つの結果を「使い易い」、「平均的」、「使いづらい」の3つの基準で分類する。分類には、全体の平均値（特殊記号のみ）を採用し、誤差も含めて平均より速く打鍵できるものを「使い易い」、平均と差がないものを「平均的」、遅いものを「使いづらい」キーとする。

それぞれの3つの群に有意な差があるかどうかを検討するために反復測定分散分析を行った。表1に各群の平均値、標準偏差 (SD) と分散分析結果を示す。分散分析の結果、全ての群間において平均値に有意な差がみられた（未習熟時の打鍵時間: $F(2,196)=148.43, p<.001$, 一定習熟時の打鍵時間: $F(2,196)=278.21, p<.001$, 未習熟時のミス率: $F(2,196)=75.01, p<.001$, 一定習熟時のミス率: $F(2,196)=71.96, p<.001$ ）。さらに4つの結果それぞれに対して多重比較 (Sidak 法, 5%水準) を行ったところ、全ての群の間に有意な差がみられた。

以上の結果から、未習熟時の打鍵時間、一定習熟時の打鍵時間、未習熟時のミス率、一定習熟時のミス率それぞれの3群を「使い易い」、「平均的」、「使いづらい」とする。各群に属する特殊記号の一覧を表2に示す。

次に、標準化した打鍵時間とミス率の両指標を用いて、Ward 法によるクラスタ分析を行った。未習熟時は図10に、一定習熟時は図11に結果の散佈図を示す。

分析の結果、未習熟時は4つのクラスタを得た。第1クラスタの特殊記号は打鍵時間、ミス率共に低く、

打鍵時間、ミス率それぞれによる分類において「使い易い」特殊記号が多数含まれていたため、「使い易いキー群」とする。第2クラスは「平均的」な特殊記号が多数含まれていたため、「平均的キー群」とする。第3クラスは「使いづらい」特殊記号が多数含まれていたため、「使いづらいキー群」とする。第4クラスは、打鍵時間、ミス率共に群を抜いて高いため、「とても使いづらいキー群」とする。

一定習熟時は5つのクラスタを得た。習熟の結果、とても使いづらいキーはなくなったが、使いづらいキーは存在し、3つの群に分かれることが判った。先ほど分類した各指標による使い易さの結果と照らし合わせたところ、それぞれの特徴として「ミスは少ないが使いづらい」、「打鍵に時間がかかり使いづらい」、「ミスが多く使いづらい」ということが判った。

各群に属する特殊記号の一覧を表3に示す。

表 1: 各群の平均値, *SD* と分散分析結果

状態	群	打鍵時間			ミス率		
		平均値	<i>SD</i>	<i>F</i> 値	平均値	<i>SD</i>	<i>F</i> 値
未習熟	使い易い	1.76	0.28	148.43 ***	7.11	6.16	75.01***
	平均的	2.83	1.32		25.47	24.43	
	使いづらい	8.87	5.41		63.11	58.57	
一定習熟	使い易い	1.20	0.17	278.21 ***	6.39	9.42	71.96***
	平均的	1.39	0.24		16.59	12.64	
	使いづらい	1.67	0.25		31.01	24.14	

*** $p < .001$

表 2: 特殊記号の使い易さの分類

	特殊記号	!	"	#	\$	%	&	'	(	)	*	+	,	-	.	/	:
	打鍵時間	○	○	□	○	○	□	□	○	○	□	□	○	□	○	○	○
未習熟	ミス率	○	○	○	○	○	□	□	○	○	□	□	○	□	○	○	○
	特殊記号	;	<	=	>	?	@		\		^	-	'	{		}	~
	打鍵時間	○	□	○	○	○	□	○	□	□	▲	□	▲	○	▲	○	○
	ミス率	○	○	○	○	○	□	▲	▲	▲	▲	□	▲	○	▲	□	○
	特殊記号	!	"	#	\$	%	&	'	(	)	*	+	,	-	.	/	:
	打鍵時間	○	▲	□	▲	□	▲	▲	○	○	□	□	○	○	□	▲	□
一定習熟	ミス率	○	□	○	○	○	□	□	○	○	□	□	○	□	□	▲	▲
	特殊記号	;	<	=	>	?	@		\		^	-	'	{		}	~
	打鍵時間	○	○	○	○	▲	□	○	▲	□	▲	□	▲	○	□	□	○
	ミス率	□	□	○	□	○	□	□	▲	□	▲	□	□	□	▲	□	□

○: 使い易い, □: 平均的, ▲: 使いづらい

表 3: 打鍵時間－ミス率両指標の総合的基準による使い易さの分類

特殊記号	!	"	#	\$	%	&	'	(	)	*	+	,	-	.	/	:
未習熟	○	○	○	○	○	○	□	○	○	○	○	○	□	○	○	○
一定習熟	○	△1	△1	△1	△1	△2	△2	○	○	□	□	□	□	○	△3	□
特殊記号	;	<	=	>	?	@		\		^	-	'	{		}	~
未習熟	○	○	○	○	○	□	□	□	□	□	□	▲	○	×	○	○
一定習熟	□	□	○	□	△1	□	□	△3	□	△3	□	△2	□	□	□	□

○: 使い易い, □: 平均的, ▲: 使いづらい, ×: とても使いづらい

△1: ミスは少ないが使いづらい, △2: 打鍵に時間がかかり使いづらい, △3: ミスが多く使いづらい

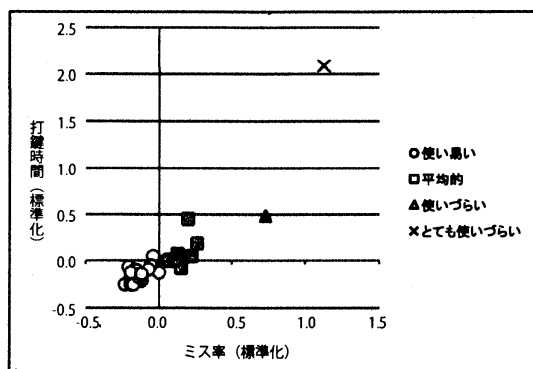


図 10: 未習熟時の使い易さによる分類

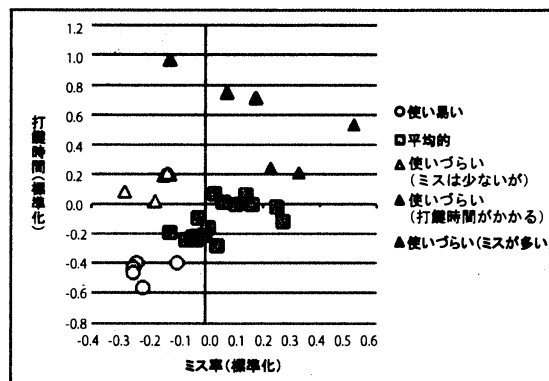


図 11: 一定習熟時の使い易さによる分類

4.4 トレーニングし易さの分類

算出した打鍵時間の伸び率を用いて、Ward 法によるクラスタ分析を行い、3つのクラスタを得た。第1クラスタには28個、第2クラスタには3個、第3クラスタには1個の特殊記号が含まれていた。各クラスタに属する特殊記号をみると、第2、第3クラスタには未習熟時に「使いづらい」特殊記号が多く含まれていることが判る。これらの特殊記号は、トレーニングにより不慣れが解消した特殊記号と推測できる。このことから、第3クラスタは「トレーニングで伸びる」キー群、第2クラスタは「トレーニングで伸び易い」キー群とする。第1クラスタには伸び率が低いものが分類された。ただし第1クラスタの中には、使いづらいため伸びないもの以外に、未習熟時に「使いやすい」特殊記号、つまり元から慣れている為伸びない特殊記号が含まれていることが判った。そこで、第1クラスタをさらに「元から慣れている為伸びない群」と「伸びづらい群」の2つに分類することにした。各群に属する特殊記号の一覧を表4に示す。

表 4: トレーニングし易さの分類

特殊記号	!	"	#	\$	%	&	'	(	)	*	+	,	-	.	/	:
トレーニングし易さ	△	▲	▲	▲	▲	▲	▲	△	△	△	△	△	▲	△	▲	△
特殊記号	;	<	=	>	?	@		\		^	-	'	{		}	-
トレーニングし易さ	△	△	△	△	▲	▲	▲	▲	○	○	▲	○	△	◎	△	△

◎: トレーニングで伸びる, ○: 伸び易い, ▲: 伸びづらい, △: 元から慣れている為伸びない

5 まとめと今後の課題

最後に使い易さ、トレーニングし易さによる分類からキーボードを利用した数学ソフトウェアにおける注意点をまとめると表5のようなになる。未習熟状態のユーザに対して注意点として挙げた特殊記号は、平均的キーも含めていずれも英数字と比べて苦手である。一定習熟状態のユーザに対して注意すべきキーは、いずれも、トレーニングを積んでも打鍵時間がかかり使いづらい。

今回の分類結果は未習熟時と一定習熟時の結果をそれぞれ独立して処理したため、両者間の関係を見逃して分類している。そのため、今後の課題は、未習熟時・一定習熟時の関係を考慮して分類することである。また、それぞれなぜ使い易く、使いづらいのか要因を明らかにしたい。

表 5: 注意すべき特殊記号一覧

対象ユーザ	注意すべき項目	特殊記号
未習熟状態	とても使いづらいキー	(パイプキー)
	使いづらいキー	'
	平均的なキー	' - @ [\] ^ _
一定習熟状態	ミスは少ないが使いづらいキー	" # \$ % ?
	打鍵時間がかかり使いづらいキー	&
	ミスが多く使いづらいキー	/ \ ^

参 考 文 献

- [1] 大岩元:タッチタイプ入力による日本語 CAI システム, 科学研究費補助金 (一般研究 (B)) 研究成果報告書,1986,45-47.
- [2] 財団法人 日本規格協会:仮名漢字変換システムの基本機能, 財団法人 日本規格協会,2008.
- [3] 白井詩沙香, 福井哲夫:キーボードにおける特殊記号の打鍵に関する特性調査, 数理解析研究所講究録 1780 「数学ソフトウェアと教育—数学ソフトウェアの効率的利用に関する研究—」,2012,1-12.
- [4] 村田暑生:認知科学 心の働きをさぐる, 朝倉書店, 東京,2007.
- [5] 文部科学省:教育の情報化ビジョン～21 世紀にふさわしい学びと学校の想像を目指して～, 文部科学省,2011.