

PC キーボードのキースイッチの操作性評価に関する研究^{1),2)}

—タッチタイピングによる打鍵法の差異がもたらす操作性評価の相違について—

富田 新*・大原貴弘*

A Research on Usability Assessments of Key Switches on PC Keyboards: About the Difference in the Tendency of Usability Assessment Between the Users Who Can Do Touch Typing and the Ones Who Cannot

Arata TOMIDA* and Takahiro OHARA*

Using PC keyboards, users are supposed to assess usability of key switches subjectively. In this research, a questionnaire to ask the participants usability of key switches of PC keyboards was executed to investigate what kind of psychological axes (factors) would exist under their assessment. It was also investigated how the assessment of 'push feelings' of key switches of 35 'experts,' who could do touch typing might differ from that of 40 'novices' who couldn't do it. The following results were obtained in this research. (1) Five psychological axes (factors) to assess push feelings of key switches were obtained. They were 1) feeling of smoothness, 2) feeling of stroke, 3) feeling of click, 4) feeling of elasticity, 5) feeling of total operation. (2) The results of *t* tests and discriminant analyses showed that the experts would tend to assess the feeling of stroke greater and the feeling of total operation less than the novices.

key words: Usability of key switches on PC keyboard, psychological factors of push feelings, touch typing

問 題

現在使用されている QWERTY キーボードの文字配列が、機械式タイプライタの文字配列に基づき 1870 年代に設計されたことはよく知られた事実であるか³⁾ (塩澤, 2002), このように保守的なデザインを踏襲しているにもかかわらず、文字入力デバイスとしてのキーボードの価値は依然として高い。タッチペンによる手書き文字入力など、新しいデバ

イスも開発されてきているが、入力の速さや正確さにおいてキーボードに勝る文字入力デバイスはいまだに開発されていないと言ってよい。

その一方で、ユーザビリティの高いキーボード開発を目的とした人間工学的研究は 2000 年以降徐々に少なくなってきた。タッチパネルなどキーボード以外の文字入力デバイスが普及してきたこと、予測入力や補間入力などソフト面でも従来のキーボードに頼らない入力技術が開発されてきたこ

¹⁾ 本論文は平成 18 年度から平成 20 年度に行われたアルプス電気(株)による委託研究「入力機器の操作性に関する研究」(研究代表者: いわき明星大学理工学部システムデザイン工学科教授・清水信行, 研究協力者: いわき明星大学人文学部心理学科准教授・富田 新, 同学科准教授・大原貴弘, 同大学機械工学科 東 哲也(所属・職位はいずれも当時))の成果に基づいている。

²⁾ 本論の内容は日本応用心理学会第 78 回大会(2011: 信州大学)の発表報告に基づいている。

* いわき明星大学人文学部心理学科

Department of Psychology, College of Humanities, Iwaki Meisei University, 5-5-1 Chuodai Iino, Iwaki, Fukushima 970-8551, Japan

e-mail: arata@iwakimu.ac.jp

と、キーボードはすでに成熟部品の1つであり開発・改良の余地に乏しいと考えられていること、などがその理由として挙げられる。

しかし、キーボードに勝る文字入力デバイスはまだ見当たらず、人間工学的見地からもキーボードの改良の余地はまだ残されていると言える。また、指の複雑かつ高速な運動によって実現されるキーボードの打鍵操作は、人間の“感覚-運動制御”や“運動学習”を研究していくうえで魅力的な題材でもある。

キーボードのユーザビリティに関して今後検証が必要な問題としては以下のようなものが挙げられる。

- (1) キーボードのユーザビリティに関わるユーザの心理的要因の検討(石郷岡・田垣, 1989; 渡辺・芹澤, 1994; 小坂・渡辺・永岡, 1995)
- (2) ユーザの属性(性別, 体格, 操作法など)の違いによるユーザビリティ評価の違いの検討
- (3) キーボードのユーザビリティに影響を与えるキースイッチの物理的特性の検討(中迫, 1986; 石郷岡・田垣, 1989; 渡辺・芹澤, 1994; 小坂・渡辺・永岡, 1995)
- (4) 運動生理学的特性(姿勢, 筋骨格系の動き等)にマッチしたキーボードの設計と改良に関する検討(中迫, 1986; Rempal, Serina, & Klinenberg, 1997; Nelson, Treaster, & Marras, 2000; Treaster & Marras, 2000)
- (5) キー操作の運動制御モデルの呈示と検証(Rabin & Gordon, 2004)

本論では、(1)および(2)の問題について検討した。

スイッチのユーザビリティについて調べた先行研究としては、石郷岡・田垣(1989)がある。彼らは、人の感性にマッチしたスイッチを開発することを目的とし、自動車に搭載された5種類のスイッチを用いて、SD法(Semantic Differential Method)による操作フィーリングの分析を行った。因子分析の結果、スイッチの操作フィーリングの評価軸として「重さ・手応え感」、「滑らかさ」、「スムーズ感」、「歯切れ感」、「つまり感」、「粘り感」を抽出した。このうちの「滑らかさ」が、操作フィーリングを高めるうえで大きく寄与していることを見出した。ただし、彼らが問題としたスイッチはPCキーボードのキー

スイッチではなく、自動車に搭載されるロックスイッチやプッシュロックスイッチであった。

PCキーボードのキースイッチを用いた同様の研究としては、渡辺・芹澤(1994)と小坂・渡辺・永岡(1995)がある。渡辺・芹澤(1994)は、キーボードのキースイッチの操作感を評価するため、155個の形容詞から15個を選び出し、順位法によるアンケート調査を行った。フリードマン検定の結果、キースイッチのユーザビリティを評価する12個の形容詞を得た。クラスタ分析の結果から、“音”に関するクラスタ、“なめらかさ”に関するクラスタ、“深さやクリック感、底付き感等”のクラスタが得られ、“固さ”はいずれのクラスタからも独立していた。また、小坂他(1995)は、作動圧特性を任意に操作できるユニバーサルスイッチを開発し、作動圧特性を一定の範囲内で変化させ、キースイッチの作動圧特性が操作フィーリングにどのように影響しているかを組織的に調べた。その結果、キースイッチの操作感に関わる因子として2因子を抽出した。第1因子は、「固い」、「確認感がある」、「なめらか」、「クリック感がある」の形容詞対と関係が深く、第2因子は「底付き感がある」と関係が深かった。

以上のように、キーボードのキースイッチのユーザビリティ評価について調べた研究は幾つかあるが、抽出された因子にはばらつきがあり、因子数もそれほど多くない。これらの因子のみで、キーボードのキースイッチの操作フィーリングの全てを把握できているかどうかは定かではない。石郷岡・田垣(1989)も述べているように、操作フィーリングに及ぼす要因(因子)は、まだ他にも存在している可能性がある。

また、キースイッチのユーザビリティを考えるうえで重要な問題の1つに、“タイピング(打鍵)法”の問題がある。タイピング法は、各ユーザがキーボード操作に習熟してゆく過程で獲得してゆくものであるが、個人差が極めて大きい。指使いや押圧の違いは歴然としている。このようなタイピング法の違いにより、キーボードのユーザビリティ評価が異なってくる可能性は当然考えられる。しかし、これまで行われた研究では、タイピング法の違いはほとんど考慮されてこなかった。本論では、タイピング法の違いの一例としてタッチタイピングを取り上げる。タッチタイピングができるか否かがキーボード

のユーザビリティ評価にどのような影響を与えているか、について検証を行った。

調 査

目 的

本研究では以下の2つの問題について検証した。

(1) キーボードのキースイッチのユーザビリティ(とりわけ押し心地)を規定している心理的要因の抽出

キーボードのキースイッチを操作するとき、ユーザは押し心地について何らかの評価を行っている(例えば、“押し心地が良くない”とか、“押しやすい”など)。喚起される印象はその都度様々であろうが、それらは主観的かつ総合的な印象として意識化されていると考えられる。(1)では、評価言葉による質問紙を作成し、その分析結果から、キースイッチの押し心地評価においてユーザがどのような評価軸(因子)を用いているかを調べた。

(2) タッチタイピングによる打鍵法の違いがもたらすキースイッチの押し心地評価の違いについての検証

タッチタイピングができるか否かによって参加者をノービス(Novices)とエキスパート(Experts)の2群に分け、押し心地評価の結果の相違から、2群の判別が可能かどうかを検証した。もし判別が可能であるとすれば、どの項目の組み合わせによってそれが可能になるかを調べた。

方 法

質問紙 実験に先立ち、キーボードのキースイッチの押し心地を評価するための質問紙を作成した。質問紙の作成手順は以下の通りであった。まず先行研究(石郷岡・田垣(1989),小坂他(1995))やブレインストーミングの結果を参考に、キースイッチの押し心地を評価する評価言葉をできるだけ多く収集した。次に、収集した評価言葉から冗長なものは除き、項目を絞り込み、質問紙を設計した。質問紙は26項目の形容詞対から成る。その内訳は、タクトイル(主に指先で感知される蝕知的)な押し心地に関する質問項目17項目、操作音に関する質問項目6項目(問20~問25)、総合的な評価に関する質問項目3項目(問11,問18,問26)であった(Table 1)。

装置 アルプス電気(株)より、キースイッチの作動特性の異なる6台の市販ノートPCが貸与された(PC1~PC6)。練習用に別の市販ノートPC1台(PC0)が加えられ、合計7台のノートPCが実験に用いら

Table 1 キーボードのキースイッチのユーザビリティ評価に用いられた26項目

評定値	5.....1
問1	押し始めがスムーズ-押し始めがスムーズでない
問2	キーが軽い-キーが重い
問3	なめらか-ぎこちない
問4	キーが深い-キーが浅い
問5	クリック感がある-クリック感がない
問6	キーが固い-キーが柔らかい
問7	キーが厚い-キーが薄い
問8	底付き感がある-底付き感がない
問9	確認感がある-確認感がない
問10	反発性がある-反発性がない
問11	高級感がある-高級感がない
問12	操作感が良い-操作感が悪い
問13	弾力がある-弾力がない
問14	キーに高さがある-キーに高さがない
問15	指にフィットする-指にフィットしない
問16	楽(押しやすさ)-楽ではない
問17	疲れる-疲れにくい
問18	飽きがくる-飽きがこない
問19	どこを押しても引っ どころを押しても引っ かりがなく確実に-かかりがなく確実に ONする ONしない
問20	高い音がる-低い音がる
問21	大きい音がる-小さい音がる
問22	固い音がる-柔らかい音がる
問23	鈍い音がる-鋭い音がる
問24	クリック音がる-クリック音がない
問25	耳障りな音がる-耳障りな音がない
問26	好き-嫌い

れた。貸与された6台のPCのキーの作動圧がアルプス電気(株)によって測定された。作動圧曲線のプロフィールを決める主要なパラメータをFigure 1に示す。また、PC1~PC6の作動圧曲線をFigure 2に示す。Figure 2は、各PCのキーボード上のキー(スペースキーやenterキーを除いた特殊キー以外のキー)の作動圧をそれぞれ30回測定し、その平均値に基づき得られたものである(ただし、練習用のPC0の作動圧は測定されなかった)。作動圧曲線の特性を示す物理的パラメータは、(a)初圧、(b)終圧、(c)最大荷重、(d)復帰荷重、(e)ドロップ荷重、(f)最大荷重時変位、(g)復帰荷重時変位、(h)電気的ON点位置等、全部で16のパラメータであった(Table 2にはその一部が示されている)。Figure 2, Table 2からもわかるように、作動圧曲線のプロフィールはPCごとに異なっていた。これら作動圧曲線のプロフィールの相違が各キーボードのキース

イッチの操作感に影響していると考えられる。

手続き 参加者はまず、練習用 PC(PC0) について評価を行う。PC0 の評価は、参加者が評価手続きに慣れるためと、日常使用している PC の影響をなるべく小さくするため、また、評価のペースラインとなる感覚を形成するために導入された。会議室に事務用長机と、高さが調節できる事務用椅子とが用意された。参加者は、普段 PC を操作している状態 (PC が最も操作しやすいと感じる状態) になるべく近くになるように、椅子の高さや PC の位置を調節

した。その後、ワープロ検定で使用された 3 つの文章 (「私は、バニラ味のパンが大好きです。」、「今日の天気は、午後から絶対に晴れます。」、「ポプラ並木の道をスキップしましょう。」: 用紙に書かれた文章を提示) をできるだけ速く正確に打ち込むように教示された。打ち込みの時間や誤入力数等は測定されなかった。文章入力に使用されたソフトウェアは Windows に標準装備されたワードパッドであった。同じソフトウェアを使用することにより、文字入力時の操作性の違いができるだけ小さくなるよう配慮した。参加者はフェイスシートに回答した後、質問紙の評定項目 (26 項目) に回答し PC0 の操作性を評価した (SD 法による 5 段階評定)。フェイスシートでは、参加者の性別や年齢、パソコンの使用歴や 1 日当たりの使用時間等が尋ねられた。回答のペースは自由とした。また、評価の際は、随時キーボードに触れてキースwitchの操作を行ってもよいこととした。同様の手続きを 6 台の PC1~PC6 について繰り返し、操作性評価を行った。各キーボード評価の相互影響をできるだけ排除するために 6 台の PC の評価順序は参加者ごとにランダム化された。全ての PC の評価に要した時間は 30 分~1 時間程度で

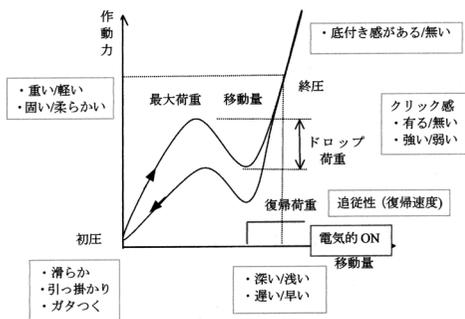


Figure 1 作動圧曲線の物理的パラメータと操作性の関係

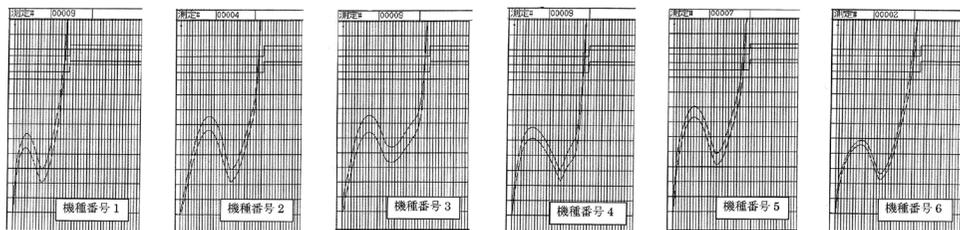


Figure 2 調査で使用された 6 台の PC の作動圧曲線

Table 2 作動圧曲線の特性を示す物理パラメータの一部

PC	(a) 初圧 (gf)	(b) 終圧 (gf)	(c) 最大荷重 (gf)	(d) 復帰荷重 (gf)	(e) ドロップ荷重 (gf)	(f) 最大荷重時変位 (mm)	(g) 復帰荷重時変位 (mm)	(h) 電氣的 ON 点位置 (mm)
1	0.80	108.04	54.02	21.02	23.95	0.46	0.98	0.98
2	0.64	131.68	65.84	22.05	35.52	1.01	1.82	1.81
3	0.77	131.50	65.75	33.86	21.43	0.92	1.67	1.68
4	0.91	118.14	59.07	23.68	28.43	0.66	1.68	1.66
5	0.91	142.10	71.05	31.80	31.78	0.71	1.49	1.50
6	0.67	98.54	49.27	23.25	22.16	0.87	1.52	1.50
Mean	0.78	121.67	60.83	25.94	27.21	0.77	1.53	1.52
SD	0.10	14.99	7.49	4.98	5.18	0.18	0.27	0.27

あった。

参加者 75名の参加者が調査に参加した。40名がノービス（男性27名（平均20.7歳，SD1.0），女性13名（平均20.6歳，SD1.0）：年齢19～23歳（平均20.7歳）：PC使用歴2カ月～7年（平均2.7年，SD1.7）：平均使用時間2.4時間/日（SD1.7）：使用機種はノートPC9，デスクPC23，両方8），35名がエキスパート（男性17名（平均29.4歳，SD10.2），女性18名（平均26.2歳，SD8.0）：年齢17～51歳（平均27.7歳）：PC使用歴半年～20年（平均4.4年，SD4.9）：平均使用時間4.8時間/日（SD3.0）：使用機種はノートPC14，デスクPC14，両方7）であった。ノービスとエキスパートの区別の基準は，タッチタイピングができるか否か（手元を見ずにキー入力できるか否か）であった。指の使い方の詳細は確認しておらず，ノービスとエキスパートの群分けの基準が曖昧であったことは否めない。t検定の結果，参加者の3つの属性（年齢，PC使用歴，平均使用時間）で有意な群間差が認められた（年齢 $t(73)=4.85, p<.01$ ；PC使用歴 $t(73)=2.12, p<.05$ ；平均使用時間 $t(73)=4.32, p<.01$ ）。

結果

(1) キースイッチの押し心地評価の評価軸（因子）の抽出 6台のノートPCについて各26項目，75人分（ノービス40名，エキスパート35名）のデータが得られた。

まず，各群（ノービス，エキスパート）の各PCの評定データ（タクタイルな押し心地に関する評定項目17項目）を用いて因子分析を行った。本研究の主要な目的が，キースイッチのタクタイルな押し心地を規定する因子の抽出に置かれていたため，操作音に関する6項目と総合的操作性に関する3項目は分析から除外された。因子分析の目的は，キースイッチの“押し心地”の評価軸（因子）を抽出することと，抽出された因子の構造がノービスとエキスパートでどのように異なるかを見ることであった。

タクタイルな押し心地に関する評定項目17項目を用いて，参加者群・PCごとに因子分析を行い，キースイッチの押し心地を規定していると考えられる評価軸（因子）の抽出を試みた。因子分析の方法は，重みなし最小二乗法，バリマックス回転であった。いずれの因子分析でも因子数を4と定めた。項目の削除等は行わなかった。分析の方針は，何パ

ターンかの因子分析を事前に行い，解の収束性，スクリープロット，解釈可能性等を考慮して定めたものである。同じ分析法を適用することにより，因子構造の比較がしやすくなるように配慮した。全ての因子分析の結果を示すことはできないので，ノービスのPC1に対する因子分析結果のみをTable3に示す。

4個の因子が抽出された。Table3には，回転後の因子，各項目の因子負荷量，各因子の寄与率，累積寄与率が示されている。4因子の累積寄与率は58.78%であった。

今回使用したバリマックス解は直交解なので，各項目の因子負荷量は各項目と各因子の相関係数となっている。Table3から，第1因子は，問16（楽），問1（押し始めがスムーズ），問3（なめらか），問2（キーが軽い），問12（操作感が良い），問19（どこを押しても引っかかりなく確実にONする）と比較的高い正の相関をもち，問6（キーが固い），問17（疲れる）と負の相関をもつ因子であることがわかる。このことから第1因子は“スムーズ感”（押し始めがスムーズ，なめらか，キーが軽い，どこを押しても引っかかりなく確実にONする，キーが柔らかい）と，キースイッチの総合的な“操作感”（楽，操作感が良い，疲れない）が複合した因子（“スムーズ感+操作感”）であると解釈された。第1因子を複合因子として解釈した理由は，他の群・PCの因子分析において，“スムーズ感”と“操作感”が独立した因子として抽出されたことに基づいている（Table4）。こういった複合因子は石郷岡・田垣（1989）においても抽出されている。第2因子はキーの厚さや深さ，高さに関連が深く，第3因子はキー押しの際の確認感，クリック感，底付き感と関連が深かった。また，第4因子は弾力や反発性と関連が深かった。このことから，それぞれ，“ストローク感”，“クリック感”，“弾力感”と解釈された（Table3）。

同様に各群，各PCの因子分析を行い，因子解を確定したうえで，因子の解釈を行った。抽出された因子はそれぞれTable4のようになった。PCごと，ノービス・エキスパートごとに別々の因子分析を行ったため，分析ごとに異なる因子構造が得られた（Table4）。6台の平均値を用いた因子分析は行わなかった。PCごとに，ノービス・エキスパートの押し心地評価の因子構造の違いを抽出することを意図

Table 3 ノービス・PC1 の回転後の因子分析結果

押し心地評価に用いた 17 の質問項目 (5-1)	第 1 因子 スムーズ感 + 操作感	第 2 因子 ストローク感	第 3 因子 クリック感	第 4 因子 弾力感
問 16 楽 (押しやすさ)-楽ではない	0.863			
問 1 押し始めがスムーズ-押し始めがスムーズでない	0.863			
問 3 なめらか-ぎこちない	0.801			
問 2 キーが軽い-キーが重い	0.790			
問 12 操作感が良い-操作感が悪い	0.722		0.491	
問 19 どこを押しても引っかかりがなく確実に ON する- どこを押しても引っかかりがなく確実に ON しない	0.565			
問 6 キーが固い-キーが柔らかい	-0.550			
問 17 疲れる-疲れしない	-0.497		-0.389	
問 7 キーが厚い-キーが薄い		0.775		
問 4 キーが深い-キーが浅い		0.762		
問 14 キーに高さがある-キーに高さが無い		0.722		
問 9 確認感がある-確認感がない			0.819	
問 5 クリック感がある-クリック感がない			0.682	
問 8 底付き感がある-底付き感がない			0.522	
問 13 弾力がある-弾力がない				0.974
問 10 反発性がある-反発性がない		0.363		0.424
問 15 指にフィットする-指にフィットしない				
各因子の寄与 (寄与率)	4.38 (25.79%)	2.09 (12.28%)	2.04 (12.01%)	1.43 (8.70%)
累積寄与率	25.79%	38.08%	50.08%	58.78%

0.35 未満の因子負荷量は表記されていない。

Table 4 各群・各パソコンで抽出された因子とその解釈

ノービス (40 人) の各 PC の因子分析で抽出された因子				
	第 1 因子	第 2 因子	第 3 因子	第 4 因子
PC1	スムーズ感+操作感 (25.8)	ストローク感 (12.3)	クリック感 (12.0)	弾力感 (8.7)
PC2	スムーズ感+操作感 (26.8)	クリック感 (16.7)	ストローク感 (16.4)	弾力感 (6.6)
PC3	クリック感+操作感 (18.9)	ストローク感 (17.2)	スムーズ感 (13.5)	— (12.9)
PC4	ストローク感 (21.1)	クリック感+操作感 (16.4)	スムーズ感 (11.9)	弾力感 (9.9)
PC5	クリック感+弾力感 (17.0)	操作感 (15.9)	ストローク感 (15.7)	スムーズ感 (13.8)
PC6	ストローク感+クリック感 (18.3)	操作感 (15.5)	スムーズ感 (13.6)	弾力感 (13.1)
エキスパート (35 人) の各 PC の因子分析で抽出された因子				
	第 1 因子	第 2 因子	第 3 因子	第 4 因子
PC1	操作感 (18.5)	ストローク感+弾力感 (13.6)	クリック感 (12.0)	スムーズ感 (10.7)
PC2	操作感 (22.4)	クリック感+弾力感 (16.5)	スムーズ感 (14.3)	ストローク感 (12.4)
PC3	クリック感+操作感 (27.1)	クリック感+弾力感 (16.5)	ストローク感 (16.2)	— (6.3)
PC4	操作感 (21.1)	スムーズ感 (15.1)	クリック感 (12.4)	ストローク感 (11.2)
PC5	スムーズ感+操作感 (29.7)	ストローク感 (13.5)	クリック感 (13.0)	弾力感 (10.8)
PC6	ストローク感+弾力感 (25.2)	スムーズ感+操作感 (24.2)	クリック感 (10.2)	— (8.3)

—は解釈が難しく、解釈が保留となった因子である。()の数値は各因子の寄与率 (%)

したためである。分析ごとに抽出された因子構造は異なっており、参加者群・PCごとに押し心地評価の構造が異なっていたという可能性が示唆された。

因子分析結果から、以下の傾向が明らかになった。

① Table 4 の 12 の因子分析の結果から、キーサイトの押し心地評価の主要因子は以下の 5 因子であった。

i. スムーズ感: 押し始めがスムーズ (問 1), 軽い

(問2), なめらか(問3)等の項目と正の相関が高い。ii. ストローク感: キーが深い(問4), キーが厚い(問7), キーに高さがある(問14)等の項目と正の相関が高い。iii. クリック感: クリック感がある(問5), 底付き感がある(問8), 確認感がある(問9), どこを押しても引っかかりがなく確実にONする(問19)等の項目と正の相関が高い。iv. 弾力感: 反発性がある(問10), 弾力がある(問13)等の項目と正の相関が高い。v. 操作感: 操作感が良い(問12), 指にフィットする(問15), 楽(問16)等の項目と正の相関が高く, キーが固い(問6), 疲れる(問17)等の項目と負の相関が高い。

これらの5因子は12の因子分析結果を総合的に解釈して初めて明らかになったものである。5因子が必ず抽出されるというものではなかった。しかし, 複数の因子分析で, これらの因子が比較的安定して抽出されていたことから, これらの5因子をキースイッチの押し心地を規定する基本的評価次元であると解釈した。5因子はそれぞれ独立に抽出される場合もあるが, 互いに絡まり合った複合因子として抽出される場合もあった。特に“操作感”は, 他の因子を構成する項目と結びつきやすく, 異なった複合因子を構成しやすかった。“スムーズ感”に関連した項目と結びつくことが多かったが, “クリック感”に関連した項目と結びつくこともあった。

② 各因子と因子負荷量の高い項目を見ることによって, 評定項目どうしの関連性についても, 間接的にはあるが推察することができる。例えば, Table 3の第1因子から, ノービス群で“スムーズ感”が高いと評価されるキースイッチは, なめらかで軽く, 楽, 操作感が良い, 固くない, 疲れにくい, と評価されるキースイッチであることが示唆される。他の因子分析の因子構造からも, 同様な評定項目間の関連性を読み取ることができる。

③ 個々の因子分析で得られた因子構造は異なっていたため, ノービスとエキスパートのユーザビリティ評価にどのような違いがあるのか, 因子分析からだけでは判断としないが, 少なくともTable 4からは次のような傾向が読み取れる。エキスパートにおいては“操作感”に関する因子が第1因子(最も寄与の大きい因子)として独立に抽出される傾向が見られた。それに対し, ノービスでは, “操作感”

因子は抽出されているものの, エキスパートほど上位の因子としては抽出されていない。またノービスにおいては, “操作感”因子は単独因子としてではなく, 複合因子として抽出される傾向が見られた。“操作感”因子は, “クリック感”や“ストローク感”といったキースイッチの要素的印象に基づくものではなく, 楽であるとか, 指にフィットする, 疲れにくいといった, キーの押し心地の総合印象を反映すると解釈された因子である。このことを考慮すると, エキスパートはノービスに比べて, キースイッチの要素的特性(“クリック感”, “ストローク感”, “スムーズ感”, “弾力感”)よりもむしろ, キーの総合的な押し心地印象(“操作感”)に基づき評価を行っていた可能性が高い。

(2) タッチタイピングができるか否かによるキースイッチの押し心地評価の相違の検証

① ノービスとエキスパートの2群の押し心地評価の評定平均値の比較(t 検定)

ノービス, エキスパート両群の評定平均値に差が見られるかどうかを t 検定(両側検定)によって検定した。 t 検定は(1)の因子分析で抽出された5因子について行われた。まず, 5つの因子に因子負荷量の高かった項目ごとに, 6台のPCの評定平均値を算出し t 検定を行った。次に, 各因子に因子負荷量の高かった項目をまとめて, 因子ごとに評定平均値(以下因子平均値と呼ぶ)を算出し, 同様の t 検定を行った。その結果をTable 5に示す。

t 検定の結果から, ノービスとエキスパートのキースイッチの押し心地評価には以下のような違いが見られたことが明らかとなった。まず, “ストローク感”ではエキスパートの因子平均値が高く, “クリック感”と“操作感”でノービスの因子平均値が高いことがわかった。“スムーズ感”と“弾力感”に群間差は見られなかった。評定項目別に見ると, エキスパートが高く評定していた項目は, キーが深い(問4), キーが厚い(問7), キーに高さがある(問14)(いずれも“ストローク感”), キーが固い(*) (問6: 逆転項目のため柔らかいに相当) (“操作感”)であった。なめらか(問3) (“スムーズ感”), 底付き感がある(問8), 確認感がある(問9), どこを押しても引っかかりがなく確実にONする(問19)(いずれも“クリック感”), 操作感が良い(問12), 指にフィットする(問15), 楽(問

Table 5 ノービス群とエキスパート群の因子別の評定平均値の相違（*）は逆転項目：評定値を補正済

	スムーズ感				因子平均値	
	スムーズ	軽い	なめらか			
エキスパート	3.43	3.74	3.06		3.41	
ノービス	3.63	3.73	3.88		3.74	
t 値	t = -.69	t = .06	t = -3.11**		t = -1.39	
	ストローク感			因子平均値		
	深い	厚い	高さがある			
エキスパート	3.09	3.03	3.26	3.12		
ノービス	1.40	1.60	1.63	1.54		
t 値	t = 7.64**	t = 5.73**	t = 7.00**	t = 7.67**		
	クリック感					
	クリック感	底付き感	確認感	確実に ON	因子平均値	
エキスパート	3.03	2.94	2.66	3.14	2.94	
ノービス	3.15	3.45	3.10	3.65	3.34	
t 値	t = -.39	t = -1.74 [†]	t = -1.73 [†]	t = -1.88 [†]	t = -2.07*	
	弾力感			因子平均値		
	反発性	弾力				
エキスパート	2.77	2.86		2.81		
ノービス	2.58	2.70		2.64		
t 値	t = .82	t = .57		t = .76		
	操作感					
	操作感良い	フィットする	楽	固い (*)	疲れる (*)	因子平均値
エキスパート	2.20	2.34	2.71	3.43	2.77	2.69
ノービス	3.23	3.08	3.35	2.88	3.25	3.16
t 値	t = -4.07**	t = -2.78**	t = -2.18*	t = 1.96 [†]	t = -1.67 [†]	t = -2.26*

いずれも $df=73$ 。* $p<.05$ ** $p<.01$ [†] $p<.10$

16)、疲れる (*) (問 17) (逆転項目のため疲れないに相当) (いずれも“操作感”) は、ノービスの方が高く評定していた。

これらの結果を総合すると、“ストローク感”やキーの柔らかさ (固さ *) に関しては、タッチタイピングができるエキスパートの方がより高い評定値を与えていたこと、また、キースイッチの“クリック感”と“操作感”に関しては、総じてノービスの方が高く評定していたことが示されたと言える。また、有意差は見られなかったものの、“弾力感”は、エキスパートの方がノービスよりも高く評定していた。

平均値の群間差については幾通りかの解釈が可能である。例えば、その操作性により敏感であったため、評定平均値が高くなった、という解釈が考えられる。例えば、タッチタイピングができるエキス

パートは、ノービスに比べて“ストローク感”をより敏感に感知していたため、評定平均値が高くなった、とする解釈がそれに当たる。一方、特定の操作性に敏感であることが厳しい評価につながり、評定平均値が低くなった、とする解釈も成り立つ。例えば、“操作感”については、エキスパートの方がノービスより敏感であり、ノービスよりも厳しい評価を行っていたため、評定平均値が低くなった、という解釈も可能である。さらに、その操作性をより重視していたため評定平均値が高くなった、という解釈もありうる。例えば、ノービスは“クリック感” (確認感、底付き感、確実に ON) をエキスパートよりも重要視していたため、評定平均値が高くなった、と解釈することもできる。平均値の差については、これらいずれの解釈も可能である。よって群間差の解釈に曖昧さが残ることは否めない。

PC ごとに、同様の t 検定を行ったところ、各 PC 単体では群間差が見られた評定項目はさほど多くなかった。このことから、1 台の PC に対するノービスとエキスパートの評価はそれ程違っていなかったが、各群・各 PC で評価傾向が一貫していたため、6 台の平均値を用いた分析では群間差をより明確に抽出できたものと考えられる。

② タクタイルな押し心地に関する 17 項目の評定平均値と因子分析で得られた 5 因子の因子平均値を説明変数、ノービスとエキスパートの群分けを目的変数とした判別分析

タクタイルな押し心地に関する 17 項目の評定平均値、因子分析で得られた 5 因子の因子平均値を説明変数、ノービスとエキスパートの群分けを目的変数とした判別分析を行った。判別分析の目的は、17 の評定項目や 5 つの因子平均値を組み合わせて、ノービス、エキスパートの有効な判別が行えるか否かを検証することであった。選択された変数(評定項目や因子)の組み合わせから、ノービスとエキスパートのキースイッチの押し心地評価の傾向の相違を考察することができる。ノービス、エキスパートごとに、17 項目それぞれについて 6 台の PC の評定平均値が算出され、1 つめの説明変数群が構成された。また、(1) で抽出された因子に因子負荷量の高かった項目をまとめて、各因子の因子平均値を算出し、いま 1 つの説明変数群が構成された。いずれの判別分析にもステップワイズ法が適用された。ステップワイズ法の変数投入、及び変数除去の確率的基準は $p < .05$ と $p < .10$ であった。これらの基準は、統計ソフト SPSS 12.0J におけるデフォルトの基準である。ステップワイズ法を適用することで、比較的少数の変数から構成され、かつ判別効率もある程度高い線形判別関数の導出が試みられた。

判別分析を行った結果、以下の 2 つの判別関数が得られた。

・タクタイルな押し心地に関する評定項目を説明変数とした判別関数

判別得点 (Y) = 0.511 (キーが軽い) + 0.979 (キーが深い) - 0.649 (操作感が良い) + 0.374 (キーが固い (逆)) 式 (1)

(Wilks $\Lambda = .381, \chi^2(4) = 68.46, p < .001$)

・5 つの因子の因子平均値を説明変数とした判別関数

判別得点 (Y) = 1.22 (ストローク感) - 0.62 (弾力感) 式 (2)

(Wilks $\Lambda = .480, \chi^2(2) = 52.90, p < .001$)

式 (1), (2) に示された各変数の係数は標準化された正準判別係数である。2 つの正準判別関数の有意性検定 (Wilks のラムダの χ^2 検定) はいずれも 1% 水準で有意であった。よって、得られた 2 つの判別関数は判別に有効であったと判断できる。判別分析では、算出された判別得点の正負により、参加者をノービスもしくはエキスパートのいずれかに判別することになる。上の 2 つの判別関数では、判別得点が正ならエキスパート、負ならノービスと判別されることが確認された。このことから判別係数の解釈は以下になる。まず式 (1) より、キーが軽い (問 2)、キーが深い (問 4)、キーが固い (逆転項目のためキーが柔らかいに相当: 問 6) に高い評定値を与えた参加者は、エキスパートとして判別されやすい。これに対し、操作感が良い (問 12) を高く評定した参加者はノービスとして判別されやすい。また、式 (2) より、“ストローク感”の因子平均値が高いほど、エキスパートとして判別されやすい。これに対し、“弾力感” (問 10 反発性がある、問 13 弾力がある) の因子平均値が高いほど、ノービスとして判別されやすい。

判別係数は、一部の変数を除き、 t 検定の結果 (Table 5) と矛盾していなかった。すなわち、エキスパートは、キースイッチの“ストローク感”や柔らかさ (固さの逆転項目) を高く評価し、“操作感”を低く評価する傾向があることが、判別関数からも確認された。他方、式 (1) からは、先の t 検定 (Table 5) で群間差が見られなかった「キーが軽い」 (問 2) の評定値が高いほど、エキスパートに判別されやすいことが示唆された。また、式 (2) からは、“弾力感”の因子平均値が高いほど、ノービスとして判別されやすいことが示唆された。これらの傾向は先の t 検定の結果 (Table 5) とは一致しない。特に後者については多重共線性が生じている可能性も捨て切れない³⁾。

³⁾ (2) の判別分析では、すべての因子平均値を投入した後、ステップワイズ法による変数選択が行われた。因子平均値の内部相関を調べたところ、10 組の因子平均値の組み合わせのうち、6 組で有意な相関が見られた。

Table 6 式(1)を用いたノービスとエキスパートの判別分析の結果

		判別関数による予測		合計
		ノービス	エキスパート	
元データ	ノービス (40)	35(87.5%)	5(12.5%)	40(100%)
	エキスパート (35)	6(17.1%)	29(82.9%)	35(100%)
全体の正判別率は 85.3%				

Table 7 式(2)を用いたノービスとエキスパートの判別分析の結果

		判別関数による予測		合計
		ノービス	エキスパート	
元データ	ノービス (40)	35(87.5%)	5(12.5%)	40(100%)
	エキスパート (35)	8(22.9%)	27(77.1%)	35(100%)
全体の正判別率は 82.7%				

式(1)、式(2)の判別関数を適用して得られた判別の結果を Table 6, Table 7 に示す。

判別分析の結果をまとめると以下ようになる。

- いずれの分析においても、比較的判別効率の高い判別関数が得られた（正判別率は、それぞれ 85.3%, 82.7%）。このことはノービスとエキスパートのキースイッチに対する操作性評価が異なっており、幾つかの評定項目や因子を組み合わせることで、比較的効率の高いノービスとエキスパートの判別が行えることを示唆している。
- 2つの判別関数に組み込まれた評定項目や因子平均値の組み合わせから、ノービスとエキスパートの操作性評価には次のような違いが見られることが明らかとなった。すなわち、エキスパートは、ノービスに比べ、キースイッチの“ストローク感”や柔らかさ（固さ（*）の逆）を高く評価し“操作感”を低く評価する。

考 察

(1) キースイッチの押し心地評価の評価軸（因子）について

キースイッチの押し心地評価について、12の因子分析結果を総合的に解釈したところ、以下の5つの独立した評価軸（因子）が得られた。i. “スムーズ感”, ii. “ストローク感”, iii. “クリック感”, iv. “弾力感”, v. “操作感”。これらの5因子が、参加者群やPCの違いによらず比較的安定して抽出されていることから、これらの5因子を、ユーザがキースイッチの押し心地を評価する際に用いている

基本的評価軸と見なしてよいものと思われる。ただし、参加者群やPCによって、抽出された因子構造が必ずしも同じではないこと、複合因子がしばしば抽出されていたことから、これらの5つの評価軸が常に使用されているわけではないという点には注意が必要である。これらの5因子は、石郷岡・田垣(1989)の「重さ・手応え感」、「滑らかさ」、「スムーズ感」、「歯切れ感」、「つまり感」、「粘り感」（これらの因子は自動車のロックスイッチ等の評価から得られたもの）、渡辺・芹澤(1994)の「なめらかさ」、「深さやクリック感、底付き感等」、「固さ」と大きく矛盾するものとはなっていない。むしろ、先行研究で、「歯切れ感」、「つまり感」、「粘り感」、「深さやクリック感、底付き感等」、「固さ」など、名称がやや抽象的であいまだった因子が、より明確に、独立した形で抽出されたと言えるのではないだろうか。

ノービスとエキスパートのユーザビリティ評価の相違を見るうえで注目すべき因子は“弾力感”と“操作感”である。“弾力感”は、ノービスでは寄与の低い因子として抽出されていたのに対し、エキスパートでは比較的寄与の高い因子（ただし多くは複合因子）として抽出されていた（Table 4）。また、ノービスにおいて他の因子と複合しやすかった“操作感”が、エキスパートでは第1因子として独立に抽出されることが多かった。このことはタッチタイピングを行うエキスパートが、キースイッチの“弾力感”に対してより敏感であり、また、キースイッチの要素的印象（“スムーズ感”、“クリック感”、

“ストローク感”，“弾力感”）よりも，総合的な印象に基づき，押し心地評価を行っている可能性を示唆する。今後さらなる検証が必要であろう。

(2) ノービスとエキスパートのキースイッチの押し心地評価の相違について

t 検定と判別分析の結果から，ノービスとエキスパートのキースイッチの押し心地評価には以下の違いがあることが示された。“ストローク感”やキーの柔らかさ（固さ（*））に関しては，タッチタイピングができるエキスパートの方が高く評価する。また，キースイッチの“クリック感”や“操作感”に関しては，ノービスの方がより高く評価する。また，有意差は見られなかったものの，“弾力感”はエキスパートの方がより高く評価する。操作評価の違いが生じた原因の1つとして，タイピング法の違いは当然考えられよう。エキスパートが，キートップに指を置いたまま，キーを押し込むような指遣いをする人が多いのに対し，ノービスはより高い位置からキーを叩くような動作が多い。このようなタイピング法の違いが，キースイッチの評価に影響を及ぼしていた可能性は当然あるものと思われる。ただし，本調査では参加者のタイピング法の違いの詳細（指使いや押圧等）は測定されなかった。評定平均値の群間差については，操作性への敏感さ（センシティブティ），評価の厳格さ，操作性の重要視の程度など，多様な解釈が可能である。それゆえ，ノービスとエキスパートの間で何故このような群間差が生じるのかについては，現時点でその理由を明確に述べることはできない。また， t 検定や判別分析は，6台のPCの平均値を用いて行われており，各PCのキースイッチの作動圧曲線の違いが，押し心地評価にどのような影響を及ぼしているのかについては明らかになっていない。タイピング法やキー

スイッチの物理特性の違いがキースイッチの操作性評価にどのような影響を及ぼすのか。この問題をより詳細に調べるためには，今回用いた手法とは異なる分析（例えば，キースイッチの物理パラメータを説明変数，各項目評定値を目的変数とした重回帰分析等）を行う必要がある。これらの点については今後の課題としたい。

引用文献

- 石郷岡喜代春・田垣俊夫 1989 スイッチの操作感分析 日産技法, 26, 107-113.
- 小坂洋明・渡辺嘉二郎・永岡秀一 1995 キーボードスイッチ作動力の感性評価 計測自動制御学会論文集, 31, 1880-1888.
- 中迫 勝 1986 キーボードの人間工学的設計 人間工学, 22, 53-61.
- Nelson J. E., Treaster D. E., & Marras W. S. 2000 Finger motion, wrist motion and tendon travel as a function of keyboard angles, *Clinical Biomechanics*, 15, 489-498.
- Rabin E., & Gordon, A. M. 2004 Tactile feedback contributes to consistency of finger movements during typing, *Experimental Brain Research*, 155, 362-369.
- Rempal D., Serina E., & Klinenberg E. 1997 The effect of keyboard keyswitch make force on applied force and finger flexor muscle activity. *Ergonomics*, 40, 800-808.
- 塩澤秀和 2002 入力インタフェース（第3章）岡田謙一・西田正吾・葛岡英明・中谷美江・塩澤秀和共著 IT text ヒューマンコンピュータインタラクション サイエンス社 pp. 53-78.
- Treaster D. E., & Marras W. S. 2000 An assessment of alternate keyboards using finger motion, wrist motion and tendon travel, *Clinical Biomechanics*, 15, 499-503.
- 渡辺嘉二郎・芹澤一雅 1994 感性データに基づくキーボードスイッチの選択と設計 計測自動制御学会論文集, 30, 208-215.

(受稿：2012.10.5; 受理：2015.5.7)