



## 技能獲得に及ぼすRRIの効果

堤, 教彰

芦高, 勇氣

小俵, 和樹

嶋田, 博行

---

### (Citation)

人間工学, 44(4):218-223

### (Issue Date)

2008-08-15

### (Resource Type)

journal article

### (Version)

Version of Record

### (URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90001363>



## 技能獲得に及ぼすRRIの効果\*

堤 教彰\*\*, 芦高勇氣\*\*\*, 小俣和樹\*\*\*, 嶋田博行\*\*\*

In this paper, we carried out a fundamental experiment to skill acquisition based on human factors. In recent years, many devices equipped with the interface that values the usability are developed. However, most of researches have addressed usability with specific hardware and software without sufficient investigation on human fundamental cognitive ability. We carried out an experiment on the effect of RRI (Response-Response Interval) on skill acquisition through reduction to simple conditions. Our results showed that people can produce higher frequency of correct responses and larger improvement over trials without RRI than with it. We found that the level of accuracy and improvement decreased as an inverse function of RRI.

本研究では、人間の認知特性に基づいた技能獲得に関する基礎実験を行った。近年、ユーザビリティを重視したインタフェースを搭載したデバイスが数多く開発されている。しかし、特定のハードウェアやソフトウェアについての使いやすさを言及した検討が多く、人間の認知特性に基づいた研究は十分に行われていない。

そこで、反応-反応間隔 (Response-Response Interval: RRI) が人間の技能獲得に及ぼす影響を検討する実験を単純な条件に還元し、行った。実験の結果、RRIの無い条件が最も正確性・改善量が大きくなり、一方で、RRIが大きくなるにつれて、正確性・改善量が共に小さくなることが分かった。

(キーワード：技能獲得, ヒューマンファクタ, Response-Response Interval (RRI), ユーザビリティ)

### 1. はじめに

近年、コンピュータの高性能化・小型化に伴い、携帯電話やPDAなどに代表されるモバイル機器が普及し、それらを用いるために必要となる入力デバイスにおいても多種多様なものが開発されている。また、ビジネスユーザーのみならず、ごく一般的な携帯ゲーム機などでもディスプレイに直接触れることで操作を行うタッチパネルやソフトウェアキーボードを搭載したり、文字入力用に片手操作用キーボードが利用されており、ハードウェアだけでなくソフトウェアでも同様に、さまざまなユーザインタフェースが考案されている。

一般的に、このような入力デバイスには「ユーザビリティが良い」ことが求められており、それらの多くで人間工学に基づいたデザインを採用している。

1998年、国際標準化機構により制定されたISO9241-11によるとユーザビリティは「ある製品が、指定された利

用者によって指定された状況下で、ある目標を達成するために用いられる際の有効さ (Effectiveness)、効率 (Efficiency) 及び満足度の度合い (Satisfaction)」と定義されている<sup>1)</sup>。

またニールセンの定義によると、学習しやすさ (Learnability)、効率性 (Efficiency)、記憶しやすさ (Memorability)、エラー (Errors)、主観的満足度 (Satisfaction) の5つの特性からなるとしている<sup>2)</sup>。

そして、1999年に国際規格化されたISO13407では、システムを利用する人間の視点で設計する必要があるとしている<sup>3)</sup>。なかでも人間の身体特性に合わせたデザインの研究は数多く行われており、実際に人間工学的デザイン (エルゴノミクスデザイン) として採用されている例もみられる<sup>4)</sup>。

しかし、これまでの報告では特定のデバイスにおける人間の運動特性を利用したユーザインタフェースの改善や、ユーザビリティ評価を対象としたものが多く、人間の認知特性に基づいたデバイス全般に適応可能な検討はあまり行われてこなかった。

一般に、どのような人間-機械系システムであっても、単一の操作で完了することは少なく、多くの場合、連続した操作を行う必要があり、それらの操作毎の時間間隔が大きくなると、操作を習得しにくかったり、その結果、

\*受付：2008年2月27日 受理：2008年7月15日

\*\* 神戸大学大学院自然科学研究科

Graduate School of Science and Technology, Kobe University

\*\*\* 神戸大学

Kobe University

重大な事故の原因となることがある。このような時間間隔は反応-反応間隔（Response-Response Interval：以下、RRI）と呼ばれ<sup>5)</sup>、人間-機械系におけるヒューマンファクタを考える上で重要な要素となっている。本論文ではヒューマンファクタは人間-機械系における人間の認知的特性と定義した。

そこで本研究は、技能獲得を指標としてRRIの効果について検討し、さらにそれらの結果から活用指針の検討を目的とする。

## 2. 関連研究

本研究は、技能獲得を指標としてRRIが及ぼす影響を検討することである。

モバイル端末のみならずさまざまなデバイスにおいて入力を補助するためのハードウェアデザインや、ソフトウェアのインタフェースの研究が数多く行われている<sup>6~10)</sup>。

ヒューマンファクタに基づく研究では加齢による影響を検討する研究<sup>11,12)</sup>や障害者についての研究<sup>13,14)</sup>、あるいは特定の環境における熟練者と非熟練者の比較研究<sup>15,16)</sup>が多く行われている。

そして、一般的な環境においての研究では、新規デバイスと既存のデバイスの比較検討を主とした研究が多く行われており、そのような環境においても人間の認知特性に基づいた研究はあまり行われていない。

人間の認知特性に基づいた研究としては、Miyawakiによって行われた顕在学習や潜在学習に及ぼす反応-刺激間隔（Response-Stimulus Interval：RSI）の効果についての研究があり、RSIが存在することにより学習に影響があることが知られている<sup>17)</sup>。

RSIでは刺激と反応を対象とするが、RRIでは反応と反応を対象としているため出力は異なる過程を経たものであり、技能の獲得に関しても異なる結果が得られると考えられる。

本論文で扱う範囲は、技能獲得を指標としたRRIの及ぼす効果と限定されたものになっているが、ハードウェアの改善やソフトウェアのインタフェースの改善といった特定のデバイスに依存しないヒューマンファクタの基本的な特性を検討することで、新たなデバイスの開発や応用場面におけるさらなる活用に役立つものになると考えている。

## 3. 実験

本研究の前提として、技能獲得に及ぼすRRIの効果を

検討するため、それ以外の要因をできる限り含まない条件を設定した。

入力デバイスに既存のキーボードなどの特定のデバイスを用いると、その使用経験が結果に影響を与えてしまう<sup>18)</sup>ため、入力デバイスを新規に作成した。また、入力デバイスは人間の運動特性に左右されず、反応時間を正確に取得できるものとした。

技能獲得の評価は、反応時間と、試行回数を重ねることによる改善量の2点を指標として評価した。実験場面は技能獲得を行う習得フェーズと、テストを行うテストフェーズの2つのフェーズから構成された。

従来のユーザビリティの評価指標ではefficiency, effectiveness, user's satisfactionが用いられるが、本研究では特定のデバイスの評価ではないため反応時間と改善量の2点を指標として評価した。

また、関連研究から、RSIの研究ではRSIを操作することで顕在学習及び潜在学習に影響があったため、本論文で対象としたRRIにおいても、RRIを操作することで技能獲得に何らかの影響があると考えられるため、以下の2つの仮説を導いた：

1. RRIが大きくなるほど、試行を繰り返しても反応時間及び改善性が悪い
2. 習得フェーズでのRRIが大きいほど、テストフェーズでの反応時間が悪い

これらの仮説を検証するために行った実験を以下に示す。

### 3-1. 実験方法

被験者は20代の大学生18名であり、実験場所は周囲の環境による影響を統制するために暗室にした防音室（ヤマハ アビテックス）で行った。実験者は実験装置の操作を行い、被験者の監視、実験の教示を行った。視覚刺激の提示、時間制御、及び被験者の反応時間測定は、

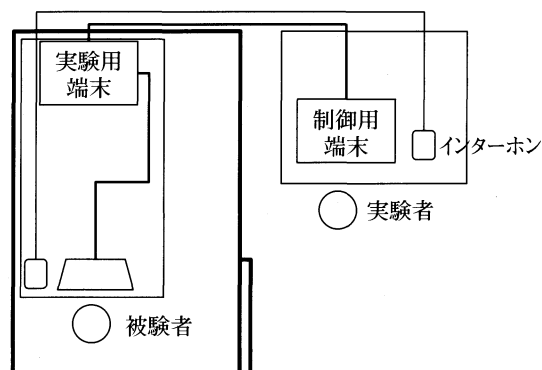


図1 実験装置

Fig. 1 Experimental apparatus

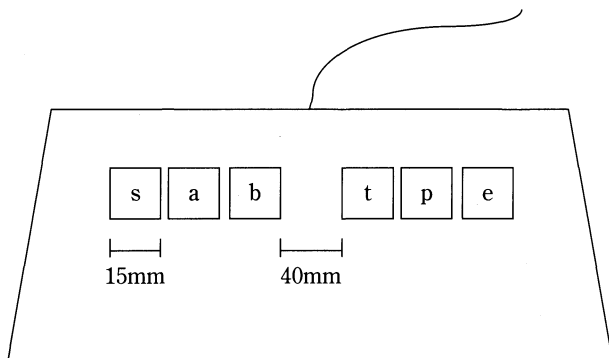


図2 入力デバイス  
Fig. 2 Input device

Psychology Software Tools, Inc.のE-Primeを用いた。実験装置、被験者、実験者を含めた全体図を図1に示す。入力用のキーボードは図2に示す。

入力に使用するキートップを残し、それ以外の使用しないキートップは全て除去した。またキートップは表示領域15 mm×15 mmで印字されていた。

### 3-2. 刺激

視覚刺激は、注視点、文字列、入力合図、誤反応時のフィードバックを用いた。背景は黒であり、注視点は表示領域15 mm×20 mmの白い「+」印をディスプレイの中央に表示した。また、文字刺激は「a」「b」「e」「s」「t」「p」の6種類の文字からなる4文字の文字列を使用し、1文字の表示領域は20 mm×30 mm、文字間隔は10 mmであり、文字列の視角は6.87°であった。

入力合図は表示領域20 mm×20 mmに収まる白色の円であり、誤反応時のフィードバックは表示領域38 mm×38 mmに収まる「×」印であり、ともにディスプレイの中央に表示した。

### 3-3. 実験条件

ここでRRIは図3に示すようにキー入力後、次の入力受付開始までの時間と定義した。

群間要因としてRRIを3条件設定し、被験者をそれぞれ6名ずつ割り当てた：

- 0 msec (間隔無し)
- 1000 msec
- 3000 msec

群内要因として課題条件を3条件設定した。課題の順番は被験者間でカウンターバランスした：

- A 4つのアルファベットから構成される既知の文字列を繰り返し提示

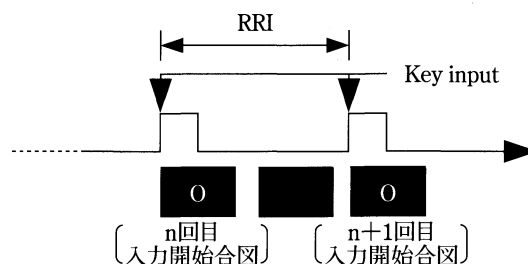


図3 RRIについて  
Fig. 3 About RRI

表1 使用した文字列

Tab. 1 A set of character strings used in the experiment

|   |      |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|------|
| A | tape | step | past | base | best |
| B | apte | pste | aspt | asbe | btes |
| C | apte | aspt | abse | aseb | atsp |
|   | aept | atep | atps | astp | atpe |
|   | apet | aseb | apet | bets | bsea |
|   | bset | besa | baes | btes | bste |
|   | bsae | estb | ebts | epta | eabs |
|   | etsb | epts | esab | estp | esba |
|   | eapt | ebsa | etbs | easb | etpa |
|   | etsp | pste | ptas | paet | pest |
|   | psta | peta | pate | ptsa | pats |
|   | peta | psat | pats | satp | spet |
|   | seba | stpe | stbe | spta | sabe |
|   | setp | seap | sbet | stpe | setb |
|   | spte | teps | teap | tseb | tsep |
|   | tpse | taps | tbes | tesp | tasp |
|   | taep | tspe | tsap | tbse | tebs |

- B 4つのアルファベットから構成され、条件Aと重複しない文字列を繰り返し提示

- C 4つのアルファベットから構成され、条件Aと重複しない文字列をランダムに提示

条件A、条件Bではキー入力の頻度が左右どちらかに極端に偏らないように設定した。また、条件Aで用いた既知の文字列は熟知性を考慮し中学1年程度で学習する単語とした。条件A、条件B、条件Cで使用した文字列を表1に示す。

被験者の反応はPCに接続した入力デバイスを使用した。またキーと指の対応は表2に示す。一指一キーとしたのは一般に一指で複数キーを用いる場合に指の動作特性が影響するため左右の人差し指、中指、薬指とした。

以上の条件を設定し、1条件につき繰り返し15回行い、計225試行を行った。また被験者はこの習得フェーズ後にテストフェーズとして4文字で構成された文字列の入力を

表2 キーと指の対応  
Tab. 2 Key-Finger table

| 左手   |   | 右手   |   |
|------|---|------|---|
| 薬指   | S | 人差し指 | T |
| 中指   | A | 中指   | P |
| 人差し指 | B | 薬指   | E |

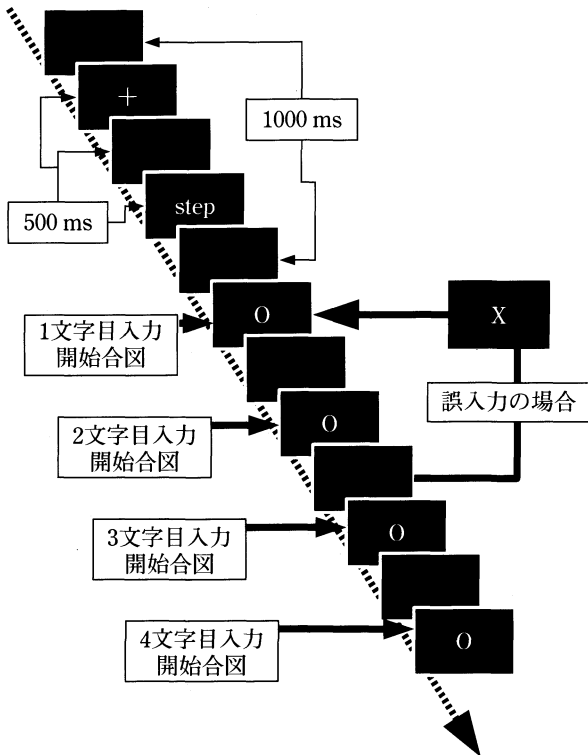


図4 1試行のフロー (文字列: step)  
Fig. 4 A flow of trials (word: step)

RRIの無い条件で10試行行った。

### 3-4. 実験手続き

1試行の一連の流れを図4に示す。誤反応については入力文字を誤った、あるいは1文字を入力するために5000 msec以上要した場合とし、誤反応であった場合、画面中央に「x」が表示され、その試行の入力を最初から行う必要があった。また複数キーの同時押下は誤入力扱いとした。

### 3-5. 結果

結果を以下に示す。反応時間は入力合図を提示してから反応までの時間の合計値とした。つまり、RRIが0 msecの条件では1文字目の入力合図の提示から4文字目の入力までの時間の合計値となった。RRIが1000 msecあるいは3000 msecの条件では、1文字目の入力合図の提示から

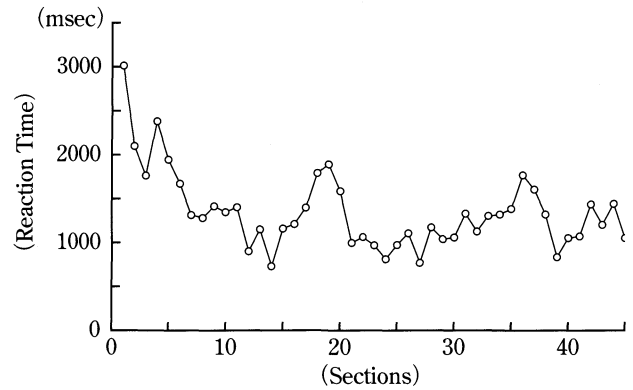


図5 反応時間 (RRI: 0 msec)  
Fig. 5 Reaction time (RRI: 0 msec)

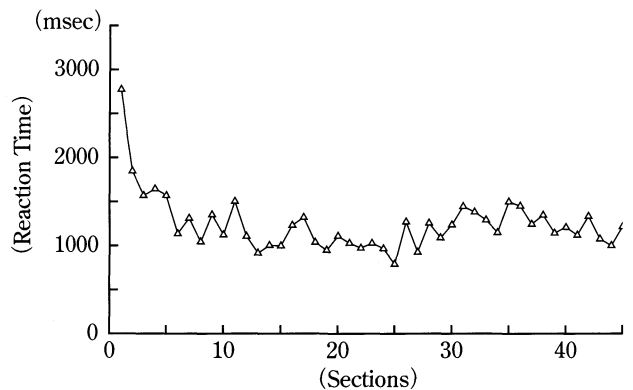


図6 反応時間 (RRI: 1000 msec)  
Fig. 6 Reaction time (RRI: 1000 msec)

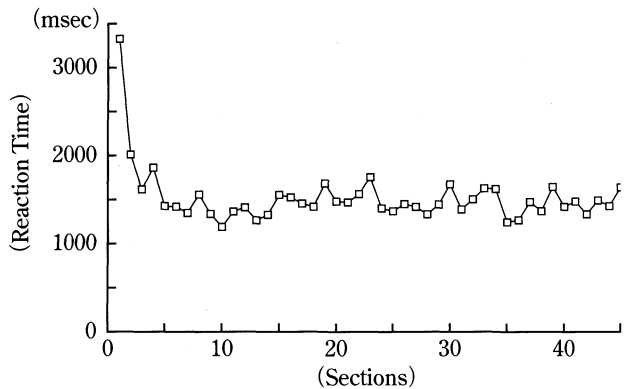


図7 反応時間 (RRI: 3000 msec)  
Fig. 7 Reaction time (RRI: 3000 msec)

1文字目の入力までの時間を取得し、それぞれ1文字目から4文字目までの合計値とした。

誤反応及び機械誤差によるエラー値は除去し、5試行を1区間とし、被験者全員の平均を取った。RRIが無しのグラフを図5、1000 msecのグラフを図6、3000 msecのグラフを図7に示す。また、課題間の平均反応時間を図8に示す。

ここで、RRIが0 msecの条件では、n文字目の入力と同

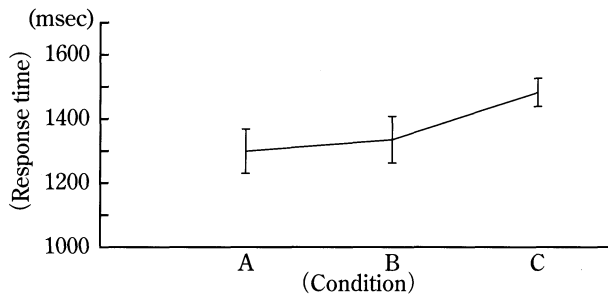


図8 条件  
Fig. 8 Condition

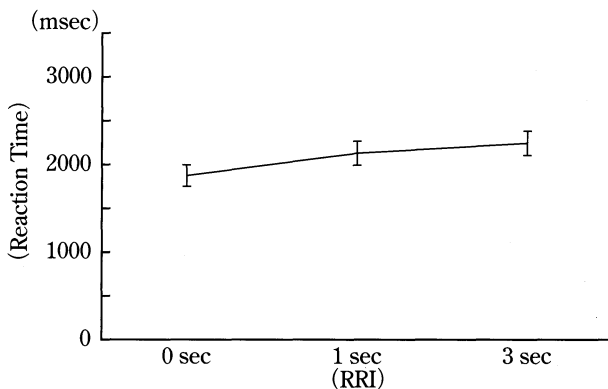


図9 テストフェーズ結果  
Fig. 9 Result

時に $n+1$ 文字目の入力受付が始まるため、他の条件と比較すると、キー入力にタイムラグが生じることを考慮に入れる必要がある。

一般に1回のキータイプに必要な時間は熟達したタイピストであっても200 msec程度掛かるとされており、さらに本実験では新規な入力デバイスを用いたためそれ以上のキーストローク時間があることを考慮に入れ、1文字目入力から2文字目入力、2文字目入力と3文字目入力、3文字目入力と4文字目入力の計3回にそれぞれ300 msec掛かると仮定し、900 msec差し引いた。

分散分析の結果、RRIの主効果 ( $F(2,674)=9.82$ ,  $p<.001$ ), 区間の主効果 ( $F(14,674)=4.32$ ,  $p<.001$ ), 課題の主効果 ( $F(2,674)=5.64$ ,  $p<.001$ ), が有意であった。

習得フェーズにおける改善量は

- RRI 0 msec : 1962.1 msec
- RRI 1000 msec : 1558.0 msec
- RRI 3000 msec : 1687.2 msec

であった。

テストフェーズの結果を図9に示す。

次に、テストフェーズにおいて多重比較を行った結果、習得フェーズにおけるRRIが0 msecの群とRRIが3000 msec

の群の間には有意な差 ( $p<.05$ ) がみられた。

誤反応については少なかったため分析対象とはしなかった。

### 3-6. 考 察

2つの仮説を立てたが、仮説での反応時間及び改善性についてのRRIの効果は全体的に支持された。

つまり、習得フェーズにおけるRRIが無い条件では、試行を繰り返すことで十分に習得でき、RRIが1000 msecあるいは3000 msecの条件では反応時間が長くなった。試行の終盤でもRRIのある条件はRRIの無い条件と比較して、反応時間が長くなった。そして、改善量についてもRRIがある条件での改善量と比較するとRRIが無い条件で最も大きくなった。これはRRIが長くなることで習得が困難になったと考えられる。

1文字の入力に5000 msecの制限時間を設けたため被験者に時間圧が掛かり反応時間が短くなったことも考えられるが、制限時間を超えたことによるエラーは無かったため、どの条件においても時間圧による影響は同等であったと考えられる。

また、RRIが1000 msecと3000 msecの結果に注目すると、下位検定の結果ではRRIが1000 msecと3000 msecには有意な差は無かったが、グラフの傾向から考えるとさらにRRIが増大した場合、習得が困難になることが予想される。

課題間の平均反応時間から、条件Aが最も簡単であり、条件Cが最も困難な課題であったといえる。

そして、テストフェーズの結果から、RRIの無い条件で練習を行った被験者群で最も反応時間が短くなり、RRIが長くなるにつれて反応時間が長くなる傾向がみられた。

ここで、テストフェーズではRRIが無い条件と同様であるための影響が考えられるが、そのためには習得フェーズでのRRIが1000 msecあるいは3000 msecであった条件での結果が等しくなるはずである。しかし、実験の結果では有意な差があったことから、RRIが存在することで十分に習得が進まなかった、あるいは困難であったことを示していると考えられる。

### 4. まとめ

本研究では、ユーザビリティにおける習得しやすさに焦点を当てRRIの効果を検討するために、非常に単純な条件に還元することで実験設定を行い、検証するという方法をとった。

実験結果から、RRIは人間の認知特性に非常に大きく

関係しており、習得結果に影響を与えることが分かった。また習得フェーズの結果から、RRIの無い条件では習得がスムーズに進み、一方でRRIが1000 msecあるいは3000 msec存在するだけで、習得が進みにくくなることが分かった。さらに、テストフェーズの結果からも、習得フェーズでRRIが存在したことにより十分な習得が行えなかったことが分かった。

ただし、現実場面は、本実験のようにRRIが固定された場面と比較するとより複雑であり、さらに複雑な反応を要求されることが多い。しかし、この実験は現実場面に対して単純な条件統制を行う認知心理学の実験パラダイムをユーザインタフェースなどの応用場面に適応するという意義があると考えられる。

今後の展開として、現実場面に即した状況を考慮に入れた、より厳密な実験を検討する必要がある。本研究では、視覚刺激は4文字から構成される文字列を用い、反応時のRRIを被験者内で固定していたが、RRIを動的に変化させることによる技能獲得に及ぼす影響や、人間の身体運動特性を考慮に入れた検討を行う必要がある。またさらにRRIの粒度を細かく設定する必要がある。

そして上記の内容を踏まえ、RRIがある状況下での習得状況を改善するために有用なインタフェースや教育場面での応用の可能性、例えば携帯電話などのモバイル機器での入力デバイスの評価手法としての発展や、ソフトウェア開発でのヒューマンファクタに即したインタフェースについても検討する。

#### 参考文献

- 1) ISO 9241-11, Ergonomic requirements for office work with visual display terminals. Part 11 : Guidance on Usability., 1998.
- 2) Nielsen, J. Usability Engineering, Academic Press, Boston, MA, 1993.
- 3) ISO 13407, Human-centred design processes for interactive systems., 1999.
- 4) Kurosu, M., Kobayashi, T., Yoshitake, R., Takahashi, H., Urokohara, H. & Sato, D. : Trends in Usability Research and Activities in Japan, International Journal of Human-Computer Interaction, 17 (1), 103-124, 2004.
- 5) Yaremko R. M. : Handbook of Research and Quantitative Methods in Psychology, Lawrence Erlbaum Associates, 1986.
- 6) Kraker, H. D., Korte, E. D., Mil, F. V., Rijs, B. & Bongers, P. : The effect of a feedback signal in a computer mouse on hovering behaviour, productivity, comfort and usability in a field study., Ergonomics, 1-16, 2007.
- 7) Lee, P. & Zhai, S. : Top-down learning strategies : can they facilitate stylus keyboard learning ?, International Journal of Human-Computer Studies, 60 (5-6), 585-598, 2004.
- 8) MacKenzie, I. & Zhang, S. : The design and evaluation of a high-performance soft keyboard, Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems, 25-31, 1999.
- 9) Anson, D., Moist, P., Przywara, M., Wells, H., Saylor, H. & Maxime, H. : The effects of word completion and word prediction on typing rates using on-screen keyboards., Assistive Technology, 18 (2), 146-154, 2006.
- 10) Lyons, K., Plaisted, D. & Starner, T. : Expert Chording Text Entry on the Twiddler One-Handed Keyboard, Eighth IEEE International Symposium on Wearable Computers, 25 (30), 94-101, 2004.
- 11) Seidler, R. D. : Older adults can learn to learn new motor skills., Behavioural Brain Research, 183 (1), 118-122, 2007.
- 12) Seidler, R. D. : Aging affects motor learning but not savings at transfer of learning., Learning & Memory, 14 (1-2), 17-21, 2007.
- 13) Gyi, D. E. *et al.* : Representing older and disabled people in virtual user trials: data collection methods., Applied Ergonomics, 35 (5), 443-451, 2004.
- 14) Federici, S. *et al.* : Checking an integrated model of web accessibility and usability evaluation for disabled people., Disability and Rehabilitation, 27 (13), 781-790, 2005.
- 15) Rieger, M. : Automatic keypress activation in skilled typing, Journal of Experimental Psychology Human Perception and Performance., 30 (3), 555-565, 2004.
- 16) Rieger, M. : Letters as visual action-effects in skilled typing, Acta Psychol Amst, 126 (2), 138-153, 2007.
- 17) Miyawaki, K. : The influence of the response stimulus interval on implicit and explicit learning of stimulus sequence., Psychological Research, 70 (4), 262-272, 2006.
- 18) Battig, W. F. : The flexibility of human memory, Levels of processing in human memory, 23-44, 1979.