

家電製品の操作圧力計測によるユーザビリティ評価の 支援に関する研究

葛岡英明^{†1 †3} 村上舜^{†1} 富士原照久^{†1}
山下直美^{†2 †3} Andy Echenique^{†2} 原田悦子^{†1 †3}

コンピュータ化されたハイテク家電製品のユーザビリティテストはますます重要になっている。ビデオや音声の記録データは、ユーザの自信の無い操作の様子が記録されるため、ユーザビリティの問題を見つける有効な情報となっている。しかし、こうしたビデオ・音声データの分析にかかるコストは大きい。そこで本論文では、実験結果に基づいて、家電製品の操作圧力を計測することによって、ユーザビリティの分析の効率を向上させられる可能性があることを示す。本研究の結果、圧力データからユーザの心的負荷を推測することができることが示唆された。また、圧力波形から、ためらいや誤操作を検出することができることを示した。

Study on Support of the Usability Evaluation Using a System Measuring Apparatus Operation Pressure

Hideaki Kuzuoka^{†1 †3} Shun Murakami^{†1} Fujihara Teruhisa^{†1}
Naomi Yamashita^{†2 †3} Andy Echenique^{†2} Etsuko Harada^{†1 †3}

Usability testing for computerized high-tech appliances is increasingly important. While video and audio recordings provide rich information about the indication of users' uncertain actions and suggest the existence of usability problems, the time required for analyzing those recordings is extremely costly. In this paper, we report on a preliminary study that explored the possibilities of using pressure data as assistive information to increase the efficiency of such high-cost usability analysis. From our study, we found that pressure data could be used to estimate user's mental workload. We also found that the pressure profiles of each button press suggest hesitation and erroneous operation. These findings suggest that pressure data may effectively assist usability analysis to detect usability problems.

1. はじめに

家電製品のコンピュータ化、デジタル化が進み、家電製品のインタフェースの問題が一般化している。このようなハイテク家電製品は機能が多くなる傾向にあり、その結果使いにくいデザインとなっている場合が少なくない[7][9]。この問題に対して、ユーザビリティスタディに基づいて、家電製品を使いやすくするためのデザイン手法を提案しようとする研究がおこなわれてきた[4][5]。

しかしながら、一般的なユーザビリティテストは、被験者に1回だけ機器を試用させ、その結果に基づいてユーザビリティの問題を分析することが多い。このような調査からも有用な知見は得られるが、長期的な利用において生じるような深刻な問題は見落とされてしまうことが指摘されてきた[2]。すなわち、より詳細で多様な使いやすさの問題を発見するには、従来の短期的な実験に加えて、長期的な実験を行う必要がある[6][13]。

長期的なユーザビリティテストにおける欠点の一つは、分析に多大なコストがかかるということである。ユーザビ

リティテストにおいて最もよく使われる分析手法は、実験の様子をビデオ録画し、そのデータを分析する方法である。このようなビデオデータに基づいた分析は有効性が高いが、短期間の実験においてでさえ、時間と費用のコストが高いことが問題となっている[8][10][12]。長期的ユーザビリティテストにおいては、ビデオ分析にかかるコストが短期的なテストよりも遙かに高くなるため、これをできるだけ低くするための支援が必要である。

そこで本研究では、家電製品の長期的なユーザビリティテストにおいて、ビデオデータと同時に家電製品の操作圧力を記録することを提案する。そして、その圧力データから、操作中のユーザのためらいや心的負荷の変化を推定できる可能性を示す。この手法を確立することができれば、長期ユーザビリティテストによって記録された膨大なビデオデータの中から、ユーザビリティの問題が生じた部分を自動的に推定することが可能となり、これによってデータ分析の効率を高められると期待している。

2. 関連研究

ビデオ録画はユーザビリティテストにおいて幅広く使われている。これは、記録された映像からユーザの迷いや混乱を示す行動を分析することによって、使いやすさの問題を見つけることができるからである[1][12]。しかしながら、前述の通り実験後のビデオと音声の分析は非常に労

†1 筑波大学

University of Tsukuba

†2 NTT コミュニケーション科学基礎研究所

NTT Communication Science Laboratories

†3 RISTEX・JST 高齢者領域

JST, RISTEX

力、時間、費用のコストがかかるため[10], それに替わる手法, もしくは分析を効率化するための支援方法が研究されてきた。

たとえばビデオ録画や音声録音に替わる情報として, 自動的にユーザビリティを評価するツールが提案されている。このツールでは自動的にシステムに対するユーザの入力を記録し, その入力系列と期待される入力系列とを比較することによって, ユーザビリティを評価する (例えば[1])。

ユーザの精神状態をキーボードの入力パターンや[3], マウスとキーボードのイベント[12], もしくはマウス使用時の圧力信号から推定しようとした研究もある[11]。Reeder と Maxion らはユーザの「ためらい」(hesitation)を見つけるために, マウスとキーボードのイベント情報を記録した。ためらいは“タスク中の操作と操作の間の時間が異常に長い場合”で定義され, そのためらいのデータをビデオによるユーザビリティの分析に利用した[12]。これらの手法は, 分析を補助するために追加しなければならないハードウェアやソフトウェアが少なくすむという点で注目される。

これらの手法は効果的ではあるが, 実験においてはユーザをコンピュータ作業に集中させ続けるといった人工的な作業を対象としていた。したがって, これらの技術が家電製品のユーザビリティテストに対して適用できるかどうかはよくわかっていない。また, そもそも家電製品の場合はキーボードやマウスを使わないので, 家電製品に対するユーザの操作を記録するのに適した手法が必要である。

これらの考察に基づき, 本研究ではユーザが家電製品のユーザインタフェースを操作している間の操作圧力を計測することにした。

3. 実験

この研究の目的は, 圧力データの履歴から誤操作, ためらい, そしてユーザの心的負担などを推定できるかどうかを調査することである。

3.1 圧力計測盤

我々はユーザが機器のボタン操作中に圧力を計測する圧力計測盤を開発した (図 1)。どのような機器にも簡単に適用できるようにするために, 家電製品のボタンに直接圧力センサを埋め込むのではなく, 家電製品の下に圧力センサを設置して測定する方式を採用した。

圧力を計測するために, 圧力計測盤内部の四隅にロードセル (東洋測器, 1022-10k) を 4 個設置した。圧力計測盤全体の最大計測荷重は 40kg で, 分解能は約 5g となった。使用した A/D コンバータ (Measurement Computing Corporation, USB-1608FS) は 16bit の分解能を持ち, 最大サンプリングレートは 33Hz で, USB で PC に接続できた。

今回ユーザビリティテストの対象に選んだのは新型の炊飯器 (MITSUBISHI, NJ-XS103J) で, これを圧力計測盤の上に置き, 計測を行った (図 2, 左)。さらに USB カメラを

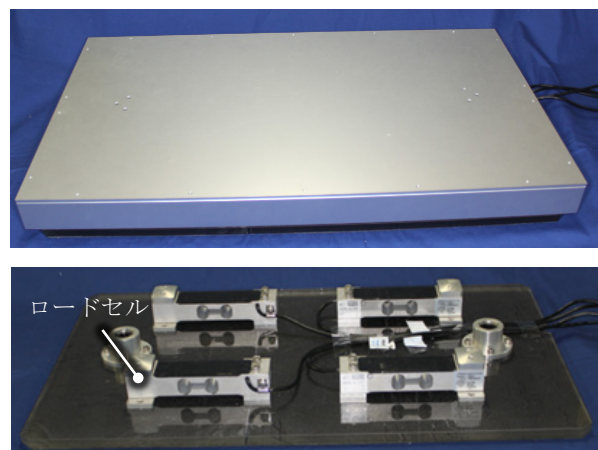


図 1 圧力計測盤 (上) とロードセル (下)
Figure 1 Pressure sensing platform (above) and load cells inside (below).

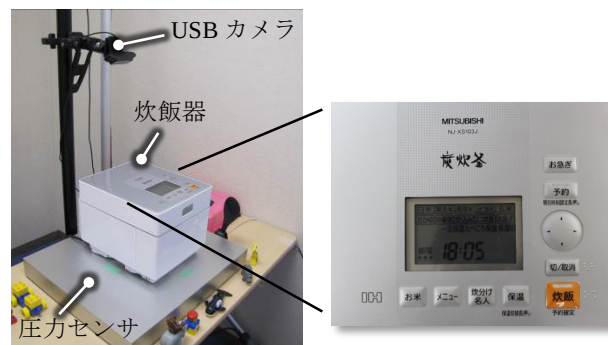


図 2 実験環境 (左) と炊飯器の操作面 (右)
Figure 2 Experimental setting (left) and user interface of rice cooker (right).

機器の上部に設置し, 操作面 (図 2, 右) とそれに対する操作者の手の動き, そして音声を記録した。このとき, 操作圧力も同時に記録した。

3.2 被験者

ハイテク家電製品に対する高齢者のユーザビリティは重要な研究課題[4][5]であるため, 今回は 8 人の高齢者 (男性 6 名, 女性 2 名) を被験者として集めた。年齢は 65 歳から 73 歳で, 平均は 69 歳であった。それぞれの MMSE (Mini-Mental-State Examination=認知機能検査) の点数は 26 点以上で, 全員ユーザビリティテストに十分な認知能力を有していた。MMSE とは認知機能や記憶力を簡易的に測定するための 11 項目の検査のことで, 日付に対する質問や簡単な計算問題などから構成される。満点は 30 点で, 27 点以上は正常, 22 点から 26 点は軽度の認知症が疑われ, 21 点以下は認知症の可能性が高いと判断される。本研究では, 著者らの経験に基づいて, MMSE が 26 点以上であることを被験者の条件として選択した。

3.3 実験手順

被験者は 2, 3 日おきに, 合計 10 回実験室に来て, 実験

を実施した。1 回の実験では、数種類の作業をおこなってもらったが、本論文では予約炊飯タスクについてのみ記述する。このタスクは初日から最終日まで計 10 回おこなった。このタスクでは、被験者は最低でも 4 種類のボタンを 10 回押下する必要がある。

タスク中に感じる心的負荷を測定するため、被験者はタスク毎に NASA task load index (TLX) に基づいた質問[14]に答えた。NASA TLX とは、被験者の心的負荷を計測するための主観的な評価尺度であり、知的・知覚的要求、身体的な要求、時間的なプレッシャー、作業達成度、努力の程度、フラストレーションの 6 項目の尺度から構成される。ただし今回はどのタスクも身体的な負荷は全くなかったため、身体的な負荷に関する質問項目を省いた。質問の回答には Visual Analogue Scale (VAS) を用いた。VAS は、被験者に離散的な値を回答させるリッカート尺度とは異なり、数直線上の任意の位置を回答させる方法である。本実験では、10cm の直線の左端を「低い」、右端を「高い」として、被験者に適当な位置にマークをつけさせ、左端からの距離を 1mm の精度で数値化し、0~100 の評価値を得た。被験者が質問紙に答えたあと、被験者に対して、タスクの難しさに関するインタビューをおこなった。

4. 実験結果

4.1 圧力データ

圧力計測盤から得られた圧力データを用いて、各ボタンの平均押下圧力と、各ボタンの押下開始から押下終了までの押下時間を計測した (図 3)。そしてこの押下時間から、被験者ごとの平均押下時間と押下時間の標準偏差を求めた。

4.2 ためらい

被験者のタスク操作を観察した結果、被験者がボタンを押す際に、ためらいが観察された。具体的には、実際にボタンを押さないが、ボタンに指をかけ、数秒動きを止め、その後ボタンを押下するといった様子が散見されたのである。図 3 (b) に示すとおり、このような場合には特徴的な圧力波形が確認された。図 3 (a) のような、通常のボタン押下の圧力波形とくらべて、ためらいがある場合、押しはじめは緩やかに圧力が上がり、その結果押下時間が長くなるという傾向があった。タスク後のインタビューにおいて、ためらった理由を聞いたところ、被験者は次に押すべきボタンがどれか自信を持っていないから、等と回答した。

4.3 タスクの完了時間と押下時間の標準偏差との関係

以上の結果から、圧力波形にためらっている様子が見られる場合は、被験者が操作を難しく感じている可能性があることがわかった。そこで更に、押下時間の平均と標準偏差について分析を行った。図 4 に各被験者のタスク完遂時間の平均、平均押下時間の平均、押下時間の標準偏差の平均を示した。この結果より、タスク完遂時間はタスクの回

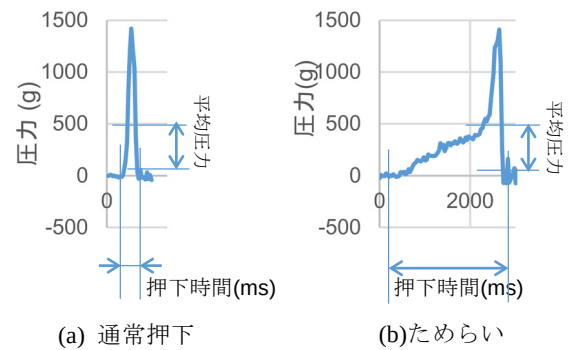


図 3 検出した圧力データ波形の例

Figure 3 Detected pressure data.

数が増加するにしたがって減少することがわかる。ここで注目されるのは、平均押下時間平均、押下時間の標準偏差の平均も、タスク完遂時間と同様に、日を追うごとに下がっていることである。実際、タスク完遂時間と平均押下時間には中位の相関が見られ ($r=.45$, $p<.01$), タスク完遂時間と押下時間の標準偏差には高い相関が見られた ($r=.73$, $p<.01$).

Qi らは、マウスに取り付けられた圧力センサの圧力情報から、ユーザのフラストレーションを推定することに成功した[11]。そこで我々もタスクを完了するまでの時間と、平均圧力の関係について分析を行った。しかし、本実験からは相関関係は見られなかった ($r=.17$, ns)。

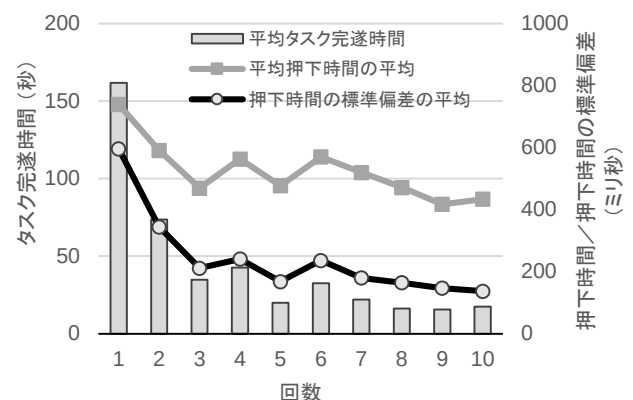


図 4 タスク完遂時間 (秒), 平均押下時間の平均 (ミリ秒), 押下時間の標準偏差の平均 (ミリ秒)

Figure 4 Task completion time (s), average of average press time (ms), and average of SD press time (ms).

4.4 心的負荷と押下時間の標準偏差の関係

NASA TLX によって計測した心的負荷とタスクの回数の関係を図 5 に示す。この結果から、平均押下時間及び押下時間の標準偏差と同様に、心的負荷もタスクの回数が増加するにしたがって徐々に減少する傾向が見られた。また、心的負荷と、平均押下時間および押下時間の標準偏差それ

ぞれの相関を確認したところ、心的負荷と平均押下時間の相関は弱かったが、心的負荷と押下時間の標準偏差には Q4 を除いて中位の相関が見られた（表 1）。

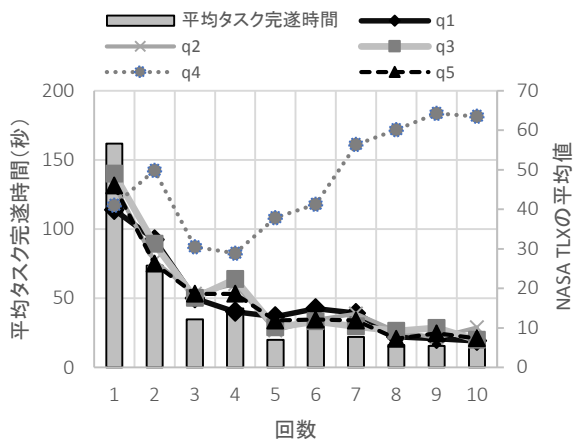


図 5. タスク完遂時間（秒）と NASA TLX の平均値
Figure 4. Task completion time (s) and the average of NASA TLX.

表 1 アンケート結果に対する平均押下時間と押下時間の標準偏差の相関 (**: $p < .01$, *: $p < .05$)

Table 1. Correlation between questionnaires vs. average and SD press times (**: $p < .01$, *: $p < .05$).

	平均押下時間	押下時間の標準偏差
Q1: mental	0.16	0.52**
Q2: temporal	0.30**	0.57**
Q3: effort	0.31**	0.63**
Q4: performance	0.037	-0.13
Q5: frustration	0.37**	0.65**

5. 考察

5.1 押下時間の標準偏差

タスク完遂時間や、心理的な状態を測るアンケートはユーザビリティの評価に一般的に用いられる。しかしながら、できるだけ自然な環境で家電製品の長期的にユーザビリティテストをおこなうことを考えた場合、一般家庭の中で実験を実施するのが理想的である。そうした場合、被験者は必ずしも今回の実験のように、毎回同じ作業を繰り返すわけではないし、作業は中断されるかもしれない。そのような場合、タスク完遂時間は必ずしも適切なデータとは言えない。その上、毎回製品を操作した後にアンケートに答えてもらうということは、被験者の負担になることが考えられる。今回計測した押下時間の標準偏差は、タスク完遂時間と強い相関があり、中位の相関がタスク完遂時間と Q4 以外の心的負荷に見られた。したがって、押下時間の標準偏差が新しいユーザビリティ評価の測定基準として利用できる可能性があると考えられる。

今回の実験では Q4 の結果のみ有意な相関が見られず、しかも負の相関を示した。これは、この質問項目の質問と回答欄の言葉遣いにややわかりづらい点があったためであると考えられる。実際、あとから被験者に確認したところ、勘違いのために実際の感想とは全く逆に回答してしまった例があることがわかった。

5.2 圧力波形

本実験結果から、圧力波形を詳細に観察することによって、ユーザビリティの分析の有効な情報が得られると考えられる。例えば図 3(b)のように、圧力波形から、被験者のためらいを推測することができる。また圧力波形を計測する利点として興味深いのは、被験者がボタンでない場所を押した場合も、圧力変化として検出できることである。そのような間違った操作はビデオからではわかりづらいが、圧力データから簡単に検出することができる。これらの結果に基づいて考えると、ユーザビリティの分析において、押下時間の標準偏差が高い場合と、特徴的な圧力波形が出現した場合の操作を優先的に分析することによって、効率的にユーザビリティの問題を発見できるかもしれない。

単に製品から、ボタン操作の際の電気信号を計測・記録するだけでは、これらのボタン押下中の圧力波形は得られない。したがってこのように圧力を測ることはユーザビリティテストにおいて有益であると考えられる。

6. 今後の課題

本研究では高齢者を対象とした実験しか実施していないため、若年層に対しても同様の実験を実施し、提案手法の汎用性について研究する必要がある。

長期間のユーザビリティテストは自然な状況で実施することが望ましい[2]。これに対して本研究で得られた結果は、実験室環境における実験で得られたものである。したがって我々の次の目標は、本装置を一般家庭に貸し出すことによって、長期的ユーザビリティテストを実際の家庭において実施し、ボタン押下時間の標準偏差の大きさが実際にユーザビリティの問題の有無に関連あるかどうかについて確認することである。

ユーザビリティ分析を支援するためには、ボタン押下時間の標準偏差が異常に大きい場合や、ためらいを示す圧力波形を自動的に検出できる必要がある。そのような異常なボタン押下の標準偏差は、毎日の操作の記録にもとづいて、その平均値を求め、そこから値が異常に外れた場合を検出すれば良いと考えられる。また、異常に長いボタン押下や、ゆっくりと徐々に押下圧力が上がっていく押し方などを検出することにより、特徴的な圧力波形を検出することができると考えられる。

今回の実験で使用した炊飯器は、水平面に全ての操作ボタンが配置されていたが、多くの家電製品では操作面が水平面に対して傾いた面や、垂直面に配置されていることが

多い。今回使用した1軸のロードセルでは、そのような場合の操作圧力を正確に計測することはできない。そこで筆者らは、6軸のロードセルを使用することによって、様々な形状の家電製品の操作圧力を正確に計測できるようにすることを計画している。

7. 結論

本研究では、家電製品の長期的なユーザビリティテストを支援するために圧力測定装置を製作し、ユーザが家電製品を操作しているときの圧力を計測できるようにした。10回にわたる連続炊飯器利用実験の結果、ボタン押下の標準偏差と圧力プロファイルを計測することによって、ユーザビリティの問題を効率的に見つけられる可能性を示した。

今後は実際に家庭における長期的なユーザビリティテストの分析に効果があるかどうかを確認する必要がある。また、本手法の応用も試みる。例えば、マウスボタンやタッチパネルに圧力センサを組み込めば、コンピュータアプリケーションのユーザビリティテストを支援できる可能性もある。このように、本手法を様々な領域に対して適用してみることによって、操作圧力検出の可能性を探る予定である。

謝辞 本研究は（独）科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業（社会技術研究開発）による研究成果の一部である。

参考文献

- 1) Au, F., Baker, S., Warren, I., and Dobbie, G. Automated usability testing framework. In *Proc. AUIC2008*, 55-64 (2008).
- 2) Cook, R., Kay, J., Ryan, G., and Thomas, R. C. A toolkit for appraising the long term usability of a text editor, *Software Quality Journal*, 4, 2, 131-154 (1995).
- 3) Epp, C., Lippold, M., and Mandryk, R. Identifying emotional states using keystroke dynamics. In *Proc. CHI 2011*, ACM Press, 715-724 (2011).
- 4) Fukuda, R. Usability analysis of home electrical appliances based on eye tracking and physiological data, *Gerontechnology*, 7, 2 (2008).
- 5) Hara, N., Naka, T., and Harada, E.T. How can we make IT devices easy for older adults?: Effects of repetitive basic operation training and help-guidance on learning of Electronic Program Guide system. In Inaki Mautua (Ed.), *Human Computer Interaction*, InTech, 369-388 (2009).
- 6) Janols, R. Time does not heal usability issues!: results from a longitudinal evaluation of a health it deployment performed at three Swedish hospital units. In *Proc. OzCHI '12*, ACM Press, 273-280 (2012).
- 7) Jokela, T. When good things happen to bad products: where are the benefits of usability in the consumer appliance market? *interactions*, 11, 6, 28-35 (2004).
- 8) Macleod, M. and Rengger, R. The development of DRUM: A software tool for video-assisted usability evaluation. In *Proc. HCI '93*, Cambridge University Press, 293-309 (1993).
- 9) Marks, J. The usability problem for home appliances: engineers caused it, engineers can fix it! *ACM SIGSOFT Softw. Eng. Notes* 29, 6, 95-95 (2004).
- 10) Nielsen, J. Heuristic evaluation, In Nielsen, J., Mack, R. L. (Ed.),

Usability Inspection Methods, John Wiley and Sons, New York, 25-62 (1994).

- 11) Qi, Y., Reynolds, C., and Picard, R. The Bayes Point Machine for computer-user frustration detection via pressuremouse. In *Proc. PUI 2001*, ACM Press 1-5 (2001).

- 12) Reeder, R. W. and Maxion R. User Interface Defect Detection by Hesitation Analysis, In *Proc. DSN 2006*, IEEE (2006), 61-70.

- 13) Vaughan, M. and Courage, C. SIG: capturing longitudinal usability: what really affects user performance over time? In *CHI '07 EA*, ACM Press 2149-2152 (2007).