

ユーザビリティ評価のための要素的動作の測定*

大森信行* 北島宗雄**

Measurement of Primitive Actions for Usability Evaluation

Nobuyuki OHMORI, Muneo KITAJIMA

製品や機器を確実に効率よく操作するためにユーザビリティの向上に関心が高まっている。ユーザビリティの重要な評価指標である操作時間はGOMSモデルに基づいて予測することができるが、本報告では、ロータリースイッチにより操作を行う計測機器を対象として、GOMSモデルに基づいて操作時間の予測を行う際に必要となる要素的な動作(オペレータ)を、回転方法や回転位置ごとに導出した。これにより、同様の機器における操作時間をよりよい精度で予測できるようになった。

キーワード：操作性，ユーザビリティ，操作時間，ロータリースイッチ，GOMSモデル

1 結 言

製品を効率よく確実に操作するために、ユーザビリティの向上に関心が高まっている。開発段階におけるユーザビリティ評価によって、操作しやすい製品、操作のわかりやすい製品の開発が可能になる。こういった製品は、初めて利用する場合であっても迷わずに操作でき、短時間で目的の操作ができることから、製品を利用した作業全体の効率を向上させることができる。また、利用時における誤操作の発生を防ぎ確実性を確保することも可能となる。

消費生活用製品等に関する事故には、誤使用や不注意によるヒューマンエラーが原因となっているものが多い¹⁾。事故により、経済的に大きな損失を被ったり、重傷・死亡に至ったりする場合も報告されている²⁾。誤操作のみでなく各種のヒューマンエラーを防ぐという観点からも製品のユーザビリティが求められている。

「ユーザビリティ」はさまざまな意味で用いられている。代表的な定義は、使いやすさ、使用性、利用品質等である。日本工業規格JIS Z 8521においては「ある製品が、指定された利用者によって、指定された利用の状況下で、指定された目標を達成するために用いられる際の有効さ、効率及び満足度の度合い」と定義されている。本稿においては、JIS Z 8521の定義の一つである「効率」に着目し、ユーザビリティとして製品における操作時間の予測を目的とした。

ユーザビリティ評価の三つの代表的手法について以下に述べる。

(1) ユーザテスト：実際のユーザが開発中の製品を利用

し問題点を見つけ出す手法である。具体的な問題点の把握には適するが、時間もかかりテストユーザのリクルートが難しい場合もある。

(2) チェックリスト手法：製品とリスト項目との適合性を判断する。利用が容易である反面、評価結果が人により異なる場合がある。

(3) 認知工学モデルによる手法：人間が、製品を利用する過程を認知モデルに基づいてシミュレートし、操作時間、エラーを予測する。

製品の操作時間を計測・予測する方法としては、ユーザテストとしてテストユーザが製品を操作する時間を測定する方法も考えられるが、本稿では認知工学モデル(GOMSモデル³⁾)に基づいて操作時間を予測する方法を検討した。認知工学モデルを利用することで、ユーザがどのように製品を操作するかを予測することができる。認知工学モデルによる予測は実際のユーザによるテストの代用となることから、製品開発の初期の段階において人間の行動の定量的な予測を行うことができ、プロトタイプを作成を待たずに製品の評価を行える。

本稿では、ロータリースイッチ(ロータリーダイヤル)の操作時間の測定を行い、GOMSモデルによる操作時間予測のために必要となる要素的な動作(オペレータ)を決定した事例について報告する。

2 操作時間の測定対象

測定を行った製品は図1に示す加速度センサアンプ(EMIC(株) 型番509-CAP 製造番号88113 1988年製)である。本製品は加速度センサと計測装置を接続し、加速度センサに発生した加速度に応じた電圧値を計測装置用の出力端子に出力する。電源スイッチの他に、測定する加速度レンジに応じた感度を設定するロータリースイッチや内蔵された低域通過フィルタ、高域通過フィルタのカット

* 製品科学部

** (独)産業技術総合研究所 サービス工学研究部門・人間福祉医工学研究部門



図1 測定対象製品とロータリースイッチ

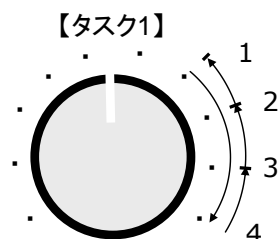
オフ周波数を設定するロータリースイッチ等を備えている。

本稿では本製品のロータリースイッチを対象に操作時間を測定した結果を報告する。ロータリースイッチは、スイッチの中でも最も歴史が古く、その大きな特徴は、回転により操作された操作部(つまみ)が、どの位置にあるか一目でわかるという点にある。また、操作部の操作角は360°全周をフルに使用することができ、その分多くの回路数、接点数を一つのスイッチ内へ収納できる⁴⁾。

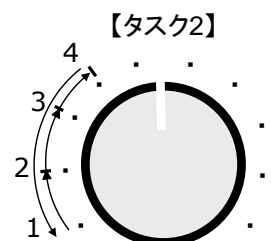
また、連続的に回転する無段階式、設定されたステップ毎に停止する多段式等の種類があり、つまみの回転に応じて主に電子機器に接続された複数の回路を開閉したり、抵抗や静電容量の値を変更する働きを持つ。また、近年はノッチ、ストップ、回転範囲等の機能を利用者が自由に設定できるプログラマブルなものも市販されている(例として、日本バイナリー(株)プログラマル触覚ロータリーモジュールTouchSense PR-1000等がある)。

このように、ロータリースイッチは機能面で非常に優れているために、現在でも、音響機器における音量調整をはじめ、計測機器や産業機器における動作設定など現在も各種の製品において設定・調整操作に利用されている。これらの機器の操作時間を精度よく予測するためには、その構成要素であるロータリースイッチの操作時間を精度よく予測することが必要であり、そのためには、ロータリースイッチの回転操作のオペレータやその動作時間を知っておくことが必要となる。

本製品のロータリースイッチは各測定レンジ(測定する振動加速度の範囲)に応じた10段の多段式であり、各段の



【タスク1】
左右回転とも指を離さない
左回りは1段ずつ回転



【タスク2】
左右回転ともに指を離さない
右回りは1段ずつ回転

図2 操作時間を測定したタスク

回転には最大で0.2[Nm]程度のトルクが必要である。各段階の途中では停止しない。つまみ部分は直径22mm、高さ14mmの円柱形状である。また、ストップ機構⁴⁾を持ち、測定レンジの設定されている角度範囲のみ回転する構造となっている。

3 GOMSモデルによる操作時間予測

本章では、操作を行うユーザのモデルである「モデルヒューマンプロセッサ」について述べ、次に、それを基盤として構築された操作時間予測モデルであるGOMSモデルについて述べる。

3.1 モデルヒューマンプロセッサ

モデルヒューマンプロセッサは、Cardら³⁾の提唱した人間を情報処理システムとしてとらえたモデルであり、人間を「見て、考えて、行動する」ものであり、それぞれを行う知覚、認知、運動の三つのプロセッサが以下に示す固有のサイクル時間ごとに処理を行うと考える^{3), 5), 7)}。

知覚時間 $\tau_p = 100$ [50 ~ 200] ms

認知時間 $\tau_c = 70$ [25 ~ 170] ms

運動時間 $\tau_m = 70$ [30 ~ 100] ms

これにより例えば「ライトが点灯したらスイッチをONにする」といった操作において各プロセッサの動作時間を合計することで行動に必要な時間の予測ができる。また、10種類の動作原理があり、それらを適用することで広範囲な行動に対する予測を可能としている⁷⁾。後述するGOMSモデルでは、モデルヒューマンプロセッサの動作原理のうち合理性原理、問題空間原理に基礎をおいており⁵⁾、以下の考え方に従い機器の操作に習熟した利用者の

操作時間を予測することができる。

(1) 機器の操作経験を積むことでゴールを達成するためのオペレータ系列をその度に導き出す(問題空間原理により再計算する)ことは必要なくなり、経験知識からオペレータ系列を思い出して実行することが可能になる

(2) 合理性原理により合理的(最短時間で、最小の労力での操作)であろうとするが故に、どのオペレータ系列を実行するかはインタフェースの設計・レイアウトにより概ね決定される。

3. 2 GOMSモデル

GOMSは、人間の行動を分析するためのモデルであり、ユーザが機器を使い特定の目標を持った行為を行うとき、その行為をGoal(目標), Operator(行為), Method(方法), Selection-rule(方法選択規則)の4要素を区分して分析する。GOMSはこの4要素の頭文字を取ったものである。明確な目的があり、繰り返し実行されるタスクの操作時間等を予測するための手法であり、主にユーザが製品に習熟したときの操作時間の予測に利用する。

GOMSには複数のモデルがあり、本稿で用いるのはKLM(The Keystroke-Level-Model:打鍵レベルモデル)である。KLMは、GOMSの中では最も単純な系列形式のモデルである³⁾。タスク実行時間の予測は、タスクを遂行するためのオペレータ系列を明らかにして、個々の実行時間を合計して行われる。この際に、オペレータは打鍵レベルのもののみが用いられる⁵⁾。以上のように利用することから、GOMSにおけるオペレータとして採用できる動作には以下の要件がある。

- オペレータの実行時間は履歴(ユーザやシステムが現在の状態に至った経緯)に依存しないこと
- オペレータの実行時間の評価を既存の測定結果を用いて行うことができること

例えば、「キーまたはボタンを押す」、「キーボードや他のデバイス上の定位置に手を移動する」等がオペレータとなる。

4 ロータリースイッチにおける操作時間計測

ロータリースイッチ操作におけるオペレータを決定し、その動作時間を決定するために以下のタスク(一連の操作)における操作時間の測定を行った。

4. 1 タスク及び計測方法

操作時間を測定したタスクは感度(レンジ)設定用ロータリースイッチの操作であった。タスクの詳細を図2に示す。

タスク1では位置1から右に3段階回すが途中の位置2, 3では停止させることなく連続で位置4まで回す。位置4に到達後は左に3段階回すが、途中の位置3, 2では一時停止してから次の位置に回し位置1に到達する。以上をできるだけ早く繰り返す。

タスク2では位置4' から左に3段階回すが途中の位置3', 2' では停止させることなく連続で位置1' まで回す。

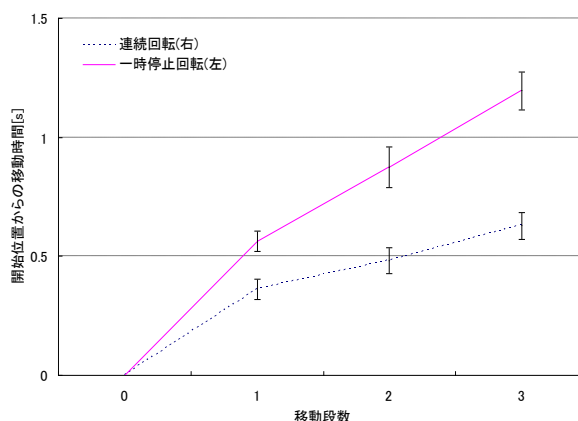


図3 タスク1の位置と経過時間

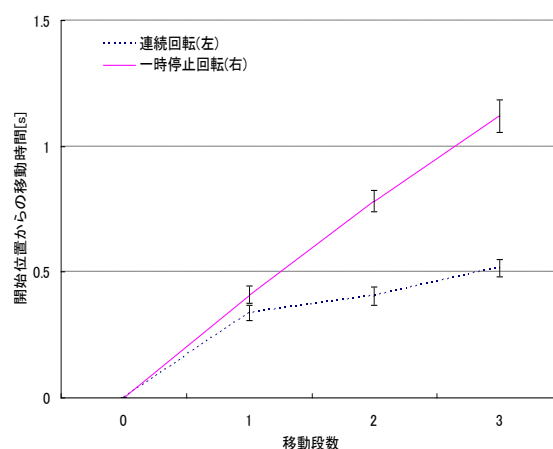


図4 タスク2の位置と経過時間

位置1' に到達後は右に3段階回すが、途中の位置2', 3' では一時停止してから次の位置に回し位置4' に到達する。以上をできるだけ早く繰り返す。

これらのタスクを実行する動作をデジタルビデオカメラレコーダー(ソニー(株) DCR-PC10)により撮影した。撮影映像は、映像解析支援ツール⁵⁾を利用して低速度で再生し、ロータリースイッチが回転して各位置に到達した時刻を記録し、これに基づき各位置間の移動時間を算出した。デジタルビデオのフレームレートは30フレーム/秒である。一時停止回転において1段を1/30より短時間で回転している場合には、当該位置での一時停止が行われていないと判断し、当該位置から1往復分の回転について測定対象から除外した。

タスク1, 2ともに1往復の回転を1試行として17試行を測定した。被験者は1名である。

5 測定結果

5. 1 タスク1, 2における回転時間

タスク1の測定結果から、1試行を回転方法により連続回転時(右回転)、一時停止回転時(左回転)に分割し、連続回転時は位置1→4の間の移動を、一時停止回転時は位置4→1の間の移動を回転時間の測定対象とした。回転方

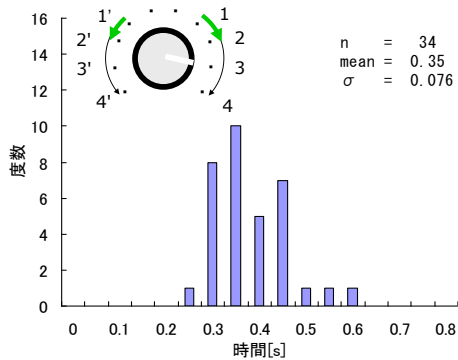


図5 回転時間分布(連続回転1段目)

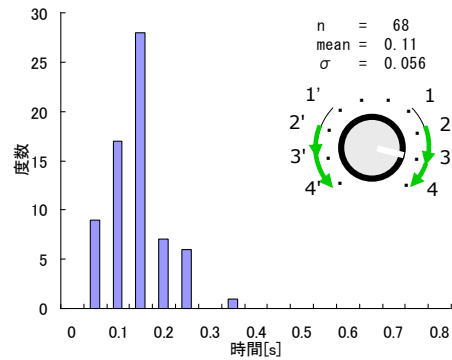


図6 回転時間分布(連続回転 2, 3 段目)

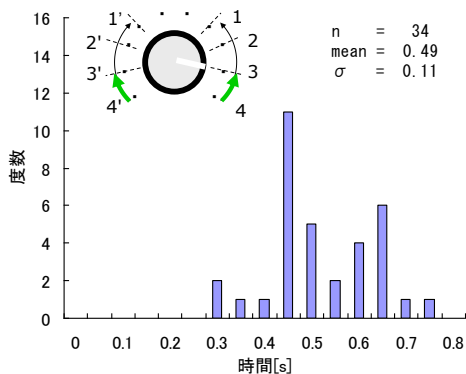


図7 回転時間分布(一時停止回転 1 段目)

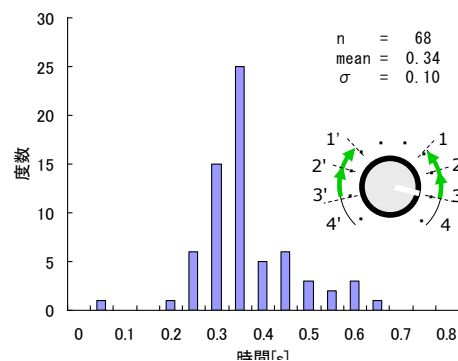


図8 回転時間分布(一時停止回転 2, 3 段目)

法毎に、3段の移動における移動した段数と経過時間の平均値を95%信頼区間とともに図3に示す。右回転は位置1、左回転では位置4とした。

タスク2についても同様に、回転方法毎の移動した段数と経過時間の平均値および95%信頼区間を図4に示す。ただし、両タスクでは回転の方法と方向の組合せが異なっている。以上のグラフより、連続回転では、最初の一段を回すのに2段目以降の回転よりも時間がかかる傾向があることが分かる。

また図3、4において、一時停止回転時(グラフ実線)よりも連続回転(鎖線)の方が大きな速度で移動していることが分かる。これは、途中の位置(位置2, 3および2', 3')で回転を停止する必要がなく、ロータリースイッチの機構上、端の位置(位置4, 4')を超えて回転しないことから、一時停止回転時よりも大きな速度で回転しているためと考えられる。

5.2 回転時間の違い

次に、連続回転時と一時停止回転時での回転時間の違いについて考察する。図3より、連続回転時および一時停止回転時ともに、2段目以降の回転よりも1段目の方が時間がかかる傾向がある。図5、6は、両タスクについて、一時停止回転時の1段の移動時間の分布である。図5は1段目の回転(位置1→2, 1'→2')の移動時間であり、各タスクで試行数が17であるので、両タスクでは測定サン

プル数は34となる。図6は、2段目以降の回転(位置2→3, 3→4, 2'→3', 3'→4')における1段の移動時間である。1試行で2回(2段)測定するので測定サンプル数は68となる。

図7、図8は、両タスクについて1段の一時停止をしない連続回転時の1段の移動時間の分布である。図5、6の場合と同様に、図7は1段目の回転における1段の移動時間、図8は2段目以降の回転における1段の移動時間である。

各グラフにおいてロータリースイッチの図の外周の弧の太線部分が測定の対象位置を示し、各図には測定サンプル数n、1段の移動時間の平均mean、標準偏差σを記載した。

以上の図から回り始めの1段(図5、図7)と2段目以降(図6、図8)のそれぞれの1段毎の移動時間を比較すると、回転方法に関わらず回り始めの1段よりも2段目以降は移動時間が大きい。この傾向は連続回転時において大きく現れており、1段目と比べ2段目以降の移動時間は平均値で1/3以下となっている。

両タスクにおいて測定した各段階の移動時間について、二要因混合分散分析を行った。回転位置(1段目、2段目、3段目)について対応ありの要因、回転方法(一時停止回転、連続回転)について対応なしの要因とした。両タスクにおいて、それぞれ17試行を行っているので、合計34試行が

対象となる。

分散分析の結果、一段の移動時間は回転位置により有意な差があり ($F(2, 132) = 109.6, p < .01$)、回転方法により有意な差がある ($F(1, 66) = 317.6, p < .01$) ことが分かった。

交互作用が有意 ($F(2, 132) = 33.4, p < .01$) であるので単純主効果について検定したところ、一時停止回転時 ($F(2, 132) = 33.2, p < .01$)、連続回転時 ($F(2, 132) = 82.8, p < .01$) とともに位置によって移動時間に有意な差があった。

位置毎に LSD 法により多重比較を行った結果、一時停止回転時、連続回転時ともに、2 段目および 3 段目は 1 段目と比べるとより短時間で移動しており、2 段目と 3 段目の移動時間に有意な差は無かった。以上から、ロータリースイッチの操作においては、回転方法によらず 1 段目の移動とそれ以降の移動において必要な時間が異なることが分かった。

また 2 段目以降 (図 6, 図 8) と 1 段目 (図 5, 図 7) において移動時間の分散について回転方法毎に F 検定により分散の検定を行ったところ、連続回転時には 1 段目の方がばらつきが大きく ($F(67, 33) = 0.53, p < .05$)、一時停止回転時には有意な差はなかった。

6 考 察

6.1 回転時間の違いの原因

一時停止回転時は、各段において 1 段の回転に十分な量よりも大きなトルクを加えた結果、2 段以上回転してしまう (オーバシュート) ことがないように、トルクが 1 段の回転に必要な閾値を越えるまでは、トルクを微量ずつ増加しつつ回転有無を判断するという動作を繰り返す (リトライ) と考えられる。また、各段の移動においてオーバシュートを防ぐため同様のリトライが必要であることから、2 段目以降と比べ 1 段目の移動時間は 1.4 倍程度であり、移動時間のばらつきが一定となると考えられる。

連続回転時においても、移動毎の一時停止は不要であることから、必要なトルク以上を加え続ければよく 1 段目および 2 段目以降ともにリトライの繰り返しが少ないため一時停止回転時よりも移動時間が短いと考えられる。1 段目は 2 段目以降と比べて 3 倍以上の時間がかかり、その比は一時停止回転時よりも大きい。これは、1 段目では必要なトルクに達するまでリトライを繰り返すため、2 段目以降よりもリトライに長い時間が必要なためと考えられる。また、同じ理由から 2 段目以降はリトライ時間が短いため時間も小さく、ばらつきも小さいと考えられる。

7 結 論

前節においてロータリースイッチの回転操作では、回転方法と位置により操作に必要な時間が異なることが分かった。また、図 5～8 よりそれぞれの時間の分布は正

規分布にしたがい平均値で代表できることが分かった。

以上より、ロータリースイッチの操作における GOMS モデルのオペレータは回転方法と位置により 4 種類が考えられる。それぞれの動作時間はつぎの通りである。

一時停止回転:

一段目: 0.49[s], 二段目以降: 0.34[s]

連続回転

一段目: 0.35[s], 二段目以降: 0.11[s]

このようにロータリースイッチの操作時間を計測し、その操作におけるオペレータを決定したことにより、オペレータの動作時間を適用することで操作時間予測を精度よく行うことができる。

今後の課題としては、このオペレータを実際の機器の操作時間予測に適用したときの精度の評価、オペレータの導出過程においては精度の高い動作時間の測定、ならびにより効率的な測定方法の検討が考えられる。

謝 辞

本研究は (独) 産業技術総合研究所における技術研修の一環として行った。研修を実施していただいた人間福祉医工学研究部門 研究部門長 赤松幹之氏、副研究部門長 関芳明氏、ご指導いただいた職員の皆様に感謝いたします。また、検定について詳しくアドバイスをいただいた信州大学 准教授 島田英昭氏に感謝いたします。

参考文献

- 1) (独) 製品評価技術基盤機構. “事故情報収集・調査報告書 (平成 19 年度)”. 2008. <http://www.nite.go.jp/jiko/reports/H19/H19.html>, (参照 2009-6-22)
- 2) (独) 学技術振興機構. “失敗知識データベース”. 2009, <http://shippai.jst.go.jp/>, (参照 2009-6-22)
- 3) S.K. Card, T.P. Moran, and A. Newell: The Psychology of Human-Computer Interaction, Lawrence Erlbaum Associates, (1983).
- 4) 特許庁. 標準技術集 小型スイッチ. 2004. http://www.jpo.go.jp/shiryou/s_sonota/hyoujun_gijutsu/small_switch/b-4-2.htm, (参照 2009-6-22)
- 5) 伊藤謙治, 桑野園子, 小松原明哲 編. 人間工学ハンドブック. 東京, 朝倉書店, 2003
- 6) 熊谷 徹, 山下 樹里, 片桐 孝昌, 森川 治, 横山 和則, 北島 宗雄. After Events Annotator ビデオ画像イベント抽出支援ソフトウェア. インタラクシオン 2006. ポスターセッション. D-424, (2006)
- 7) 『ユーザビリティ ハンドブック』編集委員会, ユーザビリティ ハンドブック. 東京, 共立出版, 2007