

# プロトタイピングツールによる計測機器の操作時間予測

大森信行\* 北島宗雄\*\*

## Evaluation of Estimating Time Accuracy using a Prototyping-Tool “Cogtool”

Nobuyuki OHMORI, Muneo KITAJIMA

製品や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。本稿では、計測機器を対象とした操作性評価として、GOMSモデルに基づいたプロトタイピングツールCogtoolにより操作時間の予測を行った。本ツールはGOMSモデルに関する専門知識を必要とせずに予測ができるという特徴がある。予測にあたり、ダイヤルの操作をCogtoolに標準で用意された部品の操作によって近似するとともに、近似による操作時間予測の精度への影響を評価した。

キーワード：操作性，ユーザビリティ，操作時間，Cogtool，GOMSモデル

### 1 緒言

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。ユーザビリティの高い製品は、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。同様の操作が繰り返される生産設備等の業務用機器においては、効率向上の効果が大きい。

「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実施した。ユーザビリティ評価の三つの代表的な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：製品仕様をチェックリスト項目にしたがって評価する。利用が容易である反面、評価結果が評価者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。

本稿では、この中の認知工学モデル(GOMSモデル<sup>1)</sup>)に基づいて操作時間を予測する方法を検討した。認知工学モデルによる予測は実際のユーザによるテストを一定程度代用することができ、設計段階で製品の評価が行える。しかし、認知工学モデルの利用のためには、評価者自身が認知工学モデルの構築方法と構築されたモデルに基づく分析方法を熟知していなければならないという問題がある。認知工学モデルを応用したユーザインタフェース向けプロトタイピングツールは、これらの問題の解決策の一つである。プロトタイピングツールには、認知工学モデルに基づく操作時間予測の計算手法が実装されており、評価者は認知工学モデルについての専門知識がなくても、対象となる製品のデザインや操作手順の情報をツールに入力することで操作時間の予測が可能となる。

本稿では、カーネギーメロン大学で開発されたプロトタイピングツールCogtoolにより、操作時間の予測を行った事例について報告する。対象とした操作には、ダイヤルの操作が含まれるが、ダイヤルはCogtoolに標準で用意されていない部品であるので、CogToolへ新たにダイヤル操作を導入する必要がある。そこで、標準で用意された部品によりダイヤル操作を近似した時の操作時間を予測し、実測値との比較を行った。本研究により標準の部品により近似できることが分かれば、CogToolが対象とできるデバイスの範囲が広がり、CogToolの有用性をより高めることができる。また、CogToolの適用可能範囲を広げるための方法論として、この論文で行った標準の部品で近似する方法を利用可能であることが分かる。これにより、CogToolでは現在は扱えないデバイスであるトグルスイッチやスライドスイッチを使ったタスクの達成時間も

\* 製品科学部

\*\* (独)産業技術総合研究所 サービス工学研究センター・ヒューマンライフテクノロジー研究部門

予測できるようになる。

## 2 GOMSモデルによる操作時間予測

本章では、情報機器の操作を行うユーザの操作過程の認知モデルである「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。

### 2.1 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<sup>1)</sup>の提唱した人間を情報処理システムとしてとらえた情報機器操作のモデルであり、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最小単位の処理を行うと考える<sup>1), 2), 3)</sup>。

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

ここで、角括弧内の数値は処理時間の範囲であり、タスクが実行されている状況によって変動する。これらの数値を利用して、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しての予測を可能としている<sup>3)</sup>。後述するGOMSモデルは、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。

### 2.2 GOMSモデル

GOMSモデルは、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るが、そのうちKLM(The Keystroke-Level-Model: 打鍵レベルモデル)について述べる。KLMは、GOMSの中では最も単純な系列形式のモデルである<sup>1)</sup>。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<sup>2)</sup>。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。

## 3 プロトタイプングツールCogtool

CogtoolはWindowsおよびMac上で動作するユーザインタフェースのプロトタイプングツールであり、製品のプロトタイプの作成、ユーザの操作過程のKLMに基づくシミュレーション、操作時間の定量予測を可能とする。

### 3.1 Cogtoolの概要

Cogtoolでは認知科学分野の、先行研究の見解に基づいて、ユーザがタスク(課題)を実行する時間を定量的に予測する。タスク(課題)とは、ここでは機器の一連の操作により実現しようとしている機能のことである。例えば「出力する正弦波の周波数を50Hzに設定する」等である。

Cogtoolでは最終的に構築するユーザインタフェースを模擬するプロトタイプを利用してタスクを実行するユーザのタスク実行時間を精度よく予測できる<sup>4), 5), 6)</sup>。この予測は、GOMSの一種であるKLMと、ACT-R<sup>7)</sup>に基づいている。KLMは、操作時間の実測値と比べて20%以内の精度との報告があり<sup>5)</sup>、Cogtoolにおいても同程度の精度が期待できる。ACT-Rは人間の認知行動プロセスを、知覚・認知・行動プロセスによって表現する認知アーキテクチャの一つである。操作対象製品の状態変化を知覚・認知しながら、ボタン操作等を行うといった認知行動プロセスの並列処理を表現する。

予測にあたり評価者はCogtool内に機器のデザイン(フレーム)を作成する必要がある。フレーム作成では、メニューやボタンなどよく利用される標準的な部品はあらかじめ用意されており、組み合わせることで素早くフレームを作成できる。パイ・メニュー(放射状メニュー)やiPhone等のスライドメニュー(選択個所がスライドしサブメニューが表示されるメニュー)等のやや特殊な部品も若干の作業時間を要するが作成することができる。本稿で取り上げるロータリースイッチに対応する部品はCogtoolには準備されていない。また、先行研究もないので、新たに作成する必要がある。

### 3.2 Cogtoolの動作

Cogtoolでは、これから開発しようとしている機器のインタフェースの複数の代案を対象として、想定されるタスクの実行過程のシミュレーションを行い、操作時間を指標としてインタフェースデザイン仕様の比較を行う。

Cogtoolでは次の3段階の手順で操作時間を予測する。

- (1) インタフェースデザインのプロトタイプを複数作る。
- (2) 作成したプロトタイプで実現するタスクの操作内容を指定する。
- (3) 操作時間予測を計算する。

(1)では評価対象製品のデザインの状態をフレームとして表現し、一連の操作による製品の状態の変化(遷移)をフレーム系列(ストーリーボード)として表現する。各フレームはウィジェットと呼ばれるメニューやボタン等の部品で構成される。ユーザによるフレーム内のウィジェットに対する操作により起こる、評価対象製品のある状態から別の状態への遷移を、フレーム間の遷移により表現する。例として次章で取り上げる機器では、ダイヤル操作により出力信号の周波数が変わり、モニタ部の表示周波数も変わるといった状態の変化である。(2)では、ストーリーボードを構成する各フレームについて、実際の操作と同一の順番で、部品を表すウィジェットを操作する



操作過程の指定 フレーム系列

図1 Cogtoolの画面イメージ

ことにより、操作内容を指定する。(3)の操作時間予測は、以上の入力に基づいてCogtoolが実施する。このため、ユーザの計算作業は不要である。図1は2つのデザインについて、それぞれで2つのタスクを実行したときの操作時間を比較している様子を示している。



図2 操作に伴う機器の状態変化

#### 4 Cogtoolによる操作時間予測

計測機器を対象としたCogtoolによる操作時間の予測事例について示す。

##### 4.1 予測対象製品と操作内容

操作時間予測を行った製品は図1に示すファンクションシンセサイザ ((株)エヌエフ回路ブロック 型番WF1945 製造番号328057)である。本製品は、計測用信号源として利用され、ユーザが指定した波形種別、ピーク電圧値、周波数等に応じた電圧を出力端子に出力する。電源スイッチの他に、設定値を入力するキーや、調整するためのロータリースイッチ等を内蔵している。

本製品により、出力周波数を50kHzに設定後、1kHz刻みで80kHzまで増加されるという課題を実行した。操作内容は、ボタン操作により周波数を入力モードに変更して、50kHzを指定し、その後に80kHzとなるまでダイヤルを回転する、というものである。

##### 4.2 操作時間予測

Cogtoolで対象機器の部品の配置と操作内容を指定し、操作時間の予測を行った。本作業は以下の3ステップで実施した。Cogtool実行時の画面イメージを図1に示す。

(1)インタフェースデザインのプロトタイプ作成:予測対象製品操作部の画像を取り込み、フレームとフレーム系列を作成する。フレームは機器のある状態を、フレーム系列は部品の操作に伴う機器の状態の変化を表す。図2上部はフレームの内容を示している。ここでは、対象機器の画像において操作するボタンの位置や大きさを指定している。図2下部はフレーム系列を示している。この例では、ユーザが機器の部品を操作することで機器の状態が変化していく様子を複数のフレーム間の遷移で表してい

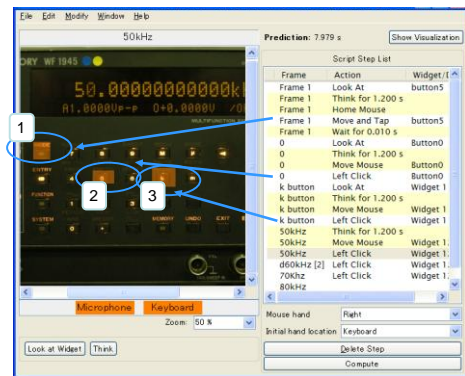


図3 操作する部品と順序の指定

る。例えば、周波数を変更するボタン操作を行うと、それに対応して表示される周波数(出力電圧の周波数を示す)が変化する。このような機器の状態の変化を、状態に対応したフレーム間の遷移で表現する。

(2)本ツール内でプロトタイプを操作し、タスク実行の操作過程を指定する。本作業は、実際の製品の操作と同様の部品・順番で、Cogtool内のデザインを操作(マウスで選択)することで実行する。図3は操作する部品と順番を指定している例を示している。図中の丸印が対象部品を、丸印横の数字が操作する順番を表す。図の右側には、選択した操作内容が表示されている。

(3)操作時間予測:以上の(1)と(2)の作業結果から、予測される操作時間を計算する。計算はCogtool内部で、機器のデザインと、GOMS (KLM)やACT-Rのモデルに従って計算され、図1左上のように予測時間が表示される。予測結果は約8.0秒であった。

なお、今回予測した一連の操作はボタン操作とダイヤル操作を含む。Cogtoolではダイヤル操作を表すウィジェ

ットは標準では用意されていないが、ダイヤル操作を表すウィジェットと、GOMS (KLM) やACT-Rのモデルに従った操作時間予測の計算方法をあらかじめCogtoolに実装しておくことで、予測が可能となる。現時点では本ダイヤルの操作時間予測に適用できる十分な知見が蓄積されていないことと、本稿ではCogtool標準の機能によりダイヤル操作を近似した時の操作時間予測の精度を評価することを目的としていることから、10Hz分のダイヤル操作を1回のボタン操作として近似して予測を行った。ダイヤル操作によって1ステップだけ進めるときには、(1)ダイヤルを掴む、(2)ダイヤルを回し1ステップ進んだことを触覚的・聴覚的（・視覚的）に確認する、というプロセスが含まれる。それに対し、ボタン操作においては、(1)指をボタンの上に置く、(2)ボタンを押し、接点が閉じたことを触覚的・聴覚的に確認するというプロセスが含まれる。このようにダイヤル操作はボタン操作に近似的に置き換えて考えることができる。

一方、ダイヤル操作自体をCogtoolに実装することは可能であるが、そのためには、Cogtoolのコードを変更する必要がある。Cogtoolはプロトタイピングツールであり、準備されているウィジェット以外のウィジェットを評価者が独自に実装することはツールの開発コンセプトとは合わずむしろ既に実装されているウィジェットで代用することが望ましい。本稿では、その可能性を探求した。

今回は、1種類の操作(タスク)について予測を行ったが、Cogtoolでは同一の機器で複数の異なった操作(電圧を変更する、波形種類を変更する等)を行ったときのそれぞれの操作時間を予測したり、本稿における「周波数を変更する」というタスクを別の機器で行ったときの操作時間を予測して比較することができる。

## 5 予測精度の評価

ダイヤル操作の近似による予測の精度を評価するため、被験者(1名)による実際の機器の操作時間を測定した。予測と同じ操作を、実機により10回繰り返したところ、実測値は平均8.1秒、標準偏差0.86秒となった。この計測の前に、被験者が操作に習熟するまで時間や回数を指定せずに練習を実施した。手指の配置や姿勢変化により操作時間が影響を受ける可能性があるため、計測中の手指の位置や姿勢をできるだけ維持するよう教示した。

以上から、対象とした機器の操作時間について、ダイヤル操作をボタン操作で近似することでCogtoolにより実測値の1割以内の精度で予測できることが確認できた。

今回の予測結果は、ダイヤル操作をボタン操作(マウスクリック)として近似した場合の予測である。近似による誤差の大きさや、ダイヤルやボタンの操作回数によっては、予測値の誤差も大きくなる可能性がある。また、Cogtoolでは操作する部品の種類や順番により合計の操作時間が異なるという仮定に基づいているので、今回の操作と順番が異なる場合にも近似による誤差が予測値に大きく影

響する可能性がある。対象とした操作は、これらの影響が小さかったために、近似による誤差が1割程度となったと考えられる。

## 6 まとめ

Cogtoolの予測時間と実測値の比較から、ダイヤル操作をボタン操作で近似した場合であっても、操作時間の予測が一定の精度でできることが確認できた。Cogtoolに期待される予測精度は20%程度であるので、本近似による精度の低化は確認されなかった。

今後の課題としては、今回の被験者数は1名のみであるので、被験者数を増やした操作時間の計測により、近似の妥当性を評価することがあげられる。

ダイヤル操作に関する操作時間を導出するとともにGOMS (KLM) やACT-Rに従ってダイヤル操作時間予測のモデルを作成することで、近似による影響を抑えることができる。また、ダイヤル操作について汎用的な操作時間やモデルを導出することで、他の機器の操作時間予測の精度を向上させることも可能となる。このようなCogtoolにおけるダイヤルの操作時間予測に関する知見の蓄積も今後の課題である。

## 謝 辞

研修の一環として研究の機会を与えてくださった(独)産業技術総合研究所 ヒューマンライフテクノロジー研究部門 赤松幹之研究部門長、関芳明 副研究部門長、職員の皆様に感謝いたします。Cogtoolの機能についてアドバイスをくださったカーネギーメロン大学 Bonnie E. John教授に感謝いたします。

## 参考文献

- 1) S. K. Card, T. P. Moran, and A. Newell: The Psychology of Human-Computer Interaction, Lawrence Erlbaum Associates, (1983).
- 2) 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
- 3) 『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
- 4) John, B. E., CogTool User Guide. Version 1.1, 2009, p2-5.
- 5) John, B. E., Prevas, K., Salvucci, D. D., Koedinger, K. Predictive human performance modeling made easy. Proc. CHI 2004, Vienna, Austria, ACM New York, 455-462(2004)
- 6) Luo, L. & John, B. E. Predicting task execution time on handheld devices using the Keystroke-Level Model. Extended Abstracts of CHI 2005, Portland, Oregon, ACM, New York, (2005)
- 7) Anderson, J. R., & Lebiere, C. The atomic components of thought. Mahwah, NJ, Erlbaum. 1998