

視覚障がい者用スクリーンリーダーのユーザビリティ評価について — GOMSモデルを用いた分析 —

栗川 隆 宏*

Evaluation of Screen Reader Usability for Blind Users: Analysis Using GOMS Model.

Takahiro KURIKAWA

The present study addresses usability of screen readers that people with severely visual impairments use to access personal computers and the Internet. Although personal computers and the Internet have become necessary tools for daily life as a means for people with visual impairments to collect information and to communicate, in fact the users are dissatisfied with the screen readers and application software. For examples, the screen readers do not read out some files and items, and the way to use is too complicated for the users to understand.

Evaluation, therefore, was carried out in terms of operation time, operation efficiency, and cognitive load using the GOMS model. Five scenarios were selected to evaluate when using the Windows. Analysis tables by NGOMSL model were completed on respective scenarios. The results indicated that it took more number of statement and execution statement, and more execution time to complete tasks when using screen readers than when using mice. The implication of the results and way of solving such problems were discussed.

Key Words (キーワード): Visual Impairment (視覚障がい), Screen Reader (スクリーンリーダー), Usability Evaluation (ユーザビリティ評価), GOMS モデル分析 (GOMS Model Analysis)

1. はじめに

本論文は、視覚障がい者がパソコン操作で使用するスクリーンリーダーのユーザビリティについて、特に、操作の効率性や操作時間、認知負荷の視点から評価を行ったものである。

視覚障がい者の日常生活において、「歩行」と「文字の読み書き」が2大困難とされるが、「文字の読み書き」はパソコンやインターネットを使用することによって、かなりの部分を補償することが可能である。例えば、読書については、これまでは朗読サービスなどに頼っていたが、パソコンとス

キャナーを利用することによって、障がい者自身の力で読むことが可能となる。パソコンで音声読み上げができるCD図書も徐々に普及しつつある。さらに、食料品など日常生活用品について、ネットショッピングを利用する障害者もいる。このように、近年、パソコンやインターネットは視覚障がい者にとって必須の生活支援ツールとなっている。

視覚障がい者は画面とマウスを使わず、スクリーンリーダーの音声案内に従ってキーボードを用いて操作を行う。スクリーンリーダーは、画面上の情報を読み上げるアプリケーションソフトで、重度の視覚障がい者がパソコンを使用する場

*呉大学 社会情報学部 (Faculty of Social information Science, Kure University)

合に必ず必要である。しかし、スクリーンリーダーは、一般的に、「読み上げないファイルや項目がある」「調子が悪いときに対処できない」「操作がわからない」「探すのに時間がかかる」などユーザにとって不満は多い^{1) 2)}。

スクリーンリーダーの問題点としては、「アクセシビリティ問題」と「ユーザビリティ問題」がある。これらについては、世界中で多くの研究がなされ、その改善策も数多く提案され、改善されつつある。Windowsは視覚を用いてわかりやすく、使いやすく、効率的な操作ができるように設計されたものである。Windowsを基本とするスクリーンリーダーは、必ずしもユーザビリティのレベルが高いとは言えないが、スクリーンリーダーそのものの使いやすさについて評価を行った研究は非常に少ない²⁾。

そこで、本研究ではスクリーンリーダーのユーザビリティについて評価を行うこととした。エキスパートユーザを想定したユーザビリティ評価に適しているGOMSモデル分析法をスクリーンリーダーに適用できるように、GOMS分析法を拡張した。そして、それを用いて操作の効率性や操作時間、認知負荷の観点からスクリーンリーダーのユーザビリティについて検討を行った。

2. 研究の背景

2-1 視覚障がい者のICT利用の意義と実態

視覚障がいの程度によって、パソコン使用の支援方法が大きく異なり、3級以上の中度・軽度の障がい者の場合は文字を拡大することによって支援を行う。一方、1・2級の重度障がい者の場合は、視覚に代えてスクリーンリーダーを用い、画面上の情報を読み上げる。厚生労働省の「平成23年生活のしづらさなどに関する調査」³⁾では、視覚障がい者316千人のうち、1・2級重度障がい者は61.4%を占める。

視覚障がい者は視覚情報の入手が困難であるため、情報へのアクセスやコミュニケーションの手段が制約される。しかし、例えば、パソコンやインターネットを利用すると本や新聞を読むことが

可能となり、また、メールを利用することによって健常者との文字によるコミュニケーションが可能となるなど、パソコンやインターネットは生活の必須ツールとなっている。このように、パソコンやインターネットを利用することは、健常者がこれらを利用する以上に重要な意味を持っている。しかし、「平成18年身体障害児・者実態調査結果」によると、表1に示すように、パソコン利用者の割合は、「毎日利用する」「たまに利用する」を合わせても12.4%と少なく、視覚障がい者のパソコンの利用があまり進んでいないことがわかる。

表1 視覚障がい者パソコンの利用状況

利用する		利用しない		回答なし	総数
毎日利用する	たまに利用する	殆ど利用しない	全く利用しない		
28 (7.4)	19 (5.0)	12 (3.2)	275 (72.6)	45 (11.9)	379 (100.0)
-----		-----			
(12.4)		(75.7)			

2-2 視覚障がい者のパソコン操作

視覚障がい者は、スクリーンリーダーを用いてWindowsを操作するほか、メールやブラウザ、ワープロ、スプレッドシートなどのアプリケーションの操作も行う。スクリーンリーダーはどのようなアプリケーションにも対応しているのではなく、基本的には上記などの特定のアプリケーションに対応しているだけであり、それ以外のアプリケーションには対応していない。アプリケーションによっては、マウスでしか操作できない部分や読み上げない部分があり、視覚障がい者にとってバリアとなっている。

スクリーンリーダーは、種類によって異なるが、4-5万円で販売されている。視覚障がい者はこのスクリーンリーダーを購入しないと使用できないことから、AFB (American Foundation for Blind) では、Blindness Tax⁴⁾と呼んでいる。栗川らの不満調査¹⁾では、ユーザの63.1%が「価格が高い」と評価をしている。一方、視覚障がい者がITを利用する時の経済的また社会的バリアを低くすることを目指したNVDA⁵⁾は、オープンソースを利用して開発され、無料で提供されている。

Windowsは、アクセシビリティを確保するため、Windowsの全ての機能をキーボードで実行できるように設計する考え方、つまり、キーボードナビゲーションが貫かれており、多くの種類のショートカットキーが提供されている。

視覚障がい者がウェブを閲覧する場合、例えば、「画像に代替テキストがない」「色に情報を与える」など視覚障がいユーザにとって操作できない部分があること、つまり、アクセシビリティ問題が生じる。

2-3 関連研究

視覚障がい者とICTに関する先行研究を調べた結果、①ウェブ・アクセシビリティの実態とその原因に関する研究 ②ユーザビリティの向上に関する研究 の2つの分野に分けることができた。

(1) ウェブ・アクセシビリティの実態に関する研究関連研究

この分野の研究は2000年頃から盛んに行われた(Lazarほか⁶⁾、馮瑋ほか⁷⁾、2006; 栗川ほか⁸⁾、浅井ほか⁹⁾、村岡ほか¹⁰⁾。

代表的なものとして2004年に実施された英国障がい者人権委員会のウェブ・アクセシビリティ実態調査¹¹⁾が挙げられる。同委員会は、1000箇所のサイトのトップページを対象に、WAIのウェブ・コンテンツ・アクセシビリティ・ガイドライン(WCAG1.0)のプライオリティ1を用いてチェックを行った結果、これを遵守するサイトは全体の19%しかないと報告している。また、最も厳しい基準プライオリティ3を遵守するウェブサイトはなかったとしている。平均すると1ページ当たりの違反件数は108件に上ったと報告している。また、ガイドラインの遵守率が低い原因として、ウェブサイトの開発者うち、アクセシビリティに関する専門知識を持っている人が9%と少ないことを挙げている。

また、障がい者による評価テストでは、ユーザによって使いにくいと確認された問題点の45%が、ガイドラインのチェックポイントを守っていた。このことは、これらの問題がユーザによるテストでしか発見できないことを示している。ガイドラインを守っているウェブでも使いにくいこと

がわかる。アクセシビリティに問題がないページにおいても、目的のタスクを達成するためには、視覚障がいユーザは健常者グループの3倍以上の時間を要すると報告している。

Krepsら¹²⁾は、アクセシビリティに関する論文を広くレビューし、ガイドラインの各項目をチェックする自動ソフトウェアの普及がアクセシビリティの状態を悪化させたと指摘している。

(2) ユーザビリティ向上に関する研究

視覚障がい者がスクリーンリーダーを使ってウェブを操作する場合、健常者に比べ、いくつかの点において不利な状態にある。例えば、Leporiniら¹³⁾は次の5点を指摘している。

① ページ内容の順番化

スクリーンリーダーはウェブの内容を、視覚的に表示されている位置とは関係なく、あるルールに従って読み上げる。

② Tabキーと特殊コマンドによるナビゲーション

視覚障がいユーザはページ内を素早く移動するために、Tabキーや特殊なキーを用いて移動する。

③ 視覚的レイアウトによって伝達させる情報と音声化された情報との違い

位置や色、ブランク、スペース、フォーマティングなどの有益な情報は視覚的特性によって提供されている。

④ ページの文脈情報の不足

スクリーンリーダーによって操作するとき、現在のページの全体における文脈を失う。

⑤ 逐次読み上げによる情報のオーバーロード

必要な情報が記載されているところまで、スクリーンリーダーによって読み上げる必要がある。

たとえ、ウェブページがアクセシブルであっても、このような原因によって視覚障がいユーザは目的を達成するために多くの時間がかかったり、誤選択をしたりすることが少なくない。これらの問題を解決するため、オリジナル情報にアノテーション情報を自動的に追加し、ユーザビリティを改善しようとする研究が多くなされている。

例えば、①と②の状況を改善するため、松永ら¹⁴⁾

は、読み上げ開始前にページ名のリンク総個数を提示し、各リンクには番号を付与して読み上げることを提案した。リンク総個数の提示はページ規模の把握の助けとなり、付与された番号は総個数と併せて残りのリンク数及び重要だと判断できるリンクの記憶に非常に効果的であったと報告している。

④と⑤の状況を改善するため、Mahmudら¹⁵⁾は、新しいページに移動したときに、そのページに含まれる情報のうち、前のページとの関連の強い情報から読み上げるよう工夫を行うことによって、操作時間の短縮など効果が得られたと報告している。

3 本研究の特徴

(1) 研究対象

ユーザはスクリーンリーダーやアプリケーションソフトに対して不満が高く、改善が必要である。それに対して、アクセシビリティやユーザビリティを改善するための研究は数多く実施され、成果も上がっている。視覚障がい者がWebやアプリケーションソフトを使用する場合、スクリーンリーダーを必ず使用しなければならないが、スクリーンリーダーそのもののユーザビリティを対象とした研究はほとんど実施されていない。

スクリーンリーダーは、Windowsを基本にして読み上げる。Windowsは、視覚を用いて効率的な操作ができるように設計されている。それを音声で利用する場合、必ずしも効率的な操作ができるとは限らない。また、初心者が学習しやすいとも限らない。

本研究では、スクリーンリーダーそのものを取り上げ、ユーザビリティの問題を明らかにすることにした。

(2) ユーザビリティの分析方法

ユーザビリティ評価とは、製品やシステムの使いやすさにおける問題点を発見することを目的とした評価である。ユーザビリティを評価する方法は、表2に示すようにさまざまな方法^{16) 17)}がある。

表2 さまざまなユーザビリティ評価法

A ユーザによる評価方法 (ユーザテスト)
1) 質問紙法による評価
2) 観察法による評価
3) 実験による評価
B 専門家による評価 (インスペクション)
1) チェックリストによる評価
2) ヒューリスティックによる評価
3) 認知的ウォークスルーによる評価
4) GOMSモデルに基づく評価

Aユーザテストは、システムやプロトタイプを実際のユーザに使用してもらい、その観察記録から問題点を指摘する評価手法である。一方、インスペクション評価は、ユーザビリティエンジニアという専門家が製品・システムにおけるユーザビリティ上の問題点を抽出するものであるが、初期の開発フェーズでは、実機がない場合でも適用できるという利点がある。

Bインスペクション評価にもさまざまな評価法がある。認知的ウォークスルー法の評価対象とするユーザがノビスユーザであるのに対して、GOMSモデル分析法はエキスパートユーザを対象としている。この2つの方法は評価するユーザにおいて対照的である。

本研究では、より定量的な評価を行うことができるGOMSモデル分析法を用いることとした。GOMSモデル分析法は、ユーザが対象のタスクについて十分習熟しており、タスク遂行中にエラーが発生しないという前提条件のもと評価を行う。本研究は、タスクを遂行するためにユーザがシステムをどのように使用するかについて詳細に記述し、その記述モデルに基づいて、操作実行時間などの効率性やシステムの学習のしやすさ、認知負荷の観点から定量的・定性的に評価しようとするものである。

4 分析方法

4-1 GOMSモデル分析の概要

GOMS (Goals, Operators, Methods, Selection Rules) モデルとは、ユーザのタスクとタスク遂

行に要する知識を、目標・オペレータ・方法・選択規則の4つ要素から記述するものである¹⁸⁾。GOMSの適用の妥当性は、タスクの特徴によって決まり、GOMSは目標志向性の明確なタスクに対して適用可能である。また、ユーザがタスクの遂行方法を熟知していて、遂行すべき状況の認識と実行の意思決定を行う定型的なタスクに対して適用可能である。

本研究では、Kieras¹⁹⁾が提案するNGOMSL (Natural GOMS Language)を用いて、モデルを記述することとした。

4-2 評価シナリオとタスク分析

分析対象のタスクとして、表3に示すようにWindowsの操作に関して5つのシナリオを選び出した。なお、評価対象のOSとスクリーンリーダーは、Windows7とPC-Talker (高知システム開発社製)であった。

表3 分析対象のシナリオ

<Windowsの操作>	
W-1	パソコンの電源を切る。
W-2	USBメモリの取り外し。
W-3	ごみ箱を空にする。
W-4	ファイルをあるフォルダへ移動する。
W-5	音声のボリュームを3段階上げる。

次に、それぞれのシナリオに対して、スクリーンリーダーによる操作の場合とマウスによる操作の場合それぞれにおいて、詳細なタスク分析を行った。シナリオW-2に対するタスク分析の結果を表4に示す。

スクリーンリーダーによる操作とマウスの操作を比較すると、①スクリーンリーダーによる操作は操作数が圧倒的に多いこと、②スクリーンリーダーによる操作の場合、ステップ8-19に見られるように、「キー操作+音声の確認」を多数繰り返す。

表4 シナリオW-2 (USBメモリーを取り外す) に対するタスク分析

<キーボードによる操作 (スクリーンリーダーを使用)>	<マウスによる操作>
1 Winキーを押す。	1 画面下の通知領域のUSBアイコンにカーソルを移動する。
2 Escキーを押す。	2 クリックする。
3 Tabキーを押す。	3 「デバイスを安全に取り外せます」とのメッセージを確認する。
4 「マイコンピュータ」の音声を確認する。	4 USBメモリーを取り外す。
5 Tabキーを押す。	
6 「インターネット接続」などの音声を確認する。	
7 「ハードウェアの安全な取り外し」の音声を確認するまで、→キーを押す。	
8 Enterキーを押す。	
9 「安全な取り外し」「大容量記憶デバイス」の音声を確認する。	
10 Tabキーを押す。	
11 「プロパティ」の音声を確認する。	
12 Tabキーを押す。	
13 「停止」の音声を確認する。	
14 Enterキーを押す。	
15 「OKのボタンの確認」の音声を確認する。	
16 Enterキーを押す。	
17 「停止のボタンの確認」の音声を確認する。	
18 Enterキーを押す。	
19 「停止の確認」の音声を確認する。	
20 USBメモリーを取り外す。	

表5 オペレーターと推定時間 (Kierasらが提案したオペレーター)

記号	推定時間 (sec)	備 考
K	0.28 [0.12-1.2]	キーストローク。キーボード上のキーまたはボタンを押すことである。ShiftキーまたはCtrlキーは独立したキーとしてカウントする。
T (n)	n x K	一連のn文字をキーボードで入力する。ファイル名などのように一塊の文字を入力する場合に用いる。
P	1.1	ディスプレイ上の目標にカーソルを合わせる場合に用いる。
B	0.1	マウスボタンを押したり、放す場合に用いる。
BB	0.2	このオペレーターは、マウスをクリックした場合に用いる。
H	0.4	このオペレーターは、手をキーボードまたはマウスに持っていった場合に用いる。
M	1.2 [0.6-1.35]	ルーティン的な心的操作。
W		システムが応答するのを待つ場合に用いる。

表6 新たに定義したオペレーター

記号	推定時間 (sec)	備 考
He (10) /He (n)	1.5 [n*0.15]	n文字の音声を読み上げる間、それを聞き、理解する。その場合、n*0.15sec必要である。本研究では、10文字を聞けば、判断できると仮定した。 なお、ここでの読み上げ速度は、400文字/分とした。
V	0.1	読み上げ内容と目的とする項目を照合・判断する。NGOMSステートメント時間と考えた。

表7 「ファイルを探す」方法の記述例

A マウスを使用した場合	
ステップ1	ファイル名を再生・保持し、ファイルを探す。
ステップ2	カーソルを移動する。
ステップ3	そのファイルを右クリックする。ファイル名をWMから削除する。
ステップ4	確認する。
ステップ5	目標が達成されたとして戻る。
B スクリーンリーダーを用いた場合	
ステップ1	目的のファイルを再生・保持し、移動キー(↑キーまたは↓キー)名を再生・保持し、そのキーを押す。
ステップ2	読み上げ、聞き取りを行う。
ステップ3	Decide: IF<目的のファイルでない>Then <Go To 1> IF<目的のファイルである>Then <Enterキーを押し、 ファイル名および移動キー名をWMから削除する>
ステップ4	確認をする。
ステップ5	目標が達成されたとして戻る。

返すことが特徴である。

4-3 GOMSモデルの拡張

(1) 新たに定義したオペレーター

Kierasら¹⁹⁾は、基本オペレーターとして表5に示すオペレーターを提案している。マウス操作については、KierasらのGOMSモデルガイドに記載されている方法に従った。一方、スクリーンリー

ダーの操作をモデル化するためには、それらのオペレーターだけでは不十分である。スクリーンリーダーの操作では、音声ガイダンスを聞き、それが目的の項目であることを確認するステップが含まれているため、それらに対応するオペレーターを新たに定義する必要がある。

そこで、表6に示すように、読み上げ・聞き取りオペレータ(He)とその内容が目的の項目か

どうかの照合・判断オペレーター (V) を新たに定義する。読み上げ・聞き取りオペレーターは、スクリーンリーダーの読み上げを聞き、理解する動作を指す。しかし、読み上げる量は、項目によって大きく異なる。例えば、「ファイル」と4文字を読み上げる場合もあれば、「ハードウェアデバイスH USB大容量聞く装置デバイス……」と約30文字を読み上げる場合もある。

視覚障がいユーザの操作を観察すると、読み上げすべてを聞いた後、判断をするのではなく、この項目は、目的のものでないと判断すると、読み上げを中断し、次の項目の読み上げを行っている。本研究では、読み上げを中断するモデルを採用し、中断までに読み上げる文字数を10文字とした。この文字数は、十分な根拠はないが、多くの場合、10文字の読み上げによって、目的の項目を照合できるものと思われる。

(2) オペレーターの実行推定時間

オペレーターの実行推定時間は、KierasらのKLM²⁰⁾の推定時間を採用した。また、独自に定義したHe (10) とVオペレーターの推定時間は、それぞれ1.5, 0.1secとした。He (10) の推定時間の基礎となるのが、読み上げ速度である。視覚障がいユーザの読み上げ速度は、一般的に速いため、ここでは、読み上げ速度を400文字/分として推定時間を計算した。

また、照合・判断 (V) オペレーターは、認知的負荷はそれほど重くないと思われるため、一般的には、NGOMSLステートメント時間 (0.1sec) に含めた。しかし、このプロセスは、一つの目標達成に何度も実行されること、また、スクリーンリーダー特有のプロセスであることなどから、あえて、NGOMSLステートメント時間とは別に捉え、0.1secとした。

4-4 GOMSモデル分析によるユーザビリティ評価項目

GOMSモデルでは、ユーザビリティに関してさまざまな定量的評価や定性的評価ができるが、本研究では、操作時間および学習時間、ワーキングメモリーの負荷について評価を行うことにする。

(1) 操作時間および学習時間の推定方法

操作時間の推定は、Kierasら¹⁹⁾は次の式により推定できるとしている。本研究でもこの推定方法を用いる。

なお、聞き取りオペレーターは、[待ち時間]に分類することも可能であるが、ここでは心的オペレーターに分類した。

$$\begin{aligned} [\text{実行時間}] = & [\text{NGOMSLステートメント時間}] + \\ & [\text{基本外的オペレーター時間}] + \\ & [\text{アナリスト定義心的オペレーター時間}] + \\ & [\text{待ち時間}] \quad \text{————— (1)} \end{aligned}$$

ただし、[NGOMSLステートメント時間] = [実行するステートメントの数] × 0.1 sec

[基本外的オペレーター時間] = [外的オペレーターに対する時間の合計] (表4で定義)

[アナリスト定義心的オペレーター時間] = [アナリストが定義した心的オペレーターに対する時間の合計] (表5で定義)

[待ち時間] = [システムの応答を待つ時間]

学習時間は、そのシステムの操作を学習する時間を指し、Kierasらは、次のように定義している。なお、本研究では、純粋な方法の学習時間だけを用いて評価した。

$$[\text{学習時間}] = [\text{純粋な方法の学習時間}] + [\text{LTM項目の学習時間}] + [\text{訓練実行時間}] \quad \text{— (2)}$$

(2) ワーキングメモリーの負荷

ユーザがワーキングメモリー (WM) をどのように使用しているかを明示的に表現することによって、WMに対する負荷の状況を評価することができる。それは、WMに情報が入る時、そこにアクセスする時、WMから情報を除去する時に、その方法を明示することで表現できる。

例えば、「ファイル名一覧から特定のファイルを探す」タスクを、マウスを使用する場合とスクリーンリーダーを使用する場合それぞれNGOMSLで記述すると、表7のとおりとなる。WMに対する操作を必要とする部分をアンダーラインで明示する。

表7Bに示すように、スクリーンリーダー使用時のワーキングメモリーへの負荷を考えた場合、目的とするファイル名の再生・保持は当然であるが、移動するためのキーは幾つかあるので、この場合に使用する移動キーも再生・保持しなければならない。さらに、それらを保持した上に、そのファイル名に関する照合・判断を行う。ステップ3では、計3チャンクの負荷がかかることになる。これは、スクリーンリーダーを使用する場合、マウスの場合に比べて、2チャンク多くの負荷がかかるものと思われる。このようにWMに対する負荷チャンク数を求めるWMへの負荷を評価することとした。

5 分析結果

5-1 NGOMSLモデルの記述

表3に示すWindowsの操作に関するシナリオ(W-1~W-5)について、マウスおよびスクリーンリーダーを使用した場合のNGOMSLモデルを構築した。「W-1 パソコンの電源を切る」

および「W-4 ファイルを移動する」の結果をそれぞれ表8-1, -2, 表9-1, -2に示す。

例えば、「W-1 電源を切る」操作のNGOMSLモデルは、マウスの場合、トップの方法と1つの下位の方法によって構成される。一方、スクリーンリーダーの場合、トップの方法と2つの下位方法によって構成される。

マウスおよびスクリーンリーダーの実行ステートメント数は同程度である。しかし、マウスの場合では類似の方法が3つあったが、一つの方法で記述できた。

また、スクリーンリーダーの場合、2か所で「条件付きジャンプの判断」が行われるが、その繰り返し回数は、それぞれ1回と少なかった。しかし、この繰り返し回数は、メニュー上やダイアログボックス上の目的の項目やボタンがどこにあるかによって決まる。

表8-1 「W-1 パソコンの電源を切る」(マウス使用)のNGOMSLモデル

<W-1 マウス>		op.	n.s.	l.s.
方法：W-1 パソコンの電源を切る。				
ステップ1	マウスに手を移す。	H	1	1
ステップ2	目標を達成：スタートメニューを開く。[M1]		1	1
ステップ3	目標を達成：「終了オプション」ボタンを実行する。[M1]		1	1
ステップ4	目標を達成：「電源を切る」ボタンを実行する。[M1]		1	1
ステップ5	画面が消えるのを確認する。		1	1
ステップ6	目標が達成されたとして戻る。		1	1
方法：[M1] ボタンをクリックする。				
ステップ1	ボタンの名前を再生・保持し、そのボタンを探す。		3	1
ステップ2	そのボタンにカーソルを合わせる。	P	3	1
ステップ3	そのボタンをクリックし、そのボタンの名前をWMから削除する。	BB	3	1
ステップ4	目標が達成されたとして戻る。		3	1
			NGOMSL実行ステートメント数	18
			NGOMSLステートメント実行時間	1.8
			オペレーター時間	4.3
			実行時間	6.1
			NGOMSLステートメント数	11.0

op.: オペレーター
n.s.: 実行回数
l.s.: NGOMSLステートメント

表8-2 「W-1 パソコンの電源を切る」(スクリーンリーダー使用)のNGOMSL モデル

<W-1 スクリーンリーダー>

方法：W-1パソコンの電源を切る。		op.	n.s.	l.s.
ステップ1	キーボードに手を移す。	H	1	1
ステップ2	目的を達成：「スタートメニュー」を開き，「終了オプション」項目を実行する。[M1]		1	1
ステップ3	目標を達成：「電源を切る」ダイアログボックスの「電源を切る」ボタンを実行する。[M2]		1	1
ステップ5	読み上げ，聞き取りを行う。終了の確認を行う。	He	1	1
ステップ6	目標が達成されたとして戻る。		1	1

方法：[M1] スタートメニューの項目を実行する。				1
ステップ1	目的とするキーの名前を再生・保持し，そのキーを押す。	K	1	1
ステップ2	読み上げ，聞き取りを行う。	He	1	1
ステップ3	目的のメニューであることを確認する。WMから削除。	V	1	1
ステップ4	目的の項目を再生・保持し，移動キーの名前を再生・保持し，移動キーを押す。	K	1	1
ステップ5	読み上げ，聞き取りを行う。	He	1	1
ステップ6	Decide: IF<目的の項目でない>Then <Go To 4> IF<目的の項目である>Then <Enterキーを押す>	K	1	1
ステップ7	実行を確認し，項目の名前，移動キーの名前をWMから削除する。		1	1
ステップ8	目標が達成されたとして戻る。		1	1

方法：[M2] ダイアログボックスのボタンを実行する。				1
ステップ1	目的のダイアログボックスの名前を再生・保持し，読み上げ，聞き取りを行う。	He	1	1
ステップ2	目的のダイアログボックスであることを確認する。WMから削除する。	V	1	1
ステップ3	目的のボタンの名前を再生・保持し，移動キーを再生・保持し，Tabキーでボタンを移動する。	K	1	1
ステップ4	読み上げ，聞き取りを行う。	He	1	1
ステップ5	Decide: IF<目的のボタンでない>Then Go To 3 IF<目的のボタンである>Then <Enterキーを押し， ボタンの名前，移動キーの名前をWMから削除する>	K	1	1
ステップ6	目標が達成されたとして戻る。		1	

op.: オペレーター
n.s.: 実行回数
l.s.: NGOMSLステートメント

NGOMSL実行ステートメント数	19	21
NGOMSLステートメント実行時間	1.9	
オペレーター時間	9.5	
実行時間	11.4	
NGOMSLステートメント数	21.0	

表9-1 「W-4 ファイルを移動する」(マウス使用)のNGOMSLモデル

<W-4 マウス>

方法：W-4ファイルを移動する。		op.	n.s.	l.s.
ステップ1	マウスに手を移す。	H	1	1
ステップ2	目標を達成：スタートメニューを開く。[M1]		1	1
ステップ3	目標を達成：「マイコンピュータ」を実行する。[M1]		1	1
ステップ4	目標を達成：目的のディレクトリに移動する。[M2]		1	1
ステップ5	目標を達成：目的のファイルを切り取る。[M3]		1	1
ステップ6	目標を達成：移動先のディレクトリに移動する。[M2]		1	1
ステップ7	目標を達成：目的のファイルを貼り付ける。[M3]		1	1
ステップ8	目標が達成されたとして戻る。		1	1
方法：[M1] ボタンをクリックする。				1
ステップ1	ボタンの名前を再生・保持し、そのボタンを探す。		2	1
ステップ2	そのボタンにカーソルを合わせる。	P	2	1
ステップ3	そのボタンをクリックし、そのボタンの名前をWMから削除する。	BB	2	1
ステップ4	目標が達成されたとして戻る。		2	1
方法：[M2] ディレクトリーを移動する。				1
ステップ1	ディレクトリー名を再生・保持し、移動ボタン名を再生・保持し、ボタンを探す。		5	1
ステップ2	そのボタンにカーソルを合わせる。	P	5	1
ステップ3	そのボタンをクリックする。ボタンの名前をWMから削除する。	BB	5	1
ステップ4	目的のディレクトリーを探す。		5	1
ステップ5	Decide: IF<目的のディレクトリーでない> Then <Go To 1> IF<目的のディレクトリーである> Then <カーソルを合わせる>	V	3	1
ステップ6	そのディレクトリーをクリックする。ディレクトリーの名前をWMから削除する。	BB	2	1
ステップ7	目標が達成されたとして戻る。		2	1
方法：[M3] 目的のファイル进行操作(切り取り・貼り付け)する。				1
ステップ1	ファイル名を再生・保持し、ファイルを探す。		2	1
ステップ2	カーソルを移動する。	P	2	1
ステップ3	そのファイルを右クリックする。ファイル名をWMから削除する。	BB	2	1
ステップ4	操作名を再生・保持し、その操作名を探す。		2	1
ステップ5	カーソルを移動する。	P	2	1
ステップ6	その操作名をクリックする。操作名をWMから削除する。	BB	2	1
ステップ7	操作が実行されたことを確認する。		2	1
ステップ8	目標が達成されたとして戻る。		2	1

op. : オペレーター
n.s. : 実行回数
l.s. : NGOMSLステートメント

NGOMSL実行ステートメント数	61.0	31.0
NGOMSLステートメント実行時間	6.1	
オペレーター時間	13.2	
実行時間	19.3	
NGOMSLステートメント数	31.0	

表9-2 「W-4 ファイルを移動する」(スクリーンリーダー使用)のNGOMSLモデル

<W-4 スクリーンリーダー>

方法：W-4ファイルを移動する。(MyFileを使用)		op.	n.s.	l.s.
ステップ1	キーボードに手を移す。	H	1	1
ステップ2	目的を達成：スタートメニューを開き，MyFileを実行する。[M1]		1	1
ステップ3	目標を達成：目的のディレクトリーに移動する。[M2]		1	1
ステップ4	目標を達成：目的のファイルを切り取る。[M3]		1	1
ステップ5	目標を達成：目的のディレクトリーに移動する。[M2]		1	1
ステップ6	目標を達成：目的のファイルを切り取る。[M3]		1	1
ステップ7	目標が達成されたとして戻る。		1	1

方法：[M1] スタートメニューの項目(My Edit)を実行する。				1
ステップ1	目的とするキーの名前(Winキー)を再生・保持し，そのキーを押す。	K	1	1
ステップ2	読み上げ，聞き取りを行う。	He	1	1
ステップ3	目的のメニューであることを確認する。WMから削除。	V	1	1
ステップ4	目的の項目を再生・保持し，移動キーの名前を再生・保持し，移動キーを押す。	K	6	1
ステップ5	読み上げ，聞き取りを行う。	He	6	1
ステップ6	Decide: IF<目的のボタンでない>Then <Go To 4> IF<目的のボタンである>Then <Enterキーを押す>	V K	5 1	1 1
ステップ7	実行を確認し，項目の名前，移動キーの名前をWMから削除する。		1	1
ステップ8	目標が達成されたとして戻る。		1	1

方法：[M2] 目的のディレクトリーに移動する。				1
ステップ1	目標を達成：目的のディレクトリー名を再生・保持し，ディレクトリーを探す。[M4]		5	1
	Decide: IF<最終のディレクトリーでない>Then <Go To 1>	V	5	1
ステップ2	IF<最終のディレクトリーである>Then <ディレクトリー名をWMから削除し，目標が達成されたとして戻る>	V	2	1

方法：[M3] メニューから目的の項目を実行する。				1
ステップ1	目的のメニュー名を再生・保持し，メニュー移動キー(→キー)を再生・保持し，Altキーを押す。	K	2	1
ステップ2	メニューの読み上げ，聞き取りを行う。 Decide: IF<目的のメニューでない>Then	He	4	1
ステップ3	<→キーを押す。Go To 2> IF<目的のメニューである>Then<WMから削除する>	K V	2 2	1 1
ステップ4	目的のメニュー項目を再生・保持し，項目移動キー(↓キー)を再生・保持し，移動キーを押す。	K	4	1
ステップ5	読み上げ，聞き取りを行う。 Decide: IF<目的の項目でない>Then <Go To 4>	He	4 2	1 1
ステップ6	IF<目的の項目である>Then <Enterキーを押し， メニュー項目名，移動キー名をWMから削除する。>	K	2	1

ステップ7	読み上げ，聞き取りを行い，実行されたことを確認する。	He	1	1
ステップ8	目標が達成されたとして戻る。		1	1
方法：[M4] 目的のディレクトリまたはファイルを探す。				1
ステップ1	移動キー（↑キーまたは↓キー）の名前を再生・保持し，そのキーを押す。	K	25	1
ステップ2	読み上げ，聞き取りを行う。	He	25	1
	Decide: IF<目的のディレクトリでない>Then <Go To 1>	V	20	1
ステップ3	IF<目的のディレクトリである>Then <Enterキーを押し， 移動キーの名前をWMから削除する。>	V	5	1
ステップ4	確認をする。		5	1
ステップ5	目標が達成されたとして戻る。		5	1
			NGOMSL実行ステートメント数	151 39
			NGOMSLステートメント実行時間	15.1
			オペレーター時間	76.4
			実行時間	91.5
			NGOMSLステートメント数	39.0

op.: オペレーター
 n.s.: 実行回数
 l.s.: NGOMSLステートメント

5-2 実行時間および学習時間の推定

実行ステートメント数とステートメント数を，シナリオ毎にマウスとスクリーンリーダー別に示したものが図1である。

① ステートメント数

マウス操作とスクリーンリーダー操作のステートメント数の違いをみると，W-1からW-4のシナリオにおいて，スクリーンリーダーの方が多。しかし，「W-5 音声ボリュームの調整」については，スクリーンリーダーの方が少なくなっている。これは，ショートカットキーの打鍵だけで操作ができるからである。

② 実行ステートメント数とステートメント数の違い

実行ステートメント数とステートメント数の違いに着目すると，「W-2 USBを取り外す」のスクリーンリーダーの場合，「W-4 ファイルを移動する」のマウスとスクリーンリーダーの場合において，実行ステートメント数がステートメント数の2倍から3倍多くなっている。この現象は，マウス操作の場合にも生じているが，スクリーンリーダーの場合ほど顕著でない。

これは，スクリーンリーダーの場合，「デスクトップ上のファイルを探す」「メニューの項目を選択する」「ディレクトリを移動する」などの場合に，「音声の読み上げ・聞き取りオペレーター」「条件付きジャンプ」が繰り返されるためである。

マウス操作の場合，「条件付きジャンプ」の繰り返しが確認されたのは，「W-4 ファイルの移動」においてディレクトリを移動する場合だけあった。

③ 学習時間の推定

操作方法を学習する時間の推定は，式（2）で表されるが，ここではその他の要因を無視し，ステートメント数だけに比例するものと仮定した。全般に，スクリーンリーダーのステートメント数がマウスの場合に比べ多いことから，多くの操作でスクリーンリーダーの方が学習時間を多く必要とすると思われる。

④ 実行時間

次に，推定実行時間を式（1）から求め，シナリオ毎に表したものが図2である。実行時間につ

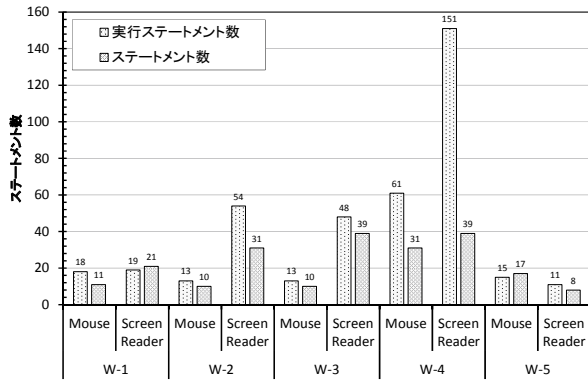


図1 シナリオ毎に実行ステートメント数とステートメント数

いては、スクリーンリーダーの場合がマウスの場合に比べ、圧倒的に長い時間を要している。

実行時間は、基本的にはステートメント時間と正の相関がある。スクリーンリーダーの場合、「W-4 ファイルの移動」が91.5secと最も長く、次いで、「W-2 USBメモリーを取り外す」が28.6sec、「W-3 ゴミ箱を空にする」が24.6sec、「W-1 電源を切る」が11.4sec、「W-5 音量の調整」が2.6secであった。これは、ステートメント時間の順になっている。また、マウス操作の場合だけをみると、実行時間はステートメント時間と正の相関がみられる。

しかし、「W-2 USBメモリーを取り外す」のスクリーンリーダーの場合と、「W-4 ファイルの移動」のマウスの場合を比較すると、ステートメント時間はそれぞれ、5.4sec、6.1secであり、一方、実行時間はそれぞれ、28.6sec、19.3secである。この場合、実行時間とステートメント時間との間に正の相関がみられない。これは、オペレーター時間がスクリーンリーダーとマウス場合とで異なるためである。

スクリーンリーダーの場合、実行時間に占めるオペレーター時間の割合が高いので、この時間を短くすることが今後の課題である。

5-3 ワーキングメモリーの負荷

マウスを使用してファイル操作を行う場合、「目的とするファイル名を再生・保持する」「その名前のボタンを探す」「クリックをする」「WMから

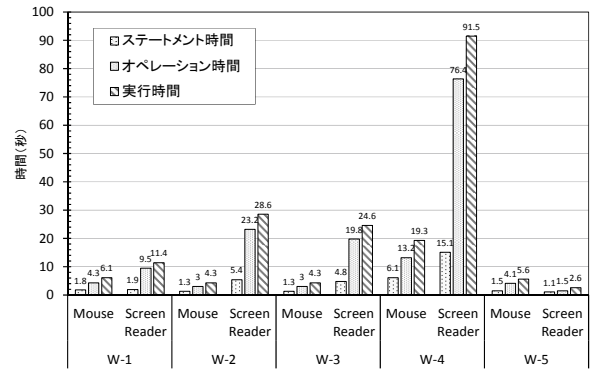


図2 シナリオ毎の実行時間、ステートメント時間、オペレーション時間

削除する」という過程によってワーキングメモリーへの負荷がかかる。しかし、この負荷は1チャンク程度と軽く、すぐに削除されるので、問題はないと思われる。一方、スクリーンリーダーによってファイル操作を行う場合、「目的とするファイル名の再生・保持」は当然であるが、移動するためのキーは幾つかあるので、その場合に使用する「移動キーも再生・保持」しなければならない。さらに、それらを保持した上に、そのファイル名に関する「照合・判断」を行う必要がある。このように、スクリーンリーダーを使用した場合、計3チャンクの負荷がかかることになる。これは、スクリーンリーダーを使用する場合、マウスの場合に比べて2チャンク多くの負荷がかかると予想される。

6 考察

本研究では、スクリーンリーダーを対象に、GOMSモデルを用いて操作の効率性や操作時間、ワーキングメモリーへの負荷という観点からユーザビリティについて分析を行った。分析では、5つのシナリオについてNGOMSLモデルを構築し、マウスを使用した場合とスクリーンリーダーを使用した場合についてユーザビリティ特性について比較を行った。その結果、スクリーンリーダーについて次の問題点および改善点を得た。

(1) スクリーンリーダーの問題点

① 実行時間と学習時間

ステートメント数や実行ステートメント数は、スクリーンリーダーを用いた場合、マウスの場合に比べ、多くなる傾向がみられた。このことから現状のスクリーンリーダーでは、マウスの場合に比べ、操作に長い時間を必要とし、また、操作の学習にもマウスより多くの時間を必要とするものと思われる。ただし、必要な操作がショートカットで直接実行できる場合、ステートメント数が半減することがわかった。

② 「音声読み上げ、聞き取り (He)」「照合・判断 (V)」オペレーター

スクリーンリーダーの操作に多くに多くの時間が必要なことは、ステートメント数が多いからだけでなく、今回定義をしたオペレーター実行時間が長いことも原因の一つであることがわかった。これは、「音声読み上げ、聞き取り (He)」「照合・判断 (V)」オペレーターが繰り返し実行されるためである。W-4のシナリオでは、約40回も繰り返される。

これらのオペレーターの繰り返しは、「ファイルを探す」「メニューを移動する」「メニュー項目を探す」などの操作で頻繁にみられる。

これを改善するには、これらのオペレーターの1回の実行時間を減らすことと、実行回数を減らすことである。

③ ワーキングメモリーの負荷

例えば、スクリーンリーダーを用いてファイルを探す場合、「移動キーの打鍵 (K)」「音声読み上げ、聞き取り (He)」「照合・判断 (V)」が繰り返される。この時、「目的とするファイル名の再生・保持」「移動キー名の再生・保持」「照合・判断」「WMから削除」というプロセスが生じると思われる。このプロセスは、マウスの場合に比べて、2チャンク多くの負荷がかかるとともに、何度も繰り返されると予想される。

スクリーンリーダーの操作では、移動キーとしてどのキーを使用するかを決め、保持する「移

動キー名の再生・保持」が必要なためである。

(2) スクリーンリーダーの改善提案

スクリーンリーダーの問題点として、実行ステートメント数が多く、操作に多くの時間が必要であり、その原因として「ファイルを探す」「メニューを移動する」「メニュー項目を探す」などの操作において、「音声読み上げ、聞き取り (He)」「照合・判断 (V)」が繰り返されることが指摘できた。また、マウス操作に比べワーキングメモリーに余分に負荷がかかることも懸念された。

これらの問題に対して次の改善が考えられる。

① ショートカットキーの作成

「W-5 音量の調整」操作で見られたように、操作をショートカットキーによって直接実行することができれば、ステートメント数が半減し、操作時間も短縮できる。現在のスクリーンリーダーでは、Windowsのメニューの一部や、スクリーンリーダーの独自のコマンドに、ショートカットキーが設定されているが、さらに、ショートカットの設定を進める必要があると思われる。

なお、たとえ、すべてのメニューやコマンドにショートカットキーを設定できたとしても、ユーザはすべてのキーを記憶することができないので、完全な対策とはいえない。

② スクリーンリーダー独自の操作方法

現在のスクリーンリーダーは、Windowsのインタラクションをそのまま使用し、読み上げを行っているため、スクリーンリーダーの操作の効率が悪いと思われる。その一つと考えられるのが、「音声読み上げ、聞き取りオペレーター (He)」「照合・判断オペレーター (V)」の繰り返しプロセスは、その一例と思われる。つまり、このプロセスの実行回数を減らすこと、1回の実行時間を短くすることが考えられる。

まず、実行回数を減らす方法として、メニュー項目の並びを再構築することが考えられる。現状のスクリーンリーダーは、Windowsに表示された順に読み上げるため、メニューの項目が多い場合、目的の項目が下位にあると、このプロセスの実行

回数が多くなる。そこで、Windowsの表示とは関係なく、スクリーンリーダーに独自にメニューの再構築を行わせること考えられる。例えば、一つのメニューに表示する項目を減らすため、メニュー数を増やすこと、また、使用頻度の高い順に項目を並べることなどが有効であると考えられる。

次に1回の実行時間を短くする方法について検討を行う。項目を読み上げる場合、項目の違いがよく分かるような読み上げ方にする。また、その違いをできるだけ早くわかるような工夫も必要である。

ワーキングメモリー負荷の軽減策について検討を行う。スクリーンリーダー使用時に、ワーキングメモリーに保持を必要とする情報は、「目的の項目名」「移動キー名」である。移動キーについては、その状況に応じて、Tabキー、←キー、→キー、↑キー、↓キーから適切なキーを選択し、保持する必要があるためである。そこで、状況に関係なく、移動キーに一貫性を持たせることができれば、この情報をワーキングメモリーに再生・保持することが不要となる。

(3) 今後の研究の進め方

今回、GOMSモデルを構築したが、特に、ワーキングメモリーに対する情報の再生・保持・削除などの操作について非常に複雑なプロセスが働いているので、実際のユーザの操作で確認する必要がある。

また、メニュー構造の再構築を提案したが、再構築の方法についてはさらなる検討が必要と思われる。例えば、使用頻度の高い順に配置した場合、使用頻度の低い項目も含め、総合的なパフォーマンスについても検討の必要がある。

本研究は、操作の効率、操作時間、ワーキングメモリーへの負荷の観点から分析を行ったが、ノビスユーザの操作の分かりやすさの観点からの分析が残されており、今後、スクリーンリーダーのユーザビリティの総合的な視点から進める必要がある。

参考文献

- 1) 栗川隆宏, 谷本達敏, 三吉裕祐, 今田寛典, (2004) 視覚障害者のコンピュータ・インターネットの利用実態, 呉大学ネットワーク社会研究センター研究年報, Vol.4, pp.131-143.
- 2) Lazar J., Allen A., Kleinman J. & Malarkey C., (2007) What Frustrates Screen Reader Users on the Web: A Study of 100 Blind Users, *International Journal of Human-Computer Interaction*, 22(3), pp.247-269.
- 3) 厚生労働省社会・援護局, (2011) 平成23年生活のしづらさなどに関する調査.
- 4) Burton, D. (2009): The Revolutionary New iPhone, *AFB AccessWorld Magazine*, 10(Sep).
- 5) NV Access Limited, <http://www.nvaccess.org/about/corporate-info/>
- 6) Lazar J., Beere P., Greenidge K. and Nagappa Y., (2003) Web accessibility in the Mid- Atlantic United States, *Univ. Access Inf. Soc.*, pp331-341.
- 7) 馮瑋, 志摩哲郎, 栗川隆宏 (2006): インターネット通信販売のウェブ・アクセシビリティの実態, 日本福祉のまちづくり学会第9回全国大会梗概集, pp.79-82.
- 8) 栗川隆宏, 馮瑋 (2007): インターネット通信販売のウェブ・アクセシビリティの実態(その2) - 評価尺度の検討 -, 日本福祉のまちづくり学会第10回全国大会梗概集, pp.463-466.
- 9) 朝井大介・渡辺昌洋・浅野洋子, (2009) ウェブアクセシビリティ配慮状況の調査, ヒューマンインタフェースシンポジウム.
- 10) 村岡雅子・渡辺隆行, (2006) ユーザーテストをベースとしたウェブ・アクセシビリティ問題, 社団法人, 電子情報通信学会.
- 11) Disability Rights Commission. (2004) The Web Access and Inclusion for Disabled People; A formal investigation conducted by the Disability Rights Commission, TSO.
- 12) Kreps D. and Adam A., (2006), *Failing the Disabled Community: The Continuing Problem of Web Accessibility*; ed. Sri Kurniawan and Panayiotis

- Zaphiris, In *Advances in Universal Web Design and Evaluation Research Trends And Opportunities*, Idea Group Pub, pp.25-41.
- 13) Leporini, B. and Paterno, F. (2008): *Applying Web Usability Criteria for Vision-Impaired Users: Does It Really Improve Task Performance?*, *Journal of Human- computer Interaction*, 24(1), pp.17-47.
- 14) 松永充弘・大森久美子・遠藤淳・菅原昌平・高橋玲子 (2004): 音声ブラウザの利用を考慮したウェブリンクの提示に関する提案, *信学技報*, SP2004-62, WIT2004-43, pp.31-36.
- 15) Mahmud, J., Borodin, Y., Ramakrishnan, I.V., and Das D. (2007) *Combating Information Overload in Non-Visual Web Access Using Context*, *Proceedings of the 12th international conference on Intelligent user interfaces*, Honolulu, Hawaii, USA, pp.341 - 344.
- 16) 加藤 隆, (2002) *認知インタフェース*, オーム社.
- 17) 黒須正明・伊東昌子・時津倫子, (2000) *ユーザ工学入門*, 共立出版株式会社.
- 18) Card, S. K., Moran, T. P., & Newell, A. (1983). *The psychology of human-computer interaction*. Hillsdale, NJ:Lawrence Erlbaum Associates.
- 19) Kieras, D. E. (1997), *A Guide to GOMS Model Usability Evaluation using NGOMSL*, In M. Helander, T. K. Landauer, and P. V. Prabhu, editors, *The Handbook of Human-Computer Interaction*, pp.81-97. Elsevier, Amsterdam, North-Holland.
- 20) Kieras, D. E. (2001), *Using the Keystroke-Level Model to Estimate Execution Times*, *The University of Michigan*, <ftp://www.eecs.umich.edu/people/kieras/GOMS/KLM.pdf>