

WebTracer : 視線を利用した Web ユーザビリティ評価環境

阪井 誠[†] 中道 上^{††} 島 和之^{††}
 中村 匡秀^{††} 松本 健一^{††}

WebTracer は Web サイトをブラウズするユーザの視線と操作の記録, 再生, 分析を支援するユーザビリティ評価環境である. WebTracer は, ユーザがどこを注視しつつ操作を行ったかをコンパクトに記録することが可能である. 評価実験の結果, WebTracer は既存のビデオ圧縮方式である MPEG-2 や MPEG-4 に比べ 1/10 から 1/20 のデータサイズで, Web 操作画面を記録し再生することができた. また, Web ページのメニューが 2 カ所に分かれている場合は注視点の移動速度が速かったなど, 視線とユーザビリティが関連している可能性が示された. WebTracer を用いれば, ユーザビリティの共同研究や, ユーザビリティ評価者と開発者の間でデータ交換することが可能になる. また, 視線データを利用して問題のあるページを容易に探せるなど, ユーザビリティ評価を効率的に支援できる可能性がある.

WebTracer: A New Web Usability Evaluation Environment Using Gazing Point Information

MAKOTO SAKAI,[†] NOBORU NAKAMICHI,^{††} KAZUYUKI SHIMA,^{††}
 MASAhide NAKAMURA^{††} and KEN-ICHI MATSUMOTO^{††}

WebTracer is a new usability evaluation environment which supports record, reproduction, and analysis of a gazing point and operation while a user is browsing a website. WebTracer can record a user's gazing point and operation compactly. Results of an experimental evaluation showed that the size of the operation history taken by WebTracer was from 1/10 to 1/20 of the size of data recorded by an MPEG-2 and MPEG-4 format. Thus, with its compact form, the result of usability testing with the gazing point can be efficiently shared. It is expected that we can easily share empirical data between researchers. Also, evaluators can easily send the testing results as a feedback to the developers. Moreover, the results shows that a possibility that gazing points related to usability. For example, if the menu of a Web page is divided into two panes, gazing points moved quickly. It seems that WebTracer improves usability evaluation efficiently, since gazing point data helps to find out problems from Web page.

1. はじめに

「目は心の窓」といわれるように, 視線に心理状態が現れることは経験的に知られている. キョロキョロとあたりを見渡している人を見れば, 何かを探していることは誰もが容易に推測できる. また, すれ違う異性への視線を指摘された場合を考えると, 必ずしも強く意識しない場合においても, 心理状態が視線に現れることが分かる. さらに, その理由は本人が説明できるだけでなく他人が容易に推測できるが, 聞き手

や尋ね方によっては必ずしも本当のことを聞き出せない場合もある. 視線情報から心理状態が予想できれば, 操作性, 認知性, 快適性を表すユーザビリティ⁷⁾の評価に利用でき, ユーザの印象を容易に聞き出せる, あるいは視線情報から直接判定できる可能性がある.

このような可能性を持つ視線情報であるが, Web ユーザビリティ評価の分野においては, 視線を用いた研究はあまり行われていない. Web アプリケーションのユーザビリティは企業の売上に影響するなど重要性が高いといわれ²⁾, インスペクションなどの他の方法では得がたい問題点を指摘する方法としてユーザビリティテストが行われている¹¹⁾. その具体的な方法としては, 被験者の操作中に印象を話してもらった発話分析法が主に行われてきた⁶⁾. しかし, 被験者に発話させることは容易ではないので, コメントを促す目

[†] 株式会社 SRA 先端技術研究所
 SRA Key Technology Laboratory, Inc.

^{††} 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科
 Graduate School of Information Science, Nara Institute
 of Science and Technology

的で評価者が随時質問をしなければならない場合が多い。このような従来の評価法は評価者に専門的な知識が求められる、無意識的な部分がすべて発話されるわけではない、などの問題がある^{5),6)}。そこで、このような問題が生じにくい方法として、視線データ、Java スクリプトにより収集した操作情報、サーバのアクセス記録などを用いた研究^{1),3),12)}が行われ、様々な知見が得られている。しかし、個々に研究されており、それらの情報を統合して分析することはできなかった。

本論文では我々が開発した Web ユーザビリティ評価環境『WebTracer』について述べる。WebTracer は Web サイトをブラウズする被験者の視線と操作を記録し、ビデオのように再生が可能だけでなく、定量的なデータと様々な再生機能により分析を支援する環境である。従来の視線の記録環境では、(1) 解像度が低い、(2) データ量が膨大、(3) Web ページ単位でのデータ集計が容易でなく分析が困難といった問題があったが、WebTracer はこれらを遅延キャプチャ方式とブラウザ機能の組み込みにより解決した。

評価実験の結果、WebTracer は高解像度の記録が可能で、既存のビデオ圧縮方式である MPEG-2 や MPEG-4 に比べ 1/10 から 1/20 のデータサイズで Web 操作画面を記録再生することができた。また、得られた定量的なデータから視線によりユーザビリティ評価を支援できる可能性のあることが分かった。

2. 関連研究

2.1 Web ユーザビリティ評価

Web ブラウザはハイパーテキスト構造である World Wide Web を構成する Web ページを表示するものである。Web ページ上のリンクや、ボタンなどの部品のクリック、キー入力などによって、他の Web ページの参照、情報の検索や処理を容易に実行できる環境を提供する。Web ブラウザは近年のハードウェア、OS、ネットワークの技術を利用し、高解像度表示、リアルタイムな情報表示などソフトウェア実行環境の劇的な変化をもたらした。Web ブラウザを用いると、日々進化するこのような技術を生かし、ハードウェアや OS に依存せず、インターネットを介して世界中のユーザにアプリケーションを公開できる。従来にはない新たな顧客が得られることから、Web アプリケーションの開発が急速に増加し、そのユーザビリティの向上が重要な課題になってきている⁶⁾。

しかし、このような Web アプリケーションのユーザビリティ評価は容易ではない。ユーザビリティ評価の代表的な方法にはユーザビリティインスペクション

とユーザビリティテストがある¹¹⁾。ユーザビリティインスペクションは、チェックリストなどを用いて評価者が画面の問題点を指摘するものである。ユーザビリティインスペクションは実際に操作しないので特別な環境を必要とせず、一般的な問題の指摘は容易である反面、アプリケーション固有の問題は指摘が困難である。これに対してユーザビリティテストは、被験者に Web アプリケーションを操作してもらい、問題点を発見する方法である。実行環境、被験者、実行するタスクなど準備が必要であるが、対象とするユーザが実際に利用するので、実行しなくては得られない重要な問題点が発見される場合が多いといわれている。ユーザビリティテストで主に用いられている発話分析法は、ユーザの操作を中断しつつコメントを得て評価者が分析する方法である。このため、a) 評価者に専門的な知識が求められる、b) 無意識的な部分がすべて発話されるわけではない、などの問題がある^{5),6)}。そこで、このような問題が生じにくい方法として、定量的なデータに基づく方法が研究されている。

定量的なデータに基づく Web ユーザビリティ評価は対象とする個々の問題点ごとに研究されてきた。単一 Web ページ上での注視点情報とレイアウト構造の統計的な分析、Java スクリプトによる Web ページ操作イベントの記録の分析、Web サーバのアクセス記録の分析など、特定の操作情報を用いて評価が行われてきた。

Schroeder は画面上の見ている位置である注視点情報をもとに、ページ内のレイアウト構造と参照回数との関係を分析した¹³⁾。Schroeder は Web ページを上部のボタンバー、上部の検索エンジン、左側、中央、右側、下側に分け、ユーザがどの部分により多く注目するかを分析している。Web ページ上の詳細な構造の分析ではなく、低い解像度でも判別可能なサイズを持つ構造の分析に注視点データを利用している。

Paganelli は Java スクリプトによりユーザの操作イベントからタスクの実行状況を分析した¹²⁾。Paganelli は Java スクリプトにより得たユーザの操作イベントをもとに、ページ参照時間、タスクの作業時間などの定量的なデータに基づく分析を支援している。Web ページごとに作業時間を集計することで Web ページのユーザビリティを分析している。

Web サーバのアクセス記録による Web ページの構造を評価した研究には文献 1), 3) がある。文献 1) は、WET (Web Event-logging Tool) と呼ばれる評価環境を用いて、与えたタスクのベンチマークとユーザの満足度の関係を調査した。Web サーバのイベントロ

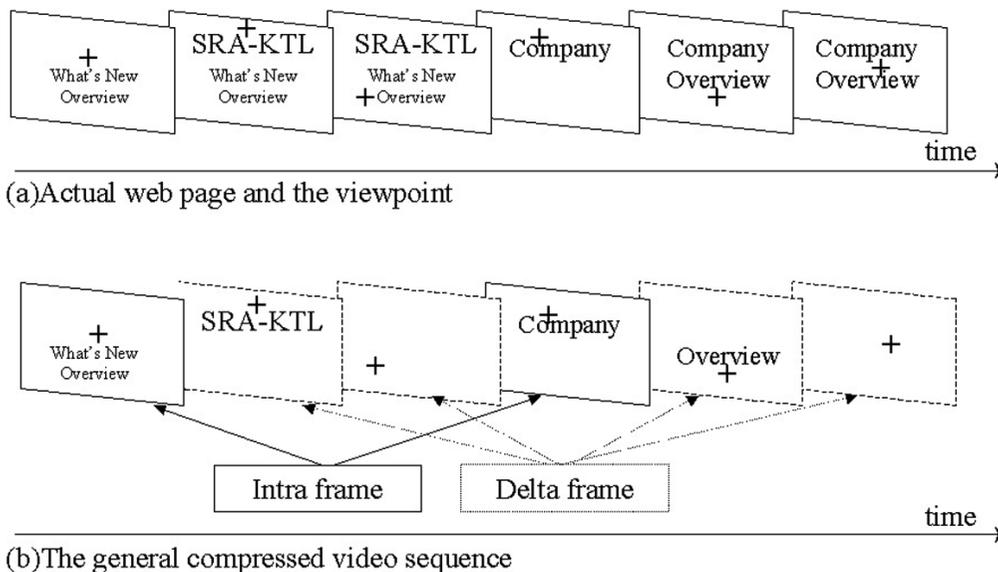


図 1 動画圧縮方式

Fig. 1 Video compression format.

グには限界があるものの、ユーザビリティの評価に有効であることを示している。文献 3) は、Web ページごとの参照回数を時系列やクライアントホストなどで 2 次元にビジュアル化するツールであり、Web サイトの構造を分析できる。これらは、Web ページ構造に関するデータを収集して分析することで、Web 構造に関するユーザビリティを評価している。

これらの研究は、大量に存在するユーザの操作情報の中から、対象とした Web アプリケーション操作の情報のみ収集し、ユーザビリティの分析を行っている。ユーザビリティを様々な角度から分析してより良い Web アプリケーションを開発するには、様々なデータを統合して記録可能な環境が望ましい。しかし、従来は、(1) 高い解像度の画面を効率良く記録できない、(2) 実行時の Web ページの情報とユーザの操作情報を統合して再生・分析することができない、(3) 様々な定量的データをもとに Web ページのユーザビリティを評価することが困難、といった問題があった。

2.2 動画記録方式

従来の操作履歴の収集分析環境では、コンピュータ画面と視線（注視点）を記録するために、ビデオが用いられていた。実行時の画像を用いない方法としては、注視点データや操作履歴のみを記録しておき、分析時に再実行したアプリケーションの画面と合成する方法も考えられる。しかし、Web アプリケーションのように、実行時にネットワークから得られたデータと実行時のウィンドウサイズに基づいて表示データを構成す

る場合は、再実行時の表示が注視点を記録時の表示と異なる可能性がある。このため、実行時の画像を記録せずに操作履歴を分析することは困難である。そこで、コンピュータの画面を NTSC 方式などのビデオ信号に変換したうえで、注視点を示す画像を重ね合わせて動画として記録する機会が多い。CAESE(Computer Aided Empirical Software Engineering) 環境¹⁴⁾ では、ビデオ画像として視線データを記録するほか、得られた動画を計算機上で他の操作データと連動させることで操作履歴の分析を支援している。このように、注視点と画面の動画をキーボードやマウスなどの操作データと連携させるには、動画を計算機上で扱えなければならない。エディタなどのキャラクタ・ユーザ・インタフェースのソフトウェアや画面構造の統計的な分析であれば、解像度を下げ、圧縮した動画を用いることで実用的な分析が可能であった。しかし、高解像度の動画を計算機で扱う場合は記録データ量が大きくなり、あまり実用的ではない。

動画の圧縮には多くの方式があるが、一般に図 1 に示すような構造を持っている^{4),16)}。Web ページが図 1 (a) のように順次表示された場合の動画圧縮のイメージを図 1 (b) に示している。圧縮された動画は、あるフレームを圧縮したフレーム内のデータのみで構成したイントラフレームと、フレーム間の圧縮データや補間データにより構成されるデルタフレームである。デルタフレームはデータ量が少ないが、デルタフレームのみでは画像が構成できないので、直前のイントラフ

フレームとそれ以降のデルタフレームをもとに画像を構成する必要がある。このため、実時間よりも高速なランダムアクセスが必要となる編集作業や、通信ノイズや記録媒体エラーによるデータ欠落の影響の低減には、求められるランダムアクセス性・耐エラー性に応じたイントラフレームが必要である。たとえば、家庭用ビデオの記録に用いられている DV 形式は編集作業を考慮してイントラフレームのみで構成されており、放送や DVD に用いられている MPEG-2 形式¹⁵⁾ ではエラーの影響を少なくするために、一般に毎秒 1 枚、より帯域の狭い通信に用いられる MPEG-4 形式⁸⁾ では 8 秒に 1 枚程度のイントラフレームを挿入し、データ量とランダムアクセス性・耐エラー性とのバランスをとっている。

Web アプリケーションは、ユーザ操作により Web ページ単位で順次表示する。Web ページに表示されているデータは変化が少ないので、デルタフレームで行われるフレーム間圧縮に向いていると考えられる。同一 Web ページ内での表示データは、マウスクリックやキーボード入力によって、表示情報のスクロールやメニューリストの表示などが変化するが、それ以外では基本的にページ単位に表示されるからである。表示が変化する特殊な例として flash やアニメテッド GIF などがある。これらが使われていない多くの Web ページでは、マウスを除いて表示が変化しない。このため、Web ページをイントラフレームに記録し、ページ内の変化情報をデルタフレームとすることができれば、効率的な動画圧縮が可能と考えられる。

しかし、実際の Web アプリケーションの画面を記録し、分析に用いた場合、従来の動画圧縮技術を用いると以下の問題がある。

- (1) 画面を高解像度に記録する環境がない
NTSC 方式のビデオ信号では、走査線数である 525 ドット以上の垂直方向の解像度が原理的に得られない。
- (2) データ量が膨大になる
Web ページはネットワークを介してサーバから表示データをダウンロードする。ページ切替え時の表示開始からダウンロード完了までには、数～数十程度の複数フレームが必要であり、この間の表示内容の変化が大きく、効率的なデータ圧縮が困難である。
- (3) 任意の位置の操作情報を高速に得るには、イントラフレームをあまり減らせない
データを分析する際には、画面上に合成されたユーザ操作系列の中から注目する範囲を詳細に

分析する必要がある。従来のビデオ圧縮方式で任意の位置の画像を短時間で検索するには、イントラフレームが一定の比率で存在する必要がある。

3. 遅延キャプチャ方式と WebTracer

本章では、WebTracer の特徴である遅延キャプチャ方式と WebTracer について述べる。遅延キャプチャ方式は、Web アプリケーションの表示の特徴を用いて、高解像度の画面を、比較的小さな記録データ量で時系列に記録・再現する方式である。WebTracer は、この遅延キャプチャ方式で記録された画像を用いて、他の操作イベントと統合された、記録・再生・分析を支援する環境である。

3.1 遅延キャプチャ方式

遅延キャプチャ方式は、次の Web ページに遷移する瞬間の画像が最も安定した状態の画面であることを利用し、遷移時にキャプチャした画像をそれまでの Web ページの画面として用いる方式である(図 2 (a), (b), (d))。表示データのダウンロードの時間は、動画の 1 フレームの表示速度 (1/30 秒) と比較すると非常に大きな値である。しかし、近年のブロードバンドの普及によって、ユーザである人間にとってはほとんど無視できる時間になってきている。マウスやキーボードなど変化のある情報を除いて、各 Web ページの画面を 1 枚の画像で表現することは大きな問題ではない場合が多い。

Web ページの表示はネットワークからデータを順にダウンロードしつつ表示するので、表示の完了を確実に知ることは不可能である。そこで、遅延キャプチャ方式では、以下に示す手順で、画面をキャプチャする。

- (1) Web ページの表示を開始し、その時刻 T を記憶する。
- (2) ユーザの操作イベントを受け取る。
- (3) 画面表示が変化するイベントを受け取った場合、画面をキャプチャし、時刻 T からその時刻までの画像として保存する。

このように画面が変化する瞬間にキャプチャすることでダウンロードの完了を知る必要をなくしている。上記手順の画面表示が変化するイベントには、以下のものがある。

- 次の Web ページに遷移時のマウスのボタンクリック
- 表示内容の確定時のキーボードによる改行コードやタブコードの入力
- スクロール時のマウスのボタンクリックやホイー

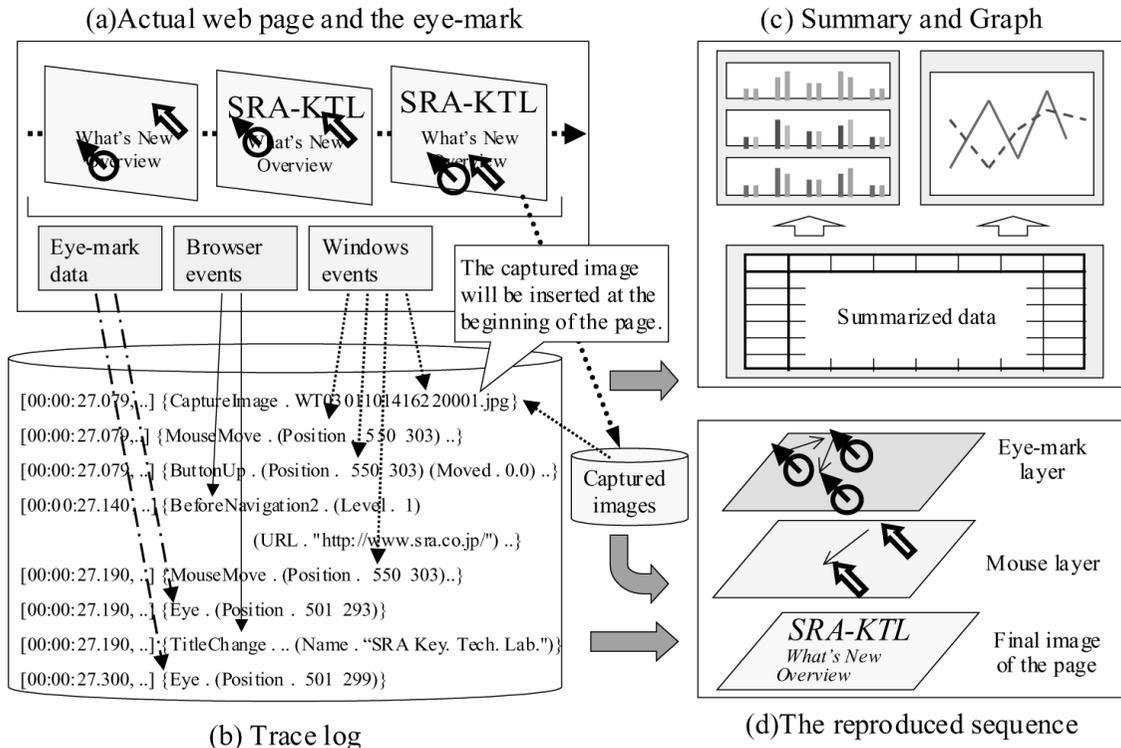


図 2 遅延キャプチャ方式
Fig. 2 The delay capture system.

ル操作

- メニューリスト表示時のマウスボタンクリック
キャプチャにより得られた画像は表示データのダウンロード中の画像とは若干異なるが、画面のレイアウトの変化は比較的少なく、短時間であるので、直前のキャプチャの時点から次のキャプチャまでの画面として、視線やマウス操作などを重ね合わせて表示することで、あたかも実際の画面のように再現できる。

遅延キャプチャ方式は従来の一定時間ごとのイントラフレームとデルタフレームを用いる方法と異なり、各ページの画面と他のデータを合成して表示するので、高画質な画像を、少ないデータ量で記録でき、操作履歴など他のデータと統合した環境の構築が容易になる。

3.2 WebTracer

WebTracer は、(1) 高い解像度の画面を記録できる、(2) Web ページの遷移情報など Web 特有のデータが記録できる、(3) 分析に必要な情報を統合して再生・分析することができる、Web ページ操作の記録分析環境である。

WebTracer は Visual Basic で開発された Windows アプリケーションである(図 3)。Web ページを表示する Microsoft 社製 Internet Explorer に付属する Web

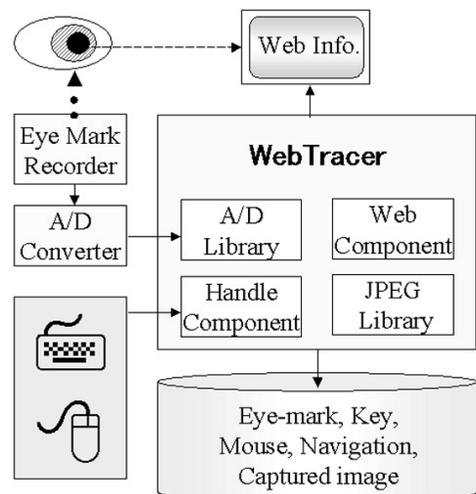


図 3 実行環境
Fig. 3 The execution environment.

コンポーネント、注視点座標を入力する Contec 社製 A/D 変換ライブラリ、Windows イベントを取得するニャンコロ作 Handle コンポーネント、画像を JPEG 形式で保存する明熊工房製 JPEG 保存ライブラリ、を利用して開発されている。

WebTracer には、以下の 3 つの機能がある。

(1) ユーザ操作の記録機能

Web ページ表示中に遅延キャプチャ方式で得られた画面データ、注視点、マウスやキーボードの操作、Web ページの表示イベントを記録する。WebTracer は遅延キャプチャ方式によりブラウザ画面をキャプチャし、JPEG ライブラリを用いて圧縮して保存する。また、その画像ファイルが利用される最初の時刻のデータとして図 2 (b) の時系列のリストとして記録する。図 2 (b) では一部省略して示しているが、発生時刻、シーケンス番号、日付からなるタイムスタンプとユーザ操作データ列から 1 行が構成され、各データは括弧により構造化して記録される。この時系列のリストには、JPEG ファイル名のほか、一定間隔で A/D ライブラリ経由で得た注視点の座標、Handle コンポーネントから得られたマウスやキーボードのイベント、Web コンポーネントのイベント、WebTracer への操作、が記録される。

(2) ユーザ操作の再生機能

Web ページの画像と記録されたデータを統合して表示する。図 4 (a) に示すように Web ブラウザの操作の再現時には、Web ページの画面上に

マウス(矢印)と注視点(丸矢印)の座標にアイコンを表示する。この際に Web ページの画像に注視点を円で示せるほか(図 4 (b)), 注視点とマウスの軌跡を表示することが可能である(図 4 (c))。また、マウスクリックとホイール操作の記録は、画面上にアイコンでイベントの発生を表示する。図 4 (a) 右下の再生コントロールダイアログでは、再生の制御が可能のほか、再生中の時刻に得られたイベントやキー入力されたデータが表示される。再生操作ボタンにより、通常の再生のほか、高速再生、高速逆再生、静止、スロー再生、ステップ再生、ページ移動が可能である。また、スライドコントロールを用いると任意の時刻に移動できる。このように様々な再生方法により、注目したい操作の系列を詳細に分析できる。

(3) ユーザ操作の分析機能

ユーザ操作の分析機能には、時系列分析機能と集計データ分析機能がある。時系列分析機能は、図 4 (a) 右下の再生コントロールダイアログを用いる。様々な再生方法を用いて再現されたユーザの操作中の特徴的な場面を発見した際に注釈を記録しておき、(a) 注釈の記入されている時刻のみを正順あるいは逆順に表示する、(b)



(a) Normal Mode



(b) Gaze Mode



(c) Tracks Mode

図 4 再生画面

Fig. 4 Replay images.

No.	Name	URL	Level	Event	Start	Download	Browse	Mouse	Wheel	Button	key	Eye	Speed
1	SRAへようこそ	http://www.sra.co.jp/		Favorite	00:00:07.968	4.453	8.680	75.2	0	2	0	456	52
2	SRAトピックス	http://www.sra.co.jp/public	■	Link	00:00:16.648	1.594	7.852	1063.1	0	1	0	1734	220
3	関連会社一覧	http://www.sra.co.jp/public	■	Link	00:00:24.499	1.484	3.734	214.9	0	1	0	725	191
4	株式会社SRA先端技術研究所	http://www.sra.co.jp/public	■	Link	00:00:28.288	1.484	7.305	1284.1	0	2	0	1811	248
5	SRA先端技術研究所	http://www.sra-ktl.co.jp/	■	Link	00:00:35.593	0.609	7.578	1927.0	0	2	0	3302	435
6	フリーソフトウェア「じゅん for S	http://www.sra.co.jp/peopl	■	Link	00:00:43.171	13.297	21.430	2950.1	0	2	16	6002	280

図 5 集計分析機能

Fig. 5 Collected data analysis function.

表 1 従来研究との比較

Table 1 Comparison with conventional researches.

	WebTracer	Schroeder ¹³⁾	WET ¹⁾ Hochheiser ³⁾	Paganelli ¹²⁾	MPEG-2 ¹⁵⁾ MPEG-4 ⁸⁾
概要	操作・注視点 をページ 単位で分析	領域単位で 参照回数を 分析	ページ参照 履歴を分析	ページ参照 時間・作業時 間を分析	表示画面を 注視点と共に 記録
注視点情報	○	○	×	×	○
ページ遷移履歴	○	×	○	×	×
操作イベント	○	×	×	○	×
画面イメージ	○	×	×	×	○
ページ上の画像の変化	×	×	×	×	○
時系列分析	○	×	○	○	○
集計データ分析	○	○	○	○	×
変更する環境	ブラウザ	なし	サーバ	サーバ	なし
特長	高解像度・ サイズ・デ ータ集計	領域単位で 分析	ページ構造 に基づいた 集計 ³⁾	ブラウザへ の変更が不 要	動画像を記 録

時刻やイベントと同様に検索する、機能でユーザ操作の詳細な分析を支援する。集計分析機能はページごとに操作履歴の集計データを一覧表示することが可能である。図 5 で示すように、ページごとの遷移理由（お気に入りメニュー、リンク、キーなど）、データのダウンロード時間、操作時間、マウス移動量、スクロール数、クリック数、キー入力数、注視点の移動量（ページ内の総移動ピクセル数）と速度（ページ内の総移動量を操作時間で割ったもの）などの一覧が表示できるほか、グラフとしても表示可能である。これらを用いることで、各 Web ページの特徴の分析や、Web ページをどのように遷移したかを分析できる。

3.3 従来研究との比較

WebTracer と従来研究の比較を表 1 に示す。×は分析不可能、○は分析可能であることを表している。WebTracer は、従来の Web ユーザビリティ評価や MPEG-2/4 形式といったビデオによる分析のうち、Web ページ上の画像の変化を除いたほぼすべての機能を包含しており、詳細な時系列分析及集計デー

タ分析が可能である。ページ遷移履歴は、WET¹⁾、Hochheiser³⁾ が収集している。WebTracer と同様にページ遷移の履歴を時系列に分析可能であるが、Hochheiser³⁾ は、さらにページ構造に基づいた分析を行うため、同一ページの参照回数を分析することが可能である。操作イベントは Paganelli¹²⁾ が収集しているが、WebTracer と比較して種類は少なく、ページ参照時間や作業時間が分析している。注視点情報は Schroeder¹³⁾、MPEG-2¹⁵⁾ および MPEG-4⁸⁾ で分析可能である。Schroeder¹³⁾ は WebTracer と同様に注視点情報を集計して利用している。注視点の移動に関しての分析はしていないが、領域ごとの参照回数を分析している。MPEG-2¹⁵⁾ および MPEG-4⁸⁾ は視線追跡装置の出力を記録することで画面の変化に対する人間の操作や注視点の移動する様子を分析することが可能である。このように、WebTracer とは詳細な分析対象が異なるものの、従来は個々に研究されていた、注視点情報、ページ遷移情報、ユーザイベント、画面イメージを記録することが可能であり、ユーザが Web ページ操作を行った際のこれらを統合して分析することができる。また、将来的には従来の研究で行

われていた分析を支援することも可能である。

しかし、WebTracer は、表示データをロードしている間の画面変化や Flash, アニメテッド GIF などによる動画の表示を行わないことで、記録データ量を小さくしているため、これらの Web ページでの画像変化の分析には不向きである。近年のブロードバンドの普及により、ロード中の画面表示を分析する必要性は低くなっている。また、Flash やアニメテッド GIF などの表示内容は評価できないが、Web ページ上のどの部品に注目しているかなど Web ページ上の構造や、Web ページ間の遷移の分析は、WebTracer のみで判定が可能である。このように WebTracer は、Web ページ全体の分析や、画面を変化させないプロトタイプ作成段階でのユーザビリティ評価には有効であると考えられる。

また、従来の分析環境は Web サーバあるいはコンピュータの外部で記録をしているのでブラウザを選ばないが、WebTracer は IE (Internet Explorer) コンポーネントを利用しているため、他のブラウザ環境を選択することはできない。

このように必ずしも従来研究のすべてを包含するものではないが、WebTracer の高解像度の画面イメージと、詳細な分析が可能な時系列分析は、他の研究にはない特長である。WebTracer にはアナログビデオ信号の処理系が入らないので、高解像度の画像が得られるからである。従来の研究での時系列分析は、データの時系列一覧や、MPEG-2/4 形式によるランダムアクセスと順再生での分析のみが可能であった。これに対して WebTracer は、順方向/逆方向の通常再生/早送りのほか、注釈の記入や様々な検索が可能であり、ユーザの操作の特徴的な部分をより詳細に分析することが可能である。

3.4 評価実験

WebTracer の有効性を検証する目的で評価実験を行った。(1) WebTracer の画像とスキャンコンバータからのビデオ出力との画質比較、(2) WebTracer の記録データ量と汎用的な動画圧縮方式である MPEG-2 形式、MPEG-4 形式との記録データ量の比較、(3) WebTracer と MPEG-2 形式、MPEG-4 形式とのランダムアクセス性の比較、(4) 特徴的な視線データと Web ページとの関連の調査を行った。評価実験の概要を以下に示す。

タスク：インターネットで特定機能を持つ家電機器を探し出す

タスク実行時間：362 秒

実行時の画面サイズ：1024 × 768 ピクセル

記録方法：

WebTracer：直接記録

MPEG-2, MPEG-4：DV (Digital Video) に記録し、実験後にエンコード

記録画面サイズ：

WebTracer：853 × 717 (実行時のウィンドウサイズ)

MPEG-2：720 × 480 ピクセル

MPEG-4：720 × 480, 1024 × 768 ピクセル

圧縮パラメータ：

WebTracer：標準設定

MPEG-2, MPEG-4：ノイズが目立たず、記録データ量が最も小さくなる設定

評価実験は図 3 に示す構成で WebTracer を実行し、ディスプレイ出力にスキャンコンバータを介して、MPEG-2 形式および MPEG-4 形式のデータを記録した。ただし、MPEG-2 形式および MPEG-4 形式の圧縮パラメータを最適化するために、スキャンコンバータの出力を確認するとともに DV (Digital Video) 形式で記録した。実験後にノイズが目立たない範囲で最も記録データ量が小さくなるようにパラメータを設定し MPEG-2 形式および MPEG-4 形式でビデオデータを圧縮した。

実験中のビデオ出力を目視で確認した結果、細かい文字の判別が不可能であった。これは、ビデオ信号はその走査線数である 525 ピクセル以上の垂直解像度を得られないからであると考えられる。WebTracer の再生画面は、JPEG 圧縮による若干のノイズが生じていたが、細かい文字を含めてすべて読み取ることが可能であった。表 2 に記録データ量とランダムアクセスの評価実験の結果を示す。WebTracer は、記録データ量が最も小さく、MPEG-2 形式の約 1/20, 720 × 480 ドットの MPEG-4 形式の約 1/3, 1024 × 768 ドットの MPEG-4 形式の約 1/10 であった。また、再生データのランダムアクセス時間も、データ圧縮率の低かった MPEG-2 形式と同等で高速であった。WebTracer が逆方向の再生、注釈の記録、検索などの機能を有していることを考慮すると、実験対象の中では最も効果的に分析作業を支援できる環境であることが分かった。

ランダムアクセスに必要な時間はイントラフレームの設定比率が最も低い MPEG-4 が最も遅い結果になった。これは、イントラフレームとデルタフレームから任意の位置の画面をデコードする時間がより多く必要であったからであると考えられる。ランダムアクセスの結果はその再生環境に依存するので、ハードウェアの性能向上により改善される可能性があるが、今回実験で用いた環境では、WebTracer 再生時の CPU 負

表 2 実験結果

Table 2 The result of the experiment.

	WebTracer	MPEG-2	MPEG-4	MPEG-4
解像度(Pixel)	853×717	720×480	720×480	1024×768
記録データ量	14.0MB	272.0MB	48.5MB	140.1MB
ランダムアクセス時間	約 1 秒	約 1 秒	1~2 秒	約 5 秒

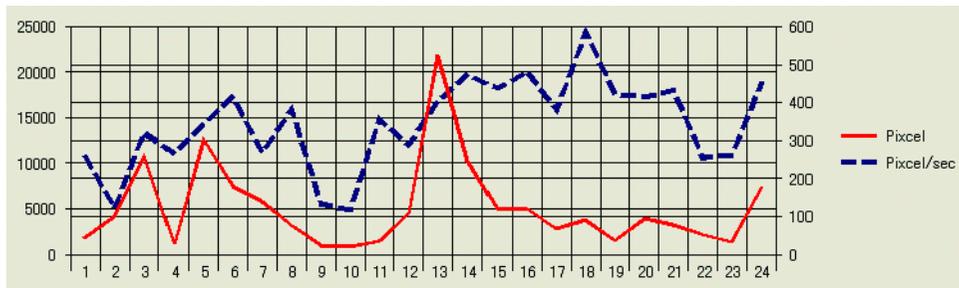


図 6 注視点の移動距離と速度

Fig. 6 Eye-gaze movement and speed.

荷は MPEG-2 フォーマットとほぼ同等であったといえる。

また、注視点の移動量と速度が Web ページの特徴を示していることも分かった。実験での注視点の移動量と速度を図 6 に示す。図中の実線および Y 座標の左目盛が注視点の移動距離、点線および Y 軸の右目盛が注視点の移動速度を示し、X 座標はページ番号を示す。注視点の速度の速かった 18 番目のページは左側と中央部にメニューがあり、選択すべき項目が分かりにくい画面であった。注視点の速度の遅い 2, 9, 10 番目のページは表示量の少ない検索エンジンの入力画面およびエラー表示画面であった。注視点の移動距離が長かった 3, 5 および 13 番目のページはメニュー画面および PDF のページであり、視認性は高いものの情報量が豊富なページであった。このように得られた定量的なデータは Web ページの特徴を表しており、ユーザビリティ評価を支援できる可能性があると考えられる。

4. 考 察

本章では、遅延キャプチャ方式の優位性と視線計測を用いた Web ユーザビリティ評価の可能性について考察する。

まず、遅延キャプチャ方式の優位性を従来の動画圧縮方式との比較から考察する。MPEG-2 形式、MPEG-4 形式は一定時間ごとにイントラフレームとデルタフレームを記録する。イントラフレームは静止画の圧縮方式である JPEG 形式で記録され、デルタフレームはフレーム間圧縮された情報が記録される。遅延キャプチャ方式は、表示に変化があった場合の画面を JPEG

形式で記録し、さらにマウスやキー操作時のイベント、一定時間間隔でサンプリングされた注視点の座標を記録する。デルタフレームはバイナリデータであるのに対して WebTracer のイベント情報はテキスト形式であるので必ずしも効率的な形式ではない。しかし、従来の動画圧縮方式が一定間隔でデータを記録するのに対し、WebTracer は注視点の座標を除いてイベントドリブンで記録して記録回数を必要最低限に減らしているため、全体のデータ量が少なくなったと考えられる。将来、さらに効率の良い動画圧縮方式が開発されても、そのイントラフレームの圧縮形式でキャプチャ画像を保存すれば、WebTracer の優位性は保たれる。

また、記録される画像は、特定のビデオ形式を経由しないので必要なサイズの画像を高い解像度で過不足なく記録できる。これは、記録されるデータ量を小さくするほか、高解像度であるのでユーザビリティ評価を容易にする。ユーザの視線や操作になんらかの特徴が見られた場合、その理由の多くは画面上にあると予想される。従来は、解像度の低いビデオ画像からそこに示される情報を予想するか、ユーザが操作した際の Web ページを再度表示し、座標情報をもとにそこに示される内容を特定する必要があった。ビデオ画像から予想できる場合は評価者に負担がかかる以外に問題はない。しかし、予想が困難な場合は Web ページを再度表示して確認しなければならないが、アドレスが同一であっても再表示の際に表示内容が異なる場合には分析できない。WebTracer は高解像度で画面を保存できるので、保存した画面から直接内容を確認できる。

さらに、ユーザの操作情報や分析時のコメントを追

加する場合、従来の動画圧縮方式ではオーサリングツールによりビデオデータと合成しなければいけないが、WebTracerは、マウスやキーボードのイベントのほか、注釈などの様々なデータの記録や再生も同一のテキストファイルを介して行っており、比較的拡張が容易な形式である。たとえば、Web ページ上のデータがダウンロードされるごとに画面をキャプチャする、心拍数や皮膚抵抗値など感情を示す生体データを記録する、逆に視線追跡装置のない環境ではその機能を自動的に停止してマウスとキーボードのイベントと画面データのみを記録する、など様々なカスタマイズが可能である（実際に WebTracer はこのように機能が拡張されてきた）。

次に視線計測を用いた Web ユーザビリティ評価の可能性について考察する。ユーザビリティと関係する視線の研究は心理学の分野で眼球運動の研究として行われてきた^{9),10)}。人間が視覚情報を認識する場合、サッカード（飛越眼球運動）と呼ばれる高速な眼球運動と停留が繰り返される。サッカードの間は他の情報の入力が抑制され情報がほとんど知覚されないことが分かっている。視認すべき情報が多すぎると心の余裕がなくなり「あわてて」「探索的な」サッカードが多くなり、認知負荷が高くなり情報の理解が困難になる⁹⁾。評価実験の結果において、注視点の速度が速かったページの情報量は多かった。WebTracer の注視点の入力間隔ではサッカードと他の眼球運動の区別は困難であるが、ページ内の注視点の総移動距離を滞在時間で割った移動速度が速いページは多くの停留とサッカードが短時間に繰り返されたページであると予想されるので、理解が困難な Web ページであったと考えられる。

反面、今回評価に利用した情報は、ページ単位での視線移動量のみであり、今後は他のメトリクスを含めた分析も必要である。ページ単位でのメトリクスはページ内での変化を表すことができないので、貴重な情報が他の情報により消されている可能性がある。評価実験をさらに行い、ページ内での視線の変化を示すようなメトリクスの検討やマウスなどの他の操作情報との関係の分析などを行う必要がある。さらに研究を進めることで、視線情報と Web ページとの関係が明らかになり、理論的に裏づけられれば、視線情報を用いて、ユーザビリティの問題点を指摘することが可能になると考えられる。

WebTracer は、ページ間の関係やページを遷移する際の分析にも利用できる可能性がある。Web サイトを評価する場合には、各ページの個々のユーザビリ

ティが高だけでなく、設計者の意図した構成になっていることも重要である。従来は Web サーバのログ解析によって評価されていたが、WebTracer の集計分析機能で示される情報を用いれば、このような評価をより効果的に支援できる可能性がある。たとえば、検索性を重視してツリー状に構成されたページを順にたどるようなサイトでは、ページデザインに一貫性がないので迷ったか？あるいは、ページの変化が少なくページ遷移に気がつかなかったか？などの様子が視線に現れる可能性がある。また、情報の一覧性を重視したサイトでは、その遷移情報からページ間をさまよっているかどうかだけでなく、ページ内で長時間探しているかも視線から判定できる可能性がある。

5. おわりに

本論文では、Web アプリケーション使用時のユーザビリティ評価を支援する、Web ページ操作を記録分析する環境 WebTracer を提案した。WebTracer は、ユーザ操作の記録時に Web 表示の特徴を利用した遅延キャプチャ方式を用いており、高解像度の表示と記録データ量の削減、画面と操作データの統合表示を実現した。また、Web コンポーネントを利用することで、収集した Web ブラウジングデータをページ単位で集計することが可能である。評価実験の結果、WebTracer は従来の動画圧縮方式よりも、高解像度の画面を少ないデータ量で記録可能であることのほか、Web ページの特徴が視線データに現れていることが分かった。

Web アプリケーションは、営業・生産窓口といったいわば企業の顔であり、そのユーザビリティによって、売上や生産性は大きく変化する。ユーザの満足が得られるように、ユーザビリティガイドラインを用いたレビュー（ユーザビリティインスペクション）は、すでに数多く実施されている。しかし、レビューに比較して、より重大な問題を発見しやすいユーザビリティテスト¹¹⁾は、必ずしも数多く実施されているとはいえない²⁾。これは、従来のヒューリスティックな方法では経験者と多くの時間が必要であり、定量的なデータに基づく支援環境も整備されていないことが、一因であると考えられる。

WebTracer はユーザの Web 操作の記録と再生だけでなく、Web ページ単位に定量的なデータの集計が可能である。Web ページ単位の視線データを利用することで効率的にユーザビリティが評価できる可能性がある。たとえば、ユーザの操作を中断することなくデータを記録した後に、インタビューによるユーザビリティ評価を行うことが可能である。今後、さらなる

実験によって視線データと Web ユーザビリティの関係が明らかになれば、問題の存在すると思われる Web ページのみを確認することや、インタビューを行わずに Web 操作データのみでユーザビリティを評価するなど、効率的にユーザビリティが評価できる可能性があると思われる。

現在, WebTracer の無償配布を検討中である。WebTracer の記録データはコンパクトなので、ネットワークを介してデータのやりとりが容易で、研究者間でのデータ共有や、開発者と発注者の間でのデータ共有も可能になると思われる。将来, WebTracer が広く普及すれば, Web ユーザビリティの研究だけでなく, 実際の開発現場でのユーザビリティ評価が容易になり, より使いやすい Web アプリケーションが増加すると期待できる。

謝辞 本研究の一部は, 文部科学省「eSociety 基盤ソフトウェアの総合開発」の委託に基づいて行われた。

参 考 文 献

- 1) Etgan, M. and Cantor, J.: What does getting WET (Web Event-logging Tool) mean for web usability?, *HFWEB99* (1999).
- 2) Goto, K. and Cotler, E.: *Web ReDesign*, Pearson Education (2002).
- 3) Hochheiser, H. and Shneiderman, B.: Using interactive visualizations of WWW log data to characterize access and inform site design (1999). <ftp://ftp.cs.umd.edu/pub/hcil/Reports-Abstracts-Bibliography/99-30html/99-30.pdf>
- 4) 堀内可朗, 有村一朗: 画像圧縮技術のはなし, pp.79-86, 工業調査会 (1993).
- 5) 加藤 隆: 認知インタフェース, pp.195-199, オーム社 (2002).
- 6) 河崎宜史: Web ユーザビリティへの取り組み, 情報処理, Vol.44, No.2, pp.163-168 (2003).
- 7) 黒須正明, 伊藤昌子, 時津倫子: ユーザ工学入門, p.23, 共立出版 (1999).
- 8) 三木弼一: MPEG-4 のすべて, 工業調査会 (1998).
- 9) 中島義明: 映像の心理学, pp.83-103, サイエンス社 (1996).
- 10) 苧阪良二, 中溝幸雄, 古賀一男: 眼球運動の実験心理学, 名古屋大学出版会 (1993).
- 11) 岡田英彦: ユーザビリティとその評価手法, Vol.45, No.5, pp.269-276, システム制御情報学会 (2001).
- 12) Paganelli, L.: Intelligent analysis of user interactions with web applications, *IUI'02* (2002).
- 13) Schroeder, W.: Testing web sites with eye-tracking, *Eye for design*, Sep./Oct. (1998).

- 14) Torii, K., Matsumoto, K., Nakakoji, K., Takada, Y., Takada, S. and Shima, K.: Ginger2: An environment for computer-aided empirical software engineering, *IEEE Trans. Softw. Eng.*, Vol.25, No.4, pp.474-492 (1999).
- 15) Westwater, R. and Furht, B.: *Real-time video compression*, pp.15-21, Kluwer Academic Publishers (1997).
- 16) 谷萩隆嗣: マルチメディアとデジタル信号処理, コロナ社, pp.122-148 (1997).

(平成 15 年 4 月 10 日受付)

(平成 15 年 9 月 5 日採録)



阪井 誠 (正会員)

昭和 37 年生。昭和 59 年大阪電気通信大学工学部電子機械工学科卒業。同年株式会社ソフトウェア・リサーチ・アソシエイツ(現, 株式会社 SRA)に入社。以来, ソフトウェア開発・研究開発に従事。平成 13 年奈良先端科学技術大学院大学博士後期課程修了。同年株式会社 SRA 先端技術研究所シニア研究員。博士(工学)。開発支援環境, グループウェア, セキュリティに興味を持つ。電子情報通信学会, IEEE, ソフトウェア技術者協会各会員。



中道 上

昭和 51 年生。平成 9 年奈良工業高等専門学校情報科卒業。平成 11 年奈良工業高等専門学校専攻科・電子情報工学専攻修了。同年住友金属システム開発株式会社(現, アイエス情報システム株式会社)入社。平成 14 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士前期課程に入学, 現在に至る。Web ユーザビリティに興味を持つ。電子情報通信学会, IEEE 各学生会員。



島 和之 (正会員)

昭和 43 年生。平成 3 年大阪大学卒業。平成 5 年同大学院博士前期課程修了。博士(工学)。平成 6 年奈良先端科学技術大学院大学助手。ソフトウェア工学の研究に従事。電子情報通信学会, IEEE Computer Society 各会員。



中村 匡秀

昭和 47 年生．平成 6 年 3 月大阪大学基礎工学部情報工学科卒業．平成 8 年同大学院博士前期課程修了．平成 11 年同大学院博士後期課程修了．平成 11 年カナダ・オタワ大学ポスドクフェロー．平成 12 年大阪大学サイバーメディアセンター助手．平成 14 年奈良先端科学技術大学院大学情報学研究科助手，現在に至る．博士(工学)．通信ソフトウェアの検証，サービス競合，ソフトウェア保護技術の研究に従事．電子情報通信学会，IEEE 各会員．



松本 健一(正会員)

昭和 60 年大阪大学基礎工学部情報工学科卒業．平成元年同大学院博士課程中退．同年大阪大学基礎工学部情報工学科助手．平成 5 年奈良先端科学技術大学院大学助教授．平成 13 年同大学教授．工学博士．収集データに基づくソフトウェア開発/利用支援，ウェブユーザビリティ，ソフトウェアプロセス等の研究に従事．電子情報通信学会，IEEE，ACM 各会員．