

# 視線情報の活用による Web 検索支援システムの開発

森 大河<sup>†</sup> 山田 光穂<sup>††</sup> 石井 英里子<sup>†††</sup> 星野祐子<sup>††</sup>

<sup>†</sup> 東海大学大学院情報通信学研究科 〒108-8619 東京都港区高輪 2-3-23

<sup>††</sup> 東海大学情報通信学部 〒108-8619 東京都港区高輪 2-3-23

<sup>†††</sup> 鹿児島県立短期大学文学部 〒890-0005 鹿児島県鹿児島市下伊敷 1-52-1

E-mail: <sup>†</sup> 1cjm016@mail.u-tokai.ac.jp, <sup>††</sup> {myamada, hoshino}@tokai.ac.jp, <sup>†††</sup> erikoishii@k-kentan.ac.jp

あらまし 近年、情報通信技術の普及により、あらゆる情報収集は Web ページ閲覧によるものへと徐々に変化している。しかし、高齢者や身体障害者の中にはインターネットからの情報収集が困難な人がおり、情報を適切に入手できる層とできない層の格差が広がるデジタルディバイドが社会問題の一つとなっている。そのため、キーワード推薦によって Web 閲覧を支援する取り組みは盛んにおこなわれている。しかし、生体データを推薦システムに用いた研究は少ない。特に視線情報は「目は口ほどに物を言う」という言葉があるように、対象者の興味が反映されると言われているため有用な情報として様々な分野で活用されている。そこで本研究では視線情報を活用することに着目し、Web 閲覧中のユーザの視線情報をもとに文章を抽出し、文章解析や単語解析を経て、ユーザが更なる追加情報を得るために活用できる検索キーワードを推薦し、自動で検索が行われる Web 検索支援システムの開発を試みた。検証により、ユーザの興味のあるトピックに合わせて推薦されるキーワードが適切に変化することを確認しており、ある程度ユーザの検索意図を反映させた推薦が可能であった。これにより Web ページを閲覧するだけで更なる情報が提案されるため、有益な情報を簡単に得ることができるようになるという点で、あらゆるユーザの情報収集をサポートできると考える。

キーワード 視線, Web 閲覧, 検索意図, キーワード推薦

## 1. はじめに

「目は口ほどに物を言う」という言葉があるように、視線情報は対象の興味や注意を反映することができると言われている。そのため昨今ではアイトラッキング技術を用いた視線情報の解析は様々な分野で活用され、注目を集めている。2014 年には Tobii Tech と Eye Tribe によって、最初の安価な非接触型の視線入力機がリリースされた。それまで高価であったために一般消費者には浸透せず実用的な活用がなされなかった視線入力機であったが、現在では安価な機器の登場によりゲーム配信者などが利用を始めるなど、一般消費者からも注目を集めるようになってきている。また the International Market Analysis Research and Consulting Group(IMARC)の市場調査[1]によると世界のアイトラッキング市場は、今後 2021 年から 2026 年の間に約 26% の年平均成長率(CAGR)で成長すると予想されており、視線情報の活用の需要は今後より一層高まると思われる。

また、以前であれば情報収集手段としてテレビや書籍、雑誌が一般的であったが、近年では情報通信技術の普及によってインターネットが「趣味・娯楽に関する情報を得る」ために最も利用するメディアとして、60 代を除く各年代で書籍、雑誌、テレビによる情報収集を上回っており[2]、情報収集の多くが Web 閲覧によるものへと変化している。それにより、インターネットを使いこなして情報収集ができる人と、うまく扱えな

い人の間で生じる情報格差、所謂デジタルディバイドが生じてしまうことが社会問題の一つとなっている。

これらの背景を踏まえ、今回我々は Web 閲覧中のユーザの視線を活用し、そのページに関連する情報をテキストマイニングを用いて検索キーワードとして提示する関連情報提示インタラクションシステムの開発を試みた。これにより、Web 閲覧による観光、旅行に関する情報収集の支援や、ユーザが知らなかった意外な情報の提示が可能となり、様々な関連情報を容易に取得することができることから、ユーザの Web ブラウジングを支援できると考える。また、閲覧するだけで更なる追加情報の取得が可能になることから、インターネットからの情報収集が難しい一部の高齢者や身体障害者等に対しても検索支援を行うことができるようになると思う。

## 2. 関連研究

閲覧 Web ページからキーワードを抽出し情報収集を支援しようとする試みは以前から存在する。渡辺らの研究[3]では本文中に存在する固有表現を抽出しキーワード候補とし、それらに対して Web 上でどの程度頻出する単語かを計算したスコアである WebIDF[4]によるキーワードスコアリングを施し、スコア上位のキーワードをユーザに通知し提示する検索支援 UI の開発を行っている。上村らの研究[5]では閲覧 Web ページより抽出したキーワードを利用することで、関連サ

イトの表示や、検索クエリの入力候補の提示を行うことで Web 閲覧を補助するインターフェースを実現する手法を示している。

また、ユーザの閲覧していない Web ページに存在する情報に着目した研究に小野ら[6]の研究と山田ら[7]の研究が存在する。小野らは検索結果の中でユーザが閲覧していないリンクの Web ページにユーザの必要としている単語が存在する可能性があることから、ユーザの閲覧していないページに存在している検索意図に適した単語をキーワードとして推薦する手法の提案を行っている。山田らは検索結果から無造作に閲覧することと訪問済みページと同様の内容で効率よく新しい知識や必要な知識が得られない問題に着目し、未訪問ページに対し、その内容を予想できるようなキーワードを拡張スニペットとして提示する検索支援手法を提案した。

このように、Web からのキーワード抽出によりユーザの Web ブラウジングを支援する研究は数多く行われている。一方で Web からのキーワード抽出と視線を組み合わせて Web ブラウジングを支援するシステムの検討例は友友らによる研究[8]など少数であり、視線情報を検索支援システムに用いた研究例は著者らの知る限り存在しない。

そこで本研究では、検索支援システムに視線情報を活用することに着目し、Web 閲覧中のユーザの視線に基づき、関連情報を得るためのキーワードの提示を行うインタラクションシステムの開発を試みた。

### 3. 眼球運動

人間の眼球運動は、意識的に行われるものと無意識的に行われるものが存在し、単眼の眼球運動と両眼の眼球運動に分類される。その中で単眼の眼球運動は、固視微動と追従眼球運動およびサッカードに分類される[9-11]。図1に文章を閲覧する際の視線の動きを示す。文章を閲覧する際、視線がある一点に留まる停留と、次の注視点まで高速に視点が移動するサッカードを繰り返すことで実現される[12]。

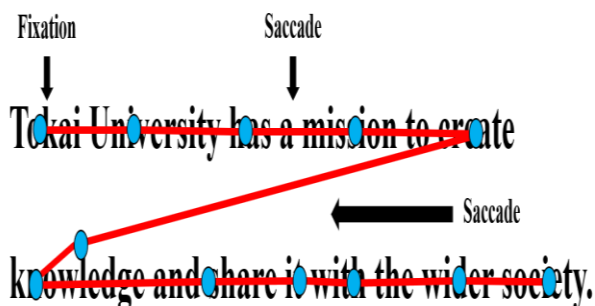


図 1. 文章を閲覧する際の視線の動き

### 4. 視線入力装置

本章では本研究で使用した非接触型視線入力装置である Tobii Pro Nano[13]について述べる。当機材は眼球運動計測手法として角膜反射法(PCCR)が用いられている。角膜反射法は赤外 LED を用いて角膜上に光の反射点を生じさせて、その画像をカメラで撮影し、撮影された眼球の画像から角膜上の光の反射点の位置と瞳孔の位置を識別する。光の反射点やその他の幾何学的特徴を基に眼球の方向が算出される。表 1 に当機材の仕様の詳細を示す。サンプリングレートは 60Hz であり、約 17msec ごとに視線の抽出が可能となっている。

表 1. Tobii Pro Nano の仕様

項目	仕様
サンプリングレート	60Hz
精密度	最適条件下において 0.10°RMS
正確度	最適条件下において 0.30°
遅延	1 フレーム(17msec)
視線回復時間	250msec

### 5. 本システムの概要

図 2 に本システムのフローチャートを示す。本システムでは文章取得プロセス、嗜好抽出プロセス、関連情報提示プロセスの 3 つのプロセスから成り立つ。次項から各プロセスの詳細を記す。

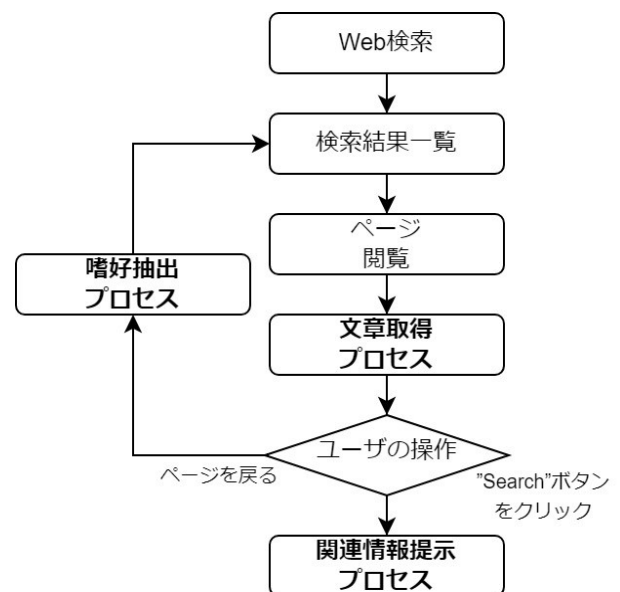


図 2. システム概要

## 5.1. 文章取得プロセス

当プロセスではユーザの視線に基づき、閲覧中の Web ページのテキスト要素を自動で取得する処理を行っている。図 3 に C# 及び Windows Presentation Foundation(WPF)を用いて作成した GUI アプリケーションを示す。ユーザはこの GUI アプリケーションから、Web ブラウザの操作を自動化するためのフレームワークの一つである Selenium[14]を経由して開かれた Google Chrome を用いて Web ページ閲覧していく。その後、システムは Tobii Pro Nano からユーザの注視点を画面上の座標値(X, Y)として抽出する。この注視点座標を基に JavaScript を動作させて、ユーザが閲覧している Web ページの html 要素の中から、見出しが格納されている h タグや、本文中の文章が格納されている p タグ内のテキストを取得する。なお、視線座標から文章の取得を行うために未読の文章は取得を行っていない。また文章抽出の範囲について、以降のプロセスでは文章単位での解析も行うため、一文字単位ではなくより一段落単位での取得を行っている。(図 4)

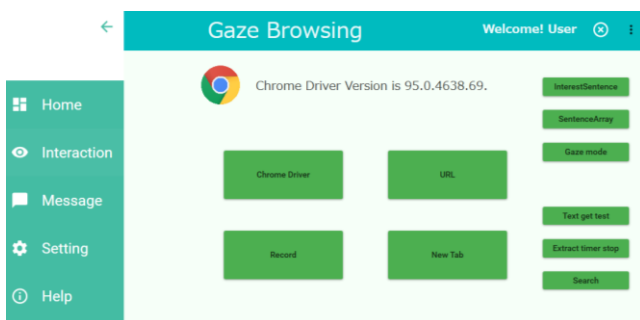


図 3. 作成した GUI アプリケーション

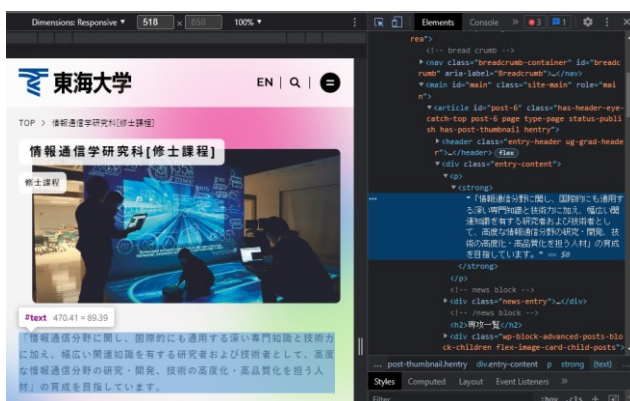


図 4. 文章抽出範囲の例

しかし、次の特徴を持つ文章については抽出しない、または抽出後保存せず破棄する。

### (1) 流し読みと判定された文章

Web ページを閲覧する際の視線停留時間は興味を示す箇所で長くなることが報告されている[14].よって流し読みされた文章についてはユーザの興味を示した箇所でない可能性が高い。そこで本研究では熟読中に急激な注視点の変化は生じないという仮定のもと水平方向、垂直方向それぞれに対して時間閾値を設定することで、流し読みと判定された文章を抽出しないように設計した。水平方向の視線移動に対しては日本語文章の平均の読み速度と Web ページの推奨文字サイズから算出した閾値により、流し読みと判定された文章は抽出されないように設定した。日本語文章の平均の読み速度について、168 名の大学生を対象に文章の読み速度の計測を行った斎田による研究[15]では平均速度 504.9 文字/分、31 名の大学生を対象に読み速度の計測を行った小林らの研究[16]では平均 737.0 文字/分と報告されている。今回はこれらの研究を参考に両者のおよそ中間である平均 600 文字/分とした。また、Web ページの推奨 pixel 数は株式会社アイ・エム・ジェイの調査[17]によるタブレットユーザが読みやすいと感じるフォントサイズである 16pixel とした。今回はこれらの値をもとに  $10 \text{ 文字/分} \times 16 \text{ pixel} = 160 \text{ pixel}$  という閾値を設定した。垂直方向に対しては熟読中において 1 秒以内に 2 行以上の文章を閲覧することはないと仮定し、2 行分の文字サイズ( $16 \text{ pixel} \times 2 \text{ 行} = 32 \text{ pixel}$ )と行間の空白部分を 8 pixel として概算し、40pixel を閾値に設定した。

上記の閾値により、1 秒ごとに取得した注視点の座標が、水平方向に 160pixel、垂直方向に 40pixel 以上動いていた場合は、文章を読んでいない、または流し読みを行ったと判定し、文章抽出を行わないように設定した。しかし現状の閾値は平均値を参考にしたものであるため、将来的にはユーザの読み速度やページごとのフォントサイズに合わせて動的に設定していく必要がある。また本閾値は横書きで書かれている文章に対してのみ有効であり、縦書きの文章には対応していない。

### (2) 抽出文に句点が存在しない文章

著者らによる先行研究[18]ではシステムの検証に使用した web ページの一部に広告やおすすめ記事へのリンク (図 5) など、ページの主旨とは異なった文章が存在しているページがあり、これらの関係のない文を閲覧することで、重要語の解析及び、単語間の類似度比較に悪影響を及ぼしていた。これらの無関係な文章の多くは句点が含まれていないことから、抽出文に句点が存在しない文章は抽出後保存せずに破棄するように設計した。



図 5. おすすめ記事へのリンク文

## 5.2. 嗜好抽出プロセス

当プロセスは関連情報提示プロセスでユーザの興味を反映した推薦キーワードを提示するために使用するユーザプロファイルとして、閲覧したホームページの要約文を BERTSUM[19]を使用して作成し、保存する処理を行う。当処理はユーザが閲覧しているページから離れた際に、文章取得プロセスで取得した文章に対して行われ、各ページ 3 文に要約し保存する。文章取得プロセス及び当プロセスはユーザが GUI アプリケーション上の”search”ボタンをクリックするまで継続し、その間閲覧したページの要約文をユーザの興味を測る指標として保存し続ける。

## 5.3. 関連情報提示プロセス

当プロセスは GUI アプリケーションの画面の”search”ボタンを押した際に実行され、嗜好把握処理、重要語抽出処理、意味把握処理の 3 つの処理を経て検索キーワードの推薦を行う。

### 5.3.1. 嗜好把握処理

”search”ボタンを押した時点で閲覧していた本文（以下、閲覧中文章）と、嗜好抽出プロセスで保存されていた要約文（以下、閲覧済文章）に対して Sentence-BERT[20]を用いた文書間類似度比較を行う。Sentence-BERT は文ベクトルのコサイン距離によって文書間類似度の計算を行うことができ、コサイン距離は 0 に近いほど文書同士が類似していることを表す。今回は閲覧済文章と閲覧中文章の文書間距離を総当たりで求め、文書間距離 0.33 以下の文章をユーザの嗜好に適した文章（以下、適合文章）として一時保存する。

### 5.3.2. 重要語抽出処理

重要語の評価指標である tf-idf による重要語解析に

より、閲覧ページ内でユーザの興味がありかつ重要な単語を取得している。まず前処理で保存した適合文章に対して、MeCab を用いた形態素解析を行い、固有名詞である単語を分かち書きで取得する。その後形態素解析結果の単語に対して重要語の評価指標である tf-idf を用いた重要語解析を行う。tf-idf は図 6 の(1), (2), (3)の式を用いて、文章が含む単語の重要度を推定する。今回は tf-idf によって導き出された重要語上位 10 単語を一時保存し、次の処理へと移る。

#### (1) tf (Term Frequency)

$$= \frac{\text{文章Aにおける単語Xの出現頻度}}{\text{文章Aにおける全単語の出現頻度の和}}$$

#### (2) idf (Inverse Document Frequency)

$$= \log \left( \frac{\text{全文章の数}}{\text{単語Xを含む文章数}} \right)$$

#### (3) tf-idf = tf × idf

図 6. tf-idf の算出式

### 5.3.3. 意味把握処理

実際に単語が持つ意味的な情報を、単語の空間ベクトル表現を用いて、単語間の関係から評価を行う。今回は単語のベクトル化手法の 1 つである word2vec[9]を用いて、単語の空間ベクトルモデルを作成し、このモデルを元に最終的にユーザに推薦する検索キーワードを決定する。今回は重要語抽出処理で保存した単語 10 語に対して、word2vec を使用して単語の類似度を求めていき、情報がベクトル的に近い 5 単語を判別する。その後、判別された単語ベクトルの近い 5 単語を検索キーワードとして、ユーザにポップアップ通知を行う。ユーザがこのポップアップ通知をクリックすることで、推薦された検索キーワードでの Google 検索が自動的に行われ、検索結果が表示される。これによりユーザが閲覧した Web ページに関連する追加情報の提示が可能となる。

## 6. システムの検証および考察

本システムによって、Web 閲覧中のユーザに対して検索意図を反映した追加情報の提示が行われているかについて検証を行った。本稿では分析結果の一つとして北海道に存在する特別史跡である五稜郭のホームページ（以下、検証ページ）を閲覧した際の結果について示す。先行研究[18]では観光情報や歴史情報などの複数のトピックのキーワードが検索意図に関わらず一緒に提示されているという問題点があった。そこで今回は、検索意図に合わせて推薦キーワードが適切に変化するか

を検証するため、観光に興味がある場合と歴史に興味がある場合の2つの情報探索行動を想定して行った。そのため、嗜好抽出プロセスにおいて、北海道の観光に関する記事と北海道の歴史や戦争に関する記事をそれぞれ3記事ずつ保存した状態で検証を行った。システムにより実際に提示された推薦キーワード一覧を表2に示す。観光情報に関する検索を想定した場合には「五稜郭公園」、「五稜郭タワー」などの周辺の観光地に関するキーワードや、日本に2つ存在するもう一つの五稜郭である「龍岡城」が推薦キーワードとして提示され、新たな追加情報の提示が可能であった。しかし、「函館市」に関しては、観光情報の取得を想定した検索タスクにおいて市区町村名单体で検索を行うことが更なる追加情報につながる可能性は低い。また「五稜郭」に関しても、検証ページが「函館五稜郭」に関するページであることから、新しい情報の取得は期待できない。

続いて、歴史情報に関する検索を想定した場合には「武田斐三郎」、「函館戦争」など、設計者や関連する戦争に関するキーワードの提示が可能であることを確認した。また「開拓使」というキーワードに関しても開拓使のシンボルとして五稜郭を使用していたという背景があることから、「昔の開拓使と五稜郭の関連」についての情報の取得が期待できるため、有効な推薦キーワードだと考える。一方、「西洋式」はそれ単体で検索を行うことは考えづらく、「西洋式〇〇」というキーワードで検索を行うことが一般的であるため、推薦キーワードとして適切ではない。

上記の結果から、一部適さない検索キーワードが推薦されたが、視線情報及びユーザプロファイルを用いてユーザの検索意図に適した検索キーワードの推薦が可能であることを確認した。

表 2. 検索意図ごとの推薦キーワード一覧

観光	歴史
五稜郭公園	開拓使
五稜郭タワー	箱館戦争
函館市	武田斐三郎
龍岡城	龍岡城
五稜郭	西洋式

続いて、今回の検証により判明した課題点について記す。まず、現状のシステムでは処理時間の遅さが課題点として挙げられ、ユーザが“search”ボタンをクリックしてから、実際にキーワードが推薦されるまで約14

秒の時間を要していた。Nielsen Norman Group[21]の調査によると、インタラクションシステムの応答時間について、ユーザの思考の流れを止めない限度は1秒以内であると報告されている。しかし現状、処理時間を優先すると現在の推薦精度を保てなくなるため、今後も継続的に調整を行っていく必要がある。続いての課題点として閲覧中文章の中からしか検索キーワードの推薦を行えていないという点が挙げられ、ユーザにとって目新しい情報の取得を支援するという面では改善が必要である。改善案としては、現状の推薦キーワードに対する共起語を新たに推薦キーワードとすることで、目新しい情報の取得が行えるようになると思われる。

## 7. おわりに

本研究では、Web閲覧中のユーザの視線に基づき文章を抽出し、諸解析を経て、検索意図に適した追加情報を得るために必要なキーワードの推薦が可能な追加情報提示インタラクションシステムの開発を試みた。

検証により、北海道の観光に関する情報検索を想定した際には「五稜郭公園」、「五稜郭タワー」等が検索キーワードとして推薦され、戦争に関する情報検索を想定した際には「武田斐三郎」、「函館戦争」、「開拓使」等が検索キーワードとして推薦された。推薦される全てのキーワードを検索意図に沿ったものにすることは出来なかったが、概ね興味のあるトピックに対する追加情報が期待できるキーワードの推薦が可能であった。

一方で、ユーザの関心が無い推薦キーワードであっても自動検索の対象となっている点や、推薦される検索キーワードが閲覧中のWebページの文章に存在する単語のみに限定されていることから、取得できる情報が多様性に欠ける等の課題が判明した。

上述した課題点に加え、視線情報からの興味推定が不十分であるという課題が残っている。現状、ユーザが興味を示さなかった項目や未読の文は評価対象から除外することが可能である。そのため、Webページの全文を解析してトピックを抽出する手法に比べ、不要な情報を削除することができるためユーザの関心を反映させることができると考えている。しかし、視線情報からユーザの興味箇所を特定するまでには至っていない。深澤らによる研究[14]では注視の停留時間は関心のある箇所で長くなることが報告されているが、水口らは意味の理解に時間を要する文字や複雑な図柄などは自ずと視点の停留時間が長くなることから、長く閲覧しているものに必ずしも興味があるとは限らないことを指摘している[22]。そのため視線の停留時間をもとに興味箇所を特定するためには適切な時間閾値を検討していく必要がある。さらに瞳孔状態の検出により困って



いるか否かを推定し困っている人には補足する情報を提供するなど、より視線情報からの検索支援機能を追加していくことを目指す。

## 謝 辞

本研究の一部は科研費(17K02129, 19K12902)の助成を受けた。

## 参 考 文 献

- [1] IMARC Services Private Limited: Eye Tracking Market: Global Industry Trends, Share, Size, Growth, Opportunity and Forecast 2021-2026(2021)
- [2] 総務省:令和2年 情報通信白書 ICTサービスの利用動向
- [3] 渡辺奈夕子, 岡本昌之, 菊池匡晃, 飯田貴之, 佐々木健太, 堀内健介, 大村寿美, 服部正典: 閲覧 Web ページからのキーワード抽出に基づくモバイル端末向け検索支援 UI, 情報処理学会インタラクシオン 2011 (2011)
- [4] 岡本昌之, 渡辺奈夕子, 大村寿美: タッチ操作によるモバイル機器向け情報検索支援, 東芝レビュー, Vol166, p46-49 (2011)
- [5] 上村卓史, 喜田拓也, 有村博紀: ウェブ閲覧における効率的なキーワード抽出とその利用, 情処理学会論文誌, Vol.1, No.1, p49-60 (2008)
- [6] 小野謙太郎, 立澤祐樹, 岡誠, 森博彦: Web の特徴語と共起する語を用いた未読ページからのキーワード推薦, 情報処理学会研究報告, Vol2015-GN96 No.18 (2015)
- [7] 山田純平, 北山大輔: ユーザの未訪問ページ予測のための拡張スニペットによる検索支援手法, 情報処理学会インタラクシオン 2020, 1B-43 (2020)
- [8] 大友隆秀, 望月信哉, 石井英里子, 星野祐子, 山田光穂: 注視された Web ページのテキストをリアルタイムで取得するシステムの開発, パーソナルコンピュータ利用技術学会論文誌, Vol.14, No.1, pp.36-41 (2020)
- [9] 鵜飼一彦: 眼球運動の種類とその計測, 日本光学会, 23(1), pp. 2-8 (1994)
- [10] S.Martinez, S.L.Macknik, D.H.Hubel: The Role of Fixational Eye Movements in Visual Perception”, NATURE REVIEWS NEUROSCIENCE, 5, pp. 229-240 (2004)
- [11] 金子寛彦: 固視微動, 映像情報メディア学会誌 Vol. 63, No.11, pp.1538-1539 (2009)
- [12] 近藤公久, 馬塚れい子, 寛和彦, : 日本語文の読解過程における語特性および語順の影響, 日本認知科学会, 9(4), pp. 543-563 (2002)
- [13] Tobii, “Pro Nano product Description”, <https://www.tobii.com/siteassets/tobii-pro/product-descriptions/tobii-pro-nano-product-description.pdf>
- [14] <https://www.selenium.dev/>
- [15] 深澤綾, 小俣昌樹, 今宮淳美: Web ページにおける視線停留時間と脈波波高に基づく興味箇所と興味度合の特定, 情報処理学会第70回全国大会, 6ZB-3 (2008)
- [16] 斎田真也: 速読と眼球運動, 日本基礎心理学会, Vol.23, No.1, pp64-69 (2004)
- [17] 小林潤平, 川嶋稔夫: 日本語文章の読み速度の個人差をもたらす眼球運動, 映像情報メディア学会, Vol 72, No.10, pp. J154~J159 (2018)
- [18] 株式会社アイ・エム・ジェイ: タブレット端末でのサイトユーザビリティ調査 (2013)
- [19] Taiga Mori, Takahide Otomo, Yusuke Nosaka, Eriko Ishii, Yuko Hoshino, Mitsuho Yamada, “Development of a Web Browsing Support System Using Gaze Information”, The 27th International Display Workshop, INPp1-2, pp.953-956 (2020)
- [20] Yang Liu: Fine-tune BERT for Extractive Summarization, arXiv:1903.10318(2019)
- [21] Nils Reimers, Iryna Gurevych: Sentence-BERT: Sentence Embeddings using Siamese BERT-Networks”, arXiv:1908.10084 (2019)
- [22] Jakob Nielsen: Website Response Times” (2010)
- [23] 水口充, 浅野哲, 佐竹純二, 小林亮博, 平山高嗣, 川嶋宏彰, 小嶋秀樹, 松山隆司: Mind Probing: システムの積極的な働きかけによる視線パターンからの興味推定, 情報処理学会研究報告, Vol199, pp.1-8 (2007)