

注視点制御型拡大読書器の試み

前田 義信[†] 宮川 道夫[†] 宮澤 洋一[†] 堀 潤一[†]
岡本 明^{††} 安藤 伸朗^{†††}

An Attempt of a Video Magnifier Controlled by the Gazing Information

Yoshinobu MAEDA[†], Michio MIYAKAWA[†], Yoichi MIYAZAWA[†], Junichi HORI[†],
Akira OKAMOTO^{††}, and Noburo ANDO^{†††}

あらまし 高齢社会では視覚に障害を伴う人の増加が予想され、視覚障害者の生活の質(QOL)を向上させる支援技術を開発することはより重要になる。屋外での歩行支援、屋内での読書支援は特に重要な技術である。本論文では、高齢者や視覚障害者の読書支援を目的として、注視により拡大読書器の動作を制御する支援システムを試作した。拡大読書器の表示を制御する情報を得るため、まず視力と注視特性の関係を明らかにする実験を晴眼者で実施した。その結果、注視点の揺らぎや瞬目の回数が視力と関係をもつことが示唆された。そこで注視点揺らぎと瞬目を制御情報とする注視点制御型拡大読書器を試作した。試作した支援システムは少なくとも白内障の視覚障害者に有効であることが評価実験により示唆された。

キーワード 視覚障害者、白内障、ユーザビリティ、注視点、瞬目

1. ま え が き

2015年には総人口の26%が65歳以上(約4人に1人が高齢者)になるという超高齢社会を迎える。そのような現状を踏まえて、高齢者のQOL(Quality of Life)の向上を目的とした生活支援技術の開発が行われている[1]。実際、高齢者と若年者の間では、機械操作の容易性においても認知科学的有意差が観察され[2]、高齢者を対象とした生活支援技術の必要性が伺える。また、そのような生活支援技術を従来の工学分野の中で評価するのではなく、新しい枠組み(電子情報支援技術、e-AT)の中で評価する動きも出てきつつある[3]。

高齢者は視覚に障害を伴うことが多く、生活支援技

術が視覚障害に対応することは、高齢者の生活を支援する技術開発の第一段階であるともいえる[4]~[11]。総務省統計局による高齢者の趣味・娯楽に関する調査結果から60歳以上の高齢者のデータを取り出した結果を図1に示す。高齢者の趣味や娯楽の第一位は園芸・庭いじり(約1,330万人)となっており、第二位は趣味としての読書(約924万人)と続く。趣味としての読書は全体の15%である。この調査結果からも、読書ができないことは高齢者のQOLの低下を意味する。視覚に障害をもつ高齢者が、趣味として読書を満喫できるための拡大読書器は重要な支援機器である。

視覚障害は低視力と盲に大別される[12]。視覚障害の主な原因に、視力低下と視野の障害を伴う視神経萎縮、未熟児網膜症、緑内障、白内障や、視野狭窄を伴う網膜色素変性病等がある。したがって、視力の限界や視野の限界を画一的に定義することは一般的に難しい。LeighとZee[13]は先天盲人と途中失明者の眼球運動について報告し、柿沢ら[14]は低視力者のサッカー特性について報告した。また、Leggeら[15]と小田[16],[17]は、音読速度と文字サイズの関係から読書能力を評価するチャートを開発した。

低視力者に対する読書支援機器には、ルーペ等の光学的支援機器と、テレビとカメラを組み合わせた拡大

[†] 新潟大学自然科学系超域研究機構, 新潟市
Center for Transdisciplinary Research, Institute of Science and Technology, Niigata University, Niigata-shi, 950-2181 Japan

^{††} 筑波技術大学障害者高等教育研究支援センター, つくば市
Research and Support Center on Higher Education for the Hearing and Visually Impaired, Tsukuba University of Technology, Tsukuba-shi, 306-8520 Japan

^{†††} 済生会新潟第二病院眼科, 新潟市
Department of Ophthalmology, Saiseikai Niigata Daini Hospital, Niigata-shi, 950-1104 Japan

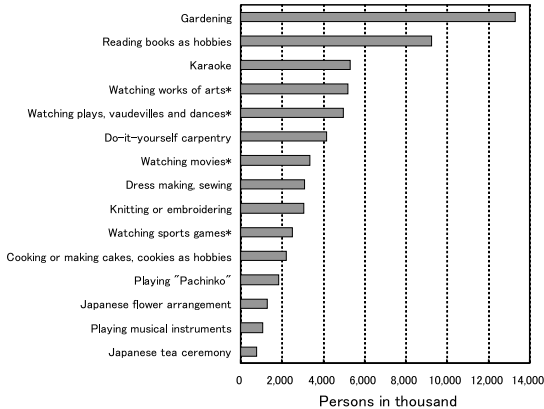


図 1 総務省統計局平成 13 年度社会生活基本調査における 60 歳以上の高齢者の趣味娯楽 (単位: 千人). * 印において, 家庭でのテレビ, ビデオ鑑賞は除かれる. 趣味としての読書は全体の 15% を占める

Fig. 1 Hobbies and amusements of the aged over 60 people. Reading books as hobbies: 15%

読書器に代表される電子的支援機器がある. これまでの拡大読書器では拡大率を事前に自分で適切に設定しなければならないこと, 書物等の媒体を読取りと同期させて手で動かさなければならないこと (高齢者ではこのフィードバック制御が困難), 低視力の原因によって異なる各人の見え方に対応できないこと等, 必ずしも使い勝手のよい [18] 支援機器となっていない. 実際, 拡大読書器の普及率は視覚障害者の中でも身体障害者手帳を所持している人数の 10% 弱といわれ, 気軽に読書が行えるという利便性や自力で朗読を行えるというプライバシーの保護という意味で, 従来型拡大読書器のユーザビリティを向上させることも重要である. これに対し本論文では, “読む” という行為のみで適切な拡大率が自動調節され, 利用者に, よりストレスの少ない読書能力を提供するための技術的可能性について, システム試作を含め検討した.

以下, 本論文では, 2. で, 制御情報として注視点揺らぎと瞬目が有効であることを示す. 3. で試作した拡大読書器について説明し, 4. で視覚障害者による評価実験の結果について述べる. また, 視覚障害と判断されない視力の低下した若年健常者と比較することで, 試作した注視点制御型拡大読書器の有効性を明らかにする.

2. 基礎実験

拡大読書器使用時において文字読み取りが困難など

き, 提示文字サイズが小さすぎる場合 (拡大不足) と大きすぎる場合 (過拡大) の 2 通りが考えられる. 拡大不足の場合は, 無意識的に目を細める行為がたびたび観察される. 逆に過拡大の場合は, 提示文字サイズの範囲内で注視点が一時的に移動することが考えられる. 注視点情報を用いて動作を制御する拡大読書器を開発するため, 2.1 では, 制御情報を得るための基礎実験を行うシステムの構成について述べる. 続く 2.2 では, 注視点揺らぎと視力の関係について実験により確認する. 2.3 では, 注視点の移動距離が大きくなると瞬目回数が増加することを実験的に確認する.

2.1 実験システムの構成

注視点検出装置には, ゴーグル型検出器を中核とする Talk Eye II (竹井機器) を用いた. このシステムは, 被験者の眼球を映す CCD カメラと眼球に照明光を照射する近赤外 LED が一体となった検出器, 眼球角度から注視点を求めるパーソナルコンピュータ (以後, 処理 PC), 検出器と処理 PC のインタフェースである制御ユニットから構成される.

ゴーグル型検出器はレンズなし眼鏡に設置され, 特徴点 (瞳孔反射光と角膜反射光) を毎秒 30 フレームの速度で計測する. 処理パソコンではこれらの特徴点の変化量から注視点位置を算出する画像処理が行われる. 較正はモニタ上に順次提示される 9 点の黒丸指標を頭部固定状態の被験者に注視させることで行われる.

本研究では, 計測時に頭部などの身体の揺れが眼球運動の検出結果に影響を与えないよう, 被験者の頭部を顎台に乗せ, 更に頭部をヘアバンドで顎台のフレームに固定して計測を行った. この状態で被験者の眼球前方 0.8 m の位置に設置した 21 インチのモニタ (画面の横幅 45 cm, 縦幅 34 cm) 上に黒丸指標を提示して注視点測定並びに読書能力評価を行った.

2.2 注視点揺らぎと視力の関係

55 mm 間隔の格子点上を 5 秒ごとに 12 回ランダムウォークする黒丸指標 (直径 3 mm, 5 mm, 8 mm) をモニタに提示し, 被験者に逐次, 黒丸指標を注視させる実験を, 途中休憩を 5 分を挟んでそれぞれ合計 3 回実施した. 黒丸指標は図 2 に示す 35 箇所の格子点上を上下左右の 4 方向にランダムウォークさせた. 実験は視力の異なる 4 名の被験者 (24.5 ± 6.1 歳. 視力 A : 0.04, B : 0.1, C : 1.0, D : 1.5) によって行われた. ここで視力はランドルト環を用いて計測した両眼遠点視力の値を示す. 瞬目によりデータが不連続となった場合は前後 0.25 秒間を線形補間することで連続

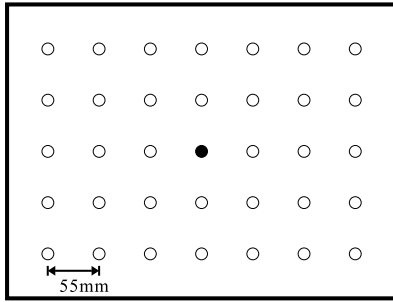


図 2 黒丸指標がランダムウォークする格子点

Fig. 2 Lattice which the black-circle marker random walk.

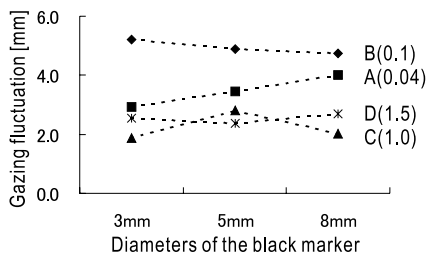


図 3 視力、指標径と注視点揺らぎの関係。横軸は指標径、縦軸は注視点揺らぎを表す

Fig. 3 Relationship among the eyesight, the diameter of black-circle marker and the fluctuation of the gazing point.

なデータとし、水平方向と垂直方向の揺らぎに相違がないものとして、合計 36 組の黒丸指標の注視点データの標準偏差から平均値を求めてそれを揺らぎとした。黒丸指標の大きさの変化に対する被験者の慣れを防ぐため、最初に直径 5 mm の黒丸指標を提示する実験を行い、別の日に直径 3 mm の黒丸指標を提示する実験、更に別の日に直径 8 mm の黒丸指標を提示する実験を行った。

得られた結果には被験者の視力、及び黒丸指標の大きさの違いが影響を及ぼすと考えられる。これらの二つを因子とする繰返しのない二元配置分散分析を行ったところ、被験者の相違が 1% 有意 (p 値: 1.3×10^{-3} , F 値: 21.6, F 境界値: 9.7, 自由度 3) であった。一方で黒丸指標の大きさは有意ではなかった (p 値: 9.3×10^{-1} , F 値: 7.6×10^{-2} , F 境界値: 10.9, 自由度 2)。図 3 にグラフを示す。同一被験者で指標径による相違はほとんど観察されないが、被験者間で注視点揺らぎの平均に相違が観察される。被験者数は少ないが、視力の相違が注視点揺らぎに影響を与えることが示唆された。

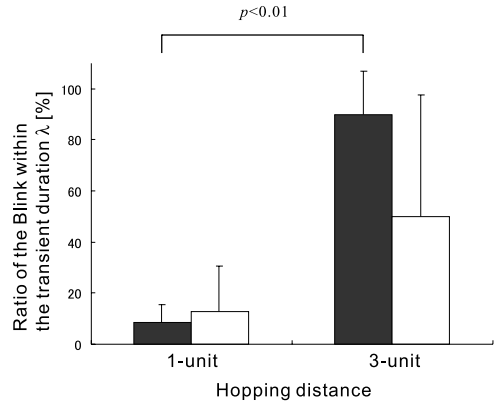


図 4 瞬目の割合

Fig. 4 Ratio of the eye blink in the transient duration.

2.3 注視点の移動距離と瞬目の関係

直径 3 mm の黒丸指標がランダムウォークする際、移動距離を任意に変更した実験を被験者 10 名 (年齢 23.8 ± 4.5 歳の成人) で 2.2 と同様に行った。格子点間隔が 55 mm を一つの単位として 1 単位, 3 単位の二つのパターンで移動するものの計測データを抽出した。ここで、例えば 1 単位とは水平方向に 55 mm, 垂直方向に 55 mm 移動する斜め上下方向の 4 点のいずれかに黒丸指標がランダムウォークすることを表す。提示された指標ポイントに視線が移動して注視状態に到るまでに多くの瞬目が観察された。ここで、瞬目は注視点検出装置によって注視点の移動変化率から自動的に求められる。瞬目割合を式 (1) で定義し、黒丸指標の各移動パターンに対する瞬目割合 λ を調べた。

$$\lambda = \frac{n}{N} \times 100, \quad (1)$$

ここで、 N はある移動パターンが出現した回数、 n はその移動パターンが観察された N 回の中で 1 回でも瞬目が行われた移動パターンの出現回数を表す。

瞬目割合 λ についてまとめた結果を図 4 に示す。黒帯は遠点視力が 1.0 より小さい被験者 6 名の平均 (低視力者)、白帯は遠点視力が 1.0 より大きい被験者 4 名の平均 (高視力者) を表す。遠点視力がちょうど 1.0 となる被験者はいなかった。低視力者の場合、移動パターンが 1 単位のとときと 3 単位のとときで瞬目割合が大きく異なっていることが分かる。分散分析を行った結果、低視力者の場合で 1% 有意 (p 値: 6.3×10^{-7} , F 値: 122.2, F 境界値: 10.0, 自由度 11) であり、高視力者の場合では有意差はなかった (p 値: 1.9×10^{-1} ,

F 値：2.1, F 境界値：13.7, 自由度 7).

図 4 に示すように, 低視力者において移動距離の増加に伴い瞬目割合が増えた原因としては, 低視力者の場合には周辺視野においても視力の低下が著しく, その結果, 探索行動に移る [19] ためか, 瞬目によって眼球表面を潤し, 生理学的に一番良い状態で探索行動を行っているためと考えられる. つまり, 低視力被験者は指標の移動距離が 3 単位の場合でも探索行動に移る可能性が高いが, 高視力被験者ではその可能性が低いと推測される.

2.4 制御情報

2.2, 2.3 の結果より, 3. で構築する拡大読書器の制御情報として, 注視点揺らぎと瞬目を取り上げる. すなわち, 視力の低い状態では注視点揺らぎが大きいため, 注視点揺らぎが大きいために段階的に拡大するよう制御する (3.4 参照). 一方, 過拡大の状態では, 文字サイズが大きくなりすぎてしまうため, 文字を認識するために注視点が跳躍することが考えられる. そこで, 瞬目により適当な文字サイズまで意識的に縮小させるよう制御する (3.5 参照).

以後, 注視点を用いて動作を制御する拡大読書器を注視点制御型拡大読書器と呼ぶ.

3. 注視点制御型拡大読書器

提案する拡大読書器のシステム構成を図 5 に示し, 注視モニター, CCD カメラ (ゴーグル付), ビデオカメラを, それぞれ図 6 (a), (b), (c) に示す. 被験者は頭部を顎台の上に載せ, 前方 $d = 0.8$ [m] の位置に置かれた 21 インチのモニター画面に書物の内容が提示される. 注視点検出装置は, 被験者の注視点を CCD カメラからサンプリング周波数 30 Hz で計測する. 読書開始前に, 注視点検出装置で注視点較正を行う (図 5 の (1)). 読書開始後, 注視点検出装置はモニターに読取用ビデオカメラ (EVI-D100, SONY) の映像を出力する (図 5 の (2)) と同時に, 被験者の眼球角度 (θ_x [度], θ_y [度]) をビデオカメラ制御用のパーソナルコンピュータ (以後, 制御 PC: Windows2000Pro, Pentium4 2.6 GHz, メモリ 512 MByte) に出力する (図 5 の (3)). ここで, θ_x , θ_y は図 5 に示すように, それぞれモニター画面の中心から水平方向, 垂直方向への眼球角度である. 制御 PC は, 眼球角度に基づいてビデオカメラのパン, チルトを制御する (図 5 の (4)). ビデオカメラ本体は読取テキストの上方 0.27 m の位置に設置される. ビデオカメラが映す映像はコントラストを強調して表示す

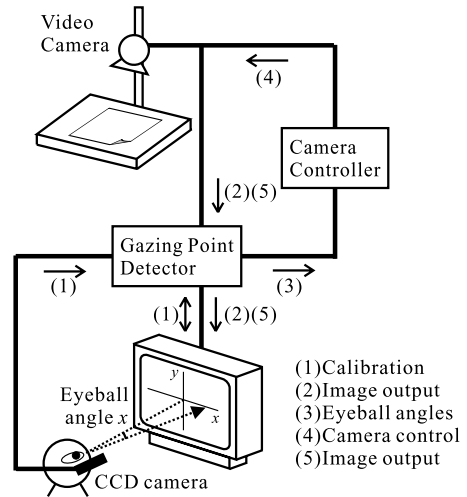


図 5 注視点制御型拡大読書器の構成図
Fig. 5 System configuration of the video magnifier.

るようプログラムし, 注視点検出装置を経由して被験者に提示される (図 5 の (5)). このように, 被験者の視線の動きに合わせたビデオカメラの制御機構が実現する. 注視点検出装置から送られてくる眼球角度のタイミングとビデオカメラ操作の処理はマルチスレッド処理で実現した.

パン, チルト, ズームの速度は使用者の大半が高齢者であることを考慮し, ビデオカメラ EVI-D100 の制御用として用意されている最低速度 (ビデオカメラの回転角速度は毎秒 2.0 度) とした. また, ビデオボードの組込機能を用いて白黒反転表示も可能とした.

3.1 初期ズーム率の設定と文頭の読出し

ユーザに合わせたズームの倍率 (以後, 初期ズーム率と呼ぶ) を決定するため, 使用開始時にビデオカメラはズームインを開始する. ユーザは提示された文字が読めるサイズになったと主観的に判断したときに, 意識的に 1 秒間閉眼する. このとき, 制御 PC はビデオカメラのズームインを停止し, 1 秒前 (閉眼直前) のズームの倍率を初期ズーム率として次の動作に移る.

初期ズーム率を決定した後, 次の動作が開始されるまでのユーザに対する緩衝時間として 1 秒を確保する. 続いて, 初期ズーム率を保持したまま提示された読取テキストの文頭にビデオカメラをパン, チルトする. 用紙サイズは B5, A4, B4 の 3 種類の原稿サイズを想定し, 指定された用紙の左マージン 30 mm, 上マージン 30 mm の位置を文頭とした.

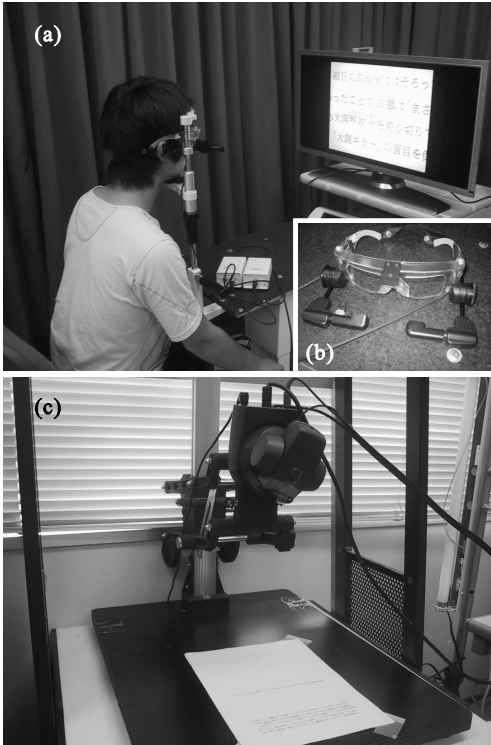


図 6 注視点制御型拡大読書器の写真。(a) モニタ, (b) CCD カメラ付ゴーグル, (c) 読取用ビデオカメラ
Fig. 6 Pictures. (a) Monitor, (b) Goggle with CCD camera, (c) Video Camera.

3.2 読書開始

読書開始後、制御 PC は注視点検出装置から送られてくる眼球角度を 0.5 秒ごとに平均し、被験者がモニタ画面のどの領域を見ているかを決定する。図 7 に示すようにモニタの画面を五つの領域に分割し、中央領域 C (全画面に対して水平方向は $h\%$ 、垂直方向は $v\%$) に注視点が 0.5 秒以上停留するとビデオカメラは停止したままである。今回は $h = 50\%$ 、 $v = 65\%$ とした。

注視点が右領域 E に移動し 0.5 秒以上停留すると、ビデオカメラは右方向に用紙サイズの限界まで移動する。ビデオカメラの回転角速度は毎秒 2.0 度であり、ビデオカメラ-読取テキスト間距離が 0.27 m であることから、ビデオカメラがモニタに提示する画面は毎秒およそ $0.27\pi/90$ m (読取テキスト上で毎秒約 1 cm) 左方向へ移動する。

注視点が左領域 A に移動し 0.5 秒以上停留すると、毎秒 2.0 度の回転角速度でビデオカメラはパンし、モ

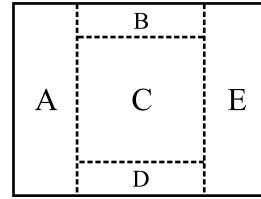


図 7 モニタの画面を仮想的に分割した五つの領域
Fig. 7 Five areas defined on the monitor screen.

ニタ画面上の文字は毎秒約 1 cm で右方向へ移動する。ただし、1.0 秒以上停留すると、改行処理へ移行する (3.3 参照)。よって、ユーザがうっかり読み飛ばしてしまった文章を再度読もうとすると、注視点を 0.5 秒間左側 (領域 A) へ移し、その後中央 (領域 C) に戻す動作を繰り返さなければならない。

上領域 B (下領域 D) に注視点が 0.5 秒以上停留すると、ビデオカメラは上方向 (下方向) へ同様に移動する。

3.3 改行処理

注視点が左領域 A に 1.0 秒以上停留すると改行処理へ移行する。処理開始時に、1) 現在のズーム率を保存し、2) ズーム率をデフォルトの状態まで一時的に縮小し、3) 改行ピッチ 7 mm で次行の文頭に移った後、4) 再び、保存したズーム率まで拡大する。ズーム率を一時的に縮小するのは、改行処理へ移行したことをユーザに知らせる (及び文章中の読取位置情報をユーザに知らせる) ためである。

3.4 拡大処理

2.2 より、読めていないときは注視点の揺らぎが大きいと考えられる。そこで、注視点揺らぎに二つのしきい値 t_1 と t_2 ($t_1 < t_2$) を設け、注視点揺らぎが t_1 と t_2 の間にあるとき拡大処理を行う。しきい値 t_2 を設定した理由は、ユーザが探索行動を行ったときに生じる大きな揺らぎで、システムが誤って拡大処理を実行しないようにするためである。拡大処理は 5% ずつ逐次的に行い、注視点揺らぎがしきい値 t_1 を下回ったときに拡大が停止する。

3.5 縮小処理

過拡大の状態では一文字を認識するのに注視点が画面上を高速に移動、跳躍する。このとき、視力の低下したユーザほど瞬目回数が増加するため (2.3 参照)、注視点検出装置が出力する瞬目の有無を利用して縮小処理を開始する。急激な縮小処理はユーザの読書ナビゲーションを阻害するおそれがあるため、毎秒 5% の

比率でゆっくりと縮小するように設定した。ユーザは読書に適した文字サイズになったと判断した時点で再び意識的に瞬目することで縮小処理を終えることができる。

4. 評価実験

4.1 方法

視覚障害者 8 名（年齢 69.4 ± 8.9 歳）による注視点制御型拡大読書器の評価実験を行った。被験者に拘束感を与えないようにするため、顎台は用いてもヘアバンドで頭部を固定することはしなかった。表 1 に症状と視力、注視点検出装置で計測した側の目（*印）を示す。

新潟県在住の一般の高齢者が興味をもつと考えられる文章として、インターネットで公開されているニュース（新潟県拉致被害者問題）を取り上げ、5 行の横書き文章として構成し提示した。A4 用紙に 11 ポイントの明朝体で印字した。また、白黒反転することなく、背景を白色、文字を黒色とした。

- 1 行目は 37 文字（漢字 23 文字、平仮名 12 文字、数字 2 文字、句読点一つ）
- 2 行目は 36 文字（漢字 19 文字、平仮名 14 文字、数字 3 文字、句読点二つ）
- 3 行目は 36 文字（漢字 13 文字、平仮名 23 文字、数字 0 文字、句読点二つ）
- 4 行目は 34 文字（漢字 14 文字、平仮名 18 文字、数字 2 文字、句読点三つ）
- 5 行目は 38 文字（漢字 21 文字、平仮名 15 文字、数字 2 文字、句読点一つ）

提示文字が大きすぎる場合、すなわち過拡大の状態に陥ったとき、瞬目により縮小処理が可能であることは事前に被験者に説明した。実験は病院内の一室で行われ、部屋の照度はおよそ 320 lx であった。被験者は全員、市販の拡大読書器を使用した経験がなかった。

4.2 結果

8 名の被験者のうち、有効なデータが得られたのは No.1 から No.7 までの 7 名であった。表 2 に読みを行った側の目と、文章の各行を読むのに要した時間（単位：秒）を示す。*印の数は縮小処理を行った回数を表す。両目で読みを行った被験者 No.2 と No.4 は、当初、計測した方の目で読みを行っていたが、片目での読みが難しいと実験者が判断して両目読みを実施した。表中のハイフンは計測できなかった場合（読書中に次の行へシフトし、その行の読書を中断してしまっ

表 1 高齢被験者の視力（症状の括弧内は手術の前後を示す）

Table 1 Participants in the evaluation test.

No	年齢	症状	左視力	右視力
1	70	網膜剥離（後）	0.9*	0.2
2	63	角膜潰瘍、眼内炎（前）	0.1*	0.4
3	79	白内障（前）	0.2*	0.3
4	56	網膜剥離（後）	0.05*	0.1
5	71	白内障（前）	0.1*	0.5
6	81	白内障（前）	0.7	0.3*
7	77	白内障（前）	0.3*	0.6
8	58	糖尿病網膜病（後）	0.8	0.09*

表 2 読書時間の測定結果（弱視者）

Table 2 Results of the reading time in second (Low vision).

No	読み	1 行	2 行	3 行	4 行	5 行
1	左	39.9	30.7*	16.6	29.2*	—
2	両	17.2	18.2	13.0	15.2	13.0
3	左	23.9	24.0	—	24.6	19.6
4	両	18.4*	11.0	30.9*	—	—
5	左	20.2	17.7	12.9	12.2	13.4
6	右	19.8	16.8	14.5	70.2****	16.5
7	左	19.7*	—	19.7	17.3	27.8

た場合）を示す。このとき、被験者は読書ナビゲーションに失敗し、正しい「読みかけ」の位置に戻ることができなかった。白内障の被験者は注視点校正の精度も良く、その結果として、被験者が読みたいと思う文章をビデオカメラが正しく表示したため、おおむね安定して計測データを得ることができた。

実験後に「実験中、気分が悪くなったか」、「ニュースの内容を理解し満足できたか」の 2 点をインタビュー形式で尋ねたところ、被験者全員が気分を悪くすることなく、ニュースの内容をほぼ正確に把握し満足したと答えた。その他、No.1 の被験者は文章を目だけで追えることが大変楽しかったと答えた。No.3 と No.4 の被験者は目の疲れを少々感じると答えた。No.4 の被験者は途中、頭部を回転させて文字を読むことがあり、実験者から頭部を動かさないよう指示を受けることがあった。No.5 の被験者は読書中のカメラの速度が遅いように感じるると答えた。

5. 考察

表 2 より、被験者 No.6 は 4 行目の文章の読書時間に 70.2 秒の時間を要した。評価実験では被験者の頭部を固定しなかったため、読書に没頭した被験者が頭部を動かして読書をしたことで測定誤差が生じ、その結果として必要のない拡大処理が行われた。過拡大された文字を初期拡大率の状態に戻すため、縮小処理が

表 3 読書時間の測定結果 (晴眼者)
Table 3 Results of the reading time in second
(Normal vision).

No	読み	1行	2行	3行	4行	5行
1	右 (0.3)	15.7	17.6	13.3	13.6	13.4
2	右 (0.3)	12.6	12.9	14.5	17.0	18.4
3	右 (0.1)	15.1	26.9	28.1*	16.3	14.1
4	右 (0.08)	13.4	15.4	13.1	13.5	13.2
5	右 (0.1)	12.8	15.3	12.7	41.6	16.5
6	右 (0.06)	14.4	14.1	14.1	14.3	16.3
7	右 (0.04)	14.7	14.6	16.4	14.8	27.3

4 回行われた。被験者 No.1 は読書をゆっくりと楽しんでおり、そのため、他の被験者に比べて相対的に読書時間が長い。よって縮小処理回数と読書時間には相関があるものの、読書時間が長いことが必ずしも縮小処理回数の多さを表す訳ではない。しかし、縮小処理は読書行為を一時的に中断させるため、読者にストレスを与える一因になる。頭部の動きがシステムに不必要な拡大処理を起こさせないようにすることは今後の課題である。

提案する注視点制御型拡大読書器が視覚に障害をもつユーザの読書を支援するものであることを確かめるため、視力の低下した若年晴眼者 7 名 (21.7 ± 0.7 歳、遠点視力 0.06 ~ 0.5 で平均 0.24) でも同様の実験を行った。晴眼者の実験では、表 3 に示すように縮小処理を行った被験者は 1 名 (No.3 の 3 行) であり、読書を中断して計測不可となった被験者はいなかった。そして、各行を読むのに要した時間の平均値が、高齢の視覚障害者 (有効なデータが得られた 7 名、表 1 の No.1 ~ 7) と視力の低い若年晴眼者の間で有意に異なるか否かを分散分析により検証した。その結果、各行において有意水準 1% で有意差は認められなかった。ただし 1 行目のみ 5% 有意 (p 値: 1.4×10^{-2} , F 値: 8.3, F 境界値: 4.7, 自由度 13) であり、注視点制御型拡大読書器の使用に対する慣れの差が高齢者と若年者の間で生じたと考えられる。高齢者は注視点制御型拡大読書器を使いこなすのに若年者より多少時間を要するが、若年者と同じ速度で読書を遂行することができた。

今回の評価実験において、網膜剥離、角膜潰瘍、白内障のユーザの中で、試作した読書器は少なくとも白内障のユーザに利用可能であることが分かった。試作した読書器では瞳孔反射光と角膜反射光を用いて注視点検出を行うため、角膜に損傷がある状態では注視点を検出できなかつたと考えられる。逆に水晶体が濁る

白内障 (その症状はまぶしい、近視が進む、視力が低下する等) では注視点を正しく検出することが可能であったため、利用可能であったと考えられる。しかし、高齢者は若年者に比して読書ナビゲーションで失敗することが多い。この理由に、高齢者と若年者の間に空間認知能力の相違 [20] があると考えられる。つまり、現在見えている画面の外側にどれだけの文章が隠れているのか、また、今読んでいるところは、全体の文章のどの辺であるのか、といったところで、高齢者が正しく判断できていないことが読書ナビゲーションの失敗につながつたと推察された。また、必要以上に拡大処理が実行される場合があった。これに対処するためには、注視点揺らぎの他の情報も用いる必要がある。例えば、注視点揺らぎとともに瞳孔径の変化 [21] を用いることで必要のない拡大処理の実行回数を抑えることが可能である。

6. むすび

拡大読書器は視覚障害者の QOL の向上に大変有用な支援機器である。しかし、ユーザ個々の視覚条件に適應する支援機器にはなっていない。本論文では適應の意味における支援の限界を探るため、拡大読書器の動作をユーザの注視点で制御する注視点制御型拡大読書器を試作した。ユーザの読書行為を妨げないよう、拡大不足時には注視点揺らぎを、過拡大時には瞬目を用いて拡大・縮小処理を行うようにした。また、評価実験を通して少なくとも白内障等により視力の低下した視覚障害者に利用可能であることを示した。試作した拡大読書器を使用すると、書物や記事を手動で動かすことなく読書することができた。読書時間の計測と実験後のアンケート調査により、読書に伴うストレスの大きさを検討した。

今後の課題として、i) 読書ナビゲーションを支援する目的で、モニタ画面上に一過性のマーカ (ランドマーク) を表示すること、ii) 拡大処理の制御のため注視点揺らぎのほか瞳孔径の変化も用いること、iii) 縦書き文章にも対応できるよう改善すること、の 3 点が挙げられる。

謝辞 本研究は、科学研究費補助金特定領域研究「情報福祉の基礎 (代表: 市川薫千葉大学教授)」課題番号 16091202 として行われた。研究を進めるにあたって協力を頂いた広島大学の玉木徹助教授と新潟大学大学院生の田中、工学部 4 年生の青柳、石黒、小熊、武田、中屋、吉田の諸君に謝意を表す。

文 献

- [1] A.M. Cook and S.M. Hussey, *Assistive Technologies*, Second ed., pp.7-8, Mosby, 2002.
- [2] 原田悦子, 須藤 智, 熊田孝恒, 南部美砂子, 森 健治, “エラー反復のメカニズムと注意機能,” 文部科学省科学研究費特定領域研究「情報福祉の基礎」2004 年度第 1 回成果報告会資料, pp.93-98, 2005.
- [3] 中邑賢龍, “障害観の変化と支援技術研究,” 日本生活支援工学会誌, vol.4, no.2, pp.10-16, 2005.
- [4] A. Pruski and H. Knops, *Assistive technology: From virtuality to reality*, Chapter 11, pp.237-260, IOS Press, 2005.
- [5] 渡辺哲也, 岡田伸一, 伊福部達, “スクリーンリーダを活用した電子メディアのバリアフリー化,” 信学論 (D-I), vol.J83-D-I, no.1, pp.234-242, Jan. 2000.
- [6] R.G. Golledge, R.L. Klatzky, J.M. Loomis, J. Speigle, and J. Tietz, “A geographical information system for a GPS based personal guidance system,” *Int. J. Geographical Information Science*, vol.12, no.7, pp.727-749, 1998.
- [7] M. Miyakawa and T. Kosugi, “A Three-dimensional gazing point detection system for communication analysis,” 25th IEEE EMBC, pp.918-921, 2003.
- [8] 宮川道夫, 小林康之, 鳥羽 啓, 石井 望, “マルチモーダル・インターフェース実現に向けた注視点のリアルタイム計測法,” 信学論 (D-II), vol.J83-D-II, no.12, pp.2810-2821, Dec. 2000.
- [9] Y. Maeda, E. Tano, H. Makino, T. Konishi, and I. Ishii, “Evaluation of a GPS-based guidance system for visually impaired pedestrians,” CSUN 17th Int. Conf., Technology and Persons with Disabilities, <http://www.csun.edu/cod/conf/2002/proceedings/296.htm>, 2002.
- [10] 前田義信, 小西孝史, 松橋貴之, 田野英一, 牧野秀夫, “意思決定モデルに基づく視覚障害者用移動経路選択ソフトウェアの開発,” 日本生活支援工学会誌, vol.4, no.1, pp.29-37, 2004.
- [11] T. Miyaji and Y. Maeda, “A GIS-based technological assist for travel plans of the visually impaired,” CSUN 21st Int. Conf., Technology and Persons with Disabilities, <http://www.csun.edu/cod/conf/2006/proceedings/2824.htm>, 2006.
- [12] 芋阪良二, 中溝幸夫, 古賀一男, 眼球運動の実験心理学, 名古屋大学出版会, 1993.
- [13] J. Leigh and D.S. Zee, “Eye movements of the blind,” *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, vol.19, pp.328-331, 1980.
- [14] 柿沢敏文, 中田英雄, 谷村 裕, “弱視者の衝動性眼球運動と滑動性運動の解析,” 第 14 回感覚代行シンポジウム論文集, pp.9-13, 1987.
- [15] G.E. Legge, D.G. Pelli, G.S. Rubin, and M.M. Schleske, “Psychophysics of reading,” *Vision Research*, vol.25, no.2, pp.239-252, 1985.
- [16] 小田浩一, “ロービジョンエイドを処方するための新しい読書検査表 MNREAD-J,” 第 7 回視覚障害リハビリテーション研究発表論文集, p.157, 1998.
- [17] 小田浩一, “視覚障害とエイド,” *Japanese Psychological Review*, vol.44, no.2, pp.177-190, 2001.
- [18] 榎原直樹, “高齢者・障害者のニーズ収集・分析と開発時の問題点,” 情報アクセシビリティ, C&C 振興財団 (監), 山田肇 (編), pp.215-227, 2005.
- [19] 田邊喜一, “視野制限下における能動的探索作業時の瞬目生起時点の分析,” 信学論 (A), vol.J89-A, no.2, pp.171-174, Feb. 2006.
- [20] B. Tversky, “Functional significance of visuospatial representations,” in *Visuospatial Thinking*, ed. P. Shah and A. Miyake, pp.1-34, Cambridge University Press, 2005.
- [21] 中屋佳奈子, 宮澤洋一, 前田義信, 宮川道夫, “半眼が注視点のゆらぎや瞳孔径に与える影響,” 生体医工学シンポジウム講演予稿集, no.6-1, pp.161-162, 2006.

(平成 18 年 6 月 23 日受付, 9 月 29 日再受付)



前田 義信 (正員)

1993 阪大・基礎工・生物卒。1995 同大学院博士前期課程了。1998 同大学院博士後期課程了。博士(工学)。この間, 1995~1998 日本学術振興会特別研究員 DC1。1998 新潟大・工・福祉人間工学科助手。2001 米国 UCSB 研究留学。2005 同大自然科学系助教授。2006 第 5 回インテリジェント・コスモス奨励賞受賞。福祉情報・生体情報システムに関する研究に従事。日本生体医工学会, 日本生活支援工学会, 地理情報システム学会各会員。



宮川 道夫 (正員)

1965~1968 日立製作所。1977 北大大学院(博士)了。同年工業技術院電子技術総合研究所入所。電子計算機部, 光技術部主任研究官を経て, 1991 新潟大・工・教授, 大学院自然科学研究科, 医歯学総合研究科併任。1995~1996 ウルム大学バイオメディカル中央研究所客員研究員。2003 新潟大・超域研究機構教授併任。マイクロ波 CT など電磁生体工学, 及びヒューマンインタフェースの研究に従事。IEEE, 電気学会, 日本生体医工学会, 日本生活支援工学会, 情報処理学会, 計測自動制御学会等各会員(理事, 評議員, 研究会長, 編集委員等)。工博。



宮澤 洋一 (学生員)

2006 新潟大・工・福祉人間工学卒。現在, 同大学院博士前期課程に在学中。注視能力フィードバックによる弱視者への画像情報伝達手法の研究に従事。



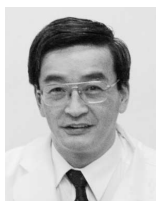
堀 潤一 (正員)

1986 新潟大・工卒．1988 同大大学院工学研究科修士課程了．同年同大助手．現在，同大・工・福祉人間工学科助教授．博士（工学）．1999～2000 イリノイ大学シカゴ校客員研究員．高精度生体計測，生体信号・医療画像の復元，脳機能解析と逆問題，コミュニケーション支援の研究に従事．IEEE Senior Member，日本生体医工学会，日本生活支援工学会各会員．



岡本 明 (正員)

1967 慶大・工・電気卒（株）リコーを経て，現在，筑波技術大学教授．工博．福祉工学研究に従事．ヒューマンインタフェース学会副会長，本会福祉情報工学研究会委員長などを歴任．著書に『エモーショナル・デザイン』（新曜社，共訳），『ユニバーサルデザイン』（日本工業出版，共著）他．最近の研究テーマは盲ろうの人の日常生活の支援．



安藤 伸朗

1977 新潟大・医卒．同年，新潟大・眼科学教室入局．1979 浜松聖隷病院勤務．1987 新潟大・医・講師．この間，1991 米国 Duke 大学留学．1996 済生会新潟第二病院眼科部長．2004 済生会新潟第二病院診療部長．著書に『ロービジョンケアマニュアル』（南江堂，共著）他．日本糖尿病眼学会，日本眼循環学会，日本ロービジョン学会，新潟県眼科医会各理事．「日本の眼科」編集委員．新潟大学医学部医学科臨床助教授．