

## 手元拡大型画面操作デバイス OPR-LENSの視覚支援効果の実験的評価

### Evaluation of a Viewability Performance in the Pointing Device 'OPR-LENS' having partially enlarged GUI display in hand.

山口 巧<sup>†</sup>§      森岡 憲弘<sup>†</sup>      芝 治也<sup>†</sup>      島村 和典<sup>‡</sup>§  
Takumi Yamaguchi      Norihiro Morioka      Haruya Shiba      Kazunori Shimamura

#### 1. まえがき

我々は、注視域をユーザの手元に持ってくることでユーザ支援し、WIMP インタフェースを生かしながら実物体指向の対話方式で提供する、球面状表示の手元拡大型画面操作デバイス (OPR-LENS:Operation-Lens) システムを構築し [1, 2], ユーザ操作の支援手法を検討している。一般にポインティングデバイスとしての性能評価は易しいが、視覚支援の定量的な評価は難しい。視覚支援をしたことでポインティングの確実性は上がるが、手元の拡大表示を良く見ることで操作性が向上したのか、また、その行為がより良いことなのかどうかを定量的に評価することが難しいからである。我々は、「注視域を取り出してデバイス上へ表示させる」ことに関する有効性を論じる必要がある。本稿では、OPR-LENS システムのポインティングデバイスとしての操作性を勘案しながら、視覚支援の効果について実験的な評価を行ったので報告する。

#### 2. 関連研究との比較

OPR-LENS システムに類似する関連研究として球面状の表示インタフェース、手元拡大型画面インタフェースなどについて議論する。

球面状の表示インタフェースとして、Magic-scape(HITACHI), TangibleEarth[3] が挙げられる。TangibleEarthは直径1mの触れるインタフェースを備えたインタラクティブ地球儀である。球体表面に触れたり撫でたりすることで地球規模の気象現象や生態、社会的な情報などのマルチメディアコンテンツが提供される。TangibleEarthはそれ自身が情報システムであり、人体サイズに程よく適合した大きさを有する。地球というスケール感の必要な情報発信対象物に良く似合っていてOPR-LENSシステムの発想に似ており、多機能な操作機能に優れている。しかしPCなどもう少し小さな情報機器の操作インタフェースとしては応用し難い。OPR-LENSシステムは操作可能な画面注視部を別画面にし拡大鏡的インタフェースにしている点で異なる。

次に、手元拡大型画面インタフェースとして、テレビ石インタフェース [4] が挙げられる。音楽プレーヤーの操作インタフェースであるが、感圧センサと光ファイバを用いて人工的に作ったFiberStoneを組み合わせた半球状の表示部を有し、FiberStoneを介して球表面に浮き上がった映像をみながらFiberStoneを撫でたり、押ししたりすることで音楽プレーヤーの操作を行うことがで

きる。操作面に表示を一致させることは実体感を向上させユーザの操作願望を発起させる。このシステムは、操作感を伴いつつ情報機器の操作メニューという仮想的な操作対象を触覚型のように扱えるという点で大きな効果が見込まれる。テレビ石の特性上光は上下面と垂直な方向にのみ伝播することから、球表面に浮かび上がっている画像を眺め回す用途やメニューボタンを押すなど手でGUIを選択させる用途は効果が高いと思われる。しかし、操作デバイスを斜めに見る場合、輝度が減少することや天頂部より向こう側の面が見難くなるなど、「ユーザが見にくいと感じた場合に手元で細部を確認する」という我々の目的である「チラチラと見る」注視域支援とその拡大表示にはユーザ視点の面から制約がある。また、我々のシステムも同じ課題を持っているが、注視域の表示部とデバイス操作部が非常に接近しているため、デバイスを把持することによって表示部が手で隠れてしまう。視線移動をより少なくしながら操作と視覚支援の双方を1つのデバイスで同時に実現するためには避けられない課題である。テレビ石インタフェースの場合はこれらが完全に一致してしまうため、操作をしている部分は視認できない。操作対象となるGUIシステムのレイアウトやメニューを修正できる場合は手で隠れない部分に注視域を描画するなどの工夫で対応できるが、従来のGUIシステムに備わっているレイアウトや機能を変えずに操作させる場合は、操作が難しくなる場面がある。OPR-LENSシステムはユーザの視野角度に制約を加えずに、もともとの平面状の注視域をそのままに拡大している。そのため、強調させたい部分のユーザの視認支援を狙った非線形拡大を併用しているが、視覚支援目的であれば3次元空間に描画しなくても良いと考えている。また、OPR-LENSシステムは注視域の表示部をユーザの手の中にありながら手の面にはない、いわゆる両手をかざしたその間の空間に位置させることで、手の把持による表示部の遮蔽を緩和させている。

最後に、視覚支援機能はないが操作部が球状で傾けて操作するインタフェースとして、SpaceBall(3Dconnexion)がある。ボール状の操作部がデバイス本体から上部にやや突き出ているのでジョイスティックの先端がボールになっているような形状であり、大きな移動動作をさせるときはボールを握り、細かな操作では指先でボールを摘むといったようにユーザの用途や好みに合わせて把持方法を変えられる柔軟性を持つ。OPR-LENSシステムは指先の動きに依らない手のひら全てがデバイスに接触するような大きさで「ゆったりと操作する」ことによって操作の確実性の向上を目指しているのでコンセプトが異なる。

<sup>†</sup>高知工業高等専門学校, KNCT

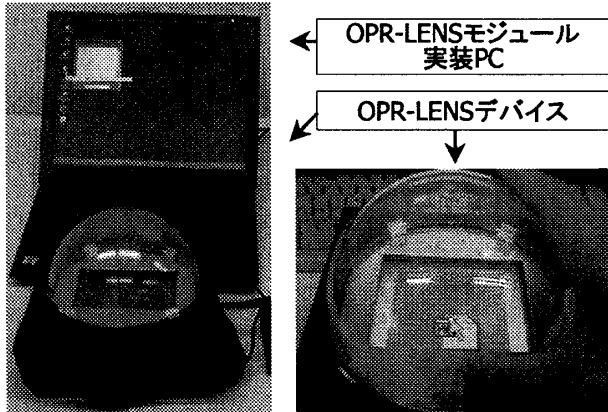
<sup>‡</sup>高知工科大学, KUT

<sup>§</sup>情報通信研究機構高知 JGN2 リサーチセンター, NICT

### 3. OPR-LENS システム

OPR-LENS システムは、半球形をした把持具型の入力インタフェースとその支援システムで構成される。

#### 3.1 OPR-LENS デバイスのプロトタイプ



(a) システム外観

(b) 注視域表示

図 1: PC 操作を想定した OPR-LENS システム

OPR-LENS システムは、PC 側に OPR-LENS モジュールを実装し、操作デバイスを OPR-LENS デバイスとするものである。OPR-LENS モジュールは PC(P3-1GHz,256MB) 上に実装し、OPR-LENS デバイスは、PDA(Sony VAIO-U50) を改造して注視域表示部に利用しながら作製した。試作した OPR-LENS システムの全体像を図 1(a) に示す。OPR-LENS デバイスは、PDA の液晶パネルの上に透明半球をドーム状に重ねた構造である。半球の直径は日本人の子供の頭の大きさとなる 15cm にした。注視域の拡大画像は、液晶パネルの中央部に表示した。手の動作検出機構は、PDA の下に構築した。半球に手のひらを添えると半球自体が傾く方法を採用しており、左右方向の操作、上下方向の操作、クリック操作、回転操作に対応し、1 つボタンマウスの機能を網羅している。OPR-LENS モジュールと OPR-LENS デバイスの接続インタフェースは IEEE802.11b の無線 LAN を用いた。

#### 3.2 注視域拡大表示のプロトタイプ

OPR-LENS デバイスに描画される表示領域サイズは、 $480 \times 480$  ピクセルに設定した。表示色数は True Color(24bit) に設定した。実装したソフトウェアの OPR-LENS デバイス画像表示部を図 1(b) に示す。OPR-LENS デバイスのカーソルを移動させると OPR-LENS モジュール PC のカーソルが連動して移動する。フォーカス領域の移動に追従して OPR-LENS デバイス側に表示された表示画像も変化する。起動時の拡大倍率は面積比 9 倍に設定した。拡大倍率の変更範囲は 1 倍から 100 倍である。なお、注視域をより強調する補助支援機能として非線形拡大処理を施しており、その非線形拡大パターンはパターン 1 からパターン 4 の 4 つである。パターン 1 は注視域中心を上へ引っ張りあげて上から眺めるようなモデル、パターン 2 は虫眼鏡モデル [5]、パターン 3 はガラ

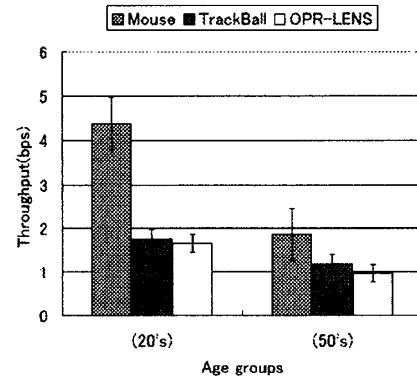


図 2: 年代別、デバイス別スループットの比較

ス球を透して上から眺めるようなモデル、パターン 4 は球体の表面にテクスチャマッピングしたモデルである。

#### 3.3 ポインティング性能

OPR-LENS のポインティング性能の評価は既に実施した [2]。PC 上のデスクトップを操作させ、開始点から目標オブジェクトを指示するまでの操作時間と誤り率を測定し、Fitts の法則を 2 次元空間の作業に拡張した MacKenzie の推定式 [6] を用いて評価した。本稿では、既に測定された操作時間と誤り率を用いてデバイスの性能差を検討するための評価基準測定として、スループット [7] を確認する。比較したデバイスは、マウス (Microsoft Optical Mouse)、トラックボール (Kenginton Expert Mouse)、OPR-LENS の 3 つである。操作時間と誤り率の測定には評価ソフトウェアを構築し使用した。被験者は、PC 操作に慣れている 20 代電気系学生 10 人、日頃 PC を使っていない 50 代主婦や会社員 5 人である。

年代別、デバイス別のスループットについて、図 2 に示す。各条件のスループットは、20 代の場合はマウス: 4.37bps、トラックボール: 1.76bps、OPR-LENS: 1.66bps であった。50 代の場合はマウス: 1.86bps、トラックボール: 1.18bps、OPR-LENS: 0.96bps となった。20 代マウスのスループット以外は年代別、デバイス別の差異は小さい。50 代ではマウスのスループットが 20 代の半分以下に激減するものの、特に OPR-LENS とトラックボールが同じ傾向を示すことから OPR-LENS は年代や困難度 ID に依らずトラックボールと同等の性能を有することが確認された。

### 4. ユーザ評価

前節で示したポインティング性能評価実験のあとにカテゴリ評定尺度による主観評価を実施した。設問項目は、図 3 に示す [設問 1] から [設問 9] である。それぞれの質問に対して -3 (非常に思わない) から +3 (非常に思う) の 7 段階で回答させた。拡大倍率については良いと思う倍率を答えさせた。被験者はポインティング評価実験の被験者 15 名とアンケートのみの被験者を合わせた、20 代 13 人、50 代 6 人、60 代 9 人の計 28 人である。事前調査と同じく Web ブラウザを操作してもらった。年代別の評価結果を図 3 に示す。各年齢ごとに図中左より順

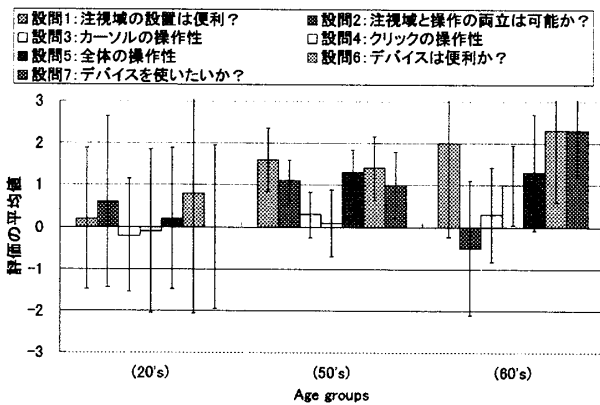


図 3: 注視域取り出しとデバイス操作の調査結果

番に設問1から設問7までの評価の平均値を表わしている。20代の被験者に比べて50代、60代では評価が上がっており、年齢が高いユーザに好意的に受け止められていると思われる。しかし悪いという評価ではないものの、50代、60代ともにカーソルの操作性で低い値となった。特に50代ではクリックの操作性も低い値となった。60代は評価平均値1.0とまずまずの評価を得ている。50代の大多数はポインティングデバイス評価の被験者も兼ねていたためデバイスの操作に慣れてきたと考えられ、OPR-LENSのプロトタイプ設計時に想定した「しっかりとした押し込み感」より、「操作の軽快さ」を求めているのではないと思われる。一方、20代は大多数がポインティングデバイス評価の被験者も兼ねていたが評価が低く標準偏差も大きい。被験者によってOPR-LENSデバイスへの感じ方や捉え方に大きな差異があることが分かる。また、カーソルやクリックの操作性で評価が低いことから、もっと速い操作速度を求めていると思われる。また、事前調査[1]と同じくそれ程必要ないと感じることが分かった。これらのことから、OPR-LENSデバイスの更なる改善と、ゆったりと操作してもらうためにOS上のカーソル移動の加速速度を遅くしていたが、ユーザ層に応じた速度の適応制御が必要と思われる。高齢者の場合はデバイス进行操作する時点で手が震えたりすることも考えられるため、手の震えなどによる意図しない操作が発生し難くなるような不感制御も必要と考えられる。また、注視域画面と操作の両立については60代の評価平均値が-0.5と低くなっている。60代の被験者はOPR-LENSデバイスの操作が初めてであることから、操作に意識が集中するため、注視域画面の視認が困難になっているものと考えられる。これに対して50代の大多数はポインティングデバイス評価の被験者も兼ねていたため、デバイスの操作に慣れていたことが考えられる。つまり、60代も操作に慣れてくれば50代のように評価が上昇する可能性があると思われる。

拡大倍率は各年齢とも面積比で4倍から9倍の範囲が好まれ予備実験とほぼ同じ結果となった。

主観評価によるアンケートのあとインタビューを実施した。その結果、「どのようなどころまで応用できるかが

課題」、「少し見にくいものもあったが、全体的に細かいものも見ることができた」、「目の悪い人にはとても良いと思う」、「歪んだ画像は見づらいのでは?」などの自由意見を得た。否定的な意見よりも、より良い操作や利用用途に関する積極的な意見が多かった。このインタビュー時にデバイスのどの部分に手を置くと良いかを尋ねたところ、20代と50代が頂点付近、60代が手前斜めという意見が一番多かった。これは手の操作と注視域の画面が重なることを意味しているが、被験者操作時の観察では右斜め手前から右斜め横で操作する被験者が殆どであった。手の操作と注視域画面の視認が両立するように被験者自身が補正しながら使っていることがうかがえる。

## 5. 視覚支援の評価

視覚支援をしたことでポインティングの確実性は上がるが、手元の拡大表示を良く見るからといって、操作性が向上したと言えるかどうかの判断は難しい。前節のユーザ評価にも示したように、操作するユーザの志向は様々であり、GUI上の操作対象もデスクトップ上を大きく移動させるような動作から作図のような細かな動作まで多様にある。また、ユーザの視力などの身体特性や心理的要因、GUI上の操作対象の視認性などにも左右される。それゆえ、操作性が向上したのかどうかを定量的に評価することは難しい。そこで次のような実験を行い検討した。

### 5.1 実験方法

視覚支援によってユーザ操作に効果があるのかを評価するため、

**条件1** OPR-LENS デバイスを使用しない場合、

**条件2** OPR-LENS デバイスの注視域取り出し表示機能を使用した場合、

**条件3** OPR-LENS デバイスの非線形拡大機能を併用した場合、

における操作時間の測定を行った。カーソル移動やクリック操作はOPR-LENS デバイスを使用せず、全てマウスで行った。OPR-LENS デバイスは視覚支援機能のみを使用し、ディスプレイとユーザの間に一直線になるように配置した。被験者はパソコンの通常利用形態と同じく、ディスプレイを置いた机の前で椅子に腰掛け、ディスプレイと被験者の距離は約60cmで実験した。

測定用プログラムはポインティング評価と同じものを用いた。実験に使用したディスプレイは17インチで解像度はXGA(1024×768ピクセル)とし、被験者がクリックする目標オブジェクトのサイズは縦横50×70ピクセルに設定した。被験者は前述したポインティング評価実験の被験者15名とアンケートのみの被験者の中から、20代10人、50代5人の計15人である。20代の被験者は、全員PC操作に慣れている電気系学生である。50代の被験者はPC操作の経験はあるが日頃ほとんど操作していない。ただし、このうち4名は前述したポインティング評価実験にて実際にOPR-LENSを操作したことのある被験者である。なお、被験者の利き手は全員右利きであった。測定では、拡大機能の倍率は5倍で統一し、非線形拡大効果は事前調査[1]のカテゴリ評定評価

表1: 視覚支援による操作時間の比較

実験条件	20代の操作時間		50代の操作時間	
	平均	標準偏差 (SD)	平均	SD
条件1	1.19	0.54	1.82	1.12
条件2	1.07	0.25	1.31	0.35
条件3	1.05	0.22	1.32	0.35

で最も評価の高かったパターン2とした。「ダブルクリックの速度」、「カーソルの動作速度」は調節バーを「遅く」と「速く」の中間に設定し、「カーソルの加速」は「遅く」に設定した。データ取得は、測定プログラムの実行一回につき13個の操作時間を得るので、この測定を4回繰り返した。

## 5.2 結果と議論

20代と50代に大別し、操作時間平均と標準偏差を表1に示す。OPR-LENS デバイスを使用しない場合の50代の標準偏差が大きくなっている。50代の被験者は日頃PC操作を行っておらず、マウス操作の個人差が大きいと考えられる。視覚支援による年代別の操作時間平均値の比較を図4に示す。OPR-LENS デバイスを使用しない場合とOPR-LENS デバイスの注視域取り出し表示機能を使用した場合では、注視域取り出し表示機能を使用した場合の方が操作時間が短くなっている。特に50代の方で操作時間の短縮が見られた。OPR-LENS の設計思想「ゆったりとした操作性」を目指すことから、操作時間の短縮は想定されていない。前述のとおり、50代の被験者では[条件1]の個人差が大きいことから、視覚支援によって操作時間の短縮が為されると判断できない。むしろ注視域を取り出した手元の表示画面を見た場合でも操作時間が大きく変化しないことに着目したい。OPR-LENS デバイスは、使用上の問題として、もとのGUI画面と手元にあるデバイス上の表示画面を見るとき視線の移動が発生する。視線の移動はユーザの疲労や操作性の劣化を生じさせる。しかし、本実験のようにディスプレイと被験者の間にOPR-LENS デバイスを配置する使用形態では、OPR-LENS デバイスの表示画面を見ることによって生じる操作時間の低下は小さいことが分かった。また、注視域取り出し表示機能を使用する場合と非線形拡大効果を使用する場合ではその差はほとんど見られなかった。前節のユーザ評価では高齢者の被験者ほど高い評価を得たこと、操作時間の低下が少ないこと、などから高齢者やPC操作に慣れていないユーザに効果があると考えられる。

## 6. まとめ

注視域をユーザの手元に持つてくることで知覚と確定操作を相互に1つのデバイスでユーザ支援し、WIMPインタフェースを生かしながら実物体指向の対話方式で提供する球面状表示の手元拡大型画面操作デバイスOPR-LENSの評価を行った。

スループットで評価すると、20代のマウスのスループット以外は年代別、デバイス別の差異は小さくなった。50代ではマウスのスループットが20代の半分以下に減少するものの、特にOPR-LENSとトラックボールが同

■ 条件1: OPR-LENSデバイスを使用しない場合  
 ■ 条件2: OPR-LENSデバイスの注視域拡大機能を使用した場合  
 □ 条件3: OPR-LENSデバイスの非線形拡大機能を併用した場合

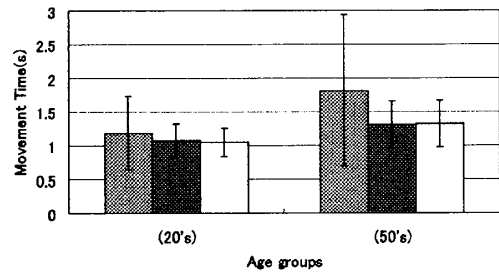


図4: 視覚支援による操作時間の年代別比較

じ傾向を示すことからOPR-LENSは年代や困難度IDに依らずトラックボールと同等の性能を有した。また、ユーザ評価では高齢者の被験者ほど高い評価を得た。次に、視覚支援によってユーザ操作に効果があるのかを評価するため、「OPR-LENS デバイスを使用しない場合」、「OPR-LENS デバイスの注視域取り出し表示機能を使用した場合」、「OPR-LENS デバイスの非線形拡大効果を使用した場合」における操作時間の測定を行った。OPR-LENS デバイスを使用しない場合とOPR-LENS デバイスの注視域取り出し表示機能を使用した場合で、注視域取り出し表示機能を使用した場合の操作時間の低下は殆ど見られなかった。注視域取り出し表示機能を使用する場合と非線形拡大効果を使用する場合ではその差はほとんど見られなかった。この結果から、ユーザ評価では高齢者の被験者ほど高い評価を得たこと、手元の表示画面を見ても操作時間の低下が少ないこと、などから高齢者やPC操作に慣れていないユーザに効果があると考えられた。今後は、ユーザの注視域の視線と手操作、操作速度・精度の相関を更に検証する。本研究は、科学研究費補助金基盤研究C(領域番号:1004B)(研究課題番号17500082)のもとで行われている。

## 参考文献

- [1] 山口巧, 島村和典: 注視域を強調した木魚型形状ポインティングデバイスの提案, *Human Interface Symposium 2003*, Vol. No.2143, pp. 247-250 (2003).
- [2] 山口巧, 島村和典: 把持具型ポインティングデバイス OPR-LENS の基本設計と評価, ヒューマンインタフェース学会, Vol. 7, No. 2, pp. 99-112 (2005).
- [3] 竹村真一ほか: Tangible Earth (触れる地球) (2001). <http://www.tangible-earth.com/>.
- [4] 大塚理恵子, 星野剛史, 丸山幸伸, 堀井洋一: 感圧センサを用いたテレビ石インタフェース, *WISS2003* (2003). デモセッションプログラム 1-15.
- [5] Keahey, T. A.: The Generalized Detail-In-Context Problem, *Proceedings of the IEEE Symposium on Information Visualization*, IEEE Visualization, pp. 44-51 (1998).
- [6] MacKenzie, I.: Motor behaviour models for human-computer interaction, *Toward a multidisciplinary science of human-computer interaction* (Carroll, J. M.(ed.)), Morgan Kaufmann, San Francisco, pp. 27-54 (2003).
- [7] ISO: *Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) - Part 9 - Requirements for non-keyboard input devices*, ISO9241-9, International Organization for Standardization (2000).