



投影映像の視認性を考慮した装着型プロジェクトの 装着位置評価

太田, 脩平
寺田, 努
塚本, 昌彦

(Citation)

情報処理学会論文誌, 53(7):1924-1937

(Issue Date)

2012-07-15

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90002094>



投影映像の視認性を考慮した装着型プロジェクタの 装着位置評価

太田 脩平¹ 寺田 努^{1,2,a)} 塚本 昌彦¹

受付日 2011年10月28日, 採録日 2012年4月2日

概要: 近年, 小型プロジェクタを身体に装着し, コミュニケーションや作業支援に役立つコンテンツを地面や壁などに提示する試みが行われている. しかし, 歩行などの動作によって投影映像は不安定になり, またプロジェクタ装着位置やユーザ状況, コンテンツ内容によって求められる映像の安定度や映像の投影サイズが異なるため, これらを考慮した映像投影が求められる. そこで本研究では, 提示コンテンツやユーザ状況ごとに最適なプロジェクタの装着位置を調査する. 評価実験の結果, ナビゲーションコンテンツを静止時に利用する場合は腹の上部内側が評価が高く, 歩行時であれば胸の下部が良いなど, 提示コンテンツやユーザ状況ごとに重要な要素が異なり, プロジェクタの適切な装着位置が異なることが分かった. これらの評価結果を用いることで, 装着型プロジェクタを用いたアプリケーションにおいて, プロジェクタ装着位置を考慮しながら設計を行えるようになる.

キーワード: 装着型プロジェクタ, ウェアラブルコンピューティング

Evaluating the Position of a Wearable Projector for the Viewability of Projected Images

SHUHEI OTA¹ TSUTOMU TERADA^{1,2,a)} MASAHICO TSUKAMOTO¹

Received: October 28, 2011, Accepted: April 2, 2012

Abstract: There are many projects to support user tasks by presenting images on the floor or wall using a mobile projector. However, unstable images make communication and task support difficult. The viewability of a projected image depends on several factors; the position of the wearable projector, user contexts, and the type of presentation content. We also investigated the appropriate position for a wearable mobile projector and an important factor in changing user contexts and type of presenting contents. These results showed that the appropriate position of wearable projector varied according to the presenting contents and user contexts. For example, the middle of the stomach is appropriate for wearing a projector when using navigation services. Using the results, we are able to design applications using wearable projectors considering the wearing positions.

Keywords: wearable projector, wearable computing

1. はじめに

近年, どこにでも持ち運べてどこへでも情報を提示でき

る小型プロジェクタが注目されている. また, 小型プロジェクタを身体に装着し, コミュニケーションや作業支援に役立つコンテンツを地面や壁などに提示する試みが行われている. たとえば, 兵士の軍事活動において, 屋外での作戦会議や現地の民間人とのコミュニケーションなどに用いる [1] といった事例が報告されている. しかし, 小型プロジェクタを装着して映像を投影する場合, 歩行などの動作によって投影された映像が不安定になり, 映像の視認や映

¹ 神戸大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Kobe University, Kobe,
Hyogo 657-8501, Japan

² 科学技術振興機構さきがけ
PRESTO, Japan Science and Technology Agency, Chiyoda,
Tokyo 102-0076, Japan

a) tsutomu@eedept.kobe-u.ac.jp

像とのインタラクションが困難となる。また、映像の安定度や投影サイズ、投影位置、手や足などの障害物による映像の遮断など映像の質が装着位置やユーザの状況によって異なると同時に、提示するコンテンツによってユーザが求める映像の質も異なるため、つねに高い視認性を維持するにはこれらを考慮した映像投影が求められる。たとえば、歩行中にナビゲーションを利用する場合は安定性を優先した投影が望ましく、立ち止まって映画を見る場合は、投影映像が大きくなるような投影が望ましい。

そこで本研究では、複数の提示コンテンツやユーザ状況において最適な小型プロジェクタの装着位置を調査する。調査にあたって、ナビゲーションや写真といった提示コンテンツ、歩行や静止といったユーザ状況の組合せを利用シーンとして定義し、利用シーンごとに小型プロジェクタの適切な装着位置を被験者の主観評価により評価した。実験結果より、それぞれの利用シーンで装着位置ごとに差異が見られ、最適な装着位置や重要となる要素が異なることを確認した。

以下、2章では関連研究について述べ、3章ではシステムの設計について説明する。4章で評価実験について述べる。最後に5章で本論文のまとめを行う。

2. 関連研究

プロジェクタの小型化・省電力化にともない、小型プロジェクタを用いた研究がいくつか提案されている。たとえば、カメラと傾きセンサを搭載することによって、プロジェクタ自身の位置を認識し、キーストーン（投影画像の上部または下部が目立って広くなり台形になる現象）や方向の補正、明るさ、ズーム、フォーカスの自動調整、3次元のテキストの取り込みが可能な iLamps [2] や、複数のユーザがロボットに向けて道を投影し、それぞれの投影した道を接続していくことでロボットをゴールまで誘導するインタラクションゲームである CoGAME [3] などが提案されている。永松ら [4] は小型プロジェクタを用いた博物館などのナビゲーションシステムを提案している。また、Cao らのペンと組み合わせた手法 [5] や、MotionBeam [6]、Twinkle [7] のように実空間や物体とのインタラクションを行うインタフェースも多数開発されている。さらに、プロジェクタ内蔵携帯電話の登場にともない、プロジェクタと携帯電話を組み合わせた研究も行われている。たとえば、通話中に投影映像の観覧や操作が可能な Interactive Phone Call [8] や、ユーザの嗜好に合わせた製品や本の検索を行う ShelfTorchlight [9] などがあげられる。これらのように、実空間への情報提示、他者との情報共有や、投影面の自由な変更といった小型プロジェクタの特性を活かした研究が行われているが、本研究のようにプロジェクタの投影映像安定化は考慮されていない。

小型プロジェクタを体に装着する取り組みとして、装着

した小型カメラによりユーザの手の動きを認識し、プロジェクタの投影映像を操作する WUW-Wear [10] や BOWL Procam [11]、PyGmI [12] がある。また、Hickey らは高齢者を助けるユーザインタフェースとしても装着型プロジェクタが有効であると述べている [13]。Helicopter Boyz In Yomiuri Land [14] では、全身に複数の小型プロジェクタを装着した子供の動きに合わせて背面に投影している映像が変化するダンスパフォーマンスを行っている。これらのように、実空間への情報提示、他者との情報共有といった小型プロジェクタの特性を活かした研究やアプリケーションが提案されているが、本研究のようにプロジェクタの投影映像の安定化や映像の視認性については考慮していない。

Ko らは小型プロジェクタを装着し公共の場で使用する際の問題 [15] について、プライバシーや映像の重なりを取り上げている。小型プロジェクタの投影面の安定化を目指した事例として、Konishi らは胸部に装着した小型プロジェクタの映像を手のひらに投影することを想定し、カメラで手のひらを追跡すると同時に、ジャイロセンサや加速度センサで揺れの変位を推定して安定した映像投影を実現している [16]。Tajimi らによる研究 [17] では、腰部に装着した小型プロジェクタの映像を床に投影することを想定し、ジャイロセンサで腰の揺れの変位を推定することで、投影位置を補正している。これらは本研究と同じ問題意識を持っているが、投影映像の揺れの改善のみに着目している。一方、本研究では投影面の揺れだけでなく映像の投影サイズ・映像の投影位置・装着感といった様々な要素に着目している点が異なる。

本研究のようにウェアラブルコンピューティングにおける装着位置や装着性に焦点を当てた研究も行われている。Gemperle らはデバイスの装着性に関するガイドライン [18] を示しており、Harrison らはユーザの反射速度に重点を置いた装着型ディスプレイの装着位置デザイン [19] を提案している。これらの研究と異なり本研究では装着型プロジェクタに焦点を当てており、また、装着位置や装着性、ユーザ状況だけでなく、映像の視認性や提示コンテンツにも着目している点が異なる。

3. システム設計

本研究では、図 1 に示すようにユーザが小型のプロジェクタを装着し、地面や壁に投影されたナビゲーション・動画・メールなど日常生活に役立つ情報を静止・歩行・着座といった状況で見る環境を想定する。そのような環境において、様々な提示コンテンツやユーザ状況において、投影されたプロジェクタの映像を快適に閲覧できる装着位置の評価を行う。

評価実験に用いるシステムの構成を図 2 に示す。システムは持ち運び可能な小型 PC、小型プロジェクタ、小型プロジェクタの投影位置を自由に変更できる自由雲台、小



図 1 想定環境

Fig. 1 Environmental assumptions.

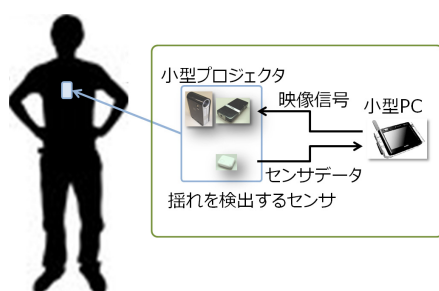


図 2 システム構成

Fig. 2 System structure.

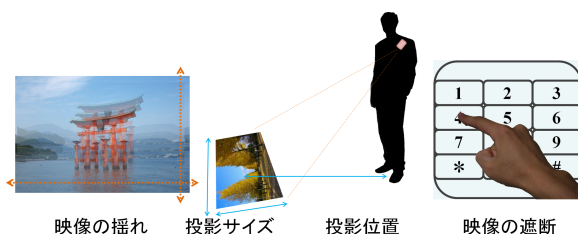


図 3 映像の質に影響する要素

Fig. 3 Factors relating to the quality of a projected image.

型プロジェクタの揺れを検出するセンサから構成される。ユーザは小型プロジェクタを体の様々な位置に装着し、映像の安定度、装着性、映像の投影位置や投影サイズなどその利用シーンに適した小型プロジェクタの装着位置を調査する。

3.1 装着位置の検討

利用シーンごとの小型プロジェクタの最適な装着位置を調査するために、まず、映像の質に影響する要素を検討し、次いで、提示コンテンツやユーザ状況を分類する。

映像の質に影響する要素

本研究で考慮する映像の質に影響すると考えられる要素を図 3 に示す。

- 映像の揺れ：歩行時など小型プロジェクタが動くと、それにともない映像にも揺れが生じ、映像の視認が困難となる。
- 映像の投影サイズ：投影サイズが小さいと文字などの視認が困難となるが、大きすぎても全体を把握しにく

表 1 コンテンツの分類

Table 1 Classification of content.

	テキスト	画像	テキストと画像の混合
静止画	字幕	記事	マンガ
動画	ティッカー	映画	ナビゲーション

いなどの問題がある。

- 映像の投影位置：歩行時においてはある程度遠い場所、立ち止まって静止しているときには近い場所が投影に適している。
- 映像の遮断：ユーザの手足により映像が遮られると、正確に映像を視認できない。

提示コンテンツごとの特徴

表 1 に提示コンテンツの分類およびその代表例を示す。

- テキスト：テキストを読むには映像の高い安定性が求められ、ある程度の映像の大きさも必要である。手や足などにより映像の一部が欠けると文章が成立しないため、映像の遮断に関する要求も高い。
- 画像：写真や映画などのを表示する場合、コンテンツ全体の把握が優先されるため、映像の投影面積が重視されると思われる。また、映像の揺れに関してもテキストと比べて許容されると思われる。
- 画像とテキストの混合：ナビゲーションなどテキストと画像を同時に表示させるコンテンツは、すべての要素がバランス良く求められる。

ユーザ状況ごとの特徴

ユーザの状況によっても、映像の質に対する要求が異なる。本研究では、ユーザの状況として、歩行・静止（立ち止まっている状態）・着座の 3 種類を想定する。

- 歩行：歩行時は映像の揺れや手や足による映像の遮断が生じやすい。
- 静止：静止時は映像の揺れ、手や足による映像の遮断はなく、画面の大きさや映像の投影場所が重要になる。
- 着座：映像の揺れや遮断の影響は受けにくい、立っているときに比べてプロジェクタから地面までの距離が短く、近くに投影すると足に映像が遮られる。

4. 評価実験

3 章で述べたように、提示コンテンツやユーザ状況ごとに様々な特徴があり、それぞれに最適な装着位置が存在すると考えられる。そこで、利用シーンごとに最適な装着位置を明らかにするため、今回は歩行と静止の状況において、ナビゲーションと写真のコンテンツの使用を想定した評価実験を行った。実験の様子を図 4 に示す。投影距離によらずプロジェクタの映像を十分視認可能にするため薄暗く、また歩行に支障のない広い室内で実験を行った。すべての映像は白い床に投影し、提示コンテンツによる差が出ないようにした。被験者が小型プロジェクタを装着した様子を

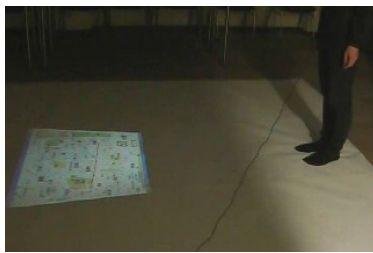


図 4 実験の様子

Fig. 4 A snapshot of experiment.



図 5 小型プロジェクタの装着図

Fig. 5 Snapshots of a subject wearing projector.

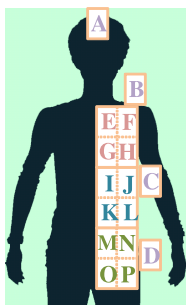


図 6 小型プロジェクタの装着位置

Fig. 6 Positions for wearing projector.

図 5 に示す．被験者は全面に強粘着マジックテープを貼り付けたブルゾンを着用し，マジックテープを貼り付けた小型プロジェクタを体の様々な位置に装着する．小型プロジェクタには Optoma 社のポケットプロジェクタ PK101（輝度：10 ルーメン，コントラスト：1,000 対 1，解像度：800×600，投影距離：0.15（6 型）～2.63 m（66 型），外形寸法：W51×D105×H117 mm，製品質量：0.120 kg）を使用し，小型プロジェクタの角度調節のためにロアス社の自由雲台 DCA-089GM を取り付けた．小型プロジェクタの揺れを検出するためにワイヤレステクノロジー社の加速度・角速度センサ WAA-006 をプロジェクタに取り付けた．PC としては SONY 社の VGN-SR94FS（CPU：Core Duo 2.80 GHz×2，メモリ：4 GB）を Windows7 上で使用し，PC からの出力映像を小型プロジェクタへの入力映像へ変換する際にはマイコンソフト社の XMOV-2 を使用した．

4.1 実験の手続き

被験者は 20 代の男性 9 名，女性 1 名の計 10 名であり，小型プロジェクタの装着位置候補は図 6 に示す 16 カ所（頭（A），肩（B），横腹（C），横腰（D），胸（E-H），腹



図 7 ナビゲーションのコンテンツ

Fig. 7 Example of navigation content.

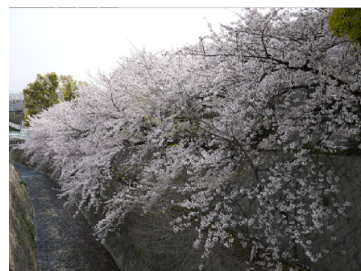


図 8 写真のコンテンツ

Fig. 8 Example of photo contents.

（I-L），腰（M-P））とした．これらの装着位置は関連研究や予備実験をもとに選択した．また，予備実験で左右による評価の違いが認められなかったため，被験者が選択した左右片方だけを調査した．なお，実験で被験者が選択した左右の割合は半々であり，これらは効き目や利き腕などに依存していなかった．

評価実験では歩行と静止の状況において，ナビゲーションと写真のスライドショーのコンテンツを使用した．具体的には，ナビゲーションのコンテンツは図 7 に示すように，地図・出発地点・目的地・出発地点から目的地までのルート・現在地・案内表記からなる．現在地は人が歩く速度で地図上を進み，それに合わせて案内表記の数字や文字も変化する．写真のスライドショーのコンテンツは図 8 に示すような風景の写真 170 枚から構成されており，5 秒ごとに写真が切り替わる．ナビゲーションのコンテンツではこれらの情報を視認できナビゲーションのコンテンツとして使用できるか，写真のコンテンツでは写真の内容を認識できるかを評価の基準とした．

被験者は各装着位置において，まず静止時に見やすい場所に見やすいサイズの映像が投影されるよう小型プロジェクタの角度および焦点を調節し，静止時の評価を行った．次に，歩行時に見やすい場所に見やすいサイズの映像が投影されるよう小型プロジェクタの角度および焦点を調節し，歩行時の評価を行った．装着位置の順番はランダムに選び，この評価実験をナビゲーションと写真のスライドショーそれぞれに行った．評価項目は表 2 に示すとおりであり，映像の揺れと遮断に関しては歩行時にのみ尋ねている．評価は 5 段階評価で行い，映像の投影位置の適切さと投影サイズの適切さに関してはそれぞれ適切を 3 点とし，

表 2 質問項目

Table 2 Questionnaire entries.

	投影位置	投影サイズ	台形歪み	装着感	映像の揺れ	映像の遮断	総合評価
1	近すぎる	小さすぎる	気になる	悪い	気になる	ある	悪い
3	適切	適切					
5	遠すぎる	大きすぎる	気にならない	良い	気にならない	ない	良い

表 3 投影位置の適切さ

Table 3 Results of appropriateness of projected location.

	ナビゲーション				写真			
	静止		歩行		静止		歩行	
	平均	分散	平均	分散	平均	分散	平均	分散
頭 A	3.7	0.46	3.3	0.23	3.3	0.23	3.2	0.18
肩 B	3.4	0.49	3.1	0.10	3.1	0.10	3.2	0.18
横腹 C	3.1	0.32	3	0.22	3	0.00	3	0.00
横腰 D	2.8	0.40	2.5	0.28	2.8	0.18	2.9	0.10
胸 E	3.2	0.18	3	0.00	3.2	0.18	3.2	0.18
胸 F	3.2	0.18	3	0.00	3.2	0.18	3.3	0.23
胸 G	3.1	0.10	3	0.00	3.1	0.10	3.1	0.10
胸 H	3.1	0.10	3	0.00	3.1	0.10	3.2	0.18
腹 I	3	0.00	2.9	0.10	3	0.00	3	0.00
腹 J	3	0.00	2.9	0.10	3	0.00	3	0.00
腹 K	2.9	0.10	2.8	0.18	3	0.00	3	0.00
腹 L	2.9	0.10	2.7	0.23	3	0.00	3	0.00
腰 M	2.7	0.23	2.4	0.27	2.8	0.18	2.7	0.23
腰 N	2.7	0.23	2.4	0.27	2.8	0.18	2.7	0.23
腰 O	2.5	0.28	2.3	0.46	2.6	0.27	2.4	0.49
腰 P	2.4	0.49	2.2	0.62	2.6	0.27	2.4	0.49

それ以外の項目は5点を高評価とした。評価実験は1名あたり4時間超と時間がかかるため、途中で評価点の見直しや再評価することを許し、すべての装着位置が相対的に評価されるようにした。また、被験者には自由コメントの記入を求め、評価点を付けた理由や根拠の説明も求めた。さらに、実験時のそれぞれの条件における投影サイズおよび投影位置（被験者の足元から映像の投影面の中心までの距離）、被験者の身体情報（身長、胸囲、胴囲、利き腕、利き足、利き目）、歩行時には加速度と角速度のセンサデータを記録した。

4.2 実験結果

4.2.1 映像の投影位置

映像の投影位置の適切さに関する実験結果を表3に、結果を図示したものを図9に示す。図9では、3点（白色）に近づくほど適切な位置に投影でき、点数が高くなる（赤色）ほど映像が遠すぎる、点数が低くなる（青色）ほど映像が近すぎることを示している。横腹と胸から腹（C、E-L）に装着したときは平均点がつねに3点前後であり、提示コンテンツやユーザ状況に関係なく最適な位置に投影できている。また、肩（B）は静止時にナビゲーションを見る場合は3.4点であり、約半分の被験者が遠かったと答えたが、

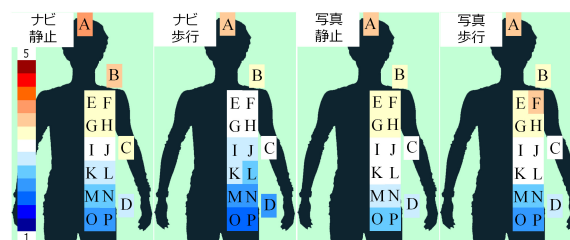


図 9 投影位置の適切さ

Fig. 9 Results of appropriateness of projected location.

それ以外の利用シーンでは3点に近く評価も高かった。

利用シーンごとに被験者が3点を付けた装着位置における投影位置と投影サイズ（画面の縦幅）の関係を図示した散布図を図10に示す。ナビゲーションのコンテンツにおける静止時には65～90 cm、歩行時には130～160 cmの範囲に、写真のスライドショーのコンテンツにおける静止時には135～170 cm、歩行時には185～205 cmの範囲に結果が集中しており、すべての被験者が利用シーンによって投影位置の距離が異なっている。歩行時はユーザの視線が静止時に比べて前を向くため、静止時より映像の投影位置が遠い方が好まれ、写真のコンテンツがナビゲーションのコンテンツよりも遠くに投影される方が好まれたのは投影サイズに関係しているためと考えられる。さらに、ナビゲー

ションは高い視認性を必要とし、映像を遠くへ投影しすぎると投影サイズが大きくなり映像の揺れの影響を大きく受けるためあまり遠くへ投影されなかった。

4.2.2 映像の投影サイズ

映像の投影サイズの適切さに関する実験結果を表 4 および図 11 に示す。すべての利用シーンにおいて、胸から腹 (E-L) にかけては最適なサイズを投影できた。また、写真のコンテンツはナビゲーションのコンテンツに比べてほとんどの装着位置で評価が高くなっており、ある程度は投影サイズの大小関係なく視認できるコンテンツといえる。被験者が最も見やすい投影サイズを測定したところ、ナビゲーションのコンテンツにおける静止時には 60～90 (W) × 40～60 (L) cm, 歩行時には 98～123 (W) × 65～85 (L) cm の範囲に、写真のスライドショーのコンテンツにおける静止時には 98～120 (W) × 65～80 (L) cm, 歩行時には 135～180 (W) × 90～120 (L) cm の範囲に集中してい

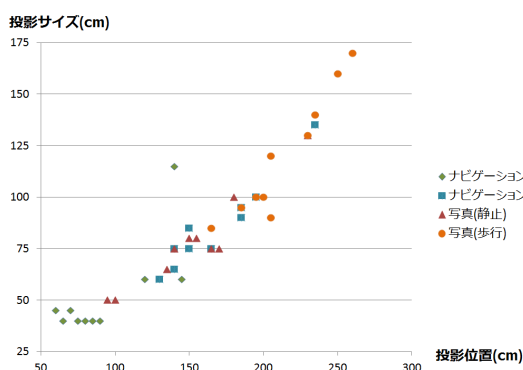


図 10 投影位置と投影サイズの散布図

Fig. 10 Scatter diagram of projected location and size.

た。これは、歩行時は映像の投影位置が遠くなるためそれに合わせ投影サイズも大きくすることが好まれたためである。また、ナビゲーションのコンテンツは全体を視認できる適度の大きさが好まれ、写真のコンテンツは臨場感がある映像を楽しむため大きな映像が好まれた。

4.2.3 台形歪み

映像の台形歪みに関する実験結果を表 5 および図 12 に示す。頭や胸の内側 (A, E, G) など体の上部内側の評価が高く、全体的に評価の低い歩行時のナビゲーションのコンテンツにおいても 4.3 点と評価が高かった。角度を付けなければ投影できない腰の下部 (O, P) や、横腹や横腰 (C, D) などの評価は低かったが、分散値から分かるようにあまり気にならない被験者もいた。静止時は歩行時に比べて映像の投影位置が近く、映像が台形に歪みにくいため、評価が 0.5 点ほど高かったが、ナビゲーションのコンテンツは写真のスライドショーのコンテンツに比べて映像の投影位置が近くなっているにもかかわらず評価が低くなっている。これは写真のスライドショーのコンテンツは映像がある程度歪んでいても視認できるが、ナビゲーションのコ

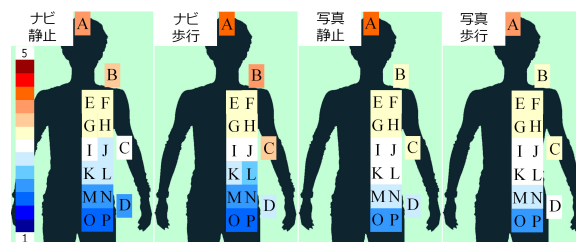


図 11 投影サイズの適切さ

Fig. 11 Results of appropriateness of projected size.

表 4 投影サイズの適切さ

Table 4 Results of appropriateness of projected size.

	ナビゲーション				写真			
	静止		歩行		静止		歩行	
	平均	分散値	平均	分散値	平均	分散値	平均	分散値
頭 A	3.6	0.49	3.7	0.68	3.7	0.46	3.5	0.50
肩 B	3.3	0.23	3.6	0.49	3.2	0.18	3.1	0.10
横腹 C	3	0.22	3.4	0.27	3.1	0.10	3.2	0.40
横腰 D	2.5	0.50	2.9	0.54	2.9	0.32	3	0.67
胸 E	3.2	0.18	3.2	0.18	3.1	0.10	3.2	0.18
胸 F	3.2	0.18	3.2	0.18	3.1	0.10	3.2	0.18
胸 G	3.1	0.10	3.1	0.10	3.1	0.10	3.2	0.18
胸 H	3.1	0.10	3.1	0.10	3.1	0.10	3.2	0.18
腹 I	3	0.00	3	0.00	3	0.00	3	0.00
腹 J	2.9	0.10	3	0.00	3	0.00	3	0.00
腹 K	2.8	0.18	2.8	0.18	3	0.00	3	0.00
腹 L	2.8	0.18	2.7	0.23	3	0.00	3	0.00
腰 M	2.5	0.50	2.5	0.28	2.8	0.18	2.8	0.18
腰 N	2.5	0.50	2.5	0.28	2.8	0.18	2.8	0.18
腰 O	2.3	0.68	2.2	0.62	2.4	0.49	2.5	0.28
腰 P	2.3	0.68	2.2	0.62	2.4	0.49	2.5	0.28

表 5 映像の台形歪み

Table 5 Results of feeling of keystone.

	ナビゲーション				写真			
	静止		歩行		静止		歩行	
	平均	分散値	平均	分散値	平均	分散値	平均	分散値
頭 A	4.8	0.40	4.7	0.23	4.8	0.40	4.7	0.90
肩 B	4.1	1.66	3.9	1.21	4.5	0.50	4.3	1.12
横腹 C	3.5	1.17	2.9	0.54	3.2	2.18	3.2	1.73
横腰 D	2.9	1.66	2.7	1.12	2.8	1.07	2.6	1.38
胸 E	4.6	0.49	4.3	0.68	4.7	0.46	4.5	0.94
胸 F	4.5	0.50	4.1	0.99	4.5	0.50	4.3	0.90
胸 G	4.7	0.23	4.3	0.46	4.7	0.46	4.5	0.50
胸 H	4.5	0.50	4.1	0.77	4.4	0.49	4.2	0.40
腹 I	4.6	0.49	4	1.11	4.5	0.50	4.2	0.40
腹 J	4.3	0.68	3.7	1.12	4.2	0.62	4	0.67
腹 K	4.1	1.21	3.7	1.12	4.3	0.46	4.1	0.77
腹 L	3.8	1.07	3.3	1.34	4	0.44	3.8	0.84
腰 M	3.6	1.82	3.1	1.43	3.9	0.77	3.5	0.72
腰 N	3.4	1.60	2.9	1.43	3.5	0.72	3.1	0.77
腰 O	3.3	2.46	2.7	1.79	3.3	1.12	2.8	1.29
腰 P	3.2	2.40	2.6	2.04	3.1	0.99	2.7	1.12

表 6 装着感

Table 6 Results of wearability.

	ナビゲーション				写真			
	静止		歩行		静止		歩行	
	平均	分散値	平均	分散値	平均	分散値	平均	分散値
頭 A	2.4	1.60	2.4	2.27	2.6	1.60	2.6	1.60
肩 B	3.5	1.17	3.5	1.83	3.6	1.60	3.7	1.57
横腹 C	2.3	0.68	2.2	0.40	2.5	1.17	2.5	0.72
横腰 D	2.3	0.90	2.3	0.90	2.3	0.90	2.2	0.62
胸 E	3.5	0.94	3.7	0.90	3.7	0.90	3.7	1.12
胸 F	3.3	0.68	3.7	0.90	3.7	0.68	3.7	0.46
胸 G	4.3	0.46	4	0.67	4.3	0.68	4	0.67
胸 H	3.7	0.23	3.9	0.77	3.9	0.54	4	0.67
腹 I	4.2	0.18	4.3	0.46	4.2	0.18	4	0.44
腹 J	3.6	0.49	3.8	0.84	3.8	0.40	3.6	0.71
腹 K	3.7	1.34	3.8	1.51	3.5	0.72	3.5	0.72
腹 L	3.3	0.46	3.2	1.07	3.5	0.28	3.5	0.72
腰 M	3.4	1.38	3.3	1.79	3.3	0.90	3.3	1.12
腰 N	3.1	0.99	3.3	1.57	3.2	0.84	3.2	1.07
腰 O	2.9	1.43	2.7	1.57	3	1.56	2.7	1.57
腰 P	2.8	1.73	2.7	1.57	3	1.78	2.8	1.51

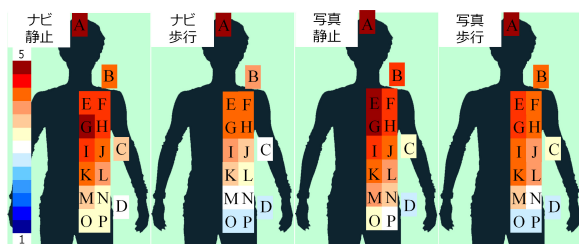


図 12 映像の台形歪み

Fig. 12 Results of feeling of keystone.

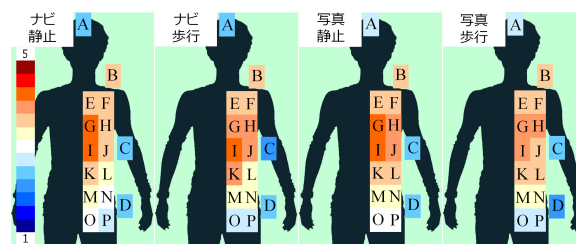


図 13 装着感

Fig. 13 Results of wearability.

表 7 映像の揺れ

Table 7 Results of feeling of image swinging.

	ナビゲーション		写真	
	平均	分散値	平均	分散値
頭 A	4.5	0.28	4.9	0.10
肩 B	4.3	0.46	4.8	0.18
横腹 C	2.5	1.61	2.9	1.21
横腰 D	1.8	0.84	2.4	1.38
胸 E	3.8	1.29	4.2	0.40
胸 F	3.1	1.21	3.9	0.32
胸 G	3.8	0.68	4.1	0.89
胸 H	2.5	0.72	3.4	0.71
腹 I	3.2	0.84	3.8	0.84
腹 J	2.5	0.72	3.3	0.68
腹 K	2.7	1.12	3.3	0.90
腹 L	2	0.67	2.5	0.72
腰 M	2.2	0.84	2.8	0.62
腰 N	1.6	0.27	2.3	0.46
腰 O	1.6	0.71	2.1	0.99
腰 P	1.3	0.23	1.7	0.90

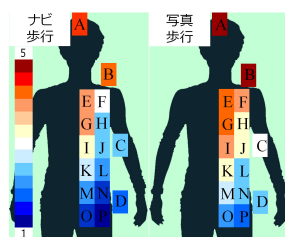


図 14 映像の揺れ

Fig. 14 Results of feeling of image swinging.

コンテンツは高い視認性を必要とするため映像が歪むと視認が困難となるためであると考えられる。また、この評価項目は他の項目に比べて分散値が1以上と高い場合が多く、被験者によって感じ方に差が生じた。

4.2.4 装着感

小型プロジェクタの装着感に関する実験結果を表 6 および図 13 に示す。体の内側 (G, I) の評価が高く、4 点以上であった。また、骨や筋肉がある場所に装着することが好まれたが、胸の上部 (E, F) は顔に近く視界に入ってしまうという理由から評価が低かった。頭 (A) はプロジェクタの重さを感じるため、また腰 (C, D) はプロジェクタが腕にあたるためそれぞれ評価が低かった。また、歩行時に足があたるとい理由で腰下部 (O, P) の評価が低かったが、静止時と歩行時における装着感に大きな違いはなかった。頭や肩、腰下部 (A, B, O, P) は被験者ごとに評価が異なることが多く、分散が大きかった。

4.2.5 映像の揺れ

映像の揺れに関する実験結果を表 7 および図 14 に示す。歩行時において最も安定する装着位置は頭 (A) であり、次いで肩 (B) の評価が高かった。また、胸の内側 (E,

表 8 手足による映像の遮断

Table 8 Results of interruption.

	ナビゲーション		写真	
	平均	分散値	平均	分散値
頭 A	5	0.00	5	0.00
肩 B	5	0.00	5	0.00
横腹 C	3.8	2.49	4.1	2.77
横腰 D	3.9	2.46	4	2.62
胸 E	5	0.10	5	0.10
胸 F	4.7	0.49	4.8	0.46
胸 G	5	0.40	5	0.40
胸 H	4.3	1.66	4.8	0.71
腹 I	5	0.10	4.9	0.18
腹 J	4.3	1.88	4.6	1.82
腹 K	5	0.40	4.8	0.71
腹 L	4	2.90	4.6	1.34
腰 M	5	0.90	5	0.90
腰 N	4.1	2.18	4	2.46
腰 O	5	0.90	5	0.90
腰 P	4.6	2.23	4.4	2.10

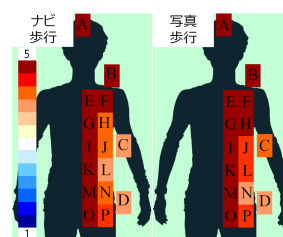


図 15 手足による映像の遮断

Fig. 15 Results of interruption.

G) も評価が高かった。腰 (M–P) は足に近く歩行の影響を受けやすいため、体の外側 (C, D, H, J, L, N, P) は足を出すときに体に捻りが加わるため評価が低かった。写真のスライドショーのコンテンツはナビゲーションのコンテンツに比べて映像が揺れても十分視認できるため全体的に評価が高く、点数が大きく異なる装着位置も多数あった。

4.2.6 映像の遮断

手足による映像の遮断度の実験結果を表 8 および図 15 に示す。被験者 10 名中 5 名が体の外側や側面 (C, D, H, J, L, N, P) に装着したときに映像が手で遮られてしまうと答えた。また、写真のスライドショーのコンテンツはナビゲーションのコンテンツに比べて映像の投影位置が遠くなるため映像が遮断されにくかった。

4.2.7 総合評価

総合評価を表 9 および図 16 に示す。提示コンテンツやユーザ状況によって各装着位置の総合評価は異なった。ナビゲーションのコンテンツを静止時に見るときは腹の上部内側 (I) の評価が高く、この装着位置はこの利用シーンにおいて他のすべての評価項目でも高得点を得ている。歩行時には胸の下部内側 (G) が最も評価が高く 4.3 点であっ

表 9 総合評価

Table 9 Results of comprehensive evaluation.

	ナビゲーション				写真			
	静止		歩行		静止		歩行	
	平均	分散値	平均	分散値	平均	分散値	平均	分散値
頭 A	3.6	1.38	3.8	1.73	3.6	0.71	4.1	1.43
肩 B	3.8	0.62	4	0.67	4	0.89	4.7	0.23
横腹 C	2.6	0.49	2.4	0.93	2.7	1.34	2.7	1.34
横腰 D	2.3	0.90	1.9	0.99	2.3	0.90	2.3	0.90
胸 E	3.7	0.68	4	0.67	4.1	0.32	4.1	0.54
胸 F	3.3	0.46	3.4	0.27	3.8	0.18	3.6	0.27
胸 G	4.2	0.40	4.3	0.90	4.6	0.49	4.1	0.99
胸 H	3.7	0.23	3.3	0.23	3.9	0.77	3.3	1.12
腹 I	4.4	0.27	3.8	0.62	4.3	0.23	3.9	0.54
腹 J	3.5	0.28	2.6	0.27	3.6	0.27	3.4	0.49
腹 K	4	0.67	3.2	1.07	3.6	0.27	3.5	0.28
腹 L	3	0.44	2.2	0.40	3.4	0.49	3	0.67
腰 M	3.1	0.54	2.7	0.46	3.4	0.49	3.2	0.62
腰 N	2.8	0.62	2.3	0.46	2.8	0.62	2.8	0.62
腰 O	2.5	0.72	2	0.67	3	0.22	2.5	0.94
腰 P	2.4	0.71	1.9	0.54	2.5	0.28	2.3	0.68

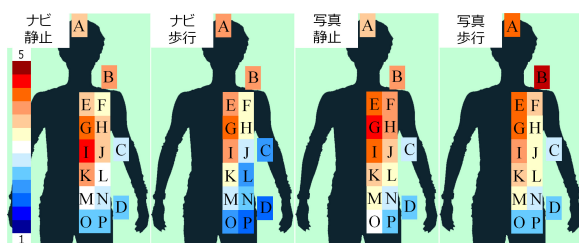


図 16 総合評価

Fig. 16 Results of comprehensive evaluation.

た、これは高い視認性を必要とするため映像の揺れが少なく、適切な位置に適切なサイズを投影できるためである。写真のコンテンツを静止時に見る場合も胸の下部内側 (G) の評価が 4.6 点と最も高く、ナビゲーションのコンテンツよりも大きな投影サイズが好まれるため、体の上部 (B, E-I) の点数も高かった。歩行時には映像の揺れも少なく、適切な位置に適切なサイズを投影できる肩 (B) の評価が最も高く 4.7 点だった。また、頭や肩を除いて静止時の平均点は歩行時に比べて高く、全体的に写真のスライドショーのコンテンツはナビゲーションのコンテンツに比べて視認性が低いコンテンツであるため平均点が上昇している。腰や体の側面 (C, D, N-P) はほとんどの評価項目で評価が低くなった。

4.2.8 被験者からのコメント

頭 (A) は 7 名の被験者が「歩行時でも映像がまったく揺れない」「目線の先に映像が投影されるので見やすい」「投影面を自由に変更できるのは日常生活でも役に立ちそう」といった肯定的なコメントをした一方、8 名の被験者が「重さを感じる」と答えており、重さが許容できるかどうかで

評価が分かれた。また、「映像サイズが大きすぎる」「輝度が低い」という否定的なコメントもあった。肩 (B) は 3 名の被験者が「手をかなり動かしても映像が揺れない」というコメントをしており、手の振りによる映像の揺れへの影響は少ないと考えられる。また、装着感に関しては 4 名の被験者が「鞆を肩にかけているみたいで装着感は気にならない」「装着していても目立たないので街中で使うならここが良い」と肯定的なコメントをした一方、3 名の被験者が「片方だけ重さを感じるので違和感がある」「なで肩のためプロジェクタの角度を調節しないとまっすぐ投影できない」と否定的なコメントをしており意見が分かれた。さらに、「胸筋があるため手前に投影しようとすると胸に遮られる」というコメントもあり被験者の体格の影響が出やすい位置であるとも考えられる。横腹 (C, D) は 7 名が「歩行時に手を動かす邪魔になる」「重さを感じる」「足の動きに合わせて揺れる」「腰を捻るときに揺れて見にくい」と否定的なコメントをした一方、「床への投影は向かないが、壁への投影に向いている可能性がある」という意見もあった。胸の上部内側 (E) は 3 名が「プロジェクタが視界に入り気になる」というコメントをしており、8 名が「映像が揺れない」とコメントしていた。胸の上部外側 (F) は「内側より揺れるがそこまで気にならない」「体の正面に投影する際に映像が少し台形化される」というコメントもあり、4 名の被験者の「体の外側では一番良い」というコメントのように体の外側では最も評価が高かった。胸の下部内側 (G) は女性の被験者から「バストに装着するのは違和感があるので胸の上部もしくは腹の下部が好ましい」というコメントを得た。また、「骨や筋肉の上にあり、歩行時

表 10 カテゴリカル回帰分析の結果
Table 10 Results of categorical regression.

コンテンツ	状況	評価項目	被験者									
			a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
ナビゲーション	静止	位置	0.026	0.55	0.016	0.325	−0.186	−0.042	0.001	−	0.001	−
		大きさ	−0.295	0.346	−0.015	0.677	0.185	0.312	0.004	−	0	−
		歪み	0.299	0.859	0.517	−0.278	−0.002	0.154	0.998	0.666	−	−
		装着感	0.996	0.165	0.785	0.628	0.998	0.713	0.001	0.733	0.683	0.345
	歩行	位置	−0.017	−0.218	0.496	0.015	0.48	0.075	−	−	0	−
		大きさ	−0.453	−0.01	0.161	0.073	−0.311	0.688	0.418	−	0.015	−
		歪み	0.548	0.85	0.195	−0.967	−0.011	0.432	0.235	0.806	−	0.319
		装着感	0.936	0.011	*	0.456	0.323	*	0.083	0.656	−0.08	−0.347
		揺れ	0.063	0.432	0.353	0.955	0.646	0.711	0.484	0.81	1.023	*
		干渉	0.936	−0.26	−	−	−0.249	0.08	0.224	−	−	−
	写真	位置	0.008	−0.172	−0.511	−0.303	−	−	−	−	−0.122	−
		大きさ	0.421	−	0.351	0.231	0.001	0.579	−0.019	0.327	0.602	−
		歪み	0.994	0.829	0.025	0.798	0.007	0.749	0.814	0.417	0.307	−
		装着感	0.761	0.511	0.983	*	0.997	0.129	0.294	0.394	0.824	0.488
		位置	−0.037	0.325	*	0.145	−0.003	−	−	−	−0.916	−
		大きさ	0.264	0.461	0.838	−0.301	0.005	0.001	−0.4	*	0.638	−
		歪み	0.522	0.963	0.491	0.69	0.003	0.487	0.85	−0.002	0.998	−
		装着感	0.283	−0.085	−	0.999	0.868	0.367	0.025	0.672	0.277	−0.03
		揺れ	0.609	0.275	0.063	1	0.605	0.129	0.133	0.757	−	0.905
		干渉	−0.011	0	−0.428	−	−0.439	0.148	0.072	−	−	−

の捻りの影響も少ないため映像が揺れない」「装着感は悪くない」など7名が肯定的なコメントを述べた。腹の上部内側 (I) は「映像の投影サイズが適切である」「少し揺れるが腹筋上にあるため視認できないほどではない」など7名が肯定的なコメントを述べた。腹の下部内側 (K) は上部に比べて評価が低くなっており、「腹の脂肪にプロジェクタが当たると違和感がある」といったことが原因であると考えられる。腰 (M-P) は全体的に「揺れがひどく歩行時に視認が困難で、見ていると酔いそう」「投影サイズが小さいので提示できるコンテンツに限られる」「前方へ投影しようとする映像が台形になる」といった否定的なコメントをすべての被験者が記入していた。4名が「体の下側・外側にいくほど揺れが大きい」とコメントしており、実際評価もそのようになっていた。また、腰の下部 (O, P) は「歩くときに足にあたり邪魔」「遠くへ投影しようとするプロジェクタが出っ張る」という意見がある一方「ベルトやポシェットみたいで装着感の良い」とコメントをした被験者もいた。胸下部から腰下部の外側 (H, J, L, N, P) は5名が「歩行時に映像に手が入る」とコメントしており、「体をひねるときに映像が揺れる」「体の正面に投影しにくい」といった点が低評価につながった。そのほかにも、「ナビゲーションは映像の揺れが揺れると視認が困難である」「投影位置が遠すぎるとナビゲーションの文字が読めないが、逆に近すぎると首が疲れる」「投影サイズを大きくすると見やすくなるが、その分揺れの影響も大きく感じる」と

いう意見もあり、人によっては「写真ならば投影サイズが大きくても小さくても視認性に影響はない」「写真ならば映像の台形歪みや揺れは気にならない」「写真など大きい映像で観賞すると楽しめるコンテンツにプロジェクタは向いている」という意見もあった。

4.2.9 カテゴリカル回帰分析

カテゴリカル回帰分析を用いて、被験者ごとに各提示コンテンツやユーザ状況の総合評価がその他の評価項目にどれだけ依存しているかを調査した。結果を表 10 に示す。表中の数値は標準化係数のベータ値である標準回帰係数であり、1に近いほど正の、−1に近いほど負の影響力が強く、0に近いほど影響がないことを示している。また、標準回帰係数の絶対値が1以上である数値は多重共線性の疑いがあるので、相関が強い独立変数を除去し、改めて回帰分析を行った。表中では“*”が除去した独立変数である。なお、重相関係数の2乗である決定係数は、被験者*i*の静止時におけるナビゲーション、被験者*j*の静止時および歩行時におけるナビゲーションと静止時における写真のコンテンツの4つの分析結果を除き0.75以上と高く、十分従属変数を説明できる。表中の“−”は装着位置の評価に差がないために除去した独立変数である。

静止時にナビゲーションのコンテンツを使用する場合、装着感の項目が標準回帰係数0.6以上の被験者が7名となっており、総合評価に最も大きな影響を与えていた。同様に、静止時に写真を観賞する場合も装着感の評価項目が

表 11 映像の揺れとセンサの分散値との相関関係

Table 11 Correlations between image swinging and variance of sensor data.

コンテンツ	分散値		負の相関関係			相関なし
	センサ	軸	強 (−1.0〜−0.7)	中 (−0.7〜−0.4)	弱 (−0.4〜−0.2)	
ナビゲーション	加速度	x	9	1	0	0
		y	9	0	0	1
		z	4	4	2	0
	角速度	x	7	3	0	0
		y	10	0	0	0
		z	6	4	0	0
写真	加速度	x	7	2	1	0
		y	9	1	0	0
		z	5	3	2	0
	角速度	x	9	1	0	0
		y	9	0	1	0
		z	4	4	0	2

総合評価に大きく依存していたが、映像の台形歪みの項目も総合評価に高い影響を与えていることが分かる。歩行時にナビゲーションのコンテンツを使用する場合は静止時に比べ装着感の影響が少なくなり、映像の揺れの評価項目に最も依存していた。歩行時に写真を観賞するときも映像の揺れの評価項目に最も依存していたが、ナビゲーションのコンテンツに比べると依存が少なくなっており、その代わりに映像の台形歪みを重視している被験者が2名増えた。全体的に被験者は静止時には装着感を重要視している傾向にあり、標準回帰係数が高い被験者はナビゲーションと写真それぞれ8名と6名であった。また、歩行時には映像の揺れを重視しており、特に高い視認性が必要なナビゲーションのコンテンツでその傾向が顕著に現れ、標準回帰係数の値が高い被験者もナビゲーションと写真それぞれ8名と4名であった。写真のスライドショーのコンテンツでは映像の歪みの影響を大きく受け、標準回帰係数の高い被験者は静止と歩行それぞれ5名と4名であった。分析結果では手足による映像の遮断、映像の投影位置や投影サイズの総合評価への影響は小さいという結果となったが、総合評価の高い装着位置でもそれぞれの項目の評価は高かった。これは総合評価が低い位置でもそれぞれの評価項目が高い装着位置が多数あり、差異が出なかったためである。

4.2.10 相関関係

また、映像の揺れの主観と加速度、角速度それぞれのセンサデータとの相関関係を調査するため、映像の揺れの評価項目とセンサデータのx軸、y軸、z軸それぞれの分散値との相関係数を調べた。なお、被験者から見た左右がx軸、前後がy軸、上下がz軸である。被験者ごとに映像の揺れの評価項目の評価が高い位置と評価が低い位置を選び、センサデータの分散値との相関係数を計算した。結果を表11に示す。結果から、被験者が感じる映像の揺れ具合と加速度、角速度の分散値は相関関係にあることが分

かった。ただし、上下の揺れであるz軸方向に関しては加速度、角速度ともに相関関係が弱く、左右や前後の揺れに比べると装着位置によって差が出にくいといえる。

4.3 考察

4.3.1 実験結果のまとめ

評価実験結果より、それぞれの利用シーンでの最適な装着位置が異なることが分かった。ナビゲーションのコンテンツを静止時に使用する場合は腹の上部内側（I）が、歩行時には胸の下部内側（G）が評価が最も高かった。写真のスライドショーのコンテンツを静止時に観賞する場合は胸の下部内側（G）の評価が、歩行時には肩（B）の評価が最も高かった。このように利用シーンに応じて最適な装着位置に違いが見られた理由は、提示コンテンツやユーザ状況ごとに重要な要素が異なり、それに依って最適な装着位置も異なるためである。ナビゲーションは高い視認性が必要なため映像の揺れが重要な要素となり、写真は臨場感がある画像を観賞したいため投影サイズが重要な要素となっている。また、歩行時は静止時に比べて目線が遠くなるため投影位置の要素を考慮する必要がある。歩行時は映像の揺れも重要な要素になる。さらに適切な投影位置と投影サイズは利用シーンごとに異なるという結果も得られた。

4.3.2 実験条件の制約について

本実験は限定された条件下で行われているため、他の条件において結果がどう変化するかを考察する。評価実験で用いた自由雲台を含めた小型プロジェクタの重さは200g程度であったが、小型化・軽量化が進むことで、腕にあたる体の側面や、プロジェクタの重さを感じる頭や肩でも快適に利用できる可能性がある。また、プロジェクタから地面までの距離が短いために投影サイズが小さい腰なども、短焦点レンズなどを用いて大きな映像を投影できれば、適切なサイズの映像を見ることが出来る。今回は実験環境を

統一するためうす暗い室内で実験を行い、投影位置による映像の明るさを考慮しなかった。しかし、周囲の明るさによっては、映像の投影位置が遠くなると映像の輝度が弱くなるため、投影位置と映像の明るさの関係を考慮する必要がある。

今回用いた小型プロジェクタはDLPを用いたものであり、装着位置や移動時にフォーカスが合わなくなる可能性がある。評価実験では状況ごとに焦点の調節を行っており、装着位置におけるフォーカスの合わせやすさといった要素は取り除かれている。また、評価実験においては、焦点が合わずに映像が視認できないといった現象は起こらず、被験者のコメントにもそのような記述はなかった。

被験者の身長に関して、一般的に身長が高いと地面までの距離が遠くなるため投影サイズは大きくなるが、同時に被験者の顔と投影映像との距離も遠くなるため身長による評価結果に差は出なかった。ユーザの身長に対しても投影映像までの距離が遠くなると大きいサイズの映像が好まれるという評価結果があてはまった。歩行速度も被験者によって異なり、映像の揺れが生じにくくようにゆっくり歩いた被験者と、街中を歩く速度で歩いたときに生じる揺れを評価する被験者に分かれた。後者に比べ、前者の評価はそれぞれの装着位置での映像の揺れの評価の差は少なかったが、体の上部分の評価が高く、下部分の評価が低いという傾向は同じであった。

今回の評価実験は幅広い利用シーンで映像を投影できる地面を投影場所として選択したが、他の投影場所についても考慮する必要がある。たとえば、壁に映像を投影する場合、目線の高さに映像を投影しやすい頭や体の上部分の評価が高いと思われる。机に映像を投影する場合、地面への映像投影に比べて投影映像と被験者の顔やプロジェクタとの距離が近くなるため、視認性が必要なコンテンツが閲覧しやすくなるが、写真のような大きな投影映像が好まれるコンテンツの評価は下がると考えられる。なお、これらの投影場所は歩行時において投影場所として選択できない。このように、投影場所やユーザ状況が異なると、それぞれの特徴も異なるため、様々な利用シーンでのさらなる評価実験が必要といえる。

4.3.3 関連研究におけるプロジェクタ装着位置

2章において示した関連研究で採用されているプロジェクタ装着位置について考察する。先行研究では、プロジェクタの装着位置は主に映像の投影位置、映像の操作のしやすさや、作業の邪魔にならないかどうかを基準に主観的に選択されており、頭部、肩、胸の下部内側を装着位置としている研究が多い。これらはある限られた目的のために実装されたもので、様々な提示コンテンツやユーザ状況における映像の視認性について考慮していない。今回の実験においても、肩や胸の下部内側の評価は高く視認性の面でも小型プロジェクタを装着するのに適している。たとえば、

Interactive Dirt は肩に装着しているため大画面の投影に適し、他者との情報共有に優れる一方、詳細なコンテンツの視認に適していない。また、歩行時の映像投影にも適しているため、歩行用のコンテンツを実装することも有効だといえる。WUW-Wear など胸に装着し、壁へ投影した映像を操作する研究は多数行われている。これは小型プロジェクタでの壁への映像投影のしやすさのほかに、カメラで周辺状況などを認識しやすいことが理由である。一方、壁へ投影するためには必ず適切な場所に壁が存在することが条件になるため、汎用的な利用には向かない。胸に装着した小型プロジェクタから地面への映像投影に特化した研究は行われていないが、今回の実験から床への映像投影においても胸は最適な装着位置の1つといえる。Tajimi らの研究 [17] で装着していた腰の横側の評価は低かった。映像の揺れが激しい装着位置であるが、Tajimi らの手法を用いることで、この位置も装着位置として選択できる。しかし、大きいサイズの映像を投影できず、揺れの補正や台形補正を行うことでさらに画像が小さくなるため提示できるコンテンツが限られてしまう。また、頭や肩や胸の内側などは補正を行わなくても映像の視認が十分可能であった。地面との距離が近い場合、高い輝度が必要な場合に有効な手法といえる。小型プロジェクタ以外のデバイスの装着性に関する研究は、今回の実験で評価が高かった肩や胸の中心の評価は低く、デバイスや評価基準が異なると適切な装着位置も異なる。

4.3.4 装着位置のガイドライン

実験結果に基づき、アプリケーションごとの適切な装着位置について考察する。実際に、動画を大人数で共有した場合は大きいサイズの映像が好まれるため、肩に装着して映像を投影することが好ましい。また、ナビゲーションを用いる場合、地図を歩行時に見るのは困難であるため、歩行時には簡単なナビゲーションアイコンなどを少し遠くへ提示し、詳細な地図は静止時に提示するなどの制御を行う必要がある。その際、装着位置は映像の揺れが少ない頭や肩、胸などが適している。さらに、投影位置は足元へ投影する必要があり、その投影サイズも全体を把握するのに適したサイズでなければならない。ブログを閲覧するときはブログを読むのに適している文字サイズを投影できる胸や腹への装着が適している。その際、ブログ内の写真をクリックし閲覧する場合は肩などから大きい映像を投影することが好ましい。このようにアプリケーションが切り替わる場合、固定された単一の小型プロジェクタでは対応できないため、つねに高い視認性を得るには、複数のプロジェクタを装着し、様々な提示コンテンツやユーザ状況ごとに切り替えたり、同時に投影する手法や、可動鏡によってユーザが見やすい位置に投影映像を移動させたりする手法が有効となる可能性がある。また、提示コンテンツやユーザ状況、投影場所ごとの台形補正や投影サイズの調整機能

などもシステムにおいて必要だと考えられる。

5. おわりに

本研究では、特性が異なる2種類の提示コンテンツおよび2種類のユーザ状況を組み合わせた条件において最適なプロジェクタ装着位置を調査した。結果から、提示コンテンツやユーザ状況ごとに重要な要素が異なり、それに応じて適切な装着位置や評価が異なることが確認できた。

今後の課題として、今回の実験と異なる提示コンテンツやユーザ状況、投影場所における装着位置評価が考えられる。また、映像の操作のしやすさなど映像の視認性以外の評価基準での評価実験も考えられる。さらに、今回の実験結果をもとに、投影位置や投影サイズの調整、台形補正、映像の揺れの安定化といった映像の視認性を向上させる機能を持ったプロトタイプを実装したうえで再評価を行うことも考えられる。

謝辞 本研究の一部は、科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業（さきがけ）および文部科学省科学研究費補助金基盤研究（A）（20240009）によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] McFarlane, D.C. and Wilder, S.M.: Interactive Dirt: Increasing Mobile Work Performance with a Wearable Projector-Camera System, *Proc. International Conference on Ubiquitous Computing (Ubicomp 2009)*, pp.205–214 (Sep. 2009).
- [2] Raskar, R., Baar, J.V., Beardsley, P., Willwacher, T., Rao, S. and Forlines, C.: iLamps: Geometrically Aware and Self-Configuring Projectors, *Proc. ACM Special Interest Group on Computer Graphics (SIGGRAPH 2003)*, pp.17–22 (July 2003).
- [3] Hosoi, K., Dao, V.N., Mori, A. and Sugimoto, M.: Visi-Con: A Robot Control Interface for Visualizing Manipulation Using a Handheld Projector, *Proc. International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology (ACE 2007)*, pp.99–106 (June 2007).
- [4] 永松 明, 中里祐介, 神原誠之, 横矢直和: 屋内環境におけるモバイルプロジェクション型 AR 案内システム, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.14, No.3, pp.283–294 (2009).
- [5] Cao, X. and Balakrishnan, R.: Interacting with Dynamically Defined Information Spaces Using a Handheld Projector and a Pen, *Proc. 19th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST 2006)*, pp.225–234 (Oct. 2006).
- [6] Willis, K.D.D., Poupyrev, I. and Shiratori, T.: MotionBeam: A Metaphor for Character Interaction with Handheld Projectors, *Proc. International Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2011)*, pp.1031–1040 (May 2011).
- [7] Yoshida, T., Hirobe, Y., Nii, H., Kawakami, N. and Tachii, S.: Twinkle: Interacting with Physical Surfaces Using Handheld Projector, *Proc. IEEE Virtual Reality Conference (VR 2010)*, pp.87–90 (Mar. 2010).
- [8] Winkler, C., Reinartz, C., Nowacka, D. and Rukzio, E.: Interactive Phone Call: Synchronous Remote Collaboration and Projected Interactive Surfaces, *Proc. ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces (ITS 2011)*, pp.61–70 (Nov. 2011).
- [9] Loechtefeld, M., Gehring, S., Schoening, J. and Krueger, A.: ShelfTorchlight: Augmenting a Shelf Using a Camera Projector Unit, *Proc. 1st Workshop on Personal Projection (Ubiprojection 2010)* (May 2011).
- [10] Mistry, P., Maes, P. and Chang, L.: WUW-wear Urworld: A Wearable Gestural Interface, *Proc. ACM International Conference on Human Factors in Computing Systems Extended Abstracts (CHI EA 2010)*, pp.4111–4116 (Apr. 2009).
- [11] 蔵田武志, 酒田信親, 興梠正克, 大隈隆史, 大田友一: BOWL プロカムによる手前と奥の投影面を用いたインタラクシヨンの実現にむけて, 情報処理学 CVIM, 2006-CVIM0156-1, pp.1–8 (Nov. 2006).
- [12] Schwaller, M., Lalanne, D. and Khaled, O.A.: PyGmI: Creation and Evaluation of a Portable Gestural Interface, *Proc. Nordic Conference on Human-Computer Interaction (NordiCHI 2010)*, pp.16–20 (Oct. 2005).
- [13] Hickey, S., Yamamoto, G., Pitkanen, A., Hyry, J. and Yoshitake, D.: Implementation of a Picture Based User Interface to Assist the Elderly Suffering from Memory Problems, *Proc. ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual Reality Continuum and Applications in Industry (VRCAI 2009)*, pp.351–356 (Dec. 2009).
- [14] The movie of HELICOPTER BOYZ IN YOMIURI LAND, available from <http://www.youtube.com/watch?v=P0tOOcgHTE>.
- [15] Ko, J.C., Chan, L.W. and Hung, Y.P.: Public Issues on Projected User Interface, *Proc. ACM International Conference on Human Factors in Computing Systems Extended Abstracts (CHI EA 2010)*, pp.2873–2881 (Apr. 2010).
- [16] Konishi, T., Tajimi, K., Sakata, N. and Nishida, S.: Projection Stabilizing Method for Palm-top Display with Wearable Projector, *Proc. IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC 2009)*, pp.13–20 (Oct. 2009).
- [17] Tajimi, K., Uemura, K., Sakata, N. and Nishida, S.: Stabilization Method for Floor Projection with a Hip-Mounted Projector, *Proc. International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT 2010)*, pp.77–83 (Dec. 2010).
- [18] Gemperle, F., Kasabach, C., Stivoric, J., Bauer, M. and Martin, R.: Design for Wearability, *Proc. 2nd International Symposium on Wearable Computers*, pp.116–122 (Oct. 1998).
- [19] Harrison, C., Lim, B.Y., Shick, A. and Hudson, S.E.: Where to Locate Wearable Displays?: Reaction Time Performance of Visual Alerts from Tip to Toe, *Proc. 27th International Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2009)*, pp.941–944 (Apr. 2009).



太田 脩平

2010 年神戸大学工学部電気電子工学科卒業。2012 年同大学院工学研究科博士前期課程修了。同年三菱電機株式会社入社。在学時、ウェアラブルコンピューティングに興味を持つ。



寺田 努 (正会員)

1997 年大阪大学工学部情報システム工学科卒業。1999 年同大学院工学研究科博士前期課程修了。2000 年同大学院工学研究科博士後期課程退学。同年より大阪大学サイバーメディアセンター助手。2005 年より同講師。2007

年神戸大学大学院工学研究科准教授。現在に至る。2004 年より特定非営利活動法人ウェアラブルコンピュータ研究開発機構理事。2005 年には同機構事務局長を兼務。2004 年には英国ランカスター大学客員研究員。2010 年より科学技術振興機構さきがけ研究員を兼務。博士（工学）。ウェアラブルコンピューティング、ユビキタスコンピューティングの研究に従事。IEEE、電子情報通信学会等 5 学会の会員。



塚本 昌彦 (正会員)

1987 年京都大学工学部数理工学科卒業。1989 年同大学院工学研究科修士課程修了。同年シャープ（株）入社。1995 年大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻講師。1996 年同専攻助教授。2002 年同大学院情報科

学研究科マルチメディア工学専攻助教授。2004 年神戸大学電気電子工学科教授となり。現在に至る。2004 年より特定非営利活動法人ウェアラブルコンピュータ研究開発機構理事長を兼務。工学博士。ウェアラブルコンピューティングとユビキタスコンピューティングの研究に従事。ACM、IEEE 等 8 学会の会員。