

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選択手法の提案

太田 脩平^{†1} 竹川 佳成^{†2}
寺田 努^{†1} 塚本 昌彦^{†1}

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、プロジェクタを装着した場合、歩行などの動作によって投影映像が不安定になり、映像の視認や映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映像の大きさなど映像の質がプロジェクタの装着位置やユーザ状況によって異なり、同時に、提示コンテンツによっても求められる映像の質が異なるため、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、複数のプロジェクタを装着し、ユーザの状況や提示コンテンツに合わせて使用するプロジェクタを選択的に切り替える手法を提案する。提案手法では複数のコンテンツやユーザ状況においてプロジェクタの装着位置と装着感の関係を調査し、その結果をもとに状況に応じて適切なプロジェクタを選択する。

Proposal on a Wearable Projector Selection Method Considering the Viewability of Projected Image

SHUHEI OTA,^{†1} YOSHINARI TAKEGAWA,^{†2}
TSUTOMU TERADA^{†1} and MASAHICO TSUKAMOTO^{†1}

Recently, there are many projects and practices, which a user wears a mobile projector that displays images on a floor and a wall to support his/her task. However, in this situation, projected images are unstable and it makes communication and task support difficult. The viewability of the projected image depends on several factors; the position of wearing projector, user context such as walking and standing, and the type of presenting contents. Therefore, we propose a method for selecting a projector from multiple wearing projectors considering these factors. We investigate the characteristics in the viewability by changing various parameters and the prototype system selects a suitable projector dynamically in response to current situation.

1. はじめに

近年、半導体技術の進展に伴い、可搬性に優れた情報提示装置の開発および製品化が進んでいる。特に、小型プロジェクタは、場所を選ばずに他者と情報を共有できるという特徴を持っており、企画書・設計図・写真のプレゼンテーションなどビジネスからプライベートまで広く使われつつある。また、研究としては、複数人で博物館内の作品を鑑賞するためのナビゲーション¹⁾や、カメラと組み合わせて投影された写真・地図・時計などのコンテンツの操作²⁾など、小型プロジェクタを装着し、コミュニケーションや作業の支援に役立つコンテンツを地面や壁などに提示し操作する事例が報告されている。しかし、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、映像の安定度や画面の大きさ、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り、同時に、提示するコンテンツによってもユーザが求める映像の質も異なるため、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、ユーザが複数のプロジェクタを装着している環境を想定し、ユーザの状況や提示コンテンツに合わせて使用するプロジェクタを選択的に切り替える手法を提案する。提案手法は、歩行や静止といったユーザ状況、ナビゲーションや写真といった提示コンテンツの組み合わ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最適な装着位置を動的に切り替える。これにより、例えば、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胸に装着したプロジェクタで投影し、立ち止まって動画を見る場合は、投影映像が大きくなるように肩に装着したプロジェクタを使って投影するといったことが可能となる。本研究では体の各部位にプロジェクタを装着した場合の映像の視認性を、シーンごとに実際にユーザ評価を行うことによって定義している。

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と、そのために行った評価実験について説明する。4章で実装について述べ、最後に5章で本論文のまとめを行う。

^{†1} 神戸大学大学院工学研究科

Graduate School of Engineering, Kobe University

^{†2} 神戸大学大学自然科学系先端融合研究環

Organization of Advanced Science and Technology, Kobe University

2. 関連研究

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よりユーザの手の動きを認識することで、プロジェクタの投影映像を操作する WUW-Wear²⁾ や BOWL Procam³⁾ がある。また、Interactive Dirt⁴⁾ は屋外での作戦会議や言語が異なる現地の民間人とのコミュニケーションなど軍事活動支援のために装着型プロジェクタを用いることで、有用性を明らかにした。さらに、本研究のように複数の小型プロジェクタを装着した取り組みとして、Helicopter Boyz In Yomiuri Land⁵⁾ では、全身に複数のデジタルカメラ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については考慮していない。

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、鈴木らによる研究⁶⁾ では、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、カメラの認識精度を補完することで、歩行や走行時においても手のひらへの安定した映像投影を実現している。また、多治見らによる研究⁷⁾ 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もっており、ユーザの動作を各種センサにより認識することで安定化を実現している。しかし、これらは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面積・映像の投影位置・装着感といったさまざまな要素に着目している点で異なる。また、本研究では複数プロジェクタを切り替えることで高い映像の質を保持することを狙っている点でも異なる。

3. システム設計

1章で述べたように、本研究では、ユーザが装着した小型プロジェクタにより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見るといった状況を想定する。しかし、プロジェクタを体に装着して映像を投影する際、ユーザの状況によって投影された映像が不安定になり、映像の視認や映像とのインタラクションが困難となる。したがって本研究では、さまざまなユーザの状況やコンテンツにおいて、投影されたプロジェクタの映像を快適に閲覧できる手法の確立が目的となる。

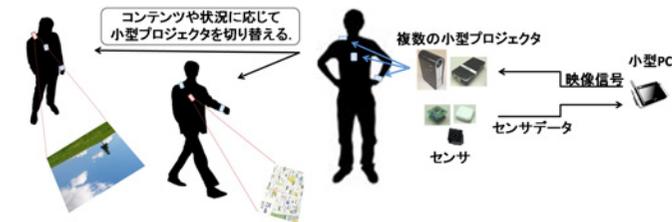


図 1 システム構成
Fig. 1 System structure

3.1 システム構成

提案システムの構成を図 1 に示す。システムは持ち運び可能な小型 PC、複数の小型プロジェクタ、数個の小型センサから構成される。ユーザは小型 PC、小型プロジェクタ、センサを装着し、システムはユーザの状況や提示するコンテンツに合わせて使用するプロジェクタを選択的に切り替え、投影位置や投影映像の大きさなどその利用シーンに適したプロジェクタから映像を投影することで、高品質な映像投影を提供する。

3.2 装着位置の検討

小型プロジェクタの最適な装着位置を決定するために、まず、映像の質に影響する要素を検討し、次いで、コンテンツやユーザの状況を分類し、最後に、適切な装着位置をユーザ評価により明らかにする。

3.2.1 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要素として以下が考えられる。

- 映像の揺れ: 歩行時はプロジェクタが動くため、それに伴い映像にも揺れが生じ、映像の視認が困難となる。
- 映像の投影面積: 投影面積が小さいと文字などの視認が困難となるが、逆に大きすぎても全体を把握しづらいなどの問題がある。
- 映像の投影位置: コンテンツやユーザ状況ごとに適した投影位置が存在する。例えば、歩行時にはある程度遠い方が、立ち止まって静止している時には近い方が適している。
- 映像の遮断: 映像が遮られてしまうと、正確に映像を視認できない。

表 1 コンテンツの分類
Table 1 The classification of contents

	画像	テキスト	画像とテキストの混合
静止画	写真	記事	マンガ
動画	映画	テロップ	ナビゲーション

3.2.2 コンテンツごとの特徴

表 1 にコンテンツの分類およびその代表例を示す。大きく分類して、画像、テキスト、どちらも含むコンテンツが存在し、これらはさらに静止画と動画に分類される。

- 画像: 写真や映画などの画像を表示する場合は、コンテンツ全体を把握できることが優先されるため、映像の投影面積が重視されると思われる。これに伴い、映像の投影位置が遠くなり映像の遮断も生じにくくなる。また、映像の揺れに関してもテキストの認識と比べて許容されると思われるが、静止画と動画とを比較すると画面の切り替わりが頻繁に生じるため動画の方が安定性が求められると思われる。
- テキスト: 歩行中にテキストを読むには映像の高い安定性が求められる。文字を読み取るためにある程度の映像の大きさも必要である。また、画面が大きいくことで一度に多くの文字を表示させることもできる。さらに、手や足などにより映像の一部が欠けてしまうと、周囲の文章から画像のように内容を補完しにくいいため、映像の遮断に関する要求も高い。
- 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表示させるコンテンツは、上記で説明した画像およびテキストの中間的な位置づけで、すべての要素がバランスよく求められる。

3.2.3 ユーザ状況ごとの特徴

コンテンツだけでなく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もっとも生じやすい。また、映像の投影面積や投影位置も装着位置によっては変わりやすい。
- 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を装着位置として優先できる。
- 着座: 着座している場合は、立ち止まっている場合と同様、映像の揺れや遮断の影響は受けにくい。しかし、立っている時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てしまう。



図 2 実験の様子
Fig.2 A snapshot in the experiment



図 3 小型プロジェクタの装着図
Fig.3 A snapshot of a user wearing projector



図 4 小型プロジェクタ
Fig.4 Mobile projector

3.3 小型プロジェクタの装着位置評価

コンテンツやユーザ状況を組み合わせた利用シーンごとに小型プロジェクタの最適な装着位置を調査した。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 2 に示す。実験で使用したシステムは、PC、小型プロジェクタ、加速度センサから構成される。小型プロジェクタを装着した様子を図 3 に示す。

被験者は全面に強粘着マジックテープを張り付けたブルゾンを着用し、また、マジックテープを張り付けた小型プロジェクタを用意することでプロジェクタをさまざまな体の位置に装着できるようにした。また、小型プロジェクタの角度を自由に調節するためにロアス社の自由雲台 DCA-089GM を改造し、小型プロジェクタの揺れを検出するために筆者らの研究室で開発した 3 軸加速度センサ (MoCoMi-Chip⁸) を図 4 のように取り付けた。PC としては SONY 社の VGN-SR94FS (CPU: Core Duo 2.80GHz×2, メモリ: 4GB) を使用し、小型プロジェクタには Optoma 社のポケットプロジェクタ PK101 を使用した。また、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にあたり、マイコンソフト社の XMOV-2 を使用した。

3.3.1 ナビゲーションの実験

実験の手続き

20 代の男性 9 名、女性 1 名の計 10 名の被験者に対して評価実験を行った。小型プロジェクタの装着位置候補を図 5 に示す 34 カ所とした。肩、腕、脇、横腹、横腰、胸、腹、腰を左右それぞれ調べ、胸、腹、腰に関してはその中でも上部と下部、内側と外側に分けて調べた。なお、街中を歩くことを想定し可動範囲が広い頭部や、歩行という動作の際に動く手や

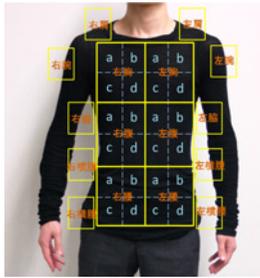


図 5 小型プロジェクタの装着位置
Fig.5 Positions for wearing mobile projector



図 6 ナビゲーションのコンテンツ
Fig.6 An example of navigation contents

足など明らかに不向きな装着位置は装着位置候補から除外した。

評価実験で提示したナビゲーションのコンテンツは、図 6 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んでいき、それに合わせて案内表記の数字や文字も変化するようにした。被験者にはこれらの視認性に関して、後述するアンケートをもとに評価してもらった。

被験者には各装着位置において、まず歩行時に最も見やすい場所に映像が投影されるよう小型プロジェクタの角度を調節してもらい、その後、実際に歩いてもらった。実験時の投影面積および投影位置（被験者から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）、また、歩行時には加速度センサのデータを記録した。

アンケート

各装着位置での映像の揺れ（5点：なし～1点：あり）、静止時での映像の見やすさ（5点：みやすい～1点：みにくい）、手や足による映像の遮断度（5点：なし～1点：あり）、映像サイズの適切さ（5点：大きい、3点：適切、1点：小さい）、プロジェクタの装着感（5点：良い～1点：悪い）について評価してもらった。なお、映像サイズの適切さに関しては3段階で回答してもらい、それ以外は5段階で回答してもらった。また、実験終了後に、被験者には歩行時に小型プロジェクタの装着位置に適している位置を数カ所選んでもらった。さらに、自由コメントも記入してもらった。

実験結果

図 7～図 11 はアンケート結果の平均点を図示したものである。暖色が点数が高く、寒色になっていくほど点数が低くなっている。



図 7 映像の揺れ具合
Fig.7 Result on image vibration

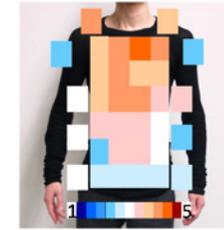


図 8 静止時の見やすさ
Fig.8 Result on visibility in standing



図 9 手や足による遮断
Fig.9 Result on interruption



図 10 映像サイズの適切さ
Fig.10 Result on appropriateness of image size



図 11 装着感
Fig.11 Result on comfortability to wear

映像の揺れに関しては肩、胸上部の内側と外側、胸下部の内側の平均点が高くなった。また、肩は分散値も高くなった。これは肩を揺らして歩く被験者にとって肩に装着した際に映像が揺れるため点数が低くなったがこと原因と考えられる。腰は足に近い歩行の影響を受けやすく、また足を出す時に体に捻りが加わるため体の外側の点数が低くなった。

静止時の映像の見やすさは肩、胸上部の内側と外側、胸下部の内側、腹上部内側の平均点が高くなった。

手や足による遮断は腕や体の側面に付けた時に腕が映像に入り込んでしまい、点数が低くなった。100cm 以上前方に投影していたため、ほとんどの装着位置で足によって映像が遮断されることはなかった。

映像の大きさは胸から腹にかけて装着した時に最適な大きさであることがわかった。また、ユーザが好むナビゲーションのコンテンツにおける映像の大きさや足元から映像までの距離は大きく 2 種類に分かれた。映像の大きさは、投影面の横 × 縦が 65×43～80×53cm を好む被験者がほとんどだったが、115×77～125×83cm を好む被験者もいた。同様に、被験者の足元から映像の中心までの距離も 105～130cm の時に映像が最も見やすい被験者が

ほとんどだった一方、230～250cm先に投影した方が最も見やすいと答えた被験者もいた。

装着感は全体的に分散が大きかったが、体の内側の平均点が高かった。しかし、胸の上部は顔に近く視界に入ってしまう、腰の下部は歩行しにくいという理由から評価が低くなった。体の外側や側面・腕などは体が曲面になっている位置も平均点が低かった。装着位置の左右の装着感の違いは被験者の好みで全く異なり、特に偏りは見られなかった。

最も多くの被験者が選択した歩行時に最適な小型プロジェクタの装着位置は胸の下部内側であった。この位置は主観評価の全ての項目でも評価が高かったが、女性の被験者の点数は悪かったため、女性には不向きな装着位置といえる。次に多くの被験者が選択した装着位置は肩であったが、この位置は前述した通り被験者の歩き方によって評価が分かれた。また、肩に重さを感じる、横を向くと顔に当たるなどの理由で装着感の評価も高くなく、プロジェクタが地面から離れているため映像の大きさもこのコンテンツでは大きくなりすぎるといった結果になった。胸の上部は装着感、腹の内側は映像の揺れ具合の点数がそれぞれ低かったが、胸の下部内側、肩に続いて評価が高かった。

被験者が歩行時に選択した最適な小型プロジェクタの装着位置がアンケートの各項目にどれだけ影響しているかを調査するために、ウィルコクソンの順位和検定⁹⁾を用いて検定を行った。検定の結果を表2に示す。ここでは有意水準を5%とし、被験者が選択した最適な小型プロジェクタの装着位置とそれ以外の位置で被験者ごとにそれぞれ有意差が認められるかの検定を行った。例えば、映像の揺れ具合の項目について検定を行った時に危険率が5%以下であれば、被験者が選択した最適な装着位置は映像の揺れ具合の項目に影響しているといえる。検定結果より、被験者が選択した最適な小型プロジェクタの装着位置は、映像の揺れ具合が最も影響していることが検定結果から確認された。これはナビゲーションというコンテンツが現在地や案内表記の視認など高い安定性を求めているためだと思われる。

また、主観評価で調べた映像の揺れ具合と加速度センサのセンサデータとの相関関係を調査するため、映像の揺れ具合の点数とセンサデータのx、y、zそれぞれの分散値との相関係数を調べた。被験者ごとに主観評価の映像の揺れ具合で点数の良い位置と悪い位置をそれぞれ数カ所ずつ選び、それぞれの位置でのセンサデータの分散値を調べ、相関係数を計算した。この結果を表3に示す。映像の揺れ具合と加速度センサのセンサデータとの相関関係を調べた結果、人が感じる映像の揺れと加速度の値は相関関係がなく、加速度センサによって映像の揺れを測定することは難しいことが分かった。

表2 ナビゲーションのコンテンツにおけるウィルコクソンの順位和検定の結果
Table 2 The result of Wilcoxon rank sum test for navigation contents

	有意差有り		有意差無し
	p < 0.01	0.01 < p < 0.05	p > 0.05
映像の揺れ具合	7	2	1
静止時の見やすさ	3	2	2
手や足による遮断	0	0	10
映像サイズの適切さ	0	1	9
プロジェクタの装着感	3	2	5

表3 ナビゲーションのコンテンツにおける映像の揺れと加速度の分散値との相関関係
Table 3 The correlation between image vibration and the variance of acceleration for navigation contents

	負の相関関係			相関関係無し	正の相関関係
	強	中	弱		
xの分散	1	2	1	2	2
yの分散	0	4	0	2	2
zの分散	2	1	2	1	2

3.3.2 写真のスライドショーの実験

実験の手続き

写真のスライドショーを歩行あるいは静止状態で見てもらった。写真のコンテンツは図12に示すような風景の写真を170枚用いた。20代の男性9名、女性1名の計10名の被験者に対して評価実験を行った。男性6名と女性1名はナビゲーションの実験と同じ被験者である。ナビゲーションの実験と同様に、プロジェクタを被験者の体のさまざまな位置に装着した。ただし、小型プロジェクタの装着位置候補はナビゲーションの実験において隣接し、かつ同じ実験結果が得られた装着位置はまとめた。また、装着位置の左右による違いが認められなかったため、被験者が選択した片側だけで実験を行った。さらに、新たに頭部も装着位置として加えた。最終的に、小型プロジェクタの装着位置候補は図13に示す15カ所であり、ナビゲーションと同様のアンケート項目について調査した。なお、今回の実験では歩行時に小型プロジェクタの装着位置に適している位置だけでなく、静止時に小型プロジェクタの装着位置に適している位置も数カ所選んでもらった。また前回の実験の加速度センサによる映像の揺れの測定では十分な結果が得られなかったため、今回はさらに3軸加速度と3軸角速度も測定できるワイヤレステクノロジー株式会社のWAA-006を使用した。



図 12 写真のコンテンツ
Fig. 12 An example of presenting photos

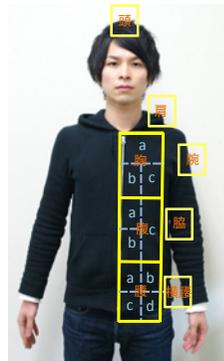


図 13 小型プロジェクタの装着位置
Fig. 13 Positions for wearing mobile projector

実験結果

図 14～図 18 はアンケート結果の平均点を図示したものである。暖色が点数が高く、寒色になっていくほど点数が低くなっている。

映像の揺れ具合はナビゲーションの結果とほぼ同様で、肩、胸上部、胸下部の内側の平均点が高くなった。

静止時の映像の見やすさは肩、胸、腹の内側、腰上部内側の平均点が高くなった。ナビゲーションの実験と比べると、静止時に見やすい装着位置が大幅に増える結果となった。これはナビゲーションの実験と比べて多少の揺れでも映像の内容が理解できるため見やすさに関する要求が低いことが考えられる。

手や足による遮断に関して、体の側面に付けた時に腕が映像に入り込んでしまうため、点数は低くなった。また、腕に装着した場合、ナビゲーションの実験より映像を遠くに投影したため、腕による映像の遮断はナビゲーションの実験よりも少なくなった。

映像の大きさは胸から腹にかけて装着した時に最適な大きさであることがわかった。この項目もナビゲーションの結果と違いは見られなかったが、映像の投影距離が遠くなり、映像自体は大きい映像が好まれた。最適な映像の大きさは、投影面の横×縦が $75 \times 50 \sim 85 \times 57 \text{cm}$ 、 $90 \times 60 \sim 100 \times 67 \text{cm}$ 、 $115 \times 77 \sim 125 \times 83 \text{cm}$ に分かれた。ほとんどの被験者がナビゲーションの実験に比べて大きい画面での観賞を好んだ。同様に、被験者の足元から映像の中心までの距離も $135 \sim 155 \text{cm}$ 先を好む被験者と、 $185 \sim 195 \text{cm}$ 先を好む被験者と、 $230 \sim 250 \text{cm}$

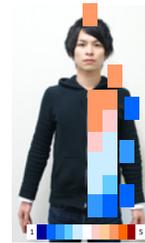


図 14 映像の揺れ具合
Fig. 14 Result on image vibration



図 15 静止時の見やすさ
Fig. 15 Result on viewability in standing



図 16 手や足による遮断
Fig. 16 Result on interruption



図 17 映像サイズの適切さ
Fig. 17 Result on appropriateness of image size



図 18 装着感
Fig. 18 Result on comfortability to wear

先を好む被験者とに分かれており、ナビゲーションの実験の時よりも遠くに投影することを好んだ。

装着感は全体的に分散が大きかったが、肩や胸の平均点が高くなった。

最も多くの被験者が選択した歩行時に最適な小型プロジェクタの装着位置は胸の上部であった。次に多くの被験者が選択した装着位置はナビゲーションと同様に左胸の内側であり、肩の評価も高かった。静止時に最適な装着位置は肩で、次に評価が高かったのは左胸上部であった。静止時は歩行時より少し手前に投影した方が良いという意見もあり、そのために大きい映像が投影できる肩を選択したと考えられる。

新たに追加した装着位置である頭部に関しては、映像の揺れや静止時の映像の見やすさなどの評価は高くなった一方、装着感は重さを感じるという理由で点数が低かったが、適切な装着位置として好む被験者もあり有効な装着位置と考えられる。

被験者が選択した歩行時と静止時に最適な小型プロジェクタの装着位置がアンケートの各項目にどれだけ影響しているかを調査するため、ウィルコクソンの順位検定を用いて検定

表 4 写真のコンテンツにおけるウィルコクソンの順位と検定の結果 (歩行時)
Table 4 The result of Wilcoxon rank sum test for photo contents (Walking)

	有意差有り		有意差無し
	p < 0.01	0.01 < p < 0.05	p > 0.05
映像の揺れ具合	3	6	1
静止時の見やすさ	1	3	6
手や足の干渉度	0	0	10
映像サイズの適切さ	0	1	9
プロジェクトの装着感	2	5	3

表 5 写真のコンテンツにおけるウィルコクソンの順位と検定の結果 (静止時)
Table 5 The result of Wilcoxon rank sum test for photo contents (Stationary state)

	有意差有り		有意差無し
	p < 0.01	0.01 < p < 0.05	p > 0.05
映像の揺れ具合	3	4	3
静止時の見やすさ	1	6	3
手や足の干渉度	0	0	10
映像サイズの適切さ	0	1	9
プロジェクトの装着感	1	2	7

を行った。これらの結果をそれぞれ表 4, 表 5 に示す。検定結果より、歩行時に被験者が選択した最適な小型プロジェクトの装着位置は、映像の揺れ具合に最も影響していることが検定結果から確認された。ただし、ナビゲーションに比べて有意水準 1% 未満の被験者が少なくなっており、その代わりに装着性を重視する被験者が増えている。一方、静止時に被験者が選択した最適な小型プロジェクトの装着位置は、静止時の映像の見やすさが歩行時に比べて重要な項目となり、映像の揺れ具合や装着感への影響は少なくなった。検定結果では手や足による遮断や、映像の大きさにはあまり影響しないという結果となったが、実際は被験者が選択した最適な装着位置でもそれぞれの項目の評価は高かった。これは最適でない装着位置でも評価が同じように高い装着位置が多数あり、差異がでなかったためである。

また、映像の揺れ具合と加速度、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、相関係数を調べた。加速度の分散値との相関関係を表 6 に、角速度の分散値との相関関係を表 7 に示す。今回の実験では、映像の揺れ具合と加速度、角速度の分散値とは相関関係にあるという結果になった。ただし、前回の実験で相関関係が見られなかった被験者は、今回の実験でも相関関係があまり見られないという結果になり、人が感じる映像の揺れとセンサデータとの相関関係は個人差があると考えられる。

表 6 写真のコンテンツにおける映像の揺れと加速度の分散値との相関関係
Table 6 The correlation between image vibration and the variance of acceleration for photo contents

	負の相関関係			相関関係無し	正の相関関係
	強	中	弱		
x の分散	3	3	1	0	2
y の分散	6	2	0	0	1
z の分散	8	1	0	0	0

表 7 写真のコンテンツにおける映像の揺れと角速度の分散値との相関関係
Table 7 The correlation between image vibration and the variance of angular velocity for photo contents

	負の相関関係			相関関係無し	正の相関関係
	強	中	弱		
x の分散	6	1	0	1	1
y の分散	4	2	1	1	1
z の分散	8	1	0	0	0

3.3.3 考察

ナビゲーションと写真のスライドショーの評価実験結果より、静止時の映像の見やすさ、映像の投影面積、映像の投影位置などの項目で差異が見られ、同時に、適切な装着位置に関して、歩行しながらナビゲーションを利用する場合は胸の下部内側が、歩行時に写真のスライドショーを見る場合は胸の上部が、静止時に写真のスライドショーを見る場合は肩の評価が高くなった。このように最適な装着位置に違いが見られた原因は、コンテンツや状況の特性が異なるためである。歩行時にナビゲーションを利用する場合テキストを読む必要があるため映像の安定性が重視される。しかし、歩行時に写真のスライドショーを見る場合多少の揺れは許容され、装着感といった別の項目が重視されている。また、静止して写真のスライドショーを見る場合、静止時の見やすさが重視されている。以上のように個人差は一部見られるが、コンテンツやユーザの状況に合わせて映像の投影位置を切り替える本研究の手法は有用である。今回は消灯した室内で実験を行ったため、投影距離による映像の明るさに差異はなかった。しかし、周囲の明るさによっては、映像の投影距離を遠くすると映像が薄くなるため、投影距離と映像の明るさの関係を考慮する必要がある。

4. 実装

提案システムのプロトタイプを実装した。プロトタイプを装着し利用している様子を図 19



図 19 プロトタイプを装着した様子
Fig. 19 Snapshots of a user wearing the prototype

に示す．3章で述べた実験結果をもとにプロトタイプは3台の小型プロジェクタを用いて、歩行時に写真のスライドショーを鑑賞する際は胸の上部に装着した小型プロジェクタから映像を投影し、静止時には肩に装着した小型プロジェクタから映像を投影し、ナビゲーションを利用する場合は胸の下部内側に装着した小型プロジェクタから投影する．ユーザの状況は加速度センサを使って認識する．利用するコンテンツの切替はPC側で判断する．小型プロジェクタはPK101を2台とアドテック社のAD-MP15ABを1台用いた．PK101用のスキャンコンバータにはXMOV-2を2台使用し、USB接続グラフィックアダプタとして、I-ODATE社のUSB-RGB(解像度800×600、リフレッシュレート60Hz)を2台使用した．これらを用いて1台のPCから3台の小型プロジェクタにそれぞれ映像を出力する．ユーザの状況を判別するセンサとして加速度センサMoCoMi-Chipを使用し、これをつま先に装着した．また、PC上のソフトウェアの開発はWindows7上でC#.NET2005を使用した．

実際に筆者自身がプロトタイプを使用した感想を述べる．写真のスライドショーは、静止時と歩行時で見やすい映像の投影位置や大きさが異なっており、状況によって切り替えることで快適に閲覧することができた．また、プロジェクタの投影位置や大きさが変わった場合、慣れるまでは違和感があった．ナビゲーションを利用した場合も、最適な位置で提示されたため容易に情報を読み取ることができた．

5. おわりに

本研究では、複数のプロジェクタを装着し、ユーザの状況や提示するコンテンツに合わせて使用するプロジェクタを選択的に切り替えるプロジェクタ装着位置選択手法を提案し、この手法を組み込んだシステムを構築した．特性が異なる2種類のコンテンツおよび2種類

のユーザ状況を組み合わせた最適な装着位置を調査する評価実験では、コンテンツやユーザ状況ごとにプロジェクタの装着位置が異なり、プロジェクタを切り替える本手法の有用性が確認できた．

今後の課題として、プロトタイプを用いた評価実験、異なるコンテンツおよび状況における最適なプロジェクタ装着位置の調査を行う予定である．また、壁や手のひらなど地面以外の投影面へ映像を投影する場合における最適なプロジェクタ装着位置の調査、さらに多くのプロジェクタを体に装着した時でも、それらを正確に切り替えられるシステムの開発なども考えられる．

参考文献

- 1) 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サイバースペースと仮想都市研究会研究報告, Vol. 13, No. 1, pp. 15-20, 2008.
- 2) P. Mistry, P. Maes, and L. Chang: WUW-wear Ur world: a Wearable Gestural Interface, *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems Extended Abstracts*, pp. 4111-4116, 2009.
- 3) 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ョンの実現にむけて, 情報処理学 CVIM, 2006-CVIM0156-1, pp. 1-8, 2006.
- 4) D. C. McFarlane and S. M. Wilder: Interactive Dirt: Increasing Mobile Work Performance with a Wearable Projector-Camera System, *Proceedings of the 11th international conference on Ubiquitous Computing*, pp. 205-214, 2009.
- 5) Helicopter Boyz In Yomiuri Land, 入手先 <http://www.youtube.com/watch?v=P0tOOcgHTE> (参照2010-04-12) .
- 6) T. Suzuki, N. Sakata, and S. Nishida: ProCams for Laptop-New Human-computer Interaction Design Comprising Projector and Camera for Use with Laptops, *Proceedings of the ASIAGRAPH*, pp. 96-99, 2009.
- 7) K. Tajimi, T. Konishi, N. Sakata, and S. Nishida: Stabilization Method for a Hip-mounted Projector Using an Inertial Sensor, *Proceedings of the Advances in Wearable Computing 2009, 13th IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC '09)*, pp. 37-44, 2009.
- 8) 児玉賢治, 藤田直生, 柳沢 豊, 塚本昌彦, 義久智樹: センサノードのための加速度データに基づくルール型動作制御方式, 情報処理学会論文誌, Vol. 49, No. 11, pp. 3732-3742, 2008.
- 9) F. Wilcoxon: Individual Comparisons by Ranking Methods, *Proceedings of the Biometrics Bulletin*, Vol. 1, pp. 80-83, 1945.