

映像と連動したインタラクティブパフォーマンスのための演者支援手法の評価

池田 惇^{†1} 竹川 佳成^{†2}
寺田 努^{†1,†3} 塚本 昌彦^{†1}

近年、人間の動作とその背景に投影された映像を組み合わせ、演者の動作が映像に作用しているように見せるパフォーマンスが注目されている。しかし、演者は映像を背にしていたり、ステージ上を移動してさまざまな方向を向いていたため、つねに映像を確認しながら演技することはできず、映像と演者が直接掛け合いを行うようなインタラクティブなパフォーマンスを行うことが難しかった。そこで本研究では、装着型/非装着型の情報提示デバイスを用いて演者に映像情報を提示することの有効性を評価する。本研究では実際にインタラクティブパフォーマンスのための演者支援システムを構築し、提示デバイスや提示内容が演技に与える影響を評価した。結果から、提示デバイスによって、演技の自然さが変化することや、提示内容によって、演技動作の精度が変化することが確認された。また、装着型デバイスの使用が演者の演技に与える影響についても評価を行い、対応可能なパフォーマンスを確認した。

Evaluation on Performer Support Methods for Interactive Visual Performances

JUN IKEDA,^{†1} YOSHINARI TAKEGAWA,^{†2}
TSUTOMU TERADA^{†1,†3} and MASAHIKO TSUKAMOTO^{†1}

Recently, the performances combined performer's action and projected images have attracted a great deal of attention. However, since the performer has to see audiences basically, it is difficult for him/her to watch the images on a screen. It means that he/she cannot perform interactive performances in response to dynamically changing situations. Therefore, we evaluate multiple information presenting methods using wearable/nonwearable devices. We have developed a prototype system for information presenting and evaluated its effectiveness. We confirmed that the difference of devices and presenting images had various influences on the quality of performances. In addition, we evaluated the physical effects of wearable devices in performances.

1. はじめに

近年、映像を個人で手軽に加工・編集・生成などできるようになったことで、VJ (Video Jockey) システム¹⁾ や EffecTV²⁾ などの映像効果を活用するためのツールを用いたパフォーマンスが注目を集めている^{3),4)}。また、既存のパフォーマンスに映像を組み合わせた表現も披露されており^{5),6)}、舞台演出としての映像の効果は大きい。

特に図1に示すような、人間の動作と映像を組み合わせたパフォーマンスが注目されており⁷⁾、演者の動作が映像に作用しているように見せることで、観客の驚きや笑いを誘っている。たとえば、チェコで1950年代に創設されたラテルナ・マギカ⁸⁾はステージ上の大きな布のようなスクリーンに映像を表示し、映像中に表示した動物とサーカスを行う演技や、スクリーンに表示された人物に舞踊を披露する演技など、現在でも多様な演目が行われている。現代においては個人または小規模のパフォーマンスであっても手軽に映像を使用できるようになり、演者の声の音量と発生位置を検出して、映像エフェクトを生成するパフォーマンス⁹⁾や笑いを誘う映像を表示し、演者がツッコミを入れる漫才¹⁰⁾など、多くのパフォーマンスが披露されている。また、VR技術を舞台表現に活用し、観客1人1人の眼球運動によって違ったイメージを知覚させる試み¹¹⁾なども行われている。

このようなパフォーマンスは、演者の動作などを認識してリアルタイムに映像を生成するものと、あらかじめ作成した動画に演者が合わせて演技を行うものの2つに大きく分けられる。前者の例としては、演者の動作から映像エフェクトを生成するパフォーマンス^{2),12)}や、楽器の演奏タイミングをセンサによって認識して映像を出力するパフォーマンス⁶⁾があり、後者の例としてはストーリー性のある映像に合わせて演技を行うパフォーマンス⁷⁾や、映像に合わせて行うコンテンポラリーダンス¹³⁾がある。ここで、両種に共通する問題として、演者がステージ上の映像を常時確認できないことがあげられる。演者は映像を背にして演技する場合が多く、演技中にステージ上を移動することも多いため、映像を見続けることはできない。特に、演者が映像に合わせて演技を行うパフォーマンスでは、演者の暗記に頼っ

†1 神戸大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Kobe University

†2 神戸大学自然科学系先端融合研究環
Organization of Advanced Science and Technology Kobe

†3 科学技術振興機構さきがけ
PRESTO, Japan Science and Technology Agency

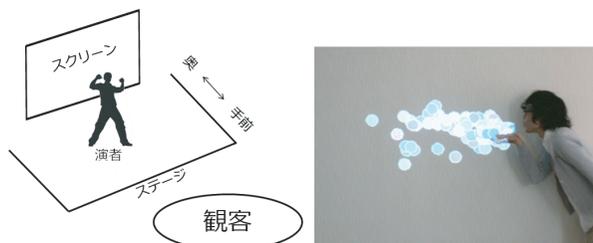


図 1 映像を使用したステージパフォーマンス
Fig. 1 A performance with projected images.

て演技していることがほとんどであり、演技のミスはパフォーマンスのクオリティに大きく影響する。また、演者の動作などで映像を生成するパフォーマンスにおいても、スクリーンの映像をリアルタイムに確認できないことから、最適なタイミングで演技を行うことが難しい。したがって、これらの問題から映像と演者が直接掛け合うインタラクティブなパフォーマンスを行うことは難しく、表現の幅が制限されている。

そこで本研究では、装着型の情報提示装置や据え置き型ディスプレイを用いて演者が必要とする映像情報を提示することで演者支援が行えると考え、構築したシステムを実際に利用することで提示デバイスの評価を行った。具体的には、デバイスとして頭部装着型ディスプレイ (HMD: Head Mounted Display) と据え置き型ディスプレイ、提示内容としてカメラ映像と背景映像を用意し、情報提示が演技に与える影響を調査した。

本論文は以下のように構成されている。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章ではシステムの実装について述べ、5章で評価と考察を行う。6章では実運用について説明し、最後に7章で本論文のまとめを述べる。

2. 関連研究

ウェアラブルコンピューティング技術を活用してユーザ支援を行う試みがいくつか行われている¹⁴⁾。特にステージでのユーザ支援に注目すると、文献 15) では、HMD を使用して司会進行を支援するシステムが提案されている。司会者は HMD と小型 PC を身に付け、無線 LAN 経由でディレクタから指示を受ける。HMD には、話す内容、講演タイトル、時間進行などを提示し、スムーズな司会進行が支援されている。このような司会支援では、ディレクタとのやりとりが支援の中心となるが、パフォーマンス支援では、動作のタイミングを提示するなど、より動的な情報提示が必要となる。また、ナレーションやステージの様子を提示し

たり¹⁶⁾、歌詞を HMD に提示したりする試み¹⁷⁾ も行われている。どちらも 300 人規模のブロのコンサートで運用されており、結果からもその有効性が示されている。特に文献 16) では、普段は見えにくい観客の表情などを見ながら歌うことができ、有用であったという意見が得られている。しかし、これらの支援では、演者と映像の連動の支援は考慮されていない。

また、一般的に使用されている情報提示支援としては、演説やニュースの原稿を表示するプロンプタ¹⁸⁾ や、プレゼンテーションソフトの原稿表示機能があり、テレビ収録におけるバーチャルスタジオでの出演者支援として文献 19) のような研究も行われている。これらの支援では、定位置での使用が前提となっており、本研究で扱うようなステージパフォーマンスでの使用は考えられていない。

3. システム設計

1章で述べたように、映像を用いた既存のパフォーマンスのうち、映像に演者が合わせて演技するものは、映像の内容をこと細かに記憶し、自身の立ち位置や振りなど覚え込む必要があり、大変な労力を要する。また、拍手の大きさなど観客の反応をステージ上の映像にフィードバックさせるようなパフォーマンスや、演者のダンス動作に合わせて映像を生成するパフォーマンスなど、毎回のステージごとに映像の内容が変化することも考えられる。この場合は映像内容を覚えることはできず、映像内容を確認するために何らかの支援が必要となる。このように、現行のパフォーマンスでは演者の負担が大きく、表現の幅が限定されている。したがって、本研究では演者支援手法の評価を行い、映像と連動したインタラクティブパフォーマンスをより柔軟にすることを目指す。そのために、まず既存のパフォーマンスを分類し、提示する情報の内容と、情報提示デバイスについて検討する。

3.1 パフォーマンスの分類および情報提示装置

はじめに、演技中の演者の状況別の分類と、演者が必要とする情報別の分類に基づき、筆者らの主観によりパフォーマンスを分類する。前提として、本研究では観客へ披露することを主目的としたパフォーマンスを対象とするため、観客の見やすさを考えると、映像をステージ側面の壁や床面に表示することは一般的ではなく、図 2 に示すように、ステージ後方に映像が投影され、演者はその前で演技を行うものとする。ステージ後方以外に映像を投影する例として、スクリーンをステージ前方に配置して演者がスクリーン裏に隠れて演技を行う場面を含むパフォーマンス²⁰⁾ や、透過型スクリーンの前後で演技を行うパフォーマンス⁵⁾ があるが、演者がスクリーンよりも後方で演技を行う際は観客から見える部分が少なくなり、支援の難易度が低くなるため、スクリーンが後方に設置されている場合と同様の支

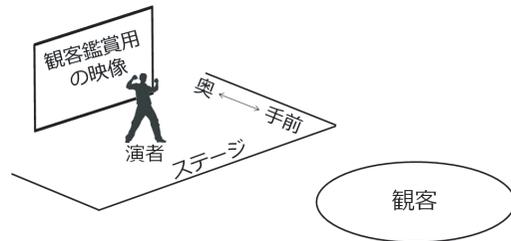


図 2 ステージのレイアウト
Fig.2 A layout of stage.



図 3 観客側を向いたパフォーマンス
Fig.3 A performance toward audiences.

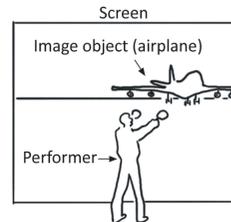


図 4 映像に向かって行うパフォーマンス
Fig.4 A performance toward a screen.

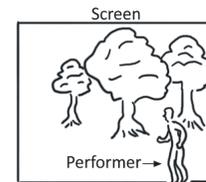


図 5 横向きに行うパフォーマンス
Fig.5 A performance in parallel with a screen.



図 6 映像に密着したパフォーマンス
Fig.6 A performance in contact with a screen.

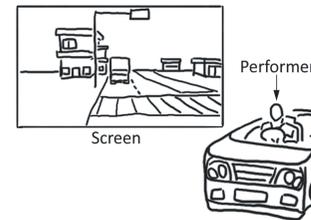


図 7 映像から離れたパフォーマンス
Fig.7 A performance played far from a screen.

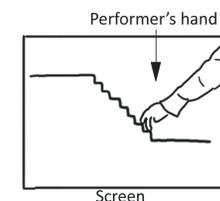


図 8 身体の一部を使ったパフォーマンス
Fig.8 A performance using a part of body.

援が可能であるといえる。

3.1.1 演者の状況による分類

- 観客側を向いた演技：観客側を向いてダンスや楽器演奏を行い、その動作に合わせて映像を変化させるパフォーマンスなどがあげられる。図 3 の例は文献 12) のシステムの一場面であり、ダンスの背景にエフェクトを表示している。映像は演者の背後に表示されているため、振り返る動作などなしでは映像をまったく確認できない。
- 映像の方を向いた演技：映像中に奥行きを表現し、遠くの物体と掛け合いをするパフォーマンスなどがあげられる。図 4 の例は文献 7) での一場面であり、滑走路の飛行機を誘導している。ステージ上の映像が大きく表示されている場合は映像全体を確認できない。
- 映像に対して横向きになる演技：映像を背景として、その中を横向きに進んでいくパフォーマンスなどがあげられる。図 5 の例は文献 7) での一場面であり、森の中を右から左へと走り抜けている。表示された映像の中央で演技をする場合は映像全体を確認できないという点が問題となる。

- 映像に密着した演技：演者の手や口から物体が出ているように見せるパフォーマンスなどがあげられる。図 6 の例は後述する実運用で行ったパフォーマンスでの一場面であり、演者の口からシャボン玉を吹く演技を行っている。表示された映像との距離が近いいため映像全体を確認できない。
- 映像から離れた演技：映像以外の実物体を操作する演技や、演者の動作と映像が内容として間接的に関わる場合などがあげられる。図 7 の例は文献 10) での一場面であり、運転教習を演じながら漫才を行っている。実物体を注視する場合は映像に視線を向けることができない。
- 身体の一部が映像と連動する演技：演者の手と映像を連動させるパフォーマンスなどがあげられる。図 8 の例は文献 7) での一場面であり、人間のように演者の手が階段を指で歩いている。使用する身体の部位によっては映像を確認できない。

3.1.2 必要な情報による分類

- 映像中の情報の読み取り：文献 10) における一場面である図 9 の例のように、映像中

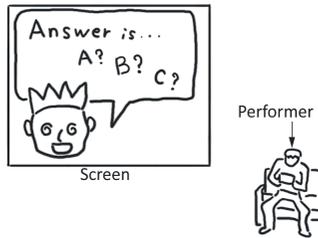


図 9 映像中の情報の読み取りが必要なパフォーマンス
Fig. 9 A performance based on information in image.

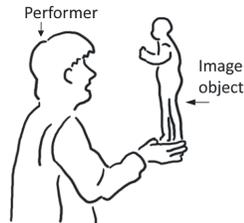


図 10 演者自身の位置把握が必要なパフォーマンス
Fig. 10 A performance based on a position.

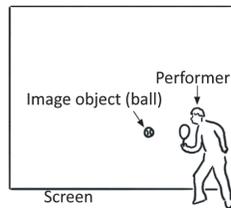


図 11 映像変化のタイミングの把握が必要なパフォーマンス
Fig. 11 A performance based on a image changing.

の文字を読み取ってツッコミをする漫才などがあげられる。映像が確認できない場合、演者が台詞を覚える必要がある。

- 演者自身の位置把握：中丸雄一氏のパフォーマンス「中丸君の楽しい時間」の一場面である図 10 の例のように、映像中の物体を持つなど物体に触れるように見せる場合があげられる。映像と演者自身の位置関係が把握できなければ正確に演技できない。
- 映像変化のタイミング把握：文献 7) における一場面である図 11 の例のように、映像中の球を打ち返すパフォーマンスなど、移動する物体とインタラクションする場合があげられる。演者に対して、映像や音でタイミングを提示しなければ、演技のタイミングを覚える必要がある。

3.1.3 提示内容の選定

演者へ提示する情報として、映像、音、振動などを用いることが考えられる。3.1.2 項で述べたように、演者は映像中の表示内容や、位置や、タイミングなど多くの情報を必要としているが、これらの情報を音や振動によって提示するのは困難であるため、本研究では演者

表 1 各情報提示装置の特性

Table 1 The characteristics of each device for displaying information.

	情報量	読み取り精度	設置コスト	演技の自由度	装着性	見た目
HMD						×
据え置きディスプレイ			×	×	/	
床面投影			×		/	
イヤホン	×					

: 良い, : 標準, × : 悪い, / : 対象外

へ提示するコンテンツとして映像を用いる。

提示する映像内容として、スクリーンに表示するコンテンツをそのまま情報提示機器にも表示する手法や、演者と映像中の物体の位置関係を把握するため、カメラによって観客側からステージを撮影した映像を表示する手法が考えられる。以下では前者をステージ用映像、後者をカメラ映像と呼ぶ。そのほかに、映像の次のシーンなどを事前に提示する方法などが考えられるが、映像コンテンツ自体の修正が必要となるため、本論文では取り扱わない。

2つの手法の特性を以下に示す。

- ステージ用映像：視認性が高く、ディレイがないが、演者が映っていないため演者とスクリーン上の物体の位置関係が把握できない。
- カメラ映像：演者とスクリーン上の物体の位置関係が把握できるが、ステージ用映像に比べて視認性が低く、カメラ撮影によるディレイがある。

このように、2つの手法にはそれぞれ長所、短所があり、パフォーマンスの内容によって使い分けるべきであると考えられる。

3.1.4 情報提示装置の選定

演者への情報提示の方法としては、映像および音を用いたいくつかの手法が考えられる。各情報提示装置の特性をまとめたものを表 1 に示し、下記で説明する。

- HMD：方向、位置、姿勢を問わず、つねに映像を確認でき、ステージ環境の影響を受けない。しかし、演者が機器を身に着けることで見た目の不自然さがあり、演技の動作に影響があると考えられる。
- 据え置きディスプレイ：映像の視認性は高いが、演者がディスプレイに視線を向ける必要があるため、演技の自由度が制限される。自由度を高めるために複数台設置すると設置コストが高い。また、ステージ環境によっては観客から目立たない位置に設置することが困難である。
- プロジェクタによる床面投影：高い位置に設置したプロジェクタから、床面に映像を投

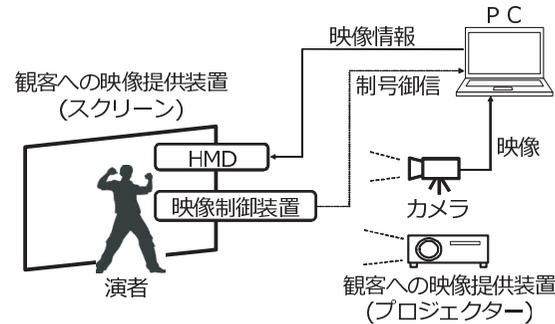


図 12 システム構成
Fig. 12 A system structure.

影する。演者支援での例は確認できないが、中央のステージを客席が囲む形態で披露するコンテンポラリーダンスでは、床面投影を用いたものがある²¹⁾。また、文献 22)、23) のようにインタラクティブアートやゲームの分野では商品化が行われている。ステージ上の必要な位置に映像を表示できるが、設置コストが大きい。

- イヤホン：演技の自由度が高く見た目も自然である。しかし、映像に比べて演者に提示できる情報量が少なく、映像中のオブジェクトの位置などを伝えることは難しい。

3.2 システム構成

演者支援システムの構成を図 12 に示す。システムは PC、観客への映像提供装置、演者への情報提示装置、映像制御装置、カメラから構成される。観客が鑑賞する映像は PC から出力され、スクリーンや大型ディスプレイなどの観客への映像提供装置に表示される。演者は主に表示された映像の前に立ち、HMD や据え置きディスプレイ、イヤホンなどの情報提示装置で映像との連動に必要な情報を得ながら演技する。映像制御装置としては、無線ボタンによる操作や、カメラを使った画像処理、無線加速度センサによる動作認識などを使用する。

4. 実装

提案する演者支援システムのプロトタイプを実装した。システムを身に着けた様子を図 13 に示す。PC としては、SONY 社の VGN-FE90S (CPU: Core Duo 1.83 GHz × 2, メモリ: 1 GB) を使用し、HMD として、島津製作所の DataGlass2/A を使用した。カメラは、バッファロー社の BWC-35H01 (解像度 320 × 240, 30 fps) を使用し、映像のキャプチャ



図 13 システムを装着した様子
Fig. 13 A snapshot of a performer.



図 14 無線マウスの装着
Fig. 14 An operation device.

には AMCap を用いた。HMD に表示する映像については、カメラ映像とステージ用映像を選択的に表示できるようにした。映像制御にはエレコム社製の無線マウス M-D13UR を使用し、演者がボタン操作を行いやすいよう、図 14 のように装着する。映像の制作には Processing²⁴⁾ を使用し、無線マウスのボタン操作によって、映像の変化を制御できるようにした。

5. 評価実験

提示装置や提示内容が演技に与える影響を評価するために、インタラクティブパフォーマンスの要素を持つゲームによる演技精度の評価と観客によるアンケートをもとにした演技の自然さの評価を行った。また、HMD の装着が演技に与える影響についても評価した。評価実験において、プロジェクタからスクリーンの距離は約 7 m、スクリーンには縦約 2 m、横約 2.7 m のサイズで、映像の下端が床から約 60 cm の位置になるように投影し、HMD の比較対象として、据え置きディスプレイを使用した。ディスプレイのサイズは 17 インチで、スクリーンの中央からプロジェクタ側に 3 m の位置に 1 つ設置した。カメラはプロジェクタの横に設置し、スクリーン全体がキャプチャできるサイズに調節した。

5.1 ゲームを使用した実験

情報提示装置によって、読み取りから演技の速さ、位置把握の精度、タイミング認識の精度の 3 つの項目がどのように変化するかを評価するため、それぞれに対応する 3 種類のゲームを構築した。HMD、据え置きディスプレイ、支援なしの 3 通りの情報提示方法に対して、ステージ用映像、カメラ映像の 2 通りの提示内容を組み合わせで評価した。演者は映像の表示されたスクリーンの前に立ち、観客がいると想定して、前を向いてゲームを行っ

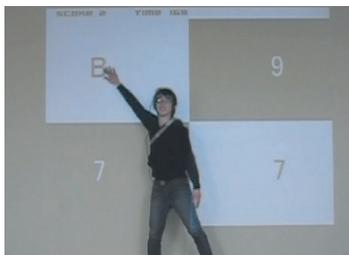


図 15 文字探しゲーム

Fig. 15 The reading character game.



図 16 ボール拾いゲーム

Fig. 16 The ball catch game.



図 17 リズムゲーム

Fig. 17 The rhythm game.

た。ただし、支援なしの場合は前を向いたまま演技ができないため、演技中に振り返り、スクリーンに表示された映像を見ることを許可した。各組合せについて平均身長 171.6 cm の 20 代の男性 5 名の被験者に 1 度ずつゲームを行わせて得点を記録し、平均得点については有意水準 5% の t 検定によって支援なしの場合に対する有意差を判定し、提示装置別および提示内容別の有意差については有意水準 5% の分散分析によって判定した。また、各組合せについて映像情報の確認しやすさのアンケートを行い、提示装置別に演技のしやすさのアンケートを行った。5 段階で回答してもらい、5 点満点で、評価が高ければ 5 点、低ければ 1 点とした。各ゲームの目的と内容を以下に示す。

- 文字探しゲーム：映像中の情報の読み取り速度と正確性の評価を目的としている。ゲームの様子を図 15 に示す。このゲームでは、画面を 4 領域に分割し、ランダムな 1 カ所にアルファベット、その他の 3 カ所に数字を表示する。演者はアルファベットの表示された領域を叩く。選択した領域の正誤を演者以外の者が目視で判定し、正しければ得点を 1 点加算し、40 秒間での得点を記録した。ただし、読み誤る可能性を考え、O, I, 0, 1 は用いなかった。表示される文字の大きさは、およそ縦 25 cm × 横 15 cm であった。
- ボール拾いゲーム：演者の位置把握の評価を目的としている。ゲームの様子を図 16 に示す。画面上を直径約 20 cm の円が上端から垂直に移動し、演者は両手のどちらかで円を受け止める動作を行い、掌に重なって通過すれば得点を 1 点加算した。合計 50 個での得点を記録した。
- リズムゲーム：映像変化のタイミング認識の評価を目的としている。ゲームの様子を図 17 に示す。演者は、無線マウスを装着し、中央からランダムに 4 隅のいずれかに移動する円が、あらかじめ表示された 4 隅の円と重なるタイミングでボタンを押す。表

表 2 各ゲームの平均得点

Table 2 The average scores for each game.

	HMD		据え置き		支援なし
	ステージ用映像	カメラ映像	ステージ用映像	カメラ映像	
文字探し	29	16.2	31.4	16.4	21.6
支援なしに対する有意差	あり(有利)	あり(不利)	あり(有利)	なし	-
ボール拾い	32.2	46.6	36	48.4	44.8
支援なしに対する有意差	あり(不利)	なし	あり(不利)	あり(有利)	-
リズム	88.4	68.6	79	70.4	69.6
支援なしに対する有意差	あり(有利)	なし	なし	なし	-

示される円の直径は約 20 cm である。円が重なるタイミングと約 ± 0.13 秒以内のタイミングならば 2 点、約 ± 0.26 秒以内ならば 1 点加算される。これを 50 回行う。また、パフォーマンスを想定し、ボタン操作と同時に重なる円の方向を叩く動作を行わせた。

5.1.1 実験結果

各ゲームの得点(被験者 5 名の平均)を表 2、提示装置別の得点を表 3、提示内容別の得点を表 4 に示す。また、実験後に被験者に行ったアンケートの結果を表 5、表 6 に示す。

すべてのゲームにおいて、提示装置によって得点の差に有意差はなく、アンケートでも提示装置による差は小さかったため、HMD と据え置きディスプレイの視認性は同等であると確認できた。以下、提示内容に関して考察する。

文字探しゲームでは、ステージ用映像の点数が高く、カメラ映像の点数が低い。これは、プロジェクタとスクリーンを使用するため、実験中は部屋を薄暗くしており、カメラ映像では文字の読み取りが難しいためだと考えられる。よって、映像中の文字などの読み取りが必

表 3 提示装置別のゲームの得点
Table 3 The scores by devices.

	HMD	据え置き	有意差
文字探し	22.6	23.9	なし
ボール拾い	39.4	42.2	なし
リズム	78.5	74.7	なし

表 4 提示内容別のゲームの得点
Table 4 The scores by contents.

	ステージ用映像	カメラ映像	有意差
文字探し	30.2	16.3	あり
ボール拾い	34.1	47.5	あり
リズム	83.7	69.5	あり

表 5 映像情報の確認しやすさ
Table 5 The visibility.

	HMD		据え置き	
	ステージ用映像	カメラ映像	ステージ用映像	カメラ映像
文字探し	4.4	2.0	5.0	2.4
ボール拾い	3.2	4.2	2.4	4.8
リズム	4.6	3.8	4.6	4.0

表 6 提示装置別の演技のしやすさ
Table 6 The playability.

	HMD	据え置き
文字探し	4.2	4.0
ボール拾い	3.8	4.2
リズム	4.2	4.4

要な場合はステージ用映像を提示する手法が有効であると確認できた。

ボール拾いゲームでは、カメラ映像の点数が高かった。ステージ用映像では、演者自身の位置は確認できず、映像中の物体との距離が分かりにくいためだと考えられる。よって、位置把握が必要な場合は、カメラ映像を提示する手法が有効であると確認できた。

リズムゲームでは、ステージ用映像の点数が高かった。カメラ映像では、撮影から表示までにディレイがあるため、点数に差が現れたと考えられる。しかし、前の2つのゲームに比べて差は小さい。よって、シビアなタイミング認識が求められる場合は、ステージ用映像が有効であるが、カメラ映像でも、ある程度はタイミング認識ができると確認できた。

5.2 パフォーマンスの実演による実験

本論文の筆頭著者が実演した3種類のパフォーマンスを被験者に見せてアンケート評価を行った。前節の実験と同様にデバイスおよび提示内容の組合せを変化させた。ただし、自然な演技が困難であるため、支援なしについては行っていない。被験者は20代の男性15名、女性1名の16名で、このうち男性の1名は複数のステージで司会者の経験があり、他の15名は舞台経験や身体表現の経験は持っていない。鑑賞にはあらかじめ撮影したパフォーマンスのビデオを使用した。鑑賞環境として、プロジェクトおよび100インチのスクリーンを使用し、被験者にはスクリーンから3~5m離れた位置に自由に座ってもらい、全員同時に鑑賞した。演者がシステムを試用した期間は約2カ月間で、ステージでの演技経験として神戸ルミナリエ2008の市民ステージへの2日間の出演があった。パフォーマンス鑑賞後に

下記の内容を問うアンケートを行った。

- 映像を確認する自然さ：提示装置に表示された演者用の提示映像を見る動作や視線の変化が不自然でないか、目立っていないかを表す。具体的には、HMD使用時には、HMDの映像を見る際に目線や頭の向きが不自然でないか、据え置きディスプレイ使用時には、ディスプレイへ頭や目線を向ける動作が目立っていないかという点について評価を行うよう事前に被験者に説明した。
- 見た目の自然さ：HMDの装着と無線マウスによる操作について見た目が不自然に感じるかを表す。評価はすべてのパフォーマンス鑑賞後に総合的なものとして行った。HMDの装着の自然さとは、HMDを装着した姿が装着なしの場合と比較してどの程度見た目に違和感があるかを表す。なお、演者の頭髪の長さは図20に示すとおりで、前髪は目にかからない程度の長さ、側頭部は耳が隠れる程度の長さであり、HMDを頭部に装着するゴムバンドはほぼ見えない状態であった。また、無線マウスによるボタン操作の見た目の自然さとは、左手に装着した無線マウスのボタンを演者が演技中にクリックする動作が目立っていないかを表す。両評価内容について、被験者には事前に説明を行った。それぞれ5段階で回答させ、5点満点で、評価が高ければ5点、低ければ1点とした。被験者は上記の項目のみについて評価を行い、コンテンツの内容や、位置・タイミングなどの演技と映像の連動の正確さについては評価対象外であることを事前に説明した。
- 各パフォーマンスの目的と内容を以下に示す。演者の習熟の影響をなくすため、それぞれのパフォーマンスは演者が暗記に頼って演技できないように構成されている。
 - スライドを動かすパフォーマンス：前を向いた演技での評価を目的としている。演者は映像中にランダムに4方向で表示される矢印の向きを読み取り、その方向へスライドを移動させる動作とともにボタンの操作を行う。スライドは矢印の方向へ移動(図18)し、次のスライドが現れる。この演技を10回行った。スライドを動かす方向は1回の動作ごとにランダムに決定されるため、演者は演技動作ごとに映像を確認する必要がある。
 - ボーリングパフォーマンス：映像から離れ、実物を扱う演技での評価を目的としている。演者は離れた位置から実物のバスケットボールを転がし、ボールがスクリーンに表示されたピンの前を通過する際にボタン操作で映像中のピンを倒す。この演技(図19)を3回行った。なお、映像と演者の距離は約3mであったが、遠く離れた状況を再現するため、スクリーンの映像を縮小し、縦約1.2m、横約1.6mのサイズで、下端が床から約10cmの位置に投影した。演者は毎回の演技動作ごとにボールが映像中のピン

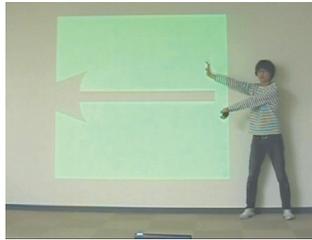


図 18 スライドを動かすパフォーマンス
Fig. 18 The moving picture performance.



図 19 ボーリングパフォーマンス
Fig. 19 The bowling performance.



図 20 シャボン玉パフォーマンス
Fig. 20 The soap bubble performance.

の前を通過するタイミングを提示映像を見て確認する必要がある。

- シャボン玉パフォーマンス：映像に密着した演技での評価を目的としている。演者は映像中のランダムな位置に表示された円に近づき、息を吹きかける動作とともにボタンの操作を行い、口からシャボン玉を吹き出す演技（図 20）をする。この演技を 3 回行った。シャボン玉が発生する位置はランダムに決定されるため、演者は演技動作ごとに提示映像を確認する必要がある。

5.2.1 実験結果

アンケート結果を表 7、表 8、表 9、表 10 に示す。スライドを動かすパフォーマンスとボーリングパフォーマンスでは、装置別、内容別の両方で有意差は確認できなかった。よって、前を向いて行うパフォーマンスや、映像から離れて行うパフォーマンスでは、据え置きディスプレイと HMD の両方で自然に映像を確認できるといえる。一方、シャボン玉パフォーマンスでは、提示内容による差はないが、提示装置別では、ディスプレイの点数が低く、HMD の点数が高くなった。これは、演者はシャボン玉を吹く演技をする際に、スク

表 7 パフォーマンス別の映像を確認する自然さ
Table 7 The naturalness by performances.

	HMD		据え置き	
	ステージ用映像	カメラ映像	ステージ用映像	カメラ映像
スライドを動かす	4.1	4.2	4.0	3.9
ボーリング	4.2	3.8	3.5	4.1
シャボン玉	4.1	4.1	3.4	3.1

表 8 提示装置別の映像を確認する自然さ
Table 8 The naturalness by devices.

	HMD	据え置き	有意差
スライドを動かす	4.1	4.0	なし
ボーリング	4.0	3.8	なし
シャボン玉	4.1	3.3	あり

表 9 提示内容別の映像を確認する自然さ
Table 9 The naturalness by contents.

	ステージ用映像	カメラ映像	有意差
スライドを動かす	4.0	4.1	なし
ボーリング	3.8	3.9	なし
シャボン玉	3.8	3.6	なし

表 10 見た目の自然さ
Table 10 The naturalness in appearance.

	自然さ
HMD 装着による見た目の自然さ	3.4
無線マウスでの操作の見た目の自然さ	4.4

リーンに密着して横を向いて演技を行うため、ディスプレイの方向に自然に視線を動かすのが困難であることが原因と考えられる。よって、映像に密着して演技を行う際は、HMD が据え置きディスプレイよりも優れているといえる。

全体を通して、HMD を使用した場合の見た目の自然さは 5 点満点で平均 3.4 点となり、今後の小型化や、コンタクトレンズ型 HMD の開発が期待される。無線マウスを使ったボタン操作の自然さは 5 点満点で平均 4.4 点となり、自然な操作ができていたといえる。ボタン操作では演技の種類に限界があるが、センサなどに比べて確実な操作が可能で、見た目にも問題がないため、シンプルなパフォーマンスなどでは十分に活用できるといえる。今回の

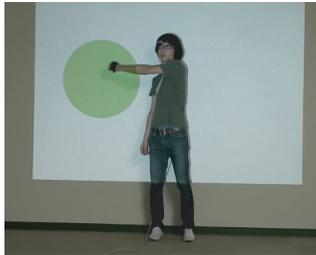


図 21 円を叩く動作

Fig. 21 A motion of hitting a circle.

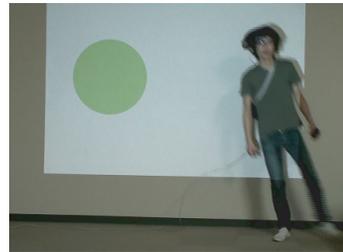


図 22 反復横跳びを追加した場合

Fig. 22 Additional movements of side steps.



図 23 左右のターンを追加した場合

Fig. 23 Additional movements of turns.

実験では据え置きディスプレイは1台での使用であったが、今後は複数台設置した場合についても調査し、HMD との比較を行っていく予定である。

5.3 使用デバイスが演技に与える影響の評価

装着、接続したデバイスが演技動作に与える影響を調べるため、被験者に演技を行わせてアンケートにより評価を行った。実験環境は、5.2 節のゲームを使用した実験において HMD を使用した場合と同様で、被験者は HMD と無線マウスを装着してスクリーンの前に立ち、前向きで演技を行う。演者は HMD の映像を元に、スクリーンの左右どちらかにランダムに表示された円を確認し、図 21 のように円を叩く動作を行い、同時に無線マウスのボタンをクリックする。これを 20 回繰り返す。動きの激しさの影響を調べるため、追加動作として、叩く動作を行う前に、図 22 のように、左右に 1 往復の反復横跳びを行う場合と、図 23 のように左右交互に 1 度ずつターンを行う場合も評価を行った。被験者は 5 名とし、演技後に、HMD の装着が演技の障害に感じたかを、5 点満点でアンケートにより回答させた。点

表 11 装着デバイスが演技に与える影響

Table 11 The effect of using device for performance movement.

	HMD の装着が演技に与える影響
追加動作なし	4.8
反復横跳びを追加	3.8
ターンを追加	4.0



図 24 傘を使った演技

Fig. 24 The action of using an umbrella.



図 25 背後から来たオブジェクトを避ける様子

Fig. 25 The action of avoiding an object from backward.

数は高いほど演技に影響がなく、点数が低いほど HMD が邪魔になっているとした。なお、HMD にはスクリーンと同じ映像を提示した。

実験結果を表 11 に示す。追加動作なしの場合は満点に近い点数となり、追加動作ありの 2 つは、なしの場合に比べるとやや低い点数であるもののおよそ 4 点となっており、演技に対して大きな影響があるとはいえない。したがって、HMD は、きちんと装着されていれば、激しい動きをした場合でも十分に使用可能であるといえる。今回は現行のデバイスが与える影響について評価を行ったが、今後は HMD の小型・軽量化が進み、より演技に適したタイプが使用可能になると考えられる。

6. 実 運 用

提案システムの有用性を検証するために、5 度のパフォーマンスを行った。本論文では 2009 年 12 月 12 日に行った神戸ルミナリエイベントステージでのパフォーマンスについて述べる。本運用では HMD に表示する映像としてステージ用映像を使用した。内容は、演者の口や手からシャボン玉を吹き出す演技や、実際の傘を使用して雨の中を歩いているように見せる演技などを行った(図 24)。また、司会者のナレーションに合わせて簡単なス



図 26 観客側を向いたまま行う演技
Fig. 26 The action toward audiences.

テムの説明を行い、演者の背後から移動してくるオブジェクトを避けることができるなど、システムのメリットを紹介する演技も行った(図 25)。

演者は HMD の映像を元に、観客側を向いたまま演技をしたり(図 26)、図 24 のようにスクリーンと平行方向に視線を向けたまま、映像の変化の様子を確認したりして演技ができた。課題として、左手には映像の操作に使用する無線マウスを装着しており、ボタンの誤操作を防ぐために、思いきって大きな動作ができないことがあった。今後は、演技の動作に影響を与えない映像操作手法への改良が必要である。

7. おわりに

本研究では、映像と連動したインタクティブパフォーマンスにおける演者支援システムを構築し、評価を行った。提案システムは、演者の位置や姿勢によらず、つねに映像を確認しながら演技を行うことができ、観客側を向いたままの演技など、従来難しかった状況での演技が可能となる。また、リアルタイムに映像を確認できることで、映像の変化と演者の動作の間²⁵⁾が制御可能になったといえる。評価実験により、据え置きディスプレイと比べて、映像を確認する自然さの点で、HMD の使用が有利である場合があると確認できた。

今後の課題として、映像がステージ後方以外に表示されている場合についての提案システムの有効性の確認があげられる。また、提案手法に適したコンテンツの検討や、提案手法を用いて新たなパフォーマンスを創出する試みを行っていく予定である。演者への提示内容についても、映像中の物体の強調表示などより豊かな支援を考えていく予定である、さらに、イヤホンなど他の情報提示デバイスと連携させることで、より高度な支援を目指す。

参考文献

- 1) 本村健太: メディアアートとしての VJ 表現の可能性: インタラクティブ映像メディア表現の考察, 電子情報通信学会技術研究報告(マルチメディア・仮想環境基礎), Vol.105, No.162, pp.25-30 (2005).
- 2) Fukuchi, K., Mertens, S. and Tannenbaum, E.: EffectTV: A real-time software video effect processor for entertainment, *Proc. 3rd International Conference on Entertainment Computing (ICEC 2004)*, pp.602-605 (2004).
- 3) Krueger, M.W., Gionfriddo, T. and Hinrichsen, K.: VIDEOPLACE: An artificial reality, *ACM SIGCHI Bulletin*, Vol.16, Issue 4, pp.35-40 (1985).
- 4) Maynes-Aminzade, D., Pausch, R. and Seitz, S.: Techniques for interactive audience participation, *Proc. 4th International Conference on Multimodal Interfaces (ICMI 2002)*, pp.15-20 (2002).
- 5) 高橋溪太郎: 映像, 音楽, パフォーマンスの, インタラクティブアートの考察, 情報処理学会研究報告(第 77 回音楽情報科学研究会), Vol.2008, No.89, pp.11-16 (2008).
- 6) 李 敬美, 中村滋延: 作品解説: 韓国伝統打楽器チャングを用いたインタラクティブ作品, 情報処理学会研究報告(第 77 回音楽情報科学研究会), Vol.2008, No.89, pp.17-20 (2008).
- 7) 小林賢太郎: KENTARO KOBAYASHI LIVE 『POTSUNEN』 & 『 ~maru~ 』, ポニーキャニオン, DVD (2007).
- 8) LATERNA MAGIKA: LATERNA MAGIKA Úvod (online). <http://www.laterna.cz/> (accessed 2010-08-06)
- 9) messa di voce: messa di voce (online). <http://www.tmema.org/messa/messa.html> (accessed 2010-08-06)
- 10) 日本テレビ: エンタの神様, 日テレ・ホームページ(オンライン). <http://www.ntv.co.jp/enta/> (参照 2010-08-06)
- 11) 渡邊淳司: VR 技術の舞台芸術への応用, 日本バーチャルリアリティ学会誌, Vol.9, No.1, pp.25-27 (2004).
- 12) 牧 成一, 竹川佳成, 寺田 努, 塚本昌彦: ダンスパフォーマンスのための動作に基づく映像効果制御システム, 情報処理学会研究報告(2009-EC-12), Vol.2009, No.26, pp.53-58 (2009).
- 13) Dumb Type: Dumb Type (online). <http://dumbtype.com/> (accessed 2010-08-06)
- 14) Jebara, T., Eyster, C., Weaver, J., Starner, T. and Pentland, A.: Stochastic: Augmenting the Billiards Experience with Probabilistic Vision and Wearable Computers, *Proc. International Symposium on Wearable Computers (ISWC '97)*, pp.138-145 (1997).
- 15) 板生知子, 塚本昌彦: ウェアラブル司会プロジェクト: ウェアラブル機器を用いた学会の司会進行, 情報処理学会研究報告(ヒューマンインタフェース研究会報告), Vol.2003,

No.69, pp.5-12 (2003).

- 16) ウェアラブルコンピュータ研究開発機構：おそらく世界初!? ウェアラブルによるパーソナル音楽ライブのサポート，チームつかもと会報誌「ウェアラブルでいこう」，Vol.00 (2004).
- 17) ウェアラブルコンピュータ研究開発機構：サンプラザ中野ライブでウェアラブルが登場，チームつかもと会報誌「ウェアラブルでいこう」，Vol.01 (2004).
- 18) 日本放送協会 (NHK)：番組作りに活躍するもの，こども放送探検ランド (オンライン). http://www.nhk.or.jp/kodomo-land/yellow/yellow_katuyaku.html/ (参照 2010-08-06)
- 19) 深谷崇史，藤掛英夫，山内結子，三ツ峰秀樹：間欠投射映像を用いた番組出演者への情報提示，映像情報メディア学会誌，Vol.59, No.2, pp.257-264 (2005).
- 20) Birch, D.: Valentino (Official Music Video), S-Curve Records (2009).
- 21) StudioAzzurro: GALILEO STUDI PER L'INFERNO (online). http://www.studioazzurro.com/opere/teatro/galileo_studi_per_l.inferno (accessed 2010-08-06)
- 22) ソリッドレイ研究所：タップトークとは？，インタラクティブ映像タップトーク (オンライン). <http://www.taptalk.jp/TTtoha.html/> (参照 2010-08-06)
- 23) TrioTech Amusement Inc.: UFO Stomper, TRIOTECH WEBSITE (online). <http://www.highwaygames.com/products/view.php?id=3432> (accessed 2010-08-06)
- 24) Fry, B. and Reas, C.: Processing, Processing.org (online). <http://processing.org/> (accessed 2010-08-06)
- 25) 平田オリザ：演技と演出，講談社現代新書 (2004).

(平成 22 年 1 月 14 日受付)

(平成 22 年 9 月 17 日採録)



池田 惇

2009 年神戸大学工学部電気電子工学科卒業。同年より同大学院工学研究科電気電子工学専攻博士前期課程。現在に至る。エンタテインメントコンピュータ・ウェアラブルコンピュータに興味を持つ。



竹川 佳成 (正会員)

2003 年三重大学工学部情報工学科卒業。2005 年大阪大学大学院情報科学研究科修士課程修了。2007 年同大学院情報科学研究科博士課程修了。同年より神戸大学自然科学系先端融合研究環重点研究部助教。現在に至る。2007 年より CrestMuse プロジェクト共同研究員を兼任。博士 (情報科学)。音楽情報科学，ウェアラブルコンピューティングの研究に従事。



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を兼務。博士 (工学)。アクティブデータベース，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 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タ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。