

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2013

課題番号：22300043

研究課題名(和文)ウェアラブル環境における視覚情報支援のための超広視野頭部搭載映像装置に関する研究

研究課題名(英文)A Study on Wide View Head Mounted Imaging Devices for Wearable Information Assistance

研究代表者

清川 清(Kiyokawa, Kiyoshi)

大阪大学・サイバーメディアセンター・准教授

研究者番号：60358869

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,000,000円、(間接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：ウェアラブル環境で広視野への情報提示が可能なシースルーHMDを開発した。再帰反射性と光学透過性を両立する(再帰透過)新たなスクリーンを開発し、従来手法をウェアラブル環境に対応させた。また、超広視野での視線検出と利用者視点映像撮影を同時に実現する、超広視野頭部搭載ステレオアイカメラを開発した。さらに、実現した頭部搭載デバイスを用い、実際に広視野の情報提示の有効性や適切な情報レイアウト手法などについて評価実験を行った。本研究の成果は今後のウェアラブル映像機器の研究開発に有益な指針を与える。

研究成果の概要(英文)：We have built a wide field of view augmented reality display and a wide field of view stereo eye camera, that enable a next level of information display and processing in a mobile environment. We also conducted a variety types of experiments and validated the effectiveness of our proposed systems over existing ones. For example, experimental results show that depending on display method, search performance either drops or increases gradually up to 100 degrees of field of view. This suggests that a rapid turning point in performance exists at approximately 120 degrees of field of view. Results also indicate that users exhibited lower discovery rates for targets appearing in peripheral vision, and that there is little impact of field of view on response time and workload.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：ウェアラブル機器 映像提示装置 撮像装置 行動支援

1. 研究開始当初の背景

計算機を「身につけて」様々な IT サービスを享受するウェアラブルコンピューティングでは、光学透過型頭部搭載ディスプレイ（シースルーHMD）がよく利用される。シースルーHMDにより、目下の作業を中断せず計算機を利用でき、実物体に関連情報を重畳する拡張現実（AR）も実現できる。しかし、ソニーやオリンパスなど一般のシースルーHMDは中心視野付近の水平視野角 30～60 度程度の極めて限られた領域にしか情報提示できないという大きな問題がある（図 1 上）。Sensics 社 piSight など、非透過の閉塞型 HMD では水平視野角 180 度に及ぶものがあるが、シースルーでは Link Sim.&Train.社 A-HMD の同 110 度程度が最高である。

本来、人は水平 200 度垂直 125 度の極めて広い視野を備え、周辺視野は状況把握や行動決定に重要な役割を担う。ウェアラブル環境でも、周辺視野まで情報提示できれば様々な利点が得られる（図 1 下）。例えば、全視界に AR による情報重畳ができ、道案内や監視などの実環境作業の効率や安全性を向上できる。また、視覚の受容感度を考慮し、重要な情報を中心視野に、そうでない情報を周辺視野に配する、といった柔軟な情報提示ができる。

一方、ウェアラブル環境では入力装置を手に把持しない情報操作手法が望まれる。特に、利用者の視線や手指動作などが利用できれば直感的なインタフェースを構築できる。従来、カメラによる視線や手指を用いたインタフェースが多数提案されているが、カメラ画角が狭く手を自由に動かせない、視線検出が広視野でできない、注視先の映像を広視野で取得できない、などの問題があった。

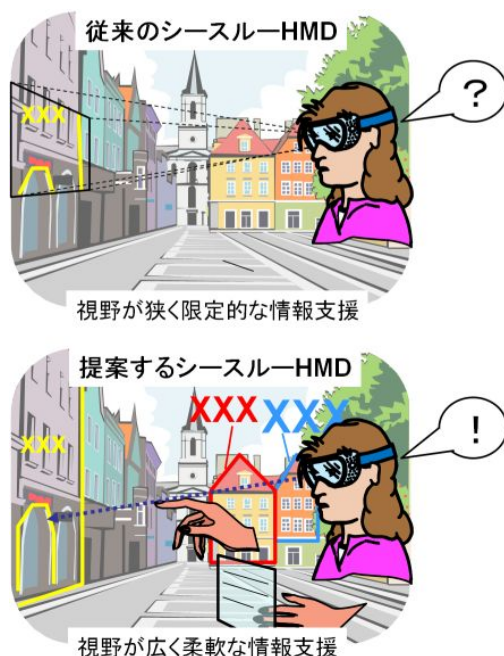


図 1: ウェアラブル超広視野情報支援

2. 研究の目的

本課題では、ウェアラブル環境で全視野への情報提示が可能で、視線や手指を広範囲に動かしての直感的操作が可能なシースルーHMDを開発する。申請者はHMD技術に精通し、既に超広視野頭部搭載プロジェクタ（HHMPD）を開発している。これは壁面に配した再帰反射スクリーンに映像を投影し観察するもので、超広視野映像と周囲実環境を同時に観察できる世界初の技術である。しかし、環境にスクリーンが必要なため、一般のウェアラブル環境では利用できない。本課題では、再帰反射性と光学透過性を両立する（再帰透過）新たなスクリーンを開発し、HHMPDをウェアラブル環境に対応させる。また、申請者は既に超広視野での視線検出と利用者視点映像撮影を同時に実現する、超広視野頭部搭載カメラを開発している。本申請課題では、これを発展させ、先の再帰透過スクリーン越しに利用者視点映像を撮影可能な、新たな頭部搭載カメラを実現する。さらに、実現した頭部搭載デバイスを用い、視線や手指動作で提示情報を操作可能なユーザーインタフェースを実現する。

3. 研究の方法

項目1（表示系）、項目2（撮影系）、項目3（インタフェース系）に分け、並行して研究を実施する。

項目1では、再帰透過スクリーンの光学的性質を検討し（22年度）、有望な2種類のスクリーンを23～24年度に試作する。また、再帰透過スクリーンに適した小型投影光学系を検討し、描画アルゴリズムを実装する（23～24年度）。

項目2では、再帰透過スクリーンの存在下でも利用者視点映像を撮影できる機構を検討し（22年度）、スクリーンに合わせて2種類のカメラを23～24年度に試作する。また、視線や手指位置の検出機構を開発する（22～24年度）。

項目3では、屋外拡張現実システムを構築し（22～24年度）、VR模擬環境を用いて人の視覚特性や操作特性を調査し、視認性や重要度を考慮した情報提示や直感的操作インタフェースを実現する（22～24年度）。25年度に全体を統合し実証実験を実施する。

4. 研究成果

22年度は、表示系の研究として再帰性半透過スクリーンの検討を行い、空間分割型および時分割型の方式について映像品質評価のための試作機を製作した。その結果、単純な短冊形スクリーン構造で実映像とバーチャル映像の双方を欠損なく観察可能な再帰

性半透過スクリーンを実現できることを確認した(図2)。

また、撮影系の研究として、同試作機を通した実環境の撮影試験を行った。その結果、再帰性半透過スクリーン越しに実環境の映像を欠損なく撮影できることを確認した。また、プロジェクタとカメラを同期させ、バーチャル映像の投影と実環境の撮影を時分割するシステムを試作した。これらのシステムを統合すれば、バーチャル映像が撮影されず実環境のみが撮影される撮影系を構築できる。また、広視野視線検出のための左眼用双曲面ハーフミラーの制作を行った。既存の右眼用ハーフミラーと組み合わせて、次年度には両眼画像を利用した研究を推進する。

一方、インタフェース系の研究として、広視野映像中の手の画像から手指の姿勢を推定する手法を考案し実現した。この研究成果を発展させることで、頭部搭載型映像装置に適したジェスチャインタフェースを構築できる。さらに、視線検出手法の改善を試みアピランススペースの手法を2つ考案し実現した。その結果、30秒程度の短時間で3度程度の視線推定精度が得られることを確認した。

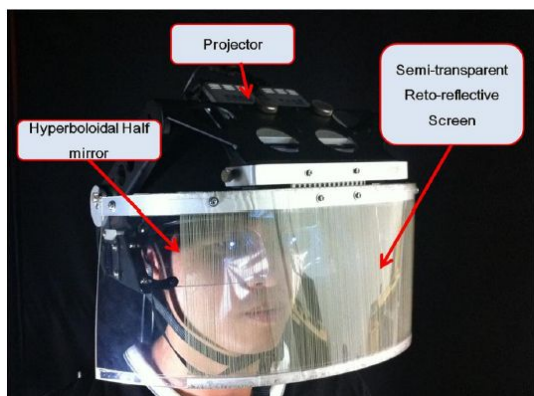


図2: 再帰性半透過スクリーンを用いた超広視野シースルー頭部搭載型ディスプレイ

23年度は、前年度に試作した、短冊構造を備える再帰性半透過スクリーンを用いて投影映像の品質評価を目的とした一連の実験を実施した。知覚距離に関する実験では、観察距離で3m程度の実物体に重畳した場合でも距離の不整合を感じることもなく投影映像を観察できることが明らかになった。換算視力に関する実験では、実環境と投影映像を同時に観察する条件下で、0.05~0.1程度の視力相当の解像力で情報提示が可能であることが明らかになった。また、周辺視野に関する実験では、水平視野角100度程度までは十分提示情報を認識できることを確認した。これらの成果に対して国際会議 ICAT2011にて最優秀論文賞を受賞した。

一方、インタフェース系の研究として、広視野シースルーHMDの利用を想定、周辺視野を有効活用した情報提示手法を検討し、その有効性を評価した。HMDの視野外の情報への

アクセスを支援する注釈提示手法を実装し、これらの注釈提示手法の有効性を没入型投影ディスプレイを用いたVR環境により評価した(図3)。実験の結果、注釈対象位置に重ねて注釈を表示する手法に比べ、紐付き注釈により注釈対象の発見率が向上することが明らかになった。また、注釈に誘目動作を与えることで、周辺視野への提示情報の認識率を向上できることが明らかになった。さらに、誘目動作の効果は視角の増大につれて小さくなることが明らかになった。オンラインで実行時にARコンテンツを追加・加工が可能なインタフェースをデスクトップPC・タブレットPCで実装した。



図3: VR環境を用いた周辺視野への情報提示の有効性評価

24年度は、表示系について、前年度までに設計・試作した超広視野再帰性透過スクリーンを用いた超広視野頭部搭載型プロジェクタに適した情報配置方針について引き続き検討し、被験者実験を実施した。実験条件としては、広視野没入型表示装置 CAVE のみを用いた場合と、実機を併用した場合の2条件で実施した。その結果、水平視野角120度まで視野が広がるほど情報発見率が向上すること、提示視野角を超える範囲の情報を視野外縁部に表示するとさらに情報発見率が向上すること、提示視野角を超える範囲の情報を視野外縁部に表示する場合は、視野角が狭いほど情報発見率がさらに向上するが、50度程度を下回る場合は目下の作業の妨げとなり主観評価が劣化すること、などが明らかになった。

撮影系について、超広視野頭部搭載型カメラについて、ステレオカメラを用いた方式への拡張を行った。また、アピランススペースの視線推定について引き続き検討し、環境の明るさにロバストな方式を考案し、試作した提案手法では、白飛びや黒つぶれなく広範囲のダイナミックレンジにおいて撮影が可能でHDRカメラを用い、さらにフレームごとに二値化閾値を動的に決定することで安定して画像処理を行うことにより、従来よりも高

精度にアピランススペースの視線推定が可能となった。

インタフェース系について、実際に屋外でHMDを用いて情報提示を行う際に、背景の明るさや輝度の均一性を考慮して、提示情報を視認しやすい表示位置を動的に変更する方式を考案し、試作した。本手法は国際会議で最優秀賞を受賞するなど、高い評価を得た。

25年度は、表示系について、前年度までに設計・試作した超広視野再帰性透過スクリーンを用いた超広視野頭部搭載型プロジェクタに適した情報配置方針について引き続き検討し、被験者実験を実施した。実験条件としては、より実際の利用シーンに近い屋外環境において、座タスク(図4)と歩行タスク(図5)を用いた。結果として、集中の必要なタスクを現実環境で行っている際に、それと関連しない情報を提示する場合であっても、水平視野角100度程度までは、正確に情報を検知できることが示された。また、情報の検知率は、目下現実環境で行っているタスクへの集中度と関連があることが示された。また、視野角の大きさは主観的な作業負荷に影響を与えないことが示された。

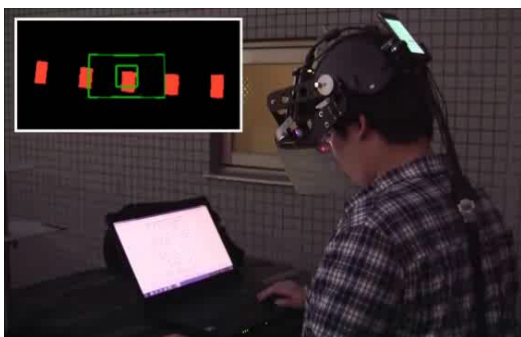


図4: 座タスクによる評価実験

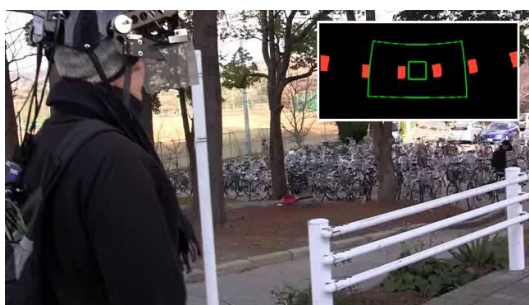


図5: 歩行タスクによる評価実験

撮影系について、前年度に引き続き、超広視野頭部搭載型カメラを用いて、アピランススペースの視線推定について検討した。学習時データのバラ付きを抑え、目を閉じているなど推定に向かない画像を自動的に削除するなどの改良を施した。

インタフェース系について、視線を用いた情報選択手法について、奥行きを用いた方法

を新たに考案し、その有効性を実験から明らかにした。具体的には、三層の表示レイヤを備える頭部搭載型ディスプレイを試作(図6)した上で、市販の小型視線推定装置を用い、注視点距離の違いにより三層の表示レイヤのうちどのレイヤを注視しているかを正しく推定できることを示した。本手法は超広視野映像装置への統合はできていないが、将来的に同様の映像装置と統合する際のインタフェース設計に関して指針を与える。

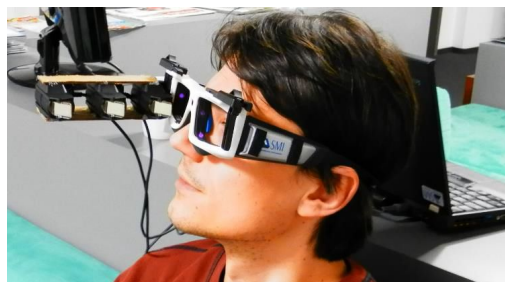


図6: 注視点距離の推定による表示レイヤの切替

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

(雑誌論文)(計 6件)

Hiroki Mori, Erika Sumiya, Tomohiro Mashita, Kiyoshi Kiyokawa, and Haruo Takemura: "A Wide-view Parallax-free Eye-mark Recorder with a Hyperboloidal Half-silvered Mirror and Appearance-based Gaze Estimation", IEEE Transaction on Visualization and Computer Graphics, IEEE Computer Society Digital Library, <<http://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/TVCG.2010.113>>, Nov. 2010.

清川 清, "未来のメガネを創る", 生産と技術, Vol. 64, No. 1, pp.36-39, 2012.

Jason Orlosky, Kiyoshi Kiyokawa and Haruo Takemura: "Managing Mobile Text in Head Mounted Displays: Studies on Visual Preference and Text Placement," Mobile Computing and Communications Review, 2014 (採録決定)

オーロスキ・ジェーソン, 重野孝明, 清川 清, 竹村治雄: "身体装着型 QWERTY キーボードのモバイル環境における入力速度評価", 日本バーチャルリアリティ学会 論文誌, Vol.19, No.2, 2014. (採録決定)

ゲンヴァンドウック, 清川 清, 間下以大, 竹村治雄: "再帰性半透過スクリーンを用いた広視野頭部搭載プロジェクタの実装と評価", 日本バーチャルリアリ

ティ学会 論文誌, Vol.19, No.2, 2014. (採録決定)
岸下 直弘, オーロスキ ジェーソン, 清川 清, 間下 以大, 竹村 治雄: "広視野シースルーHMD を用いた情報提示における周辺視野の影響の調査", 日本バーチャルリアリティ学会 論文誌, Vol.19, No.2, 2014. (採録決定)

[学会発表](計 件)

Atsushi Umakatsu, Tomohiro Mashita, Kiyoshi Kiyokawa and Haruo Takemura: "A 3D Reconstruction Method based on Region Segmentation for AR Diorama System," Proc. 4th Korea Japan Workshop on Mixed Reality (KJMR), Apr. 2011.

Atsushi Umakatsu, Hiroyuki Yasuhara, Tomohiro Mashita, Kiyoshi Kiyokawa and Haruo Takemura: "Camera-based In-situ 3D Modeling Techniques for AR Diorama in Ubiquitous Virtual Reality," Proc. Int. Conf. on Human-Computer Interaction (HCI International), Jul. 2011.

Duc Nguyen Van, Tomohiro Mashita, Kiyoshi Kiyokawa and Haruo Takemura, "Subjective Image Quality Assessment of a Wide-view Head Mounted Projective Display with a Semi-transparent Retro-reflective Screen," Proc. the 21st International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT 2011), Nov. 2011.

Takayuki Ohnishi, Kiyoshi Kiyokawa and Haruo Takemura, "Virtual Interaction Surface: Decoupling of Interaction and View Dimensions for Flexible Indirect 3D Interaction," Proc. the 7th IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI 2012), Mar. 2012.

Kiyoshi Kiyokawa, "Trends and Visions of Head Mounted Displays for Augmented Reality," Invited Talk at Johannes Kepler University Linz, (Johannes Kepler University Linz (via a video conf. system), Oct. 2011.

Kiyoshi Kiyokawa, "Display Technology for AR," International Display Workshops (IDW) 2011, Invited Talk (名古屋国際会議場, 名古屋, Dec. 2011.

Kiyoshi Kiyokawa, "Trends and Vision of Head Mounted Displays," Invited Talk at International Symposium on Ubiquitous Virtual Reality (ISUVR) 2012, Aug. 2012.

Kiyoshi Kiyokawa, "Video Analysis for Augmented and Mixed Reality," Invited Talk at JAFoE 2012 (日本工学アカデミー 日米先端工学シンポジウム), Oct.

2012.

Duc Nguyen Van, Tomohiro Mashita, Kiyoshi Kiyokawa and Haruo Takemura, "Subjective Evaluations on Perceptual Depth of Stereo Image and Effective Field of View of a Wide-View Head Mounted Projective Display with a Semi-Transparent Retro-Reflective Screen," Proc. IEEE Int. Symp. on Mixed Augmented Reality (ISMAR), Nov. 2012.
Naohiro Kishishita, Jason Orlosky, Tomohiro Mashita, Kiyoshi Kiyokawa and Haruo Takemura, "Investigation on the Peripheral Visual Field for Information Display with Real and Virtual Wide Field-of-view See-through HMDs," Proc. the 8th IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI 2013), Mar. 2013.

Jason Orlosky, Kiyoshi Kiyokawa and Haruo Takemura, "Dynamic Text Management for See-through Wearable and Heads-up Display Systems," Proc. ACM Int. Conf. on Intelligent User Interfaces (IUI 2013), Mar. 2013.

Jason Orlosky, Kiyoshi Kiyokawa, Haruo Takemura, "Automated Text Management for Wearable and See-through Display Systems," Proc. 6th Korea Japan Workshop on Mixed Reality (KJMR), Apr. 2013.

Jason Orlosky, Kiyoshi Kiyokawa and Haruo Takemura, "Towards Intelligent View Management: A Study of Manual Text Placement Tendencies in Mobile Environments Using Video See-through Displays," Proc. IEEE Int. Symp. on Mixed Augmented Reality (ISMAR), Oct. 2013.

Kiyoshi Kiyokawa, "Designing, Implementing and Evaluating Wide-view Optical See-through Head Mounted Displays," Qualcomm Augmented Reality Lecture Series in Vienna, Feb. 2014.
Kiyoshi Kiyokawa, "Trends and Visions of Head Mounted Display Technologies," The Winter Augmented Reality Meeting (WARM) 2014, Feb. 2014.

Takumi Toyama, Jason Orlosky, Daniel Sonntag and Kiyoshi Kiyokawa, "A natural interface for multi-focal plane head mounted displays using 3D gaze," Proc. of the 12th International Conference on Advanced Visual Interfaces (AVI) 2014, May, 2014.

國貞 智治, 間下 以大, 清川 清, 竹村 治雄: "全方位視覚センサとLEDを用いた円筒形入力デバイスのための手指姿勢推定法", ヒューマンインタフェースシンポジウム 2010 講演論文集, 3423, Sep.

2010.
 森島 茂貴, 閻下 以大, 清川 清, 竹村 治雄: "遠隔協調作業支援のための装着型 ProCam システムを用いた三次元再構築", 電子情報通信学会 技術研究報告, MVE2010-75, Jan. 2011.
 ゲン ヴァン ドック, 閻下 以大, 清川 清, 竹村 治雄: "双曲面ハーフミラーを用いた広視野頭部搭載プロジェクタのための再帰性半透過スクリーンの検討", 電子情報通信学会 技術研究報告, MVE2010-119, Jan. 2011.
 馬勝 淳史, 閻下 以大, 清川 清, 竹村 治雄: "AR ジオラマにおける前景抽出インタフェースを用いた三次元形状復元手法", 情報処理学会 研究報告, CVIM177-21, May, 2011.
- 21 安原 広幸, 閻下 以大, 清川 清, 竹村 治雄: "AR ジオラマにおける特徴点の可視性に基づく四面体カービングによる三次元形状復元手法", 情報処理学会 研究報告, CVIM177-20, May, 2011.
- 22 Nicholas Katakakis, Masahiko Hori, Kiyoshi Kiyokawa, and Haruo Takemura: "Smartphone Game Controller," Human Interface Society, SIG-VR Workshop, Technical Report, June, 2011.
- 23 馬勝 淳史, 閻下 以大, 清川 清, 竹村 治雄: "AR ジオラマにおける領域分割に基づく三次元形状復元手法", 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU) 講演論文集, Jul. 2011.
- 24 清川 清: "拡張現実感のためのヘッドマウントディスプレイ技術の動向と展望", 電気学会 電子・情報・システム部門大会シンポジウム スマートユビキタスディスプレイ技術, 富山大学, Sep. 2011.
- 25 ゲンヴァンドック, 清川 清, 竹村 治雄, "再帰性半透過スクリーンを用いた広視野頭部搭載プロジェクタにおける映像品質の主観評価", ヒューマンインタフェースシンポジウム 2011 講演論文集, 1213L, Sep. 2011.
- 26 清川 清: "MR・AR用ディスプレイの研究動向," 第16回日本バーチャルリアリティ学会大会チュートリアル, 公立はこだて未来大学, 函館, Sep. 2011.
- 27 大西 崇之, 清川 清, 竹村 治雄, "マルチタッチデバイスを用いた三次元インタラクションのための仮想操作曲面の提案", 日本バーチャルリアリティ学会研究報告 (SIG-VR), Vol. 16, pp. 39-42, Oct. 2011.
- 28 安原 広幸, 閻下 以大, 清川 清, 竹村 治雄, "AR ジオラマにおける四面体カービングを用いた三次元形状復元手法", 電子情報通信学会 技術研究報告, MVE2011-48, Oct. 2011.
- 29 清川 清: "AR用HMDのしくみと応用," ウェアラブルコンピュータ研究開発機構, 上田安子服飾専門学校本館, 大阪, Jun. 2012.
- 30 岸下 直弘, 閻下 以大, 清川 清, 竹村 治雄, "広視野シースルーHMDによる情報提示のための VR 環境を用いた周辺視野の影響の調査", 電子情報通信学会技術研究報告, MVE2012-23, Jun. 2012.
- 31 岸下 直弘, オーロス キューソン, 閻下 以大, 清川 清, 竹村 治雄: "屋外 AR のための広視野シースルー HMDにおける周辺視野の影響の調査", 日本バーチャルリアリティ学会 大会論文集, Vol. 18, Sep. 2013.
- 32 清川 清: "HMDを用いた3Dインタラクション", 第18回日本バーチャルリアリティ学会トレイグジスタンス研究委員会オーガナイズドセッション, グランフロント大阪, 大阪, Sep. 2013.
- 33 清川 清: "HMD で変わるコンテンツの未来", デジタルコンテンツ EXPO 2013, 日本科学未来館, Oct. 2013.
- 34 清川 清: "拡張現実のための広視野ヘッドマウントディスプレイ", 超臨場感コミュニケーション産学官フォーラム (URCF) セミナー, テレコム先端技術研究支援センター, Jan. 2014.
- 35 清川 清: "AR 向け HMD の動向 - 広視野 HMD は必要か?", ウェアラブルコンピュータ研究開発機構 HMD ミーティング, グランフロント大阪, 大阪, Apr. 2014.
- 〔図書〕(計1件)
 清川 清 他: "プロジェクターの最新技術 II", シーエムシー出版, Dec. 2010.
 蔵田武志, 清川 清 (監修): "AR (拡張現実) の基礎・発展・実践", 科学技術出版, 2014 (発刊予定)
- 〔産業財産権〕
 出願状況 (計0件)
- 〔その他〕
 特になし
6. 研究組織
 (1) 研究代表者
 清川 清 (KIYOKAWA, Kiyoshi)
 大阪大学・サイバーメディアセンター・准教授
 研究者番号: 60358869
- (2) 研究分担者
 閻下 以大 (MASHITA, Tomohiro)
 大阪大学・サイバーメディアセンター・講師
 研究者番号: 00467606