

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 5 日現在

機関番号：24402

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560410

研究課題名(和文) 協調作業ツールとしての触覚表現を伴った全周表示3次元ディスプレイの開発

研究課題名(英文) Development of a 360-degree three-dimensional display with haptic information as a tool for cooperation working

研究代表者

高橋 秀也 (TAKAHASHI, Hideya)

大阪市立大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：30197165

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：複数の人が協調しながら効果的に作業を行うことができるように、協調作業用のツールとしての触覚表現を伴った3次元像をインタラクティブに操作できる基本的なシステムを開発した。提案システムは、全周表示3次元ディスプレイ、触覚表現装置、3次元カメラによって構成され、カメラ入力された実在する物体の触覚表現を伴った3次元像を表示できる。試作システムの視域角は144°で、幅と奥行きが43mm、高さ50mmの3次元像を表示できる。

研究成果の概要(英文)：We developed a basic system of a 360-degree three-dimensional display with haptic information as a tool for cooperation working. The proposed system consists of a 360-degree three-dimensional display, a haptic device and a three-dimensional camera system. The three-dimensional display which constitutes of this system is a type of the light field display using holographic optical elements and flat panel displays. The three-dimensional camera system captures the three-dimensional information and the normal camera image of the target. The viewing angle of the prototype system is 144 deg, and the size of display area is 43 mm x 43 mm x 50 mm. This system is useful for applications in which several people work together to perform tasks with a multiplier effect.

研究分野：3次元画像入出力

キーワード：3次元表示 光線再生 全周表示3次元ディスプレイ カメラアレイ バーチャルリアリティ ユーザインタフェース

### 1. 研究開始当初の背景

これまで、多くの3次元ディスプレイに関する研究が行われてきたが、せつかくの3次元表示であるにもかかわらず、ディスプレイの正面である一方向から観察するものが多く、表示された物体の3次元像を周囲のいろいろな方向から観察できるものは実現されていなかった。つまりこれまでの3次元ディスプレイでは、表示された物体の裏側を見るためには、従来の2次元ディスプレイで行ってきたように、表示された物体を回転させる必要があった。また、たとえ表示物体を回転させながらいろいろな方向から観察できても、複数の観察者が同時に様々な方向から観察することは不可能であった。このことは、3次元ディスプレイが切望されている医療応用や設計・デザインなどの分野において、複数の人が3次元表示された物体を同時に様々な方向から観察し、協調しながら作業を行う用途に、あえて3次元ディスプレイを導入する効果がない理由であった。

この問題を解決するために、本研究では、これまでに我々が研究してきた、複数の人が3次元表示された物体を同時に様々な方向から観察できる全周表示3次元ディスプレイを発展させ、これに観察者が表示像に触れるような感覚を持てる機能を付加することにより、複数の人が協調しながら効果的に作業を行うことを可能とする、触覚表現を伴った3次元像をインタラクティブに操作できるシステムを提案した。

研究開発当初では、全周表示が可能な3次元ディスプレイは、国内外においてわずかではあるが提案されていたが、協調作業のためのツールを意識したものはわずかで、その用途は表示用に限定されているなど、触覚表現を伴ったものはなく、表示された3次元像に触ることができないなど、協調作業のためのツールとしては問題があった。さらに、3次元カメラによって撮影された物体の3次元像に観察者が触れることが可能なインタラクティブな全周表示システムに関しても、国内外で研究されていない。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、協調作業空間となるテーブルそのものが全周表示可能な平面の3次元ディスプレイでできており、テーブル状のディスプレイを取り囲んだ複数の人が、インタラクティブに触覚表現を伴った表示像を操りながら協調作業を行うためのツールを開発することである。

提案システムは、全周表示3次元ディスプレイ、触覚表現装置、3次元カメラによって構成し、実在する物体を再現した3次元像にあわせて触覚表現を可能とする。

我々はこれまでに、視差光線再生方式を用いた全周表示3次元表示システムの原理を確立し、また視差画像データのみから実際に存在する物体の視差光線データを得る手法

を確立し、これを用いた3次元カメラシステムを構築した。

そこで本研究では、これまでの研究成果に基づき、全周表示3次元ディスプレイ、3次元カメラ、力覚表示装置を組み合わせ、観察者が表示像に触れるような感覚を得ながら表示像を操作できる、触覚表現を伴った全周表示3次元ディスプレイの開発を目的とした。具体的には、3次元表示像の表現力を高めるために、全周表示3次元ディスプレイを改良して再生可能な光線数を増やし(3次元像の高解像度化)、3次元カメラで撮影された実写データから再生された3次元表示像にあわせて触覚表現を可能とするために、3次元カメラによって取得した物体の立体情報(通常画像と距離画像)を触覚情報に変換する手法を確立することも目的とした。

### 3. 研究の方法

本研究では、これまでの研究成果に基づき、全周表示3次元ディスプレイおよび3次元カメラと力覚表示装置を組み合わせ、観察者が表示像に触れるような感覚を持てるように、触覚表現を伴った3次元像をインタラクティブに操作できる、触覚表現を伴った全周表示3次元ディスプレイを開発する。具体的には、全周表示3次元ディスプレイを改良して再生可能な光線数を増やし、3次元表示像の表現力を高める(3次元像の高解像度化)。また、3次元カメラによって取得した物体の立体情報を触覚情報に変換する手法を確立し、3次元カメラ(通常の画像と距離画像の同時取得)で撮影された実写データから再生された3次元表示像にあわせて触覚表現を可能とする。以下に、具体的な方法について年度ごとに述べる。

(1) 平成24年度は、以下の項目について研究を行った。

- ① 本研究で用いた全周表示3次元ディスプレイの方式は、ホログラフィック光学素子(HOE)と2次元ディスプレイを組み合わせた構成で光線を再生しているため、3次元像の画質や飛び出し量が、個々のHOEレンズに対応する2次元ディスプレイの画素数(再生光線数)に依存するところが大きい。3次元画像の高解像度化のために、小型高精細液晶ディスプレイに改良したHOEを貼り付けることで、全周表示システム用の基本ディスプレイユニットを実現した。
- ② ①で実現した基本ディスプレイユニットを円周状に組み合わせて全周表示システムを構成するため、各ディスプレイからの光線によって表示される3次元像を正確に3次元空間で位置合わせする手法を確立した。

(2) 平成25年度は、以下の項目について研究を行った。

- ① 平成24年度に得られた知見をもとに、基本ディスプレイユニットを用いて、全周表示に最適なディスプレイユニットの台数を検討し、平成24年度に構築したシステムを全周表示システム(一部分)に発展させた。
  - ② これまでに我々が提案した3次元ディスプレイのためのカメラ入力システムを、平成25年度に試作する全周表示3次元ディスプレイに必要な光線データを獲得できるように発展させた。また、3次元カメラによって撮影された実写データから再生された3次元表示像にあわせた触覚表現を可能とするために、3次元カメラ(通常の画像と距離画像の同時取得)によって取得した物体の立体情報を触覚情報に変換する手法を確立した。
- (3) 平成26年度は、以下の項目について研究を行った。
- ① 平成25年度に実現した全周表示システムと平成25年度に試作した3次元カメラシステムおよび力覚表示装置を組み合わせ、3次元表示と触覚情報を連携させる手法を確立した。

#### 4. 研究成果

3次元表示像の表現力を高めるために、全周表示3次元ディスプレイの再生可能な光線数を増やし(3次元像の高解像度化)、力覚提示装置との組み合わせを可能とするために、全周表示ディスプレイの上方に3次元像を表示する改良を行った。また、3次元カメラで撮影された実写データから再生された3次元表示像にあわせて触覚表現を可能とするために、3次元カメラによって取得した物体の立体情報(通常画像と距離画像)を触覚情報に変換する手法を確立し、実写データから再生された3次元表示像にあわせた触覚表現を可能とした。

(1) 全周表示3次元ディスプレイによる表示像の高解像度化と表示位置の改善

- ① 小型高精細液晶ディスプレイを個々のHOEに貼り付けることにより、我々がこれまでに開発していた全周表示3次元ディスプレイの高解像度化を行った。試作した3次元ディスプレイユニットは、視域角  $18.5^\circ$ 、3次元画素サイズ  $0.64\text{mm} \times 0.47\text{mm}$ 、ディスプレイユニットから3次元像までの距離  $613.2\text{mm}$  である。ディスプレイユニットから3次元像までの距離は、複数のディスプレイユニットを円周状に組み合わせる場合の半径に対応し、システム構築の容易さから長い方が望ましいが、ディスプレイの中心での光線密度が下がるため、表示像の画質を落とさずに全周3次元ディスプレイの半径を大きくすることが困難であった。本研究では、リレー光学系を応用することで、デ

ィスプレイ中心での光線密度を下げることなく所望の距離を実現できた。また、全周から観察できるディスプレイを構築するためには、各ディスプレイユニットからの光線によって表示される3次元像の位置合わせが必要であるため、試作ディスプレイユニットを8台組み合わせることにより、視域角  $148^\circ$  のシステムを構築し、3次元像の位置合わせ手法を確立した。

- ② 全周表示を行うシステムは、基本ディスプレイユニットを円周状に並べて構成されるため、表示像を触って操作できるような構造にするためには、表示される3次元像を全周表示システムの上に打ち上げる必要がある。この問題を解決するため、基本ディスプレイユニットにおいて小型高精細液晶ディスプレイに貼り付けたHOEから再生される光線の、垂直方向の射出角を斜め上方  $40^\circ$  に設定した。また基本ユニットの継ぎ目では光線がリレーレンズの周辺部を通るため、表示される3次元像が歪む問題があったが、レンズの収差を考慮して光線情報を補正することにより、継ぎ目における歪みを解消できた。試作した3次元ディスプレイユニットは、視域角(水平方向)  $18^\circ$ 、全周表示システムの半径  $465.8\text{mm}$  であり、3次元像の表示領域は、直径  $42.6\text{mm}$ 、高さ  $49.92\text{mm}$  の双円錐領域となる。全周表示に必要な基本ユニット数は20台であるが、試作システムでは8台の基本ユニットを用いて、中心角  $144^\circ$  の扇形ディスプレイを構成した。

図1に全周表示3次元ディスプレイの構成を、図2に試作システムを、図3に表示像を示す。

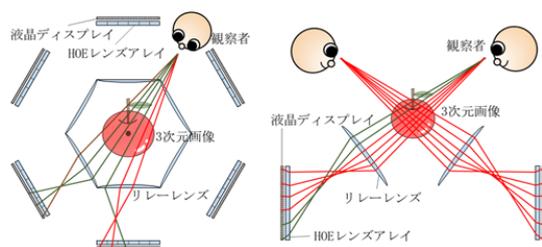


図1 全周表示3次元ディスプレイの構成



図2 全周表示3次元ディスプレイ(上面図)

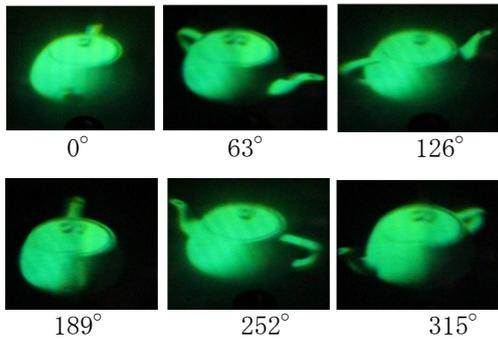


図3 全周表示3次元像

(2) 全周表示ディスプレイ用3次元入力カメラシステムの開発

全周表示3次元ディスプレイに必要な光線情報と物体の形状等の情報を獲得するために、3次元カメラ（通常の画像と距離画像を同時取得できるカメラ）を用いるシステムを試作した。試作システムは、6台の3次元カメラを円周状に60°間隔で配置し、円周の中心に位置する物体の光線情報と形状等の3次元情報を取得できる。図4に試作カメラシステムを示す。



図4 試作3次元入力カメラ

(3) 3次元ディスプレイのインタラクティブ化

力覚表示装置の可動範囲の制限から、3次元ディスプレイは中心角144°の扇形システムの構成とした。これに伴い、3次元カメラを被写体の周囲180°の情報を取得可能とする3台のカメラ構成とした。3次元カメラで取得した情報から3次元表示用の3次元データと力覚表示装置用の触覚情報を生成し、3次元表示像と触覚情報の空間提示位置を一致させる手法を確立した。力覚表示装置の制限から、全周システムではなく扇形システムとなったが、3次元表示システムおよび3次元カメラの仕様は全周システムに対応できるため、力覚表示装置を改善することにより、当初の目的は達成できると考えられる。図5に、試作した触覚表現を伴った3次元ディスプレイを示す。

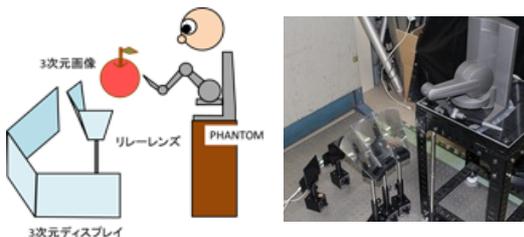


図5 触覚表現を伴った3次元ディスプレイ

(4) 得られた成果の国内外における位置づけとインパクトおよび今後の展望

本研究で実現した触覚表現を伴った全周表示3次元ディスプレイは、協調作業空間となるテーブルそのものが全周表示可能な平面の3次元ディスプレイでできており、テーブル（3次元ディスプレイ）の上に3次元像が表示され、3次元像を取り囲んだ複数の人がインタラクティブに触覚表現を伴った表示像を操りながら協調作業を行うためのツールを目指している。全周表示が可能な3次元ディスプレイは、国内外においてわずかではあるが提案されているが、協調作業のためのツールを意識したものはわずかで、その用途は表示用に限定されているなど、協調作業のためのツールとしては問題があった。3次元画像入力システムによって物体の3次元像と触覚情報を取得し、触覚情報を伴った全周表示3次元像をインタラクティブに操作が可能な全周表示システムに関しても、国内外で研究されていない。

今後、本研究で試作したシステム発展させ、表示像のサイズを大きくし、画質や触感を向上させ、遅れないインタラクティブ動作が可能となれば、3次元画像データを伝送する技術と組み合わせることにより、遠距離に離れている人たち同士の協調作業にも応用できることはもちろん、ロボットなど機械の遠隔制御やインターネットを利用した遠隔地手術などへの応用が期待でき、工学、医学、理学、教育、娯楽、ヒューマンインタフェースなどの分野に大きな影響を与えることができると考えられる。

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5件）

(1) H. Yabu, Y. Takeuchi, K. Yoshimoto, H. Takahashi, K. Yamada, 360-degree three-dimensional flat panel display using holographic optical elements, Proc. of SPIE, 査読有, Vol. 9391, 2015, pp. 93910M1-93910M6.

DOI:10.1117/12.2077036

(2) H. Yabu, K. Yoshimoto, and H. Takahashi, Wide viewing-angle three-dimensional display using prism sheets, ICIC Express Letters Part B, 査読有, Vol. 6, 2015, pp. 607-612.

<http://www.ijicic.org/>

(3) H. Yamada, H. Yabu, K. Yoshimoto, and H. Takahashi, Three-dimensional light field display with overlaid projection, Proc. of IIH-MSP, 査読有, Vol. CFP14IIH-CDR, 2014, pp. 407-410.

DOI:10.1109/IIH-MSP.2014.108

(4) H. Yabu, J. Kanda, and H. Takahashi, Wide viewing-angle three-dimensional

display using multiple LCDs, ICIC Express Letters Part B, 査読有, Vol.5, 2014, pp. 195-200.

<http://www.ijicic.org/>

(5) Y. Oshima, H. Takahashi, and K. Yamada, Wide viewing angle three-dimensional display using curved HOE lens array, Proc. of SPIE, 査読有, Vol.8648, 2013, pp. 86481N1-86481N9.

DOI:10.1117/12.2002321

[学会発表] (計10件)

(1) H. Yabu, Y. Takeuchi, K. Yoshimoto, H. Takahashi, K. Yamada, 360-degree three-dimensional flat panel display using holographic optical elements, Electronic Imaging 2015, Feb. 10, 2015, San Francisco (USA).

(2) 山田 穂高, 吉本 佳世, 高橋 秀也, ホログラフィック光学素子を用いた全周表示光線再生3次元ディスプレイ, 平成26年電気関係学会関西連合大会, 2014年11月24日, 奈良先端科学技術大学院大学(奈良県生駒市).

(3) 藪 博文, 南 雄介, 高橋 秀也, 複数のディスプレイを用いた広視域光線再生3次元ディスプレイに関する研究, 平成26年電気関係学会関西連合大会, 2014年11月23日, 奈良先端科学技術大学院大学(奈良県生駒市).

(4) 山田 穂高, 吉本 佳世, 高橋 秀也, プリズムシートを用いた広視域光線再生3次元ディスプレイ, 2014年映像情報メディア学会年次大会, 2014年9月2日, 大阪大学(大阪府吹田市).

(5) H. Yamada, H. Yabu, K. Yoshimoto, and H. Takahashi, Three-dimensional light field display with overlaid projection, IIH-MSP2014, Aug. 27, 2014, Kitakyushu International Conference Center (Kitakyushu-shi, Fukuoka).

(6) H. Yabu, K. Yoshimoto, and H. Takahashi, Wide viewing three-dimensional display using prism sheets, ICICIC2014, June 16, 2014, Busan (Korea).

(7) 藪 博文, 神田 穰吏, 高橋 秀也, 複数のディスプレイを用いた広視域光線再生3次元ディスプレイに関する研究, 平成25年電気関係学会関西連合大会, 2013年11月17日, 大阪電気通信大学(大阪府寝屋川市).

(8) H. Yabu, J. Kanda, and H. Takahashi, Wide-viewing angle three-dimensional display using multiple LCDs, ICICIC2013, Sep. 15, 2013, Kumamoto City International Center (Kumamoto-shi, Kumamoto).

(9) Y. Oshima, H. Takahashi, J. Kanda, and K. Yamada, Wide viewing angle three-dimensional display using curved HOE lens array, Electronic Imaging 2013, Feb. 6, 2013, San Francisco (USA).

(10) 大嶋 仁敬, 藪 博文, 高橋 秀也, ホログラフィック光学素子を用いた光線再生方式3次元ディスプレイの広視域化, 平成24年電気関係学会関西連合大会, 2012年12月8日, 関西大学(大阪府吹田市).

[その他]

ホームページ等

<http://www.ec.elec.eng.osaka-cu.ac.jp/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

高橋 秀也 (TAKAHASHI, Hideya)

大阪市立大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号: 30197165