

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 1 日現在

機関番号：12201

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24656052

研究課題名(和文) 直交ミラーアレイによる光と熱と音のフローティング表示

研究課題名(英文) Visual, thermal, and acoustic floating display by use of crossed-mirror array

研究代表者

山本 裕紹 (Yamamoto, Hirotsugu)

宇都宮大学・学内共同利用施設等・准教授

研究者番号：00284315

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、光と熱と音を空中に結像する新しい3D表示法を提案する。電磁波と音波では波の性質が異なるが、反射に基づく結像は両者に適用可能である。中空構造をもつ直交ミラーアレイ(CMA)を製作して、可視光、熱(遠赤外線)、音波を空中に収束させるフローティング表示に挑戦した。可視光と遠赤外線による熱の収束には4mm×4mmの開口からなるステンレスミラーによるCMA、音の収束には15cm×15cmの開口からなる透明アクリル板によるCMAを製作し、これらを積層する構成により、光と熱と音のフローティングの原理を実証した。

研究成果の概要(英文)：This research proposes a new 3D display method to enable visual, thermal, and acoustic floating display. There are differences in electromagnetic waves and acoustic waves, such as wavelength, transverse wave, and longitudinal wave. However, imaging methods based on reflection are applicable for waves that maintain incident angle equals to reflected angle. We have developed a special crossed-mirror array (CMA) for visual, thermal, and acoustic floating display. The special CMA is composed of two CMAs: one CMA for visible light and far-infrared radiations has 4 mm x 4 mm apertures; the other CMA has 15 cm x 15 cm apertures to converge acoustic waves. The CMA for acoustic waves is made of transparent acrylic plate and does not influence converging lights. We have confirmed visual, thermal, and acoustic floating image and found that local heating assists reaching of a viewer's hand to the floating position.

研究分野：情報フォトンクス

キーワード：空中表示 イネージ 直交ミラー 3Dディスプレイ サーマルディスプレイ マルチモーダル表示 デジタルサ

1. 研究開始当初の背景

高輝度青色・緑色 LED の実用化により、街頭の LED スクリーンを用いたデジタルサイネージが増えている。従来のフルカラーの看板が静止面の印刷であったのに対して、高輝度のフルカラーLED による動きのある映像は街頭での注目を獲得していた。しかし、デジタルサイネージの普及により、注目を与える新規技術が求められている。

空中表示技術は、何もない空間に映像を表示することで、観衆の好奇心を喚起する技術と期待される。可視光による視覚的な空中表示に加えて、光と熱と音を空中の同一点に提示できれば、視覚、触覚、聴覚のマルチモーダルによりデジタルサイネージへの注目を集めることが期待される。

2. 研究の目的

本研究では、LED アレイの空中結像用に申請者が製作、空中フローティング表示を達成した実績のある直交ミラーアレイが、中空構造を持つ点に着目して、疎密波である音波に関しても音源を空中に結像できるような新しい結像素子を開発製作する。何もない空中に浮かぶ映像の場所から音が聞こえてきて、その映像を触ると温かさを感じる光と熱と音の空中フローティング表示を実現することが本研究の目的である。

3. 研究の方法

直交ミラーアレイの構造と空中結像の原理を図 1 に示す。直交ミラーアレイは楕円形のステンレスミラーを格子状に組み合わせて構成される。本研究で開発した直交ミラーアレイは中空反射構造を持つため、波長を選ばず、遠赤外領域の電磁波に対しても機能する。

各開口は 2 面コーナリフレクターアレイとして機能するため、光源ならびに熱源からの光および遠赤外放射は各開口で 2 回反射した後、直交ミラーアレイに対して面対称の位置に収束する。

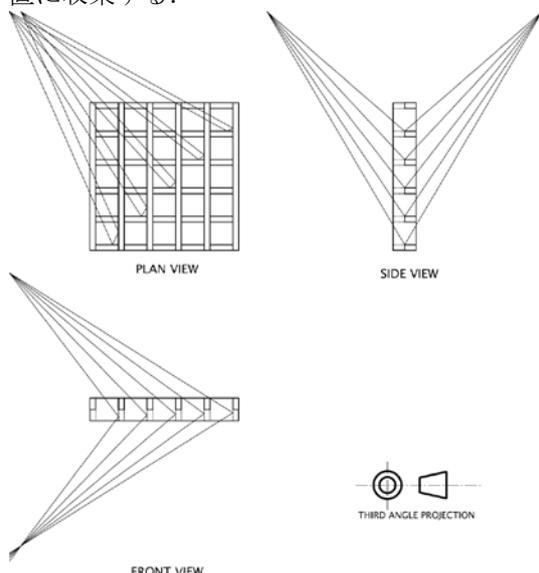


図 1 直交ミラーアレイによる結像の原理。

この結像原理は、電磁波だけでなく、音波に対しても機能する。反射時に、入射角=反射角の関係が成立すれば、直交ミラーアレイに対して面対称の位置に収束する。ただし、音波の場合には可視光に比べて波長が桁違いに長いので、開口の大きさを音波向けに設計する必要がある。音波に対する直交ミラーアレイを透明材料で製作し、可視光および遠赤外放射向けの直交ミラーアレイと積層すれば光と熱と音の空中フローティング表示が可能となる。

4. 研究成果

熱源を空中に結像する実験を行った。図 2 は実験配置である。直交ミラーアレイは大きさ 4mm×4mm の開口がピッチ 5mm で並んで構成され、1 個の CMA の外形は 14cm×14cm、厚さ 8mm である。本実験では CMA を 2 枚重ねて使用した。熱源には半田ゴテを用いた。白金熱電対を用いて直交ミラーからの距離と温度の関係を測定した結果を図 3 に示す。熱源の結像位置で温度が局所的に上昇していることがわかる。

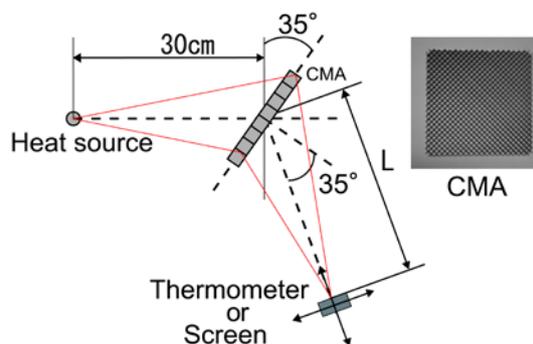


図 2 熱源の空中結像実験の配置。

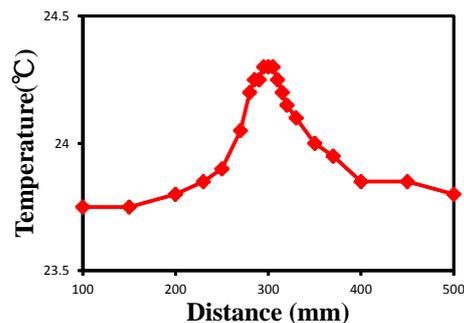


図 3 距離と温度の関係。

デジタルサイネージへの応用においては、サーマル 3D 表示の温かさにより、注意を喚起して、視覚 3D サインを見せるような用途が有望である。直交ミラーアレイにより、可視光と熱放射を同時に結像する実験を行った様子を図 4 に示す。LED ランプによるサインとハロゲンヒーターの空中結像が同時に行われ、ヒーターの結像位置で温度が上昇している。遠赤外放射も行う熱光源であるハロゲンランプ (OSRAM64410) を光源として空中に結像した時の光強度分布ならびに温度

分布の測定結果を図5に示す。光と熱が同じ位置で最大値をとることがわかる。

空中像の位置に手を置くリーチング実験を行ったところ、視覚刺激のみであるLEDの空中像位置よりも、熱による触覚刺激も有するハロゲンヒーターの空中像の方が空中像位置に手を定位しやすい傾向があることがわかった。

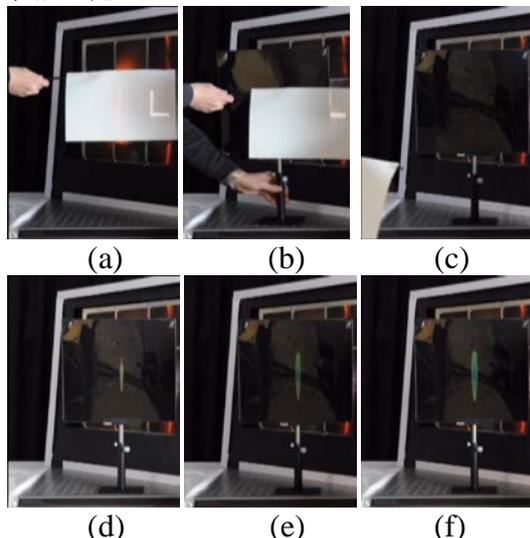


図4 サーモクロミックシートによる温度変化の観測。(a) LEDサインとハロゲンヒーターの可視光の空中像が形成されている。(b) 空中像の位置にサーモクロミックシートを設置する。(c)-(f) ハロゲンヒーターの空中像部分の温度が局所的に上昇することが確認された。

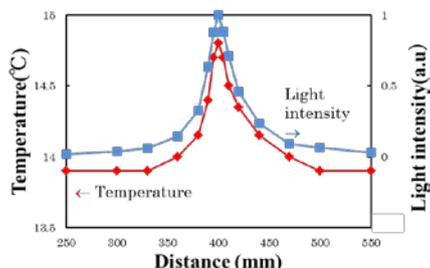


図5 熱光源であるハロゲンランプを用いた光と熱の空中結像実験の結果。

続いて、直交ミラーアレイを用いた音の収束実験を進めた。スピーカーを用いた可聴域の音波をサイズの異なる直交ミラーアレイに入射させて3次元空間での収束を試みた。さらに、音源の指向性を向上させるために、超音波ドランスデューサーアレイを利用して、可聴域のエンベロップをもち、超音波(搬送周波数40kHz)の超音波スピーカーアレイを製作した。音波ならびに超音波の空中結像について、光の収束用と同じ直交ミラーアレイに入射して結像位置での音の局在性について調べた。実験の結果、これまでの熱の実験ほどには局在性が確認

されないことがわかった。可聴周波数(20Hzから20kHz)に対応する音の波長は17mから17mmの範囲であり、これまでの直交ミラーの開口大きさ(4mm×4mm)は波長に比べて小さいからである。

そこで、音を収束するために15cm×15cmの大きさの開口をもつ直交ミラーアレイを透明アクリル板を用いて製作した(図6)。パラメトリックスピーカーを音源として、図7に示す配置で音の収束実験を行ったところ、図8に示す通り、直交ミラーアレイに対して面对称となる距離において音圧が最大値をとることを確認した。

また、音用の透明直交ミラーアレイを光および熱用の直交ミラーアレイに積層して、光と熱と音の空中結像に成功した。



図6 透明アクリル板を用いた音の空中結像用直交ミラーアレイ。

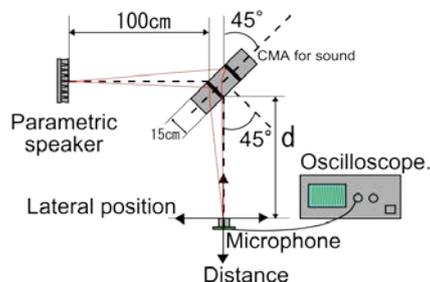


図7 音源の空中結像実験の配置。

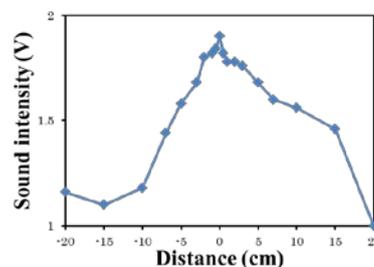


図8 音源の空中結像実験の結果。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 5件)

- ① [Hirotsugu Yamamoto](#) "Screen-free display formed using retro-reflector," SPIE Newsroom, 査読有, DOI:10.1117/2.1201502.005769 (2015).

- ② Hirotsugu Yamamoto, Yuka Tomiyama, and Shiro Suyama, "Floating aerial LED signage based on aerial imaging by retro-reflection (AIRR)," *Optics Express*, 査読有, Vol. 22, No. 22, pp. 26919-26924 (2014).
- ③ Hirotsugu Yamamoto, Ryouyuke Kujime, Shiro Suyama, "Warm 3D images using thermal displays," *SPIE Newsroom*, 査読有, DOI:10.1117/2.1201303.004762 (2013).

[学会発表] (計53件)

- ① 山本裕紹, 陶山史朗, 最新 3D ディスプレイのからくり 一見える気がする 3D から確実に見える空中表示まで, 3D 合同シンポジウム, 2015年3月20日, NHK 放送技術研究所 (東京都世田谷区).
- ② 久次米亮介, 宮本康平, 陶山史朗, 山本裕紹, 直交ミラーアレイによって収束された音波の波形, 第62回応用物理学会春季学術講演会, 2015年3月14日, 東海大学湘南キャンパス (神奈川県平塚市).
- ③ 小野瀬 翔, 岡本智行, 小貫健太, 糸井川 高穂, 山本裕紹, 直交ミラーによる遠赤外線線の収束の調査, 第9回関東学生研究論文講演会, 2015年3月10日, 静岡大学浜松キャンパス (静岡県浜松市).
- ④ Hirotsugu Yamamoto, Ryouyuke Kujime, Shiro Suyama, "Aerial Display of Light, Heat, and Sound," DHIP2014 (The Fourth Japan-Korea Workshop on Digital Holography and Information Photonics), 2014年12月16日, 沖縄県市町村自治会館 (沖縄県那覇市).
- ⑤ Hirotsugu Yamamoto and Shiro Suyama, "Floating Digital Signage Based on Aerial Imaging Techniques," IDW' 14, 2014年12月4日, 朱鷺メッセ新潟コンベンションセンター (新潟県新潟市).
- ⑥ 久次米亮介, 宮本康平, 陶山史朗, 山本裕紹, 直交ミラーアレイを用いた空中への音の収束, 日本光学会年次学術講演会 Optics & Photonics Japan 2014, 2014年11月6日, 筑波大学東京キャンパス文京校舎 (東京都文京区).
- ⑦ 山本裕紹, トライ&エラーからのひらめきとときめきの 3D&セキュアディスプレイ~単眼運動視差から空中表示まで~, 立体協総会記念講演会, 2014年6月20日, 東京工芸大学 (東京都中野区).
- ⑧ 久次米亮介, 陶山史朗, 山本裕紹, 直交ミラーアレイによる温かい空中像の3次元温度分布, 映像情報メディア学会立体研究会, 2013年10月23日, NHK 放送技術研究所 (東京都世田谷区).
- ⑨ Hirotsugu Yamamoto, Yuka Tomiyama, and Shiro Suyama, "Multi-layered floating display by use of

retro-reflector," IWH (International Workshop on Holography and Related Technologies) 2014, 2014年10月15日, 北京 (中華人民共和国).

- ⑩ Hirotsugu Yamamoto, "Aerial 3D LED Display by use of Crossed-mirror Array," Digital Holography & 3-D Imaging 2013, 2013年4月22日, コハラコースト (アメリカ合衆国).
- ⑪ Hirotsugu Yamamoto, Ryouyuke Kujime, Hiroki Bando, Shiro Suyama, "Aerial LED signage by use of crossed-mirror array," Photonics West 2013, 2013年2月7日, サンフランシスコ (アメリカ合衆国).
- ⑫ Ryouyuke Kujime, Shiro Suyama, Hirotsugu Yamamoto, "Thermal and visual 3D display by use of crossed-mirror array," IDW/AD' 12 (The 19th International Display Workshops in conjunction with Asia Display 2012), 2012年12月6日, 京都国際会館 (京都府京都市).
- ⑬ Ryouyuke Kujime, Shiro Suyama, Hirotsugu Yamamoto, "Thermal 3D display by use of crossed-mirror array," DHIP2012 (The Second Japan-Korea Workshop on Digital Holography and Information Photonics), 2012年11月20日, 徳島大学 (徳島県徳島市).
- ⑭ 久次米亮介, 陶山史朗, 山本裕紹, 直交ミラーアレイを用いた光と熱の同時収束, 日本光学会年次学術講演会 Optics & Photonics Japan 2012, 2012年10月24日, タワーホール船堀 (東京都江戸川区).

[その他]

ホームページ等

<http://www.opt.utsunomiya-u.ac.jp/~yamamoto/>

<https://www.youtube.com/user/YamamotoLaboratory>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山本 裕紹 (YAMAMOTO, Hirotsugu)

宇都宮大学・オプティクス教育研究センター・准教授

研究者番号: 00284315

### (2) 研究分担者

陶山 史朗 (SUYAMA, Shiro)

徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・教授

研究者番号: 70457331

### (3) 連携協力者

久次米 亮介 (KUJIME, Ryouyuke)