

機関番号：82636
 研究種目：基盤研究(A)
 研究期間：2008 ～ 2010
 課題番号：20240013
 研究課題名(和文) マイクロミラーアレイによる受動結像光学素子の開発およびその応用に関する研究
 研究課題名(英文) Development of passive imaging optics with use of micro-mirror array
 研究代表者
 前川 聡 (MAEKAWA SATOSHI)
 独立行政法人情報通信研究機構・ユニバーサルメディア研究センター超臨場感システムグループ・主任研究員
 研究者番号：60358893

研究成果の概要(和文)：まず2面コーナリフレクタアレイの製造に関して、樹脂熱転写、Ni-B 金型によるガラスインプリントおよびX線リソグラフィを用いた光学素子形成を試みた。また、ASAP を利用し、幾何光学解析およびガウスビーム分解法を利用した波動光学解析によって、結像性能の数値評価を可能とした。さらに心理実験による空中映像の定量評価を行い、様々な空中映像インタラクティブシステムの提案を行った。

研究成果の概要(英文)：For the production of dihedral corner reflector array, the optical element was formed by hot-emboss of PMMA, glass nano-imprinting with Ni-B mold and X-ray lithography. In addition, with use of ASAP, wave-optics analysis using the Gaussian beam decomposition and geometric-optics analysis enable a numerical evaluation of imaging performance. Floating images were quantitatively evaluated by psychological experiments, and a variety of interactive floating image systems are proposed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	12,800,000	3,840,000	16,640,000
2009年度	13,200,000	3,960,000	17,160,000
2010年度	12,600,000	3,780,000	16,380,000
年度			
年度			
総計	38,600,000	11,580,000	50,180,000

研究分野：情報光学

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：2面コーナリフレクタアレイ、鏡映像、実像、空中映像、体積走査、インタラクション、X線リソグラフィ、ガラスナノインプリント

1. 研究開始当初の背景

(1) マイクロミラーによる結像光学素子

我々は、本来鏡の中に虚像として結像する鏡映像、すなわち面対称位置に結像する像を、空間に実像として結像させることができる新たな基本光学素子の開発に成功した。なお、同様な実像を結像する光学素子としては、他にマイクロレンズアレイを用いたものなどが考案されているが、提案素子は素子面に



図1 提案素子による立体物の実像

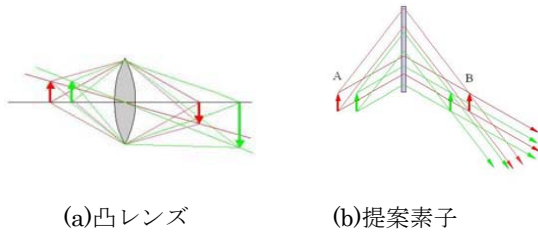


図2 結像比較

対して垂直配置されたマイクロミラーによる反射を用いたものであり、素子面に対して斜め方向から角度をつけて観察できることが特徴となる。これによって、平面上に浮かび上がる像としてその実像を観察することが出来る(図1参照)。なおこの実像を観察すると、鏡映像を鏡の中に入ってその裏側から観察することと等価となるため、被投影物が3次元物体である場合には奥行きが反転した3次元像となる。なお、図1では、被投影物の奥行きをあらかじめ反転してある。また鏡映像の性質から明らかであるが、この像は面対称という対称性によって、物体と素子面との距離に依らずに等倍結像する(図2(b)参照)。つまり無歪の3次元実像結像系が構築可能である。一方凸レンズのような焦点像を作る光学系では、物体と素子面との距離に応じて像の拡大縮小が起きてしまうため、3次元像を無歪で結像させる事は不可能である(図2(a)参照)。また、面対称位置への結像は、鏡同様、中心となる光軸が存在せず、素子面全体に渡って同様な結像が可能であるが、凸レンズのような既存光学系においては、光軸が存在し、光軸から離れた位置への結像は収差が大きくなるという欠点を持つ。

本素子の構造は、図3に示すように微小な2面コーナリフレクタを素子面上同一方向に向けて並べたものとなっている。これにより、各2面コーナリフレクタへの入射光の素子面内成分は再帰反射、素子面の垂直方向成分はそのまま透過となって、面対称位置へ結像する。具体的な構造としては、ニッケルに開けた多数の四角い微小な貫通穴の内壁を鏡面とすることで試作を行った。また、樹脂やガラス等の透明体を用いた場合には、四角いピラーを形成して、その内側に光線を通し、側面での全反射を利用することができる。なおこの光学素子は、可動部分が存在しない受動光学素子である。

2. 研究の目的

(1) 製造

2面コーナリフレクタアレイ(Dihedral Corner Reflector Array, 以下DCRA)に関して、その素子性能の向上を目指す。具体的には、迷光の軽減、視野角の拡大、大面積化等

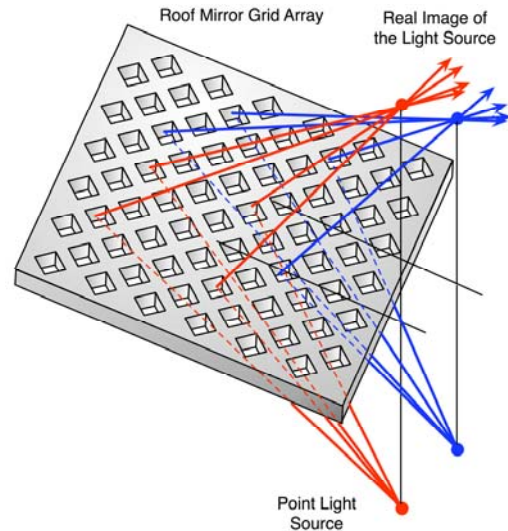


図3 構造および結像原理

を目標とする。

(2) デザイン

マイクロミラー配置等の構造デザインを行い、新規な結像素子の提案、試作を行う。また回折・干渉効果の解析を行って、結像に与える影響を評価し、その積極的利用による解像度の向上可能性について検討を行う。

(3) 光学素子走査もしくはディスプレイ(スクリーン)走査による体積走査型の立体空間映像表示装置の開発を行う。

(4) 手などの実体物と空間映像が、その動作空間を共有する形でインタラクションを行うことが可能な、空間映像インタラクションシステムの開発を行う。

(5) 裸眼観察可能で実在感のある空間映像の提示およびそれに対するインタラクションの結果、人の認知にどのような影響をもたらすかを心理実験等により明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 製造

以下の手法による製造方法の開発を行う。

① X線リソグラフィ

兵庫県立大学が運営する放射光施設ニュースバルにおいて、X線リソグラフィによる光学素子製造を試みる。

② ガラスインプリント

電鍍スタンプを用いて精密ガラスインプリントによる試作を行う。

③ 樹脂成形

(2) デザイン

① 波動解析

ASAPを利用し、ガウスビーム分解法を利用して波動光学的シミュレーションによる解析を行う。

② 迷光解析・デザイン

ASAPを利用し、幾何光学的シミュ

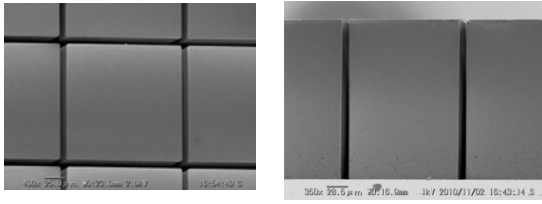


図4 X線リソグラフィによる光学素子

- レーションによる解析を行う。
- (3) 体積走査型ディスプレイの開発
 - ① ガルバノミラーによる体積走査
 - ② 回転プリズムシートによる体積走査
 - (4) インタラクティブシステム
 - ① 赤外線タッチパネルによる指での空中映像インタラクション
 - ② レーザーを利用した気流検出による息でのインタラクション

(5) 認知

非常に強い実在感を持つ空間映像を提示し、それに対するインタラクションがもたらす認知の変容をテーマとして、心理実験等を行う。

4. 研究成果

(1) 製造

① X線リソグラフィ

ニューズバルを利用して、X線リソグラフィによる光学素子の試作を行った。SU-8を用いた場合、残渣物による構造欠陥が生じるが、PGMEA 雰囲気置くことで、除去可能であることを確認した(図4参照)。しかし、これまでの試作では、精度は樹脂転写に及ばない。ただし、構造物の間隔をわずか $10\mu\text{m}$ としており、開口率の向上が可能である。

② ガラスインプリント

電鍍によりNi-Bスタンプを用いて、ガラスインプリントを試みるも、これまでのところ離型することができず、転写に成功していない。

③ 樹脂成形

PMMAへの熱転写による試作を行い、10分程度の角度精度が得られた。これは十分な精度であるとは言えず、今後の精度向上が必要である。また、射出成型による試作も行い、熱転写と同等な品質による製造ができる事を確認した。

(2) デザイン

① 波動解析

DCRAの結像性能を、回折現象の観点から解析した。定量評価を行うためのFresnel-Kirchhoffの回折積分式に基づくシミュレータを開発し、光源の位置と点像拡がりの関係を調べた。結像を直視することを前提とし、6mm経瞳孔に入射す

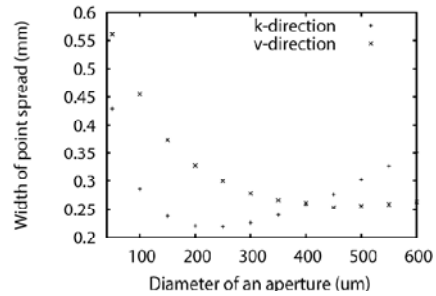


図5 開口径と点像広がり

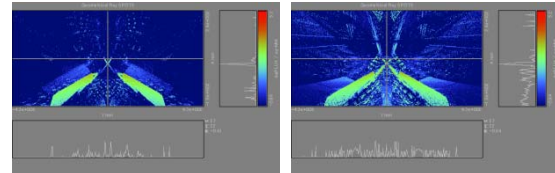


図6 迷光解析

る光を対象とし、素子と瞳孔の距離を300mm、点光源の素子からの距離を50mmとして、開口径と点像広がりについて導出した結果を図5に示す。この結果は、最適開口径が存在することを示している。

またFresnel-Kirchhoffの回折式に基づく計算では、計算コストが問題となっていたため、代替法としてガウスビーム分解法の利用の評価を行い、同等の結果を与えること、計算時間を大幅に短縮できることを示した。

② 迷光解析・デザイン

光学シミュレーションソフトASAPを用いて、迷光解析を実施した。図6に、透明樹脂製DCRAにおいて、例えば抜きテーパーを18度(左)および30度(右)とした場合の迷光解析結果を示す。抜きテーパーは、転写時の離型にとって望ましいが、開口率の悪化および迷光の増大をもたらすことが分かる。

(3) 体積走査

① ガルバノミラーによる体積走査

体積走査型3次元表示装置を構築した。まず、ガルバノミラーレスキャナによる体積走査型3次元空間映像ディスプレイの試作を行い、DMDを用いて表示を行うことに成功した(図7, 8参照)。従来使用していた凹面鏡と違って歪みが生じないため、自然な3次元実像が形成可能であることを確認した。3次元物体の断面像を毎秒8000フレームで順次切替えて表示することにより、3次元実像を形成し、走査距離の違いによる輝度ムラを検証して、補正処理を行った。

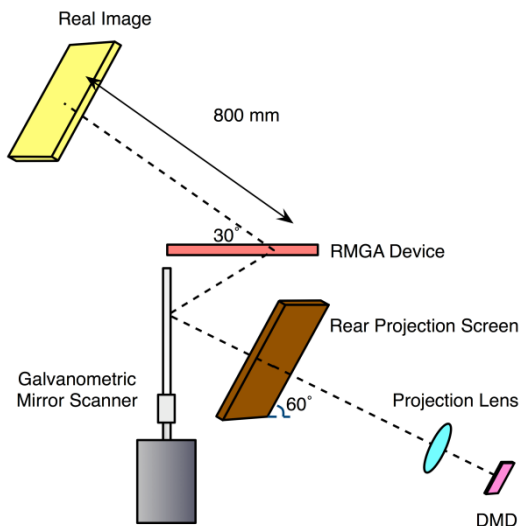


図7 ガルバノミラーによる体積走査

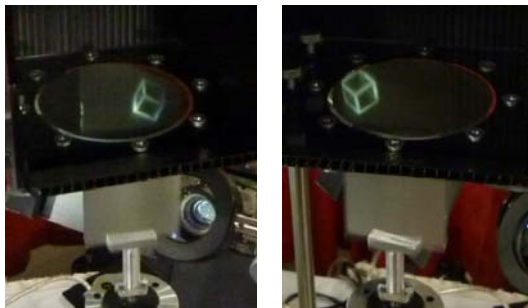


図8 ガルバノミラーによる体積走査像

② 回転プリズムシートによる体積走査

次に、走査機構としてガルバノミラーと回転プリズムシートを用いたシステムを作製した(図9参照)。また、三原色LEDを用いカラー化を行い、さらに、高画質化を図るために、レーザ光源を用いたシステムを作製した。この場合、走査機構による揺らぎや、体積表示の重ね合わせの効果により、スペックルを低減できることが分かった。

(4) インタラクティブシステム

① 赤外線タッチパネルによる指での空中映像インタラクション

DCRAの応用システムとしては、ガラス無し赤外線タッチパネルを利用した空間映像インタラクティブシステムを作成し、空中映像に対する指による操作を可能とした(図10(a)参照)。本システムにおいては、例えば実体物である指先直

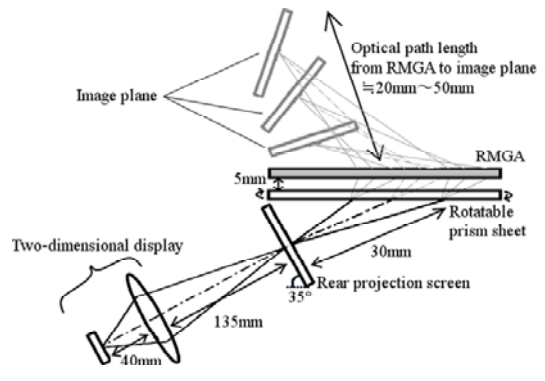
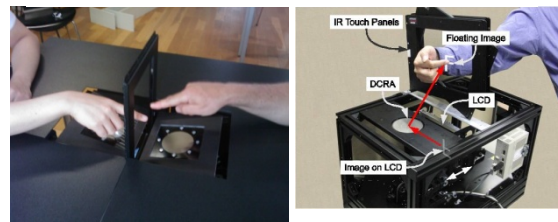


図9 回転プリズムシートによる体積走査



(a)

(b)



(c)

(d)

図10 インタラクティブシステム

上に仮想的な空中映像としての炎を表示することができる(図10(b)参照)。鏡映像であるため、上下左右の視点移動によっても指先とろうそくの位置関係は崩れないため、実感が非常に高く、観察者が思わず吹き消そうとする行動などが観察できた。

また、対面者同士が空中映像の空間位置を共有可能なインタラクティブシステム(図10(c)参照)および、複数枚のタッチパネルを利用し、空中映像の裏面操作や指の方向ベクトル検知が可能なインタラクティブシステム(図10(d)参照)を構築した。

② レーザーを利用した気流検出による息でのインタラクション



図 11 息によるインタラクション

レーザー光によるシュリーレン法の原理を利用して空中映像位置における気流の検知を行って、息による空中映像インタラクティブシステムの作成を行った(図 11 参照)。マイク利用の気流検出とは異なり、実際の空中映像位置での気流検出が可能となる。ただし、図 11 の例ではレーザー1本による検出であるため、レーザー光線上の気流位置区別は不可能である。

(5) 認知

空間映像の認知に関する研究としては、LCD 画像と空中映像の2条件にて人物の静止画像を被験者に提示し、独裁者ゲームを行ったところ、統計的に有意($p < 0.05$)に空中映像条件において、より多くの額を支払うことが認められた(図 12 参照)。つまり、これは空中映像によって人物画像を提示するだけで、社会的距離を縮めることができることを意味し、空中映像の提示だけであってもコミュニケーションの質を変えることができる可能性を示唆している。

また、DCRAによる実像と既存の液晶表示装置の間で他者への信頼構造が変化するかを認知心理学的に分析した。結果、既存の表示装置では知性が信頼を構成し、実像においては社交性が信頼を形成していた。これらの結果は、知性的な人は既存の表示装置を、社交的な人は実像を組み合わせることで、よりうまく信頼を形成できる可能性を示しており、円滑なコミュニケーション実現する基盤になると考えられる。

また信頼形成に関する成果を拡張し、実像や既存の映像装置にインタラクティブな要素を付加するとともに利用者の認知特性の分類も加味した実験を実施した。結果として、実像や実像とインタラクションと言った情報の表現手法はもちろん、利用者の認知特性によっても信頼形成の構造が変化することが明らかになった。さらに、同様の研究方法をヒトだけではなく、地域のキャラクターにも適用し、地域活性化につながる地域キャラの評価も実現した。これらの研究成果によって、光学素子をどのように使うことが応用展開に有効かを定量的に評価可能となった。

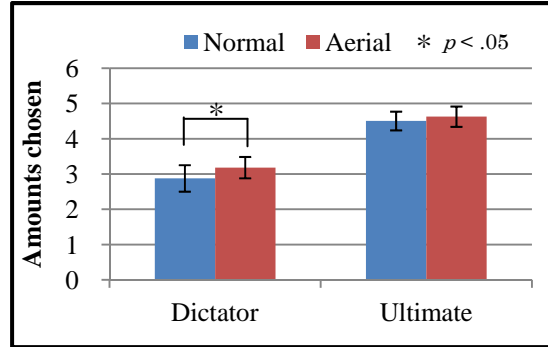


図 12 LCD 画像と空中映像の比較

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線)

[雑誌論文] (計 9 件)

- ① 宮崎大介, 光学的実像の移動による体積走査型三次元ディスプレイ、光技術コンタクト、査読無、Vol.48、2010、pp.582-587
- ② D. Miyazaki, T. Honda, K. Ohno, and T. Mukai, Volumetric Display System Using a Digital Micromirror Device Based on Inclined-Plane Scanning, Journal of Display Technology, 査読有、Vol.6, 2010, pp.548-552
- ③ 前川聡, 空間映像インタラクションシステムの開発、機能材料、査読無、29 巻、2009、pp.67-72

[学会発表] (計 37 件)

- ① 米田, 生活者の認知特性に基づいた信頼を伝えるためのメディアコミュニケーション手法の提案、第 3 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム、2011 年 2 月 28 日、ラフォーレ修善寺(静岡)
- ② 新田, 地域キャラクターを活用した観光プロモーションのためのオンラインメディア戦略、第 3 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム、2011 年 2 月 28 日、ラフォーレ修善寺(静岡)
- ③ Singh, Technique for preparing defect-free high aspect ratio SU-8 resist structure using X-ray lithography, IEEE-NEMS, 2011 年 2 月 23 日, Whydham Xiamen Hotel(高雄, 台湾)
- ④ Yokoyama, Imaging characteristics of array of dihedral corner reflectors by use of Gaussian beam decomposition, IDW'10, 2010 年 12 月 2 日、福岡国際会議場(福岡)
- ⑤ 前川, 奥行き情報を利用した空中映像とのインタラクション、3次元画像コンファレンス 2010、2010 年 7 月 8 日、東京大学

- (東京)
- ⑥ 前川、息による空中映像インタラククション、インタラクティブ東京 2010、2010年8月24日、日本科学未来館(東京)
 - ⑦ Yokoyama, Effect of diffraction in an imaging device based on dihedral corner reflectors array, ODF'10, 2010年4月20日、パシフィコ横浜(神奈川県)
 - ⑧ Miyazaki, Volumetric display using a roof mirror grid array, Stereoscopic displays and applications XXI, 2010年1月19日、San Jose Convention Center(San Jose, USA)
 - ⑨ Maekawa, Airflow interaction with floating images, SIGGRAPH ASIA Emerging Technologies, 2009年12月16日、パシフィコ横浜(神奈川県)
 - ⑩ Markon, An improved optical device for floating displays, IUCS2009, 2009年12月3日、日本科学未来館(東京)
 - ⑪ Yamakawa, Physical reality existence of other person implicitly facilitates reciprocity with the person, Neuroscience 2009, 2009年9月17日、名古屋国際会議場(愛知)
 - ⑫ 前川, 空間映像による対面型コミュニケーション, 3次元画像コンファレンス2009、2009年7月10日、東京大学(東京)
 - ⑬ Maekawa, Floating touch display, ISUC2008, 2008年12月15日、大阪国際会議場(大阪)

[産業財産権]

○出願状況(計4件)
名称: 体積走査型3次元映像表示装置
発明者: 宮崎大介、前川 聡
権利者: 大阪市立大学、情報通信研究機構
種類: 特許
番号: 特願 2010-143460
出願年月日: 2010年6月24日
国内外の別: 国内

名称: 体積走査型3次元空中映像ディスプレイ装置
発明者: 前川聡
権利者: 情報通信研究機構
種類: 特許
番号: PCT/JP2008/066977
出願年月日: 2008年9月19日
国内外の別: 国外

[その他]

報道関連情報

- ① 2009/4/15 報道発表, 空中映像を操作できるフローティングタッチディスプレイ.
- ② 2010/10/1 タッチパネル特集記事, 日経産業新聞.

- ③ 2010/11/26 NIKKEI Japan Report #20, 日本国際放送, CNBC アジア他.

アウトリーチ活動

- ① 2009/4, NAB, ラスベガス
- ② 2009/8, タイ科学技術博, バンコク
- ③ 2009/10, CEATEC, 東京
- ④ 2009/10, ITU Telecom World, ウィーン
- ⑤ 2010/12/3 (株)パリティ・イノベーションズ設立

6. 研究組織

(1) 研究代表者

前川 聡 (MAEKAWA SATOSHI)
独立行政法人情報通信研究機構・ユニバーサルメディア研究センター超臨場感システムグループ・主任研究員
研究者番号: 60358893

(2) 研究分担者

宮崎 大介 (MIYAZAKI DAISUKE)
大阪市立大学・工学研究科・准教授
研究者番号: 60264800
仁田 功一 (NITTA KOUICHI)
神戸大学・工学部・准教授
研究者番号: 20379340
山川 義徳 (YAMAKAWA YOSHINORI)
京都大学・情報学研究科・特定助教
研究者番号: 80447945

(3) 連携研究者

的場 修 (MATOBA OSAMU)
神戸大学・工学部・教授
研究者番号: 20282593