# 新常態で社会実装が加速する空中ディスプレイの概要と最新動向


山本裕紹[1-9]

[1]宇都宮大学 卓越教授
[2]宇都宮大学 工学部 基盤工学科 教授
[3]宇都宮大学 オプティクス教育研究センター(CORE) 兼任
[4]宇都宮大学 ロボティクス・工農技術研究所 (REAL) 副所長
[5]文部科学省 科学技術・学術政策研究所 科学技術動向研究センター
[6]IEC/TC110/WG6 Project Leader of IEC 62629-52-1 ED1
[7]JEITA DD標準化委員会 WG6対応委員会 客員
[8]光産業技術振興協会/ニューノーマル時代の光技術ロードマップ 策定専門委員
[9]宇都宮市まちづくり協議会 泉町活性化プロジェクト


1

2

## SF映画のディスプレイ

1. スターウォーズ
2. アイアンマン
3. アバター
4. スパイダーマン

4

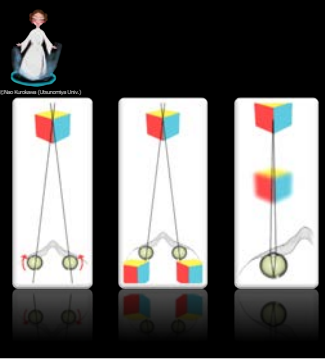
## SF映画のディスプレイ

① 宙に浮かぶ
② 横から見える
③ 手で触れる

7

## SF映画のディスプレイ

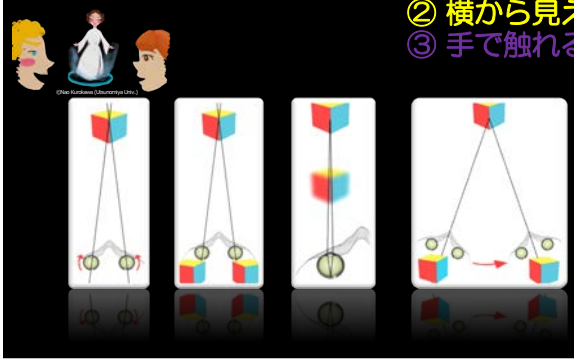
① 宙に浮かぶ
② 横から見える
③ 手で触れる



8

## SF映画のディスプレイ

① 宙に浮かぶ
② 横から見える
③ 手で触れる



9

## SF映画のディスプレイ

① 宙に浮かぶ
② 横から見える
③ 手で触れる

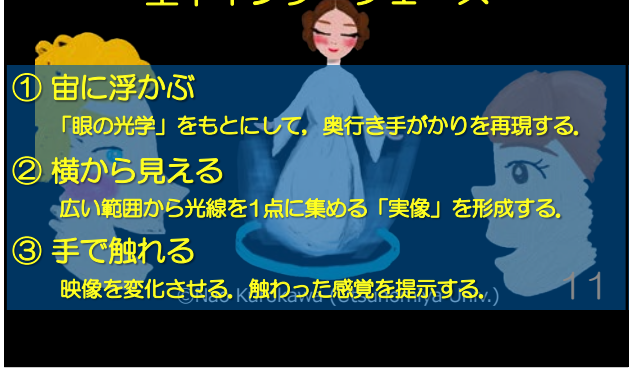
手の位置検出
ジェスチャー操作

遠赤外線を収束
温度刺激

超音波を収束
圧力刺激

10

## 空中インターフェース



① 宙に浮かぶ
「眼の光学」をもとにして，奥行き手がかりを再現する．

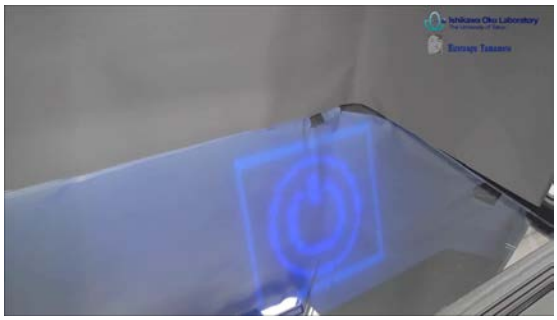
② 横から見える
広い範囲から光線を1点に集める「実像」を形成する．

③ 手で触れる
映像を変化させる，触わった感覚を提示する．

11

11

## ＳＦ映画に出てくるような ディスプレイを実現



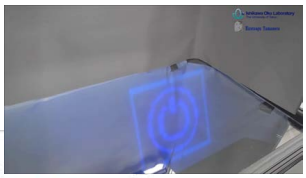
（YouTube上に「AIRR Tablet」ビデオがあります．）
http://youtu.be/iJd7fpH8n6M

12

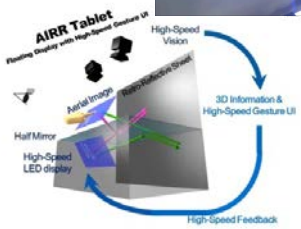
12

## AIRR Tablet

- 低レイテンシー
- 広視野
- 実像
- 手が突き抜ける



http://youtu.be/iJd7fpH8n6M

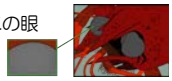


２台の高速カメラで指の３次元位置を計測して，空中映像をグリグリ動かす空中インターフェースを実現．

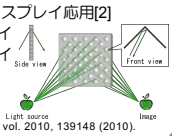
13

## 反射型結像光学素子の利用

- 自然界のザリガニの眼



- X線用結像素子：Lobster's eye optics[1]
- 2面コーナーリフレクタアレイのディスプレイ応用[2]
  - 微細な開口の高精細なミラーアレイ
  - フローティングタッチディスプレイ



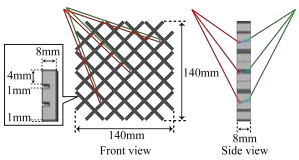

[1] René Hudec： X-Ray Optics and Instrumentation, Vol. 2010, 139148 (2010).
[2] S. Maekawa, K. Nitta, and O. Matoba： Proc. SPIE 6392 (2006).

28

28

## LEDパネル用の反射型結像光学素子を製作

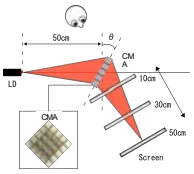
- CMA (Crossed-Mirror Array) を設計．
- 交差ミラー構造による中空開口
  - 広い視野．サーマル3D表示可能．
- 4 mm ×4 mm の開口による Blurred imaging．

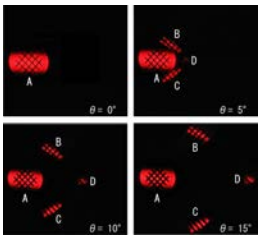


29

29

## 収束実験の実験配置



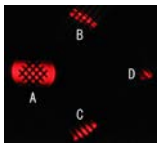

30

30

## 4方向の光

- A ： 正面から見ると，そのまま透過した像
- B, C ：上下方から見ると，1回反射した像
- D ： 面対称の位置から見ると，空中表示の像

2回反射光が実像を形成する．
奇数回反射光は偽像を生じる．




31

31

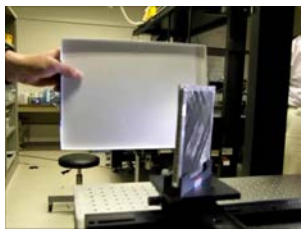
# 確実に見える

## 実像形成

32

32

## LEDパネルによる空中像の結像位置観察



33

33

## ディスプレイに求められる新しい価値

### 感染経路への対策：タッチレス化/非接触化

感染症対策の3原則
①感染者への対策
②感染源への対策
③感染経路への対策

新型ウイルスに対しては多くの人間は免疫を持たず，また特効薬もないため，3原則のうち③感染経路への対策が最重要．

藤井健吉：「第１章　環境表面の感染リスクとタッチレス・非接触技術への期待」（操作・検査のタッチレス化/非接触化のための設計ポイントと最新動向，情報機構，2020）．

40

40

★withコロナ時代に普及が望まれる非接触型技術。その研究開発をリードする各専門家が、タッチレス操作及び非接触型センシングのキー技術、関連部材の設計開発、キラーアプリケーションの展開など、多岐にわたり解説！

**操作・検査のタッチレス化/非接触化のための設計ポイントと最新動向**

まえがき（一部抜粋）

現在は、さまざまな面において新型コロナウイルスがもたらしたニューノーマル（新しい常態）に適応することが求められている。バイオ分野においては、COVID-19に対する検査・治療・予防接種などの対策について急速なペースで研究開発が進められている一方で、非バイオ分野においては何ができるだろうか？

本書では、withコロナ時代に普及が望まれる非接触型技術について研究開発をリードされている専門家に解説をいただいた。緊急事態宣言下ではオンライン会議を通じて、宣言解除後においては企業を訪問するなどしてデモを拝見しながら、今後のキー技術についてご担当の方々と打ち合わせを行い、多岐にわたる分野について解説をいただけることとなった。

本書にご執筆の労をいただいた専門家の方々に感謝申し上げるとともに、安心して健やかに過ごせる社会に資する技術の開発に本書が貢献することを願っている。（監修者：山本裕紹）

- **空中ディスプレイ**（バリティ・イノベーションズ，アスカネット，日本カーバイド工業，ライト＆イメージ，日本特殊光学樹脂，日本触媒，NSC 他）
- **センシング**（ディープインサイト，アルプスアルパイン，ミネベアミツミ 他）
- **事例紹介**（日立オムロンターミナルソリューションズ，三菱電機，フジテック，博報堂プロダクツ 他）

**第４章　これからの時代におけるキラーアプリケーション検討**

第１節　タッチレスエレベータ
第２節　ボタン操作のタッチレスソリューション（空中入力装置の開発）
第３節　デジタルサイネージへの応用に向けたシステム開発と課題対策
第４節　これからの時代のタッチレスインターフェイスについて
第５節　空中ディスプレイとインタラクションデザイン
第６節　感染症対策に向けた非接触タッチパネル実装と活用への展望

41

41

## 空中ディスプレイの社会実装と国際展開

1. 自由空間インタフェースは，IoT・サービスプラットフォームとユーザーの界面を担う．
   a. 自動車（自動運転・シェアライド）
   b. 衛生・安全安心（工場・医療・食品端末）
   c. エンタメ・新領域（IR施設・観光）

【ユーザーが最も頻繁に扱うターミナルとなり得る】

2. 光学設計・精密加工・高機能材料が性能と機能を左右する．

【光学が中心的な役割を果たす】

3. 性能の高さで国際競争力を明確にするためにはパフォーマンスの国際標準化が重要．

【知財だけでなく国際標準化を通じて競争力を保つ】

43

UTSUNOMIYA UNIVERSITY

43

## International Standard on Aerial Display

45

45

2020年5月　Aerial displayに関するTechnical ReportがIECから発行．

International Electrotechnical Commission, "3D display devices -- Part 51-1: Generic introduction of aerial display," IEC TR 62629-51-1 (2020).

46

46

## 広い意味での空中ディスプレイ

| | 映像の近傍もしくは映像から観察者の間に | |
|---|---|---|
| | ハードウェアなし | ハードウェアあり |
| 実像 | ● ホログラフィックディスプレイ<br>● ライトフィールドディスプレイ<br>● パッシブ光学素子による結像を用いたディスプレイ | ● 透明ディスプレイ<br>● ライトフィールドディスプレイ<br>● 高速走査による残像ディスプレイ<br>● レーザープラズマによる空中描画 |
| 虚像 | （無し） | ● ペッパーズゴースト<br>● HUD<br>● HMD |

47

47

## 狭い意味での空中ディスプレイ（空中インタフェースとして工業化に適した表示技術に限定）

空中ディスプレイの応用として注目されている用途は，映像の直接操作と空中サイネージ．
これらのキラーアプリケーションの実現と普及には

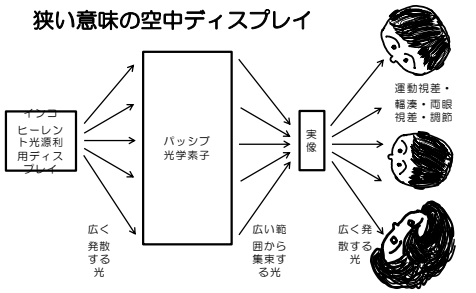
①映像を素手で直接触れること
②どの観察位置からでも同じ位置に映像があること
③特殊な眼鏡なしに映像を観察できること
④安全であること
⑤大量生産可能であること

の５つの要件が求められる。

48

48

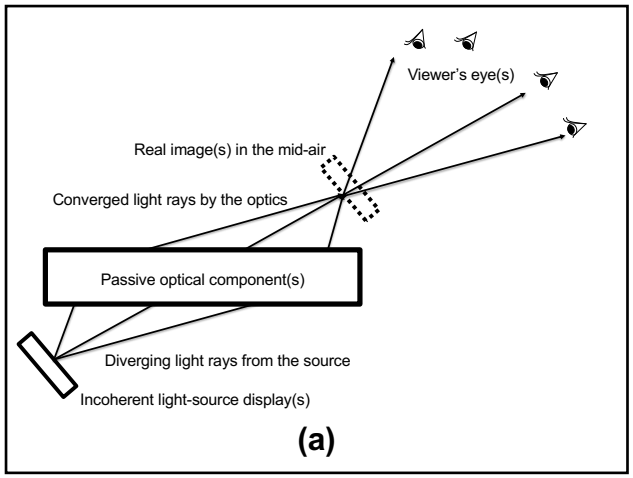
## 狭い意味の空中ディスプレイ



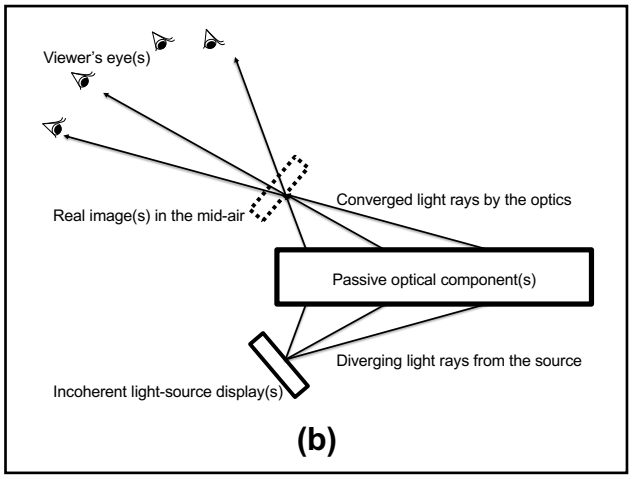

Aerial display in strict meaning forms a real image in the mid-air by use of an incoherent light-source display and a passive optical component to converge diverging light from the light-source display.

49

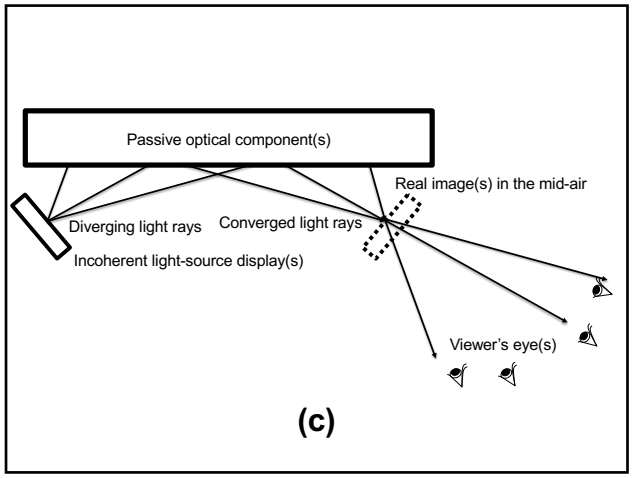
49




50




51



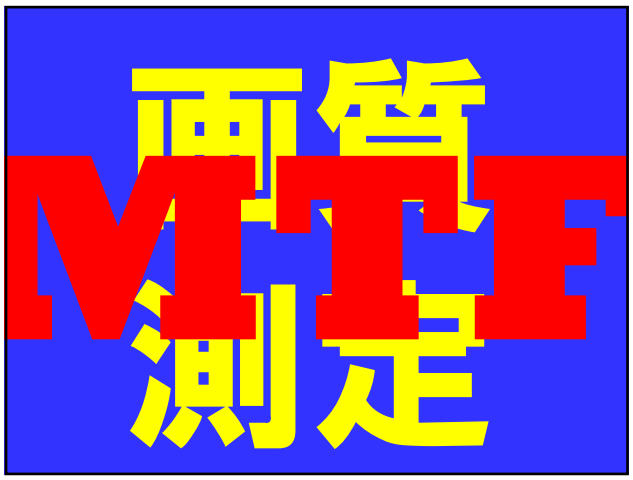

52

## Key performance indices

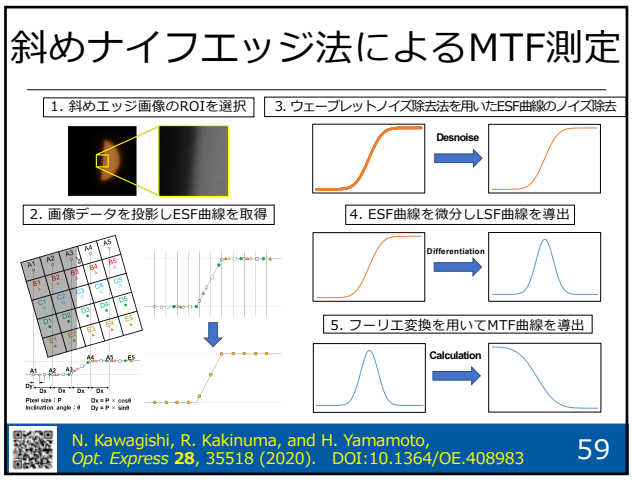
| Index | Touchless application | Aerial signage for the general public | AR/VR and general use |
|---|---|---|---|
| Floating distance | A | AA | AA |
| Image size | B | AA | AA |
| 3D position | AA | A | AA |
| Luminance | A | AA | A |
| Qualified viewing space | A | AA | B |
| Stray light | A | B | AA |
| Light use efficiency | C | A | C |
| Optical resolution | C | B | A |
| Distortion and skew | A | A | B |
| Image quality | C | A | A |

IEC/TC110/WG6/PWI110-31
PL: H. Yamamoto

57




58



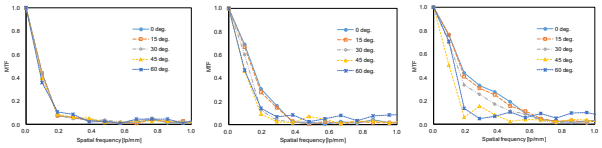

59

# 空中映像の性能評価：実験結果

**3M8910**
- ビーズタイプ
- 左右に広い観察可能エリア
- 入射角が深くなっても安定した性能を保つ

**NikkaliteCRG**
- プリズムタイプ
- MTF値は入射角が深くなるにつれて減少する

**RF-Ax**
- プリズムタイプ
- NCRGの上位互換
- MTF値はNCRGを上回る
- 入射角に応じてMTF値が大きく減少



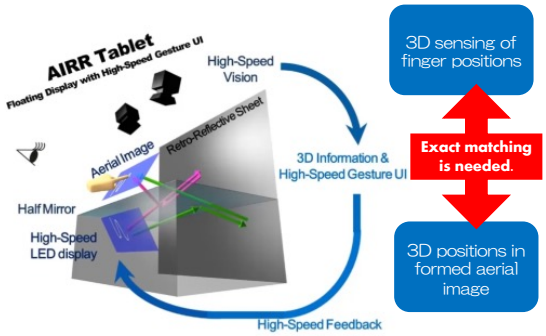

3M8910 NCRG RF-Ax

N. Kawagishi, R. Kakinuma, and H. Yamamoto, *Opt. Express* **28**, 35518 (2020). DOI:10.1364/OE.408983

60

60

## Aerial interface requires integration of aerial image and 3D sensing.




IEC/TC110/WG6/PWI110-31
PL: H. Yamamoto

61

61

## Top priorities for anti-CORONA touchless aerial terminal

| Index | Touchless application | Device and product makers | AR/VR and general use |
|---|---|---|---|
| Floating distance | AA | AA | AA |
| Image size | AA | AA | AA |
| 3D position accuracy and stability | AA | AA | AA |
| Viewing angle | AA | AA | AA |
| Ghost image | A | AA | AA |
| Luminance | A | A | A |
| Light use efficiency | C | A | C |
| Optical resolution | C | A | A |
| Distortion and skew | C | A | B |
| Image quality | C | A | A |

IEC/TC110/WG6/PWI110-31
PL: H. Yamamoto

62

62

63

## 国際標準化：PWIを卒業！
## NP (New Work Item Proposal)

IEC

110/1326/RVN

RESULT OF VOTING ON NEW WORK ITEM PROPOSAL (RVN)

PROJECT NUMBER: IEC 62629-52-1 ED1

DATE OF CIRCULATION: 2021-05-14

REFERENCE NUMBER OF THE NP: 110/1303/NP

IEC TC 110 : ELECTRONIC DISPLAYS

| SECRETARIAT: | SECRETARY: | CHAIR: |
|---|---|---|
| Japan | Mr Yoshi SHIBAHARA | Mr Xiaolin Yan |

OF INTEREST TO THE FOLLOWING COMMITTEES: | PROPOSED HORIZONTAL STANDARD: ☐

FUNCTIONS CONCERNED: ☐ EMC ☐ ENVIRONMENT ☐ QUALITY ASSURANCE ☐ SAFETY

TITLE OF PROPOSAL: PNW 110-1303 ED1: 3D display devices - Part 52-1: Fundamental measurement methods of aerial display - Optical

APPROVAL

| P-MEMBERS VOTING | P-MEMBERS APPROVING | P-MEMBERS NOT APPROVING | APPROVAL % | CRITERIA | RESULT |
|---|---|---|---|---|---|
| 11 | 10 | 1 | 90.9 | >=66.7% | APPROVED |

PARTICIPATION

| NUMBER OF P-MEMBERS | P-MEMBERS APPROVING AND PARTICIPATING | CRITERIA | RESULT |
|---|---|---|---|
| 22 | 5 | ≥4 (if ≤16)<br>≥5 (if ≥17) | APPROVED |

64

# 空中表示 AIRR

65

# 再帰反射による空中結像

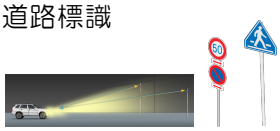
AIRR
(Aerial Imaging by Retro-Reflection)

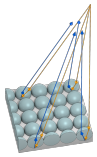
66

## キーデバイス「再帰反射素子」

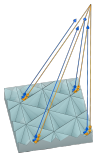
救命胴衣

道路標識





マイクロビーズ型
（ボールレンズ）

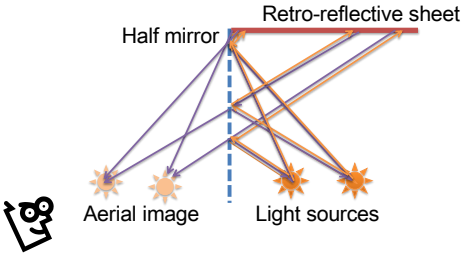


プリズム型
（コーナーキューブ）

67

This work

## (A) Forming an aerial image



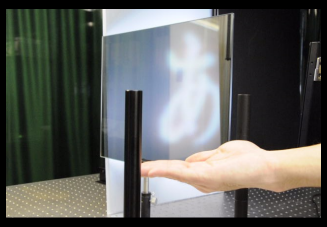

Aerial image is separated from the light source
at the plane-symmetrical position of the light sources
regarding to the half mirror.

68

68

Result

## (B) Smoothing LED gaps

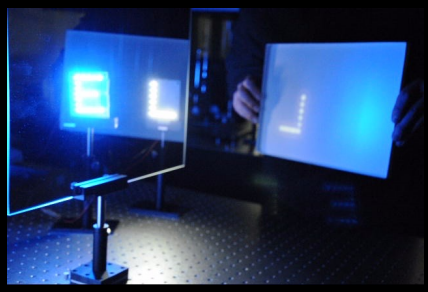


69

69

Result

## (C) Forming multi-layered LED signs

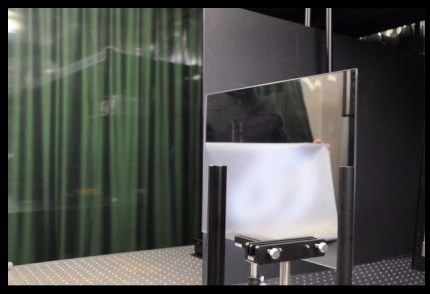


70

70

Result

## (D) Alignment tolerance
— Putting a retro-reflective fabric —



71

71

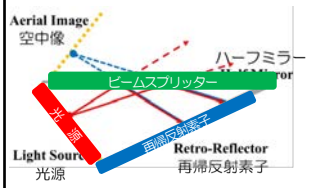
## AIRR (Aerial Imaging by Retro-Reflection)

AIRR features:
1. Wide viewing angle
2. Large-size scalability
3. Low cost and mass-productive optics

H. Yamamoto, et al., Opt. Exp. 22, 26919 (2014).

76

## 再帰反射による空中結像（AIRR）の3要素




光　源

ビームスプリッター

再帰反射素子

再帰反射素子で光を集めることで，
ビームスプリッターに対して
面対称となる位置に，光源ディスプレイの空中映像
を形成する．広い範囲から観察できる特長．

Hirotsugu Yamamoto, Yuka Tomiyama, and Shiro Suyama, *Opt. Express* **22**, 26919 (2014).

３要素の
組み合わせで
多彩な機能化

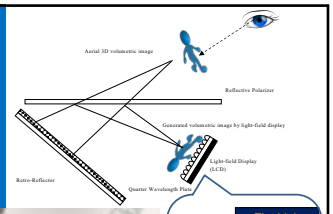
77

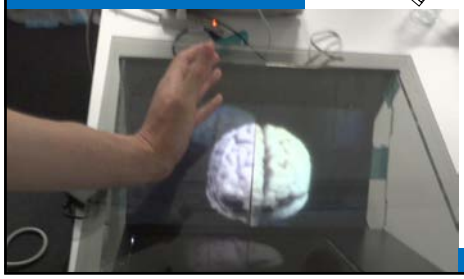
# Optical Designs of AIRR

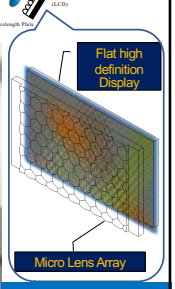
78

78

## Aerial 3D display with AIRR (aerial imaging by retro-reflection)








w/ Nikon

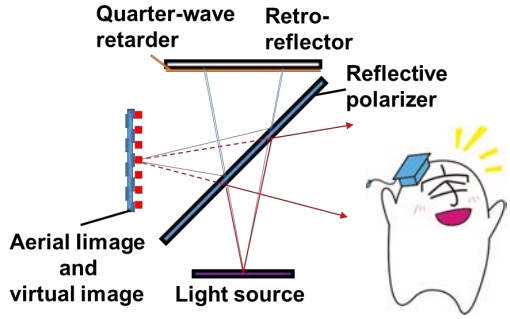
79

# Optical see-through 3D interfance w/ AIRR

80

80

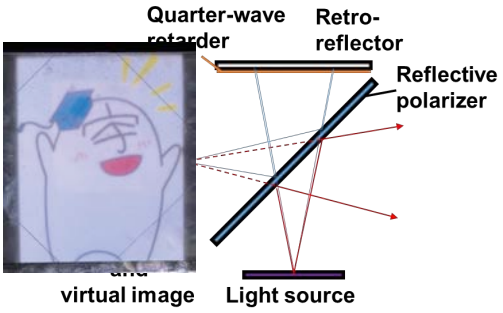
## 光学シースルー型空中表示




81

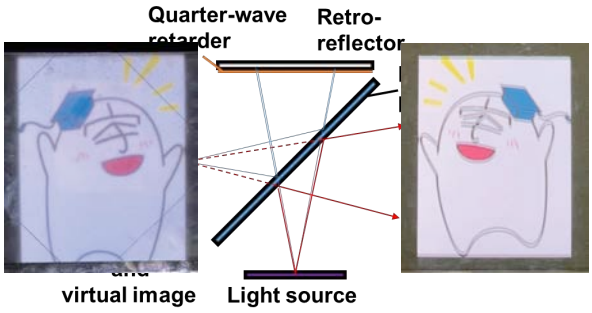
81

## 光学シースルー型空中表示



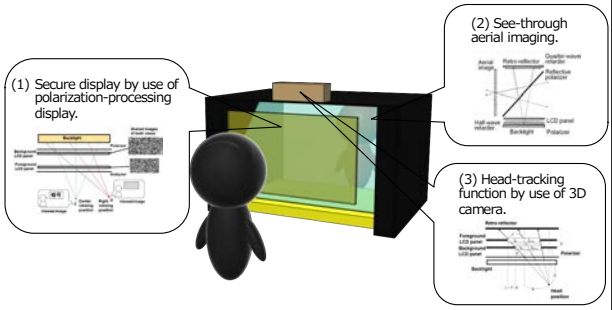

82

## 光学シースルー型空中表示



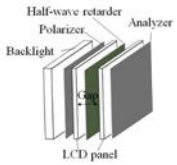

83

## Our proposed display is composed of 3 key technologies

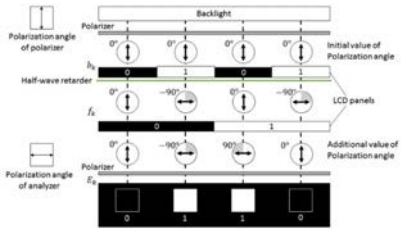



84

## (1)Structure of polarization-processing display to realize secure display




Structure of polarization-processing display.




$$E_k = f_k \oplus b_k$$

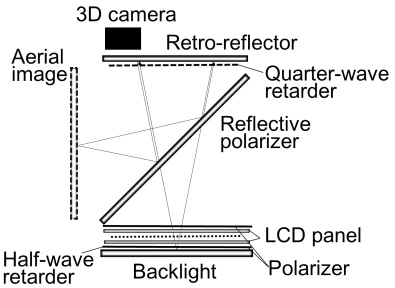
$$f_k, b_k, E_k, \in \{0,1\}$$

$\oplus$ expresses XOR operation.

Multiple modulations of polarization angle by two-layered LCD panels and a half-wave retarder.

85

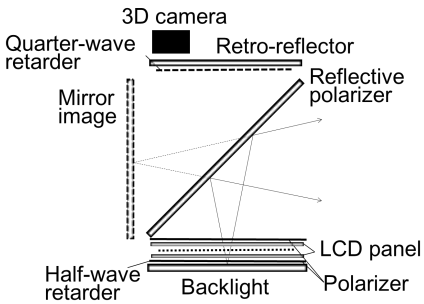
## (2)Aerial image is formed by utilizing transmit light.




Principle of see-through aerial display.

86

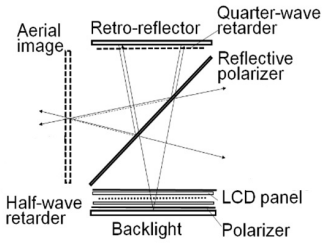
## (2)Reflected light shows the virtual image for a user in the opposite side.




Principle of see-through aerial display.

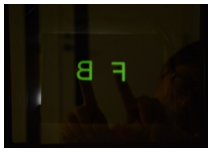
87

## (2)Viewed images of see-through aerial display




The structure of see-through display.

Viewed image from the user's directions.

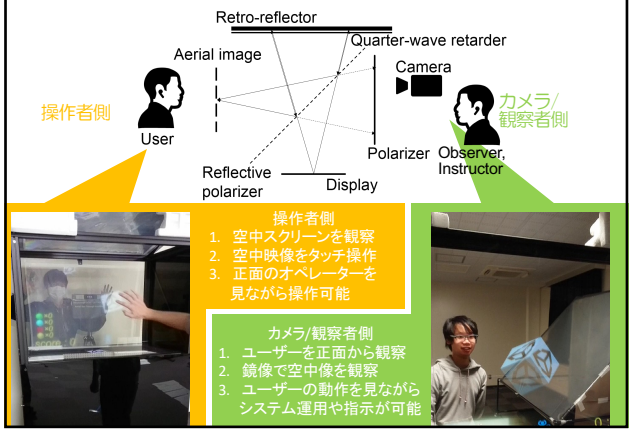


Viewed images from the opposite side.

88

88

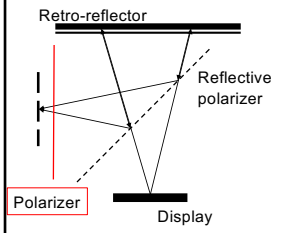
## 光学シースルー構造により正面からジェスチャーを検出可能

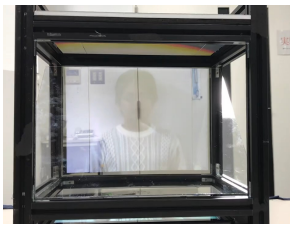



89

## 正面から撮影できる視線一致空中インタフェース

装置前面に偏光板，透過軸回転



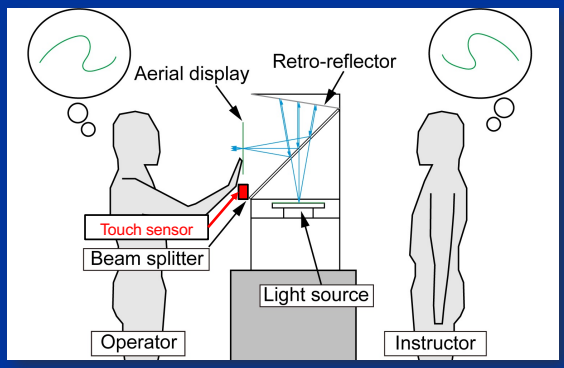



空中像のみ見える→背景のみ見える

90

90

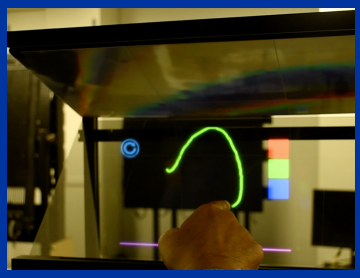
## タッチレス空中インターフェース




91

91

## タッチレス空中インターフェース



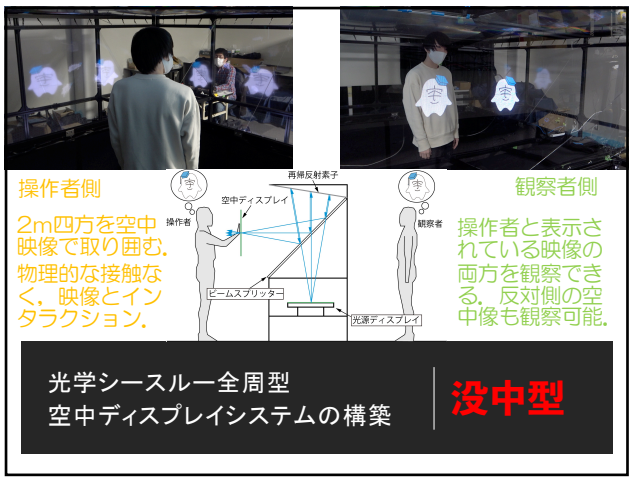
| Light source LCD display | | Touch sensor | |
|---|---|---|---|
| Size | 10.4 inches | Size | 230mm |
| Resolution | 800×600 pixels | Sensing area | 230.4×208.5 mm |
| Outline dimensions | 236×176.9×6.3 (mm) | Minimum object size | 5 mm (diameter) |
| Luminance | 2000 (cd/m$^2$) | Touch resolution | 0.1 mm |

93

93

## ユーザーの周囲を空中映像で囲む全周型空中インターフェース

94

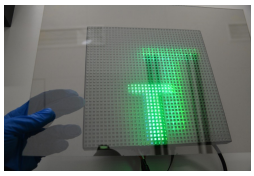



95

# Compact AIRR

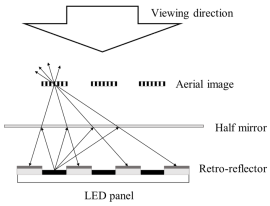
96

## 大型化のフットスペースの削減



LEDの隙間に再帰反射素子を配置

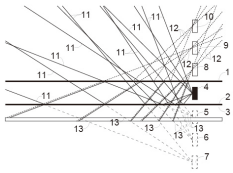
バックライト（導光板）の上に
パターンで穴あき加工した再帰反射シート
を置く形でも可能）



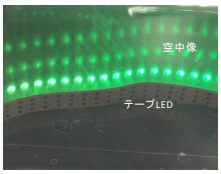

D. Nishimura, M. Yasugi, and H. Yamamoto: "Proposal of moire-free aerial display based on the LED panel and apertured retro-reflector," Opt. Review, (2021). https://doi.org/10.1007/s10043-021-00642-y

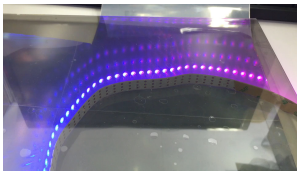
97

## 合わせ鏡構造：薄型化



1ビームスプリッター
2ビームスプリッター
3 再帰反射シート
4 光源
5 虚像
6 虚像
7 虚像
8 空中像
9 空中像
10 空中像
11 表面反射光
12 裏面反射光（再帰反射光）
13虚像までの光線のイメージ



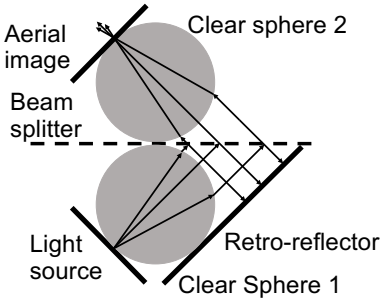
K. Chiba, M. Yasugi, and H. Yamamoto: "Multiple aerial imaging by use of infinity mirror and oblique retro-reflector," *Jpn. J. Appl. Phys.* **59**, SOOD08 (2020).

98

# Novel design

104

## 透明球と組み合わせた空中表示



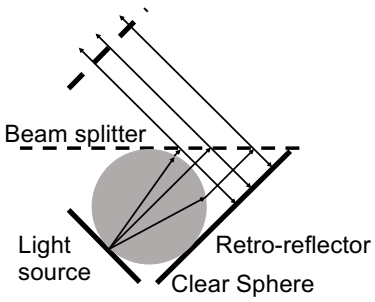
通常の空中像

透明球2個

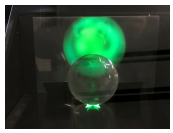
K. Fujii, M. Yasugi, S. Maekawa, and H. Yamamoto: "Reduction of retro-reflector and expansion of the viewpoint of an aerial image by the use of AIRR with transparent spheres," *OSA Continuum* **4**, pp. 1207–1214 (2021).

105

## 透明球と組み合わせた空中表示



通常の空中像



透明球1個

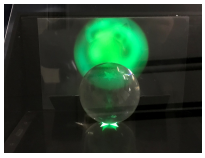
K. Fujii, M. Yasugi, S. Maekawa, and H. Yamamoto: "Reduction of retro-reflector and expansion of the viewpoint of an aerial image by the use of AIRR with transparent spheres," *OSA Continuum* **4**, pp. 1207–1214 (2021).

106

106

## 透明球と組み合わせた空中表示

通常の空中像



透明球1個

透明球2個

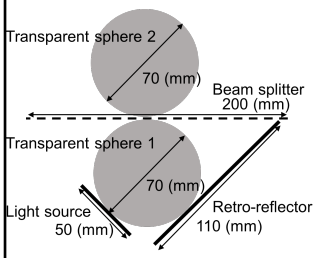
2 つの透明球を用いて，空中表示を隠すことと表示することができた．

K. Fujii, M. Yasugi, S. Maekawa, and H. Yamamoto: "Reduction of retro-reflector and expansion of the viewpoint of an aerial image by the use of AIRR with transparent spheres," *OSA Continuum* **4**, pp. 1207–1214 (2021).

107

107

## シミュレーション構成

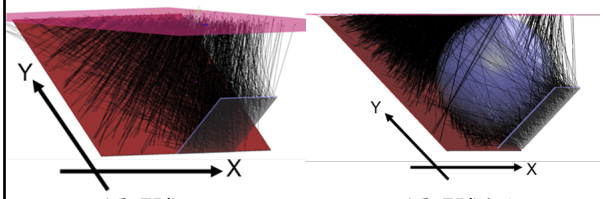



- シミュレータ
  Light tools 9.0.0
- 面光源
  50*50mm, (W * H)
  傾き -45°
  目標球（放射範囲） 45°
  波長 550nm
- 透明球
  直径 70mm, PMMA
- 再帰反射素子
  110*110mm (W * H)
  傾き 45°

108

108

## 1. 再帰反射素子に入射する光



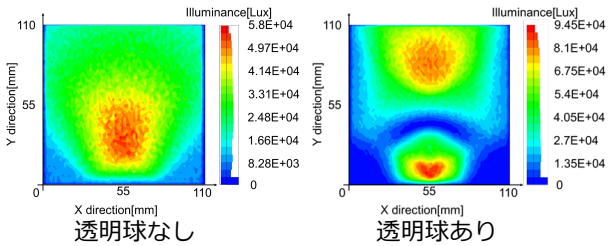

透明球なし　　透明球あり

透明球によって，光線の広がりが絞られている．

109

109

## 1. 再帰反射素子に入射する光



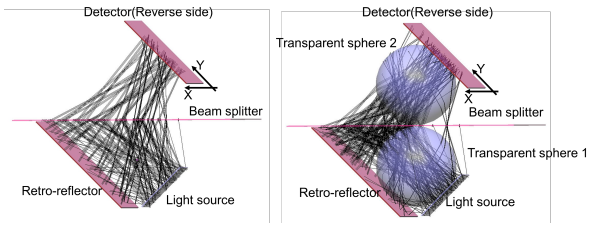

透明球なし　　透明球あり

透明球によって，再帰反射素子に入射する光が集められている．
左右方向の損失光が低減されている．

110

110

## 2.空中結像のシミュレーション

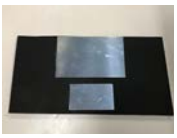



111

111

## 透明球と組み合わせた空中表示

【透明球なしの場合】



再帰素子の形

表示元画像

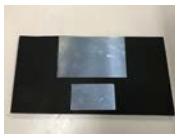
・視野角が狭め
・素子の切れ目で像が消える
・表面反射がノイズ

112

112

## 透明球と組み合わせた空中表示

【透明球ありの場合】



再帰素子の形

表示元画像

・視野角が広くなった.
・素子の切れ目で像が消えない
・表面反射が気にならない

113

113

## 透明球と組み合わせた空中表示

左右方向の視野角

透明球なし
左右約30度

透明球あり
左右約45度

明らかに，左右方向の視野角は広くなっている.

K. Fujii, M. Yasugi, S. Maekawa, and H. Yamamoto: "Reduction of retro-reflector and expansion of the viewpoint of an aerial image by the use of AIRR with transparent spheres," *OSA Continuum* **4**, pp. 1207–1214 (2021).

114

114

# 社会実装にむけて

キラーアプリケーション？
夢？　異分野への応用？
ご相談ください.

115

## 空中ディスプレイは 自由空間インタフェースのコア技術

1. 自由空間インタフェースは，5G時代のinformation / humanの界面を担う.
2. 従来のFPD以上に設置空間とユースケースに応じた光学設計が求められる.
3. ユーザーの位置やジェスチャーのセンシング・AIによる認識などと組み合わせることでキャッシュレス決済などへのシステム化のキーテクノロジーである.

118

## 用途

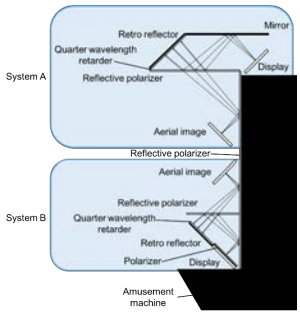
- 自動車のヘッドアップディスプレイ(**)や操作入力用の画面に利用できる.
  - (**)自動車の運転手が視線を前方に向けたままで観察できるディスプレイ技術のこと. 2019年の世界市場規模は2億5260万ドル（MarketsandMarkets調べ）
- 工場や医療現場において手袋をしたままでタッチ操作のできる端末を可能にする.
- ATMなどにおいて覗き込み防止かつ衛生的な画面や空中ボタンに利用できる.
- IR施設やアミューズメント分野において飛び出す画面で注目を集める演出を行う.

119

119

## 車，エンタメ，表示（看板）

AIRR による空中ディスプレイのアミューズメント機器応用
Application of an Aerial Display with AIRR for an Amusement Machine

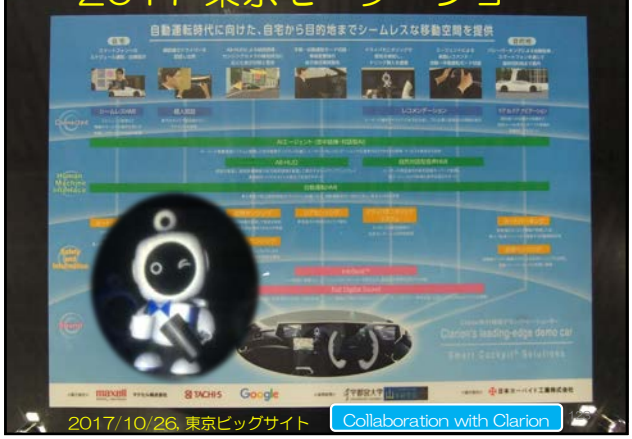



日本光学会年次学術講演会
Optics & Photonics Japan 2017にて発表（講演番号 31aP18）.

122

122

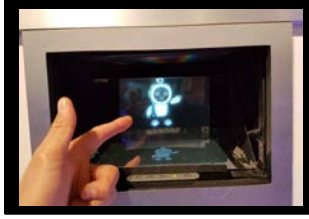
## 2017 東京モーターショー




2017/10/26, 東京ビッグサイト

Collaboration with Clarion

123



CES@Las Vegas, 2018

125

125

## 応用展開：エンターテイメント

NCI 日本カーバイド工業株式会社

『ドクター・コッペリウス』
渋谷Bunkamuraのオーチャードホール　2016年11月

https://youtu.be/ruXWgmuagE8

126

126

## INPA (National Institute for Amazon Research)@ Manaus, Brazil

Over 30,000 people visit Bosque da Ciencia every year.

INPA

Collaboration with INPA, Kyoto Univ. and JICA. Renewal open: June 5th, 2019

130

130

## 世界初のガラス壁を飛び出す動画の「公衆向け空中ディスプレイ」

日刊スポーツ

12/24-1/11（好評により延長中）
日刊スポーツ新聞社東京本社ビル１F

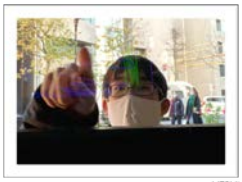
UTSUNOMIYA UNIVERSITY

131

131

## 世界初のガラス壁を飛び出す動画の「公衆向け空中ディスプレイ」

日刊スポーツ



UTSUNOMIYA UNIVERSITY

132

## 世界初のガラス壁を飛び出す動画の「公衆向け空中ディスプレイ」

日刊スポーツ

価値あるVR創造企業 ソリッドレイ研究所

NCI

国立大学法人 宇都宮大学 UTSUNOMIYA UNIVERSITY

UTSUNOMIYA UNIVERSITY

133

## 空中ディスプレイは 自由空間インタフェースのコア技術

1. 自由空間インタフェースは，これからのIoT・サービスプラットフォームとユーザーの界面を担うと期待される．
   1. 自動車（自動運転・シェアライド）
   2. 衛生・安全安心（工場・医療・食品端末）
   3. エンタメ・新領域（IR施設・観光）
2. 精密加工・高機能材料が性能を左右する．
3. 従来のFPD以上に設置空間とユースケースに応じた光学設計が求められる．

134

## ご清聴ありがとうございました.

宇都宮大学 工学部基盤工学科 情報電子オプティクスコース
山本裕紹 ( hirotsugu@yamamotolab.science )

135