

BBLセミナー プレゼンテーション資料

2025年7月31日

「空中タッチ、世界標準へ：
日本発インターフェースが切り拓く未来」

山本 裕紹

<https://www.rieti.go.jp/jp/index.html>

空中タッチ、世界標準へ： 日本発インターフェースが切り拓く未来

山本裕紹¹⁻¹⁵

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 ロボティクス・工農技術研究所 (REAL) 副所長

⁴宇都宮大学 オプティクス教育研究センター(CORE) 兼任

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 調査員

⁶Head of Delegation for IEC/TC110 Japan Mirror National Committee (TC110日本代表)

⁷Project Leader of IEC/TC110/WG6 IEC 62629-52-1 ED1 (空中ディスプレイ)

⁸Project Leader of IEC/TC110/WG6 PW1 (面対称実像結像光学系)

⁹Project Leader of IEC/TC110/WG12 PW1 (コンタクトレンズディスプレイ)

¹⁰宇都宮市まちづくり協議会 泉町活性化プロジェクト 委員

¹¹SID日本支部 副代表

¹²一般社団法人 映像情報メディア学会立体メディア技術研究会 (3DMT) 副代表幹事

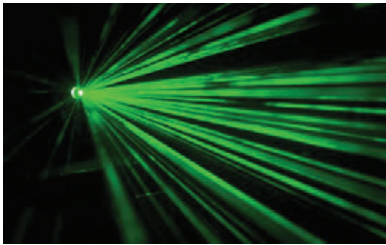
¹³国際ディスプレイワークショップ (IDW)' 25 プログラム副委員長

¹⁴一般社団法人電子情報技術産業協会 (JEITA) 未来戦略検討分科会 主査

¹⁵一般社団法人光産業技術振興協会 光産業動向調査委員会委員/ディスプレイ・固体照明専門委員会 委員長

光工学とは？

光源



光工学

ミラー
レンズ
フィルター
ホログラム
回折格子
偏光素子
光ファイバー
光導波路
空間光変調素子

光検出器



光源と光検出器を結ぶ光の現象を理解し，操ることによって
新しい価値を見いだそうとする学術とその工学応用



なぜ栃木県に光学拠点なのか？

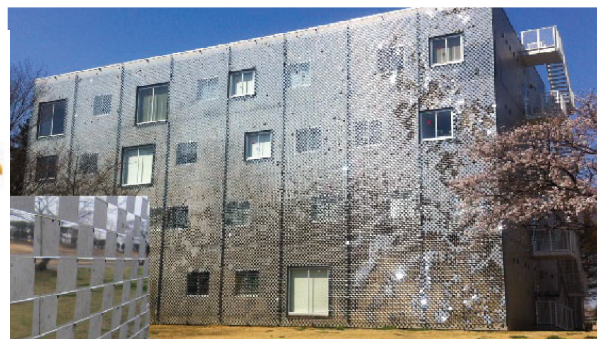
ひかりは栃木県の重要産業



(令和元年度 工業統計調査より)

オプティクス教育研究センターと宇大・光教育のはじまり

光工学は 主要産業を支えるキーテクノロジーである。残念なことに、光学分野における体系的な教育を実施する機関は多くない。



オプティクス教育研究センター
Center for Optical Research and Education
(CORE)

『光学技術に関する体系的な教育と
世界最先端の研究拠点』

Since April 2007

大学院 光工学プログラム
Department of Optical Engineering

『日本唯一の光工学の教育組織
(博士前後期課程)』

Since 2016

大学院 地域創生科学研究科
工農総合科学専攻 光工学プログラム
先端融合科学専攻 オプティクスバイオ
デザインプログラム

2019年より 修士課程 学位 修士 (光工学)

2021年より 博士課程 学位 博士 (光工学)

ともに日本初！



オプティクス
教育研究センター

Center for Optical Research and Education



オプティクス 教育研究センター

Center for Optical Research and Education



本建物は、2024年に“建築界のノーベル賞”とも称されるプリツカー賞を受賞した建築家・山本理顕氏によって設計されました。

最先端光学・光工学の教育・研究プログラム



オプティクス
教育研究センター
Center for Optical Research and Education

オプティクス教育研究センターの教員

日本光学会
会長
「光学」
元編集委員長



東大
大谷 幸利 / Yukitoshi Otani

Prof., Director

日本光学会
元会長



東大
武田 光夫 / Mitsuo Takeda

Honorary Fellow

「光学」
元編集委員長



東大
山本 裕紹 / Hirotsugu Yamamoto



筑波大
早崎 芳夫 / Yoshio Hayasaki

Prof., Vice Director

日本光学会
元会長



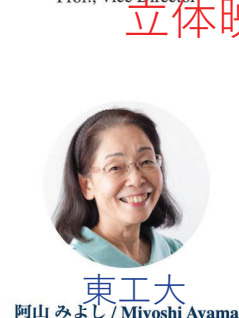
東大
黒田 和男 / Kazuo Kuroda

Honorary Fellow



慶應大
杉原 興浩 / Okihiko Sugihara

Prof., Vice Director



東工大
阿山 みよし / Miyoshi Ayama

Honorary Fellow



東大
谷田貝 豊彦 / Toyohiko Yata

Honorary Director

立体映像産業推進協議会
元会長



九大
陶山 史朗 / Shiro Suyama

Specially-appointed prof.



京大
玉田 洋介 / Yosuke Tamada

Assoc. Prof.



東大
藤村 隆史 / Ryushi Fujimura

Assoc. Prof.



東大
二宮 尚 / Nao Ninomiya

Assoc. Prof.



宇都宮大
大塚 崇光 / Takamitsu Otsuka

Assist. Prof.



徳島大
長谷川 智士 / Satoshi Hasegawa

Assoc. Prof.



東工大
池田 威秀 / Takehide Ikeda

Specially-appointed
Assist. Prof.



筑波大
茨田 大輔 / Daisuke Barada

Assoc. Prof.



同志社大
オナカ ジェシカ / Jessica Onaka

Assist. Prof.



アリゾナ大
Hagen, Nathan



東工大
篠田 一馬 / Kazuma Shinoo



横国大
近藤 圭祐 / Keisuke Kondo

Assist. Prof.



神戸大
全 香玉 / Xiangyu QUAN

Assist. Prof.



ナポリ・パルテノペ大
ラジェヴ ランジャン / Rajeev
Ranjan

Specially-appointed Assist.
Prof.



宇都宮大
熊谷 幸汰 / Kota Kumagai

Assist. Prof.

<https://uu-core.com/member.html>

光工学プログラムのアドミッションポリシー

光工学プログラムでは、このような方を求めています！

基礎から先端まで
From Fundamentals to
Advanced Applications

数学、物理学などの基礎科目を取得し、
光学・光工学に関連する分野で活躍したい人

グローバル
Adaptability to Globalization

幅広い視野を持ち、高いコミュニケーション
能力を持ち、グローバルな場で活躍したい人

産業界・地域との協働
Collaboration with Industry
and Local Partners

自分の専門的知識を基に未知の分野や
未踏の技術に挑戦し、社会に貢献したい人

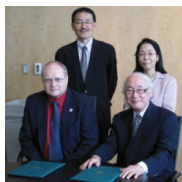
宇都宮大学光工学グローバルネットワーク Utsunomiya Univ - Global Optics Network (UU-GON)



★
● アリゾナ大JW学光科学部
USA

学術交流協定 (2007.10.9)

- ・ 遠隔授業
- ・ 教員・学生交流
- ・ 共同研究/国際共著論文
- ・ 教員採用



★
● 中央フロリダ大学
USA

学術交流協定 (2012.7.3)

★
● 東フィンランド大学
Finland

- 二重学位協定
- ・ 学生派遣 & 学位取得



学術交流協定 (2014.2.11)

- ・ 教員交流
- ・ 博士留学生在籍
- ・ 共同研究/国際共著論文
- ・ ポスドク
- ・ 博士論文審査委員



パツキー大学オロモウツ
Czech



★
● ナンヤン工科大学
Singapore



学術交流協定 (2013.4.8)

- ・ 教員交流
- ・ 博士論文審査委員

★
● シュツットガルト大学
Germany

- ・ 学生派遣
- ・ 教員交流

★
● 西安工業大学
China



★
● 浙江大学
China

大学間交流協定校

- ・ 教員交流
- ・ 外部評価委員



★
● カルカッタ大学
応用フォトニクス学科
India

- 学術交流協定 (2011.12.11)
- ・ 博士国費留学生学位取得 (3名)
 - ・ 教員交流
 - ・ 博士論文審査委員
 - ・ 共同研究



★
● インド宇宙科学大学
物理学科
India

- 学術交流協定
- ・ 教員交流
 - ・ 共同研究



- ★ 大学発ベンチャーに大きな実績あり
- 各大学が連携する企業へ地域中小企業の橋渡し

交渉中

- ・ Institute Optics (France)
- ・ Guadalajara University (Mexico)
- ・ King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (Thailand)
- ・ Fujian Normal University (China)

光工学プログラムの主な科目

基礎光学

幾何光学
結像



光学設計

光線追跡
CodeVを使った演習

光学基盤技術

光学実験
加工、計測
光学器械



波動光学

波動光学
フーリエ光学
干渉、回折、偏光



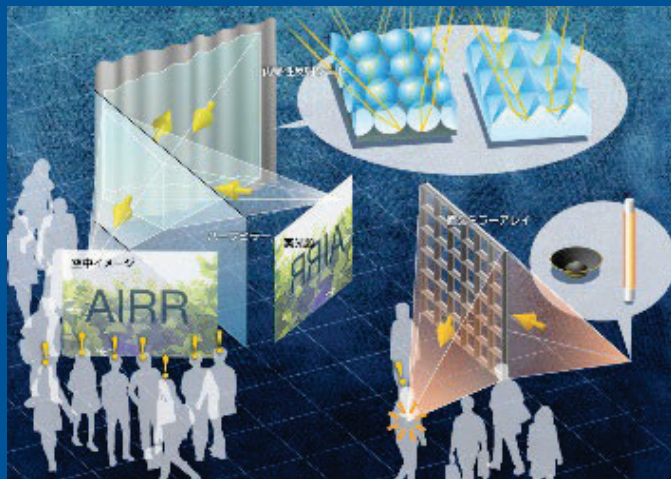
光計測
オプトメカトロニクス
工学システム科学
情報光学
画像工学

レーザープラズマ工学
感性情報処理
ディスプレイ工学
光導波路デバイス

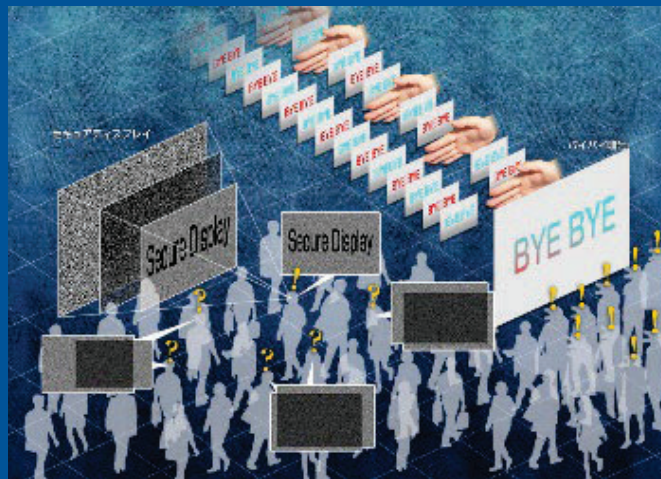
先端フォトニクス
数理光物理学
可視化情報工学
生命分子光工学

光学界の方々から「うらやましい」
と言われるカリキュラム

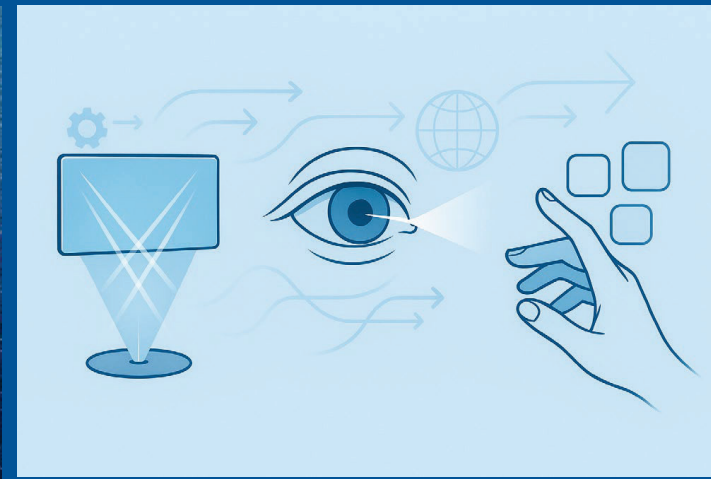
Hirotsugu Yamamoto



Sci-Fi / Screen-Free display



Somewhat Funny display



Standardization for Future HMI

Yamamoto Lab.: 31 Members + 8 Visiting Professors

- 1) **Professor – Distinguished Professor –**
- 2) Project appointed professor and assistant professor
- 3) Secretary and 2 part-time researchers
- 4) 7 Ph. D candidates (5 full-time workers and 2 full-time students)
- 5) 10 Master candidates
- 6) 7 Bachelor candidates

IEC/TC110

1. **Head of Delegation of Japan National Mirror Committee**
2. Project Leader of aerial display, aerial display optical system, and contact lens display.
3. Member of working groups in JEITA (WG6, WG12, WG19, AGS, etc.)

IDW'25 will be held in Hiroshima in Dec. 3-5.

1. **Vice Program Chair of IDW'25**
2. FMC-WS ex-chair, PRJ and 3D WS member
3. IDW core member

The Optical Society of Japan (OSJ)

1. **Vice Program Co-Chair of LDC2025**, held by Laser Display Technology Group

SPIE Program committee member of

1. Ultra-High-Definition Imaging Systems Conference at Photonics West
2. Three-Dimensional Imaging, Visualization, and Display at Defense + Commercial Sensing

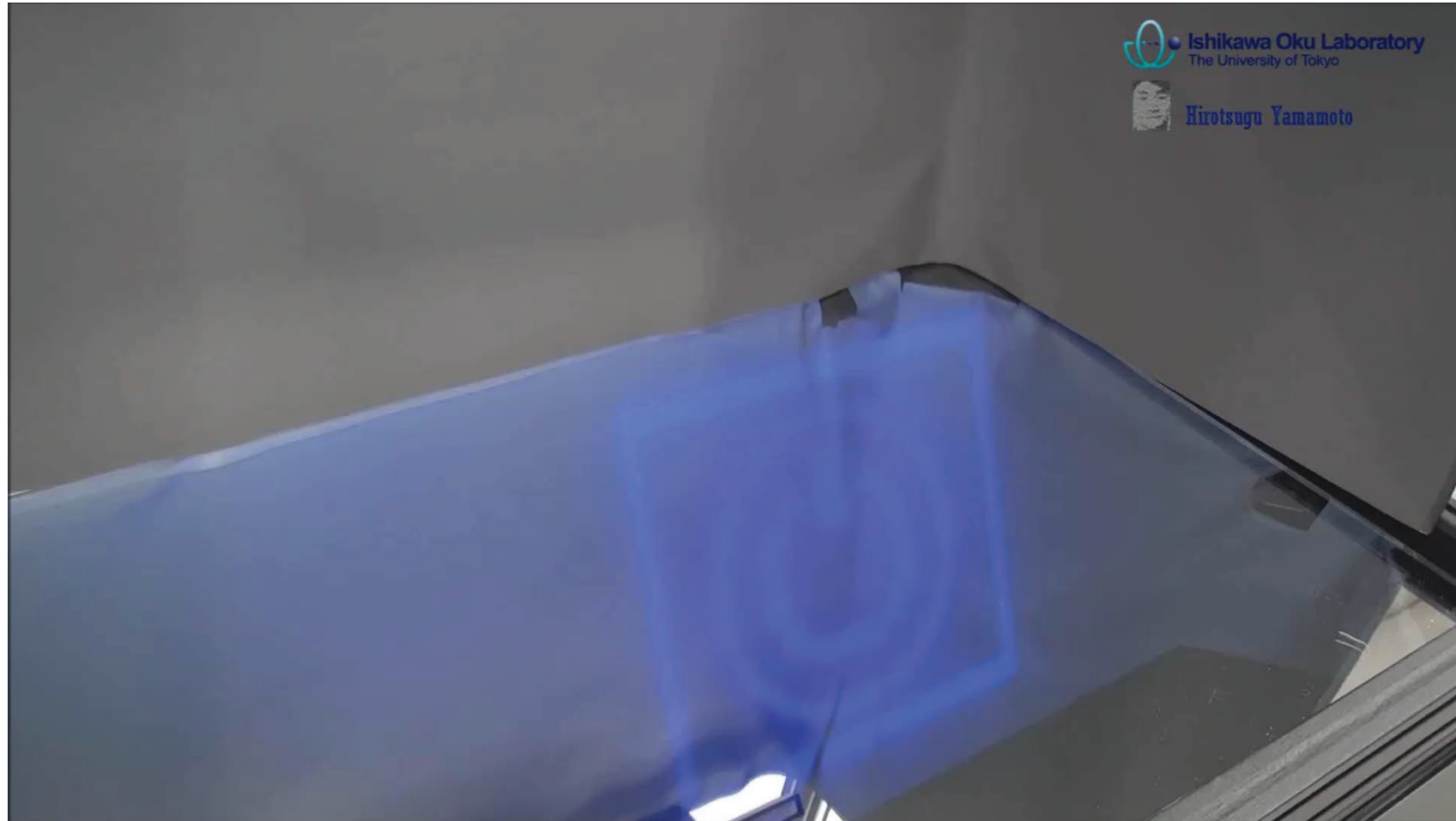
IMID Co-Chair of AR/VR and 3D subprogram committee.

3DSA and IP2025 will be held in Taipei in Sep. 3-4. Program Committee Member.

SID

1. DSY Sub-committee Member for Display Week
2. **Vice President of Japan Chapter**
3. President of Display Training School in Japan Chapter
4. Advisor for Student Chapter in Japan

S F ディスプレイを実現



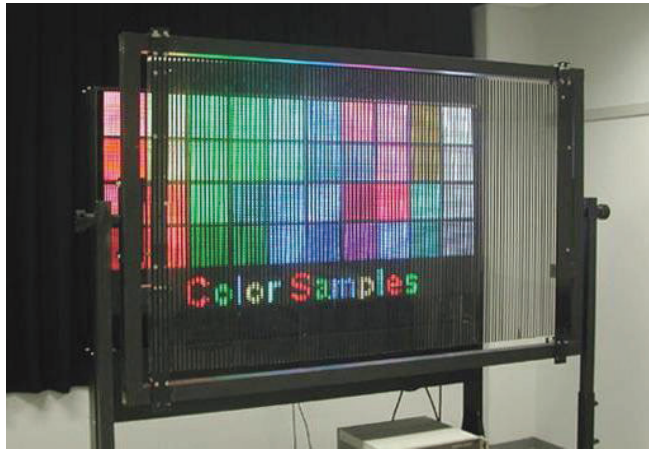
※出典 : YouTube AIRR Tablet: Floating Display with High-Speed Gesture UI
(著作権 : Ishikawa Group Laboratory)

URL : <https://youtu.be/iJd7fpH8n6M>



Somewhat Funny display

パララックスバリア式LED立体ディスプレイ



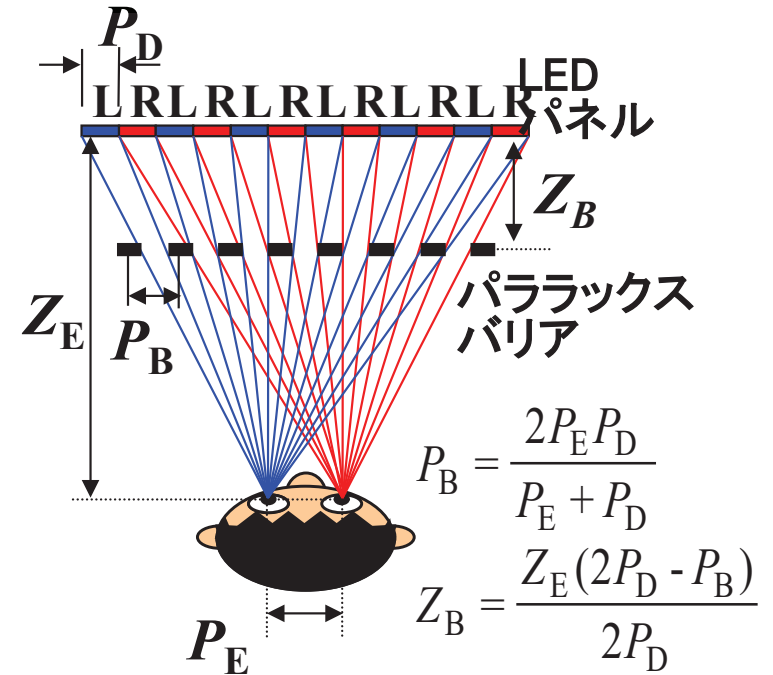
パララックスバリア式
LED立体ディスプレイ

フルカラーLEDパネル
(3イン1チップ型LED)

- サイズ: 1.54m × 0.77m
192 × 96画素
- ピッチ: 8 mm

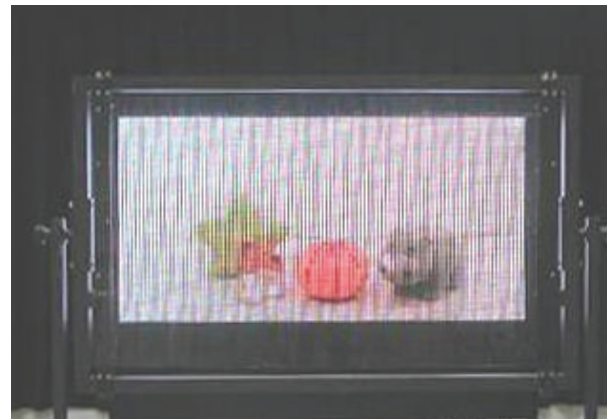
パララックスバリア

- ピッチ: 14.4 mm
- 両眼間隔: 65 mm
- 観察距離: 5 m

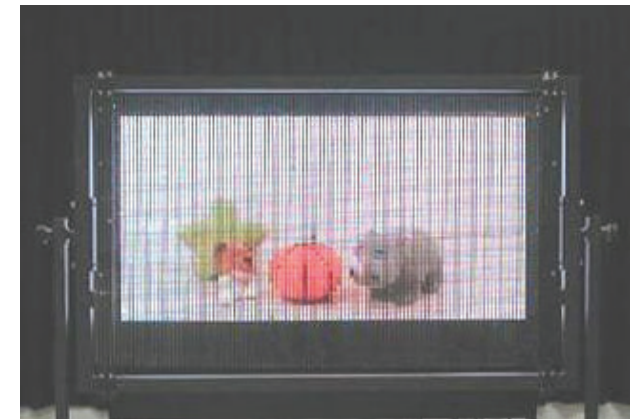


表示画像

右眼用画像と左眼用
画像を縦の1画素列
ごとに交互に配置



左眼位置で
観察された画像



右眼位置で
観察された画像

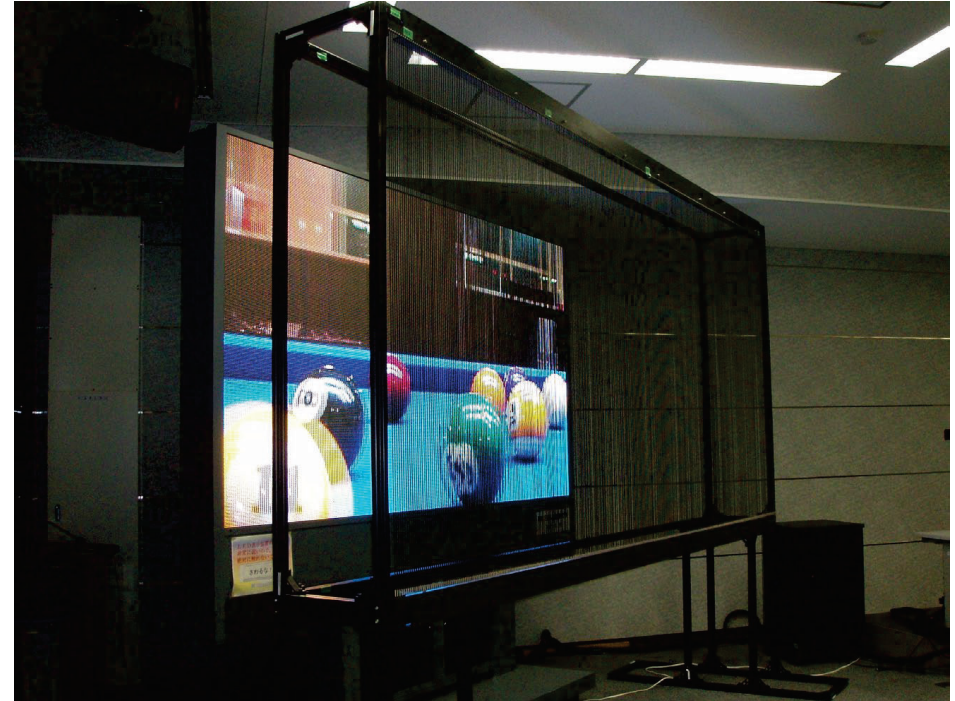
2001.12.

LEDを用いたパララックスバリア式3Dディスプレイ



LED panel:

- 3-in-1 SMD 6-mm pitch
- 512 × 288 pixels
- 3072mm × 1728mm
(140-inch diagonal)



Parallax barrier:

- 11-mm pitch
- 4m × 2m
- 127cm in front of LED panel
(15-m viewing distance)

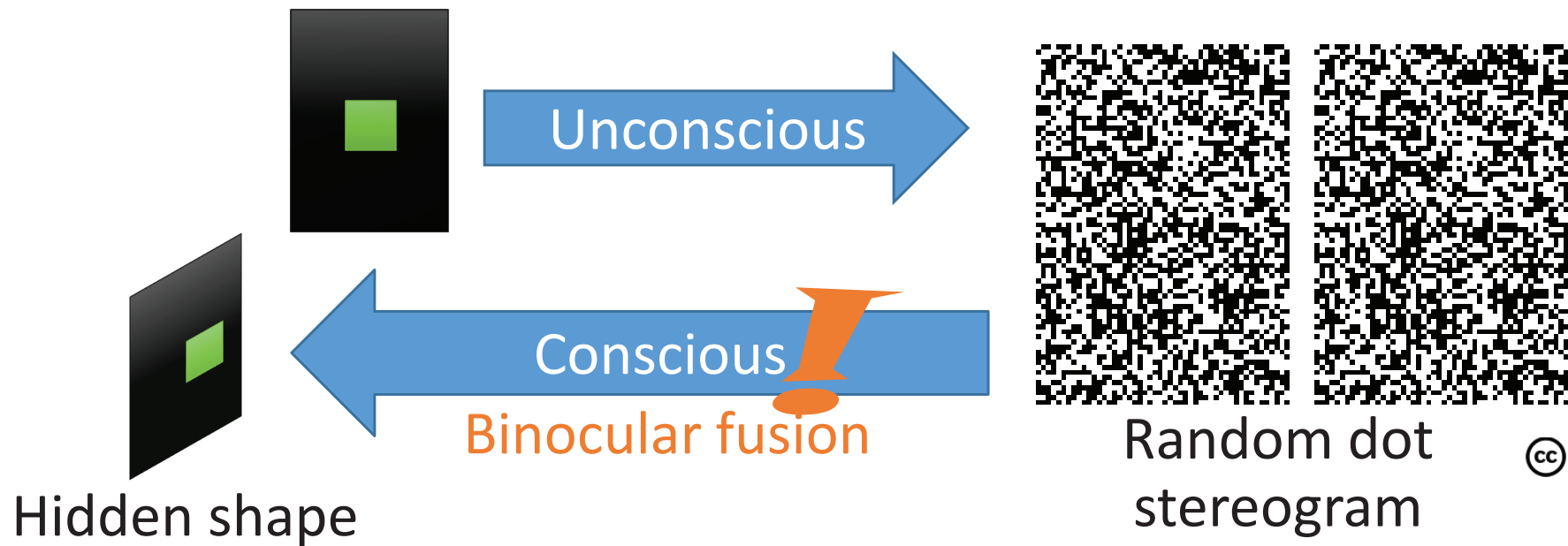
2007.8.

Digital signage is required to provide 📢's.

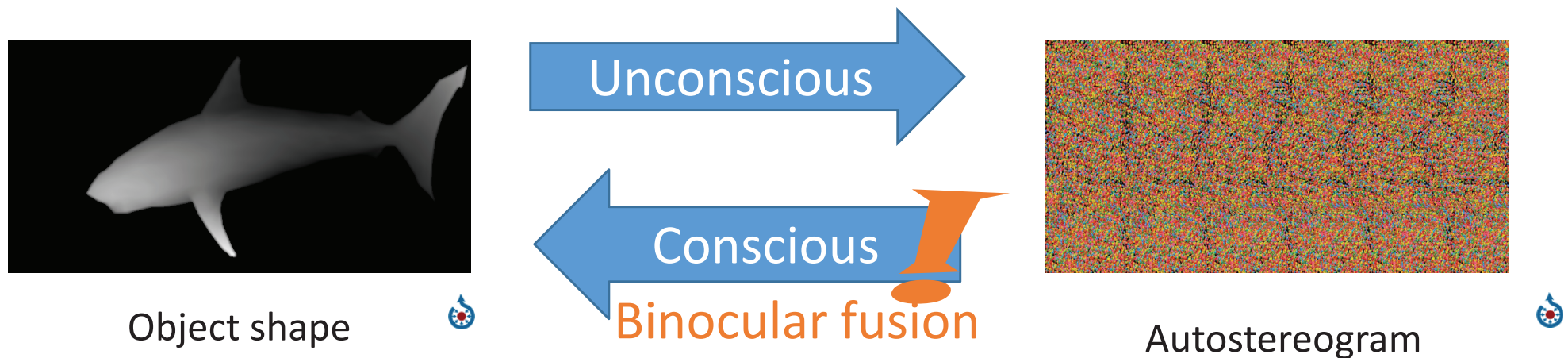


📢:sensation, curiosity, fun, joy, ..."I want to watch more."

Stereoscopic 3D provides !'s.

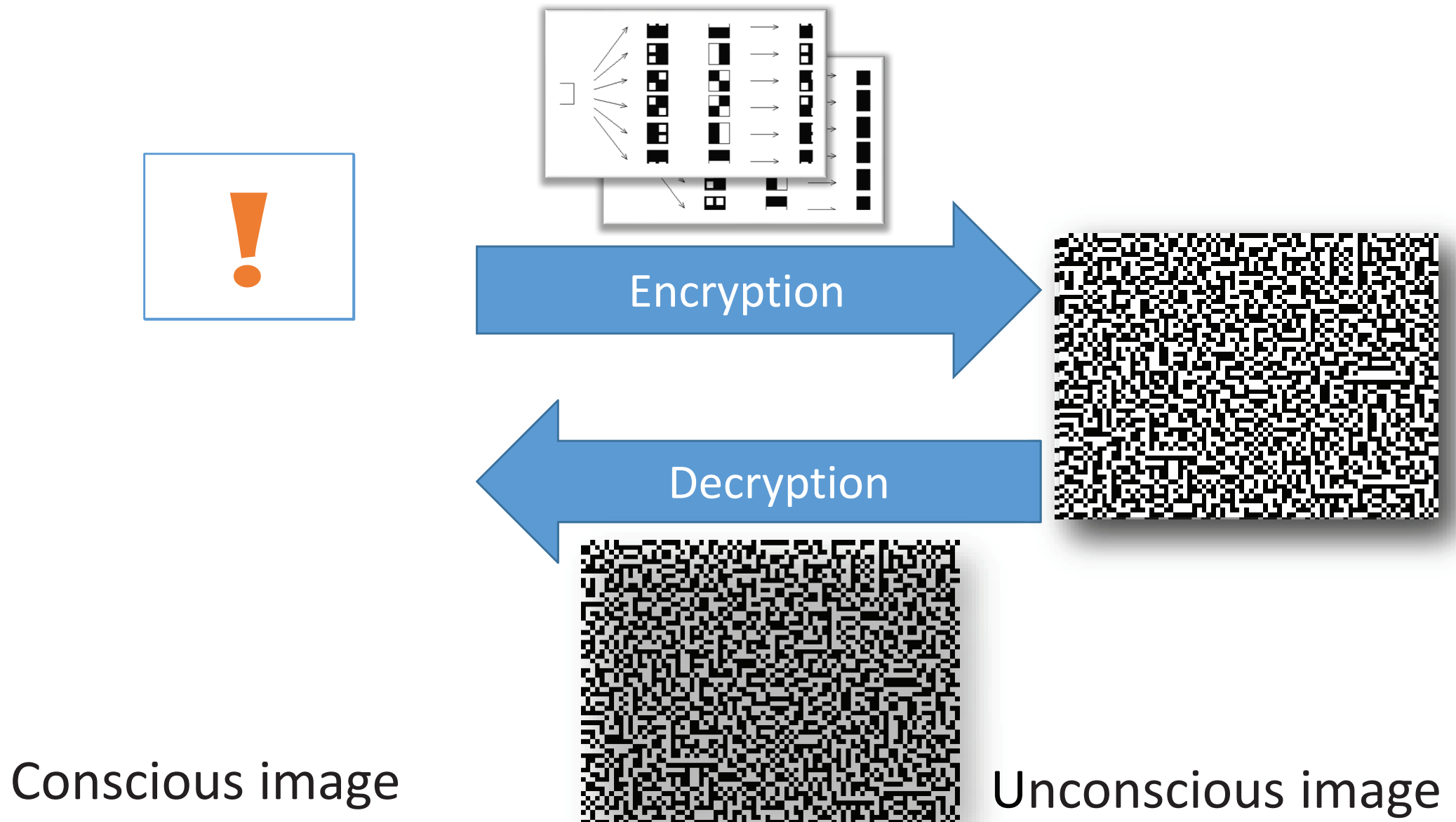


© <http://en.wikipedia.org/wiki/Stereograms>

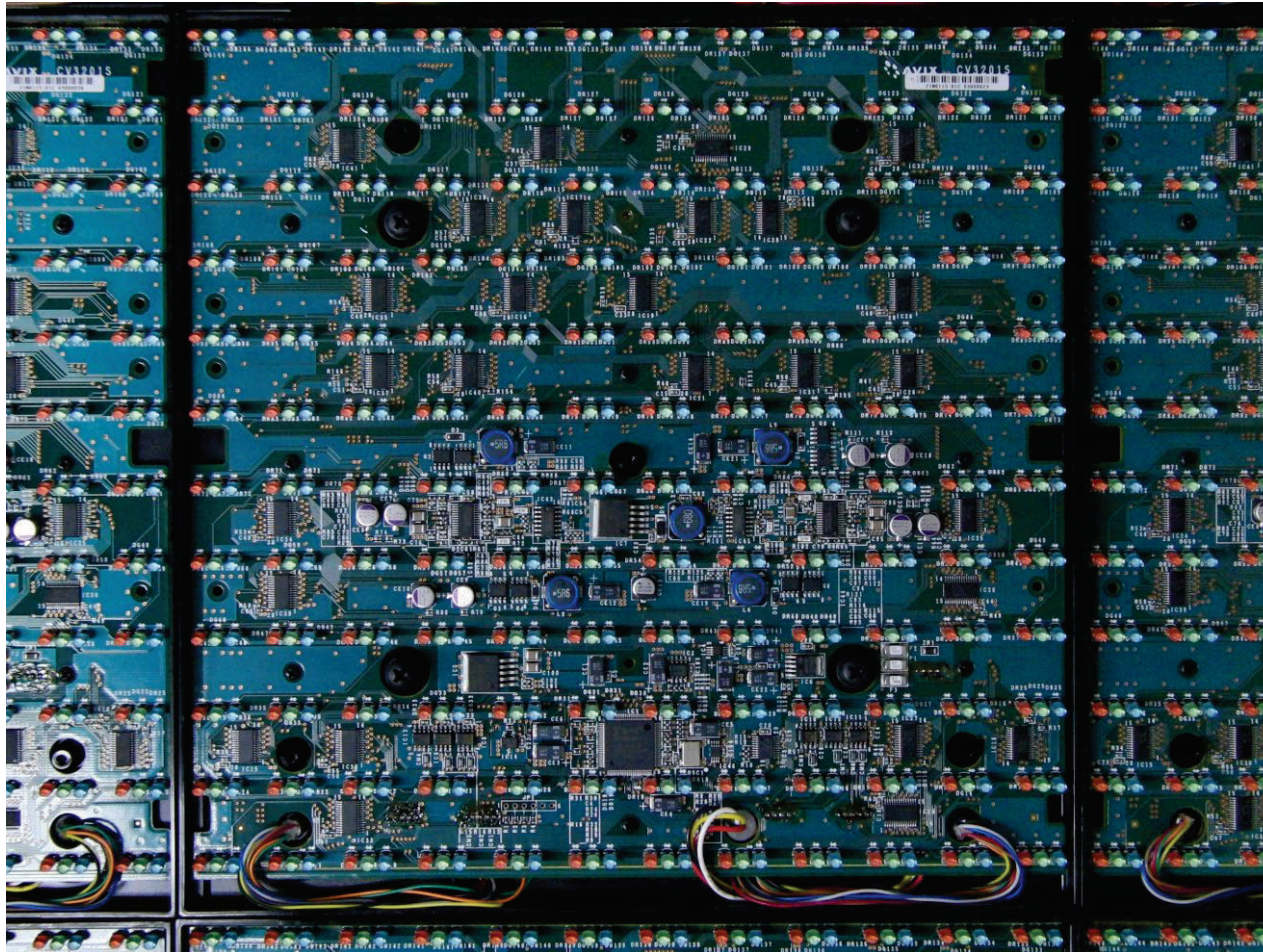


http://en.wikipedia.org/wiki/File:Stereogram_Tut_Random_Dot_Shark.png

Conscious/Unconscious conversion in spatial coding for optical encryption



480-Hz LED panel



Brightness: 5,000 cd/m² Pitch: 20 mm

An LED unit contains 12×12 pixels. By tiling 16 LED units, we constructed an LED panel with 48×48 pixels (96cm \times 96cm). The FPGA chip in the center bottom controls emission timing of the LEDs in the unit.

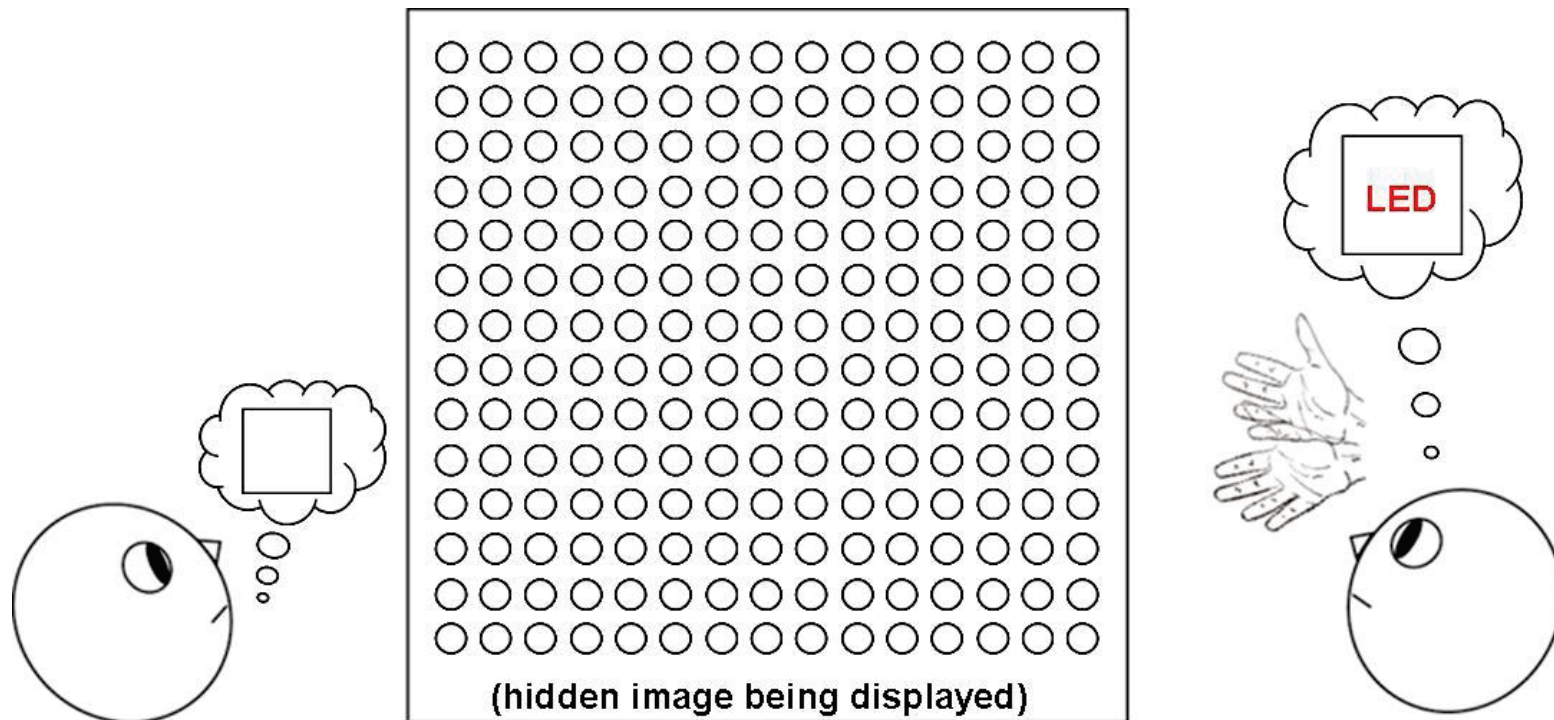
「暗号」サイネージのねらい

- デジタルサイネージの課題
 - より多くの人の視線を得ること
 - 注目を維持すること
- 見る動機付け：現状はコンテンツ依存
 - クーポン番号の表示：金銭的な楽しみ
 - クイズで暇つぶし：知的な楽しみ
 - パブリックビューイング：みんなと見る楽しみ

手振り復号型暗号

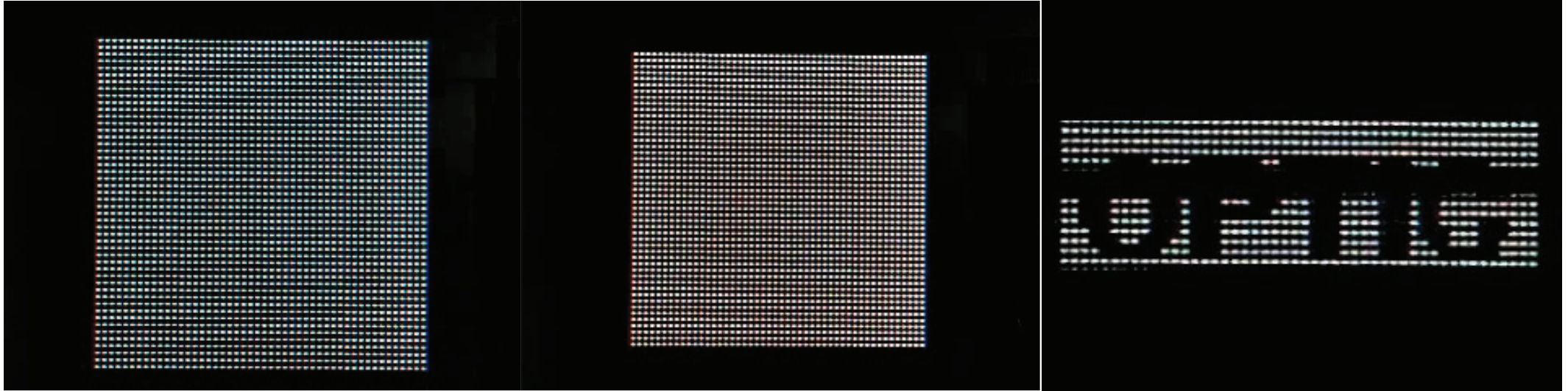
目の前で

手を振りながら 解く暗号



名付けて「バイバイ暗号」

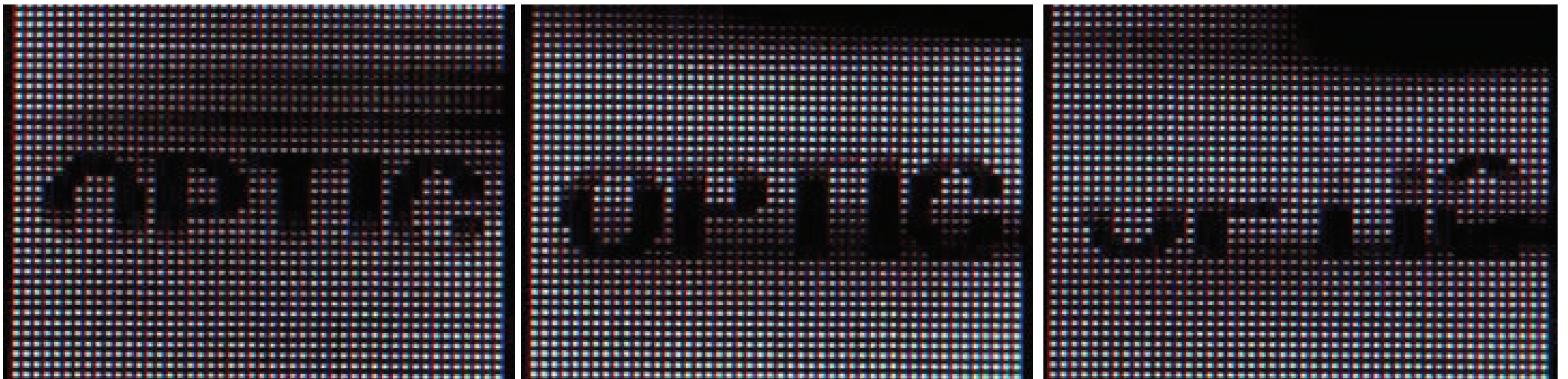
LED照明への応用を想定した例



指振りなし 指振りあり

1200pfs撮影

復号中のフレームは不完全な映像の連続



高校生が見学中



専門家が見学中



Author interviews at SID Display Week 2014 @San Diego, USA

空間メディア としての表示技術

メディア技術の変遷

- 1440年 グーテンベルクの活版印刷技術
⇒新聞
- 1839年 銀板写真（ダゲレオタイプ）
- 1895年 マルコーニの無線通信 ⇒ラジオ
- 1926年 高柳博士によるテレビジョン技術
⇒テレビ
- 1982年 通信プロトコルTCP/IPの標準化
⇒インターネット
- 2022年 メタバースが注目を集める

問題：未来の3Dディスプレイを
楽しむ姿はどれだと思いますか？



進化心理学

- ヒトの心理や行動生成の仕組みも、ヒトの形態や生理学的形質と同様に進化の産物である。
- ヒトは、
 - 他者の情動に同調して同じ感情を持ってしまう情動的共感と、
 - 他者の状態を理解しつつも、自己と他者とを分離した上で、他者に共感する認知的共感
- の2つを備えている。これらは、ヒトの社会性の基盤である。

参考文献

長谷川眞理子: “進化心理学から見たヒトの社会性（共感）”, 認知神経科学, vol. 18, No. 3・4, pp. 109-114 (2016).

問題：未来の3Dディスプレイを
楽しむ姿はどれだと思いますか？



Introduction

SF Display

SF映画のディスプレイ

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



SF映画のディスプレイ ① 宙に浮かぶ

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



SF映画のディスプレイ

- ① 宙に浮かぶ
- ② 横から見える



©Nao Kurokawa (Utsunomiya Univ.)

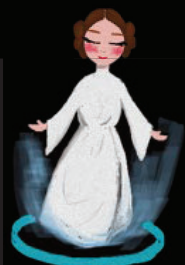
SF映画のディスプレイ

- ① 宙に浮かぶ
- ② 横から見える
- ③ 手で触れる



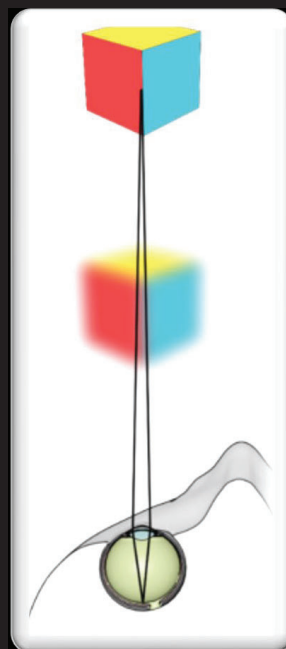
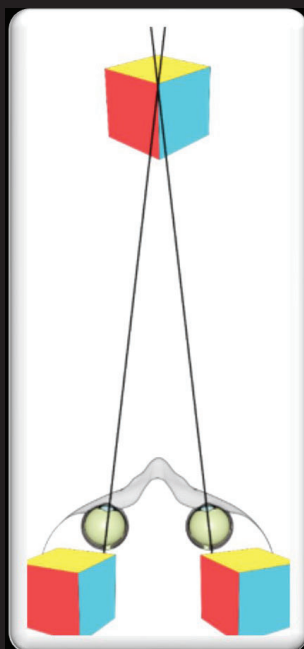
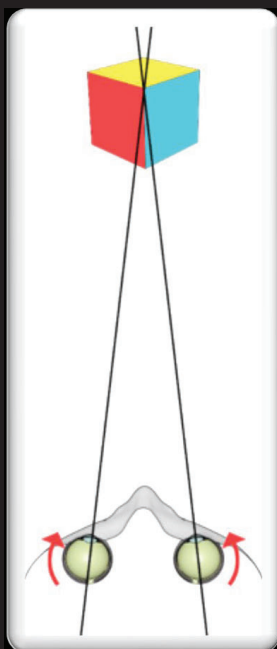
©Nao Kurokawa (Utsunomiya Univ.)

SF映画のディスプレイ



©Nao Kurokawa (Utsunomiya Univ.)

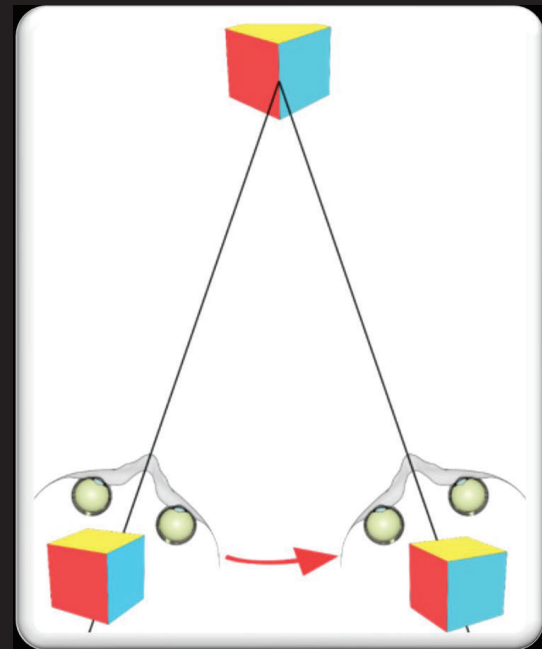
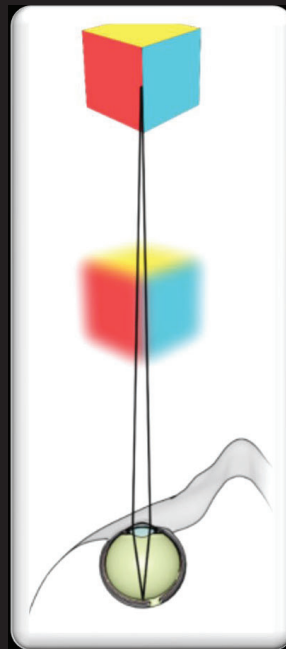
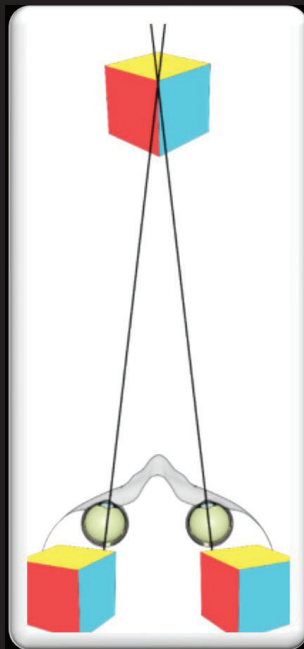
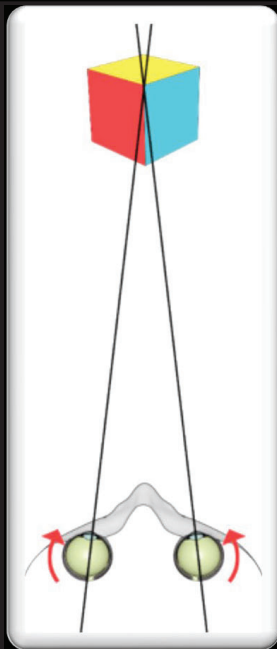
- ① 宙に浮かぶ
- ② 横から見える
- ③ 手で触れる



SF映画のディスプレイ



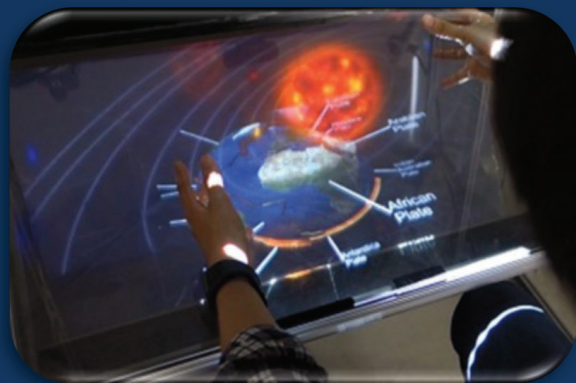
- ① 宙に浮かぶ
- ② 横から見える
- ③ 手で触れる



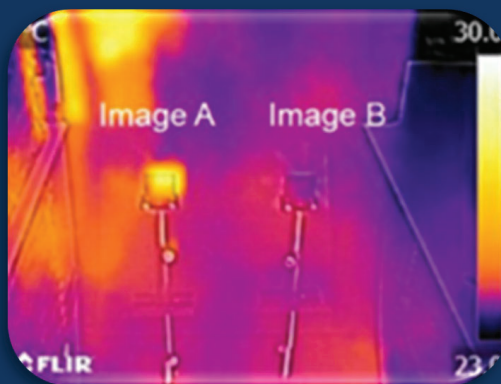
SF映画のディスプレイ



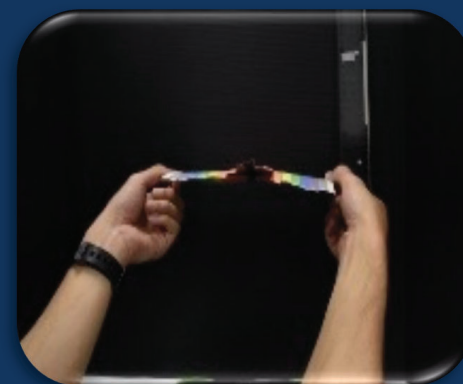
- ① 宙に浮かぶ
- ② 横から見える
- ③ 手で触れる



手の位置検出
ジェスチャー操作



遠赤外線を集束
温度刺激



超音波を集束
圧力刺激

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。触れた感覚を提示する。

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

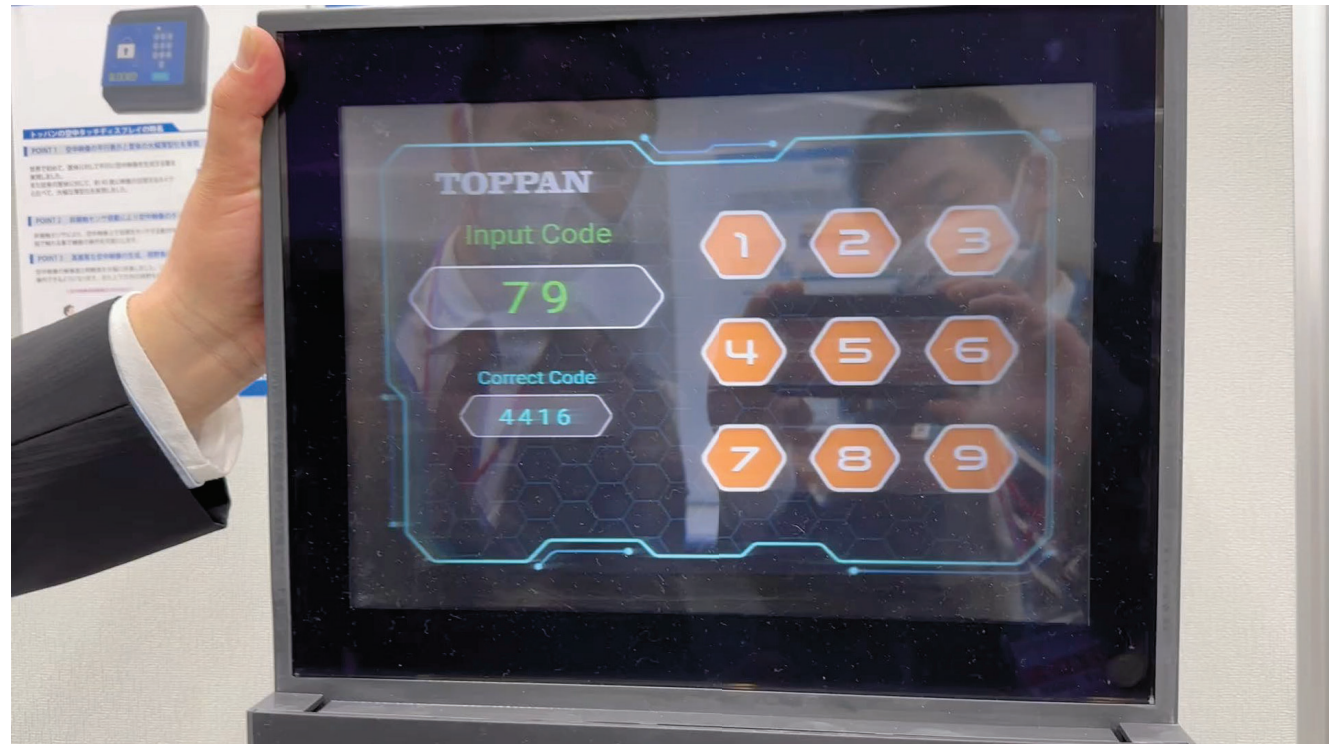
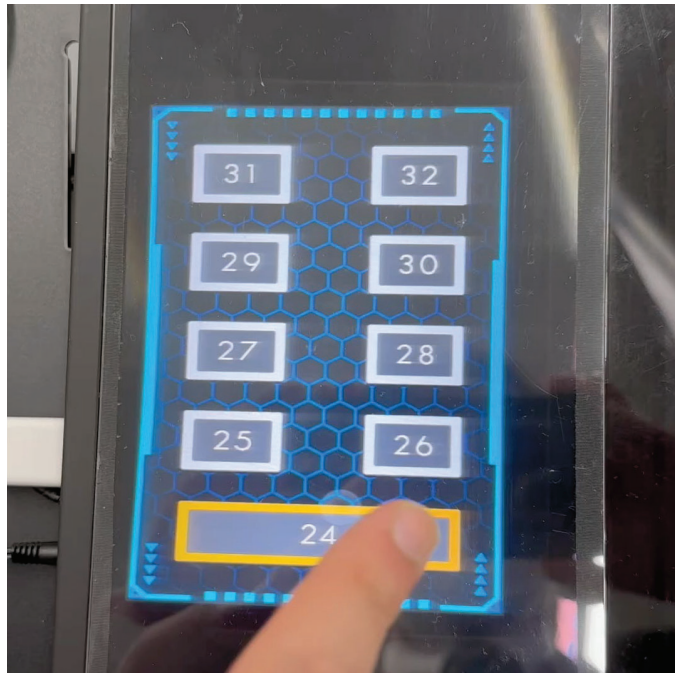
新型ウイルスに対しては多くの人間は免疫を持たず、また特効薬もないため、3原則のうち③感染経路への対策が最重要。

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）。



©Yamamoto Lab., Utsunomiya Univ.

エレベーターのボタンに実用化



東京ミッドタウン八重洲 概要

街区名称： 東京ミッドタウン八重洲

施行者： 八重洲二丁目北地区市街地再開発組合

所在地： 東京都中央区八重洲二丁目地内 他

水平方向のみ集束

上下の位置は目の高さで変化する



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】

International Standard on Aerial Display

Aerial display was selected as PWI in 2018.

Technical Report on aerial display was published in 2020.

In May 2021, NP of aerial display has been approved!

I'm the project leader from the start of PWI on aerial display.



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	<ul style="list-style-type: none">● ホログラフィックディスプレイ● ライトフィールドディスプレイ● パッシブ光学素子による結像を用いたディスプレイ	<ul style="list-style-type: none">● 透明ディスプレイ● ライトフィールドディスプレイ● 高速走査による残像ディスプレイ● レーザープラズマによる空中描画
虚像	(無し)	<ul style="list-style-type: none">● ペッパーズゴースト● HUD● HMD

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ンージ。

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。



IEC TR 62629-51-1

Edition 1.0 2020-05

TECHNICAL REPORT

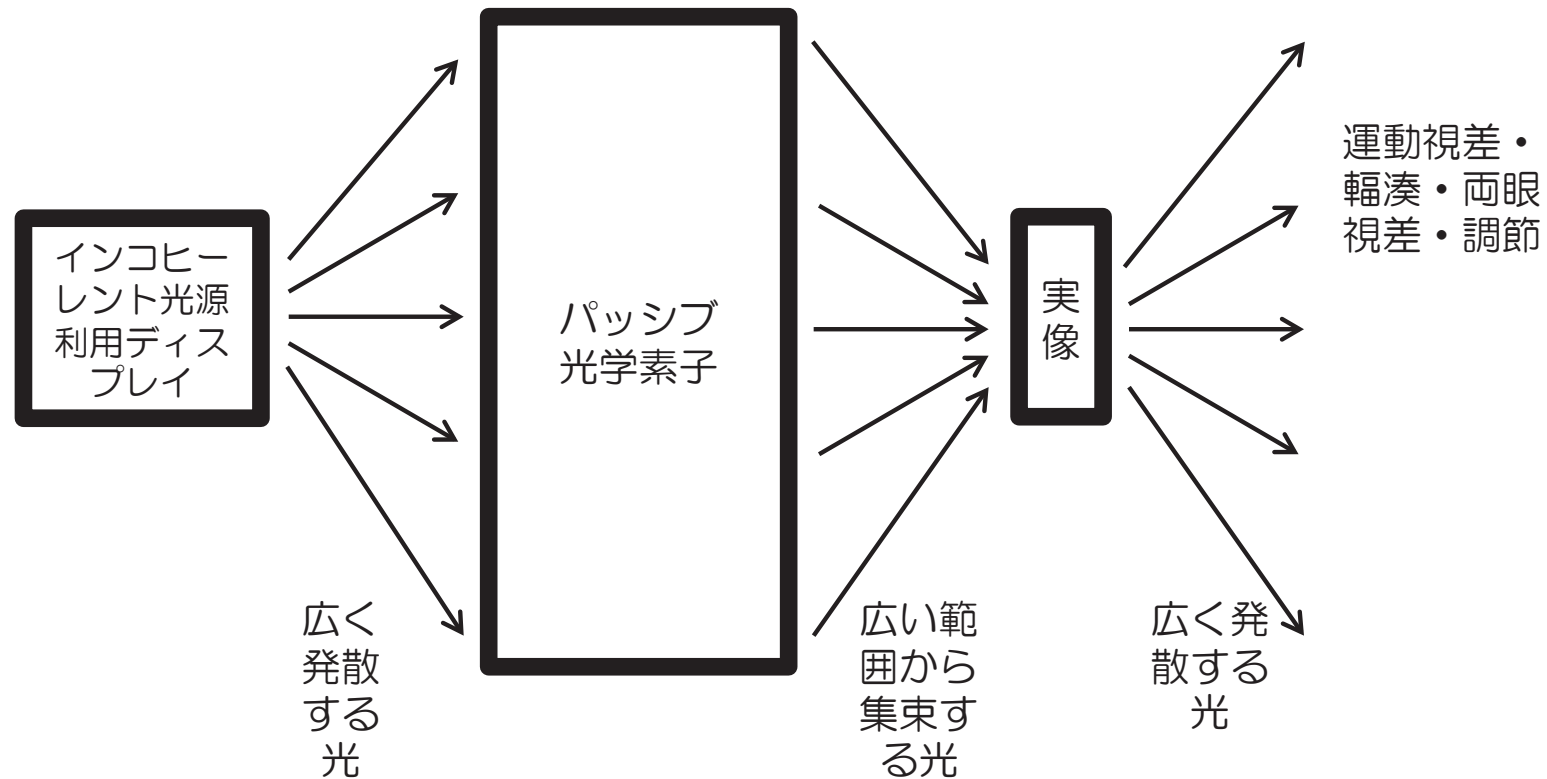


**3D display devices –
Part 51-1: Generic introduction of aerial display**

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).

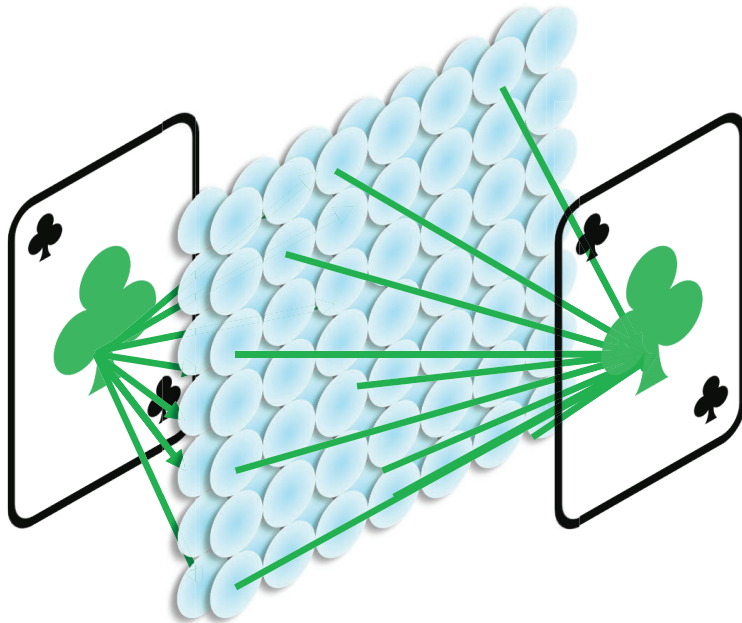
狭い意味の空中ディスプレイ



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.

Optics to form floating/aerial display

Refraction based floating display

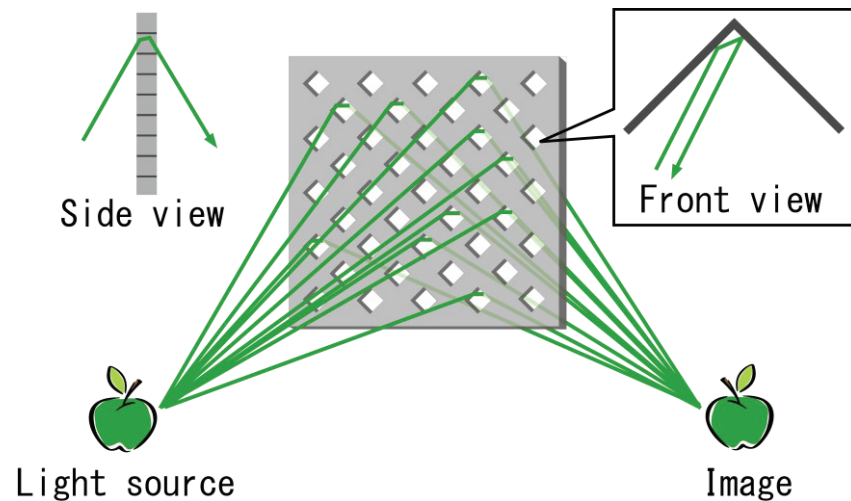


IMUZAK

<https://imuzak.co.jp/en/aerial-display/>

Imaging with lens/lens array

Reflection based floating display



Parity Innovations

https://www.piq.co.jp/index_e.html

Askanet

<https://aska3d.com/en/index.html>

Imaging with mirror array

Reflective optical elements will meet the requirements

A typical reflective optical element is lobster eye,

- Kind of compound eyes
- Each eye have dihedral corner reflectors
- Enable wide field of angle

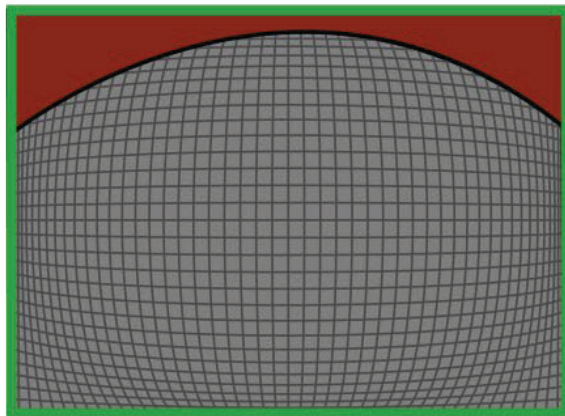
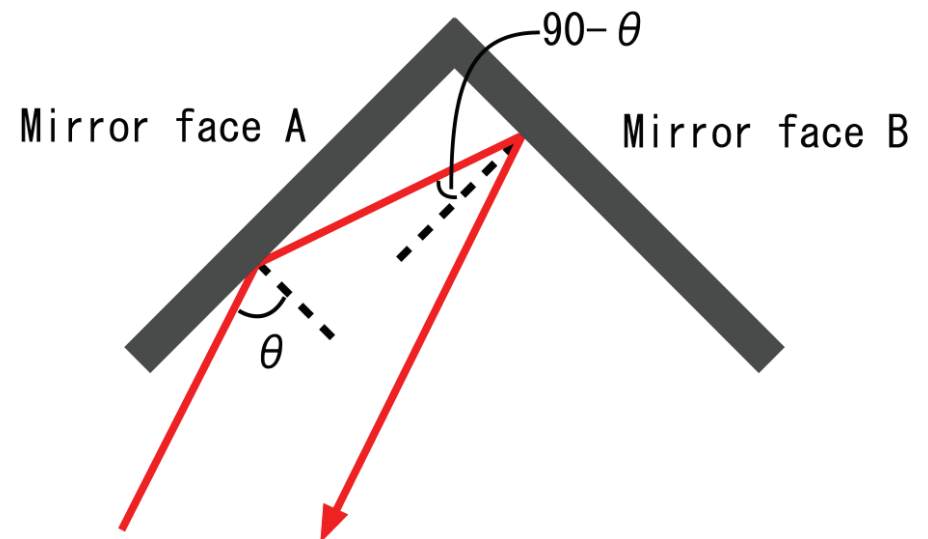


Image forming by use of dihedral corner reflectors

Incident ray to Mirror A at θ degrees and reflects at 2θ degrees.

Then, incident to Mirror B at $90 - \theta$ degrees and reflects at $180 - 2\theta$ degrees.

- Total change of direction:
 $2\theta + 180 - 2\theta = 180^\circ$
- Every outgoing ray is directed to the reverse direction of the incident ray.



Focusing of light to the floating position



NP (New Work Item Proposal) has been approved!



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:

Japan

SECRETARY:

Mr Yoshi SHIBAHARA

CHAIR:

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) ≥5 (if ≥17)	APPROVED

産業標準化推進月間事業

令和3年度

産業標準化事業表彰式

経済産業省



1906 Award

The International Electrotechnical Commission
expresses its sincere appreciation of the valuable and sustainable contribution by

Hirotsugu Yamamoto

Expert of the IEC Technical Committee 110,
Electronic displays

Nominated by the Chair and Secretary of IEC TC 110

In recognition for his contribution as Project Leader to the development of IEC TR 62629-51-1,
3D display devices – Part 51-1: Generic introduction of aerial display.

On behalf of the
International Electrotechnical Commission

Geneva, Switzerland, July 2021

Dr Ralph Sporer

Dr Ralph Sporer
IEC Vice-President,
Chair of the Standardization
Management Board



Philippe Metzger

Philippe Metzger
IEC General Secretary and CEO

IEC 62629-52-1:2024
3D DISPLAYS - PART 52-1: FUNDAMENTAL MEASUREMENT
METHODS OF AERIAL DISPLAY - OPTICAL



IS
2024
January

空中

表示

AIRR

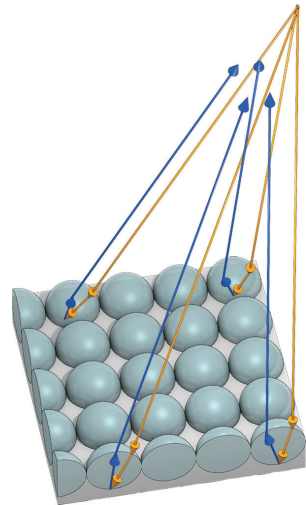
再帰反射による 空中結像

AIRR

(Aerial Imaging by Retro-Reflection)

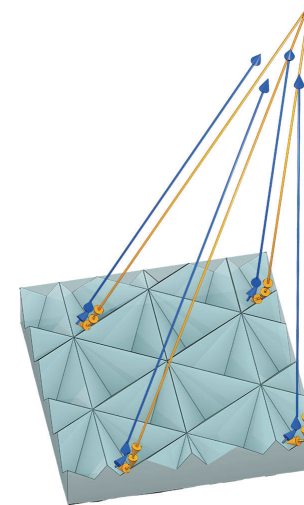
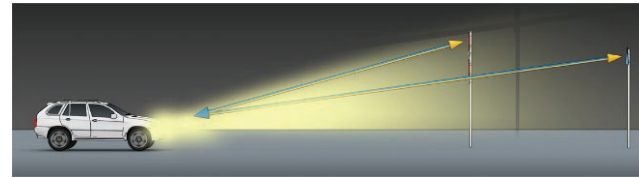
Retro-reflectors

Life vests



Micro-beads type
(Ball lens)

Traffic signs



Micro-prism type
(Corner cubes)

Light source and retroreflective sheet

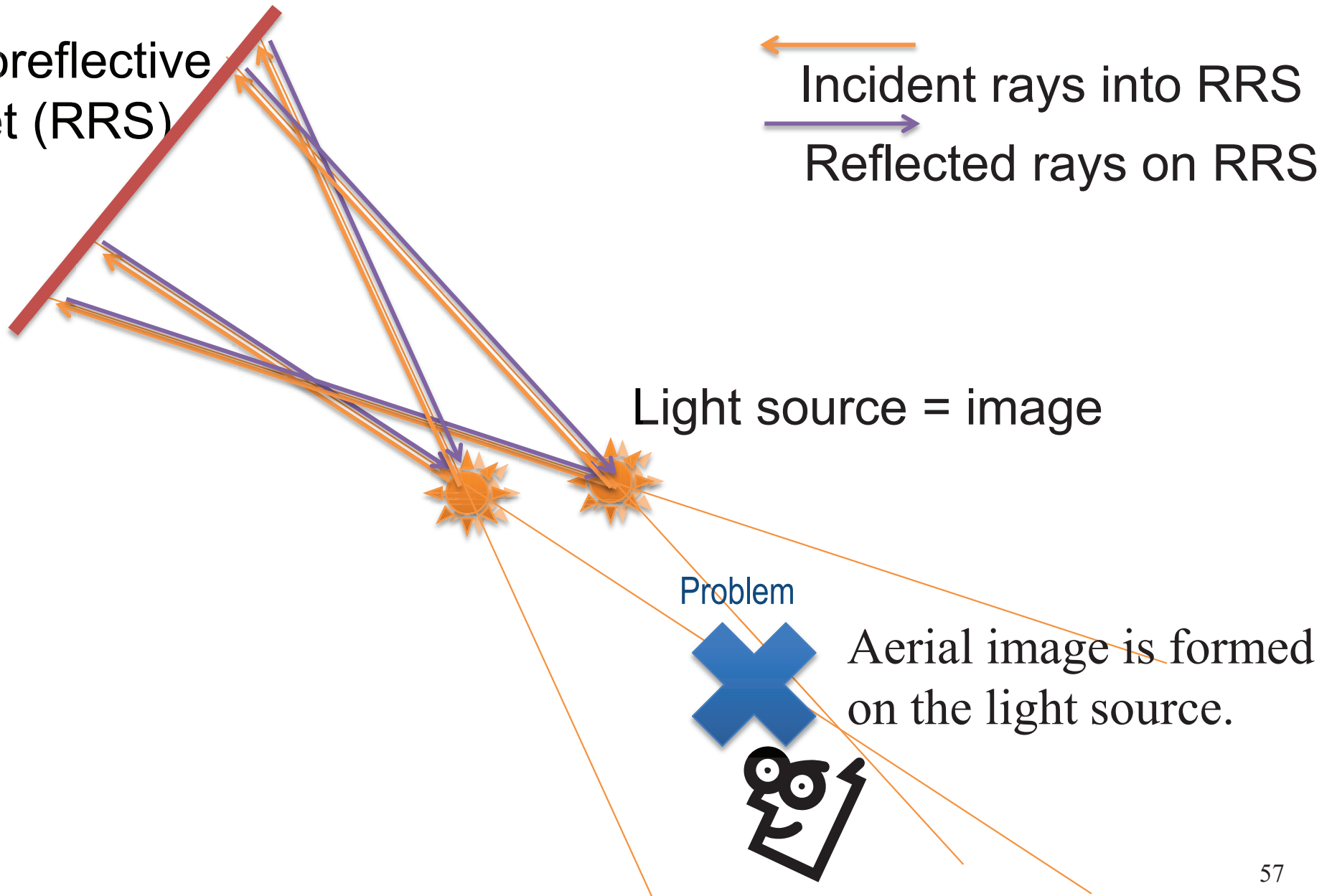
Retroreflective Sheet (RRS)

Incident rays into RRS
Reflected rays on RRS

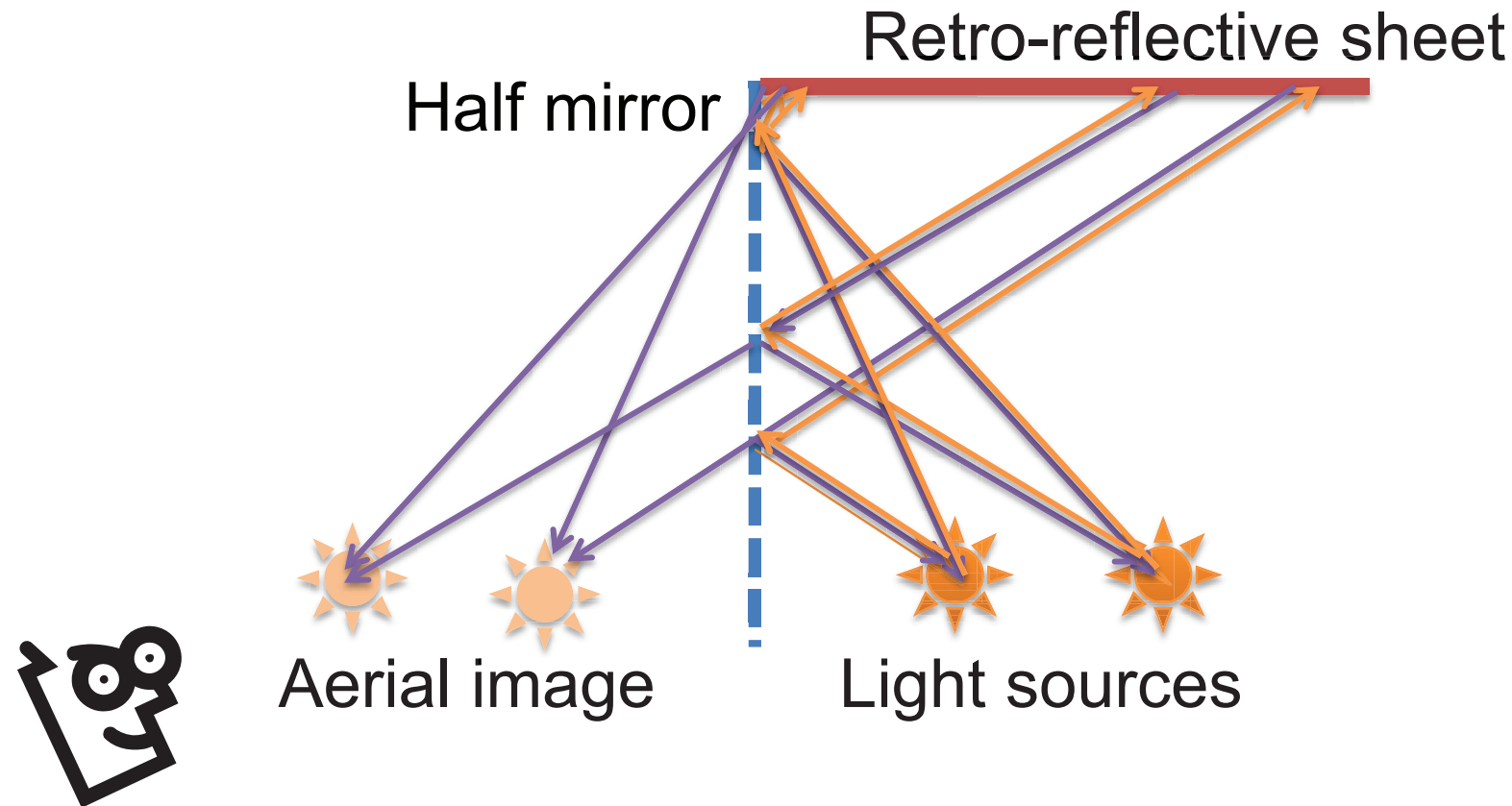
Light source = image

Problem

Aerial image is formed on the light source.



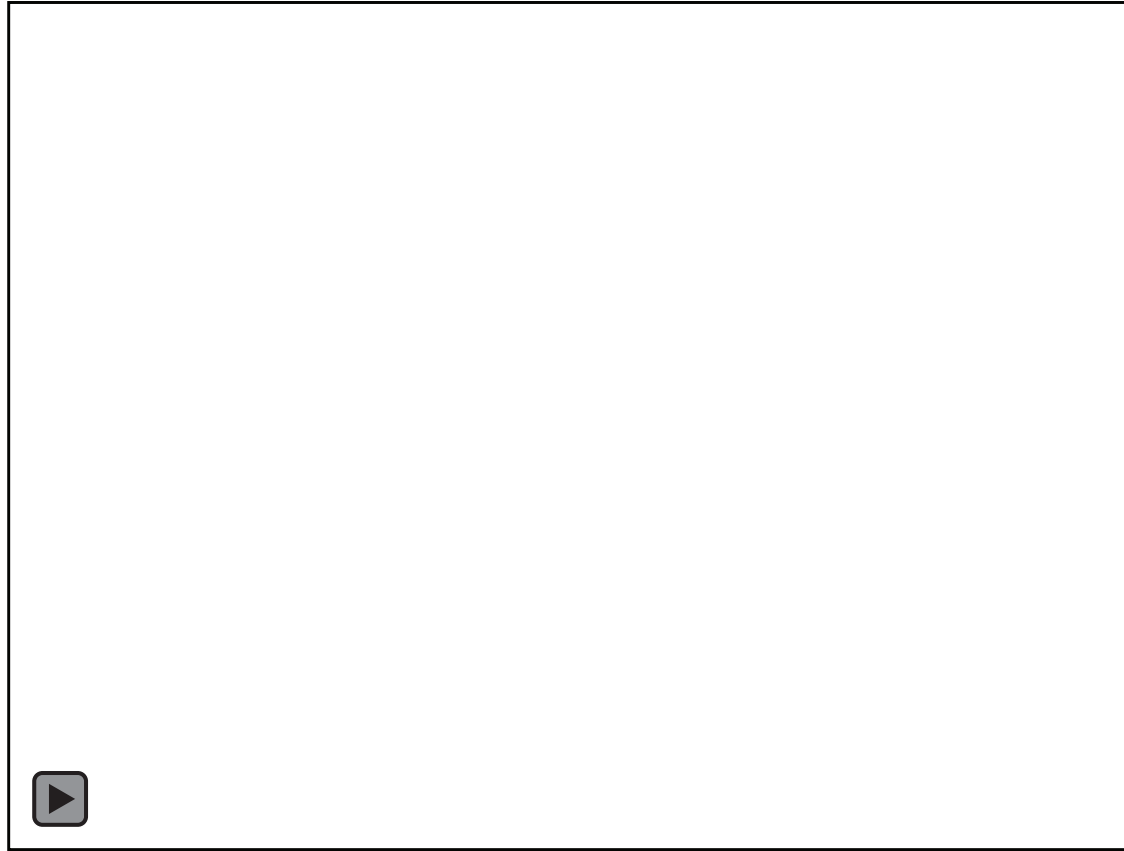
Forming an aerial image



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

AIRR

(Aerial Imaging by Retro-Reflection)

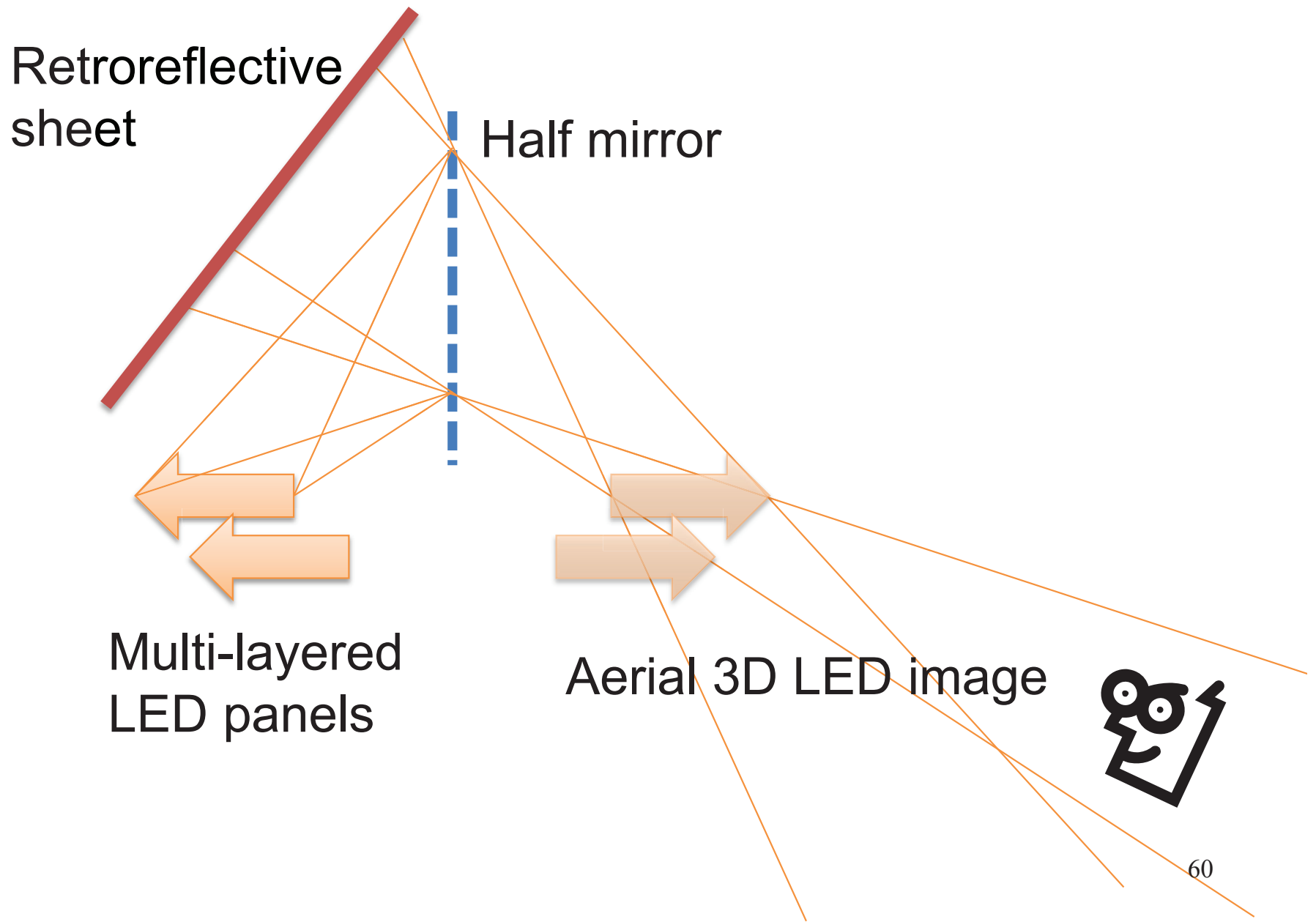


AIRR features:

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

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

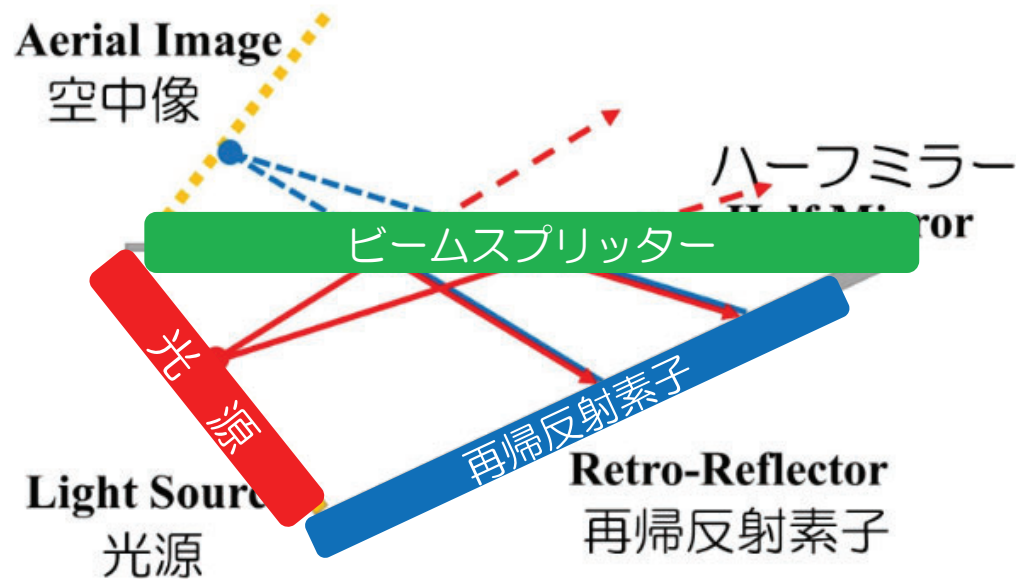
Aerial 3D LED display



Forming multi-layered LED signs



再帰反射による空中結像(AIRR)の3要素



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).

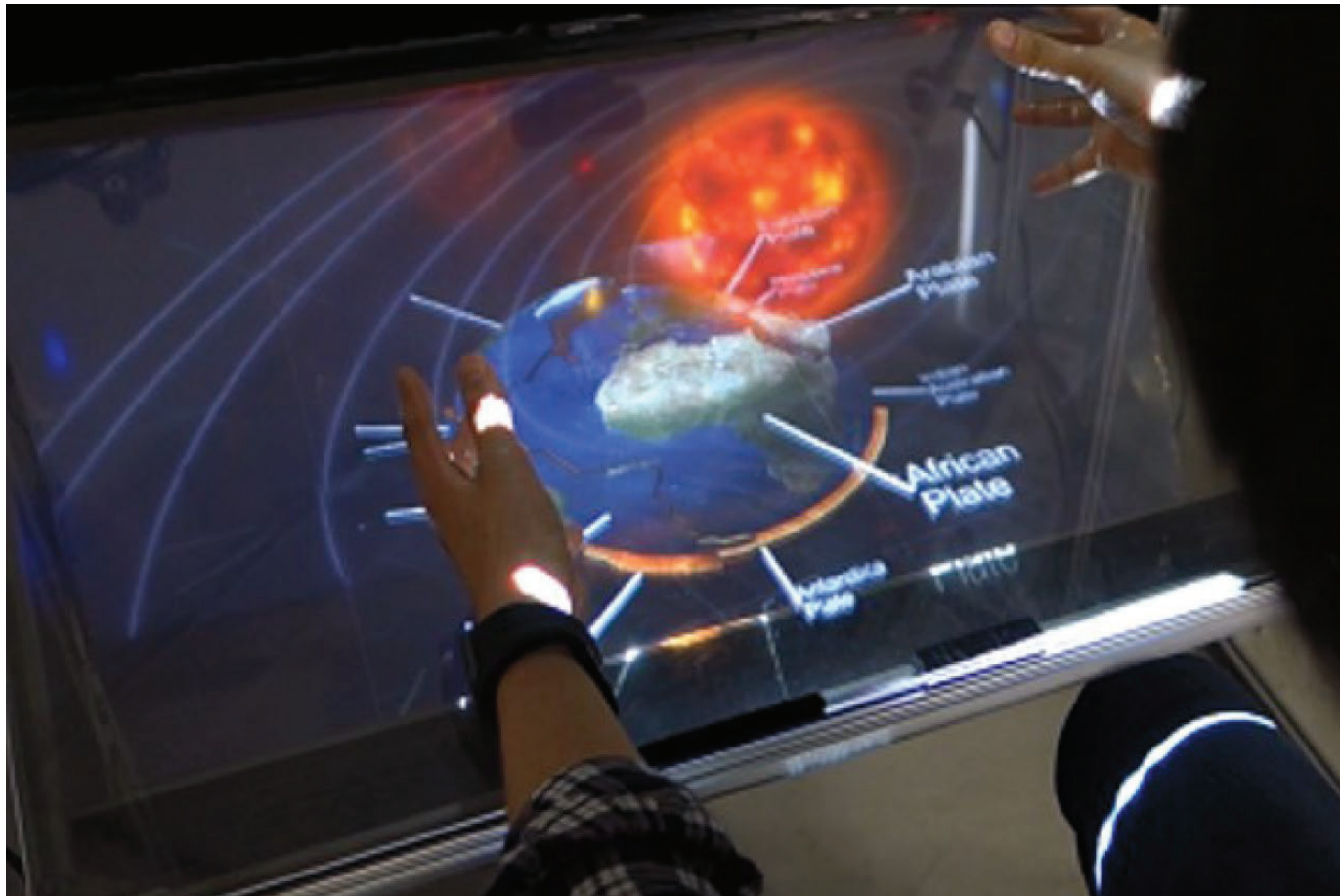
光 源

ビームスプリッター

再帰反射素子

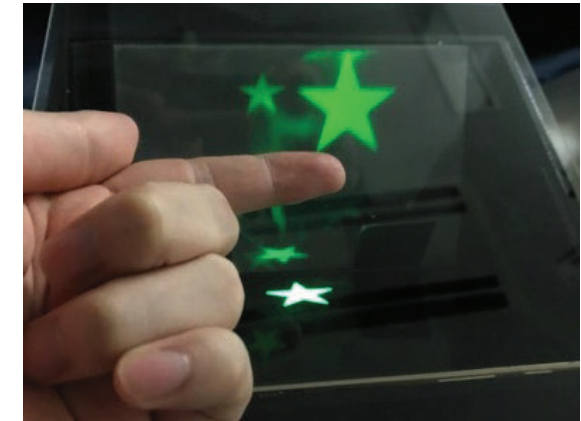
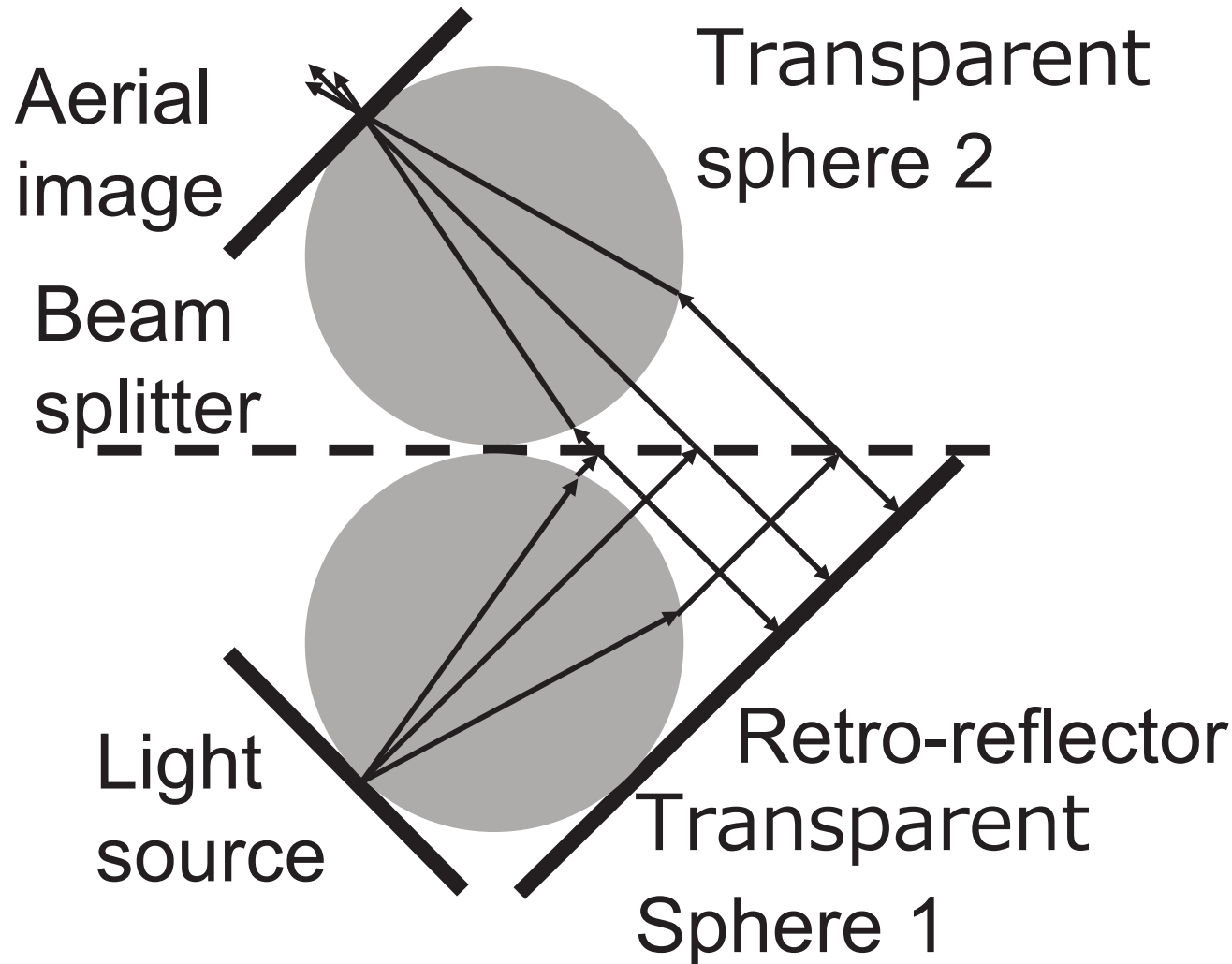
3要素の
組み合わせで
多彩な機能化

背景から浮き出す空中表示



※出典：YouTube [Siggraph Asia 2015] R2D2 w/ AIRR: Interactive 2.5D Floating Display（著作権：Yutaka Tokuda）
URL： <https://youtu.be/TPH35eVDbFY>

Aerial Image Forming Between Transparent Sphere and User



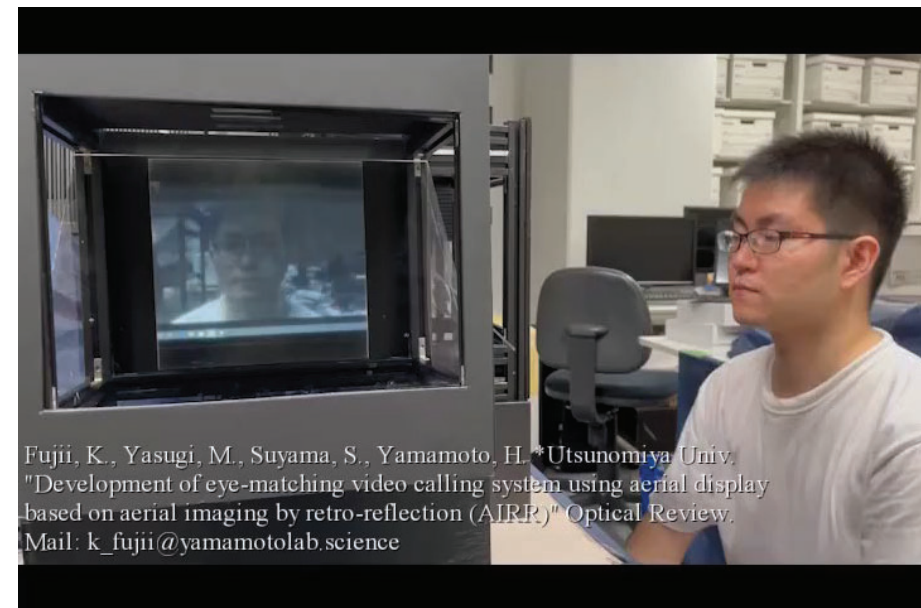
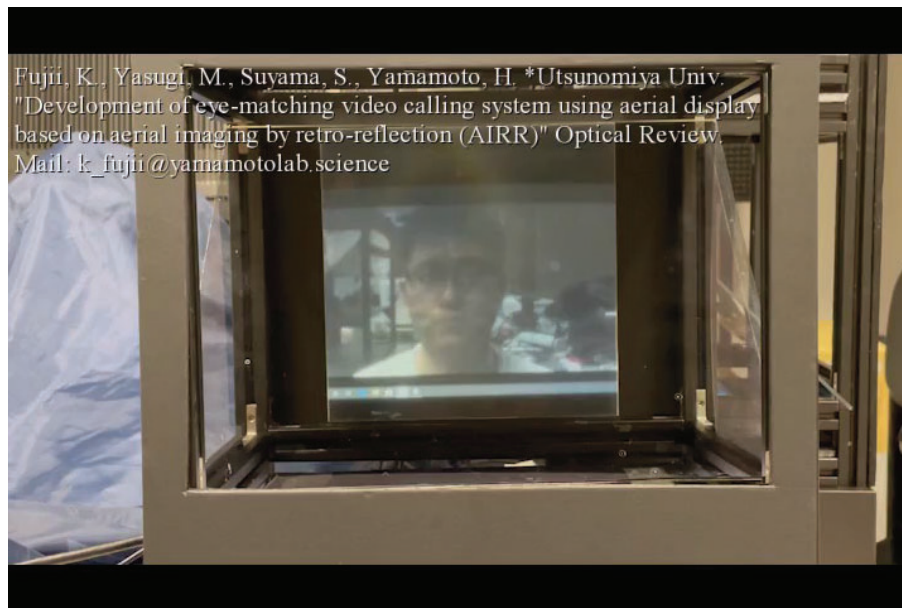
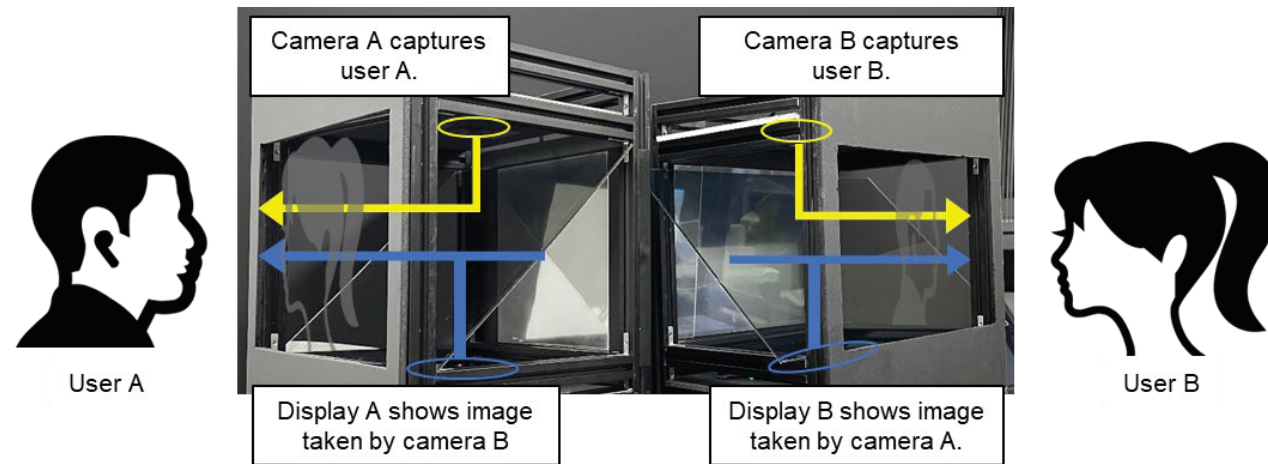
Normal



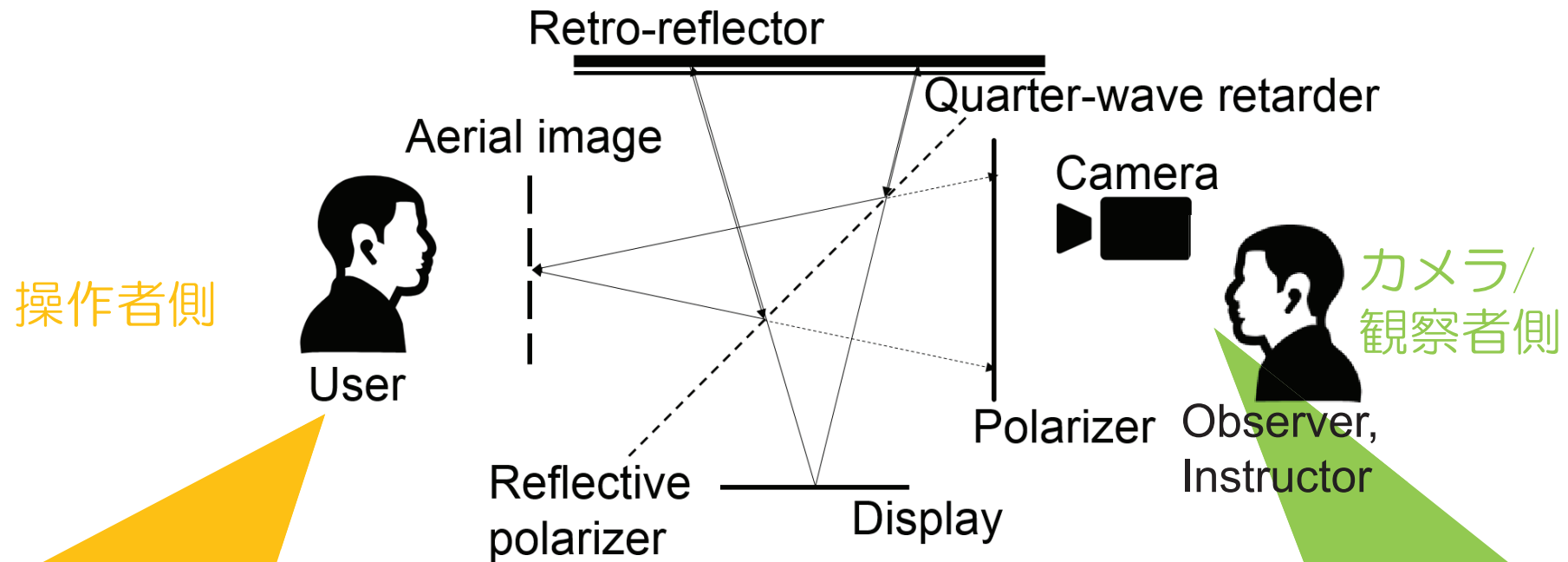
This work

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*, vol. 4, Issue 4, pp. 1207–1214 (2021).

Eye-matching Communication With Aerial Video-calling Displays



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



操作者側

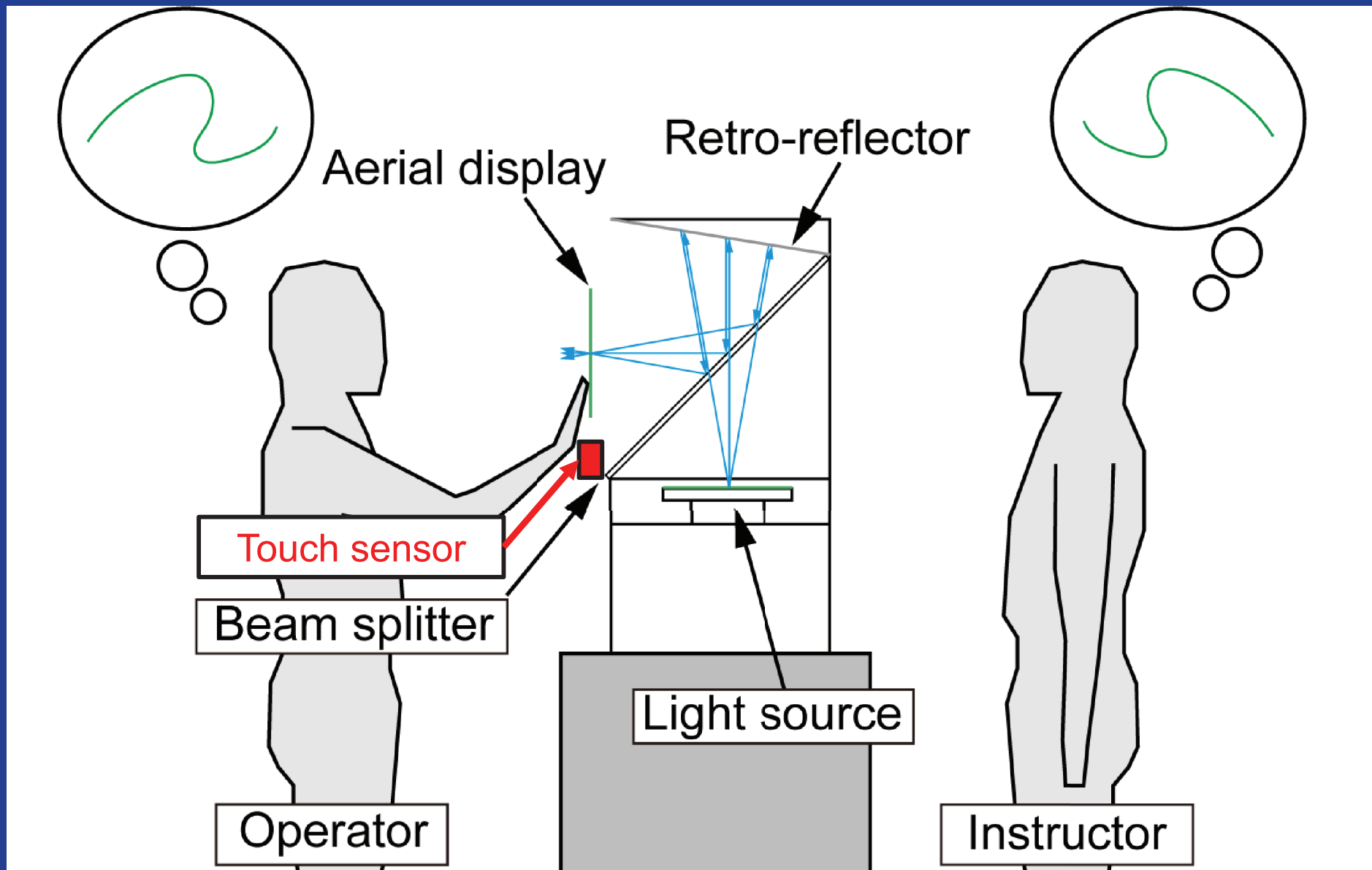
1. 空中スクリーンを観察
2. 空中映像をタッチ操作
3. 正面のオペレーターを見ながら操作可能

カメラ/観察者側

1. ユーザーを正面から観察
2. 鏡像で空中像を観察
3. ユーザーの動作を見ながらシステム運用や指示が可能



タッチレス空中インターフェース



AR interface

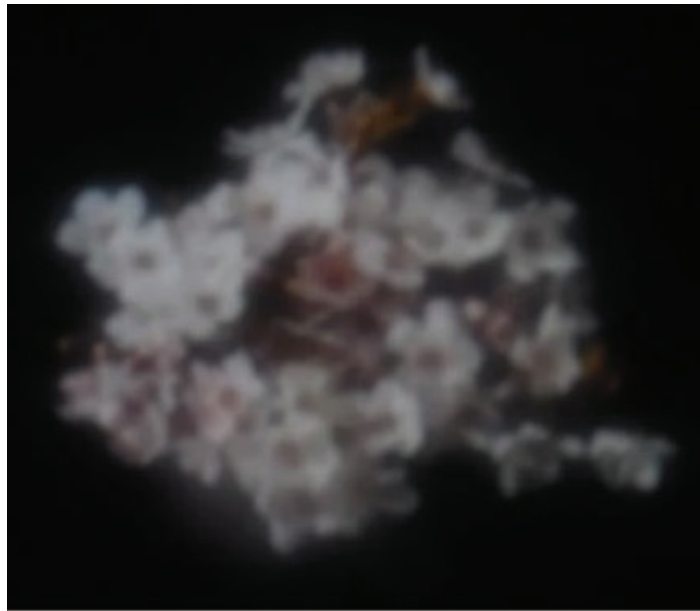


High Resolution

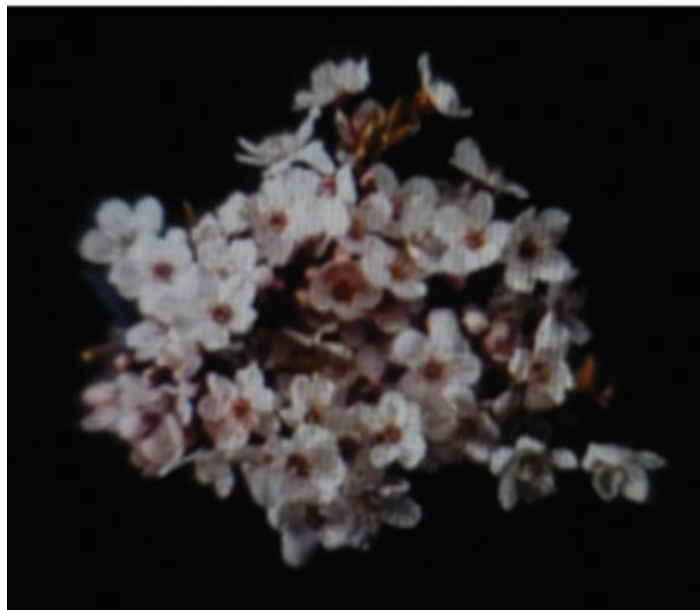
LeAIRR

(Lens-enhanced AIRR)

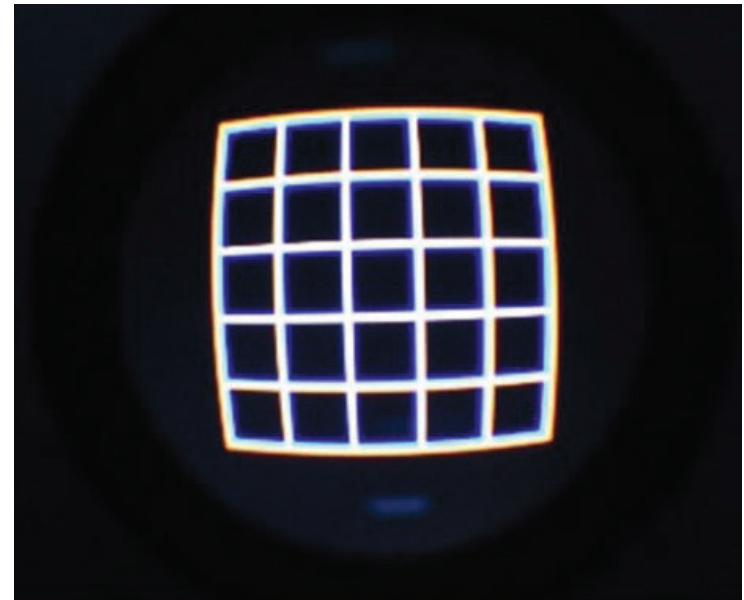
LeAIRR (Lens-enhanced AIRR)



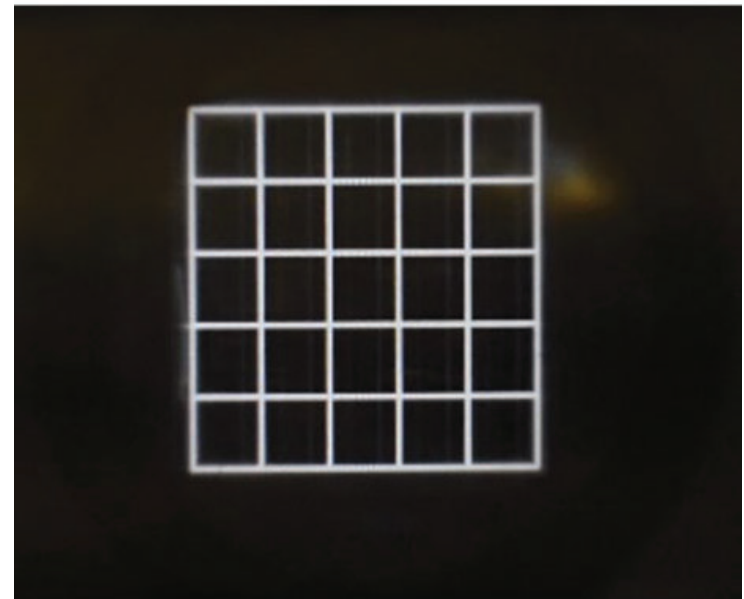
(a) Conventional AIRR



(b) Proposed AIRR



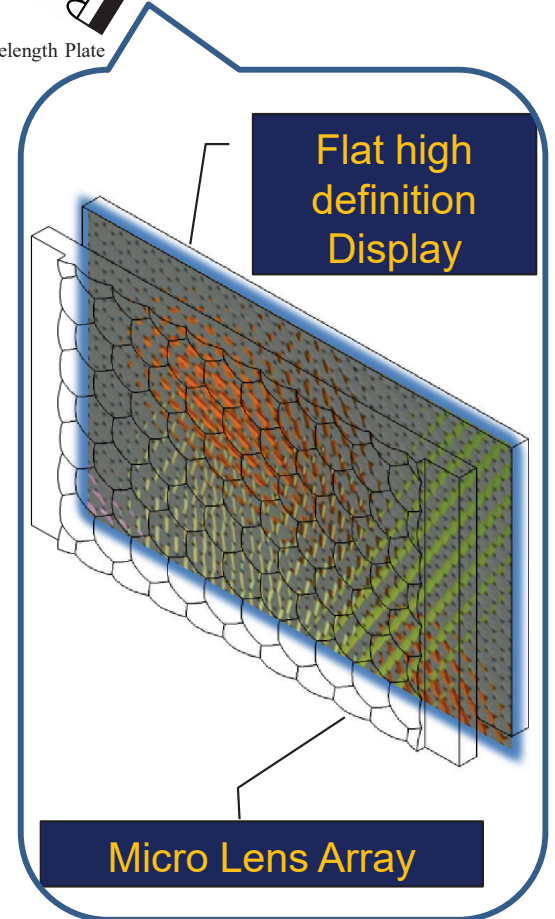
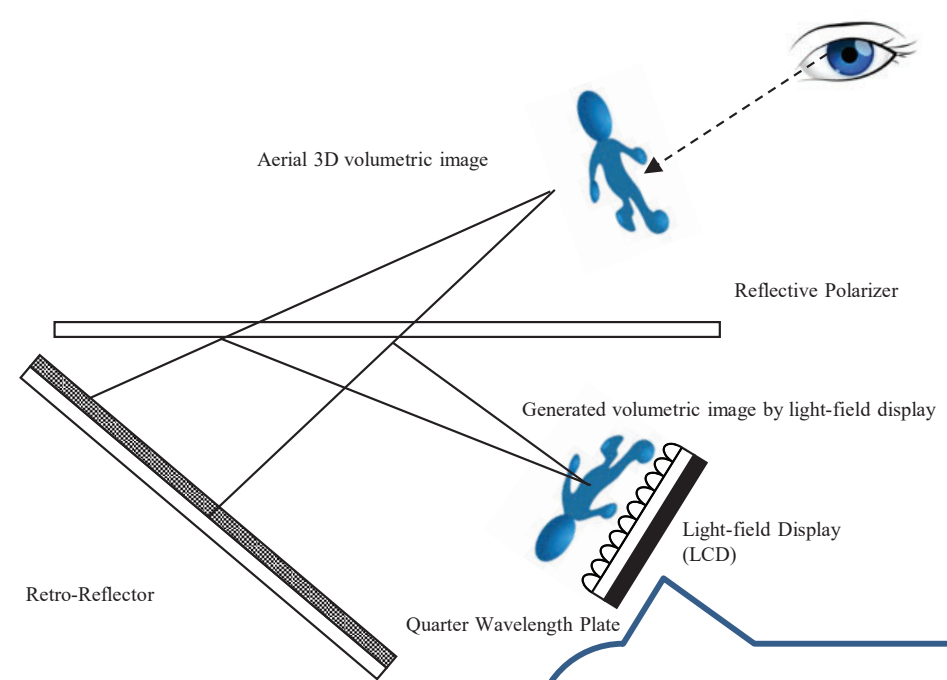
(a) Image of a convex lens



(b) Image of the proposed system

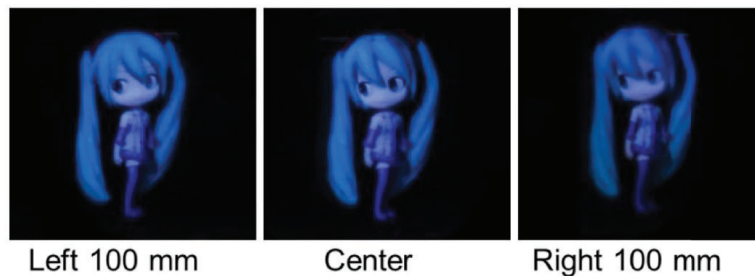
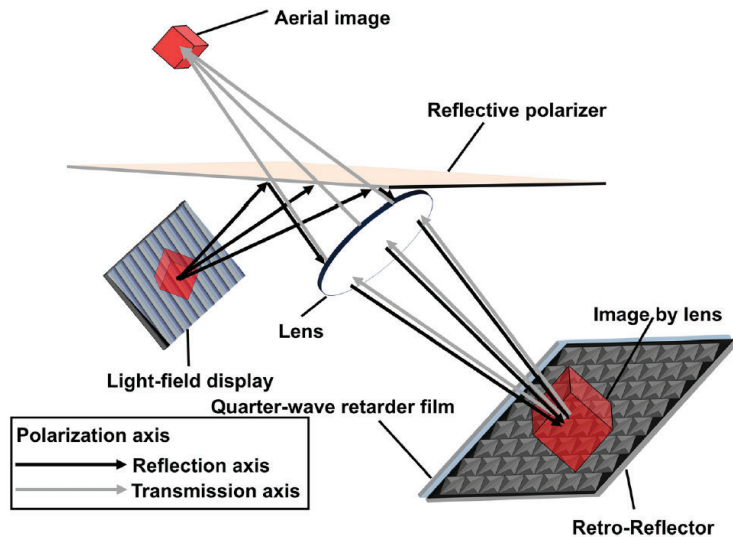
Optical Designs of AIRR

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

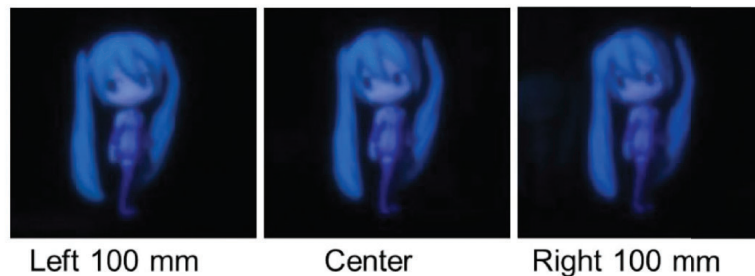


w/ Nikon

空中3D表示の高解像度化



(A)



© Crypton Future Media, INC. www.piapro.net

(B)

Received: 20 February 2025 | Revised: 12 March 2025 | Accepted: 14 March 2025
 DOI: 10.1002/jsid.2056

SPECIAL SECTION PAPER

WILEY

High-resolution aerial 3D display based on lens-enhanced aerial imaging by retro-reflection (LeAIRR) and light-field display

Kazuaki Takiyama, SID Student Member^{1,2} | Toru Iwane¹ | Shiro Suyama¹ | Hirotsugu Yamamoto, SID Life Member¹

SOCIETY FOR INFORMATION DISPLAY

SID

2025 INTERNATIONAL SYMPOSIUM

Distinguished Paper Award

Kazuaki Takiyama, Toru Iwane,
 Shiro Suyama, Hirotsugu Yamamoto
 Utsunomiya University, Tochigi, Japan

for the paper on

High-Resolution Aerial 3D Display Based on Lens-Enhanced Aerial
 Imaging by Retro-Reflection (LeAIRR) and Light-Field Display

Aerial Hollow Mask Illusion

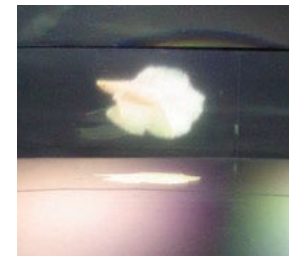
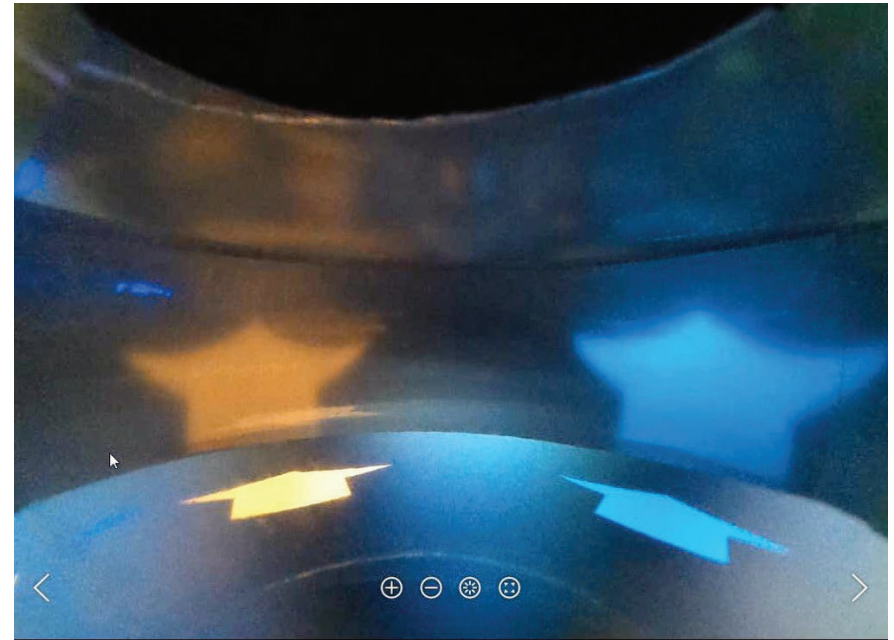
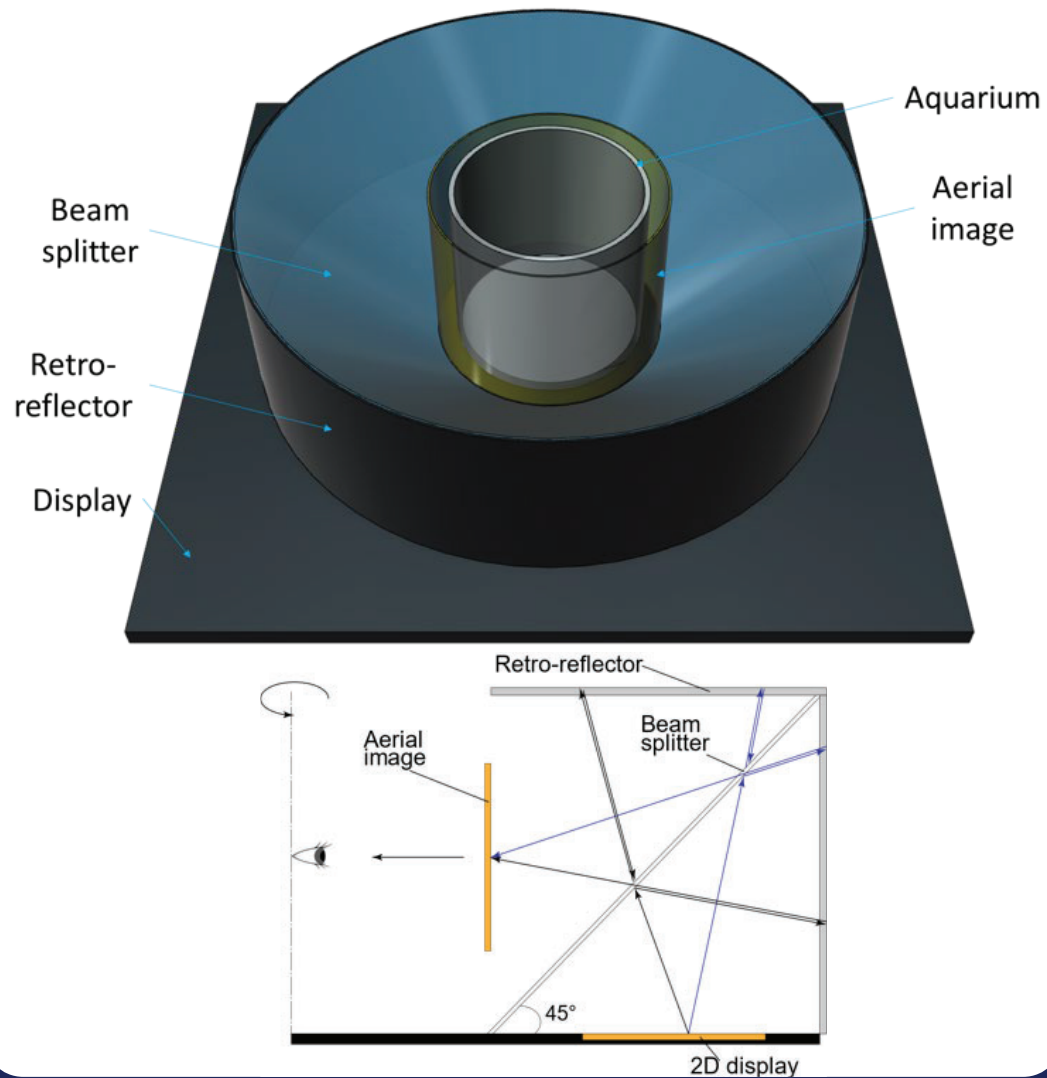


Multi-modal aerial information display



VR Biology

円筒水槽を囲む全周型空中ディスプレイ

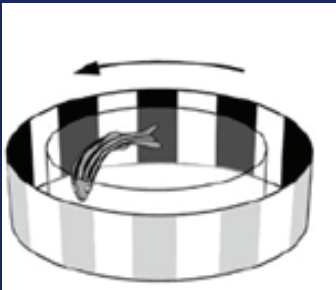
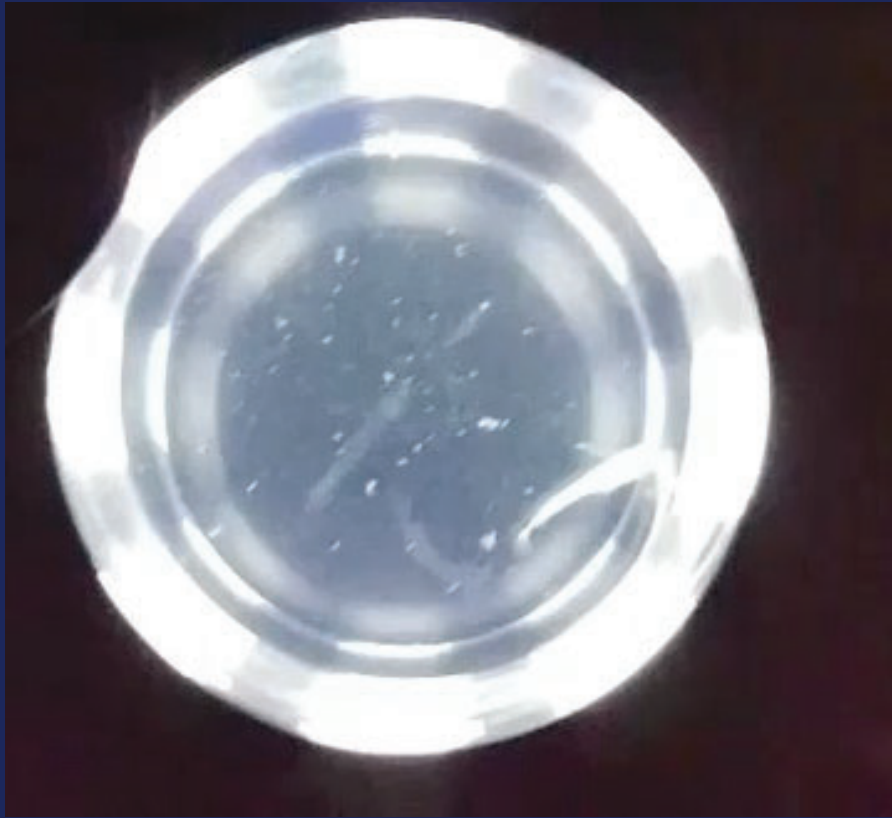


空中像の下に光源
が見える様子

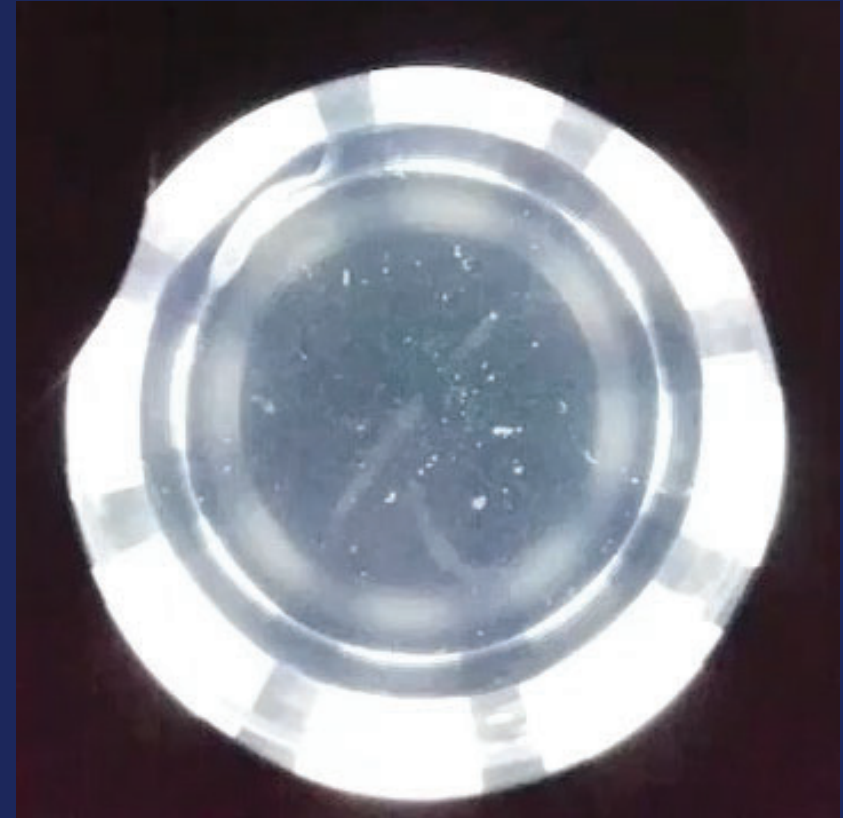


フィルターにより
光源を隠した様子

空中映像に囲まれたメダカの反応

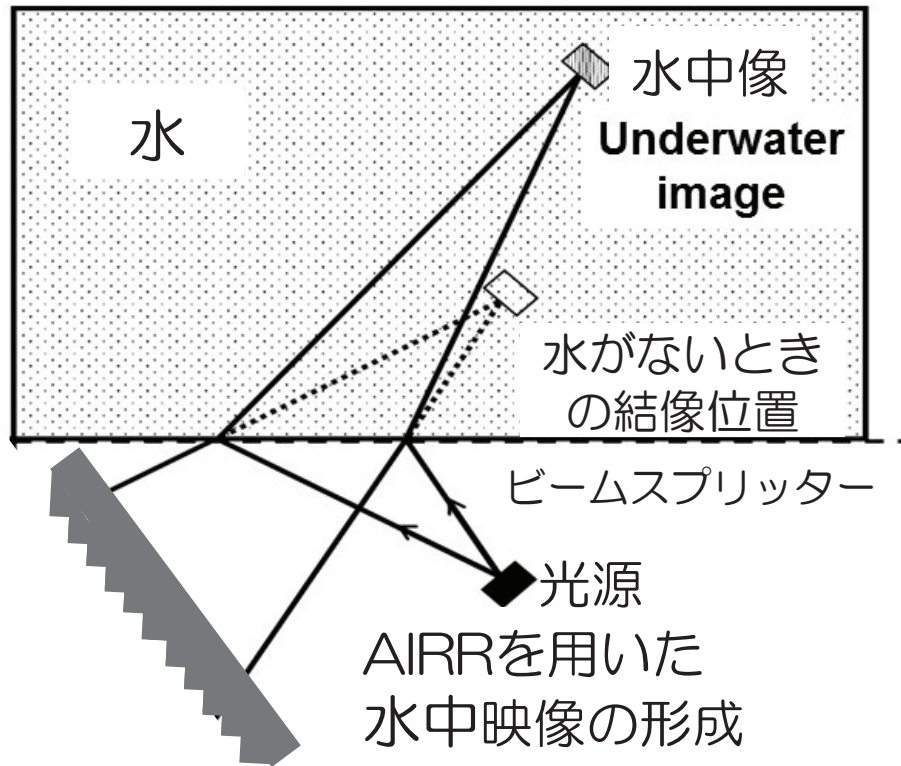


縞模様の回転に
追従して
メダカが泳ぐ。



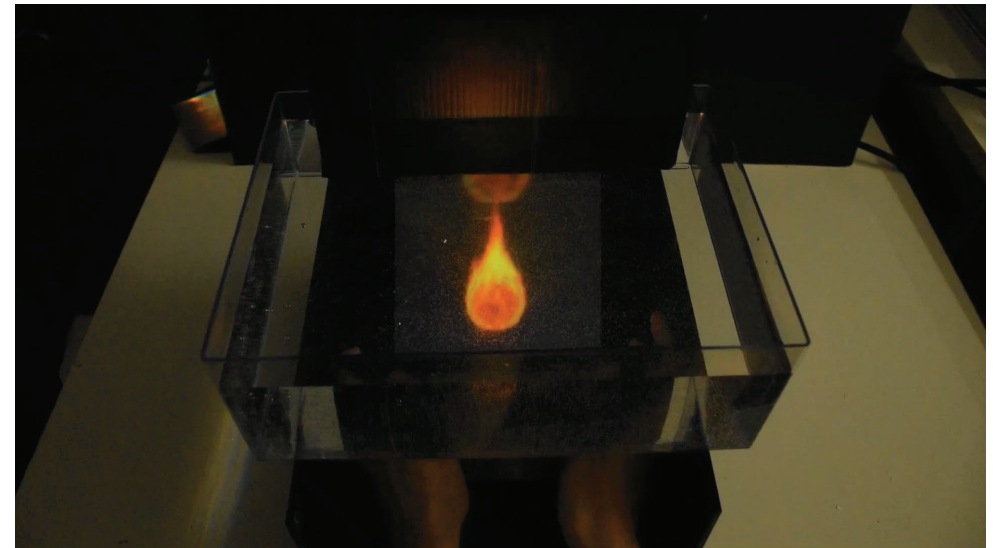
縞模様を高速に回転させるとメダカも泳ぐ速度を上げて追従した。

世界初の水中ディスプレイを実現

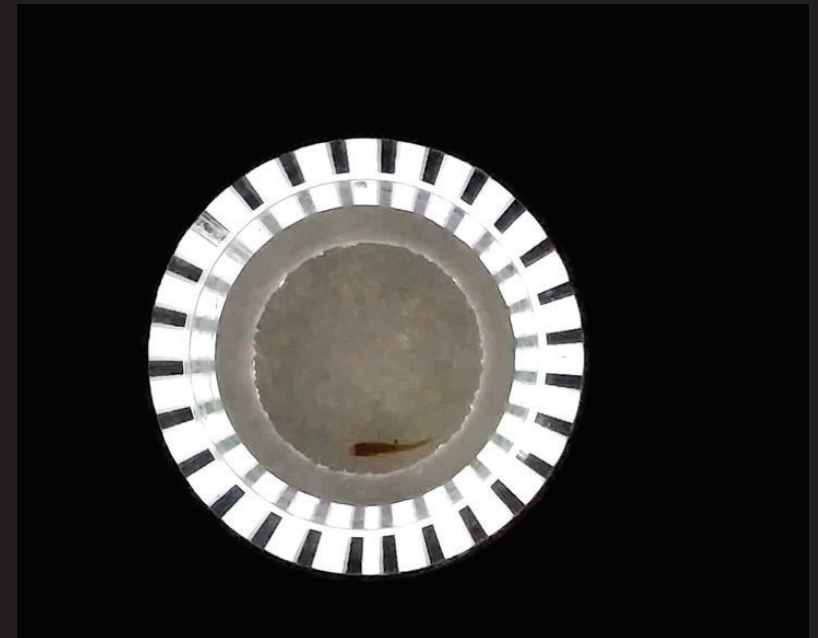


再帰反射素子

正確に3次元の情報を提示するためには、
水槽と空気の界面における屈折を考慮した設計が必要 → 光学設計・水中知覚

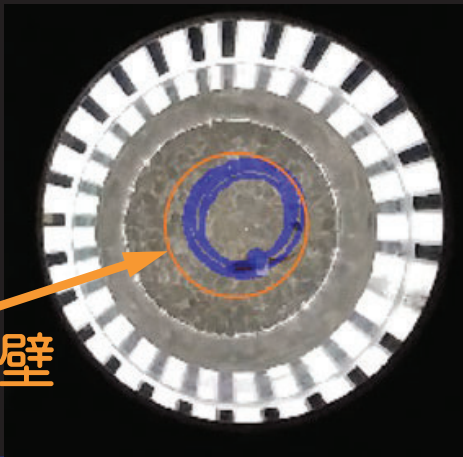


水中映像に囲まれたメダカの視運動反応



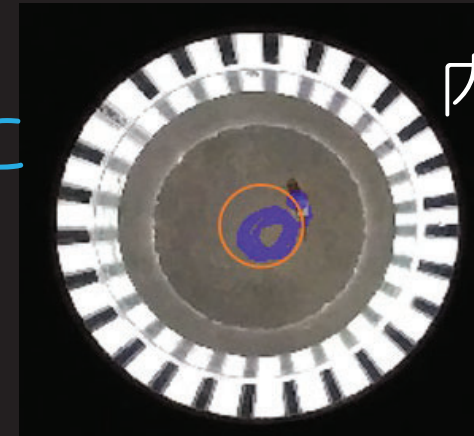
内側1cm

水中映像の壁

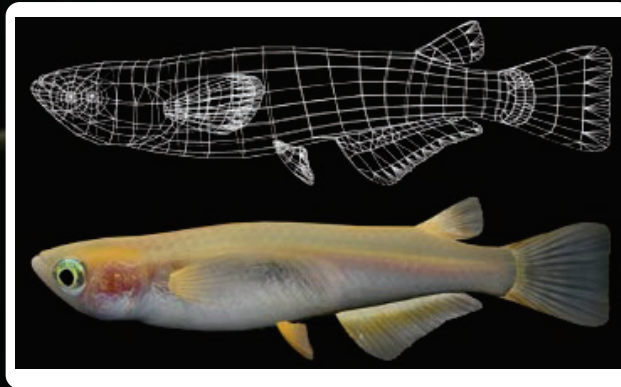


世界初！
水中映像の内側に
メダカが留まる。

内側2cm

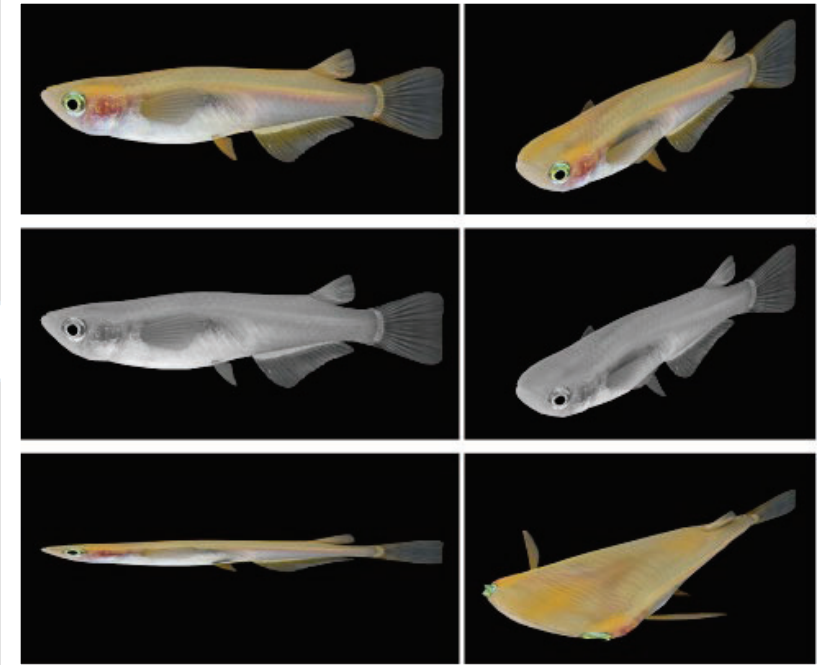


3次元CGメダカを用いたVR動物学研究



CG

被験魚



3次元CGで作成した
バーチャルメダカ

メダカがどのような特徴量をもとに同種を
識別しているかをCGを刺激に用いて調べる。

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。

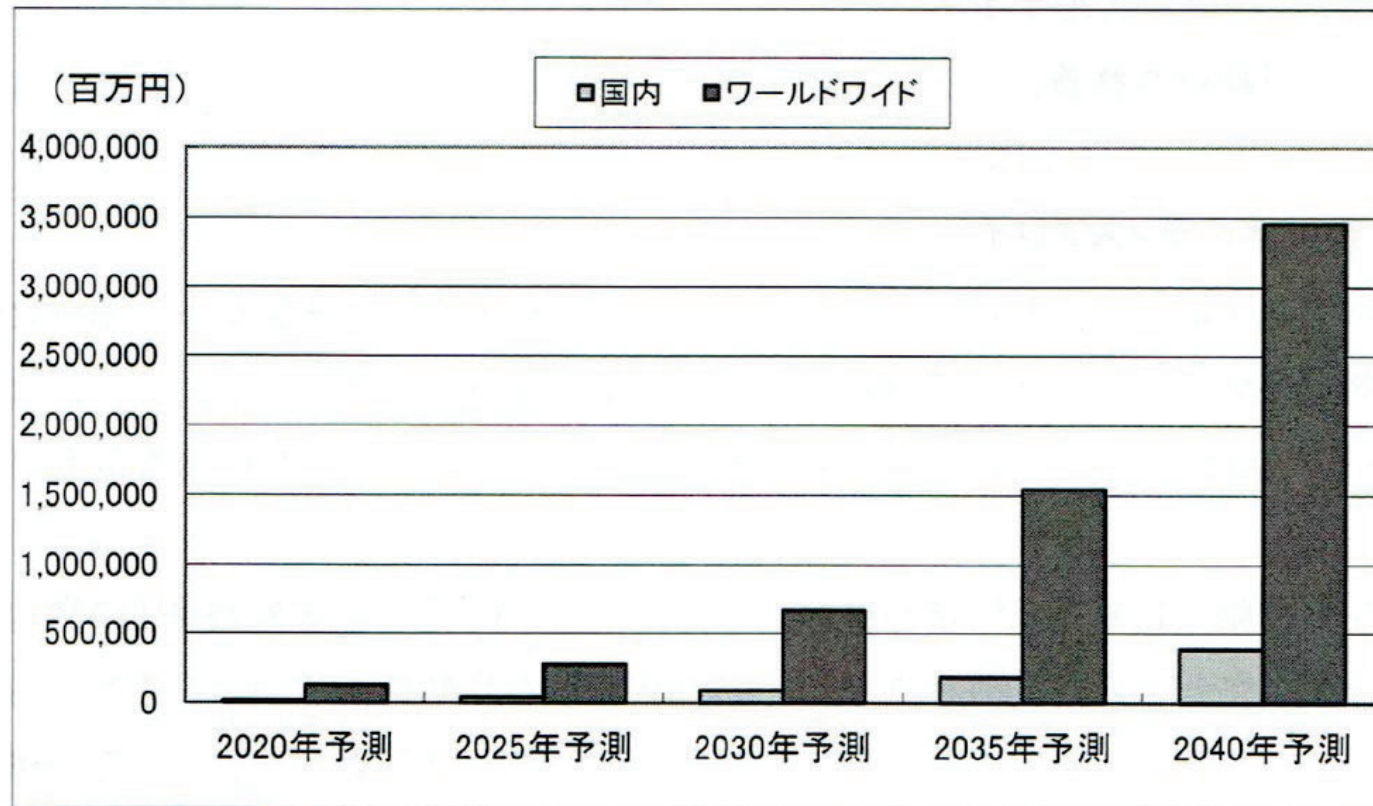
空中ディスプレイは成長市場

Yano E plus 2016 年 11 月号 No.104

【図・表 1. 空間投影ディスプレイの国内および WW 市場規模予測
(金額：2020-2040 年予測)】

(単位：百万円)

	2020年予測	2025年予測	2030年予測	2035年予測	2040年予測
国内	18,500	39,000	89,300	186,000	389,000
ワールドワイド	127,000	278,000	668,000	1,542,000	3,457,000



(出所：矢野経済研究所推計)

2017 東京モーターショー

自動運転時代に向けた、自宅から目的地までシームレスな移動空間を提供

自宅

スマートフォンへの
スケジュール通知・出発指示



顔認識でドライバーを
認証し出発



AR-HUDによる経路誘導/
センシングカメラの検知状況に
応じた表示切替と警告



手動→自動運転モード切替/
車線変更時の
後方接近車両警告



ドライバモニタリングで
眠気を検知し、
ドリンク購入を提案



エージェントによる
楽曲レコメンド/
自動→手動運転モード切替



目的地

パーキングによる自動駐車/
スマートフォンを通じて
最終目的地まで案内



シームレスHMI

スケジュール管理など
情報やサービスを問わず
快適にサポートするHMIの実現

個人認証

車内のカメラで顔認識を行い、
ドライバーを認証

レコメンデーション

ユーザーの嗜好やドライブの状況を分析し、[今]必要と推測される情報を提示

ドア to ドア ナビゲーション

目的地への出発から到着まで、
徒歩ルートも含めてすべての移動を
自動的にお手伝い

Connected

AIエージェント (空中結像・対話型AI)

サーバーや車載情報システムと連携した空中結像ディスプレイを通じ、ユーザーのレコメンデーションや交通案内などさまざまな情報・サービスを提供する技術

AR-HUD

現実の風景と、経路誘導情報や前方検知情報を重ねて表示するヘッドアップディスプレイ
直感的かつリアルタイムな表示で安全をサポート

自然対話型音声HMI

ユーザーの発話音声や音声認識サーバーで処理し、
AIエージェントとの快適な音声対話をサポート

Human
Machine
Interface

自動運転HMI

車の挙動や周辺検知情報やドライバーへの視界に任し、自動運転時代へ向けた安心・安全なHMIを実現

オートパーキング

スマート
乗客で

近傍センシング

カメラ映像を使用して物体を検知
全方位検知できるのが特長

リアセンシング

車両後方の物体をカメラで検知

ドライバモニタリング
システム

カメラによる眠気検知や
生体センサーによる呼吸検知

オートパーキング

駐車場の入り口で車員が停車した後、
車内で駐車スペースまで移動する自動運転技術

近傍センシング

高精度デジタル車載カメラによる近傍センシングを活用し、
自動パーキングやレーンチェンジの支援に貢献

Safety
and
Information

InfoSeat™

シート背面に搭載された、ヘッドレストにスピーカーを埋め込み、真横方向に音場広げを行う技術

Full Digital Sound

音場の収束再生を達成し、独自の音場再生技術で再生可能なスーパーセンター、スコーカー(全周出力)を含む200W/400W/800W/1600W/3200W/6400W/12800W/25600W/51200W/102400W/204800W/409600W/819200W/1638400W/3276800W/6553600W/13107200W/26214400W/52428800W/104857600W/209715200W/419430400W/838860800W/1677721600W/3355443200W/6710886400W/13421772800W/26843545600W/53687091200W/107374182400W/214748364800W/429496729600W/858993459200W/1717986918400W/3435973836800W/6871947673600W/13743895347200W/27487790694400W/54975581388800W/109951162777600W/219902325555200W/439804651110400W/879609302220800W/1759218604441600W/3518437208883200W/7036874417766400W/14073748835532800W/28147497671065600W/56294995342131200W/112589990684262400W/225179981368524800W/450359962737049600W/900719925474099200W/1801439850948198400W/3602879701896396800W/7205759403792793600W/14411518807585587200W/28823037615171174400W/57646075230342348800W/115292150460684697600W/230584300921369395200W/461168601842738790400W/922337203685477580800W/1844674407370955161600W/3689348814741910323200W/7378697629483820646400W/14757395258967641292800W/29514790517935282585600W/59029581035870565171200W/118059162071741130342400W/236118324143482260684800W/472236648286964521369600W/944473296573929042739200W/1888946593147858085478400W/3777893186295716170956800W/7555786372591432341913600W/15111572745182864683827200W/30223145490365729367654400W/60446290980731458735308800W/120892581961462917470617600W/241785163922925834941235200W/483570327845851669882470400W/967140655691703339764940800W/1934281311383406679529881600W/3868562622766813359059763200W/7737125245533626718119526400W/15474250491067253436239052800W/30948500982134506872478105600W/61897001964269013744956211200W/123794003928538027489912422400W/247588007857076054979824844800W/495176015714152109959648889600W/990352031428304219919297779200W/1980704062856608439838595558400W/3961408125713216879677191116800W/7922816251426433759354382233600W/15845632502852867518708764467200W/31691265005705735037417528934400W/63382530011411470074835057868800W/126765060022822940149670115737600W/253530120045645880299340231475200W/507060240091291760598680462950400W/1014120480182583521197360925900800W/2028240960365167042394721851801600W/4056481920730334084789443703603200W/8112963841460668169578887407206400W/16225927682921336339157774814412800W/32451855365842672678315549628825600W/64903710731685345356631099257651200W/129807421463370690713262198515302400W/259614842926741381426524397030604800W/519229685853482762853048794061209600W/1038459371706965525706097588122419200W/2076918743413931051412195176244838400W/4153837486827862102824390352489676800W/8307674973655724205648780704979353600W/16615349947311448411297561409958707200W/33230699894622896822595122819917414400W/66461399789245793645190245639834828800W/132922799578491587291380491279669657600W/265845599156983174582760982559339315200W/531691198313966349165521965118678630400W/1063382396627932698331043930237357260800W/2126764793255865396662087860474714521600W/4253529586511730793324175720949429043200W/8507059173023461586648351441898858086400W/17014118346046923173296702883797716172800W/34028236692093846346593405767595432345600W/680564733841876926931868115351908646892800W/1361129467683753853863736230703817337795200W/2722258935367507707727472461407634675590400W/5444517870735015415454944922815269351180800W/10889035741470030830909889845630538702361600W/21778071482940061661819779691261077404723200W/43556142965880123323639559382522154809446400W/87112285931760246647279118765044309618892800W/174224571863520493294558237530088619237785600W/348449143727040986589116475060177238475571200W/696898287454081973178232950120354476951142400W/1393796574908163946356465900240708953902284800W/2787593149816327892712931800481417907804569600W/5575186299632655785425863600962835815609139200W/11150372599265311570851727201925671631218278400W/22300745198530623141703454403851343262436556800W/44601490397061246283406908807702686524873113600W/89202980794122492566813817615405373049746227200W/178405961588244985133627635230810746099492454400W/356811923176489970267255270461621492198984908800W/713623846352979940534510540923242984397969817600W/1427247692705959881069021081846485968795939635200W/2854495385411919762138042163692971937591879270400W/5708990770823839524276084327385943875183758540800W/11417981541647679048552168654771887750367517081600W/22835963083295358097104337309543775500735034163200W/456719261665907161942086746190875510014700682626400W/9134385233318143238841734923817510200294013653251200W/18268770466636286477683469847635020400588027306502400W/36537540933272572955366939695270040801170554613004800W/73075081866545145910733879390540081602341109226009600W/146150163733090291821467758781080163204682218452019200W/292300327466180583642935517562160326409364436904038400W/584600654932361167285871035124320652818728873808076800W/1169201309864722334571742070248641305637457747616153600W/2338402619729444669143484140497282611274915495232307200W/4676805239458889338286968280994565222549830990464614400W/9353610478917778676573936561989130445099661980929228800W/18707220957835557353147873123978260890199323961858457600W/37414441915671114706295746247956521780398647923716915200W/74828883831342229412591492495913043560797295847433830400W/149657767662684458825182984991826087121594591694867660800W/299315535325368917650365969983652174243189183389735321600W/598631070650737835300731939967304348486378366779470643200W/1197262141301475670601463879934608696972756735558941286400W/2394524282602951341202927759869217393945513471117882572800W/4789048565205902682405855519738434787891026942235765145600W/9578097130411805364811711039476869575782053884471530291200W/19156194260823610729623422078953739151564107768943060582400W/38312388521647221459246844157907478303128215537886121164800W/76624777043294442918493688315814956606256431075772242329600W/153249554086588885836987376631629913212512862151544484659200W/306499108173177771673974753263259826425025724303088969318400W/6129982163463555433479495065265196528500514486061779386366066177836836800W/12259964326927110866958990130530393057001028972123558772732132355673673600W/24519928653854221733917980261060786114002057944247117545464264711347347200W/49039857307708443467835960522121572228004115888494235090928529422694694400W/98079714615416886935671921044243144456008231776988470181857058845389388800W/196159429230833773871343842088486288912016463553976940363714117690778777600W/392318858461667547742687684176972577824032927107953880727428235381557555200W/784637716923335095485375368353945155648065854215907761454856470763115110400W/1569275433846670190970750736707890311296131708431815522909712941526220220800W/3138550867693340381941501473415780622592263416863631045819425883052440441600W/6277101735386680763883002946831561245184526833727262091638851766104880883200W/12554203470773361527766005893663122490369053667454524183277703532209761766400W/25108406941546723055532011787326244980738107334909048366555407064419523532800W/50216813883093446111064023574652489961476214669818096733110814128839047065600W/100433627766186892222128047149304979922952429339636193466221628257678094131200W/200867255532373784444256094298609959845904858679272386932443256515356188262400W/401734511064747568888512188597219919691809717358544773864886513030712376524800W/803469022129495137777024377194439839383619434717089547729773026061424753049600W/1606938044258990275554048754388879678767238869434179095459546052122849506099200W/3213876088517980551108097508777759357534477738868358190919092104245699012198400W/6427752177035961102216195017555518715068955477736716381838184208491398024396800W/12855504354071922204432390035111037430137910955473432763676372416982796048793600W/25711008708143844408864780070222074660275821910946865527352744833965592097587200W/51422017416287688817729560140444149320451643821893731054705489667931184195174400W/102844034832575377635459120280888298640903287643787462109410979337862368390348800W/205688069665150755270918240561776597281806575287574924218821958675724736780697600W/411376139330301510541836481123553194563613150575149848437643917351449473561395200W/822752278660603021083672962247106389127226301150299696875287834702898947122790400W/1645504557321206042167345924494212778254452602300599393750575669405797894245580800W/3291009114642412084334691848988425556508905204601198787501151398011595788491161600W/6582018229284824168669383697976851113017810409202397575002302796023191576982323200W/13164036458569648337338767395953702226035620818404795150004605592046383153964646400W/26328072917139296674677534791907404452071241636809590300009211184092766307929292800W/52656145834278593349355069583814808904142483273619180600018422368154532615858585600W/10531229166855718669871013916762961780828496654723836120003684473630890631717171200W/21062458333711437339742027833525923561656993309447672240007368947261781263443434400W/42124916667422874679484055667051847123313986618895344480014737894523562466886868800W/84249833334845749358968111334103694246627973237790688960029475789047124933373737600W/16849966666969149871793622266820738849325594647558137792005895157801446866747467200W/33699933333938299743587244533641477698651189295116275584001179031560293733494934400W/67399866667876599487174489067282953977302378590232551168002358063120587466989868800W/134799733335753198974348978134565907954604757180465102336004716126241749333979737600W/269599466671506397948697956269131815909209514360930204672009432252483498667959475200W/539198933343012795897395912538263631818419028721860409344001886450496899334918950400W/1078397866686025591794791825076527263636838057443720818688003772900993798669837900800W/2156795733372051183589583650153054527273676114887441637376007545801987597339675801600W/43135914667441023671791673003061090545473522297748832747520015091603975194793516032

応用展開：エンターテインメント



『ドクター・コッペリウス』

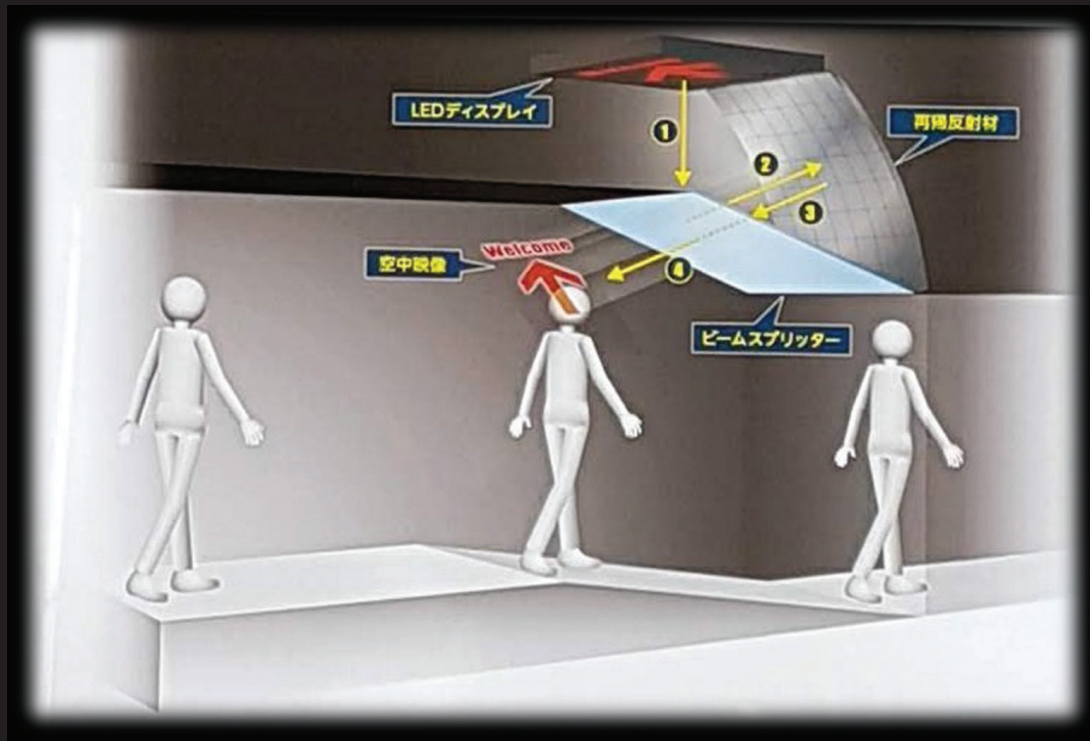
渋谷Bunkamuraのオーチャードホール 2016年11月



※出典：YouTube 富田勲×初音ミク「ドクター・コッペリウス」ダイジェスト映像
(日本コロムビア 公式YouTubeチャンネル)

URL： <https://youtu.be/ruXWgmuagE8>

CEATEC 2019



**Aerial walk-through
signage is exhibited
at our collaboration
partner's booth.**



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



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



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



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



12/24-3/31 延べ2,000人を超えた。
日刊スポーツ新聞社東京本社ビル1F



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」



価値あるVR創造企業
ソリッドレイ研究所

日刊スポーツ

 **NCI**
日本カーバイド工業株式会社

国立大学法人
 **宇都宮大学**
UTSUNOMIYA UNIVERSITY

UTSUNOMIYA UNIVERSITY

最近の動向

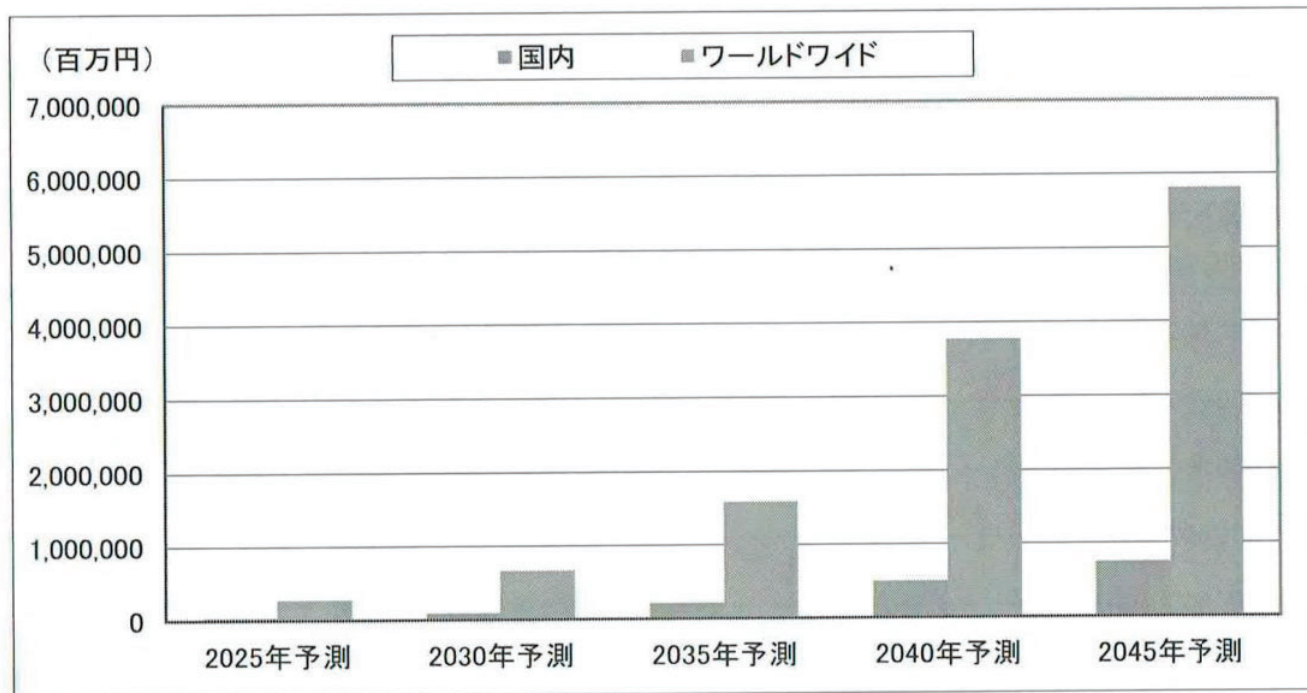
グローバルでは市場規模が 20年で20倍超

【図・表 1. 立体映像技術の国内および WW 市場規模予測
(金額：2025-2045 年予測)】

(単位：百万円)

	2025年予測	2030年予測	2035年予測	2040年予測	2045年予測
国内	39,000	89,300	212,000	497,000	747,000
ワールドワイド	278,000	663,000	1,583,000	3,777,000	5,811,000

2045年には
5.8兆円超 (予測)



国内市場も拡大傾向にあるが、
成長は相対的に緩やか
→ 技術展開や制度整備がカギ

(出典：矢野経済研究所)

(出所：矢野経済研究所推計)

アルプスアルパイン社とのコラボ



ドラマ撮影を変える山本研の空中ディスプレイ



1. 映像の向こうが見える光学シースルー表示
(役者さんが見ているものを反対側からも撮影できる)
2. CGではないリアルな「未来」感



VR Noh Ghost in the Shell



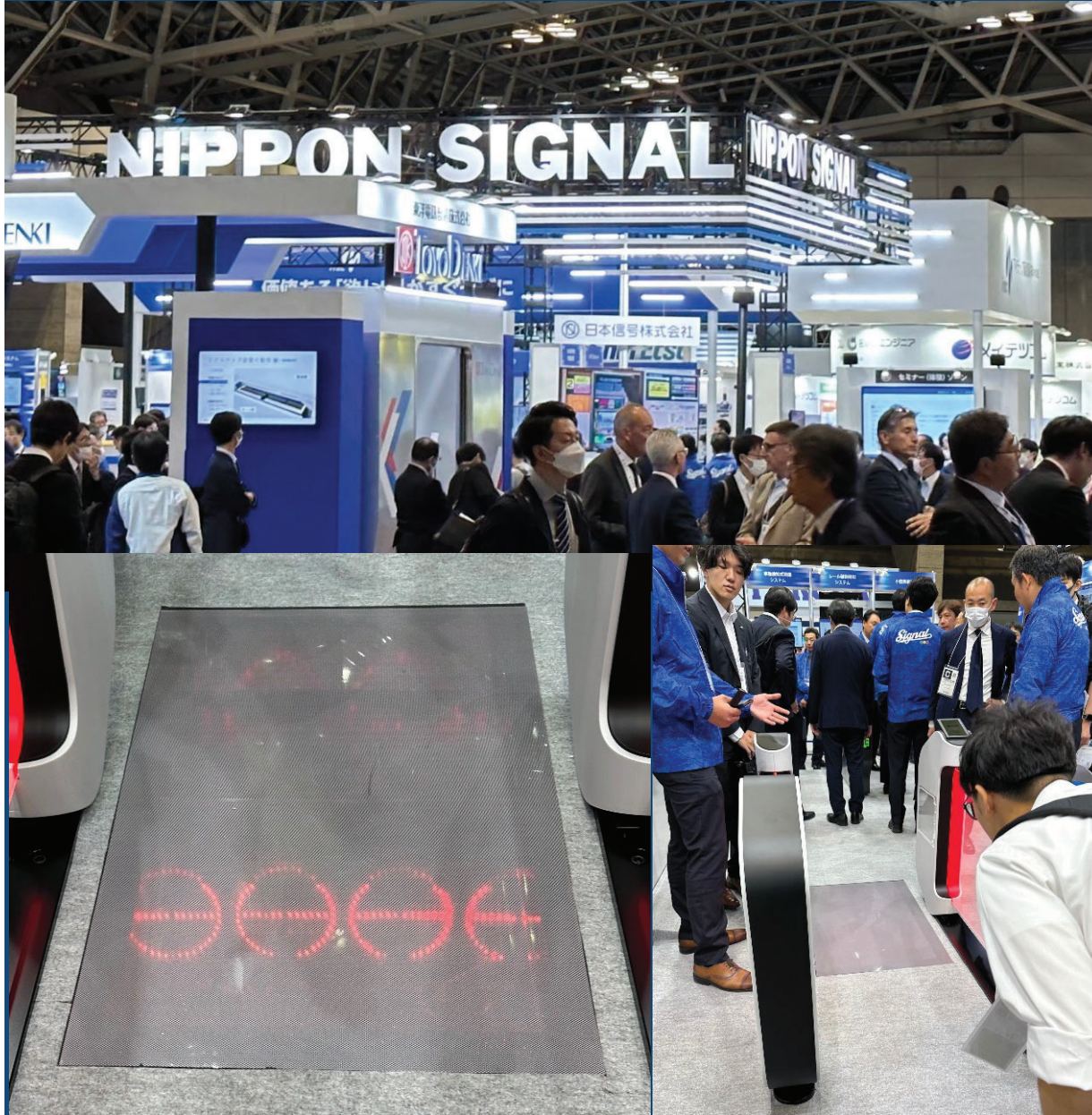
※出典: YouTube「攻殻機動隊」の世界を再現！日本の伝統芸能「能」とコラボ！
(TBS event)

URL : <https://youtu.be/h2FVFQJYRh0>

VR Noh in Venice



Aerial display for future ticket gate



Robot x Optics

Robotics Engineering and Agriculture-technology Laboratory

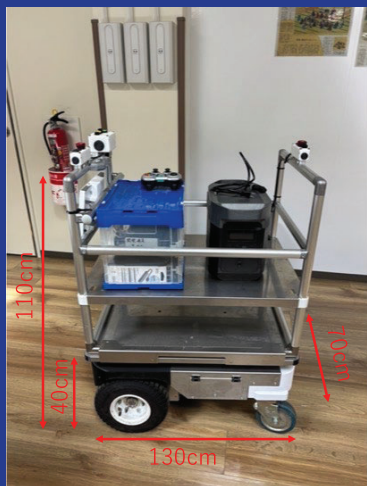
宇都宮大学 ロボティクス・工農技術研究所

about

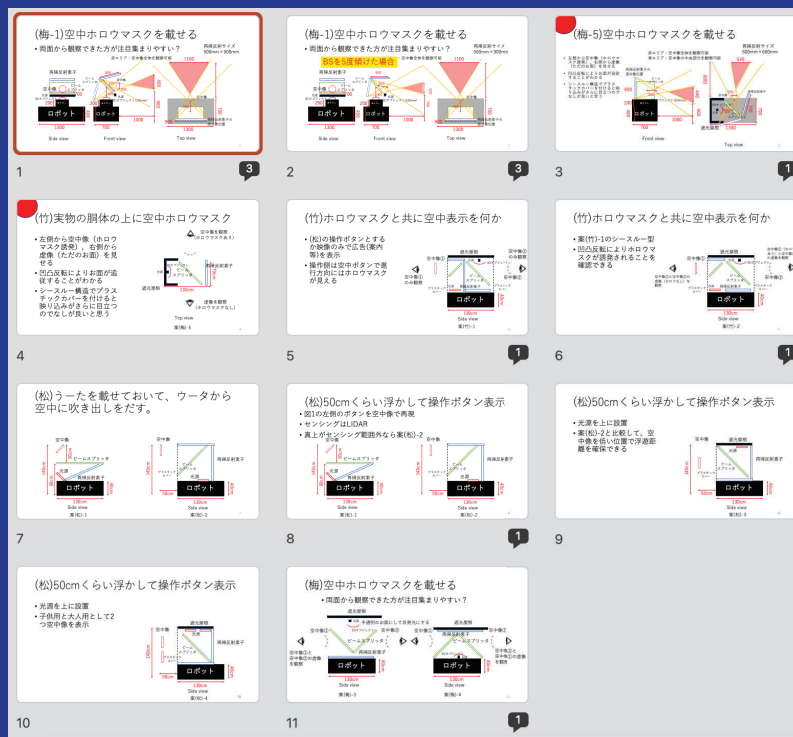


2025年3月末：尾崎研(ロボット)と山本研(空中ディスプレイ)コラボで万博出展決定

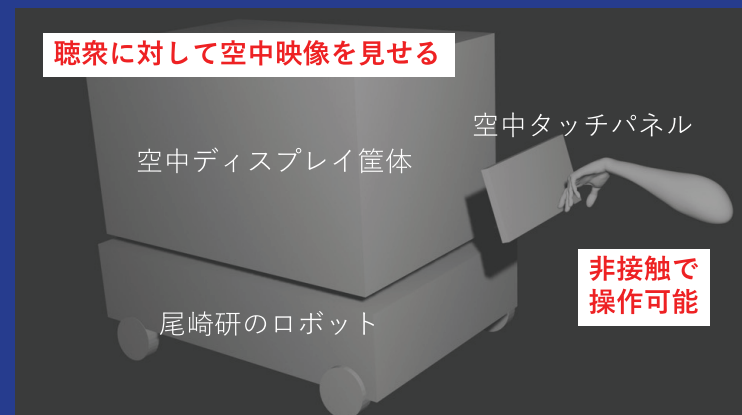
2025年4月初旬：複数回ミーティングを実施し，展示内容決定



尾崎研ロボット



筐体案

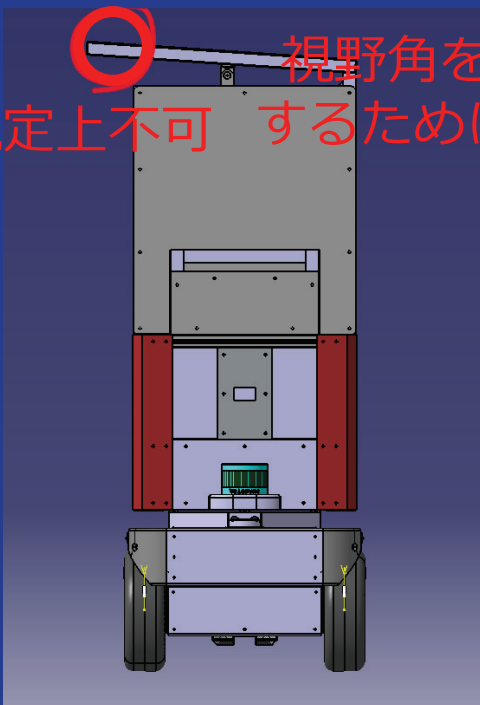


完成イメージ

2025年4月後半：筐体の設計（明るさや視野角は十分か）

2025年5月：筐体の作製・アプリケーション開発
万博安全規定を満たすために修正

視野角を確保
安全規定上不可 するために必要



CADデータ
(設計図)



プロトタイプ



フレーム完成

2025年6月初旬 : 外装製作・テスト走行

2025年6月8日

9時30分 : 宇都宮大学出発（自動車）・静岡付近でパンク

22時30分～ : 搬入開始・試運転

2025年6月9日

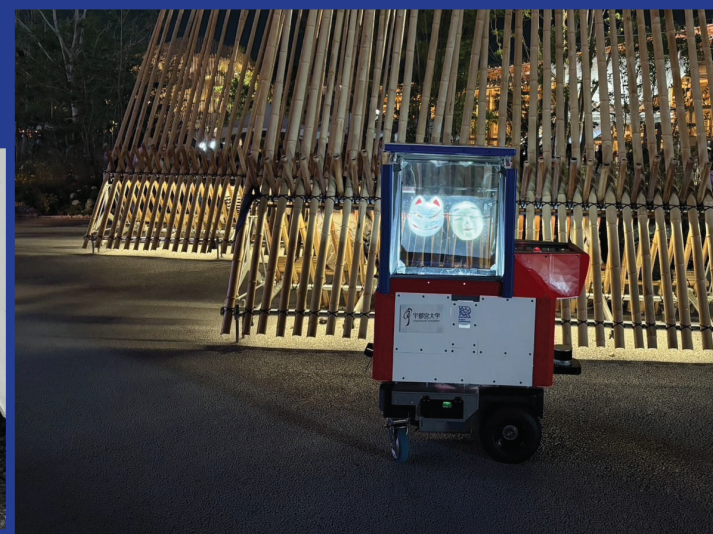
8時30分 : 準備～展示



完成したロボット



パンクした
タイヤ



誰もいない会場で
試運転



大阪・関西万博

2025年6月9日(月)～6月22日(日)
2025年8月4日(月)～8月17日(日)
ロボット&モビリティステーション

「今回の万博で初めて未来を感じた」

12月 東京国際フォーラムで展示



MOTION MIRAI PARK

ن ذ خ C ن ذ خ Y و n un

詳しい情報は
コチラから

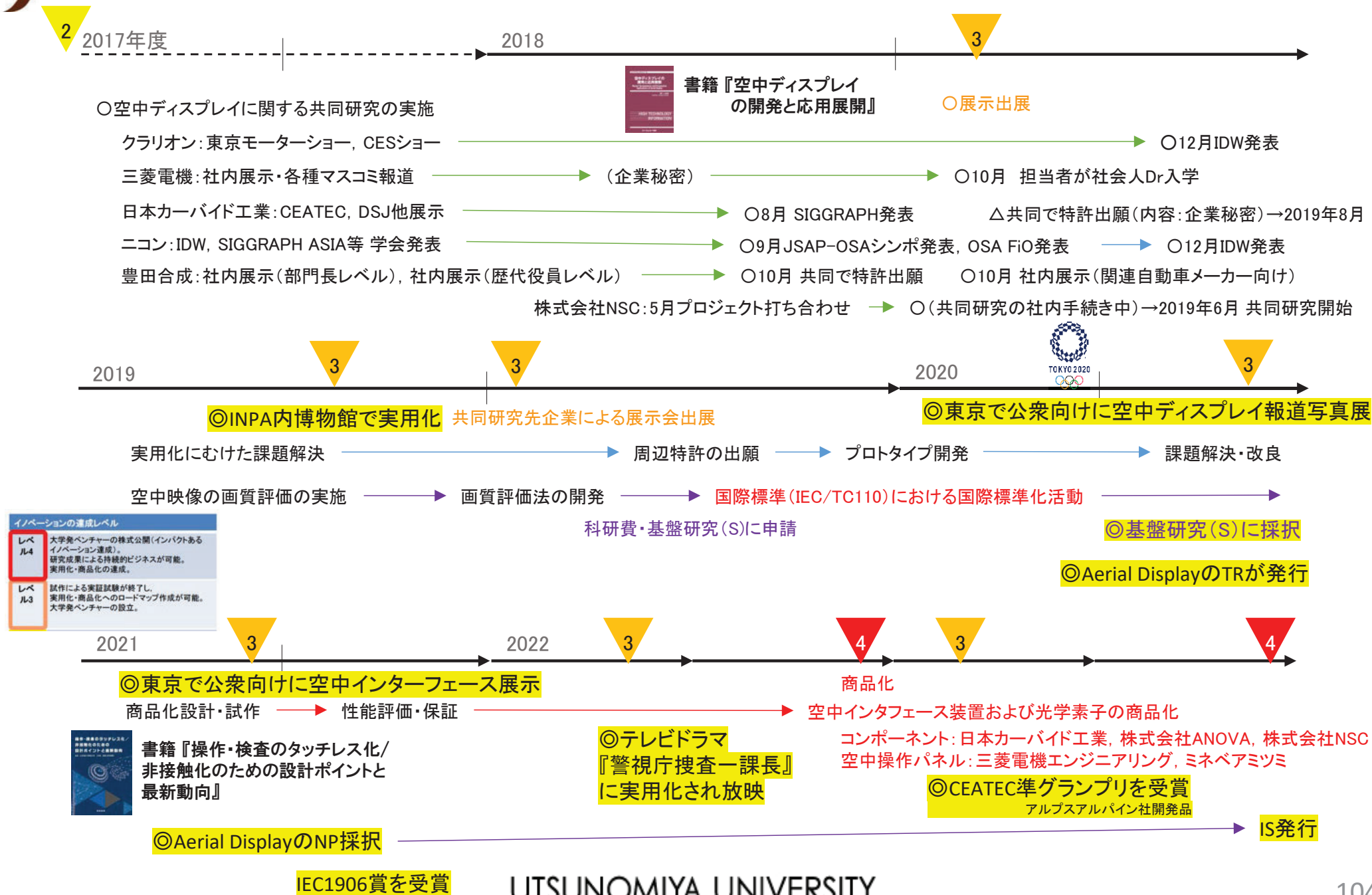
産業用ロボットx空中表示

次世代インター フェース産業

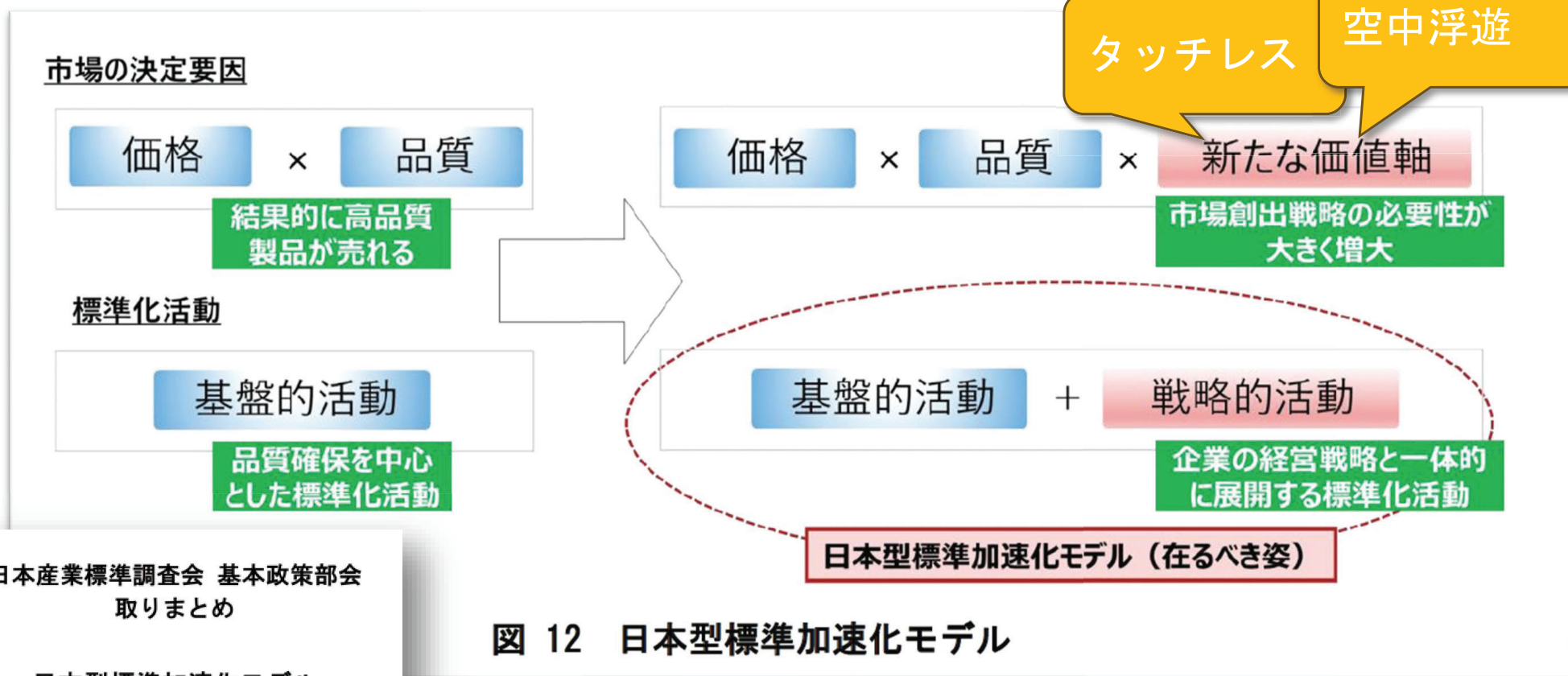
の創出と
国際競争力強化
に向けて



空中ディスプレイ社会実装の進捗



空中ディスプレイ 日本型標準加速化モデルの実践



日本産業標準調査会 基本政策部会
取りまとめ

—日本型標準加速化モデル—

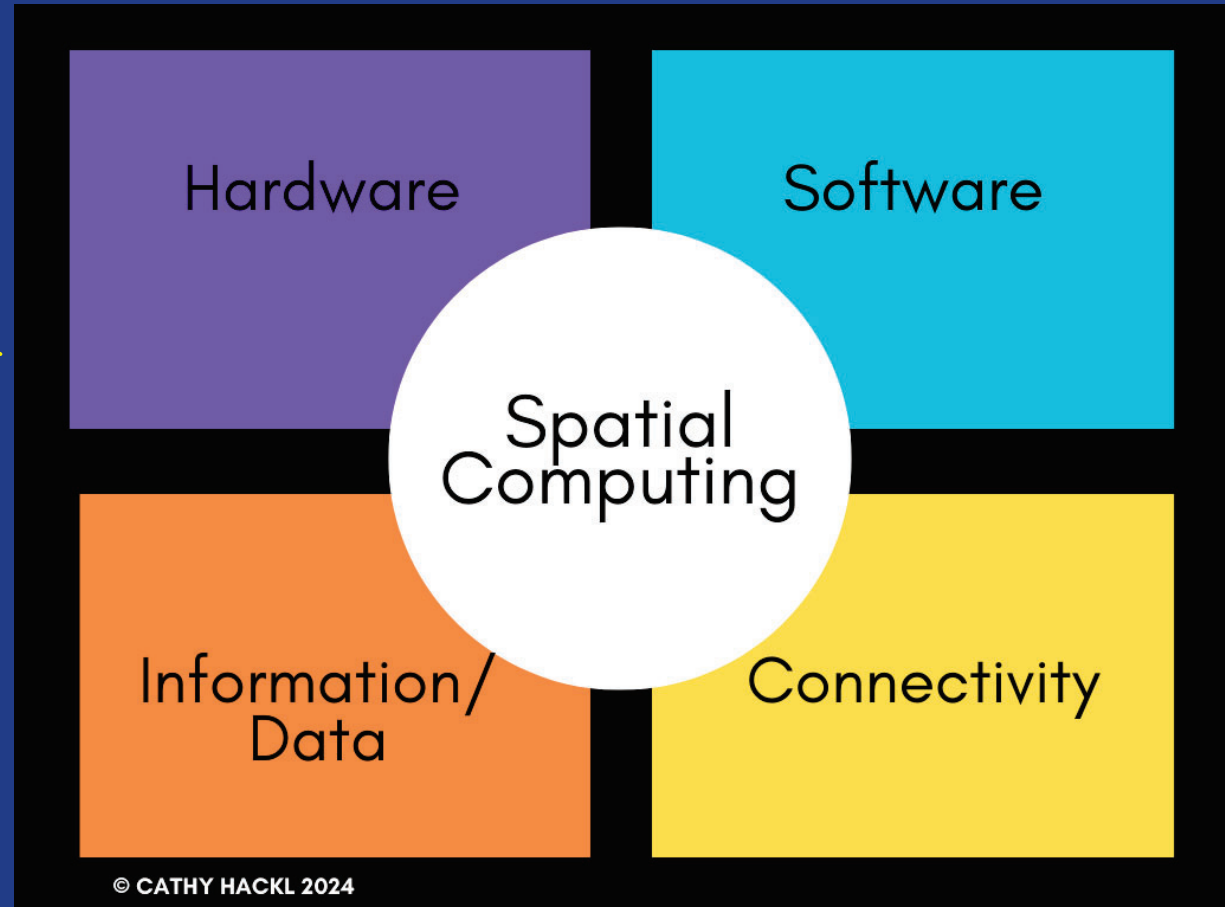
令和5年6月
日本産業標準調査会
基本政策部会

研究段階からルール形成を行い，新産業の創出へ

日本→韓・中・伯・仏⇒独・米 含む世界へ

空間コンピューティング

- 3D表現が中心となるコンピューティングの形態
- AIやコンピュータービジョン、拡張現実(AR)などの技術を使用してデジタル体験と物理世界の体験をシームレスに統合.
- 空間コンピューティングは,
 - 見て
 - 触れて
 - 感じて
 - 知ることができるすべてのものにコンピューティングを拡張する.



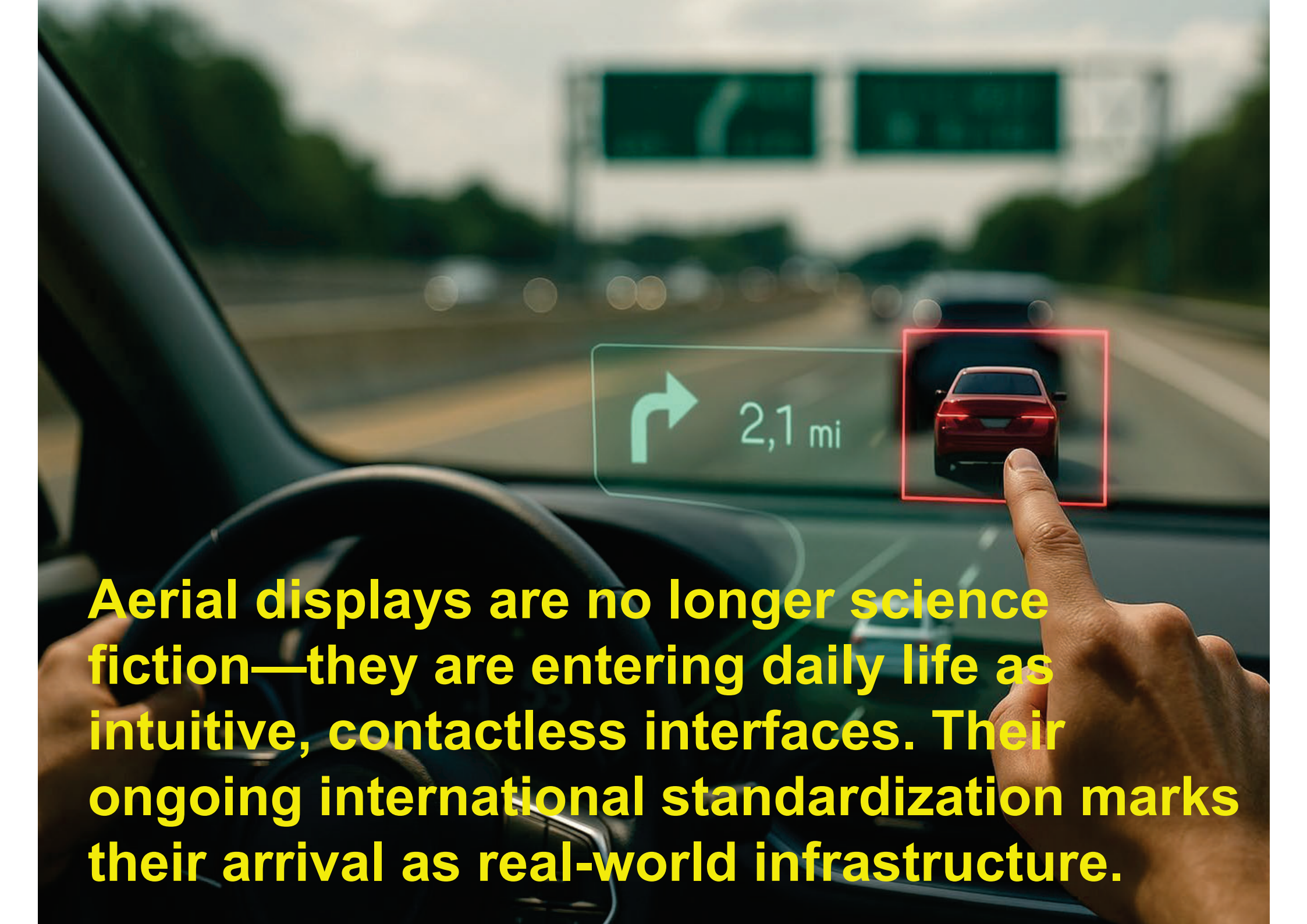
空間メディア技術 が開くHMI産業 振興に向けて

サイバー空間と現実空間の
界面をおさえる

【むすび】空間メディア技術は ヒトの社会性に必要不可欠な インタフェースを扱う情報基盤 を共創する。

1. アフターコロナ時代のHMI技術が戦国時代に突入しつつある。
2. 市場普及前の研究段階からの国際的なルール形成により不確実性の沼を越える。
3. 産学官の協働により国際競争力が強化される。

宇都宮大学山本研究室
Yamamoto Lab., Utsunomiya Univ.



Aerial displays are no longer science fiction—they are entering daily life as intuitive, contactless interfaces. Their ongoing international standardization marks their arrival as real-world infrastructure.