



# ライトフィールドディスプレイの 研究動向

2018年 3月 2日

法政大学 情報科学部

小池 崇文 <takafumi (at) hosei.ac.jp>



© 2018 Takafumi KOIKE

1

## 目次

1. ライトフィールドの基礎
2. ライトフィールドディスプレイの原理
3. ライトフィールドディスプレイの応用・最新研究事例
4. ライトフィールドディスプレイ関連企業

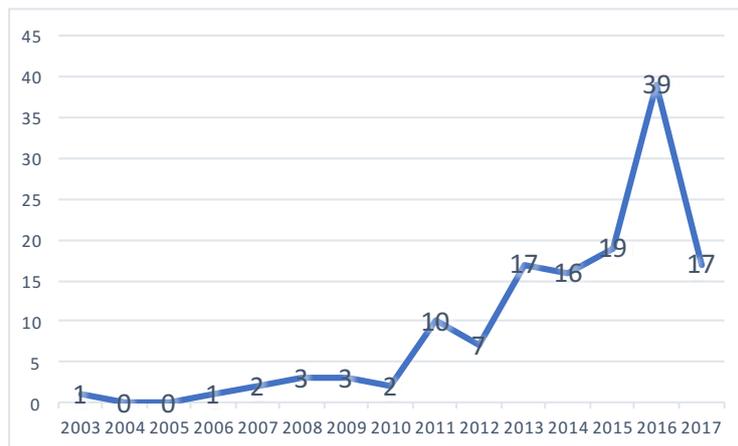
2

© 2015, 2016 Takafumi KOIKE

# 関連研究の推移

Google Scholarにて、“Light Field” “Display”で検索

調査日: 2017/06/22



注: SIDは含まれているが, IDW, IMID等は含まれていない.

3

© 2017 Takafumi KOIKE

## 1. ライトフィールドの基礎

4

© 2015, 2016 Takafumi KOIKE

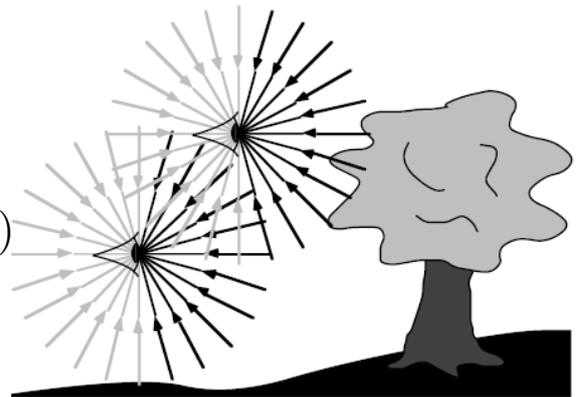
# Plenoptic Function

- Plenoptic Function: 我々が見た光を完全に記述する関数 (Adelson&Bergen, 1991)

$$f(x, y, z, \theta, \phi, \lambda, t)$$

- 7次元空間で定義

- 位置 (3次元):  $(x, y, z)$
- 方向 (2次元):  $(\theta, \phi)$
- 波長 (1次元):  $\lambda$
- 時間 (1次元):  $t$

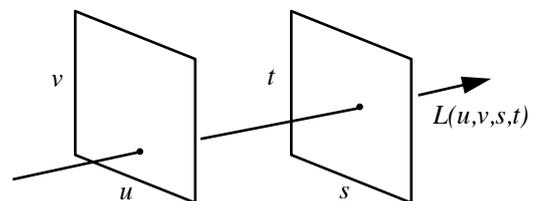
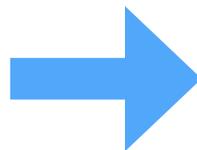
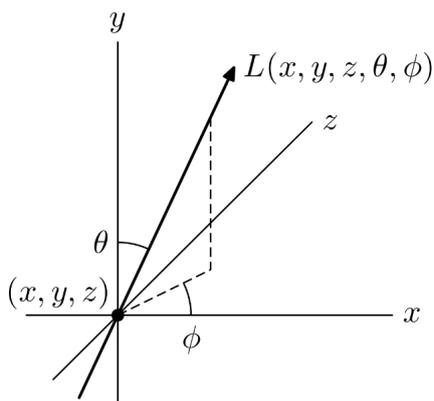


Plenoptic Function (Plenus\* + Opticの造語)  
\*ラテン語で「完全な」

5

© 2015 Takafumi KOIKE

# 4D Light Field



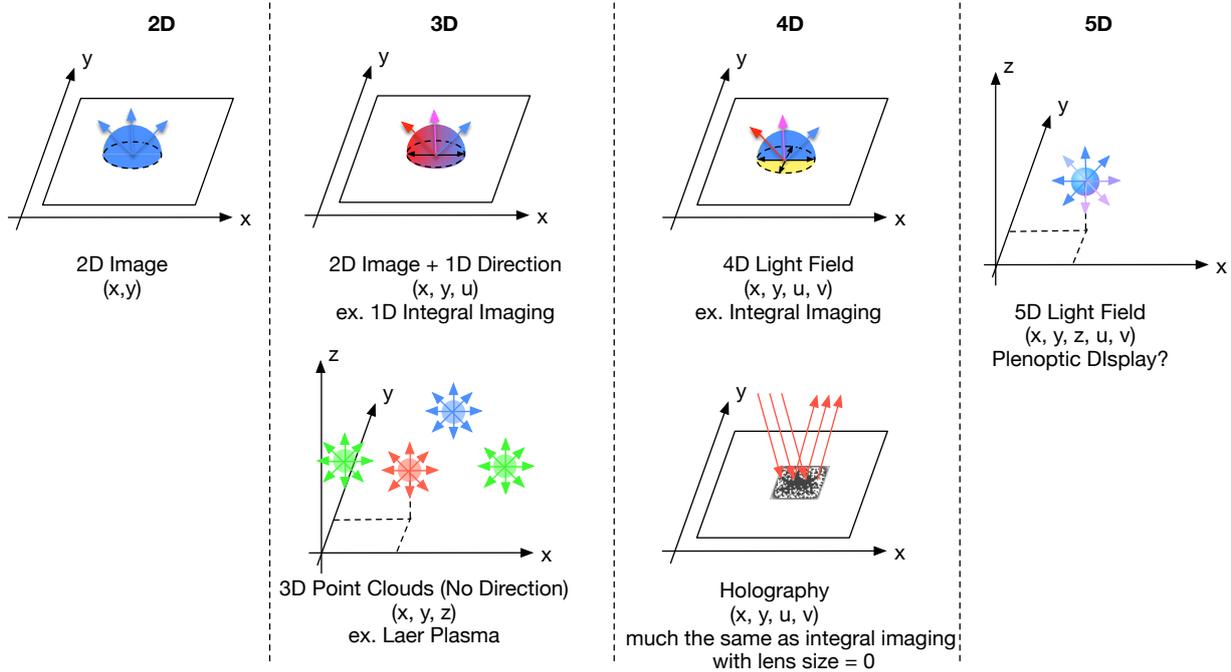
Plenoptic Function (5次元)から  
次元を1つ下げたものが、4D Light Field (4次元)  
光は基本的に直進\*するため、次元を下げる事が可能。

\*厳密には、光は無重力かつ真空中でのみ直進するが、一般的には光は直進すると近似して差し支えない。

6

© 2015 Takafumi KOIKE

# Light Field Displayの 光線次元による分類

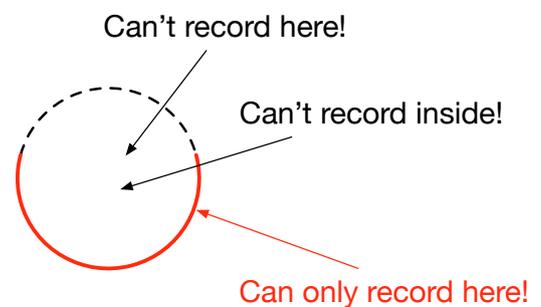


7

© 2015 Takafumi KOIKE

## Light Field and Holography

- Of course, very different in optics
- However, almost same in 4D light field in information space



Hologram or lens array camera

8

© 2015 Takafumi KOIKE

## 2. ライトフィールドディスプレイの原理

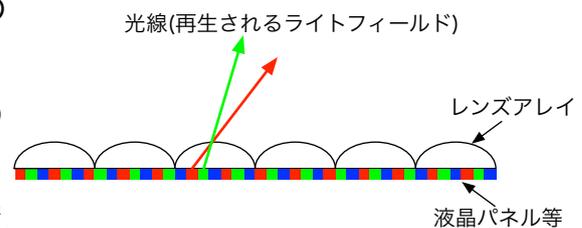
9

© 2015, 2016 Takafumi KOIKE

### ライトフィールドディスプレイの2方式

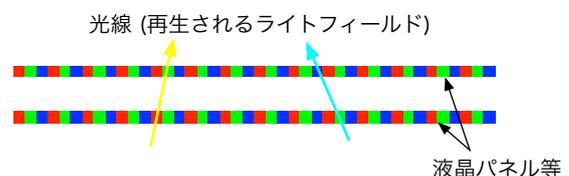
#### レンズアレイベース

- ・ 元々のインテグラルフォトグラフィそのもの
- ・ 液晶ディスプレイとレンズアレイなどの組み合わせ
- ・ 標本化された光線を再現していると考えられる



#### 複数(スタック)ディスプレイベース

- ・ 複数のパネル等をスタック状に組み合わせ (光の掛け算)でライトフィールドを密に再現
- ・ 画像の再現度は下がる可能性
- ・ 別名テンソルディスプレイ

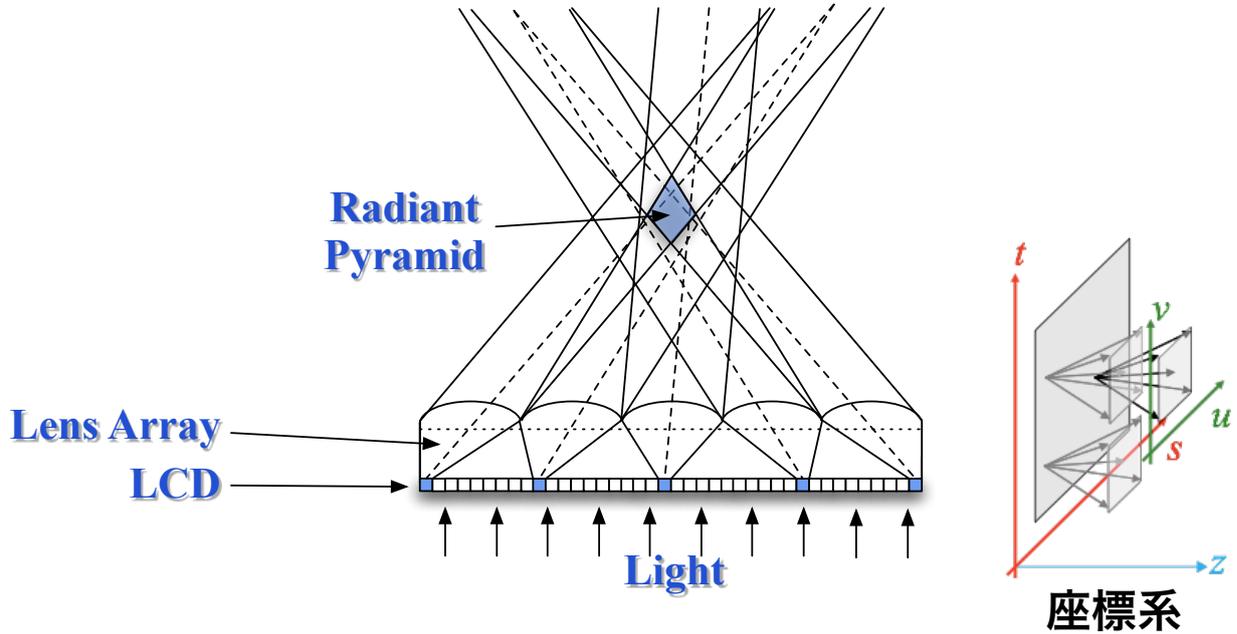


10

© 2015, 2016 Takafumi KOIKE

# レンズアレイベース

- インテグラルフォトグラフィ (IP)
- インテグラルイメージング (II)

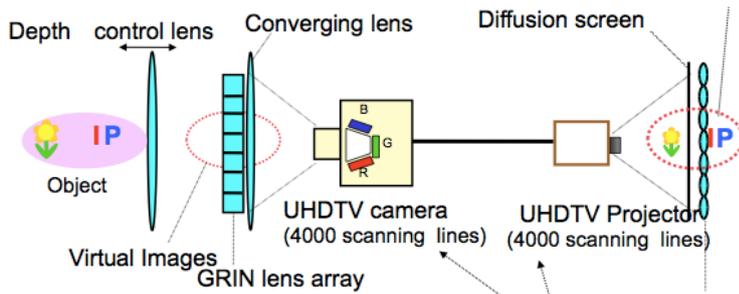


11

© 2015, 2016 Takafumi KOIKE

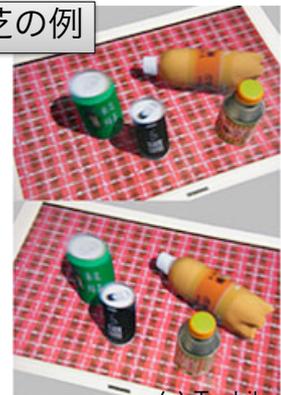
# レンズアレイ方式の研究例

## NHK放送技術研究所の例



( "3D Display Research at NHK", 3D Media Workshop, 2009 より引用 )

## 東芝の例



(c) Toshiba, Corp.

( [http://www.toshiba.co.jp/about/press/2005\\_04/pr1501.htm](http://www.toshiba.co.jp/about/press/2005_04/pr1501.htm) より引用 )

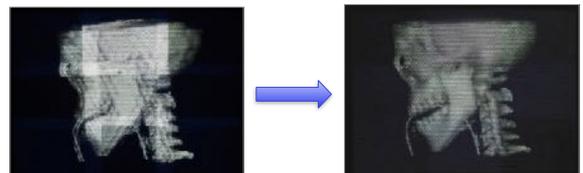
## NICTの例



gCubik v2, NICT 2003

( [http://mmc.nict.go.jp/people/shun/nict\\_project/gCubik\\_j.html](http://mmc.nict.go.jp/people/shun/nict_project/gCubik_j.html) より引用 )

## 東京大学 (土肥研)+日立製作所の例

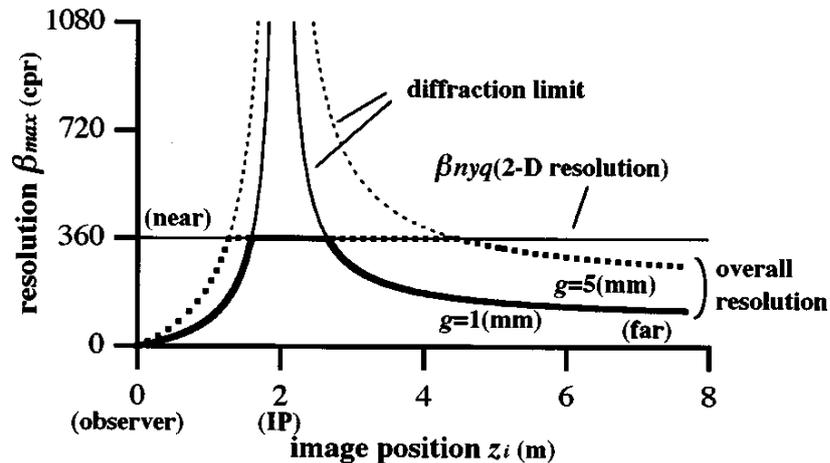


12

© 2015, 2016 Takafumi KOIKE

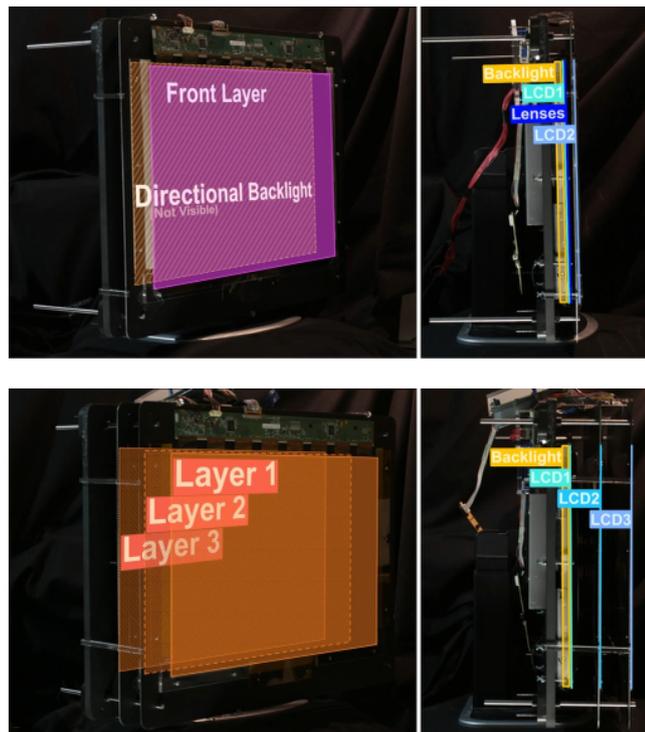
# レンズアレイ方式の周波数特性

- 立体像の解像度は、回折限界とナイキスト周波数で決定される



H. Hoshino, F. Okano, H. Isono, and I. Yuyama, "Analysis of resolution limitation of integral photography," J. Opt. Soc. Am. A, Vol. 15, No. 8, pp. 2059-2065, 1998. より引用

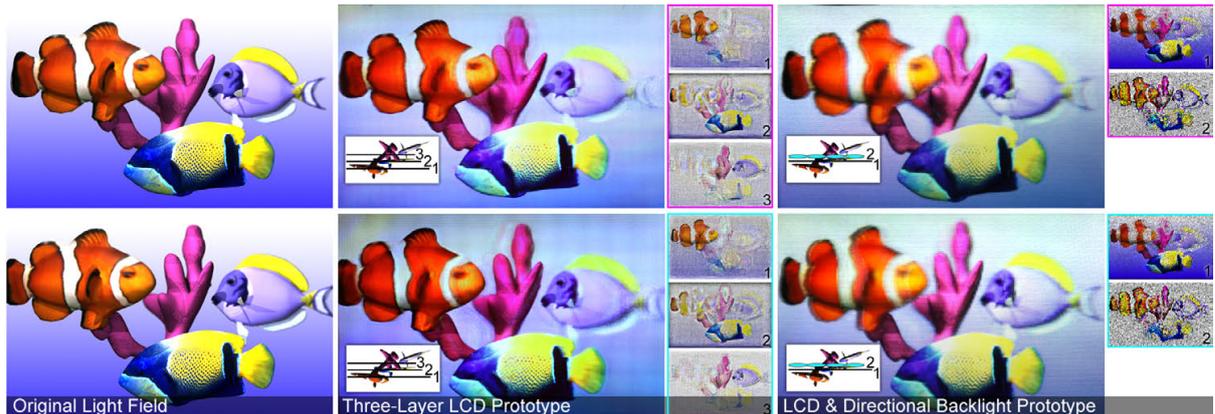
# 複数(スタック)ディスプレイベース



<http://web.media.mit.edu/~gordonw/TensorDisplays/> より引用

# Tensor Display

- 表示するLight Fieldをテンソルに分解, 複数のLCDの掛け算で実現する.



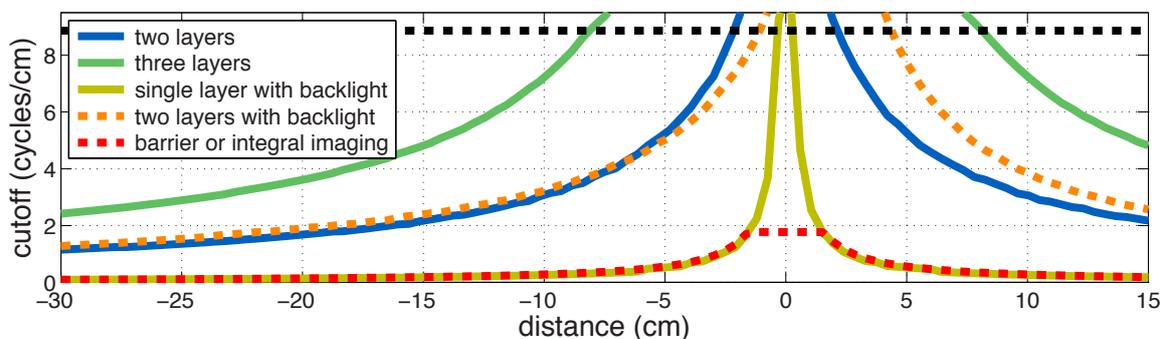
<http://web.media.mit.edu/~gordonw/TensorDisplays/> より引用

15

© 2015, 2016 Takafumi KOIKE

## 両者の周波数特性比較

- レンズアレイ方式とくらべて周波数特性が大きく改善している



G. Wetzstein and et al., "Tensor displays: compressive light field synthesis using multilayer displays with directional backlighting," ACM Transactions on Graphics, 31(4), 2012. より引用

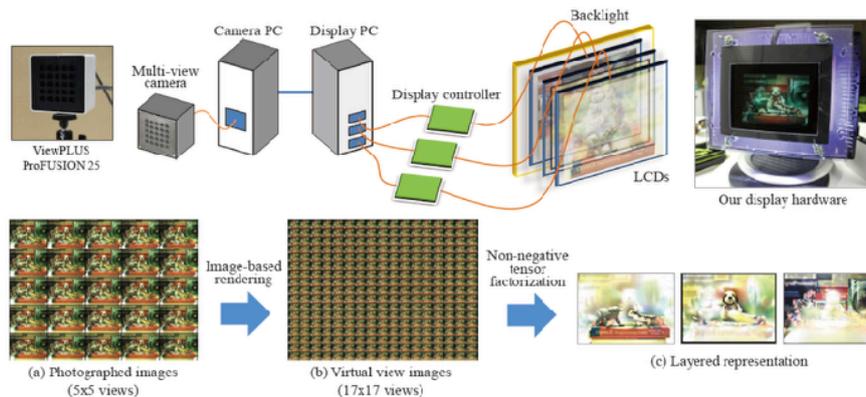
16

© 2016 Takafumi KOIKE

# 実装例: ソースコード

Tensor Displayのソースコードは、名古屋大学の藤井先生、高橋先生のグループにより、以下で公開されている。

<http://www.fujii.nuee.nagoya-u.ac.jp/~takahasi/Research/LFDisplay/index.html>



17

© 2016 Takafumi KOIKE

## FROM FOCAL STACKS TO TENSOR DISPLAY:

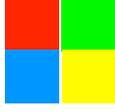
A NEW METHOD FOR LIGHT FIELD VISUALIZATION  
WITHOUT MULTI-VIEW IMAGES

Yuto KOBAYASHI, Keita TAKAHASHI, Toshiaki FUJII  
Nagoya University

# 2方式の違い

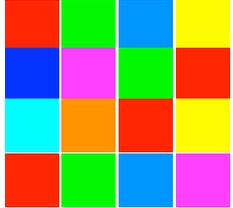
簡単のため2D LFを考える.

## レンズアレイベース

$$\begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \end{pmatrix}$$


情報量が違う,  
再現性も違う

## 複数ディスプレイベース

$$\begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{pmatrix} \times (1 \ 2 \ 3 \ 4) = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 2 & 4 & 6 & 8 \\ 3 & 6 & 9 & 12 \\ 4 & 8 & 12 & 16 \end{pmatrix}$$


19

© 2016 Takafumi KOIKE

## 3. ライトフィールドディスプレイ の応用・最新研究事例

# SIGGRAPH関連動向

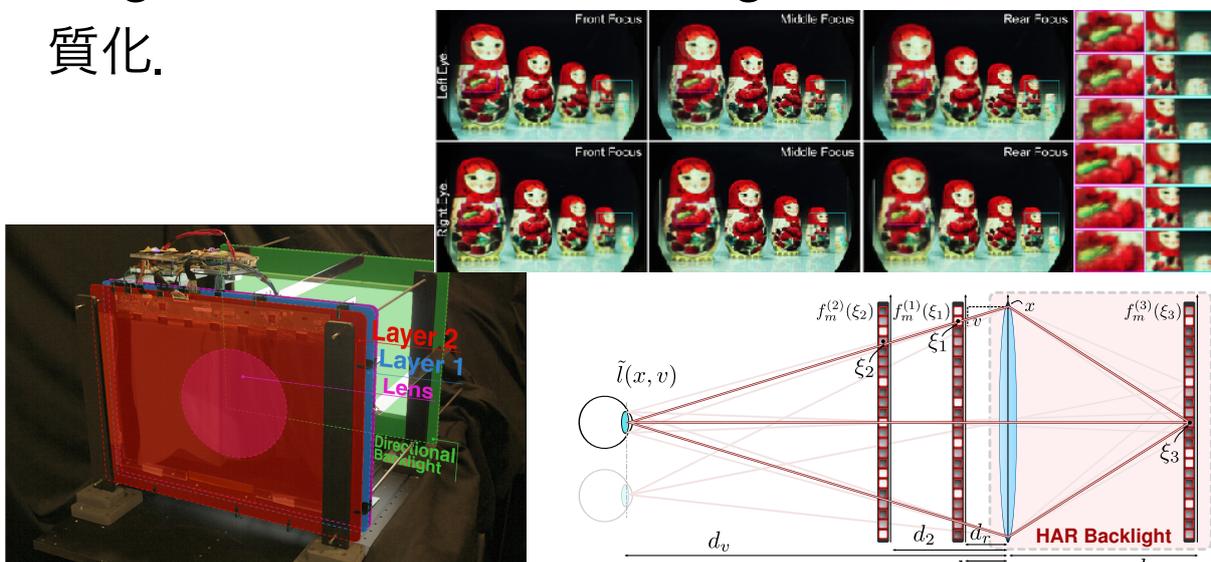
- 夏・冬2回の国際会議で、5~10件程度がディスプレイや関連技術の発表
- HMD/Near-Eye, LF, ホログラフィの発表が多い
- 本日は、ここ数年のLF関連の研究を紹介

21

© 2016 Takafumi KOIKE

## Focus3D

Tensor Displayをベースにし、HAR(High Angular Resolution) backlight を導入し高画質化.



A. Maimone, G. Wetzstein, D. Lanman, M. Hirsch, R. Raskar, H. Fuchs. Focus 3D: Compressive Accommodation Display. ACM Transactions on Graphics 32 (5), 2013. より引用

22

© 2017 Takafumi KOIKE

# Focus 3D

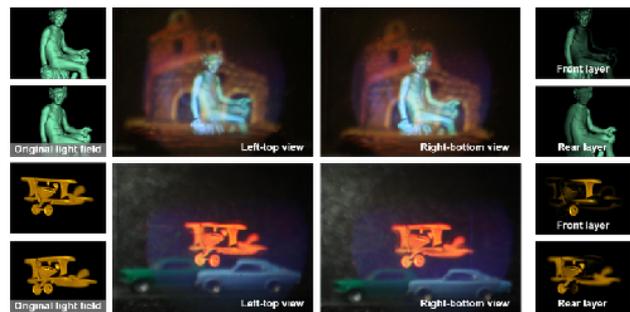
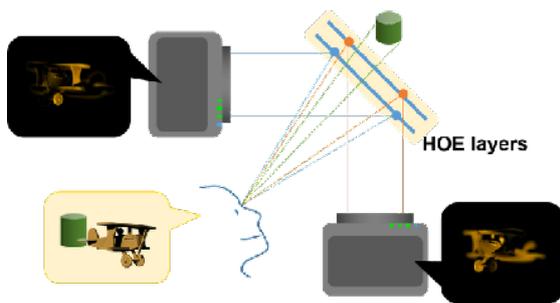
## Compressive Accommodation Display



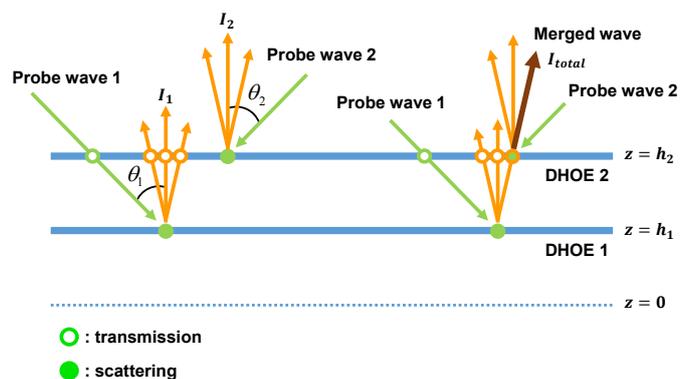
Andrew Maimone<sup>1</sup>    Gordon Wetzstein<sup>2</sup>  
 Matthew Hirsch<sup>2</sup>    Douglas Lanman<sup>2</sup>  
 Ramesh Raskar<sup>2</sup>    Henry Fuchs<sup>1</sup>

<sup>1</sup>University of North Carolina  
 at Chapel Hill  
<sup>2</sup>MIT Media Lab

# Additive Light Field Displays



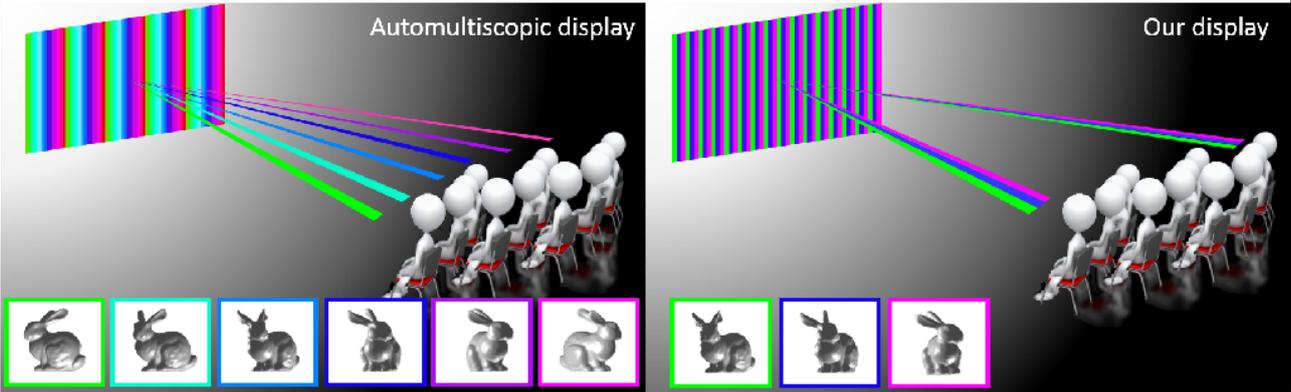
HOEをDiffuserとして用いた加算型のLight Field Display 原理の提案



Seungjae Lee, Changwon Jang, Seokil Moon, Jaebum Cho, and ByoungHo Lee. 2016. Additive light field displays: realization of augmented reality with holographic optical elements. *ACM Trans. Graph.* 35, 4, Article 60 (July 2016) より引用

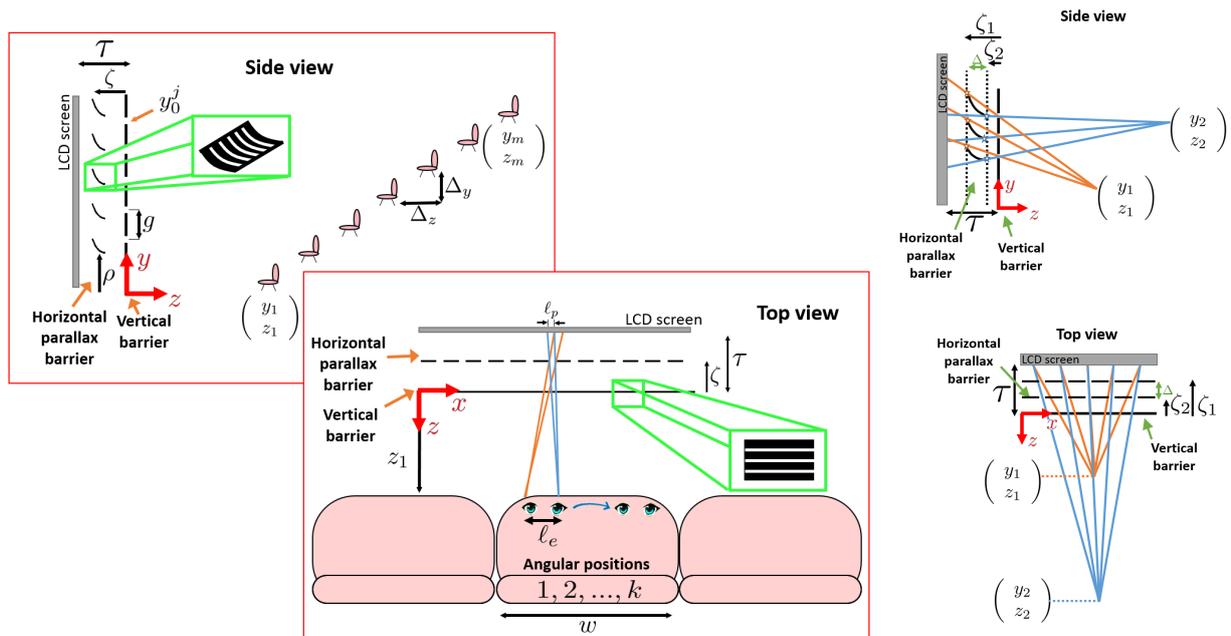
# 裸眼3D映画の提案

上下方向, 左右方向に特性の異なるバリアを用いることで, 映画館での利用を想定した裸眼3Dディスプレイの提案



Netalee Efrat, Piotr Didyk, Mike Foshey, Wojciech Matusik, Anat Levin, "Cinema 3D: Large Scale Automultiscopic Display," ACM Transactions on Graphics 35(4), 2016 より引用

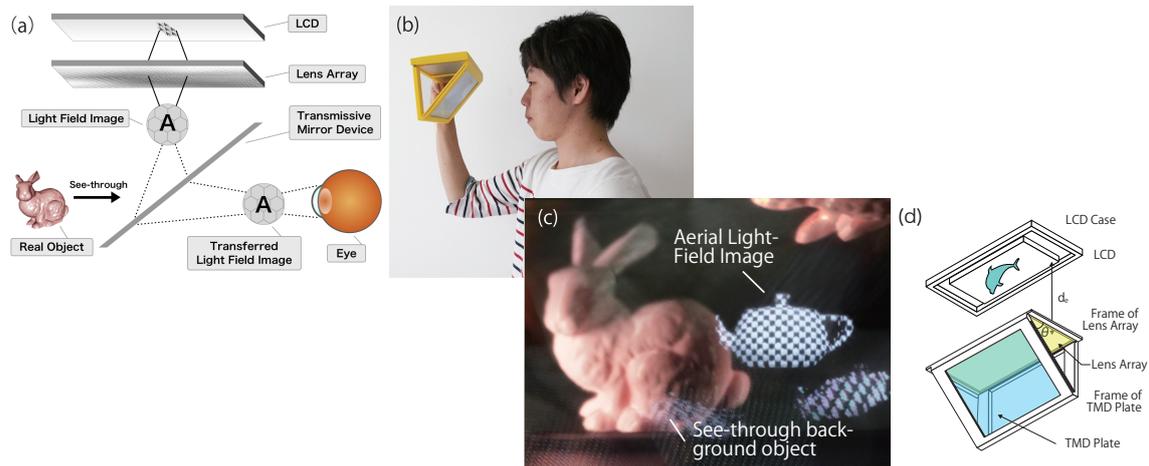
# 裸眼3D映画



Netalee Efrat, Piotr Didyk, Mike Foshey, Wojciech Matusik, Anat Levin, "Cinema 3D: Large Scale Automultiscopic Display," ACM Transactions on Graphics 35(4), 2016 より引用

# ライトフィールドと実体の光学重畳

ライトフィールドディスプレイと実像の光学重畳を再帰性反射鏡を用いて実現



Kazuki Otao, Yuta Itoh, Hiroyuki Osone, Kazuki Takazawa, Shunnosuke Kataoka, and Yoichi Ochiai, "Light field blender: designing optics and rendering methods for see-through and aerial near-eye display," SIGGRAPH Asia 2017 Technical Briefs, 2017. より引用

27

© 2017 Takafumi KOIKE

Light Field Blender:

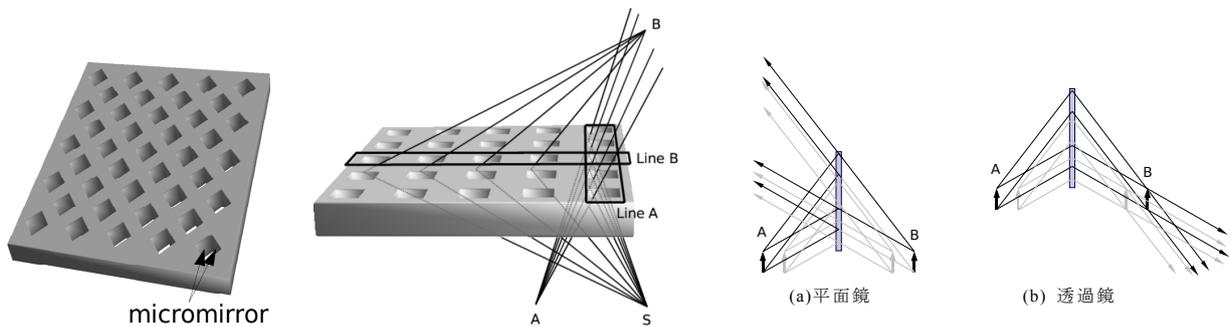
Designing Optics and Rendering Methods  
for See-Through and Aerial Near-Eye Display

28

© 2017 Takafumi KOIKE

# 再帰性反射鏡

微少な2面コーナリフレクターアレイ等を用いた実像を写す鏡



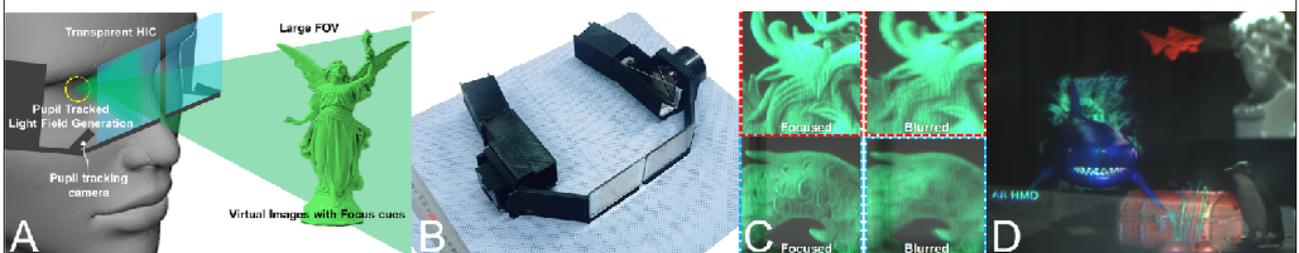
前川 聡, 仁田 功一, 的場 修, “微小2面コーナリフレクターアレイを用いた面対称結像光学素子: 実像を結像する「鏡」,” 映像情報メディア学会技術報告 30(52), 49-52, 2016 より引用

29

© 2016 Takafumi KOIKE

## Retinal 3D: Augmented Reality Near-Eye Display Via Pupil-Tracked Light Field Projection on Retina

瞳位置のトラッキングと網膜照射型ディスプレイを用いたメガネ型ライトフィールドディスプレイ

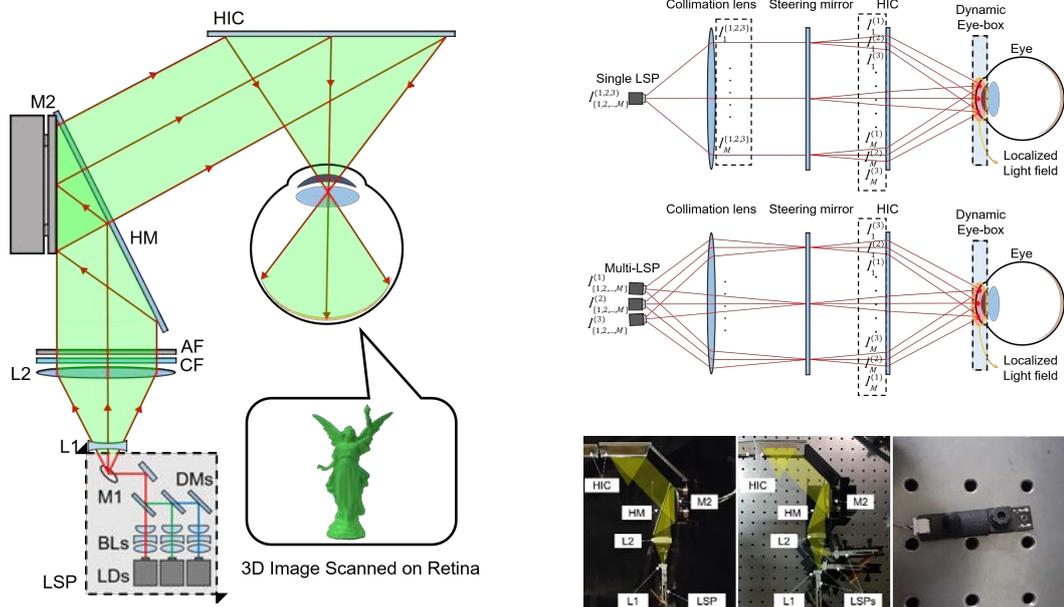


Changwon Jang, Kiseung Bang, Seokil Moon, Jonghyun Kim, Seungjae Lee, and ByoungHo Lee, “Retinal 3D: Augmented Reality Near-Eye Display Via Pupil-Tracked Light Field Projection on Retina” SIGGRAPH Asia 2017, 2017. より引用

30

© 2017 Takafumi KOIKE

# Retinal 3D: Augmented Reality Near-Eye Display Via Pupil-Tracked Light Field Projection on Retina

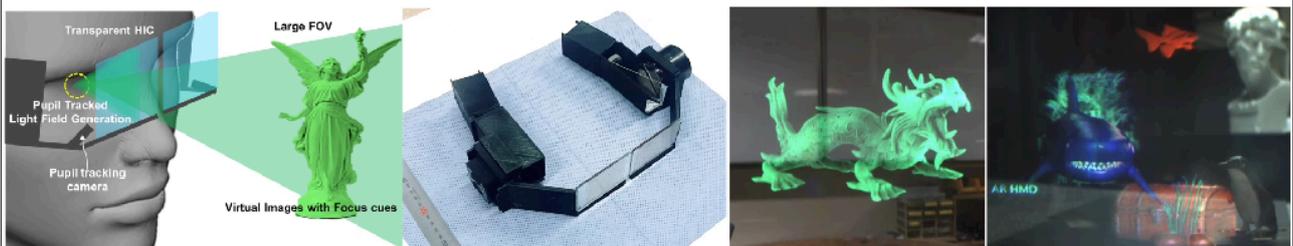


Changwon Jang, Kiseung Bang, Seokil Moon, Jonghyun Kim, Seungjae Lee, and ByoungHo Lee, "Retinal 3D: Augmented Reality Near-Eye Display Via Pupil-Tracked Light Field Projection on Retina" SIGGRAPH Asia 2017, 2017. より引用

# Retinal 3D: Augmented Reality Near-Eye Display Via Pupil-Tracked Light Field Projection on Retina

Changwon Jang, Kiseung Bang, Seokil Moon, Jonghyun Kim, Seungjae Lee, and ByoungHo Lee

Seoul National University



## 4. ライトフィールドディスプレイ 関連企業

© 2017 Takafumi KOIKE

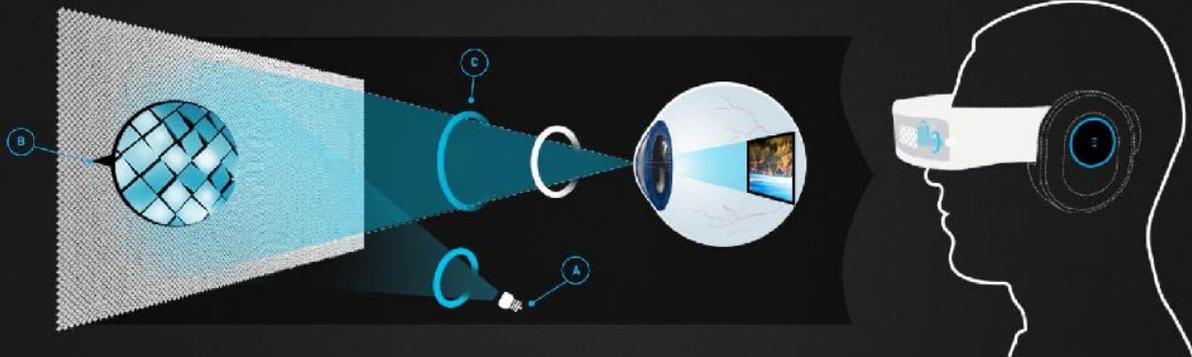
### スタートアップ企業

- 米国を中心にライトフィールドディスプレイのスタートアップ企業が続々現れている
- 注目を浴びている企業を中心に紹介する.

以前の3Dディスプレイブームと似た雰囲気があるが…

# Avegant Corp.

## GLYPH VIRTUAL RETINAL DISPLAY (VRD)



### A LOW-POWER LED

Light from a low-powered LED mimics natural light, eliminating fatigue so long-term usage is comfortable.

### B MICROMIRROR ARRAY

Two million mirrors reflect the conditioned light and shape it into an image fit for the eye with vivid clarity.

### C OPTICS

Patented optics focus and project the light stream directly onto the retina, resulting in extraordinary visuals, all without a screen.

35

© 2017 Takafumi KOIKE

# Avegant Corp.

以下の3点を売りにして，GlyphとLight Fieldの処理技術を用いてMR向けプラットフォームを開発。

- Virtual Image Clarity
- Simple Software Development
- Easy Hardware Integration



36

© 2017 Takafumi KOIKE

# Avegant Corp.



Avegant "Light Field" Prototype Model

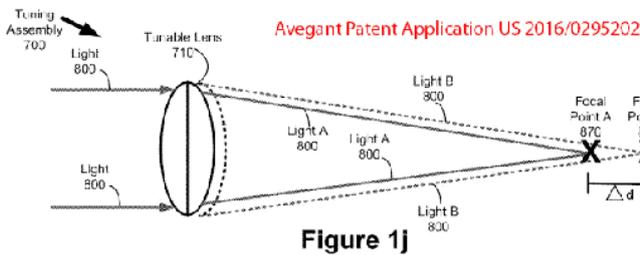


Figure 1j

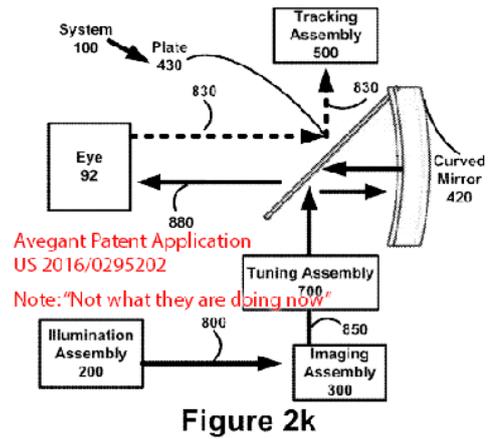


Figure 2k

<http://www.kgutttag.com/2017/03/09/avegant-light-field-display-magic-leap/> より引用

37

© 2017 Takafumi KOIKE

# Light Field Lab.

- ホログラフィックディスプレイを開発中
- 2018年に開発者向けサンプルを出荷予定



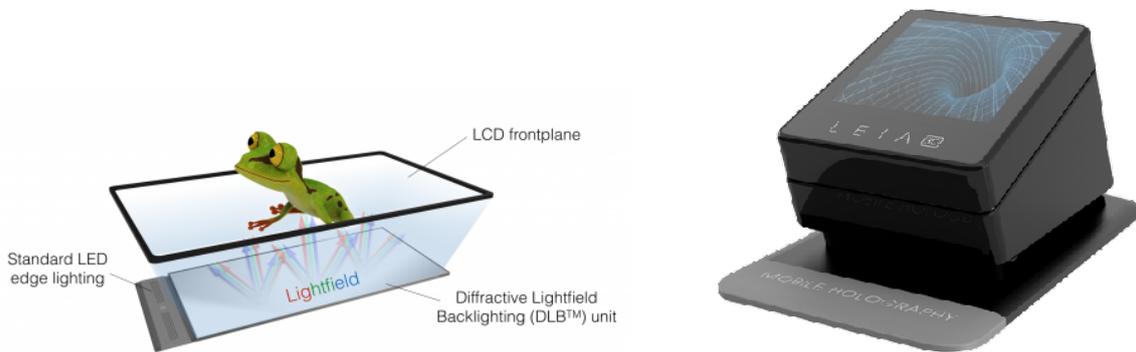
38

© 2017 Takafumi KOIKE

# Leia 3D

<https://www.leia3d.com>

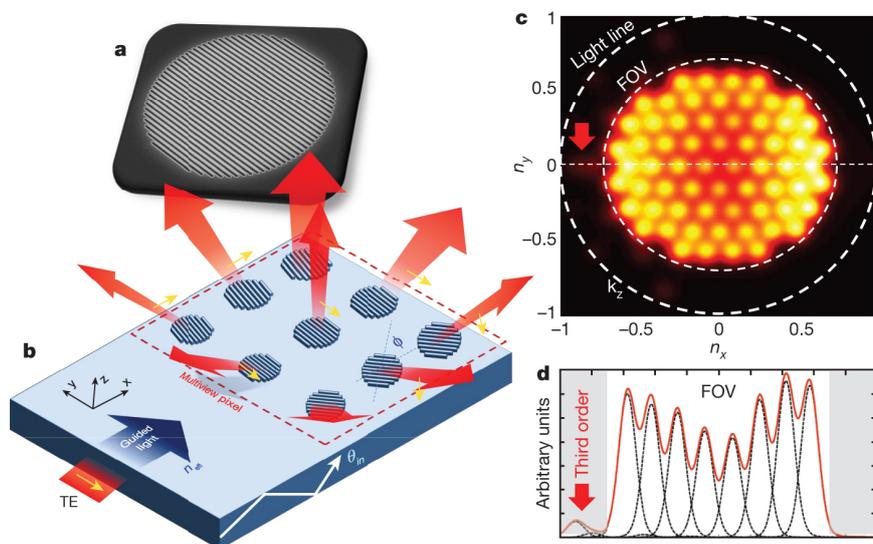
- HP Lab.出身のDavid Fattalによって設立されたベンチャー企業
- 多方向バックライトが特徴



39

© 2017 Takafumi KOIKE

## 多方向バックライト



D. Fattal, Z. Peng, T. Tran, S. Vo, M. Fiorentino, J. Brug, and R. G. Beausolei. "A Multi-directional Backlight for a Wide-angle, Glasses-free Three-dimensional Display," Nature, 495, pp. 348-351, 2013. より引用

40

© 2017 Takafumi KOIKE

# Hydrogen One Phone

- 映画用カメラメーカーのRED社によるスマートフォン
- 2017/9/7にLeia社と提携
- 3Dスマートフォンを2018年夏に発売予定
- 2Dはフル解像度
- 3Dは4視点

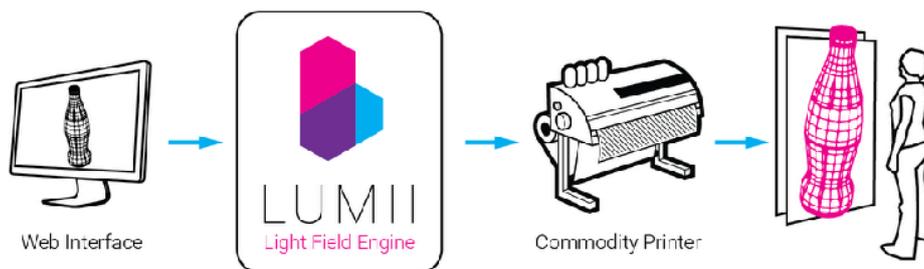


<http://downloads.red.com/hydrogen.pdf>

41

© 2017, 2018 Takafumi KOIKE

## Lumi



- MITにいたMatthew Hirschらが立ち上げた
- Gordon Wetzsteinも関わっている



<http://www.lumiidisplay.com>

42

© 2017 Takafumi KOIKE

# まとめ

- ライトフィールドディスプレイの復習
- 最新の研究を見ると、ディスプレイ系学会だけでなく、コンピュータサイエンス系の学会での発表が増えている
- 原理的に新規性が高い提案は少ないが、より複雑(光学系+センシング+ソフトウェア)なシステムの実装例が増えている
- アプリケーションの模索も盛んになっている