

# 光沢平面上に 直立空中像を表示する 可搬式光学系の設計 および装置

電気通信大学 大学院 情報学専攻

助教 小泉 直也

令和2年5月12日

# スライドからのリンクに関して

- 本資料には、研究紹介への動画リンクを埋め込んであります。
- 青く縁取りされた図やQRコードをクリックいただくと、研究紹介動画にジャンプしますので、そちらをご参照下さい。
- 動画は研究内容の要点を説明した3分ほどのものです。

青い縁取り



クリック



解説動画

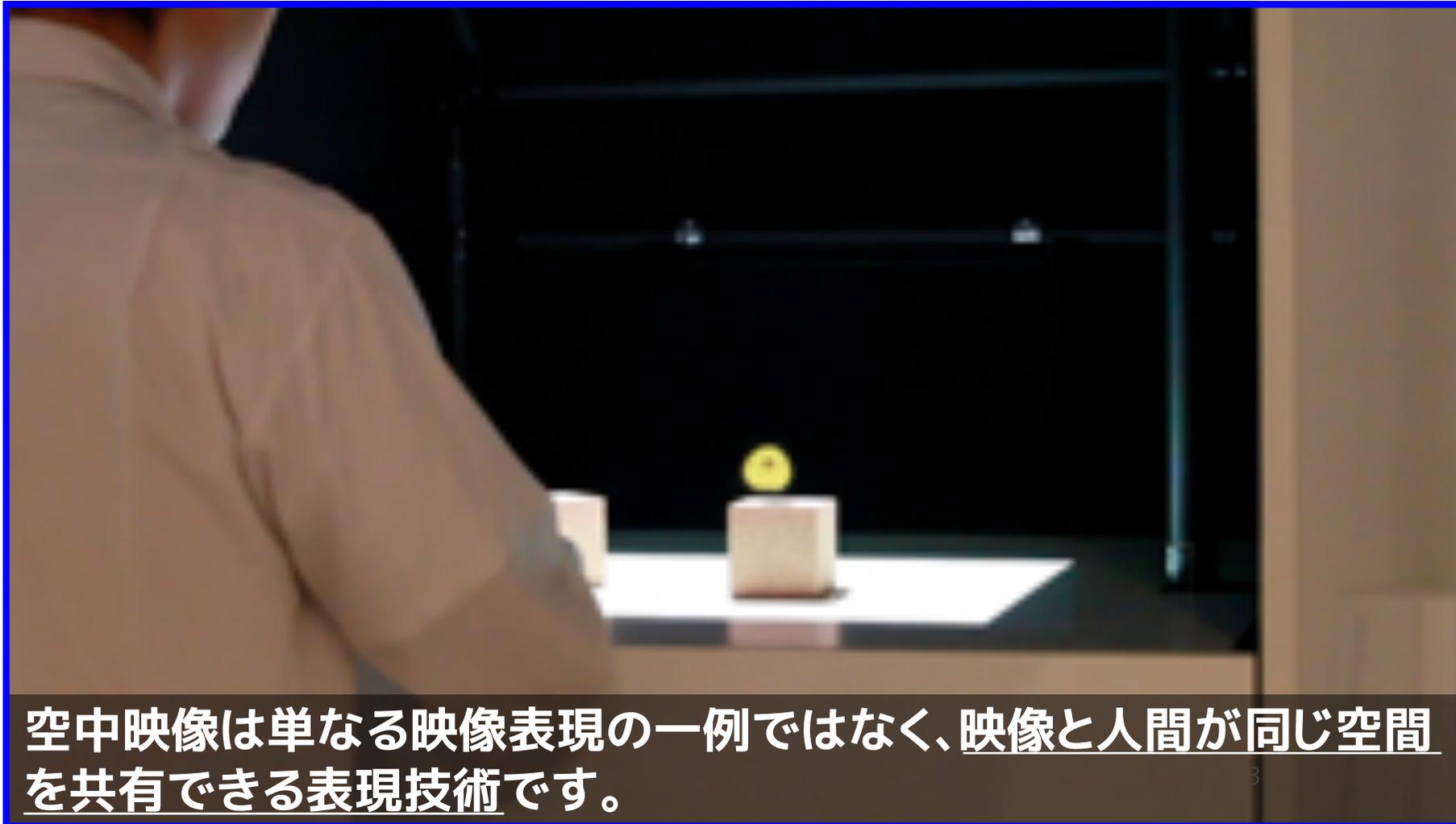


# 本研究で紹介する技術について





# 空中像とは



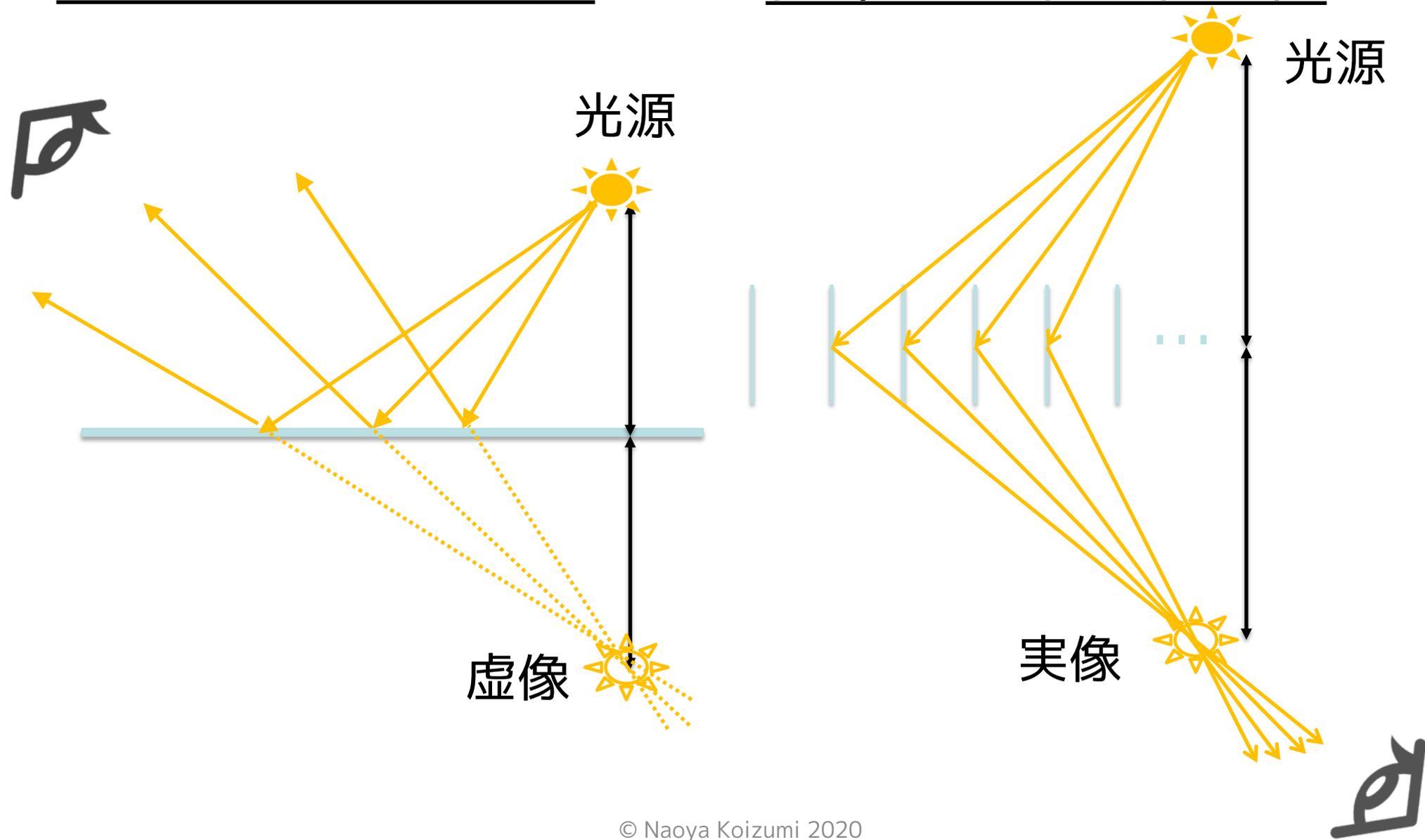
**空中映像は単なる映像表現の一例ではなく、映像と人間が同じ空間を共有できる表現技術です。**

Hanyuool Kim, et al. MARIO: Mid-air Augmented Reality Interaction with Objects, Entertainment Computing, 5, 4, 233-241, 2014.

# 再帰透過型光学素子のしくみと像の位置

鏡：鏡の向こう側に像

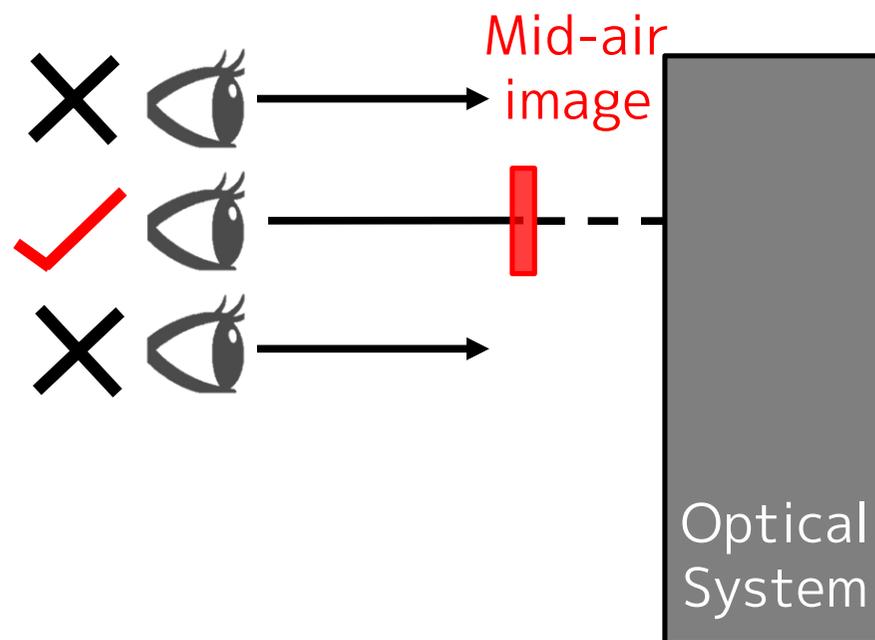
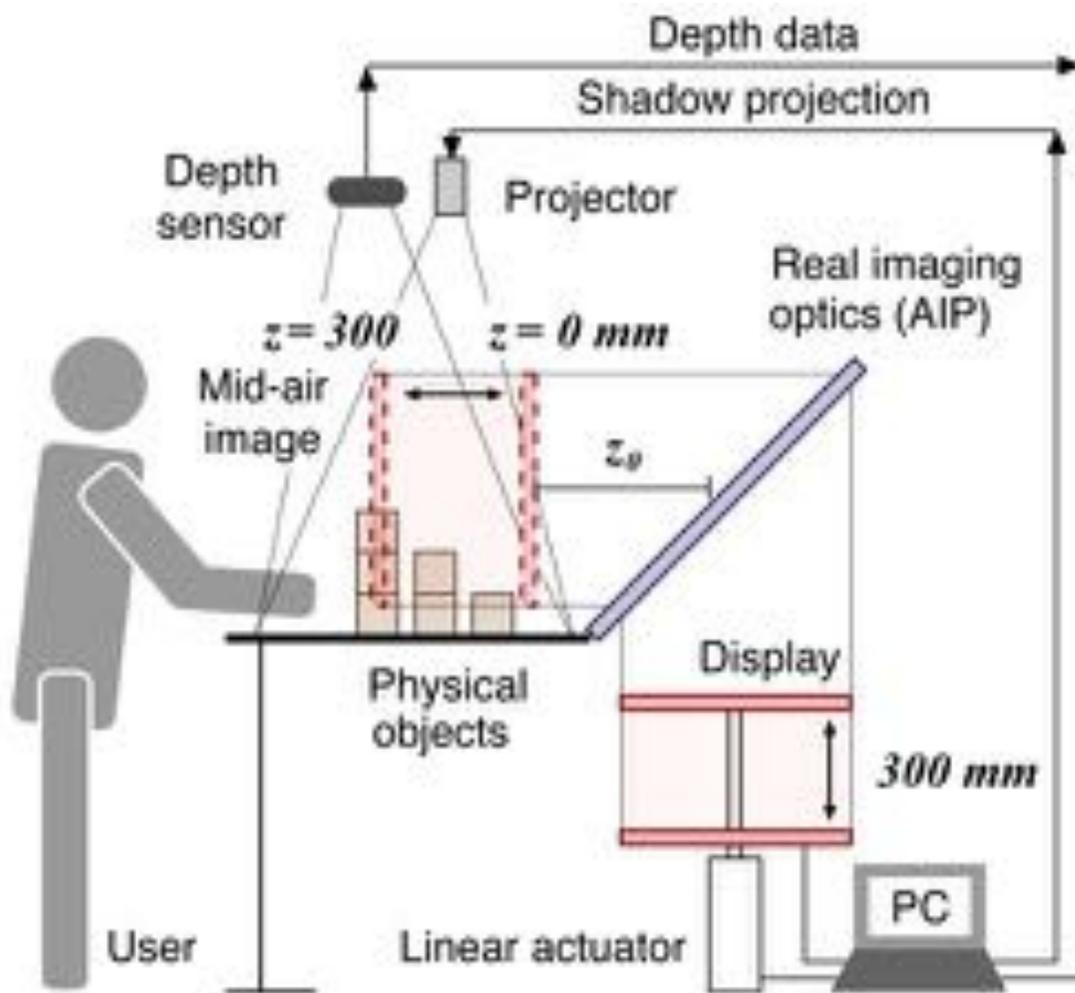
再帰透過：視点側に像



# 新技術の特徴・従来技術との比較

- 再帰透過光学素子を用いることで容易に空中像を表示することはできるが、現状では素子単体を適切に活用するには専門的な知識が求められる。
- 提案研究では、空中像を使いやすいように光源・光学素子を組み合わせる設計を提供する。

## 問題点1: 視点の高さ位置の調整が必要



Kim et al., 2014

視点位置の調整

## 問題2: 空中像光学素子が見えてしまう



空中像光学素子が見えてしまう

→ タネと仕掛けが丸見え → 興ざめを引き起こす

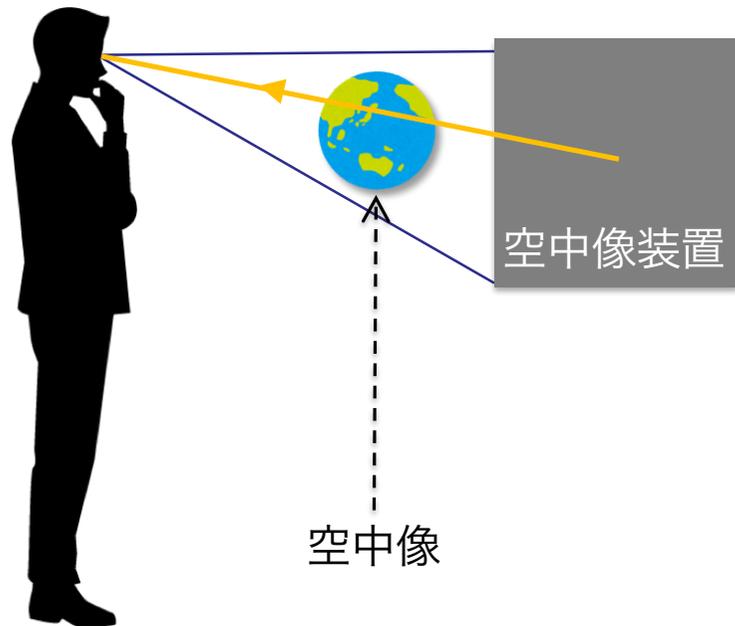


# 環境反射型空中像

従来：装置と一緒に見る

前景：空中像

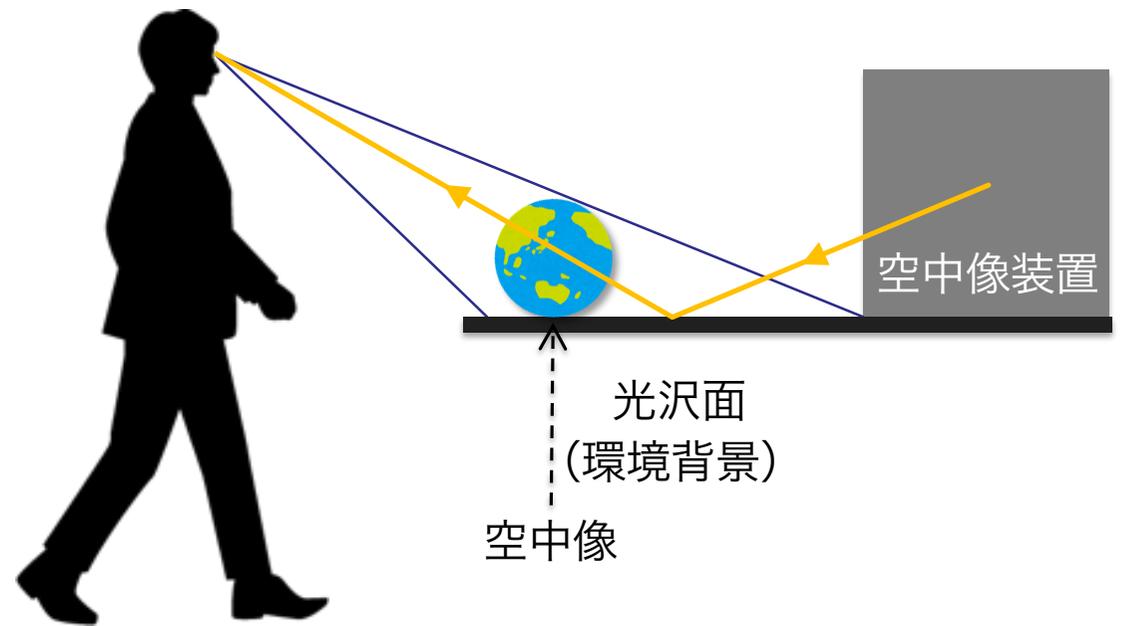
背景：装置全体



提案：環境を眺めると見える

前景：空中像

背景：建築材など



# 平面上に見える空中像



Innovative  
Technologies



山本 紘暉, et al. EnchanTable: テーブル面の反射を用いた直立空中像ディスプレイ, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.21, No. 3, pp.401-410, 2016 © Naoya Koizumi 2020

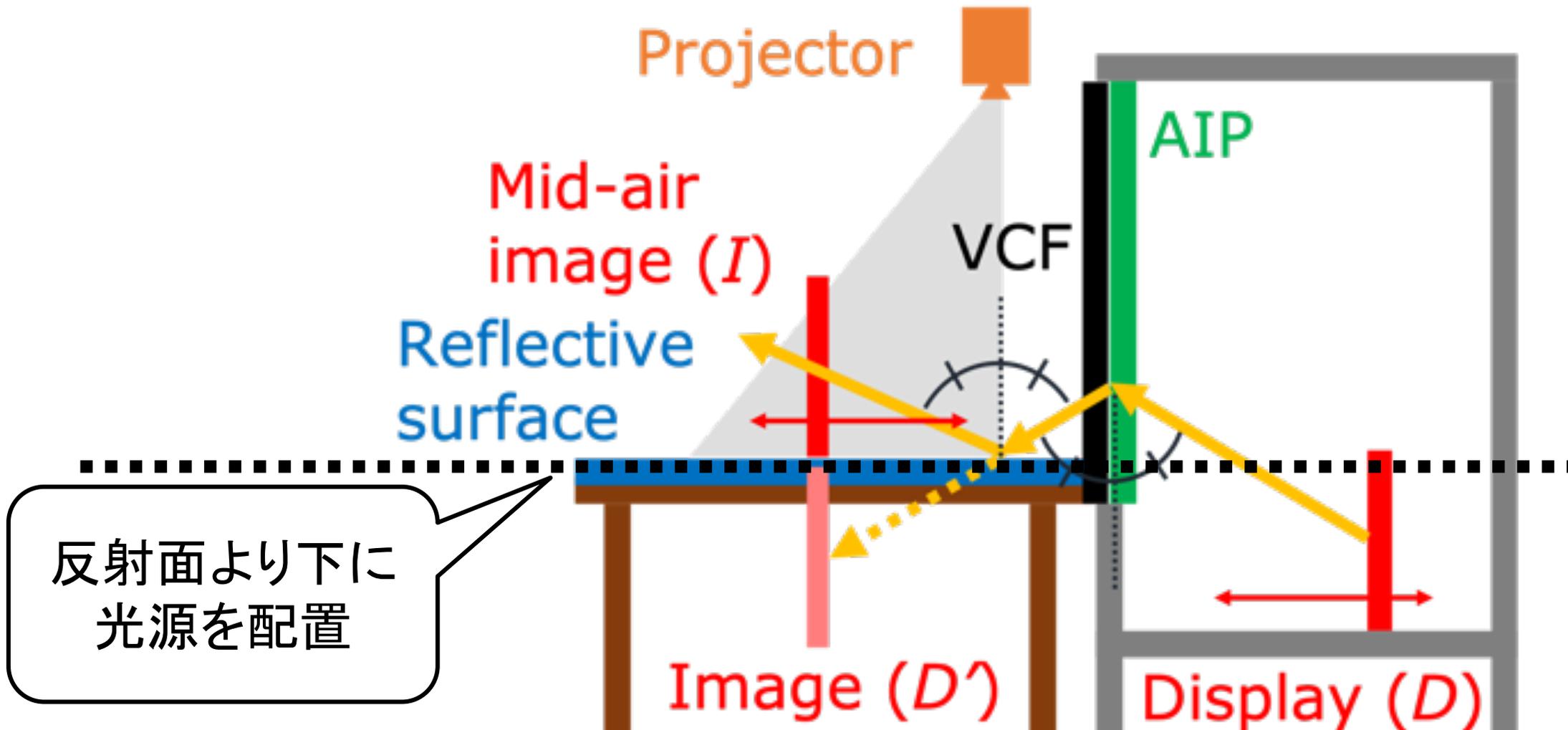
# 水面に浮かぶ空中像



松浦 悠, 小泉 直也. Scoopirit: 水面反射を用いた空中像とのインタラクション. 情報処理学会論文誌, Vol. 60, No2, pp. 318-327, 2019.

# 環境反射型空中像の問題点

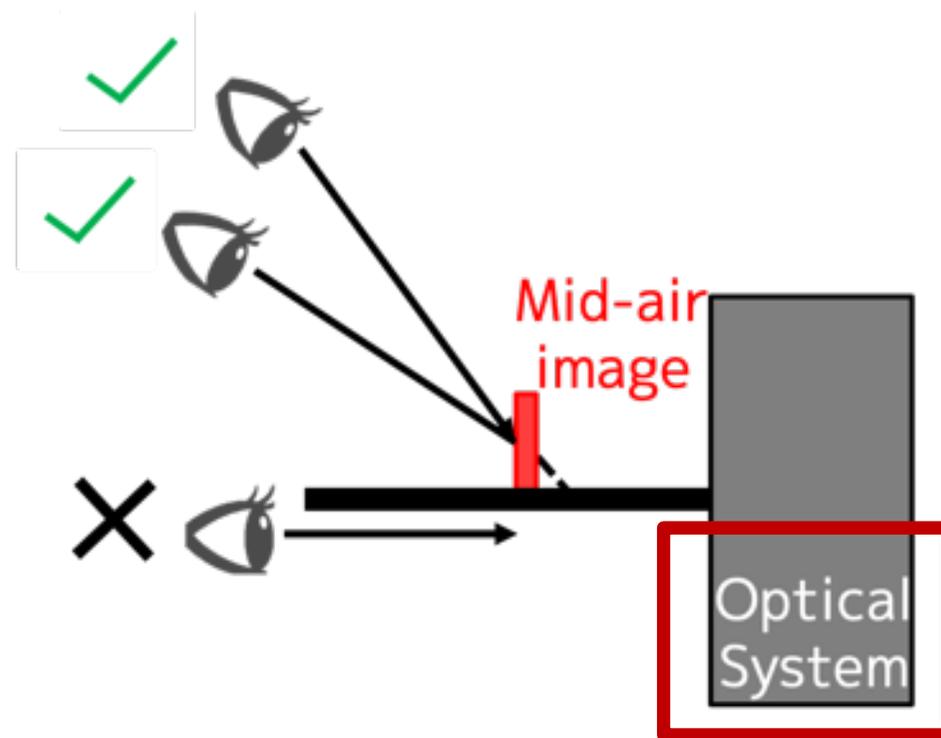
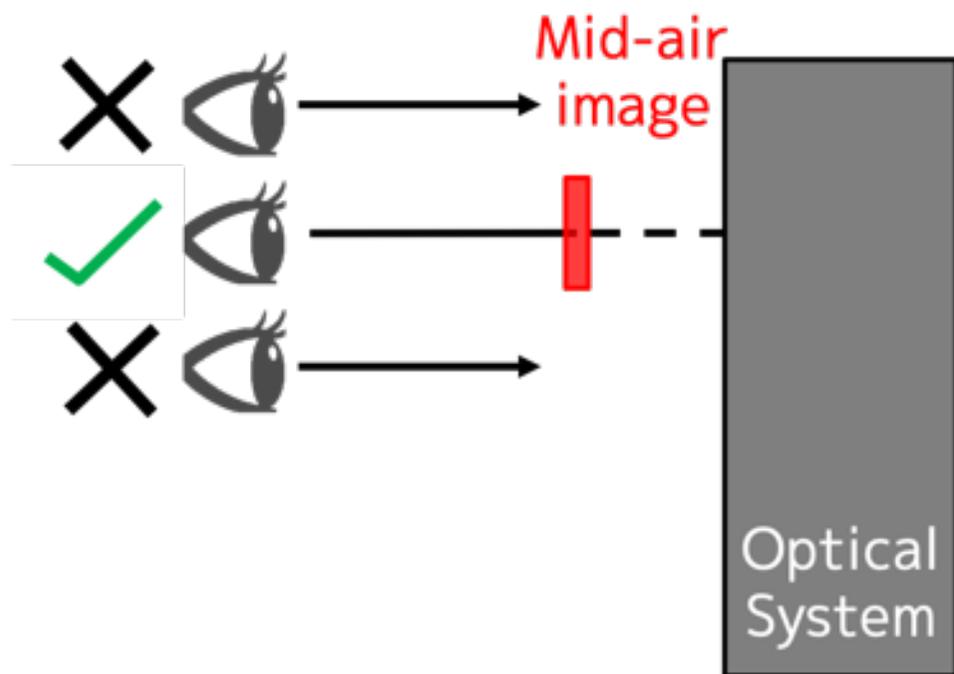
光源を反射面の下に配置する必要がある。



## 従来技術とその問題点

先行研究は

- 問題点1: 視点の高さ位置の調整が必要
- 問題点2: 空中像光学素子そのものを見てしまう。
- 問題点(環境反射型): 光源を反射面の下に配置する必要がある。



## 置くだけで使える空中像装置



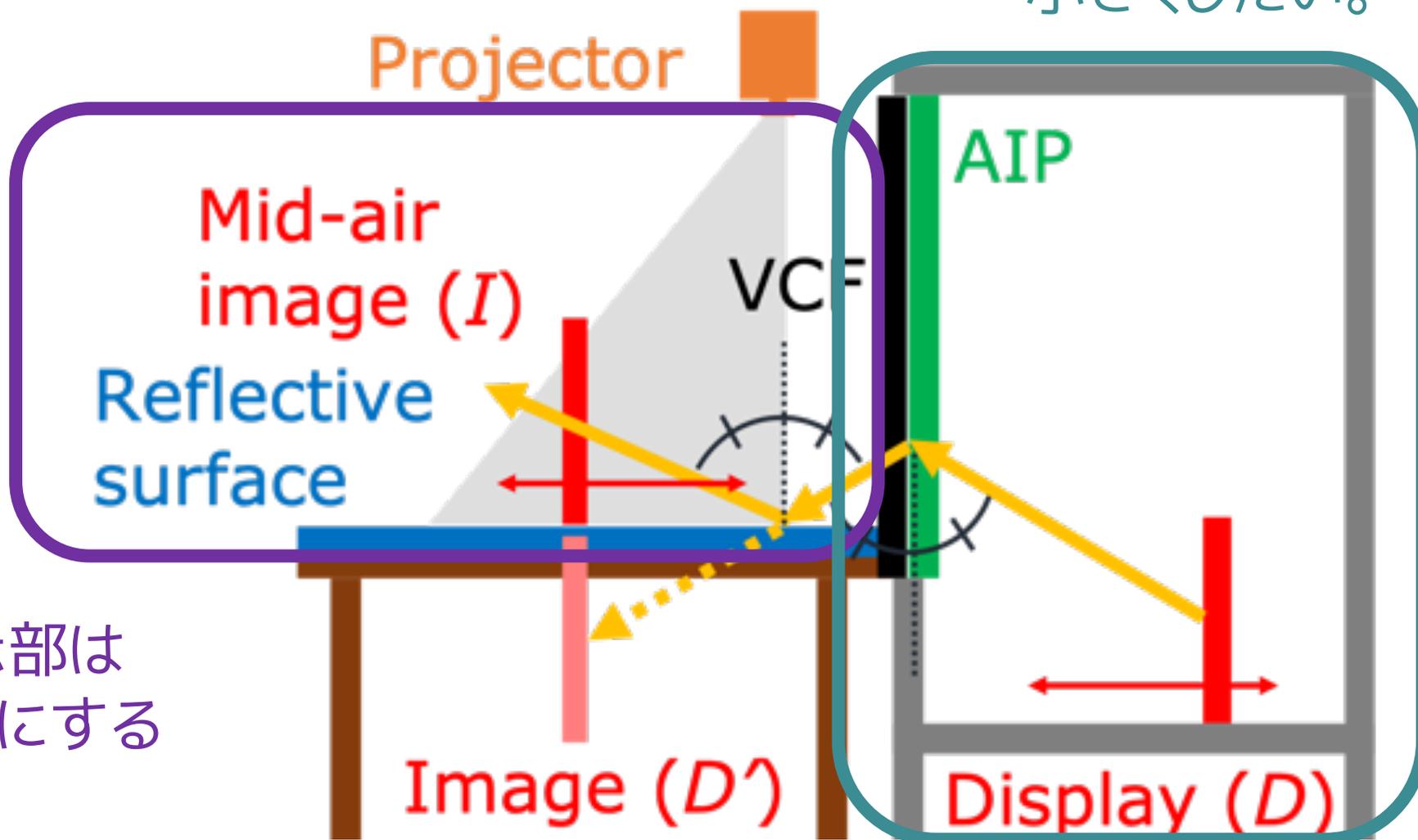
- 置くだけで設置できる
- 視点の高さ位置の調整が不要
- 空中像の背景に光学素子がない



# 設計

EnchanTable の光学系を援用

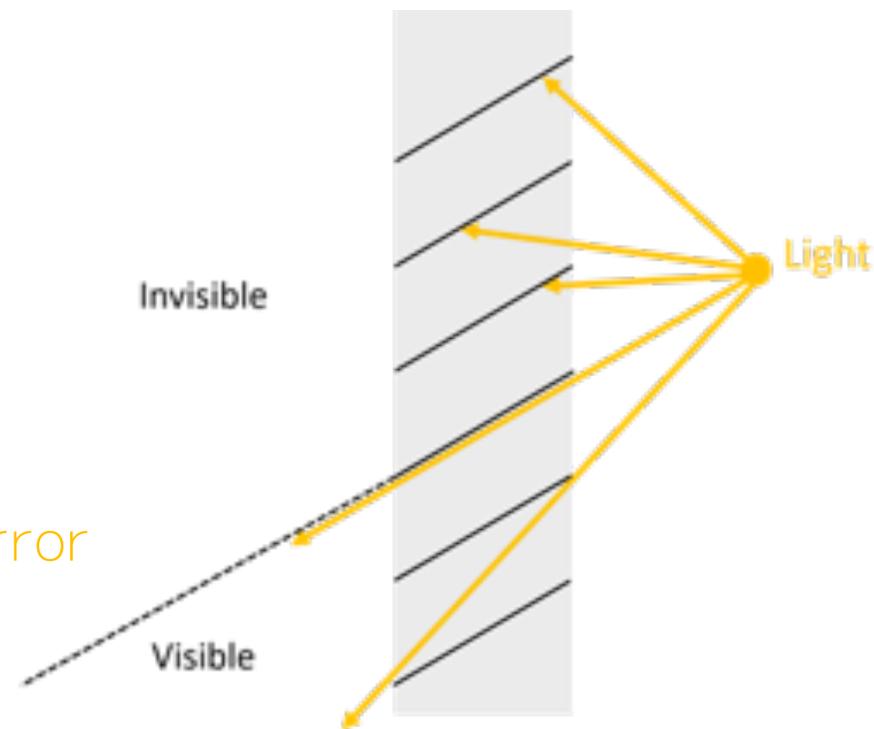
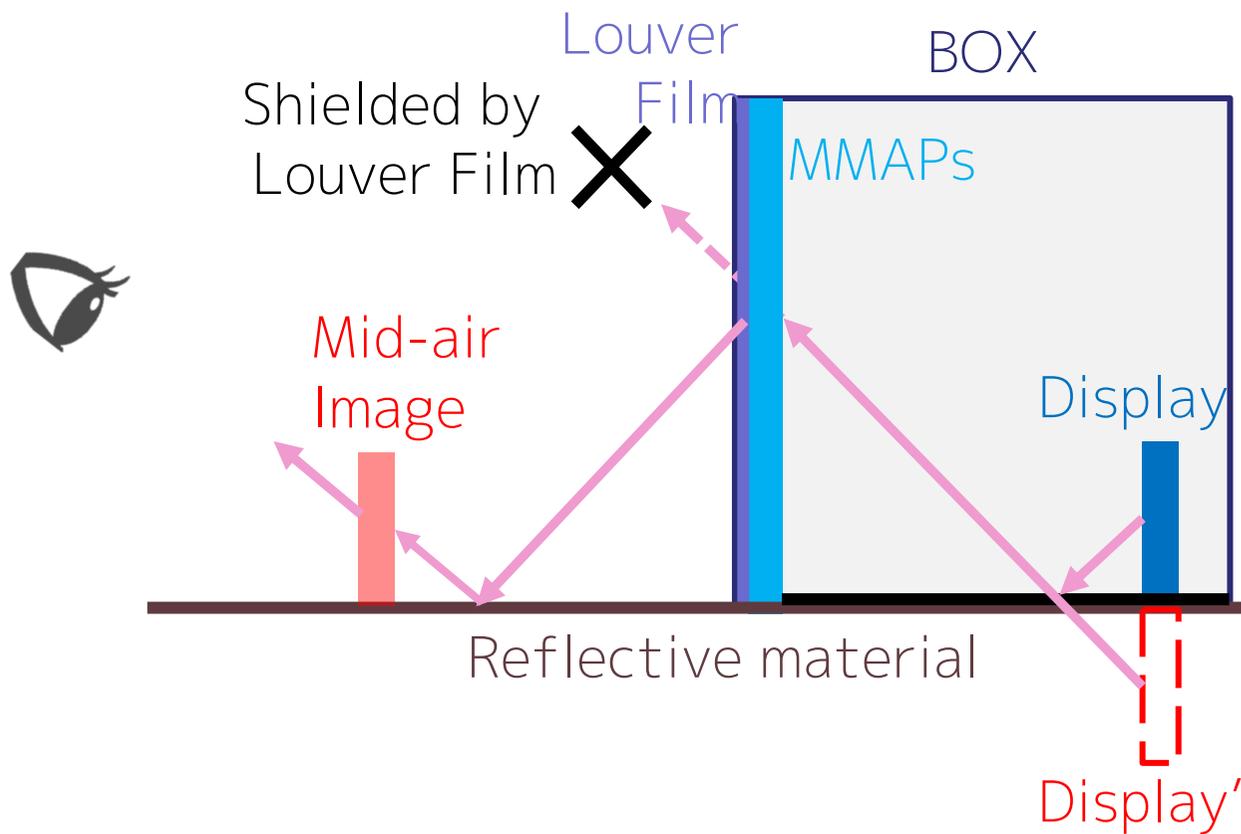
装置部分は  
小さくしたい。



表示部は  
同じにする

# 光学設計 原理

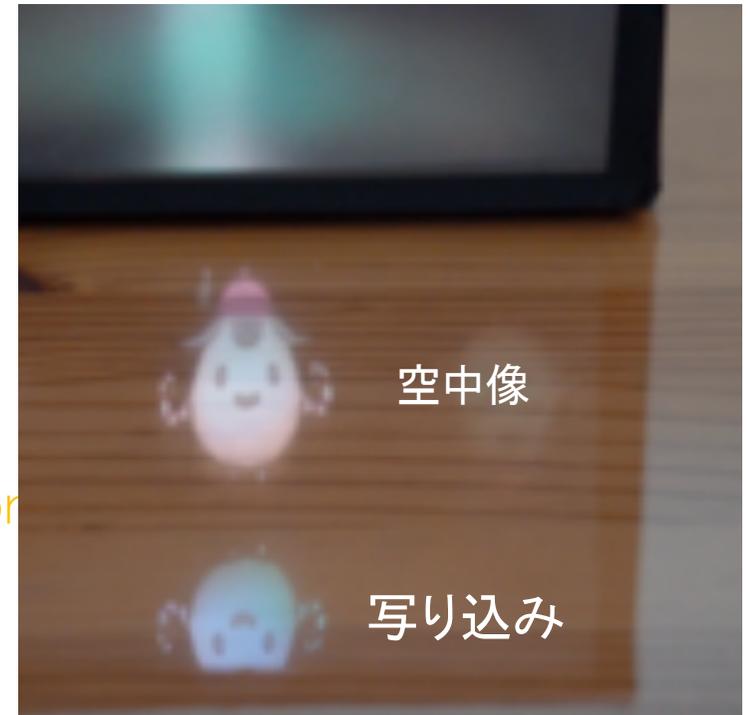
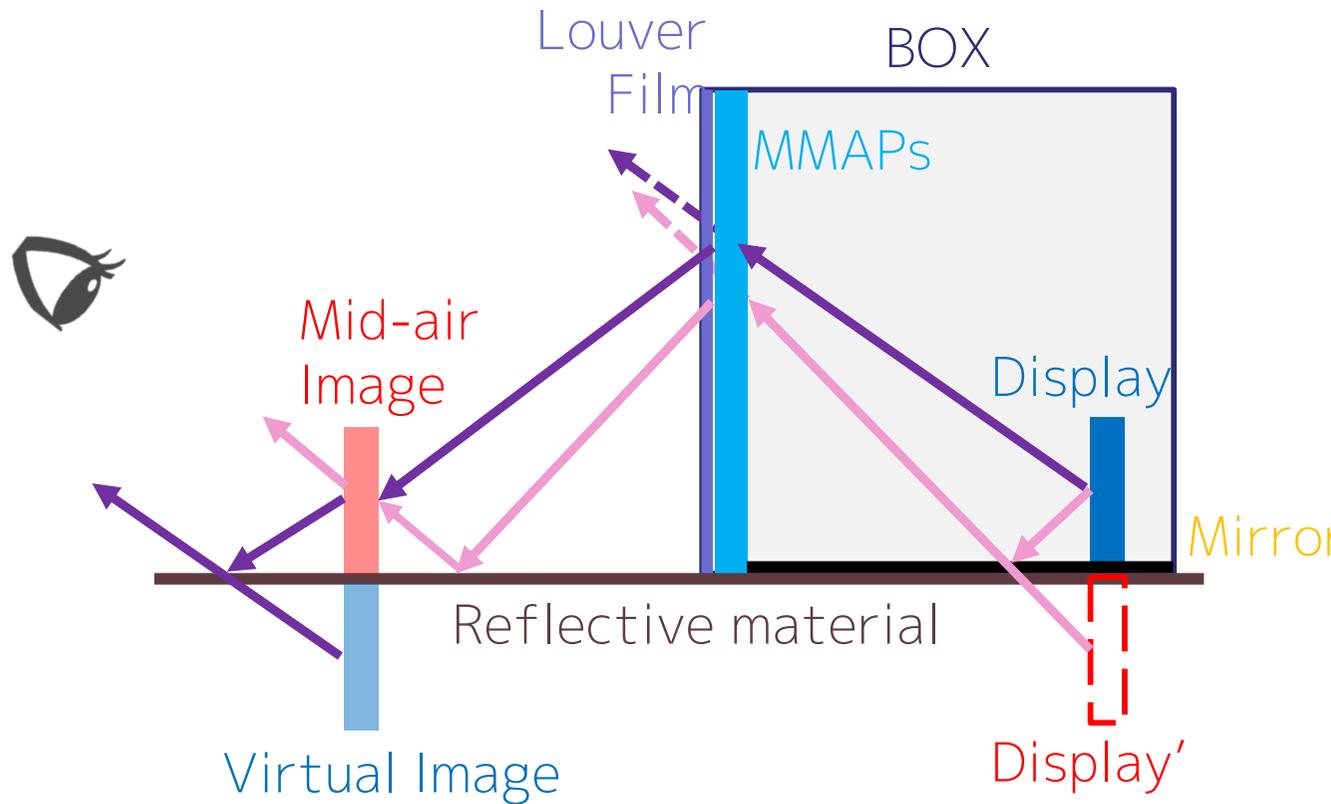
装置部分にミラーを導入することで、装置サイズを半分にした。



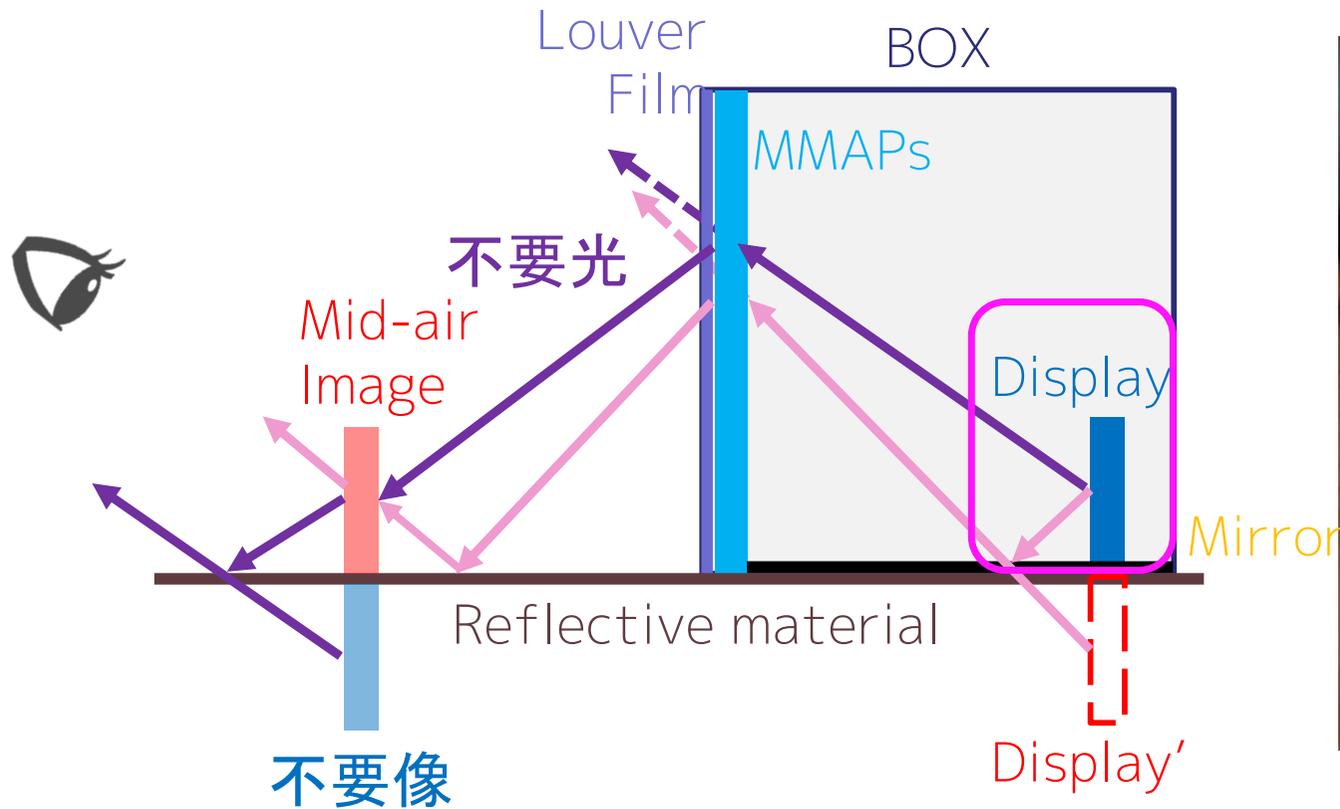
ルーバーフィルムの構造

# 光学設計 写り込み問題

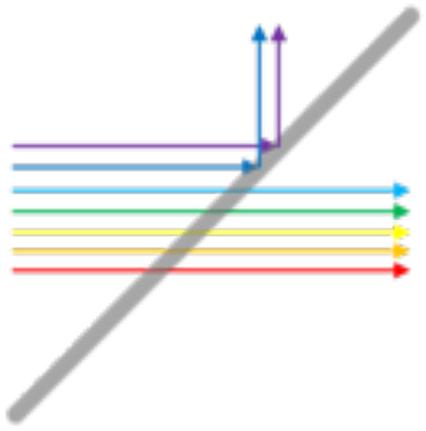
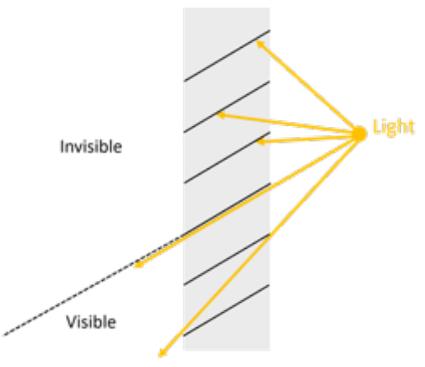
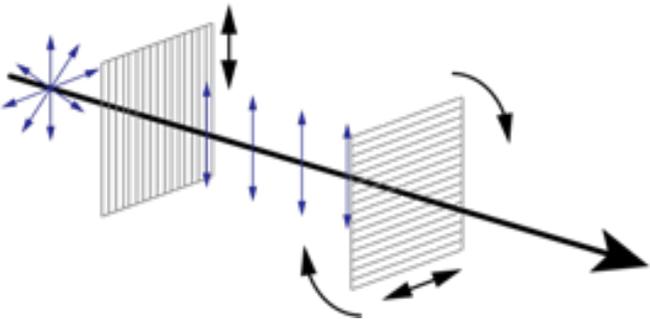
ディスプレイから直接再帰透過光学素子に入射する光による像



# 光学設計 不要光を除去する手法を検討

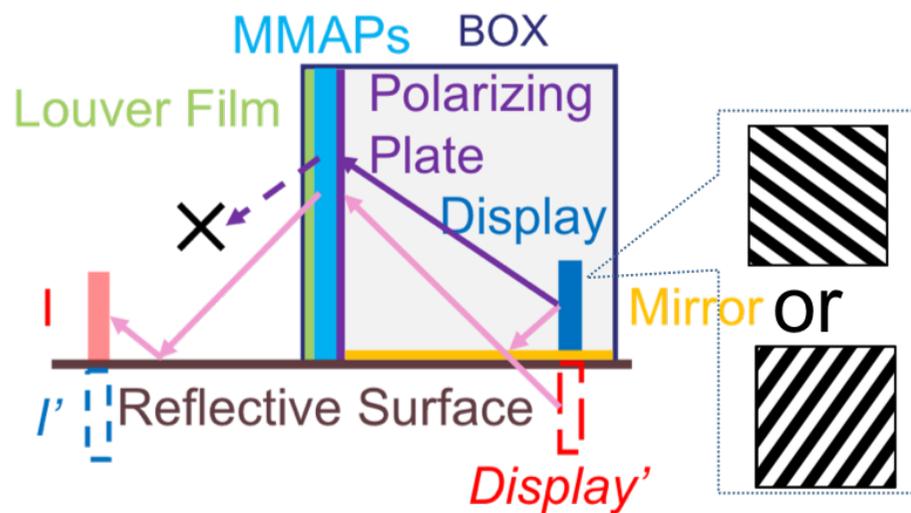


# 光学設計 不要光を除去する手法を検討

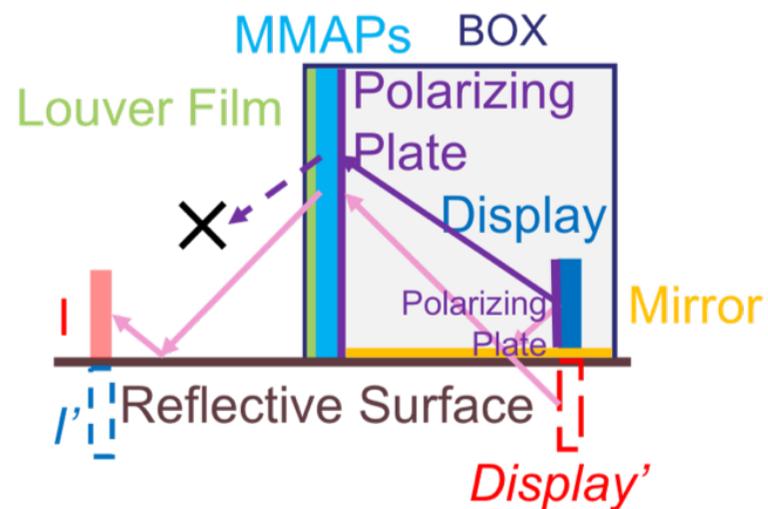
	波長	向き	偏光
例	干渉フィルタ	ルーバーフイルム	偏光板
特徴	特定の波長を吸収・拡散 	特定の方向から入射する光を吸収・拡散 	特定の偏光を吸収 

# 光学設計 光源の偏光特性

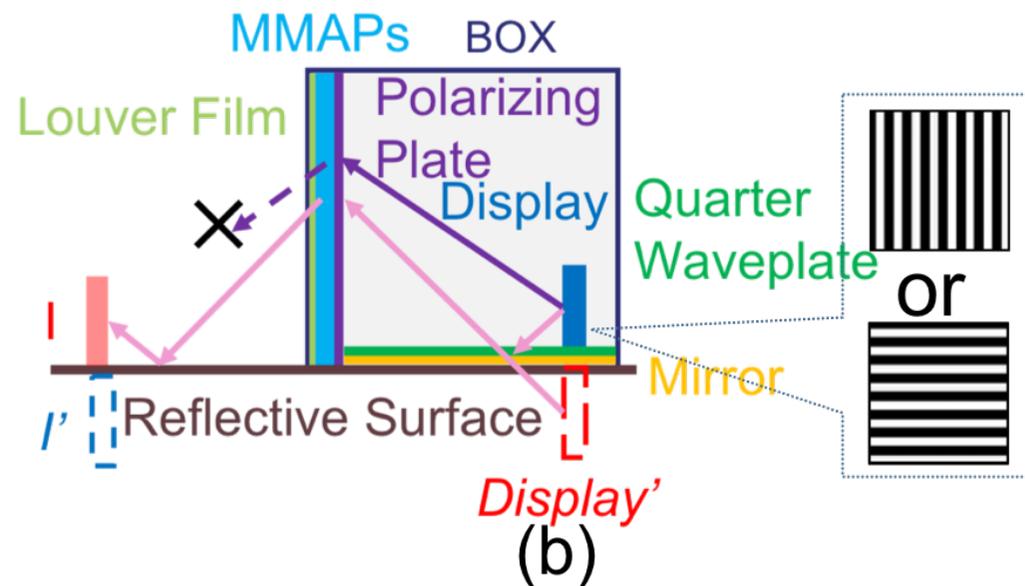
偏光の向き: 斜め



偏光なし

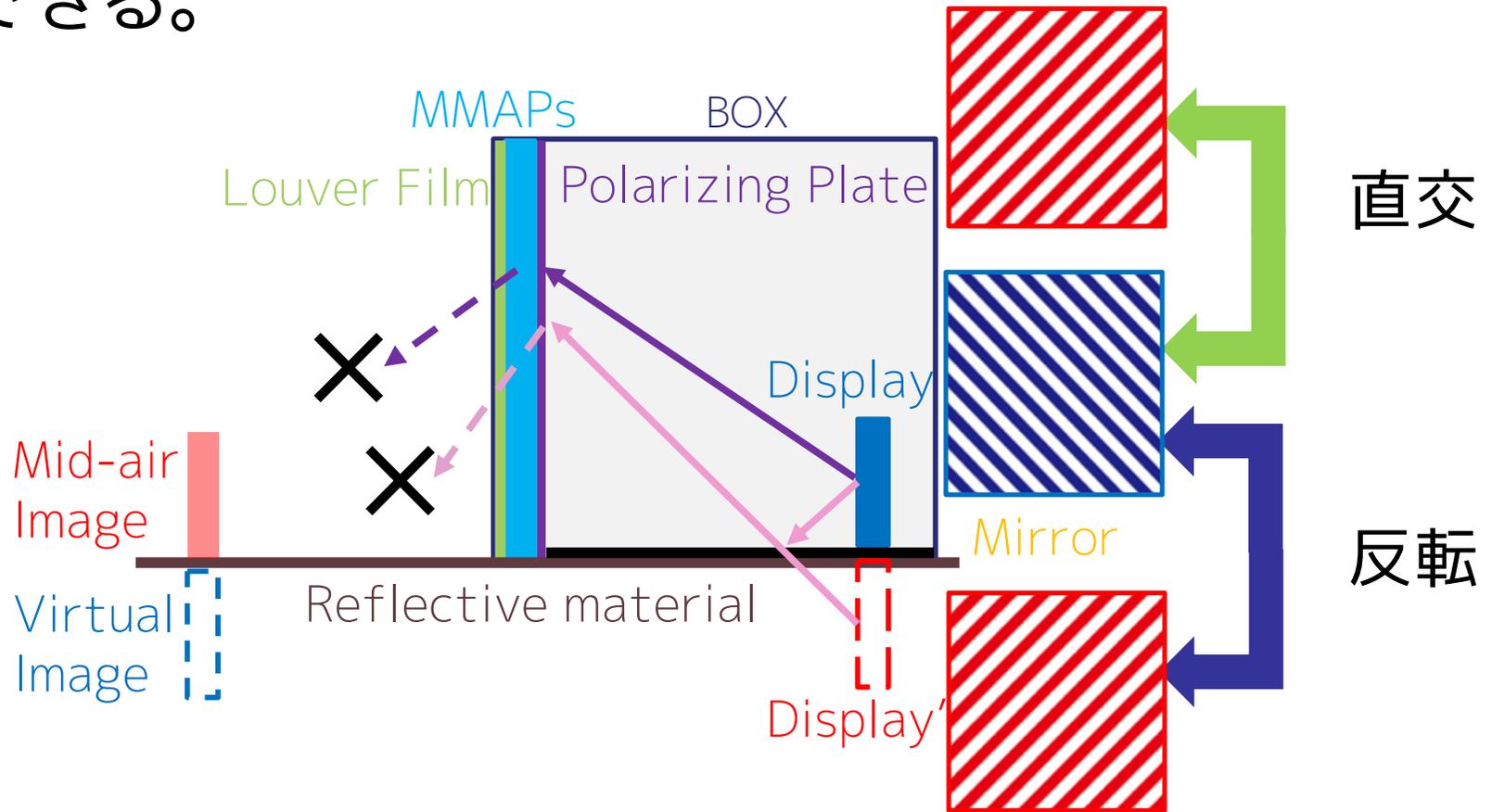


偏光の向き: 縦・横

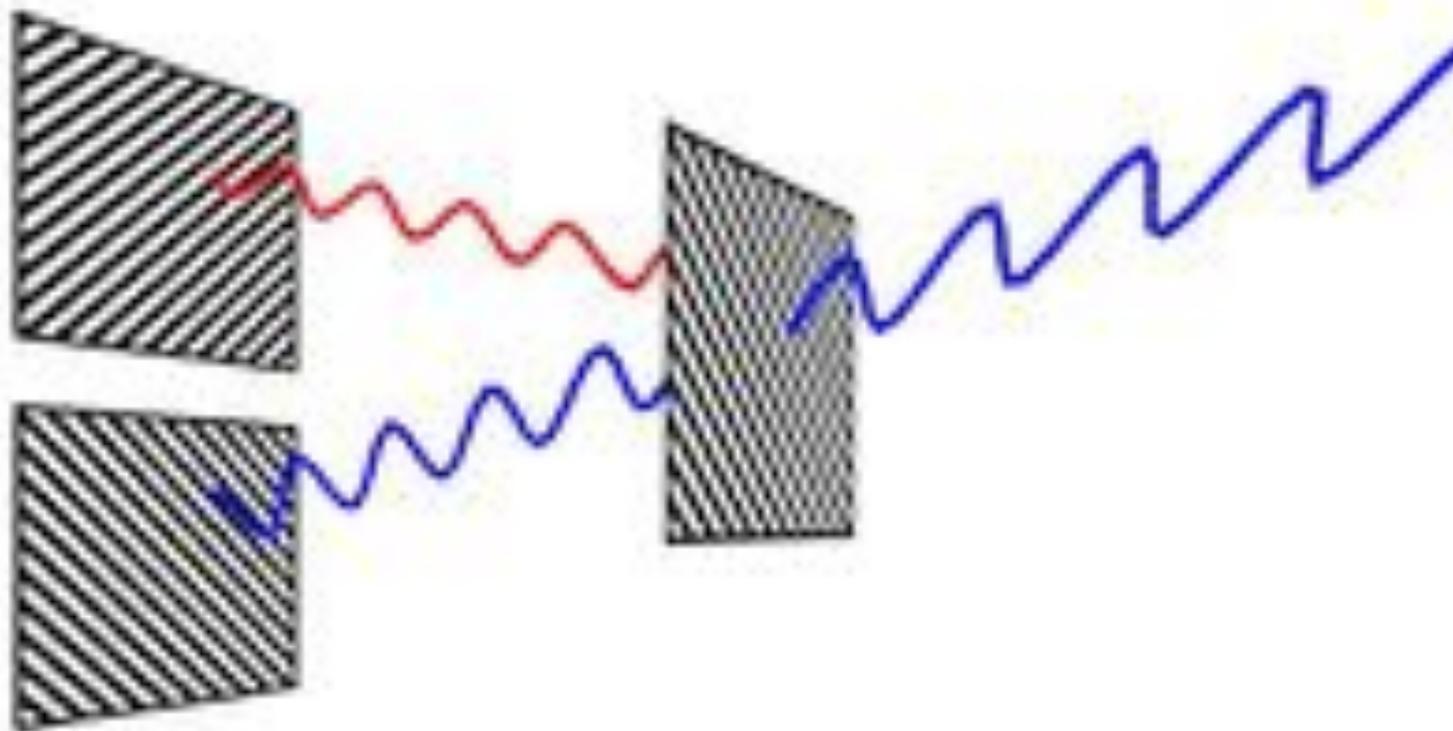


# 光学設計 斜偏光

Display' の偏光はDisplayから反転するので、簡単にカットできる。

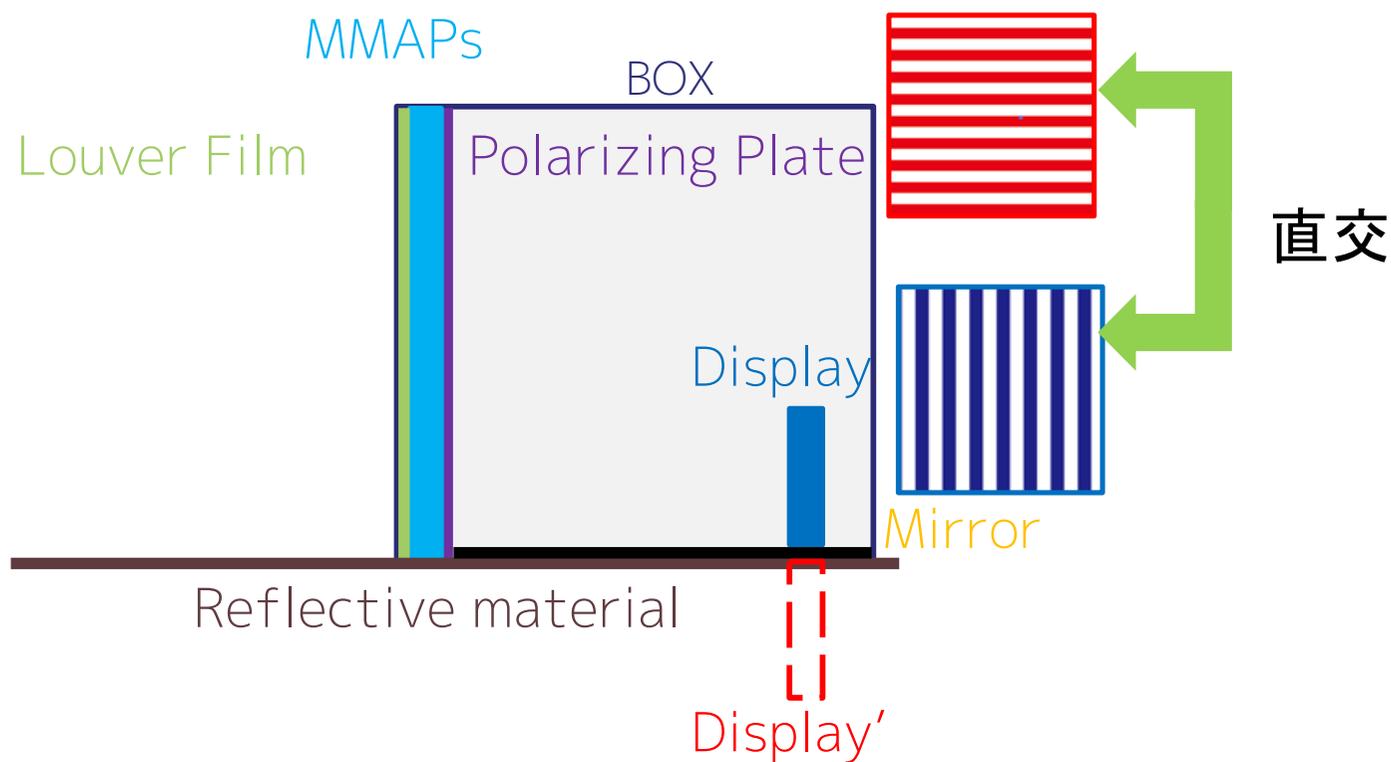


# 光学設計 斜偏光 偏光遷移



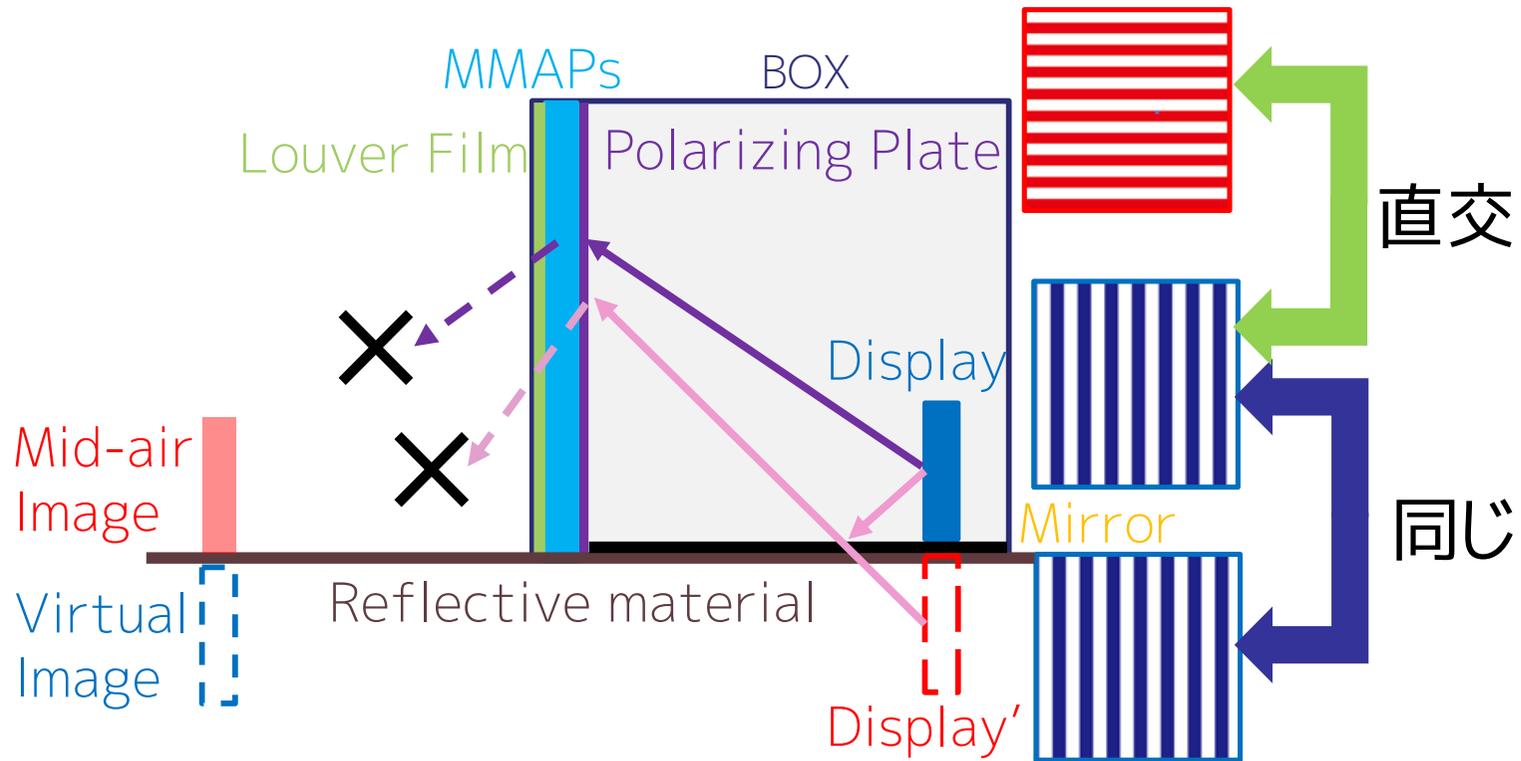
# 光学設計 光源の偏光方向 縦・横偏光

Displayの偏光に対して直交するように偏光板を配置



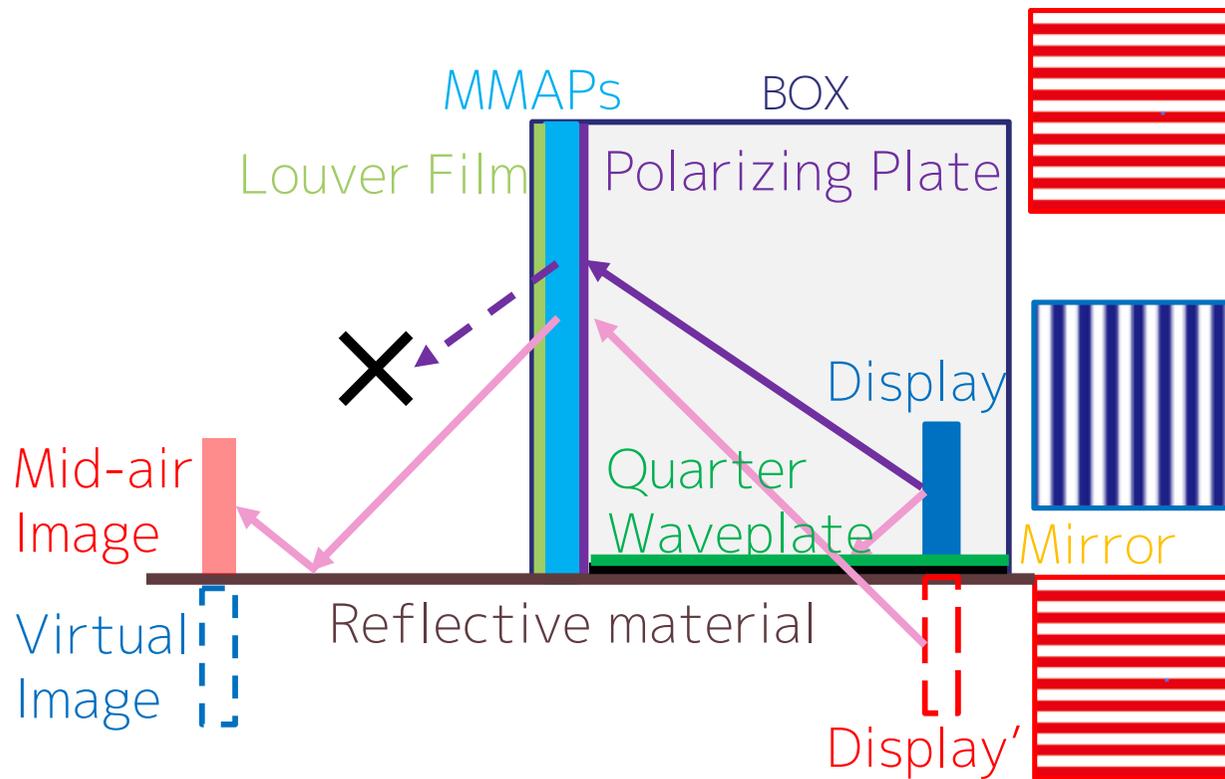
# 光学設計 縦・横偏光

Display' の偏光はDisplayと同じ

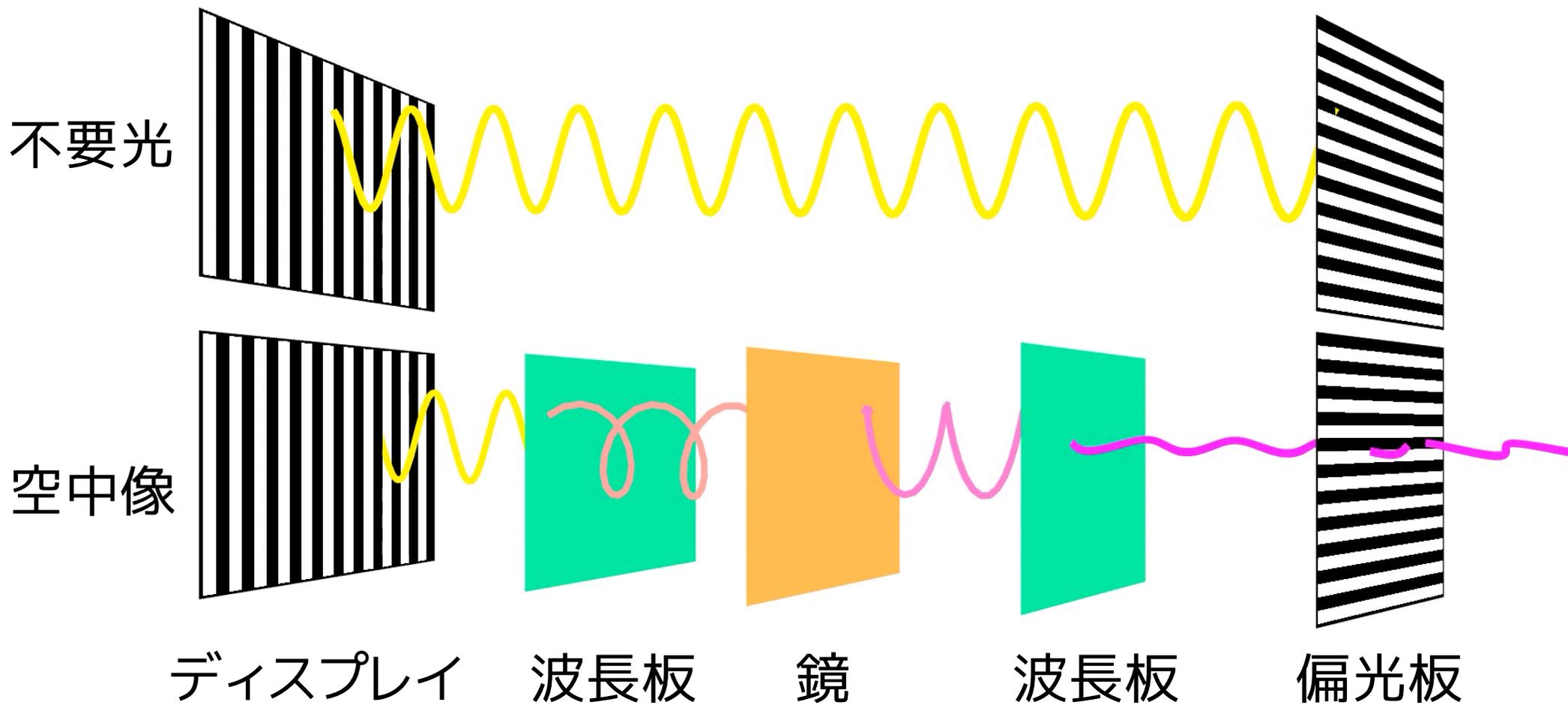


# 光学設計 直線偏光 → 円偏光

Display' の偏光を変えるために  $1/4\lambda$  波長板を鏡の上に配置



# 光学設計 縦・横偏光 偏光遷移



# 計算で不要光除去の確認

## 1行目が光の強度を示す

①波長板に入射

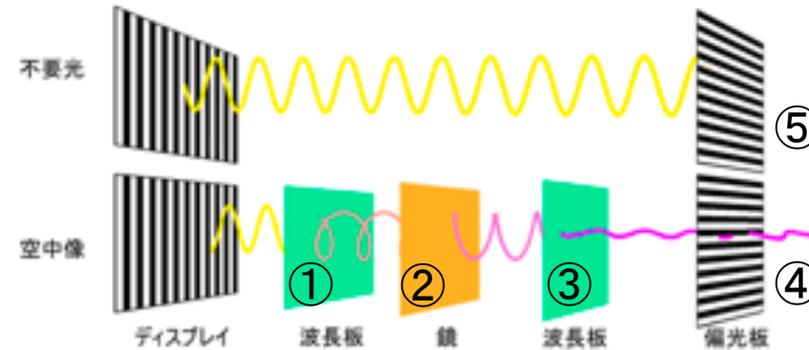
$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix}$$

②鏡で反射

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

③波長板に入射

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$



④ディスプレイ→波長板→鏡→  
波長板→偏光板(空中像)

$$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

強度:1  
偏光板を通過

⑤ディスプレイ→偏光板(不要光)

$$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

強度:0  
偏光板に吸収

# 実装



400x400x400  
(366 x 366)

100x140x100  
(100 x 125)

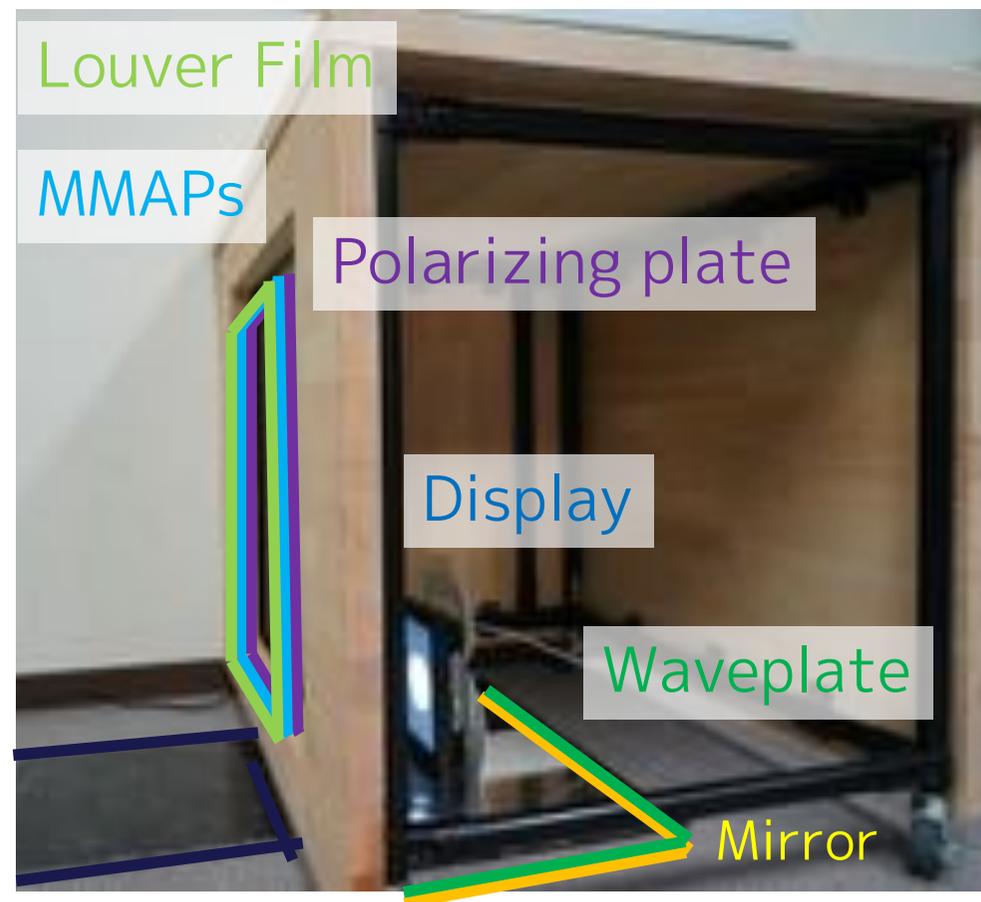
290x290x225  
(244 x 244)

710x780x610  
(488 x 488)

H x W x D  
(Size of MMAPs)  
Unit: mm

## 実装例

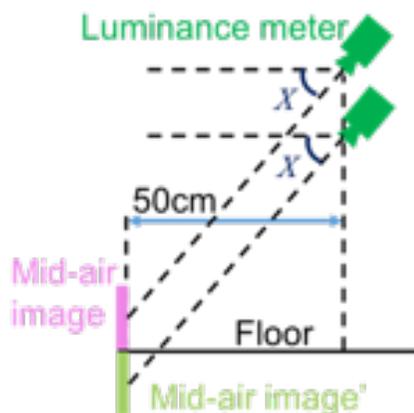
- **ディスプレイ**:LITEMAX 製  
Durapixel 0708-T(輝度:  
1600cd/m<sup>2</sup>)
- **波長板**:美館イメージング製  
MCR140N
- **鏡**:アクリサンデー製アクリミラー
- **偏光板**:美館イメージング製  
SHLP41
- **MMAPs**:アスカネット製ASKA3D-  
488
- **ルーバーフィルム**:リンテック製ウイ  
ンコスビジョンコントロールフィルム  
W-0055
- **装置全体の大きさ (mm)**:  
710(H)×780(W)×613(D)



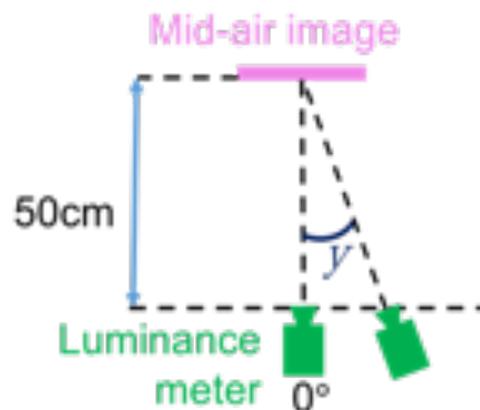
Reflective material

## 評価

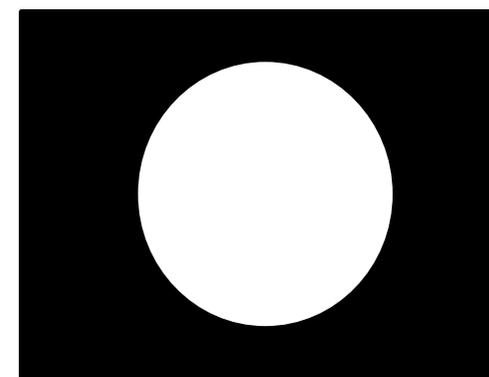
- 目的: 提案システムにより不要光の除去が可能か輝度測定により評価
- 方法
  - 光学設計: 偏光操作なし / 偏光操作あり
  - 反射素材: 鏡(アクリルミラー)
  - 測定条件: 緯度(X):  $60^{\circ} \sim 70^{\circ}$ , 経度(Y):  $0^{\circ} \sim 25^{\circ}$ , それぞれ $5^{\circ}$ 刻み



測定条件(横から見た様子)

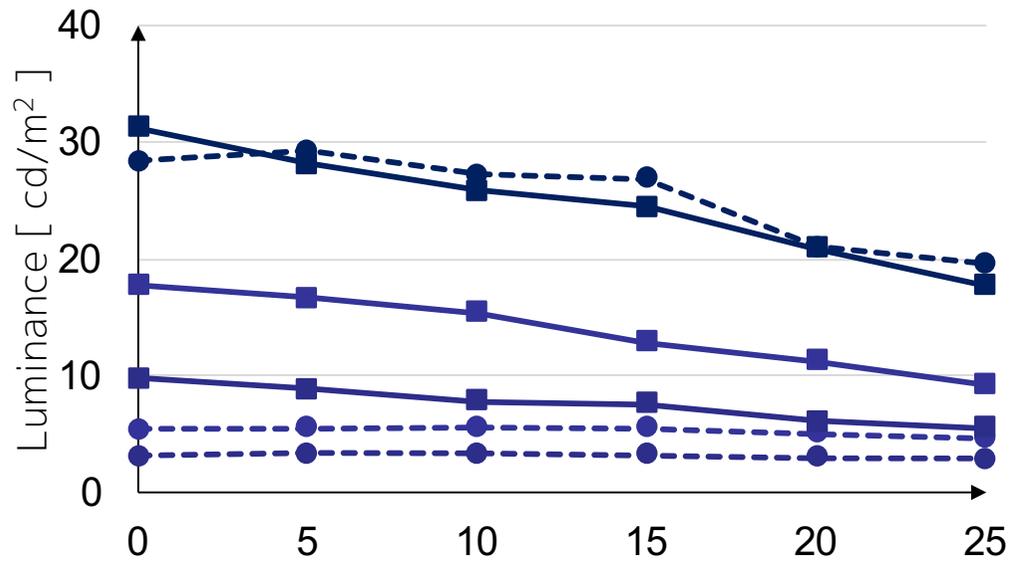


測定条件(上から見た様子)



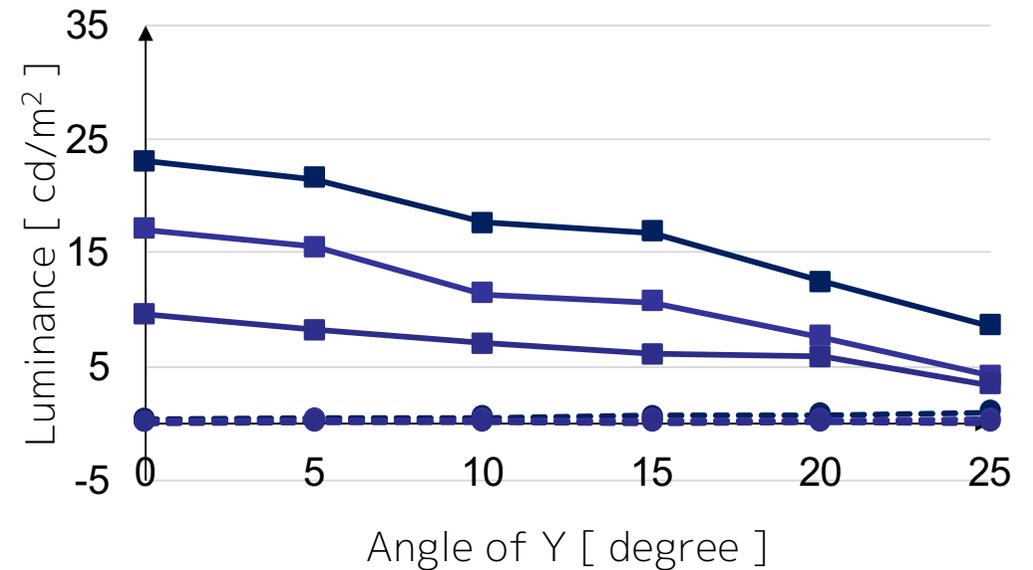
表示した像

## 結果



- Angle of Y [ degree ]
- Mid-air image, X = 60°    -●- Undesired light, X = 60°
  - Mid-air image, X = 65°    -●- Undesired light, X = 65°
  - Mid-air image, X = 70°    -●- Undesired light, X = 70°

偏光操作なし光学系での測定結果



- Mid-air image, X = 60°    -●- Undesired light, X = 60°
- Mid-air image, X = 65°    -●- Undesired light, X = 65°
- Mid-air image, X = 70°    -●- Undesired light, X = 70°

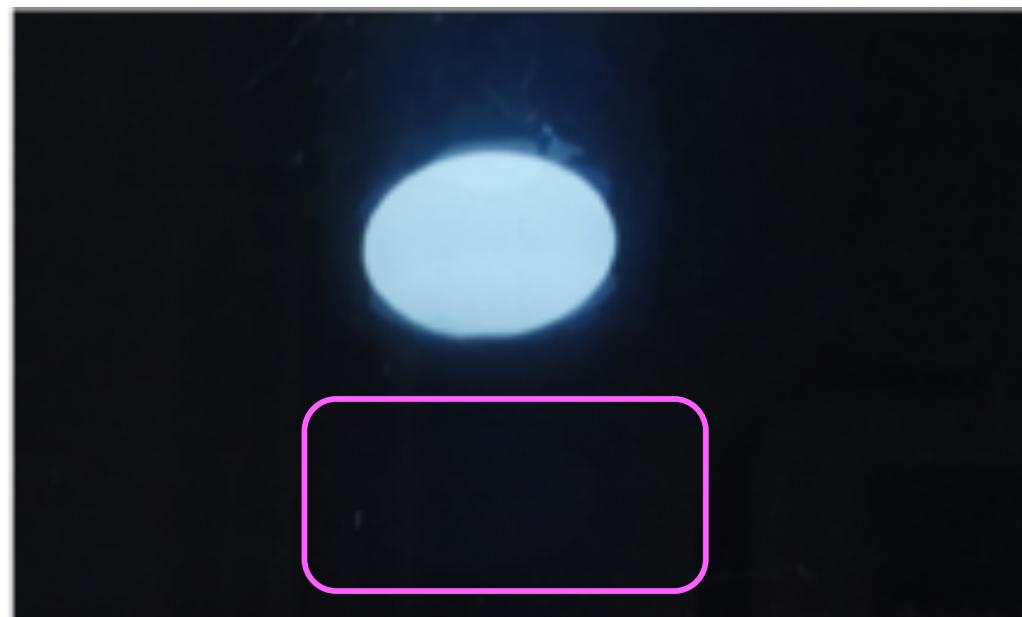
偏光操作あり光学系での測定結果

# 評価

実際に表示された空中像と不要光



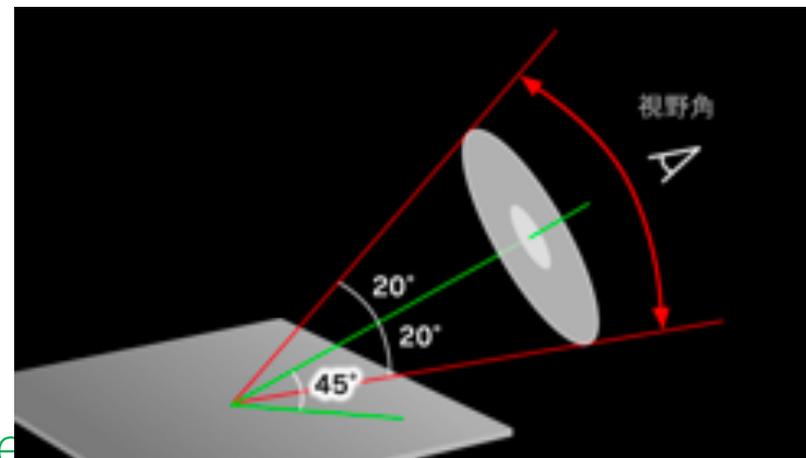
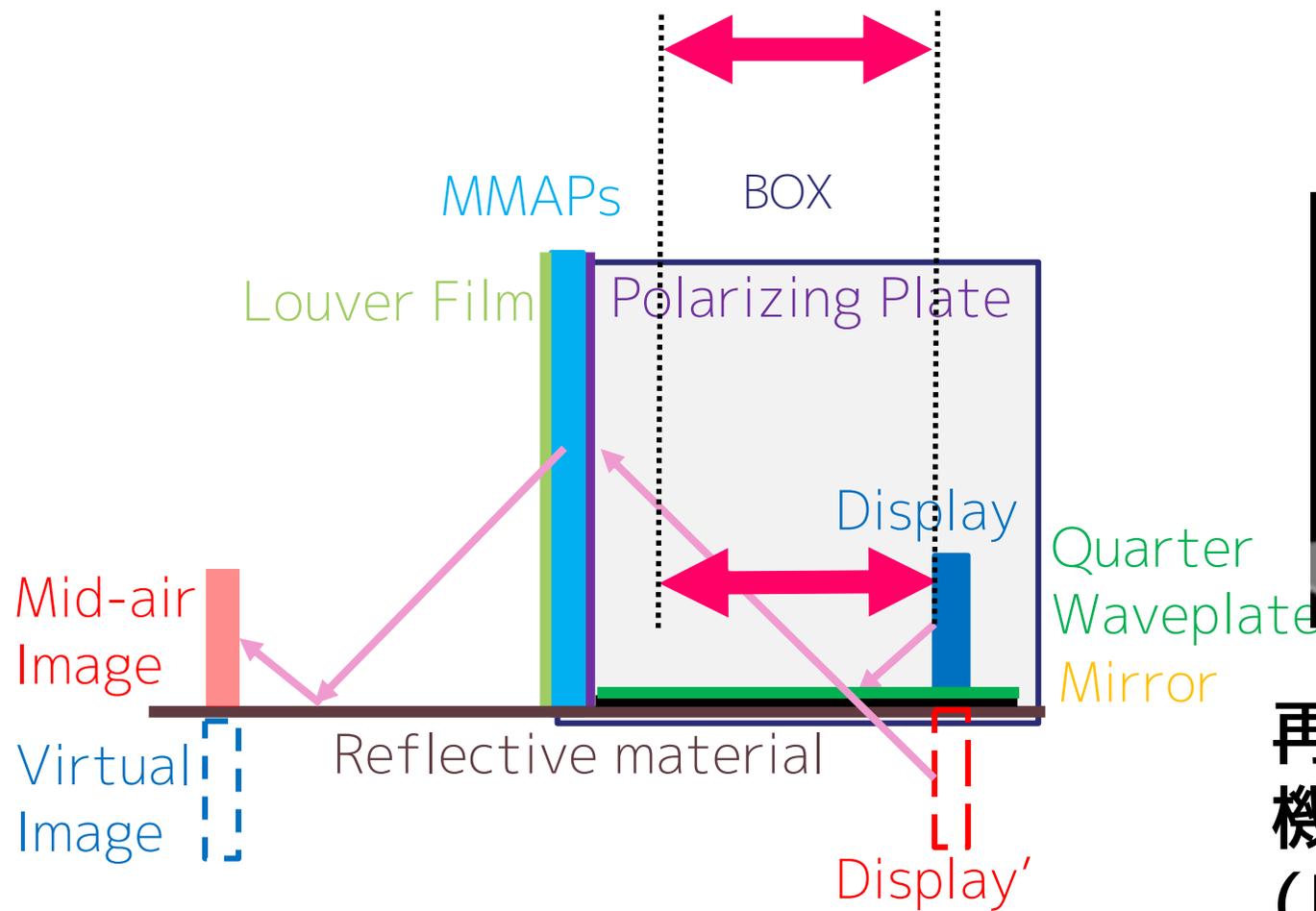
偏光操作なし光学系



偏光操作あり光学系

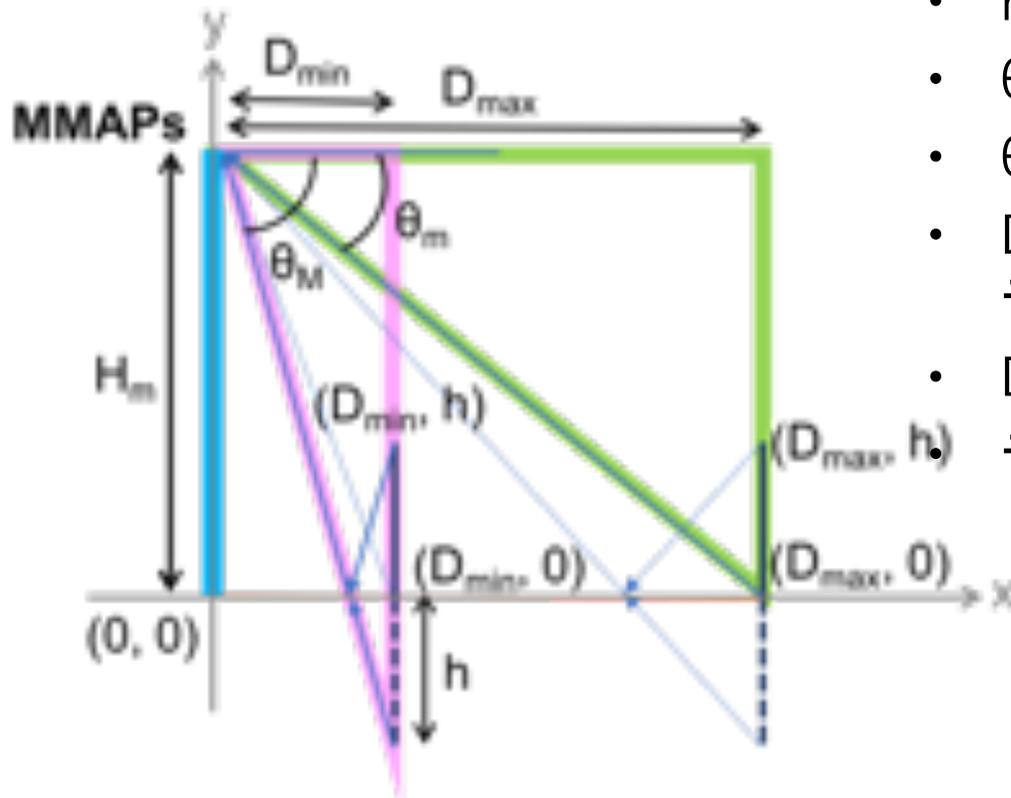
# 光源配置可能位置の設計

このディスプレイ設置可能範囲を検討した。



再帰透過光学素子が  
機能する角度  
(図: Askanet株式会社)

# 光源の配置可能範囲



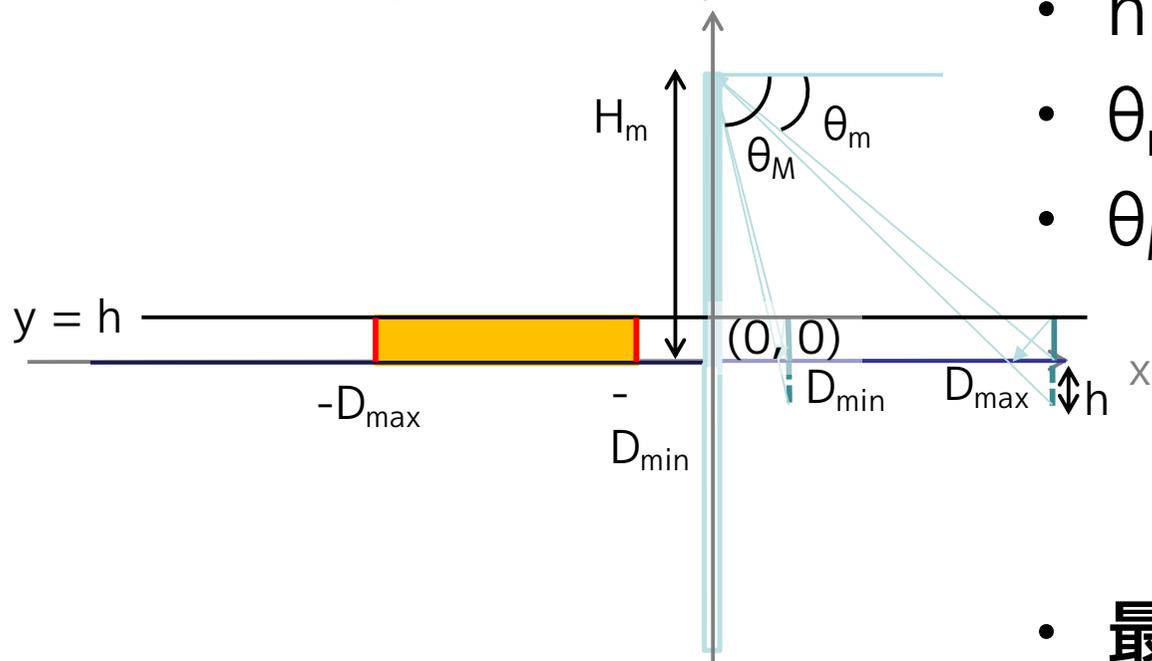
- $H_m$ : 原点から再帰透過光学素子の高さ
- $h$ : 表示する空中像の高さ
- $\theta_m$ : 最小の入射角
- $\theta_M$ : 最大の入射角
- $D_{min}$ :  
ディスプレイ-再帰透過光学素子の最小距離
- $D_{max}$ :  
ディスプレイ-再帰透過光学素子の最長距離

$$D_{min} = \frac{H_m + h}{\tan \theta_M}$$

$$D_{max} = \frac{H_m}{\tan \theta_m}$$

# 光源の配置可能範囲 検証

- 実際に空中像を表示
- カメラ撮影により検証

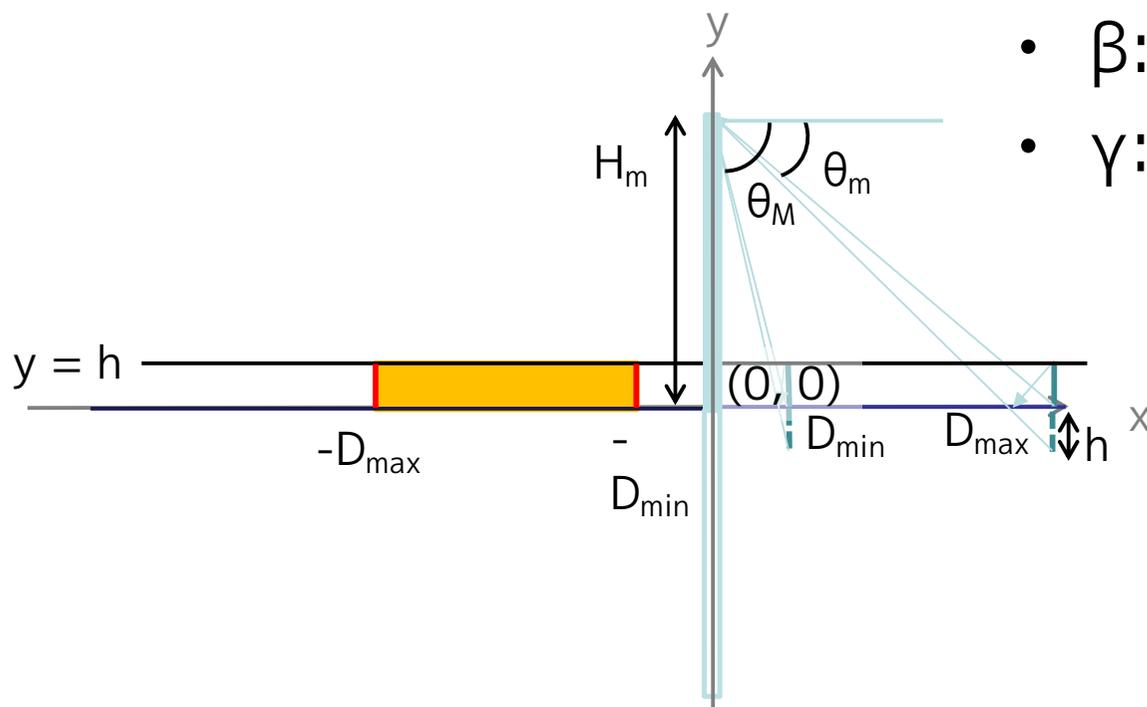


- $H_m$ : 244 mm
- $h$ : 40 mm
- $\theta_m$ :  $25^\circ$
- $\theta_M$ :  $65^\circ$

- 最小距離  $D_{min}$ : 132 mm
- 最長距離  $D_{max}$ : 523 mm

# 光源の配置可能範囲 カメラ位置

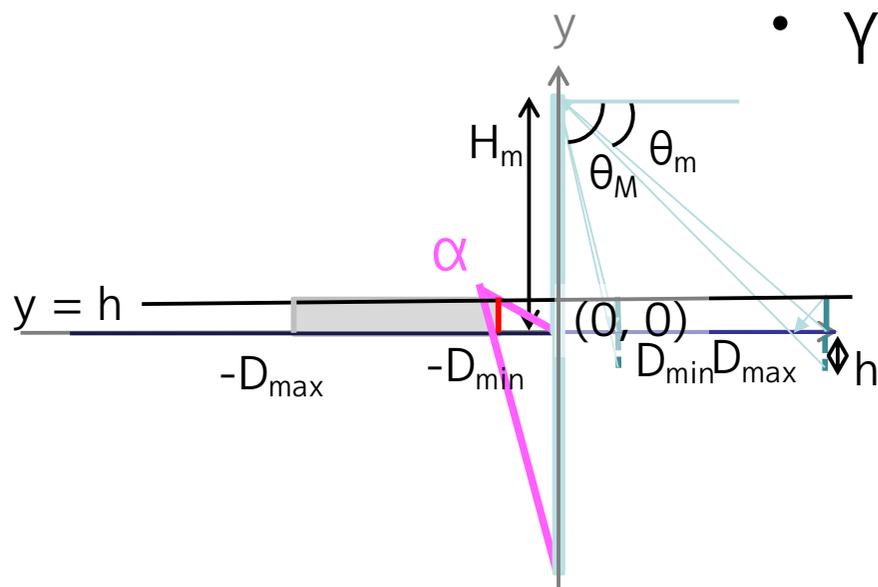
- $\alpha$ : (-158 mm, 47.8 mm)
- $\beta$ : (-626 mm, 47.8 mm)
- $\gamma$ : (-1485 mm, 448.7 mm)



	空中像位置	カメラ位置
(A)	$-D_{min}$	$\alpha$
(B)	$-D_{max}$	$\beta$
(C)	$-D_{min}$	$\gamma$
(D)	$-D_{max}$	$\gamma$

# 光源の配置可能範囲 カメラ位置

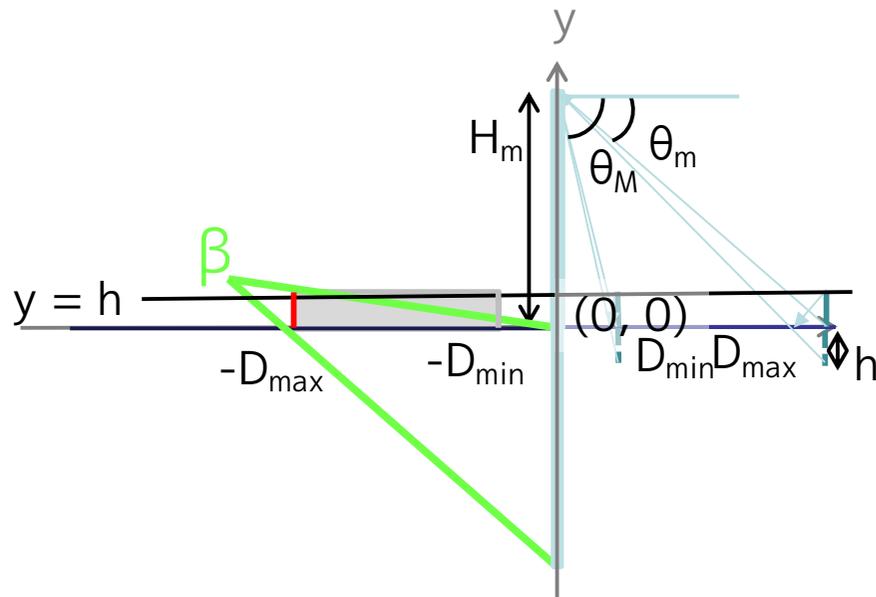
- $\alpha$ : (-158 mm, 47.8 mm)
- $\beta$ : (-626 mm, 47.8 mm)
- $\gamma$ : (-1485 mm, 448.7 mm)



	空中像位置	カメラ位置
(A)	$-D_{min}$	$\alpha$
(B)	$-D_{max}$	$\beta$
(C)	$-D_{min}$	$\gamma$
(D)	$-D_{max}$	$\gamma$

# 光源の配置可能範囲 カメラ位置

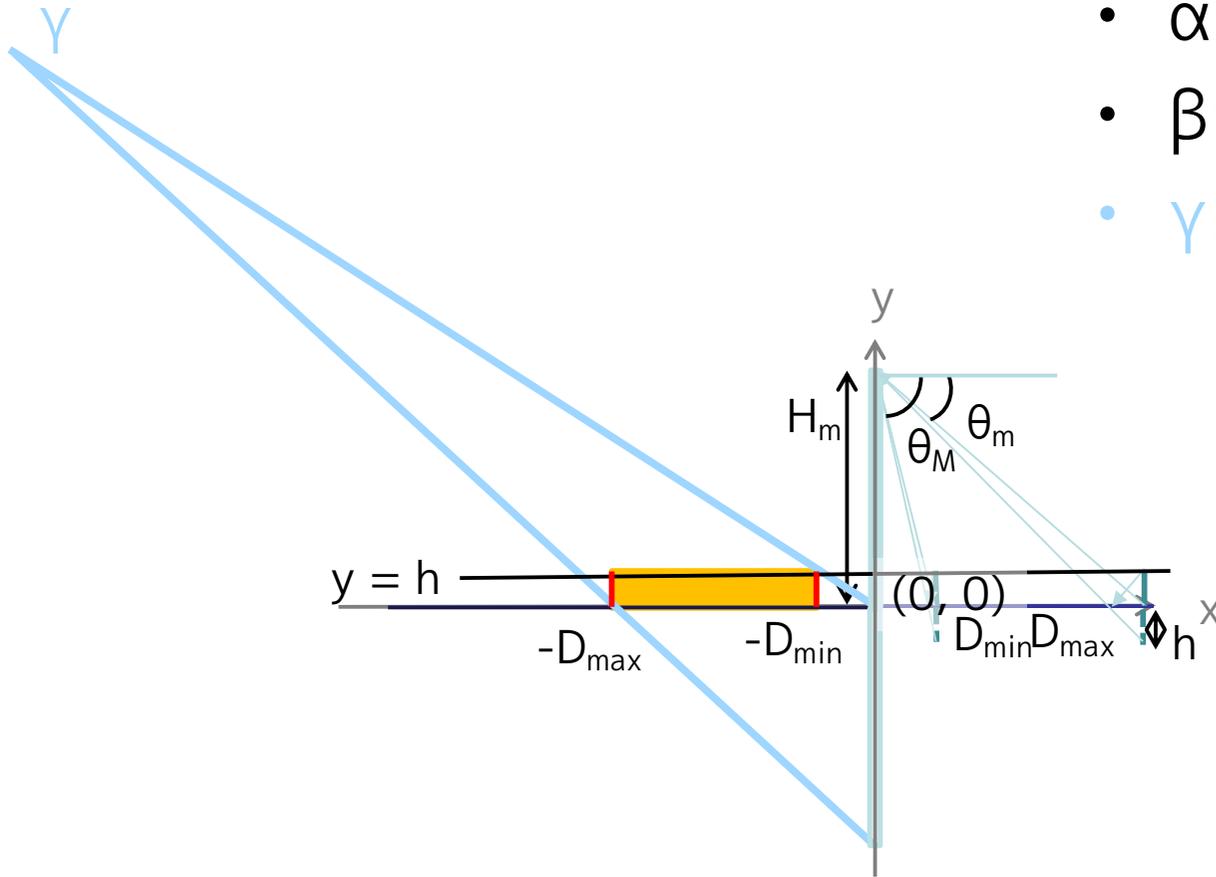
- $\alpha$ : (-158 mm, 47.8 mm)
- $\beta$ : (-626 mm, 47.8 mm)
- $\gamma$ : (-1485 mm, 448.7 mm)



	空中像位置	カメラ位置
(A)	$-D_{min}$	$\alpha$
(B)	$-D_{max}$	$\beta$
(C)	$-D_{min}$	$\gamma$
(D)	$-D_{max}$	$\gamma$

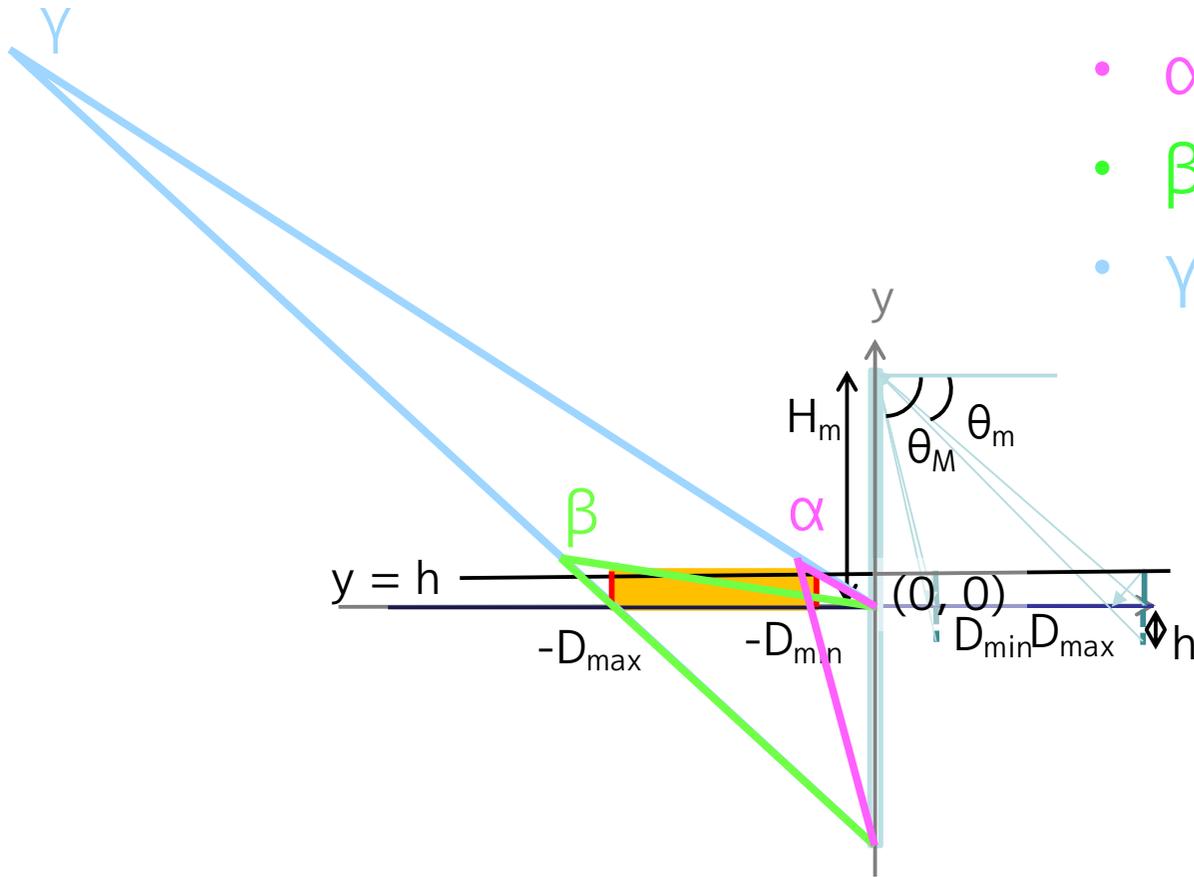
# 光源の配置可能範囲 カメラ位置

- $\alpha$ : (-158 mm, 47.8 mm)
- $\beta$ : (-626 mm, 47.8 mm)
- $\gamma$ : (-1485 mm, 448.7 mm)



	空中像位置	カメラ位置
(A)	$-D_{min}$	$\alpha$
(B)	$-D_{max}$	$\beta$
(C)	$-D_{min}$	$\gamma$
(D)	$-D_{max}$	$\gamma$

# 光源の配置可能範囲 カメラ位置 まとめ

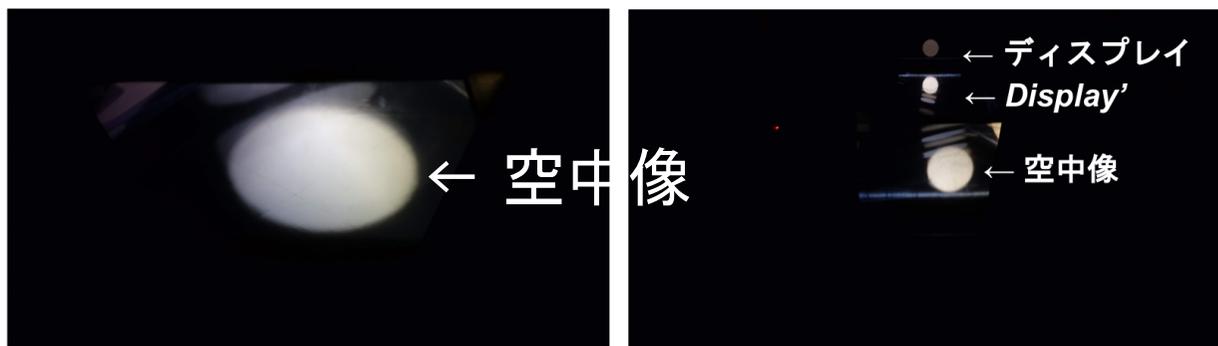


- $\alpha$ : (-158 mm, 47.8 mm)
- $\beta$ : (-626 mm, 47.8 mm)
- $\gamma$ : (-1485 mm, 448.7 mm)

	空中像位置	カメラ位置
(A)	$-D_{min}$	$\alpha$
(B)	$-D_{max}$	$\beta$
(C)	$-D_{min}$	$\gamma$
(D)	$-D_{max}$	$\gamma$

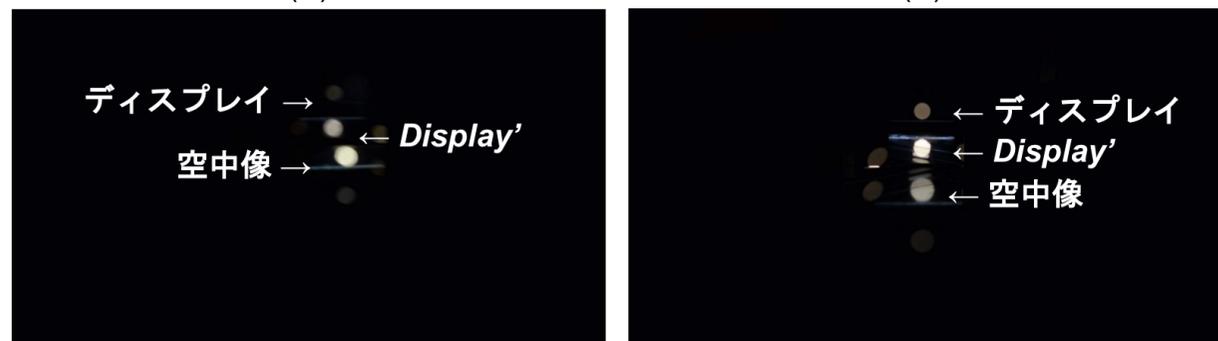
# 光源の配置可能範囲 検証結果

それぞれの位置から撮影し、空中像が写っていることを確認した。



(A)

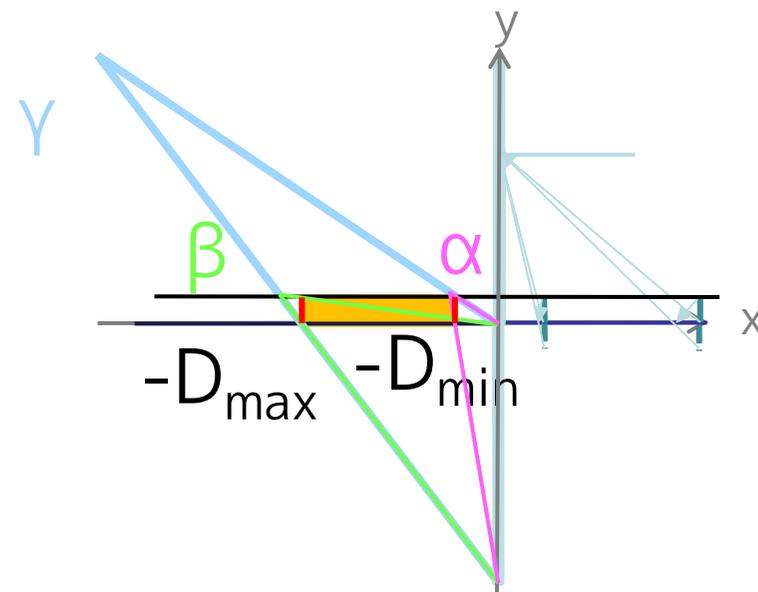
(B)



(C)

(D)

	空中像位置	カメラ位置
(A)	$-D_{\min}$	$\alpha$
(B)	$-D_{\max}$	$\beta$
(C)	$-D_{\min}$	$\gamma$
(D)	$-D_{\max}$	$\gamma$



# 考察 設計要件と達成

置くだけで設置 できる	視点位置の高さ調整 が不要	空中像の背景に 光学素子がない
	 <p>座って見ている</p>	 <p>反射面:机</p>
	 <p>立って見ている</p>	 <p>反射面:大理石</p>

## 想定される用途(空中像全般)

- 実物と組み合わせた デジタルサイネージ
- 次世代モビリティ
  - 自動運転時のエンタテインメント
- 衛生・安全・安心
  - 工場でのタッチパネルの代わり
  - 医療や食品の工場
- エンタテインメントシステム
  - IR・観光用情報提示

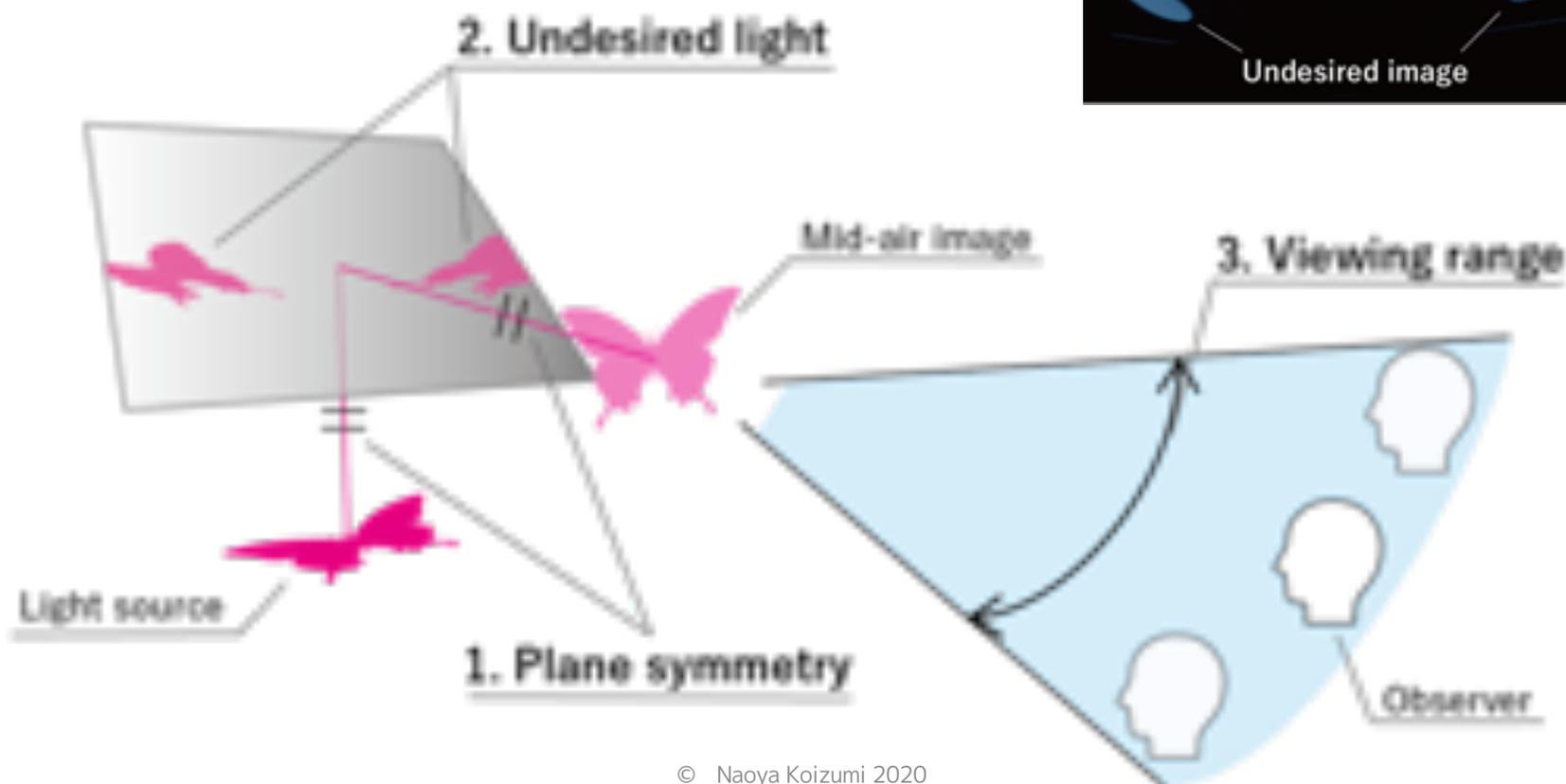
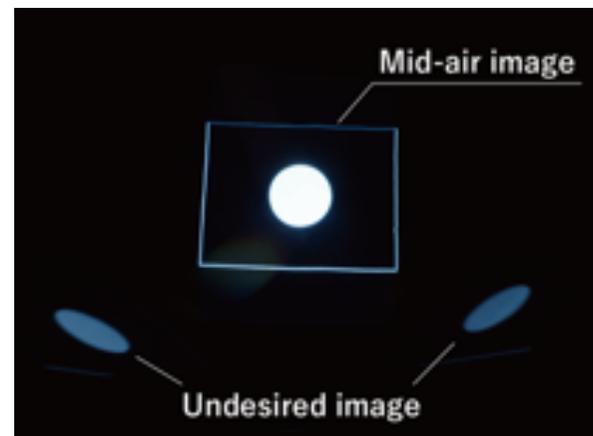
# 実用化に向けた課題

- 現在、原理確認を行い装置の確認済であるが、高輝度化や設計手法の体系化が未着手である。
- 現在、参入障壁を軽減するためのシミュレータの開発を行っている。

# 問題点: デザイナーの参入障壁

- 迷光の出現
- 視野の狭さ

設計の困難さ

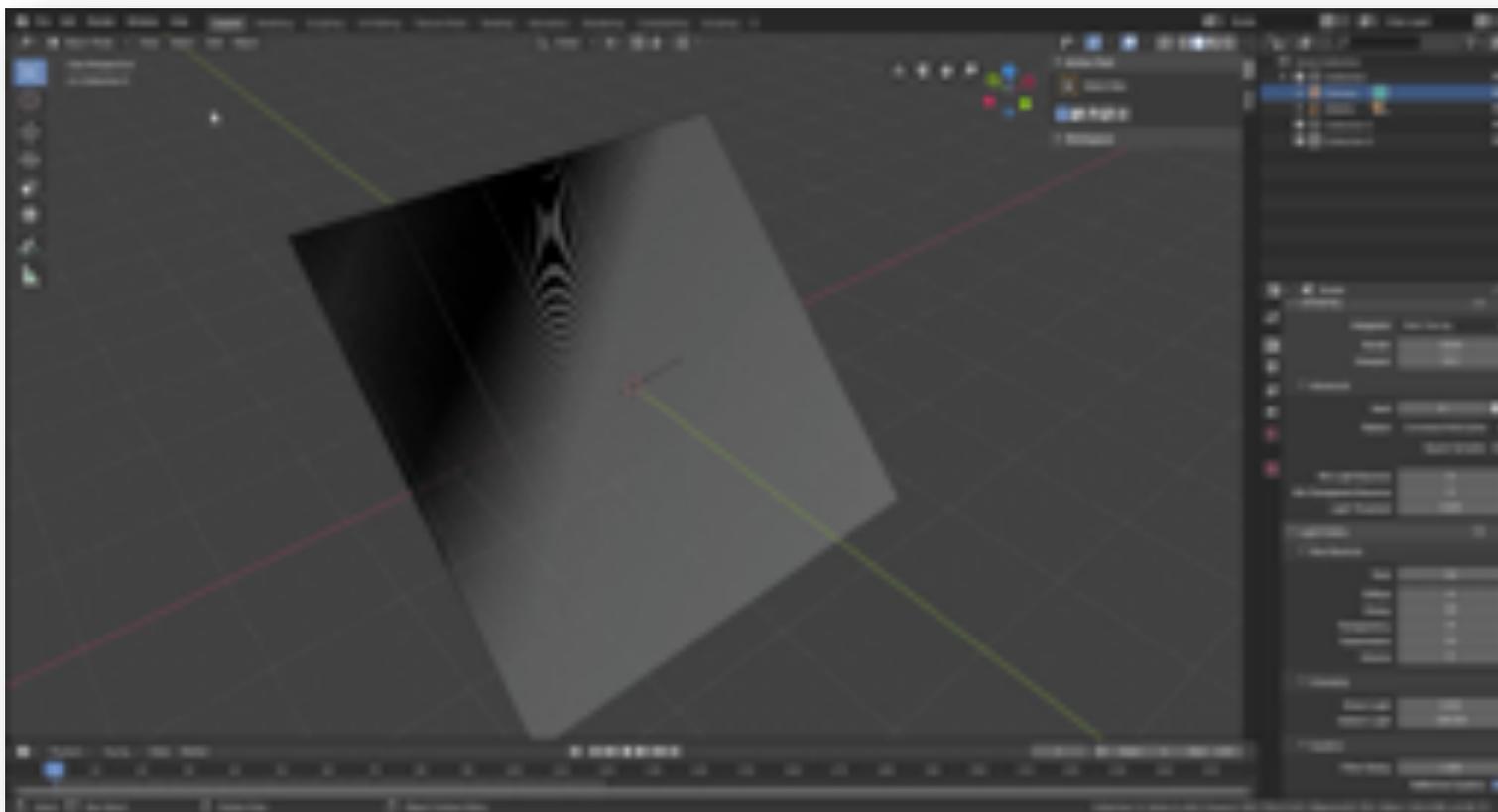


# 提案：物理ベースレイトレーシング 空中像光学系シミュレーション

Computer Graphics

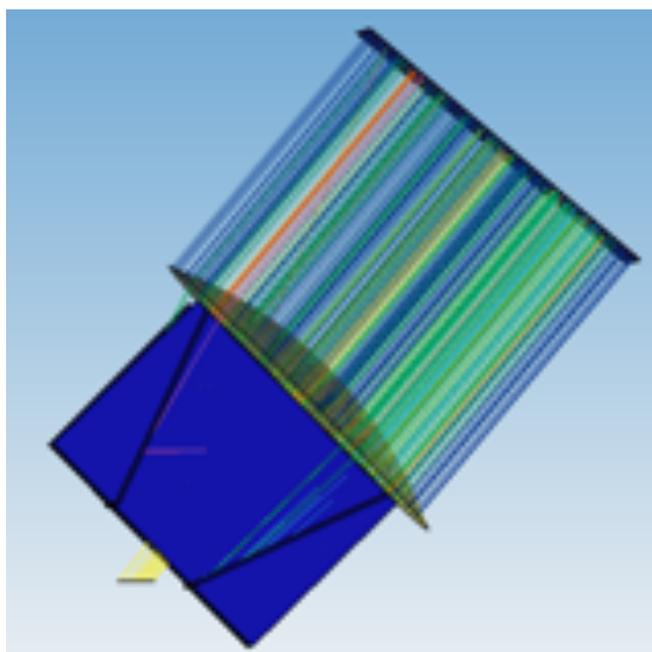


- 実際の見え方をシミュレーションする。

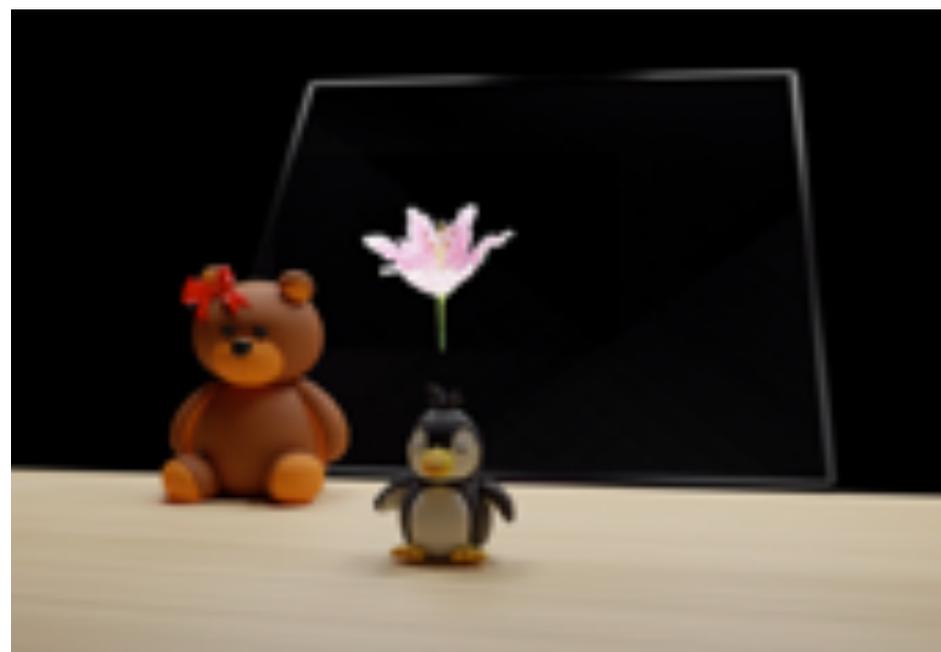


## レイトレーシング導入の面白さ

- シミュレーションを光線から、像や見た目に変える。
- 設計をエンジニアからデザイナーへ拡大できる。

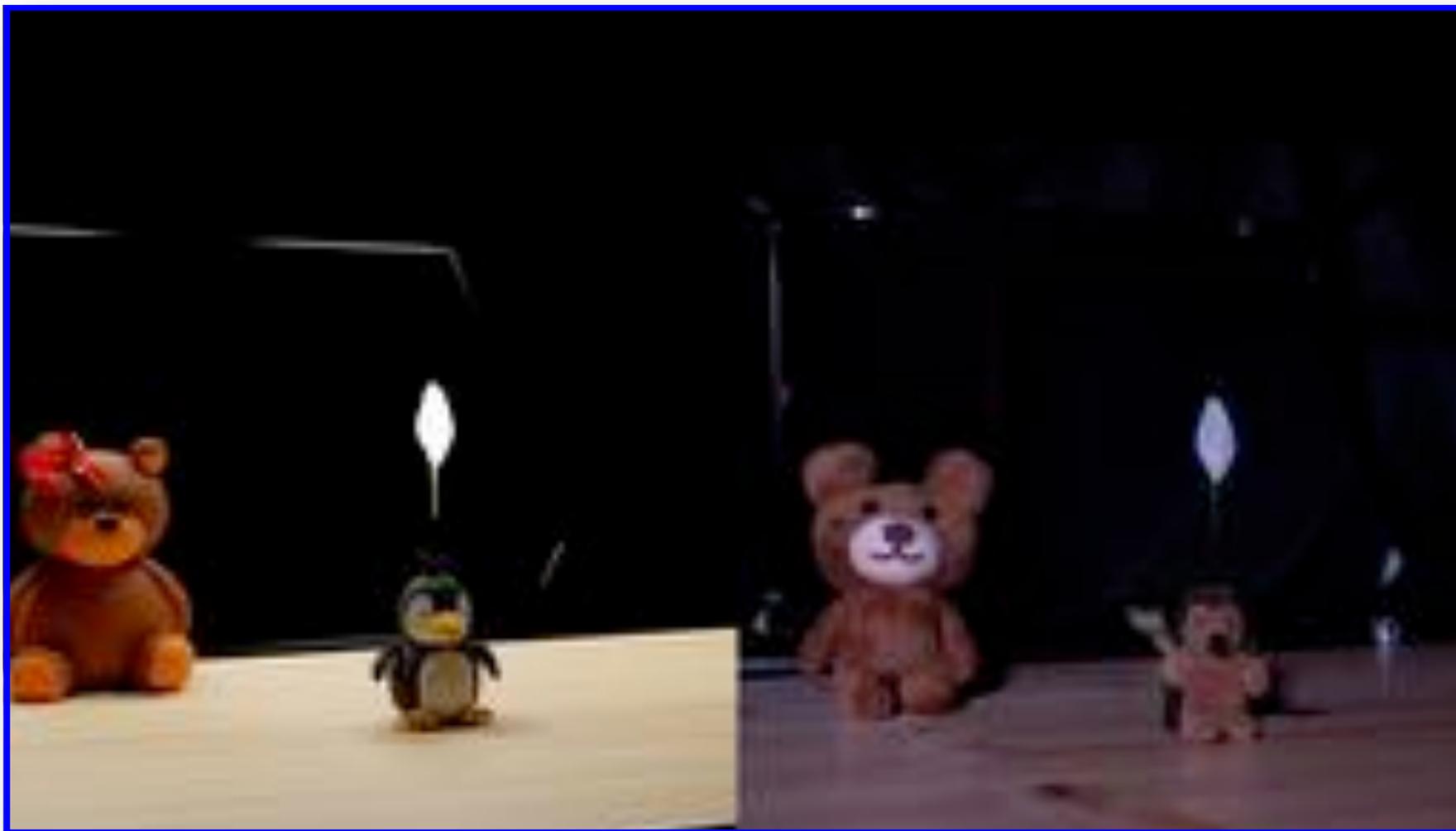


光線のシミュレーション例



像のシミュレーション例

## シミュレーションの様子



Shunji Kiuchi, et al. Micro-mirror array plates simulation using ray tracing for mid-air imaging. IEEE VR 2020.

© Naoya Koizumi 2020

## 企業への期待

- 未解決の高輝度化や光学系の洗練については、液晶デザインの技術応用で解決していくと考えられるので、液晶産業で技術を磨いた企業との共同研究を進めたい。
- また、エンタテインメントシステムなどを開発中の企業、衛生面や耐久性でタッチパネルの活用が難しい分野には、本技術の導入が有効と思われる。

# 再帰透過光学素子の応用例

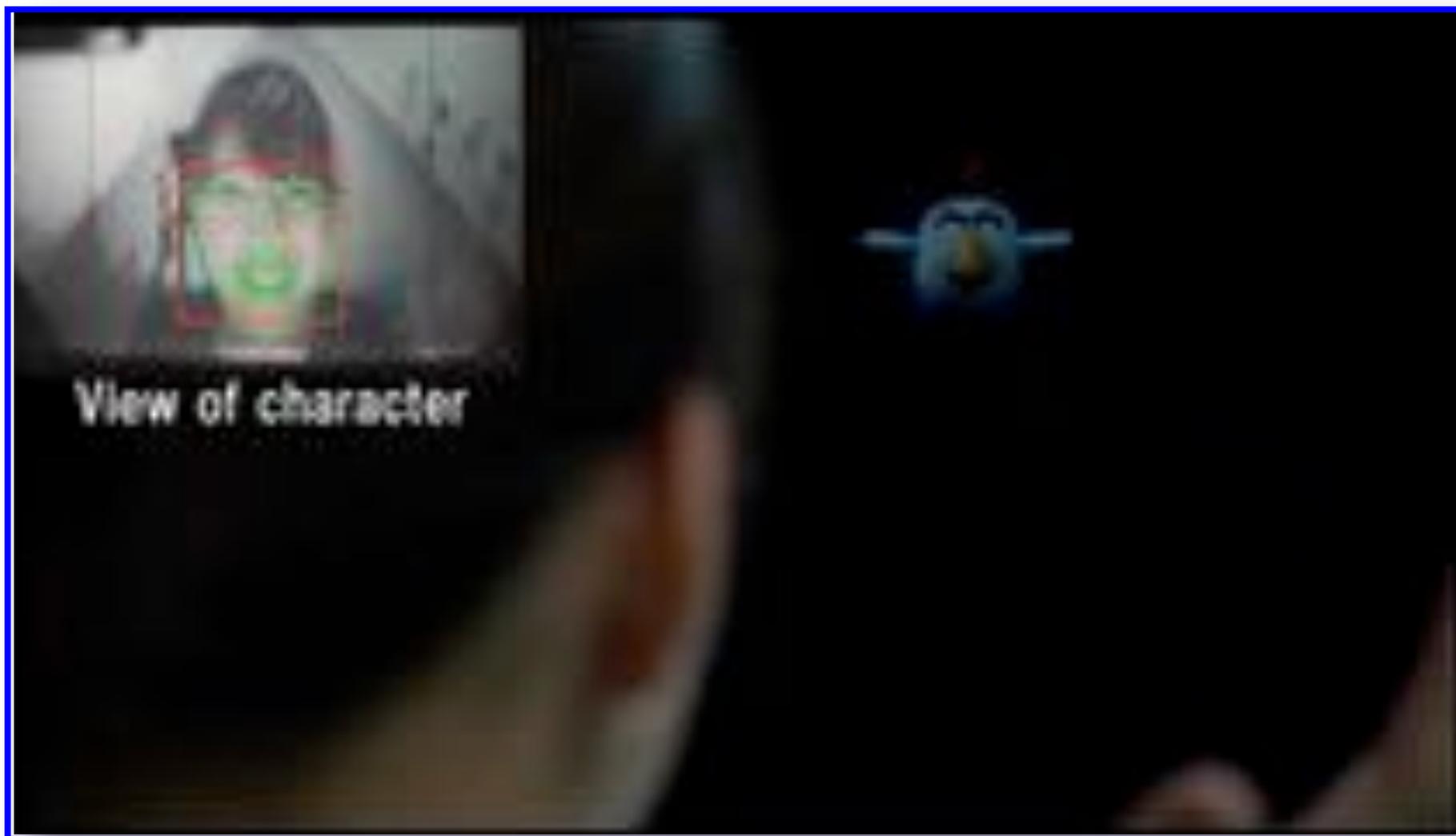


GoThro  
*Go Through.*

Naoya Koizumi, et al. Optical design for transfer of camera viewpoint using retrotransmissive optical system. Optical Review, pp. 1–10, 2020.



# 空中像の視点からの撮影



Kei Tsuchiya, et al. 2018. Interaction system with mid-air CG character that has own eyes. In SIGGRAPH Asia 2018 Posters (SA '18). Article 79, 2 pages. © Naoya Koizumi 2020

# 空中像になる



Kei Tsuchiya et al. 2019. Levitar: Real Space Interaction through Mid-Air CG Avatar. In SA '19 Emerging Technologies, 2 pages.

## 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 空中像形成装置
- 出願番号 : 特願2018-193900
- 出願人 : 電気通信大学
- 発明者 : 小泉 直也, 佐野 文香

# お問い合わせ先

電気通信大学

産学官連携センター

産学連携ワンストップサービス

TEL 042 - 443 - 5871

FAX 042 - 443 - 5725

e-mail [onestop@sangaku.uec.ac.jp](mailto:onestop@sangaku.uec.ac.jp)