

# 偏光回折格子を利用した 円偏光を広角照射可能なビームステアリング装置

長岡技術科学大学	電気電子情報工学専攻
助教	坂本盛嗣
教授	小野浩司

2021年6月17日

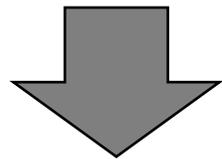
# ビームステアリング

## ビームステアリング

- ・・・ビームを1次元的ないし2次元的に偏向走査させる技術  
(応用例：LiDAR、ディスプレイ、露光装置、センサー等)

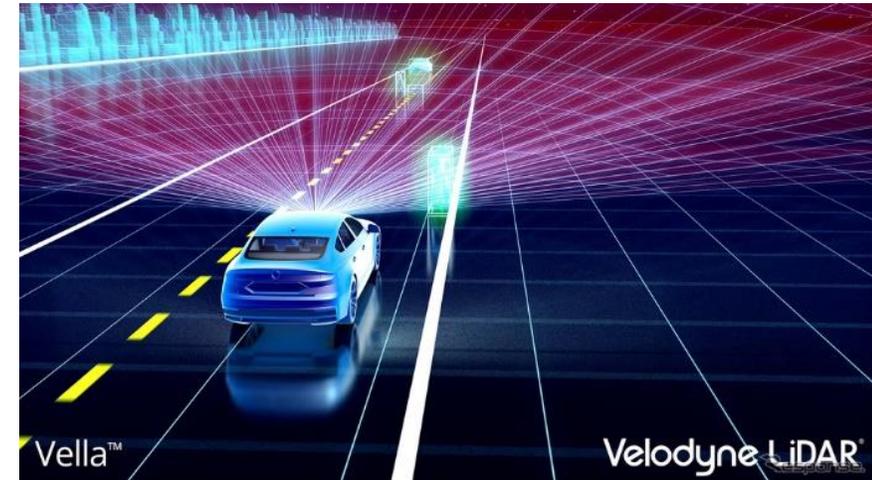
一般的な反射方式のビームステアリング装置  
：ガルバノスキャナ、MEMSミラー

反射によって制御するため、光学系が大型化しやすい



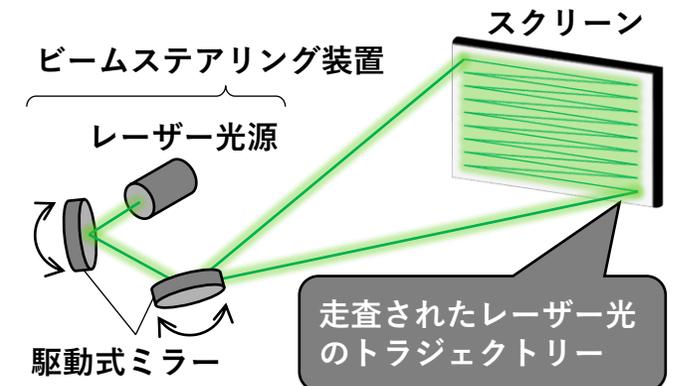
光軸上に配置できる透過型の偏向デバイス  
である事が好ましい

## 自動運転のLiDAR



<https://response.jp/article/2019/01/07/317722.html>

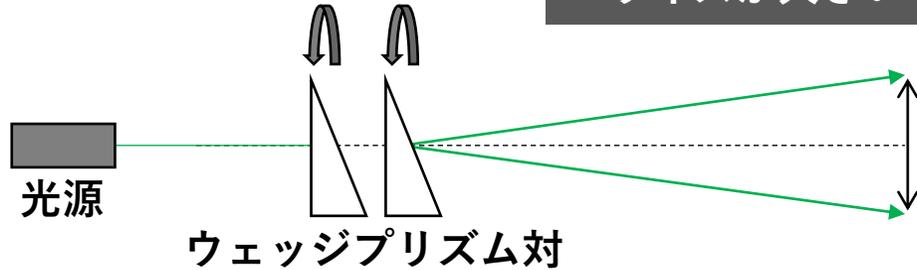
## ガルバノミラーによるビームステアリング<sup>ml</sup>



# 透過方式の従来法と問題点

## ウェッジプリズム

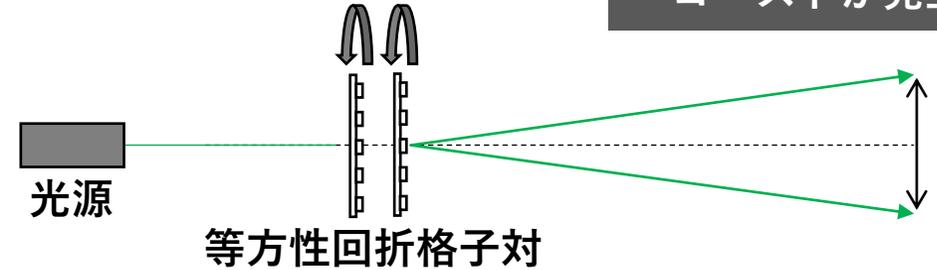
- ・ 高効率 (100%)
- ・ 重量が大きい
- ・ サイズが大きい



C.M. DiMarzio, C.W.I.I. William, US Patent 7,471,450, 2002

## 回折光学素子 (回折格子)

- ・ 重量が軽い
- ・ 効率が低い
- ・ ゴーストが発生

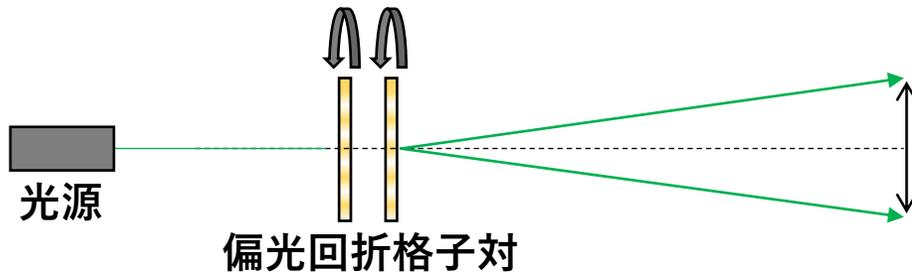


R.A. Hutchin, US Patent US9170162B2, 2012

回折光学素子でかつ不要な回折光を低減したい

本発明では

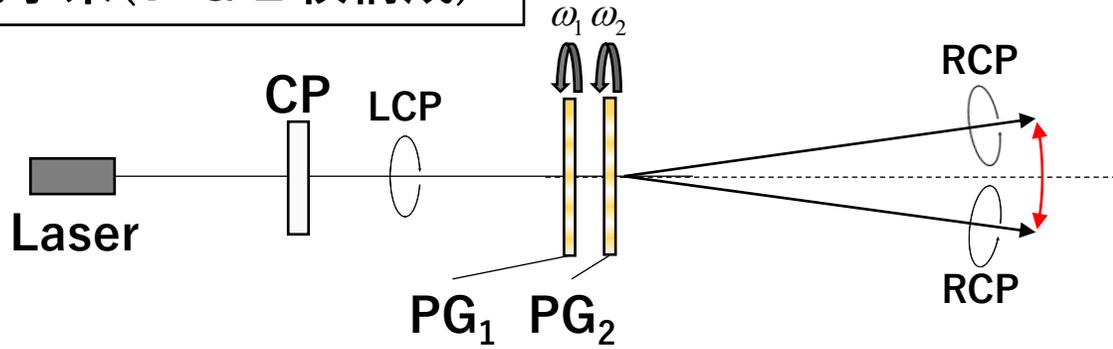
複数の回転偏光回折格子を用いた透過型のビームステアリング方式を提案する



- ・ 高効率 (100%)
- ・ ゴーストが発生しにくい
- ・ 重量が軽い ⇒ 高速な光線走査が可能
- ・ 円偏光の光線走査が可能
- ・ ラスタースキャンが可能

# 2枚の偏光回折格子を用いた方式

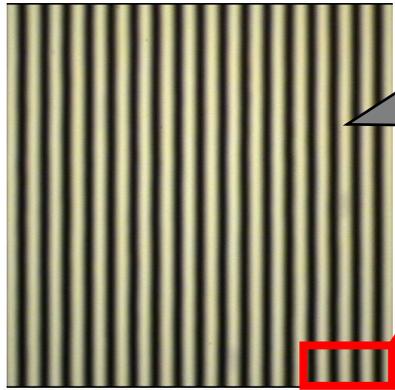
光学系(P G 2枚構成)



CP : 円偏光子、PG : 偏光回折格子

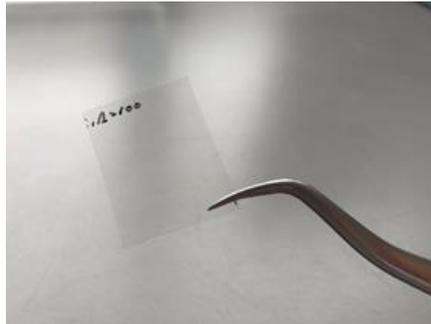
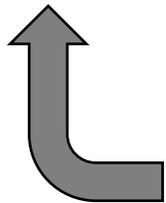
# 偏光回折格子とは

## 偏光回折格子 (Polarization grating: PG)



誘電率異方性の空間分布に基づく複合的機能を有する偏光制御素子

液晶配向分布



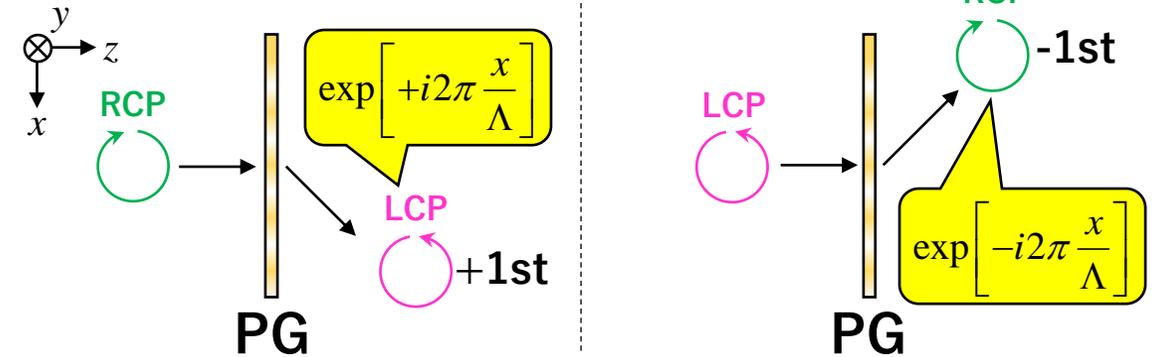
円偏光を100%の回折効率で偏向可能



光架橋性高分子液晶膜の光配向法により作製可能  
(薄膜、軽量、低コスト、耐熱性[0~120°C]、斜入射許容性)

H. Ono, et al., J. Appl. Phys. 94, 1298 (2003)  
R. Momosaki et al., Opt. Lett. 44, 5929 (2019).

## 偏光回折格子の回折特性

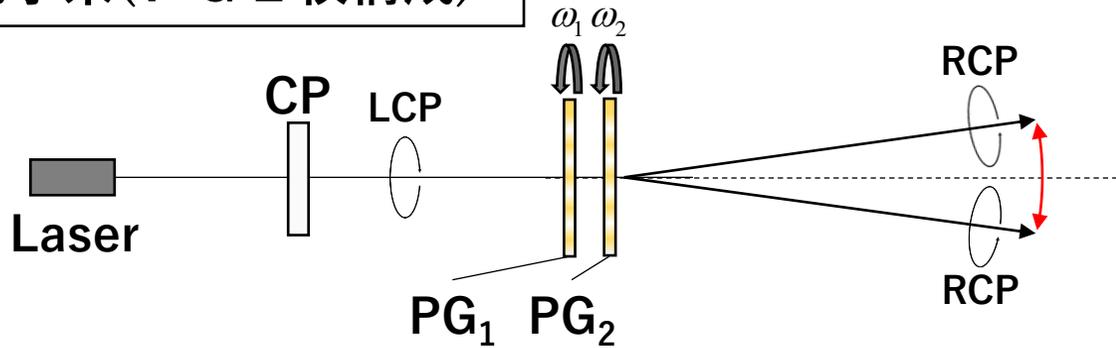


Z. Bomzon et al., Opt. Lett. 27, 1141 (2002).

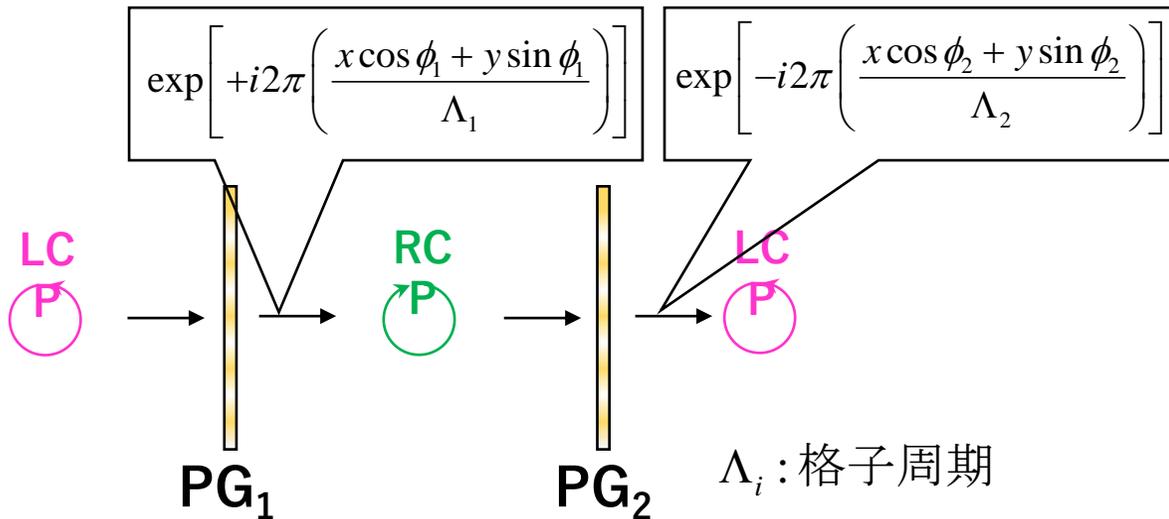
回折像	- 1 次光	0 次光	+ 1 次光
入射光 : C 	$\epsilon = 45^\circ$ $\eta = 99\%$ 	No image 	No image 
入射光 : C 	No image 	No image 	$\epsilon = -44^\circ$ $\eta = 98\%$ 

# 2枚の偏光回折格子を用いた方式

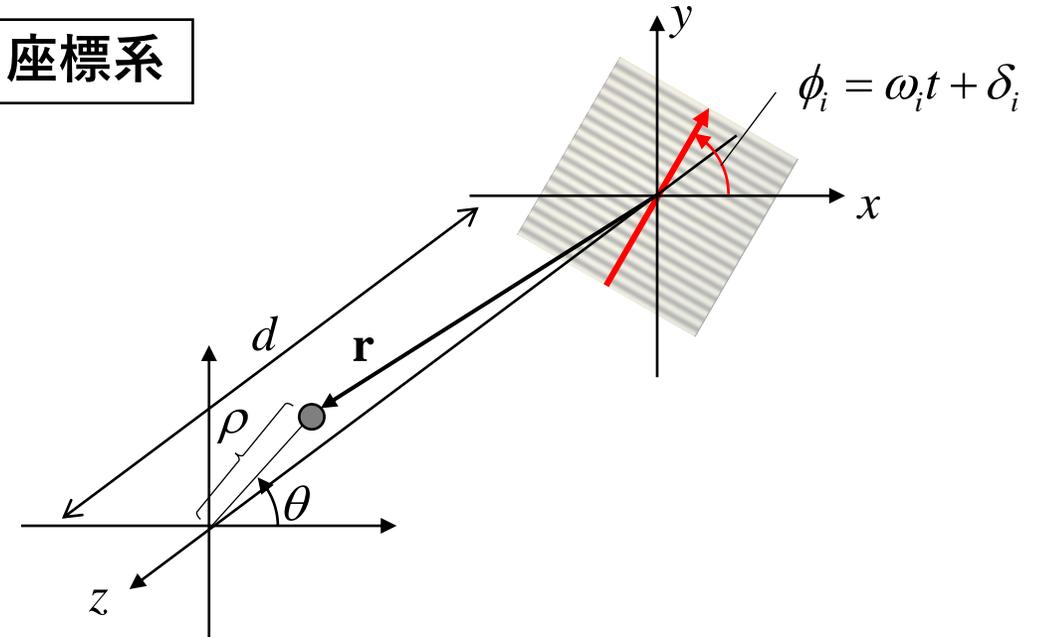
## 光学系(PG 2枚構成)



CP : 円偏光子、PG : 偏光回折格子



## 座標系



組み合わせの格子周期 :  $\Lambda' = \Lambda_x \Lambda_y / \sqrt{\Lambda_x^2 + \Lambda_y^2}$ ,

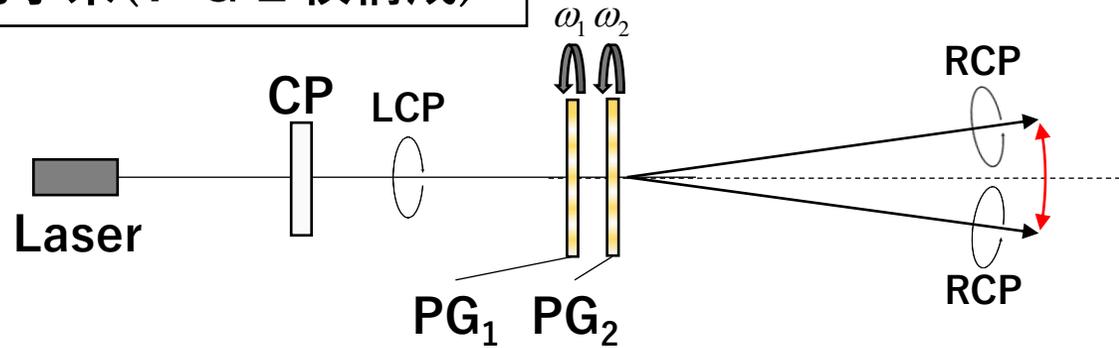
$$\left( \Lambda_x = 1 / \left( \frac{\cos \phi_1}{\Lambda_1} - \frac{\cos \phi_2}{\Lambda_2} \right), \Lambda_y = 1 / \left( \frac{\sin \phi_1}{\Lambda_1} - \frac{\sin \phi_2}{\Lambda_2} \right) \right)$$

露光位置 :  $\mathbf{r} = (\rho \cos \theta, \rho \sin \theta, d)$

$$\left( \begin{aligned} \rho &= d \tan \psi, & \psi &= \sin^{-1}(\lambda / \Lambda') \\ \theta &= \tan^{-1}(\Lambda_x / \Lambda_y) \end{aligned} \right)$$

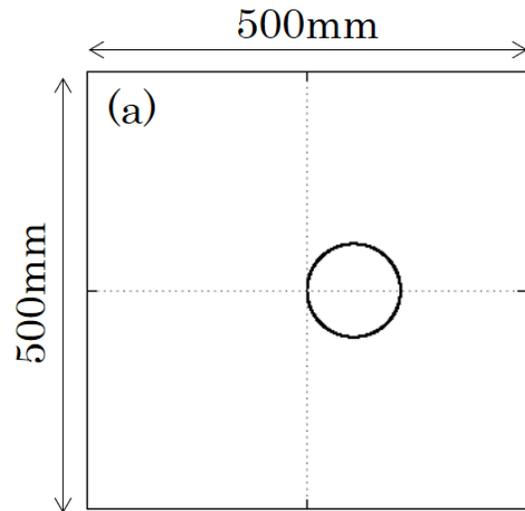
# 2枚の偏光回折格子を用いた方式

## 光学系(P G 2枚構成)



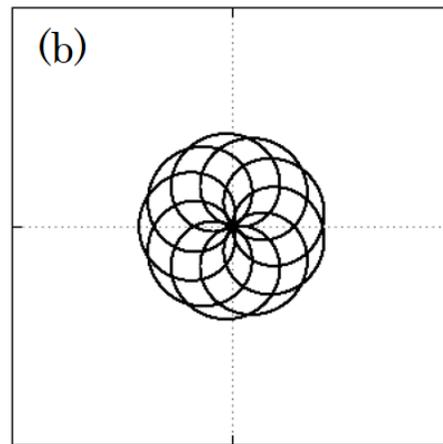
CP : 円偏光子、PG : 偏光回折格子

#  $d = 1\text{m}$



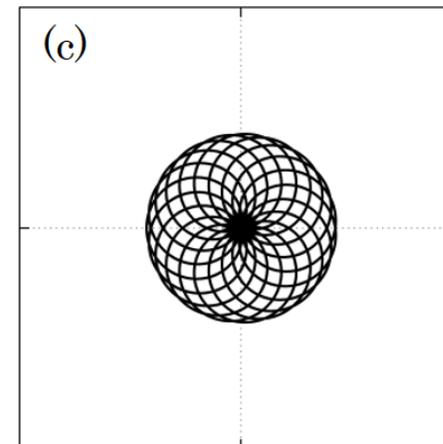
$$(\omega_1, \omega_2) = (0, 1)$$

$$(\delta_1, \delta_2) = (0, 0)$$



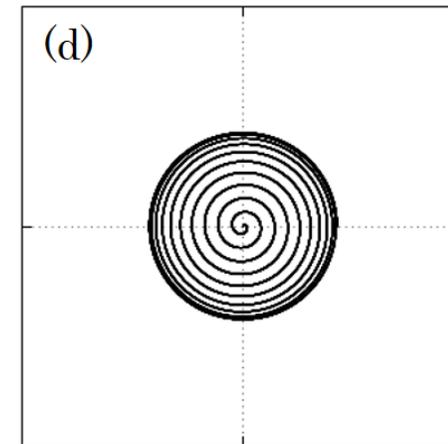
$$(\omega_1, \omega_2) = (1, 10)$$

$$(\delta_1, \delta_2) = (0, 0)$$



$$(\omega_1, \omega_2) = (1, 100)$$

$$(\delta_1, \delta_2) = (0, 0)$$

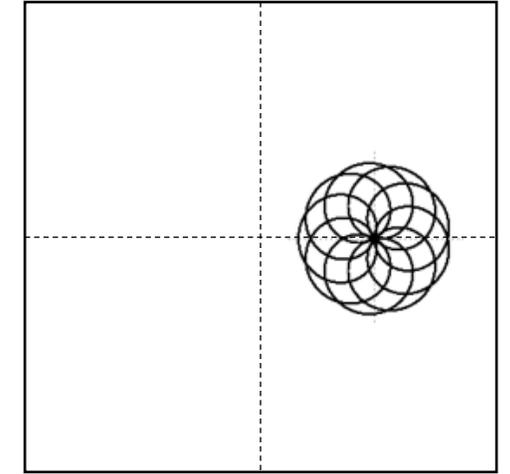
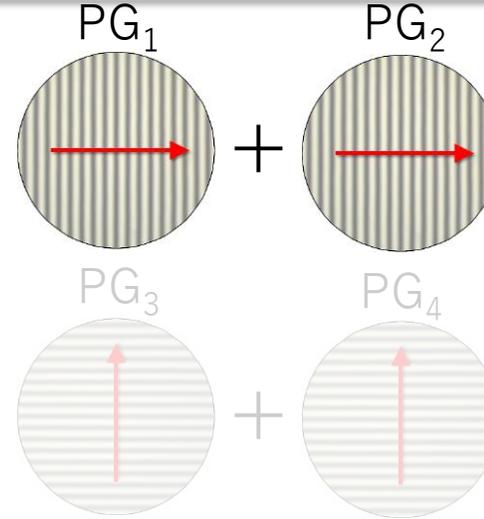
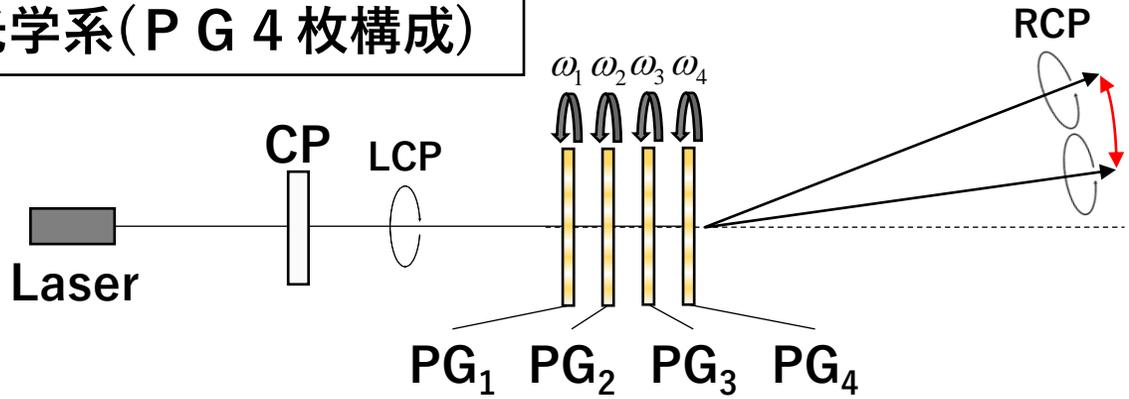


$$(\omega_1, \omega_2) = (1, 1.05)$$

$$(\delta_1, \delta_2) = (0, \pi)$$

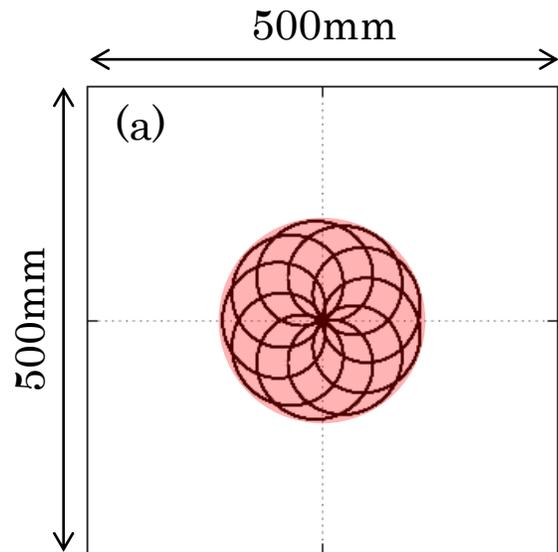
# 4枚の偏光回折格子を用いた方式

光学系(PG4枚構成)

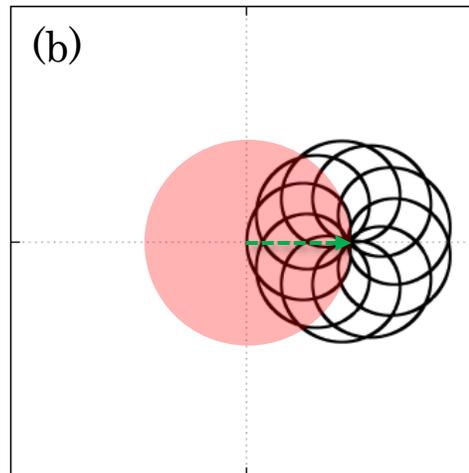


CP : 円偏光子、PG : 偏光回折格子

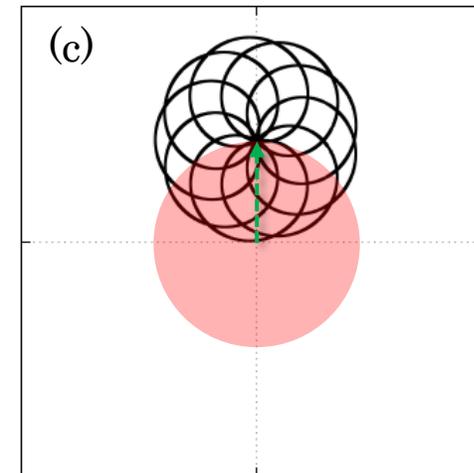
#  $d = 1m$



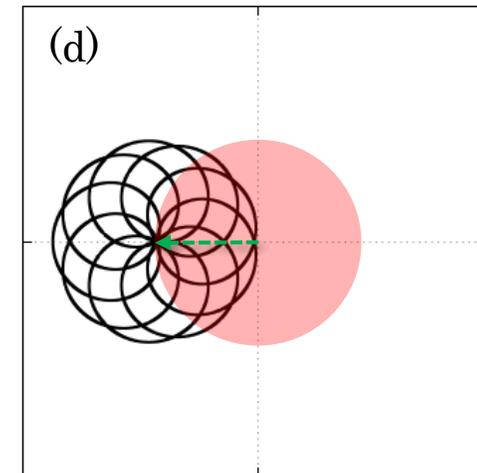
$$(\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4) = (0, 0, 0, 0)$$



$$(\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4) = (0, 0, 0, \pi)$$



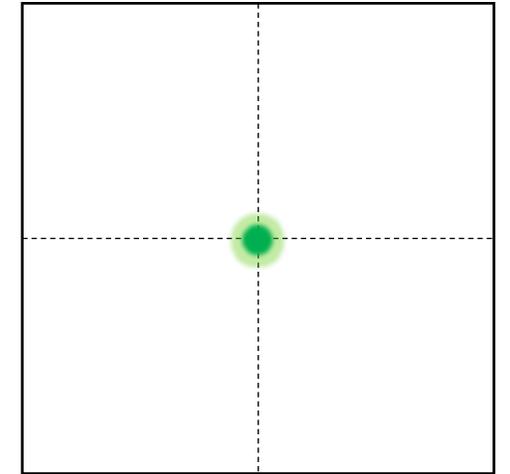
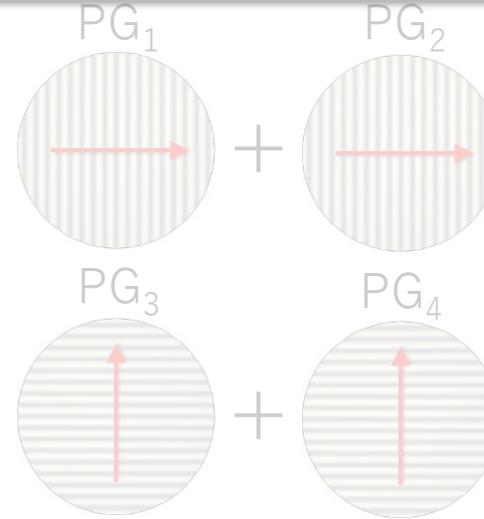
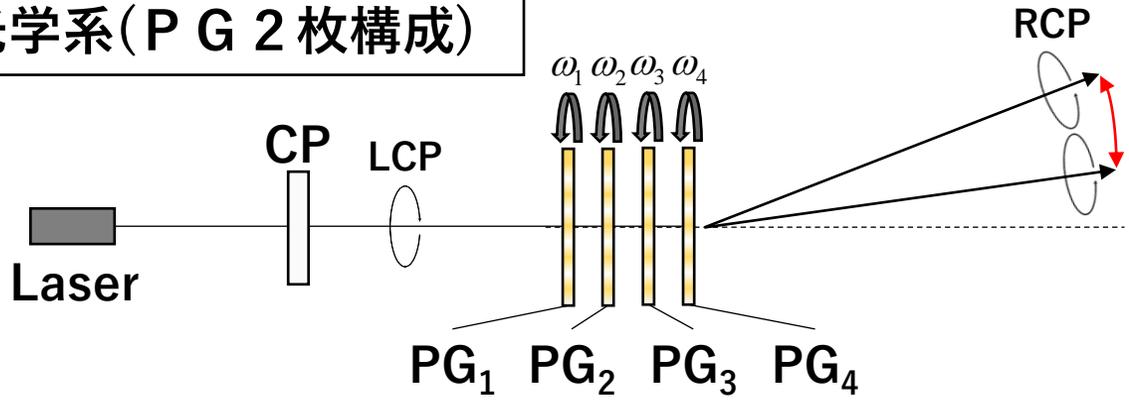
$$(\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4) = \left(0, 0, \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}\right)$$



$$(\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4) = (0, 0, \pi, 0)$$

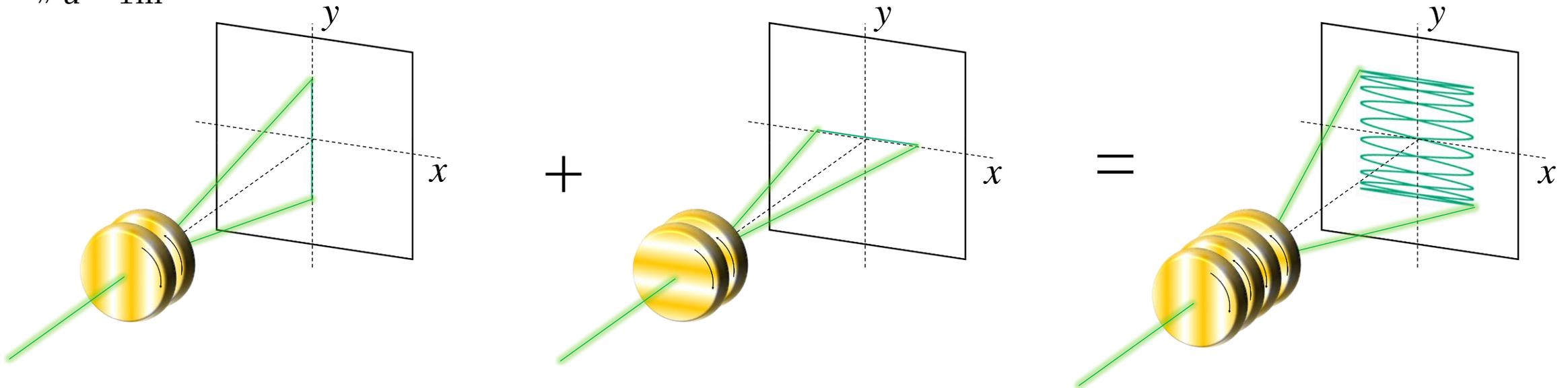
# 4枚の偏光回折格子を用いた方式

光学系(P G 2枚構成)



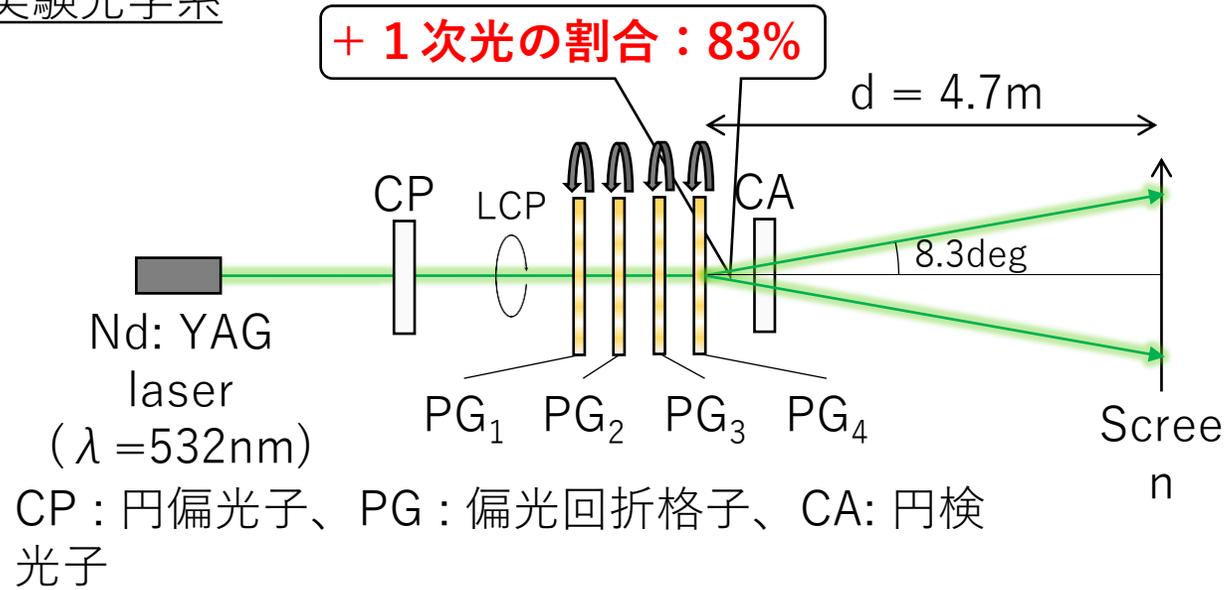
CP : 円偏光子、PG : 偏光回折格子

#  $d = 1m$



# 実証実験

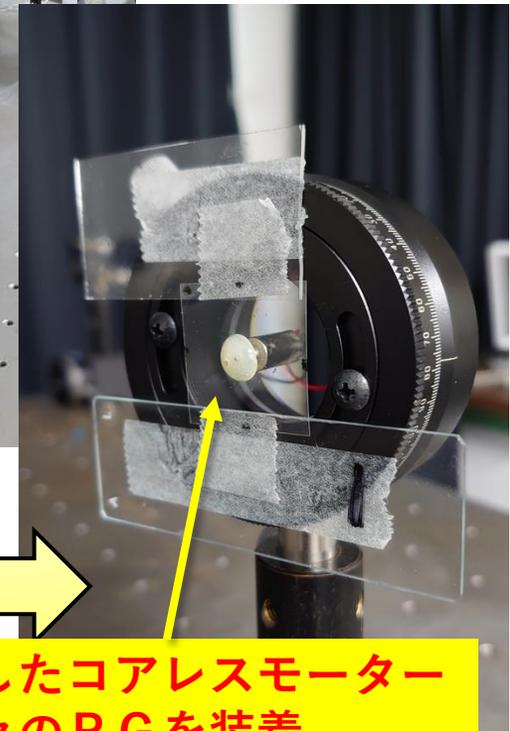
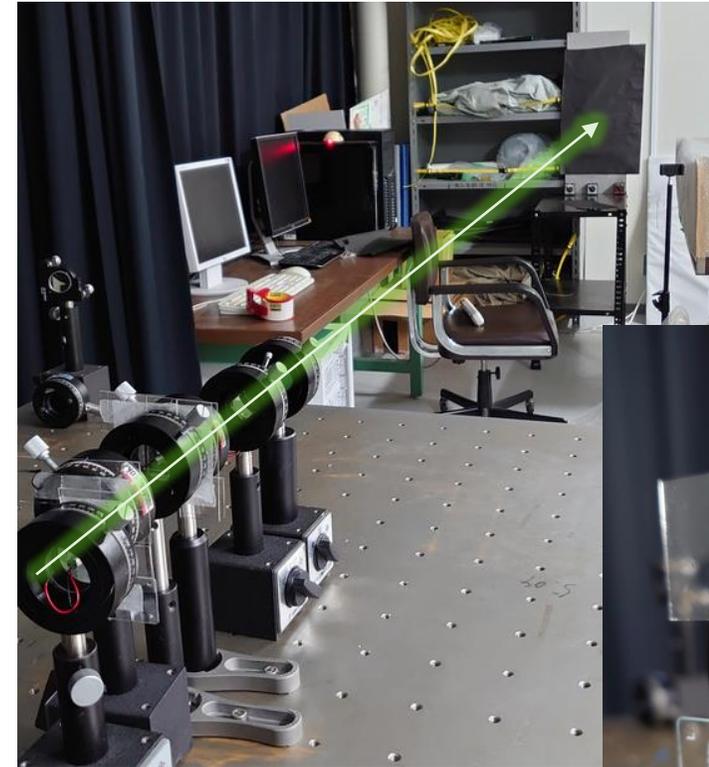
## 実験光学系



光架橋性高分子液晶のUV偏光ホログラム記録により4枚のPG (格子周期 $37\mu\text{m}$ ,膜厚 $3.5\mu\text{m}$ ) を作製

	PG <sub>1</sub>	PG <sub>2</sub>	PG <sub>3</sub>	PG <sub>4</sub>
回折効率	96%	96%	97%	98%

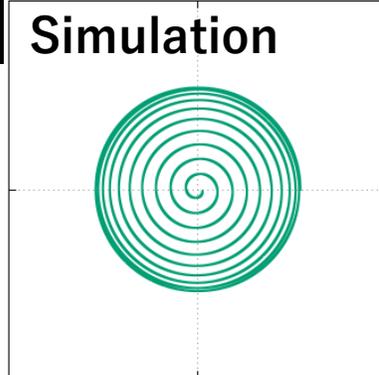
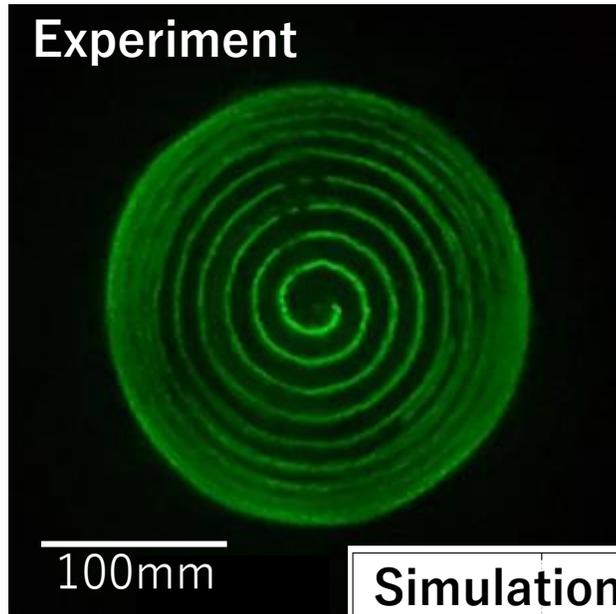
(測定波長 : 532nm)



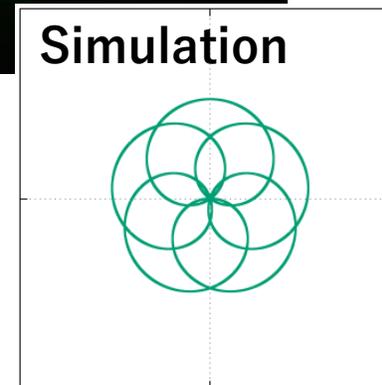
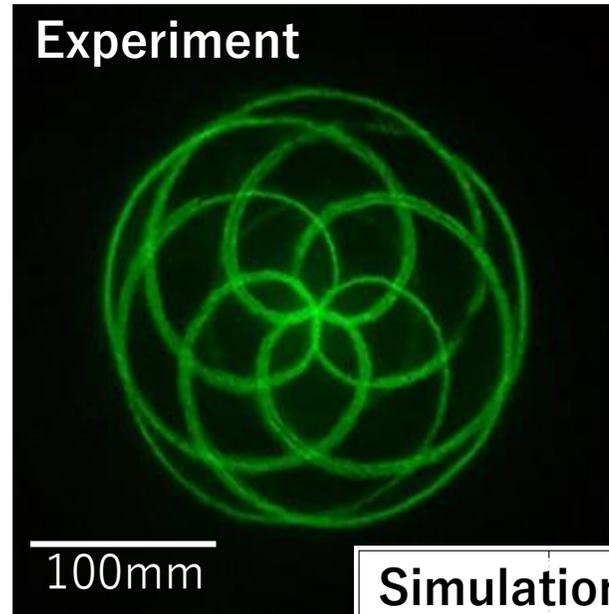
独立したコアレスモーターに各々のPGを装着

# 実証実験（2枚の偏光回折格子を使用）

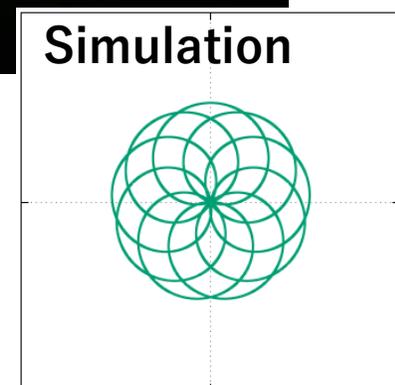
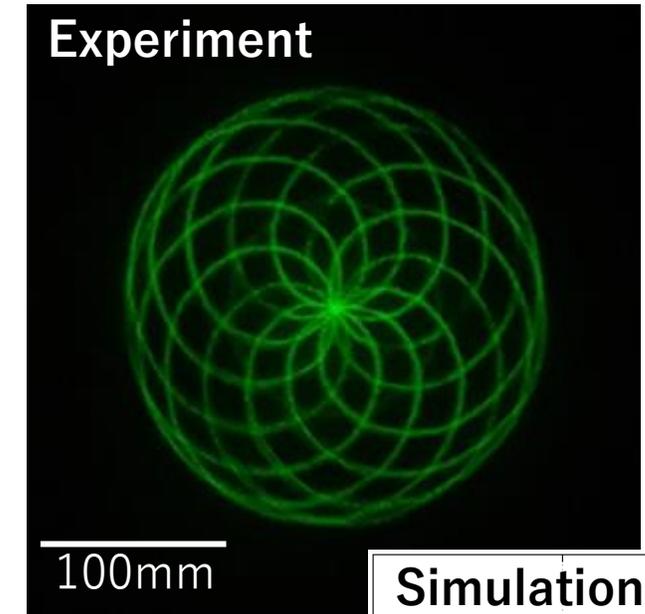
条件 1



条件 2



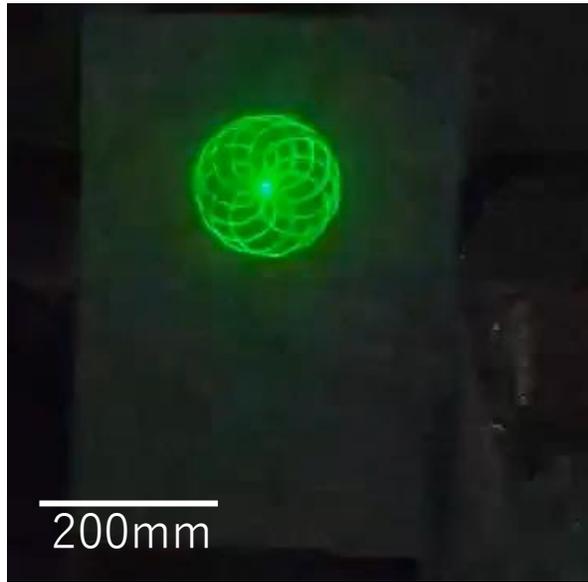
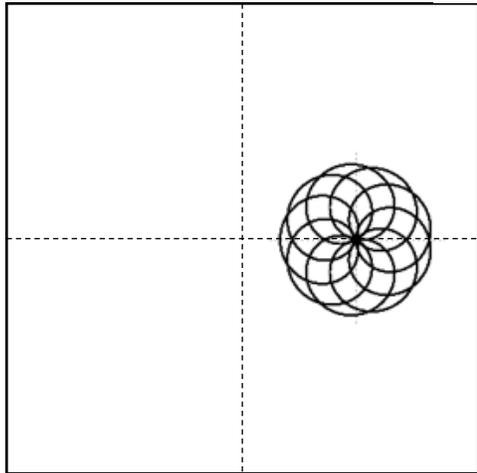
条件 3



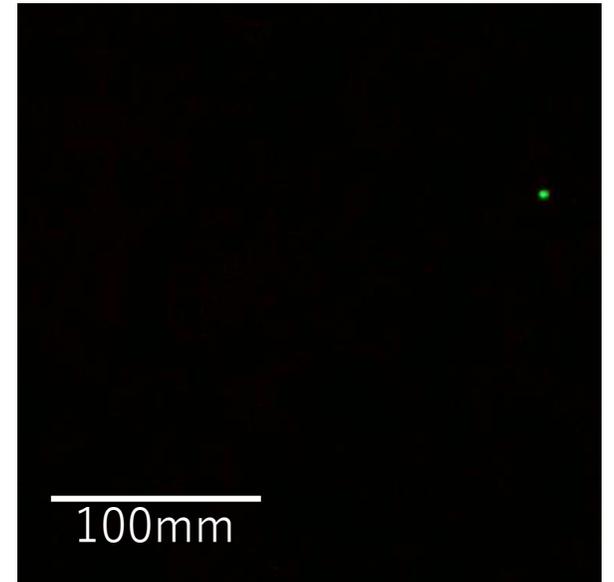
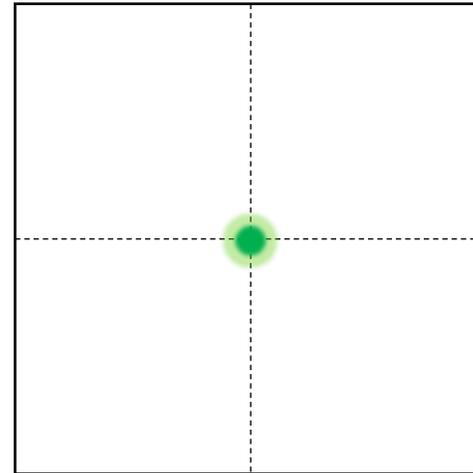
# 実証実験（4枚の偏光回折格子を使用）

偏光回折格子4枚の同時制御

パターン中心座標の移動制御



ラスタースキャン



数値シミュレーションと同様の走査軌跡を得ることができた

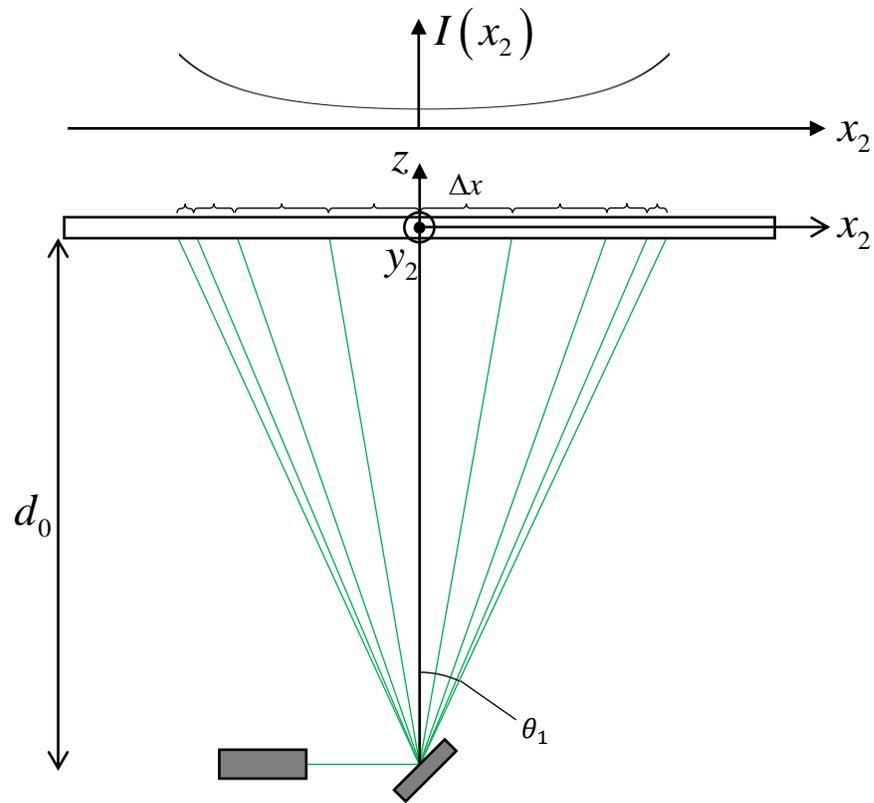
## 新技術の特徴・従来技術との比較

- 軽量且つ薄膜素子 ⇒ 回転制御の高速化により高速な光線走査が可能
- 100%の回折効率 ⇒ 高い光利用効率、ゴーストが発生しにくく低ノイズ
- 透過型の構成 ⇒ 光学系の設計自由度が高く、装置の小型化が容易
- 回折を利用して偏向させる ⇒ 大きな触れ角
- 楕円率の高い円偏光を光線走査可能

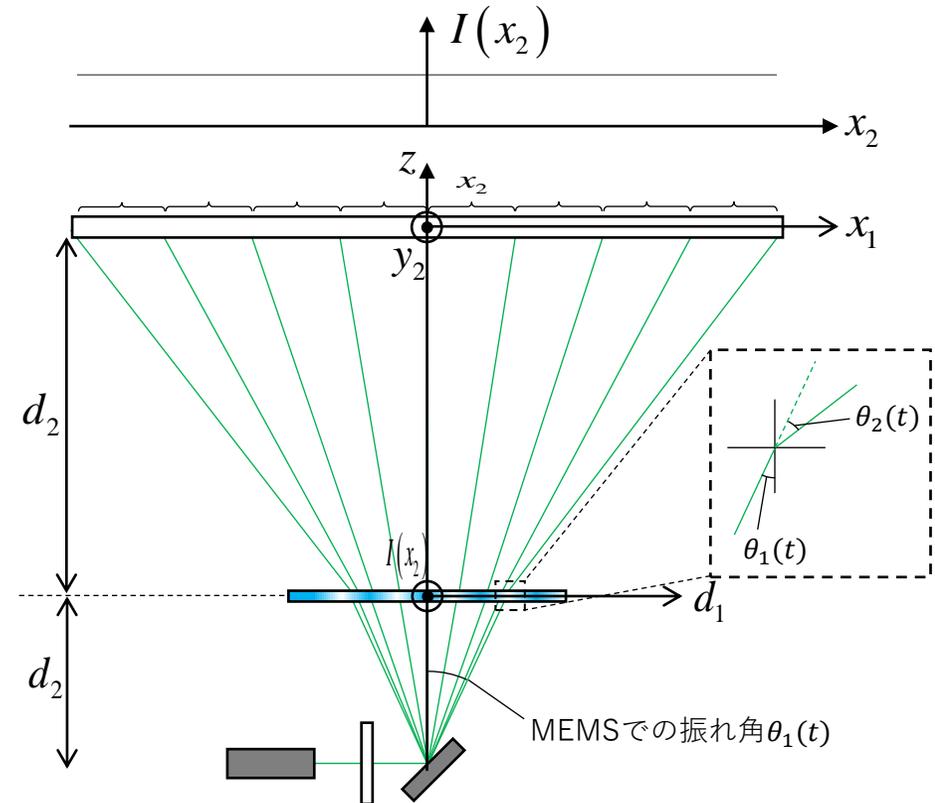
	反射/透過	重量	効率	振れ角	コスト	高速性
ガルバノミラー	反射方式	×	○	○	×	△
MEMSミラー	反射方式	○	○	×	○	○
プリズム対	透過方式	×	○	△	○	×
回折格子対	透過方式	○	×	○	○	△
本発明技術	透過方式	○	○	○	○	△

# 偏光回折素子を用いた光線触れ角の広角化と等速化

通常のMEMSミラーによるビームステアリング

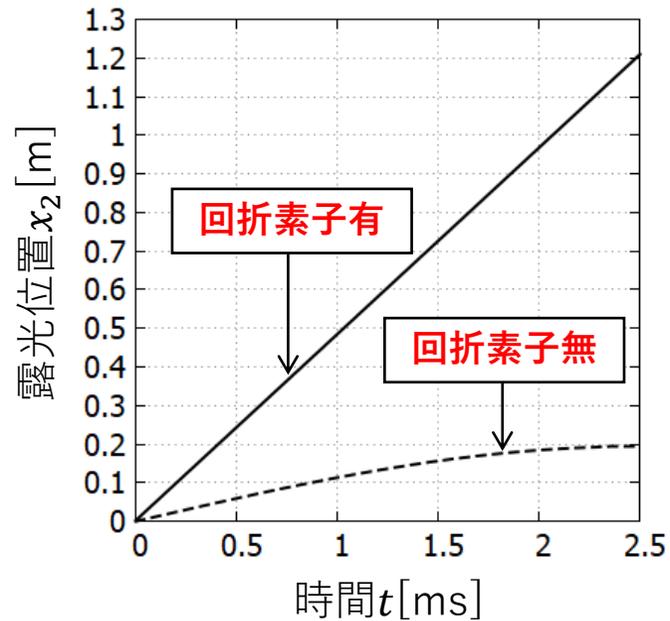


通常のMEMSミラーによるビームステアリング

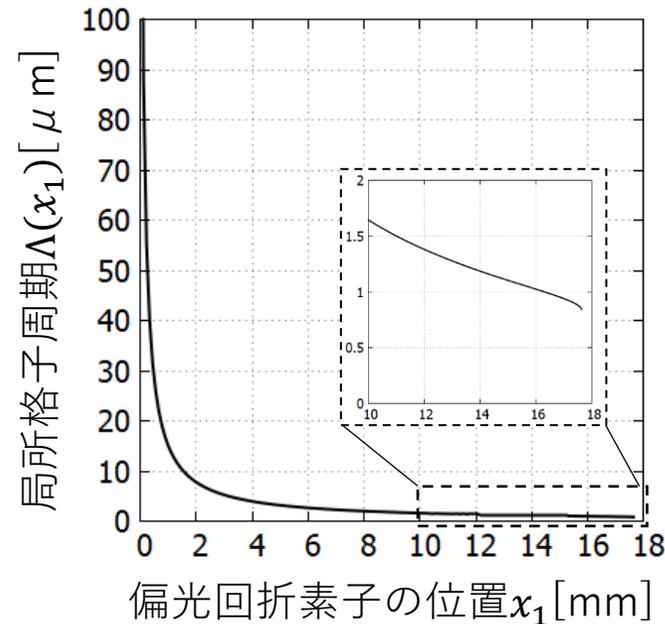


偏光回折素子により光線触れ角の広角化と等速化を同時に実現

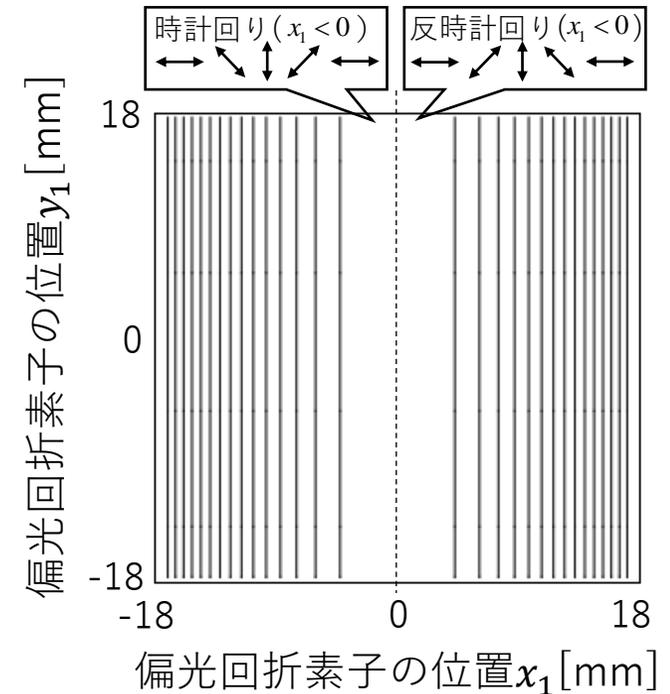
# 振れ角広角化・等速化素子の設計



(a) 露光位置の時間依存性



(b) 局所格子周期の空間分布

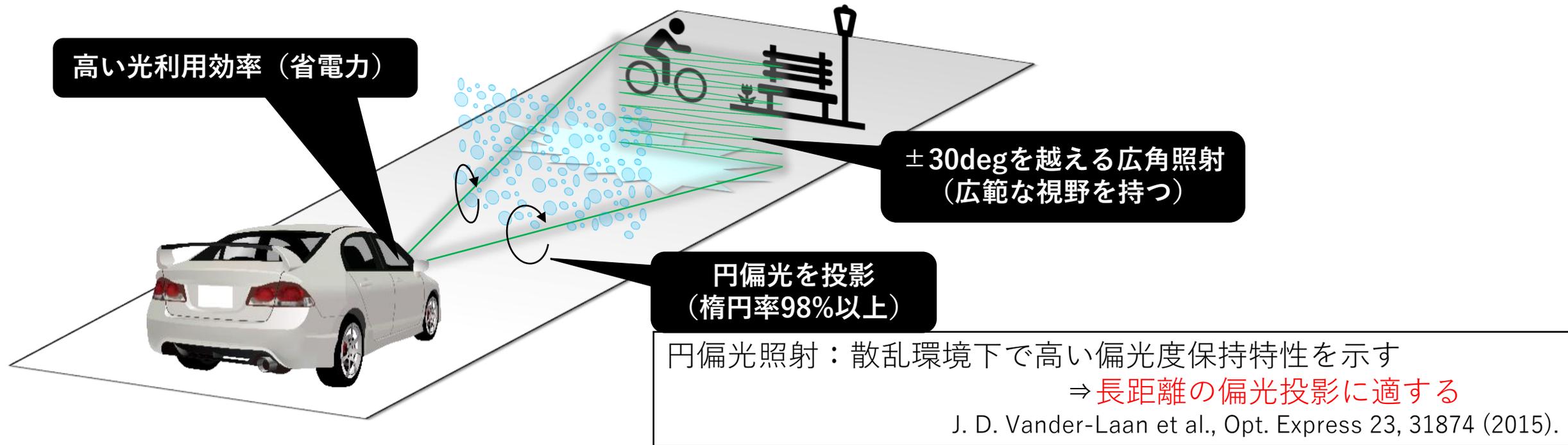


(c) 偏光回折素子の光学軸分布  
(等高線： $300\pi$  毎にプロット)

**ビームステアリングにおける光線触れ角の広角化と等速化を同時に実現**

# 想定される用途

- 自動運転用LiDARのための光照射装置



- あらゆる光計測用の光源（**偏光計測技術との親和性大**）
- レーザーディスプレイ
- アミューズメント用照明装置

## 実用化に向けた課題

- 現在、波長532nmでのビームステアリングを実証済み。
- 今後、加工やLiDAR用途への展開を目指すために、紫外及び近・中赤外領域でのビームステアリングを実証していく予定（355nm,980nm1064nm,1550nmで機能する偏光回折格子の作製は実現済み）。
- 4つの偏光回折格子の回転を同期制御する機構が必要。
- 偏光回折格子に反射防止膜を付けてフレネル反射ロスを低減する必要がある。

## 企業への期待

- モータの高速回転や同期制御に明るい企業との共同開発を希望しております。
- 生産工程における検査に偏光センシングを導入することに興味のある企業からの打診を希望しております。
- 円偏光レーザー照明装置に興味のある企業との共同研究を希望しております。

## 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : ビームステアリング装置及びビームステアリング方法並びにビーム検出システム
  - 出願番号 : 特願2021-015345
  - 出願人 : 長岡技術科学大学
  - 発明者 : 坂本盛嗣、小野浩司
- 
- 発明の名称 : 光線走査広角化システム
  - 出願番号 : 特願2020-100700
  - 出願人 : 長岡技術科学大学
  - 発明者 : 坂本盛嗣、小野浩司

## 産学連携の経歴

- 2016-2021年度の期間にわたり、企業6社との産学連携（技術コンサルタント・共同研究・技術相談対応）を実施。
- 様々な形態での企業との産学連携を推進しております。  
詳しくは下記のHPを参照下さい↓  
<https://whs.nagaokaut.ac.jp/optik/>

# お問い合わせ先

国立大学法人長岡技術科学大学  
研究・地域連携課 知的財産係

TEL 0258-47-9279

FAX 0258-47-9040

E-mail [patent@jcom.nagaokaut.ac.jp](mailto:patent@jcom.nagaokaut.ac.jp)