

# 円偏光純度と明るさを両立させる 円偏光コンバータの開発

京都大学 エネルギー科学研究科  
助教 岡崎 豊

2022年6月28日

# 円偏光とは

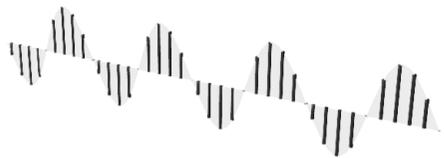
非偏光  $\longleftrightarrow$  偏光

✓ 豊富な光情報

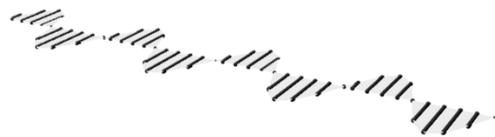
1. 光強度 (= 明るさ)
2. 波長 (= 色)
3. 偏光

## 直線偏光

(Linearly polarized (LP) light)



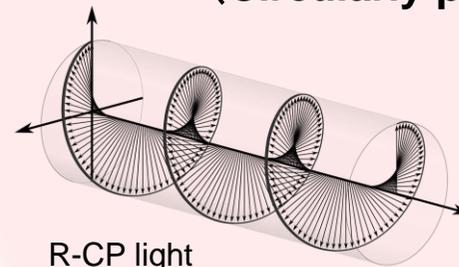
v-LP light



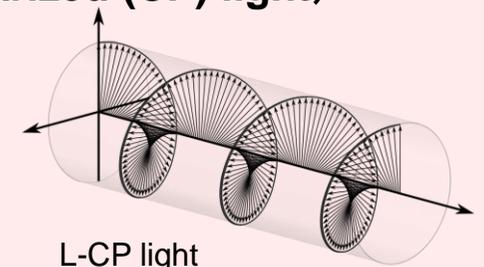
h-LP light

## 円偏光

(Circularly polarized (CP) light)



R-CP light

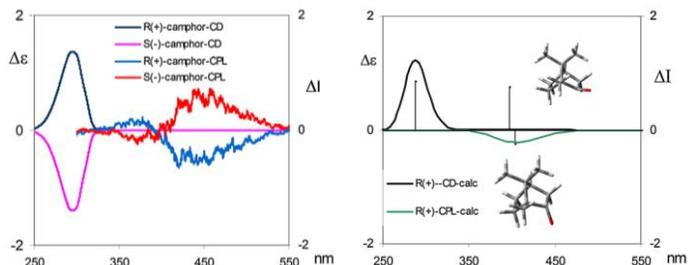
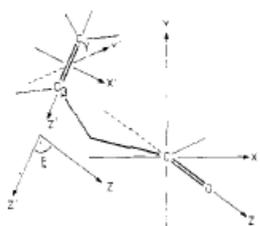


L-CP light

✓ 光情報伝達において角度制限なし

# 円偏光（紫外～可視光）に期待される応用

## ◆ 分子構造の評価・解析



P. H. Schippers et al., *J. Am. Chem. Soc.*, **1983**, *105*, 84-85

G. Longhi et al., *Chirality*, **2013**, *25*, 589-599.

## ◆ 光合成の効率向上

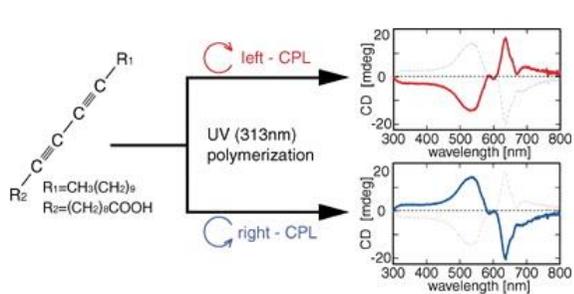


P. P. Shibayev et al., *Int. J. Botany*, **2011**, *7*, 113-117.



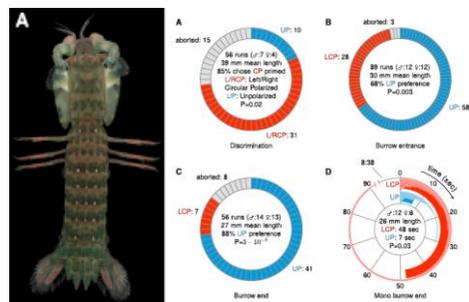
E. Lkhamkhuu et al., *Plant Biotech.*, **2020**, *37*, 57-67.

## ◆ 不斉反応



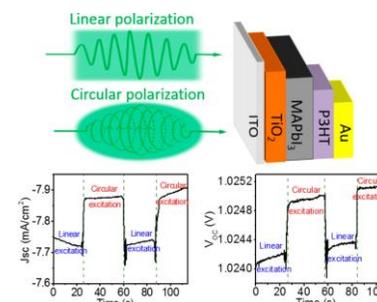
M. Iwamoto et al., *Chem. Lett.*, **2006**, *35*, 1028-1029.

## ◆ 光情報伝達

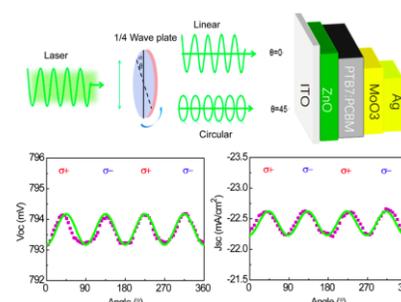


Y. L. Gagnon, et al., *Curr. Biol.*, **2015**, *25*, 3074-3078.

## ◆ 光電変換の効率向上



W. Qin et al., *ACS Photonics*, **2017**, *4*, 2821-2827.

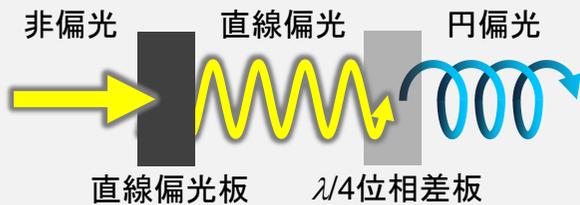


M. Wei et al., *J. Phys. Chem. C*, **2018**, *122*, 12566-12571.

円偏光生成技術は、エネルギー科学分野においても注目を集めている  
次世代技術

# 非偏光から円偏光を生成する従来技術と問題点

(a) フィルター方式



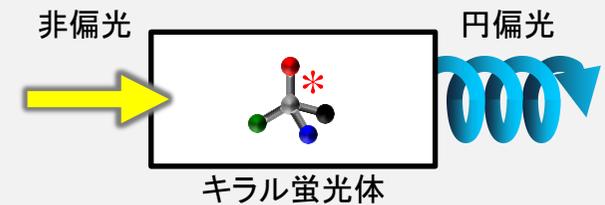
円偏光純度 : 高い(>90%)  
光強度 : 低い(<50%)

(b) 選択反射方式



円偏光純度 : 高い(>90%も可)  
光強度 : 低い(片側<50%)

(c) 円偏光発光方式



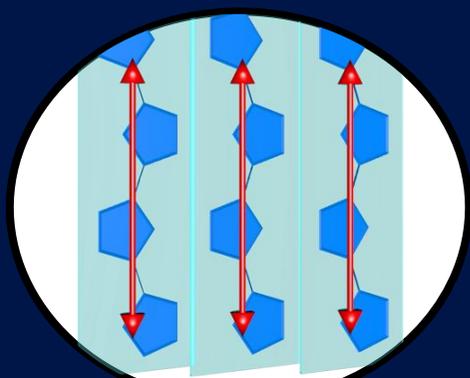
円偏光純度 : 低い(<10%)  
光強度 : 高い(>90%も可)

問題点 : 円偏光純度と明るさを両立させることが原理的に困難

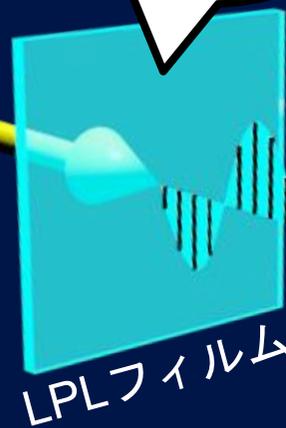
# 本研究のアプローチ（新技術）

高輝度発光を示す発光体の配向制御

→ 高輝度かつ巨大な直線偏光発光(LPL)を生成



非偏光



LPLフィルム



λ/4位相差板

**円偏光純度と光強度の両方を  
高い水準で満たす  
円偏光変換技術**

新規に考案した  
円偏光コンバータ

## 新技術の特徴・従来技術との比較

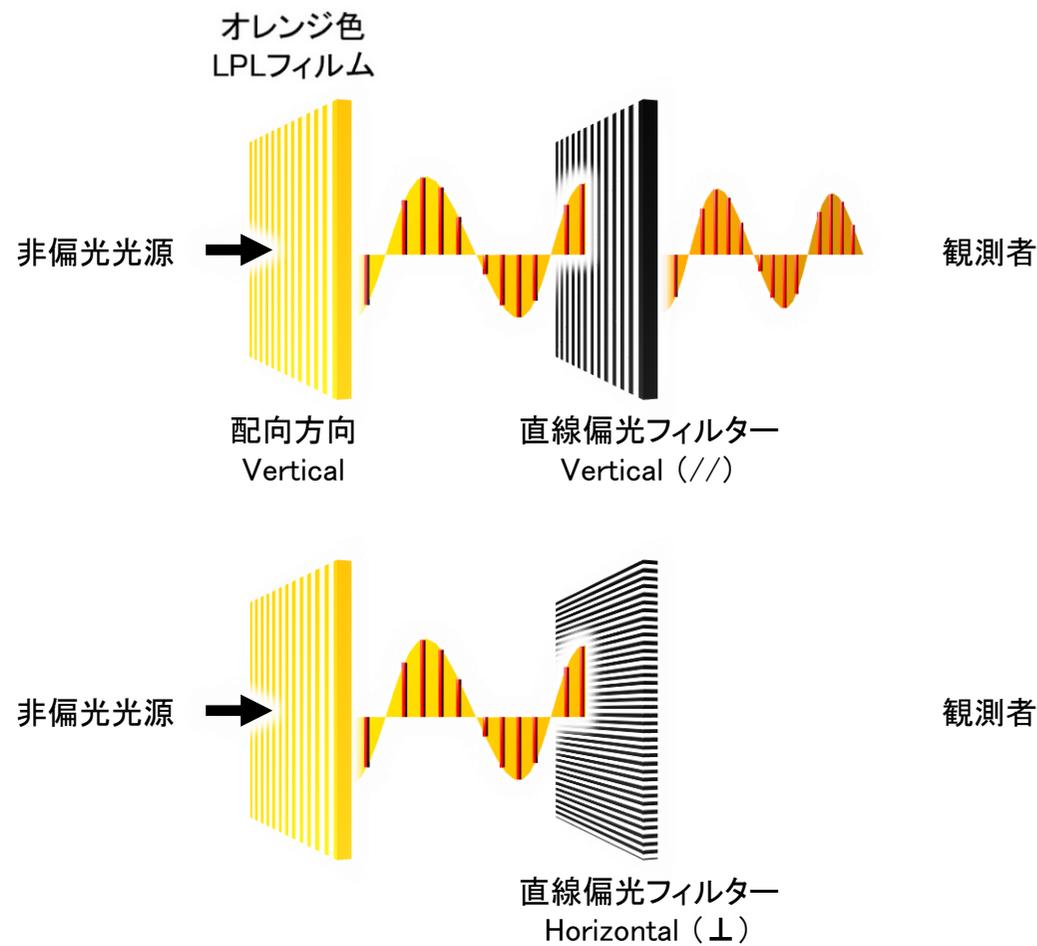
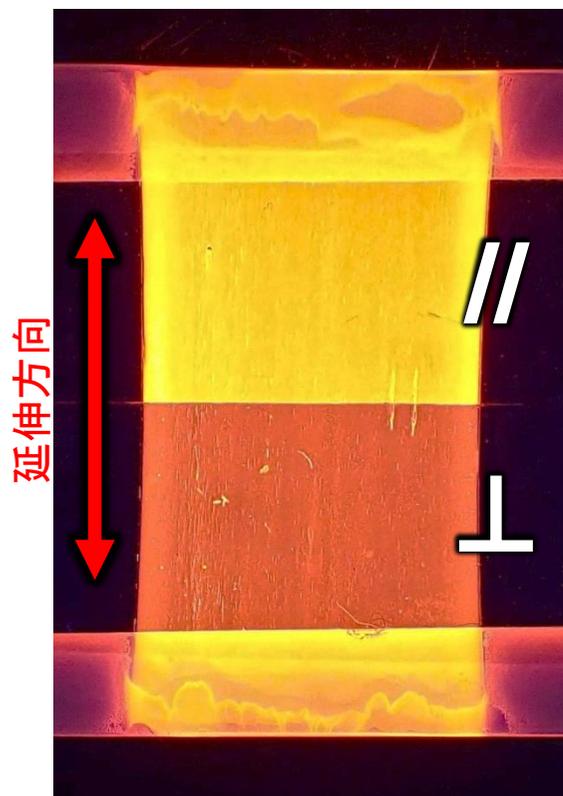
---

- 直線偏光発光(LPL)の大きな偏光度をそのまま円偏光に変換  
→ 「円偏光純度と明るさの両立」が可能
- 既存の発光体を活用可能(キラル分子の合成が不要)  
→ 高輝度発光、発光色制御が可能
- スペクトル形状・強度・偏光度を変えることなく、偏光(右or左)のみを容易に変更可能
- LPLフィルムの積層により、光学情報の多重化が可能
- 円偏光変換に電源を必要とせず、フレキシブル化も容易
- 製造にあたり既存の延伸フィルム製造装置をそのまま活用可能



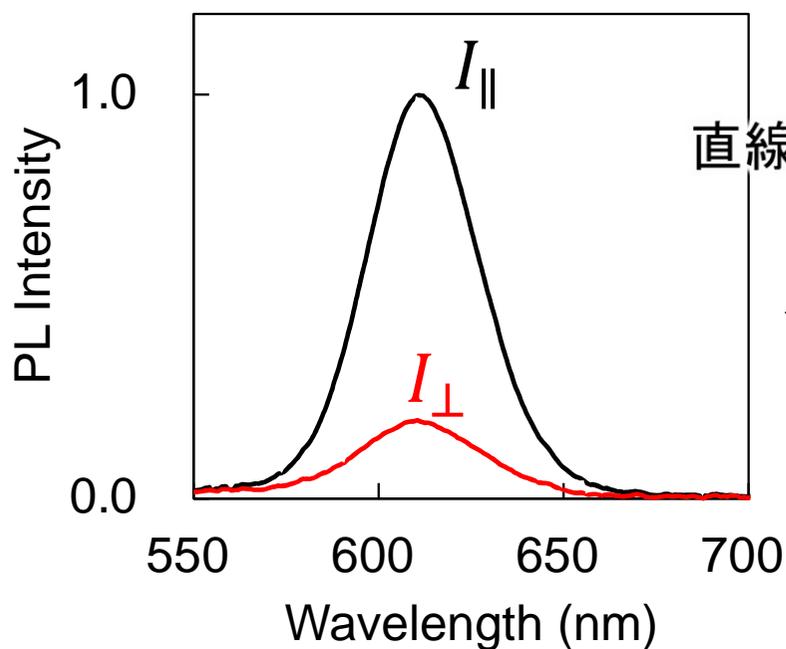
# LPLフィルムの目視評価

直線偏光フィルターを通して観察した  
LPLフィルムの様子



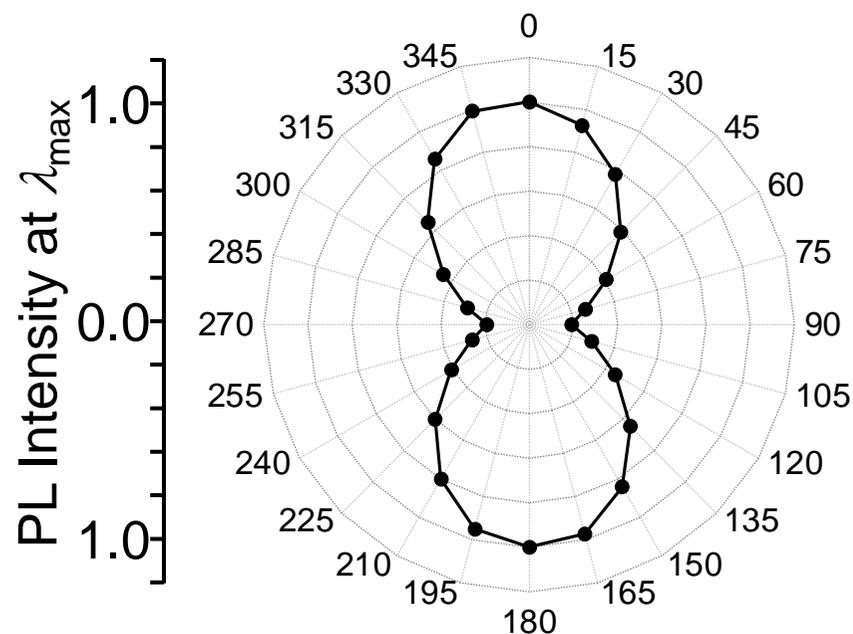
フィルターを用いて肉眼で確認できる程大きな偏光度のLPLを確認

# LPLフィルムのスペクトル評価



直線偏光度の計算式

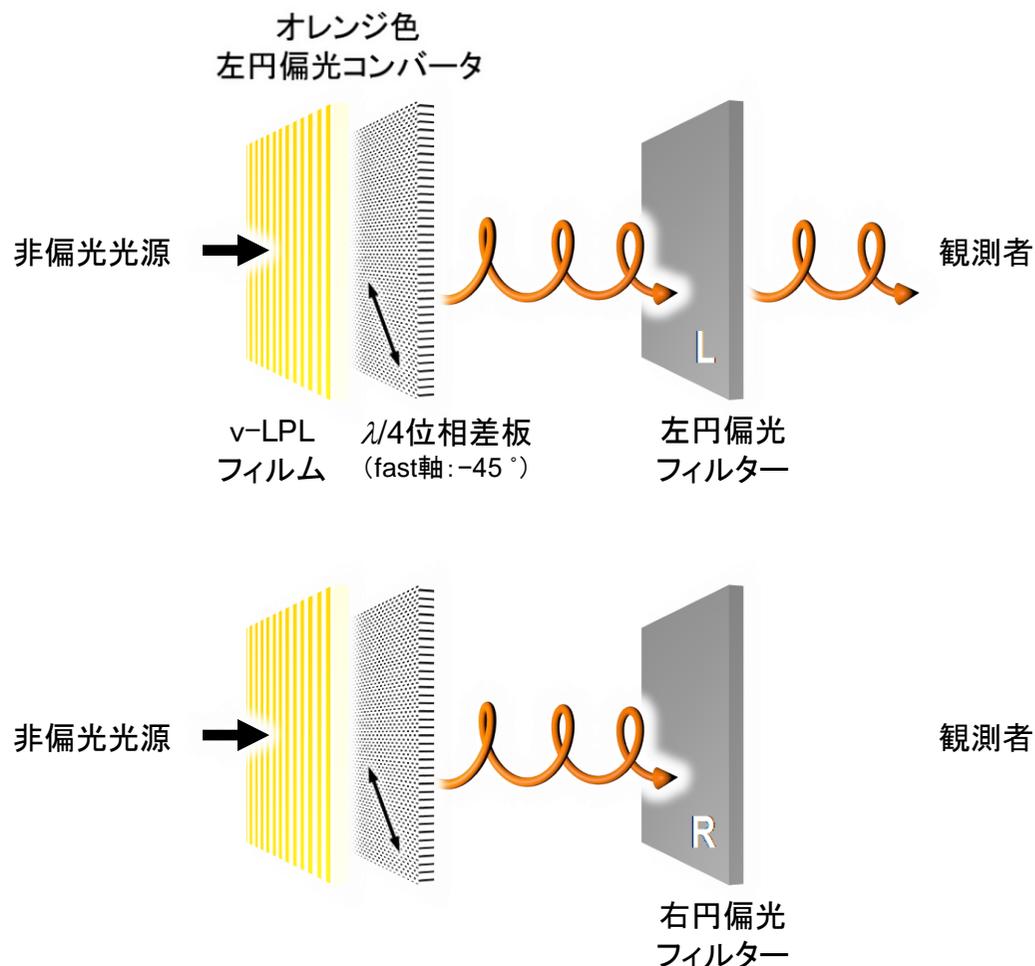
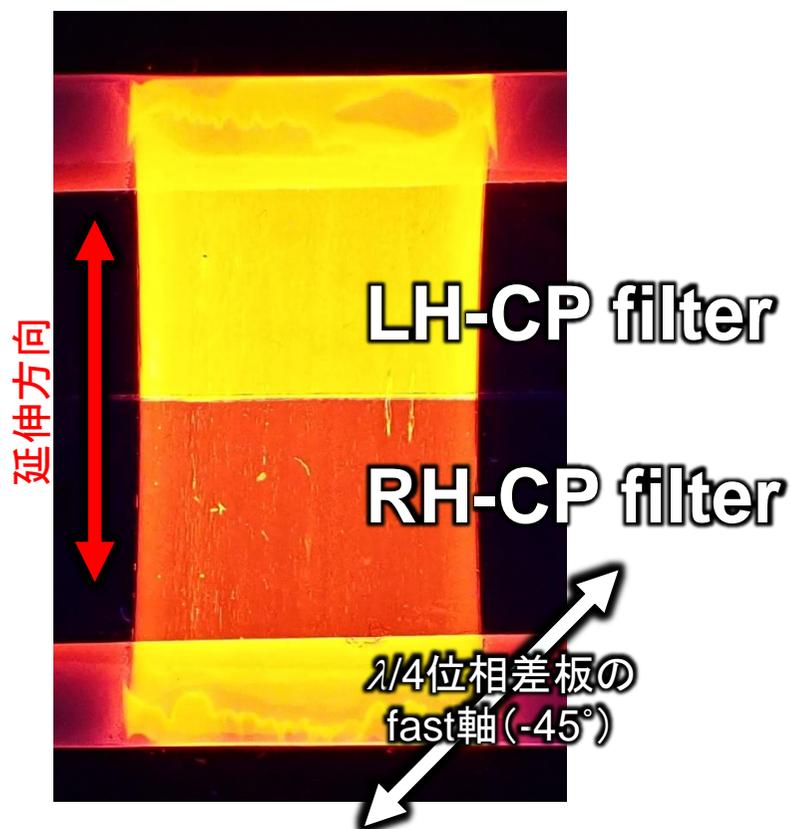
$$P_{LP} = \frac{I_{\parallel} - I_{\perp}}{I_{\parallel} + I_{\perp}}$$



大きな偏光度 ( $P_{LP} = 0.68$ ) の直線偏光発光

# 左円偏光コンバータの目視評価

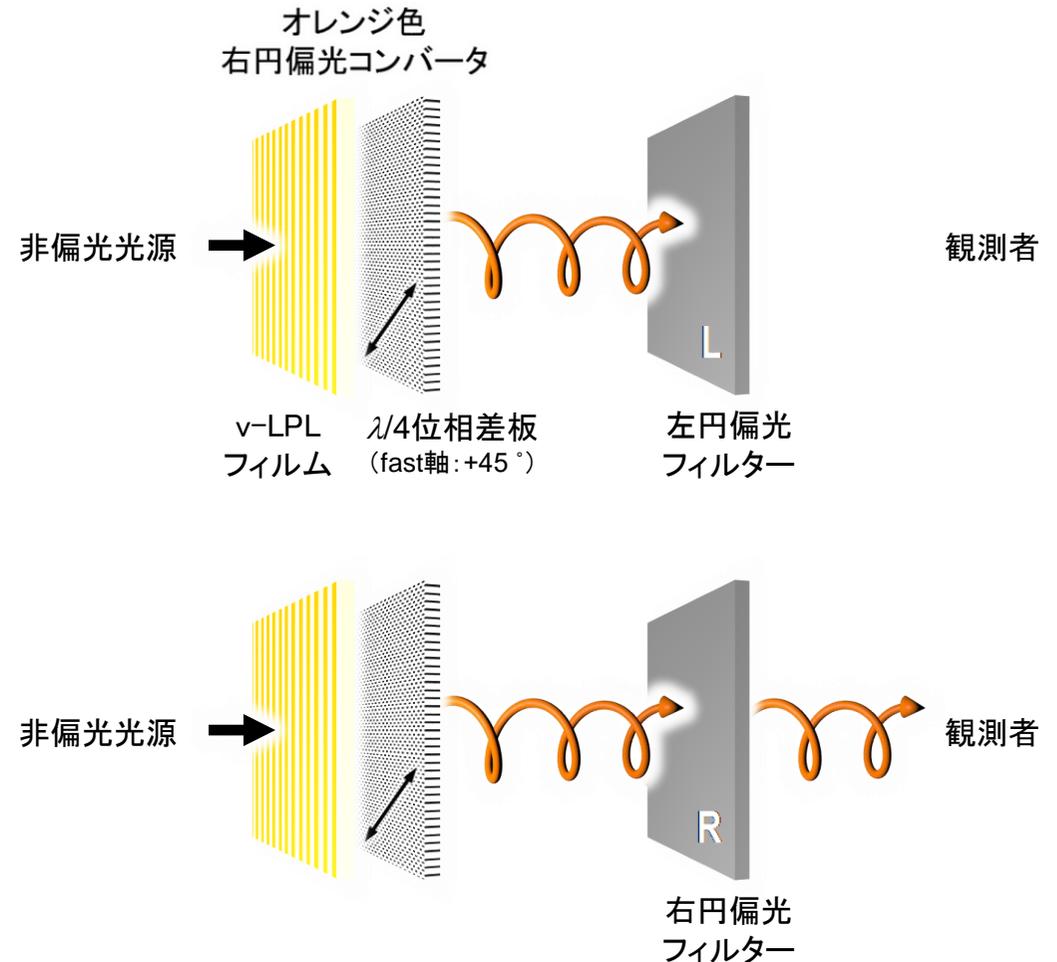
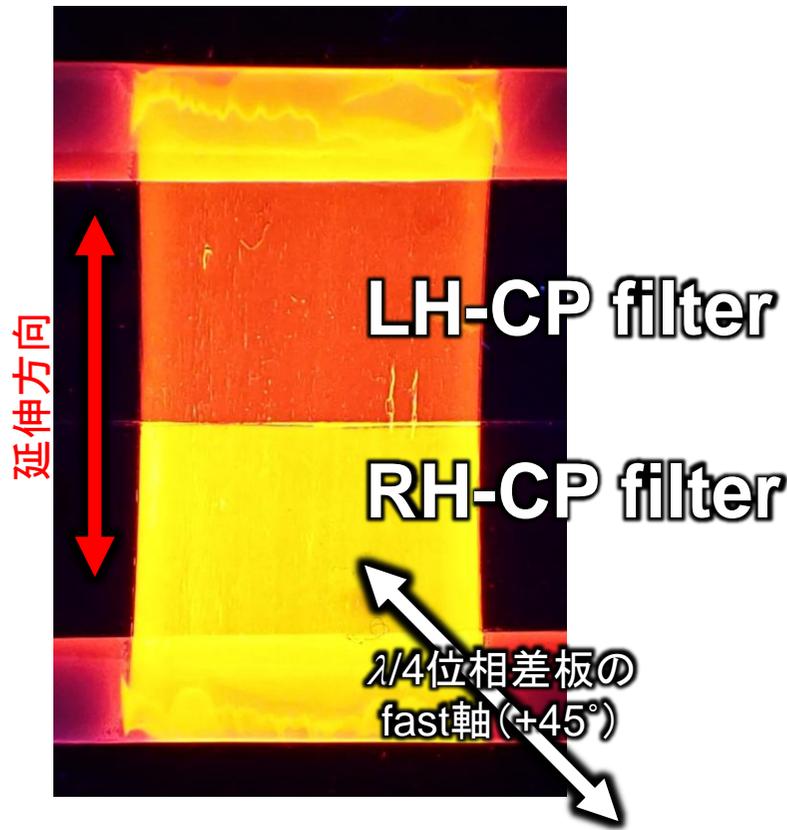
円偏光フィルターを通して観察した  
左円偏光コンバータの様子



フィルターを用いて肉眼で確認できる程大きな左円偏光を確認

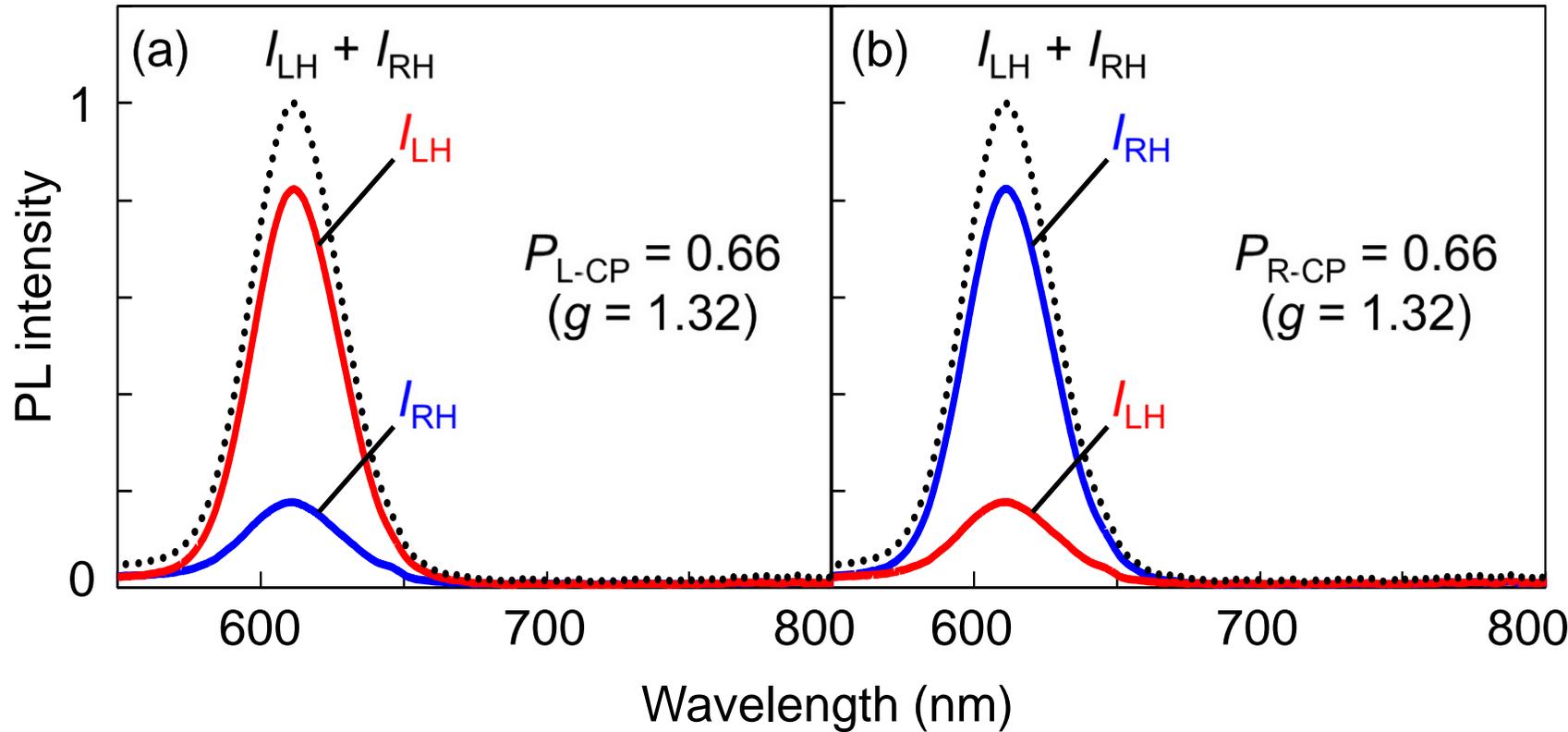
# 右円偏光コンバータの目視評価

円偏光フィルターを通して観察した  
右円偏光コンバータの様子



フィルターを用いて肉眼で確認できる程大きな右円偏光を確認

# 円偏光コンバータのスペクトル評価

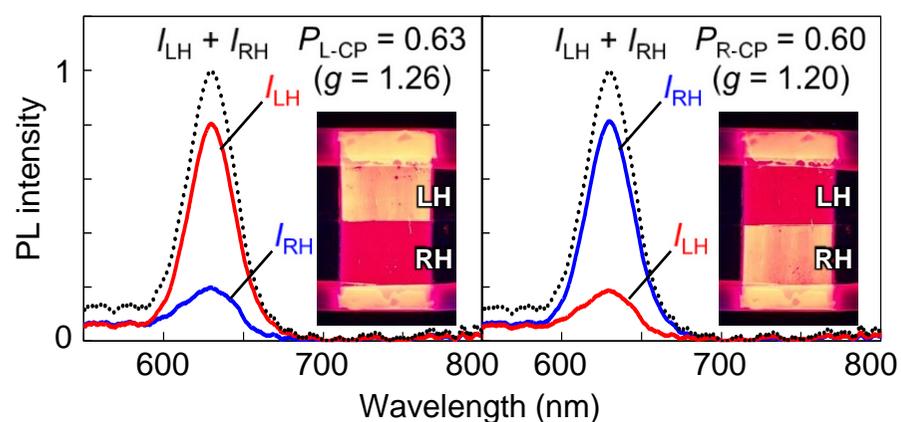
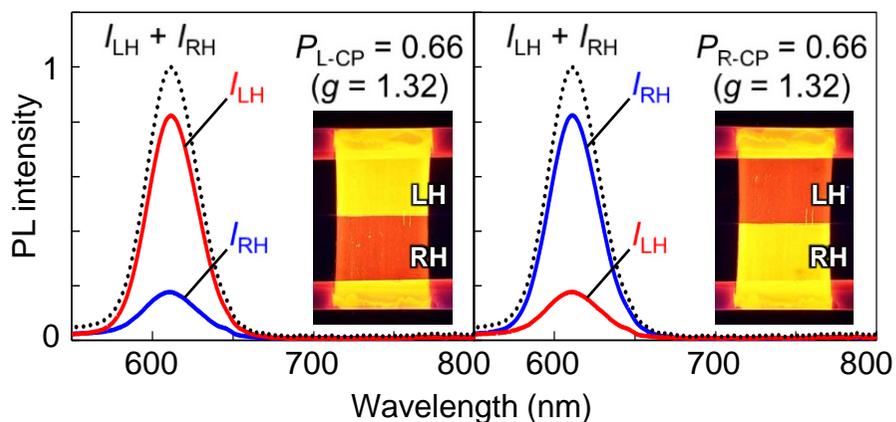
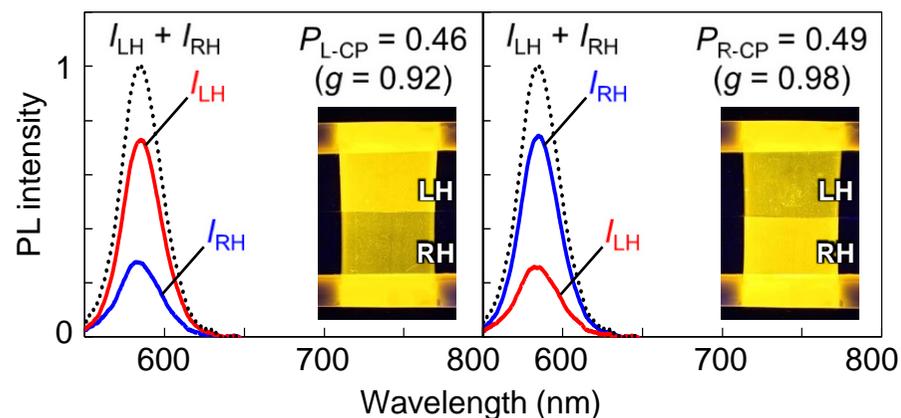
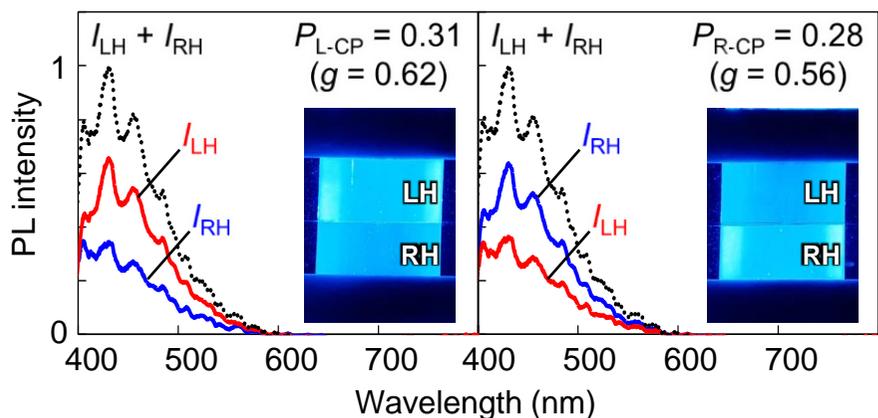


円偏光度の計算式

$$P_{CP} = \frac{|I_{LH} - I_{RH}|}{I_{LH} + I_{RH}}$$

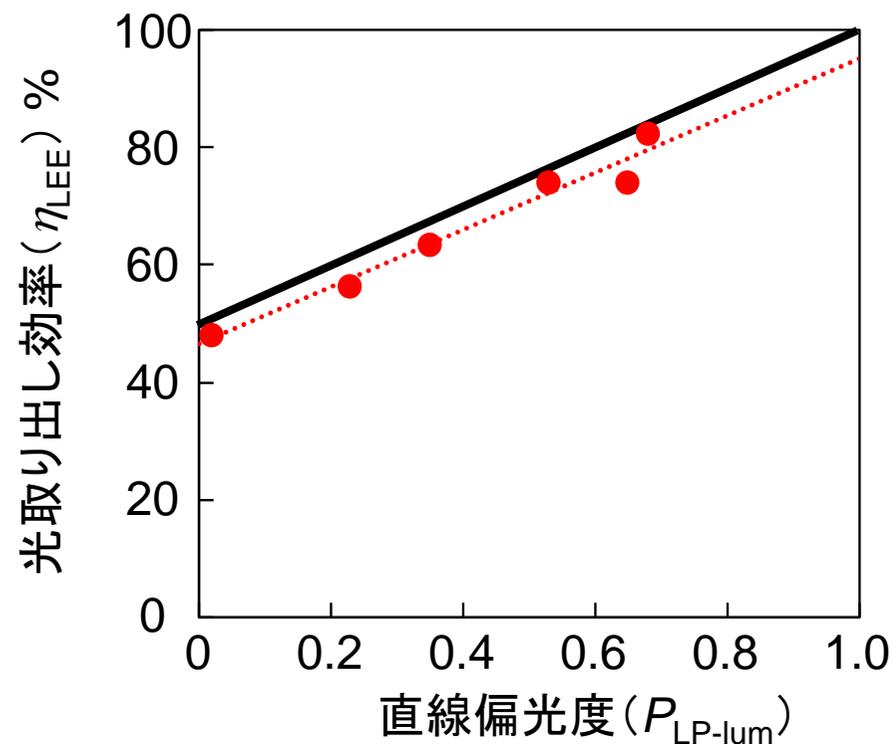
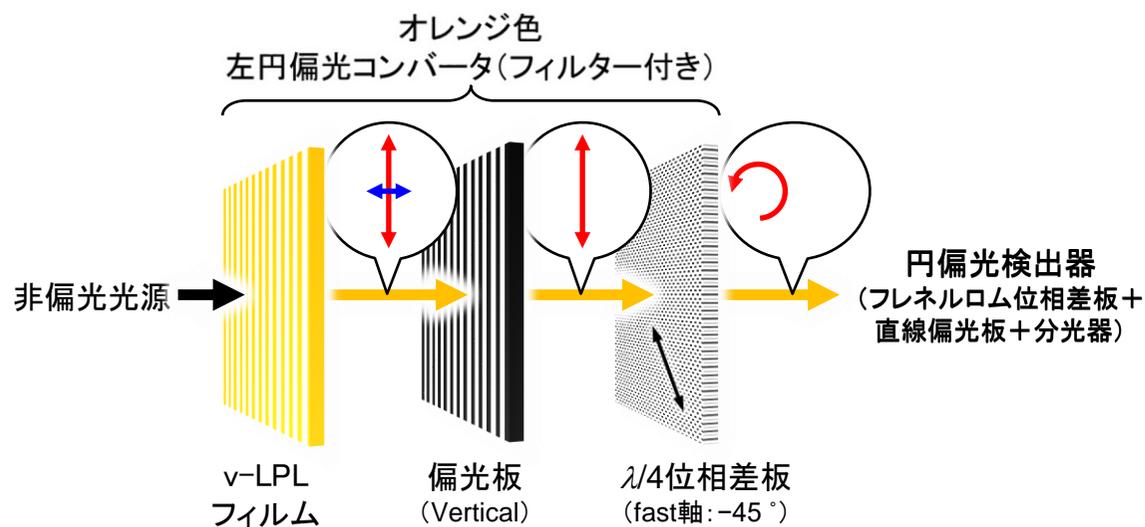
- ✓ LPLの偏光度(0.68)に相当する大きな偏光度(0.66)の左円偏光
- ✓  $\lambda/4$ 位相差板のfast軸の角度を $-45^\circ$ から $+45^\circ$ に変更  
 → 大きな円偏光純度(66%)を維持したまま、右円偏光にスイッチ

# 各種円偏光コンバータ



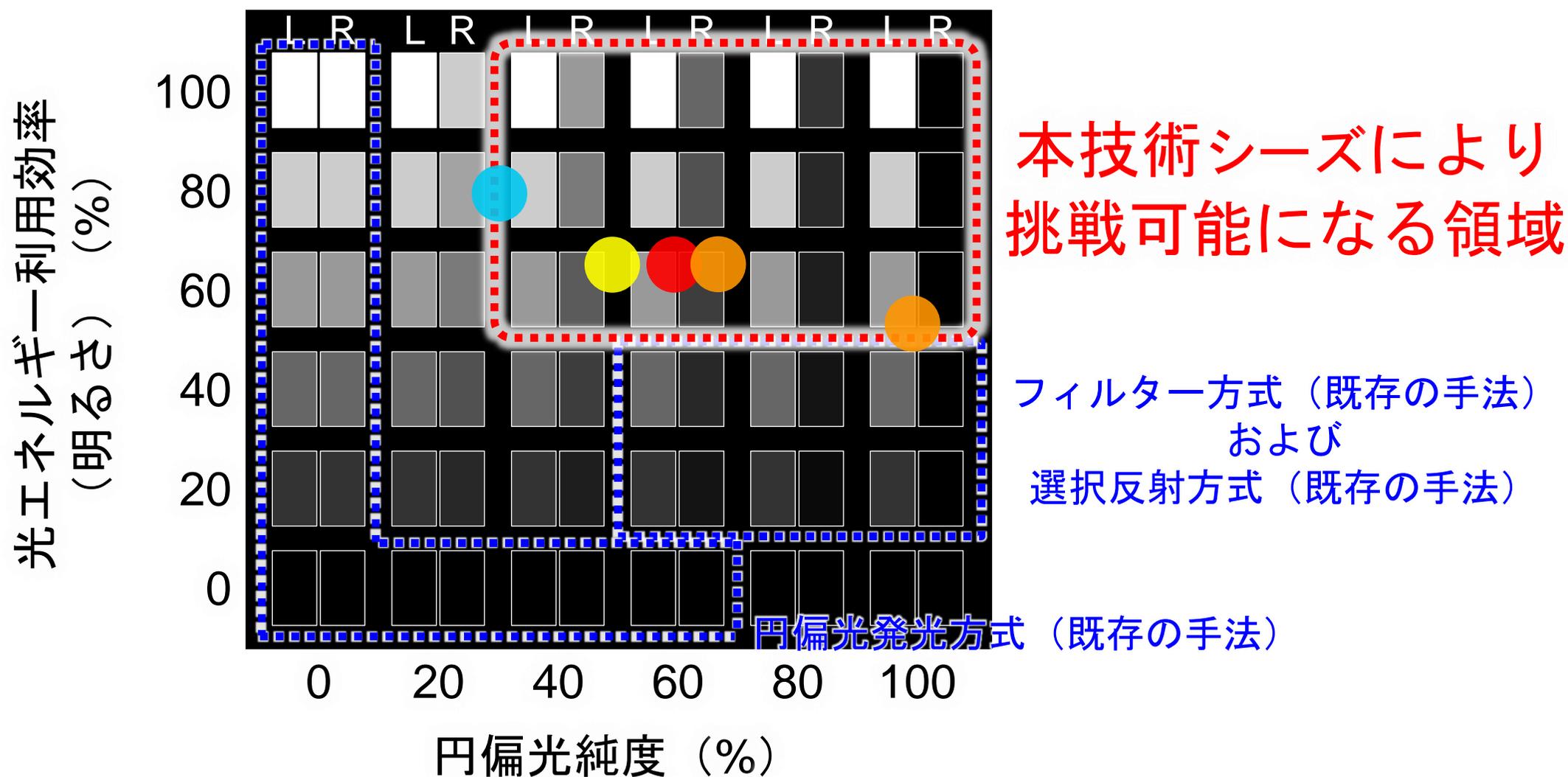
青色、黄色、橙色、赤色の左右円偏光コンバータを作製

# 円偏光コンバータ（フィルター付き）

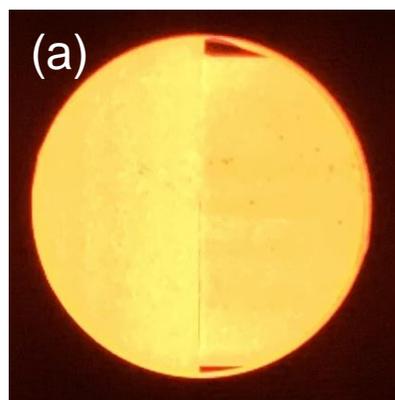
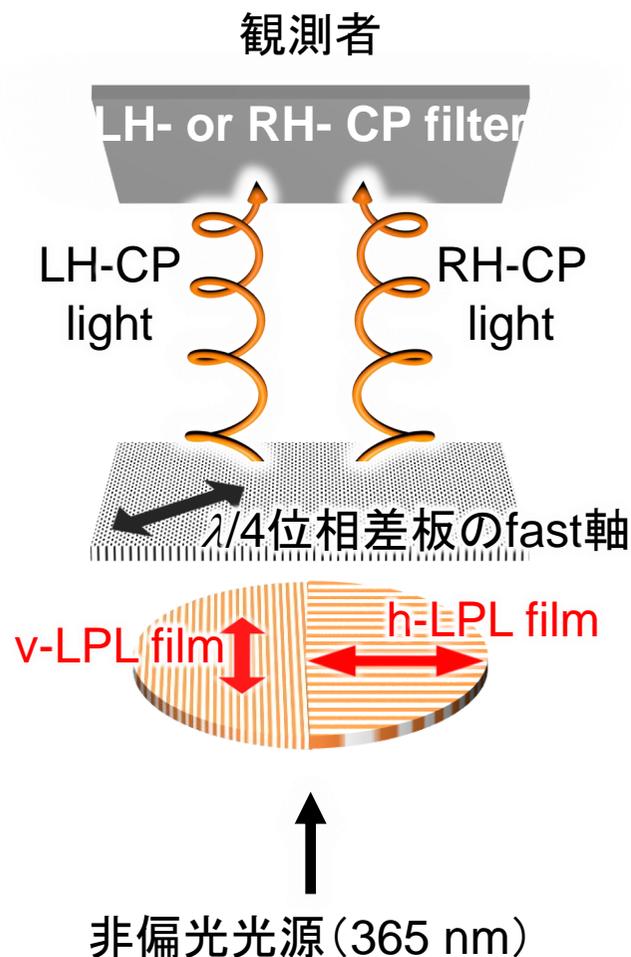


円偏光純度 (>96%) かつ光エネルギー利用効率 (50-56%) で  
左円偏光を生成

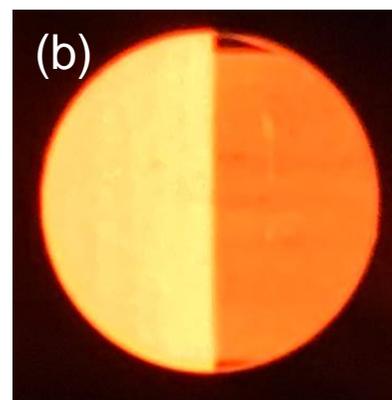
# 新技術の特徴（ここまでのまとめ）



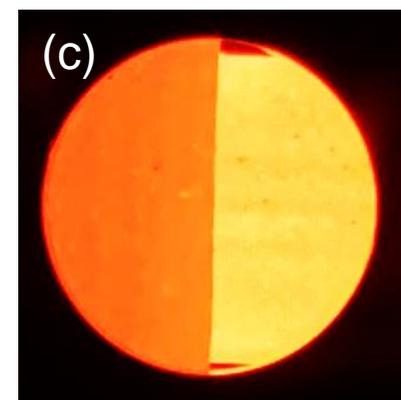
# 並列型の円偏光コンバータの例



フィルターなし



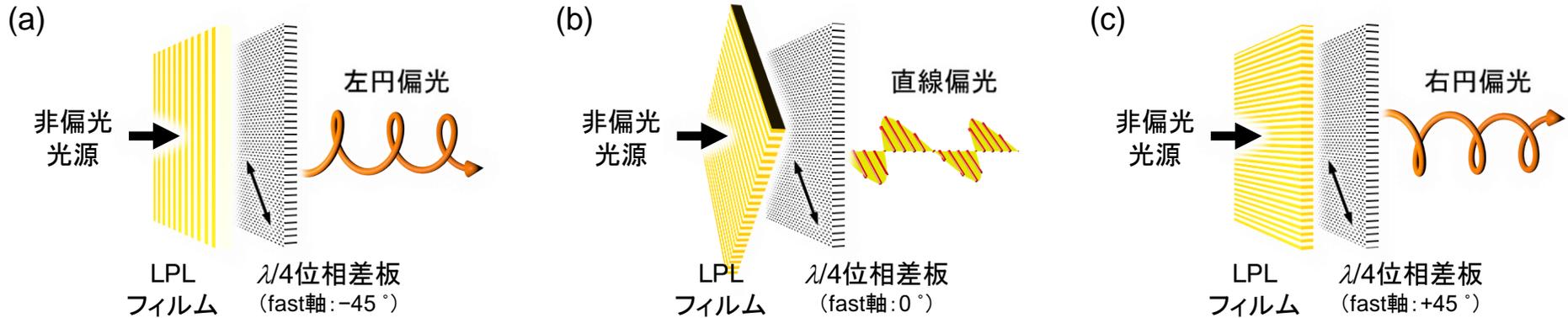
左円偏光フィルター  
を通して観測



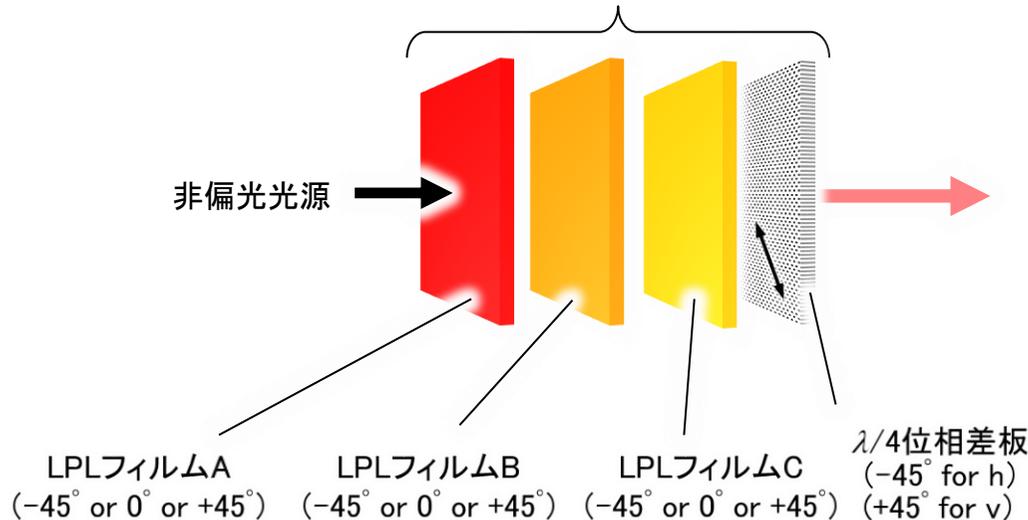
右円偏光フィルター  
を通して観測

配向パターンニングする事により、偏光特性のみの違いでセキュリティ描画も可能に

# 多層型の円偏光コンバータの例

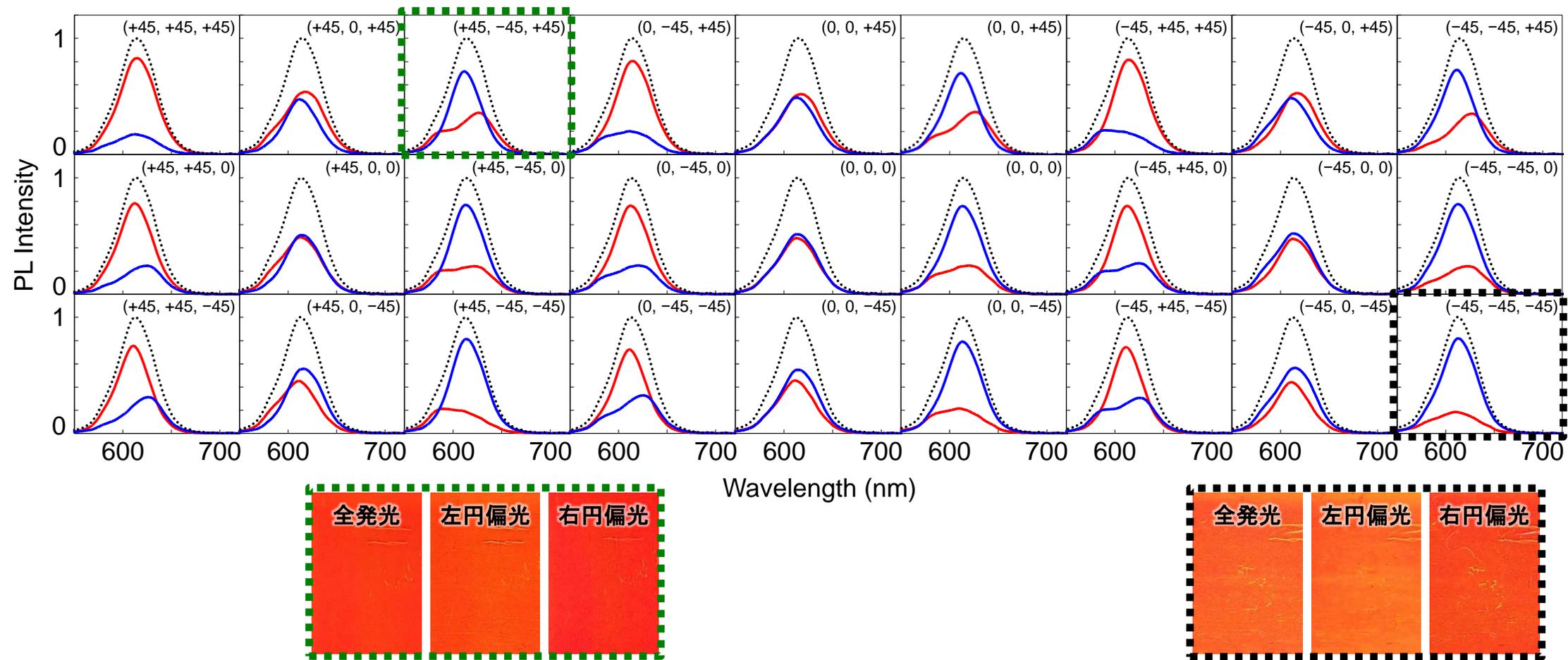


黄色 (左 or 非 or 右)、オレンジ色 (左 or 非 or 右)、赤色 (左 or 非 or 右)  
多層型円偏光コンバータ



発光スペクトルが同じでも  
3層型の場合は  $3 \times 3 \times 3 = 27$   
通りの偏光情報を取り得る

# 多層型の円偏光コンバータの例



3層型円偏光コンバータにより、27通りの光学情報の作り分けを実証  
→ フィルターを用いた目視確認で識別困難なセキュリティ描画も可能に

## 想定される用途

---

- 植物育成速度向上のための偏光変換フィルム  
(ビニールハウスや植物工場にて使用)
- 太陽電池の変換効率向上のための偏光変換フィルム
- 機密度向上のためのセキュリティ印刷(紙幣やIDカードなど)

## 実用化に向けた課題

---

- 現在、青色、黄色、オレンジ色、赤色発光体を封入したLPL性ポリマーフィルムによる円偏光コンバータを開発済み(コンセプトの実証済)。
- 今後、用途ごとの要求特性(発光波長、強度、偏光度、フレキシブル材料かどうか等)に合わせた最適化条件設定を行っていく。
- 実用化に向けては、大面積化技術の確立や、耐久性試験、安全性確認などを行う必要もあり。

## 企業への期待

---

- 用途ごとの課題に対して、企業との共同研究を通して一緒に進めて行けたら有り難い。
- 材料を使う側の企業の意見も知りたい。
- SDGsの視点でも本技術シーズは魅力があると考え  
る。持続可能な社会の実現に向けて、これまでうまく  
使いこなせていない新しい光エネルギー（円偏光）を  
使いこなすための技術・材料開発に興味のある企業  
と共同研究を進めたい。

## 本技術に関する知的財産権

---

- 発明の名称 : 円偏光素子及びそれを用いた照明装置
- 出願番号 : 特願2021-194157
- 出願人 : 京都大学
- 発明者 : 岡崎豊、木村美咲、赤瀬川怜、塚本桂大、蜂谷寛、佐川尚

# お問合せ先

---

**株式会社 T L O 京都**  
**京大技術移転部**

**T E L 075-753-9150**

**e-mail [event@tlo-kyoto.co.jp](mailto:event@tlo-kyoto.co.jp)**