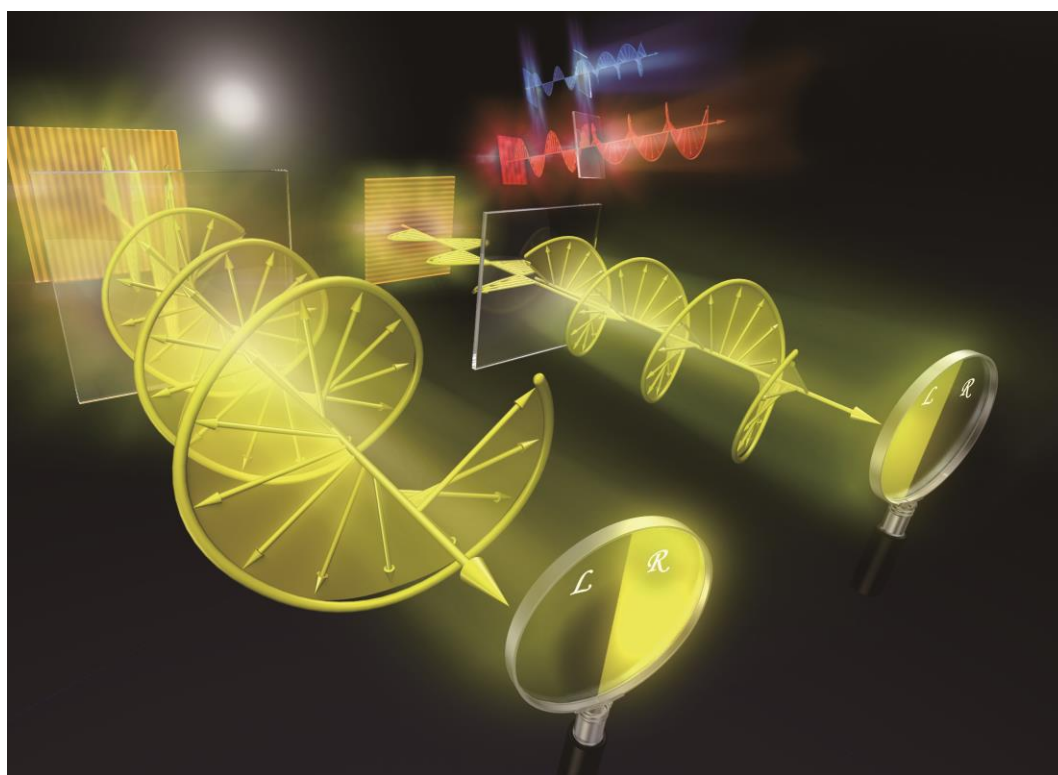


## 発光式円偏光コンバータの開発に成功

—円偏光純度と明るさを両立させる新たな円偏光生成技術として期待—

### 概要

岡崎豊 エネルギー科学研究科助教、木村美咲 同修士課程学生（当時）、佐川尚 同教授らの研究グループは、円偏光純度と明るさを両立させる「発光式円偏光コンバータ」の作製に成功しました。円偏光とは、光強度（明るさ）や波長（色）に加えて偏光情報（右 or 左巻き）をもつ特徴的な光です。近年は、植物の成長速度や太陽電池の変換効率に対する円偏光照射効果が報告されており、非偏光（太陽光など）から円偏光を生成する技術に関心が集まっています。本研究グループは、偏光度と明るさの両立が原理的に可能である直線偏光発光（LPL）に着目し、LPL と位相制御を組み合わせた「発光式円偏光コンバータ」を作製することで、既存の方法では困難とされてきた円偏光純度と明るさの両立に成功しました。また、LPL フィルムと位相差フィルムの貼合せ角度の調節により、円偏光純度・明るさ・スペクトル形状（色）を変えることなく、偏光（左 or 右）のみを変更できることを実証しました。さらに、LPL フィルムの多層化により、既存の円偏光フィルターでは不可能であった、発光機構（光の足し算）を活かした光情報の多重化にも成功しました。本成果は、2022 年 12 月 16 日に英国の国際学術誌「*Journal of Materials Chemistry C*」にオンライン掲載されました。



© *Journal of Materials Chemistry C*

## 1. 背景

円偏光とは、光強度（明るさ）や波長（色）に加えて偏光情報（右 or 左）をもつ特徴的な光です。偏光面が動かずに伝搬する直線偏光と比べて、どの角度から見ても変わらない「光伝搬における偏光面の回転の向き（右 or 左）」として偏光情報を運ぶ円偏光は、光情報伝達に有利とされています。また近年は、植物の成長速度や太陽電池の変換効率に対する円偏光照射効果が報告されており、太陽光のような非偏光から円偏光を生成する技術は、光学・工学のみならず、環境・エネルギー科学や農学にまで至る様々な分野で注目されています。外部の電源を使用せずに非偏光から円偏光を生成する既存の技術は、主に（1）円偏光子によるフィルター方式、（2）キラル液晶構造による選択反射方式、（3）キラル発光体による円偏光発光（CPL）方式、の3つに大別されます。（1）および（2）は円偏光純度に特化した方式であり、所望で無い側の偏光を吸収および反射することによって高純度を達成しているため、光強度は原理的に低くなります。また、（3）は発光体の選択により高い光強度が期待できますが、一般的に円偏光純度と光強度の間にトレードオフの関係があることが知られています。そのため、円偏光純度と光強度の両方を高い水準で満たすことができる、新しい円偏光生成技術が切望されてきました。

一方で、直線偏光発光（LPL）は、直線偏光度と光強度はそれぞれ独立したパラメータとして振る舞うため、両者を高い水準で満たすことが原理的に可能です。しかしながら、円偏光生成手法として LPL の特徴にスポットライトを当てた研究はこれまで進められてきませんでした。

## 2. 研究手法・成果

本研究では、円偏光純度と光強度を両立させるための新たなアプローチとして、LPL 材料と位相差材料を組み合わせた「発光式円偏光コンバータ」というコンセプト（図1）を提案し、開発を試みました。具体的には、まず、発光性一次元ナノ構造体である CdSe/CdS コアシェル型量子ロッド（QR）を、室温で延伸可能な透明ポリマーであるエチレン酢酸ビニルコポリマー（EVA）中に分散させた、QR/EVA 複合フィルムを作製しました。この QR/EVA 複合フィルムを延伸することにより、EVA フィルム中で QR を一次元配列させた LPL フィルムを作製しました。この LPL フィルムの偏光軸に対して、 $\lambda/4$  位相差フィルムの fast 軸が  $-45^\circ$  になるように両フィルムを重ねることにより、左円偏光コンバータを作製しました。450 nm の非偏光を励起光として照射した際の発光強度を比較すると、左円偏光成分：右円偏光成分 = 83 : 17、すなわち円偏光度  $P_{CP} = 0.66$  を示しました。これが非常に大きな円偏光度である事は、左右の縁偏光フィルターを通して肉眼で明暗の差として明確に区別できることで体感できます（図2）。また、この LPL フィルムに  $\lambda/4$  位相差フィルムを貼合せる角度を  $-45^\circ$  から  $+45^\circ$  に変更すると、偏光度 ( $P_{CP} = 0.66$ )・明るさ・スペクトル形状を維持したまま、左円偏光を右円偏光に変換することができました。さらに、光吸収機構（光の引き算）ではなく発光機構（光の足し算）に基づく「発光式円偏光コンバータ」は、複数の LPL フィルムを積層することによって、持ち味をさらに引き出すことができます。例えば、赤色、オレンジ色、黄色発光性の3色の LPL フィルムを、それぞれ3通りの貼合せ角度（ $-45^\circ$ 、 $0^\circ$ 、 $+45^\circ$ ）で積層するだけで、 $3 \times 3 \times 3 = 27$  通りの光学情報（波長、光強度、偏光の組み合わせ）の作り分けができることを明らかにしました。

本研究で提案した「発光式円偏光コンバータ」というコンセプトは、既存の（1）～（3）の方式が抱えるジレンマを解決できる新たな円偏光生成アプローチとして位置づけられます。今後、さまざまな分野で円偏光の社会実装が進められるにあたり、重要な技術となることが期待される。

### 3. 波及効果、今後の予定

この成果は、植物育成速度向上のための偏光変換フィルム、太陽光発電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などに向けた基盤技術となることが期待されます。

### 4. 研究プロジェクトについて

本研究は、以下の支援を受けて行われました。

- ・ JSPS 科研費 (19K15376、20KK0122)
- ・ 京都大学 SPIRITS2020
- ・ 増屋記念基礎研究振興財団 2022 年度研究助成
- ・ 関西エネルギー・リサイクル科学研究振興財団 (KRF) 2021 年度 KRF 試験研究助成

#### <論文タイトルと著者>

タイトル : Luminescence-based circular polarization convertors: polarization conversion of linearly polarized photoluminescence from one-dimensionally aligned quantum rods using retardation films (発光式円偏光コンバータ：一次元配列量子ロッドからの直線偏光フォトルミネセンスの位相差フィルムによる偏光変換)

著者 : Yutaka Okazaki,\* Misaki Kimura, Kan Hachiya, and Takashi Sagawa\*

掲載誌 : *Journal of Materials Chemistry C*

DOI : 10.1039/d2tc03955a

< 参考図表 >

## 発光式円偏光コンバータ

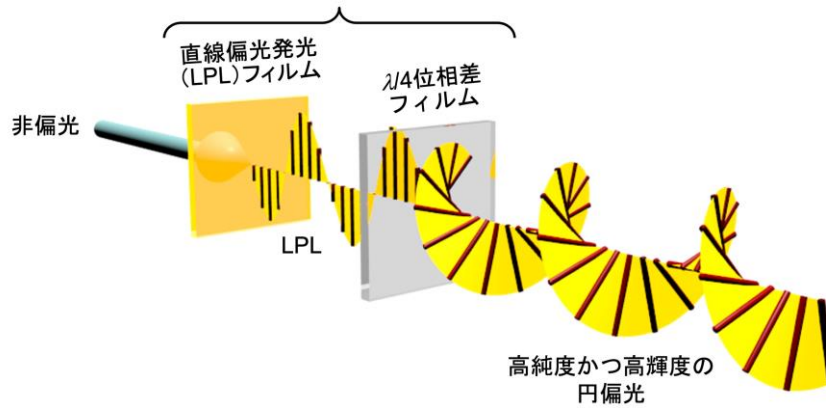


図1 円偏光純度と明るさを両立させるための円偏光生成アプローチ「発光式円偏光コンバータ」の模式図

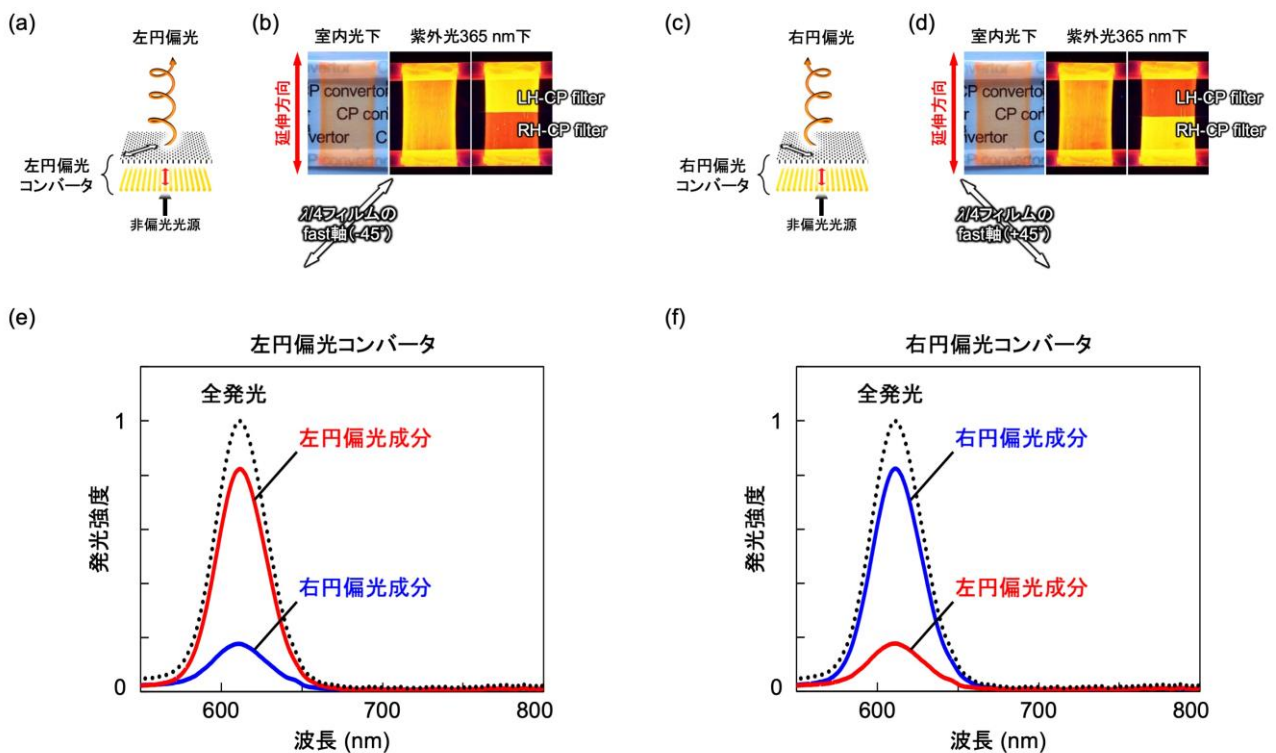


図2 (a) 左円偏光コンバータの模式図。(b) 左円偏光コンバータの室内光下 (左) および 365 nm の紫外光下 (中央および右) での写真。右の写真は、左および右円偏光フィルターを通して観察した様子。(c) 右円偏光コンバータの模式図。(d) 右円偏光コンバータの室内光下 (左) および 365 nm の紫外光下 (中央および右) での写真。右の写真は、左および右円偏光フィルターを通して観察した様子。(e-f) オレンジ色発光式円偏光コンバータの発光スペクトル。450 nm の非偏光を照射した際の、左 (e) および右 (f) 円偏光コンバータの結果。黒点線、赤実線、青実線は、それぞれ全発光、左円偏光成分、右円偏光成分を表す。