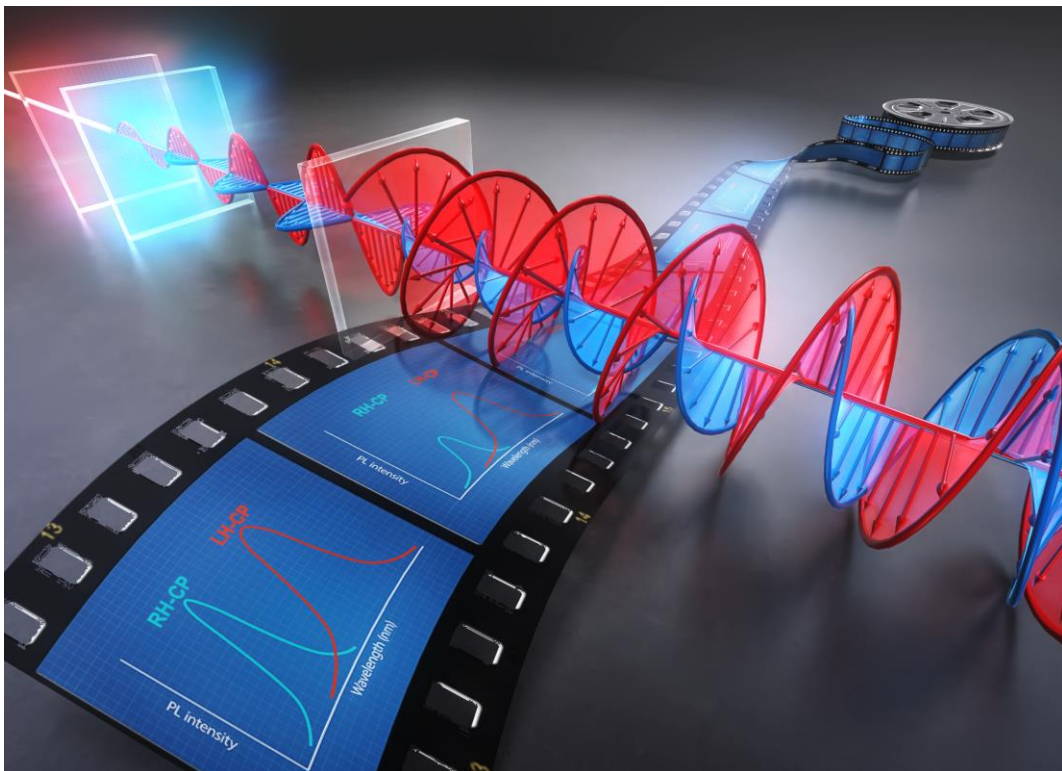


# 時間変化する円偏光スペクトルの生成と読み出しに成功

—光記録や偽造防止技術への円偏光利用に期待—

## 概要

京都大学大学院エネルギー科学研究科 岡崎豊 助教、清水快樹 同修士課程学生、佐川尚 同教授、熊本大学 高藤誠 教授、University of Bordeaux André DEL GUERZO 教授らの国際共同研究グループは、時間変化する円偏光スペクトルの生成とその読み出しに成功しました。発光機構を活用してつくり出す円偏光には、光強度（明るさ）、波形（色）、偏光情報（右 or 左巻き）に加えて、発光寿命に基づく時間情報が含まれます。これらのパラメータを自在に制御する光情報多重化技術は、光記録や偽造防止技術として注目を集めています。しかし、既存の方法では各パラメータを独立に制御することは困難であり、各パラメータの自在制御を可能にする材料設計のための新たなアプローチが切望されていました。本国際共同研究グループは、発光寿命が異なる2種類の直線偏光発光（LPL）フィルムと位相差フィルムを積層した「多層型発光式円偏光コンバータ」を作製し、パルス励起光の照射で生成される円偏光スペクトルの時間変化を検出することにより、時間多重化された円偏光情報の読み出しに成功しました。得られた結果は、光記録や偽造防止技術への貢献が期待されます。本成果は、2023年12月28日に英国の国際学術誌「*Materials Advances*」にオンライン掲載されました。



(KyotoU/Okazaki Lab)

## 1. 背景

円偏光は、光強度（明るさ）や波形（色）、そして偏光情報（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、移動する物体間での光情報授受に有利とされています。また、発光機構を活用してつくり出す円偏光には、光強度（明るさ）、波形（色）、偏光情報（右 or 左）に加えて、発光寿命に基づく時間情報が含まれます。このように豊富な情報を光に込めることができることから、これらのパラメータを自在に制御する光情報多重化技術は、光記録や偽造防止技術として注目を集めています。しかし、既存の方法では、各パラメータを独立に制御することは困難であり、各パラメータの自在制御を可能にする材料設計のための新たなアプローチが切望されていました。

## 2. 研究手法・成果

本研究では、発光寿命が異なる2種類の直線偏光発光（LPL）フィルムと $\lambda/4$ 位相差フィルムを組み合わせた「多層型発光式円偏光コンバータ」を作製し、パルス励起光の照射で生成される円偏光スペクトルの時間変化を検出することにより、時間多重化された円偏光情報の読み出しを試みました。具体的には、まず、蛍光寿命が短い発光体として、発光性ポリマーである poly[2-methoxy-5-(2-ethylhexyloxy)-1,4-phenylenevinylene] (MEH-PPV) を、蛍光寿命が長い発光体として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、それぞれ選定しました。発光体とエチレン酢酸ビニルコポリマー (EVA) をトルエン中で混合し、キャスト法にて複合フィルムを得ました。得られた複合フィルムを延伸することにより、MEH-PPV および QR を含む LPL フィルム (LPL<sub>MEH-PPV</sub> および LPL<sub>QR</sub>) を作製しました。LPL<sub>MEH-PPV</sub> フィルムの極大発光波長 586 nm における発光の直線偏光度 ( $P_{LP-lum}$ ) は 0.88 と非常に大きい値を示し、蛍光寿命は 0.3 ns でした。また、LPL<sub>QR</sub> フィルムの極大発光波長 607 nm における発光の直線偏光度 ( $P_{LP-lum}$ ) は 0.68 であり、蛍光寿命は LPL<sub>MEH-PPV</sub> フィルムのおよそ 12 ns と 40 倍長い蛍光寿命を示しました。両フィルムを用いて LPL<sub>MEH-PPV</sub> - LPL<sub>QR</sub> -  $\lambda/4$  の順に積層することにより、多層型発光式円偏光コンバータを作製しました。 $\lambda/4$  の fast 軸に対する LPL<sub>MEH-PPV</sub> および LPL<sub>QR</sub> の偏光軸の角度をそれぞれ  $\theta_{MEH-PPV}$  および  $\theta_{QR}$  とし、(1)  $\theta_{MEH-PPV} = \theta_{QR} = -45^\circ$  (**Multi-V<sub>MEH-PPV</sub>V<sub>QR</sub>**)、(2)  $\theta_{MEH-PPV} = -45^\circ$  かつ  $\theta_{QR} = +45^\circ$  (**Multi-V<sub>MEH-PPV</sub>H<sub>QR</sub>**)、(3)  $\theta_{MEH-PPV} = +45^\circ$  かつ  $\theta_{QR} = -45^\circ$  (**Multi-H<sub>MEH-PPV</sub>V<sub>QR</sub>**)、および (4)  $\theta_{MEH-PPV} = \theta_{QR} = +45^\circ$  (**Multi-H<sub>MEH-PPV</sub>H<sub>QR</sub>**) の 4 通りの貼り合わせ方の異なる多層型発光式円偏光コンバータを作製しました。作製した 4 種類の多層型発光式円偏光コンバータに 470 nm の非偏光定常光を照射すると、全発光はほぼ同じスペクトルパターンにも関わらず、左右の円偏光成分がそれぞれ異なるスペクトルパターンをつくり出すことを確認しました。次に、円偏光セットアップを備えた蛍光寿命測定装置を用いて、これらの多層型発光式円偏光コンバータに 470 nm の非偏光パルス光を照射した際の円偏光スペクトルの時間変化を測定することにより、円偏光スペクトル形状が観測時間によって変化していく様子を捉えることに成功しました。

本研究で提案した「多層型発光式円偏光コンバータ」というコンセプトは、円偏光発光体を使用せず、高い偏光度と高い発光強度の両立が原理的に可能な LPL に着目した新たな手法です。LPL 材料の選択により、作り出したい円偏光スペクトルを自由に設計できるようにすることから、既存の方法が抱える課題を解決す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、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 (23K13620、22KK0070、20KK0122)
- ・ A-STEP 産学共同 (育成型) (JPMJTR22TB)
- ・ 京都大学大学院教育支援機構 (DoGS) 海外渡航助成金

#### <論文タイトルと著者>

タイトル: Generation of time-multiplexed chiroptical information from multilayer-type luminescence-based circular polarization conversion films (多層型発光式円偏光コンバージョンフィルムによる時間多重化カイロプティカル情報の生成)

著者: Yutaka Okazaki,\* Hayaki Shimizu, Kaito Nakamura, Kyohei Yoshida, Guillaume Raffy, Misaki Kimura, Keita Tsukamoto, Rei Akasegawa, Kan Hachiya, Makoto Takafuji, Andre Del Guerzo, Takashi Sagawa\*

掲載誌: *Materials Advances* DOI: 10.1039/d3ma00648d

< 参考図表 >

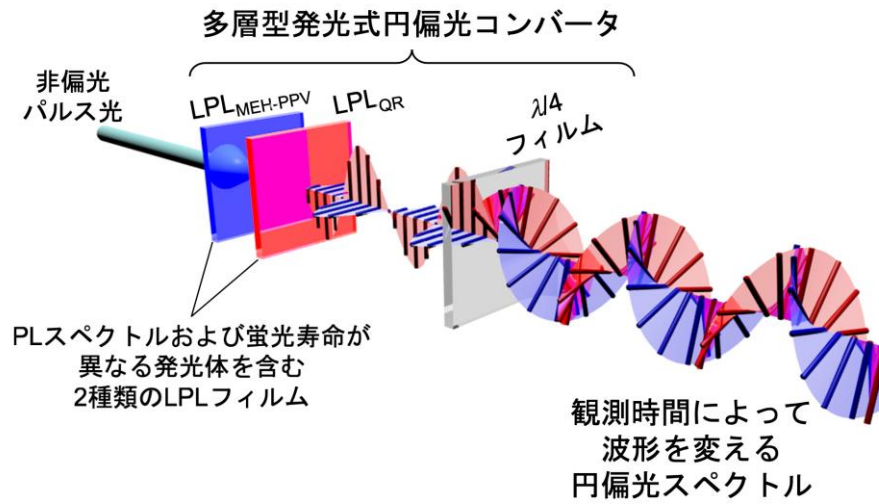


図 1 時間変化する円偏光スペクトルをつくり出す「多層型発光式円偏光コンバータ」の模式図

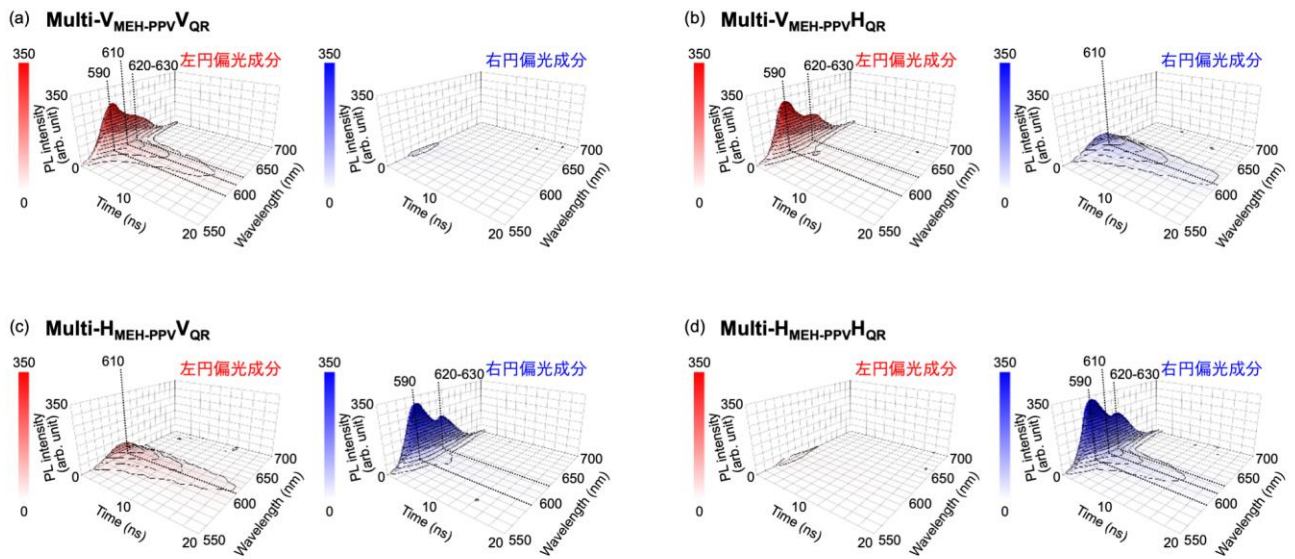


図 2 470 nm の非偏光パルス光を照射した際の、(a) **Multi-V<sub>MEH-PPV</sub>V<sub>QR</sub>**、(b) **Multi-V<sub>MEH-PPV</sub>H<sub>QR</sub>**、(c) **Multi-H<sub>MEH-PPV</sub>V<sub>QR</sub>**、および (d) **Multi-V<sub>MEH-PPV</sub>V<sub>QR</sub>** の多層型発光式円偏光コンバータから生成される左（赤色）および右円偏光成分の時間変化（青色）