

高速離散円偏光変調法による円二色性顕微鏡の高感度化

Highly Sensitive Circular Dichroism Microscopy Realized with High-speed and Discrete Modulation of Circular Polarization

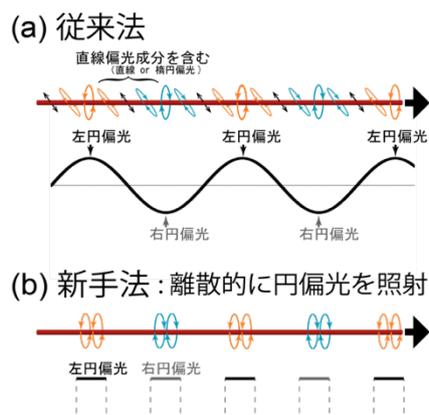
分子研¹ ○成島 哲也¹, 岡本 裕巳¹

Inst. for Mol. Sci.¹, ○Tetsuya Narushima¹, Hiromi Okamoto¹

E-mail: naru@ims.ac.jp

近年、キラルな形状をもつナノ構造体や分子集合体等、分子単体のキラリティに起因せず、メゾスケールでキラルな光学応答を示す例が多数報告されている。我々はこれらの物質の局所的な円二色性(CD)の空間分布を実験的に可視化することにより、キラルな光学特性とその起源の解明を進めてきた[1]。一般に、キラル分子のCDは、光吸収や直線二色性と比較すると、わずか0.01~1%と非常に小さい。この小さなCDを十分な感度で検出するため、光弾性変調器(PEM)により左・右の円偏光を交互に発生し、ロックイン検出を行うという方法が、標準的なCD計測法として採用されている。しかし、PEMが純粋な左右の円偏光を発生するのは、“一瞬”(図1aでsin波の極大極小点)だけで、その他のタイミングでは常に直線偏光成分を含んでいる。即ち、少しでもロックイン検出の位相がずれた場合やPEM素子に歪みがある場合、直線偏光によるアーティファクトの影響を強く受ける。そのため、従来のCD計測では、測定できる試料が異方性のない溶液や等方性物質等に限定されてきた。我々は、純度の高い円偏光だけを繰り返し離散的に照射し(離散円偏光変調法)、直線偏光に起因する信号成分の混入を大幅に抑制できる新手法を提案し(図1b)、信頼性の高いCD計測を可能とした[2]。これにより、ロックイン検出の高い感度を確保しつつ、直線偏光成分を一切含むことがないため、常に信頼性が確保される。さらに、それに基づき開発したCD顕微鏡において、サブ μm の高い空間分解能(300-400 nm)を実現し、キラル物質・材料のイメージング分析を行った[3, 4]。この離散円偏光変調法は、機械式光チョッパーにより左・右の円偏光を交互に照射していたため、変調周波数の原理的な上限が1 kHz程度に制限されていた。また、試料上の一点での信号計測を2次元走査することによりCD像を構築しているため、1枚のイメージ取得時間が20分から1時間かかっていた。生体の活動を司る物質の動態等を解明するには、リアルタイムで観察することが重要だが、現状では計測速度が不足している。今回、80MHz程度の高い繰り返し周波数をもつパルスレーザーを利用し、従来よりも桁違いに高速な離散円偏光変調法を開発した。レーザー光源からのパルスを二分しそれぞれのパルスをもつ左と右円偏光に変換することにより、円偏光の変調周波数が5桁(10^5)向上した。また、CDの検出感度も、従来の離散円偏光変調法と比較し、一桁向上した(光学密度で 10^{-4} から 10^{-5} に向上)。また、イメージ取得時間の大幅な短縮も期待され、キラリティに基づく動態のリアルタイムイメージング分析への道が拓けるものと考えられる。

図1 円偏光変調法の違い



- [1] T. Narushima & H. Okamoto, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **15**, 13805 (2013); *J. Phys. Chem. C*, **117**, 23964 (2013); S. Hashiyada, T. Narushima, H. Okamoto, *J. Phys. Chem. C*, **118**, 22229 (2014); *ACS photonics*, **5**, 1486 (2018); *ACS photonics*, **6**, 677 (2019); T. Narushima, S. Hashiyada, H. Okamoto, *ACS photonics*, **1**, 732 (2014); *Chirality*, **28**, 540 (2016).
- [2] T. Narushima, H. Okamoto, *Sci. Rep.*, **6**, 35731 (2016); 特許第 6784396 号.
- [3] T. Yamada, T. Eguchi, T. Wakiyama, T. Narushima, H. Okamoto, N. Kimizuka, *Chem. Eur. J.*, **25**, 6698-6702 (2019).
- [4] P. Szustakiewicz, N. Kołsut, D. Grzelak, T. Narushima, M. Góra, M. Bagiński, D. Pocięcha, H. Okamoto, L. M. Liz-Marzán, W. Lewandowski, *ACS Nano*, **14**, 12918-12928 (2020).