

分野：自然科学系

キーワード：レーザー、干渉パターン、光輻射圧、カイラル構造、シミュレーション、SDGs

あらゆる光パターンにおける光輻射圧分布の計算が可能に —超配列カイラル構造形成メカニズムのシミュレーションに成功—

【お読みいただく前に】

光を受ける物体に働く圧力を「光輻射圧^{※1}」といいます。

アゾポリマーなどの誘電体材料の表面に光を照射すると、この光輻射圧が発生します。

光の強度分布を人工的に制御し光輻射圧分布を制御することで、ナノ・マイクロ構造を形成することが可能です。

この技術をもちいた光制御デバイスやセンサー作製などの新しい応用が期待されています。

【研究成果のポイント】

- ◆ 任意の強度分布を持つ光を照射された誘電体に働く光輻射圧分布のシミュレーションが可能になった。
- ◆ 干渉パターン照射時の光輻射圧分布のシミュレーションを行い、超配列カイラル構造形成条件を明らかにした。
- ◆ カイラル構造^{※2}を含む 2D・3D ナノ・マイクロ周期配列デバイス構築への応用が期待される。

❖ 概要

大阪大学レーザー科学研究所の中田芳樹准教授らの研究グループは、任意の光強度分布を照射された誘電体表面に働く光輻射圧分布のシミュレーションを初めて可能にしました。従来は集光した光スポットの照射を想定し円筒座標系^{※3}を用いたシミュレーションが行われていましたが、直交座標系^{※4}でシミュレーションコードを再構築することで任意の光強度分布での計算を実現しました。

これを用い、干渉パターン照射時における光輻射圧分布のシミュレーションを行い、円偏光 6 ビーム干渉パターンの場合に光輻射圧分布が点対称かつ均一な螺旋構造になることを見いだしました(図 1)。これは円偏光ガウシアンビーム^{※5}集光スポットと全く同じものです。さらに、同条件を用いた実証実験においてカイラル構造形成を確認しました。これは多点カイラルデバイス作製に繋がる成果であり、さらに多様な形状と機能を持つ 2D・3D ナノ・マイクロ周期デバイス構築への応用が期待されます。

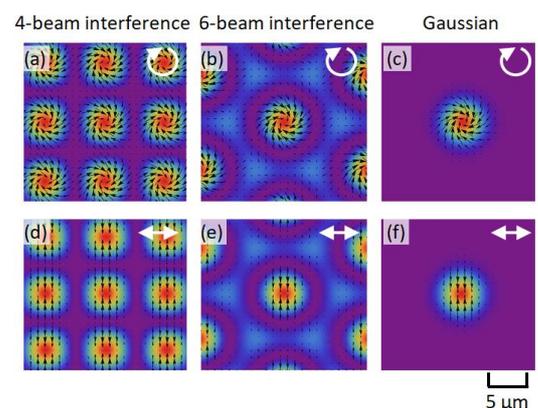


図 1

4 ビーム・6 ビーム干渉パターン及びガウシアンビーム集光スポットにおける光輻射圧分布。(a,b,c)右回り円偏光、(d,e,f)直線偏光の場合。

Press Release

本研究成果は、Springer Nature 社が発行するオープンアクセスジャーナル「Scientific Reports」誌(オンライン)に 9 月 10 日(日本時間)に公開されました。

❖ 研究の背景

アゾポリマーなどの誘電体材料表面に光を照射すると、光輻射圧が発生します。よって、光の分布を人工的に制御することで光輻射圧分布を制御し、ナノ・マイクロ構造を形成する事が可能です。最近では、円偏光ガウシアンビームの集光スポットによって誘起される螺旋状の光輻射圧分布を用いたカイラル構造の作製が行われています。このようなカイラル構造は、光制御デバイスや分子キラリティ識別デバイスなどの新しい応用が期待されています。これらの用途では、単一構造を超配列化することでカイラル構造の機能を高め、さらに検出が困難な信号を増強する事が可能です。

そこで、正確な周期性を持った干渉パターンマルチスポットをカイラル構造形成に利用することが考えられます。一方どのような干渉パターンにおいて、カイラル構造形成に適した光輻射圧分布が配列するかは明らかでありませんでした。

円偏光ガウシアンビーム集光スポットを用いた従来のカイラル構造形成条件を調べるために開発された、円筒座標系における光輻射圧分布のシミュレーションコードは既に完成しています。一方、干渉パターンを用いたマルチスポット照射における光輻射圧分布のシミュレーションは困難でした。

❖ 研究の内容

中田准教授らの研究グループでは、円筒座標系における光輻射圧分布のシミュレーションコードを直交座標系で再構築することで、干渉パターンを含む任意の光強度分布における光輻射圧分布の計算を初めて可能にしました。実際に円偏光 4 ビーム・6 ビーム干渉パターン及びガウシアンビーム集光スポットにおける光輻射圧分布のシミュレーションを行いました(図 1)。さらに、各パターンのスポット中心 O に対し方位角 θ 上にある点 $R(|r|, \theta)$ における光輻射圧の強度 $|F|$ 及び偏角 θ' の変化をグラフ化しました(図 2)。その結果、6 ビーム干渉パターンではガウシアンビーム集光スポットと同様に θ に対して一定の $|F|$ 及び θ' が得られることが分かりました。これは、ガウシアンビーム集光スポットを用いたカイラル構造形成時と同じ光輻射圧分布が 6 ビーム干渉パターンにおいても発生している事を表しています。実際に干渉パターン加工装置を構築し検証実験を行ったところ、6 ビーム干渉パターンではカイラル構造が形成されました。一方、4 ビーム干渉パターンでは θ に対して $|F|$ 及び θ' が変動し、一定のパラメータ範囲における検証実験ではカイラル構造が形成されませんでした。

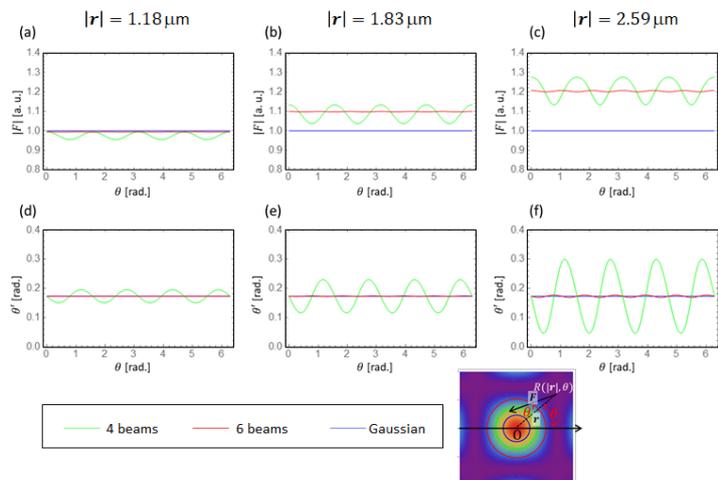


図 2

スポット中心 O に対する方位角 θ に対する光輻射圧の強度 $|F|$ 及び偏角 θ' の変化。右下は説明図で、同心円状の青、緑、赤の円はそれぞれ $|r| = 1.18, 1.83, 2.59 \mu\text{m}$ を表している。

❖ 本研究成果が社会に与える影響(本研究成果の意義)

干渉パターンや偏光など光の制御性を光輻射圧分布制御に応用す

Press Release

ることで、周期配列したカイラル構造の形成が期待出来ます。これにより、光制御デバイスや分子キラリテ
ィ識別デバイスなどを高度化・高感度化する事が期待出来ます。また、より高度な干渉パターン制御技術と
組み合わせる事で、カイラル構造以外の 2D・3Dナノ・マイクロ構造デバイスを形成する事に期待が持てる
ことから、トポロジカルフォトリソグラフィの発展に大きく貢献すると考えられます。

❖ 特記事項

本研究成果は、Springer Nature 社が発行するオープンアクセスジャーナル「Scientific Reports」
誌(オンライン)に 2022 年 9 月 10 日に公開されました。

タイトル: “Simulation of optical radiation force distribution in interference patterns
and necessary conditions for chiral structure formation on dielectrics”

著者名: Y. Nakata, K. Tsubakimoto, H. Shiraga, N. Miyanaga, Y. Kosaka, and M.
Yoshida

DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18615-9>

本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費助成事業 16H038850、20K21155 の支援を受けて実
施されました。

❖ 用語説明

※1 光輻射圧

光を受ける物体に働く圧力。

※2 カイラル構造

自身の鏡像と重ね合わすことのできない構造であり、らせん形状はその一つである。カイラル構造
は旋光性、円偏光二色性などの光学的特徴を持つため、新しい光制御デバイスや光学センサーへの
応用が期待されている。

※3 円筒座標系

仮想的な円柱の中心軸からの半径 r 、方位角 θ 、 z 軸方向で決定される座標系。

※4 直交座標系

互いに直交する 3 軸 (x, y, z) で決定される座標系。円筒座標系とは相互に変換できる。

※5 ガウシアンビーム

ビームパターンの電界強度分布がガウス分布のビーム ($E \propto e^{-r^2}$)。

❖ SDGs目標



❖ 参考 URL

中田准教授 研究者総覧 URL <https://rd.iai.osaka-u.ac.jp/ja/6ea9f033654d45ad.html>

❖ 本件に関する問い合わせ先

大阪大学 レーザー科学研究所 准教授 中田芳樹(なかたよしき)



大阪大学
OSAKA UNIVERSITY

国立大学法人 大阪大学

〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-1

TEL: 06-6877-5111 (代)

www.osaka-u.ac.jp

Press Release

TEL:06-6879-8729

E-mail: nakata-y@ile.osaka-u.ac.jp