

2026年6月3日

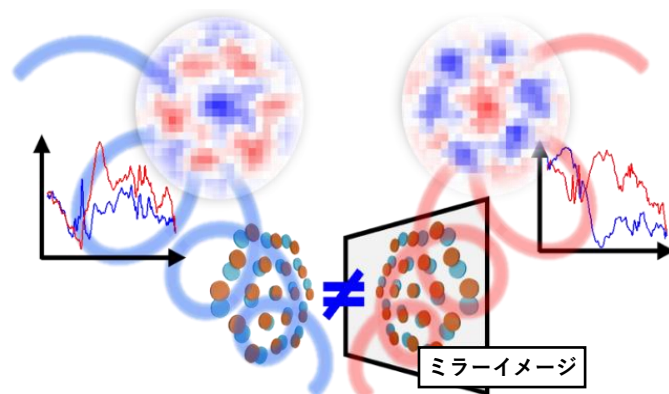
国立大学法人千葉大学

国立大学法人東北大学

国立研究開発法人科学技術振興機構 (JST)

テラヘルツ波で物質の「ねじれ」を“地図”のように可視化 —一次世代材料や次世代通信の開発を支える新分光イメージング技術を確立—

千葉大学大学院融合理工学府博士前期課程 千葉 初奈氏（研究当時）、同大学院工学研究院の宮本 克彦教授、東北大学大学院理学研究科 大野 誠吾助教、物質・材料研究機構 三成 剛生グループリーダーの研究チームは、銀の微細な円盤を重ね合わせた「モアレ型メタ表面^{注1)}」という人工構造体を使用し、これまで計測不可能だった物質が持つ「右ねじれ」と「左ねじれ」（キラリティ（鏡像異性）^{注2)}）の空間分布を、テラヘルツ（THz）波^{注3)}によって二次元画像として直接観測できる新しい分光イメージング技術を開発しました（図）。従来のテラヘルツ円二色性（Circular Dichroism：CD）^{注4)}計測では、試料全体を平均した情報しか得られず、場所ごとに異なるキラリティが存在していてもその違いを捉えることは困難でしたが、本研究では異なるキラリティが混在する様子を世界で初めて可視化することに成功しました。本成果は次世代材料の品質評価や、生体分子構造の解析、新しいテラヘルツデバイス開発などへの応用が期待されます。本研究成果は、2026年6月2日（米国東部時間）に、学術誌 ACS Photonics に掲載されました。（論文はこちら：[10.1021/acsp Photonics.6c00372](https://doi.org/10.1021/acsp Photonics.6c00372)）



図：テラヘルツ円偏光二色性イメージングおよび分光結果
構造の鏡像関係に対応して、右・左のキラリティ応答が反転する様子が観測される。物質内部に分布するキラリティを二次元画像として可視化できることを示している。

■研究の背景

物質には、右回りのネジと左回りのネジのように、鏡に映した像が元の形と重ならない「キラリティ（鏡像異性）」という性質があります。このキラリティを調べる代表的な手法が「円二色性（CD）計測」であり、創薬や材料科学において広く利用されています。特にテラヘルツ波は、分子集団の振動やタンパク質の高次構造など、物質の「低エネルギー領域」の動きに敏感であるため、可視光や赤外線では見えにくい立体的な「ねじれ」構造を調べる手段として注目されています。しかし、従来のテラヘルツ波による CD 計測は、試料全体を平均的に測定する「点測定」が主流でした。そのため試料内部に異なるキラリティが分布している場合、それぞれの信号が打ち消し合い、局所的な構造情報を取得できないという課題がありました。このような背景から、キラリティの空間分布を直接“見える化”できる新しい計測技術の確立が求められていました。

■研究成果のポイント（詳細は別添参照）

1. **世界初の高精度テラヘルツ・キラリティ撮像技術の開発**: 3~6 テラヘルツという非常に広い周波数帯域で、光の「右巻き・左巻き」を正確に見分けることができる分光イメージング装置を構築した。これにより、髪の毛の太さ程度の空間分解能で、キラリティ分布のマッピングが可能となった。
2. **人工構造体「モアレ」を利用してねじれを自由に設計**: 銀の円盤を並べたシートを、わずかに角度をずらして重ねることで生じる「モアレ模様」を利用した。この人工構造体（メタ表面）によって、右回りと左回りのキラリティが複雑に混在する状態を人工的に作り出し、検証モデルとして活用した。
3. **「右ねじれ」と「左ねじれ」の反転現象を直接観測**: イメージングの結果、一枚のシートの中に「右巻き

の性質を示す領域」と「左巻きの性質を示す領域」が交互に並んでいる様子を可視化した。これは従来の平均化された測定では決して観測できなかった現象である。

4. **マイクロ構造とマクロ構造が相互作用する仕組みを解明:** 円盤1つ1つの配置（マイクロ構造）と、重ね合わせによって生じる大きな模様（マクロ構造）の両方が、テラヘルツ波との相互作用を支配していることを理論と実験の両面から証明した。

■今後の展望

本研究で確立したイメージングプラットフォームは、今後2~15テラヘルツまでのより広い周波数帯への拡張が期待されます。テラヘルツ波による「ねじれの可視化」は、目に見えないマイクロ構造を解析する新しい基盤技術として、以下のような分野への応用が期待されます。

医療・創薬: タンパク質の異常凝集体（アミロイドなど）の分布を可視化する新しい診断技術

超高速通信: 次世代の通信（6G）で求められる光のねじれを利用した高度な信号制御デバイス評価・検査

新材料開発: 量子材料やソフトマテリアル内部の微細な構造のゆがみを検出し、材料特性の向上に繋げる解析技術

■用語解説

注1) モアレ型メタ表面: 2つの規則的な微細構造をわずかにずらして重ねることで生じるモアレ構造を、テラヘルツ波に対して人工的に実現した平面材料。通常は現れない「ねじれ構造」による特異な波動制御が可能となる。

注2) キラリティ（鏡像異性）: 物体や分子が、鏡に映した像と元の形が重ならない性質のこと。右ねじと左ねじの関係が代表例で、「右向き」「左向き」という向きの違いが物質の性質や働きに大きく影響する。創薬や材料科学では、この違いを見分けることが重要となる。

注3) テラヘルツ（THz）波: 電波と光（赤外線）の中間に位置する電磁波で、1秒間に約1兆回振動する周波数帯を持つ。分子や材料の集団的な振動や柔らかい動きに敏感で、可視光では見えない物質の内部構造を調べる手段として注目されている。

注4) 円二色性（Circular Dichroism : CD）: 右回りと左回りに回転する円偏光の光に対して、物質が異なる反応を示す性質のこと。物質の「右ねじれ・左ねじれ」を調べる代表的な手法で、分子や材料の立体構造の解析に広く用いられる。

■論文情報

タイトル: Multiscale chirality in moiré metasurfaces revealed by terahertz circular dichroism spectroscopic imaging

著者: Uina Chiba, Shota Tsuji, Gaku Oritani, Takumi Yoichi, Rinpei Sasaki, Takeo Minari, Seigo Ohno, Katsuhiko Miyamoto

雑誌名: ACS Photonics

DOI: 10.1021/acsp Photonics.6c00372

■研究プロジェクトについて

本研究は、以下の支援によって実施されました。

- ・日本学術振興会（JSPS）科学研究費助成事業（JP23K23248, JP24KK0108, JP22K18979, JP23K04567）
- ・科学技術振興機構（JST）創発的研究支援事業（JPMJFR2036）など

<広報・報道に関するお問い合わせ>

千葉大学 広報室

Tel: 043-290-2018 Mail: koho-press [at] chiba-u.jp

東北大学 理学部 広報・アウトリーチ支援室

Tel: 022-795-6708 Mail: sci-pr [at] mail.sci.tohoku.ac.jp

科学技術振興機構 広報課

Tel: 03-5214-8404 Mail: jstkoho [at] jst.go.jp

<JST 事業に関するお問い合わせ>

科学技術振興機構 創発的研究推進部 加藤 豪

Tel: 03-5214-7276 Mail: souhatsu-inquiry [at] jst.go.jp

※[at]を@に置き換えてください。



(添付資料)

■研究成果のポイント

テラヘルツ波の円偏光（らせん状の光）を、「モアレ型メタ表面」と呼ばれる人工構造に照射することで、物質中に存在する「右ねじれ（赤）」と「左ねじれ（青）」のキラリティ応答^{注5)}を二次元画像として読み取ることができます。モアレ型メタ表面は、2層構造をわずかにずらして重ねることで作製され、局所的な構造の非対称性と、構造全体としての回転が同時に存在する「マルチスケールなねじれ」を人工的に形成できる点が特徴です。

本研究では、次の5つの成果によって、課題を克服しました。

・テラヘルツ波で物質の「ねじれ構造」を二次元画像として可視化

テラヘルツ波を用いたCD計測を、従来の「点測定」ではなく二次元画像として取得できる新しい計測プラットフォームを開発しました。これにより、物質内部に分布する「右ねじれ」と「左ねじれ」を、地図のように空間的に可視化することが可能になりました。

・プリントドエレクトロニクス技術を用いたモアレ型メタ表面の作製

本研究では、銀微細構造^{注6)}を高精度に配置できるプリントドエレクトロニクス技術（printed electronics）^{注7)}を用いて、人工的なモアレ型メタ表面を作製しました。印刷技術を基盤とすることで、構造の再現性が高く、設計自由度の大きいモデル試料を安定して実現しています。

・人工構造による「マルチスケールなキラリティ」を自在に設計・検証

プリントドエレクトロニクス技術で作製した2層構造をわずかに回転させて重ねる「回転モアレ型メタ表面」などをモデルとして用いることで、微視的な構造の非対称性と構造全体の回転が同時に存在する「マルチスケールなねじれ」を人工的に設計し、そのキラリティ応答を系統的に検証することに成功しました。

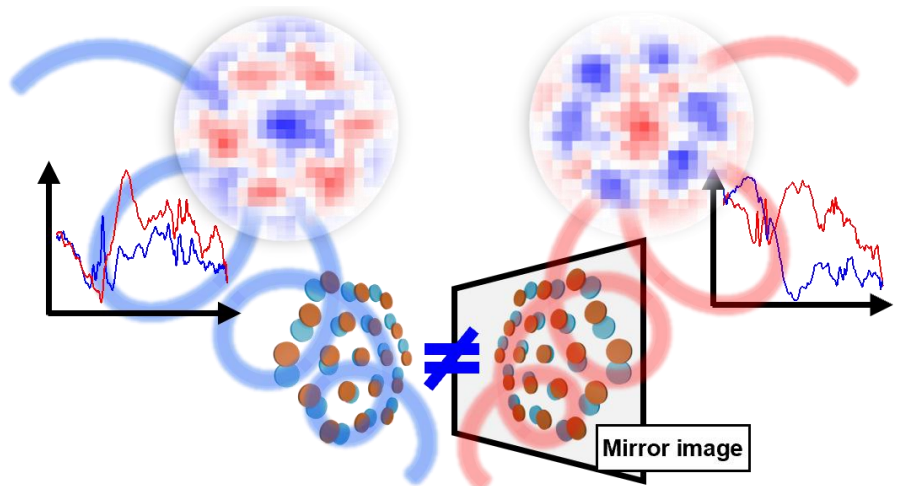
・1つの平面内でキラリティが反転する現象を初めて直接観測

同一の平面構造の中で、ある場所では「右ねじれ」、別の場所では「左ねじれ」の応答が現れることを直接観測しました。このような局所的なキラリティの反転は、従来の試料全体を平均する計測手法では検出できず、本研究の二次元テラヘルツCDイメージング^{注8)}によって初めて明らかになりました。

・理論と実験を組み合わせ、複雑なキラリティ分布を統一的に解釈

局所的な構造の非対称性と、テラヘルツビーム全体で平均化される回転効果を組み合わせた新しい指標を導入し、観測された二次元画像を理論的に再現しました。これにより、テラヘルツ領域におけるキラリティ応答の理解が大きく前進しました。

図は、本研究のコンセプトを実際の計測によって実証した実験結果です。テラヘルツ円二色性を二次元画像および分光測定した結果、同一の平面構造内にもかかわらず、場所によってキラリティの向きが反転する様子が明瞭に観測されました。ある点では「右ねじれ」の応答が、別の点では「左ねじれ」の応答が現れ、従来の試料全体を平均する計測手法では捉えられなかった、局所的なキラリティ分布が初めて明らかになりました。



図：テラヘルツ円偏光二色性イメージングおよび分光結果
構造の鏡像関係に対応して、右・左のキラリティ応答が反転する様子が観測される。
物質内部に分布するキラリティを二次元画像として可視化できることを示している。

このように、本研究は、物質中に存在するねじれのキラリティ応答を、二次元画像として読み取ることができる原理に基づいて、図として示される実験結果を実現し、マルチスケールに分布するキラリティを「見える形」で捉える新しい計測手法を確立しました。本成果は、新材料の品質評価や生体分子構造の解析、さらにはテラヘルツデバイス開発などへの応用が期待されます。

■用語解説

注5) キラリティ応答：キラリティをもつ物体や分子が、光・電場・磁場・化学反応などに対して左右非対称に応答する現象のこと。

注6) 銀微細構造：ナノメートル～マイクロメートルのスケールで制御された銀の構造体のことを指し、特に光学・電子・化学的特性がサイズや形状によって大きく変わる特長がある。

注7) プリントドエレクトロニクス技術 (printed electronics)：電子回路や微細な金属構造を、インクのような材料を用いた印刷によって作製する技術。従来の半導体加工に比べて、低コスト・大面積・高い再現性で構造を作れるという特長がある。本研究では、この印刷技術を用いて微細な金属パターンを高精度に配置し、モアレ型メタ表面を安定して作製した。量産や実用化にも適した作製手法として注目されている。

注8) 二次元テラヘルツ CD イメージング：測定結果を1点の数値ではなく、画像として空間的に表示する手法が二次元イメージングであり、本研究では、この二次元イメージングの手法を利用し、テラヘルツ波による CD の分布を「画像」として取得することで、物質内部の構造の違いを直感的に可視化している。