

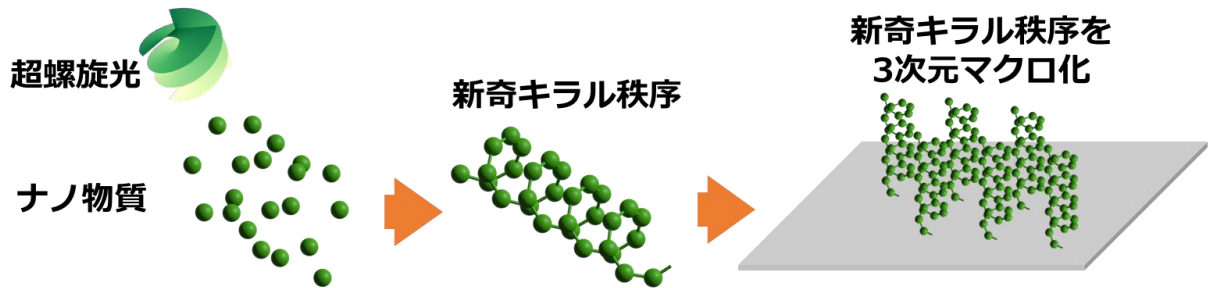


領域代表者	千葉大学・大学院工学研究院・教授 尾松 孝茂（おまつ たかしげ）	研究者番号:30241938
研究領域情報	領域番号：22A204 キーワード：光渦、近接場光学、キラルティ、渦、物質科学	研究期間：2022年度～2026年度

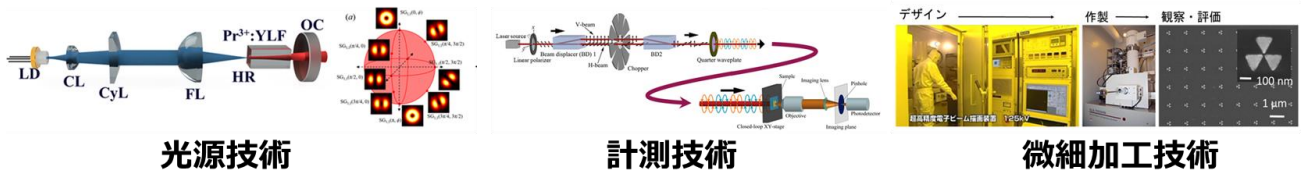
なぜこの研究を行おうと思ったのか（研究の背景・目的）

●研究の全体像

物体や現象がその鏡像と重ね合わせることができない性質(キラルティ)は、自然界において普遍的に顕在化する。らせんはキラルティを持つ構造(キラル構造)の一つであり、ナノスケールの分子集合体からミリスケールの生体組織までらせん構造を持つ物質は数多く存在する。物質を配列してらせんなどの構造を創り、構造に起因する機能を顕在化させる科学(物質のキラル秩序化の科学)は、既存の学術の枠を超えた物質科学における普遍的な研究の一つであり、「物質を自在に操りキラル秩序化する」ことは物質科学研究者の究極の夢である。分子から生体組織までの多様な空間スケールの物質を非接触で操作できる現実的な手法は光だけである。本研究領域では、電磁場構造に由来する光の螺旋性と物質の相互作用の科学を探求し、分子から生体組織まで多様な物質を光でキラル秩序化する。そして、局所(所望のナノ空間)にキラル秩序(らせん・渦)を自在に創成し3次的にマクロ化する。さらに構造に起因する機能を顕在化させてキラル秩序の化学・らせんの工学・渦の物理学を展開する。



光の螺旋性・集光性・波動性・量子性で物質を非接触に操作し
局所(所望のナノ空間)にキラル秩序(らせん・渦)を自在に創成し3次的にマクロ化する
領域研究の概念



領域研究を支える基盤技術

図1 研究計画の概念図

●光の螺旋性

19世紀から始まる光の螺旋性の科学は、物質のキラルティ検出という分光學で重要な役割を果たしてきた。しかしながら、物質のキラルティを検出するために広く用いられている円偏光二色性は、一部の例外を除き、左右円偏光に対する光吸収の差は分子の全吸収強度のわずか1/100以下にすぎない。これは、光の波長で決まる螺旋電場のピッチの空間スケールに比べて、物質を構成するナノ物質の空間スケール(nm)が2桁程度も小さく、円偏光と物質のキラルティがほとんど相互作用しないことによる。したがって、これまでの常識では、光の螺旋性で物質をキラル秩序化することは極めて困難であると考えられてきた。

ところが、近年のレーザー技術と微細加工技術の革新的進歩が、今、光の螺旋性の科学を分光学の枠を超えた学問分野へと質的に大きく進化させようとしている。

1992年にAllenが光渦の重要性を示唆した。通常の光の波面(光電場の等位相面)が平面なのに対して、光渦は螺旋状の波面を有する(波面の螺旋性)。その波面の螺旋度(1波長当たりの波面のねじれ回数)は、原理的には、無限に大きくできる。近年のナノテクノロジーと微細加工技術の発展により、プラズモニクスをはじめとするナノ光学が発展した。プラズモン物質である金属ナノ構造に光が入射すると、ナノ構造の表面に光が局在する(近接場光)。その実効的な波長は入射光に比べて極めて小さい。そのため、円偏光や光渦を入射光とすると、光の電場や波面の螺旋度が、入射した円偏光や光渦に比べて極めて大きな値まで増強される。

レーザー技術と微細加工技術の進化と融合が創出した新しい光を通常の円偏光を超えた螺旋性を持つ「超螺旋光」と総称する。超螺旋光の強い螺旋性を駆使すれば、分子から生体組織までの物質を階層的に配列してキラル秩序化できる可能性がある。

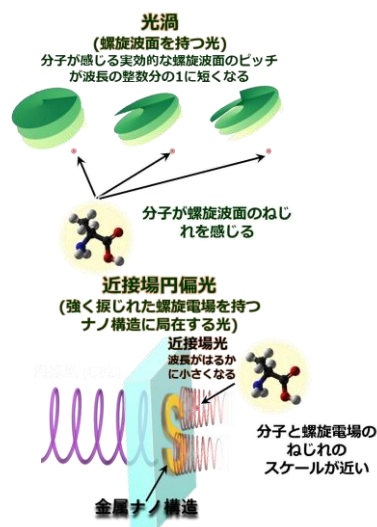


図2 超螺旋光の概念図

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

●波及効果

<キラル秩序の化学> アミノ酸やタンパク質等の生体分子は、右あるいは左手系の鏡像異性体だけが偏って存在していることが多い。これをホモキラリティーと言う。ホモキラリティーの発現には、古典的な流れの渦や円偏光が重要な役割を果たしている可能性が指摘されてきた。超螺旋光によって100%に迫る鏡像過剰率のキラル結晶化が達成できれば、ホモキラリティーにおける光の螺旋性が果たす役割を深く理解できる。さらに、キラル結晶化にいたるダイナミクスを高分解能・高感度に計測できれば、キラル結晶化のメカニズム解明、さらには、キラル物質の超微量検出・解析、病理診断計測を可能にし、合成化学・創薬・医工学にも貢献できる。

<らせんの工学> コガネムシやシャコなどの生物では、らせん構造に由来する円偏光構造色の発色や円偏光の認識などの特性が知られている。人間の眼は円偏光を識別できない。したがって、生物を模したキラル秩序の創成は、情報秘匿や立体ディスプレイなどに応用できる。さらには、円偏光構造色および円偏光発光新奇物質・円偏光および光渦発振レーザーなどを実現できる。これは、らせん構造に起因する光学特性を顕在化させたバイオミメティクスである。

<渦の物理学> 磁性体や液晶に現れる渦状の欠陥構造を準粒子とみなしてスキルミオンと呼ぶ。スキルミオンは、次世代の低消費電力不揮発性磁気メモリ・光アドレスメモリなどの有力候補であるが、所望の場所に生成・制御することは未だ容易ではない。集光した光の螺旋性を物質に転写できれば、所望の場所にスキルミオンのような渦状欠陥を生成する手法を提供できる。

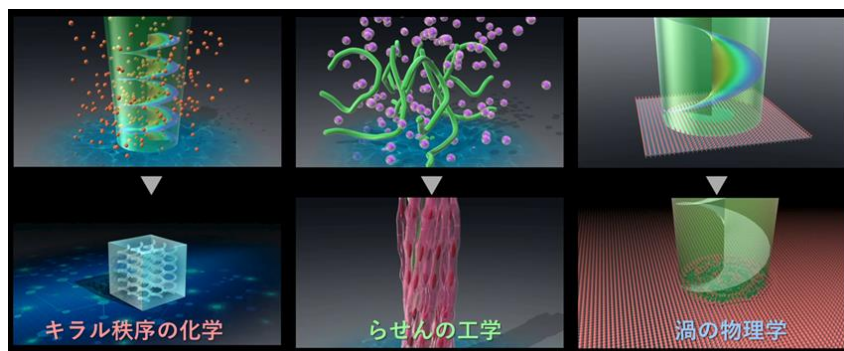


図4 応用展開の概念図

●若手人材育成

本研究領域では、本領域に所属する大学院学生を含む若手研究者が国際交流できる「若手研究者海外派遣」「海外若手研究者・学生招聘」を積極的に行う。また、若手研究者が自由な発想で互いに共同研究を立案・実施できるように「若手共同公募研究」を領域内で公募し支援する。さらに、若手研究者が研究成果をタイムリーに共有するための「成果を自慢しあう会」を設置する。このような取組を通して若手研究者の自主性・研究成果を可視化する。