



名古屋大学  
NAGOYA UNIVERSITY

配布先: 文部科学記者会、科学記者会、名古屋教育記者会

2026 年 8 月 20 日

報道機関 各位

## 環境に応答する“動くグラフェンナノリボン”を開発 ～動的らせんと協同効果が拓く次世代炭素材料の設計指針～

### 【本研究のポイント】

- ・右巻きと左巻きのらせん構造を高速で行き来する動的な[4]ヘリセン<sup>注 1)</sup>を連結した、ポリ[4]ヘリセンナノリボンを設計・合成した。
- ・隣り合う[4]ヘリセンのらせんの巻き方向が連動してそろうことを見いだした。
- ・天然由来のキラル<sup>注 2)</sup>溶媒の右手型と左手型を使い分けることで、ポリ[4]ヘリセンナノリボンの巻き方向と、円偏光発光<sup>注 3)</sup>の回転方向を切り替えられることを実証した。
- ・光・電子デバイス、量子材料などへの応用、新しいキラル炭素材料の開発への貢献が期待される。

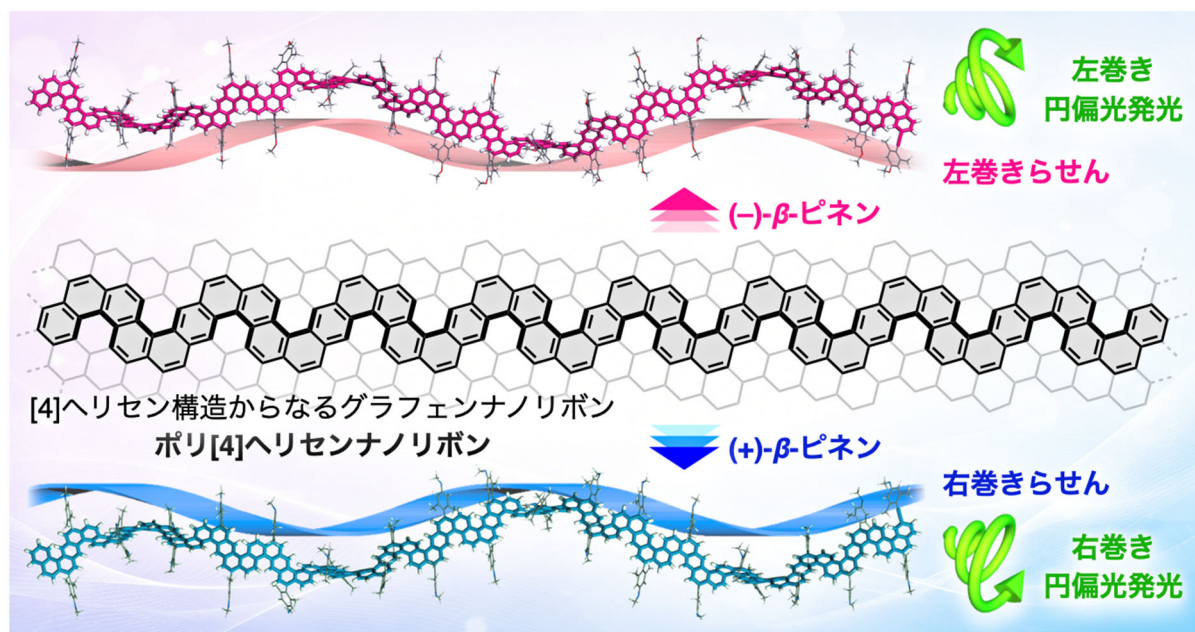
### 【研究概要】

名古屋大学大学院工学研究科の井改 知幸 教授、稲垣 隼人 博士前期課程学生、沖光脩 助教、吉田 真也 助教、Jenny Pirillo 特任助教、名古屋大学脱炭素社会創造センターの土方 優 特任准教授、国立清華大学(台湾)の八島 栄次 教授(玉山学者)らの研究グループは、環境に응答してらせんの巻き方向と円偏光発光能を可逆的に切り替えられるグラフェンナノリボン<sup>注 4)</sup>「ポリ[4]ヘリセンナノリボン」の開発に成功しました。

グラフェンナノリボンは、炭素原子が細長い帯状につながったナノ材料であり、優れた電子・光学特性を示すことから、次世代の半導体や発光材料として期待されています。なかでも、らせん構造をもつものはキラル炭素材料<sup>注 5)</sup>として注目されていますが、外部刺激による右巻きと左巻きの構造制御は実現していませんでした。

本研究では、独自の合成法を用いて、右巻きと左巻きの間を高速で行き来する小さならせん分子[4]ヘリセンを連結した、らせん状のグラフェンナノリボン「ポリ[4]ヘリセンナノリボン」を合成しました。分子内に働く協同効果により、隣接する[4]ヘリセンが同じ巻き方向にそろう傾向を示すことを明らかにしました。さらに、天然由来のキラル溶媒である  $\beta$ -ピネンに溶かし、溶媒の右手型と左手型を使い分けることで、ナノリボン全体のらせんの巻き方向を制御でき、それに伴って右円偏光発光と左円偏光発光を切り替えられることを実証しました。本成果は、光・電子デバイス、量子材料、スピントロニクス<sup>注 6)</sup>への応用に加え、「動くグラフェンナノリボン」を活用した新しいキラル炭素材料の開発につながると期待されます。

本研究結果は、2026 年 8 月 15 日付で英国科学誌『Nature Communications』に速報版(Article in Press)として掲載されました。



## 【研究背景と内容】

グラフェンは、炭素原子が蜂の巣状に並んだ厚さ 1 原子分のシート状物質であり、極めて高い電気伝導性や機械的強度をもつ、代表的な二次元炭素材料として知られています。このグラフェンを数ナノメートル幅の細い帯状に切り出したものがグラフェンナノリボンです。幅や端の構造を原子レベルで精密に設計することで、電子や光の性質を自在に調節できるため、次世代の半導体や発光材料、量子材料などへの応用が期待されています。

従来のグラフェンナノリボンは、炭素原子が強固に結びついた極めて剛直な骨格をもつため、外部環境に応じて主骨格の形を切り替えることは困難と考えられてきました。一方、生体分子は周囲の環境に応じて立体構造を変えることで、多彩な機能を発現しています。こうした環境に応答した構造変化を機能へと変換するスマート材料<sup>注 7)</sup>の考え方は、グラフェンナノリボンの材料設計には、これまでほとんど取り入れられてきませんでした。

本研究グループは、静的と考えられてきたグラフェンナノリボンに動的な性質を持たせるという新たな発想のもと、[4]ヘリセンと呼ばれるらせん状の分子に着目しました。ヘリセンは、複数のベンゼン環がらせん状に連なり、全体がスプリングワッシャーのような形をした分子です。一般に、ベンゼン環の数が多いヘリセン(例: [7]ヘリセン)は、右巻きまたは左巻きのいずれか一方の構造を安定に保ちます(図 1 上)。これに対し、今回用いた[4]ヘリセンは、右巻きと左巻きの間を高速で行き来するという、極めて動的な性質をもっています(図 1 下)。そのため、立体構造が安定せず、キラリティ<sup>注 2)</sup>に関わる材料分野では、これまで有用な基本骨格とは考えられてきませんでした。



図 1: 静的ヘリセンと動的ヘリセン

そこで研究グループは、独自に開発した環化反応を用いて、この[4]ヘリセンを連結した、動的ならせん構造をもつグラフェンナノリボン「ポリ[4]ヘリセンナノリボン」を合成しました(図 2 上)。まず、ベンゼン環とナフタレン環を交互に配列した前駆体高分子を合成し、その分子内の選択的な環化反応により隣接する芳香環の間に新たな結合を形成することで、欠陥のないラダー型炭素骨格<sup>注 8)</sup>を定量的に構築しました。各種の分光分析およびモデル化合物を用いた検証により、目的とするポリ[4]ヘリセンナノリボンの形成を明らかにしました。

実験およびシミュレーションから、分子内では、それぞれの動的ヘリセンが互いに独立した巻き方向をとるのではなく、隣り合う繰り返し単位<sup>注 9)</sup>が影響し合い、右巻きは右巻き、左巻きは左巻きでまとまった領域(ヘリカルドメイン)を形成することを明らかにしました(図 2 下)。さらに、この協同効果が、隣接する[4]ヘリセンの機械的な運動に由来し、同じ巻き方向の繰り返し単位が長く連なるほど構造が安定になることも示されました。

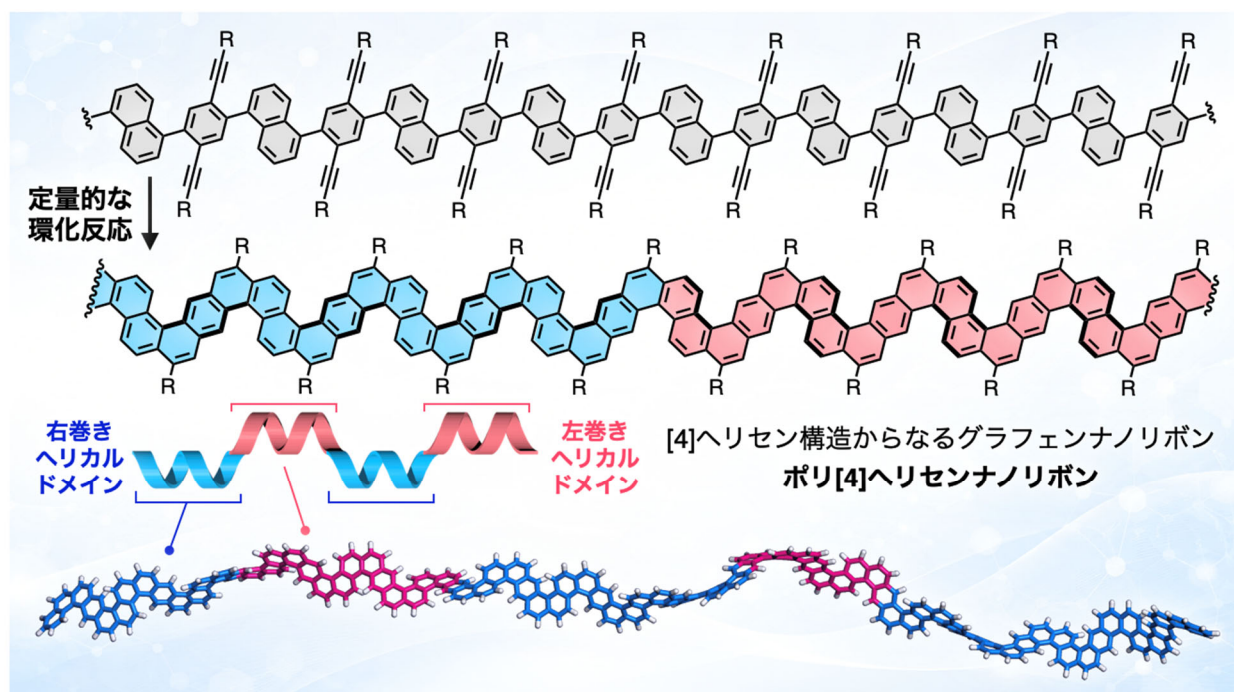


図 2: 連続した動的[4]ヘリセン構造をもつポリ[4]ヘリセンナノリボンの合成

さらに、松や柑橘類などの植物に含まれる天然由来のキラル溶媒である  $\beta$ -ピネンに、このポリ[4]ヘリセンナノリボンを溶かし、溶媒の右手型と左手型を使い分けることで、ナノリボン全体の巻き方向を切り替えられることを見いだしました(図 3)。キラル溶媒から一つひとつの繰り返し単位に伝わるごくわずかな左右の片寄りが、隣接する繰り返し単位同士の協同効果によって高分子鎖全体へと増幅されたと考えられます。また、この巻き方向の変化に伴い、一つの材料から右円偏光発光と左円偏光発光を切り替えられることも実証しました。

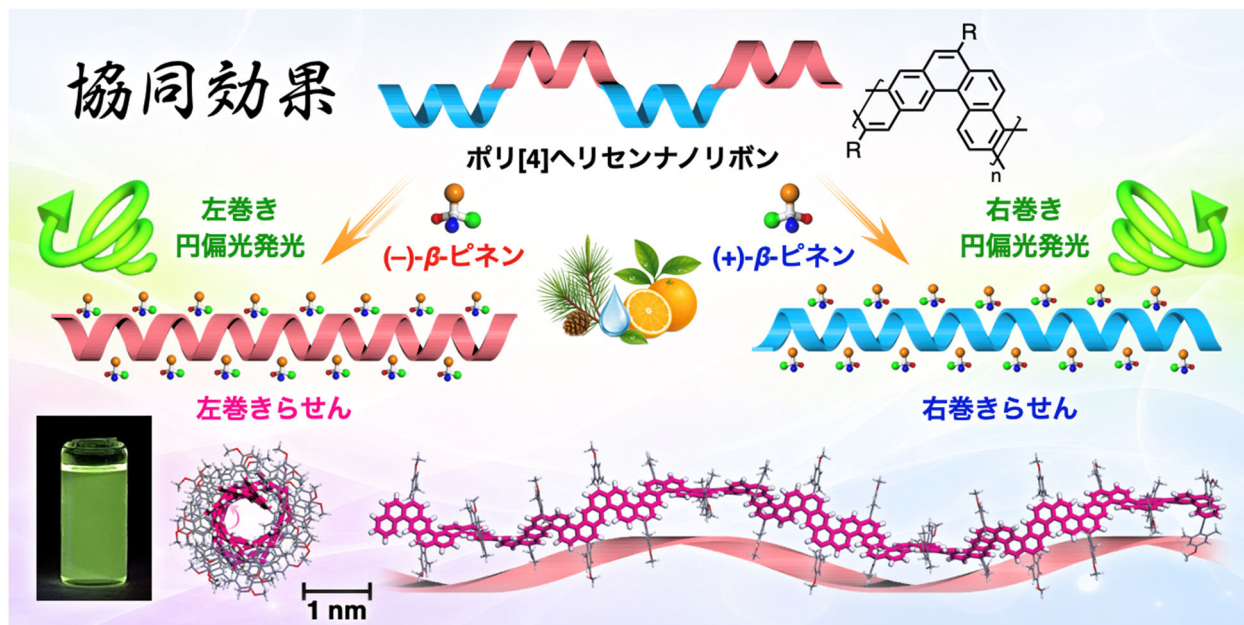


図 3: ポリ[4]ヘリセンナノリボンの巻き方向と円偏光発光の切り替え

### 【成果の意義】

本研究は、これまで静的な構造を前提としてきたグラフェンナノリボンに、「動的らせん」という概念を新たに導入した点に大きな意義があります。今回開発したポリ[4]ヘリセンナノリボンでは、分子内に働く協同効果によって、隣り合う動的[4]ヘリセンの構造変化が連動し、同じ巻き方向の[4]ヘリセンが連なったヘリカルドメインを形成することを明らかにしました。さらに、天然由来のキラル溶媒の右手型と左手型を使い分けることで、ナノリボン全体の巻き方向を切り替え、それに伴って右円偏光発光と左円偏光発光を切り替えられることを実証し、剛直な炭素材料にも環境応答性を付与できることを示しました。

本成果は、分子レベルのごくわずかな左右の片寄りを、グラフェンナノリボン全体のらせん構造変化へと協調的に増幅し、高度なキラル光学機能の切り替えにつなげる新しい材料設計の考え方を提示するものです。今後、周囲の環境に応答して構造や性質、機能を自在に切り替えられる次世代スマート炭素材料の開発につながると期待されます。これにより、省エネルギーで高性能な光・電子デバイス、高速・高精度な情報処理技術、微量な物質を識別する超高感度センサーなどの実現に貢献すると期待されます。さらに、量子情報技術やスピントロニクス、医薬品や生体分子などを見分けるキラルセンシングをはじめ、幅広い先端分野への展開が見込まれます。

### 【付記】

本研究は、日本学術振興会 科学研究費補助金 特別推進研究「記憶力を有するラセン高分子の創成と究極機能の開拓」(JP18H05209)、学術変革領域研究(B)「ラダーポリマー科学: 二本の結合が紡ぐ革新」(JP25H01407)、基盤研究 B「ラダー高分子の標的指向型合成と静的・動的・超分子キラリティ制御に基づく機能開拓」(JP24K01537)、挑戦的研究(萌芽)「ラセンのバネ運動と超分子の自己修復能を活用したフレキシブルデバイスの創製」(JP23K17939)、科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 さきがけ「ラダー化が拓く配列と高次構造の自在制御と機能創出」(JPMJPR21A1)、三菱財団

自然科学研究助成、小笠原敏晶記念財団 一般研究助成、玉山学者プログラム(国立清華大学(台湾))の支援のもとで行われたものです。

## 【用語説明】

### 注 1)ヘリセン:

複数のベンゼン環がらせん状に連なった分子。右巻きと左巻きの構造があり、代表的なキラル分子として知られる。右巻きと左巻きの間を相互に変換できるものを動的ヘリセンという。本研究では、この動的な性質をもつ[4]ヘリセンを利用した。

### 注 2)キラル、キラリティ:

キラリティとは、右手と左手のように、互いに鏡像関係にありながら重ね合わせることができない性質をいう。「キラル」は、そのような性質をもつ分子や構造を表す形容詞である。

### 注 3)円偏光発光:

右回りまたは左回りに回転しながら進む光を発する現象。三次元ディスプレイや、セキュリティ技術、光通信、量子情報技術などへの応用が期待される。

### 注 4)グラフェンナノリボン:

グラフェンを数ナノメートル幅の細い帯状にした炭素材料。幅や端の構造によって電子や光の性質を精密に制御できる。

### 注 5)炭素材料:

炭素を主成分とする材料の総称。ダイヤモンドや黒鉛(グラファイト)、グラフェン、カーボンナノチューブ、グラフェンナノリボンなどが含まれ、軽量で高い強度や優れた電気・光学特性を示す。キラル炭素材料は、キラルな構造をもつ炭素材料であり、キラリティに由来する特徴的な光学機能や電子機能を示す。

### 注 6)スピントロニクス:

電子がもつ電氣的な性質(電荷)と磁石のような性質(スピン)の両方を利用する電子工学技術。高速かつ省電力な次世代情報処理技術として期待されている。

### 注 7)スマート材料:

周囲の温度、光、溶媒、電場などの環境変化に応答して、構造や性質、機能を自ら変化させる材料。

### 注 8)ラダー型炭素骨格:

環状の炭素骨格が二本の共有結合で連続的につながった、はしご(ラダー)のような構造。

### 注 9)繰り返し単位:

高分子鎖の中で繰り返し現れる構造単位。

## 【論文情報】

雑誌名: Nature Communications

論文タイトル: Dynamic helical poly[4]helicene nanoribbon

著者: 井改 知幸\*(名古屋大学)、稲垣 隼人(名古屋大学)、沖 光脩(成蹊大学)、吉田 真也(名古屋大学)、Jenny Pirillo(名古屋大学)、土方 優(名古屋大学)、八島 栄次\*(国立清華大学)(\*責任著者)

# Press Release

---

DOI: 10.1038/s41467-026-76724-9

URL: <https://doi.org/10.1038/s41467-026-76724-9>



東海国立大学機構は、岐阜大学と名古屋大学を運営する国立大学法人です。  
国際的な競争力向上と地域創生への貢献を両輪とした発展を目指します。  
東海国立大学機構 HP <https://www.thers.ac.jp/>

