

三次元ナノダブルネットワーク構造を安定化

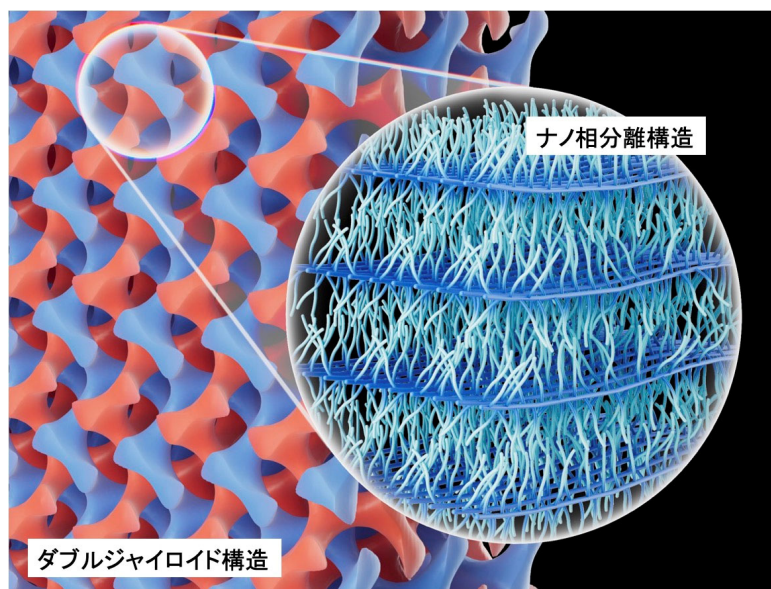
—マイクロ相分離とナノ相分離の共創—

概要

異なる2種類の高分子鎖がつながったジブロック共重合体は、10～100 ナノメートル程度のダブルジャイロイド構造を形成し、光学材料や分離膜などへの応用が期待されていますが、従来のブロック共重合体では、ダブルジャイロイド構造を安定に形成できる組成範囲が狭く、自由度が限られることが課題でした。京都大学化学研究所 竹中幹人教授らの研究グループは、大阪工業大学 平井智康 准教授、Argonne National Laboratory Byeongdu Lee 博士と共同で、ポリスチレン(PS)と、長い側鎖を持つポリオクタデシルメタクリレート(PODMA)をつなげたジブロック共重合体が、マイクロ相分離構造と PODMA の長い側鎖による数ナノメートル程度のナノ相分離の階層的形成することを発見し、この階層的形成の制御によりダブルジャイロイド相の安定領域を従来の代表的なジブロック共重合体に比べて約3～4倍広げることになりました。

本研究により、高分子全体がつくるマイクロ相分離と、側鎖がつくるナノ相分離を組み合わせることで、複雑な三次元ナノ構造をより安定に作れることが分かりました。この成果は、光学材料や分離膜などに役立つナノ構造を、分子設計によって狙って作る新しい方法につながります。

本研究成果は、2026年6月25日にドイツの国際学術誌「*Small Structure*」に掲載され、2026年7月号のCover feature に採択されました。



ダブルジャイロイド構造とナノ相分離構造の階層的形成

作成：高分子物質科学研究室

1. 背景

ブロック共重合体は、異なる種類の高分子鎖がつながった材料です。これらの高分子鎖は自発的に集まり、マイクロ相分離構造と呼ばれる **10～100 ナノメートル程度の規則的な構造**を形成します。中でもダブルジャイロ

イド構造は、三次元的につながった網目状の構造を持つため、光学材料や分離膜などへの応用が期待されています。一方で、従来のブロック共重合体では、ダブルジャイロイド構造を安定に形成できる組成範囲が狭く、材料設計の自由度が限られることが課題でした。

2. 研究手法・成果

本研究では、ポリスチレンと、長い側鎖を持つポリオクタデシルメタクリレートをつなげた PS-PODMA ジブロック共重合体を合成し、SPring-8 の高強度・高分解能小角・広角 X 線散乱装置により構造を調べました。その結果、ブロック共重合体全体がつくるマイクロ相分離構造に加えて、PODMA の長い側鎖が数ナノメートル程度の側鎖ナノ相分離を形成することが分かりました。この階層的な構造形成により、ダブルジャイロイド相がポリスチレンの体積分率 0.22 から 0.35 という広い組成範囲で安定化し、従来の代表的なジブロック共重合体に比べて約 3~4 倍広い安定領域を実現しました。

3. 波及効果、今後の予定

本研究により、高分子全体がつくるマイクロ相分離と、側鎖がつくるナノ相分離を組み合わせることで、複雑な三次元ナノ構造をより安定に作れることが分かりました。この成果は、光学材料や分離膜などに役立つナノ構造を、分子設計によって狙って作る新しい方法につながります。今後は、他の高分子材料にも同じ考え方を適用し、その有効性と応用可能性を検証します。

4. 研究プロジェクトについて

JSPS 科研費 21H05027・23H05468、京都大学化学研究所国際共同利用・共同研究、米国 DOE 等の支援を受けました。

<用語解説>

ダブルジャイロイド構造：ダブルジャイロイド構造は、物質の中に二つの連続した通り道が三次元的に広がる、迷路のようなナノ網目構造です。互いの通り道は交わずに入り組んでおり、光や分子の流れを制御できるため、光学材料や分離膜への応用が期待されます。

<研究者のコメント>

「今回の成果は、複数の研究者グループの密接な連携の中から生まれました。合成の困難さや構造の解析には多くの困難がありましたが、各々のグループの強みを活かし、成果が出たことを大変うれしく思っています。国際共同研究の重要性を実感した研究でした。」（竹中幹人）

<論文タイトルと著者>

タイトル：Side - Chain Nanophase Separation Broadens the Double - Gyroid Stability Window in PS-PODMA Diblock Copolymers

著者：Tamio Seko, Ryuhei Oda, Satoshi Kurosaki, Tomoyasu Hirai, Yohei Nakanishi, Byeongdu Lee, Mikihiro Takenaka

掲載誌：Small Structures 2026, 0, e70522. DOI : 10.1002/sstr.70522