

2026年6月25日

文部科学記者会、科学記者会  
報道機関 各位国立大学法人静岡大学  
高知県公立大学法人高知工科大学

## 液晶性分子骨格を結晶格子に組み込み、伸縮する分子結晶を合理的に設計

### — 1.52 倍の長さに変化する結晶アクチュエーターを実現 —

静岡大学理学部の関朋宏准教授の研究グループは、同所属の守谷誠准教授、高知工科大学理工学群の林正太郎教授らと共同で、液晶性を示す分子骨格を剛直な結晶格子の中に密に整列させることで、温度変化に応じて結晶の長さが最大 1.52 倍まで変化する新規分子結晶アクチュエーターの開発に成功しました。

#### 【研究のポイント】

- ・液晶分子骨格 ( $nIB$ ) を金錯体結晶 ( $Au-nIB$ ) の格子内に密集・整列させることで、温度変化による相転移が巨視的な一軸方向の結晶伸縮に変換されることを実証しました。
- ・伸縮前後の結晶の長さの比 ( $\rho_L$ ) が最大 1.52 に達し、これは分子結晶としてトップクラスの値です。また、結晶の長さ変化がメソゲン層 (注1) の厚みの変化と逆比例するという定量的な設計則を確立しました。
- ・アルキル鎖の長さを変えることで伸縮の方向や大きさを制御でき、ドメインエンジニアリングにより単結晶上で多段階の伸縮を自在に操れることも示しました。
- ・将来的に、人工筋肉・マイクロアクチュエーター・ソフトロボティクスなど次世代の柔軟デバイスへの応用が期待されます。

なお、本研究成果は、2026年6月21日 (米国東部時間) にアメリカ化学会の学術誌「*Journal of the American Chemical Society*」に掲載されました。

#### 研究者コメント

静岡大学理学部 准教授・関 朋宏

液晶性を示す分子の特徴を結晶格子の中に埋め込むことで、分子結晶の特異な変形 (伸縮) を実現することを見いだしました。今後、さまざまな分野で応用したいと考えています。

## 【研究背景】

外部刺激に応じて形状を変える分子結晶は、アクチュエーター・センサー・マイクロロボティクスへの応用が期待される注目材料です。こうした「形を変える結晶」の中でも、結晶が軸方向に大きく伸縮するものは特に希少で、そのような大変形を合理的に設計する指針はこれまで存在していませんでした。一方、液晶材料は高い配向秩序を持ちながら、温度変化で層間距離が変化するという柔軟な特性を持っています。研究グループは、この液晶の特性を結晶の硬い格子構造と組み合わせることで、結晶内の分子レベル（ミクロ）の配列の変化を、結晶そのもの（マクロ）の一軸伸縮に、直接的に変換できると考え、研究に取り組みました。

## 【研究の成果】

研究グループは、液晶材料（注 2）として知られる 5CB（4-シアノ-4'-ペンチルビフェニル）の異性体である「5IB」とそのアルキル鎖長の異なる誘導体  $nIB$  ( $n=3, 4, 5, 7$ ;  $n$  はアルキル炭素数) に注目しました（図 1a）。 $nIB$  はシアノ基の代わりにイソシアノ基を持ち、金イオンと配位結合することで金錯体「 $Au-nIB$  ( $n=3, 4, 5, 7$ )」を形成します（図 1b）。

$Au-nIB$  の再結晶によって得られた全ての結晶は、温度変化によって結晶相転移（注 3）が起こり、これに伴い結晶長が伸縮することがわかりました。アルキル鎖の炭素数がわずかに変わるだけでも、伸縮長の大きさや何段階の結晶長変化が起こり変化しました。最も興味深いのは  $Au-4IB$  であり、加熱・冷却のサイクルを通じて 3 つの多形（ $\alpha$  相、 $\beta$  相、 $\gamma$  相）間で二段階の長さ変化が起こりました。特に、 $\alpha$  相を基準にした相転移前後の結晶長の比  $\rho_L$  は、 $\gamma$  相において  $\rho_L = 1.52$  という際立って大きな伸長率が実現しました（図 1c）。この値はこれまでに報告された分子結晶の中でも最高水準に相当します。

$Au-nIB$  の結晶では、液晶骨格（ $nIB$  部位）が密に整列してスメクチック液晶に類似した層構造を形成し、メソゲン層はアルキル鎖の交互貫入層によって隔てられた構造をとります（図 1d）。温度変化によって相転移が起こっても、このようなスメクチック液晶相に類似する分子配列は維持されますが、メソゲン層の厚み  $d_m$  が変化します。 $\alpha$  相を基準にした相転移前後のメソゲン長の比  $\rho_m$  は、結晶の長さの比と反比例することがわかりました（ $\rho_L \approx 1/\rho_m$ ）。この関係は全ての誘導体（ $n=3, 4, 5, 7$ ）において定量的に成立することが単結晶 X 線回折解析により確認されました（図 1f）。つまり、結晶格子内の「液晶の様な分子の配列変化」が、直接的に大きな結晶の長さ変化を引き起こしている、ということを示しています。

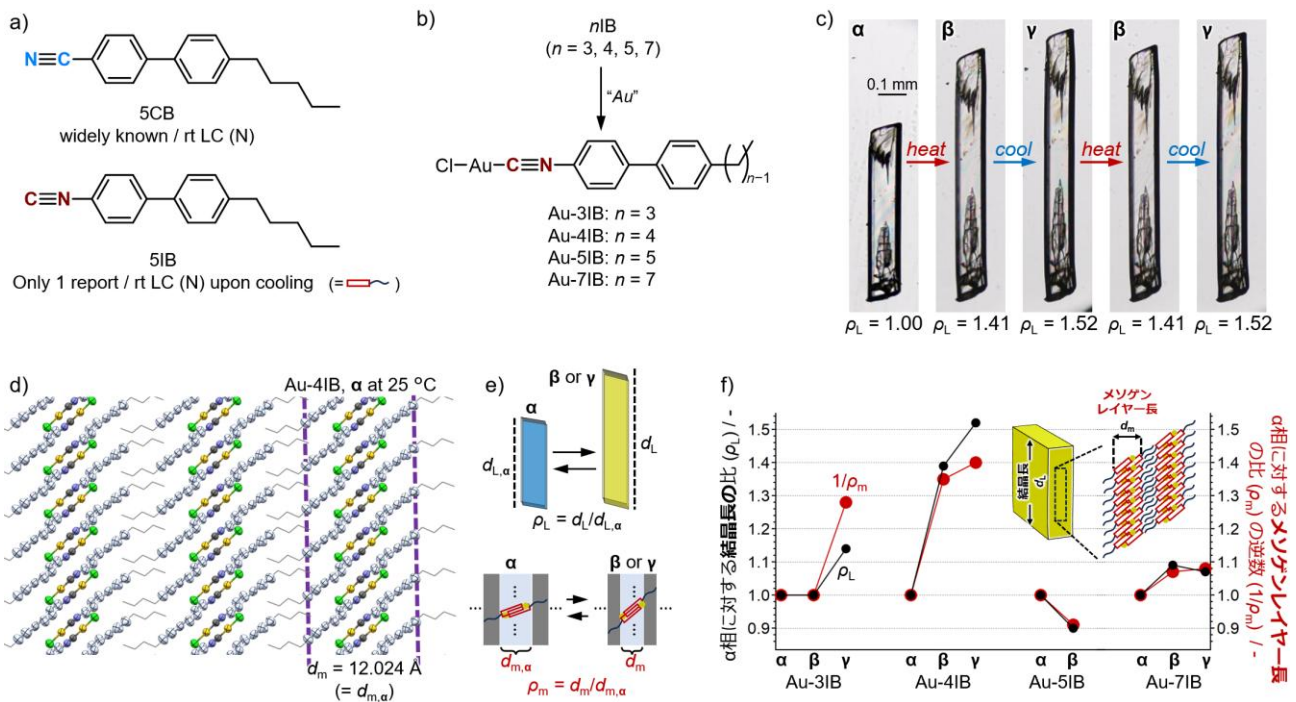


図1 a) 5CBと5IBおよびb) Au-*n*IBの分子構造。c) Au-4IBからなる結晶の写真と温度変化による結晶の伸縮。d) Au-4IBの $\alpha$ 相の結晶構造。e)  $\rho_L$ や $\rho_m$ の定義を示す模式図 f) Au-*n*IBの各多形の $\rho_L$ と $1/\rho_m$ の関係を示すプロット。

### 【今後の展望と波及効果】

本研究では、「液晶性を示す分子骨格を高密度に結晶格子に配列」させれば、分子結晶の伸縮を実現できることを見いだしました。5CBはもっとも有名な液晶分子ではありますが、この他にも様々な既存液晶分子骨格が知られており、同様に適用可能な汎用的な分子設計です。アルキル鎖長を変えるだけで伸縮の大きさや方向を調整できることから、目的に合わせた結晶アクチュエーターの合理的設計が可能となります。今後は、人工筋肉のように繰り返し伸縮動作を行うソフトアクチュエーター、微小な機械部品を駆動するマイクロアクチュエーター、環境の変化に自律応答する柔軟なスマート材料などへの展開が期待されます。また、本研究が示す「液晶の柔らかさ×結晶の規則性」という新たな設計概念は、曲げ変形が中心だった柔軟結晶の研究を伸縮変形の領域へと大きく拡張するものです。

### 【論文情報】

掲載誌名: *Journal of the American Chemical Society*

論文タイトル: Densely packed and well-aligned liquid-crystalline scaffolds drive controllable axial crystal strain

著者: 関 朋宏、矢野 彰人、斉藤 詢、鈴木 魁星、守谷 誠、佐藤 寛泰、矢野 圭悟、林 正太郎

DOI : 10.1021/jacs.6c03669

## 【研究助成】

本研究は、日本学術振興会（JSPS）科学研究費助成事業（JP22H02155, JP22K19058, JP24K01574）、科学技術振興機構（JST）PRESTO（JPMJPR21AB）、JST FOREST Program（JPMJFR211W）、JST CREST（JPMJCR22O4）、静岡大学グリーン科学技術研究所、公益財団法人 JKA、一般財団法人サムコ科学技術振興財団、公益財団法人住友財団等の支援のもとで行われました。

## 【用語説明】

### （注 1）メソゲン・メソゲン層：

液晶性を生み出す棒状の剛直な分子骨格部分（メソゲン）が積み重なって形成する層状の構造。本研究では  $n$ IB 分子のアルキル鎖を除く部位がこれに相当し、この層の厚みの変化が結晶長変化と直結する。

### （注 2）液晶材料：

固体の結晶秩序と液体の流動性の中間的な性質を持つ物質。分子が特定の方向に並ぶ高い配向秩序を持ちながら、温度変化などで層間距離や分子の傾きが変化する。ディスプレイなどに広く使われている。

### （注 3）結晶相転移：

同じ化学組成を持ちながら異なる結晶構造（多形）へと変化する現象。温度や圧力の変化によって多形間で構造が切り替わることで、色・発光・機械的性質などが大きく変化する。

## 【問い合わせ先】

### （研究に関すること）

静岡大学 理学部 准教授 関朋宏

TEL: 054-238-4936 E-mail: [seki.tomohiro@shizuoka.ac.jp](mailto:seki.tomohiro@shizuoka.ac.jp)

静岡大学 理学部 准教授 守谷誠

TEL: 054-238-4753 E-mail: [moriya.makoto@shizuoka.ac.jp](mailto:moriya.makoto@shizuoka.ac.jp)

高知工科大学 理工学群 教授 林正太郎

TEL: 0887-57-2516 E-mail: [hayashi.shotaro@kochi-tech.ac.jp](mailto:hayashi.shotaro@kochi-tech.ac.jp)

### （報道に関すること）

静岡大学 総務部広報・基金課

TEL: 054-238-5179 E-mail: [koho\\_all@adb.shizuoka.ac.jp](mailto:koho_all@adb.shizuoka.ac.jp)

高知工科大学 入試広報部広報課

TEL: 0887-53-1080 E-mail: [kouhou@ml.kochi-tech.ac.jp](mailto:kouhou@ml.kochi-tech.ac.jp)