

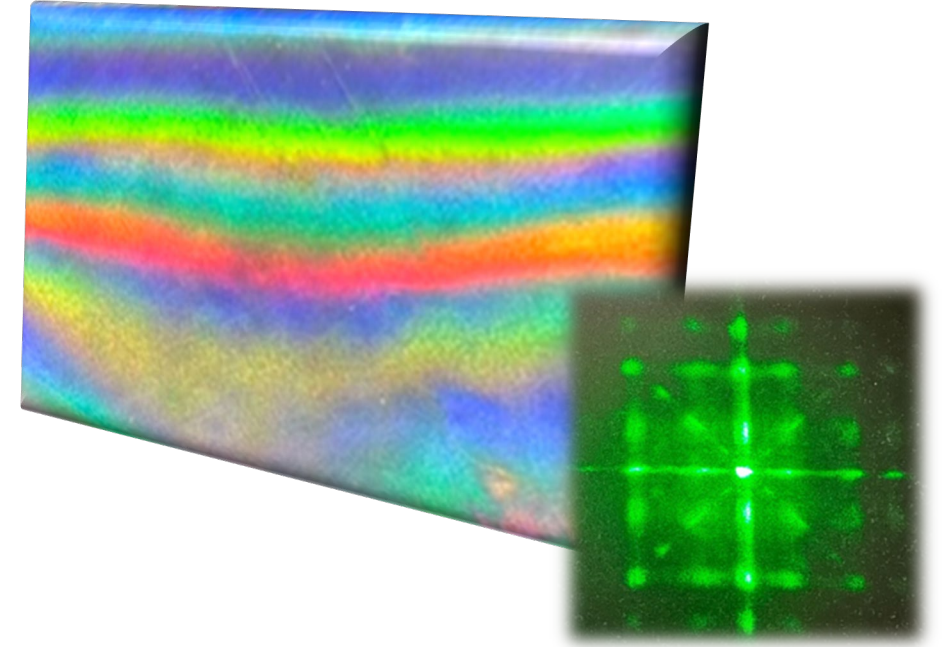
簡便な重合のみで フォトリソ材料を作製する技術

北海道大学 大学院先端生命科学研究院
先端融合科学研究部門
准教授 野々山 貴行

2025年10月16日

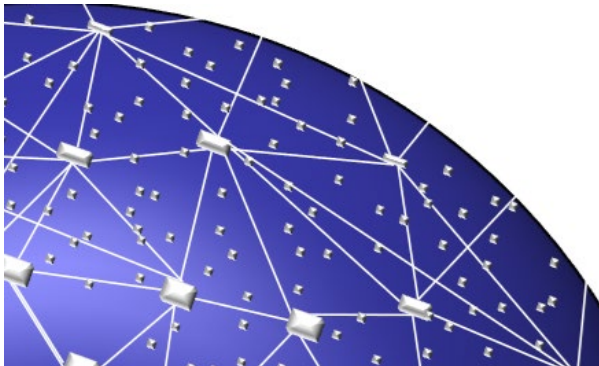
フォトニック材料

- 屈折率が周期的に変化するナノ構造体
- 光の伝わり方を制御できる
- 構造色を示し意匠性がある

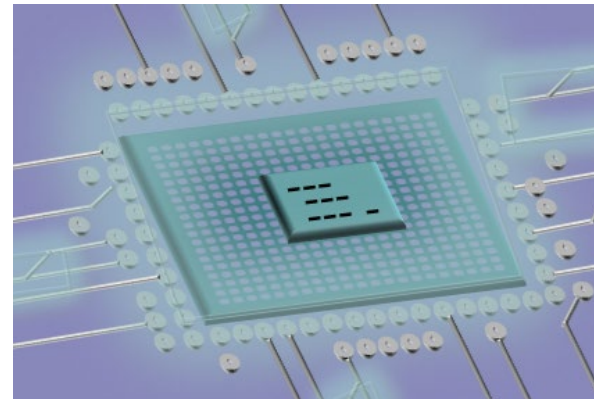


期待される未来技術

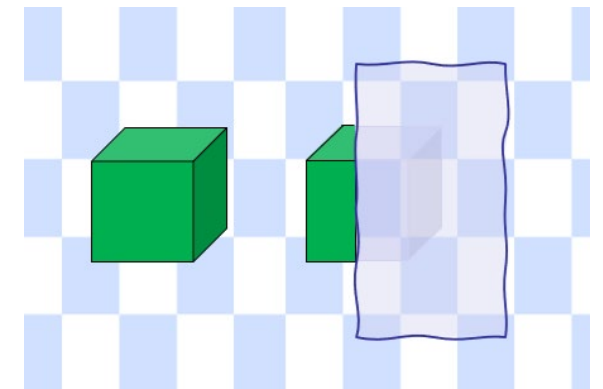
次世代（量子）通信



光コンピュータ



透明化技術



従来技術とその問題点

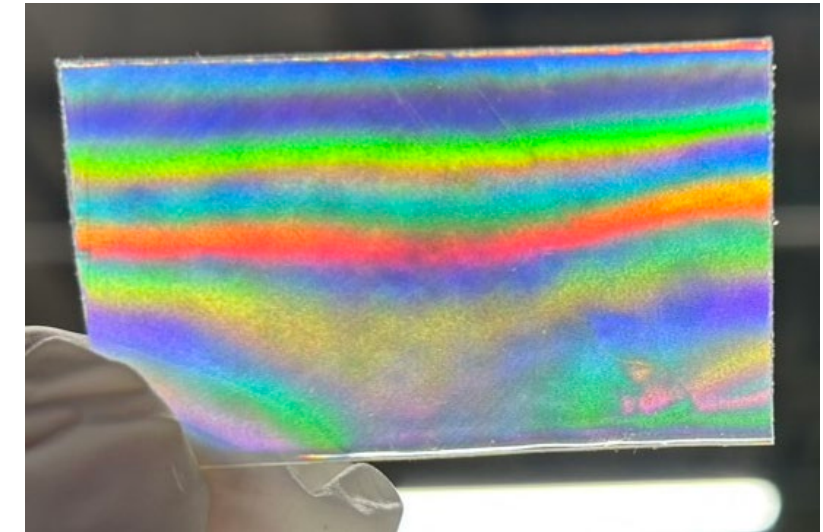
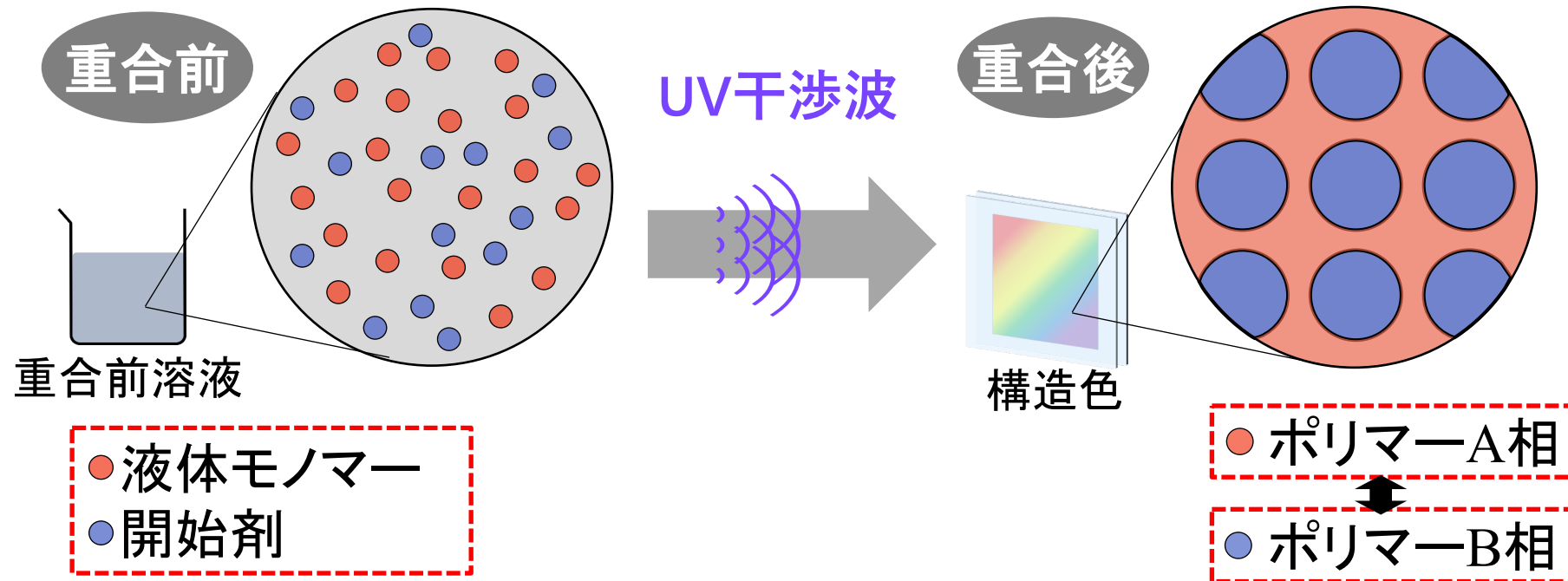
項目	従来技術 <ul style="list-style-type: none">・蒸着・スパッタリング・フォトリソ+エッチング・ボトムアップ的自己組織化・レーザー書込み（二光子励起など）	本技術	顧客メリット
設備	真空装置・高額レーザー	UV LEDアレイのみ	初期投資を1/10以下に削減
時間	数時間～数日	約5分	大幅なスループット向上
スケール	小面積が中心	大面積に対応	量産プロセスに直結
コスト	低スループット 高コスト	1/2～1/3	市場投入を加速
品質	均一な膜厚の制御難 欠陥が入りやすい	微細化容易 ナノ周期構造制御	基材の制約なく 目的に応じた自由な設計が可能

より簡便・大面積・低コストなフォトリソ材料作製方法が必要

新技術の特徴・従来技術との比較

重合誘起相分離と干渉重合光源を組み合わせた

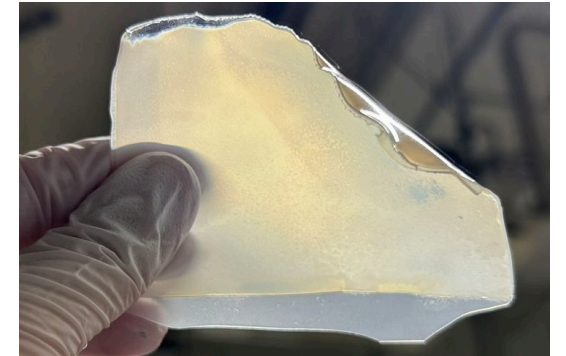
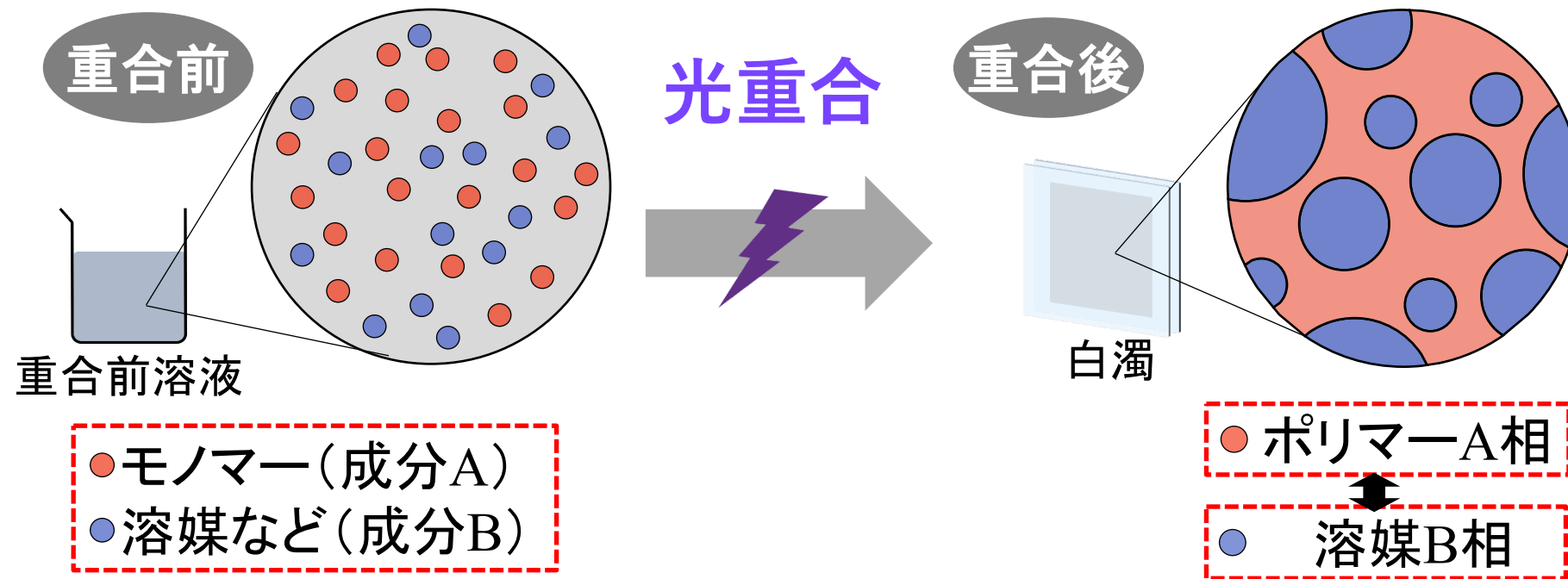
「フォトリック構造のその場形成」



ポリマーを5分ほど重合するだけで大面積フォトリック材料が得られる

新技術の原理

キーワード①：重合誘起相分離



均一に相溶

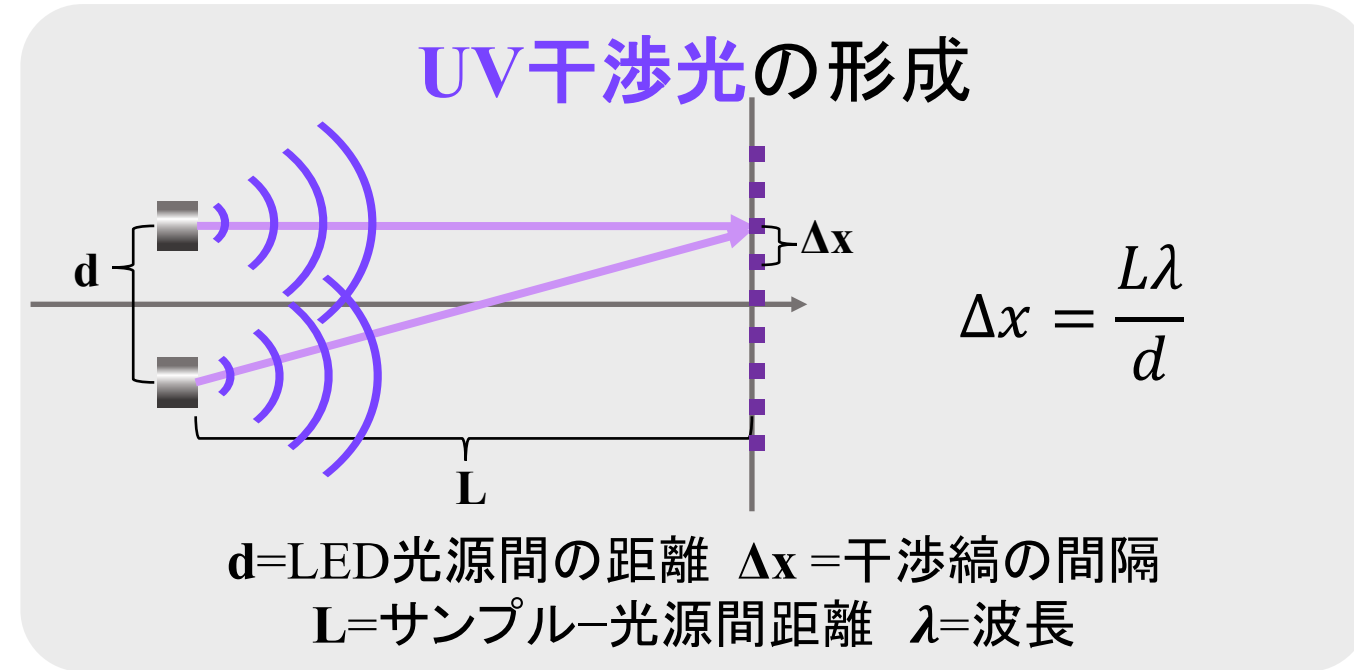
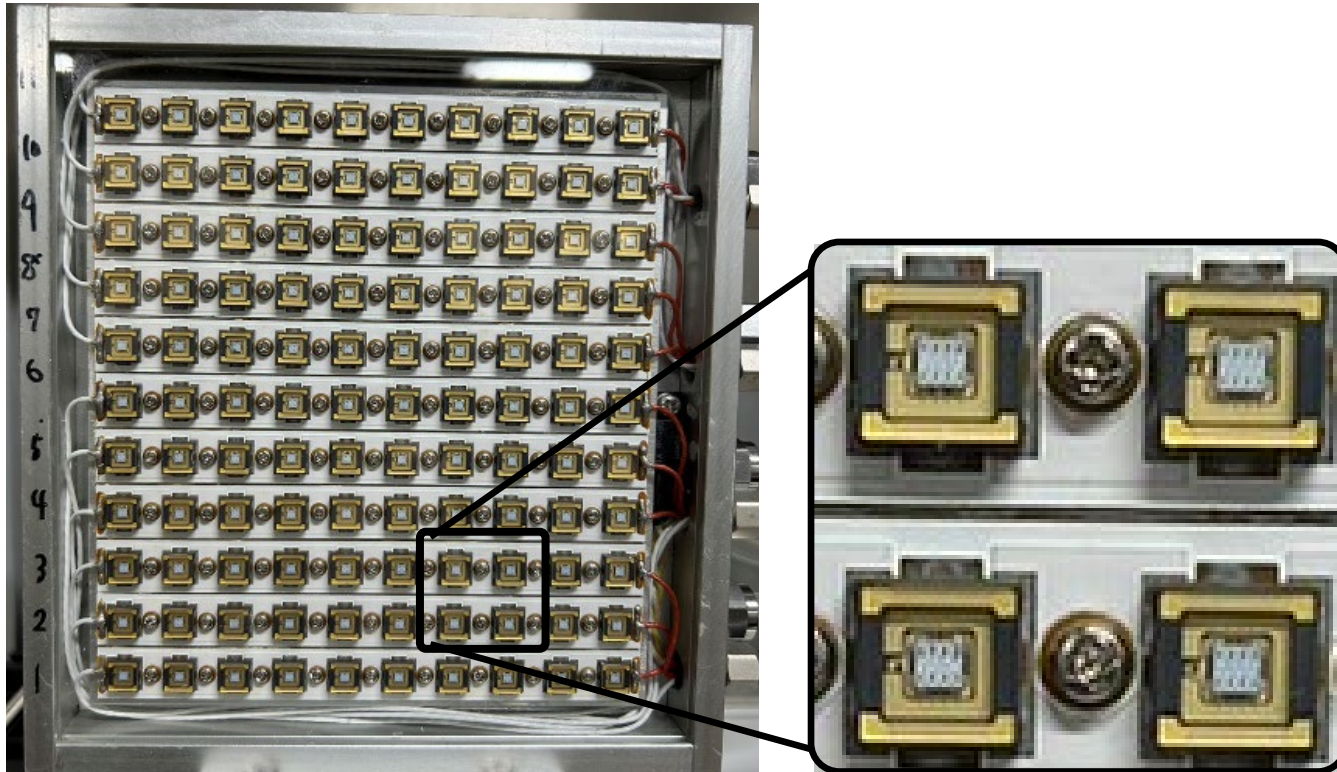
重合の進行とともに高分子は
溶解しにくくなりA相とB相に分離

通常、相分離構造の分布はランダムで材料は白濁する

新技術の原理

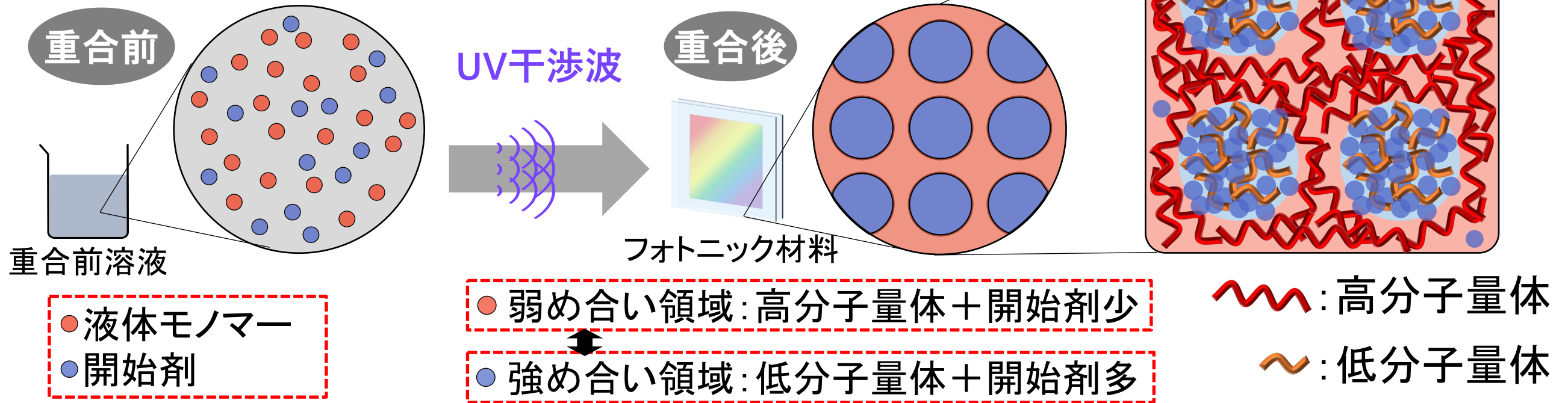
キーワード②：重合光源としてのUV干渉波

UVLED素子がアレイ状に並んだ光源



周期的なUV光の強度分布

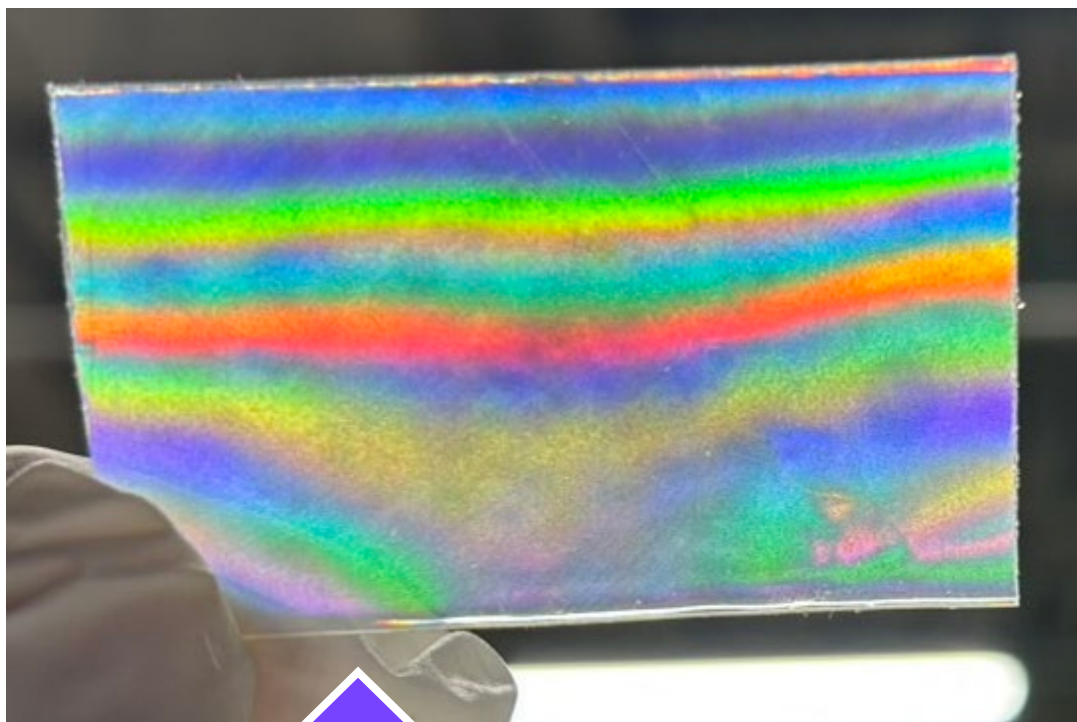
新技術の原理



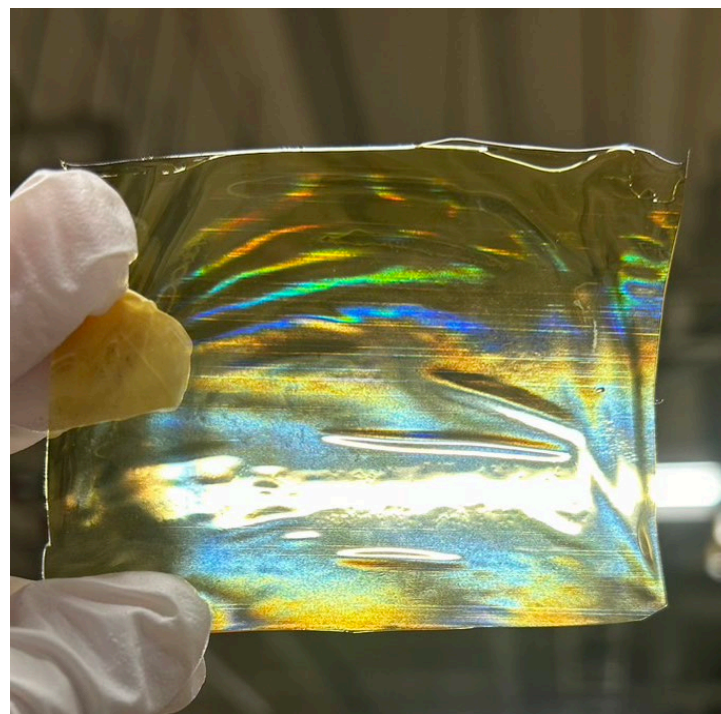
1. UV干渉波により**UV光の規則的な強度分布が形成**される
 2. 開始剤の効率が、**強め合う領域→高効率**、**弱め合う領域→低効率**
 3. 強め合い・弱め合い領域ではそれぞれ**短い高分子**、**長い高分子が形成**
 4. 低分子の開始剤は低分子量体側へ優先的に移動し、屈折率差を形成
- 周期的な屈折率変調によりフォトニック特性を発現**

サンプルのバリエーション

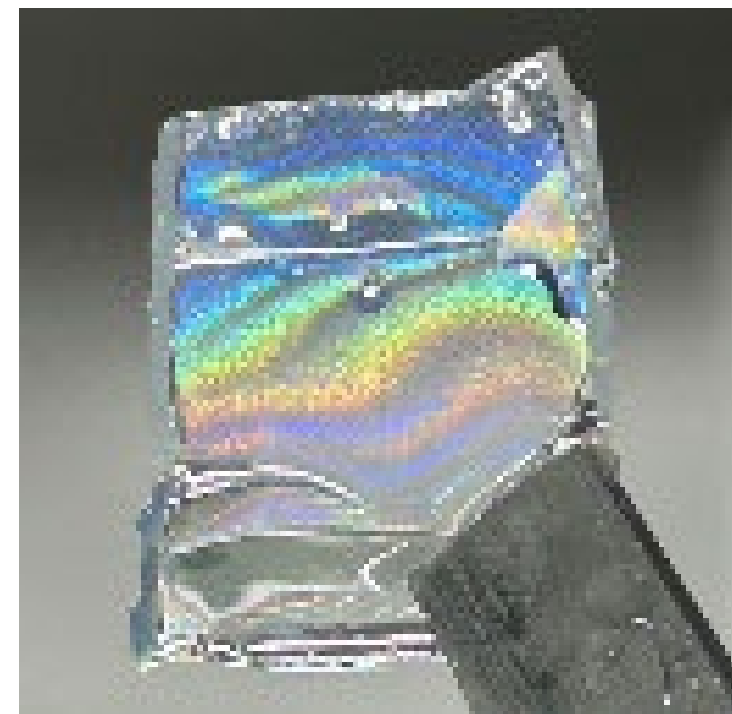
樹脂（代表的なサンプル）



エラストマー

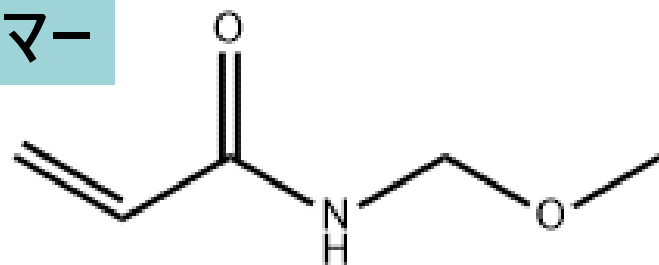


ゲル



液体モノマー

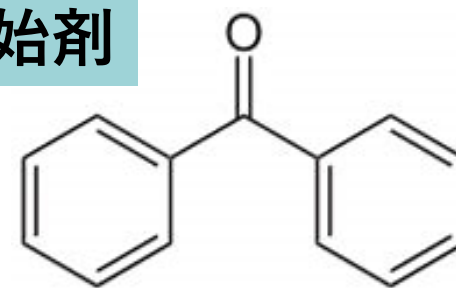
N-メトキシメチルアクリレート
(MOMA)



+

光開始剤

ベンゾフェノン



条件を満たせば、化学種に普遍的に適用可能

構造形成の解析①

光回折実験

レーザー

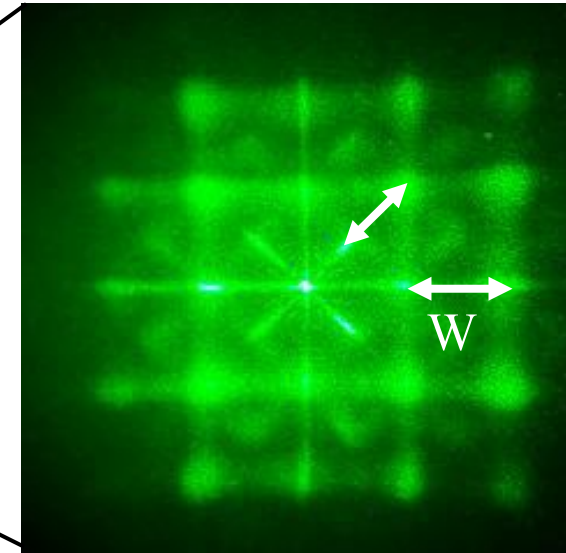
サンプル

D

W

θ

スクリーン



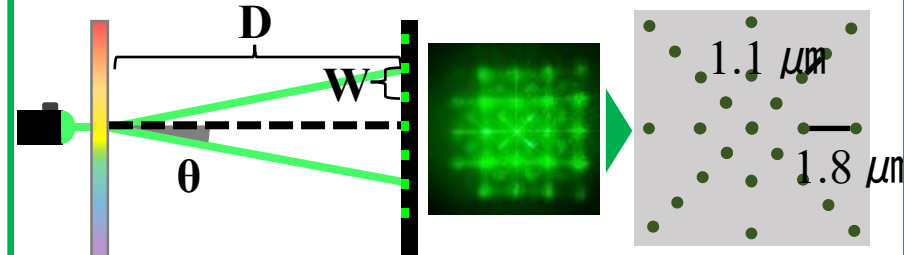
光路差

θ

Δx

周期構造単位

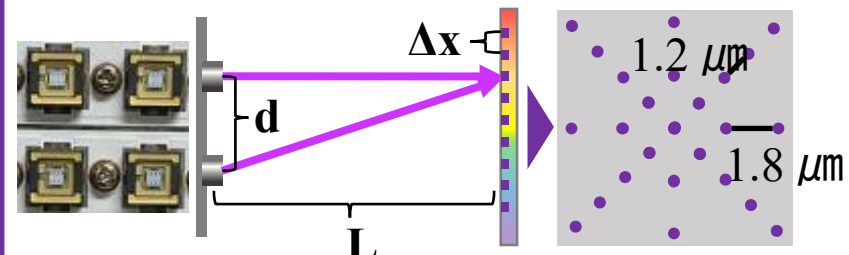
光回折



$$n\lambda \approx \frac{2\Delta x W \Delta x_1}{D \Delta x_2} = 1.8[\mu m]$$

$$n\lambda \approx \frac{2\Delta x W \Delta x_2}{D \Delta x_1} = 1.1[\mu m]$$

UV干渉縞



$$\Delta x = \frac{L\lambda}{d} \quad \Delta x_1 = 1.8[\mu m]$$

$$\Delta x = \frac{L\lambda}{d} \quad \Delta x_2 = 1.2[\mu m]$$

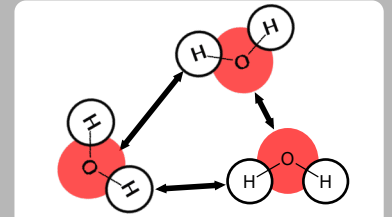
回折実験から得られた構造周期とUV干渉縞の周期が完全に一致

構造形成の解析②

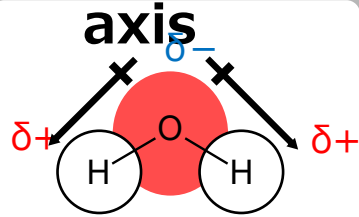
溶解性変化の確認

Hansenの溶解度パラメータ (HSP)

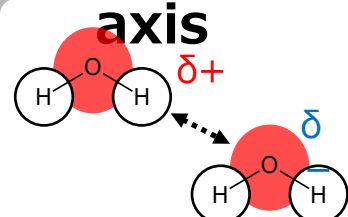
δD axis



δP axis



δH axis

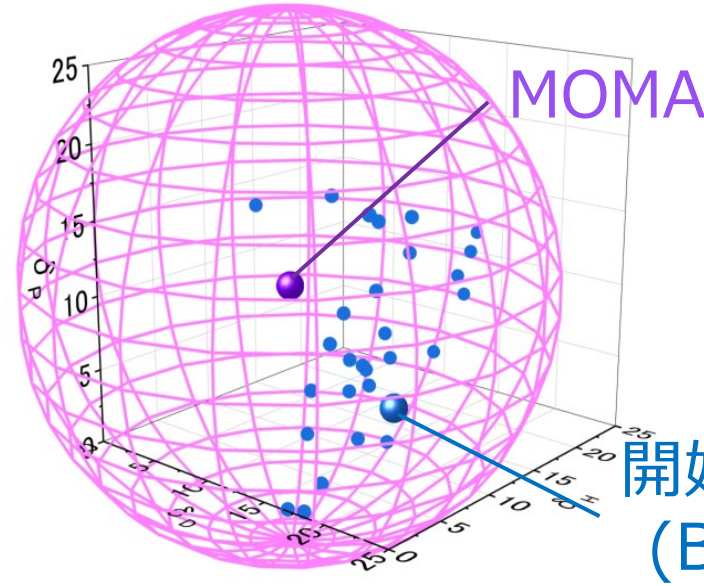


- 3次元の溶解度パラメータで物質同士の溶解のしやすさや相分離を予測できる
- 端的に言えば、球の中に位置すれば相溶、外に位置すれば非相溶

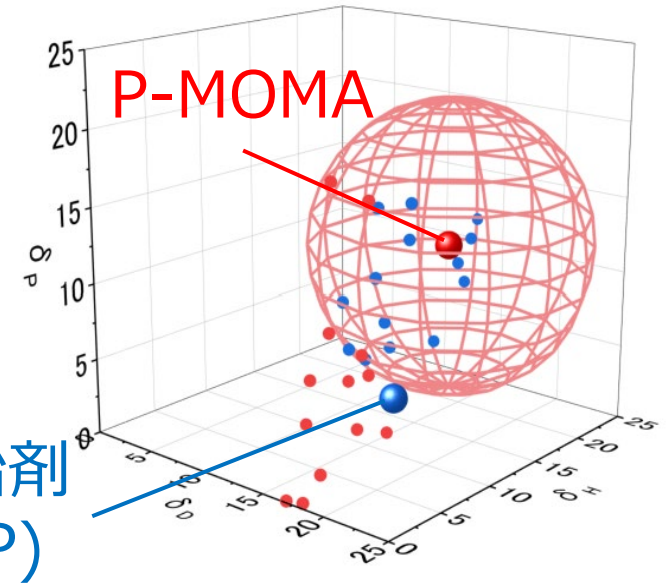
開始剤はモノマーとは相溶するが、ポリマーとは非相溶

→重合の進行によって、ポリマーと開始剤は分離することを確認

MOMAモノマー
(重合前)



poly(MOMA)
(重合後)



想定される用途

- **デザイン・意匠** : **フレキシブル“構造色”装飾フィルム、偽造防止・多重情報タグ**
 - ・ 包装、家電外装、車内外装装飾
 - ・ ブランド保護
 - ・ 流通トレーサビリティ
- **バイオ・医療** : **ゲルベースの光学センサー、バイオチップ**
 - ・ バイオチップ上での光学センサー基盤（構造色変化をシグナル化）
 - ・ 生体親和性材料へフォトリソニック構造導入 → 培養細胞の光学的観察
 - ・ 医療用ウェアラブルセンサーにおける伸縮可能な光学検出膜
- **エレクトロニクス** : **低コスト光学フィルタ／反射・散乱制御フィルム**
 - ・ フォトリソニック集積回路内の光論理素子（導波・スイッチング）
 - ・ 光導波路UV干渉光を使った光ナノパターンニング技術（半導体製造）
 - ・ 小型光学センサーの構造色ベース検出素子（読み出し信号）

実用化に向けた課題

【現状到達点】

- ・ 約1 μm 周期構造の形成を実証済み
- ・ 短時間（数分）で大面積のフォトニック材料を作製可能

【技術課題（次のステップ）】

- ・ 微細化より小さい周期（サブ μm 領域）の形成
→UV-LED素子間隔の縮小、短波長光源の利用
- ・ 品質向上 →高コヒーレント光（レーザー等）の利用で規則性・均一性を改善
短波長光源に対応する新規開始剤の設計
- ・ 成膜・プロセス性 →重合セルからの容易な剥離を可能にする基材の開発
厚膜化時の深さ方向での周期乱れ抑制

【今後の方向性】

- ・ 光源・開始剤開発企業との連携 → 微細周期形成の実証
- ・ フィルム／基材メーカーとの共同研究 → 剥離・厚膜化プロセスの確立
- ・ これにより、量産性とデバイス適用性を両立

社会実装への道筋

時期	取り組む課題や明らかにしたい原理等	社会実装へ取り組みについて記載
基礎研究	<ul style="list-style-type: none"> ・ 光干渉を利用した周期構造形成の実証（1μmレベル） ・ 重合誘起相分離のメカニズムを解析 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 学会発表・特許出願を完了 ・ 基盤原理を確立し企業への技術説明を開始
現在	<ul style="list-style-type: none"> ・ UV-LEDを用いた数分プロセスによる大面積サンプルを作製 ・ 樹脂、ゲル、エラストマーでの構造色発現を確認 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 新技術説明会で発表、共同研究先を探索 ・ 社会実装に向けたPoCテーマの設定
1～2年後	<ul style="list-style-type: none"> ・ サブμm周期形成に挑戦（短波長光源・高コヒーレンス光の導入） ・ 容易剥離基材の設計と厚膜化での周期安定性評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・ JST/AMED等の事業に申請し研究資金を獲得 ・ 試作品によるデモンストレーションを企業と実施
3～4年後	<ul style="list-style-type: none"> ・ 主要特性の評価（耐候性、耐熱性、光安定性） ・ 構造色フィルム／光学部品としての材料最適化 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 産業界向けに評価データを提供 ・ 企業へのサンプル提供を開始
5～7年後	<ul style="list-style-type: none"> ・ 性能向上（耐環境性・長寿命化） ・ ロール to ロール等による量産プロセス実証 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 試験サービス／共同開発を本格化 ・ 社会実装（包装材・セキュリティタグ・センサー部材等）へ展開

企業への期待

- **光源技術の提供**
短波長・高コヒーレンス光源（UVレーザー、アレイ設計）
の試用・共同開発
- **材料開発の協力**
新規光開始剤・離型基材・耐久性材料の設計支援
- **製造プロセス検証**
ロール to ロールやスプレー塗布による大面積・量産ライン
適合性の実証
- **応用市場知見の共有と市場開拓**
包装・意匠、セキュリティ、バイオ・医療、通信などのニー
ズ調査とPoCを通じた市場開拓

企業への貢献、PRポイント

- **短時間・低コストで大面積形成**
真空装置や高額レーザーを使わず、数分のUV照射でフォトニック構造を作製可能
→ 設備投資・製造コストを 従来の1/2~1/3 に削減
- **柔軟な基材対応と応用展開**
樹脂・ゲル・エラストマーなど有機材料にも適用可能
→ 包装材・セキュリティ印刷・ウェアラブルセンサーなど、多分野に展開可能
- **構造色による高付加価値化**
顔料や染料を使わず構造色を発現 → 意匠性と持続可能性（環境負荷低減）を両立
- **大面積・量産プロセスに直結**
スプレーコートやロール to ロールへ展開でき、量産ライン導入が容易
→ 市場投入を加速し、競争優位を確立
- **幅広い産業分野との共創**
光通信・エレクトロニクスからデザイン・医療まで、応用市場が広く、共同研究やライセンスの可能性が幅広く期待される

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 樹脂成形体を製造する方法、樹脂成形体、及び光学部品
- 出願番号 : 特願2025-005424
- 出願人 : 国立大学法人北海道大学
- 発明者 : 野々山 貴行、丸山 燎

産学連携の経歴

- 2020年-（継続中） S社と共同研究実施
- 2025年-（継続中） M社と共同研究実施
- 2020年-2027年 JST創発的研究支援事業に採択

お問い合わせ先

北海道大学 産学・地域協働推進機構
産学・地域協働推進機構 ワンストップ窓口

<https://www.mcip.hokudai.ac.jp/about/onestop.html>