

## 研究背景

3Dプリンタに代表されるデジタルファブリケーション技術は、プロダクトデザインにおける試作や製品の生産に利用されている。

一方、これまでのデジタルファブリケーション研究では、ユーザの意図するデザインをいかに直感的に、かつすばやく機械に伝達し、そしてそのデザイン構造を精密、かつ高速に造形することに重点が置かれていた。

ここで、**造形された物体は再利用不可**であるため、造形物が意図と異なるデザインであった場合は廃棄するしかなく、環境に対し大きな負荷となっていた。

## 研究内容

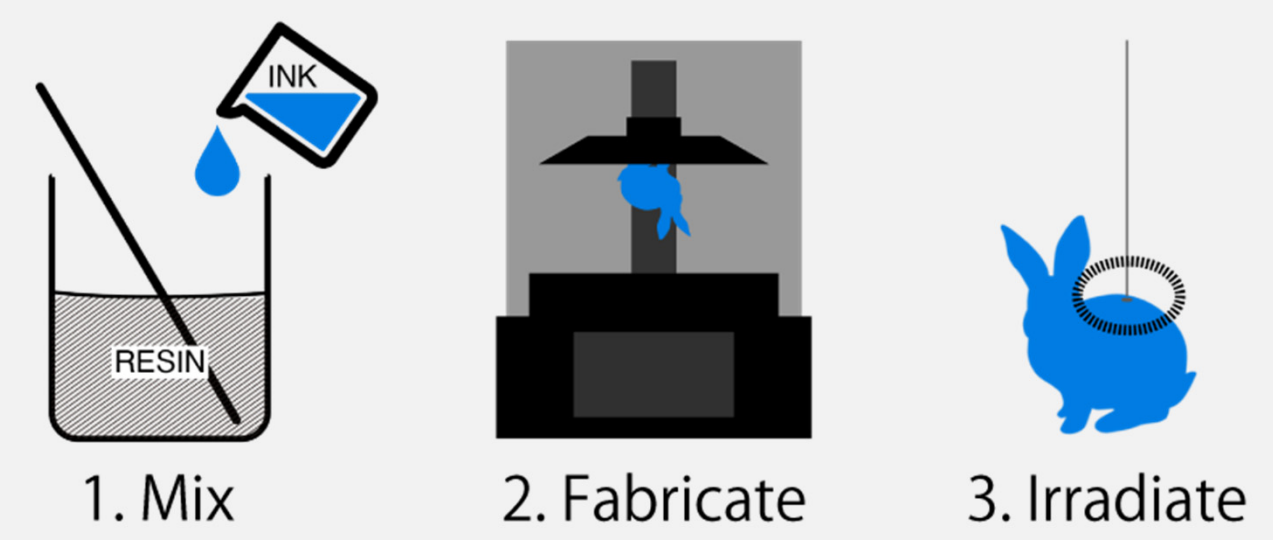
本研究では、**温度により色が変化するサーモクロミック色素**を含む立体物を3Dプリントにより作製し、**非接触熱照射技術**を用いてこの物体の表面を選択的に加熱することで、**造形後に表面の色と模様を制御可能な立体物造形手法**を提案した。

発色/消色に双安定性をもつフリクション®インクを用いたフルカラー3Dプリントと高解像な非接触熱照射技術を組み合わせることで提案手法を実現した。

熱照射技術を用いることで画素単位での発色/消色制御が数秒～数十秒程度で可能となり、立体造形物の表面色・模様を実用的な待ち時間での変更、制御が実現できる。

本研究で提案した造形・制御手法は3つの工程からなる。

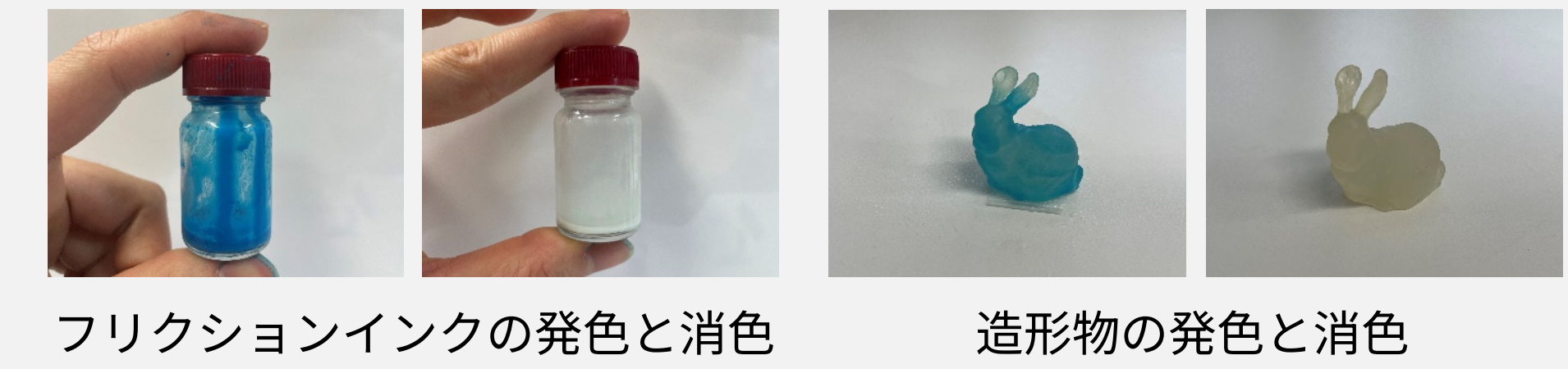
- ▶ サーマクロミックインクを造形材料である紫外線硬化レジンに混合する
- ▶ **3Dプリンタによる造形**：光造形式3Dプリンタで構造物を造形する
- ▶ **加熱による制御**：レーザーを走査し、ユーザの意図した部分のみを加熱することで表面色・模様を制御する



## サーモクロミックインク混合材料を用いた3Dプリント

サーモクロミックインクはパイロット社の蛍光ペン「フリクション®ライト」に含まれるインク（以下、フリクションインクと呼称）を使用する。フリクションインクは60℃以上で消色し、-10℃以下で発色するが、この間の温度領域では**安定である双安定性のインク**である。

混合においては、**紫外線硬化レジン**（Colored UV resin, ANYCUBIC）と**フリクションインク**を質量比 10:1 で混合する。これを材料として**光造形式の3Dプリンタ**（Photon mono, ANYCUBIC）で造形する。作製した物体は洗浄後二次硬化させる。二次硬化に伴う加熱でインクが消色するため、二次硬化が完了した物体を冷却スプレーにより冷却し、発色させる。



## サーモクロミックインク混合材料を用いた3Dプリント

フリクションインクを混合して造形した物体を対象に、表面を**レーザー熱投影**により**選択的に加熱**して消色させることで、意図した模様を再現する。

画像編集ソフトに模様の画像を取り込み、本研究で使用する**家庭用レーザー加工機**（LaserPecker Pro, LaserPecker）向けのG-Codeを生成する。

生成したG-Codeはスマートフォンへ転送し、スマートフォンアプリ（LP2, LaserPecker）を用いてレーザー加工機へ転送、**レーザーを走査**して物体を加熱する。

制御のための加熱方法としてレーザー熱投影を用いることにより、制御対象の物体に対して**制御構造の組み込みが不要**となる。また、レーザーはμm～mmオーダの精度で高解像度に走査できるため、**模様の表現において十分な表現力**を持つと言える。



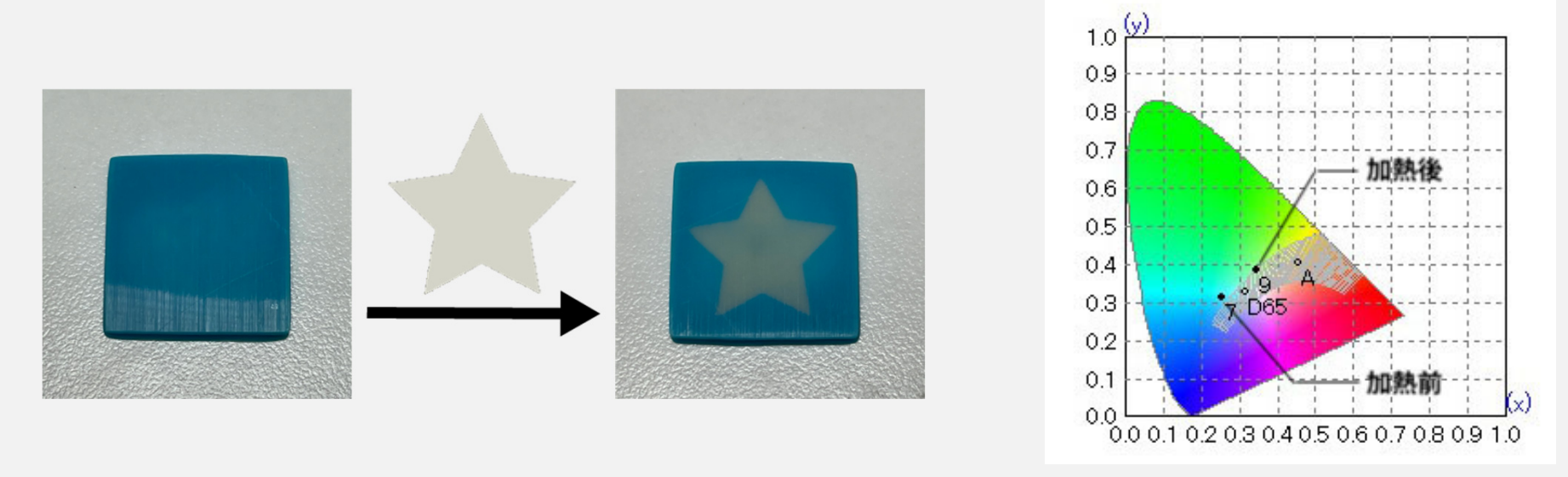
レーザーによる加熱

## 評価

**造形物の発色と消色**を評価するために、青色インクを混合した樹脂について、分光放射輝度計を用いて**加熱前後での色度を測定**、比較する実験を行った。

図より、レーザーを照射し加熱した箇所が**消色され、意図した模様**が表現されていることが確認できた。またレーザー照射前後の色度を記録した**色度図**より、レーザー照射前後で測定箇所の色度の変化が確認できた。

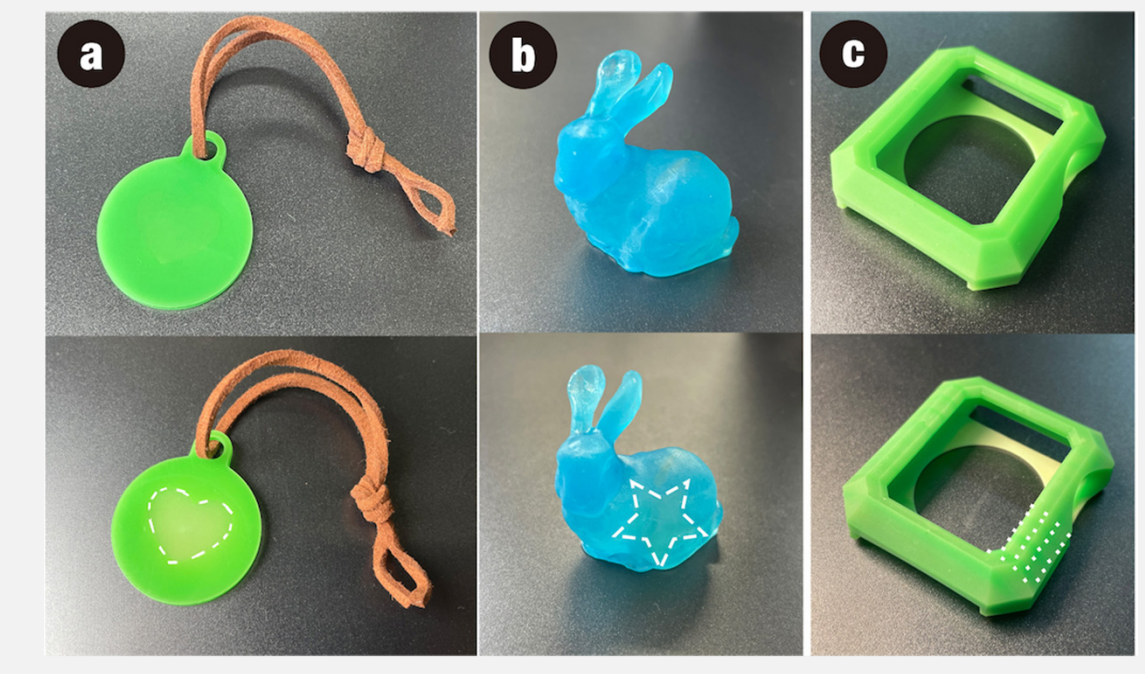
これらより、**レーザー照射による加熱で表面の発色と消色を制御可能なこと**が確認できた。



## アプリケーション

アプリケーションとして、**日常的に使用する物品**であるペンダント、フィギュア、スマートウォッチケースを作成し、その模様の制御を行った。

これらの表面の模様を、ユーザは装置さえあればいつでも好きな模様に変更することができる。このような特徴を持つ製品により、販売側は単一のラインナップで商品を展開でき、過剰生産の削減に繋がると考えられる。



## 研究成果リスト

[1] Yuto Umetsu, Parinya Punpongsanon, and Takefumi Hiraki. InfiniteShader: Color Changeable 3D Printed Objects using Bi-Stable Thermochromic Materials. SIGGRAPH Asia 2022 Posters. Article No. 38, 2022.  
 [2] 梅津 友翔, 平木 剛史. サーマクロミック材料とレーザー熱投影を用いた造形後に色と模様を制御可能な3Dプリント手法の基礎検討. 第27回日本バーチャルリアリティ学会大会論文, 3E2-2, 2022.