

## 形状記憶ポリマー・形状記憶合金複合材を用いた 4D プリントオブジェクトの開発

### Development of 4D print object using shape memory polymer / shape memory alloy composite

北村 一浩

愛知教育大学技術教育講座

Kazuhiro Kitamura

Department of Technology Education, Aichi University of Education

キーワード：形状記憶ポリマー，形状記憶合金，4D プリントオブジェクト，複合材

Keywords: shape memory polymer, shape memory alloy, 4D print object, composite

#### 1. はじめに

形状記憶ポリマーは，2種類の特性を有している。一つの特性は，形状固定性でもう一つの特性は，形状回復特性である。形状固定性を有することで，ポリマーのガラス転移温度以下では材料が固くなり，保持した形状が固定される。一方，ガラス転移温度以上では，あらかじめ記憶した形状に形状が回復する。

形状記憶合金は，変態温度以下では，見かけのヤング率が 20GPa と小さい特徴があり，逆変態温度以上では，強力な形状回復力が発生する。

3D プリンタは，コンピュータで設計を行なった 3次元形状の設計品を直接 3次元で出力することができる機械であり，樹脂や金属，セラミックスなどの材質の造形が可能である。

さて，形状記憶ポリマー，形状記憶合金，3D プリンタの3つについて，K社の中学校 技術・家庭科（技術分野）の教科書に説明が載っており<sup>1)</sup>，技術分野の教材としても，それぞれが関連の深い内容である。

本研究では，3D プリンタにより造形を行なった形状記憶ポリマーと，形状記憶ポリマーと異なる動作温度を持つ形状記憶合金を複合化させることにより，複雑な動きを行う形状記憶複合材を開発することを目的としている。

#### 2. 4D プリントについて

4D プリントは，MIT の研究員の Skylar Tibbitts が 2013 年，3次元に4つ目の次元として時間軸を加えた 4D プリンティングという新技术を発表した。この新技术により，時間とともに自分で形

を変えたり自己組織化するような物体をプリントできるようになった。4D プリントは，造形後に様々な外的刺激（光，熱，振動，磁力など）をトリガーとして変化する，新たなプリンティング技術として注目されている。現在，様々な形状記憶ポリマーを用いた 4D プリント応用品が作製されている。図1は，形状記憶ポリマーによる 4D プリント応用品を示している<sup>2)</sup>。この形状記憶ポリマーは，ポリマーの周りの雰囲気を加熱することにより動作し，ネジを持ち上げることができる。

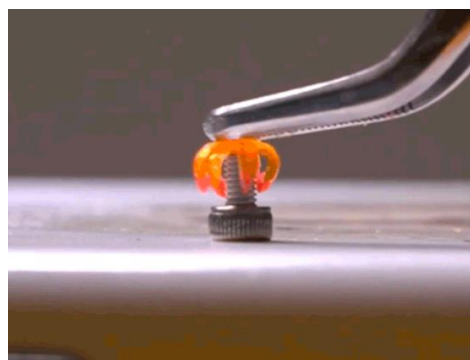


図1 形状記憶ポリマー4D プリント応用品<sup>2)</sup>

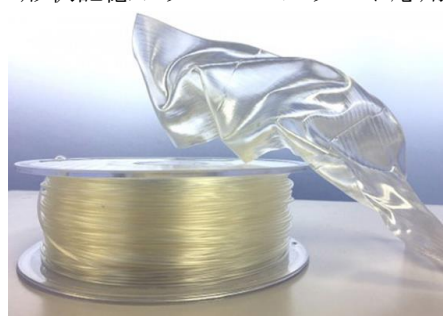


図2 形状記憶ポリマーフィラメント

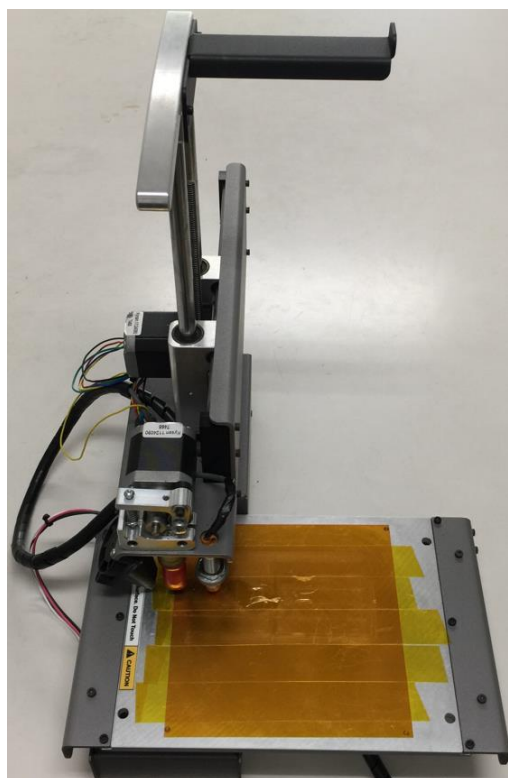


図3 造形に用いた3Dプリンタ



図4 造形後の形状記憶ポリマーシートの形状

### 3. 形状記憶ポリマーシートの作製条件

形状記憶複合材の作製条件を以下に示す。形状記憶ポリマーシートは、3Dプリンタを用いて造形した。用いたフィラメントは、(株)SMPテクノロジーとキョーラク(株)との共同開発により製品化されたSMP55で、フィラメント直径1.75mm、ガラス転移温度は55℃である(図2参照)。造形は、図3に示すPrintbot社製のPrintbot simpleを用いて行なった。図4に造形を行なった形状記憶ポリマーシートを示す。造形条件は、エクスト



図5 (a) 35.4℃でのポリマーの形状



図5 (b) 48.1℃でのポリマーの形状  
ルダ温度が30℃、造形速度が100mm/min、造形ピッチが0.1mmである。造形した形状記憶ポリマーシートは、長さ60mm、幅10mm、厚さ0.25mmのフラット形状をしている。このシートは、図4のように、はじめはフラットな形状をしているが、図5のように(a)35.4℃、(b)48.1℃、(c)55.4℃と加熱を行うことにより、らせん形状に変形した(図6参照)。

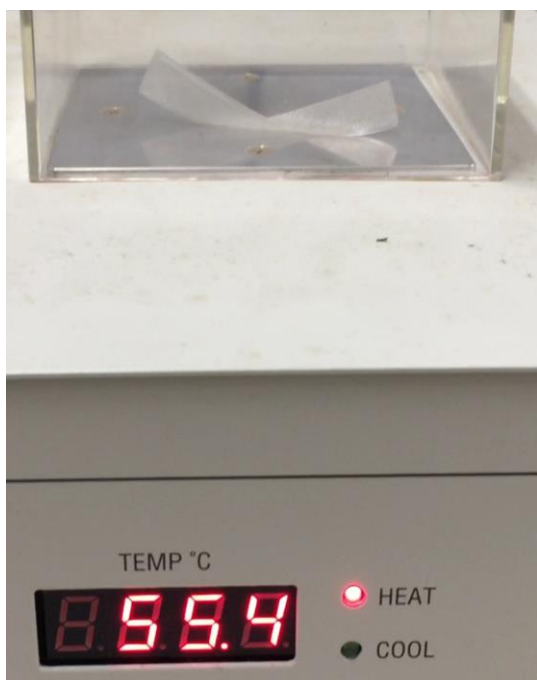


図 5 (c) 55.4°Cでのポリマーの形状

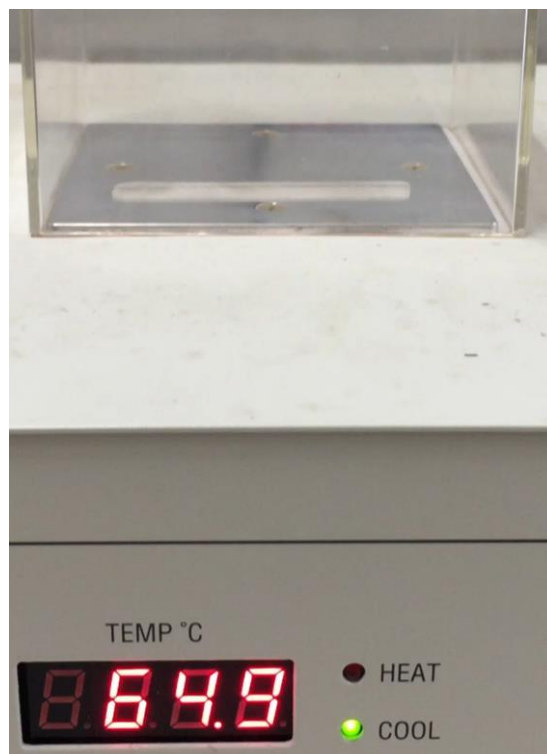


図 8 (a) 64.9°Cでの形状記憶複合材の形状



図 6 完全に形状回復したポリマーシート



図 7 形状記憶複合材の概要

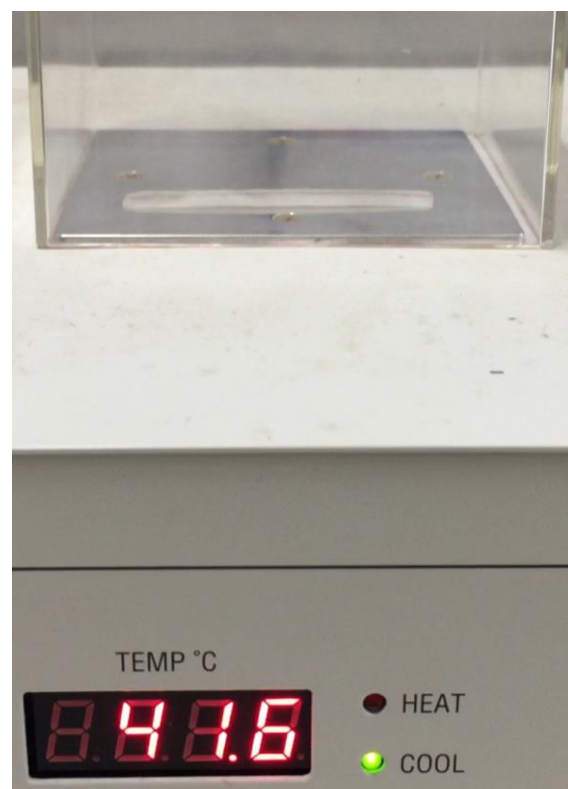


図 8 (b) 41.6°Cでの形状記憶複合材の形状

#### 4. 用いた形状記憶合金の概要

用いた形状記憶合金は、(株)吉見製作所製の Ti-

50.0at%Ni 材で、直線形状にあらかじめ形状記憶処理が施されている直径 0.3mm のワイヤ材を用いた。試料の R 相変態ピーク温度は 46°C、マルテ

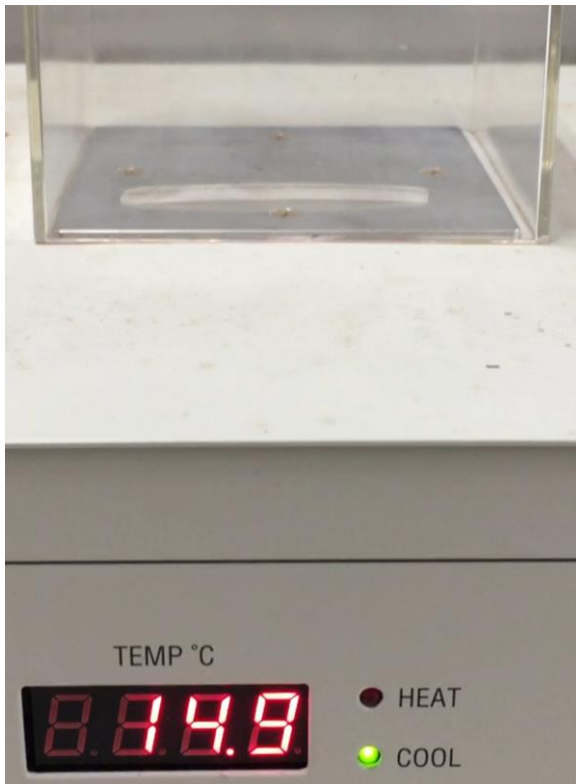


図 8 (c) 14.9°Cでの形状記憶複合材の形状

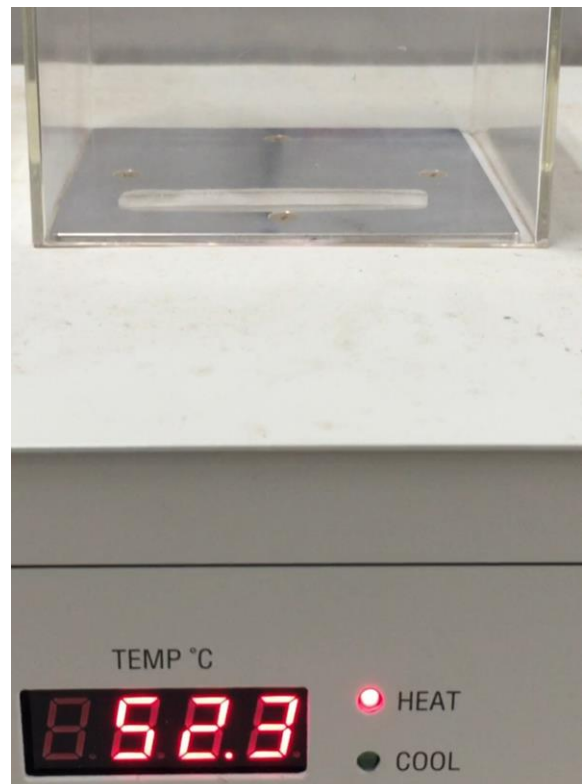


図 9 (b) 52.3°Cでの形状記憶複合材の形状

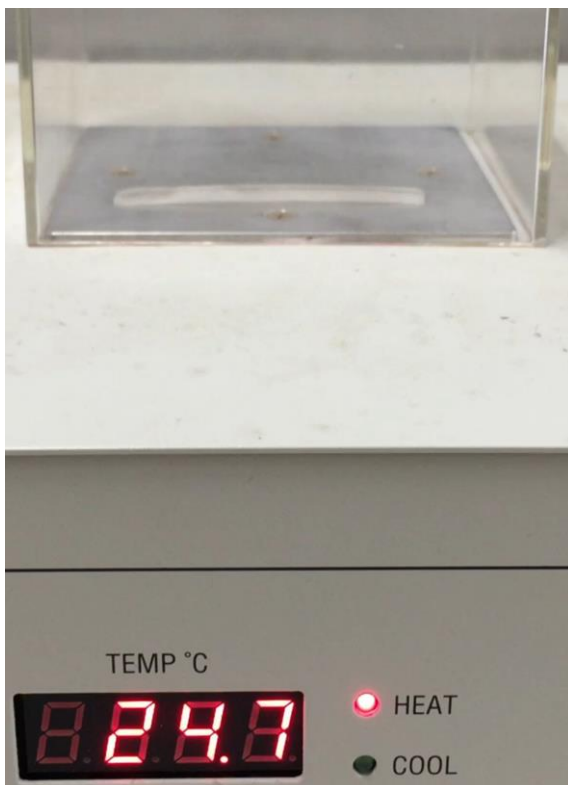


図 9 (a) 24.7°Cでの形状記憶複合材の形状

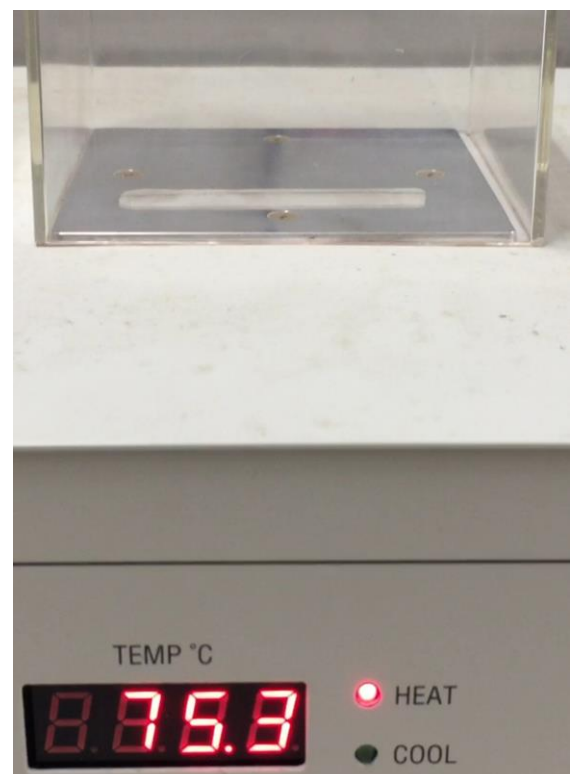


図 9 (c) 75.3°Cでの形状記憶複合材の形状

ンサイト変態ピーク温度は 5°C, マルテンサイト

逆変態ピーク温度は 66°Cである。

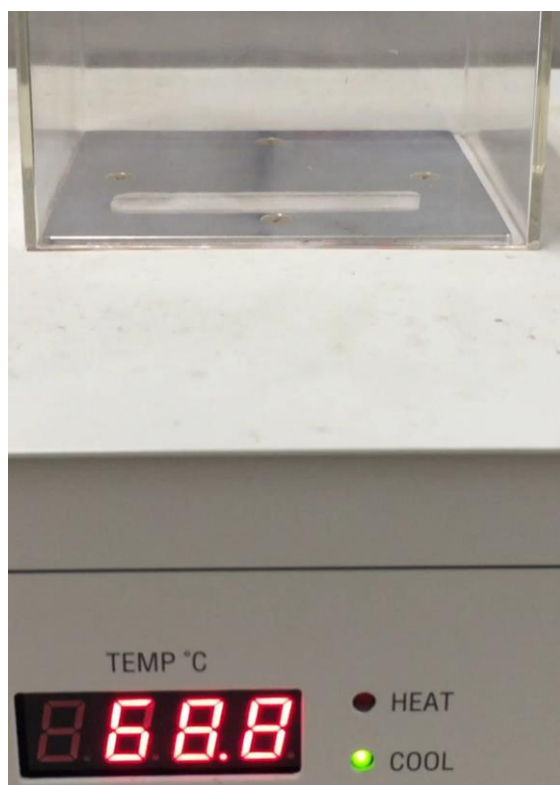


図 10 (a) 68.8°Cでの形状記憶複合材の形状

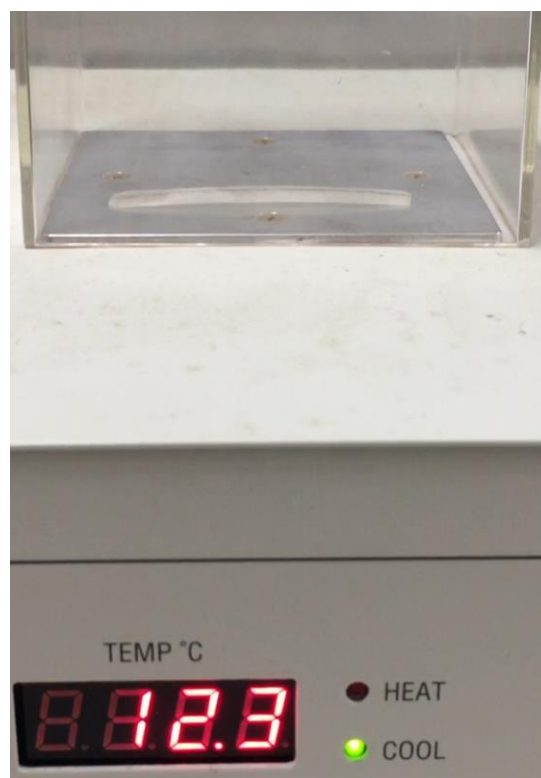


図 10 (c) 12.3°Cでの形状記憶複合材の形状

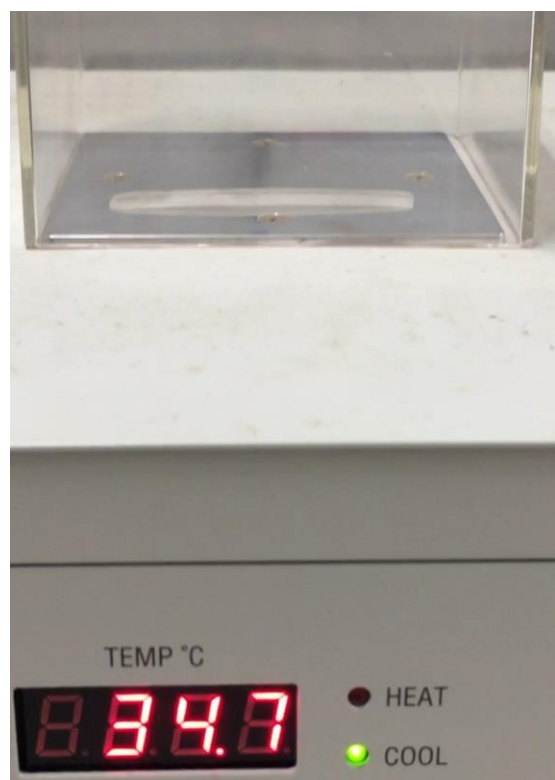


図 10 (b) 34.7°Cでの形状記憶複合材の形状

## 5. 形状記憶複合材の作製条件

形状記憶複合材は、以下の手順で作製した。2

枚の形状記憶ポリマー板の間に、形状記憶合金ワイヤを1本配置し、130°Cで10秒間加熱を行うことで形状記憶複合材を整形した。(図7参照)

## 6. 湾曲形状に変形後の加熱による形状回復

形状記憶複合材を室温で湾曲形状に変形後の過熱による形状回復の実験を行なった。加熱には、VICS社製、ITH-300Aを用いた。表面の温度が上昇するにしたがって、フラットな形状に徐々に形状回復することが明らかになった。

## 7. 加熱後の冷却による形状変化

形状記憶複合材を80°Cまで加熱を行った後、冷却を行った時の形状変化を図8に示す。冷却は、VICS社製、ITH-300Aを、測定温度はITH-300Aに表示される数字を用いた。図8は、(a) 64.9°C、

(b) 41.6°C、(c) 14.9°Cの時の複合材の形状を示す。複合材の高さ変化は、レーザー変位計KEYENCE LK-030 + LK-2000を用いて計測した。複合材の高さ変化は、80.0°Cを基準とすると、64.9°Cでは0.1mm、41.6°Cでは0.8mm、14.9°Cでは1.1mmである。冷却により、形状記憶合金の発生力が低下するが、反対に形状記憶ポリマーの発生力が増

加する。そのため、複合材の高さが増加する。形状記憶ポリマーは、ガラス転移温度以下でも形状が固定されるまでは回復力が発生し、複合材の高さが増加する。

#### 8. 冷却後の加熱による形状変化

形状記憶複合材を 10℃まで冷却を行った後、加熱を行った時の形状変化を図 9 に示す。加熱は、VICS 社製、ITH-300A を、測定温度は ITH-300A に表示される数字を用いた。図 9 は、(a) 24.7℃、(b) 52.3℃、(c) 75.3℃の時の複合材の形状である。複合材の高さ変化は、80.0℃を基準とすると、24.7℃では 1.0mm、52.3℃では 0.75mm、75.3℃では 0.1mm となった。加熱時の複合材の高さは一旦減少したあと上昇し、その後急速に減少し 80℃以上で 0.0mm である。形状記憶ポリマーの形状固定性が徐々に低下すると共に、形状記憶合金の発生力が徐々に増加する。その後形状記憶ポリマーの形状固定性がさらに減少し、形状記憶合金の回復力の増加により、さらに複合材の高さが低くなる。その後、ガラス転移温度以上で形状記憶ポリマーの回復力が急激に増加する。このために複合材の高さが急激に増加する。その後、形状記憶合金の大きな回復力により、急激に複合材の高さは減少し、最終的にフラットな形状になる。

#### 9. 加熱後の再冷却による形状変化

形状記憶複合材を 80℃まで再加熱を行った後、冷却を行った時の形状変化を図 10 に示す。冷却は、VICS 社製、ITH-300A を、測定温度は、ITH-300A に表示される数字を用いた。図 10 は、(a) 68.8℃、(b) 34.7℃、(c) 12.3℃の時の複合材の形状である。複合材の高さ変化は、80.0℃を基準とすると、24.7℃では 1.0mm、52.3℃では 0.75mm、75.3℃では 0.1mm となった。再冷却により、冷却と同様な複合材の高さ変化が現れた。このことから、複合材の高さ変化には再現性があることが明らかになった。

#### 10. まとめ

3D プリントを行なった形状記憶ポリマーシートと形状記憶合金ワイヤを複合化させた 4D プリント複合材の開発に成功した。複合材は、冷却・加熱サイクルにより、複雑な温度ヒステリシスを

持つことが明らかになった。複合材は、冷却・加熱サイクルを繰り返しても、加熱により元の形状に形状回復した。本研究により開発した複合材は、加熱のみで 2 方向の形状記憶効果が現れることが明らかになった。

#### 11. 参考文献

- 1) 安東茂樹 他：技術・家庭 [技術分野]，開隆堂出版 pp.31-32 (2015)
- 2) MIT News: 3-D printed structures “remember” their shapes, (2016), <http://news.mit.edu/2016/3-d-printed-structures-remember-shapes-drug-delivery-solar-panel-0826>, (2017 年 12 月 20 日閲覧)

---

(2017 年 12 月 25 日受理)