

## 1. 評価対象研究課題

- (1) 研究課題名：4D印刷技術によるスマート・メカニカルメタマテリアルの開発
- (2) 研究代表者：物質・材料研究機構 宇都 甲一郎
- (3) 研究期間：令和2年度～令和4年度

## 2. 終了評価の実施概要

日時：令和5年10月12日  
場所：TKP秋葉原カンファレンスセンター  
評価委員：未来工学研究所 理事長、上席研究員／東京大学 名誉教授  
平澤 洽（委員長）  
横浜国立大学 名誉教授  
上野 誠也  
東京工業大学 教授  
佐藤 千明  
宇宙航空研究開発機構 航空技術部門 特任担当役  
嶋 英志  
大阪大学 大学院工学研究科マテリアル生産科学専攻 教授  
中野 貴由  
公共投資ジャーナル社 論説主幹  
吉葉 正行

（委員長以外は五十音順・敬称略）

## 3. 研究と成果の概要

### 研究の概要

4D印刷技術は、従来の積層造形技術を進化させたものであり、経時的な形態変化という新しい次元を製造プロセスに組み込むことで、機能性材料の開発や生産方式に変革をもたらすと期待される。本研究課題では、積層造形技術を駆使し、複雑な三次元形状を有する高性能形状記憶高分子材料やスマートポリマーの合理的設計論を構築し、幾何学形状と機械的特性の連関性を検証することにより、外部刺激に応答して新奇な物性変化や動きを引き起こすスマート・メカニカルメタマテリアル創製に向けた基礎研究を行う。

### 成果の概要

本研究では、材料科学分野で活用できる「1. 高精細な形状記憶高分子3D造形体作製のためのオリジナル印刷素材/インクの創製」、「2. 積層造形法による大変形性/高機能性形状記憶高分子材料の設計指針の構築」、「3. 形状記憶高分子造形体の高

付加価値化(形状書換・リサイクル特性等)を実現」、「4. 形状記憶高分子材料のメカニカルメタマテリアル化の実現」、「5. 形状記憶高分子メカニカルメタマテリアルの刺激応答性に基づく新奇機能の開拓」、「6. 形状記憶高分子を用いた4D印刷技術の確立」の6つの成果が得られた。

本研究課題では、分岐構造や鎖長を精密に制御したポリマー合成を基軸としたSLA/DLP方式プリンター向けのオリジナル印刷素材・インクを開発し、印刷条件の最適化を行うことで、当初の目標であった500%を遥かに上回る700%以上のひずみ変形を達成した(それまでの最高は400%)。この造形体は700%ひずみ時の形状固定化率と形状回復率がほぼ100%という驚異的な大変形/形状記憶特性を示し、世界最高性能の形状記憶高分子3D造形体を作製することに成功した(それまでの最高は100%歪時に形状回復率90%程度)。

さらに、形状記憶高分子の高付加価値化:「刺激応答性の拡張」、「可逆的形状変化能」、「形状書換能」、「自己修復能」、「分解性・リサイクル特性」を実現するためのオリジナル印刷素材・インク開発に成功し、これらほぼ全ての機能を形状記憶高分子造形体に付与できることを実証した。

形状記憶高分子のメカニカルメタマテリアル化については、材料の巨視的な幾何学構造を巧く設計/造形することで、同一材料でありながら力学特性を向上させることに成功し、外部刺激の印加により物性や構造を変化できることを実証した。

#### 4. 終了評価の評点

A 十分な研究成果をあげた。
----------------

#### 5. 総合コメント

真摯に努力を重ね、材料合成から最終形状の製作、試験評価まで実施し、着実に当初の目標をクリアしていて、形状書換えや繰返し形状回復などの面で、興味深い結果も得られている。ただし、より挑戦的な姿勢や、オリジナルなアイデアがあれば、さらに高いインパクトのある成果に繋がったと思われる。

今後は、オリジナリティーおよび応用面を意識しながら、4Dプリンターの発展に貢献することを期待する。

#### 6. 主な個別コメント

・複雑三次元形状を有する高性能形状記憶高分子材料やスマートポリマーの合理的設計論を構築し、幾何学形状と機械的特性の関連性を検証することにより、外部刺激に応答して新奇な物性変化や動きを引き起こすスマート・メカニカルメタマテリアル創製に向けた基礎研究を行おうと務めている。

- ・当初の目的を十分にクリアしており、おもしろい結果も得られている。
- ・必要な物性を得るための材料合成から最終形状の制作、試験評価までを一貫して

実施し、高い目標に対して着実に成果を出している。

- ・可逆的変化が可能な高分子材料は興味深く、発展性があると考えられる。
- ・大変形に関して未踏の分野を開拓している。
- ・オリジナリティーの面では疑問が残る。
- ・多くの派生効果が得られている。
- ・研究成果について相当多数の論文や研究発表が行われている。
- ・新材料の開発も含めて頑張っていたきたい。
- ・実用化も視野に入れた応用研究が期待される。
- ・海外の研究速度が速いので、独自性をアピールできる計画が必要である。