

次世代 3D プリンタの開発

研究代表者 梅津 信二郎
(創造理工学部 総合機械工学科 教授)

1. 研究課題

3D プリンタは、任意形状の立体構造を高自由度かつ低コストで作製可能な技術として、プラスチック造形物から金属・セラミック構造体、生体材料、柔軟エレクトロニクスに至るまで幅広い分野に応用されている。申請者はこれまでに、多様な方式の 3D プリンタおよび多材料積層造形技術を独自に開発し、生体組織構造、柔軟センサ、導電性ネットワーク、高機能エネルギーデバイスなどの創製を通じて、3D プリンティング技術の応用領域拡張に取り組んできた。本研究では、材料機能・構造機能・生体機能を統合可能な次世代多材料 3D プリンティング基盤の確立を主たる目的としている。近年では、単なる形状形成技術としての 3D プリンタではなく、複数材料を統合的に配置し、力学特性、導電性、生体適合性、環境応答性などを同時に制御可能な「機能創成型製造技術」としての重要性が高まっている。

特に本年度は、多材料・4D プリンティング技術を基盤として、柔軟エレクトロニクス、生体医療デバイス、環境資源循環システムへ展開可能な高機能スマート構造体の実現を研究課題として設定した。具体的には、柔軟かつ高耐久な導電ネットワーク形成技術、刺激応答性を有する自己変形構造、生体組織と親和性を有する微細構造体、ならびに資源回収・再利用に資する機能性造形構造の創製を対象としている。

2. 主な研究成果

本年度は、多材料・4D プリンティング技術を基盤として、柔軟エレクトロニクス、生体医療デバイス、環境資源循環システムへ展開可能な高機能スマート構造体の研究開発を推進した。柔軟エレクトロニクス分野では、多材料 4D プリンティングと三次元パターンメタライゼーションを融合することで、機械変形に適応可能なスマート構造体を実現した。また、導電性ネットワーク形成に適したガス透過性 SEBS 繊維基板、自己接着型圧電センサ、超柔軟基板と電極の全面接合技術などを開発し、高感度かつ高耐久なウェアラブルデバイスの実現可能性を示した。さらに、多軸材料押出積層法による局所力学特性制御技術を確立し、空間的に異なる機械特性を有する構造体の造形を可能とした。

生体医療分野では、低温応答性を有する 4D プリント血管ステントを開発し、低侵襲展開と形状適応性を両立する新たな血管内治療デバイスの可能性を示した。また、多材料ハイドロゲル構造における膨潤制御メカニズムを明らかにし、刺激応答型医療デバイス設計への知見を得た。加えて、生体模倣マイクロファイバーを用いたミエリン形成促進・神経再生評価系、hiPSC 由来心筋組織の収縮力計測システム、皮膚貼付型マイクロ流体チップなどを開発し、再生医療および生体機能評価技術への応用を進展させた。本成果は、Advanced Functional Materials 誌に掲載され、さらには、inside back cover としても掲載された。

生体適合性と柔軟性を両立した超薄膜自己接着電極を用いて、昆虫行動制御用サイボーグシステムを構築したほか、昆虫の痛覚閾値に関する電気生理学的評価を実施し、生体融合デバイス研究への基盤的知見を得た。本成果は投稿中であり、次年度掲載されるように、追加の研究を実施している。

環境・製造分野では、イオンキレート構造を有する三次元造形体を開発し、排水中金属イオンの回収と柔軟電子デバイス材料への再利用を可能とする資源循環型プロセスを提案した。また、PEEK系高耐熱材料の光造形技術、セラミック積層造形と触媒メタライゼーションを融合した三次元セラミック電子デバイス技術を確立し、高機能製造技術としての多材料積層造形の有効性を示した。本成果は、Additive Manufacturing 誌に掲載された。

これらの成果により、多材料・4Dプリンティング技術を単なる形状形成技術としてではなく、導電性、力学特性、生体適合性、環境応答性を統合的に設計可能な次世代機能創成プラットフォームとして発展させた。

3. 共同研究者

高口 洋人 (創造理工学部・建築学科・教授)

岩崎 清隆 (創造理工学部・総合機械工学科・教授)

4. 研究業績

- 4.1 M Takakuwa, D Inoue, L Sun, M Yamamoto, S Umezu, D Hashizume, et al., “Robust Full-Surface Bonding of Substrate and Electrode for Ultra-Flexible Sensor Integration,” *Advanced Materials*, 37(49), 2417590, 2025.
- 4.2 MJM Marques, T Masuji, M Adel, AMR Fath El-Bab, K Hirose, K Uchida, et al., “Bioinspired Microtexturing for Enhanced Sweat Adhesion in Ion-Selective Membranes,” *Cyborg and Bionic Systems*, 6, 0337, 2025.
- 4.3 Z Zhang, K Song, R Zhuang, J He, Y Yang, Y Pan, T Mino, et al., “Complex architecture fabrication with photosensitive PEEK-based ink via vat photopolymerization and two-step thermal treatment,” *Additive Manufacturing*, 108, 104840, 2025.
- 4.4 R Hashem, H El-Hussieny, S Umezu, AMRF El-Bab, “Integrating finite element analysis and machine learning for non-invasive tumor detection: a piezoelectric tactile sensor-based vibration absorber approach,” *Neural Computing and Applications*, 37(18), 12059–12081, 2025.
- 4.5 MJM Marques, L Mingxin, KT Shiojiri, T Hagiwara, K Hirose, K Shiojiri, et al., “Plant Doctor: A hybrid machine learning and image segmentation software to quantify plant damage in video footage,” *Measurement*, 249, 117094, 2025.
- 4.6 K Song, C Xiong, Z Zhang, K Wu, W Wan, Y Wang, S Umezu, H Sato, “Multi-material 4D printing and 3D patterned metallization enables smart architectures,” *Composites Part B: Engineering*, 295, 112218, 2025.
- 4.7 K Song, Z Zhang, K Hirose, J He, Y Pan, T Masuji, R Minakawa, S Umezu, “Self-adhesive Crystal-enhanced multilayer nanofilm piezoelectric sensor for motion monitoring,” *Chemical Engineering Journal*, 508, 161150, 2025.
- 4.8 S Katayama, K Ando, S Lee, Z Jiang, X Chen, T Yokota, H Sato, S Umezu, et al., “Locomotion

control of Cyborg insects by using ultra-thin, self-adhesive electrode film on abdominal surface,” npj Flexible Electronics, 9(1), 25, 2025.

- 4.9 Z Zhang, K Song, Y Pan, J He, S Umez, “Spatial mechanical enhancement strategy enabled by multi-axis material extrusion additive manufacturing,” Journal of Manufacturing Processes, 134, 762–774, 2025.

5. 研究活動の課題と展望

本年度は、多材料・4D プリンティングを基盤として、柔軟エレクトロニクス、生体医療デバイス、環境適応型スマート構造体に関する研究を推進し、多材料積層造形による高機能デバイス創製の有効性を示した。一方で、異種材料界面の接合信頼性、刺激応答構造の高精度制御、生体適合性および長期安定性の向上などが今後の課題として挙げられる。

今後は、材料設計、造形プロセス、機能評価を統合しながら、刺激応答型医療デバイス、生体融合型柔軟電子デバイス、資源循環型スマートマニュファクチャリングへの展開を進める。