

# 四次元プリンタ

## 1. はじめに

近年、三次元プリンタが急速に高性能化し普及が進んでいる。三次元プリンタは文字どおり三次元形状をプリントする装置であり、コンピュータ上で物体のCADデータを準備するだけで、現実世界に同じ形状の物体を「出力」できる。各種メディアでも紹介されているとおり、当初は試作品の作製が主な利用法であったが、現在では、さまざまな種類の樹脂材料のみならず金属部品にも適用が進んでいる。とくに航空宇宙産業で必要な耐熱金属部品では次世代の生産技術として実用化が進みつつある。三次元プリンタの展開としては、高精度化や多様な材料への適用といった進歩が予想される。本稿ではそれ以外の意外な方向性への進化について紹介する。

## 2. 四次元プリンタ

MITのSelf-AssemblyラボのTibbitsは、四次元プリンタを提唱し、積極的な発表を行っている<sup>(1)</sup>。この四次元プリンタでは三次元形状だけでなく、出力された物体のその後の「動き」までがプリントアウトされる。具体的にTibbitsの開発した四次元プリンタでは2種類の樹脂材料を用いている。この樹脂材料のうちの1つは水中で水分を吸収し膨潤し、体積が変化するのである。体積の変化しない樹脂と組み合わせた設計を行い、出力された構造は後に水中で変形できる。MITのラボでは、この体積膨張を見越した有限要素解析をもとに設計を行い、多様な動きを実現するシステムを開発している。この方法を利用し、たとえば深海などの過酷な環境にパイプなどを利用して細長い構造を送り込み、深海に到着後、徐々に膨潤する材料により必要な形状に変形するといった応用が考えられる。

Harvard大学のWyss研究所も四次元プリンタを開発し、植物の花の変形

を模倣するデモを行っている<sup>(2)</sup>。この例でも水で膨潤する材料を利用しているが、こちらは異方性の樹脂材料のプリント技術により実現されている。

## 3. 外部磁場駆動型4Dプリンタ

前章で紹介した膨潤を利用した方法は必然的に樹脂材料の膨張速度に動きが制限される。よって素早い変形が困難である。また、繰り返し変形させるという用途にも合わない。そのため、全く異なるアプローチにより動きを作り出す手法も提案されている。筆者らは磁性粒子を分散した紫外線硬化ゴム材料を用いた四次元プリンタを開発した<sup>(3)</sup>。

磁性粒子を樹脂に分散させることで、外部磁場に反応して変形する構造を作製することができる。同時に、構造の各所に磁気的な異方性を持たせた造形を行っている。具体的には三次元造形時に外部磁場を印加する。この外部磁場により、樹脂内部に分散した磁性粒子は鎖状の構造を生成し、粒子鎖構造は樹脂の硬化により固定される(図1)。

粒子鎖による磁気異方性を持つ構造に磁場を印加すると、構造の各所において、粒子鎖と印加磁場が平行になるうとするモーメントが発生する。これにより、柔軟な構造体を変形させることができる。図2に一例を示す。上下の構造は同一のパンタグラフ形状であるが、内部の粒子鎖構造が異なるものである。両者に平行な磁場を印加すると、(a)は縮み、(b)は伸びる。このように、形状と同時に異方性を設計することで四次元プリントを実現できる。

## 4. まとめ

三次元形状だけでなく、その後の動きまでを「プリント」する四次元プリンタについて紹介した。近年、そのアイデアが提案されたばかりであるが、これまでと異なる方向での技術進化で

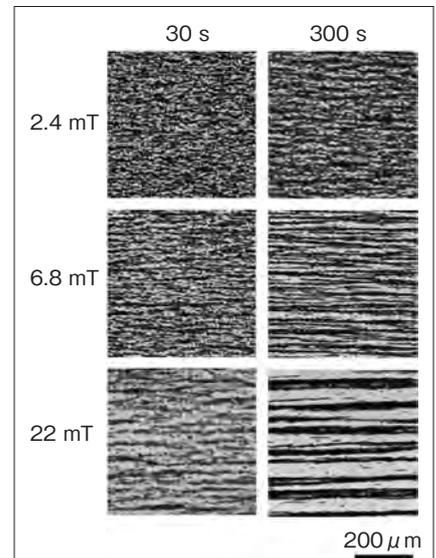


図1 外部磁場によりコム材料中により直鎖状に固定された磁性粒子<sup>(3)</sup>。磁場の印加強度および時間により異なった構造が得られるが、いずれも磁気的な異方性を与える。

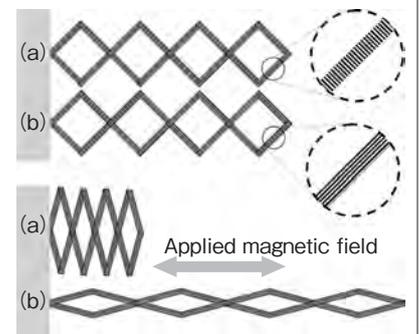


図2 磁気異方性を分布させた構造例。梁と粒子鎖が直交(a)および平行(b)。平行磁場のもとで伸縮まったく反対の挙動となる<sup>(3)</sup>。

あり、今後の展開が期待される。

(原稿受付 2016年8月29日)

[津守不二夫 九州大学]

### ●文献

- (1) Tibbits, S., 4D Printing : Multi-Material Shape Change, *Architectural Design*, **84** (2014), 116-121.
- (2) Gladman, A.S., ほか, Biomimetic 4D Printing, *Nature Materials*, **15** (2016), 413-418.
- (3) Tsumori, F., ほか, Development of Three-Dimensional Printing System for Magnetic Elastomer with Control of Magnetic Anisotropy in the Structure, *Jpn. J. Applied Phys.*, **55** (2016), 06GP18.