

## 積層造形物の樹脂特性情報の整備

田中拓也\*<sup>1</sup> 横山雄哉\*<sup>1</sup> 町田芳明\*<sup>2</sup> 南部洋平\*<sup>1</sup> 佐藤宏惟\*\*

### Study on Resin Property Information of Additive Manufacturing

TANAKA Takuya\*<sup>1</sup>, YOKOYAMA Yuya\*<sup>1</sup>, MACHIDA Yoshiaki\*<sup>2</sup>,  
NANBU Youhei\*<sup>1</sup>, SATO Hirotanda\*\*

#### 抄録

当センターはインクジェット式カラー積層造形装置を保有している。本研究では、この装置による技術支援の高度化を図るため、機械的及び熱的特性の観点から、積層方向の依存性(異方性)や樹脂特性を調べた。

異方性の検討では、高さ方向に長く積層した造形物の機械的強度が低くなる傾向にあり、樹脂特性の検討では、機械的特性においては透明樹脂、熱的特性においてはABSライク樹脂に優位性があることがわかった。この結果より、機能試作を視野に入れた造形では、積層面の向きと力が加わる向きを意識し、適切な樹脂を選択することで、造形物を破損しにくくする工夫ができると考える。

キーワード：インクジェット式3Dプリンタ，異方性，機械的特性，熱的特性，粘弾性

## 1 はじめに

当センターは、最大3種類の造形樹脂を同時に使用して造形できるインクジェット式カラー積層造形装置(Objet260 Connex3、Stratasys社)を保有している。この装置は、色付きの材料や柔軟性、耐熱性のある材料が使えるため、試作支援に用いられている。

本装置は主に製品開発の形状試作等で活用されているが、技術相談では「破損しにくい造形物を作りたい」、「成形品との物性の違いを知りたい」、「造形物を比較的高温の環境下で使用したい」などの機能試作を視野に入れた相談も多い。

そこで本研究では、造形物の異方性や造形樹脂の特性を調べ、技術支援の高度化を図ることを目標とした。

## 2 実験方法

### 2.1 造形装置概要

本研究で使用したインクジェット式カラー積層造形装置(以下、インクジェット式 3D プリンタ)はアクリル系紫外線硬化樹脂を積層していく 3D プリンタである。装置の仕様を表1に示した。

表1 インクジェット式カラー積層造形装置の仕様

メーカー・型番	Stratasys・ Objet260 Connex3
造形サイズ(X/Y/Z 軸)	255×252×200 (mm)
造形解像度(X/Y/Z 軸)	600×600×1600 (dpi)
積層ピッチ(Z軸)	30 μm

\*<sup>1</sup> 機械技術担当

\*<sup>2</sup> 元 機械技術担当

\*\* 現 都市整備部 設備課

## 2.2 異方性の検討

### 2.2.1 試験片の異方性

一般に、3D プリンタの造形物の機械的特性(引張、曲げ、衝撃、硬さ)は造形方向に依存する<sup>1-3</sup> (以下、これを異方性と呼ぶ)。本研究では、保有する装置による造形物の異方性を検討した。引張試験片を例とすると、単純な異方性は図1の3方向(以下、基本3姿勢)が考えられる。機械的特性の各試験では、この基本3姿勢を基準に造形した試験片を使用した。

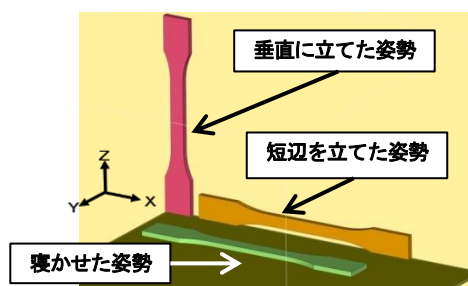


図1 基本3姿勢(引張試験片の例)

### 2.2.2 造形工程を考慮した配置

引張試験片では、基本3姿勢の中心軸回りに90°回転させた試験片(図2の②、④、⑥)も検討対象とした。その理由は、一層を描画する工程に起因する特性の差異が現れる可能性が考えられるためである。

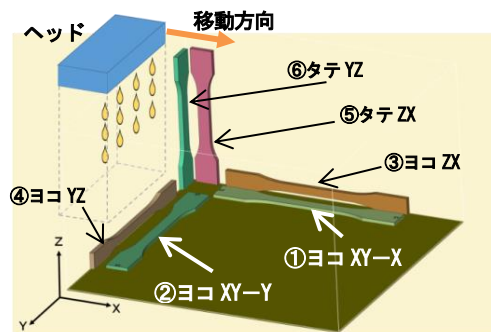


図2 検討対象とした方向(引張試験片)

インクジェット式3Dプリンタでは、X方向に移動する樹脂噴射機構(ヘッド)が、一往復で樹脂を出せる範囲に限られる。例えば、④ヨコ YZの向きでは、ヘッドが樹脂を吐出する幅(Y方向長さ約65mm)よりも試験片の全長が長く、一層の描画に複数回の往復が必要になる。それにより一層に描画の境目が生じ、引張強度に影響を与える可能性

があるため、引張試験のみ図2の6方向の試験片の検討を行った。

### 2.3 樹脂特性の検討

当センターで運用している複数の造形樹脂に対して、機械的及び熱的特性を検討した。検討した樹脂は、半透明(FullCure720)、ABS ライク(RGD5131-DM)、ホワイト(VeroWhitePlus)、透明(VeroClear)、PP ライク(Rigur RGD450)、 ホワイト+ゴムライク(RGD8430)の6種類である。これらは使用頻度や今後の運用時の有用性を考慮して選定した。ホワイト+ゴムライクは単体の樹脂ではなく、ホワイトとゴムライク樹脂(TangoPlus FLX930)の混合材料であり、PP ライクと類似性があるといわれている。

また、樹脂特性の検討では、異方性は考慮せず、「寝かせた姿勢」のみで試験を行った。

## 2.4 評価方法

### 2.4.1 引張試験

JIS K 7161 に準拠した試験片で引張試験を行った。装置は、卓上型精密万能試験機 AUTOGRAPH AGS-5kNX(島津製作所)、試験速度は10mm/min、測定は10回以上行った。

### 2.4.2 曲げ試験

JIS K 7171 に準拠した試験片で3点曲げ試験を行った。引張試験と同じ装置を使用し、試験速度は2mm/min、測定は10回以上行った。

### 2.4.3 シャルピー衝撃試験

JIS K 7111 に準拠した試験片でノッチ付きシャルピー衝撃試験を行った。装置はデジタル衝撃試験機 DG-UB(東洋精機製作所)、測定は10回以上行った。

### 2.4.4 ロックウェル硬さ試験

JIS K 7202 に準拠した試験片(寸法:60×60×6 mm)でロックウェル硬さ試験を行った。装置はデジタルロックウェル硬度計(タイプ E、東洋精機製作

所)、硬さスケールは M、測定は 10 回以上行った。測定面は正方形であるため、基本 3 姿勢の中の「垂直に立てた姿勢」と「短辺を立てた姿勢」が同じ形となる。よって、試験片は「垂直に立てた姿勢」と「寝かせた姿勢」の 2 種類とした。

### 2.4.5 粘弾性測定

熱分析 (TMA 測定) では各樹脂の熱的特性の情報として有効な結果が得られなかった。そこで、動的粘弾性測定により各樹脂の温度特性を調べた。測定条件は表 2 のとおりである。装置は動的粘弾性装置 (Piezo-Drive、型式:NDS-1000A、タイセー)、試験片は φ4(直径)×1 mm(厚さ)の円筒形状を使用した。

表2 動的粘弾性の測定条件

試験種	圧縮試験	
周期荷重	振幅	10 μm
	周波数	3Hz
圧縮面積	約 1.03mm <sup>2</sup>	
昇温範囲	40-100°C (ABS ライク以外) 40-200°C (ABS ライク)	
昇温速度	1°C/min	

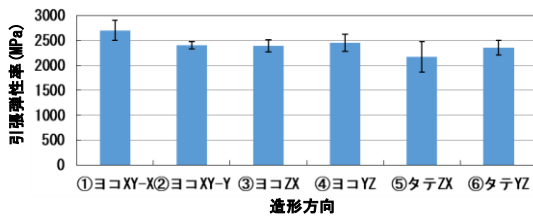


図3 引張弾性率

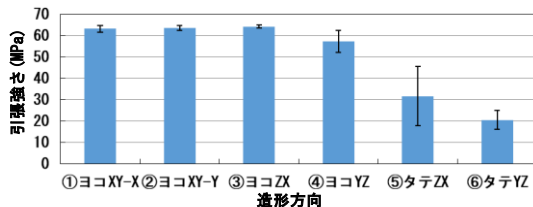


図4 引張強さ

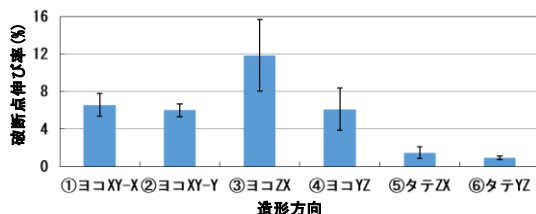


図5 破断点伸び率

## 3 結果及び考察

### 3.1 異方性の検討の結果

#### 3.1.1 引張試験

引張弾性率、引張強さ、破断点伸び率を図 3、4、5 に示した。弾性率に大きな差はなかったが、引張強さ及び破断点伸び率では垂直に立てた姿勢の一番値が小さかった。短辺を立てた姿勢は他の姿勢より伸びる傾向があることがわかった。

#### 3.1.2 曲げ試験

曲げ弾性率、曲げ強さを図 6、7 に示した。垂直に立てた姿勢の値が小さかった。

#### 3.1.3 シャルピー衝撃試験

結果は図 8 のようになった。ここでも垂直に立てた姿勢の値が小さく、5 分の 1 程度であった。

#### 3.1.4 ロックウェル硬さ試験

結果を図 9 に示した。立てた姿勢の方が低く出た。

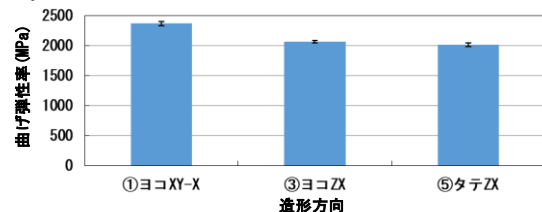


図6 曲げ弾性率

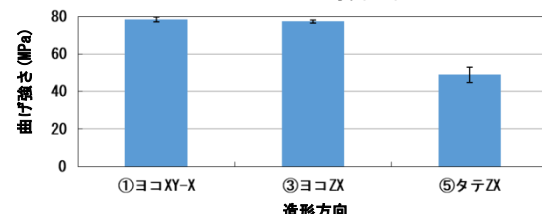


図7 曲げ強さ

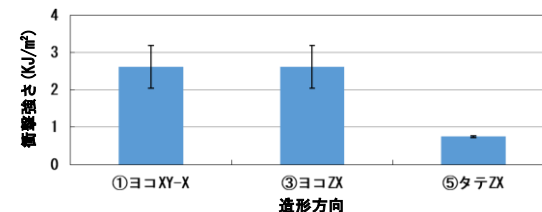


図8 衝撃強さ(シャルピー)

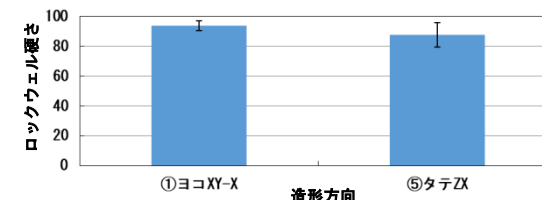


図9 ロックウェル硬さ

### 3.2 樹脂特性の検討の結果

#### 3.2.1 引張試験

引張弾性率、引張強さ、破断点伸び率の結果を図 10、11、12 に示した。透明樹脂は引張に強い反面伸びにくく、PP ライク、ホワイト+ゴムライクは、引張に弱く、伸びやすい傾向であった。

#### 3.2.2 曲げ試験

曲げ弾性率、曲げ強さの結果を図 13、14 に示した。透明樹脂の値が大きく、PP ライクとホワイト+ゴムライク樹脂には類似性がみられた。

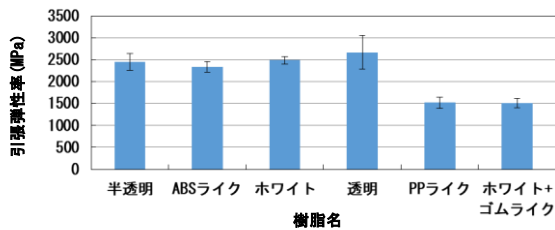


図 10 引張弾性率

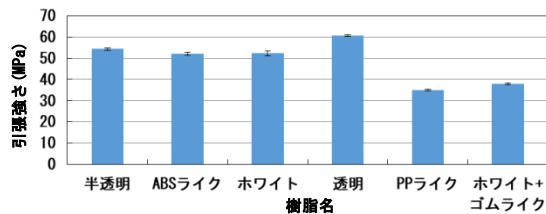


図 11 引張強さ

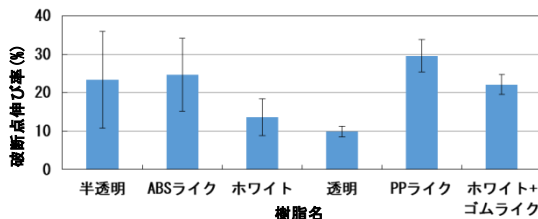


図 12 破断点伸び率

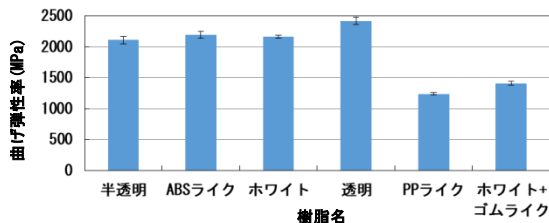


図 13 曲げ弾性率

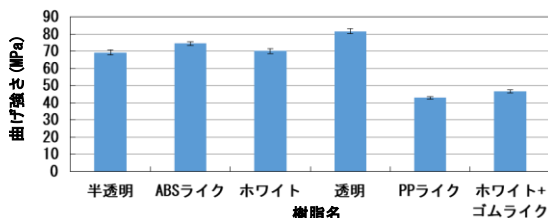


図 14 曲げ強さ

#### 3.2.3 シャルピー衝撃試験

結果を図 15 に示した。ABS ライクと PP ライクの値が高く、PP ライクとホワイト+ゴムライクに差異がみられた。

#### 3.2.4 ロックウェル硬さ試験

結果図 16 に示した。PP ライクとホワイト+ゴムライクはその他の樹脂より小さく、両者に類似性がみられた。

#### 3.2.5 粘弾性測定

粘弾性測定より、弾性成分を抜き出した結果を図 17 に示した。測定温度に関して、ABS ライクのみ 40-100 度までの範囲では大きな変化が見られなかったため、200 度まで測定を行った。その結果、ABS ライク樹脂は今回検討した樹脂の中で最も耐熱性があることがわかった。

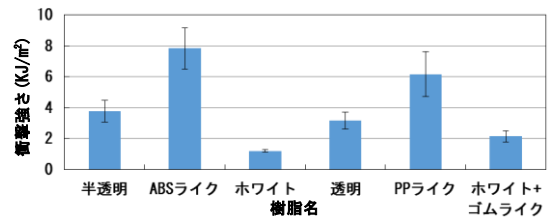


図 15 衝撃強さ (シャルピー)

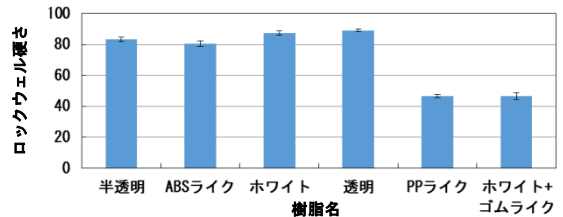


図 16 ロックウェル硬さ

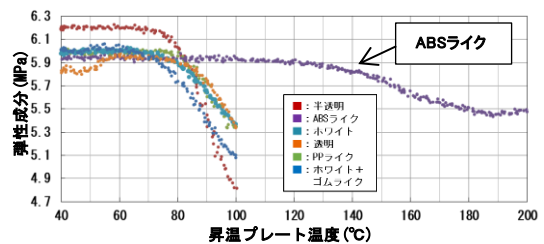


図 17 動的粘弾性測定 (弾性成分)

「昇温プレート温度」は、試験片を乗せる台の底と接触している加熱機構の設定温度である。

### 3.3 考察

#### 3.3.1 垂直に立てた姿勢の弱さ

機械的特性の各種試験において、垂直に立てた姿勢では、結果が小さい値を示した。図18に引張及び曲げ試験において、垂直に立てた姿勢の試験片が破断した際の模式図を示した。

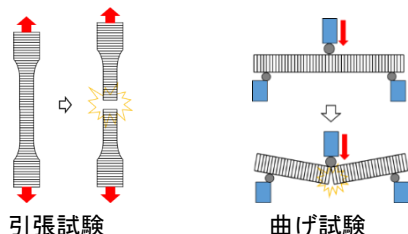


図18 破断の様子(引張、曲げ試験)

引張、曲げ試験ともに層を剥離させ易い向きに力が作用していることが分かる。この力と層の関係は衝撃、硬さ試験でも同様である。以上より、積層面に対してどの向きに荷重が負荷されるのかが機械的強度に影響を与えていると考えられる。

#### 3.3.2 寝かせた姿勢と短辺を立てた姿勢の比較

短辺を立てた姿勢はその他の姿勢より伸びる傾向がみられた(特に④ヨコ ZX)。この主な要因として一層の形状の違いが考える。寝かせた姿勢と短辺を立てた姿勢の引張試験片を図19に示した。

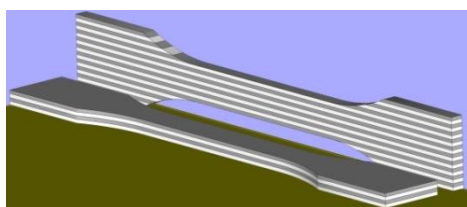


図19 寝かせた姿勢と短辺を立てた姿勢

縞模様は、描画された試験片の層を誇張して表している。

ここで試験片平行部の一層に着目すると、引張荷重が作用する断面積は、寝かせた姿勢が「積層ピッチ×平行部幅(10mm)」、短辺を立てた姿勢が「積層ピッチ×試験片厚さ(4mm)」となり、前者の方が大きい。引張荷重  $F$ 、造形樹脂の縦弾性率を  $E$ 、荷重  $F$  が作用する断面積を  $A$  とすれば、ひずみ  $\epsilon$  は

$$\epsilon = \frac{F}{EA} \quad (1)$$

と表される。短辺を立てた姿勢は寝かせた姿勢よりも一層あたりの断面積が小さいため、伸びやすくなると考えられる。

## 4 まとめ

当センターが保有しているインクジェット式3Dプリンタの造形物について、機械的及び熱的特性の観点から異方性や樹脂物性の検討を行った。

### 4.1 本研究で得られた結果

異方性の検討では、垂直に立てた姿勢の機械的強度が、その他の姿勢より小さくなる結果が得られた。樹脂特性の検討では、機械的特性の引張、曲げ強度、硬さでは透明樹脂、衝撃強さでは ABS ライクに優位性がみられた。熱的特性では ABS ライクが高い耐熱性を示した。

### 4.2 得られた結果の活用

本研究の結果は、機能試作を視野に入れた造形時の提案の一つとして活用できる。例えば、ダブルクリップのハサミ部分を破損しにくくしたい場合は、異方性の特徴より、図20の向きが適切だと考えられる。また、機械的強度のある透明樹脂等を使用することで、樹脂特性の観点からも工夫ができる。

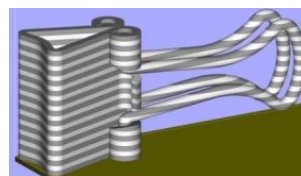


図20 異方性を意識したダブルクリップの配置

### 4.3 今後の課題

その他の樹脂、造形機による造形物の特性、造形樹脂の対候性、熱的特性の定量的評価等があげられる。評価方法を検討していきたい。

#### 参考文献

- 1) 東京都立産業技術研究センター編：3Dプリン

- タによるプロトタイピング, オーム社, (2014) 52
- 2) 坂口 弘晃, 松室 昭仁, 武田 亘平: インクジェット式 3D プリンターの造形方向による機械的性質の評価, 一般社団法人 日本機械学会 年次大会, セッション ID : S0440202, (2015)
- 3) 阿部 顕一: インクジェット 3D プリンター造形物の精度と強度の報告, 神奈川県産業技術総合研究所研究報告, 23 (2017)