

# 材料押出法 3D プリンターの造形物における プラスチック材料の引張特性\*

長嶋 宏之\*\*

保有する材料押出法の 3D プリンターにて、対応する造形材料、ABS 樹脂、ポリカーボネート、PC-ABS、ポリアミドの 4 種類において、2 種類の造形方向で試験片を製作し、引張試験を実施した。

試験により各データを収集した結果、造形材料及び造形方向の違い（異方性）による引張特性への影響を把握できた。

**キーワード：3D プリンター、材料押出法、プラスチック、引張特性**

## Tensile properties of models by *Material Extrusion 3D Printer*

NAGASHIMA Hiroyuki

**Key words : 3D printer, Material extrusion, Plastics (Polymer) , Tensile properties**

### 1 緒 言

当センターでは令和 3 年度に材料押出法 3D プリンター（以下、MEX 3D プリンター）を更新した。この MEX 3D プリンターの特徴は、複数の熱可塑性プラスチックの中から、造形材料の選択が適宜可能なことである。この特徴により、企業支援などで活用の機会が更に広がると考えている。

一般的に 3D プリンターの造形物は、射出成形などによる樹脂成形品に比べ、強度や剛性などの機械的特性が異なることや、造形方向による異方性があることが知られている。そこで、保有装置による造形物の機械的性質データを整理することで、装置の利用促進を図りたいと考えた。

本報では、保有装置が対応するプラスチック材料について、当該装置にて試験片を製作し、引張試験を行った結果を報告する。

### 2 方 法

#### 2-1 試験法

保有装置のメーカー Stratasys 社（米）が発行する材料データシート<sup>1) 2) 3) 4)</sup>では、機械的性質として ASTM 規格の試験による引張特性が示されており、降伏応力、降伏ひずみ、破壊応力、破壊ひずみ、弾性係数の値があげられている。

そこで本試験では、日本産業規格（以下 JIS）の K 7161-1、K 7161-2 に準拠した条件で引張試験を行い、降伏応力、降伏ひずみ、破壊応力、破壊ひずみ、弾性係数を求めた。

#### 2-2 試験片

##### 2-2-1 形状・寸法・数量

試験片（図 1）は、JIS K 7161-2 に基づき、標準試験片 1A（ダンベル型）とし、数量は JIS K 7161-1 による 5 個以上に適応するため、7 個とした。

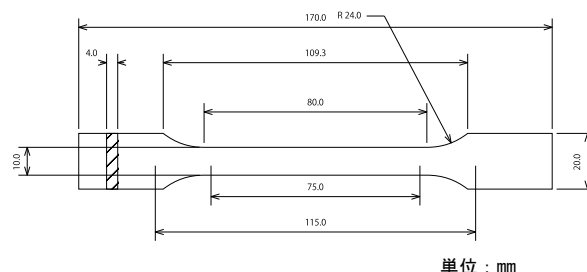


図 1 試験片

##### 2-2-2 造形方法

試験片の造形に使用した MEX 3D プリンターは図 2 に示す Stratasys 社 Fortus 450mc である。

造形条件は、Stratasys 社が発行する Materials Testing Procedure（材料試験手順書）<sup>5)</sup> に準じ、表 1 に示した条件とした。積層厚、加工経路、サポート（造形物の支持体）の形式においても、標準的な設定である。

また 3D プリントでは、造形原理から積層の境界面が水平方向に等間隔で存在する。よって、造形物には水平方向と垂直方向で異なる性質があらわれる（異方性）。そこで、図 3 に示すとおり、造形時、

\* 令和 4 年度技術シーズ創生・発展研究事業（可能性調査研究）

\*\* 産業デザイン部

試験片を造形テーブルに水平に配置した「水平方向」、垂直に配置した「垂直方向」を設定し、方向別に試験片を製作した。なお、垂直方向の試験片は高さに比べ極端に印刷面積が小さく、造形中に倒壊する恐れがあるので、前述の試験手順書に倣い、「Stabilize Wall (安定壁)」を付与した。

**2-2-3 造形材料**

試験片の材料には、表2に示す、Stratasys社が供給する、ABS樹脂、ポリカーボネート(PC)、PC-ABS、ポリアミド(PA 12、ナイロン 12)の4種類を使用した。また、3Dプリントに不可欠なサポート材も、それぞれに対応する材料を使用した。

造形後には、装置操作マニュアルの手順に則り、表2に示す標準的な後処理をした。

特にポリアミドは、サポートの剥離性が悪く、また、成形後の吸水により機械的性質が変化する理由から、強アルカリ水溶液によるサポートの溶解と約1時間の水道水への浸漬を行った。

**2-3 引張試験**

引張試験はJIS K 7161-1、K 7161-2に準じ、図4に示す万能試験機Instron社 5982型を使用して行った。表3に示す、試験速度1 mm/min、室温大気中などの条件で試験を行い、ひずみの計測には試験機に搭載の光学式伸び計を使用した。

材料4種を造形方向2種で組合せた8条件について、1条件につき試験片7個を試験した。

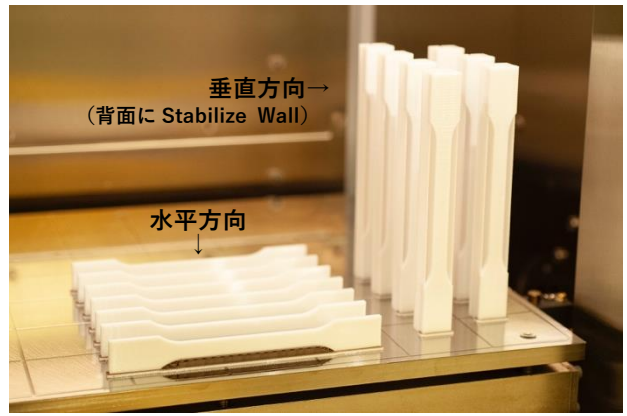


図3 試験片外観と造形方向

表2 使用材料

使用材料	モデル材 (製品名)	サポート材 (製品名)	後処理
ABS樹脂	Stratasys ABS-M30	Stratasys SR-30	機械的破壊によるサポート除去
ポリカーボネート (PC)	Stratasys PC	Stratasys SR-100	機械的破壊によるサポート除去
PC-ABS	Stratasys PC-ABS	Stratasys SR-110	機械的破壊によるサポート除去
ポリアミド (PA 12、ナイロン 12)	Stratasys FDM Nylon 12	Stratasys SR-110	強アルカリ水溶液によるサポート溶解後、水道水に約1時間の浸漬

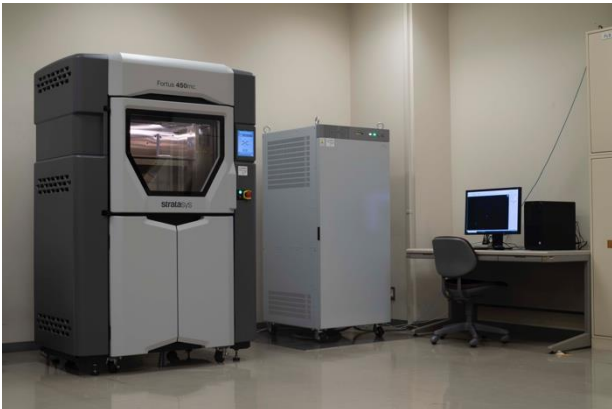


図2 造形装置外観 (Stratasys社 Fortus 450mc)

表1 造形条件

造形装置	Stratasys Fortus 450 mc
使用ノズル	T16 チップ (ノズル径 0.4064 mm)
積層厚	0.254 mm
造形ソフトウェア	Insigt、Control Center
主な造形設定	Contour: Single、Raster: +45/-45 Solid、Support style: Sparse、垂直方向のみ: Stabilize Wall 付与



図4 試験装置外観 (Instron社 5982型)

表3 試験条件

試験方法	JIS K 7161-1、JIS K 7161-2 準拠
試験装置	Instron 5982 型
試験ソフトウェア	Bluehill 3
伸び計	光学式 (AVE 非接触式ビデオ伸び計)
試験速度	1 mm / min
試験雰囲気	室温大気中
試験数	7 個

## 2-4 データ処理

条件ごとの試験片 7 個の結果から、降伏応力、降伏ひずみ、破壊応力、破壊ひずみ、弾性係数について、平均値、標準偏差を算出し、最大値、最小値を抽出した。

## 3 結果及び考察

ABS 樹脂、ポリカーボネート、PC-ABS、ポリアミドの 4 種類の材料について引張特性のデータを収集し、材料の違いと積層造形による引張特性への影響を再確認した。

各樹脂の、水平方向、垂直方向別に、降伏応力、降伏ひずみ、破壊応力、破壊ひずみ、弾性係数について、平均値、標準偏差、最大値、最小値を表 4 に、造形方向による各応力の平均値の差とその比(水平/垂直)のグラフを図 5 に示す。また、水平方向と垂直方向において引張最大荷重が中央値に当たる試験片の荷重とひずみのグラフを図 6 に示す。

ポリカーボネート、PC-ABS、ポリアミドでは、降伏応力で垂直方向よりも水平方向が大きい値を示し、さらに、ポリカーボネートと PC-ABS では破壊応力でも水平方向が大きい値であった。一方、弾性係数は、造形方向が変わっても 4 つの材料とも大きな差は無かった。これは、造形方向が試験片の引張強さには影響を与えるが、剛性には影響をあまり与えていないと考える。その引張強さへの影響の原因としては、積層境界面での剥離や、表面に現れる「積層段差」への応力集中などではないかと推測する。

ABS 樹脂では降伏ひずみでは大きな差はないが、水平方向の破壊ひずみは垂直方向の 3 倍以上の値であった。また、垂直方向の応力が水平方向よりも大きい値となったのは、塗りつぶし部の材料フィラメントの溶着界面の影響ではないかと推量する。

ポリカーボネートは、今回の 4 種の樹脂の中では、降伏応力、破壊応力とも一番大きい。ただし、降伏点から破壊までのひずみがあまりない。つまり、大きな力に耐えうるが、降伏点を超えるとたちまち破壊することがわかった。

PC-ABS は ABS 樹脂とポリカーボネートの混合樹脂である。水平方向に限れば、ABS 樹脂よりも降伏応力、破壊応力とも平均値は高く、引張強さが向上したように見える。しかしながら、垂直方向では ABS 樹脂よりも下がってしまっている。

ポリアミドは、特筆すべきは、水平方向での降伏点後のひずみの大きさである。破壊ひずみは 35.13%で、降伏点から破壊点までの伸びが最長であった。しかし、垂直方向での破壊ひずみは 4.05%と水平方向の 1/9 程度で、ほかの樹脂と比べても差が大きい。4 種類の樹脂の中では造形方向の影響が一番受ける材料と言える。

表 4 各材料の引張特性

ABS 樹脂					
	造形方向	平均値	標準偏差	最大値	最小値
降伏応力 (MPa)	水平	29.68	0.2508	30.16	29.40
	垂直	31.47	0.3212	31.98	31.03
降伏ひずみ (%)	水平	1.66	0.0003	1.72	1.63
	垂直	1.79	0.0004	1.84	1.74
破壊応力 (MPa)	水平	26.72	0.6211	28.04	26.16
	垂直	30.23	0.5470	31.07	29.33
破壊ひずみ (%)	水平	7.08	0.0121	8.57	4.95
	垂直	2.28	0.0019	2.51	2.07
弾性係数 (GPa)	水平	2.95	0.4429	3.57	2.29
	垂直	2.34	0.0320	2.39	2.31

ポリカーボネート (PC)					
	造形方向	平均値	標準偏差	最大値	最小値
降伏応力 (MPa)	水平	62.72	0.9501	63.95	61.18
	垂直	42.76	9.2948	51.32	28.25
降伏ひずみ (%)	水平	4.62	0.0013	4.77	4.45
	垂直	2.37	0.0067	3.05	1.36
破壊応力 (MPa)	水平	57.79	0.8638	58.76	56.44
	垂直	42.76	9.2947	51.32	28.25
破壊ひずみ (%)	水平	5.48	0.0080	6.54	4.54
	垂直	2.36	0.0067	3.05	1.36
弾性係数 (GPa)	水平	2.42	0.1396	2.70	2.26
	垂直	2.48	0.4923	3.46	2.05

PC-ABS					
	造形方向	平均値	標準偏差	最大値	最小値
降伏応力 (MPa)	水平	36.91	0.5053	37.47	36.12
	垂直	26.58	1.1427	27.54	24.43
降伏ひずみ (%)	水平	3.37	0.0010	3.52	3.26
	垂直	1.92	0.0018	2.12	1.57
破壊応力 (MPa)	水平	32.98	0.7228	33.80	31.59
	垂直	26.58	1.1422	27.54	24.43
破壊ひずみ (%)	水平	8.66	0.0235	11.15	4.72
	垂直	1.92	0.0018	2.12	1.57
弾性係数 (GPa)	水平	1.99	0.1439	2.11	1.70
	垂直	1.94	0.2091	2.11	1.62

ポリアミド (PA 12)					
	造形方向	平均値	標準偏差	最大値	最小値
降伏応力 (MPa)	水平	47.58	0.5796	48.23	46.61
	垂直	37.03	1.4722	39.75	35.53
降伏ひずみ (%)	水平	6.34	0.0018	6.53	6.04
	垂直	4.03	0.0035	4.73	3.66
破壊応力 (MPa)	水平	35.60	1.0456	36.70	34.09
	垂直	36.94	1.4762	39.69	35.43
破壊ひずみ (%)	水平	35.13	0.0948	42.50	14.89
	垂直	4.05	0.0035	4.74	3.68
弾性係数 (GPa)	水平	1.43	0.0723	1.52	1.30
	垂直	1.41	0.0746	1.53	1.34

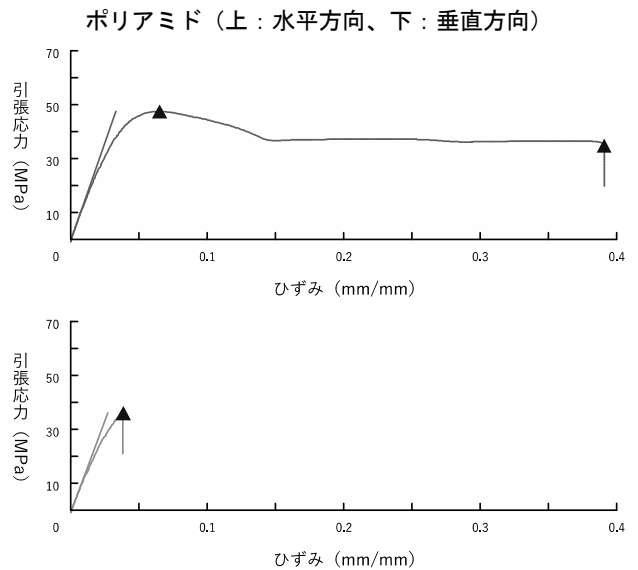
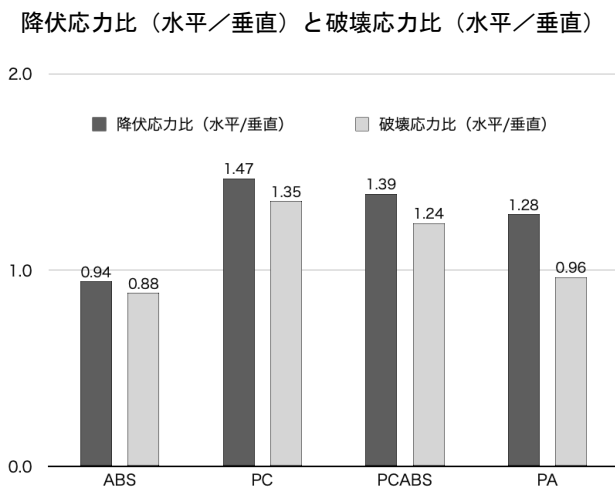
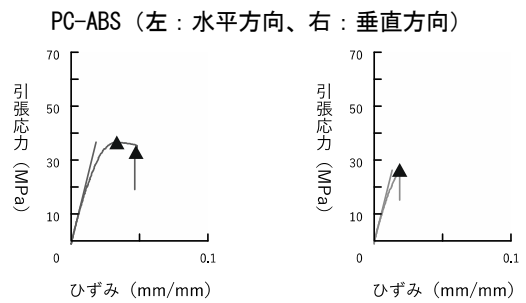
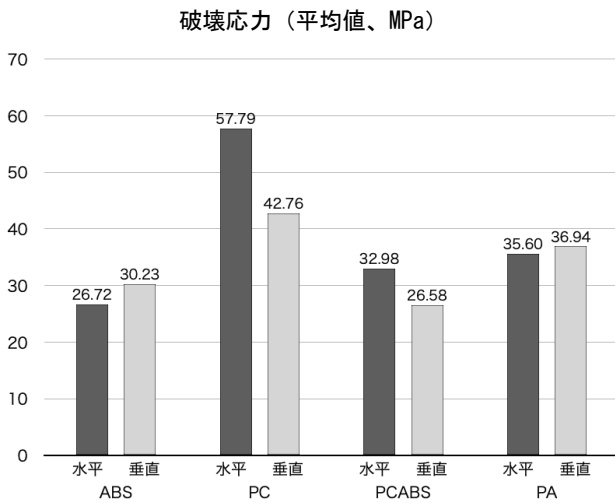
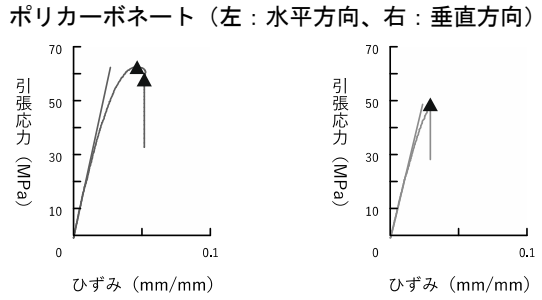
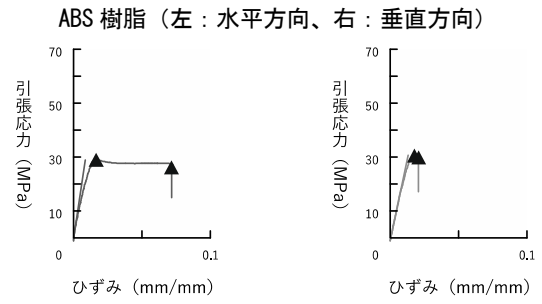
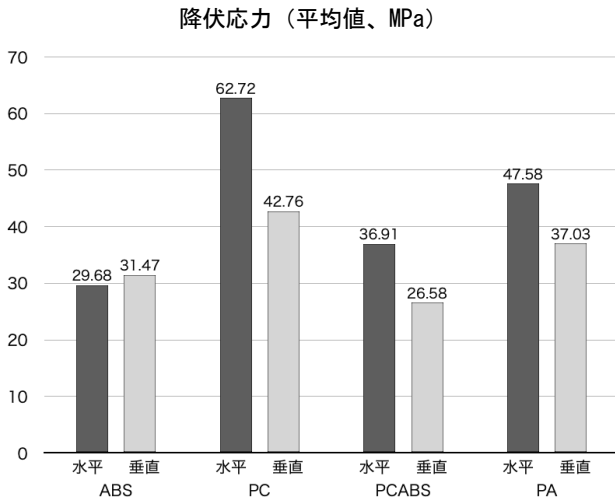


図5 造形方向による応力の差と比

図6 各材料の応力とひずみ (▲: 降伏点と破壊点)

#### 4 まとめ

当センターが保有する MEX 3D プリンターにて、4 種類の材料、2 種類の造形方向別に製作した試験片について引張試験を実施し、引張特性データを収集した。その結果、材料の差、及び、造形方向による引張特性への影響をあらためて確認できた。

装置メーカーの材料データシートの機械的性質には、ほかに曲げ特性、圧縮強さ、衝撃強さが示されており、引き続き、それぞれの実測を実施する予定である。

#### 謝 辞

今回の調査に関し、試験機使用に協力いただいた機能材料技術部樋澤健太主任専門研究員に厚く御

礼を申し上げます。

#### 文 献

- 1) Stratasys : ABS-M30 Data Sheet (2022)
- 2) Stratasys : PC Data Sheet (2021)
- 3) Stratasys : PC-ABS Data Sheet (2022)
- 4) Stratasys : FDM Nylon 12 Data Sheet (2021)
- 5) Stratasys : Materials Testing Procedure (2021)
- 6) 日本産業規格 : JIS K 7161-1 プラスチックー引張特性の求め方ー第 1 部 : 通則 (2014)
- 7) 日本産業規格 : JIS K 7161-2 プラスチックー引張特性の求め方ー第 2 部 : 型成形, 押出成形及び注型プラスチックの試験条件 (2014)