

## 7 3D プリント造形品の積層間強度に及ぼす大気圧プラズマ処理の影響

内山陽介, 伊藤幸一, 寺山朗, 縄稚典生

Effect of atmospheric pressure plasma on interlayer strength of 3D printer fabricated products

UCHIYAMA Yosuke, ITO Koichi, TERAYAMA Akira and NAWACHI Norio

Compared to molded products made by molds, 3D printer products made by thermal-melting method have lower interlayer strength. In this study, we investigated the improvement of interlayer adhesion strength by atmospheric pressure plasma treatment. Specimens were fabricated using a thermal-melting 3D printer while being irradiated with atmospheric pressure plasma. When the printing speed was 50 mm/s, we couldn't find significant strength improvement due to plasma irradiation, while bonding strength increased when the printing speed was 10 mm/s. Scanning electron microscopy revealed that the adhesion area increased as the printing speed decreased. Thermographic observation of the area around the nozzle during lamination showed that the temperature of the resin surface before lamination is increased by the heat from the irradiated plasma, which increases the adhesion between the layers and the bonding strength.

These results suggest that the temperature of the resin surface before lamination is increased by the heat from the irradiated plasma, which increases the adhesion between the layers and the bonding strength.

キーワード：3D プリンタ, 大気圧プラズマ, 積層間強度

### 1 緒 言

3D プリンタは設計データを基に樹脂や金属等の層を薄く積層して造形する装置である。3D プリンタ造形では金型が不要なため、多品種少量生産や試作に有利であり、ものづくりの現場への適用が試みられている。また、近年では低価格なホビーユースの3D プリンタも広く普及し始めている。3D プリンタ造形で主流の方式が、熱可塑性樹脂を溶解させ、積層する熱溶解積層 (FDM) 方式である。しかし、一層ずつ積層して造形を行うため、金型による成形品と比べ、層間の機械的強度が低いという問題がある。一方、樹脂表面を大気圧プラズマ処理することで積層間強度が向上する報告<sup>1)</sup>がある。本研究ではFDM方式の3Dプリンタ造形品の機械的性質向上を目的として、3Dプリンタ造形に大気圧プラズマ処理を組み合わせることとした。熱溶解方式の3Dプリンタの積層前の樹脂表面に大気圧プラズマ処理を行い、大気圧プラズマ処理が造形品の機械的性質に及ぼす影響を調査した。

### 2 試験方法

#### 2.1 装置概要

本研究では熱溶解方式の3Dプリンタ(ANYCUBIC社のMEGA S)を用いた。3Dプリンタのノズルに大気圧プラズマ照射部を組み込んだ。図1に装置の外観を示す。大気圧プラズマ照射部はABS樹脂で造形したパーツにΦ1.0mmのタングスタ線を電極として取り付け、直流電圧15kVを印加した。

そこにプロセスガスとしてArを流して大気圧プラズマを発生させる。大気圧プラズマ照射部の構造を図2に、プラズマの照射条件をまとめたものを表1に示す。

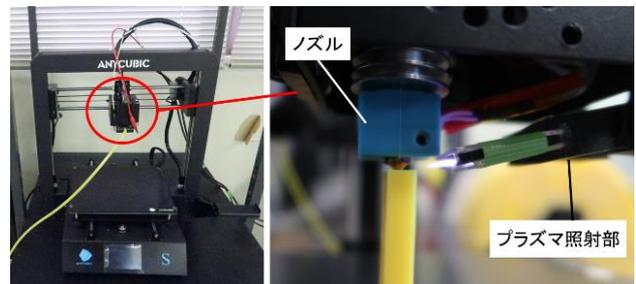


図1 照射部を取り付けた3Dプリンタ

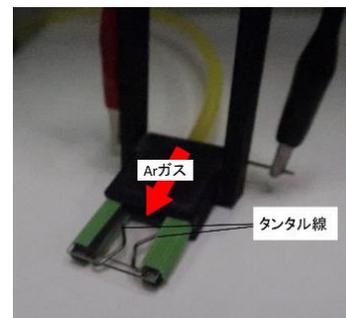


図2 大気圧プラズマ照射部の構造

表1 プラズマの照射条件

電極	プロセス ガス	電圧 (kV)	ガス流量 (sccm)
タングスタ	Ar	15	1000

## 2.2 評価試験片の造形

原材料として、Φ1.75 mmのDFRobot社のPLA(ポリ乳酸)フィラメントを使用した。評価試験片の形状と積層方向及び積層厚さは図3のとおりである。図3のxy平面上で20mm×6.5mmの長方形をz方向に40mm分積層した。造形時の積層ピッチは0.2mmであり、約200層積み重ねて造形した。

評価試験片の造形条件を表2に示す。評価試験片の印刷速度を2水準(10mm/s, 50mm/s)として、それぞれについて大気圧プラズマの照射の有り無しの計4条件で評価試験片を造形して試験を行った。

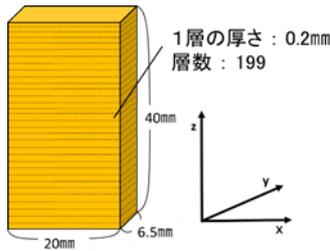


図3 評価試験片の形状と積層方向

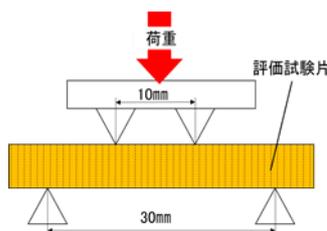


図4 4点曲げ試験

表2 評価試験片の造形条件

造形条件	プラズマ照射	造形時間 (min)	印刷速度 (mm/s)	n数
①	無	180	10	3
②	有	180	10	3
③	無	40	50	4
④	有	40	50	4

## 2.3 評価方法

作製した試験片の評価は4点曲げ試験で行った。4点曲げ試験の様子を図4に示す。大気圧プラズマの照射が層間の接合強度に及ぼす影響を確かめるため、積層面に平行な方向から荷重をかけ、曲げ試験を行った。曲げ試験後は、破断面を実体顕微鏡及び電子顕微鏡(SEM)で観察した。

## 3 試験結果及び考察

4点曲げ試験を行った際の破断面の最大荷重の平均値を比較した結果を図5に示す。印刷速度が10mm/sの場合(造形条件①及び②)、大気圧プラズマを照射することで、最大

荷重が100N高くなり、接合強度が向上した。

評価試験片の破断面をそれぞれ実体顕微鏡とSEMで観察した結果を図6及び図7に示す。破断面をマクロ的に見ると、造形条件①の破断面は亀裂が複数の層を介して折れていたため凹凸を呈していたのに対して、造形条件②の破断面は亀裂が一つの層で進行したため平滑であった。図6及び図7の比較から、プラズマ照射していない造形条件①の層同士の密着部面積よりもプラズマ照射した造形条件②の密着部面積の方が大きいことが分かる。

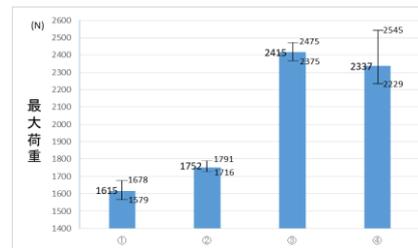


図5 造形条件の違いによる最大荷重

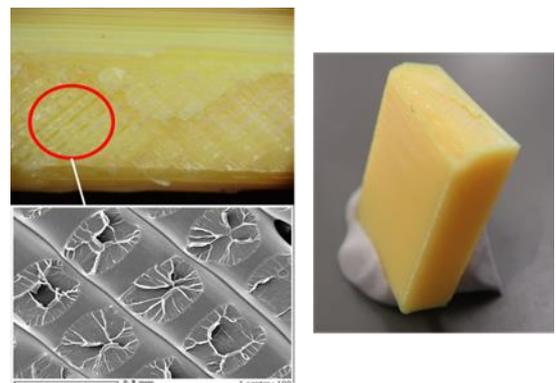


図6 ①の評価試験片の破断面(プラズマ照射：無)

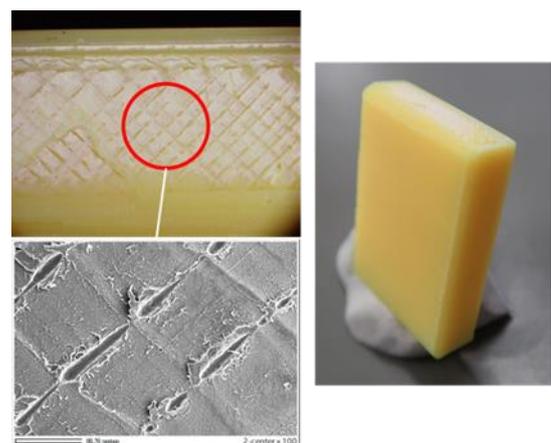


図7 ②の評価試験片の破断面(プラズマ照射：有)

図8にプラズマ照射をした場合としていない場合の積層中のノズル周辺のサーモグラフィを示す。大気圧プラズマを照射することでPLA樹脂の温度が上昇していることが分かる。このことから、積層前の樹脂表面にプラズマを照射

することで直前に積層されたフィラメントの温度が上昇したと考えられる。プラズマ照射により接合強度が向上した理由の一つとして、接合中の温度上昇の影響が考えられるが、詳細は更なる検討が必要である。

次に、印刷速度が 50mm/s の場合(造形条件③及び④)、印刷速度の遅い造形条件①及び②よりも図5に示す曲げ試験による最大荷重が大きくなり、接合強度は向上した。図9に造形条件③及び④の評価試験片の破断面を顕微鏡で観察したものを示す。マクロ破面は図6と似た凹凸形状を呈している。印刷速度を速くすることで積層した層が冷却される前に次の層が積層されたと考えられ、こちらも温度上昇の影響で接合強度が上昇した可能性がある。また、造形条件③及び④については、図5より造形条件④の最大荷重の値にバラつきが多いため優位性はなく、造形条件③と差異はないと考えた。

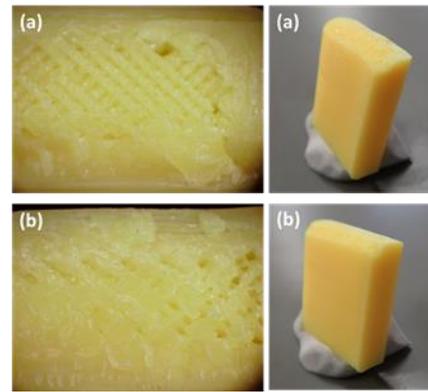


図9 (a)造形条件③, (b)造形条件④の評価試験片の破断面

## 4 結 言

3D プリンタに大気圧プラズマ照射部を組み込み、各種条件で評価試験片を造形し、大気圧プラズマ処理が造形品の積層間強度に及ぼす影響を調べた結果、得られた結論は次のとおりである。

- (1) 印刷速度 10mm/s の場合は大気圧プラズマ処理することで、処理しない場合に比べて、強度が高くなった。
- (2) 大気圧プラズマ処理によって積層前の樹脂温度が上昇し、接合強度が向上した可能性がある。
- (3) 印刷速度 50mm/s の場合は大気圧プラズマ処理による接合強度の差異は見られなかった。

## 文 献

- 1) 相馬ら：大気圧プラズマ処理による接着性の向上，(松下電工技報，61-66, 2002-11)

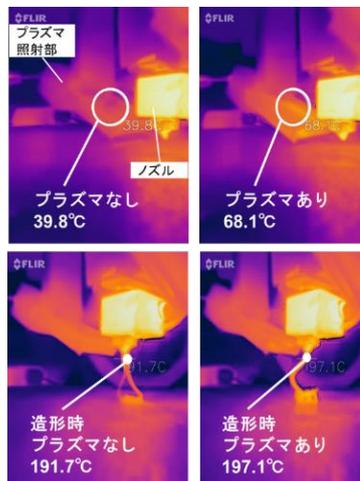


図8 プラズマ照射による温度上昇