

2-2. フッ素樹脂「PFA」の特徴

PFA（テトラフルオロエチレン-パーフルオロアルキルビニルエーテル共重合体）は、PTFE とほぼ同等の特性を持つメルト系樹脂である。非常に優れた耐薬品性、耐熱性、難燃性、低比誘電率・低誘電正接、非粘着性などを有し、熔融成形性を持つことから、幅広い分野で利用されている。主な用途例としては、半導体製造プロセスで使用される部材（チューブ・継手・ウェハーバスケット・ボトルなど）、タンクライニングシート、リチウムイオン電池のパッキン、電線被覆材、OA 機器の定着ロールなどがある。

3. 粉末床溶融結合について

3-1. 付加製造技術

名古屋工業研究所の小玉秀男氏による光造形法の発明にはじまり、これまで様々な付加製造（Additive Manufacturing）装置が開発され、製造業を中心に利用されてきた。今日では、総称して 3D プリンタと呼ばれ、ホビー用途など個人の利用まで裾野が広がっている³⁾。

付加製造技術は、ASTM で①液槽光重合（Vat photopolymerization）、②粉末床溶融結合（Powder bed fusion）、③結合噴射（Binder jetting）、④シート積層（Sheet lamination）、⑤材料押出（Material extrusion）、⑥材料噴射（Material jetting）、⑦指向性エネルギー堆積（Directed energy deposition）の 7 つのカテゴリーに分類されている⁴⁾。

3-2. 粉末床溶融結合（Powder bed fusion : PBF）

PBF は、粉末を薄く敷き、レーザーなどで選択的に熱を加えて溶融・固化し、これを繰り返すことで 3 次元構造物を作製する方法である（図 2）。本方式は、オーバーハング形状を作製する際に、材料押出などで必要とされるサポート材が不要という特徴があり⁴⁾、このため、サポート材を除去する後工程を省くことができる。また、材料としては、耐熱性・機械強度が高いエンジニアリングプラスチック（ポリアミド 12、ポリアミド 6、PPS 他）や金属などを使うことができ、このため最終製品を造形できるラピッド・マニュファクチュアリング装置として最も注目されている技術である⁵⁾。

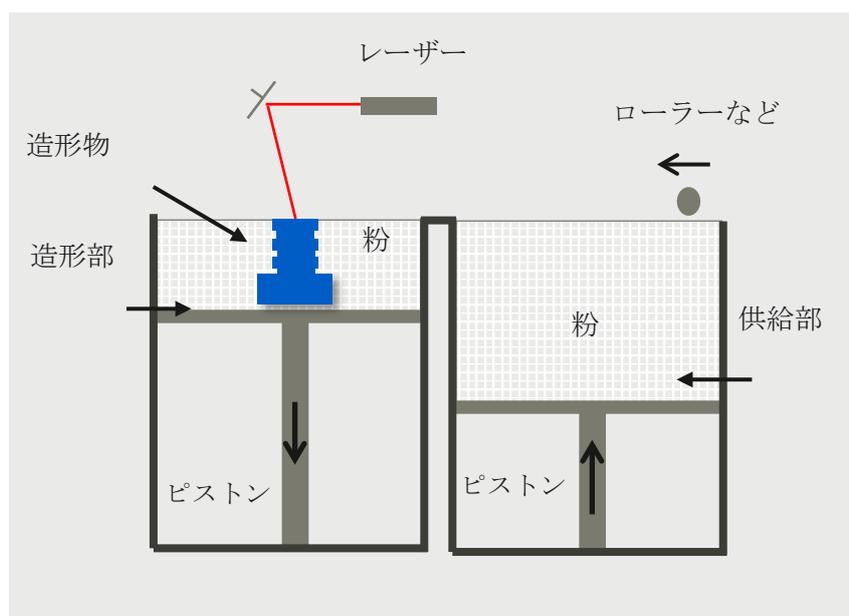
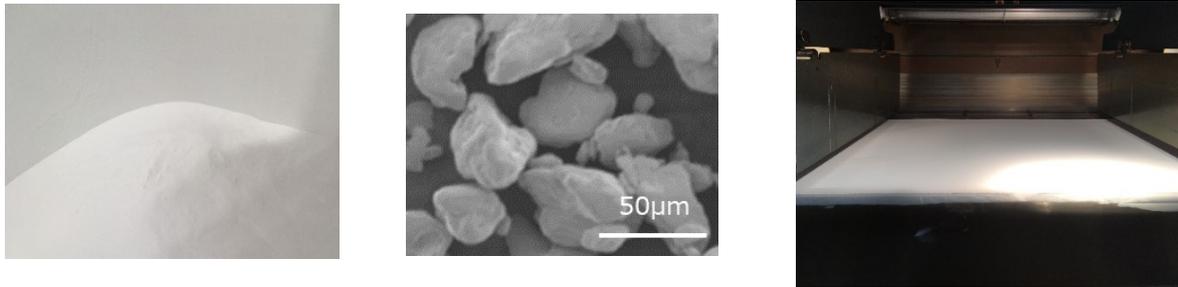


図 2 粉末床溶融結合（PBF）装置の概略図

4. PFA を用いた粉末床溶融結合について

4-1. PFA 粉体（開発品）

PBF では、供給部から造形部に材料を供給し、0.1mm の厚みで敷き詰める（リコートする）必要があり、粉体には高い流動性が求められる。現在開発中の PFA 粉体は、粒径や粒度分布などを最適化することで、流動性向上剤などを添加することなく、PFA 100% の状態で良好なリコート性を示す（図 3）。



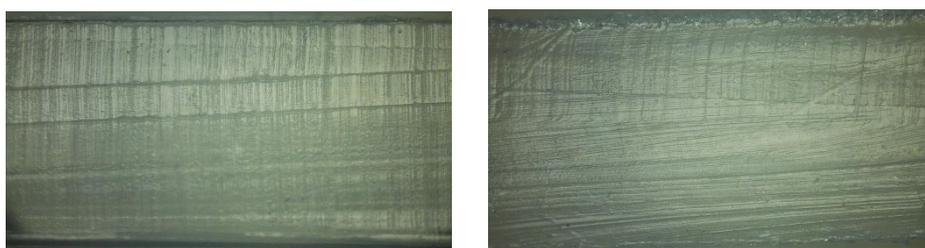
(a) PFA 粉体の外観（白色） (b) PFA 粉体の SEM 画像 (c) リコート後の粉面（造形部）

図 3 PFA 粉体の性状とリコート性

4-2. PFA 造形品の物性

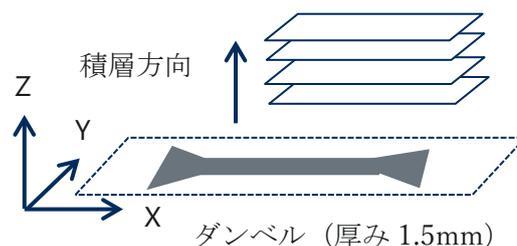
PFA 粉体を用いて、PBF 装置（RaFaEl II plus 300C-HT : アスペクト社製）で造形したダンベルの断面観察結果と引張特性を図 4・図 5 に示す。比較に、熱プレスで作製したシートから打ち抜いたダンベルを用いている。

断面観察結果から、PBF で造形したダンベルには明らかなボイドは見られず、レーザー照射時における粉体同士の溶融・結合が良好なことが示唆される。次に、引張特性に関しては、弾性率・降伏応力は熱プレス品と同等であり、破断応力や破断伸度は熱プレス品の半分程度となっているが、それでも約 150% の伸びを示す。ダンベルは曲げたり、ねじったりしてもクレーズが発生することがなく、高い靱性を示す（図 6）。耐屈曲性データは今後取得予定である。

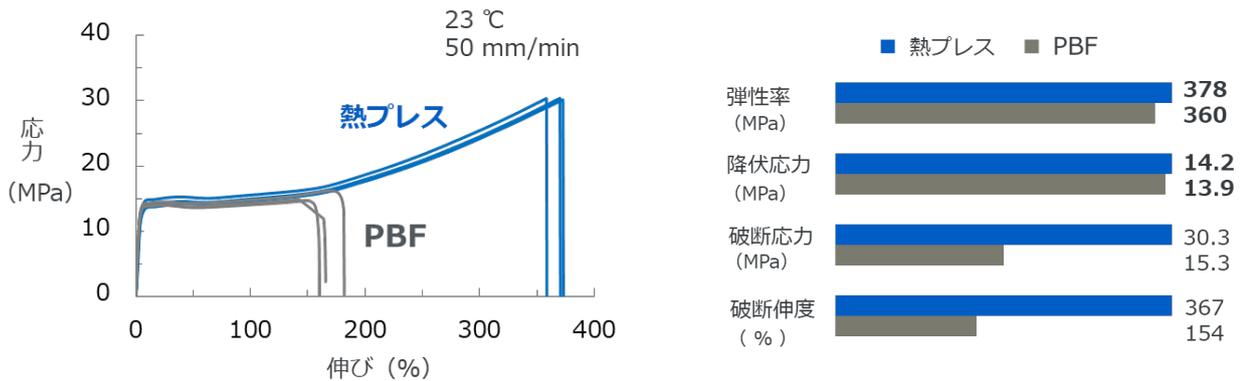


(a) 熱プレス法 (b) PBF

図 4 各プロセスで作製したダンベルの断面図



(a) PBF におけるダンベル積層方向



(b)ダンベルの引張特性

図5 各プロセスで作製したダンベルの引張特性

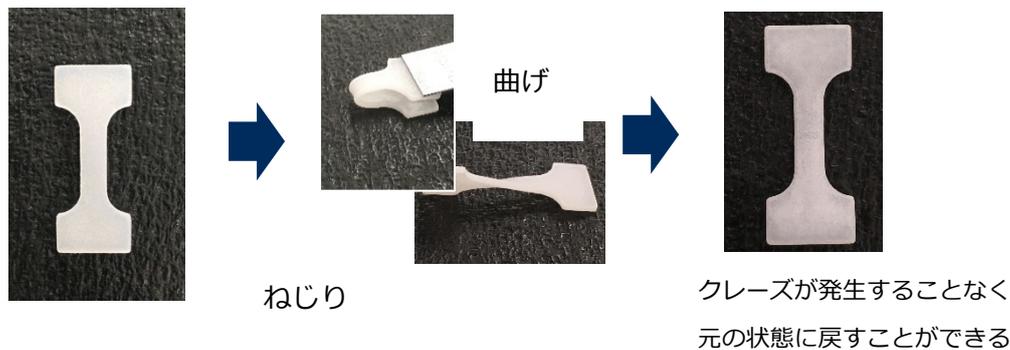
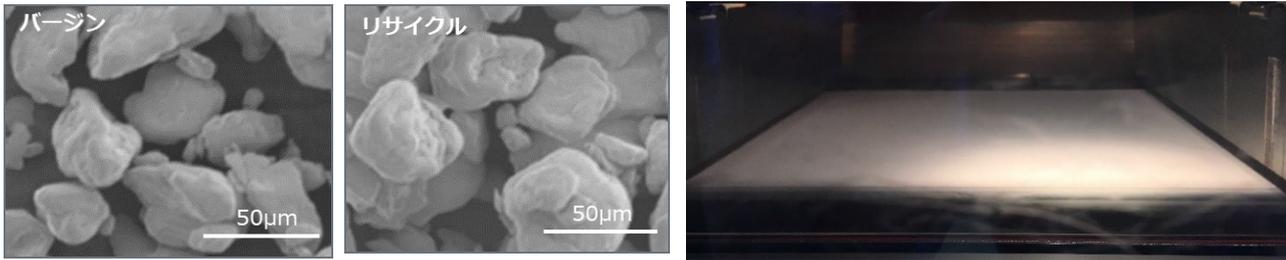


図6 PBFで作製したダンベルの靱性

4-3. PFA 粉体のリサイクル性

PBFでは、通常レーザー照射されなかった粉体はリサイクル品として再利用されるが、装置の材料供給部、造形部はともに予熱されていることから、熱による粉体の変質や劣化状態を確認し、リサイクル可能性を検証しておく必要がある。このため、PFA粉体を用いて造形を1回行った後、造形部から得られたリサイクル品の状態をSEMで観察し、さらにリサイクル品100%を用いて、リコート性と造形ダンベルの引張特性を評価した。

SEM画像から粉体の大きさや形状に大きな変化は見られず、またリコート性も良好で、凝集などが発生することなく均一な粉面を形成することができている(図7)。引張特性もバージン品と同等の結果となっており(図8)、より詳細な分析は必要であるが、長時間高温に晒されても、材料の劣化などはほとんど起きていないことが推測される。



(a) バージン品とリサイクル品のSEM画像 (b) リコート後の粉面（造形部）

図7 リサイクルPFA粉体の性状とリコート性

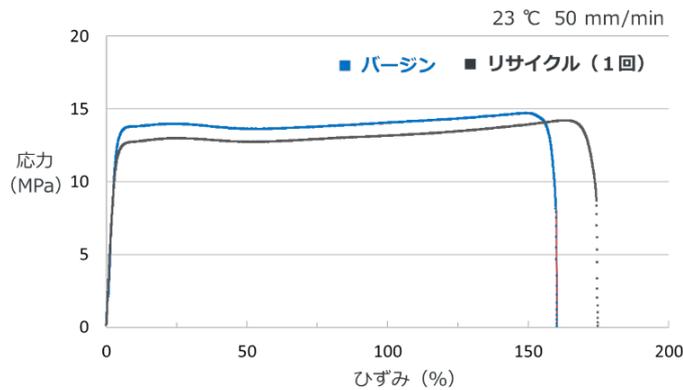


図8 リサイクル品で造形したダンベルの引張特性

5. まとめ

本稿で紹介したフッ素樹脂「PFA」は、耐薬品性や耐熱性に優れ、他のスーパーエンジニアリングプラスチックには無い靱性の高さを併せ持つ材料である。今後は、各種データの取得を進めながら、試作用途だけでなく最終製品としてPFAの造形物が利用される用途の探索を行っていく。また、PFA以外のフッ素樹脂や他材との複合材を用いた開発、構造最適化やプロセスシミュレーションを用いた最適なデザインや造形条件の提示、などにも取り組んでいきたい。

引用文献

- 1)株式会社 矢野経済研究所, 2016年版 3Dプリンタ材料市場の現状と将来展望 (2017)
- 2)独立行政法人 日本学術振興会・フッ素化学第155委員会 編, フッ素化学入門 2010 基礎と応用の最前線, 三共出版 (2010)
- 3)萩原恒夫, 3Dプリンタ材料の最新動向と今後の展望, 日本画像学会誌 第54巻 第4号 : 293-300 (2015)
- 4)新野俊樹, 付加製造 (Additive Manufacturing) の材料 ~スーパーエンジニアリングプラスチックのレーザー焼結を中心に~, 工業材料 2016年5月号 (Vol.64 No.5)
- 5)早野誠治, AM (付加製造) 技術の動向と市場, SOKEIZAI Vol.55 (2014) No.8 ユニダイン

※本稿はマテリアルステージ 2020年5月号に「粉末床溶融結合法向けフッ素樹脂 PFA (開発品) について」として掲載された内容です。

For more information, visit our website.

ダイキン工業株式会社

<https://www.daikinchemicals.com/jp>

report_additive-manufacturing-pfa_202005
Copyright (C) DAIKIN INDUSTRIES, LTD., 2021