

最高強度のCFRPを3Dプリントできる レイヤーワイズコンパクション方式3Dプリンタ

CFRP(炭素繊維強化プラスチック):航空機構造に用いられる軽量・高強度な材料

日本大学 理工学部 機械工学科
教授 上田 政人

2023年12月19日

3Dプリントについて

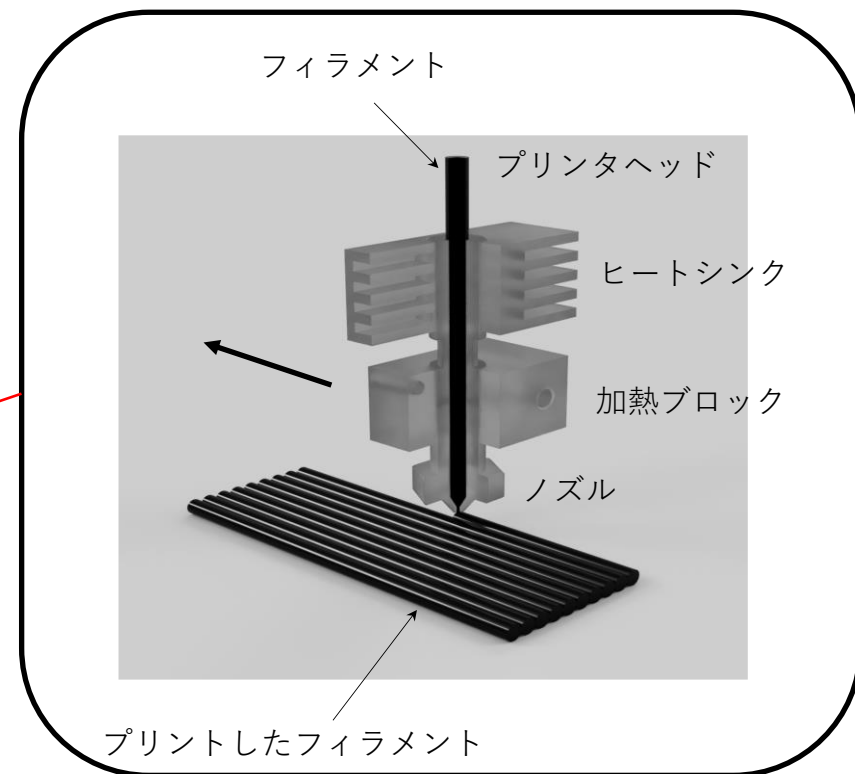
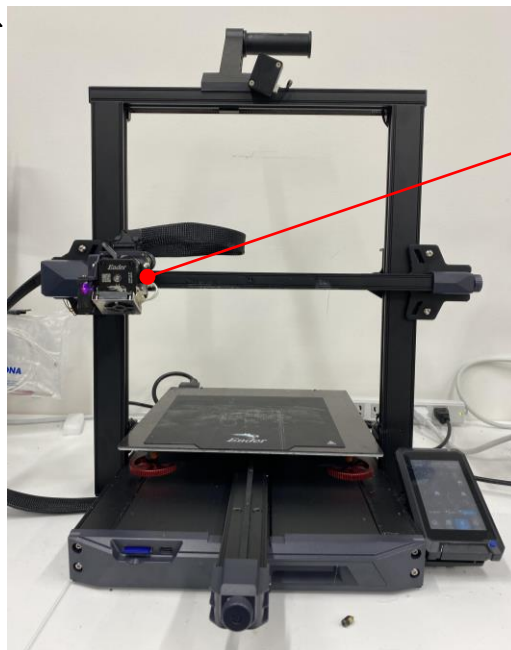
—熱溶融フィラメント成形(FFF)の場合—

樹脂フィラメントを3Dプリンタに供給して、ノズル部で加熱して溶融させた樹脂をテーブルに吐出し、積層しながら3次元形状を造形。



材料
(樹脂フィラメント)

ヘッドが左右上下に動いて3D形状を積層造形

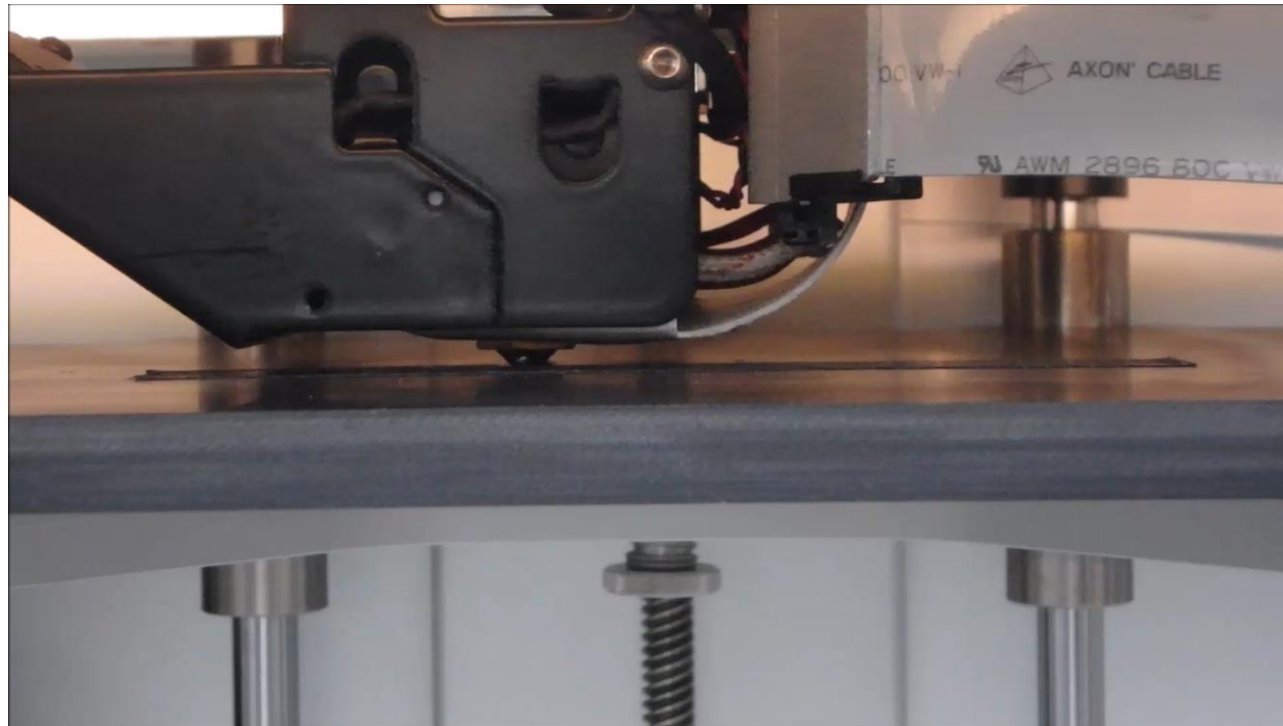


3Dプリンタのヘッド機構

3Dプリントについて

—熱溶解フィラメント成形(FFF)の場合—

樹脂フィラメントを3Dプリンタに供給して、ノズル部で加熱して溶融させた樹脂をテーブルに吐出し、積層しながら3次元形状を造形。

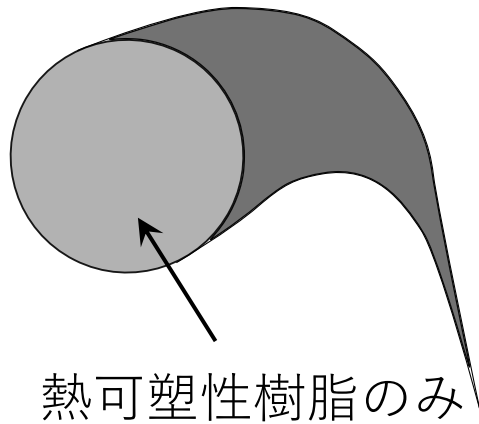


3Dプリントの様子

3Dプリントに用いることができる材料

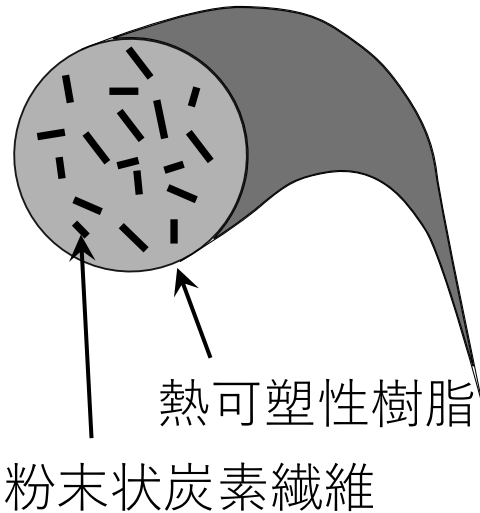
【材料（フィラメント）の形態】

樹脂フィラメント



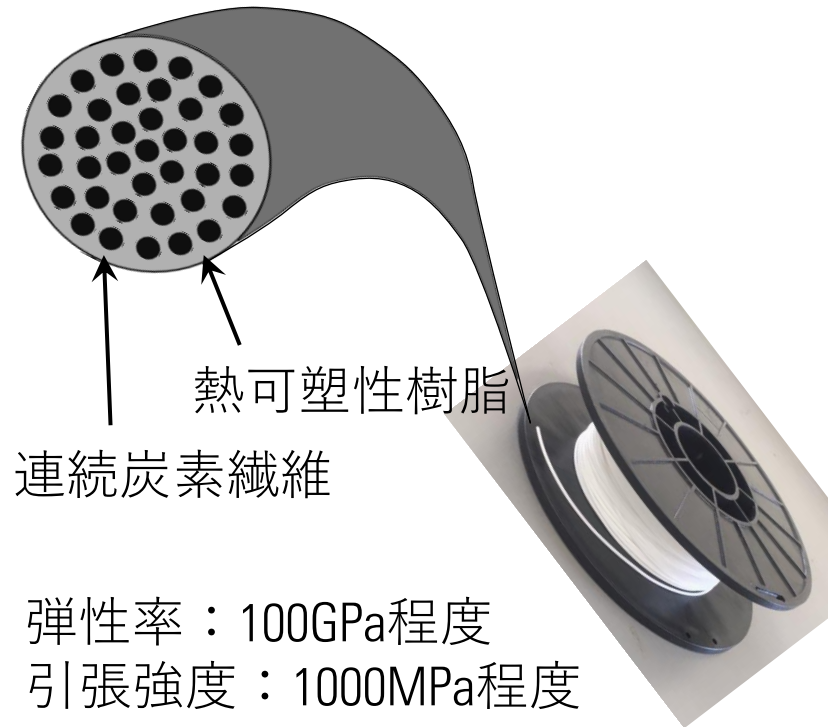
弾性率：1GPa程度
引張強度：50MPa程度

短繊維強化プラスチック
フィラメント



弾性率：10GPa程度
引張強度：100MPa程度

連続繊維強化プラスチック
フィラメント (CFRP)



弾性率：100GPa程度
引張強度：1000MPa程度

力学特性

低



高

従来技術とその問題点

CFRP用の3Dプリンタが販売されているが¹⁾、「3DプリントしたCFRPは力学特性が低い」問題があり²⁾、構造部品への応用には至っていない。

- (1) Markforged(米国)、Desktop Metal(米国)、9T Lab(スイス)、Anisoprint(ルクセンブルク)、Shaanxi fibertech technology development(中国)、APS Tech Solutions(オーストリア)など。
- (2) 3DプリントしたCFRPの内部には多数の空隙があり、また、接着強度が低く剥がれが生じやすい。

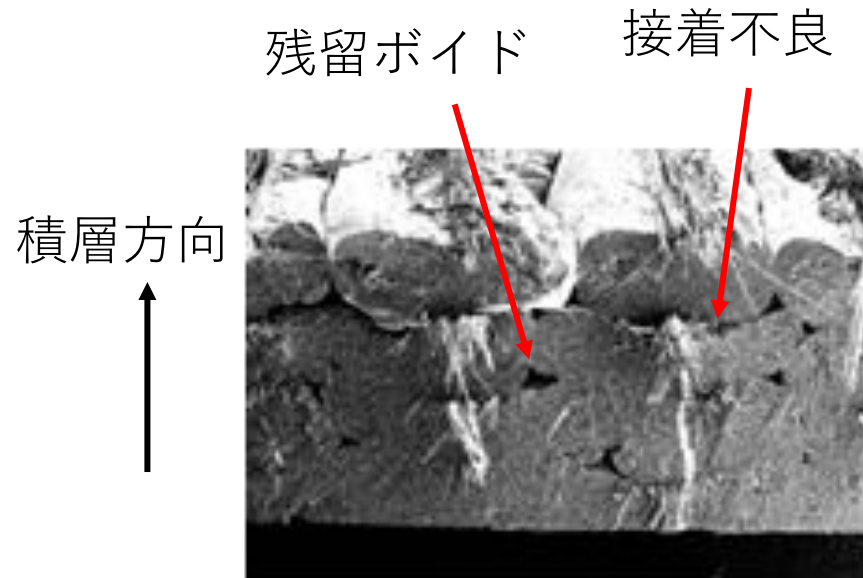
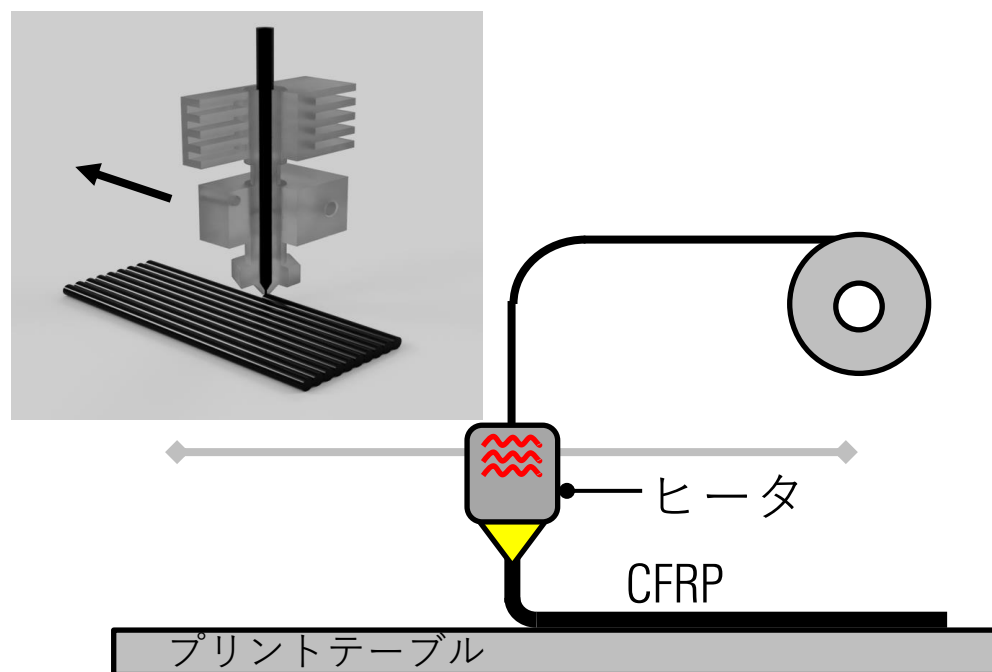
従来技術とその問題点

－3DプリントCFRPが低強度化する原因－

3Dプリントでは溶融したフィラメントをテーブルに積層して造形。

【問題】

1. 固化した樹脂の上に溶融した樹脂を積層するため、樹脂同士がしっかり接着されない。
新技術：樹脂同士の接着強度を向上させる。
2. 積層後にはフィラメント間にボイドが発生。



従来技術とその問題点

－3DプリントCFRPが低強度化する原因－

3Dプリントでは溶融したフィラメントをテーブルに積層して造形。

【問題】

1. 固化した樹脂の上に溶融した樹脂を積層するため、樹脂同士がしっかり接着されない。

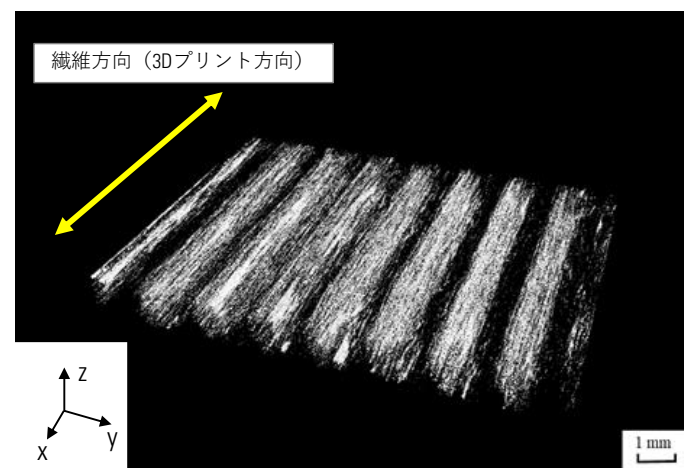
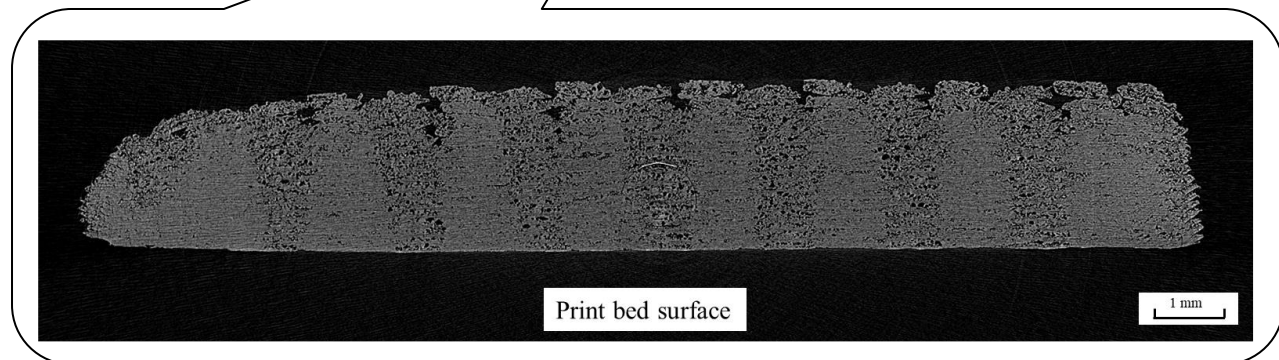
新技術：樹脂同士の接着強度を向上させる。

2. 積層後にはフィラメント間にボイドが発生。

新技術：ボイドを低減させる。

内部のボイド (X線CT)

断面写真



ボイド率10%

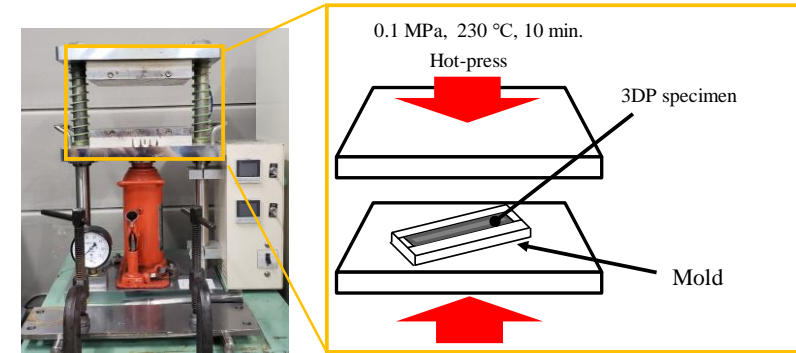
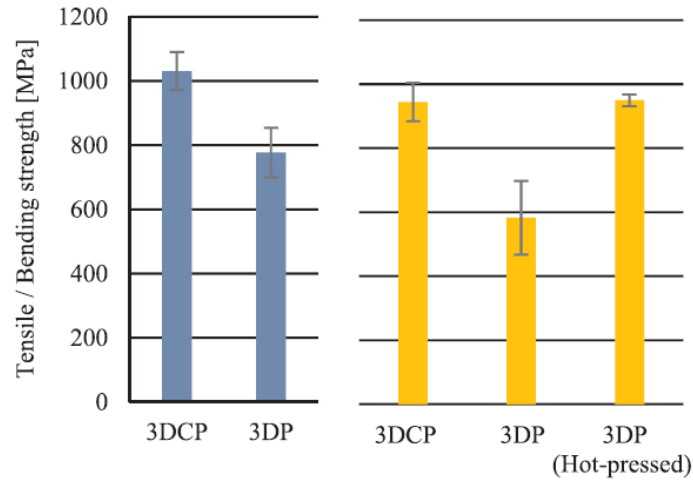
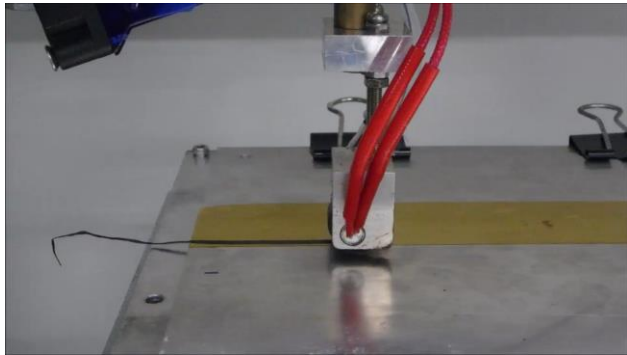
新技術の特徴・従来技術との比較

- 力学特性に優れるCFRPを3Dプリントできる方式を確立(低ボイド率, 高接着強度)。
- 本技術により、これまでは3Dプリント困難であった繊維量が多いCFRPも3Dプリントが可能。力学特性に優れたCFRPで部品製造できる。
- 樹脂のみの3Dプリントにも応用可能であり、汎用性の高い技術。

本技術の前の技術(3年前)

– 3Dコンパクションプリンター –

ノズルに追従する加熱ローラにより、常にプレス処理



(a) Tensile strength

(b) Bending strength

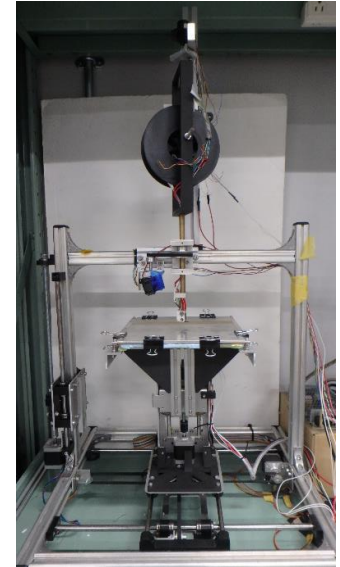
結果: 3Dプリント時に常時加熱プレス処理すると、3Dプリント後に加熱プレス処理(後処理)したCFRPと同じ特性を発揮

⇒ 後処理の必要なく、高性能なCFRPを3Dプリント可能。

本技術の前の技術(3年前)

【3Dコンパクションプリンタの課題】

- …通常の3Dプリンタと比較して, ヘッドを回転させて加熱ローラを追従させる必要があり, 装置が高コスト化.



3Dコンパクションプリンタ
の外観

— 新技術 —

レイヤーワイズコンパクション3Dプリンタ

簡単な装置で同等以上の効果が得られるプリンタを提案

【意味】

レイヤーワイズ：層ごと

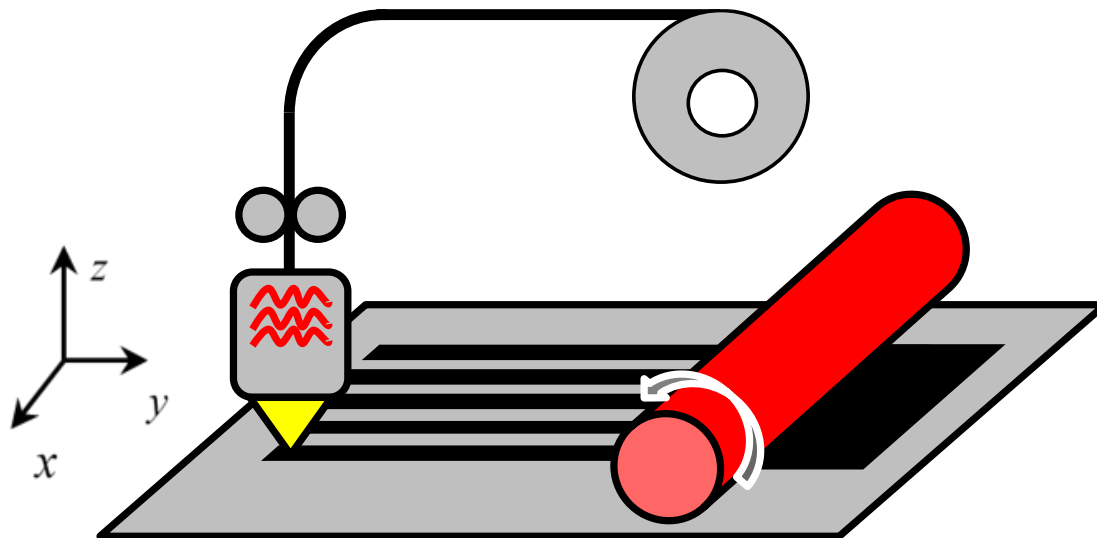
コンパクション：押しつけ

新技術の説明

新規点: 通常の3Dプリンタに、加熱プレスローラを追加したのみ。

3Dプリントの1層ごとに加熱ロール処理を施し、ボイドを排出させて接着性も高める。

「レイヤーワイズコンパクション3Dプリンタ」



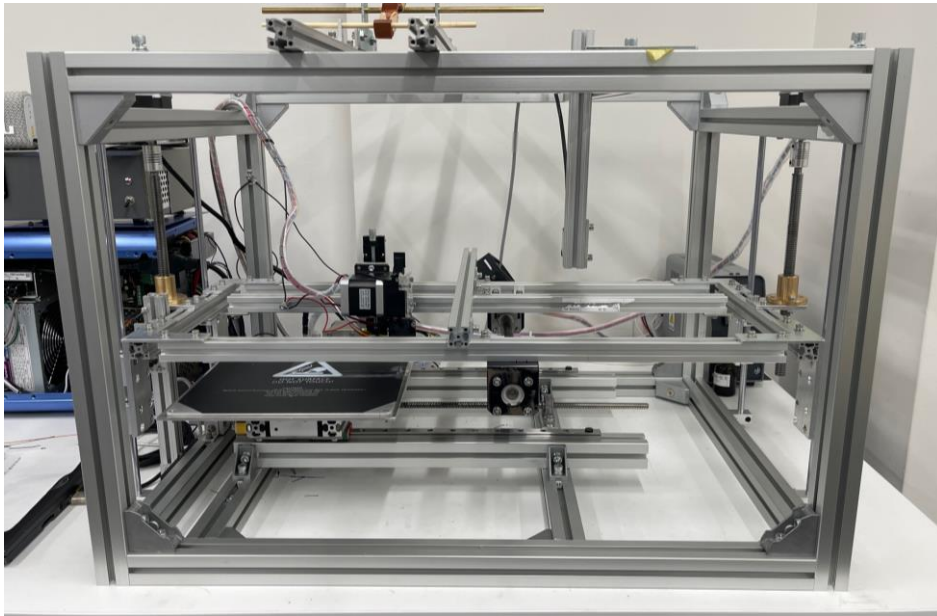
【意味】

レイヤーワイズ：層ごと

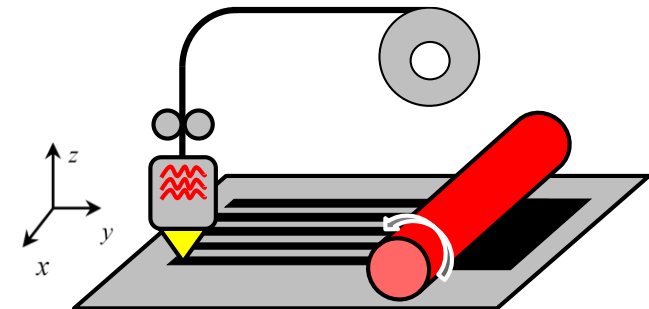
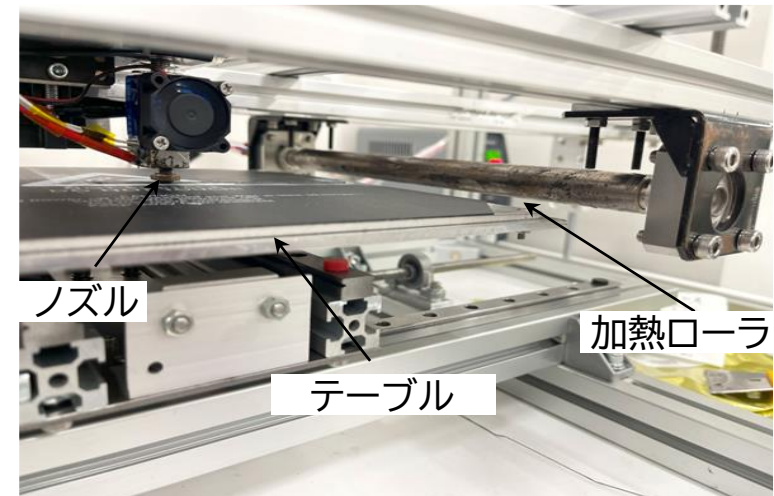
コンパクション：押しつけ

新技術の説明

— 実証実験 —



自作した3Dプリンタ
(オープンソースの3Dプリンタベース)

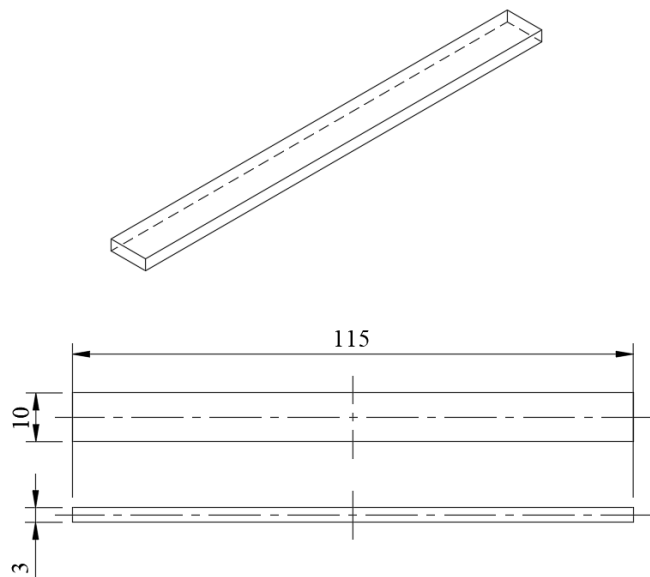


新技術の説明

ー試験片の3Dプリントー

【材料】市販の連続炭素繊維強化ナイロンフィラメント(繊維と樹脂との比率が30%*)

【試験片形状】ASTM D790に準拠



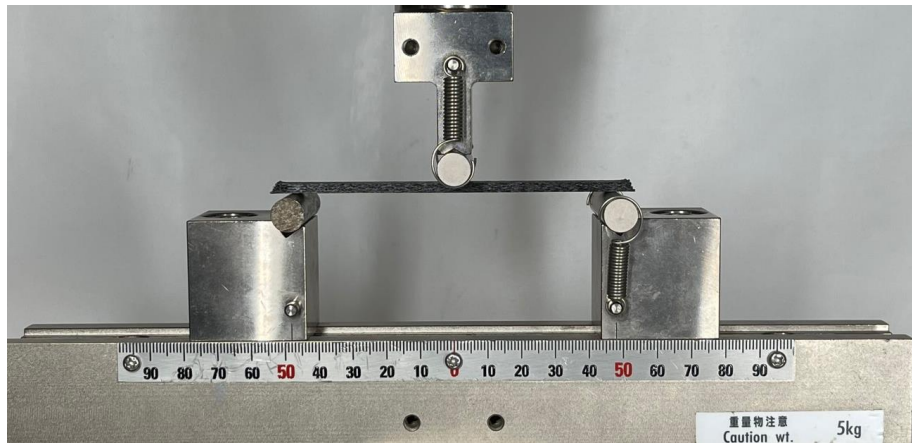
	厚さ
プレス無	3.00mm
プレス有(圧縮量小さい)	2.95mm
プレス有(圧縮量多い)	2.72mm

- ・プレス量によって厚さが変化
(ボイド除去・接着强度高)
- ・長さ・幅等はほとんど変化無し。

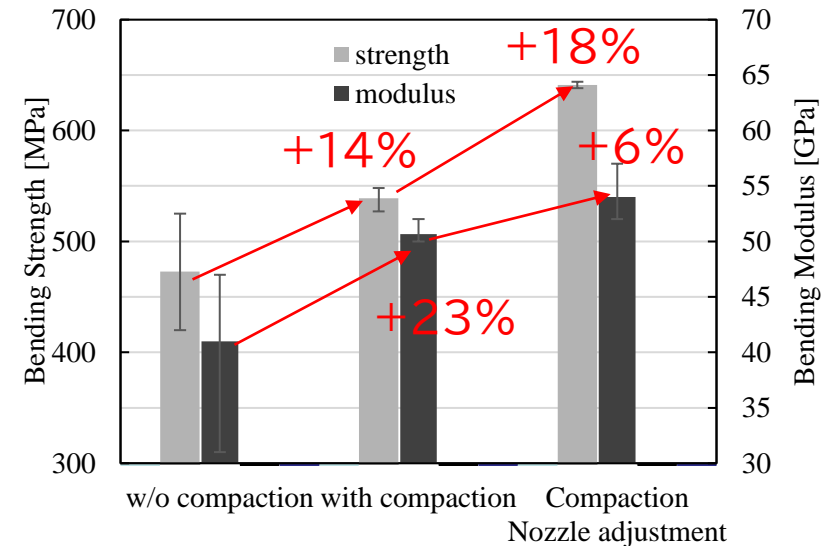
*繊維比率の高いフィラメントを使用すればより高剛性・高強度CFRPになる(航空機向けCFRPでは60%)

新技術の説明

— 実験結果 —



CFRP板を3Dプリンタした後に
曲げ試験を実施



曲げ剛性と曲げ強度の結果

結果:3Dプリント時に加熱プレス処理するだけで力学特性が大きく向上する。
(樹脂のみの3Dプリントでも効果を発揮)

⇒ 本技術は高付加価値材料(CFRP)から汎用樹脂まで広く使用できる

想定される用途

- 比重は鉄の1/4、引張強度は軟鋼の2倍以上であるCFRPを3Dプリント可能。
- CFRPは錆びないため、耐腐部品にも利用可。
- 優れた力学特性のCFRPが3Dプリントできるため、機械部品全般・医療用具、スポーツ用品など様々な産業への応用が期待される。

実用化に向けた課題

- 現在、高強度なCFRPが3Dプリントできることまで実証済。
- 実証装置は研究室内での手作りであり、実用化に向けて製品レベルの精度で3Dプリンタを製作したい。
- 実証装置の一部がMarkforged社(米国)の特許技術に抵触する可能性があり、この部分のみ別の方法を検討する必要性が生じる可能性がある。

企業への期待

- 装置(3Dプリンタ)及び制御ソフトウェアを製作できる企業との連携を希望(3Dプリントはすでにオープンソース化されている技術であり、アウトソーシング可能)。
- 樹脂用3Dプリンタを開発中の企業、CFRPによる部品製造分野への展開を考えている企業には、本技術の導入が有効と思われる。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 三次元プリンティング装置、
三次元プリンティング方法、
及び圧縮装置
- 出願番号 : PCT/JP2023/025703
- 出願人 : 学校法人日本大学
- 発明者 : 上田 政人

お問い合わせ先

日本大学産官学連携知財センター

TEL: 03-5275-8139
FAX: 03-5275-8328
e-mail: nubic@nihon-u.ac.jp