

令和 4 年 5 月 21 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04121

研究課題名（和文）形状に沿った方向と積層方向に配向した炭素繊維で強化した光造形法の開発

研究課題名（英文）Development of Laser Stereolithography with Carbon Fiber Oriented along Shape and Direction of Layer of Part

研究代表者

中本 剛（Nakamoto, Takeshi）

千葉大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：30198262

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：炭素繊維を部品の形状に沿った方向と積層方向（部品の厚さ方向）に配向した部品を光造形法で製作する方法を開発した。部品の形状に沿った方向へは炭素繊維に張力を作用させて配向した。部品の厚さ方向へは電界を印加させることによって配向した。この方法を利用して部品の形状に沿った方向と厚さ方向の両方向とも配向した部品を製作した。

次に炭素繊維を配向した部品の強度試験を行った。得られた結果はばらつきが大きく、今後、精査が必要である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

光造形法は他の造形方法と比べると造形精度が高く、マイクロサイズの部品の製作にも適用できる。しかしその素材が紫外線硬化樹脂であるために実用に供するためには強度を向上させる必要がある。熱可塑性樹脂を素材としてして連続した炭素繊維で強化した製品を3Dプリンターで造形する方法は既に実用化されている。光造形法は熱可塑性樹脂を利用した方法よりも造形精度が高いので、より微細な形状の製作に適しており、今後、利用が広がる事が期待できる。

研究成果の概要（英文）：Laser Stereolithography with carbon fiber oriented along shape and direction of layer of a part was developed. The orientation along the shape of the part was performed by the tension on carbon fiber. The orientation along the layered direction was performed by an electric field. By using these methods, the parts with the carbon fiber oriented along the shape and direction of the layer of the part were fabricated. The tensile strength of the photopolymer with oriented carbon fiber was performed.

研究分野：生産工学・加工学，特殊加工，機械要素

キーワード：光造形 炭素繊維 配向 電界 引張強度

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

光造形法は他の造形法に比べて造形精度が高いので、マイクロサイズの部品の製作にも利用されている。しかし、その素材が紫外線硬化樹脂であるので、実用に供するためにはその強度を向上させる必要がある。

2. 研究の目的

部品の積層方向（厚さ方向）に炭素繊維を配向する。部品の積層方向と垂直な水平面内では、その形状に沿って炭素繊維を配向する。このようにして積層方向と水平面内の両方向とも配向した部品を光造形法によって製作する方法を開発することを目的とした。

3. 研究の方法

図1に積層方向（厚さ方向）に炭素繊維を配向する方法を示す。1本の炭素繊維の直径は7 $\mu$ mであるが数mmの帯状の束になって販売されている。炭素繊維を短く切断して図1(a)に示すように極板上に置く。極板間に直流電界を印加することによって図1(b)に示すように炭素繊維が（負の）電荷を帯びて、もう一方の電極に向かって飛ぶ。もう一方の電極板には液体の紫外線硬化樹脂を塗布してあるので、炭素繊維はもう一方の電極板上で図1(c)に示すように垂直に配向する。この状態で液体樹脂を硬化させることによって樹脂上で炭素繊維を垂直に配向した極板を

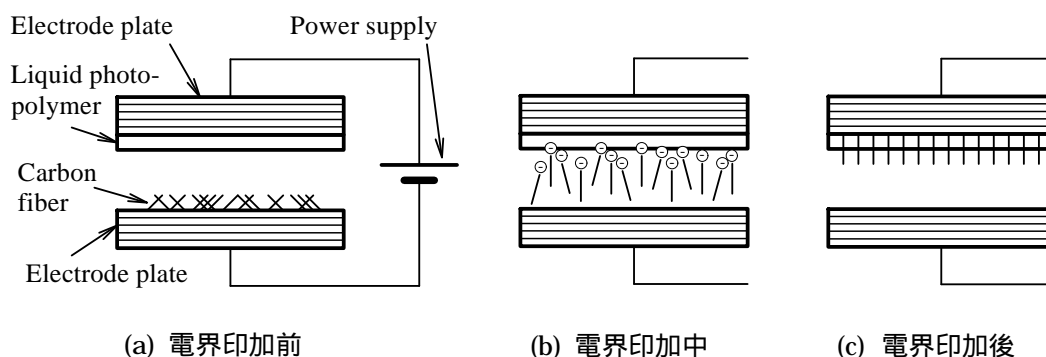


図1 積層方向（厚さ方向）への炭素繊維の配向方法

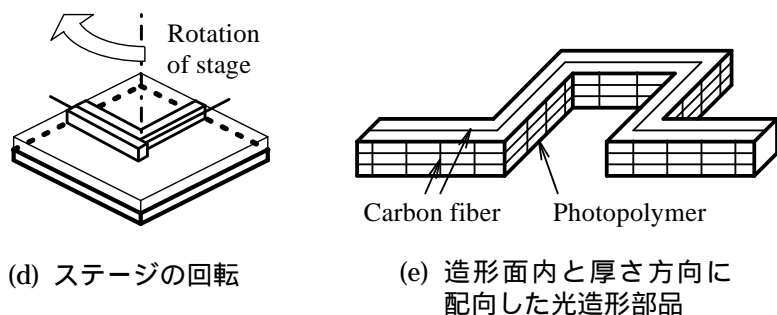
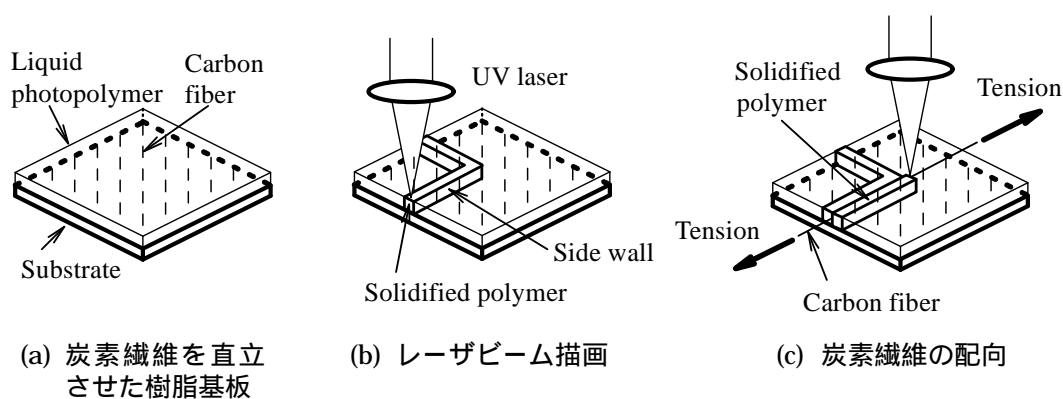


図2 造形面内と厚さ方向に配向した光造形部品の製作方法

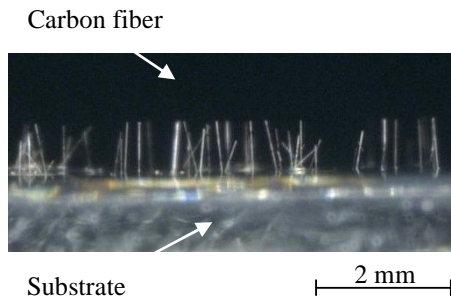


図3 基板上で垂直に配向した炭素繊維

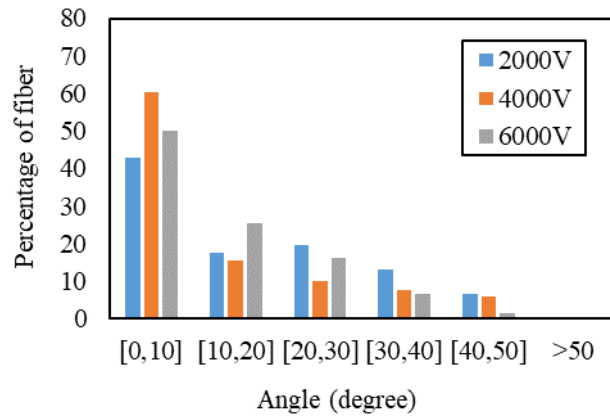


図4 印加電圧と炭素繊維の角度

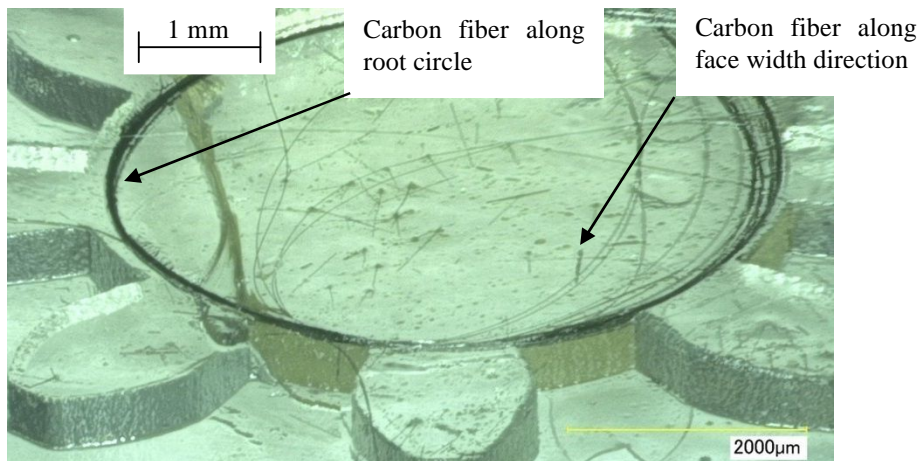


図5 厚さ方向（歯幅方向）と歯底円に沿った方向に炭素繊維を配向した歯車

得る．これらの極板とは別に液体の紫外線硬化樹脂を塗布してある基板を用意する．この後，図1 (c)の上側の極板を別の基板に近づけて炭素繊維を移し替える．この別の基板を造形に使用する．

炭素繊維を垂直に配向した樹脂基板を図2(a)に示す．これは前述の炭素繊維を移し替えた後の基板である．この基板の上に図2(b)のように，さらに液体の紫外線硬化樹脂を塗布する．そして部品の輪郭形状に沿って紫外線レーザービームを描画して樹脂を硬化させる．次に図2(c)のように部品の輪郭形状に沿って炭素繊維を張る．この炭素繊維を挟んで樹脂を硬化させる．硬化させた後でステージを回転させることによって図2(d)のように炭素繊維を隣接した輪郭形状に沿って配向させる．これらの一連の工程を繰り返す．さらに樹脂を積層することにより図2(e)のように一つの造形面内（水平面内）では部品の形状に沿って一端から他端までを長い繊維で強化し，かつ積層方向（厚さ方向）にも強化した部品を光造形法で製作することができる．

#### 4．研究成果

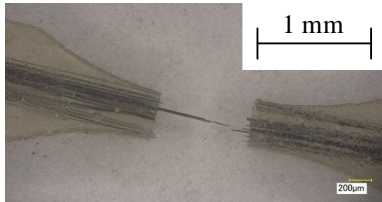
##### 4.1 炭素繊維の配向と造形した部品

図3に電界の印加によって炭素繊維を配向した樹脂基板の写真を示す．この配向の程度を炭素繊維の角度を測定することによって評価した．その一例を図4に示す．図4は基板の垂線からの角度とその範囲の炭素繊維の割合を棒グラフで示している．0°が基板に対して垂直であることを示している．[0, 10]は0°から10°の範囲に含まれる炭素繊維の割合である．それぞれの棒が印加電圧2000V, 4000V, 6000Vを示している．図4から2000Vよりも4000Vや6000Vのほうが，0°から10°の間に存在する炭素繊維の割合が大きく，より垂直に配向していることを示している．印加電圧を8000Vにすると一部の炭素繊維が焼けてしまった．このように印加する電圧には適切な値が存在する．

図4は炭素繊維の本数は約48,000本，1本の炭素繊維の長さは1.4mm，極板間隔は10.4mmのときの結果である．印加する電圧だけでなく，これらにも適切な値が存在する．例えば炭素繊維の本数は多いほうが部品の強化には都合が良い．しかし炭素繊維の量が多すぎると配向しにくくなってしまふ．これらの条件の最適値については，今後，さらに検討する必要がある．



(a) 試験前



(b) 試験後

図 6 引張試験片

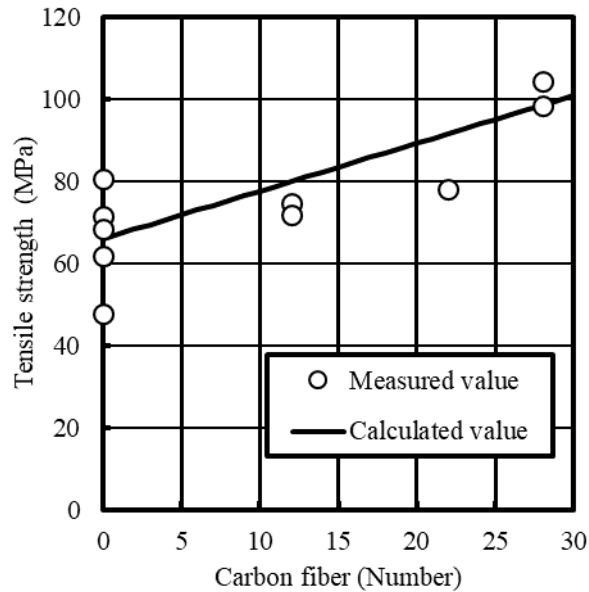


図 7 引張試験結果

ここで本来であれば図 2 の方法によって光造形部品を得るところである．本研究では炭素繊維を配向した部品が得られることを簡単に実証するために以下の方法を用いた．図 3 の基板に歯車のメス型を置き，その中に液体の紫外線硬化樹脂を注入する．この液体樹脂中に炭素繊維を入れて造形面内，すなわち歯車の面内について配向する．その後，液体樹脂を硬化させてから歯車のメス型を取り除く．このようにして造形面内と厚さ方向の両方の方向に配向した部品を得た．この拡大写真を図 5 に示す．厚さ方向（歯幅方向）と歯底円の両方向に沿って炭素繊維を配向している．

#### 4.2 引張試験結果

紫外線硬化樹脂に炭素繊維を配向した効果を引張試験によって検証した．図 6(a)に製作した引張試験片の写真を示す．試験片は全長が 4.8mm で厚さは 0.4mm である．中央部分は幅 0.4mm で厚さは 0.4mm である．図 6(a)の試験片は炭素繊維が 10 本程度含まれている．引張試験後の試験片の写真を図 6(b)に示す．炭素繊維が破断することもあるが，試験片から炭素繊維が抜けることもある．

図 7 に炭素繊維の本数と引張強度の関係を示す．図 7 の丸印が実験点で直線が試験片の断面積中の樹脂の体積割合と炭素繊維の体積割合から計算した引張強度の値である．通常の体積則による計算値ということになる．図 7 から炭素繊維を 30 本ほど含有させると引張強度が改善される．改善の程度は体積則に近い傾向にあるけれども，炭素繊維が含まれていない試験片においてもばらつきは大きい．このように強度の改善については今後，精査が必要である．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 大塚智也, 荷堂剛, 中本剛
2. 発表標題 炭素繊維を厚さ方向に配向した機械部品の光造形
3. 学会等名 2021年度精密工学会秋季大会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大塚智也, 荷堂剛, 中本剛
2. 発表標題 炭素繊維を厚さ方向に配向した光造形部品の配向条件の検討
3. 学会等名 2022年度精密工学会春季大会学術講演会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------