



REPORT

1

CFRTP3Dプリンターを用いた立体構造物の成形とシミュレーションによる強度解析

全国炭素繊維3D造形プロジェクト実行委員会秋田支部

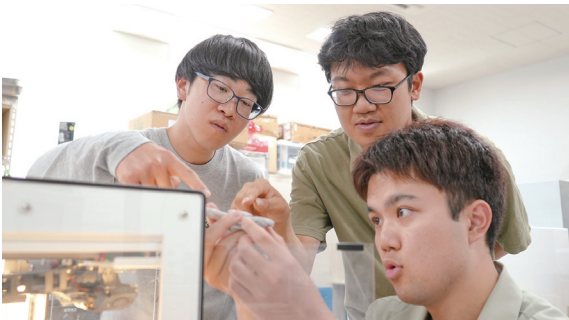
2年 中川 柊太 (京都府／山城高校出身)
平野 太智 (埼玉県／城西大学付属川越高校出身)
1年 橋本 専弥 (秋田県／男鹿工業高校出身)

システム科学技術学部／機械工学科

指導教員 境 英一 教授(機械工学科)

Q1 取り組んだ学生自主研究について教えてください。

私たちは、炭素繊維強化熱可塑性プラスチック(CFRTP)3Dプリンターを用いて軽量で高剛性な立体構造物を製作することを目的に研究を行いました。そのため、引張試験や曲げ試験によって材料特性を調べるとともに、CADでミニ四駆サイズのボディを設計し、トポロジー最適化による軽量化を検討しました。その結果、炭素繊維の配向方向や積層構成が強度に与える影響を確認し、軽量かつ高剛性な構造を設計することができました。



Q2 学生自主研究で得たことや良かったことを教えてください。

学生自主研究を通して、CADによる設計、シミュレーション解析、材料試験、3Dプリンターによる造形までの一連の研究プロセスを実践的に学ぶことができました。特に、設計した形状が強度や性能にどのような影響を与えるのかを理解できたことは大きな成果です。また、研究結果を整理し考察する力や、仲間と協力して課題を解決する力も身につけることができ、自身の成長を実感できる貴重な経験となりました。



高校生へのメッセージ

Message from seniors

学生自主研究は、学生に好奇心と探求心を与えてくれる、いわば生きがいを与える制度だと思います。研究室の先輩たちや先生がしっかりとサポートしてくださるため、自分の興味を持ったことを思う存分研究できます。また、研究したいことが決まっていなくても先輩方や先生と一緒に研究テーマについて考えてくれます。そのため、積極的に自主研究を行うことをおすすめします。みんなも自主研究やろうぜ!!!!



研究内容 環境調和型プラスチック材料の開発と資源循環への貢献

プラスチックは現在、環境問題や資源供給などの観点から懸念の多い材料として認識されていますが、現代社会や産業の発展・維持に欠かせない材料でもあります。私は、プラスチックが抱える課題の解決とさらなる応用を目指し、バイオマス由来高分子や生分解性プラスチックを用いた環境調和型複合材料の開発、成形加工・リサイクル技術の高度化、材料界面制御による強度・耐久性の向上に取り組んでいます。特に、繊維と樹脂の界面、中間層、表面処理などを設計することで、異種材料接合や複合材料の性能向上を図っています。近年は、ナノ・マイクロプラスチックの簡易検出・回収技術や環境中での動態把握、バイオプラスチック複合材料、刺激応答性バイオコンジョットの4Dプリンティングなど、資源循環と機能性材料を結びつける研究を進めています。

高校生へのメッセージ

科学や研究の出発点は、「なぜだろう」と感じる小さな疑問です。身近な材料や環境の問題にも、未来を変えるヒントが隠れています。失敗を恐れず、自分の好奇心を信じて学び続けてください。SNSなんかをみると「研究者」って不幸の代名詞みたいに使われるときがありますが、私は今、楽しいですし、わりと幸せですよ!

緒言

近年、F1やエコラン競技などのモータースポーツでは、軽量でかつ高剛性である車体(以下、カウル)がよく使われている。軽量でかつ高剛性であるカウルを製作するためには、複合材料(FRP)である炭素繊維強化プラスチック(CFRP)や炭素繊維強化熱可塑性プラスチック(CFRTP)が注目されている。CFRTPは、耐摩耗性や高強度といった機械的特性があり、それに対してCFRTPは、CFRPと比較すると物性面は劣るがコストが低く再成形しやすいといったメリットがある。そして、3DプリンターによるCFRTPの自動積層造形技術も発展してきている。そこでCFRTPと先端製造技術を融合させた設計・製造プロセスを用いて、設計したカウルに対してトポロジー最適化を用いて軽量でかつ高剛性な構造で理想的な骨格構造の検討を行った。また、3Dプリンターで成形したCFRTPの特性解明を行い、CFRTPの材料特性と車体構造の最適化について理解することを目的として本自主研究を実施することとした。

本研究では、3Dプリンターで成形したCFRTPの特性を明らかにするために引張試験、曲げ試験を行う。また、CADによりエコランで使用するカウルを1/10スケールで設計し、トポロジー最適化する。その後、CFRTP3Dプリンターを用いてボディを成形し、適切な繊維の配向方向や積層順序を模索する。

実験方法

2-1 試験片製作

Anisoprint社製のComposerA4(以下、3Dプリンター)を利用してAnisoprint社製のCFC用強化繊維フィラメントCCF1.5Kを強化繊維材料として使用しAnisoprint社製のCFC用マトリック材フィラメントポリアミド樹脂を母材として1方向に炭素繊維を積層して試験片の成形を行った。3Dプリンターで印刷する際は、成形する際に炭素繊維の間隔を狭くするようにした。今回使用した3Dプリンターは炭素繊維と樹脂が混合して成形をするため、印刷をする時に、最外層で樹脂が試験片を取り囲むように成形してしまうことから、樹脂の量を減らして、炭素繊維の密度を上げ、炭素繊維の充填率を高めるための工夫を行った。

2-2 特性評価方法

JIS K7074「炭素繊維強化プラスチックの曲げ試験法の試験条件」を参考にし、3点曲げ試験を行った。試験片を2-1節で説明した手法で成形をした。試験片の寸法は100×15×2(mm)として、3Dプリンターで成形した。試験片の炭素繊維の積層構成は試験片の長軸方向を0°として(0°、0°、0°、0°、0°、0°)と(90°、90°、90°、90°、90°、90°)の2種類を用意した。曲げ試験は島津製作所製の卓上形精密万能試験機AGS-X/10kN(以下、曲げ試験機)を用いた。試験条件は試験速度5.0mm/min、支点間距離80mmとし、オートグラフから試験片の荷重と変位のデータを得た。このデータから最大曲げ荷重や荷重-たわみ線図の直線部の勾配を求め、曲げ強さと曲げ弾性率を算出し、3Dプリンターで成形したCFRTPの曲げに対する材料特性の解明を図った。

次に、JIS K7165「プラスチック引張特性の求め方-第5部:一方向繊維強化プラスチック複合材料の試験条件」を参考にして引張試験を行った。試験片を2-1節で説明した手法で成形をした。試験片の炭素繊維の積層構成は試験片の長軸方向を0°として(0°、0°、0°)と(90°、90°、90°、90°、90°、90°)の2種類を用意した。試験片の寸法は、0°方向を250×15×1(mm)、90°方向を250×25×2(mm)、とした。試験にはINSTRON製INSTRON3382デュアルコラム床置型試験機(以下、引張試験機)を用いた。また、一部試験片に持ち手部分が滑らないようにアルミタブを接着した。引張試験は試験片が破壊するまで実施し、破壊時の荷重を求めた。試験条件は引張速度1.0mm/min、タブ長さ(治具のつかみ部でおおわれる範囲)を50mmとし、試験で得た材料の荷重-伸び線図とクロスヘッド変位のデータから破壊時の応力-ひずみ線図の直線部の勾配を求めヤング率を算出し、3Dプリンターで成形したCFRTPの引張に対する材料特性の解明を図った。

2-3 トポロジー最適化

SOLIDWORKSの解析ソフトを使い、トポロジー解析を行った。トポロジー解析の条件は先行研究^[1]を参考に最適化条件を設定した。図1にカウルの構造の最適化計算に用いたモデルを示す。寸法は、250mm×61mm×55mmで、実際の1/10スケールになるサイズで設計を行った。また、カウルの材料にはABSを設定し、解析におけるメッシュサイズは1mmとした。車体剛性の荷重条件は車軸の中心点を荷重入力点と設定し、そこに前後力や左右力を4つの組み合わせで与える方法により、車体のねじり変形や曲げ変形などを発生させている。また、ドライバーの乗車箇所に荷重を与えている。この荷重条件は体重70kgのドライバーが乗車していることを想定しているため、1/10スケールとして体重70gの荷重を与えた。また前後力と左右力も同様の荷重がかかっているものとした。

カウルの拘束条件は固定拘束およびローラ/スライダ拘束とし、その設定位置を図2に示す。カウルに作用する前後力や左右力、前後左右からの衝突荷重、およびドライバーの自重については図3に示す。

そして、ドライバーの安全を守るために衝突等の事故を想定した荷重を付与した。荷重条件は、車体およびドライバーを含めた質量0.09gの物体が時速30kmで衝突し、衝突後0.1秒で停止(時速0km)するという条件で荷重を求めた。以下に荷重を求めた際の式を示す。

$$G = \frac{v_1 - v_2}{\Delta t} \times \frac{1}{g} \quad (1)$$

(G : 衝撃値, v_1 : 衝突直前の速度(m/s), v_2 : 衝突後の速度(m/s), Δt : 衝突開始から終了までに要する時間(s), g : 重力加速度(m/s²))

$$F = m \times G \times g \quad (2)$$

(F : 衝撃に係る力, m : 質量)

また、トポロジー最適化の条件として、質量制約は質量削減率70%とし、厚み制御は最小2mmと設定した。

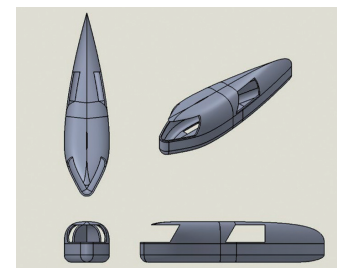


図1 カウルの構造の最適化計算に用いたモデル

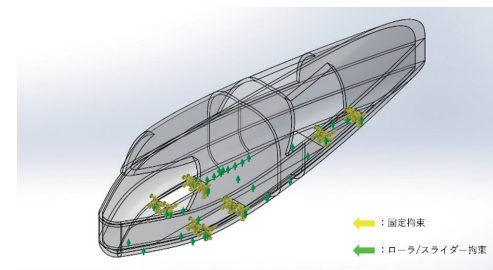


図2 拘束条件の設定位置

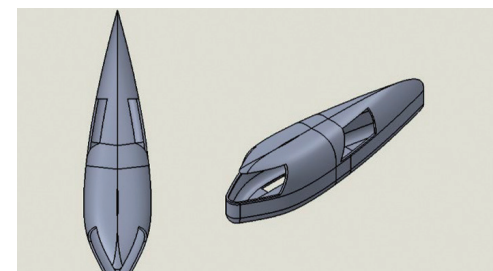


図3 荷重条件の設定位置

3 実験結果

3-1 曲げ試験結果

図4に曲げ強さ、図5に曲げ弾性率を示す。これらの結果より、90°方向よりも0°方向の試験片の方が弾性率は高くなった。また、曲げ強さの数値は、0°方向試験片の方が平均的に高い結果となった。これらのことから弾性率が高いほうが曲げ試験において強度が高くなると分かる。

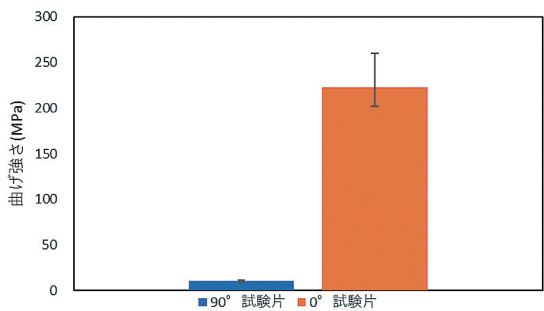


図4 曲げ強さ

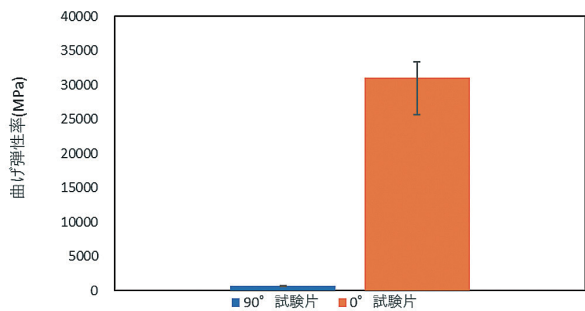


図5 曲げ弾性率

3-2 引張試験結果

図6に引張強さ、図7に破断ひずみを示す。これらの結果より引張試験の場合、0°方向試験片の方が90°方向試験片に比べて引張強さと破断ひずみが大きい結果となった。

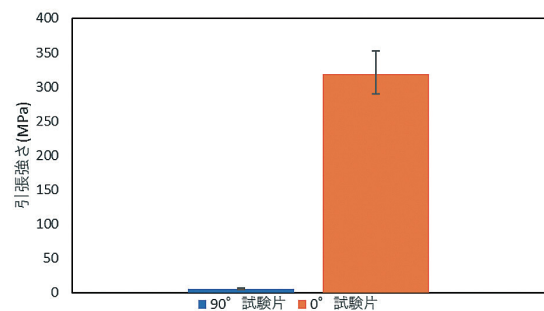


図6 引張強さ

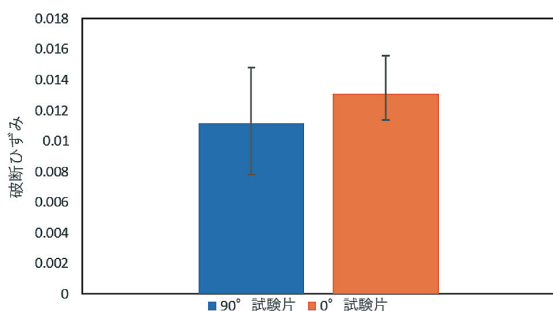


図7 破断ひずみ

3-3 トポロジー解析

次にトポロジー最適化の解析結果を図8、3Dプリンターで成形したボディを図9に示す。

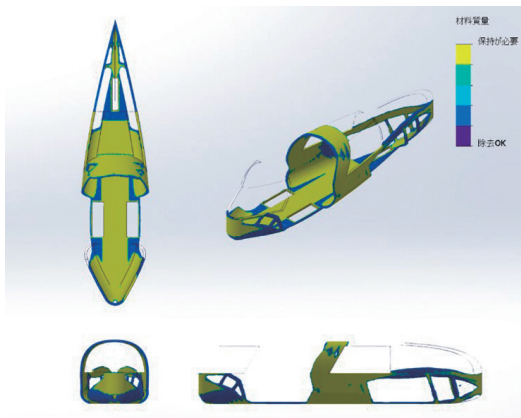


図8 トポロジー最適化の解析結果

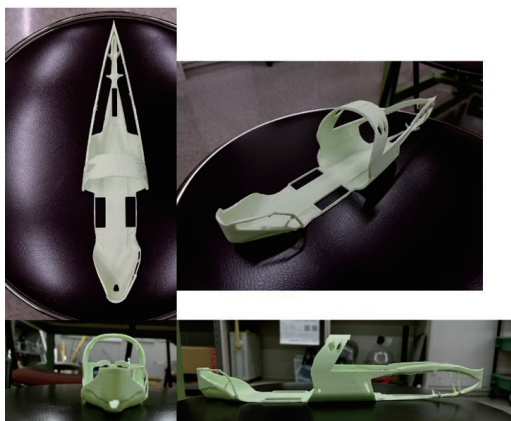


図9 3Dプリンターで成形したボディ

4 考察

曲げ試験では、試験片の上部では圧縮応力、下部では引張応力が働いている。0°方向試験片は90°方向試験片に比べて、弾性率が高く破壊時の荷重の平均値も高いことが分かった。これは、0°方向試験片では、繊維方向と応力の方向が一緒なので繊維が荷重を効率よく負担し90°方向試験片では樹脂や強化繊維でしか応力を負担できないからだと考えられる。またこれらのことから、0°方向の試験片の方が曲げ試験のような力が実際に働いた際に材料本来の力が発揮できると考えられる。

引張試験において0°方向試験片と90°方向試験片の様子を比較すると90°方向試験片の方がきれいな壊れ方をしていることが分かった。このことから0°方向の試験片の場合は試験力の方向と繊維方向が同じであり、繊維が荷重に対して直接負担するためひずみが大きく、90°方向試験片の場合は、試験力の方向と繊維方向が異なり、繊維が荷重を支えきれないため引張強さが小さくなったと考えられる。またこのことから実際に引張試験のような試験力が母材に働いた場合、0°方向試験片の方が材料本来の強度、剛性が発揮できると考えられる。

5 結言

引張試験と曲げ試験の実験結果を通して0°方向の試験片の方が材料本来の強度、剛性が発揮できるということが分かった。



REPORT

2

寒冷地におけるレモン栽培の実現可能性と植物生体電位を用いた植物ヘルスマニタリング

米津レモン

1年 深澤 響希 (山梨県／巨摩高校出身)
皆川 稜太 (秋田県／横手清陵学院高校出身)
荘司 隼人 (秋田県／由利高校出身)
中井祐太郎 (宮城県／仙台南高校出身)

システム科学技術学部 知能メカトロニクス学科

指導教員 古川 大介 助教
(知能メカトロニクス学科)

Q1 取り組んだ学生自主研究について教えてください。

秋田県は冬季に気温が低く日照時間や光量が不足するため、レモン栽培には厳しい環境です。しかし、寒冷地でのレモン栽培が実現すれば、新たな特産品として期待できます。私たちは、植物の生理活動に伴って発生する植物生体電位に着目し、光量変化による応答特性から健康状態(バイタル)を評価しました。結果、低温環境下でも光合成活動の維持と光量による応答特性の違いを確認し、環境制御型レモン栽培への基礎的知見を得ました。



Q2 学生自主研究で得たことや良かったことを教えてください。

自主研究を通して、植物生体電位の計測技術やデータのノイズ処理、グラフ化の重要性を学びました。実験条件の設定やデータ分析を行う中で、仲間と相談しながら課題を発見し、解決する力を養うことができたと思います。さらに、寒冷地におけるレモン栽培という地域課題を科学的根拠に基づいて考察する重要性を学び、自ら得たデータから植物の状態を評価できたことに大きな達成感を得ることができ、研究意欲が高まりました。



高校生へのメッセージ

Message from seniors

秋田県立大学の魅力は、1年生から本格的な研究に取り組める環境と、仲間と協力しながら成長できる雰囲気です。講義だけでは学べない部分まで自分の手で確かめられることが楽しく、研究を通して学ぶことの面白さを実感できます。また、先生方や先輩方のサポートが手厚く、わからないことも気軽に相談できる環境が整っています。ぜひ入学したら、自分の興味を形にして、仲間と一緒に新しい発見を楽しんでください！



研究内容

お肌の老化を“見える化”する研究

紫外線を浴びることによって生じる「光老化」は、お肌のコラーゲンやエラスチンが変性または減少し、その結果、皮膚の弾力や剛性が低下し、“シワ”や“たるみ”の原因となります。その他にも、褥瘡(じょくそう)やスキンテア(皮膚が裂ける傷)などの皮膚トラブルも、皮膚内部(真皮)の力学的変化が関与していると考えられています。私たちの研究では、これらの皮膚トラブルの発生メカニズムを明らかにし、将来的にシワ発生リスクの評価法を構築することを目指しています。そのために、“光干渉断層画像法”を用いて、皮膚内部構造を傷つけずに可視化し、さらに皮膚を軽く吸引した際の変形から、皮膚内部の力学的性質を推定する方法を開発しています。この研究によって、シワなどの皮膚トラブルを早期に予測や予防への応用が期待できます。他にも、生産工程で生じる問題に対し、AIを利用した研究にも取り組んでいます。

高校生へのメッセージ

「真剣に取り組めば知恵が生まれ、中途半端では愚痴が、いい加減では言い訳ばかり。」野球の大谷選手は高校時代から武田信玄のこの言葉を胸に、自らの戒めとして今日の偉業を成し遂げたようです。学問や研究も同じです。高校生の皆さん、自己研鑽を重ね、探求心や好奇心を胸に、未来を切り拓く力を磨いてください。

助教 古川 大介

PROFILE

学 位／博士(医工学)
専門分野／生体計測工学

指導教員がきめ細かく研究をサポート

SUPPORT