

# 機械工学実験における アディティブマニファクチュアリングの位置付け\*

佐藤 学<sup>†</sup>・廣瀬 哲也<sup>††</sup>・川崎 正雅<sup>††</sup>・工藤 悠磨<sup>††</sup>・奈良 力輝<sup>††</sup>・畑中 楓<sup>††</sup>

## The Role of Additive Manufacturing in Mechanical Engineering Experiments

Manabu SATOU, Tetsuya HIROSE, Seiga KAWASAKI, Yuuma KUDO, Riki NARA and Kaede HATANAKA

### ABSTRACT

We examined mechanical engineering experiment themes that make use of additive manufacturing. We investigated experiment themes from the syllabus of “Mechanical Engineering Experiments” offered at domestic engineering universities. We found that tensile testing continues to be conducted as a theme in the field of materials engineering. We found that there are advantages in terms of installation location and budget if plastic scale test pieces are used with a 3D printer. The examples of graduation theses described in this paper also show that tensile testing of plastics is also excellent for learning data science. “Tensile testing of plastics fabricated by additive manufacturing” was given as an example of a new mechanical engineering experiment theme.

**Key Words:** *experimental subjects, active learning, interactive classes, mechanical properties, data science*

**キーワード:** 実験科目, アクティブラーニング, 双方向授業, 機械特性, データサイエンス

### 1. はじめに

教員による一方向的な講義形式の授業に対して、学ぶ学生の能動的な参加を取り入れた教授・学習法としてのアクティブラーニングは八戸工業大学でも広く実施され成果を上げている。講義形式が学ぶ側の主体性の有無の要因ではないけれども、講義で学生が「聞く」「見る」に加えて、「書く」「話す」そして「話し合う」双方向性のある学びの学修効果については広く知られている通りである。八戸工業大学では1年次開講科目である「物理学実験」や「化学実験」などの実験科目も、教員と学生との人対人の双方向だけではなく、人と実験対象との間に双方向性がある授業と言えるのではないだろうか。つまみを回して回転数を変化させると音や振動が変化したり、溶液を加えると沈澱が生じたり、実験者の操作に応じて変化が生じる。操作による変化を読み取ることにより、実

---

\* 令和 7 年 1 月 31 日 受付

<sup>†</sup> 工学部工学科・教授

<sup>††</sup> 工学部機械工学科・4 年

験者と対象物との間に双方向性の情報交換があるともいえる。変化の定量的な読み取り計測によって理解を深めている。高度に制御された品質が一定の製品やデジタル信号の場合には対象物からの出力は予測可能で一方向のみの入力情報だけで決まってしまうかもしれない。実際は品質にばらつきがあり、不測の外乱入力等も有り得るので対象物からの出力情報の読み取りに注意が必要な実験もあるかもしれない。工学技術者としての学びでは、触覚、視覚、聴覚、臭覚、味覚の五感を駆使して「音」「色」「形状」「熱」「振動」「ニオイ」などを対象物から読み取ることも大事であろう。

一方、著しく進歩したセンサーによる多様な情報収集技術によって大量のデータを得て解析を行うデジタルトランスフォーメーション (DX) の時代となっている。機械学習によって効率的に条件パラメータが選択されたハイスループットスクリーニングをロボットが実行することも可能である<sup>1)</sup>。現在開講している実験科目では自ら計測した定量的な数値データを用いて計算評価し理解を深めているが、アナログ的な各人の感覚や認知も対象物からの情報として学びに役立つものと考えている。DX の時代における実験科目のあり方を念頭に、3 年次専門科目の「機械工学実験」の状況について調査した結果を述べ、材料工学分野に関する実験テーマを本稿では検討する。

## 2. 工学部における機械工学実験

### 2.1 八戸工業大学における機械工学実験

八戸工業大学における機械工学実験は、現在、機械工学コース3 年次に「機械工学実験Ⅰ」「機械工学実験Ⅱ」として前期後期に配置している。到達目標は「本講義は、専門科目の設計製図・実習・実験分野に位置する。機械工学に関する基礎的テーマについて理解するとともに、実験の進め方、機械・試験機・計測器の取扱い方、さらに実験結果の解析という一連の手順を習得し、実験の計画・遂行能力と結果の考察能力を身に付けることができる。」とシラバスに示している。具体的なテーマを表1 に示す。材料力学、流体力学、熱力学、計測制御工学分野の実験テーマが実施されている。表2 に示す2015 年度の機械工学実験では引張試験・衝撃試験など材料工学分野の実験テーマも実施されていたが2024 年度は実施テーマに含まれていない。

### 2.2 日本国内の工業大学における機械工学実験

日本国内の工業大学における機械工学実験の状況を各大学が公表しているシラバスをもとに調査した。文部科学省が取りまとめている大学・短期大学・高等専門学校・法人一覧<sup>2)</sup>を元に大学名称に「工業」を含む国立大学法人の4 大学、私立大学の15 大学合わせて19 大学を対象とした。名称に「工業」以外の「工科」や「農工」等を含む大学や名称変更のため「工業」を含まなくなった大学は対象外とした。各工業大学のウェブサイトアクセスしシラバスを調査した。学科等名称に「機械」を含む教育プログラム内で科目名に「実験」等を含む科目のシラバスを確認した。「機械工学実験」を開講しているのは19 大学中10 大学であった。名称は異なるものの同等の実験科目を8 大学で開講していた。「機械」を含む教育プログラムがない大学もあった。開講年次を3 年次としている大学が15、2 年次とする大学が5、4 年次は2 であった。複数年次で開講されている場合もあり重ねて数えた。2 週あるいは3 週で1 テーマが設定され、3 週目あるいは4 週目にレポート指導をする授業計画としている場合が多数を占めた。

表1 2024年度八戸工業大学で実施した機械工学実験Ⅰおよび機械工学実験Ⅱの実験テーマ一覧

テーマ	備考
片持ち梁の構造解析	基本問題の解析による CAE ソフトウェア使用法の修得
片持ち梁の構造解析	応用問題の解析による精度検証手法の修得
絞り流量計による流量の測定	
液体の物性値（粘度）の測定実験	
ロボットコントローラ	入出力とモータの速度制御
ロボットコントローラ	操縦プログラムの改良
物理モデルによるモデルベース設計	流量計算モデルの作成と評価
物理モデルによるモデルベース設計	自由落下モデルの作成と評価
数値解析による軽量化	円孔平板モデルにおける応力集中係数，軽量化設計の説明
数値解析による軽量化	軽量化設計と数値解析による評価
円管内強制対流熱伝達の実験	
円管内強制対流熱伝達の実験結果の解析	
テスタとオシロスコープによる各種物理量の測定	
4ビット加算器の作成	
オリフィスによる流量測定実験	

表2 2015年度八戸工業大学で実施した機械工学実験Ⅰおよび機械工学実験Ⅱの実験テーマ一覧

テーマ	備考
帯板にピン荷重を加えたときの円孔周辺の応力分布の有限要素解析	
片持ち平板に複数の円孔を任意の位置に導入することによる軽量化についての3次元有限要素解析	
絞り流量計による流量の測定	
液体の物性値の測定実験	
ロボットコントローラ①	
ロボットコントローラ②	
オリフィスによる流量の測定	
渦巻きポンプの性能試験	
引張試験・衝撃試験	
硬さ試験・固有振動数測定実験	
円管内強制対流熱伝達①	
円管内強制対流熱伝達②	
アナログ回路①	
アナログ回路②	

具体的なテーマがシラバスに記述される場合と「熱力学実験」「流体力学実験」のように機械工学における分野名をテーマとして記述する場合があった。具体的なテーマが記述されている場合について、「熱力学分野」「流体力学分野」「機械力学分野」「材料力学分野」「その他の分野」について、

具体的な実験項目がわかる記述をいくつか挙げる。

熱力学分野では、「対流熱伝達実験」、「自動車用エンジンの制御と熱損失の解析」、「冷却フィンの伝熱特性」、「ヒートポンプ型空調装置をとりあげ、その性能試験」、「ヒートポンプの実験に用いた温度計測センサについて実験・演習」、「密閉容器内の空気の圧力、温度を変化させることで比熱比を測定」、「円柱内の一次元定常加熱実験による温度計測」、「並流形 (Parallel flow type) および向流形 (Counter flow type) 熱交換器について、対数平均温度差、熱通過率、および温度効率を実験により求め」、「熱電対の度盛り実験」、「熱交換器の性能に関する実験、熱還流率の測定」、「熱電対の検定試験及び熱通過率の測定実験」、「熱伝導の数値シミュレーション」、「ディーゼルエンジンの性能試験」、「強制対流伝熱伝達率の測定実験」、「加熱物体を冷却する対流熱伝達現象に関する実験」、「等圧条件下での温度と体積の関係を実験的に求める」、「円管内乱流熱伝達率の測定」、「バーナー火炎構造の測定」、「気体燃料の発熱量測定」、「熱伝導率の測定」などがあつた。

流体力学分野では、「ポンプの性能と流速計測」、「流れの数値実験」、「ピトー管による風洞内の流速と流量の測定」、「ベンチュリやオリフィスによる流量と管摩擦係数の計測、風洞による物体まわりの圧力分布と流れ中の物体に働く流体力の計測」、「流量計測実験、管摩擦係数計測実験、円柱に作用する抵抗計測実験」、「遠心ポンプ性能実験」、「サイホン管を流れる水量と管入口出口間の落差を測定」、「熱流体計測実験」、「円管内の空気流の流量測定」、「粘度計測の実験」、「ベルヌーイ理論の実証実験」、「渦巻きポンプの性能試験」、「空気抵抗測定実験」、「流体中の球の抗力測定」、「ベルヌーイ保存則の応用実験」、「弁による圧力損失実験」、「流量計検定実験」、「乱流噴流の測定」、「円管内流れの圧力損失特性」、「車体模型まわりの流れと運動量の法則」、「ピトー管による流速測定」などがあつた。

機械力学分野では、「慣性モーメントの測定実験と一自由度系の強制振動実験」、「二自由度系の強制振動実験」、「片持ちはりの振動実験」、「回転軸の危険速度測定実験と円板の振動実験」、「FFT振動分析」、「片持ち梁の応力・たわみの実験」、「片持ちばりの曲げひずみ試験」、「単純な形状の、はりの曲げ振動の特性を計測」、「機械振動における1自由度系と2自由度系について、モデルによる数理解析と振動実験」、「振動測定技術に関する実験」、「振動の動的挙動と動吸振器を用いた防振技術について実験」などがあつた。

材料力学分野では、「材料の硬さ試験」、「材料の引張試験」、「有限要素ソフトウェア ANSYS を用いて構造最適化を実施」、「軟鋼とアルミ板材の平行試験に3点曲げ試験」、「代表的な工業材料の引張および曲げ試験」、「鋼材と真鍮 (黄銅) 材の引張試験を行い、降伏点、引張強さ、伸び、絞りなどを測定」、「引張試験、ねじり試験と縦弾性係数の測定実験」、「衝撃試験と硬さ試験」、「応力集中部の歪測定実験と変形挙動観察」、「FEM による応力集中部の応力解析」、「はりの曲げ実験」などがあつた。

その他の分野では、計測制御分野に関連して「1次遅れ系である水位系を対象としてフィードバック制御の数値シミュレーションと制御実験」、「機構の運動による制御理論の確認」、「ロボットアームの制御実験」、「モータ制御系設計実験」、「TTL-IC を使い、ゲート回路と呼ばれる AND、OR、NOT、NAND、NOR 回路の動作確認実験」、「空気圧システム実験」、「アナログ回路実験」、「シーケンス制御実験」などがあつた。加工分野に関連して、「プラスチック材料の射出成形実験」、「深絞り加工」、「切削加工特性評価に関する実験」、「定盤の平面度測定」、「エンドミル側面加工における切削抵抗測定」、「エンドミル工具を使用して、切り込み、切削速度などの加工条件を変えて切削実験」などがあつた。内燃機関の実験として、「内燃機関の性能試験実験」、「直噴式ディーゼルエンジンを発火運転させ、シリンダー内の圧力解析と排ガス分析」、また「トライボロジー実験」、生産工学の分野に関連する「生産プロセスの測定」、「ボルトの品質と信頼性」などもあつた。

ここでは材料工学分野の実験について検討したく材料力学分野の実験テーマとして前出した分に加えて機械加工分野を含めて再度整理して表3にまとめた。シラバスから抽出列挙した実験テーマは40件となった。テーマ内容に引張試験が含まれるものが10件と最も多く、次いで硬さ試験が9件であった。焼き入れ性を硬さで評価するジョミニー試験も硬さ試験に含めた。焼き入れなどの熱処理と材料組織を含むテーマは6件であった。ねじり試験、曲げ試験、圧縮試験、衝撃試験を含むテーマも数件あった。材料試験の対象とする素材は金属と記載されているもの、または鋼と記載されているものが18件であるが明示されていない場合が半数であった。射出成形ではプラスチック材料が対象であった。引張試験片の形状や入手方法あるいは製造方法の記述はシラバスには見られなかった。

引張試験や硬さ試験は材料工学分野の実験テーマとして要となる事項であるので、材料工学分野に関する実験テーマを検討するにあたっては不可欠の項目であろう。近年のものづくりの現場でのDXの進展を鑑みると、ハイスループットスクリーニングやラピットプロトタイピングなどの仕組みを実験テーマに反映することも可能ではないかと考えられる。ラピットプロトタイピングは製品開発で用いられる試作手法であり、高速（rapid）に試作（prototyping）することを目的としている。製品の設計につかうCADの3Dデータから直接3Dプリンタなどで造形することによって、試作品の製作が可能となっている。さらにこの造形物が実用品として展開される場合もあるようだ。このような仕組みを適用した材料工学分野でのテーマを検討したい。ラピッドプロトタイピングでは3Dプリンタが活用されている。3Dプリンタに出力する品物を引張試験片として、製図→出力→試験→評価の手順に最大限デジタルテクノロジーを学生には活用してもらいたい。

本学研究室等でも現在広く見られるようになった3Dプリンタは、実用品製造に使われるものからホビー用まで多様である。またプリント造形の方式や素材も多様である。3Dモデルデータから多様な方式や素材を用いて造形する方法は「アディティブマニュファクチュアリング」と呼ばれ、英語の頭文字を使ってAMと表現したり、付加製造と言われたりする。次章で「アディティブマニュファクチュアリング」について説明し、これを用いた実験課題について紹介する。

表3 各工業大学の材料工学分野の実験テーマ一覧（順不同）

工業大学名	開講年次等	科目名	テーマ
名古屋	3年	機械工学実験	鉄鋼材料の組織と性質 金属材料の降伏と加工性
九州	2年	機械工学実験Ⅰ	引張試験 かたさ試験・衝撃試験 定盤の平面度測定 エンドミル側面加工における切削抵抗測定 変形抵抗の測定
埼玉	3年	工学実験Ⅰ	加工面の粗さ測定 変形と応力の測定 成形加工実験 金属材料の熱処理
埼玉	3年	工学実験Ⅱ	引張試験 プレス加工実験
日本	2年	機械工学実験1	鋼板の引張試験（1） 鋼板の引張試験（2） 金属材料の機械的特性評価（1） 金属材料の機械的特性評価（2）
日本	2年	機械工学実験2	塑性加工実験
千葉	5セメ	機械工学実験1	引張試験、ねじり試験と縦弾性係数の測定実験 衝撃試験と硬さ試験
千葉	6セメ	機械工学実験2	応力集中部の歪測定実験と変形挙動観察
愛知	3年4年	機械工学実験1	引張試験 鋼の組織と硬さ
愛知	3年4年	機械工学実験2	ねじり試験
豊田	5セメ	工学実験（機械）	マルテンサイト変態による材料強度の変化
金沢	5、6セメ	機械工学専門実験・演習A	引張試験 曲げ試験 硬さに及ぼすマクロ組織の影響 射出成形 深絞り加工
金沢	5、6セメ	機械工学専門実験・演習B	工具形状が切削抵抗や加工表面に及ぼす影響 切削条件が切削抵抗や加工表面に及ぼす影響
福井	3年	創造工学実験	硬さ測定-硬さ測定機の使い方- 硬さ測定の実験
大阪	3年	機械工学実験a	熱処理実験
大阪	3年	機械工学実験b	材料試験
福岡	2年	知能機械基礎実験Ⅰ	材料の硬さ試験（実験、データ整理） 材料の引張試験（実験、データ整理） 片持ちばりの曲げひずみ試験（実験、データ整理）
西日本	3年	機械工学演習	金属材料工学実験

\*セメスターをセメと略して表示した。

### 3. アディティブマニュファクチャリングを取り入れた実験課題例

#### 3.1 アディティブマニュファクチャリング

アディティブマニュファクチャリングは日本工業規格（JIS）B9441 において付加製造（AM）に関わる用語および一般概念が規定されている。用語としての「付加製造,AM」は B 9441：2020 では「3D モデルデータを基に、材料を結合して造形物を実体化する加工法」と定義されている。製造プロセスにおける部材の形状を付与する工程は、成形加工、除去加工、付加加工の3つの基本原理のいずれか又はこれらの組み合わせで構成される。成形加工として、鍛造、曲げ加工、鋳造、射出成型、セラミックス又は金属のグリーン体（焼結前の粉末成形体）を媒介するセラミックス焼結、粉末冶金などが例示される。除去加工として、フライス加工、エンドミル加工、旋削加工、ドリル加工、放電加工などが例示される。付加加工は、材料を連続的に付加して目的の形状を取得するもので、溶接、はんだづけ、接着剤、ねじなどの物理的、化学的又は機械的結合で複数の部材を組み立てることである。これによって加工した部材から、より複雑な形状の製品を実現できる。付加製造（AM）では、付加加工の原理を適用して材料を連続的に付加し、物理的な 3D 形状を付与する。

実験研究を実施する際も AM は活用されている。卒業研究として実施した加速器を用いた元素分析では加速粒子ビームを照射するターゲットあるいはその保管ホルダの製作に活用した<sup>3)</sup>。ここでは機械工学実験のテーマとして検討する。アディティブマニュファクチャリングの一つである 3D プリンタを用いた卒業研究例を紹介する。

#### 3.2 卒業研究課題の例

積層造形により作製したプラスチックを用いた機械的性質に関する卒業研究として、著者研究室配属学生が実施した課題は「微小試験片技術を用いた材料試験に関する研究～微小引張試験でのひずみ評価の高度化～」、「微小試験片技術を用いた材料試験に関する研究～3D プリンタを用いた微小試験片の作製～」、「熱溶解積層方式 3D プリンタで出力したプラスチック材料の引張試験に関する研究」がある。本稿の共著者らが卒業研究として取り組んだ課題はプラスチック材料の機械的性質に関する検討である。卒業研究の概略を以下に示す。

##### (1) 研究課題と背景

研究課題：「積層造形したプラスチックの機械特性に及ぼす内部構造の影響」

積層造形(Additive Manufacturing, AM)技術は、従来の切削加工に比べて高い自由度を持つ構造部品の製造を可能している。金属材料では溶融・凝固プロセスにより特徴的なサブ組織が形成され、これが工学的特性に影響を及ぼすことが報告されている。熱溶解積層(FDM)方式で造形するプラスチック材料でも選択する充填パターンにより生ずる内部構造が特性に影響を与える可能性がある。本研究では、熱溶解積層方式 3D プリンタで出力したプラスチック材料の内部構造を観察し、比較的小型の試験機を用いた引張試験を行い、その機械特性に及ぼす影響を検討することを目的とする。

##### (2) 実験方法

引張試験は、卓上引張圧縮試験機エー・アンド・デイ製フォーステスター(MCT2150)を用いて行なった。試験機の最大試験力容量の 500 N を超えないよう JIS K-7139 に準拠した 1/4 サイズの縮尺試験片を採用し、図 1 に示すようにゲージ部の厚さ 2 mm 幅 2.5 mm 長さ 20 mm とした。引張速度は 10 mm/min とした。

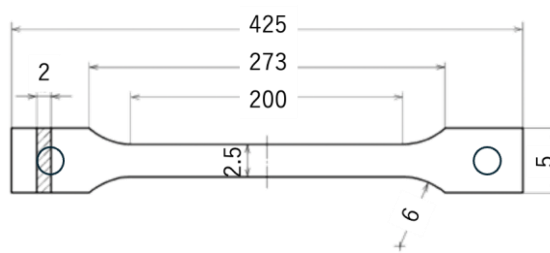


図1 試験片形状

プリンタは、Adventurer 3 Pro(FLASHFORGE 製)を用い、PLA(Polylactic Acid,ポリ乳酸)フィラメント(直径 1.75mm)を使用し試験片を出力した。ヘッド温度 210 °C、プラットフォーム温度 50 °C、積層ピッチ 0.18 mm、ヘッド移動速度 60 mm/s の条件とした。製図はCAD(Autodesk Fusion 360)を用い、スライサーソフトには、FlashPrint5(FLASHFORGE 製)を用いた。充填パターンは六角形と三角形、充填率は 50 %と 100 %を設定した。出力後、低速度ホイールソーで試験片を切断し、図 2 に示すように六角形と三角形の充填パターンでの試験片内部構造を確認した。

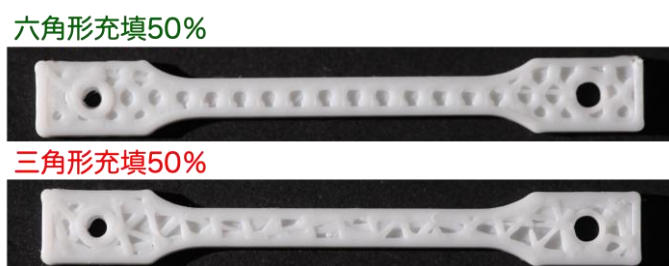


図2 積層造形したプラスチック試験片の内部構造

### (3) 実験結果と考察

引張試験結果として代表的な荷重変位曲線を図 3 に示す。変形初期の荷重変位曲線は、変位にほぼ比例して荷重が増加した。最大荷重は、六角形充填 50 %の場合は約 216 N となり、三角形充填 50 %では約 225N、充填率 100 %では約 265 N となった。三角形充填 50 %の場合には最大荷重となった後、比較的早く脆性的に破断するのに対して、六角形充填 50 %や充填率 100 %では緩やかな荷重減少も見られる。



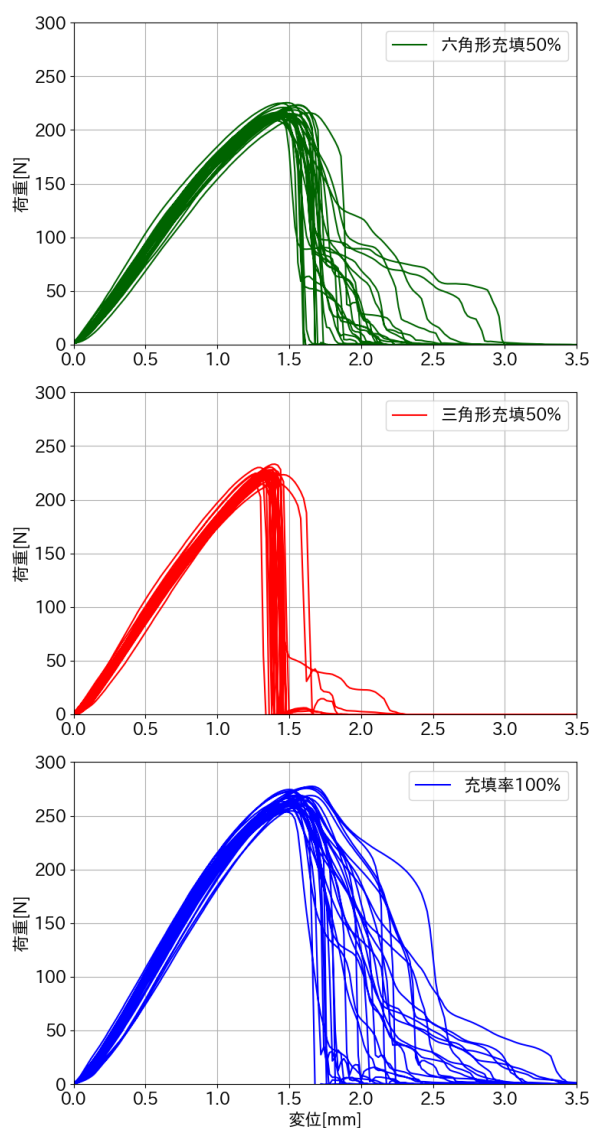


図3 積層造形したプラスチック（PLA,ポリ乳酸）の代表的な荷重変位曲線

得られた引張強さについて、フィラメントメーカー提供の PLA の引張強さ公称値(>60 MPa)と比較した。六角形充填 50 %での引張強さは約 43 MPa、三角形充填 50 %で約 45 MPa、充填率 100 %では約 54 MPa となった。公称値と比べ、やや低い値を示した。試験片重量から充填率算出し、充填率の設定値と比較したところ重量比は六角形充填 50 %、三角形充填 50 %、充填率 100 %の設定値でそれぞれ 89 %、78 %、91 %となった。厚さ 2 mm の試験片では積層造形は 11 層で行われ、11 積層中 4 層のみが三角形または六角形の肉抜き充填層となり、残りは輪郭層となる。そのため重量比の差異はわずかとなっている。均質であると仮定し、断面積を重量比で補正して引張強さを算出すると六角形充填 50 %では 46.7 MPa、三角形充填 50 %では 52.9 MPa、充填率 100 %では 57.7 MPa となった。充填率 100 %ではほぼ公称値と一致した。見かけ上の引張強さの違いは充填率の違いによる実質的な断面積の差にもよるがそのほかの要因も考えられる。

引張試験において計測された最大荷重の頻度分布を図 4 にまとめる。充填条件によって頻度

分布に違いが見られる。脆性的な機械特性の評価に用いられるワイブル統計を利用して充填条件による引張挙動の違いを比較する。図5は試験結果からまとめたワイブルプロットである。 $\sigma$ は最大荷重、 $S$ は生存確率でありワイブル係数  $m$  は近似直線の傾きとなる。ワイブル係数  $m$  が大きいほど破壊を引き起こす欠陥が多いことを示す。三角形充填 50 %や六角形充填 50 %では、充填率 100 %とした場合に比べてワイブル係数  $m$  が大きい。充填率を小さくする肉抜きで生じる空隙などが破壊を引き起こす欠陥の役割をしている可能性があると考えられる。そこで破断箇所の断面を観察した。図6に引張破断部近傍の断面を示す。肉抜きの六角形や三角形の空隙部が破断箇所となっていることが確認された。

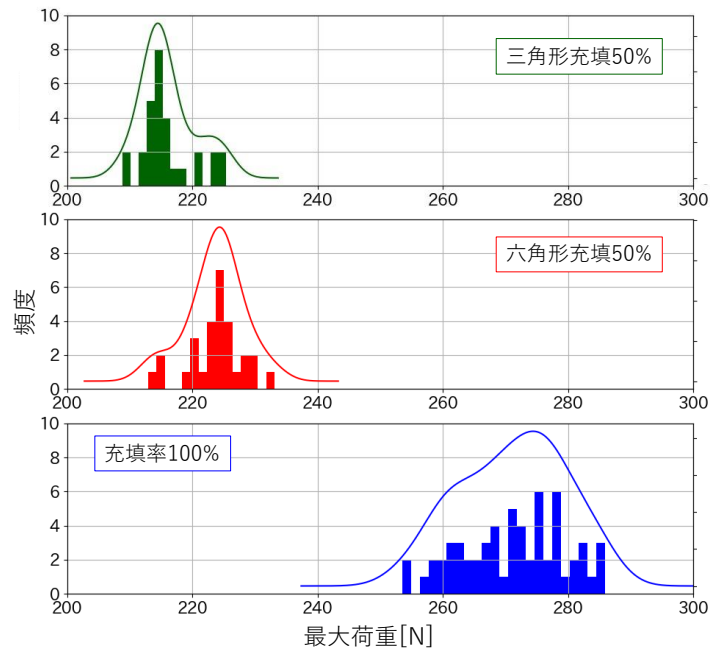


図4 積層造形したプラスチックの引張試験における最大荷重の頻度分布

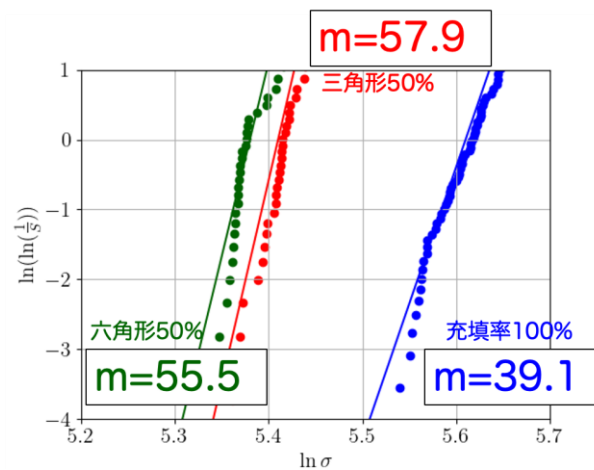


図5 積層造形したプラスチックの最大荷重のワイブルプロットとワイブル係数

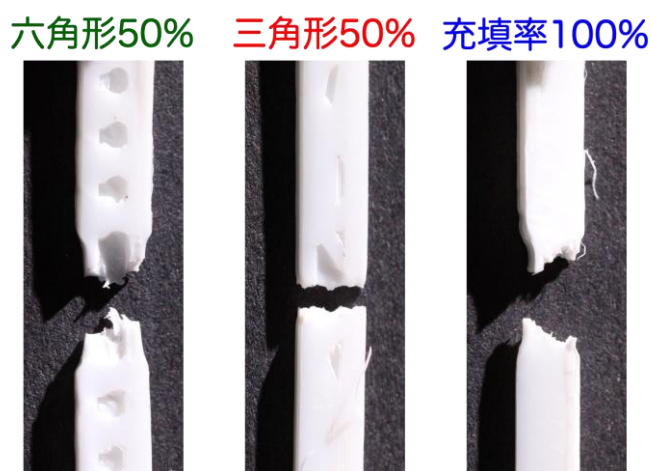


図6 積層造形したプラスチックの引張破断近傍の断面

#### (4) 結言

熱溶解積層方式の 3D プリンタで造形したプラスチック試験片の内部構造が機械特性に与える影響を検討した。充填条件による内部構造の差異が引張特性に影響を及ぼすことを示した。肉抜きにより生じる空隙が破断の要因となっていることがわかった。

肉抜きは、軽量化や 3D プリントの高速化、フィラメントの節約など、時間重量コストの削減に有効である。しかし、本研究でも確認されたように機械特性に影響があり、肉抜きの形状にも依存する。したがって、適切な充填条件、すなわち三角形か六角形か、あるいは別の形状かなど時間重量コストの削減の最適化も含めて、機械学習なども動員して探索するのはテーマとして面白いかもしれない<sup>4)5)</sup>。

### 3.3 機械工学実験テーマの例

前節では卒業研究課題としての例について概略を示した。本稿では「機械工学実験」テーマとして検討することとしている。本節では、これからの実施を想定したテーマ例を示し、項目ごと学生の学びについて述べる。

#### (1) 実験テーマ

「積層造形により作製したプラスチックの引張試験」

#### (2) 目的

プラスチック材料の引張試験を行い、材料の機械的性質を理解し機械的性質の測定方法を習得することを目的とする。

#### (3) 実験方法

**試験片の作製:** 試験に用いる引張試験片は CAD により製図する。3D プリンタにより出力する。

授業等で体得した製図に関する知識技能を用いることによって、指定された形状の試験片であれば短時間で製図できるだろう。場合によってはあらかじめ用意した製図データを用いても良い。図面が 3D プリンタからの出力によって容易に実体となる経験は、今のところ学生にとっても良い体験であろう。授業時間の制限もあるので出力に時間を要しないよう縮尺試験片が適当だろう。

**試験片の寸法測定:** ノギスやマイクロメータ等を用いて寸法の計測を行う。

出力の精度やばらつきについてもよい学びになるだろう。

**試験片の重量測定：**電子天秤を用いて重量測定する。

充填率は 100%を設定するが、実際に測定する密度が原材料プラスチックの密度とどれほど異なるか確認する。プラスチックの縮尺試験片は極めて軽量なので、一定数量をまとめて測定する必要があるだろう。

**引張試験：**引張試験を行う。

縮尺試験片であれば比較的小型の試験機を用いることができる。掴み部は重量物とならないよう、また簡易に取り付けられるようピン固定方式が良いだろう。複数回の試験を学生がそれぞれ行うにはグループごとに試験機があると良いだろう。

#### (4) 結果のまとめ

強度や伸びなど引張特性を求める。

寸法測定したデータから断面積、重量測定したデータから充填密度なども併せて算出する。

#### (5) 考察

引張挙動や特性についてプラスチック材料の公称値と比較検討する。

実験グループ内でデータ共有するなど複数データの統計的な検討も含めるのが良いだろう。

#### (6) レポート課題

統計的な解釈について、破断面・破断様式について、積層造形の特徴についてなど、追加の調査検討を含めることも有益な学びとなるかもしれない。

アディティブマニュファクチュアリング、ここでは積層造形 3D プリンタを用いた引張試験片の作製を含む卒業研究の実施例と「機械工学実験」の想定テーマについて述べた。従来の金属材料の引張試験では数百キロからトンのオーダー（SI 単位でいえば 1000~10000kN）の荷重を付加する実験となる。試験片の製作加工にもコストがかかる。これに対して、プラスチックの縮尺試験片を使った引張試験では金属材料の標準試験片に比べて 10 分の 1 から 100 分の 1 の荷重で破壊し、比較的安全である。加えて引張試験片は 3D プリンタを使って自前で作製できる。試験片形状の製図は CAD を使って学生自身で行うこともできる。設置場所や予算の観点からも小型の引張試験機であれば複数台用意することも検討範囲内であろう。

## 4. まとめ

実験科目は、アクティブラーニングに含まれる双方向授業の一つであり、工学部の教育において重要な役割がある。アディティブマニュファクチュアリングは、近年のデジタルトランスフォーメーションと相まってその利用が広まっている。製造分野でのデジタルトランスフォーメーションにおいては、アディティブマニュファクチュアリングは欠かせない加工法の一つであろう。国内の工業大学での実験科目「機械工学実験」を調査した結果、材料工学分野のテーマとして材料の引張試験は引き続き実施され重要である。新しい機械工学実験テーマとしてのアディティブマニュファクチュアリングの活用も想定して、卒業研究課題として取り組んだ事例も紹介した。取り組みやすい課題として実施可能性を示した。大学で実験科目を開講していく上での設置場所や予算の観点からもプラスチックの引張試験は有利な点もある。データ解析にはデータサイエンスとのマッチングも優れている。機械工学実験においては、アディティブマニュファクチュアリングは大いに活用すべき技術であろう。

## 参考文献

- 1) <https://youtu.be/POPPVtGueb0?si=I8t6Xz05JXmog6MB> <2025 年 1 月 31 日アクセス>
- 2) [https://www.mext.go.jp/a\\_menu/koutou/ichiran/mext\\_01853.html](https://www.mext.go.jp/a_menu/koutou/ichiran/mext_01853.html) <2025 年 1 月 31 日アクセス>
- 3) [https://www.aomori-qsc.jp/research/file/report/report\\_num14.pdf](https://www.aomori-qsc.jp/research/file/report/report_num14.pdf) <2025 年 1 月 31 日アクセス>
- 4) Syed A.M. Tofail, Elias P. Koumoulos, Amit Bandyopadhyay, Susmita Bose, Lisa O'Donoghue, Costas Charitidis, Additive manufacturing: scientific and technological challenges, market uptake and opportunities, Materials Today 21 (2018) pp.22-37..
- 5) Thang Q. Tran, Feng Lin Ng, Justin Tan Yu Kai, Stefanie Feih, Mui Ling Sharon Nai, Tensile Strength Enhancement of Fused Filament Fabrication Printed Parts: A Review of Process Improvement Approaches and Respective Impact, Additive Manufacturing 54 (2022) 102724.

## 要 旨

アディティブマニュファクチャリングを活用した機械工学実験テーマについて検討した。国内の工業大学で開講されている「機械工学実験」のシラバスから実験テーマを調査した。材料工学分野のテーマとして引張試験は引き続き実施されていることがわかった。3D プリンタを活用してプラスチックの縮尺試験片を用いれば設置場所や予算の観点からも有利な点があることがわかった。本稿で説明した卒業研究の事例からプラスチックの引張試験はデータサイエンスの学びとのマッチングも優れていることもわかった。新しい機械工学実験テーマとして「積層造形により作製したプラスチックの引張試験」を例示した。

**キーワード**： 実験科目， アクティブラーニング， 双方向授業， 機械特性， データサイエンス