

CAE 教育導入に向けた研究

三重県高等学校工業教育研究会
(機械教育研究会・電気教育研究会)

宮本 直樹 大西 浩行

1. はじめに

CAE（コンピュータ支援設計）技術は、現在多くの企業で導入されている技術の一つである。教科書改訂に伴い工業高校の教科書での取り扱いも増加傾向にあるが CAE 技術に関しては教科書で紹介される程度で実技指導は行われていないのが現状である。この技術は、コンピュータ上で構造物の造形を行う。そして、有限要素法を用いて工学解析を行うことによって実際の試作回数を減らし製品開発の効率化を行うものである。

CAE を使いこなすためには、実際の試作品と工学解析結果を突き合わせて検証することが非常に重要である。アルミや鉄といった金属を切削加工してテストピースを作ることは多くの時間とコストが必要のため現実的ではない。そこで、3D プリンターを用いて造形を行うことで解析結果と実際の試作品の強度試験の比較検証や作品製作を行う教育ができるようになると考えた。

2. 材料特性試験

目的

授業の課題の設定を行うにあたって次の2点について調べる

- ・3点曲げ試験により、PLA フィラメントと ABS フィラメントの曲げ強度を調べる。
- ・充填率、印刷方法によって曲げ強度が変化するか確認する

使用材料

PLA ABS

使用器具

フォースゲージ（最大測定値 200N）

小型バイス

試験片（試験条件）

試験片の寸法：長さ 40mm、幅 5mm、厚さ 2mm

- ・JIS K 7171 プラスチック-曲げ特性の求め方を参考に、学校機材の都合上、試験片の各辺の寸法を推奨試験片の 1/2 とし支点間距離：20mm で測定を行った

試験方法

- ① 3D プリンターを用いて図 1 のように垂直・水平の印刷方向の試験片を作成する。
- ② 図 2 に示す直線箇所を切断し測定用試験片とする。
- ③ 図 3 のように、測定計器を用いて荷重測定を 10 回行い、平均値を算出する（表 1）。
- ④ 表 1 の試験結果より、曲げ応力を算出する（表 2）。
- ⑤ 求めた結果と解析結果を比較し検討を行う。

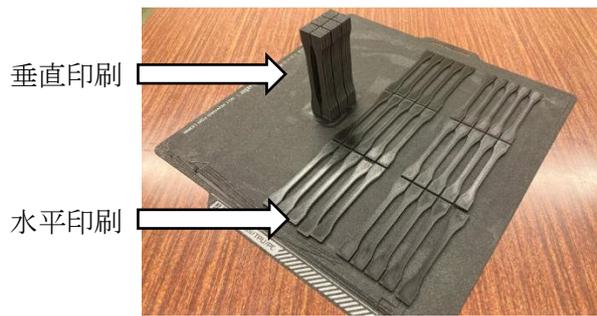


図1 試験片の印刷

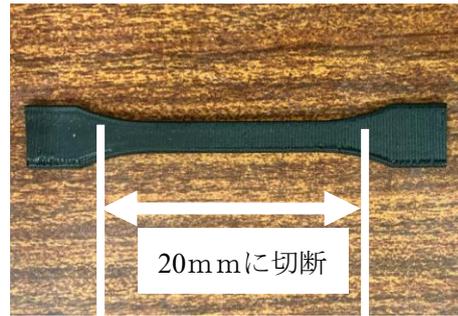


図2 試験片の切断加工



図3 測定方法

測定結果と解析結果

表1 試験結果

	材質 PLA				材質 ABS			
	積層方向 垂直		積層方向 水平		積層方向 垂直		積層方向 水平	
充填率 [%]	平均 [N]	標準 偏差	平均 [N]	標準 偏差	平均 [N]	標準 偏差	平均 [N]	標準 偏差
20	37.7	2.16	51.8	1.62	16.5	1.35	38.0	1.64
60	39.3	1.34	58.0	1.56	19.1	1.60	40.0	1.58
100	40.0	1.56	60.4	2.46	20.0	2.16	44.0	1.51

表2 試験結果 (曲げ応力)

	材質 PLA				材質 ABS			
	積層方向 垂直		積層方向 水平		積層方向 垂直		積層方向 水平	
充填率 [%]	平均 [MPa]	標準 偏差	平均 [MPa]	標準 偏差	平均 [MPa]	標準 偏差	平均 [MPa]	標準 偏差
20	56.6	3.24	77.7	2.43	24.8	2.03	59.6	2.45
60	59.0	2.01	87.0	2.35	28.7	2.39	62.3	2.37
100	60.0	2.35	90.6	3.69	30.0	3.24	66.6	2.26

ABS プラスチックの CAE 解析結果 (3 点曲げ試験)

解析条件 設定荷重：70N (垂直方向のみ)
拘束条件：円柱部品を高速

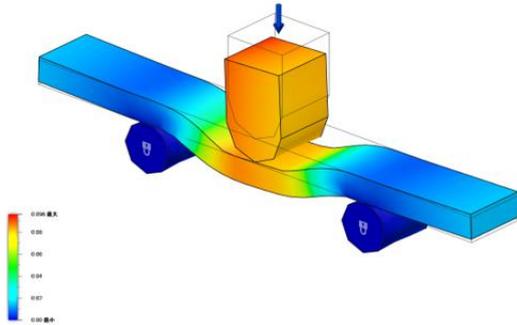


図4 変位解析

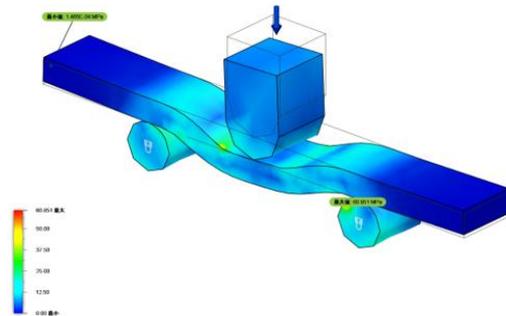


図5 ミーゼス応力解析

- ・3点曲げ試験の結果、曲げ強度の面では PLA が ABS よりも高強度であった。
- ・充填率が高いほうが曲げ強度は高いが、大きな差はないことがわかった。
- ・解析結果のミーゼス応力 60.9Mpa は、水平方向印刷の曲げ応力が測定値 66.6Mpa に近い値となった。
- ・3D プリンターで出力された材料は寸法誤差があるがデータ作成ソフトで調整することによって実用上許容できる。

3. 授業実施内容

目的

- ・生徒に興味関心、創造意欲を引き出す課題であるか確認する。
- ・工学解析の活用と課題について検討する。

授業環境

CAD/CAE Autodesk Inventor Professional 2024 Autodesk Fusion 選定理由を以下に記述する

- ・教育機関向けに無償で提供されているため、限られた教育予算内で使用できる。
- ・ソフトウェアは工学解析機能を備えており、3D モデリングに加え、設計支援が可能である。
- ・意欲的な生徒が自宅学習の環境を整えることができる。
- ・CAD ソフトは無償で提供されるため、他の工業高校において導入できる。

CAD 操作の学習

図6は、授業の様子である。練習課題としてコンセントをモデリングした。2Dの製図法を習得したうえで3D-CADを学習することによってスムーズに学習が進んだ。今回、作成したデータは3Dプリンターで出力して実際の形状のものを手に取って確認できる。

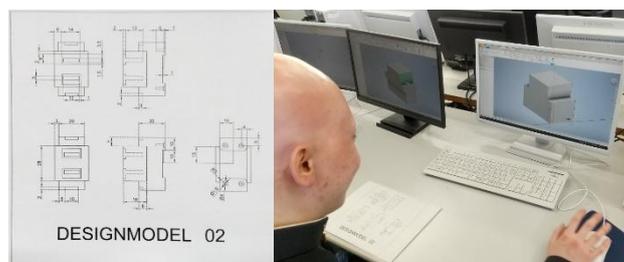


図6 学習の様子

500g 級と 3kg 相撲ロボットの設計・製作を行った。加工方法は 3D プリンターとマシニングセンターを使用し加工した。

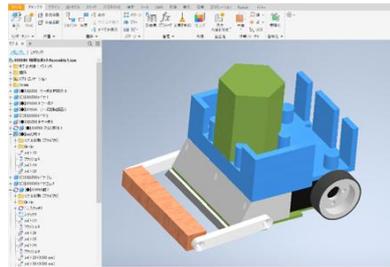


図4 500g相撲ロボット



図5 競技会に参加した生徒達

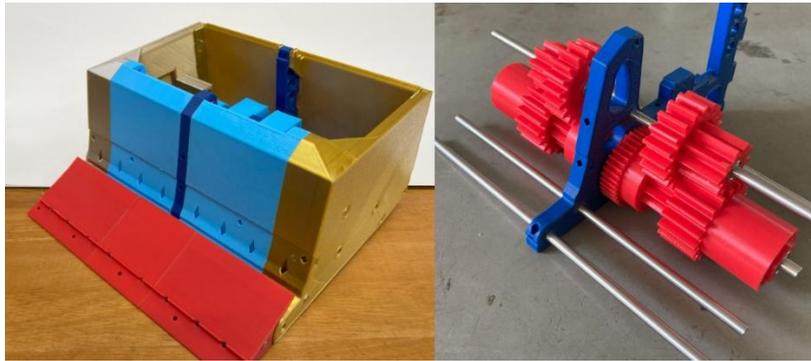


図6 3kg級相撲ロボット 外観と内部機械構造

4. まとめ

生徒に課題として相撲ロボット競技に取り組みをさせた。この競技は、幅 10 cm×奥行き 10 cm×高さ無制限で重量制限が 500g までで製作しなければならない小型のクラスと、幅 20 cm×奥行き 20 cm×高さ無制限で重量制限が 3kg までのクラスがある。500 g 級は PLA、3kg 級では ABS を水平方向印刷で様々な充填率で作品製作を行った。競技会では、性能を発揮できたものから途中で故障するロボットもあった。競技ロボットに工学解析技術を用いてコンピュータ上で荷重をかけて試験し製作を行ったが、想定されるすべての方向に対して工学解析を行うことはできない。また、3D プリンターで製作した部品は繰り返しの衝撃荷重によって剥離が発生し壊れることもあり安全率を検討することも必要である。

製作サイクルは、事前にパソコン上で部品の干渉や不具合を事前に予測することで、製作した作品は手直しがほとんど発生しなくなった。さらに、不具合を発見して修正・再製作する工程が従来の 3~4 日から 1 日程度に短縮された。この結果、PDCA サイクルを従来よりも大幅に早く回すことが可能となり、生徒たちは 1 ヶ月で 20 台もの試作品を作るなど、飛躍的に学びの質が向上した。

CAE 教育の導入によって、生徒たちに実践的な設計・解析スキルを習得させるだけでなく、効率的なものづくりを実現するための製造プロセス改善の重要性を考えさせることができるようになったと考えている。

5. 謝辞

この活動を推進するにあたり、「公益財団法人 天野工業技術研究所 様」より工業教育研究助成をいただき本来の教育環境では実施できない教育研究活動ができ非常に有意義な活動となりました。ここに厚く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 水野 操. 材料力学を理解して CAE を使いこなす. 日刊工業新聞社, 2024
- 2) 末益 博志. 専門基礎ライブラリー 機械力学. 実教出版, 2007
- 3) 久池井 茂. Professional Engineer Library 材料力学. 実教出版, 2015
- 4) JISK7171: 2016 プラスチックー曲げ特性の求め方