

令和元年6月6日現在

機関番号：16102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K00981

研究課題名(和文) 安価な3Dプリンタを用いた中学校における次世代ものづくり教育の研究

研究課題名(英文) Study of Next-Generation Manufacturing Education for Junior High School using Cheap 3D Printers

研究代表者

宮下 晃一 (Miyashita, Koichi)

鳴門教育大学・大学院学校教育研究科・教授

研究者番号：90192765

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,700,000円

研究成果の概要(和文)： 生徒はCAD操作について短時間の説明によって基本操作を習得し、独自の作品設計に取り組めることが分かった。さらに自分の作品がコンピューター制御で自動加工されることに生徒は大変興味を持った。

3Dプリンタを用いた授業を実施するために、多くの生徒作品を短時間に出力する工夫、学校特有のパソコン管理に適した3D-CADの導入、3D-CADや3Dプリンタに関する教員のスキル向上などが必要であることが明らかになった。しかし、3Dプリンタが出力に長時間を要する欠点を、複数の3Dプリンタ配置によって解決しようとする故障害対応やメンテナンス等で教員の負担が避けられないことを考慮するとやや難しいとの結論に至った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現代社会におけるものづくりと、技術科で学習するものづくりの間に大きな隔たりがあり、そのことが、生徒がものづくりへ関心を持ちにくい一因になっていると思われる。そこで本研究は、中学校技術科におけるものづくりの高度化・情報化を推進するために、中学校における3D-CADや3Dプリンターの活用方法や教育手法を開発し、教育的な価値を検証するものである。単にものを作る経験ではなく、高度な創造力を育成するための教育に資するものである。

研究成果の概要(英文)： It became clear that junior high school students can learn operation method of 3D-cad with short explanation and can create original designs. Furthermore, they were interested to be processed their original works automatically very much.

On the other hand, it became clear that laborer for outputs many student works in a short time, introduction of 3D-CAD suitable for PC management peculiar to schools, and skill improvement of teachers about 3D-CAD and 3D printer are required for class practice using the 3D printer. The solution by plural 3D printer placement is difficult for the fault that 3D printer needs in the long output time because burden on teachers is not avoided about trouble correspondence and maintenance.

研究分野：技術教育

キーワード：3Dプリンタ 中学校 技術 ものづくり 教育

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

私たちの身近にある多くの工業製品は、必要な機能を有するだけでなく、美しく魅力的にデザインされ、競争力のある価格で提供されている。それを実現するために様々な材料と先端的な製作方法が使われている。しかし、現在、中学校の技術科で行われているものづくり教育においては、例えばのこぎりによる木材加工のように古典的な題材が殆どである。そのために、現代社会におけるものづくりと、技術科で学習するものづくりの間に大きな隔りがあり、そのことが、生徒がものづくりへ関心を持ちにくい一因になっていると思われる。

研究代表者は中学校の技術科教諭と連携して、中学校における現代的なものの作りに取り組んでいる。先行研究は切削型の3次元造形装置（簡易なNCフライス盤）を用いて実施された。教師が歯車やリンクなどの機構部品を設計し3次元造形装置を用いて製作し、それらを教材として授業に用いる授業形態、3次元造形装置を用いて製作した部品を樹脂成型によって複製して教材として用いる授業形態、生徒一人一人が3D-CADで設計した単純形状のキーホルダーを教師が次回授業までに長時間かけて3次元造形装置で製作する授業形態を試行した。その結果、教師が計画した効果的な機構学習が展開でき、また生徒自身が設計したオリジナル形状の作品を製作することができた。しかし3次元造形装置は、上方向からの切削加工しかできないために製作できる形状が限定されること、特殊な製作技術や治具が必要になる場合があること、製作に長時間を要するため生徒一人一人が設計した部品の製作に膨大な手間がかかること、装置が高価なために教室に複数台設置することを想定しにくいこと、装置が大きく移動が困難であるために様々な学校で研究授業を行うことが難しいことなどの問題点が明らかになった。また2014年度には学内予算で熱溶解積層方式（FDM方式）3Dプリンタ（3D Systems社製 cube2）を導入し、製作精度、製作時間、材料費、樹脂サポート等に関わる諸問題を把握した。

2. 研究の目的

本研究は中学校の技術科におけるものづくりの近代化・高度化・情報化を推進するために、最近、低価格化と高性能化が急速に進行中の3Dプリンタに着目し、中学校における活用方法や教育手法を開発し、教育的な価値を検証しようとするものである。そのために次の研究内容を実施する。①中学校への導入に最適な3Dプリンタと3D-CADの機種選定を行う。②技術科において3Dプリンタで何に取り組む、生徒へのどのような教育効果が期待されるのかを明らかにする。③3D-CADの使用法を習得した技術科教員の協力を得て、3Dプリンタを使った研究授業を複数の形態で試行し教育効果を評価する。④3Dプリンタ導入を希望する学校や教師への支援の在り方を明らかにする。

3. 研究の方法

はじめに中学校への導入に最適な3Dプリンタと3D-CADの機種選定、ならびに技術科における3Dプリンタを使用した授業を想定した製作課題の検討を行う。ただし機種選定においては、機種が年々新しくなっていくものであることから、具体的なメーカーや機種名ではなく、選定の際に検討すべき項目や優先順位を明確にして、学校現場への導入時における指標を明らかにする。製作課題の検討では、生徒が3D-CADや3Dプリンタの使い方や特性を学習できることや、市販のプラスチック製品の形状や接合方法などを理解できることを考慮する。

次に、3Dプリンタを使った研究授業を複数の形態で試行し教育効果を評価する。3Dプリンタの学校への導入を検討する場合、まずは技術教室に1台導入することが現実的である。しかし昨今の3Dプリンタの低価格化を考えると、複数台の導入もあり得る。例えば理科教室の顕微鏡のように、数人の生徒毎に1台の3Dプリンタを使える環境であれば、生徒自身が設計上の試行錯誤を行いながら、創意工夫を深められると予想される。したがって、本研究では教室に1台の3Dプリンタが導入される場合、教室に2台の3Dプリンタが導入される場合、生徒数人に1台の3Dプリンタが導入される場合について、授業の進め方や教育効果を明らかにする。

4. 研究成果

3Dプリンタの中学校への導入を考慮し、機種選定を行った。2015年時点で熱溶解積層法による機種が価格面における優位性があり、cube3(3D Systems社)、MakerBot Replicator Mini(MakerBot社)、ダヴィンチ 1.0A(xyzプリンティング社)、Value3D MagiX MF-500(ムトーエンジニアリング社)等が候補と考えられた。その中から、本体価格、造形材料、最大造形サイズ、出力品質、操作性を総合的に考慮してcube3(3D Systems社)を選定した。なお2015年末に3D Systems社はcube3の製造を取り止めたために、2016年度以降の本研究の実施においては考慮が必要である。

3D-CADについては、学校予算の制約からできるだけフリーソフトであること、学校や教育委員会が定めるセキュリティポリシーに合致すること、中学校現場にふさわしいレベルの機能と取扱い易さとのバランス、3Dプリンタへの出力の容易さなどを考慮し、Design Spark Mechanicalを選定した。

中学校技術科に3D-CADや3Dプリンタを用いた授業を導入することを想定して、技術科教員にアンケート調査を行った結果を図1に示す。対象者は平成27年度産業・情報技術等指導者養成研修（主催：独立行政法人教員研修センター，会場：鳴門教育大学）の参加者13名である。この研修では約6時間をかけて3D-CADの操作法を学習しオリジナル鉢カバーをデザインした。それらの鉢カバーは翌日までに出力され、参加者へ渡された。この研修の前後にアンケート調査を行い、集計した結果を図3に示す。まず、使用経験について研修前だけに問うた質問1、質問3の結果から、3D-CADについて9人、3Dプリンタについて全員が未経験であることが分かった。また質問2から、全員が3Dプリンタに興味を持っていることが分かる。質問4および質問5から、技術科の授業に導入することについて前向きに考える者は、3D-CADに対して研修前8人が研修後11人に増加、3Dプリンタに対して研修前9人が研修後8人に減少したことが分かる。これらのことから、技術科教員の3Dプリンタへの関心は非常に高いが、3Dプリンタや関連技術である3D-CADの使用経験者は少ない。また3D-CADを授業に導入したいと考える者は約6割であったが、研修後にその割合は大きく増加した。3Dプリンタを授業に導入したいと考える者は約7割であったが、研修後にその割合は少し減少した。技術科教員にとって研修が、3D-CADの授業への導入に向けた理解を進める上で役立つこと、3Dプリンタの導入については有用性ととも主に出力時間の問題があることが理解されたものと思われる。また授業への導入上の課題として、CAD操作の習得、3Dプリンタ購入予算や材料費、出力時間、教室環境などが挙げられた。

中学校技術科の授業において、3D-CADと3Dプリンタを用いて鉢カバーを設計・製作する授業実践を徳島県K中学校の協力を得て行った。生徒らは2時間の授業で3D-CADの基本的な操作を習得し、その後の3時間で各自の発想による鉢カバーを3D-CADで作成できた。その一例を図2に示す。授業前後の意識調査の比較から、生徒らの3Dプリンタへの具体的な理解が格段に進んだことがわかった。生徒作品の出力に1個当たり3時間半程度を要したため、今回は授業時間外に出力した。3Dプリンタを用いた授業を実施する上での課題として、多くの生徒作品を短時間に出力する工夫、学校特有のパソコン管理に適した3D-CADの導入、3D-CADや3Dプリンタに関する教員のスキル向上などが明らかになった。次の授業実践は徳島県K中学校2年

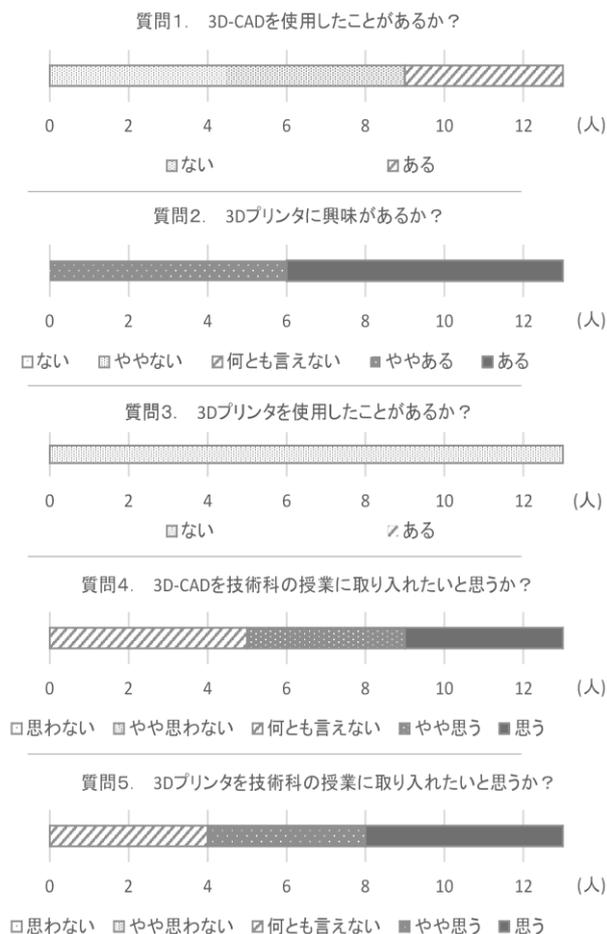


図1 教員に対する事前・事後アンケート結果



図2 鉢カバーの製作例

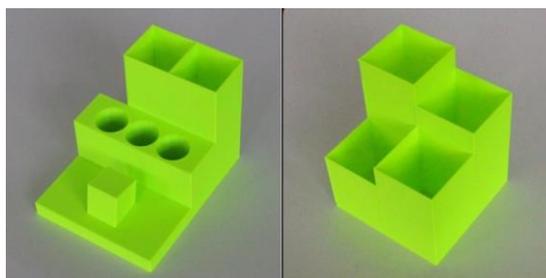


図3 生徒の作品例

生 19 名を対象に実施された。学習題材を「身の回りにある小物を整理または収納する製品を作ろう」とした。生徒の作品例を図 3 に示す。

これらの授業実践を考察する。成果としては、まず生徒が CAD 操作について短時間の説明を受けただけで基本操作を習得し、オリジナル作品の設計に取り組めたことである。次に自分の作品がコンピュータ制御によって自動的に出力されることや、材料が付加されながら出力されることに生徒が大変興味を持ったことである。一方、課題としては、作品の出力に長時間を要するために学校の実態に応じて教材の開発や学習形態の工夫が必要であることと、身体的な技能を伴わないことから教育課程上のものづくりと扱って良いか判断しにくいことが挙げられる。

単純な形状で大きなもの、例えば直方体の箱状の作品を作る場合、3D プリンタで出力するよりベニヤ板やアクリル板などの規格素材を使って製作する方が合理的と思われる。また生徒個々の大きな作品を 3D プリンタで出力することは時間的に非現実的と思われる。そこで、3D プリンタで小さな部品を設計・製作し、それらと規格素材を組み合わせることによって製品を作ることも考えられる。

一般的に、一度の設計・製作で良い製品ができることはなく、構想→設計→製作→検証を繰り返しながら、完成度の高いものづくりができる。技術科の授業において、3D プリンタを使って例えば 10 分で出力できる小さな部品を設計・製作する場合、生徒は目の前で出力された部品の問題点をすぐに把握し、再度、設計・製作を行うことができる。このようにより良いものづくりを実践することができる。図 4 は、2 本のストローを使ってトラス構造を作るための部品である。図 5 はストローを使って製作された観覧車の模型である。この模型を作る場合、ストローをトラス構造に接合する部品、ストローの端部にネジ用の穴を取り付ける部品、ストローの途中に他のストローを 1 個取り付ける部品、同じく 2 個取り付ける部品、ゴンドラなどを、生徒に設計・製作させた。

3D プリンタを使って 1 クラスの生徒作品すべてを出力するためには長時間を要する問題に対して、2016-17 年度の研究では 3D プリンタの台数を増やすことによる解決を目指した。しかし 3D プリンタのノズル詰まりや樹脂送り機構の滑り、樹脂溶融温度の不良、その他の故障が頻発した。このような故障が発生すると、中学校現場において教師が臨機応変に修理を行うことは難しく、授業実施上の重大な支障になることが分かった。そこで 2018 年度は同価格帯で最新型の 3D プリンタ 1 台を導入し、旧機種と比較した。その結果、故障発生頻度は大幅に改善されていることが分かった。またドローン用の $\phi 100\text{mm}$ 2 翼プロペラを試作したところ、出力方向を工夫することによって、良好な精度で製作できることが分かった。しかしながら 3D プリンタの出力時間が学校現場での活用を難しくしていることには変わらない。そのため学校現場におけるデジタルファブリケーション機器として 3D プリンタよりレーザーカッターの方が、出力時間が圧倒的に短いことから、使いやすいと推測された。そこで鳴門教育大学にあるレーザーカッターを使って $t0.5\text{mm}$ アクリル板をカットし、アイロンで加熱し翼型に加工する方法でもドローン用の $\phi 100\text{mm}$ 2 翼プロペラを試作した。3D プリンタ製とレーザーカッター製のプロペラを比較すると、3D プリンタ製は翼断面の厚さの変化を忠実に製作できる点でレーザーカッター製より優れているが、プロペラ表面に樹脂の積層に伴う段差を生じる点や出力に長時間を要する点で劣っている。

以上の結果、3D プリンタが出力に長時間を要する欠点を、複数の 3D プリンタ配置によって解決しようとしても、故障対応やメンテナンス等で教員の負担が避けられないことを考慮するとやや難しいとの結論に至った。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 10 件)

①平野樹, 宮下晃一, デジタルものづくり技術によるプロペラ製作を行う学習教材の開発, 日本産業技術教育学会 第 34 回 四国支部大会, 2018 年

②Koichi Miyashita, Atsushi Iwayama, Suggestion and Purpose about Introduction of Digital Fabrication to Technology Education in Japanese Junior High Schools, The 16th Annual

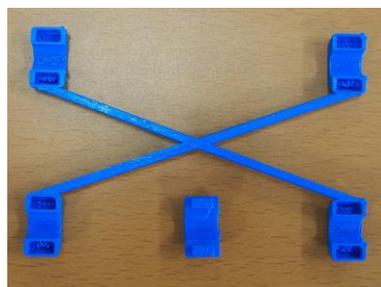


図 4 小さな部品の設計・製作例 (トラス)

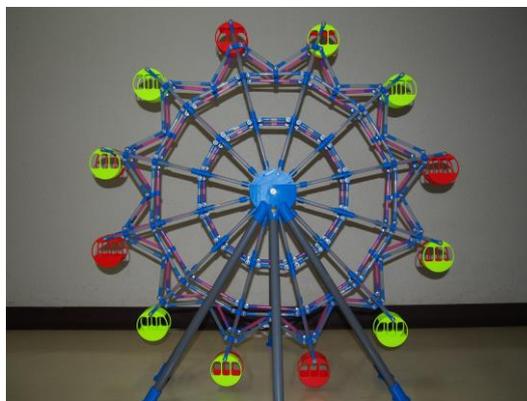


図 5 作品例 (観覧車)

Hawaii International Conference on Education, Honolulu(USA), 2018 年

③中村綾花, 宮下晃一, レーザカッタを使ったデジタルものづくりの試行, 日本産業技術教育学会 第33回 四国支部大会, 2017 年

④加藤幹己, 宮下晃一, 3Dプリンタを用いたものづくり授業の実践, 日本産業技術教育学会 第32回 四国支部大会, 香川大学, 2016 年

⑤宮下晃一, 田宮亘司, デジタル・ファブ리케이션に対応したものづくり教育の検討, 日本産業技術教育学会 機械分科会・金属加工分科会合同研究会, 広島大学, 2016 年 09 月 29 日

⑥Koichi Miyashita, Consciousness Research of Teachers for Technology Education of Japanese Junior High Schools about 3D-CAD and 3D-Printer, 14th Hawaii International Conference on Education, Honolulu(USA), 2016 年

⑦Koichi Miyashita, Classroom Practices of Technology Education using 3D-CAD and 3D-Printer in Japanese Junior High Schools, 14th Hawaii International Conference on Education, Honolulu(USA), 2016 年

⑧桃田拓弥, 宮下晃一, 田宮亘司, 中学校技術科における 3D-CAD と 3D プリンタを用いた教材の開発と授業実践を通じた導入の検討, 日本産業技術教育学会 第31回 四国支部大会, 鳴門教育大学, 2015 年

⑨桃田拓弥, 宮下晃一, 田宮亘司, 中学校技術科における 3D-CAD と 3D プリンタを用いた教材の開発と授業実践, 日本産業技術教育学会 第58回全国大会, 愛媛大学, 2015 年 08 月 22 日

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。