

研究プロジェクト成果報告書

研究課題

技術科教員養成におけるデジタルものづくり教育に関する研究

研究期間 平成27年度～平成28年度

研究組織

研究代表者	自然・生活教育学系	教授	黎 子椰
研究分担者	自然・生活教育学系	准教授	大森康正
研究協力者	新潟県三条市下田中学校	技術教諭	中村浩士
研究協力者	兵庫教育大学連合大学院	院生	山崎恭平
研究協力者	生活・健康系コース（技術）	院生	熊倉和也
研究協力者	生活・健康系コース（技術）	院生	北川和希
研究協力者	生活・健康系コース（技術）	院生	外山優治

研究概要

近年、技術科の授業でもデジタルものづくりの導入、活用が試みられている。また、現代社会に活用されている様々な技術についての解説、教材教具の開発・製作、学校に蓄積された設計情報の管理など、技術科教員のいろいろな教育活動にデジタルものづくり技術や知識を用いる必要がある。このような社会や教育現場の要請に応じて、本研究では、まずデジタルものづくり技術を活用した中学校技術科の教材・教具、活用方法を開発・提案し、授業実践を通してその有用性を検証する。次に、その結果を踏まえ、技術科教員として求められるデジタルものづくりの知識・技術・指導力を検討し、大学院生を対象とするデジタルものづくりの教材、カリキュラムを開発し、その学習効果を確認した。

研究成果

- (1) デジタルものづくり技術を活用した中学校技術科の教材、教具を開発し、製作した。主な内容：構造物の弾性変形のシミュレーションの開発、リンク機構などの運動伝達機構のシミュレーションの開発、3Dプリンタによる製作品の製作等。本研究で提案した教材を中学校技術科の授業に取り入れ、授業実践及び課外授業を行い、その学習効果を確認した。
- (2) 機構の設計・製作を題材とした大学院生向けデジタルものづくり教育の教材、カリキュラムを開発した。開発したカリキュラムを大学院授業「機械工学実験実習」等に適用し、その学習効果を検証した。受講者から好評を得た。
- (3) デジタルものづくり教育の教材、カリキュラムの開発を促進することをねらいとして、SNSを用いた工業高校・中学校技術教員向けの「課題研究」支援システムを立ち上げ、上記の研究成果を中学校技術教員や工業高校教員と交流し、地域のものづくり教育に貢献している。

研究発表

学術論文

- 1) 山崎恭平, 黎子椰: 教員養成における機構の設計・製作を題材としたデジタルものづくり学習プログラムの開発と評価, 日本産業技術教育学会誌, Vol. 58, No. 3, pp. 159-166 (2016)

学会発表

- 1) 山崎恭平, 中村浩士, 黎子椰: デジタルものづくり技術を活用した中学校技術科カリキュラムの構想, 日本教科内容学会第2回研究大会プログラム・要旨集, pp. 48-49 (2016)
- 2) 山崎恭平, 中村浩士, 黎子椰: 3次元CADを用いた設計・改良活動が生徒の学習意欲に及ぼす影響 (第1報), 日本産業技術教育学会第59回全国大会 (京都) 講演要旨集, p. 13 (2016)
- 3) 山崎恭平, 中村浩士, 黎子椰: 3次元CADおよび3Dプリンタを用いたLED照明機器の製作題材の開発, 日本産業技術教育学会第59回全国大会 (京都) 講演要旨集, p. 14 (2016)

- 4) 山崎恭平, 中村浩士, 黎子椰: 技術科教員によるデジタルものづくり技術の活用—LED 栽培装置の作製—, 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)講演要旨集, pp. 5-6(2016)
- 5) 外山優治, 黎子椰: SNS を用いた工業高校学校教員向け横断的課題研究支援システムの構想, 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)講演要旨集, pp. 11-12(2016)
- 6) 熊倉和也, 石井太郎, 黎子椰: 3D CAD を用いた丈夫な構造に関する課外授業の試み, 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)講演要旨集, pp. 3-4(2016)
- 7) 山崎恭平, 黎子椰: 普通教育における技術教育へのデジタルものづくり技術導入に関する研究—国際バカロレア中等教育プログラム教科デザインについて—, 日本産業技術教育学会第 28 回北陸支部大会講演論文集, p. 16(2016)
- 8) 山崎恭平, 黎子椰: デジタルものづくり技術の技術科教育への導入に関する考察—ものづくり学習を支援する道具として提案—, 日本産業技術教育学会第 28 回北陸支部大会講演論文集, p. 15(2016)
- 9) 熊倉和也, 石井太郎, 黎子椰: CAD・CAE を用いた丈夫な構造に関する課外授業の実践と評価—ブリッジコンテストを題材として—, 日本産業技術教育学会近畿支部第 33 回研究発表会講演論文集, pp. 11-12(2016)
- 10) 熊倉和也, 石井太郎, 黎子椰: 技術教員養成における丈夫な構造に関する学習プログラムの開発—ブリッジコンテストを題材として—, 日本産業技術教育学会第 32 回情報分科会(上越)研究発表会講演論文集, pp. 85-86(2017) (学生優秀発表賞受賞)
- 11) 熊倉和也, 山崎恭平, 黎子椰: 解析を用いた丈夫な構造に関する学習の一提案—3DCAD を用いた橋梁モデルの作成—, 日本産業技術教育学会第 31 回情報分科会(佐賀)研究発表, pp. 39-42(2016)
- 12) 山崎恭平, 中村浩士, 黎子椰: 3次元CADを用いた製作品の改良活動が生徒の学習意欲に及ぼす影響, 日本産業技術教育学会第 31 回情報分科会(佐賀)研究発表会, pp. 35-36(2016) (学生優秀発表賞受賞)
- 13) 山崎恭平, 黎子椰: 問題解決力の育成におけるデジタルものづくり技術の活用に関する一考察, 日本産業技術教育学会第 27 回北陸支部大会, p. 6(2015)
- 14) 北川和希, 黎子椰: 技術科教員養成における製図学習プログラムの一提案(第 2 報), 日本産業技術教育学会第 27 回北陸支部大会, p. 7(2015)
- 15) 北川和希, 黎子椰: 技術科教員養成における製図学習プログラムの一提案, 日本産業技術教育学会第 58 回全国大会(愛媛)機械分科会講演要旨集, p. 1(2015)
- 16) 山崎恭平, 黎子椰: 技術科におけるデジタルものづくり技術の活用についての考察(第 1 報)—CAD を用いた製作課題の説明—日本産業技術教育学会第 58 回全国大会(愛媛), p. 52(2015)
- 17) 山崎恭平, 黎子椰: 技術科教員に求められるデジタルものづくりに関する知識・技能・指導力の考察, 日本教科内容学会第 2 回研究大会, pp. 51-52(2016)

教員養成における機構の設計・製作を題材とした デジタルものづくり学習プログラムの開発と評価†

The Development and Evaluation of a Teacher Training Program for Digital Fabrication Learning Through Design and Manufacture of Mechanisms as Teaching Materials

山崎 恭平*
Kyohei YAMAZAKI

黎 子椰**
Ziye LI

本論文では、機構の設計・製作を通してデジタルものづくりについて学習する、教員養成学習プログラムを開発した。開発した学習プログラムは、学生がデジタルものづくりに関する知識・技能を修得するとともに、修得した知識・技能を教材・教具の考案・作成に活用できるようになることを目標としている。また、学生の学習意欲および活用意欲を高めることも目標としている。開発した学習プログラムの評価のため、教員養成系大学の大学院生を対象に実践を行なった。その結果、デジタルものづくりに関する知識・技能の向上に効果がみられたとともに、受講生は教材・教具の考案・作成にデジタルものづくりを活用できることが分かった。さらに、実践後における学習意欲や活用意欲も高いことが示された。以上のことから、本研究で開発した学習プログラムは、教員養成におけるデジタルものづくりについての学習に活用できる可能性が示唆された。

キーワード：デジタルものづくり，教員養成，教材開発，機構学習，カム機構

1. はじめに

機構学習は、中学校段階における技術教育の重要な内容として扱われてきた。しかし、機構学習において、動きを想像して設計したり、設計通りに加工したりすることは初学者にとって容易ではなく、製作に時間がかかりすぎることが指摘されている^{1), 2)}。こうした習熟度や時間、設備の制約により、説明中心の理論学習の授業が多かったことも指摘されている^{3), 4)}。また、機構の基礎となる歯車やリンクなどの動力伝達用の教材・教具については、学校教育を中心に様々研究されており^{5), 6)}、コンピュータ支援により機構の動作をシミュレーションしたり、作図したりするソフトウェアも提案されてきた^{7), 8)}。しかしながら、依然として設計通りに加工することが難しく、意図した仕組みを再

現するうえでの課題であった。機構の組み立てを通して学ぶ教材として、ブロック教材や機構学習キットがある⁹⁾。しかし、あらかじめ用意された組み合わせにより、生徒や教員の発想を制約してしまうことが考えられる。また、カムのような任意の形状を持つ機械要素を扱うことは難しい。したがって、生徒あるいは教員による機械要素の設計・製作ができる手法が求められる。これらの課題に対して、デジタルものづくりを活用し、3次元データの制作を通じた設計および、3次元データに基づく加工ができれば、意図した仕組みを再現することができると考えた。

デジタルものづくりとは、コンピュータの活用によってデジタル化されたものづくりである。1950年代のNC工作機械の実用化に端を発し、設計におけるCAD(Computer Aided Design)やCAE(Computer Aided Engineering)の導入や加工におけるマシニングセンタの活用など、製造の各プロセスにおいて進んできた¹⁰⁾。近年は、デジタルものづくりに関する技術の高度化と低価格化が進んでいる。この流れにより、ものづくりツールとして、個人も含めた幅広い主体にも普及してきている。諸外国においては、反復プロセスの習得やイノベーション人材の育成のために、国主

(2016年1月26日受付，2016年8月11日受理)

* 兵庫教育大学連合大学院 大学院生

** 上越教育大学

† 2014年11月本学会第26回北陸支部大会(長野)にて発表

2015年3月本学会第30回情報分科会(埼玉)にて発表

導や官民共同で学校教育へデジタルものづくりの導入が進められている¹¹⁾。また、我が国の学校教育においては、デジタルものづくりを活用した立体認知能力の向上や創造性育成の必要性が指摘されている¹²⁾。さらに、デジタルものづくりなど、将来を展望した技術を修得できる学習環境の整備を進めることが宣言されている¹³⁾。

中学校技術・家庭科技術分野(以下、技術科)においても、デジタルものづくりの技術が活用され始めている。藤田ら(2010)は、3次元CADで作成した立体モデルを用いた設計教育が、立体認知能力の発達を支援することを明らかにしている¹⁴⁾。また、山本ら(2012)は、3Dプリンタで製作した教材を用いた教員研修を実施している¹⁵⁾。さらに、生徒がデジタルものづくりを活用する実践的研究も行われている¹⁶⁾⁻¹⁹⁾。これらの研究により、技術科におけるデジタルものづくりの教育効果や教育意義が明らかにされてきている。今後のデジタルものづくりに関する技術の発展や教育効果への期待から、普通教育における技術教育の一翼を担う技術科教員に対する指導が必要であると考えられる。しかしながら、技術科教員養成において、デジタルものづくりに関する知識・技能の修得や活用に関して、ほとんど議論されていない。

そこで、本研究では、教員養成系大学の大学院生を対象として、設計・製作中心とした学習活動を通して、デジタルものづくりに関する知識・技能を修得するとともに、それらを教材・教具の考案・作成に活用できるようにすること、学習意欲および活用意欲を高めることを意図した学習プログラムを開発することとした。

2. 学習プログラムの開発

2.1 学習プログラムの目標

開発する学習プログラムは、以下の3点を目標とする。1点目は、デジタルものづくりに関する知識・技能を修得させることである。2点目は、デジタルものづくりを活用して、機構学習などの教材・教具を考案・作成できるようにすることである。3点目は、デジタルものづくりに関する学習意欲と学校教育における活用意欲を高めることである。

2.2 学習プログラムの基本方針

開発する学習プログラムの基本方針を以下に示す。

(1) 設計から製作までのプロセスを通して学習させる。

- (2) 複数の部品から構成される3次元データを制作させる。
- (3) シミュレーションや製図、加工などに3次元データを活用させる。
- (4) 修得した知識・技能を活用して教材・教具の考案・作成を行わせる。
- (5) 課題は、模倣的課題、改作的課題、創作的課題の順に設ける。
- (6) デジタルものづくりの利用方法や利用効果を資料で明示する。

基本方針について具体的に以下のように説明する。

- (1) 製作品の設計から製作までのプロセスを通して学習させることとした。これは、設計・製作を通して、知識を深めるとともに、技能の定着を図るためである。また、設計・製作のプロセスを通じた学習は、問題解決力育成の観点からも重要であると考えた。
- (2) 複数の部品から構成される3次元データの制作を行わせることとした。3次元データは、コンピュータ上で実物のように扱えることから、従来の図面ベースの設計に比べて、干渉チェックに大きな効果を発揮する²⁰⁾。干渉チェックをはじめ、設計に関するさまざまな問題点を早い段階に明らかにすることは、最終的な製作品について質の検討や製作時間の短縮を図ることができる²¹⁾。このようなデジタルものづくりの特徴を実践的、体験的に学習するために、複数の部品を組み立てるプロセスを設けることとした。
- (3) 制作した3次元データを活用したシミュレーションや製図、加工など行わせることとした。設計プロセスの3次元データを他のプロセスでも活用できることは、デジタルものづくりの特徴の1つである。設計情報がどのように活用されるのかを学習するために、制作した3次元データを活用した投影図の作成や加工データの作成を課題に含めることとした。
- (4) 修得した知識・技能を活用する応用的課題として、教材・教具の考案・作成を行わせることとした。教員養成では、独自の目的や内容が要求されており、扱う内容の応用・実践の場である中学校技術科の内容と関連し、それらが生徒の学力形成や発展に寄与するものでなければならないと考えられる^{22), 23)}。また、デジタルものづくりの技術は、着想を具現化するための技術である。教員自身の発想による教材・教具の開発を支援し、優れた教材・教具を学校教育に普及させることになる。このことから、扱う

課題と技術科の内容との関係を説明するとともに、教材・教具の考案・作成を課題として扱うこととした。

- (5) 学習プログラムにおける課題は、模倣的課題、改作的課題、創作的課題の順に設けることとした。学んだ知識や技能を、教育実践の場で活用できる能力と態度の育成は重要である。しかし、課題に関連する知識・技能が十分でなければ解決できないことも多く、「自由な発想」だけで対処させようとする、「はいまわり」を生じさせてしまい、課題を達成できない²⁴⁾。そこで、課題を達成しながら学習できるように、学習のステップを細かく設定する必要があると考えた。まず、模倣的課題では、基本的な知識・技能に重点を置き、手順書に従って進めることで確実に達成できるように工夫する。次に、改作的課題では、模倣的課題で修得した知識・技能を活用して取り組む課題とする。この課題では、解決方法や手順など受講生が考え、工夫する箇所を設ける。最後に、創作的課題では、課題に合わせて何を作るのか構想するところから取り組み、今まで修得した知識・技能を深めることができるように、課題を設定することとした。
- (6) 生活や産業の中でのデジタルものづくりの利用方法や利用効果を資料で明示することとした。技術が生活や産業に果たしている役割については、技術科にとって重要な内容である²⁵⁾。現代社会で広く普及している技術として理解してもらうために、講義部分にデジタルものづくりに関する技術の歴史や産業での役割、個人への普及、教育への活用に関して説明することとした。

2.3 学習プログラムの展開

基本方針に基づいて学習プログラムを開発した。学習プログラムの展開および課題を表 1 に示す。開発した学習プログラムは、講義と実習、演習を含む。1 単位時間は 90 分であり、全時数は 15 回である。

はじめに、講義形式で、デジタルものづくりに関する社会的背景から学校教育での活用事例まで解説し、受講生に技術教育との関連性について意識づけるよう考慮した。次に、実習・演習課題を通じて、段階的に学習を進めながら、デジタルものづくりに関する基本的な知識・技能とその活用方法について学習させる。なお、各実習・演習課題の詳細については、次節で述べる。最後の授業では、創作的課題である教材・教具の設計・製作について発表させる。さらに、デジタ

ルものづくりに関する新たな問いを持たせ、学習意欲や活用意識が高まるよう、学校教育でのデジタルものづくりの活用がどのような影響をもたらすか討議する時間を設けている。この際に、受講者から出たアイデアやキーワードを板書するなどして、議論が深まるように配慮する。

2.4 学習プログラムの実習・演習課題

本研究では、技術科教員養成における授業題材として、技術科の学習内容と関連を図りながら検討し、実習・演習課題を提案した。実習・演習課題として、以下の車模型の制作(模倣的課題)、カム機構の設計・製作(改作的課題)、教材・教具の設計・製作(創作的課題)を設定した。また、それぞれの課題で用いる手順書およびテキストを作成した。

2.4.1 車模型の制作

制作課題の車模型の外観を図 1 に示す。車模型は、車体、車軸、車輪、バンパーの 4 種類の部品から構成されている。それぞれの部品の制作と組み立てを通して、基本的なモデリングとアセンブリについて学習する。また、この課題は手順書に従って行う。

表 1 学習プログラムの展開と実習課題

時数	形式	学習内容	課題
1	講義	・ デジタルものづくりの概要 ・ 産業での役割と近年の潮流 ・ 学校教育での活用事例	
2	実習	・ 3次元 CAD の基本操作 (スケッチ, 拘束条件, モデリング (造形))	[模倣的課題] 車模型の制作
3	実習	・ 3次元 CAD の基本操作 (拘束条件, アセンブリ(組立))	
4	講義 実習	・ カムの一般的な設計方法 ・ カム線図と形状の関係 ・ カムの圧力角 ・ カム線図に基づいたカムのモデリン グ	[改作的課題] カム機構の設 計・製作
5	講義 実習	・ 制作した部品のアセンブリ ・ 3次元データの活用 (カムのシミュレーション)	
6	講義 実習	・ 3次元データの活用(製図) ・ 加工データの作成 ・ 自動加工	
7	演習	・ 学校教育における活用方法の発案・ 検討	[創作的課題] 教材・教具の 設計・製作
8 14	演習	・ 教材・教具の考案・作成	
15	演習	・ 考案・作成した教材の発表 ・ 学校教育での活用に関する討議 ・ 学習活動の振り返り	

2.4.2 カム機構の設計・製作

設計・製作課題のカム機構の外観を図 2 に示す。カムは任意形状を持った機械要素であって、その直接接合によって相手側に任意の運動を与えようとするものである。また、カムは、きわめて広範囲な機械に組み込まれており、重要かつ基本的な機械要素である²⁶⁾。

カム機構には種々の種類があるが、本研究では比較的容易に設計・製作が可能な板カムを用いる。カム以外の部品は共通であり、受講生はカム部分を設計する。設計の際、まず、テキストにカム線図と輪郭形状をかき、カムの出力について構想、検討する。その後、3次元CADのカム線図入力画面に、構想したカムのカム線図を入力し、圧力角などの条件を確認する。確認後、3次元CADでカムをモデリングし、他の部品とアセンブリする。次に、シミュレーションにより機構の動きを確かめる。その後、制作した3次元データを基に、投影図の作成と自動加工による加工を行う。受講生は、カム機構の設計・製作を通して、3次元データの活用と加工データ、自動加工について学習する。

2.4.3 教材・教具の設計・製作

この課題では、受講生自身が教材・教具を考案し、設計・製作を行う。3次元CADを用いた3次元データの制作、NC工作機械もしくは3Dプリンタを用いた加工をする。また、設計・製作した教材・教具の活用方法を説明する学習指導案などの指導資料を作成する。受講生は、教材・教具の設計・製作を通して、修得した知識・技能を深めるとともに、学校教育での活用について考える。

3. 学習プログラムの実践

3.1 実践概要

開発した学習プログラムの教育効果を検証するために、教員養成系大学の大学院生 8 名に対して授業および調査を実施した。実践は、2014 年 10 月～2015 年 2 月に 15 回(1 回あたり 90 分)実施した。

受講生は、全員が小中高いずれかの教員免許を取得していた。また、3次元CADなどデジタルものづくりの経験があるのは、全受講生中 6 名であった。

3.2 実践時の学習環境

3次元CADとして、Inventor 2015 (Autodesk)を用いる。Inventor 2015 は簡易なシミュレーション機能も有する機械系 3次元CADである。この3次元CAD

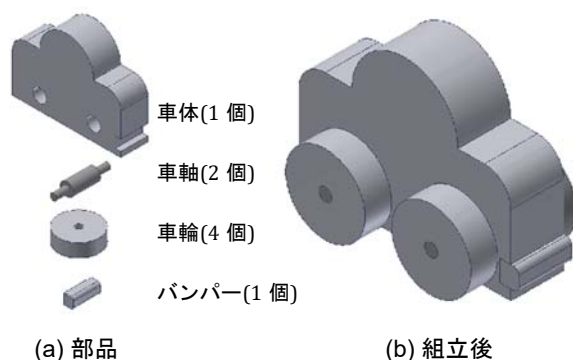


図 1 車模型の外観(3次元データ)

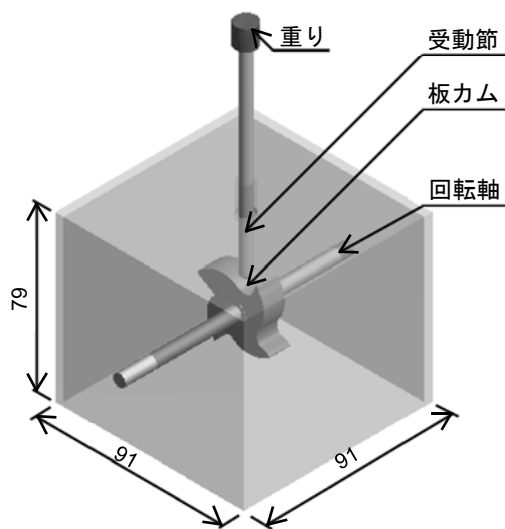


図 2 カム機構の外観(3次元データ)

表 2 使用加工機械の仕様

卓上 NC 工作機械 : monoFab SRM-20	
加工材料	ケミカルウッド, モデリングワックスなどの樹脂, 工作用基盤
工具径	シャンク径 3mm, 3.175mm, 4mm, 6mm
加工サイズ	203.2(W)×152.4(D)×60.5(H) mm
動作速度	6~1800mm/min
最高回転数	7,000rpm
電源の要件	100~240V, 55W
外形寸法	451.0(W)×426.6(D)×426.2(H) mm
付属ソフト	MODELA Player 4, Virtual MODELA
卓上 3D プリンタ : AFINIA H479	
加工材料	ABS, PLA 樹脂
ノズル直径	0.40mm
加工サイズ	140(W)×140(D)×135(H) mm
出力速度	10~100cm ³ /h
電源の要件	100~240V, 200W
外形寸法	244(W)×260(D)×350(H) mm
付属ソフト	AFINIA 3D

は、学生、教育者、教育機関に無料で提供されているものである。また、3次元CADは受講生各自のパソコンにインストールし、3次元データの制作環境を準備した。

本研究では、加工機械として、学校教育でも導入や運用が比較的容易な卓上型の加工機械を用いることとした。具体的には、卓上NC工作機械である monoFab SRM-20 (Roland)、卓上3Dプリンタである AFINIA H479 (AFINIA)を用いる。加工機械の仕様を表2に示す。加工データの作成および加工シミュレーションには、加工機械に付属するソフトウェアを使用する。

4. 学習プログラムの評価

4.1 調査方法

教員養成における学習プログラムとして、実践に基づき評価を行うため、実践の前後にアンケートを配布し、受講生に回答してもらった。質問項目を表3に示す。事前調査では、授業内容に関する①～⑮までの質問項目を「そう思う」、「どちらかといえば、そう思う」、「どちらともいえない」、「どちらかといえば、そう思わない」、「そう思わない」の5件法で尋ねた。事後調査では、授業内容に関する①～⑮に加え、授業評価に関する⑯～⑳までの質問項目を事前調査と同様に5件法で尋ねた。さらに、授業評価に関しては、どのような点でそう感じたのか自由記述で記入させた。加えて、受講生の製作品から、知識・技能の活用に関して考察する。

4.2 アンケート調査の結果

調査結果を表4に示す。5件法で求めた回答は、肯定的な回答から順に5点、4点、3点、2点、1点と得点化し、平均と標準偏差を求めた。また、事前と事後で同一の授業内容に関する項目は、t検定(両側検定)を行い、事後調査の値と事前調査の値の差を調べた。

①のコンピュータを使った設計・製作への興味は、事前調査時に高い値を示している。このことから受講生は、デジタルものづくりについて興味が高い状態であったことがわかる。また、事後調査の結果より、実践後においても興味の高さが維持されていることが示された。

②～④のデジタルものづくりの役割については、事前調査と事後調査の結果を比較すると、事後調査時に高い値へ収束していることがわかる。また、3次元CADと加工準備に関しては、事前調査の結果と比較し

て有意に上昇した。

⑤～⑨のデジタルものづくりの効果や原理については、事前調査時に⑤の設計情報の利用のされ方に関して高い値を示している。これは、受講生の過半数が

表3 学習プログラム評価の質問項目

No.	質問項目
①	コンピュータを使った設計・製作に興味はあるか
②	デジタルものづくりにおける3次元CADの役割が分かるか
③	デジタルものづくりにおけるCAMなど加工準備の役割が分かるか
④	デジタルものづくりにおける自動加工の役割が分かるか
⑤	図面や3次元データなど設計情報の利用のされ方が分かるか
⑥	コンカレント・エンジニアリングとQCDの改善の関係が分かるか
⑦	自由曲線の描画原理が分かるか
⑧	パラメトリック設計とは何か分かるか
⑨	シミュレーションとQCDの改善の関係が分かるか
⑩	3次元CADを用いて製作品の構造を検討できるか
⑪	3次元CADを用いて図面を作成できるか
⑫	シミュレーションを用いて加工データの確認ができるか
⑬	加工のためのデータを作ることができるか
⑭	デジタルものづくりを教材開発に活用することができるか
⑮	デジタルものづくりを授業に活用することができるか
⑯	新しい知識、手法、技能などを修得できたか
⑰	学習活動は楽しかったか
⑱	授業内容についてさらに学習したいか
⑲	授業内容は教科指導や教材開発に活かせるものだったか
⑳	授業内容はわかりやすく整理されていたか
㉑	この授業の難易度は適切だったか

表4 事前・事後調査の結果

No.	事前(n=8)		事後(n=7)		t検定 (両側検定)
	平均	S.D.	平均	S.D.	
①	4.9	0.3	4.9	0.3	ns
②	3.1	1.5	4.3	0.5	*
③	1.9	1.3	3.9	0.6	**
④	3.5	1.1	4.0	0.9	ns
⑤	3.1	1.5	4.0	0.8	ns
⑥	1.8	0.8	3.0	0.8	*
⑦	1.8	1.1	3.0	0.9	*
⑧	1.6	0.7	2.9	1.0	*
⑨	1.5	0.7	3.3	0.9	**
⑩	2.8	1.6	3.9	1.1	ns
⑪	3.1	1.8	4.0	1.1	ns
⑫	1.5	1.0	4.0	0.5	**
⑬	1.5	1.0	4.3	0.5	**
⑭	1.7	1.2	4.6	0.5	**
⑮	3.1	1.7	3.7	1.0	ns
⑯	—	—	5.0	0.0	—
⑰	—	—	5.0	0.0	—
⑱	—	—	5.0	0.0	—
⑲	—	—	3.9	1.0	—
⑳	—	—	4.6	0.5	—
㉑	—	—	4.3	0.7	—

**p<0.01, * p<0.1

3次元 CAD などを利用したことがあるためと推察される。事後調査では、⑤を除く、⑥～⑨の全ての項目で事前調査の結果と比較して有意に上昇した。このことから、事前調査では低い値だったデジタルものづくりの効果や原理についても理解が深まったと考えられる。また、⑤は事後調査でも高い値を示し、偏差も小さくなっている。

⑩～⑬のデジタルものづくりの技能に関しては、事前調査時に⑩、⑪の3次元 CAD に関して比較的高い値を示している。事後調査では、⑩、⑪の3次元 CAD に関する項目以外で、事前調査の結果と比較して有意に上昇している。また、有意差がなかった⑩、⑪も高い値で推移している。このことから、今まで3次元 CAD を利用したことがある受講生も含め、3次元 CAD を用いて構想したり、図面を作成したり、制作した3次元データを基に製作をしたりすることについて技能の向上があったと考えられる。

⑭、⑮の学校教育での活用については、いずれの項目も事後調査で高い値に収束している。特に、教材開発に関する項目で、有意に上昇している。受講生は、創作的課題として、教材・教具の考案・作成および、その活用方法を説明する指導資料を作成している。この課題によって教材開発の具体的なイメージを持つことができ、学校教育での活用に自信がついたと考えられる。

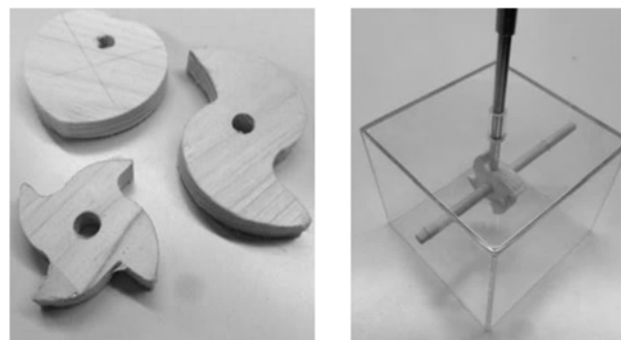
授業評価の結果では、いずれの項目も平均値 3.9 以上の高い値を示した。特に、「新しい知識、技能などの修得」、「楽しさ」、「学習意欲」の項目では、平均値 5.0 と顕著に高い値を示している。このことより、新しい知識、技能を修得した後、学習を継続させるために重要な要素についても本実践を通して十分に喚起させることができたと推察される。また、「授業内容」と「難易度」に関する自由記述では、「製作の流れに沿った内容であり分かりやすかった」、「中学校技術の授業を想定した授業だったので、難しいけれど必要な物だと感じた」など、前述の本プログラムの基本方針に従って配慮した点の効果が示された。一方で、「まだまだ使い勝手の面では、直接的に教育の現場に活かすのは難しい」という意見がみられた。このことから、教育利用に適した加工機械やソフトウェアの開発や具体的な活用事例の必要性があると考えられる。

4.3 受講生の製作品

次に、演習課題について述べる。受講生全員が、板カムを設計・製作することができた。受講生が設計・

製作したカム機構の一例を図 3 に示す。受講生の作品から、デジタルものづくりの設計から製作までの基本的な知識・技能を修得できたことが分かった。

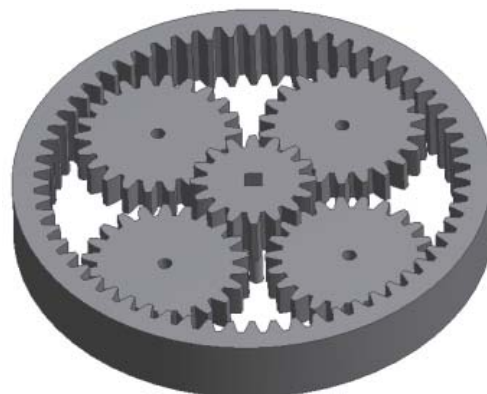
また、演習課題ではデジタルものづくりの手法を活用した教材・教具のアイデアを考えた。その後、1人1つの3次元 CAD データの制作および、3次元 CAD データを基にした卓上 NC 工作機械や卓上 3D プ



(a) NC 工作機械で加工したカム

(b) カム機構(実物)

図 3 受講生が設計・製作したカム機構の一例

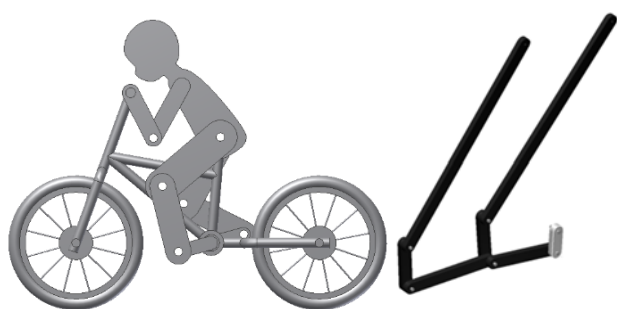


(a) 3次元データ



(b) 3D プリンタによる出力

図 4 演習課題における作品例(遊星歯車)



(a) 自転車模型

(b) ワイパー模型

図 5 演習課題における作品例(リンク機構)

リントによる製作を行なった。受講生の作品例を図 4 に示す。この作品は、遊星歯車模型であり、演示教材として製作されたものである。さらに、それぞれの製作品の学校教育における活用法を示した指導資料を作成することができた。これにより、受講生は、教材・教具の考案・作成にデジタルものづくりを活用することが分かった。

また、2013 年より、開発した学習プログラムの一部を用いて実践を行なった。2013 年 10 月～12 月、J 大学大学院に在籍する大学院生を対象に行なった実践における学習成果として、演習課題における作品例を図 5 に示す。この受講生が考案し作成した教材は、リンク機構について学習するための演示教材であり、長さを調整して動きをシミュレーションすることができる。

以上の成果を踏まえて、開発した学習プログラムは、2014 年以降も引き続いて実践を行っており、同様の評価を得ている。

5. おわりに

本研究では、教員養成系大学の大学院生を対象としたデジタルものづくり学習プログラムを開発することを目的とした。開発した学習プログラムでは、デジタルものづくりに関する知識・技能および学校教育での活用方法を修得することを目標としており、特徴は以下の通りである。(1)教員養成におけるデジタルものづくり学習の題材として機構の設計・製作を提案している。(2)実習・演習課題として、技術科の学習内容を基に、デジタルものづくりに関する知識・技能の修得と学校教育での活用を意図した課題を設けている。(3)学習環境として、学校教育での導入を想定した

ソフトウェアと加工機械を用いている。

教員養成系大学の大学院生に対して実践し、実践前後に行ったアンケート結果と受講生の製作品より、開発した学習プログラムの評価を行った。その結果、(1)デジタルものづくりに関する知識・技能の向上がみられた。(2)受講生はデジタルものづくりを活用して、機構学習などの教材・教具の考案・作成ができるようになったことが分かった。(3)デジタルものづくりに関する学習意欲や活用意欲の向上がみられた。

今後の課題として、中学校技術科でどのように活用できるのか、実践事例を充実させるとともに、学習プログラムの改善を検討したい。

参考文献

- 1) 村田昭治・寺田盛紀・西本茂戸造：Technische Baukästen 等の中学校技術・家庭科機械学習への導入に関する研究(I)，金沢大学教育学部紀要 教育科学編，Vol.36，pp.323-340 (1987)
- 2) 本多吉信・森田輝雄：技術科(機械領域)における授業構造，金沢大学教育学部 教科教育研究，Vol.6，pp.33-56 (1973)
- 3) 末富正啓・岡村吉永・坪郷好夫：機械Ⅱ・領域における新しい教材の開発—「知る」学習から「作る」学習へのために—，日本産業技術教育学会誌，第 29 巻，第 4 号，pp.73-81 (1987)
- 4) 岩渕浩憲：学習材の研究と実践について—カムの製作をとおり，生徒の学びを大切にしたい授業実践—，日本産業技術教育学会誌，第 41 巻，第 4 号，pp.227-230 (1999)
- 5) 東海・北陸地区中学校技術・家庭科研究会：第 31 回東海・北陸地区中学校技術・家庭科研究大会 富山大会誌，pp.59-66 (1994)
- 6) 中国・四国地区中学校技術・家庭科研究会：第 32 回中国・四国地区中学校技術・家庭科教育大会 岡山大会要録，pp.54-62 (1994)
- 7) 藤木卓・吉田治夫・小川武範：カム作製支援プログラムの開発，日本産業技術教育学会誌，第 31 巻，第 4 号，pp.215-219 (1989)
- 8) 桜井照男：パーソナルコンピュータによる機構学の教育，日本産業技術教育学会誌，第 28 巻，第 2 号，pp.23-32 (1986)

- 9) 宮下晃一・松本雅裕：標準化された部品を用いて組み立てる機構学習キットの開発，日本産業技術教育学会誌，第 56 卷，第 2 号，pp.109-116 (2014)
- 10) 経済産業省：新ものづくり研究会 報告書 3D プリンタが生み出す付加価値と 2 つのものづくり～「データ統合力」と「ものづくりネットワーク」～，pp.1-2 (2014)，http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/seisan/new_mono/pdf/report01_02.pdf (最終アクセス日：2016 年 1 月 19 日)
- 11) 前掲 10)，pp.75-82 (2014)
- 12) 前掲 10)，p.69 (2014)
- 13) IT 総合戦略本部：世界最先端 IT 国家創造宣言 改訂，p.33 (2015)，<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20150630/siryou2.pdf> (最終アクセス日：2016 年 1 月 19 日)
- 14) 藤田真一・加賀江孝信・城仁士：3 次元 CAD による製図・設計教育が視点変換行為の形成に及ぼす効果，図学研究，Vol.44，No.1，pp.13-21 (2010)
- 15) 山本利一・寺山昌史：3D プリンタを活用したスターリングエンジンの仕組みの理解を支援する教材開発と教員研修による評価，日本産業技術教育学会誌，第 22 卷，第 2 号，pp.111-116 (2013)
- 16) 瀧美勇輝・村松浩幸・平田敦：生産システムを体験的に学習させる簡易型 NC 教材の開発，信州大学教育学部研究論集，Vol.1，pp.77-85 (2009)
- 17) 川俣純：真似る，乗り越える，協同する--「製図テキスト」から「立体グリグリ」へ(特集 技術・職業教育の教師の力量形成--世代から世代へ)，技術教育研究，Vol.69，pp.24-27 (2010)
- 18) 秋山剛志・関根文太郎：3D プリンタを活用した教材の開発，日本産業技術教育学会第 57 回全国大会要旨集，p.74 (2014)
- 19) 山主公彦・佐藤博：3D プリンタとものづくり教育，日本産業技術教育学会第 58 回全国大会要旨集，p.50 (2015)
- 20) 創造的設計研究会：CAD/CAE で学ぶ実践機械設計，工業調査会，p.16 (2002)
- 21) 竹田陽子：プロダクト・リアライゼーション戦略ー3 次元データ技術が製品開発組織に与える影響，白桃書房，pp.22-41(2000)
- 22) 文部科学省高等教育局専門教育課：今後の国立の教員養成系大学学部 の在り方について(報告) (2001)，http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/koutou/005/toushin/011101.htm(最終アクセス日：2016 年 1 月 19 日)
- 23) 増井三夫(研究者代表)：教員養成における「教科内容学」研究，平成 22 年度日本教育大学協会特別研究助成研究報告書，pp.3-4 (2011)
- 24) 日本産業技術教育学会：新技術科教育総論，ブラザー印刷，p.93 (2009)
- 25) 文部科学省：中学校学習指導要領解説 技術・家庭編，p.17 (2008)
- 26) カム工業会：カム機構ハンドブック，日刊工業新聞社，p.i (2001)

Abstract

We developed and evaluated a Teacher Training Program to teach digital fabrication through designing and manufacturing of mechanisms as teaching materials. The training program targeted graduate students from the University of Education. We observed the educational effect of the training program and found that their motivation for learning and utilizing knowledge and skills increased after the training. In conclusion, we confirmed the effectiveness of the training program in teaching digital fabrication to teachers.

Key words: Digital fabrication, Teacher training program, Development of teaching materials, Mechanism study, Cam mechanism