

デジタルものづくりを中心とした技術教育の提案

室伏 春樹^{1,a)}

概要: 中学校技術・家庭の技術分野では、木材加工や金属加工などのものづくりを通じた体験的な学習が実施されてきた。一方、3D プリンターをはじめとする3次元デジタル工作機械が世界的に普及しており、これらの工作機械を利用する新しいものづくりが一般化することが予想される。そこで、技術分野で3次元デジタル工作機械を利活用する授業を推進することを目的とした「デジタルものづくり教育」を提案する。この提案により、生徒は習得した知識・技能を活用して実社会へ影響を与えるアイデアを生み出すようになり、学力の向上が期待される。

Proposal for Technology Education Using Digital Fabrication Tools

MUROFUSHI HARUKI^{1,a)}

Abstract: This paper propose a teaching methods in technology education in Japan. In the prior technology education, students have been learning for processing wood and metal. However, 3D digital fabrication tools have become popular worldwide, and expects to become general tools in our society. Therefore, we propose the "Digital Fabrication Technology Education" in order to promote the lesson that use the 3D digital fabrication tools. As a result, the student creates the idea of a social contribution based on the knowledge and skills, it is expected to lead to improvement of scholastic ability.

1. はじめに

2012 年以降、3D プリンターをはじめとした3次元デジタル工作機械が日本国内のメディアで多く取り上げられるようになり、家庭向けの低価格な3D プリンターが家電量販店で販売されるようになった。このきっかけとして考えられているのは、クリス・アンダーソンの著書「MAKERS 21 世紀の産業革命が始まる」とバラク・オバマ米大統領による3次元デジタル工作機械の普及政策である [1]。クリス・アンダーソンは著書のなかで、3次元デジタル工作機械がものづくりをデジタル化したことによる変化の流れを「メイカームーブメント」と呼んでいる [2]。これを受けた米国大統領のバラク・オバマは、四年間で1000カ所の学校を対象に3D プリンターを含む3次元デジタル工作機械を完備した「工作室」を開くプログラムを2012年初頭に立ち上げ [3]、2013年の一般教書演説では3D プリンター

による新たな製造革命を起こすことを宣言している [4]。

また、マサチューセッツ工科大学で「(ほぼ)なんでもつくる方法」として3次元デジタル工作機械を含む工具の利用方法を指導したニール・ガーシェンフェルドは、学生が3次元デジタル工作機械などを利用する姿から「いつか知識が役に立つことを期待して、あらかじめ用意されたカリキュラムを教える従来の”ジャストインケース(万一に備える)”教育モデルではなく、具体的に必要が生じたときだけ教える”ジャストインタイム”教育モデルのようなプロセスと考えることができる [5]」、「リテラシーという言葉に『ものづくり』の意味合いを付加していることに気付いた [6]」と述べており、3次元デジタル工作機械を利用したものづくり教育の可能性を示唆している。

こうした動きを受けて、わが国では世界最先端 IT 国家創造宣言において「新しいモノづくりであるデジタル・ファブ리케이션やロボティクス、プログラミング、コンテンツ作成等、学生等が、将来を展望した技術を習得できる環境整備を教育環境の IT 化とともに進める [7]」ことが示された。また、経済産業省は新ものづくり研究会の報告書

¹ 静岡大学教育学部技術講座
Shizuoka University, 836 Ooya, Shizuoka, 422-8529, Japan
^{a)} murofushi.haruki@shizuoka.ac.jp

において「初等教育において、簡易な 3D-CAD, 3D プリンタを導入し、早くから 3 次元でのものづくりに触れてものづくりへの関心を高めるとともに、立体認知能力の向上や 3 次元での創造性育成を図ることが必要である [8]」ことを報告し、初等・中等教育段階における人材育成・教育プログラムの検討の必要性を示している。

しかし、初等・中等教育段階における 3 次元デジタル工作機械を利用したものづくりの授業実践は、専門教育を提供する工業高等学校の実践が大半であり、普通教育を提供する小学校、中学校、普通高等学校では実践が進んでいない。とくに普通教育における技術教育を指導する中学校技術・家庭の技術分野（以下、技術科と称す）は、コンピューターに関する指導内容が学習指導要領に明記されているが [9]、3 次元デジタル工作機械を導入した研究や授業実践は進んでいない。

この背景には、3 次元デジタル工作機械の価格や保守管理といった運用面の問題や新しい道具に対する教育者の不安、授業における効果的な活用例の不足といった要因が考えられる。運用面の問題は、3 次元デジタル工作機械を利用する授業実践により学習効果が明確になれば解消されることが期待できる。ところが、3 次元デジタル工作機械に対する教育者の不安や活用例の不足といった要因は理論的根拠がなければ解消されないにも関わらず、これまで明確に示された研究報告は見られなかった。

そこで、中学校技術科における 3 次元デジタル工作機械の利活用を推進する目的で研究を行った。本稿では、これまで手加工を中心に指導していた「ものづくり」教育を 3 次元デジタル工作機械の活用を中心に指導する「デジタルものづくり」教育とする提案を行い、提案にいたる背景と想定される教育効果を報告する。

2. デジタルものづくり教育の定義

デジタルものづくり教育とは、学習者が 3 次元デジタル工作機械を利用してものづくりを行う教育方法として筆者が提案するものである。この教育の目的は、ものづくり教育で学習者が利用していた手加工のための工具を 3 次元デジタル工作機械に置き換えることで生徒の技能面の負担を軽減する代わりに、製作物の利用対象者を設定する製品開発の視点を与え、現在の社会で必要とされる能力の育成を図ることにある。

2.1 デジタルものづくり教育が必要となる教育的背景

文部科学省は教育課程企画特別部会において、今後の初等中等教育が果たすべき役割を「論点整理」(案)として公表した [10]。この論点整理(案)では、現行学習指導要領の成果と課題を踏まえ、次期学習指導要領で育成すべき子供の資質・能力や学校のあり方、各教科における内容の見直しなどが検討されている。そのため、この論点整理(案)

の内容が次期学習指導要領改訂の土台になると考えられる。

この中で、育成すべき子供の資質・能力が三つの柱として整理されている。三つの柱とは、「何を知っているか、何ができるか」、「知っていること・できることをどう使うか」、「どのように社会・世界と関わり、よりよい人生を送るか」と定義されており、これは学校教育法第 30 条第 2 項に定められている学力の定義と共通している [11]。また、「次期改訂の視点は、子供たちが『何を知っているか』だけではなく、『知っていることを使ってどのように社会・世界と関わり、よりよい人生を送るか』ということ [12]」とあることから、学校で習得する知識・技能がテストのために役立つのではなく、社会や世界という生活場面に役立つことを志向していくことが考えられる。

このような考え方は国際的に共通しており、経済開発協力機構(OECD)が実施している国際学習到達度調査(PISA)の調査目的や 21 世紀型スキルの学びと評価プロジェクト(ATC21S)が定義する 21 世紀型スキルの内容との関連を見ることができる。たとえば PISA の目的は「義務教育修了段階の 15 歳児を対象に、知識や技能を実生活の様々な場面で直面する課題にどの程度活用できるかを評価 [13]」することとされており、生活場面を想定した出題がされている。また、21 世紀型スキルは児童生徒の能力を示すスタンダードとして検討されており、「児童生徒が仕事や生活において成功するために必要となる思考やスキル [14]」であるとされている。

つまり現在求められている教育とは、生徒が習得した知識・技能を活用して生活場面を含む実社会へ影響を与えることができる教育であり、デジタルものづくり教育はこのような背景に基づいて提案している。

2.2 デジタルものづくり教育で利用する

3 次元デジタル工作機械

3 次元デジタル工作機械とは、コンピューター制御で利用される機械の総称であり、前述のメイカームーブメントで注目されているのは「四種の神器 [15]」と呼ばれる 3D プリンター、CNC(Computer Numerical Control)装置、レーザーカッター、3D スキャナーである。

3D プリンターは、コンピューターで制作された 3 次元モデルを立体物として印刷することができる工作機械である。図 1 は家庭向けに開発された 3D プリンターの例である。家庭向けの低価格な 3D プリンターで利用される熱溶解積層方式を例に加工原理を解説すると、高温に加熱した樹脂素材を少しずつ押し出して薄層を形成し、この薄層を積み上げていくことで希望とする立体物を出力する。そのため、従来までの工作機械が必要としていた原材料の切削がなく切屑が発生しない。また、従来の工作機械では加工が困難であった中空の立体物や複数の部品からなる立体物も、積層出力によって印刷できるため、利用者がイメージ



図 1 家庭用 3D プリンターの例 [16]

Fig. 1 Model of a family-friendly 3D printer.



図 2 小型 CNC 装置の例 [17]

Fig. 2 Model of a desktop size CNC machine.

した制作物を組み立てることなく得ることができる。

CNC 装置は、コンピューターによる数値制御で切削加工を行う工作機械全般の総称である。図 2 は机上に設置できる小型 CNC 装置の例である。CNC 装置は企業におけるものづくりでは従来より利用されてきたが、3D プリンターと同様に低価格で小型な機械が開発、販売されつつある。CNC 装置による加工原理は、装置に接続された工具による切削加工である。工具は複数接続が可能で、各工具の選択や移動量、移動速度をコンピューター制御で管理する。そのため、人間による手加工よりも正確かつ大量に作業を行うことができる。

レーザーカッターは、2次元の切断や彫刻などの加工を行う工作機械である。図 3 は机上に設置できる小型レーザーカッターの例である。レーザーカッター自体は3次元の加工ができないが、材料の切断によって得られる2次元の部品を組み合わせて立体物を製作することができる。レーザーカッターの加工原理は材料に対するレーザーの照射であり、レーザーの出力や照射時間を調整することで加工結果を変更することができる。こちらも 3D プリンターと同様、低価格な機械が開発、販売されつつある。

3D スキャナーは、四種の神器で唯一の入力装置であり、現実社会に存在する立体物をコンピューター内で利用できるデジタルデータに変換することができる機械である。メイカームーブメントで注目されている 3D スキャナーは、医療分野や考古学研究などに利用されている非接触式のも



図 3 小型レーザーカッターの例 [18]

Fig. 3 Model of a desktop size laser cutter.

のである。この原理は、対象となる立体物を複数台のカメラで撮影したり、レーザーなどの光源を照射して得られた立体物の断面形状を単一のカメラで撮影したりすることで立体物の表面形状をデータ化する。図 4 は複数台のカメラを利用する 3D スキャナー、図 5 はレーザー光を利用する 3D スキャナーの例である。また、スマートフォンなどのカメラで撮影した複数の画像からデータを生成するサービスも提供されており、3D プリンターと同様、今後の普及が予想される。



図 4 複数台のカメラを利用する 3D スキャナーの例 [19]

Fig. 4 Model of a 3D scanner using multiple cameras.



図 5 レーザーを利用する 3D スキャナーの例 [20]

Fig. 5 Model of a 3D Scanner using laser.

2.3 デジタルものづくり教育の内容

デジタルものづくり教育は企画、設計、製作、評価の四工程で実施する。この四工程の流れは従来のものづくり教育で指導されていた工程と同様であるが [21], 各工程で実施する内容は異なる。

企画工程は、生徒に家庭や学校生活で生じる問題を挙げさせ、それが技術的に解決可能な課題であるか検討を行わせるとともに、アイデアの創出を指導する。このとき、指導する教員は生徒に製品開発の視点を与えることが重要となる。製品開発の視点とは、製作物を利用する対象を他者に設定し、その他者から製作物の評価を受ける活動を提示することを意味している。これにより、生徒の製作目的が明確になり、アイデアの創出に必要な情報を収集しやすくなることが期待される。また、生徒に技術と社会とのつながりを意識させる指導が可能となり、普通教育としての技術教育が実質的なものになりうる。

設計工程は、企画工程で創出したアイデアを構想し、コンピュータを利用してデータを作成する。データを作成する方法はソフトウェアを使用する方法と、簡易的な製作物を 3D スキャナーで取り込む方法の二種類があり、製作物に応じて作成する方法を選択する。ソフトウェアを使用する方法は、主に CAD ソフトウェアを利用して製作物のデータを作成する。これは、従来のものづくり教育で配慮されてきた「緻密さへのこだわり [22]」や製作図をかく指導との類似性を考慮したためである。一方、簡易的な製作物を 3D スキャナーで取り込む方法は、プラスチック製のブロックや木材などで簡易的な製作物を構成し、外観の形状データを取り込むことで製作物のデータを作成する。こちらは、ソフトウェアを使用する方法より短期間で製作物のデータを作成できるが、スキャンの精度によって発生する欠損データの修正や、内部の機構が再現できない問題がある。

製作工程は、設計工程で作成したデータを 3D デジタル工作機械に送信する。従来のものづくり教育は手加工のための工具を主に利用していたため、生徒が授業時間内に獲得し、活用する技能には差異が生じていた。しかし、技術科において加工技能は目的を達成するための手段であり、加工技能の獲得は目的ではない。その点、3D デジタル工作機械は生徒の代わりに高い精度で加工ができるため、生徒の技能面の負担を軽減するとともに、製作物を利用する他者からの「真正な評価 [23]」が期待される。

評価工程は、生徒自身の自己評価と製作物を利用する他者からの評価が行われる。生徒自身の自己評価は、3D デジタル工作機械より出力された製作物にやすりがけや塗装などの物理的な調整を施したり、設計工程に回帰してデータに修正や改善を加えたりする作業を通して、目標を達成するまで行われる。製作物を利用する他者からの評価は、生徒自身の自己評価で目標を達成したとする製作物を他者

に利用してもらい、真正な評価を受ける。この評価が一つの到達点であるが、その評価結果により設計工程や企画工程に回帰することも想定される。

3. ものづくり教育とデジタルものづくり教育の比較・考察

前節で解説したデジタルものづくり教育を従来のものづくり教育と学力の観点から比較し、得られる学力の差異を考察する。これは、どちらの教育も学校教育で実践されるものであり、その最終目的は文部科学省が示す「生きる力」に帰着するためである。学力は学校教育法第 30 条第 2 項に規定されており、(1) 基礎的・基本的な知識・技能、(2) 知識・技能を活用して課題を解決するために必要な思考力・判断力・表現力等、(3) 主体的に学習に取り組む態度、の三つが示されている。

3.1 基礎的・基本的な知識・技能

ものづくり教育とデジタルものづくり教育で獲得する基礎的・基本的な知識に差異が生じるのは、設計と製作の工程である。

設計工程では、製図に関する学習内容で獲得する知識・技能に差異が生じる。ものづくり教育では一般に、構想や製作部品を紙上に図をかく知識や技能の獲得が期待されている。これは学習指導要領解説に「構想の表示方法を知り、製作図をかくことができること [24]」が記載されているためである。

一方、デジタルものづくり教育ではコンピュータを利用してデータを作成するため、コンピュータ利用に必要な知識と技能の獲得が求められる。データの作成にソフトウェアを使用する方法を選択した場合は、CAD ソフトウェアの利用に必要な製図に関する知識と操作技能が必要になる。簡易的な製作物を 3D スキャナーで取り込む方法を選択した場合は、小学校の図画工作で習得した知識・技能の活用と、3D スキャナーで取り込んだ外観の形状データを修正するためのソフトウェアの利用に必要な知識と操作技能が必要になる。

ところで、ものづくり教育でも CAD ソフトウェアの利用は想定されており、市販の技術科の教科書にも記述はされている。しかし、表 1 に示すように記述されているページ数は紙上に図をかく知識や技能より少なく、コラムの扱いである。

また、学習指導要領解説によると「模型やコンピュータを支援的に利用させることも考えられる [24]」とするのは企画工程における機能や構造の検討までであり、デジタルものづくり教育のように設計工程までコンピュータを利用することは、現状では想定されていない。

製作工程では、加工に関する学習内容で獲得する知識・技能に差異が生じる。ものづくり教育では、材料に適した

表 1 教科書の製図と CAD の記述量比較

Table 1 Comparability of a volume in textbook of drafting and CAD

[単位: ページ]		
	製図に関する記述	CAD に関する記述
教科書会社 A	6	1
教科書会社 B	5	1
教科書会社 C	4	0

工具や機器を扱う知識と、工具や機器の加工原理を効果的に活用するための技能を習得する必要がある。これは学習指導要領に「部品加工、組立て及び仕上げができること [24]」が記載されているためである。

一方、デジタルものづくり教育では 3 次元デジタル工作機械を利用した製作を行うため、ものづくり教育で必要としていた工具や機器を利用する技能は習得が不要となる。ちなみに、学習指導要領では「より効率的に加工させるために、コンピュータを支援的に活用して作業を進めさせたりすることも考えられる [25]」と示されているが、前述したように設計段階におけるコンピュータの利用が想定されていない。そのため、部品加工のためにデータを作成するという非効率な状況が生じる可能性が高いといえる。しかし、デジタルものづくり教育では設計から一貫してコンピュータを利用するため、上記のような齟齬は発生しない。

3.2 知識・技能を活用して課題を解決するために必要な思考力・判断力・表現力等

ものづくり教育とデジタルものづくり教育で獲得する思考力・判断力・表現力に差異が生じるのは、企画の工程である。

技術科における思考力・判断力・表現力は、よりよい社会を築くために、技術を適切に評価し活用する能力と言い換えることができるとされている [26]。つまり、基礎的な知識・技能の獲得によって形成された技術的能力に基づき、社会で利用されている技術を光と影の両面から検討し、その検討に基づいて決定した技術で社会的な問題を解決しようとする行動が求められているといえる。

この観点からすると、ものづくり教育は伝統的なものづくりに偏重しており、過去の技術の変遷や技術革新による利便性の向上という観点を体験的に理解させようとしている。もちろん、これらの観点は技術教育として重要なものであり、デジタルものづくり教育でも扱うべき学習内容ではある。しかし、現代社会で利用する機会が減少しつつある工具を中心にものづくりを行うことは、時代の流れに逆らうものであり、技術科の教育内容として扱い続けるべきか見直すべき時期にあるといえる。

一方、デジタルものづくり教育は生徒の技能における負担が少なく、その余力を企画工程や設計工程に向けること

ができる。これはつまり、技能面の問題から生じる「ものをどうやって作るのか」という生産の観点を「どのようなものを作ればよいか」という生産と流通の観点に変化させることが期待できる。

この生産と流通の観点こそ、ものづくり教育からデジタルものづくり教育への転換を図る最大の理由であり、前節で解説したデジタルものづくり教育の企画工程に製品開発の視点を与える原点である。

3.3 主体的に学習に取り組む態度

ものづくり教育とデジタルものづくり教育で獲得する学習態度に差異が生じるのは、四工程のすべてである。

前小節で述べたように、デジタルものづくり教育は生産と流通の観点を生徒に持たせるため、企画工程から製品開発の視点を与える指導を計画している。製品視点の視点を与える指導は、ものづくり教育でも実現可能である。しかし、実現には生徒の技能養成に時間を割く必要がある。また、生徒が必ずしも技能が身につくことは保障されていない。

一方、デジタルものづくり教育は製作工程における技能を問わないため、製作時に必要な技能が保障されているといえる。この技能の保障と製品開発の視点により、生徒は社会的に役立つものづくりを志向するようになり、主体的に学習に取り組む態度が育まれることが期待される。

4. まとめ

本稿では、技術科における 3 次元デジタル工作機械の活用を推進することを目的に、デジタルものづくり教育の提案を行った。

デジタルものづくり教育は、メイカームーブメントで注目を集めている 3 次元デジタル工作機械を利用した中学校の技術分野における教育方法である。この目的は、3 次元デジタル工作機械を利用したものづくりを指導することで、生徒が習得した知識・理解を活用し、身近な生活場면을工夫し改善することができる生徒の育成にある。

利用する 3 次元デジタル工作機械は、3 次元の加工ができる 3D プリンターや CNC 装置、2 次元の加工ができるレーザーカッター、3 次元形状の入力ができる 3D スキャナーが想定される。これらの 3 次元デジタル工作機械を利用することで、従来のものづくり教育で必要であった生徒の技能面の負担が軽減される。そのため、デジタルものづくり教育では生徒に製品開発の視点を与え、生活場面で実際に利用できる具体的な製品のアイデアを創出させることが可能になると予想される。

また従来のものづくり教育と比較したとき、学力を構成する (1) 基礎的・基本的な知識・技能、(2) 知識・技能を活用して課題を解決するために必要な思考力・判断力・表現力等、(3) 主体的に学習に取り組む態度、の三つにおいて

差異が生じることが検討により示唆された。

参考文献

- [1] 原 雄司：3D プリンター導入&制作完全活用ガイド, 技術評論社, pp.8-9(2014)
- [2] クリス・アンダーソン 著, 関 美和 訳：MAKERS 21 世紀の産業革命が始まる, NHK 出版, p.32(2012)
- [3] クリス・アンダーソン 著, 関 美和 訳：前掲書, p.28
- [4] The White House「President Barack Obama's State if the Union-As prepare for delivery」, 入手先 <http://www.whitehouse.gov/the-press-office/2013/02/12/president-barack-obamas-state-union-address> (最終アクセス 2015.9.3)
- [5] ニール・ガーシェンフェルド 著, 田中 浩也 監修, 糸川 洋訳：Fab パーソナルコンピュータからパーソナルファブリケーションへ, オライリージャパン, pp.20-21(2012)
- [6] ニール・ガーシェンフェルド 著, 田中 浩也 監修, 糸川 洋訳：前掲書, p.21
- [7] 首相官邸：世界最先端 IT 国家創造宣言, 入手先 <http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20140624/siryou1.pdf> p.25, (最終アクセス 2015.9.3)
- [8] 経済産業省：「新ものづくり研究会」報告書, 入手先 <http://www.meti.go.jp/press/2013/02/20140221001/20140221001-3.pdf>p.69(最終アクセス 2015.9.3)
- [9] 文部科学省：中学校学習指導要領, 東山書房, p.99(2008)
- [10] 文部科学省：教育課程企画特別部会における論点整理(案)について(報告), 入手先 http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/053/sonota/1361117.htm(最終アクセス 2015.9.3)
- [11] 文部科学省：同上, p.9.
- [12] 文部科学省：同上, p.15.
- [13] 国立教育政策研究所：OECD 生徒の学習到達度調査 (PISA2012) のポイント, 入手先 http://www.nier.go.jp/kokusai/pisa/pdf/pisa2012.result_point.pdf, p.1(最終アクセス 2015.9.3)
- [14] P. グリフィン, B. マクゴー, E. ケア 編, 三宅なほみ 監訳, 益川弘如, 望月俊男 編訳：21 世紀型スキル 学びと評価の新たなカタチ, 北大路書房, p.22(2014)
- [15] クリス・アンダーソン 著, 関 美和 訳：MAKERS 21 世紀の産業革命が始まる, NHK 出版, pp.108-110(2012)
- [16] XYZ printing DaVinci Jr.1.0, 入手先 <https://jp.xyzprinting.com/jp-ja/Product/da-Vinci-1.0-Junior>(最終アクセス 2015.9.3)
- [17] Roland monoFab SRM-20, trotec, スピーディ 100 レーザー彫刻機 入手先 <http://www.rolanddg.co.jp/product/3d/3d/srm-20/index.html>(最終アクセス 2015.9.3)
- [18] trotec Speedy100, 入手先 <http://www.troteclaser.com/ja-JP/Laser-Machines/Compact/Pages/Speedy100.aspx>(最終アクセス 2015.9.3)
- [19] Artec Spider, 入手先 <http://www.datadesign.co.jp/artec3d/function/spider.html>(最終アクセス 2015.9.3)
- [20] Makerbot digitizer, 入手先 <http://makerbot.co.jp/contents/digitizer.html>(最終アクセス 2015.9.3)
- [21] 橋本美保, 田中智志 監修, 坂口謙一 編著：教科教育学シリーズ 10 技術科教育, 一藝社, p.14(2014)
- [22] 文部科学省：中学校学習指導要領解説 技術・家庭編, 教育図書, p.16(2008)
- [23] 稲垣忠, 鈴木克明 編著：教師のためのインストラクショナルデザイン 授業設計マニュアル Ver.2, 北大路書房, pp.85-86(2015)
- [24] 文部科学省：同上, p.20
- [25] 文部科学省：同上, p.21
- [26] 国立教育政策研究所：評価規準の作成, 評価方法等の工夫改善のための参考資料 (中学校 技術・家庭), 教育出版, p.73(2011)