

デジタルファブリケーションを活用した教材開発支援

岡村 吉永・石川 雅代*¹

Support for Development of Teaching Materials Using Digital Fabrication

OKAMURA Yoshihisa, ISHIKAWA Masayo*¹

(Received December 15, 2021)

キーワード：デジタルファブリケーション、3Dプリンター、レーザーカッター、
オーダーメイド型教材、教材開発支援、特別支援学校

はじめに

情報関連技術の進展と普及はめざましく、GIGAスクール構想（文部科学省、2020）に代表されるように、学校教育現場においても適切な対応が求められるようになってきた。加えて、新型コロナウイルス感染症による学校の休校措置、あるいは遠隔教育に対するニーズの高まりにより、学校における情報技術の活用は今後一層強力に進められていくものと考えられる。ただしここで留意すべきは、「児童生徒一人一台コンピュータや高速大容量通信ネットワーク環境の下、教師を支援するツールとしての先端技術を有効に活用することなどにより、基盤的な学力の確実な習得が行われるとともに、多様な子供たち一人一人の能力、適性等に応じた学びが提供されている」（中央教育審議会初等中等教育分科会、2019）こと、すなわち先端技術は教育の手段であり、個別最適化された教育を提供することこそが主眼という点である。

また、情報関連技術の教育利用に関しては、コンピュータやタブレット端末だけでなく、デジタル加工機械の活用に関しても検討が進んでいる。例えば、令和元年に示された教材整備指針の改定案（中央教育審議会教育課程分科会、2019）では、中学校の技術・家庭科（技術）に3Dプリンターが初めて例示された。こうしたデジタル加工機械の利用は、企業等はいかに及ばず、近年一般人が利用できるファブラボ（FabLab）と呼ばれる新たなものづくりの場も各地で展開され、利用されるようになってきている。例えば、我が国の草分けである「ファブラボ鎌倉」では、企業・行政はもとより、個人や学校法人に対しても解放され、「これからの『学びの場』『人材育成』『研究開発』『ビジネス』を促進させ、個人から地域へと価値を最大化させていく」（渡辺、2014）とされ、教育や人材育成との親和性が高いことが示唆されている。

こうした状況の中、本研究では、特別支援学校からの教材開発に関する支援要請を受けたことを機会に、3Dプリンターやレーザー加工機などを活用した教材開発支援に関する検討に着手した。この中では、デジタル加工機械の特性にあった教育利用の方法を探るとともに、デジタル加工機械を利用して新たな教材作製用機械を試作し、その活用や可能性についても検討を行っている。

1. デジタルファブリケーションの教育利用について

デジタルファブリケーションの教育利用については、既報（岡村ほか、2021）で整理したように、デジタル技術に関わる人材育成を主眼とした「デジタル工作機械やその仕組みに関する学びを通して技術者の育成やスキルアップを図るための導入としての利用」があり、その中には「実際物としての加工を伴わないデジタルコンテンツ制作における利用」なども含まれる。これらは大学や企業における合目的利用といえるもので、一般の学校教育における活用としては、自由度が高く数値制御による立体造形が可能な3Dプリンターの特性を生かして、関数グラフを造形し、数学学習に利用するもの（濱口・高遠、2019）のものや、3Dプリン

*1 山口大学教育学部附属特別支援学校

ターで立体地図を作製し、中学校の理科や社会科で授業実践を行う例（川島ら、2019）（栗田ほか、2020）などがみられる。

ただし、これらの多くはデジタルファブリケーション自体が学習対象であったり、学習教材の作製といった支援的な活用の場合も直接造形物を利用する一次利用で終わったりすることが多い。一部に、鋳型製作にレーザーカッターを使用する（石川、2020）といった二次利用につながる例もみられるが、使用する工作機械は1種類で、多様なデジタル加工機を組み合わせその特性を生かした教育利用には至っていない。Society 5.0時代において、デジタルファブリケーションが学校の教育を支える有用な手段の一つになることは避けられず、有効性を疑問視するよりも、積極的にその多様性や柔軟性を生かした活用方法を探っていくことが有益と考える。

2. 「ふようブランド」開発プロジェクトと支援の概要

多くの特別支援学校では、各校の特色を前面に出した様々な作業学習やものづくりが展開されている。設備が整い、かつ人的な支援が十分な学校では、生徒の働く意欲を培うため、喫茶ルームをオープンして地域との日常的な交流を実施したり、介護やビルメンテナンスなど、現場に近い形で就労体験の場が提供されたりもしている。これに対し、山口大学教育学部附属特別支援学校（附属特別支援学校）は、前述の特別支援学校に比べて規模が非常に小さく、同様の学習活動を展開することは困難である。一方で、附属特別支援学校は大学との連携、支援が得られやすい利点があり、最新の加工法等を取り入れた特色ある学習を展開できる強みがある。

実際、これまで特別支援学校で行われてきた作業学習・ものづくりでは、熟練が必要な工具や丸のこ盤などの危険度の高い加工機械を使用する場面が多く、障害のある生徒の作業には細心の安全対策に加え、機械や補助具の微妙な調整を必要としている。障害のある生徒の作業としてはハードルが高く、完成度を高めようとするほど指導者の関与が増して、学習の意図が損なわれかねない事態となる。逆に生徒に任せる部分を増やせば、簡単でありきたりの製品となってしまう、やはり学習の意図が十分に達成されないというジレンマに陥ってしまう。

この対策として、附属特別支援学校では、ものづくりに対する素養がない人であっても比較的自由的な加工、造形が可能であり、加工中に人が直接刃物や加工部位に触れることが少なく比較的安全な加工作業が行えるデジタル加工機の活用を軸として教材・指導方法の開発を行うこととなった。

2-1 学習プロセスの確立および支援ツールが求められる意味

附属特別支援学校として、デジタルファブリケーションを使用してものづくりに着手するためには、企画から製作（商品としてのパッケージング等を含む）までを商品開発とし、一連のプロセスを学習に当てはめていく必要がある。ものをつくるという「作業」だけに着目するのではなく、生徒に「自分たちのアイデアが検討され、形になっていく一連の工程」に触れさせることで、実際のものづくりの現場で行われている企画、製作、販売という流れを確立させ、作業学習に位置付けることが重要である。

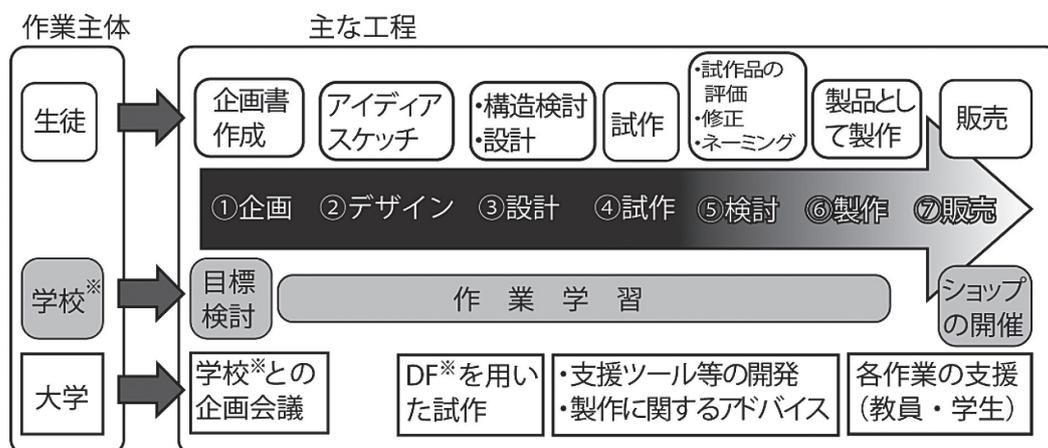
また、デジタルファブリケーションについては、近年急速に導入が進みつつある比較的新しい技術であり、特別支援学校はもちろん一般学校等においても導入事例は少なく、教育利用に関する知見は十分とはいえない。特別支援学校に在籍する障害のある生徒がデジタル加工機を使用する際は、一層予期しない事態が発生することが避けられない。学習者の特性や作業内容ごとの課題を洗い出し、解決のための指導方法や支援ツールの工夫や開発が求められる。

2-2 「ふようブランド」開発プロジェクト

本研究では、デジタルファブリケーションを活用したオリジナルの製品開発を「ふようブランド」開発プロジェクトと名付け、これを附属特別支援学校の作業学習として展開するための基礎的事項に関する検討を行った。

次年度（2022年度）は、山口県で「中国地区国立大学附属学校PTA連合会実践活動協議会」の開催が予定されており、附属特別支援学校では、中国地区からの来場者に対して作業学習で作った製品をお土産として配布し、学校の活動を広く知ってもらうことを計画している。具体的には、山口県の特産である大内塗とい

う伝統工芸（KOUGEI JAPAN、2021）と最新のデジタルファブリケーションとを関連付け、附属特別支援学校の先進的かつ特徴ある取り組みとして広く関心を持ってもらえるようにしたい。本研究の範囲は、まず3Dプリンターなどで「お土産とする試作品」を作製し、そこで必要となる製作環境や支援の方法について試行と検証を行い、2022年度前半を目途に量産を可能にするための準備を整えることにある。想定する作業工程のあらましを図1に示す。



※ 学校：附属特別支援学校 DF: デジタルファブリケーション

図1 「ふようブランド」開発プロジェクト作業工程

2-3 製品の試作

上述したように「ふようブランド」は、伝統工芸である大内塗と最新のデジタルファブリケーションとの教育的融合を前提とする。製品の試作では、附属特別支援学校の高等部生が作業学習で製作することを意識し、大内塗の代表的製品である大内人形を仮題材として製作難易度や加工方法などの検討を行った。

2-3-1 製作題材としての大内人形の形状および成型方法

一般的な大内人形は、図2に示す雄雛、雌雛が一对になったもので、山口を代表する伝統工芸の一つとされる。卵型をしたシンプルな形状であるが、附属特別支援学校の教材として、これをロクロ引きによる木地製作から開始するには、作業難易度や費用、設備面など難しい点が多い。この対策として、まず3Dプリンター（FLASHFORGE、CREATOR3）で図3のような2個組の雌型を作製し、両側から粘土を挟み込むようにして型取りする方法を検討した。適量の粘土を球状に丸め、型で両側から押さえ込むという比較的単純な作業であるが、3Dプリンターで作製した雌型の素材がプラスチックで吸湿性が乏しいため、押し込んだ粘土が乾きにくく、かつある程度粘土が乾かわないと型からきれいに取り外せないという問題が生じた。3Dプリンターによる型の製作にも相当の時間を要し、教材として必要個数を準備するには解決すべき課題の多いことが判明した。こうしたことから、球型の大内人形の教材化については保留し、一つの雌型で作れる半球型の



図2 大内人形

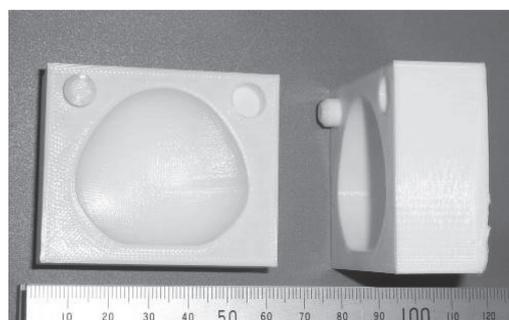


図3 3Dプリンターで作製した雌型
FLASHFORGE CREATOR3 使用
フィラメント：プラスチックφ1.75mm
製作所要時間：約130分/1個

大内人形の教材化を図ることとした。なお、半球型の大内人形の粘土成形には、当初図3の雌型の片方だけを利用しようとしたが、型から粘土を外す難しさの解消には繋がらず、数が半減できるとはいえ3Dプリンターで多数の型を作製しなければならない事実も変わらなかった。

この対策として、まず半球状の大内人形の硬質模型（原型）を3Dプリンターで作製し、これを後述の真空成型機で型取りして雌型にする方法を試みた。

図4に原型と真空成型機で作製した雌型を示す。なお、この方法では、一つの原型から多数の雌型を複製できる利点があることに加え、型取りに使用する硬質塩化ビニール板（厚さ約0.3mm）の柔軟性によって、雌型から粘土を取り外し難いという課題の

解決を図ることができた。具体的には、図5に示すように、円滑な机の上面を水拭きして湿らせておき、そこに粘土を詰めた雌型を押し付けて成型する。この後、雌型の端を持ち上げると粘土と雌型との間にすき間が生じ、きれいに取り外すことができた。粘土が雌型から抜け難いのは、粘土が接触する2相の境界で起こる吸着（佐藤、2001）が要因の一つと考えられ、粘土を湿らせた机上面にも吸着させた後、雌型の端を持ち上げることで粘土と雌型との間にわずかな隙間が生じ、粘土と雌型との間の吸着が弱まったと推察される。

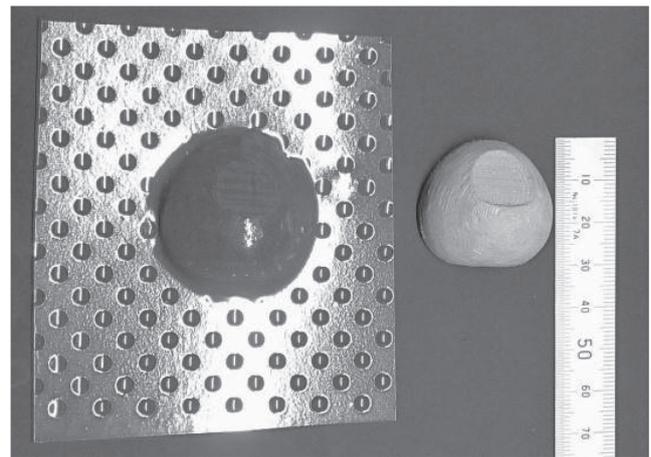


図4 3Dプリンターで作製した原型(右)と真空成型機で型取りした雌型(左)

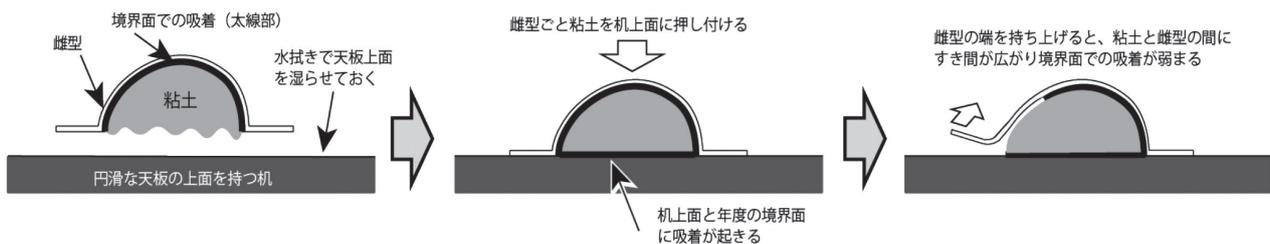


図5 粘土を型取りする際に境界面で起きる吸着（予想模式図）

2-4 「ふようブランド」開発プロジェクトにおけるデジタルファブリケーションの活用

現時点までの「ふようブランド」開発プロジェクトについて、試作した大内人形とデジタルファブリケーションとの関わりを図6に整理する。大内人形（半球状）本体部分は、原型を3Dプリンターで作製した後、これを真空成型機で型取りして粘土成型用の雌型とした。粘土成形品である人形本体の仕上げは、大内塗りに準じた漆塗とする一方、高さが約30mmしかない小さな人形のため、支援学校の生徒にとっては繊細な顔の描画が難しく、本体の塗装とは別の方法で解決する必要が生じた。この対策として、本プロジェクトでは、生徒の巧緻性に合わせた十分な大きさの用紙に顔の輪郭と髪を先に描いておき、そこに生徒がペンで人形の顔を描くようにした。これをシール用紙（A-one、31282）に縮小コピーして『顔シール』とし、人形本体の所定の位置に貼付する。なお、顔シールの作成にあたっては、デジタルファブリケーション機器の一つであるカッティングマシン（brother、ScanNCutDX SDX1010EP）を使用した。この機械は、まず印刷された画像をスキャンしてその輪郭を抽出したのち、任意に設定した距離で輪郭の外側を自動で切り込む機能を備えており、様々な教育場面での活用が期待できる。さらに、本プロジェクトでは、画像作成ソフト（adobe、illustrator 2021）で作成したデータをもとに、厚紙から陳列用スタンドを作成することも試みた。データあるいは画像を読み込むことで、何枚でも同じ型を切り出せる点も優れた点といえよう。

また、今回の試作完成品では、半球状の人形の見栄えを良くするため、木質繊維版（MDF）を扇型に加工し、これを背板として雌雄一対の人形を接着剤で貼り付けた。MDFの加工については、形状データを画像ソフトで作成し、レーザーカッター（FLUX、Beambox）で板から切り出すようにした。レーザー加工特融の切断部の焦げはできるものの、データさえあれば、正確な形状のものをいくつも自動で加工できる点は、デジタルファブリケーション機器ならではの有利さといえよう。

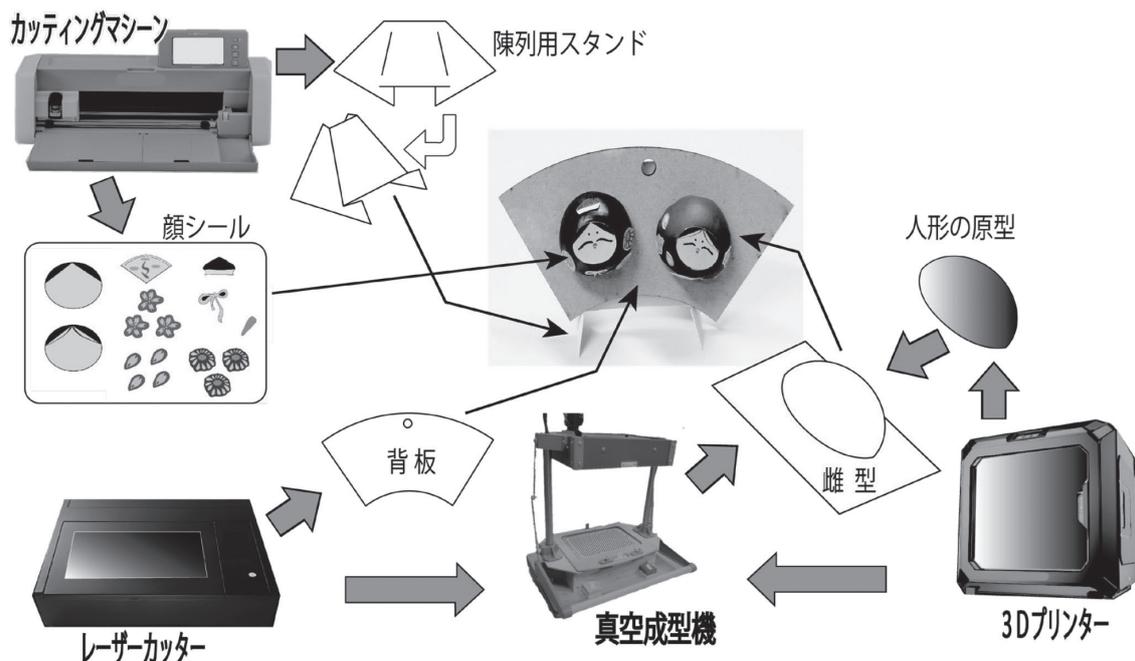


図6 試作した大内人形とデジタルファブ리케이션との関わり

2-4-1 真空成型機

今回のプロジェクトの鍵となった真空成型機は、薄い硬質塩化ビニール板を熱して軟らかくした後、原型となる対象物を覆うように硬質塩化ビニール板を被せながら隙間の空気を吸引し、対象を精密に型取る機械である。身近な例では、樹脂製の鶏卵パックの製造などに使われており、3Dプリンターなどの造形を行う装置と組み合わせることで一層の効果が期待される。

真空成型機については、比較的構造が単純なことから、小品の試作を行う程度の装置であれば自作が可能と考え、本プロジェクト用に試作した。薄い硬質塩化ビニール板を加熱するヒーター部には、市販の小型ホットプレート（YAMAZEN、YHA-W100）のシーズヒーター部を利用し、装置上部に取り付けた。装置本体は、ベース部分に木材、ヒーター部のカバーにベーク板を使用し、支持棒の固定部や可動部、ハンドル用アーム部といった複雑な形状を有する部材を3Dプリンター（MUTHO、Value3D MagiX MF-1100）で製作した。図7に、完成した真空成型機と3Dプリンターで製作した部品の位置を示す。これまでのところ、3Dプリンターで製作した部品の強度や精度は使用上十分で、実用上の問題は生じていない。また真空成型機では、空気を吸引するため、対象物を載せるワークベースに多数の小孔が必要であるが、本装置では、この加工に

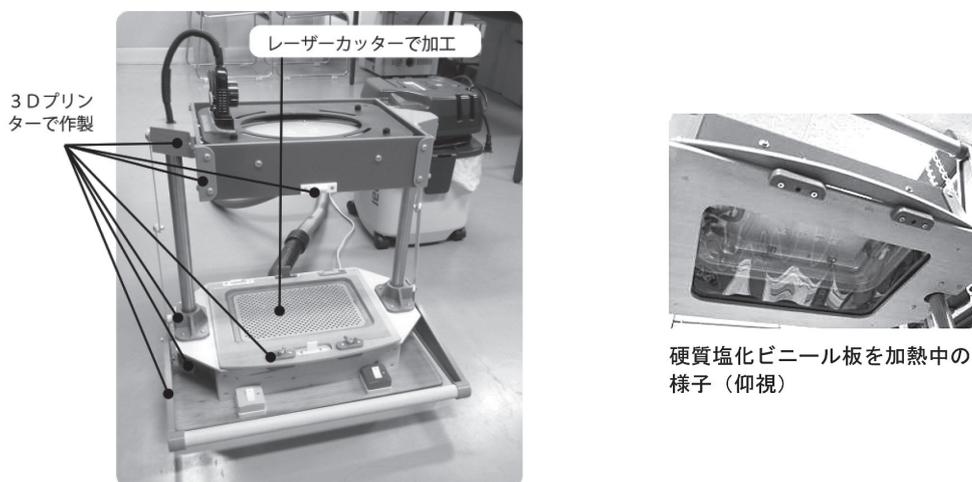


図7 製作した真空成型機
(3Dプリンターで作製した部分は、写真で見えるもののみを示す)

レーザーカッターを使用することで加工作業を大幅に省力化できた。デジタルファブ리케이션を教育に用いるにあたっては、直接加工品を利用することに加え、必要な支援用器具や装置部品製作など、間接的な利用も積極的に工夫、検討される必要があるだろう。

おわりに

本プロジェクトの特徴は、様々な場面で波及が進むデジタル加工機を特別支援学校の学習活動に積極的に活用したことがあげられる。多種類のデジタル加工機の特性を組み合わせたデジタルファブ리케이션となっているだけでなく、デジタル加工機械をマザーマシンのように利用して必要とする新たな装置を製作する試みも行った。現段階は、まだ試行的な域を出ないが、附属特別支援学校の生徒たちの作業は比較的円滑であり、デジタルファブ리케이션技術がその下支えになっている様子が見て取れる。作品や学習支援に関わるアイデアを形にしやすいデジタルファブ리케이션は、学習場面におけるオーダーメイド型の教材を比較的容易に提供できるものであり、附属特別支援学校での製品開発という本プロジェクトの性格には、優れて親和性が高かったと考える。

なお、本プロジェクトは、次年度前半から中盤にかけて本格的な作業を控えている。この取り組みが成功するよう、今回得られた知見や反省を生かし、さらなる改善や工夫を加えていきたい。その中で、作業学習としての効果にも焦点をあて具体的な効果や課題を明らかにすることも必要だろう。加えて、多様な学校種や学習内容、学習者にも目を向け、教育場面におけるデジタルファブ리케이션活用、オーダーメイド型の教材の開発についても、さらに基礎的な検討を進めたい。

最後に、本研究を進めるにあたり、ご協力を頂いた山口大学教育学部附属特別支援学校の皆様、特に高等部の生徒の皆様へ深く感謝を申し上げます。また、田中凜さん、原歩未さんには、特別支援学校での授業実施やデジタル加工機械の運用等にご協力を頂きました。お礼を申し上げます。

付記

本研究は、JSPS科研費20K030650001の助成を受けたものです。

引用・参考文献

KOUGEI JAPANホームページ (2021) : https://kogeijapan.com/locale/ja_JP/ouchinuri/(最終アクセス 2021. 11. 19)

石川洋明 (2020) : 『幼児教育の美術・造形活動を支援するデジタルファブ리케이션を活用した教材の研究』, 福岡教育大学紀要, 第69号, 第4分冊, pp. 1-7.

岡村吉永・森岡弘 (2021) : 『フェイスシールドの作製と利用を通じた学校におけるデジタルファブ리케이션活用について』, 山口大学教育学部論叢, 第70巻, pp. 169-174.

川島紀子ほか (2019) : 『3Dプリンタを活用した教材を用いて地域の地形や防災について考えを深める授業実践』, 日本科学教育学会研究会報告, Vol. 34, No. 3, pp. 269-274.

栗田克弘・森戸幹・源田智子・小松裕典・柴田勝・重松宏武 (2020) : 『小中学校における系統性のある新しい理科学習教材の開発授業実践研究Ⅱ～3Dプリンタを活用した地形の授業～』, 山口大学教育学部附属教育実践総合センター研究紀要第50号, pp. 75-86.

佐藤努 (2001) : 『粘土の特性と利用』, 粘土科学, 第41巻, 第1号, pp. 26-33.

中央教育審議会初等中等教育分科会 (2019) : 新しい時代の初等中等教育の在り方 論点取りまとめ (概要)

文部科学省 (2020) : 「GIGAスクール構想」の実現に関する補助事業の概要について (学校ICT活用フォーラム説明資料抜粋)

渡辺ゆうか (2014) : 『ほぼあらゆるものをつくるファブラボ ファブラボ鎌倉における実践とその可能性』, 情報管理vol. 57, no. 9.