

3DCGと3Dプリンタを活用した教育の実践的研究

古賀 崇朗¹, 米満 潔¹, 永溪 晃二¹, 田代 雅美¹, 中村 隆敏², 角 和博³, 穂屋下 茂^{4,5}

A Practical Study of Education Using 3DCG Technology and 3D Printer

Takaaki KOGA¹, Kiyoshi YONEMITSU¹, Kouji NAGATANI¹, Masami TASHIRO¹,
Takatoshi NAKAMURA², Kazuhiro SUMI³, Shigeru HOYASHITA^{4,5}

要 旨

3DCGを用いたコンテンツが身近なものになっている。3DCGは、アニメ、ゲーム、映画、ニュース番組での解説映像など、テレビやインターネット上のコンテンツの様々な場面で用いられている。また、同じく3Dの活用では、3Dプリンタの低価格化が注目を浴びている。3Dプリンタを用いれば、2次元の画面を通してしか見ることができなかった3DCGのデータを、立体的な造形物として出力し、実際に触ることができる。今後、これまでに以上に3DCGの技術を持った人材の育成が求められる。本学では「デジタル表現技術者養成プログラム」を開講し、デジタルコンテンツ制作の技術を持った学生を育成している。プログラムの必修科目には、3DCGのコンテンツ制作について学ぶ科目があり、修了研究の研究テーマには、3DCGを用いたものもある。本稿では、3Dプリンタを導入し、運用することで見えてきた課題や、教育への活用について述べるとともに、本プログラムにおける3DCG制作教育の実践について述べる。

【キーワード】3DCG、3Dプリンタ、デジタルファブリケーション、タンジブル

1. はじめに

近年、「3Dプリンタ」がデジタルモノづくりのツールの一つとして注目されている。低価格化が進み、2015年現在では個人でも購入可能な数十万円のモデルや、中には数万円の価格帯のモデルまで数多く発売されている。また、地域におけるデジタルモノづくりの拠点「FabLab⁽¹⁾」が各地に開設されはじめ、個人でもモノづくりを実施できる環境が整ってきた。しかしながら、3Dプリンタで出力するためには、造形物の3D (3 dimensional) デー

1 学務部教務課 (eラーニングスタジオ)

2 文化教育学部

3 文化教育学部附属教育実践総合センター

4 佐賀大学全学教育機構

5 責任著者

タが必要となる。今後、モノづくりのデジタル化が加速する中で、3Dのデータを扱え、モノづくりへ活用できる人材は確実に求められる。2014年2月にまとめられた経済産業省の「新ものづくり研究会」の報告書では、3Dプリンタを活用した初等・中等教育段階におけるものづくりや、高専・大学における「情報と製造技術」「デザインと製造技術」のハイブリッド人材の育成について、その重要性が述べられている⁽²⁾。

本学では「デジタル表現技術者養成プログラム（以降、「本プログラム」と記す。）⁽³⁾」を開講し、各学部の専門領域に加えて、デジタル表現技術を身につけた人材を育成している。本プログラムの履修学生は、所属学部の専門科目に加えて、本プログラムで開講する対面形式の講義・演習を受講する。必修科目では、画像や映像、Web、3DCG（3 dimensional computer graphics）などのデジタル表現技術を学ぶ。本プログラムを受講した学生は、これからの高度情報化社会を創造するのに必要な先端的な技術を習得し、個人の専門領域とデジタル表現技術を組み合わせた新たな知的活動の担い手として活躍が期待できる⁽⁴⁾。また、本プログラムは、2013年度から佐賀大学の新しい教育への取組みであるインターフェース科目の一つになっている。本稿では、3Dプリンタを導入し、運用することで見えてきた課題や、教育への活用について述べるとともに、本プログラムにおける3DCG制作教育の実践について述べる。

2. 3Dプリンタの導入と教育への活用

3Dプリンタを用いることにより、製造業のプロセスは大きく変化する。これまでの加工や成形方法を経ることなく、直接出力することが可能になる。また、壊れた部品を新たに作り出し、修理用の部品として利用することもできる。医療分野でも、3Dプリンタで出力した模型を使つての診断の説明や、手術前のシミュレーション、義手や身体に装着あるいは埋め込んで使用する医療器具を作り出す研究などが行われている。3Dプリンタや3Dスキャナを用いた「個人のフィギュアの制作」などの新たなサービスが生まれ、利用され始めている。今後、更に様々なサービスが生まれ拡大していくと言われている。それにともない、デジタルコンテンツ制作に限らず、モノづくりの現場においても3DCGの制作スキルを有する人材は必要とされてくる。

3Dプリンタは低価格化が進み、個人でも所有が可能な時代になっている。また、3Dプリンタやレーザーカッターなどのデジタル工作機器を備える市民工房であるファブラボ（FabLab）は、世界中に存在し、個人による自由なモノづくりの可能性を拡げ、「自分たちの使うものを、使う人自身がつくる文化」を醸成することを目指している。日本でも拠点を広げており、本学のある佐賀県でも2014年7月に国内9番目のファブラボ「FabLab Saga⁽⁵⁾」がオープンしている。

2.1 3Dプリンタの導入

3Dプリンタには、「光造形方式」「粉末焼結方式」「熱溶解積層方式」「石膏積層方式」など、様々な方式が存在している。その方式により、造形に使用する材料や、導入金額も大きく異なる。今回、次の点を考慮し、石膏粉末積層型の3Dプリンタ⁽⁶⁾の導入を決定した⁽⁷⁾。導入した3Dプリンタとその内部を図1に示す。

- ① 積層ピッチを狭くすることで曲面成型時の滑らかさを保持させ、3Dデータを高精度に造形表現できる。
- ② ラピッドプロトタイプング用として成形時間が短く、サポート材をなるべく使わず、使ったとしても速やかに簡易な方法で除去できる。
- ③ 視覚的なデザイン確認のために着色機能が備わっており、成形に合わせフルカラーで確認できる。
- ④ ある程度の強度を持ち、持ち運びが可能でプレゼン等での使用に耐える成形物ができる。



図1 導入した3Dプリンタとその内部

石膏粉末積層型の3Dプリンタでは、材料となる石膏粉末の層を作り、その上から断面データの形状を元に水溶性の固定剤をヘッドから噴射し、石膏を固化させる。この工程を1層ごとに繰り返し、造形を行う。材料が石膏であるため、他の造形方法に比べると強度が低い面はあるが、着色して出力することができ、出力速度も速い。固化させなかった粉末は、造形物の周りにそのまま充填された状態になるため、他の造形法のようにサポート材を必要としないのが特徴である。以降、本稿では今回導入した石膏粉末積層型の3Dプリンタを「本3Dプリンタ」と記す。

2.2 導入した3Dプリンタによる出力の工程

今回、本学の公式マスコットキャラクターである「カッチーくん」をAutodesk社の3ds Maxでモデリングし、本3Dプリンタによる出力を行った。「カッチーくん」を出力することで、本3Dプリンタによるカラー出力での発色や曲面の造形精度、更に翼や指などの薄い部分や細い部分の表現精度や強度を確認できる。また、造形物はキャラクターの頭が大きく、重心が高い位置にあるが、あえて台座も設けておらず、足だけではバランスが悪く自立しないことが想定されるので、翼や尾を接地するように調整してモデリングを行っている。カラー着色が必要であるため、VRML (Virtual Reality Modeling Language) 形式を使用した。今回の検証では87mm×43mm×60mm (X軸：横幅×Y軸：奥行き×Z軸：高さ) の大きさで出力した(図2)。本3Dプリンタでの出力時間は、出力する積層数に大きく依存する。今回は、出力時間の短縮のため、高さを抑え積層数を少なくするように、横に寝かせて配置し出力を行った。

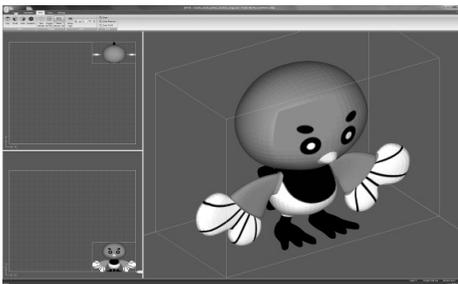


図2 出力ソフト上で造形物を配置した様子



図3 3Dプリンタで出力した造形物

今回導入した3Dプリンタによる造形物の出力では、(1)「造形物の配置・調整」(2)「造形物の造形・乾燥」(3)「余分な石膏の除去」(4) (必要に応じて)「硬化剤の含浸・乾燥」が必要となる(図4)。以下、本3Dプリンタでの3Dデータ出力の工程について述べる。

(1) 出力用ソフトウェアによる造形物の配置・調整

3Dデータは専用の出力用ソフトウェアを通して本3Dプリンタに送られる。ソフトウェア上で、モデリングデータの複製、拡大・縮小や移動など配置の変更が行える。また、Z軸方向(高さ)の出力に時間がかかるため、出力時間を短くするためには、高さが低くなるように配置する必要がある。複数の造形物を同時に出力する場合は、X軸方向に並べて配置すると短時間で効率良く出力できる。出力の際には、出力にかかる時間や消耗品の消費量の目安が表示され、不足が予測される場合には事前に交換を促される。

(2) 造形物の造形・乾燥

本3Dプリンタでの造形は、図1で示す内部左側の造形エリアで行われる。右側のエリアは出力後の処理として、余分な石膏を取り払うエリアである。(1)で示したモデルの出力には、2時間30分程度の時間を要した。なお、出力直後は固定剤が乾燥しておらず強度も低いため、すぐに取り出して使用することは避ける必要がある。造形物の大きさや形状などにもよるが、およそ90分程度乾燥させ、造形エリアから取り出す必要がある。

(3) 余分な石膏の除去

造形物は石膏に埋まった状態で出力されるため、造形エリアから取り出し、余分な石膏を除く必要がある。最初に、付属のパキュームで造形物の周囲にある余分な石膏を大まかに吸い取る。この際、誤って造形物を吸い込んでしまい、破損してしまうのを防ぐため、出力ソフトウェアの画面で造形物の位置を確認しながら行う。細かい部分は、刷毛や筆で周囲の石膏を払い落したのち取り出す。

取り出し後、3Dプリンタ内部右側のエリアにて、付属のエアブラシや筆などを使って、余分な石膏を完全に吹き飛ばす。なお、左右のエリアで吸い出した石膏は集められ、造形に再利用される。

(4) 硬化剤の含浸・乾燥

出力されたままの状態の造形物は、色も薄く強度も弱い。そのため、ほとんどの場合、発色や強度を高めるために、石膏用の接着剤や硫酸塩マグネシウム水溶液を浸透させ、硬化させる必要がある。硫酸塩マグネシウム水溶液の場合は比較的安価であるが、発色や強度が低いため、発色や強度を求める場合には石膏用の接着剤を用いることが多い。全体を含浸後、造形物の大きさや形状にもよるが、およそ30分から6時間程度の乾燥時間が必要である。完成した造形物を図3に示す。

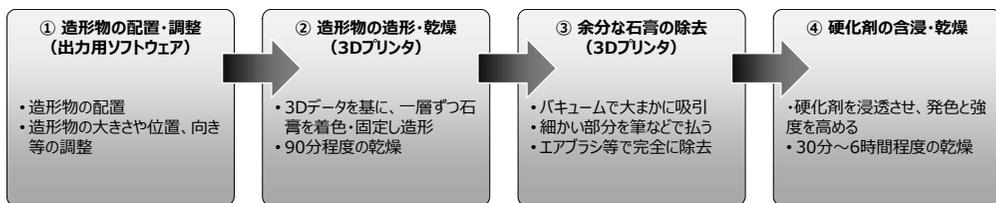


図4 導入した3Dプリンタでの出力の工程

2.3 運用上の課題

その後、出力する構造物の大きさを変えての比較や、出力時の角度を変えての比較による検証を行った。その結果、2～3mm以下の小さい部品や細い部品は、造形は可能だが、造形エリアから取り出す時点や石膏を取り払う過程で破損しやすいことが確認できた。運

用面の課題としては、出力後や定期的に行うメンテナンスが挙げられる。本3Dプリンタでは、最適な出力結果を得るために、出力の後や一定期間ごとに清掃や注油などのメンテナンスを行う必要があり、その際に様々な工具や消耗品が必要になる。工具は標準で付属しており、メンテナンス用の消耗品も精製水やメタノールなど比較的入手しやすいものである。機械である以上、メンテナンスの必要性は理解できるが、メンテナンス時に確認する場所や注意点が多い。またその際に、状態の確認や清掃が構造上行いにくい場所も多く、改善が望まれる部分である。

2.4 教育への活用

3Dプリンタで造形物を出力するためには、造形物の3Dデータが必要である。次章で述べる「デジタル表現技術者養成プログラム」では、3DCGの制作を学ぶ科目が開講されている⁽⁸⁾。3DCGを用いた作品では、モデリングしたCGを静止画像もしくは、キャラクターやカメラに対し動きを設定し映像として書き出す。CGとして画面上に表示するだけでなく、3Dプリンタを活用し、実体のあるモノとして出力することで、CGの設計やデザインなどについて、少人数で意見を出し合うことも行いやすくなる。また、美術工芸のデザインや都市工学の建築デザインなどの分野においても、学生に対してより効果的な教育が可能となる。このようなことから、3Dプリンタの導入は、3DCG教育において単にコンテンツ制作の技術を修得するだけでなく、3DCGに対する興味や理解がより深まり、学部専門教育における教育の質を向上させ、協同学習への活用などの教育効果が期待できる。

3. デジタル表現技術者養成プログラム

本学では2009年度より「デジタル表現技術者養成プログラム」を開講している。本プログラムは表現対象を深く理解し、表現する能力を持つ創造的人材育成を行うものである。本プログラムを履修する学生は、各自の所属学部の専門科目に加えて、本プログラムで開講される必修科目や選択科目を受講し、画像や映像、Web、3DCGなどのデジタルコンテンツの制作について学ぶ。定員は40名で、プログラムの修了には、必修科目8科目と選択科目4科目以上の単位の取得が必要になる。修了要件を満たした学生には、卒業時に所属する学部の学位（学士）に加えて「デジタル表現技術教育プログラム」の修了証を交付する。

本プログラムは開設当初から「社会とのインターフェース」を意識して開講されている。2013年度からは本学の教養教育の新しい目玉である「インターフェース科目⁽⁹⁾」に対応したプログラムとして再編成を行った。2014年度の本プログラムの必修科目を表1に示す。必修科目は1年間に4科目ずつ、2年間で8科目開講され、プロが実際にコンテンツ制作の現場で使用する機器やソフトウェアを用いてコンテンツ制作を学ぶ。全ての必修科目において、自らが制作したコンテンツについての発表を行っており、人前で発表することが苦手な学生でも、数をこなし、プレゼンテーションに慣れさせることを意識している。必

修科目において、3DCGを学ぶ科目は「映像・デジタル表現Ⅱ（アニメーション表現）」「映像・デジタル表現Ⅲ（コンピュータ・グラフィックス表現）」「映像・デジタル表現Ⅳ（デジタル表現修了研究）」の3科目である。以降、本稿ではそれぞれの科目を「アニメーション表現」、「CG表現」、「修了研究」と記す。

表1 必修科目（2014年度）

No.	開講学期	科目名	科目の区分	内容
1	1年次 前期	映像・デジタル表現Ⅰ (デジタル表現入門)	インターフェース科目	著作権や情報倫理の基礎 Illustrator や Photoshopを用いたグラフィックデザイン
2	1年次 前期	Web表現	特定プログラム教育科目	Dreamweaver やPhotoshopを用いたWebサイトの構築
3	1年次 後期	映像表現	特定プログラム教育科目	シナリオの制作、ビデオカメラでの撮影 Premiere Proを用いた映像編集
4	1年次 後期	プログラミング表現	特定プログラム教育科目	NetBeans IDEを用いたPHPによるウェブプログラミングの基礎
5	2年次 前期	デジタル映像表現	特定プログラム教育科目	様々なデジタル映像を活用したAfterEffectsによる高度な動画の編集
6	2年次 前期 (集中講義)	映像・デジタル表現Ⅱ (アニメーション表現)	インターフェース科目	セル、2D、3DCG、Flash、ストップモーション等の各種アニメーション
7	2年次 後期	映像・デジタル表現Ⅲ (コンピュータ・グラフィックス表現)	インターフェース科目	Shadeを用いた3DCGのモデリング、アニメーション、レンダリングの基礎
8	2年次 通年	映像・デジタル表現Ⅳ (デジタル表現修了研究)	インターフェース科目	修了研究作品の制作・展示・発表

3.1 「アニメーション表現」における3DCG制作の教育

「アニメーション表現」は夏休み期間中に集中講義形式で開講される。セル、2D、3DCG、Flash、ストップモーションなどの様々なアニメーションの中から、自分が取り組みたい手法を選択し、最大で数分程度のアニメーションを制作する。講義や演習はApple社のMac OSの端末が整備されたコンピュータ演習室で行う。3DCGアニメーションを選択した学生たちは、Shade3D社のShadeを用いて3DCGアニメーションを制作する。毎年6～8名程度の学生が3DCGアニメーションを選択するが、それまでに3DCGを学んだことがない学生がほとんどであるため、制作画面での三面図の見方や、モデリングやアニメーションの手法を一通り学んだ後に、自分で自由にテーマを決めて3DCGアニメーションの制作を行う。レンダリングしたアニメーションに対し、Adobe Systems社の映像編集ソフトであるPremiere Proで効果音やBGM等の音素材等を合わせ、1本の動画として出力する。

3.2 「CG表現」における3DCG制作の教育

「CG表現」では3DCGのモデリングからアニメーション・レンダリングまでの工程を演習し、3DCG制作の基礎を養う。Shadeを用いて3DCGの制作を行うことは「アニメーション表現」と同様であるが、本科目ではプログラム履修者全員が対象となる。「アニメーション表現」で3DCGを選択した学生以外の学生は、ほとんどが初めての経験となるため、いきなり3Dの内容から入らずに、2Dの内容から学ぶ。自分が創造するキャラクターをまずは紙の上でデザインし、そしてIllustratorを用いて三面図に起こし、それを基にShadeを用いて

3DCGを制作する（図5）。

3.3 「デジタル表現修了研究」における3DCG制作の教育

本プログラムの集大成と位置づけられる「デジタル表現修了研究」は通年の科目であり、長期間に渡りコンテンツを制作する。受講生はセルアニメやショートムービーなどの動画や、プログラミングを用いたインタラクティブなコンテンツなど、様々なテーマの中から1つを選択し、作品を制作する。CG表現やアニメーション表現ではShadeを用いて3DCGの制作を行っているが、修了研究では、より高度で実践的な作品制作のため3ds Maxを用いて3DCGのモデリング・アニメーション・レンダリングを行う（図6）。シーンごとに出力されたアニメーションは、必要に応じてAfter Effectsで効果を加えて使用する。また、別途収録したナレーションやキャラクターのセリフなどの音声、BGMや効果音などの音素材も合わせ、Premiere Proを用い、5～10分程度の映像として編集し書き出す。

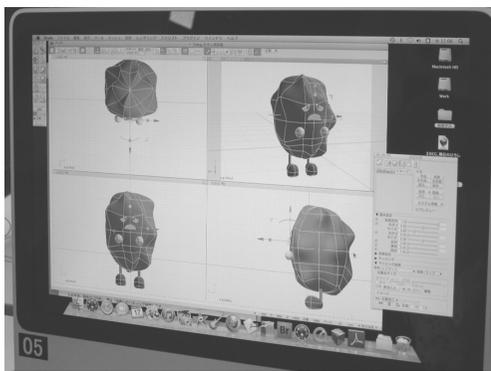


図5 「CG表現」での作品制作の様子

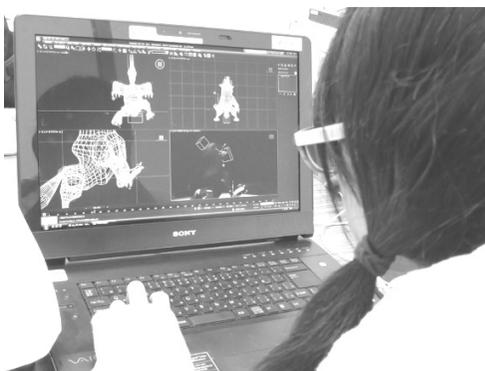


図6 「修了研究」での作品制作の様子

4. アンケート調査の結果

2012年度と2013年度のCG表現の授業最終日に、オンライン上でのアンケート調査を実施した。なお、アンケート調査に回答した学生は2012年度が24名、2013年度が32名であった。

4.1 満足度について

CG表現の授業に対する満足度について5段階の中から選択したものの集計結果を図7に示す。2012年度、2013年度ともに満足度が高く、80%以上の学生が「大変満足している」または「満足している」と答えており、「満足していない」や「全く満足していない」と答えた学生はいなかった。記述式の感想では3DCG制作の難しさを挙げる学生が多かったが、その分、完成した時の満足感も高いようだ。

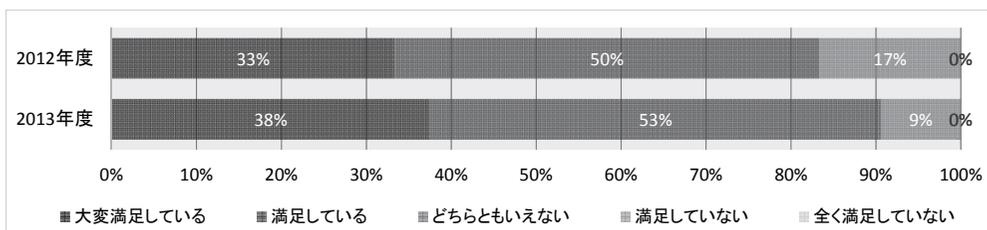


図7 授業内容の満足度

4.2 コンピュータを使った作品制作について

コンピュータを使った作品制作の感想(複数選択可)についての調査結果を図8に示す。半数以上の学生が高い充実感を味わっている。一方で、課題としての作品作りは大変という声も多かった。記述式の感想にも「3DCGの制作を学び、その大変さを痛感した」「3Dのモデリングは非常に難しかったが、成果として作品ができるのは非常にうれしかった」「CGを作ることは今までなかったので、難しく感じる面もありましたが、作品を作ることのできることで実践的なことができてよかった」等の意見があった。3Dという初めて触れる分野で、ソフトウェアの使い方もこれまでのものと大きく違う点が新鮮だが難しいと感じたようだ。その他には「平面よりこの授業のような立体作品に興味があったのでおもしろかった」「建築物のような複雑なモデルもやってみたいと思った」などの感想が見られた。

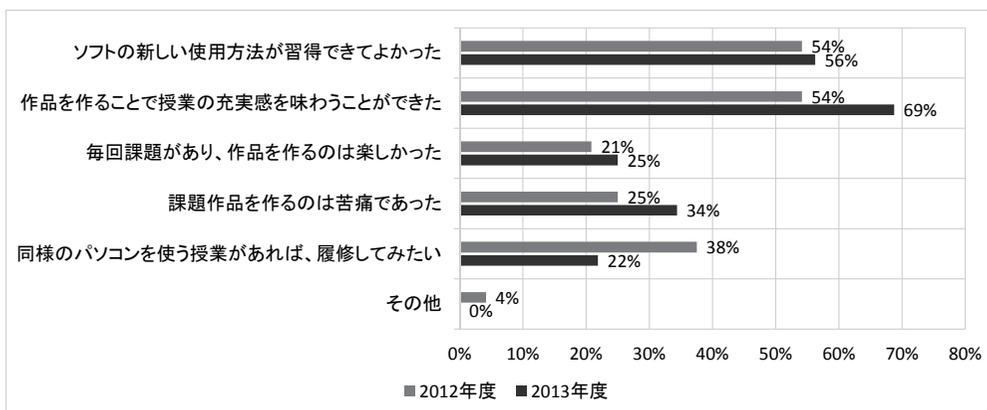


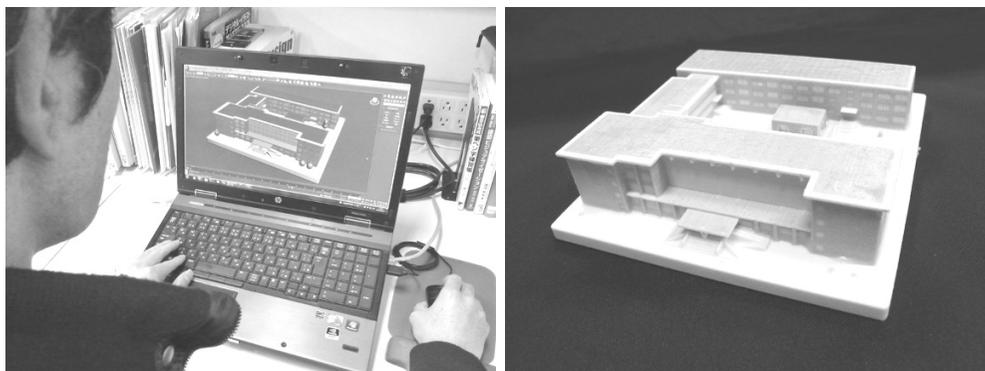
図8 PCを用いた作品制作についての感想

5. 今後の展開

筆者らは現在、佐賀大学キャンパスの3DCGを制作するプロジェクトを推進している。3Dデータの制作はeラーニングスタジオスタッフの指導の下、本プログラムの修了生3名を中心に行われている。キャンパスの3DCGは、最終的には現在だけでなく過去の様子も再現する予定である。まずは資料が豊富で、現場ですぐに確認を行うことが可能で作りや

すい、現在の佐賀大学本庄キャンパスの東側、文系エリアから制作を行い、今後は理系エリアへと広げていく。3DCGの制作の様子と3Dプリンタで出力した教養教育1号館及び文化教育教育学部9号館の模型を図9に示す。今後、様々な分野において3Dデータや3Dプリンタを扱える人材が求められることは明らかである。しかし、この分野の人材育成は欧米諸国に比べると日本は遅れているのが現状である。第1章で触れた経済産業省の「新ものづくり研究会」の報告書では、「大学や高専のような高等教育においては、各学科を融合しつつ、デジタルモノづくりの時代に見合った人材を育成することが必要である。」と述べられている。本学では今後、県立有田窯業大学の統合や芸術学部（仮称）の新設が計画されており、更にこの分野の教育・研究を進めていく必要がある。

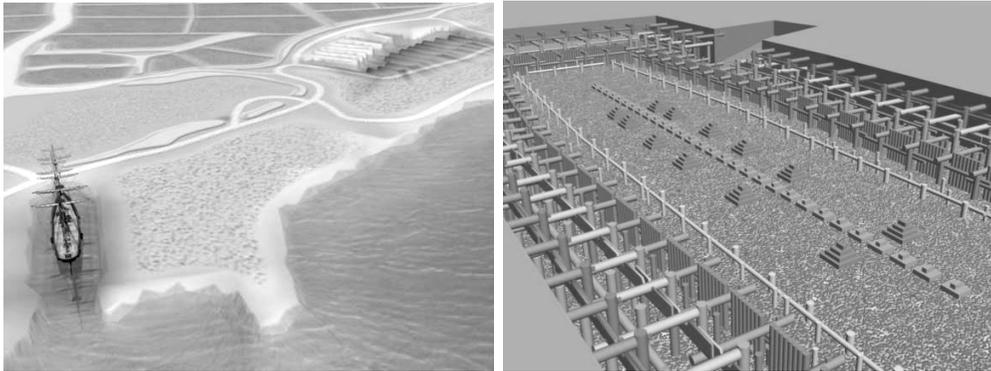
本稿でこれまでに述べた内容以外にも、3DCGを用いた歴史的文化遺産の再現や、3Dプリンタによる食器のモックアップや建造物模型の制作などを行ってきた。歴史的文化遺産は、形を残していないものや、遺構として地中に存在し取扱いが難しいものも多い。3DCGを導入して形状や状況を分りやすく表現できれば、遺産の説明や保存に大きく貢献する。また、それを3Dプリンタで出力し、実体化することにより、地中に埋没された文化財や既に形を留めていない建造物などを、より正しく理解できる。さらに後世に伝えることができ、教育的観点からも有用な技術である。歴史的文化遺産の復元研究の例として、現在世界遺産登録への取組が進められている佐賀藩海軍の三重津海軍所跡⁽¹⁰⁾の景観と、その特徴である修覆場地区におけるドックの木製の護岸の構造を3DCGで再現したものを図10に示す。(a)は三重津海軍所全体の当時の様子を再現したものであり、(b)はドックの護岸構造を再現したものである。これらの3DCGのコンテンツ制作技術を基に、今後は西洋式反射炉やアームストロング砲などの3DCG映像による復元や、地域活性化事業としてAR（拡張現実）による観光マッピング、医療分野では内臓、筋肉、骨の動きなど可視化などの研究を進めていく。さらに、他の方式の3Dプリンタや3Dスキャナを導入し、窯業の陶磁器や工業の部品等の「モノづくり」の実践的研究を計画している。



(a) 3DCG 制作の様子

(b) 3D プリンタで出力した模型

図9 3DCG で制作した本庄キャンパス教養教育1号館および文化教育教育学部9号館



(a) 三重津海軍所の景観

(b) ドックの護岸構造

図10 3DCGで再現した三重津海軍所

6. まとめ

本稿では、石膏粉末積層型の3Dプリンタを導入し、出力の工程や運用面での課題について述べるとともに、教育への活用について述べた。また、「デジタル表現技術者養成プログラム」における3DCGに関する科目「アニメーション表現」、「CG表現」、「修了研究」での3DCG制作教育の実践について述べた。その中で、以下の結果および知見が得られた。

- 3DCGで制作した複雑な形状のキャラクターや建築物の模型を3Dプリンタでカラー出力し、複数個造形できた。
- 2～3mm以下の小さい部品や細い部品は、造形は可能だが、造形エリアから取り出す時点や石膏を取り払う過程で破損しやすいので、予め太くしておく必要がある。
- 造形に時間を必要とするので、高さを抑えて配置するような工夫が必要である。
- 地中に埋没する文化財や、原型を留めていない建築物を3DCGで可視化することにより、教育に有効に利用できる。
- 3DCGのコンテンツ制作は学生に高い充実感を与えている。

これまではコンピュータの画面上で確認するだけだった3DCGも、さらに、3Dプリンタで出力すれば、実際に形にすることで、タンジブルなコンテンツとして、直接触れることができ、実感を持たせることができる。3DCGや3Dプリンタに関する研究は、様々な分野で必要とされている。また、教育的にも学生が興味持つ分野であり、人材の育成が必要とされている。改めて大学教育等の一環に組み込むことが重要であることを認識した。今後に研究や教育を進め、3DCGの技術を持ち3Dプリンタを扱える人財（材）を育成していきたい。なお、導入した3Dプリンタは「地（知）の拠点整備事業（大学COC事業）」によって整備された。また、アンケート調査に協力して頂いた学生たちに、この場を借りて感謝の意を表す。

引用・参考文献

- (1) FabLab Japan
<http://fablabjapan.org/> (2015/01月11日アクセス)
- (2) 経済産業省「新ものづくり研究会」報告書について (平成26年2月21日)
http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/seisan/new_mono/report01.html (2015/1/18アクセス)
- (3) デジタル表現技術教育プログラム：
<http://net.pd.saga-u.ac.jp/digi-pre/> (2014/12/19アクセス)
- (4) 古賀崇朗, 中村隆敏, 藤井俊子, 高崎光浩, 角和博, 河道威, 永溪晃二, 久家淳子, 時井由花, 田代雅美, 米満潔, 田口知子, 穂屋下茂: “就業力を育むデジタル表現技術者養成プログラムの実践”, 佐賀大学全学教育機構紀要, 創刊号, 佐賀大学全学教育機構, pp. 79-91 (2013).
- (5) FabLab Saga
<https://www.facebook.com/FabLabSaga> (2015/1/11アクセス)
- (6) ProJet® 460Plus | www.3dsystems.com
<http://www.3dsystems.com/zh/3d-printers/professional/projet-460plus> (2015/1/11アクセス)
- (7) 米満潔, 古賀崇朗, 永溪晃二, 田代雅美, 中村隆敏, 角和博, 穂屋下茂: 実物生成による3DCG学習の実質化とその方略, 教育システム情報学会, 第39回全国大会 (和歌山大学), pp.103-104 (2014).
- (8) 米満潔, 古賀崇朗, 永溪晃二, 田代雅美, 中村隆敏, 角和博, 穂屋下茂: 3Dプリンタを活用した教育についての研究, 2014九州PCカンファレンス (APU), pp.29-30 (2014).
- (9) インターフェース科目
http://www.sao.saga-u.ac.jp/admission_center/interface.html (2014/12/20アクセス)
- (10) 三重津海軍所跡を世界遺産へ
<http://www.pref.saga.lg.jp/sy-contents/sekai-isan/> (2015/1/18アクセス)

※ 本稿に記載されている社名および商品名は, それぞれ各社が商標または登録商標として使用している場合があります。