

Title	手描きドローイングが3D CADに与える創造性の考察～デジタル材育成の取組を通して～
Author(s)	中村, 翼
Citation	
Issue Date	2022-09
Type	Thesis or Dissertation
Text version	ETD
URL	http://hdl.handle.net/10119/18127
Rights	
Description	Supervisor:永井 由佳里, 先端科学技術研究科, 博士

手描きドローイングが3D CADに与える創造性の考察

～デジタル人材育成の取組を通して～

中村翼

主指導教 永井 由佳里

北陸先端科学技術大学院大学

先端科学技術研究科
(知識科学)

令和4年9月

Abstract

We are being asked to respond quickly to digital transformation. Digital data has made it possible for us to communicate with the rest of the world in an instant. In particular, we are living in an era in which 3D data enables even physical objects to be moved instantaneously. The spread of digital data is expected to bring about new innovations in digital fabrication technology, as typified by 3D printers, and in fact, a society in which digital manufacturing based on sensitivity and creativity is truly utilized is expected.

However, there are only a certain number of engineers who have the skills to create 3D data, both in companies and among the general public, making the development of digital human resources an urgent task. Among digital human resources, this survey focuses on 3D CAD, which can be utilized in the manufacturing industry and for 3D printing. First, we explored the problems of users in fab facilities, and then conducted a practical survey in actual 3D CAD lectures. We believe that practical education on 3D CAD education can accelerate user innovation and contribute to the development of digital human resources through the use of digital fabrication technology.

The research aimed to clarify the influence of hand-drawn drawings on creativity in 3D CAD education, specifically, the influence of drawings on realization and expression in 3D CAD practical education. The subjects were students majoring in product design who belonged to the Faculty of Art, and they were asked about their "ability to realize 3D data shapes" to create data that can be 3D printed and about their "ability to create new shapes that have never existed before" created with 3D CAD. The survey was conducted on two points: "the ability to realize 3D data shapes" to create 3D printable data, and "the ability to express 3D data shapes" created with 3D CAD. In the process of learning 3D CAD, we will investigate how two types of drawings, hand-drawn three-dimensional drawings and hand-drawn drawings, affect 3D CAD. The research method was to compare the two methods, drawing three-view diagrams and free drawing, respectively, in order to create ideas conceived by the students. The results showed that drawing a three-view diagram increased the evaluation of "feasibility of 3D data shape," which is a "modeling technical skill," but "expressiveness of 3D data shape," which is a "technical skill to express accurate shapes," tended to fall short of the expected value. Conversely, in the case of free drawing, the "expressiveness of 3D data shape" tends to be relatively high, despite the fact that accurate drawings are not drawn. In addition, we also found some cases in which "expressiveness of 3D data shape" was improved in individual drawing styles. These results provide useful guidelines for creativity in hand-drawn drawings and 3D CAD, which is the key to the development of digital human resources in the future.

Keywords 3DCAD, Education, digital fabrication, Creativity

目次

第1章 序章.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.1.1 デジタルトランスフォーメーションについて	1
1.1.2 デジタルファブリケーション技術について	15
1.1.3 ファブ施設と実践教育について	17
1.1.4 3D CAD 教育について	21
1.2 研究目的とリサーチクエスチョン	25
1.3 研究の意義と新規制.....	27
1.4 論文の構成.....	30
第2章 先行研究	33
2.1 デジタルファブリケーションと実践教育	33
2.1.1 デジタルファブリケーションによる実践教育と問題点	33
2.1.2 実践コミュニティとファブ施設の問題点.....	36

2.2 創造性に関する研究.....	46
2.3 3D CAD 教育に関する研究.....	51
第 3 章 研究の方法.....	54
3.1 ファブ施設での事例調査.....	55
3.2 ファブ施設でのワークショップでの調査	62
3.3 アイデアコンテストにおける調査.....	66
3.4 3D CAD 教育における個人とグループワークの創造性の違いについて ..	78
3.5 手描きドローイングと 3D CAD における研究.....	84
3.5.1 評価内容.....	86
3.5.2 評価対象.....	89
第 4 章 結果.....	93
4.1 手描きドローイングが 3D CAD に与えた内容分析	95
4.1.1 三面図を描いた場合	95
4.1.2 自由にドローイングを描いた場合	106
4.2 3D CAD における実現力と表現力の評価.....	117
4.2.1 手描きの三面図をドローイングした場合の実現力と表現力の評価	118
4.2.2 自由にドローイングをした場合の実現力と表現力の評価	119
4.3 三面図と自由にドローイングを描いた場合の比較	121

4.4 手描きドローイングが 3D CAD にあたえる創造性	124
4.4.1 手描き三面図が 3D CAD に与える実現力と表現力	124
4.4.2 手描きドローイングが 3D CAD に与える実現力と表現力	126
4.5 手描きのドローイングが 3D CAD に与える影響	129
4.5.1 手描きドローイングの 2D 思考と 3D CAD の 3D 思考	131
4.5.2 手描きドローイングが創造性に与える影響	133
4.6 手描きドローイングと 3DCAD の創造性向上モデル	135
第 5 章 結論	140
5.1 本研究の結論	140
5.1.1 サブリサーチクエスション (SRQ) への回答	141
5.1.2 メジャー・リサーチクエスション (MRQ) への回答	144
5.2 今後の展望	145
5.3 知識科学への貢献	147
謝辞	150
引用文献	152

目次

図 1:1：設計プロセスにおける 3D データの活用率.....	4
図 1:2：協力企業への設計指示の方法.....	5
図 1:3：2D データや図面で設計指示をしている理由.....	6
図 1:4：SOCIETY 5.0 で実現する社会.....	7
図 1:5：トヨタのデジタル化が目指すもの.....	8
図 1:6：開発プラットフォーム（FTCP [®] ）.....	9
図 1:7：3D 設計システム（3D CAD）普及率推移.....	10
図 1:8：図面の品質に起因するトラブルの傾向.....	11
図 1:9：デジタルファブリケーション機器一覧.....	16
図 1:10：3D CAD 教育の範囲（著者作成）.....	22
図 1:11：論文の構成.....	32
図 2:1：各大学に導入されている機材数.....	34
図 2:2：調査で行われている教育プログラムの代表例.....	35
図 2:3：3D プリンタ屋でのワークショップの様子.....	38
図 2:4：3D データのプリント依頼と 3D データ作成依頼の割合.....	39
図 2:5：3D プリンタ屋に訪問している職業分布.....	41
図 2:6：ファブ施設に来る 3D プリントを利用したいユーザーの分類.....	43
図 2:7：新しい経験.....	44
図 2:8：3D プリンタを理解.....	45
図 2:9：ニーズを発見するイメージ.....	45
図 2:10：ニーズを実験するイメージ.....	46
図 2:11：構想力の知識創造プロセス（一部筆者リライト）.....	49
図 3:1：検証計画の立案の手順.....	54
図 3:2：ファブ施設でのユーザー事例.....	56
図 3:3：新旧プロトタイプの差（左：旧モデル 右：新モデル）.....	57
図 3:4：自身のデザインの完成を喜ぶユーザー.....	58
図 3:5：2D に厚みをつける事例.....	60
図 3:6：ガイドや型として使用する例.....	60
図 3:7：カバーとして使用する例.....	61
図 3:8：オリジナル製品を作成する例.....	61
図 3:9：修理パーツを作成する例.....	62

図 3:10 : 3D プリントとテキスタイル生地を使用したバックル	63
図 3:11 : 3D プリントバックルのワークショップの様子	64
図 3:12 : 店頭でのワークショップの様子	65
図 3:13 : 3D プリントされた電車型 USB メモリ	65
図 3:14 : ファブラボ太宰府で行われたデザインワークショップの様子 (左) とプロダクト	70
図 3:15 : 「初めての親子ものづくり体験」ワークショップの様子	71
図 3:16 : アイデアを具体的に創造するためのドローイング	73
図 3:17 : 実際に使用している様子 (右) と 3D CAD の画面	75
図 3:18 : ビジネスコンテストのプレゼンテーションと審査の様子	76
図 3:19 : 手描きドローイングにて発案されたコンテストアイデア	77
図 3:20 : 洗濯バサミのサンプル (左) と 3D CAD のサンプル	80
図 3:21 : テープカッターのサンプル (左) と 3D CAD のサンプル	81
図 3:22 : スケッチワークシート	81
図 3:23 : : 実験参加者のスケッチワークシート (左) と 3D プリントされた課題	82
図 3:24 : 「グループワークでの気づきがあったか？」評価	83
図 3:25 : 第三者による評価の様子	84
図 3:28 : WEB ブラウザで 3D データでの確認方法	92
図 4:1 : 三面図のドローイングと自由に描くドローイングのワークフロー	93
図 4:2 : 三面図にドローイング 実験参加者 1	96
図 4:3 : 三面図にドローイング 実験参加者 2	97
図 4:4 : 三面図にドローイング 実験参加者 3	97
図 4:5 : 三面図にドローイング 実験参加者 4	97
図 4:6 : 三面図にドローイング 実験参加者 5	98
図 4:7 : 三面図にドローイング 実験参加者 6	98
図 4:8 : 三面図にドローイング 実験参加者 7	99
図 4:9 : 三面図にドローイング 実験参加者 8	99
図 4:10 : 三面図にドローイング 実験参加者 9	100
図 4:11 : 三面図にドローイング 実験参加者 10	100
図 4:12 : 三面図にドローイング 実験参加者 12	101
図 4:13 : 三面図にドローイング 実験参加者 12	101
図 4:14 : 三面図にドローイング 実験参加者 13	102
図 4:15 : 三面図にドローイング 実験参加者 14	102
図 4:16 : 三面図にドローイング 実験参加者 15	103
図 4:17 : 三面図にドローイング 実験参加者 16	103
図 4:18 : 三面図にドローイング 実験参加者 17	104
図 4:19 : 三面図にドローイング 実験参加者 18	104

図 4:20：三面図にドローイング 実験参加者 19.....	105
図 4:21：三面図にドローイング 実験参加者 20.....	105
図 4:22：三面図にドローイング 実験参加者 21.....	106
図 4:23：自由にドローイング 実験参加者 1.....	107
図 4:24：自由にドローイング 実験参加者 2.....	107
図 4:25：自由にドローイング 実験参加者 3.....	108
図 4:26：自由にドローイング 実験参加者 4.....	108
図 4:27：自由にドローイング 実験参加者 5.....	108
図 4:28：自由にドローイング 実験参加者 6.....	109
図 4:29：自由にドローイング 実験参加者 7.....	109
図 4:30：自由にドローイング 実験参加者 8.....	110
図 4:31：自由にドローイング 実験参加者 9.....	110
図 4:32：自由にドローイング 実験参加者 10.....	111
図 4:33：自由にドローイング 実験参加者 11.....	111
図 4:34：自由にドローイング 実験参加者 12.....	112
図 4:35：自由にドローイング 実験参加者 13.....	112
図 4:36：自由にドローイング 実験参加者 14.....	113
図 4:37：自由にドローイング 実験参加者 15.....	113
図 4:38：自由にドローイング 実験参加者 16.....	114
図 4:39：自由にドローイング 実験参加者 17.....	114
図 4:40：自由にドローイング 実験参加者 18.....	115
図 4:41：自由にドローイング 実験参加者 19.....	115
図 4:42：自由にドローイング 実験参加者 20.....	116
図 4:43：自由にドローイング 実験参加者 21.....	116
図 4:44：自由にドローイング 実験参加者 22.....	117
図 4:45：自由にドローイング 実験参加者 23.....	117
図 5:1：自由にドローイング 実験参加者 9.....	128
図 5:2：自由にドローイング 実験参加者 18.....	129
図 5:3：2D の創造思考と 3D の創造思考.....	131
図 5:4：2D 思考と 3D 思考における創造性の割合イメージ.....	132
図 5:5：三面図を描いた場合の 3D データの実現性と創造性の全体傾向.....	134
図 5:6：ドローイングをした場合の 3D データの実現性と創造性の全体傾向.....	134
図 5:7：DESIGN PROCESS AS ITERATION OF DIVERGENCE AND CONVERGENCE STEPS OR PROTOTYPE CYCLES.....	135
図 5:8：ドローイング後の 3D CAD における創造性エリア.....	137
図 6:1：手描きドローイングが 3D CAD に与える創造性のイメージ図.....	145

表目次

表 2.1：本研究のプロセス	54
表 2.2：設問の一覧.....	79
表 2.3：実験参加者のコメント	83
表 2.4：初心者のデザイナーにおけるデザイン能力リスト（筆者が一部抜き出し）	87
表 2.5：実験参加者の評価項目.....	89
表 3.1：三面図を描いた場合の 3D データ形状の実現力と表現力の評価	118
表 3.2：自由にドローイングを描いた場合の 3D データ形状の	120
表 3.3：三面図を描いた場合の（縦軸）3D データ形状の創造性と（横軸）3D データ形状の実 現性の分散図.....	121
表 3.4：自由にドローイングを描いた場合の（縦軸）3D データ形状の創造性と（横軸）3D デー タ形状の実現性の分散図.....	122
表 4.1：手描き三面図と自由にドローイングした場合の評価比較.....	130

第1章 序章

1.1 研究背景

1.1.1 デジタルトランスフォーメーションについて

我々はデジタル・トランスフォーメーション（以下 DX）と言われるデジタルデータによる変革の時代に生きている。DX は元々2004 年にスウェーデンのウメオ大学のエリック・ストルターマン教授によって定義された [3]。その内容は「進化し続けるテクノロジーが人々の生活を豊かにしていく」というもので「Digital Transformation」という言葉でデジタルの変革と定義されている。DX は「Digital Transformation」とスペルが異なる。例えば「デジタル社会形成の司令塔として未来志向の DX を大胆に推進し、デジタル時代の官民のインフラを今後 5 年で一気に作り上げることを目指す」という目的でデジタル庁が創設された [4]。そのような状況において全てがデジタル化に移行していくことで以前よりもデジタルデータが欠かせない時代である。しかし DX の流れは今に始まったことではない。1 つに特許の切れた 3D プリンタ技術が起点となるデジタルファブリケーション技術 [5]がある。これは特許が切れた安価な 3D プリンタが多く販売され。学校やファブ施設で創発されたアイデアを 3D プリントし

ているのを頻繁に目にする。それは 2012 年に発売されたメイカーズ [6]で安価な 3D プリンタを使った「ユーザー・イノベーション」に期待されている。「ユーザー・イノベーション」とはこれまでものづくりを主体的に行っていなかった一般ユーザーによる、個人のニーズからイノベーションを起こすとされている。今まで大企業しかプロダクトを生産できなかった状態から個人でも主体的に生産できるようになると言われている。Hod Lipson & Melba Kurman (2013) はこの現象を「工場を手にしたアリ」と定義し、2040 年には一般ユーザーがデジタルファブリケーション技術を活用し、自由な表現が可能になると予想している [7]。しかし 3D プリンタを使用するためには 3DCAD を用いた 3D データを作成する必要がある。現状では 3D データを作成できる人材は一部しかおらず、デジタルファブリケーション技術を使い創造性を発揮しながらユーザー・イノベーションをおこなっているユーザーは少数に過ぎない。少数な理由は 3D プリンタに代表されるデジタルファブリケーション技術には 3D CAD という 3 次元ソフトウェアが必須である。3D CAD (CAD)とは computer-aided design の略で日本訳はコンピュータ支援設計とも訳されコンピュータを用いて設計をソフトウェアであり、従来は人間の手によって行われていた設計工程をコンピュータによって支援するソフトである [8]。CAD は 1963 年、米国マサチュー

セツ工科大学のアイバン・サザランド氏の Sketchpad から始まり [9]、三次元化された 3D CAD は製造業などで 2000 年代から多く使われており当時は価格も数千万円で高価であり使用が出来なかった。現在は一般ユーザーが使用できる数万円から趣味範囲であれば無償で利用できるソフトウェアもあり一般化している。それに伴って 3DCAD での需要が増えている。また需要が増え種類多様化することで価格が低下し一般の生活者が使用できる価格になっている。そのことでユーザー・イノベーション [10]への期待は更に高まってきている。一方で国内の製造現場のデジタル化は、古き良き時代の成功事例に執着しており対応が遅れている。ものづくり現場では 3D CAD は設計での創造性となり、言い換えれば開発力の強化になると考えられている。現在のグローバル競争力に勝ち抜く為には DX 化は必要不可欠と言える。設計のデジタル化（3D データでの設計）によって、設計-製造-サービスといったプロセス全体のデジタルデータ連携を進めていくことが重要になる。経済産業省の「我が国ものづくり産業の課題と対応の方向性に関する調査」 [11]によると **Error! Reference source not found.**のように設計プロセスにおける 3D の活用率は 3D データのみで行っている企業はわずか 17%である事がわかっている。

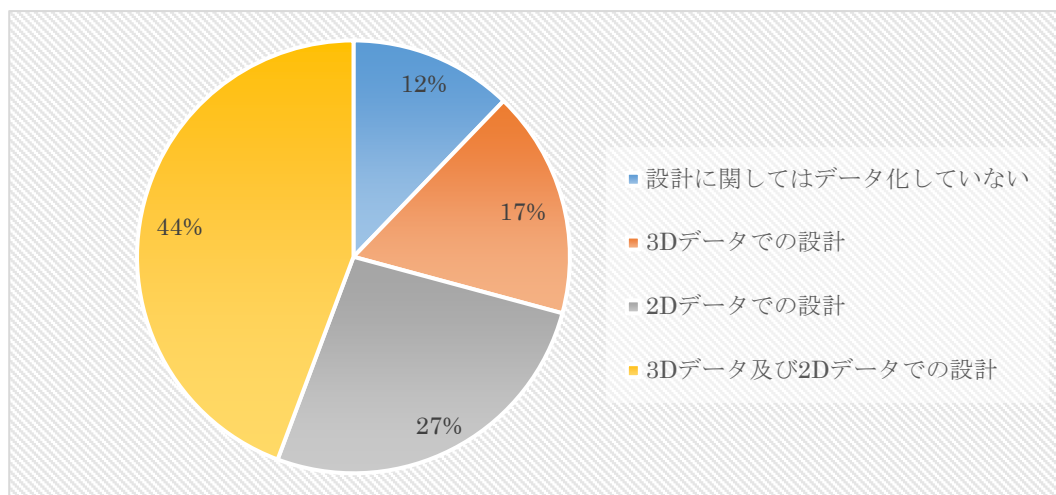


図 1:1：設計プロセスにおける 3D データの活用率

(出典) 三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング(株)「我が国ものづくり産業の課題と対応の方向性に関する調査」[12] (2019 年 12 月)

これは大変低い数値で 3D データでの設計工程は遅れていることがわかる。更に図 1.2 のように「協力企業への設計指示」も 2D データや図面が中心で 3D データを使用した設計指示をおこなっている企業はわずか全体の 16%である。これは企業間の古いビジネス慣行が、3D データでの設計指示を阻害していると指摘されている。[13]

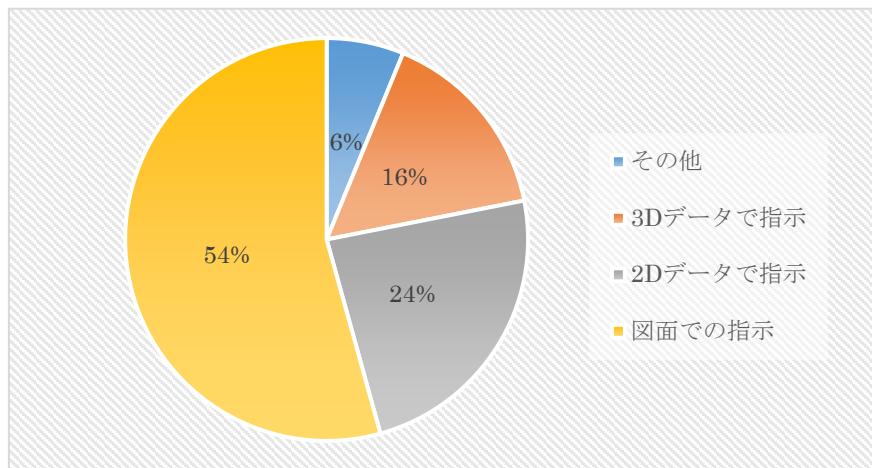


図 1:2：協力企業への設計指示の方法

(出典) 三菱 UFJ リサーチ & コンサルティング (株) 「我が国ものづくり産業の課題と対応の方向性に関する調査」 [13] (2019 年 12 月)

次に 2D データや図面で設計指示をしている理由として図 1:3 のように「主な設計手法は 2D/図面のため」という理由が 50.7%の半数以上ある。次に多い理由は「調達部門が見積もりのために図面を必要とする」こと、「発注内容と現物を照合する現品表を兼ねている」ことが理由となっている [13]。これらがデジタル人材不足を示しており、2D データや図面で設計指示をしている理由である。

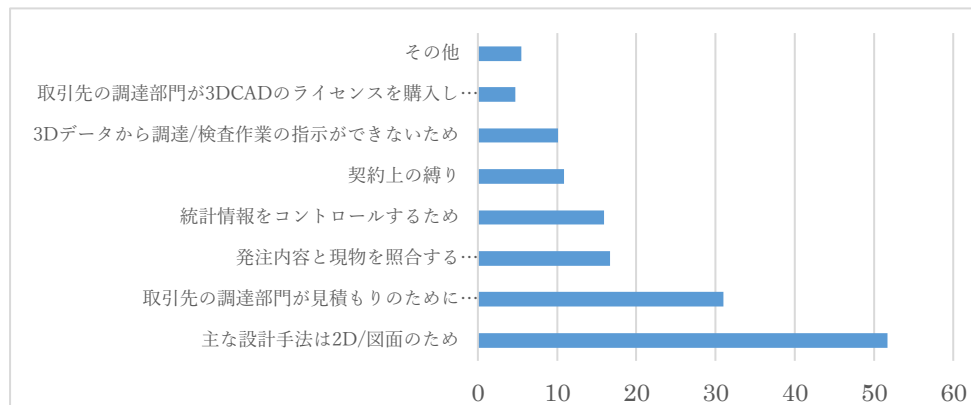


図 1:3 : 2D データや図面で設計指示をしている理由

(出典) 三菱 UFJ リサーチ & コンサルティング (株) 「我が国ものづくり産業の課題と対応の方向性に関する調査」 (2019 年 12 月)

このように新しい製品やサービスを生み出すにはデジタルデータ活用やデータ連携が急務であると言える。数年前から世界各国で DX と連携した国策を定義している。具体的な例はドイツの「インダストリー4.0」 [14]、フランスの「未来の産業 (Industrie du Futur)」 [15]、中国の「中国製造 2025」 [16]などである。このように世界の主要各国が製造業におけるデジタル技術活用として第三次産業革命の次にあたる産業革命を第四次産業革命として対応を進めている。日本も目指すべき社会の姿として“Society 5.0”を定義し、様々なデジタルデータの繋がりによって新たな付加価値の創出や社会課題の解決がもたらすと期待されている。図 1:4 が示すように「Society 5.0 [17]で実現する社会は、IoT (Internet of Things) で全ての人とモノがつながり、様々な知識や情報が共有され、今までにない新たな価値を生み出すことで、これらの課題や困難を克服でき、また、

人工知能（AI）により、必要な情報が必要な時に提供されるようになり、ロボットや自動走行車などの技術で、少子高齢化、地方の過疎化、貧富の格差などの課題が克服される」とされ、日本産業が目指すべき姿として“Connected Industries（コネクテッドインダストリーズ）”というコンセプトを提唱し世界に向けて発信している [18]

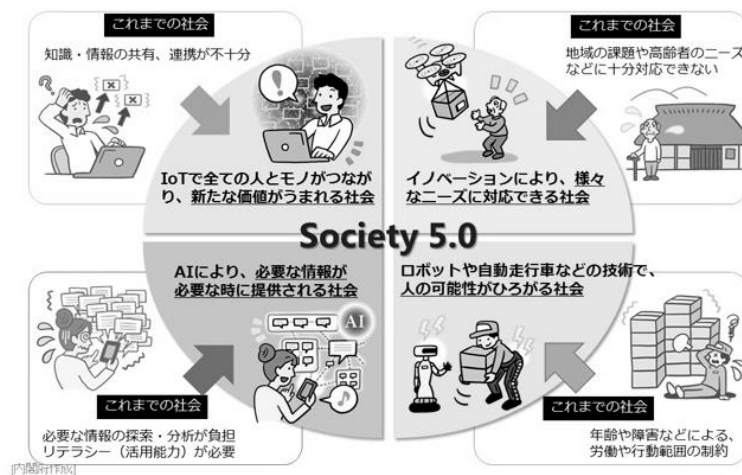


図 1:4：Society 5.0 で実現する社会

（出典）内閣府「Society 5.0で実現する社会」（2019年12月） [18]

具体的には社会変革し、閉塞感を打破し、希望の持てる社会と世代を超えて互いに尊重し合あえる社会を目指すとしている。1人1人が活躍できる社会となると定義されている。「Society 5.0」の提唱により日本企業も以下のような事例を挙げている [19]。例えばトヨタ自動車株式会社では図 1:5 のように「工場 IoT」の事例がある。トヨタ自動車株式会社「工場 IoT」は、3D CAD データなど既存

のデジタル化データを一元管理して工場と現場の部署間の情報共有基盤と定義している。「工場 IoT」の考え方をエンジニアリングチェーンやサプライチェーンに対しても開発・市場・工場をデジタル化で連携することを目的として共同基盤を構築としている。

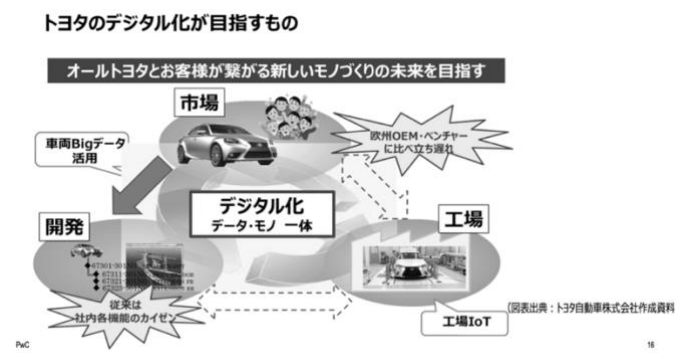


図 1:5：トヨタのデジタル化が目指すもの

（出典） pwc 製造業DX取組事例集 トヨタ自動車株式会社作成資料「トヨタ自動車株式会社「工場IoT」」（2019年3月） [19]

また図 1:6 のように富士通株式会社の仮想大部屋でリアルタイムにノウハウ共有）という事例がある。「仮想大部屋」とはバーチャル空間上で設計部門・製造部門・品質保証部門がデータ共有やデザインレビューをおこなうことができるシステムである。「過去に蓄積された製品データやクレーム情報などのドキュメントや 3D CAD 図面を使用し、開発現場にも製造・保守のノウハウが蓄積され開発が可能となる」としている。

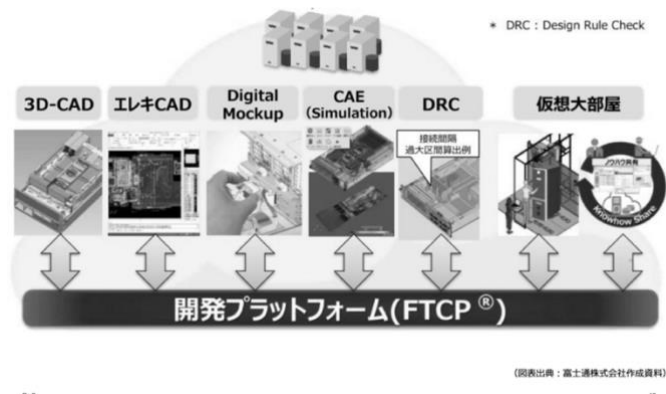


図 1:6：開発プラットフォーム（FTCP®）

（出典）pwc 製造業 DX 取組事例集 富士通株式会社作成資料「共通 PF に各種先端ツールを搭載して開発者に提供」（2019 年 3 月）[19]

以上「図 1:5：トヨタのデジタル化が目指すもの」や「図 1:6：開発プラットフォーム（FTCP®）」のように DX の事例がある。ここで注目したいのが事例に全てに 3D CAD という三次元化できる 3D のソフトウェアが使用されている。これにより DX 化をおこなうには 3D CAD が必要不可欠である。しかし現状は事例で述べたエンジニアリング・チェーンとサプライ・チェーンの強化及び両者の連携にはデジタル技術が不可欠であるにも関わらず 3D データの連携が少ない。図 1:7 に製造業におけるデジタル技術について日本企業の導入状況を示す。まず国内製造業に対して生産プロセスに関する設備の稼働状況等のデータ収集をおこなっているかを調査した。まずデータ収集を行っている企業の割合は 2018 年 12 月調査時の 58.0%よりも 7%減少し、51.0%となっている。しかしそれと同時に 3D CAD によるトラブルも増加傾向にある。このことから推測す

ると 3D CAD とそれを補完する為に 2D 図面を使用する傾向があるということが図 1:8 にて示されている。2008 年からの 3D 設計システム（3DCAD）普及率推移では 2D 図全体の割合は減っているが 3D 単独図の割合は 10 年後も大きな変化はなく増加したのは「3D 図+簡易 2D 図」である。

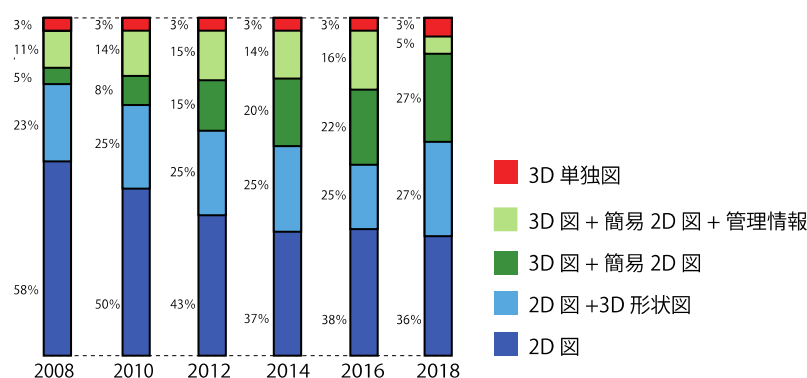


図 1:7：3D 設計システム（3D CAD）普及率推移

（出典）一般社団法人日本自動車工業会「2018年度3D図面普及調査レポート」（2019年3月）

合わせて 3D 図が普及した 20 年近く前は 3 次元モデルのデータを使えば CAM（Computer-Aided Manufacturing：コンピュータ支援製造）[8]で部品を容易に製作できることから「図面レスにしなければ時代遅れだ！」と指摘されている。逆に社内に「3D プリンタが準備されており誰でも自由に使える環境が整備されているのであれば、設計者自身が事前に造形して設計評価し図面を作る前によ

り良い形状に手直しすることができるので、開発スピードを向上させるのに大変効果的だ」という指摘もある。

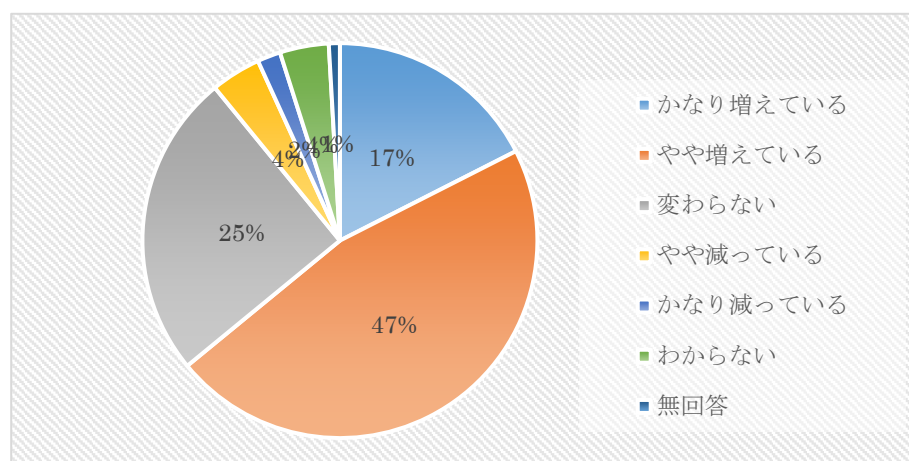


図 1:8：図面の品質に起因するトラブルの傾向

(出典) 日経 XTECH 図面改善<<10 の視点>>【実態編】設計意図が正確に伝わらず品質起因の
トラブル頻発 (2015 年 3 月)

また図 1:7：3D 設計システム (3D CAD) 普及率推移で指摘した問題の中で 2 次元図面のメリットと 3D CAD のメリットを融合した 3D 図面 [20]という技術もあり、更に 3D CAD の製造業での需要は高まると考えられる。具体的には指摘した「図 1:4：Society 5.0 で実現する社会」にて機械・技術・人など様々なモノがデータで繋がることで、新たな付加価値創出と社会課題の解決を目指す産業の在り方である。と同時に具体化する上でカギとなるのは、IoT や AI を始めとする最新のデジタル技術である。下記に DX へ向けた課題として挙げる。

- DXにおける課題①

- 製造業には、企画研究-製品設計-工程設計-生産などの連携。
- 日本は人手不足、属人的改善による部分最適、設備の老朽化等、様々な問題を抱えている。

- DXにおける課題②

- デジタル化は企業変革力強化に有効。
- 製造業のデジタル化や 3D データ活用は、製造工程について、他部署のマーケティングとの連携についても十分に進んでいない。

- DXにおける課題③

- 日本の製造業では、老朽化した基幹系システムが、残存し運営費・保守費が肥大化。デジタル・トランスフォーメーションの足かせになっている。

- DXにおける課題④

- 平時の際の効率性や生産性を重視する企業の IT 投資は旧来の
基幹システム更新や保守が目的

ここで指摘されている項目が全て 3D CAD に関係することではないが、設計の 3D データという製造業の 1 番重要な設計がデータでは状態は今後としては以下の人材が求められている。

- 製造業の DX に求められる人材

- 五年後、現在以上に必要とされるである技能は、デジタル技術を導入し、活用していく能力。
- 「Society5.0」においては、新たな社会(「多様性を内包した持続可能な社会」)の在り方に対応 し、AI を活用しつつ新しい社会をデザインし、新たな価値を生み出すことができる人材が求められている。

次に DX 化に必要な人材のアンケートにおいて工程設計力が低下した理由を尋ねる。まず 79.4%が「ベテラン技術者の減少」、19.1%が「間接部門の人員削減」と回答していることから、ベテラン技能者の退職や人材不足はエンジニアリングチェーンにも深刻な影響があることが分かっている。一方、工程設計力が向上した理由は「生産技術・製造・調達といった他部門との連携強化（79.2%）」、次に「営業、アフターサービスなどから顧客ニーズのフィードバックを強化（26.5%）」、「デジタル人材の育成と確保（22.5%）」が上位に挙げられている。このようにデジタル人材の活躍による部門間連携がエンジニアリングチェーンの強化に有効であることが示唆される [19] [21]。デジタル人材の育成は十分に進んでいないことは指摘している。「IT 人材白書 2019（独立行政法人情報処理推進機構） [22]」の中で IT 企業やユーザー企業に対して行われたアンケートによれば、特に IT 人材の「量」の不足感が強まっている状況がある。デジタル技術を理解している DX 人材の質・量の両面での供給不足はものづくり業界には急務と言えるのではないだろうか。

1.1.2 デジタルファブリケーション技術について

まずデジタルファブリケーションとは、デジタルデータから紙や木・樹脂・金属等の各種素材を使って即時的に「モノ」を製造することを指す。以前から企業の工場や研究所において主に試作開発を目的としてデジタルファブリケーション技術が活用されてきた [23]。このデジタルファブリケーション技術がインターネットと連携することで変革が起こるとされており DX や IoT/AI での活用も期待されている。これはデジタルデータの創造が行われてきたサイバー空間に存在する「情報」とものづくりが行われてきたリアル空間に存在する「モノ」が、自在に行き交う新たな空間が生まれたとされている。3D データ(情報)があればリアルなものをつくることができ、リアルなものを 3D データ(情報)に置き換えて保存や流通させることが可能となった。さらに小型マイコンボード・センサ・アクチュエータなどが低価格化したことによって 3D データの立体造形だけではなく、ネットワークに接続する機能やサービスについても容易に試作開発することが可能となった [24]。デジタルファブリケーション技術はデジタルデータをもとに簡易的かつスピーディーに創造物を制作する技術のことである。

更に 3D CAD などのソフトウェアにより、個人のアイデアや個々の身体データ等をデジタルデータ化し、デジタルデータを 3D プリンターやレーザーカッ

ターなどのデジタル工作機械を活用し造形することができる。3D プリンタに代表されるデジタルファブリケーション機器一覧（図 1.10）はデジタル化によるエンジニアリングチェーンの強化に向けた課題の 1 つである。

「総務省 28 年版第 1 部 特集 IoT・ビッグデータ・AI～ネットワークとデータが創造する新たな価値～第 1 節 ICT の進化と雇用、働き方」[25]によると、製造業における就業形態の革新をもたらす可能性があるとは指摘している。その 1 つがデジタルファブリケーション技術である。デジタルファブリケーション技術はシェアリングエコノミーの普及がサービス業における新たな就業の形を実現するのに対し、製造業における就業形態の革新をもたらす可能性を秘めている。更にデジタルファブリケーション技術の 3D プリンタ材料の世界市場が 2000 億円へ拡大しビジネスチャンスが広がるとされている [26]。

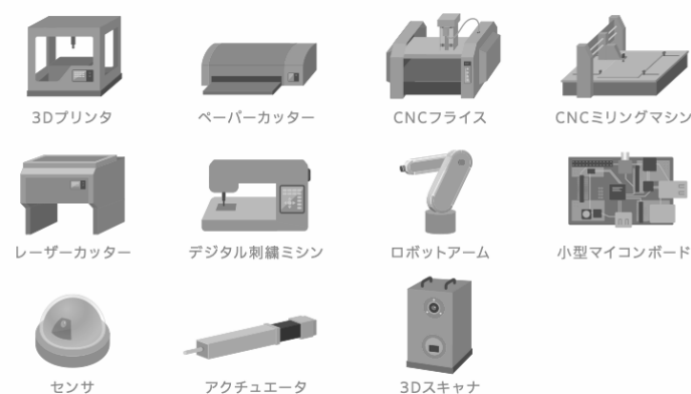


図 1.9：デジタルファブリケーション機器一覧

（出典）三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング（株）「我が国ものづくり産業の課題と対応の方向性に関する調査」（2019 年 12 月）

1.1.3 ファブ施設と実践教育について

ファブ施設は、近年多くのクリエイターが集う「場」として世界中で注目を集めている。世界中 1000 カ所以上に設立されており、代表的な例は FabLab（ファブラボ）と呼ばれている。ファブラボとは 1998 年にマサチューセッツ工科大学で Neil Gershenfeld が始めた「授業：（ほぼ）あらゆる物を作る方法」を起源としている [27]。ファブラボは一般の人々がコンピューターという道具を介して工作機械に製品を必要とする個人が自身で設計し生産するという「パーソナルファブリケーション」 [28]がある。この「パーソナルファブリケーション」というのはデジタルファブリケーション機器を使い、自分の欲しいものを作成し、ファブ施設で協働作業をおこないながら物理的なモノを制作する工房がファブラボである。また「ファブラボは工房＝ファブラボではないと指摘しているように、このファブラボの名を冠するには 4 つの条件を満たす必要があるとしている。

- 1、 「ラボは一般の人に開かれた場所でなければならない」
- 2、 ファブラボのマニフェストである「ファボラボ憲章」に従い、
憲章に署名する必要がある。
- 3、 ラボは他のラボと同じ道具、同じプロセスを備えていなければならない。

4、 ファブラボは他のファブラボ・ネットワークとの協働を求められ、

ネットワークから孤立したラボはファブラボとは呼べない。

この条件から分かるようにネットワークや協働に重きを置き実践教育をしているからこそ世界中に広がり成果が出ていると言える。何故ならファブ施設は、施設として考えると運営ができていない。原因としてはデジタルファブリケーション機器や広いファブ施設があっても、協働が出来ない限られた会員のみが使用できる施設である場合ではファブ施設の運営継続は困難である。具体的には日刊工業新聞 2020 年 2 月 4 日の記事に「メイカーズブームはどこへ…テックショップ、惜しまれながら閉店」 [29] という記事によると 2016 年から法人個人合わせて約 1500 人の会員が居たテックショップというファブ施設が閉店した。約 1200 平方メートルの施設内には、個人でも利用できるレーザー切断機・3D プリンタ・旋盤・マシニングセンター・工業用ミシンなど約 50 種類の工作機器がずらりと並ぶ施設がり、テックショップは国内でも有数の大きさを持つファブ施設が閉店することでニュースになった。このファブ施設は機械も充実しており、そのような施設であっても運営継続が難しいことが証明された。上記 2 つのファブ施設を比較するとデジタルファブリケーション機器は必要である

が、場所の広さなどは重要ではなく、協働での創造性における発案が重要であることが分かる。

「3D プリンター屋で起きたユーザー・イノベーションの仕組みと課題」 [30] では一般生活者の参加を促しながら自由に出入りできるファブ施設の環境が重要と指摘している。ものづくりのデジタル化が進んだことで社会の構造変化が加速し、このような場は“実践コミュニティ”と称されている[20]。このような場やコミュニティでは、企業や組織といった既存の枠組みにとらわれない有志が集まり、新規プロジェクトやグループが形成されることにより、多様な創造性が発揮されている。ファブ施設等でのデジタルファブリケーション技術による、ものづくりムーブメントは今後ますます活性化すると推測される。

しかしファブ施設を利用する個人ユーザーに関しては、ものづくりに興味がある利用者であっても初めてデジタルファブリケーション技術を使用するケースが多く、3D CAD を習得しなければならない場合が多い。これは 3D CAD を習得し 3D データを作成することの困難さに直面するという問題点が挙げられる。また実践コミュニティによるファブ施設での創造性は関わる人の 3D CAD スキルに依存しており、新しいデジタルファブリケーション技術を活用できない問題も指摘されている。ファブ施設でデジタルファブリケーション技術を活

用して一般ユーザーが創造性を発揮するには 3D CAD 技術習得が実践コミュニティにも急務であると言える。

同時にデジタルファブリケーション技術の中で 3D プリンタは今まで限られたヒットしか使用ができなかった技術だが、一般生活者が使えるようになったことで、本当に自分の欲しいものを必要なだけ造り出すことができる。パーソナルファブリケーションは従来の大量にモノを生産し、必要ではないものを多く消費している無駄の多い時代から変わることができると考えられるが、本当は何がどのように起こるのかメカニズムは解明されていない。それは誰もが発表の場に参加できるようになることによって「表現の民主化」が起きた、CGM (Consumer Generated Media) の世界と同じことが起きることになると書かれてある [31]。現在は PC1 台があれば、無料で安価な音楽制作ソフトが手に入ることができ、いままで限られたヒットにしかできないはずだった声のプロデューサーが誰でも可能になった。このように今まで限られたヒットにしか使用できない技術がより多くのヒットにつかわれることで、イノベーションの可能性が広がったことと同じ現象であると考ええる。クリス・アンダーセンはブロガーの集合的なパワーを例えて「メガホンを手にしたアリ」 [32] と表現しているようにインターネットが出てくるとブロガーの集合的なコミュニケーション能力は大手

メディアをも凌いでいると書かれている。同じようにファブ施設においも 3D プリンタが誰でも使え一般生活者が工場を持つようになることで、現在の大量生産をおこなっているメーカーを凌ぐイノベーションの可能性が多く発見されると指摘されている。

1.1.4 3D CAD 教育について

3D CAD 教育はデザイン系学部や理工系学部でデザインや設計の技術を踏まえて、3D データを作成する技術として習得させるための多くの大学で講義として導入されている。その中で新たな教育として永井・野口(2001)は、プロダクトデザインとエンジニアリングデザインの境目のないデザイン教育がこの先のデザイン教育に必要なことを提言している [33]。これまでデザイナーがエンジニアに任せていた 3D CAD などを用いる設計工程にも参画し、3D プリントを使いこなして共に創造する過程が重要となると考える。加えてデザイナーもエンジニアの思考が重要となり、感性を用いた創造活動だけでなくソフトウェアを使用し実践技術を習得する必要があると考える。一方でエンジニアも客観的な視点だけでなく想像力や共感力を元にプロダクトを製作していくことが境目のないデザイン教育には重要となる事が多く指摘されている [34]。以上の

ことから図 1:10 のように 3D CAD の教育において、新しいモノを生み出す場合にはデザインや機能/理工系やデザイン系などに限定されない [35] あたらしい 3D CAD 教育が必要と考える。

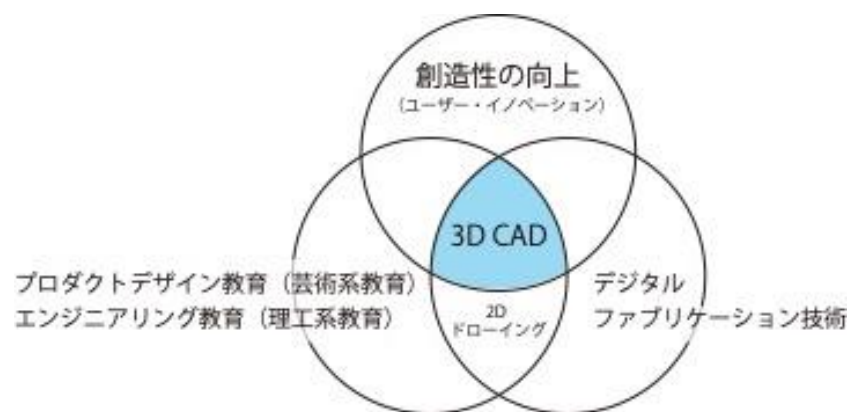


図 1:10 : 3D CAD 教育の範囲 (著者作成)

これまでのデザイン思考ではドローイングやブレインストーミングを活用し、人々は自身の手や頭を使い創造性を発揮してきた。それらを対象とする門田 [36] の STEM 教育の研究はある。しかし実際のデジタルエンジニアリング教育において発案したプロダクトデザインを創造し作成する際にはソフトウェアの専門技術習得が必須となる。1.1.1 でも述べたように経済産業省が推進する“デジタルトランスフォーメーション”においても、専門的ソフトウェアの技術者育成やデジタルデータ活用が期待されている [37] ことから専門的ソフトウェアや

デジタルデータを使用したデジタルエンジニアリング教育の学習方法を確立していくことが重要と考える。しかしながら、筆者らがこれまでおこなった研究成果としてデジタルファブリケーション技術を使用したいと考えるユーザーの 6 割以上が 3D データを作成して 3D プリントしたいというニーズをもっているが、実際には 3D データを作成することに困難を感じていること。さらにデジタルエンジニアリング教育を担当できる技術科教員の人材不足も影響し、デジタルエンジニアリング教育の需要が高まっているが、3D CAD を活用した人材育成が十分進んでいるとは言えず、今後のデジタルファブリケーション技術を活用し創造的な社会課題を発展させていく上で、大きな課題となっている。

そのことから本研究では 3D CAD 学習時の 3D データ作成プロセスにおける創造性と実践教育の調査解明を目的とする。本研究をデジタル教育の学習課題を探求し、3D CAD ソフトを使い創造性の向上する方法を発案し、デジタルファブリケーション技術を活用したイノベーションに挑戦できる実践教育の実現を目指す。この研究により、教室環境や学習活動を 1 つの「学習者共同体 (community of learners)」としてとらえ学習共同体の特徴を有効に機能させるための教授活動や学習活動のデザインを検討してきたい。こうした研究は Etienne Wenger らの Cultivating Communities of Practice を状況的認知の研究

としてあげる事ができる [38]。しかしこれらの研究成果は文脈依存の学習活動のあり方が脚光を浴び、脱文脈化していた教室における形式的な学習をどのように変革するべきかが問われてきた。3D CAD 教育では、設計や製図の授業の延長として研究や開発に必須である 3D データを作成するためにソフトウェアの操作方法を学習することを目的としている。また 2D 図面の寸法から 3D データを作成したり、その 3D データから 2D 図面を作成したり、自らの設計デザインしたプロダクトデザインを 3D CAD で作成し、デジタルファブリケーション技術の安価なデスクトップの 3D プリンタを活用している授業も多い [39]。技術を使用する共創デザインとは以前から 3D プリンタ屋で実施されている枠組みを利用し使用した 3D CAD を使って日常で使用するプロダクトを参加者と共にデザインをすることである。これは近年イノベーションを起こすことが企業課題であるが、企業内だけでイノベーションを起こすのは困難な状況である。国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)がまとめたオープンイノベーション白書 [40]の中で、日本企業を取り巻く競争環境が激しさを増す中で自社のリソースのみで、新たな顧客の価値を生み出すイノベーションを起こすことはもはや不可能と書いてある。また「3D プリント技術とデザイン思考の革新性 2)」 [41]において潜在ニーズの探索や生活者のライフスタイル提

案による用途開発が期待されるが、クリエイターとユーザーを社会的に区別した構造では深いニーズを見出すのは困難であると指摘されて、コラボレーションが瞬時に可能なデジタルデータの教育方法が求められている。

1.2 研究目的とリサーチクエスション

以上述べてきた背景を踏まえて、本研究は手描きのドローイングが 3D CAD における創造性のメカニズムを解明し、手描きドローイングと 3D CAD を使い創造性を向上させる人材育成に寄与すること目的とした。前節で述べたようにデジタルファブリケーション技術を使って、一般市民の活躍でユーザー・イノベーションが期待されている。しかし主なデジタルファブリケーション機器である 3D プリンタを使用するには 3D CAD の個人スキルが影響していることが大きな壁になっている。よって 3D CAD による技術習得と 3D CAD を使用した 3D データ作成における創造性向上に着目する。本研究によって、3D CAD の学習者や一般ユーザーが個人経験やスキルに関係なく、3D CAD を使いイノベティブな創造を起こすことができる教育の一端になると考える。これはユーザー自身が製品を発案し改良できる「ユーザー・イノベーション」 [42]に発展していく取り組みである。これは「デザインの創造過程における思考の抽象度と創

造性の関係」 [33] (永井 野口 2001) においてドローイングと想像的思考の構造について書かれているが、教育現場での研究調査は少ない。また手描きのドローイングとソフトウェア習得を合わせた創造思考のメカニズムを紐解くことは、今後の他の DX における創造性の学習においても重要であると考え。本研究は芸術学部のプロダクトデザイン初学者の発案ドローイングから 3D CAD を習得前提とした実践教育で研究をおこなった。このような目的に対して、以下のリサーチクエスションを設定する。

<リサーチクエッション>

メジャー・リサーチクエッション (MQR) :

MRQ : 手描きドローイングが 3D CAD に与える創造性とは何か

サブシディアリー・リサーチクエッション (SRQ) :

SRQ1 : 手描きドローイングが 3D CAD に与える実現力の要因とは何か

SRQ2 : 手描きドローイングが 3D CAD に与える表現力の要因とは何か

SRQ3 : 手描きドローイングが 3D CAD に与える実現力と表現力の関係とは
なにか

以上のリサーチクエストionsに沿って調査をおこなった。

1.3 研究の意義と新規制

昨今、誰でも3Dプリンタなどのデジタルファブリケーション技術により自由にモノを作れるようになってきた。そこで多くの方が個人でのものづくりができるように、モノをデザインできるように実践指導できたらと考えた。本研究の意義については3Dプリンタに代表されるデジタルファブリケーション技術の活用は注目されているが、実際に作成に必要な3Dデータを扱える人材育成の問題点について指摘されている[32]。その問題を解決するためにデジタルファブリケーション技術によりイノベーションに関するコンテストなどが行われているが、実際に3D CADデータを作成する技術を持ったユーザーが行なっていることが多い。これはデジタルファブリケーション技術の浸透が急速に進んだことや、デジタルファブリケーションの実践的な活用状況が明確でないことが関係している。

Von Hippel(1986) [43]や小川 (2013) [3]が指摘したユーザー・イノベーションは社会構造や価値創出の新しい現象を指摘しているが、マネジメントの観点

からの説明のみで実践的な部分での調査研究は少ない.実際のデジタルファブリケーション技術を使用することと、一般ユーザーを参加させる方法を論じているものではない.本研究の特色は、ファブスペースの内部の視点で実践コミュニティとユーザーの関係をとらえる点にあり、特に「新しい」デジタルファブリケーション技術の影響について議論することは有意義と言える。合わせて 3D プリントなどの新しいデジタルファブリケーション技術が使用できる場をここではファブ施設と定義し、そのファブ施設の中で行われている実践コミュニティによる実践教育の場として考察をおこなう。ファブ施設におけるユーザー同士の、共創プロセスがどのように行われているかを調査していく.また「3D プリント技術とデザイン思考の革新性」 [41]において潜在ニーズの探索や生活者のライフスタイル提案による用途開発が期待されるが、クリエイターとユーザーを社会的に区別した構造では深いニーズを見出すのは困難であると指摘されている(永井、谷口、2015)ことから、深いニーズを見つけるために、3D CAD における実現可能性が必要となり創造性に貢献しているかを調査する。ジーン・レイヴらが提唱する実践共同体コミュニティ (Wenger 2002) [38]では、ある集団への具体的な参加を通して知識と技巧の修得が可能になると定義しているように、デジタルファブリケーション技術は新しく社会実装段階であると考え。ま

た具体的な実践共同体コミュニティを学習現場と定義し、実験参加者の 3D CAD 学習の創造性プロセスはどうなっているかを考察する。デザイン創造過程での思考の抽象度と創造性の関係 [33]において、発想力が言語からイメージへの変換として説明できることが指摘されている。しかし、これらの実験での課題はデザインの基礎的な段階に限定される。本研究はさらに三次元造形物に至るプロセスまでを射程としており、デジタルエンジニアリング教育という現代の人材ニーズに応えるものと位置付けられる。

デジタルファブリケーション技術の研究は多くあるが、ソフトウェア関連の研究は多いものの、デザイン初学者が使用する 3D CAD の学習プロセスに関する研究は少ない。デジタルファブリケーション技術に関しては、様々なファブ施設での活用体験事例が多数紹介されているが、体系化されるには至っていない。事例からの気づきを深く掘り下げて議論するためには、学習プロセスとして総合的に俯瞰する視点と、本研究の示す実践教育に対する実験的アプローチと調査・分析が必要である。本研究は、デザイン初学者でも 3D CAD（データ・アウトプット）まで創造性を発揮できる例や、ファブ施設で 3D CAD を使用する際に多くの人が困難さに直面する中でごく少数ではあるが自分の経験からイノベティブなプロダクト(実装アウトプット)を作成することができる例があるこ

とに注目する。これらの成功例と比較しながら、学習プロセス上の阻害要因や創造性を発揮するための支援方法を明確にすることで、教育方法の改善策を提示する。これを社会的に展開することで、ファブ施設等を活用し、ユーザー視点を活かした、多くのイノベティブなプロダクトが生まれる可能性を探る。ドローイング（インプット）から 3D CAD のアウトプット（データと実装の二段階）までを総合して議論することは本研究の独自のアプローチである。合わせてこれらの研究はマネジメントが議論の中心であり、デジタルエンジニアリングとの接点が示唆されているものの具体的な 3D CAD を使用した調査研究には展開されていない。本研究は、デジタルエンジニアリング教育が、ファブ施設を活用することでさらに展開し、ユーザー・イノベーションを牽引する可能性の理由を明らかにする先行的な研究と位置づけられる。

1.4 論文の構成

本節では、本論文の構成とその概略を述べる。

第 1 章では、序章として本研究の背景、デジタルトランスフォーメーション (DX) について、デジタルファブリケーション技術とファブ施設の普及、ユーザー・イノベーションについて、3D CAD 教育の現状と課題について整理した後、研究の

目的とリサーチクエスチョンを提示し、想定される研究の意義と新規性について述べる。

第2章では、ドローイングによる先行研究、教育に関する先行研究や関連文献の論点を整理し、研究上の課題を抽出する。

第3章では、3D CADの研究の方法として研究の概要を示し、研究戦略を立てる。

第4章では、サンプルデータを各種データ解析・分析した結果を示す。

第5章では、第4章の結果をもとに考察を行ない、ドローイングと3D CADの創造性の関係について、議論を深めモデルを提案する。

第6章では、本研究を総括し今後の展望知識科学への貢献を示す。

図 1:11に本論文構成図を示す。

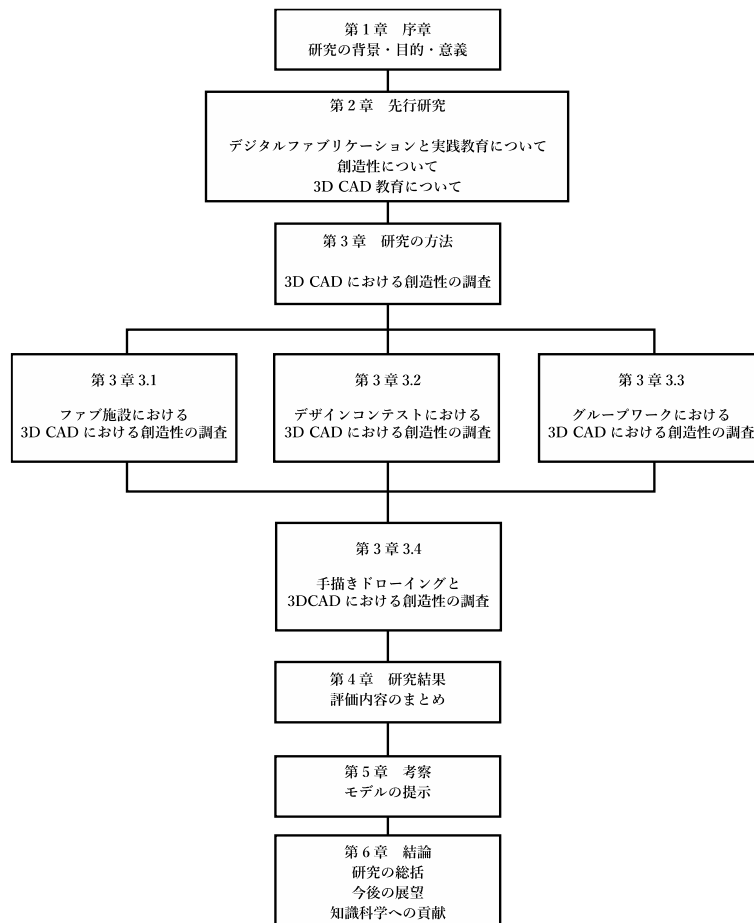


図 1:11：論文の構成

第2章 先行研究

2.1 デジタルファブリケーションと実践教育

2.1.1 デジタルファブリケーションによる実践教育と問題点

検証計画の立案については実践的研究のすすめ方[35]を参照に計画した。学校において行われる実践的研究では教育課題の解決を目的に教育実践に関わる問題を取り上げていくことであることから、以下の順番で整理をしていく。

- 1) 検証の観点の明確化である
- 2) 検証の場面・方法の明確化
- 3) 解釈の方法の明確化

まず検証の視点として実際の教育現場にて使用されている主なデジタルファブリケーション機器の内訳である。「日本の大学におけるデジタルファブリケーションを活用したプログラムと建築教育」 [39]において「図 2:1：各大学に導入されている機材数」のように圧倒的に3Dプリンタの需要が高く3Dデータを使用

している現状が示されている。2番目に多いのはレーザーカッターであると示されている。

	主なデジタルファブリケーション機器				その他特筆すべき導入機器
	3Dプリンタ	レーザーカッター	Shop-Bot	ロボットアーム	
A校	2	2			A：東工大 ・走査型電子顕微鏡 ・光学リソグラフィなど
B校	12	6		1	B：工繊大 ・CNCフライスマシン(7台) ・ホールガーメント横編機 ・2.5Dカラープリンタなど
C校	5	2			
D校	8	2		1	
E校	3	1	1		C：東芸大 ・製本機 ・カッティングプロッター
F校	3	2			D：東大 ・放電ワイヤーカッター
G校	11	2			F：千葉大 ・NC彫刻放電加工機
H校	2	2	1		G：東北大 ・3Dリアルサーフェスビュー顕微鏡
I校	2	1			
J校	14	4	1	1	J：慶大 ・UVプリンタ

図 2:1：各大学に導入されている機材数

(出典) 日本の大学におけるデジタルファブリケーションを活用した教育プログラム [39]

レーザーカッターは2Dデータで、3D CADは関係ないと思われるが、3D CADの中の2Dスケッチ機能の2Dデータはレーザーカッターに使用する事ができ、3D CAD内のデータを活用することも多い。3番目に多いShopbotやCNCフライス盤においても、3D CAD内の3Dデータを使って切削をしていくため3D CADの3Dデータが必須となる。デジタルファブリケーション機器は3D CADにおける3Dデータが必須となり、逆に言うと3D CADが無ければ何も生み出せない機械であるといえる。故に大学の授業においても3D CAD教育は必須であり、必ず

開講されている。具体的な授業開講の事例を図2.2に示す。また開校されていない理由を聞くと、教えられる教員が人材不足を指摘される事が多い。

学校名(略称) 所在地	建築学系のデジタルデザイン教育 (デジタルファブリケーション 機器を活用しないもの)	デジタルファブリケーション機器を活用した教育プログラム	
		建築学系	建築学系以外
D:東大 (東京都)	●『造形第一』(1単位)	★『設計製図第1A,1B,2A,2B(各4単位) ●『造形第二』(1単位)	●『創造的ものづくりプロジェクト1』(機械系) ●『全学体験ゼミナールS1S2』(機械系)
H:広工大 (広島県)	●『コンピュータショナルデザイン』(1単位) ●『BIM実習』(2単位)	●『デジタルファブリケーション』(2単位)	●『機械工学実習』(機械系) ●『応用機械工学実習』(機械系)
J:慶大 (神奈川県)	●『デザインリテラシー演習』(4単位)	●『デジタルデザイン基礎』(4単位) ●『デジタル言語実践』(4単位)	●『プロダクションエンジニアリング』(2単位)
C:東工大 (東京都)	●★『CAD図法演習Ⅱ』(2単位)	●★『CAD図法演習Ⅱ』(2単位)	●★『芸術情報演習Ⅰ』(情報学系) ●★『デジタルサウンド演習』(音楽学系)
E:九大 (福岡県)	●『空間表現実習Ⅱ』(2単位) ●『空間デザイン実習Ⅱ』(2単位)	★『建築デザインスタジオ』(4単位) ●『都市・建築設計演習Ⅱ』(3単位)	●『デジタルファブリケーション』(デザイン系) ●『デジタル工作入門』(教養科目)
B:工機大 (京都府)	●『CAD-CG演習』(2単位)	該当授業なし	●『レーザーで測る、創る、楽しむ』(教養科目) ●『デザイン学高度特別演習A』(デザイン系)
F:千葉大 (千葉県)	●『建築生産設計』(2単位) ●『建築情報処理』(2単位)	該当授業なし	●『デザイン科学演習3』(デザイン系) ●『立体デザイン造形』(デザイン系)
G:東北大 (宮城県)	●『設計基礎B』(2単位) ●『建築・社会環境工学演習』(1単位)	該当授業なし	●『創造工学研修』(機械系)
A:東工大 (東京都)	★『建築空間特論/BIM課題』(2単位)	該当授業なし	★『製品設計・開発』(デザイン系) ●『夏季集中講義「ものづくり」』(機械系)
I:早大 (東京都)	●『建築表現Ⅱ』(2単位) ★『デジタル環境設計特論Ⅱ』(2単位)	該当授業なし	●『インタラクティブセンシング』(情報学系) ●『生産工学基礎』(経営工学系)
凡例 ●:学部課程のプログラム ★:大学院課程のプログラム 黒枠で囲まれたもの:必修科目			

図 2:2：調査で行われている教育プログラムの代表例

(出典) 日本の大学におけるデタルファブリケーションを活用した教育プログラム [39]

また 3D プリンタを活用したものづくりプロセス学習教材も研究が進んでおり先行事例として 3D CAD 教育の実践教育方法や各大学でのデジタルファブリケーション機器に着目した。デジタルファブリケーション機器に関して 3D プリンタやレーザーカッターやデジタル切削機器が上位を占めた。その機器については 3D CAD におけるデジタルデータが必要であり、3D CAD 教育が必要となる事がわかる。教育現場ではデジタルファブリケーション機器がある学校では 3D CAD 授業は開講されているが、3D CAD を教えられる教員がいない場合が多く教えたくても教えられない場合もある。具体的な数や内容

そうした中でファブ施設の役割が大きくなってきており、ファブラボに代表されるファブ施設が世界各国、日本各地に広く展開されている。ファブ施設では3D プリンタを貸して、ユーザーの必要なものや欲しいプロダクトを製作する手伝いをしている。そこでも問題は3D データの問題である。ファブ施設に訪れるユーザーはニーズを持っているが、自身で3D CAD を使う事ができず3D データを作成する事ができない。またファブ施設の運営問題点としては、デジタルファブリケーション機器の貸出や、レンタルスペースのように場所を貸すだけではビジネスとして運営していくのが困難であることが分かってきた。ファブ施設運営の解決策は、デジタルファブリケーション機器を貸すことでのビジネスモデルではなく、協創やコミュニティの必要性が指摘されている事がわかってきた。 [44]

2.1.2 実践コミュニティとファブ施設の問題点

実践コミュニティは、新しい技術に対して十分に市場にいきわたって行き渡っていないタイミングでの有効な学習手段であるとされている。具体的にはデジタルファブリケーション技術の普及において、実践コミュニティとしてファブ施設が重要な役割を示している。てメイカーズのぶーむによりブームにより日本全国にファブ施設が多数か設置された。しかしファブ施設の利用者がデジ

タルファブリケーションを日常的に使用するには、コミュニティだけではない問題がある。市民参加型コミュニティの研究は高見らの参加型プラットフォーム：Zuzie [45]や中司らのコンピュータミシンの新価値提案を事例とした参加型デザインに関する考察 [46]でデザイン創造過程の研究としてあるが、1つの大きな問題は1.2で述べたように、デジタルファブリケーション技術に必要な3Dデータ作成である。3Dプリントに必要な3D データ作成には技術習得が必要であり、ソフトウェア技術を必要とする。筆者らが実際にどれくらいの割合で3Dデータを必要としているのかを調査した。調査をおこなったファブ施設は中野にある「あッ3D プリンター屋だ！！」 [47]（以下3Dプリンタ屋）を使用した。今まで限られたユーザーしか使用できなかった3Dプリンタという新しい技術がどのように使われるのかを調査する目的で、一般生活者が通る商店街のオープンな場所に3Dプリンタを設置し、ユーザーたちと共創したワークショップを通してコミュニティづくりをおこなった。Etienne Wengerらの「コミュニティ・オブ・プラティス ナレッジ社会の新たな知識形態の実践」 [38]で実践コミュニティということが提唱されている。これは、共通の専門スキルや、ある事業へのコミットメント（熱意や献身）によって非公式に結びついた人々の集まりとし集団としての学習に関する研究が展開されている。本研究では学習の場を実践コ

コミュニティの場と定義し調査をおこなった。下記、図 2:3はワークショップの様子である。



図 2:3：3D プリンター屋でのワークショップの様子

(出典) 3Dプリンター屋で起きたユーザー・イノベーションの仕組みと課題 [30]

まず3Dプリンター屋はオープンな場所に店舗を設置した。訪れる一般生活者の多くは偶然にお店を発見し自由に訪れることも可能である。ニュース等で3Dプリンタという言葉聞いたことはあるが、店頭で偶然に3Dプリンタを発見する場合も多くあった。3Dプリンター屋での初めての質問が以下の3つであった。

- ・「何を用意すると3Dプリントができるのか？」
- ・「写真・イラストから3Dプリントはできるのか？」

- ・「これと同じものを3Dプリントできるのか？」

これらの質問は現在の3D CAD/3D スキャン技術や他のソフトウェアでは対応できない要求も多く3Dプリントに必要な3Dデータ作成でソフトウェアの課題が残る。上記3つの質問の回答としては、「3Dプリントするには3Dデータが必要でSTLファイル形式のデータが必要です」と伝えると一般生活者は、3Dデータの作成方法を知ると、難しいという反応が多く、3Dプリンタはハードルが高い機械と認識してしまうことが多い。一般生活者は自分には関係ないと使用を諦めてしまう場合も多くあった。

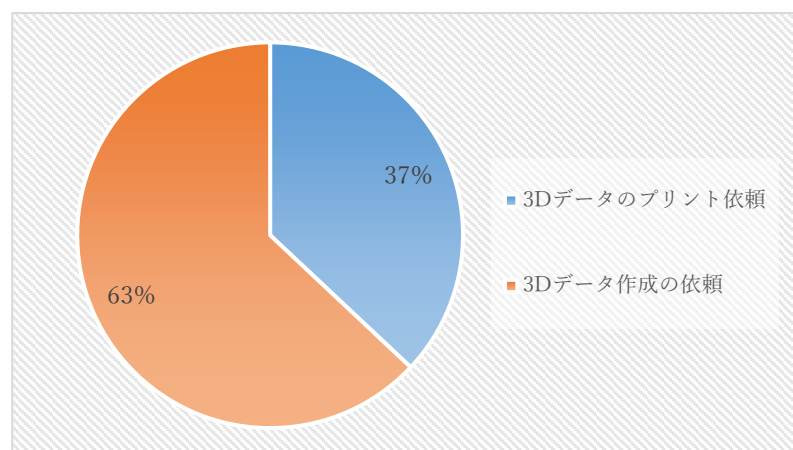


図 2:4 : 3D データのプリント依頼と 3D データ作成依頼の割合

(出典) 3D プリンター屋で起きたユーザー・イノベーションの仕組みと課題 [30]

図2.4は2016年3月の約1ヶ月間にファブ施設に持ち込まれた3Dプリントの依頼を集計した。集計項目は一般生活者が3Dデータを作成できない場合、3Dデータ作成の依頼と一般生活者の作成により3Dデータを持ち込まれた場合の割合を示している。この調査から3Dプリントを行いたい一般生活者の中で、自ら3Dデータを作成できるのは全体の4割弱になる。残りの6割以上の方は3Dデータを作成して3Dプリントしたいニーズはあるが、実際には3Dデータを作成できないことが分かる。またここには3Dデータの作成を依頼したいが、3Dデータ作成費用が合わずに断念したケースは含めていない。8割程度は自ら3Dプリンタで解決したいニーズはあるが3Dデータを作成することができず、一般生活者との間に壁があり3Dプリンタとそれを扱う技術がついてきていないことが分かる。3Dデータを誰でも簡単に作成できるようなヒューマン・コンピューター・インタラクションの研究も多くある。特別な技術を持っていなくても、ユーザーのハードルを下げ、創造性支援を簡単にすることが目的だが、使用してもらえなければ意味がなく本質的な問題解決にはなっていない。生活者は自分のニーズで自由に3Dプリンターを使用し、そのプロセス体験したいのでありけして1人3D CADで製作したいとは考えていないと考える。3Dプリンタ屋に訪れたユーザーの分布は図2.5のように分類される。元々自ら何かをつくることに慣れている、もしくは目

的があるクリエイターや製造業関係者が全体の43%を占めた。社会人はシステムエンジニアやソフトウェアエンジニアという層が目立った。個別に質問したところ「普段は目に見えないシステムなどを作っている事が多く3Dプリンタのように物理的に触れるものを作りたい」という興味があり訪問したという人が多かった。

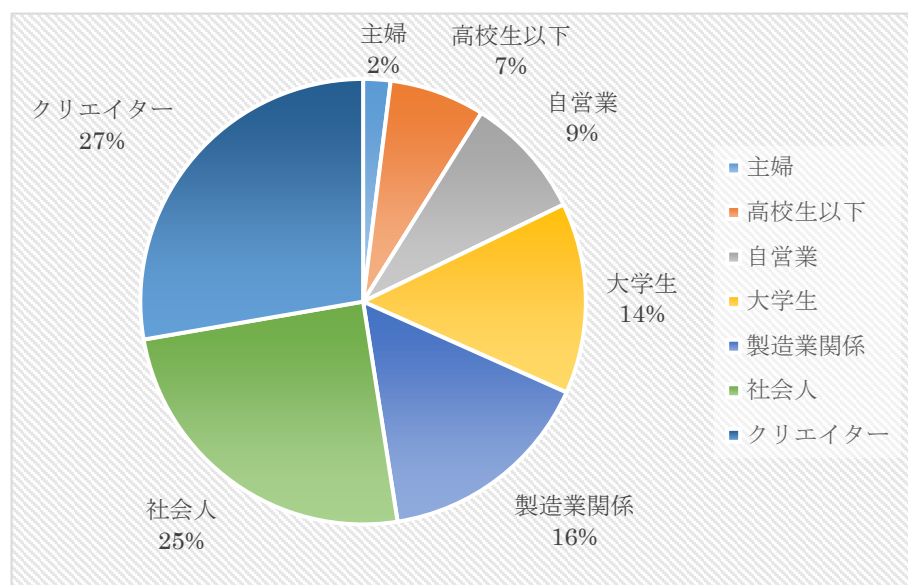


図 2:5 : 3D プリンタ屋に訪問している職業分布

(出典) 日本初 3D プリンター屋オープン 変遷とこれから [48]

- ・生活者A：3D CAD・3Dプリンタのどちらのスキルも有る。
- ・生活者B：3Dプリンタのスキルが有る。
- ・生活者C：3D CADのスキルが有る。

- ・生活者D：どちらのスキルも無い。

と分類した場合、生活者 D をサポートすることが効果的だと考える。分類の傾向から考察すると生活者 B・C は技術も高く、彼らの多くは簡単に A に移動できるが多様性は無く、属性が似ている属性を持っている。しかし生活者 D は 3D CAD 技術やエンジニアスキルも無い上に、一般生活者である傾向が高いのでコンピュータが不得意の傾向がある、しかし人数も多くに多種多様の層である。しかし 3D CAD の学習が大きな壁であると考え、この壁を無くしていくことがイノベーションの鍵となると考える。イノベーション [49]の中で5つのパターンが定義されており、一般生活者のユーズによるイノベーションは①新しい製品に該当すると考えられるが、②新しい生産方法の導入でもあると考えられる。

①新しい製品/サービスの創出

②新しい生産方法の導入

③新しい市場への参入

④新しい資源の獲得

⑤新しい組織の実現

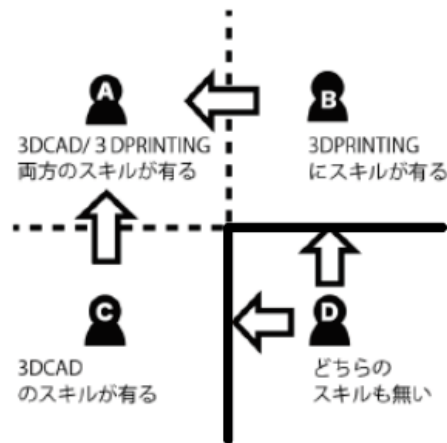


図 2:6：ファブ施設に来る 3D プリントを利用したいユーザーの分類

(出典) デジタルファブリケーション・スペースの普及とその背景 [50]

本研究内で目指しているところは、新しいイノベーションの概念を定義である「企業者が生産を拡大するために生産方法や生産組織などの生産要素の組合せを変えたり、新たな生産要素を導入したりする行為」とした。また小川が『ユーザー・イノベーション消費者から始まるものづくりの未来』 [10]の中で「ユーザーが主体となってイノベーションをしていることが確認されるようになってきました」と指摘しているように多様性を持つ生活者にアプローチすることが重要だと考えた。そこで 3D プリンタ屋でインタビューから発見されたユーザーの動きを図 2:7～図 2:10 のように絵にまとめた。

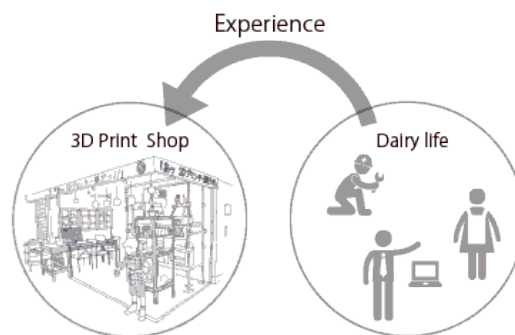


図 2:7：新しい経験

(出典) 3D プリンター屋で起きたユーザー・イノベーションの仕組みと課題 [30]

まず3Dプリンタ屋と日常生活という場を定義する。その中で日常生活にて偶然に3Dプリンタ屋を通ったり、聞いたりし3Dプリンタ屋を発見する。そこで3Dプリンタを見た一般生活者は、当初は驚きながらも実際3D プリントされた物質に触りながら3Dプリンタとは何かを理解をする。ユーザーは3Dプリンタではどんなモノができるのかを3Dプリントしている様子を見ることで、今までテレビなどのメディア媒体を通してしか見たことなかった3Dプリンタという新しい技術を体験することができる。一般生活者の中に3Dプリンタという知識や経験を得ることができる。

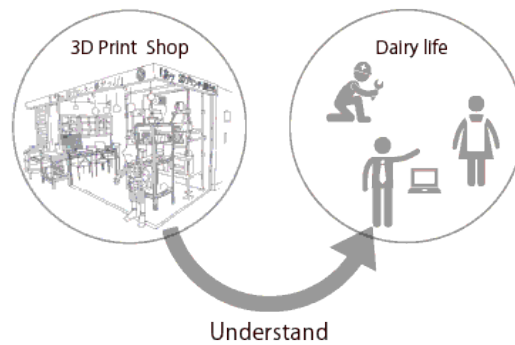


図 2:8 : 3D プリンタを理解

(出典) 3D プリンター屋で起きたユーザー・イノベーションの仕組みと課題 [30]

次に図 2:8に示すように図 2:7 にて始めて3Dプリンタで新しい経験をして、一般生活者は3Dプリンタとはどういうモノかということを理解して日常生活に戻ることになる。

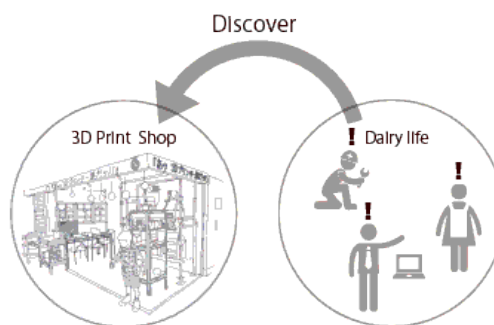


図 2:9 : ニーズを発見するイメージ

(出典) 3D プリンター屋で起きたユーザー・イノベーションの仕組みと課題 [30]

そして図 2:9:ニーズを発見するイメージのように日常生活の中でふとした瞬間に不便なことに気が付き、もしかしたら3Dプリントで解決できるのではないか

という可能性を発見する。その後、3Dプリンタ屋に仮説のあるニーズを持って戻ってくる。そして図 2:10：ニーズを実験するイメージのように、3Dプリンタでプロトタイプを作成し日常生活の中で再度試すことをおこなうことが可能となる。この流れが3Dプリンタ屋で発見された一般生活者の動きである。この動きを意識することでユーザー・イノベーションが発見されると考える。

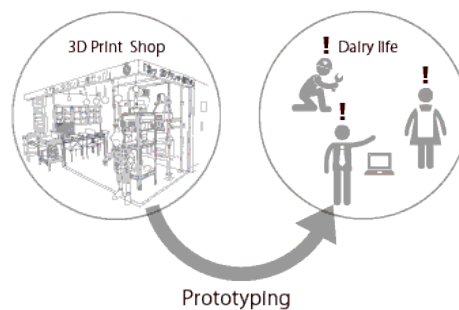


図 2:10：ニーズを実験するイメージ

(出典) 3D プリンター屋で起きたユーザー・イノベーションの仕組みと課題 [30]

2.2 創造性に関する研究

デザイン思考はティム・ブラウン(2010)が提唱し「デザイナーの感性と手法を用いて顧客価値と市場機会の創出を図るもの」と定義をした [51]。その後、デザイン思考を用いた IDEO の成功事例の影響などにより、デザイン思考は、ビジネスのための方法論として急速に普及した。またデザインという概念が意匠や機能に留まらず、市場における製品価値と直結する経営的観点で論じられて

いる。そうした中で OECD Education 2030 project [52]に明記されている「OECD ラーニング・コンパス(学びの羅針盤)2030」で学生が必要とする3つのカテゴリーに分類されている。

1) 新しい価値を創造する力 (Creating new value)

「新しい製品やサービス、新しい社会モデルを他者と協力して産み出す力
適応性、創造性、好奇心、他者をオープンに受け入れる心」

2) 緊張とジレンマの調整力 (Recoiling tensions and dilemmas)

「平等と自由、自立性と地域利益、変革と継続性など様々な競合する需要
間のバランスをとる力」

3) 責任をとる力 (Taking responsibility)

「自らの行動の将来の結末を考慮する力、自分の仕事の成果について責任をもって説明できる力、自ら評価できる力、自己効力感、責任感、問題解決能力、適応能力など」

筆者はこの中でも“新しい価値を創造する力”がイノベーション創出のための重要ポイントであると考え。イノベーションを起こす方法論として多くの研究や著書があるが、その中でデザイン思考については多く用いられており、理論的背景が議論されてきた。これは 1.3 で述べたブレインストーミングなどの創造的思考プロセスに問題解決の枠組みを加えることで、創造的なイノベーションを起こす方法論として、デザイン思考が提唱されている。しかしながらデザイン思考の方法論だけでは、イノベーションを起こすには至らない。紺野・野中(2018)は、デザイン思考のプロセスを実践しても、それをプロダクトなどに転写し、現実世界にアウトプットするための“目的と最適な技術”を持たない限り、イノベーションは実現しないとしている [53]。さらに永井(2012)は、デザイン思考を用いた新しいデザインの“意味”の生成において、プロセスであるデザイン思考とその結果であるプロダクトの双方を、学術的にリフレクションする必要があると指摘している [54]。このことからデザイン思考の課題はプロセスと結果の双方を横断的にリフレクションする実践的な技術が、重要であるといえる。

本研究はそのプロセスと結果の双方を横断的にリフレクションする実践的な技術である 3DACD を用いた創造性と実践的な研究であり新しい価値を創造する力に寄与できる重要性が高いと考える。本研究では紺野・野中(2018)の構想力

の知識創造プロセス(図 2:11) [53]を参照し、「想像力」・「実践力」・「主観力」に着目し、3D CAD 教育の学習プロセスを構成していく。具体的には図 2:11 の知的創造プロセスで示される「構築の場」における「意味価値」から「手段モデル」に移る過程での現象に注力することとする。

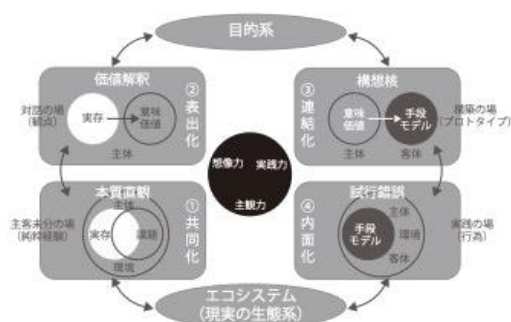


図 2:11：構想力の知識創造プロセス（一部筆者リライト）

（出典）構想力の知識創造プロセス(紺野・野中,2018) [53]

知的創造プロセスで示される「実践力」を 3D CAD や 3D プリンタで用いるデジタルファブリケーション技術に関する 3D プリント可能なデータを作成する実現性として定義する。次に、知的創造プロセスで示される「想像力」と「主観力」をユーザーセンタード・デザイン（個人ニーズを自らの中でユーザーとなるよう課題設定する）力として今までにない新しい形状を導き出せている創造性として定義する。本研究のデザイン教育においては問題解決型学習（Project

Based Learning) を参考にしている [55, 56]。プロダクトデザイン教育においては、問題解決型学習が重要とされイノベーション創出の方法としても注目されている [57]。問題解決型学習とは“課題解決型学習”とも呼ばれ、知識の暗記などのような受動的な学習ではなく生徒自らが問題を発見し、解決する能力を養うことを目的とした教育法である。1.4 で示した「新しい価値を創造する力 (Creating new value)」の学習に有効であると考え、この問題解決型学習をとおして生徒らの「自発性」・「関心」・「創造性」を引き出すことが、教師側の役割であり、助言者として生徒らのサポートをする立場で習得向上を促すことができる。更に前川・永井(2017)は、「構築の場」における「意味価値」を潜在ニーズの探索や生活者のライフスタイル提案による用途開発と捉え、クリエイターとユーザーを社会的に区別した構造では深いニーズを見出すのは困難であると指摘している [34]。しかし深いニーズを見出すことの一環として、クリエイター自らがユーザー視点を持つことが創造性を発揮するとされ、ユーザー目線で、自らのデザインしたプロダクトを製作する仮定を本研究での創造とする。創造性とドローイングの関係については、野口・永井らの「デザイン創造過程における思考の抽象度と創造性の関係」 [33]や「デザイン施工過程におけ

る言葉とイメージの関係に関する実験 (1) 」 [58]において、手描きのドローイングと言葉の関係の実験をおこなっている。

またサンフランシスコに拠点を置くデザインコンサルティング会社 IDEO が提唱するデザイン思考が創造性教育でも注目され [59]現在は世界 19 ヶ国 48 大学・大学院 (うち日本は 8 つ) が何らかのかたちでデザイン思考を用いた教育を行っている。日本でもデザイン思考に関連して芸術系、工学系の大学でデザイン思考を取り入れた教育を行うところが多く、デジタルファブリケーション機器を使って積極的にプロトタイプ作成を行なっている。ここでは主にアイデアを創造することに焦点を当てており、3D CAD を使ってのプロダクト製作までおこなっていない状態である。本研究は具体的な実践教育内にて 3D CAD 教育に当てており、その点で独自性があると考ええる。

2.3 3D CAD 教育に関する研究

3DCAD 教育については、まず日本では教育方法は製図教育や図学教育がある。二次元図面を手描きでドラフターを使用しながら学習するものである。パソコンが普及するに従って、ドラフターでの製図教育から 3D CAD で 3D モデリングについての研究は中川らがおこなった研究で、3DCAD のモデリングの方法

を 2 種類で調査をおこなっている。そこでは基礎的な図面教育をおこなっている方がある特定の要素に関する知識や理解が十分に学習できていないという指摘がある [60]。また鈴木が CG/CAD の実社会での普及による図学教育での空間認識力の研究をおこなっている。この研究によると切断面実形テストを行い教育方法の違いで手描きか CG かについては“手描き”が空間認識力の育成にとって重要であることを示唆しているが、育成効果においてはバラツキが大きく、明確な結論を得るには今後、教育内容や教育方法について詳細な検討をする必要があると指摘している [61]。更に興味深いのは和田らが 3DCAD を用いた設計手法に関する研究において「つなぐ」という言葉でスケッチと CAD ソフトの間を互換する言葉として使用している。ここで使用している CAD は AutoCAD [62] という建築/製造向けの二次元の CAD となり、本研究における製造向けの三次元の 3D CAD とは異なっている。その中で CAD のソフトウェアの習熟度が高い学生は「つなぐ」操作として、習熟度が低い学生は「つくる」操作が多くなる事が指摘されている。上位グループと中位・下位グループとを比較すると、上位グループは下位グループよりも多くの空間操作の種類を使っていた。また、CAD とスケッチを比較すると、CAD を使うことにより複数の空間操作が増えていることが分かった。さらに行為の種類で比較すると、CAD はスケッチに比

べて「思う」が増えており、CAD の中で擬似的な体験をしていると考えられ、設計の未熟な学生にとっても空間を知覚するための有効なツールであることが確認できた」としており学生の創造性のきっかけとなる「つなぐ」という動作があると指摘している。

□このような製図教育から現代の 3D CAD への流れの中で多くの CAD 教育がある中で教育に関する研究があることがわかった。しかし主に製図教育がある理工系が主な調査対象であり芸術系での 3D CAD での研究は少なくその為創造性に対しての知見が少ない。デジタルファブリケーション機器が学校教育に導入されてきた昨今芸術系でも 3D CAD を取り入れ始めているが、クリエイターが目指す 3D CAD 教育の方針として製図教育であり、創造性を高める必要から理工系のエンジニアリング教育と芸術系のデザイン教育とが求められている。そうした背景から本研究では理工系と芸術系の両方向の調査を目指した。

第3章 研究の方法

本研究は、図 3:1のようにまずデジタルファブリケーション技術における一般ユーザーの問題点を調査し、ユーザー・イノベーションの過程の中で問題となっている点について調査をおこなっていく。具体的には表 3.1の立案手順の①～⑥

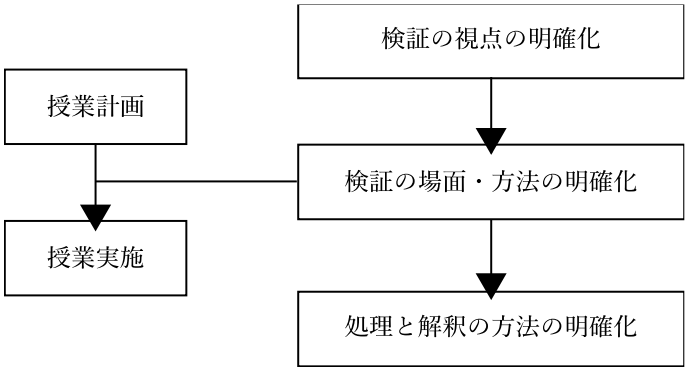


図 3:1：検証計画の立案の手順

(出典) 実践的研究のすすめ方ー創意工夫を生かした教育を求めて [63]

の流れで調査おこなった。内容と得られる知見をまとめた。

表 3.1：本研究のプロセス

立案手順	内容	得られる知見
①検証の視点の明確化	ファブ施設での事例調査	デジタルファブリケーション技術における問題点
② 検証の場面・方法の明確化	ファブ施設でのワークショップ調査	3D プリントされる事例の傾向

③処理と解釈 方法の明確化	アイデア・コンテストにおける調査	手描きドローイングと 3D CAD の関係について
④授業計画	個人ワークとグループワークの 3D CAD に おける創造性の違い	3D CAD の創造性につい て
⑤授業実施	ドローイングと 3D CAD の関係について	表現力と実現可能性への 影響
⑥授業実施	造形技術力と正確な表現技術力についての 調査	手描きドローイングが 3D CAD に与える創造性 について

3.1 ファブ施設での事例調査

まず本稿第一著者が店長を務めていた中野区の中野ブロードウェイにある 3D プリンタ屋は一般生活者がいつでも訪れることができ日常生活で頻繁に訪れる商店街にある。クリス・アンダーソンは「3D プリンタは、なんでも生み出す魔号の杖になる [6]」と述べている。しかしながら、3D プリンタというものを実際にまだ見たことのない人も多くおり、実際に使った人は限られていた。限られた新しい技術を暮らしの中でどのように活用すべきか生活者は分かっていない [64]。分からないのであれば、ユーザーに聞いてみる目的のために店頭で各社の 3D プリンタを展示した。そのファブ施設で 3D プリンタを使用できる発案されたユーザー事例をまとめた。



図 3:2：ファブ施設でのユーザー事例

(出典) 3D プリンター屋で起きたユーザー・イノベーションの仕組みと課題 [30]

図 3:2 は日常の新聞を読んでいる時に分かれてしまうのを防止する為に家庭にある竹串を指して使用することのできるプロダクトである。ドナルド・A・ノーマンは製品デザインに置ける新の挑戦は「最終ユーザーがまだ出会っていない、まだはっきりと把握していないニーズを理解すること」 [65]だと述べている。このようにユーザーが日常で不便である事柄を自らのアイデアを創発させて製品デザインを作成してきたが、3D プリンタが自由に使用できるようになりより日常のニーズを実現しやすくなったという事例となる。図 3:3 の左側が初めに3D プリントをしたプロトタイプである。右側が最終デザインでありユーザーも何度か 3D CAD と 3D プリントを使用し修正を繰り返すことでデザインの完成

度が向上し、バラバラになる新聞紙をまとめるためのニーズを満たしているの
が分かる。



図 3:3：新旧プロトタイプの差（左：旧モデル 右：新モデル）

（出典）3D プリンター屋で起きたユーザー・イノベーションの仕組みと課題 [30]

このように日常生活の中で、ニーズに気が付き、オープンな 3D プリンタ屋に
自ら来店し、日常の問題点を 3D プリンター屋で相談しながら 3DCAD を初め
て学習して、何度かプロトタイピングを行ない、問題点を改善して行く過程は一
般生活者が初めて体験することである。図 3:4 が一般生活者とプロトタイピン
グを完成させたときの瞬間である。



図 3:4：自身のデザインの完成を喜ぶユーザー

(出典) 3D プリンター屋で起きたユーザー・イノベーションの仕組みと課題 [30]

このようにファブ施設でユーザーによって 3D データを依頼された事例を元に 5 種類に分類した。こちらの事例は 2017 年の半年間で集計された事例から整理した

- 1、2D に厚みをつける例
- 2、ガイドや型として使用する例
- 3、カバーとして使用する例
- 4、オリジナル製品を作成する例
- 5、修理パーツを作成する例

それぞれの具体例の詳細を説明していく。まず図 3:5：2D に厚みをつける事例がある。これは既に 2D のイラストを持っているクリエイターが依頼する例が多く見られた。次に図 3:6：ガイドや型として使用する例が発見された。この例はクッキーの型やパンの型など対象物に対して押し付ける場合や、何かのガイドとして使用するモノとして 3D プリントするユーザーのニーズが発見された。図 3:7：カバーとして使用する例については、古い車の鍵のカバーを 3D プリントして製作する依頼や、スマートフォンのカバー部分を 3D プリントし、それをリュックのハーネスに取り付ける用のジグを製作したいという依頼であった。図 3:8：オリジナル製品を作成する例については、自分が作りたいという明確な目的やイメージがあり、その目的に対して 3D プリントを使用する場合の例である。最後の図 3:9：修理パーツを作成する例については、壊れてしまった

対象物がありそのモノに対して同じものを作成するために 3D プリントする場合の例があった。



図 3:5 : 2D に厚みをつける事例

(出典) 3D プリンター屋オープン 変遷とこれから [48]



図 3:6 : ガイドや型として使用する例

(出典) 3D プリンター屋オープン 変遷とこれから [48]



図 3:7：カバーとして使用する例

(出典) 3D プリンター屋オープン 変遷とこれから [48]



図 3:8：オリジナル製品を作成する例

(出典) 3D プリンター屋オープン 変遷とこれから [48]



図 3.9：修理パーツを作成する例

(出典) 3D プリンター屋オープン 変遷とこれから [48]

3.2 ファブ施設でのワークショップ調査

ファブ施設で開催されたワークショップで出会ったコラボレーションの事例が図 3.10 である。ジュエリーのデザインをおこなっている佐藤氏と自動車のシート設計をおこなっていた向山氏の間で起きたコラボレーション事例である。両氏とも元々は別々のところで仕事をしていたが 3D プリンタ屋のワークショップで知り合った。向山氏はもともと木目込みという手法を使って車の内装シートなどをつくる技術者だったが 3D プリンタが出てきたことにより何かできないかと考えていた。



図 3:10：3D プリントとテキスタイル生地を使用したバックル

(出典) 3D プリンター屋で起きたユーザー・イノベーションの仕組みと課題 [30]

本体のベース部分は 3D プリンターで作られ、外部は和織物の柄や好きなテキスタイルのデザインを使用できる。3D プリンターという男性が好む技術を、女性がファッションで気軽に使用できる用にバックル風のデザインに変更して、図 3:11 のように誰でも参加できるワークショップをおこなった。このコラボレーションのきっかけは、技術やアイデアをもった一般生活者が 3D プリンター屋で開催された 3DCAD を学ぶワークショップに参加したことがきっかけで出会い実現した。

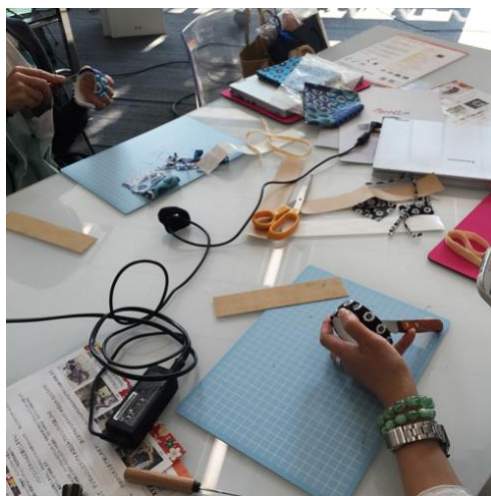


図 3:11 : 3D プリントバックルのワークショップの様子

(出典) 3D プリンター屋で起きたユーザー・イノベーションの仕組みと課題 [30]

次に鉄道が好きな学生が自ら 3DCAD と 3D プリンタを学ぶためにお店に来店した。何度もお店に通ううちに「鉄道の好きな仲間のため 3DCAD に慣れていない知り合いのために 3DCAD で鉄道をつくるワークショップを開催したい」と申し出てきた。その後図 3:12 のように数回のワークショップを行ない、その中から出てきたニーズを吸い上げ、N ゲージのジオラマ用パーツを作成した。しかしワークショップでは女性の参加者もあり、鉄道を好きではない参加者や女性もいる。



図 3:12：鉄道好きの集いのワークショップの様子

(出典) 3D プリンター屋で起きたユーザー・イノベーションの仕組みと課題 [30]

その中で誰でも欲しいと言ってくれるようなモノで皆が使用できる USB メモリと電車を組み合わせた Fig.13 のオリジナルの電車 USB メモリを完成させた。



図 3:13：鉄道好きの集いで発案された電車型 USB メモリ

(出典) 3D プリンター屋で起きたユーザー・イノベーションの仕組みと課題 [30]

イノベーションは社会的変化によって生み出されたニーズに応じて展開することもある 10)とジェラルド・ザルトマンは述べているように、一般生活者が 3D プリンタという技術の社会変化を通して、それを学ぶためにワークショップに

参加し共通の課題を一緒に解決していくことが起きた。一般的なワークショップでは、教える側と教わる側に分かれてしまい、一方的なやり取りしか生まれえない。しかしワークショップの中で共通の課題を一緒に解決をすることを目的とすると参加者から共感をえることができる。ヘンリー・チェスブロウの「オープン・サービス・イノベーション」のフレームワークを構築するため、4つの基本コンセプトの1つとして顧客の価値ある体験を創出するために、顧客をイノベーションの共創に引き入れる [66]とあるように店頭でのユーザー・イノベーションにはワークショップで共感を起こしていくことが重要なことであるのではないかと考えられる反面で、何か新しい作品を作り出す場合には3D CADを使用できる事が不可欠である事が浮き彫りになった。

3.3 アイデアコンテストにおける調査

デジタルファブリケーション技術を使用するファブ施設が日本全国に163ヶ所ある [67]。ファブ施設とは自宅に3Dプリンタを所有していなくても貸し出してくれる施設がある。その中で3Dプリンターを日常的に使用するには問題が多い。何故ならば問題の1つは、一般ユーザーには新しい技術に慣れておらず一般ユーザーが何に使ったらよいのか分かっていない。イノベーションは、新し

い経験をした時に生まれる。「イノベーションとは、機会を新しいアイデアへと転換し、さらにそれらが広く実用に使われるように育てていく過程である [68]」とあるように、3D プリントの新しいテクノロジーは、一般ユーザーが広がっていく過程においてイノベーションが起きる可能性が多くある。しかし現在は 3D プリンタを使用しなくとも必要な 3D データの作成には 3D CAD 技術習得が必要であり一般ユーザーには困難な状態にある。新しい技術を暮らしの中でどのように活用すべきか一般ユーザーはわかっていない。そこで新しい 3D プリンタを使用するコンテストにおける共創の仕組みを考察した。まず 2016 年から開催された FAB3DCONTEST [69]とは新しい広がりを持った 3D プリンタの利活用法と、それを担う人材を発掘するためのアイデアコンテストである。その中の「家族の部」というカテゴリーは、家族の中での困ったことを 3D プリンタのデジタルファブリケーションを使って困ったことを解決していくアイデアコンテストである。しかし「家族の部」といっても誰も 3D プリンタの経験もなく、3D CAD を使用経験もないユーザーが多くいる。そこで 3D CAD を理解しているファブ施設がコンテスト応募をサポートする前提でデザインワークショップをおこなった [70]。その内容を参加者がまとめているのが図 3:14 で

ある。場所はファブ施設の1つであるファブラボ太宰府 [71]で行われた。以下に参加者のコメントをまとめた。

家族のためのデザインワークショップに次男と参加しました。そこでは、デザインのプロセスについて解説を受けた後に家族の課題を発表し、その解決方法について皆で話し合いました。

例えば次男は、

- 1、妹が我儘すぎる。
- 2、家中の時計がくるっていて、不便。
- 3、寝起きが悪く、一人では起きられない。

母親は、

- 1、子供がゴミをゴミ箱に捨てない。
- 2、長男がいつもパンツ一丁である。
- 3、長男がいつも眼鏡をかけたまま寝ている。
- 4、子供の歯磨きがいい加減すぎる。

といった課題が上がり、家族でワークショップ内にて学習したことを参考に
て、家族の課題とその解決方法について話し合いを行い、意見交換をしたが「課
題の中で唯一 3D プリンタで解決するモノをつくれそうな気がするから」とい
う理由で「こどもの歯磨きがいい加減すぎる」に。まずは問題をはっきりさせる
ため「なぜ歯磨きをしっかりできない」のかを子供達に意見を聞いてみました。

- 1、一応、磨いているつもり。
- 2、時間がない、長時間磨くのは面倒くさい。
- 3、別に困っていない、少しくらい平気、すぐには虫歯にならない。

意見交換から急には虫歯にはならないそれよりも今は面倒くさいという意識が
ある事が発見された。このプロセスでアイデアをまとめて 3D プリントした作
品が図 3:14 の右側にある歯ブラシのスタンドである。虫歯の形をしておりもし
歯を磨かなかつたりしたらこのようになるという暗示をしている。家族の問題
点とアイデアを 3D プリンタで具現化してコンテストに応募した。その結果、具
体的なニーズから家族で話し合い、家族の中で共通の問題点を見出し「家族の部」
コンテストにて優秀賞を獲得することができた。



図 3:14：ファブラボ太宰府で行われたデザインワークショップの様子（左）と

発案されたプロダクト

（出典）【from Dazaifu】FAB3D CONTEST [72]

このような 3D プリントニングにおけるデザイン・ワークショップを行い、コンテストに応募する試みでの評価から有効なデザインワークショップだと考え、次年度でも同じ枠組みでデザインワークショップを異なる場所でも開催した場合の結果を検証した。次年度の 2017 年度の FAB3D CONTEST では、その仕組みを別の場所で同じようにデザイン・ワークショップ「初めての親子 3D ものづくり体験」と題して家族に向けてデザインワークショップを開催した。以下が参加者の家族のコメントをまとめたものである。



図 3:15：「初めての親子ものづくり体験」ワークショップの様子

(出典) 3D プリンタを使用したアイデアコンテストにおける共創と考察 [73]

金沢市内で行われたデザインワークショップ「初めての親子 3D ものづくり体験」イベントに姉妹 2 人と参加。そのイベント内で「図 3:14：ファブラボ太宰府で行われたデザインワークショップの様子 (左) と発案されたプロダクト」で試されたプロセスと同じ流れでデザインワークショップを組み立てた。具体的にはデザインやその理由について解説を受けたのち、家族の課題を発表し、その解決方法について皆で話し合い長女が出した課題は以下である。

- 1、掃除洗濯などの家事全般が面倒くさい。
- 2、忘れ物を無くしたい。
- 3、自動でメイクやヘアセットをしてほしい。

参加者の親としての問題点は子どもたちがとにかく面倒くさがり屋さんで困っている。課題の原因は続けて、ワークショップ内で発案された問題のなっているのかを整理した。

- 1、 掃除洗濯などの家事全般が面倒くさい → 折り畳むなどの手順が多く、数回おこなうと疲れてしまう。
- 2、 忘れ物をしない → メモを取ればいいけど、メモをとることが多くて大変。
- 3、 自動でメイクやヘアセットをしてほしい→朝起きてから、ご飯や歯磨きをやらないといけないことが多い。→髪の毛が長いので、とかしたり後ろで結んだりするのに時間が掛かるし難しい。

という問題点がある。見つかった問題点から始めはモチベーションがあっても、手順が多すぎて結果的に三日坊主になってしまうことを根本の原因とした。次に三日坊主になってしまうことを解決できるかを中心にアイデアを発案した。三日坊主になる原因を解決するモノを具体的に考える。ここで発案されたのはクシとヘアバンドが一体となったオリジナルヘアアクセサリを作ることとした。

どんな形状や色にするか、どうすればクシとヘアバンドが一体になるか、手描きドローイングをおこない、アイデアを出した。次に具体的にイメージするために、紙粘土を使って実際の大きさやカタチを作成した。プロトタイプを頭に装着して、何度も大きさを検討し長女が扱えるデザインにすることができた。

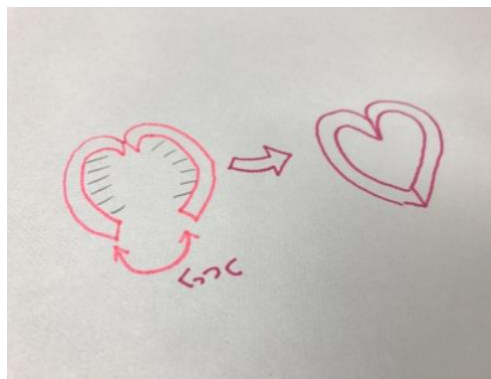


図 3:16：アイデアを具体的に創造するためのドローイング

(出典) ファブ 3D コンテスト 2017：カテゴリ-2：ブラッシングヘアゴム [74]

最後に 3D CAD に挑戦し 3D データ制作を行っている。パソコンでのものづくり自体不慣れな中、非常に悪戦苦闘したが、3D CAD のサポートをファブ施設で受けながら、3D データの作成をおこなった。今回は初めてでも使用しやすい「Autodesk Fusion360」 [75]という 3D CAD を使用した。今回は手で描いたドローイングの線を元にデータを作成することで簡単に立体物にすることができ、自分の意図する大きさや形状を 3D CAD で検討しながら、3D プリントす

ることができた。しかし参加者にとってははじめて 3D CAD を使用したので専門的な技術が必要であり、戸惑いや技術的なハードルが多い。一般ユーザーが参加する場合は図 2:6 で示したように「超える事が難しい壁」をサポートすることで、ユーザー・イノベーションにつながる面白いモノのデザインが発案された。ワークショップで、参加者独自の問題点のためデジタルファブリケーション技術を使用する制作部分においては、ユーザー側での大きなモチベーションとなり、図 3:17 のように実際に使用できるプロトタイプのプロダクトが完成した。

このように新しい技術を使ったアイデアワークショップで発見されるユニークなニーズから生まれるプロダクトを日常生活の中に取り入れるには、デザインワークショップの中での 3D データによるサポートが不可欠であり、有効である。日常生活の問題点を探りながら、それを 3D プリンタなどのデジタルファブリケーション技術で具現化できる仕組みは一般ユーザーの問題点を解決し、新しいユーザー・イノベーションが起こるきっかけや、新しいニーズ見つけることができると思う。このようなユーザーが日々感じている問題点を具現化するためにはデジタルファブリケーション技術と 3D CAD 学習の両方が不可欠である事が明確になった。

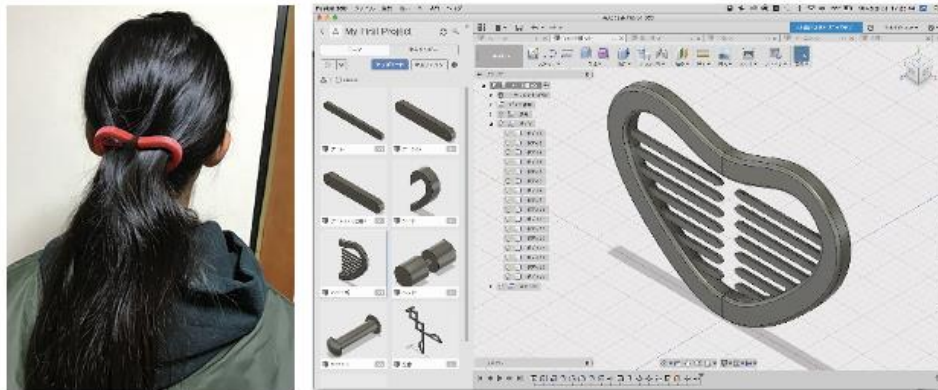


図 3-17：実際に使用している様子（右）と 3D CAD の画面

（出典）ファブ 3D コンテスト 2017：カテゴリー2：ブラッシングヘアゴム [74]

アイデアコンテストにより 3D CAD による具現化するところが問題である事がわかった。中野区産業振興推進機構《ICTCO》にて 3D プリント・コンテストを開催した [76]。3D Business Digging Festival というコンテストを開催した。コンテスト内容は一般生活者から良いアイデアを募集し、最優秀賞には 100 万円を施策費用とし 3D CAD などを使用しプロトタイプを行なうことを目指し広くアイデアを公募した。コンテストの目的としてはまだ一般生活者は 3D プリンタを上手く使いこなせない。しかしでも述べたように 3D プリンタを体験したことでこういうモノがあったら便利だというアイデアや生活していて不便なことを 3D プリンタであれば解決できるかもしれないという可能性を持っている生活者は多くいる。そのようなニーズを吸い上げるために良いアイデアの上位 10 組でプレゼンテーションをおこなったのちに審査員により優勝者を決め

た。審査員は明治大学 教授 宮下芳明氏、西武信用金庫、(株)構造計画研究所、(株)矢野経済研究所、ICTCO 理事長、(株)東京メイカーによって審査された。図 3:19 は応募された一般生活者である主婦からのアイデアで、個人のニーズの中から不便なことを見付けたアイデアが発案された。これは実際に赤ちゃんを育てた実体験からの主婦によるニーズである。現在は実現に向けて開発検討をおこなっている。



図 3:18：ビジネスコンテストのプレゼンテーションと審査の様子

(出典) 中野区産業振興推進機構 (ICTCO) 主催の 3D プリント・ビジネスコンテスト結果発表 [76]

トム・ケリーとデイビット・ケリーによる「クリエイティブ・マインドセット」[77]によると「私たちがかかわってきたあらゆるイノベーション・プログラムでは、常に 3 つの要因バランスを取っている。と書かれているように技術・ビジネス・人間という 3 つの要因の交わる点を見つけることが重要とある。この 3 つの要因を再確認すると、従来型イノベーションは社内コミュニティを活かしイ

ノベーションを起こしていくことで対応はできたが、今後は社内だけのリソースだけでは困難である。

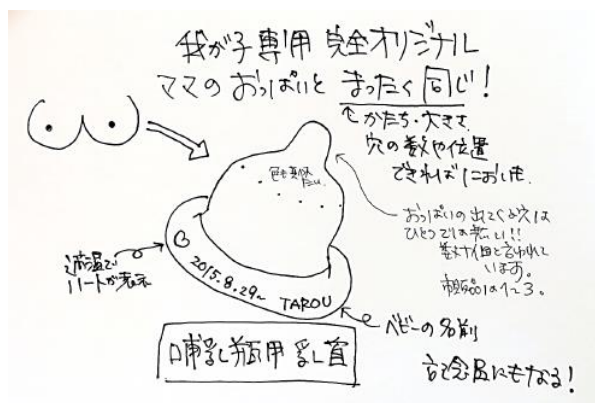


図 3:19：手描きドローイングにて発案されたコンテストアイデア

(出典) 3D プリンタを使用したアイデアコンテストにおける共創と考察 [73]

これからは社内だけではなく、外部の一般生活者を巻き込むことでイノベーションが起きると仮定した。その仮定での問題はやはり 3D データを作成する技術が一般生活者にはなく、アイデアは良いが実現できないという問題があるので、アイデアだけを募集して検討した。その結果は一般ユーザーや生活者からはイノベティブなアイデアが多く発案されていることが分かり、3D データの作成やそのアイデアの実現性を賞金で解決しようというコンテストイベントが有効的であり開催した。

3.4 3D CAD 教育における個人とグループワークの創造性の違いについて

3D CAD教育における個人ワークとグループワークはどのように創造性に変化を与えるのか調査した。検証計画の立案の手順 [63]に従って、検証の視点の明確化、検証の場面・方法の明確化・処理と解釈方法の明確化の順におこなった。

(図 3:1) 具体的には大学授業内で実践教育の調査を基に調査をおこなった。芸術学部でデザイン専攻している学生（実験参加者）に対して個別のワークと2名グループに分けて、デザイン課題を与えて違いの調査をおこなった。実験を通して、3D CADを学習するプロセスで個別ワークの創造性と2名グループでの創造性によって実践教育においてどちらがデザインの創造性には有効か調査をおこなった。調査対象となる授業は3D CADによる立体造形（モデリング）の手順を理解し、自らイメージしたプロダクトデザインを3D CADを使い3Dデータを作成する技術習得を目的としている。そのため3Dデータの実現性を学び、かつ新しいデザインを創造して具現化することを目指している。3D CADでデザインし創造したアイデア（3Dデータ）を最後に3Dプリントし動作確認をしてプロダクトデザインを創造していく過程までの流れを学習していく。実験参加者本人の自己評価と外部評価者からの評価により客観的な調査をおこなった。実験参加

者による自己記述を15回ある授業の終わりに毎回行い調査をおこなった。3D CADで作成された3Dデータ作成を3Dプリントし第3者評価者の3名による客観的な評価で創造性を評価した。

21名のデザイン学科に所属する実験参加者を対象とする。15回ある授業終了時に実験参加者本人の自己アンケート評価により自らで認識してもらう。第3者の評価は、評価者に対する以下の6項目7段階でのアンケート調査を実施した。評価時にスケッチワークシートと3Dプリントされた実験参加者のデザインで評価をおこなった。

表 3.2：設問の一覧

設問 1	アイデアドローイングの三面図（上面図/側面図/前面図のドローイング）と3D データを比較して差があるか？（参照：3D プリントとアイデアドローイング）
設問 2	アイデアドローイングの三面図（上面図/側面図/前面図のドローイング）が間違いなく描けているか？※立体として把握が出来ているか？（参照：ドローイング）
設問 3	3D プリントしたプロダクトが意図した機能を満たしているか？（参照：3D プリント）
設問 4	作者のアイデアに共感が持てるか？※使いたい（欲しい）と思うか？（参照：ドローイング・3D プリント）
設問 5	完成したプロダクトに新規性はあるか？（参照：3D プリント）

評価課題のプロダクト課題は実験参加者がデザインしスケッチワークシートにドローイングを描く。その後に 3D データ作成を行い、3D プリントすることで自らの 3D プリントする為に必要な技術と自らの創造したプロダクトデザインの製作を行う。

洗濯バサミ課題ではすべて個人で作成を行いテープカッター課題ではスケッチワークシートを共有して 3D データ作成を行い製作過程・創造性などを評価する。本研究でドローイングを描くのに図 3:22 の James Gibson ら(2017)の開発したスケッチワークシートを使用する [78]。

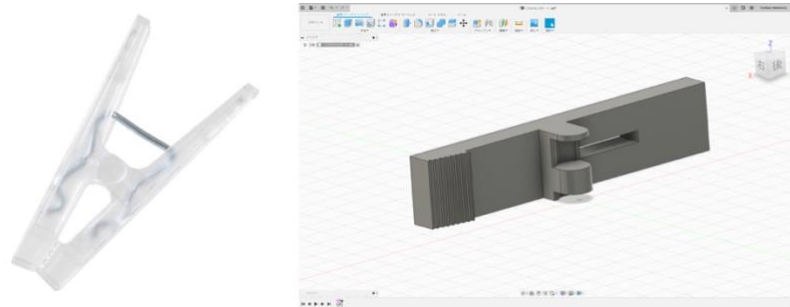


図 3:20：洗濯バサミのサンプル（左）と 3D CAD のサンプル

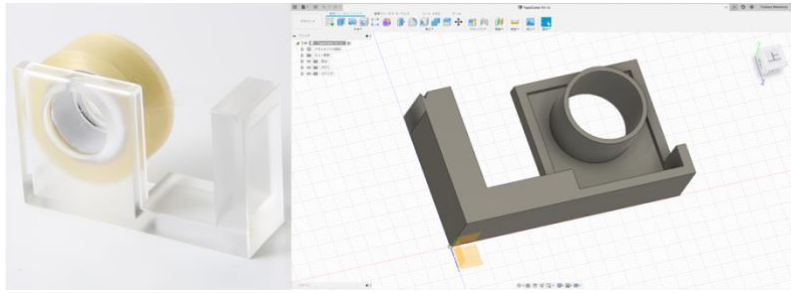


図 3:21：テープカッタのサンプル（左）と 3D CAD のサンプル

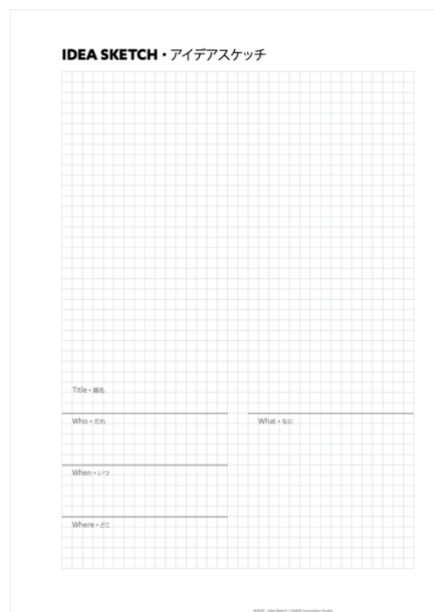


図 3:22：スケッチワークシート

（出典）James Gibson, 小林茂, 鈴木宣也, 赤羽亨. アイデアスケッチ アイデアを〈醸成〉するためのワークショップ実践ガイド（2017） [78]

本

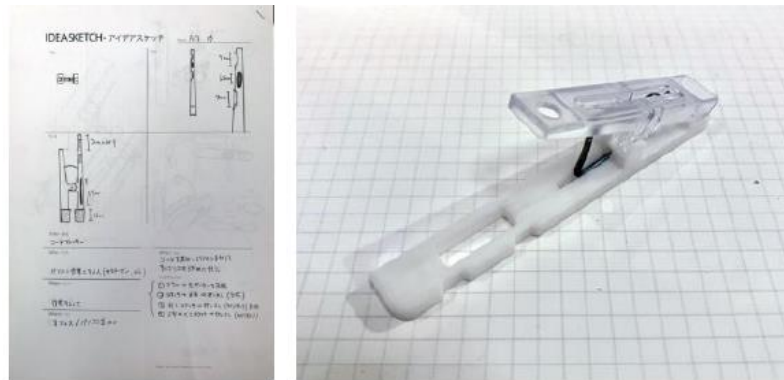


図 3:23：：実験参加者のスケッチワークシート（左）と 3D プリントされた課題

第 3 者による客観的評価にて調査をおこなった。この課題は 3D CAD を使用して 3D プリントすることは、自らの創造したプロダクトデザインを客観的に分析し、3D CAD で実現可能なモデルを作ることである。そのデザイン過程でのアイデア共有は被検者に最も重要なオリジナル性を発見し、また客観的に「3D データの実現性」を評価することを目的とする。3D データの実現性とは、例えば洗濯バサミとして機能するか？についてアドバイスを受け、実験参加者のアイデアの発見に繋がることのできるかを調査した。また実践コミュニティのように複数人で 3D CAD を作成していく過程ではどのような影響を調査していくのかを調査した。まず第一回の「洗濯バサミ課題」と第二回目の「テープカッターの課題」で評価をおこなった。表 3.3 とまた図 3:24 は実験参加者が課題時にスケッチワークシートを共有して話し合った後のコメントである。一部共有

してよかったというコメントはしているが、具体的な意見がどこまで有効であったかはわからなかった。課題を複数人でお互いディスカッションに対して気づきがあったと評価した。

表 3.3：実験参加者のコメント

実験参加者 A	自分のやり方よりも効率的なやり方を教えてもらえたりする
実験参加者 B	他の人のアドバイスをもらって進むことがスムーズになった
実験参加者 C	他の 3D CAD のモデリングのやり方を知れた

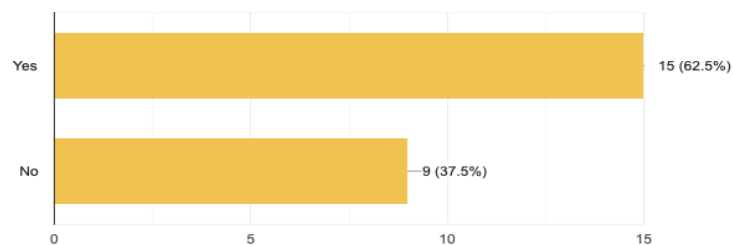


図 3:24：「グループワークでの気づきがあったか？」評価

具体的には半数以上の 62%の実験参加者は気づきがあり、効果的であったという判断をした。しかしこの共有して話し合うことで、優秀な学生（実験参加者）にとっては他の学生（実験参加者）に足を引っ張られてしまい、個人での作業時間を取られてしまう欠点もあると考える。



図 3:25：第三者による評価の様子

3.5 手描きドローイングと 3D CAD における研究

デジタルファブリケーション技術を活用し、3D CAD で創造性を向上するために手描きドローイングが一助になる事がわかった。「3.3 アイデアコンテストによる調査」においても図 3:16：アイデアを具体的に創造するためのドローイングや図 3:19：手描きドローイングにて発案されたコンテストアイデアにてドローイングを活用してアイデアを創造していることから、手描きドローイングが 3D CAD 与える影響に焦点を当て調査した。

芸術系学部におけるプロダクトデザイン専攻の3D CAD授業の学生（以下、実験参加者）に対し、手描きの三面図と手描きのドローイングを行い、3D CADによる「造形技術力」と「正確な形の表現技術力」に対して調査を実施した。これ

は3D CADにおける創造性を調査し、制作したい物のイメージはあるが正確に3D CADにて、デジタルファブリケーション機器で使用するための、3Dデータを作成するための授業である。この授業の目的は自らが創造したプロダクトデザインを3D CADにて表現する事である。3D CADは1つのツールであり、実験参加者の創造性により大きく左右されると考え個々を対象にして行う。調査の流れは、まず創造性を向上するためにプロダクトデザインを専攻する実験参加者に対して、アイデアを表現するためにドローイングをおこなう。3D CAD教育はコンピュータ上で立体造形（3Dモデリング）手法を理解し、自ら創造しイメージしたデザインを3Dモデリングできることが目標である。デザイナーを目指す学科において、創造性は重要であり、またアイデアスケッチ（手描きの描写）などの曖昧な表現ではなく、3Dデータを使って明瞭に相手に伝えられる技術は必要不可欠と言える。その後に「正確な形の表現技術力」として3D CADによってアイデアを表現する。この創造プロセスの流れで実験参加者が描くドローイングを2種類に分け、3D CAD教育におけるドローイングと3D CADによる創造性の関係要因を探った。調査は3D CADの授業を行なっている教員により評価を行い、評価指標は後述の2つの評価項目でおこなった。検証計画の立案については「人間工学ガイド」 [79]を参照に計画した。学校において行われる実践的研

究とは、教育課題の解決を目的に教育実践に関わる問題を取り上げていくことである。

3.5.1 評価内容

林・加藤（2010）は「プロダクトデザイナーに求められる能力およびその成長プロセス」 [80]において初心者のプロダクトデザイナーに求められる必要能力を4種類定義している。その4つは具体的には発想力・造形技術力・正確な形の表現力・プレゼンテーション能力である。今回は4つの定義の中から2つに注力して調査をおこなった（表 3.4）。まず1つ目は「造形技術力」である。「造形技術力」については3D CADでつくられたモデルを「3Dデータの実現力」表現力と定義した。2つ目は「正確な形の表現力」である。3D CAD 授業での課題に対して調査をし、2つの評価を合わせた総合力を創造性として定義して研究をおこなった。

- 造形技術力

「造形技術力」については 3D CAD でつくられたモデルが「3D データの実現力」とした。「3D データの実現力」とは 3D データがエラーなく作られていること評価をおこなった。3D プリントなどのデジタルフ

アプリケーション機器に使用できることと定義した。

- 正確な形の表現技術力

「正確な形の表現技術力」については 3D CAD でつくられたモデルを「3D データの表現力」と定義をした。手描きのドローイングのイメージから最終的 3D CAD によりアイデアの表現力を評価し、各自が発案したイメージやアイデアから新しい形を表現しているかの評価をおこなった。

表 3.4: 初心者のデザイナーにおけるデザイン能力リスト (筆者が一部抜き出し)

必要能力	能力の詳細	具体的な内容	評価目的
造形技術力	正確な造形力	バランスの取れた形を正確に表現できること	3D データの実現力
	手描きによるアイデアの表現	手描きのスケッチでリアルにアイデアの形を表現できること	
正確な形の表現力	ソフトウェアによる正確な表現技術力	イラストレーター、フォトショップ、CAD などのデザイン用ソフトを用いて、	3D データの表現力

形と寸法を正確に表現で
きること

ソフトウェアによるア 描画ソフトを用いて、アイ
ディアの表現力 ディアを具現化すること

実験課題については「新しいテープカッター」と「新しい IoT デバイス」という 2 種類の課題を出した。まず「新しいテープカッター」という課題は課題としては難しいと言える。理由として普段使用しているプロダクト製品で多くのプロダクトデザインが販売されており新たなデザインを発案するのは難しいからである。図 3:26：三面図にドローイング 実験参加者 19 は評価者に示す「平均的な作品」に相当するプロダクトである。平均的とした理由は、手描き三面図で描いている形状と 3D データで作られている形状が正確に 3DCAD で再現されているが「3D データの表現力」にあたるデザイン形状が現行のテープカッターと類似していて新たなデザイン形状の発案に至っていないからである。一方で「新しい IoT デバイス」の課題は「一見難しいようであるが比較的簡単に応用ができる課題」として考えた。なぜならば実験参加者の自由な発想でデザイン

を発案でき、実験参加者の身近には存在せず、自由に発想が可能である。図 3:27:

自由にドローイング 実験参加者 2 は「平均的な作品」に相当するプロダクトである。平均的とした理由は自由にドローイングをおこなっているスケッチの陰影から 3D データで確認できる形状が正確に 3DCAD で再現されているが、「3D データの表現力」にあたるデザイン形状は新たなデザイン形状の発案に至っていないからである。

3.5.2 評価対象

評価者に対する設問は設問 A においては 3D データの実現力の評価を行い、これを 3D プリントする設問 B では創造性の評価をおこなった。詳しい評価項目を表 3.5 に示す、評価は 7 段階のリッカート・スケールでおこなった。評価対象者はプロダクトデザインを専攻してある実験参加者に対しておこなった。

表 3.5：実験参加者の評価項目

設問 A	3D プリント可能なデータを作成できているか？	3D データの実現力 (3D プリント)
設問 B	今までにない新しい形状を導き出せているか？	3D データの表現力 (3D CAD)

本研究の調査方法は 3D CAD 教育を受講するデザイン初学者（以下は実験参加者）に対し手描きのドローイングが 3D CAD に与える影響について調査した。

調査対象者の実験参加者はプロダクトデザインを専攻する実験参加者で、初めて 3D CAD を使った授業を受講する大学 3 年次の実験参加者である。学力や知識についてのバラツキについては入学 1 年次から同じ科目を履修してきた 3 年次の実験参加者であり、学力や知識レベルは同等と定義した。同レベルである 3 年次の実験参加者(実験参加者)計 44 名に対して対象とした調査をおこなった。

デザイン課題内容におけるコンセプトには指導は行わず、3D CAD におけるモデリングしたプロダクト形状において評価をおこなう。調査内容は実験参加者各自が考えたプロダクトデザインのコンセプトを、それぞれ別々に別れ 2 種類のドローイングをおこない 3D CAD を用い 3D データを作成しプロダクトデザインを完成させるデザイナーの一連の流れを対象に評価をおこなった。その学習過程においてアイデアを描き留めたドローイングと 3D CAD を用いた 3D データのからの創造性を考察する。内容詳細を以下に示す。

- 三面図をドローイングする（実験参加者 21 名）
 - 自分が創造したプロダクトを上面/側面/正面の三面図を描いた後、3DCAD でモデリングをおこなう。

- 自由にドローイングする（実験参加者 23 名）
 - 自分が創造したプロダクトを自由にドローイングに描いた後、3DCAD でモデリングをおこなう。

上記のように特定のプロダクトデザインの課題についてドローイングを描き、3D CAD でモデリングをおこない、各実験参加者のドローイングと 3D CAD のモデリングの成果に対して評価をした。

評価者は、コロナ禍において全てオンラインにて評価をおこなった。3D CAD は、数年前は 3D データを確認するには同じソフトウェアを購入する必要があった。例えば単に 3D CAD を使って何かを設計するのではなく、3D データを確認するためだけに企業は数百万円するソフトウェアを購入する必要があった。しかし現在は 3D CAD も価格が下がり数万円で使用できるようになったことや、新しい機能も多く追加されている。例えばコロナ禍で離れた場所にデータを共有したい場合はインターネットがあればクラウド機能を使ってブラウザで瞬時に 3D データの形状や内部機構が確認できるようになった [81]。今回の評価もブラウザで 3D データを確認し評価をおこなった。評価者は 4 名でおこなった、男女 2 名 2 名で 3D CAD の講義をおこなったことのあるエンジニア、もしくは

デザイナーである。エンジニアとデザイナーの割合は半々であり、理工系のエンジニアリング教育での重要視する部分とデザイン教育での重要視する部分が偏りのないように評価ができるように注意した。

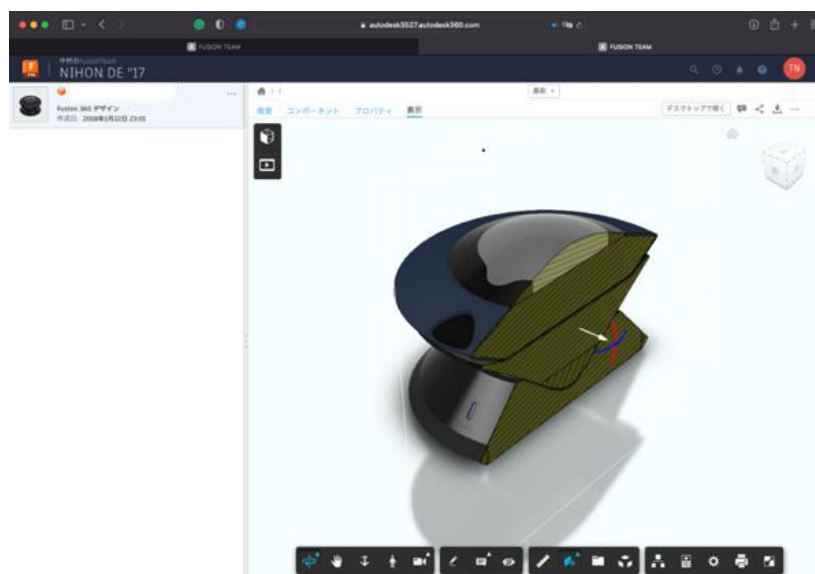


図 3:26 : Web ブラウザで 3D データでの確認方法

第4章 結果

研究は芸術学部に所属しているデザイン学科のデザイン初学者（実験参加者）44 名に対して手描きドローイングが 3D CAD に与える創造性を調査した。具体的には「造形技術力」については 3D データの実現力として調査し、「正確な形の表現力」については 3D データの表現力としての 2 種類を調査した。調査手順は手描きのドローイングを行い各自のデザインを創発させた後に、3D CAD を使用して 3D データを作成した。手描きのドローイングを三面図と自由に描くドローイングの 2 種類に分けてから 3D CAD での造形技術力・正確な形の表現技術力の調査をおこなった。研究の概略図を図 4.1 に示す。

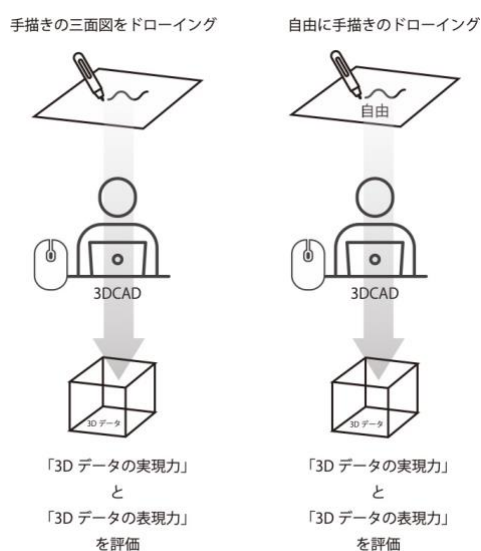


図 4.1：三面図のドローイングと自由に描くドローイングのワークフロー

実験参加者のドローイングと 3D CAD データを、左側には三面図のドローイングを描いた場合、自由にドローイングを描いた場合のスキャン画像を配置し

た。右側に 3D CAD の立体モデルを配置して比較評価をおこなった。実験参加者のドローイング時には図 3:22：スケッチワークシートで示したシートを用いた。評価は表 3.5：実験参加者の評価項目から「3D データの実現力」・「3D データの表現力」に分けて設問をおこない、7 段階のリッカート・スケールでおこなった。各実験参加者のドローイングと 3D CAD データは図 4:2～図 4:45 にまとめた。各実験参加者の平均を表 4.2「三面図を描いた場合の 3D データ形状の実現力と表現力の評価」と表 4.3「自由にドローイングを描いた場合の 3D データ形状の実現力と表現力の評価」に示した。また手描き三面図のドローイングと自由にドローイングをした場合の平均値を表の一番下に示した。全体の傾向を表 4.4：三面図を描いた場合の（縦軸）3D データ形状の創造性と（横軸）3D データ形状の実現性の分散図と表 4.5：自由にドローイングを描いた場合の（縦軸）3D データ形状の創造性と（横軸）3D データ形状の実現性の分散図に示した。使用している 3D CAD は図 3:17：実際に使用している様子（右）と 3D CAD の画面の時にワークショップで使用していた Autodesk, Inc. の Fusion 360® [75] となる。理由としてはデザインワークショップ時にも使用していることやユーザーインターフェイスが使いやすくデザインされており、3D プリントのデータ作成にも適している点で採用している。また個人で行う「趣味の活動や非商用目

的の設計および製造に利用できる無償の CAD/CAM ソフトウェア」 [82]で多くのファブ施設で採用している。また合わせて教育機関ライセンスであれば無償で 사용할 ことができるからである。

4.1 手描きドローイングが 3D CAD に与えた内容分析

4.1.1 三面図を描いた場合

手描き三面図をドローイングした後に、3D CADで3Dモデリングをおこなった。実験参加者のデザインを下記の図 4:2 ～ 図 4:5にまとめた。各図は左側に手描き三面図のドローイングをしたものをスキャンしたコピーを配置した。右に3D CADのモデルを表示して評価をしている。三面図のドローイングは4つに分かれている。図 3:22でも使用している、スケッチワークスペースに上面図・側面図・正面図（アイソメ図は任意）で手描き三面図をドローイングするように指示した。三面図を描く理由として、3D CADの操作は立体形状の把握が必要であり、まだ学習途中の実験参加者は3D空間での思考に慣れていないため、まずは3Dの形状を把握することが必要と考える。これは表 3.4「初心者のデザイナーにおけるデザイン能力リスト」内の「正確な造形力」として重要でありデザイン能力として習得することが必要である。

次に右側には3D CADの3Dデータを配置している。手描き三面図を描いた場合の課題は「新しいテープカッターをデザインしなさい」という課題を出している。テープカッターという身近にあるプロダクトから、各自のアイデアを考えて出すためにある程度は各自で自由なドローイングを行なっている実験参加者もいた。テープカッターは図 3:21：テープカッタのサンプル（左）と3D CADのサンプルを見せている。参照をせる理由としては3D CADの平均レベルを認識させこれよりも新たなデザインを創造するように指示している。この課題に取り組む時間は1限（90分） x 4回分の360分の授業時間をかけている。最終的に提出する手描き三面図のドローイング用紙を複数の描く実験参加者もいたが少人数である。最後に描いたスケッチワークシートで評価を行っている。

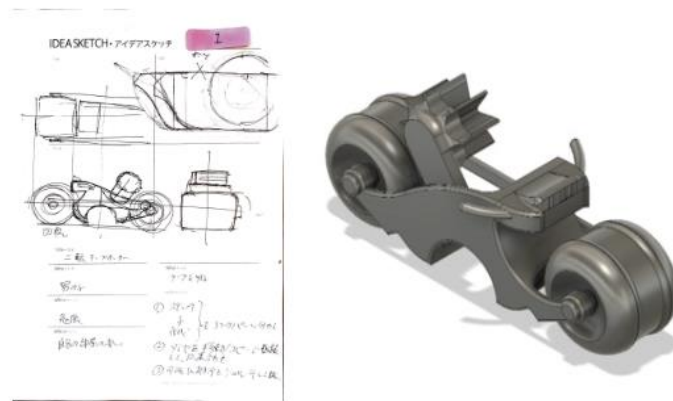


図 4:2：三面図にドローイング 実験参加者 1

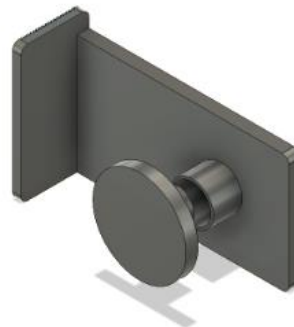
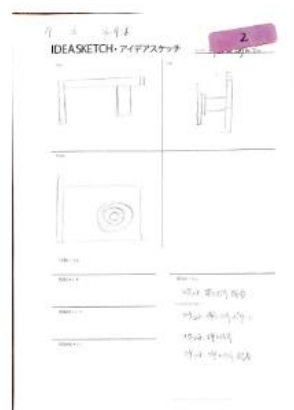


図 4.3：三面図にドローイング 実験参加者 2

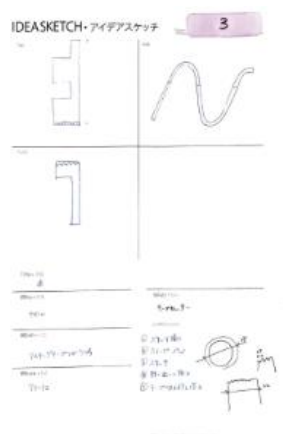


図 4.4：三面図にドローイング 実験参加者 3

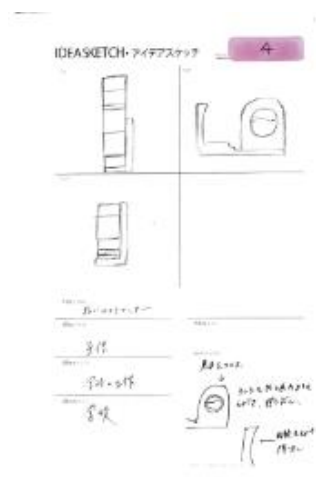


図 4.5：三面図にドローイング 実験参加者 4

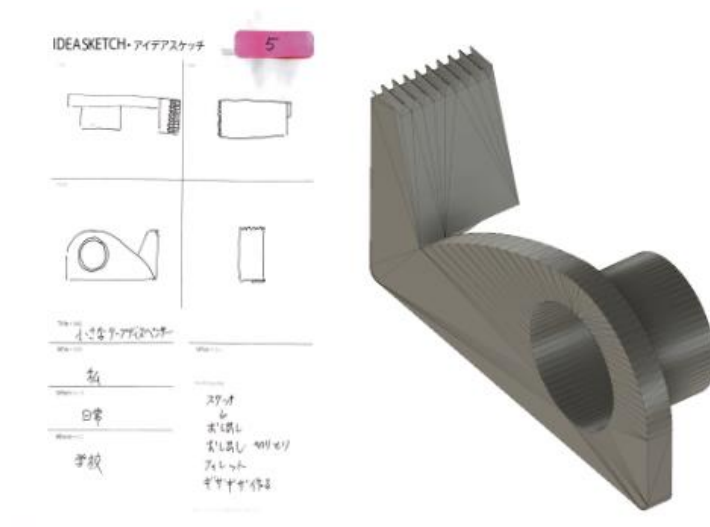


図 4.6：三面図にドローイング 実験参加者 5

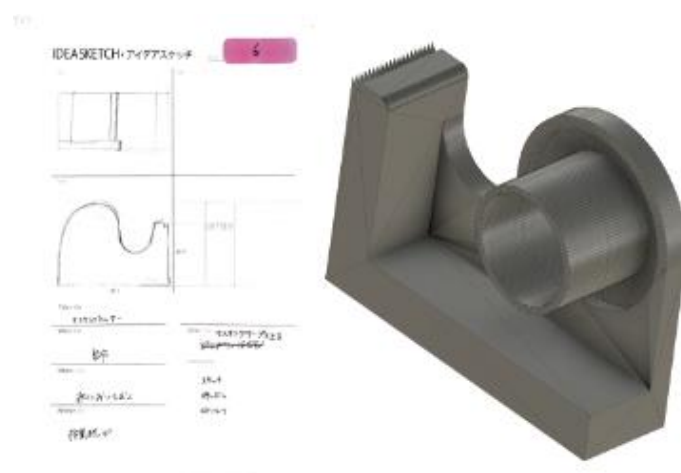


図 4.7：三面図にドローイング 実験参加者 6

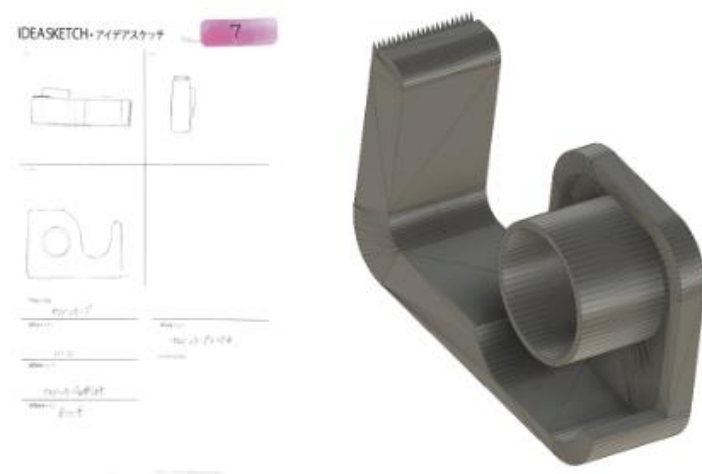


図 4.8：三面図にドローイング 実験参加者 7

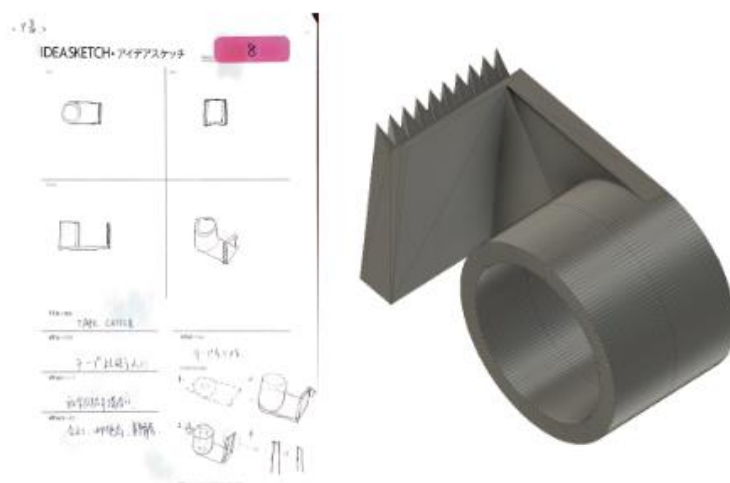


図 4.9：三面図にドローイング 実験参加者 8

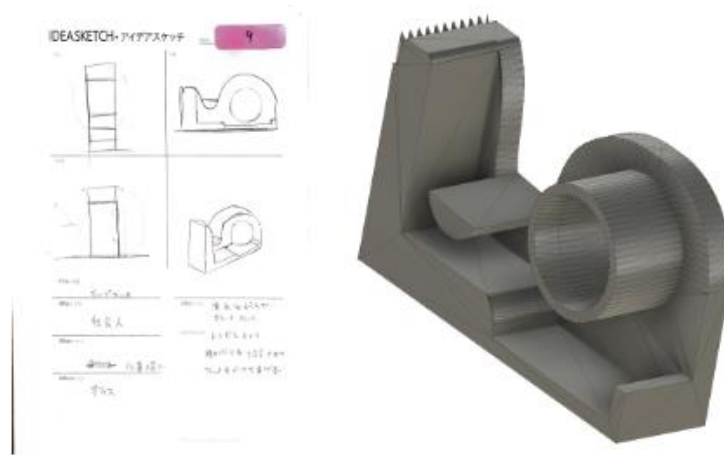


図 4.10：三面図にドローイング 実験参加者 9

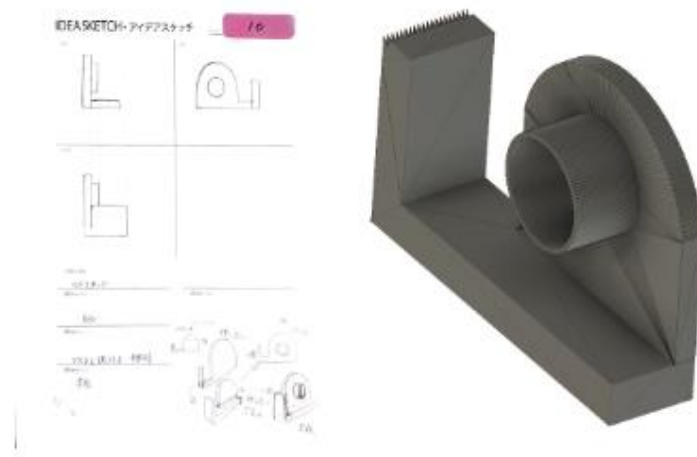


図 4.11：三面図にドローイング 実験参加者 10

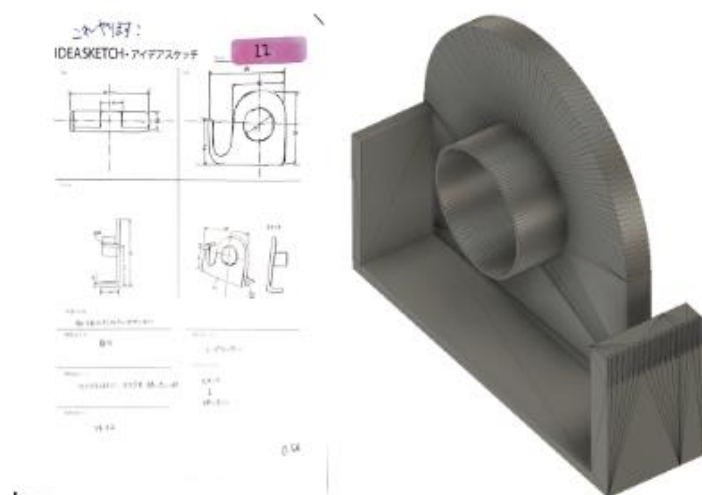


図 4.12：三面図にドローイング 実験参加者 12

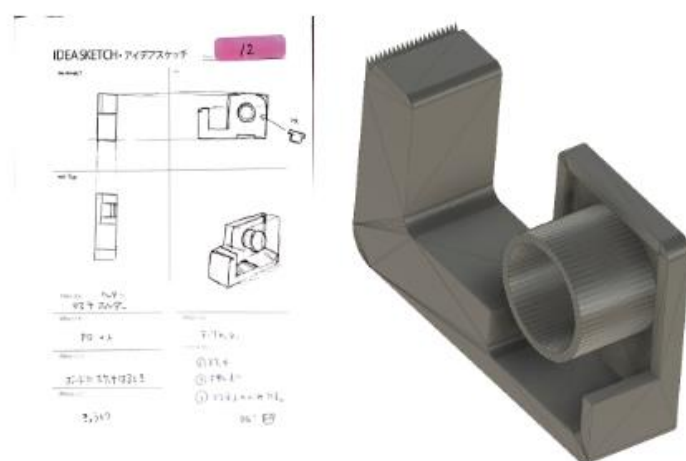


図 4.13：三面図にドローイング 実験参加者 12

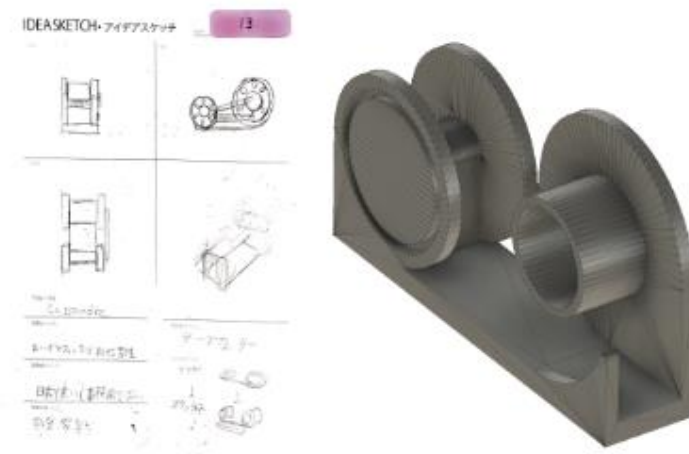


図 4.14：三面図にドローイング 実験参加者 13

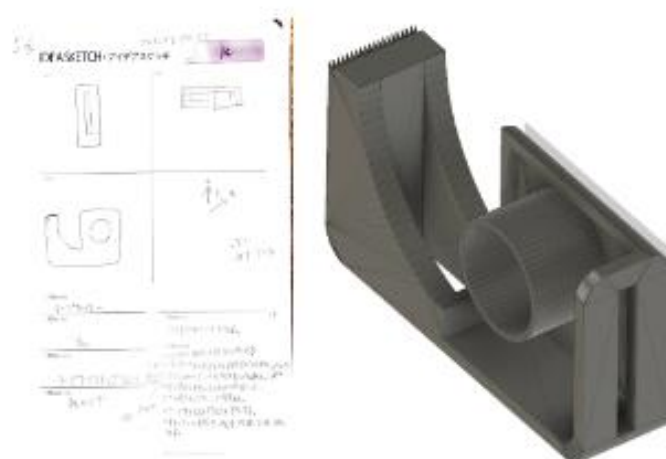


図 4.15：三面図にドローイング 実験参加者 14

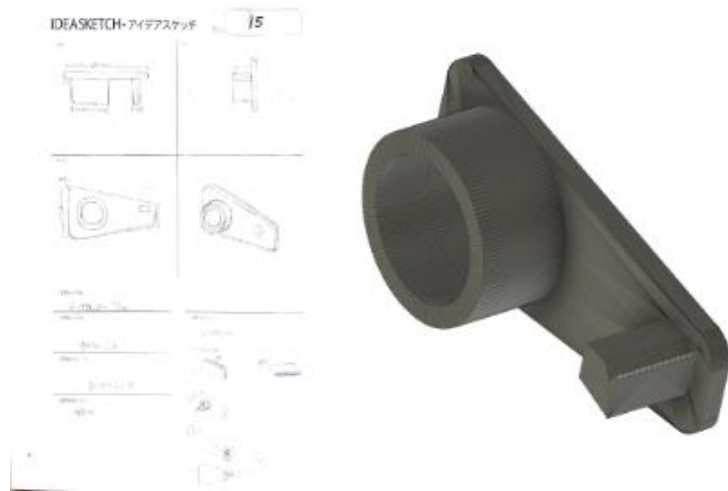


図 4:16：三面図にドローイング 実験参加者 15

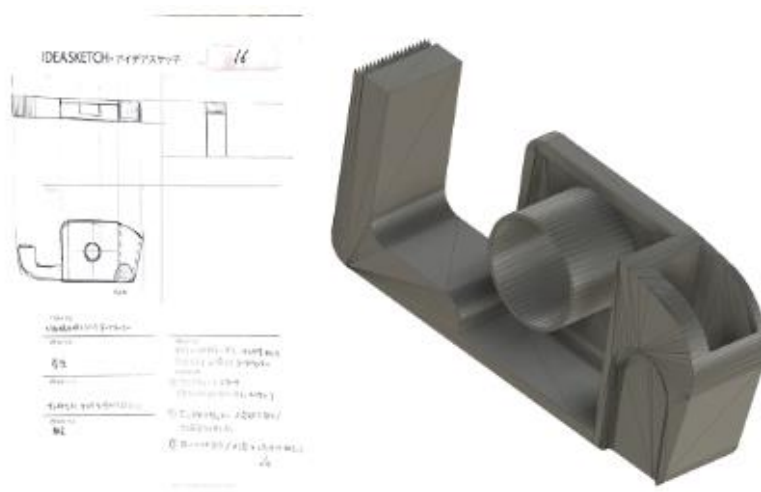


図 4:17：三面図にドローイング 実験参加者 16

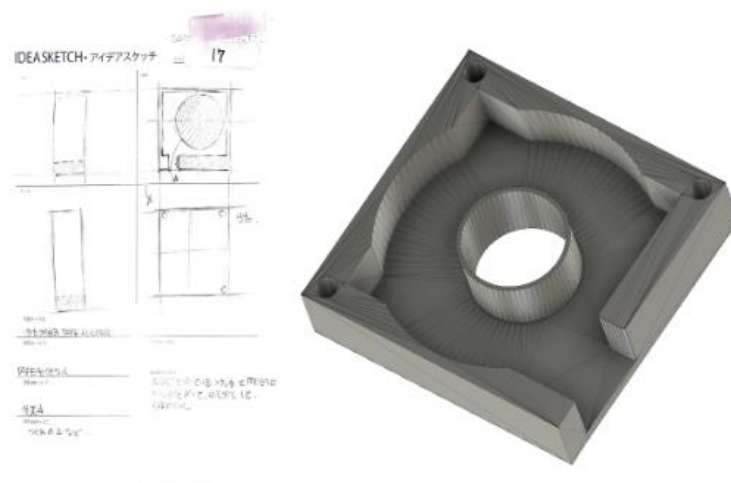


図 4.18：三面図にドローイング 実験参加者 17

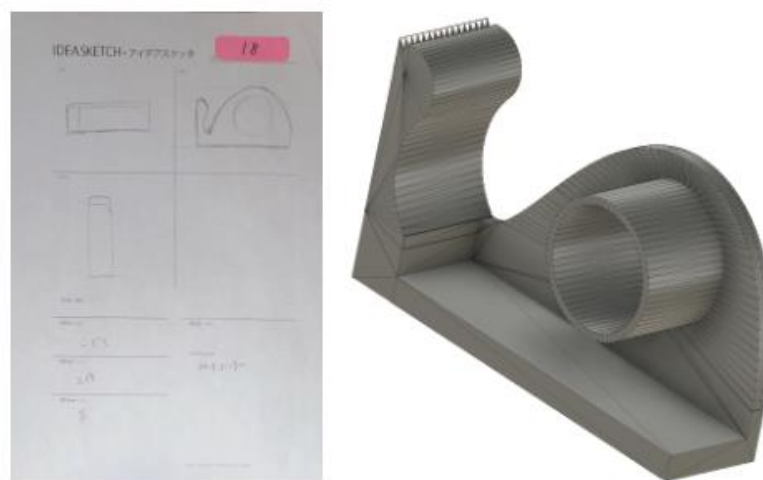


図 4.19：三面図にドローイング 実験参加者 18

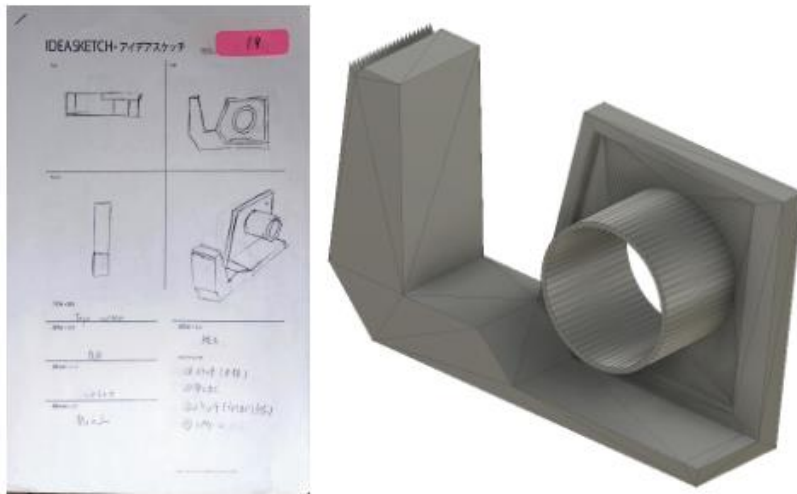


図 4:20：三面図にドローイング 実験参加者 19

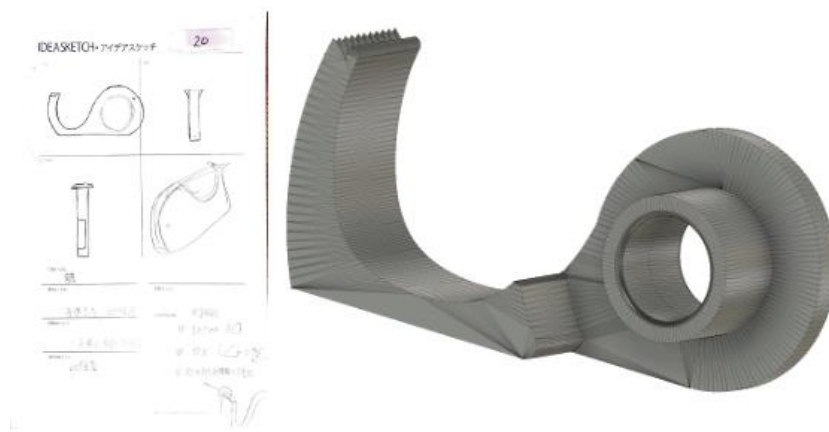


図 4:21：三面図にドローイング 実験参加者 20

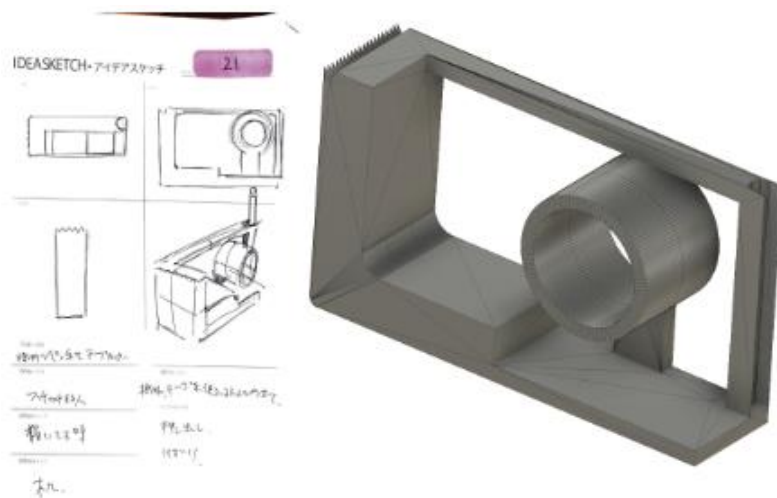


図 4.22：三面図にドローイング 実験参加者 21

4.1.2 自由にドローイングを描いた場合

次に自由にドローイングを描いた後に3D CADでモデリングをした実験参加者の結果をまとめた。図4.23～図4.45左側もしくは上部にドローイングを配置し、右側もしくは下部に3D CADのモデルを表示して評価をしている。表 4.3に自由にドローイングを描いた場合の3Dデータ形状の実現性と3Dデータ形状の表現力の評価をまとめている。各図の詳細説明は左側に自由に描いたドローイングをおこなったものをスキャンしたコピーを配置し、右に3D CADのモデルを表示して評価をしている。自由にドローイングを描いた場合の課題はIoTデバイスをデザインするということを課題とした。



図 4:23：自由にドローイング 実験参加者 1



図 4:24：自由にドローイング 実験参加者 2

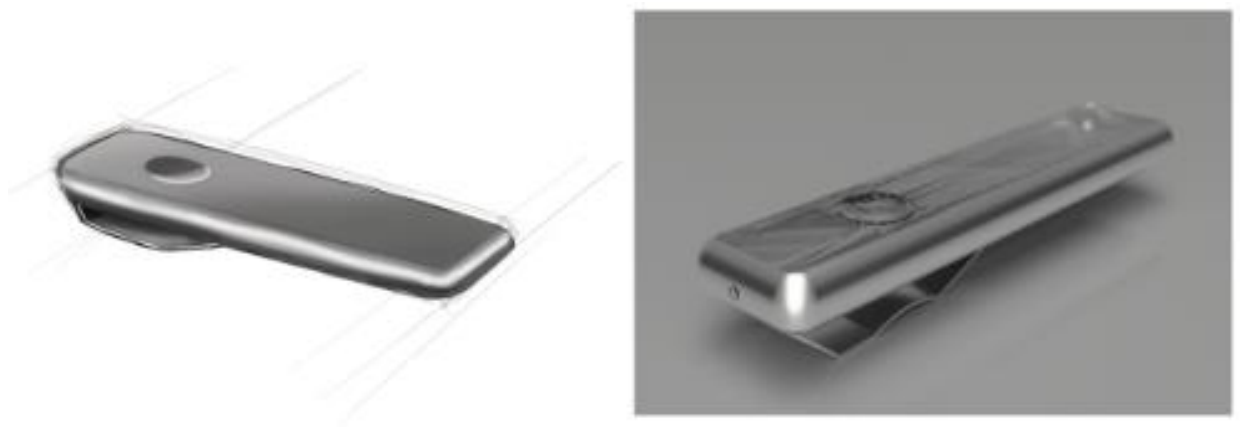


図 4:25：自由にドローイング 実験参加者 3

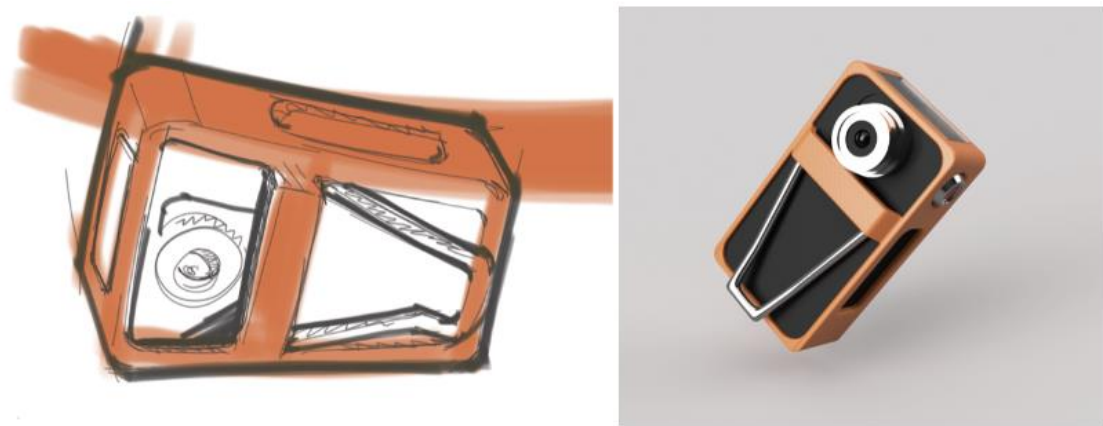


図 4:26：自由にドローイング 実験参加者 4



図 4:27：自由にドローイング 実験参加者 5

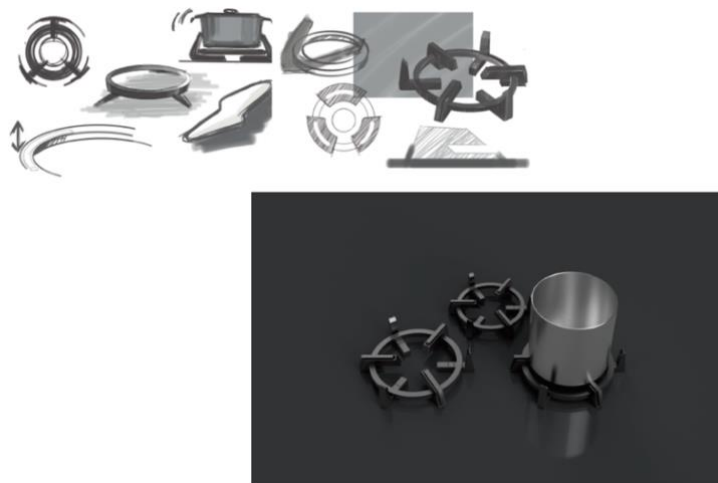


図 4:28：自由にドローイング 実験参加者 6



図 4:29：自由にドローイング 実験参加者 7

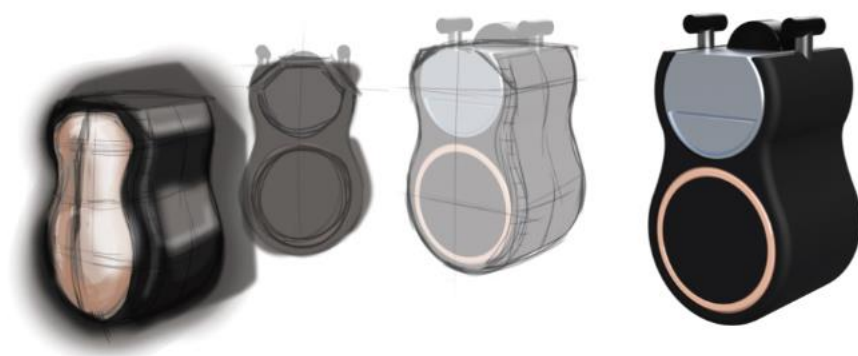


図 4:30：自由にドローイング 実験参加者 8



図 4:31：自由にドローイング 実験参加者 9



図 4.32：自由にドローイング 実験参加者 10

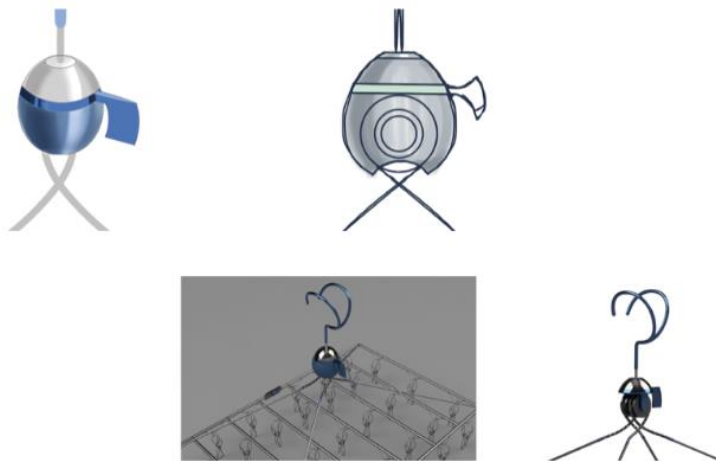


図 4.33：自由にドローイング 実験参加者 11

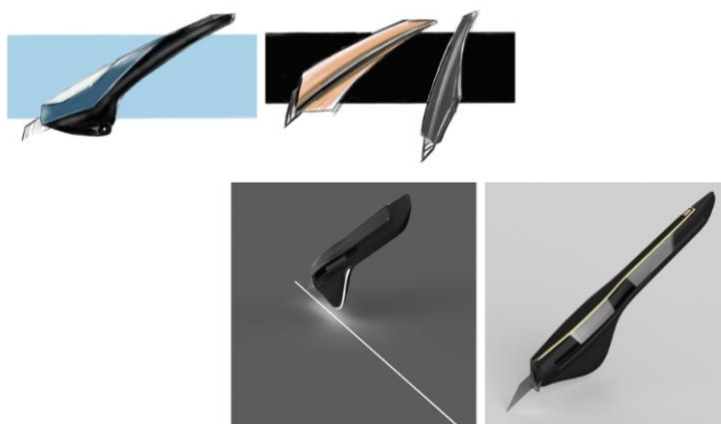


図 4:34：自由にドローイング 実験参加者 12



図 4:35：自由にドローイング 実験参加者 13

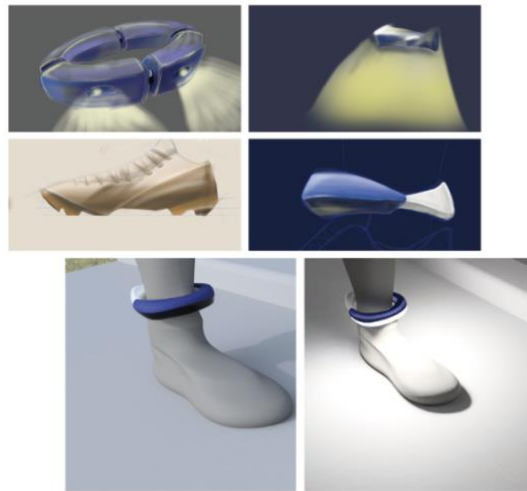


図 4.36：自由にドローイング 実験参加者 14

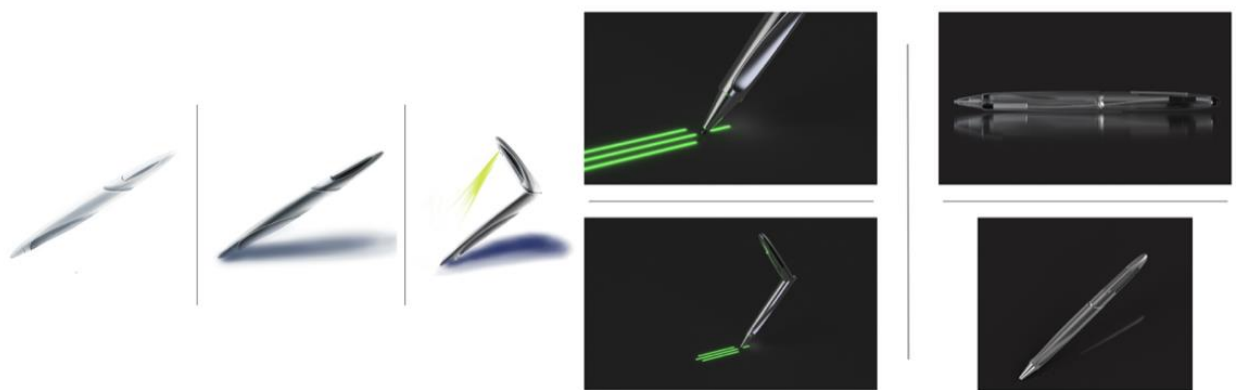


図 4.37：自由にドローイング 実験参加者 15

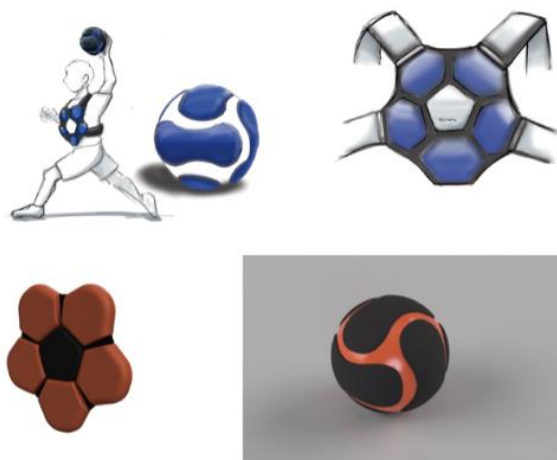


図 4:38：自由にドローイング 実験参加者 16



図 4:39：自由にドローイング 実験参加者 17

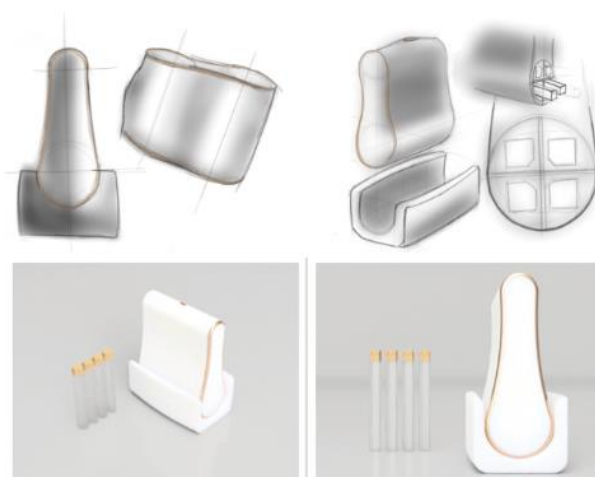


図 4:40：自由にドローイング 実験参加者 18



図 4:41：自由にドローイング 実験参加者 19

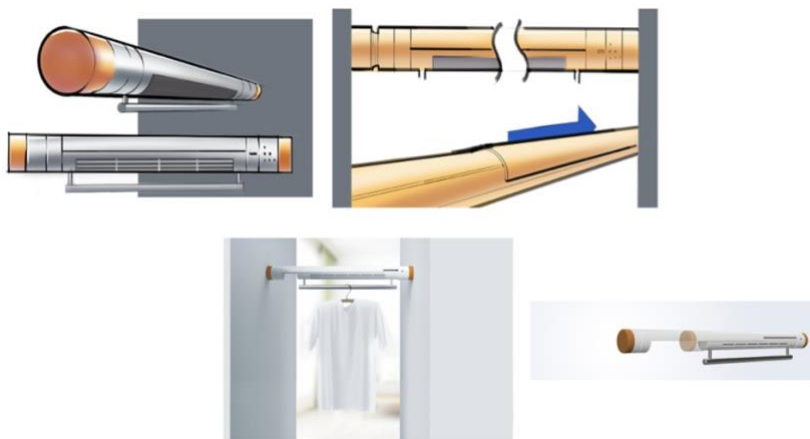


図 4.42：自由にドローイング 実験参加者 20



図 4.43：自由にドローイング 実験参加者 21

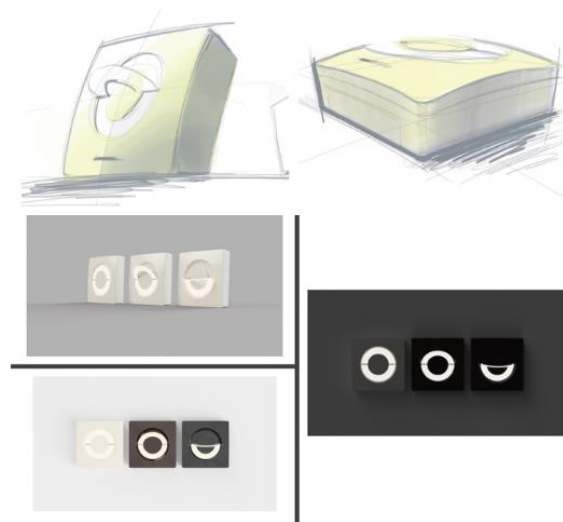


図 4.44：自由にドローイング 実験参加者 22

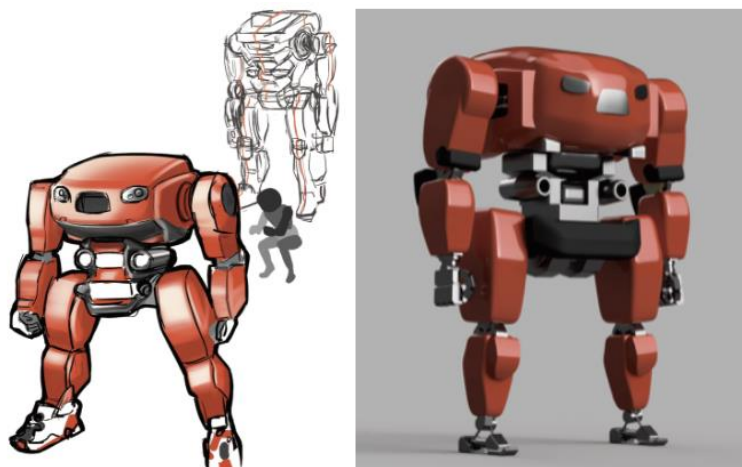


図 4.45：自由にドローイング 実験参加者 23

4.2 3D CAD における実現力と表現力の評価

実験参加者に対して表 4.1 のように設問 A「3D プリント可能なデータを作成できているか？」と設問 B「今までにない新しい形状を導き出せているか？」評価をおこなった（表 3.5）。設問 A は「3D データの実現力」として評価をし、具体的に 3D プリントが可能なデジタルデータになっているかを調査した。3D CAD においては一見 3D データができているように見えても、実際にはファブリケーション機器に使用できないデータ形式である場合やデータエラーで使用

できない場合がある。その問題を評価するために設問 A は「3D データの実現力」とした。設問 B は 3D データの表現力」として定義し採点を評価した。

4.2.1 手描きの三面図をドローイングした場合の実現力と表現力の評価

実験参加者が 3D CAD を操作する前に三次元形状を正確に把握するために三面図を描いたことにより、全体的には 3D データの破綻や 3D データエラーは少なく「3D データ形状の実現力」は高い傾向にある。そのため各実験参加者の 3D データ形状の実現性は高い傾向がある。一方では「3D データ形状の表現力」は全体的には低い傾向にある。

表 4.2：三面図を描いた場合の 3D データ形状の実現力と表現力の評価

実験参加者 NO	3D データ形状の 実現力	3D データ形状の 創造性
三面図にドローイング 実験参加者-1	4	2.25
三面図にドローイング 実験参加者-2	4.25	1.75
三面図にドローイング 実験参加者-3	5	5.5
三面図にドローイング 実験参加者-4	3.25	1.5
三面図にドローイング 実験参加者-5	3.5	3
三面図にドローイング 実験参加者-6	4	3.5
三面図にドローイング 実験参加者-7	4.75	4
三面図にドローイング 実験参加者-8	4.25	2
三面図にドローイング 実験参加者-9	5	3.25

三面図にドローイング 実験参加者-10	4	1.5
三面図にドローイング 実験参加者-11	4	2.5
三面図にドローイング 実験参加者-12	5	4.75
三面図にドローイング 実験参加者-13	4.5	1.25
三面図にドローイング 実験参加者-14	4	4.75
三面図にドローイング 実験参加者-15	3.5	2.25
三面図にドローイング 実験参加者-16	3.75	4.5
三面図にドローイング 実験参加者-17	4.5	6
三面図にドローイング 実験参加者-18	5.25	2
三面図にドローイング 実験参加者-19	3.75	2.5
三面図にドローイング 実験参加者-20	2.75	4.25
三面図にドローイング 実験参加者-21	3.75	3.75
平均	4.41	3.17

4.2.2 自由にドローイングをした場合の実現力と表現力の評価

実験参加者が 3D CAD を操作する前に三次元形状を把握するために自由にドローイングを描いたことにより、「造形実現力」について複雑になり難しい形状が多くみられた。「表現技術」においては、そのため各実験参加者の 3D データ形状の実現性は高い傾向がある。しかし 3D データ形状の創造性は、全体的には高い傾向になった。

表 4.3：自由にドローイングを描いた場合の 3D データ形状の

実現力と表現力の評価

実験参加者 NO	3D データ形状の	3D データ形状の
	実現力	表現力
自由にドローイング 実験参加者-1	5.75	5
自由にドローイング 実験参加者-2	5.75	5.25
自由にドローイング 実験参加者-3	3.75	3.25
自由にドローイング 実験参加者-4	4	4.25
自由にドローイング 実験参加者-5	4	3
自由にドローイング 実験参加者-6	3.75	4
自由にドローイング 実験参加者-7	4.75	3.75
自由にドローイング 実験参加者-8	3.5	4.25
自由にドローイング 実験参加者-9	4.25	4.5
自由にドローイング 実験参加者-10	5	5.25
自由にドローイング 実験参加者-11	5.75	5.5
自由にドローイング 実験参加者-12	5	3.75
自由にドローイング 実験参加者-13	5	4.75
自由にドローイング 実験参加者-14	4.75	3.25
自由にドローイング 実験参加者-15	3.5	3.5
自由にドローイング 実験参加者-16	6	5.25
自由にドローイング 実験参加者-17	3.5	3.75
自由にドローイング 実験参加者-18	5.25	5.25
自由にドローイング 実験参加者-19	5	4.5
自由にドローイング 実験参加者-20	5.75	5.25
自由にドローイング 実験参加者-21	5.25	3.75

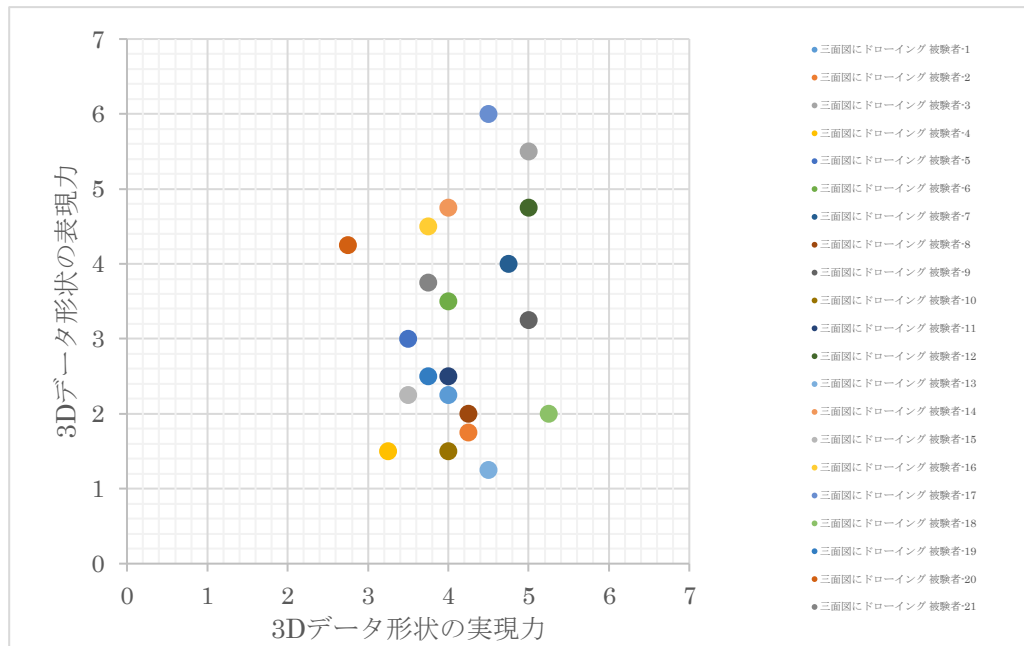
自由にドローイング 実験参加者-22	6.25	5.5
自由にドローイング 実験参加者-23	5.25	4.5
平均	4.57	4.3

4.3 三面図と自由にドローイングを描いた場合の比較

表 4.4と表 4.5に縦軸「3Dデータ形状の表現力」と横軸「3Dデータ形状の実現力」として実験参加者の表をまとめた。まず表 4.4には手描き三面図を描いた場合の3Dデータの実現力（横軸）では3～4点の範囲に評価がまとまっていることが示されている。「3Dデータ形状の表現力」の全体傾向としては6から1まで上下の幅がある。その中でも3から2あたりに評価がまとまっている。手描き三面図を描いた場合は3Dデータの表現力（縦軸）は全体的にバラツキがあり差が大きいことがわかる。このような傾向から三面図を描くことに意味があり、三面図を描くことので3D CADへの理解が深まるのではないかと考える。

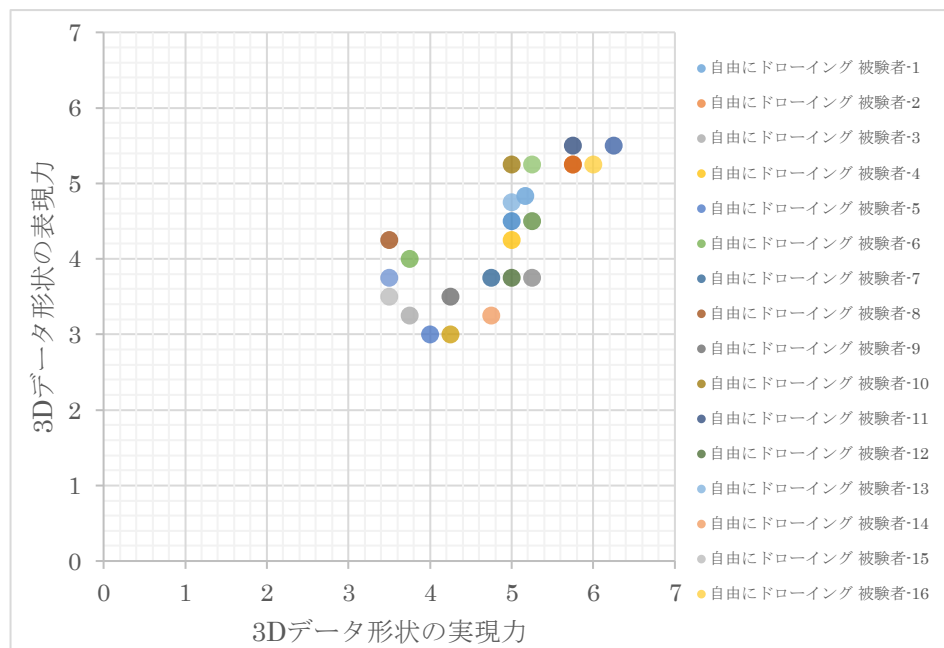
表 4.4：三面図を描いた場合の（縦軸）3D データ形状の創造性と（横軸）3D

データ形状の実現性の分散図



次に表 4.5は自由にドローイングを描いた場合の3Dデータの実現力（横軸）と3Dデータの表現力（縦軸）を分散図にまとめた。図から分かるように手描き三面図を描いた時に比べるとバラツキが小さい。これは手描き三面図を描く場合よりも、自由にドローイング描いた場合の実験参加者は差が出にくい傾向を示している。

表 4.5：自由にドローイングを描いた場合の（縦軸）3D データ形状の創造性と（横軸）3D データ形状の実現性の分散図



第5章 考察

5.1 手描きドローイングが 3D CAD にあたえる創造性

5.1.1 手描き三面図が 3D CAD に与える実現力と表現力

手描き三面図をドローイングした場合の結果を考察する。まず実験参加者は三面図を描くことで、3D 形状を理解し 3D CAD に形状を表現出来ている事がわかる。平均的な例は「図 4:7：三面図にドローイング 実験参加者 6」のように 3D CAD による表現力があり、3D プリントによる実現力がある場合が多く確認された。一方で元のデザインと似ている形状である場合が多く、3D CAD にて新しいデザインを創造しているような表現力はなく、オリジナリティを発揮するまでには至っていない。

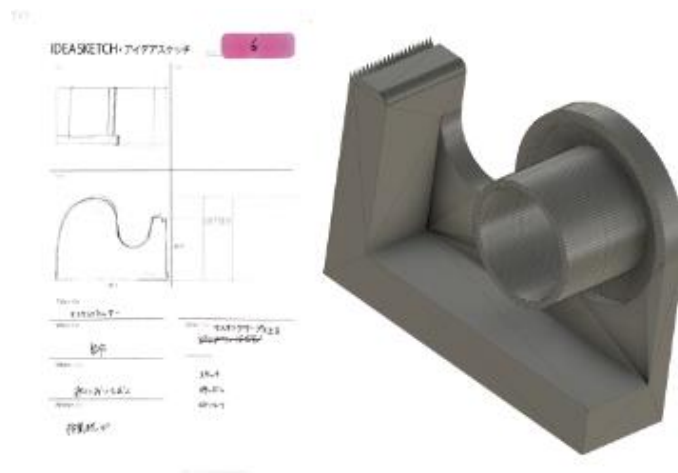


図 4:7：三面図にドローイング 実験参加者 6

しかし三面図のドローイングにおいても勢いや枠内でのドローイングに収まらずに自由にドローイングを描いている「図 4:2：三面図にドローイング 実験参加者 1」の実験参加者は 3D CAD による表現力は高評価であり、オリジナリティがあり、作品自体も魅力的であった。この場合は実験参加者には個性があり三面図のドローイングにも現れている。

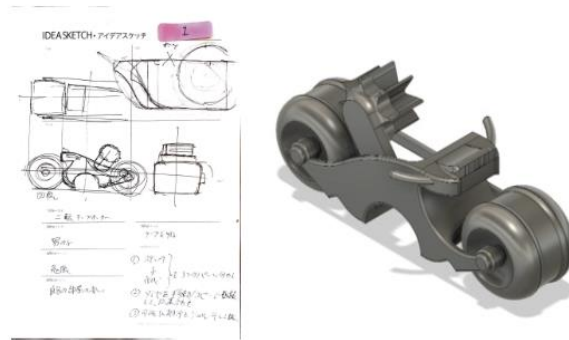


図 4.2：三面図にドローイング 実験参加者 1

実験参加者の中で高い評価である実験参加者は「図 4.4：三面図にドローイング 実験参加者 3」や「図 4.18：三面図にドローイング 実験参加者 17」がある。これらの事例は今までのテープカッターにはないオリジナリティがあるデザインを実験参加者が自らしている。このような元々あるテープカッターのデザインから実験参加者自らのアイデアで 3D CAD により具現化することを課題の目標である。比較的テープカッターの課題自体は簡単に見えるが、モデリング自体はシンプルな分三面図としては捉えやすい。しかし実際はプロダクトデザイナーとしての創造性の実力がはっきりと出ている傾向がある。「3D データの実現力」としては比較的簡単であるため、「3D データでの表現力」として面白いアイデアを生み出すのは難しい。その分、根本的なパソコンでのマウス操作が素早い点や、ソフトウェア操作に慣れている実験参加者に多い、3D CAD の操作スキルに左右されず総合的な実力が明確になることが特徴としてわかった。図 4.4 や図 4.18 程度の実験参加者を増やしていくことが目標となり、課題の目標となる実験参加者のレベルが明確になった。

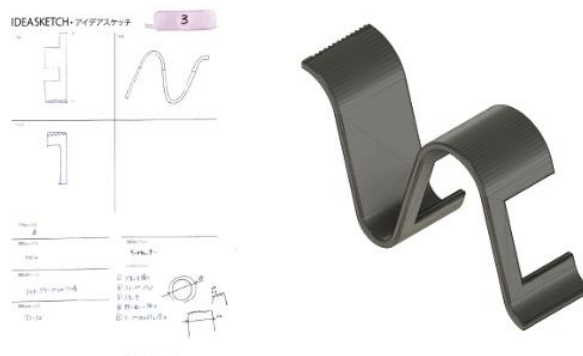


図 4.4：三面図にドローイング 被験図 4:4：三面図にドローイング 実験参加者 3

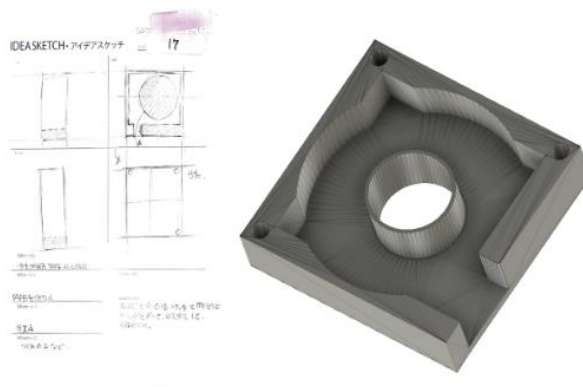


図 4.18：三面図にドローイング 実験参加者 17

5.1.2 手描きドローイングが 3D CAD に与える実現力と表現力

自由にドローイングを描いた場合の結果を考察する。まず自由にドローイングを描いた場合の描き方を調査すると、その中でも三面図的に描く実験参加者が一定数いる事がわかった。これは実験参加者自身が 3D CAD にて 3D モデリングすることを想定し、三次元形状の思考を高めていると考察した。一方でデザイン自体の雰囲気や使用シーンを描く実験参加者も見つかった。この 2 種類のドローイング方法と創造されたデザインを比較する。平均的な事例は図 4:26 の

ように自由に描いたドローイングで全体的なデザイン印象を決め、3D CAD で細部などの「3D データの形状」を三次元でモデリングしながら創造していく。

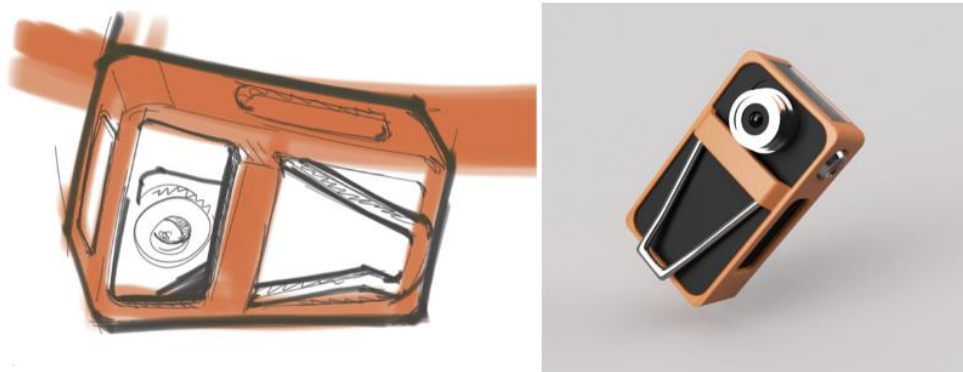


図 4:26：自由にドローイング 実験参加者 4

この時に「3D データの実現性」を同時に考えながら実験参加者は 3D モデリングをおこなっていた。「3D データの実現性」は実験参加者がおこなってしまう例としては、3D モデリング終盤で 3D データを整理しようとするすると 3D データ全体に支障を与えてしまう場合がある、その為「3D データの実現性」については「3D データの表現力」としてデザインしていく過程と同時に「3D データの実現性」についても並行して考慮していく必要がある。次の図 4:31 や図 4:42 の事例は「3D データの実現性」や「3D データの表現力」の評価は高く、一見は良くできていそうな事例である。しかしデザインした実力を考えると、もっと

イノベーティブで創造性が高い作品を作成できる実力があるのではないだろうか。



図 5:1：自由にドローイング 実験参加者 9

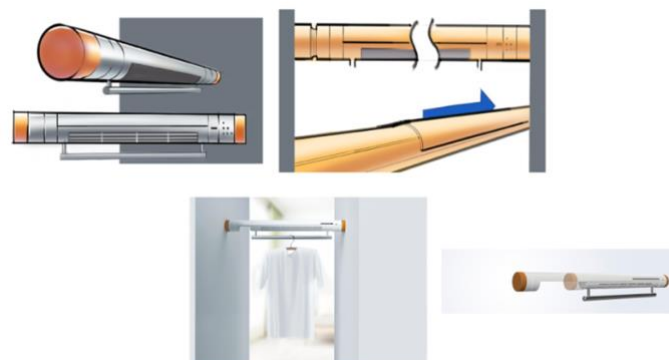


図 4:42：自由にドローイング 実験参加者 20

逆に自由にドローイングした手描きのドローイングの評価はよくないが、実際に出来上がった 3D CAD を評価すると「3D データの表現力」は高評価である事例が見つかった。自由にドローイングした場合はアイデア・ドローイング

の完成度ではなく良い評価になっている事例もあった。これは形を明確に把握する三面図ではなく、自由に描く場合ドローイングの描き方で影や輪郭線をはっきりと描かないようなドローイングが影響しているのではないかと考える。本研究では明確にはなっていないが、ドローイングが 3D CAD に与える影響の一つとして、2D での手描きドローイングにおける輪郭線の描き方が異なっている。

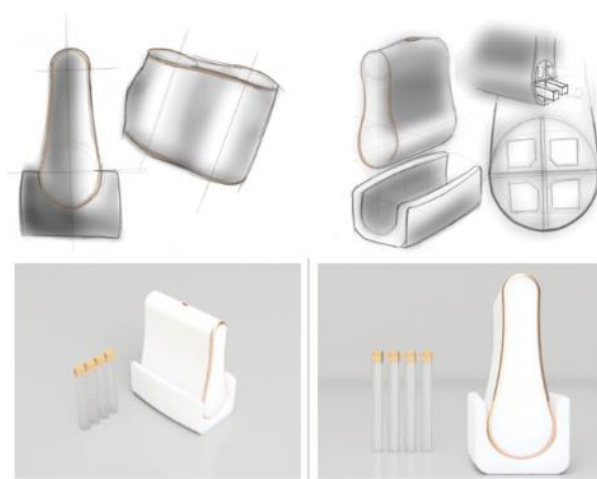


図 5.2：自由にドローイング 実験参加者 18

5.2 手描きのドローイングが 3D CAD に与える影響

本研究では手描きのドローイングが 3D CAD における創造性に及ぼす影響について 44 名実験参加者（実験参加者）を対象に調査をおこなった。手描きのドローイングは「3D データの実現力」と「3D データの表現力」の 2 種類を調査した。「3D データの実現力」とはデータエラー等の正確なモデルを 3D プリン

トするために必要なデータの具現化する力を指す。「3D データの表現力」とは三次元空間で美しい立体を作成するために必要な造形力を指す。まず手描き三面図のドローイングを描いた場合について「3D データの実現性」は一部を除いて平均であり「3D データの表現力」も平均な傾向がある。次に自由にドローイングを描いた場合は、3D データ形状の実現性は一部を除いて平均的であるが、「3D データの表現力」である新しい形状の創造性が高い傾向が見られた。これは実験参加者が発案したプロダクトデザインの立体構造を把握するために三面図を作成することが「造形技術力」と「正確な形の表現技術力の向上」に影響しているが、新しい形状を創発するには手描きの三面図が障壁になっており、新しい形状を創発する力が低くなるのではないだろうか。

しかし実験参加者の中には特異例として、三面図を描いた場合においても、実現力も有り表現力も高い傾向の得意な例が発見された。この場合の実験参加者の手描きドローイングを確認すると実験参加者の創造性がドローイングに湧き出ているようであり、実験参加者の自由な発想が伝わるようであった。このような実験参加者が自発的に創造性を発揮したい場合は、3D CAD というのは有効なソフトウェアであることが再認識された。なぜならそのまま 3D プリンタにて 3D データの形状が作成することが可能である。これが素晴らしい手描きドローイングであっても 3D CAD にて作成する必要がある。

また自由にドローイングを描く場合でも三面図のように正面・側面・上面図のどれかの平面図的に描いたドローイングの場合は、比較的「3D データの形状」においては表現力が高い傾向が多い中、評価が低い例も発見された。これは実験参加者に対して授業内で長い時間接していた著者の独断的な評価になる部分もあるが、もっとデザインの表現力があると思われていた一部の実験参加者においては完成度の評価は高いがもっと「3D データにおける表現力」は高評価になれるとおもっていたが、結果としては平均的な評価となる実験参加者もいた。全体の傾向を表 5.1 に整理した。

表 5.1：手描き三面図と自由にドローイングした場合の評価比較

ドローイングの種類	評価項目	結果
-----------	------	----

三面図を描いた場合	3D データの実現力 (3D プリント)	一部を除いて平均
	3D データの表現力 (3D CAD)	一部を除いて平均
自由にドローイングを描いた場合	3D データの実現力 (3D プリント)	一部を除いて平均
	3D データの表現力 (3D CAD)	全体的に高い

5.2.1 手描きドローイングの 2D 思考と 3D CAD の 3D 思考

自由にドローイングを描いた場合は 3D CAD において試行錯誤を行いながら「造形技術力」の実現性もあり、「正確な形の表現技術力」の創造性もあるデザインが発案される傾向にあることがわかった。逆に手描きのドローイングで三面図を描いたとしても、自由なドローイングを自由に描くことで今までにない新しい形状を導き出せている事例も見つかった。このことから三面図として実験参加者の創造性を 3D データの形状を理解把握させることに集中してしまい、創造性が低くなる傾向がある、自由にドローイングを描くことで 3D CAD において創造性を発揮する余白が生まれ、実験参加者が 3D CAD における無限大に存在する 3D 空間内でアイデアが創発されているのではないだろうか。

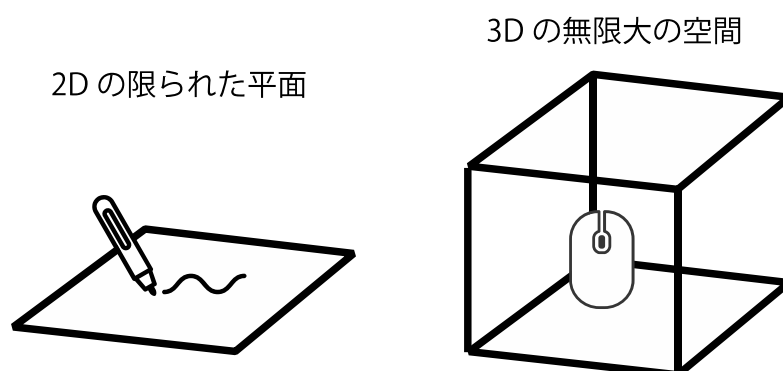


図 5.3：2D の創造思考と 3D の創造思考

図 5.2 のようにヒトの脳における思考能力全体を 100%とした場合に、三面図をドローイングしている場合は、2D 思考に脳的能力を取られてしまい、創造性が必要となる 3D 思考に思考能力を十分に活用できていないのではないだろうか。それにより 3D CAD を使うことで 3D 思考により創造性向上の可能性があるのにもかかわらず、創造性が向上していないという原因があるのではないか。2D 思考と 3D 思考の割合のイメージを作成した（図 5.2）。

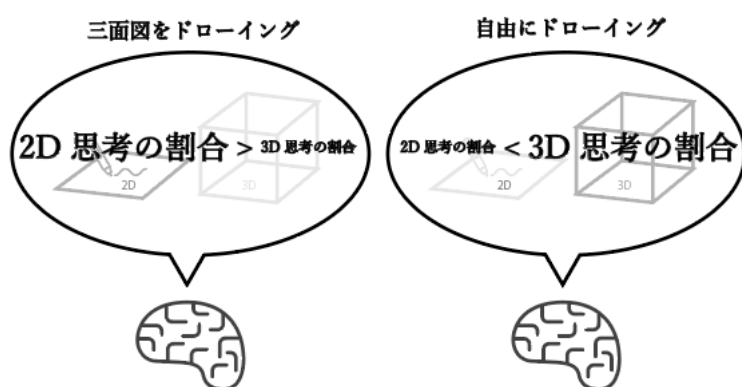


図 5:4：2D 思考と 3D 思考における創造性の割合イメージ

実験参加者にはそれぞれ思考能力があると仮定する。図 5.2 左側のイメージが三面図をドローイングする思考とした場合、実験参加者の思考は多くの割合を 2D 思考で思考すること取られて、なかなか 3D 思考に思考の割合を割り当てることができない。図 5.2 右側のイメージは自由にドローイングした場合、自由にドローイングをした場合は、3D の思考により多くの思考能力を割り当てることができるため、創造性を効率的に向上することができたと考えた。もちろん 2D 思考によっても創造性は向上することは可能だが、2D の限られた平面では創造性の向上には限界があり、より 3D の無限大の空間で思考能力を使用した方が創造性向上には効率的であるのではないだろうか。このような 2D の思考と 3D の思考の割合により創造性向上に差が出てきていると考察した。3D 思考については泉本（2012）が、思考の枠組みを外すということを言及している。これは

3D 空間での思考についてではないが「世の中をどのように見ているか」という思考の枠組みを外すことで創造性が向上するとしている[52]。2D のドローイングと 3D CAD のモデリングについても、2D 思考と 3D の思考があることを認識することで創造性が向上すると言えるのではないだろうか。

5.2.2 手描きドローイングが創造性に与える影響

本研究では、3D CAD を使用する過程でドローイングの三面図と自由に描く場合の 2 種類のドローイングについて比較調査をおこなった。まず表 4.3/表 4.4 を参照にアウトプットされた 3D データを評価した。評価には図 5:5 と図 5:6 のような傾向があった。まず図 5.3 のように三面図にドローイングを描いた場合は、実現力である 3D データ形状の創造性が低く 3D データ形状の実現力が高い傾向がある。これは三面図を描くことにより 3D データの実現力については安定して作成できることがわかるが、創造性については向上できておらず新しいイノベティブなデザイン形状が作成できていないのではないだろうか。次に自由にドローイングを描いた場合の傾向は実現力も創造性も右上の方にあることがわかった。三面図のドローイングと自由にドローイングをさせた場合の比較は、自由にドローイングを描いた場合が三面図を描いた場合より 3D データの実現性は低くなるものの、3D データの創造性は高くなることが分かった。これは 3D データの創造性を平均点で比較するとほぼ変わらないが、自由にドローイングを描いた場合の方が高評価の実験参加者も多くいる傾向がある。これは自由にドローイングを描くことで 3D データの実現性においては評価の幅が広がり、3D CAD 教育全体の習得レベルに差がうまれてしまう傾向があるが、高評価の実験参加者の創造性を伸ばす教育ということでは成功していると考えられる。しかし 3D CAD における学習の差がうまれているといえる。三面図を描くドローイングは 3D CAD の習得レベルにおいて 3D CAD の実現力を身につける場合には、自由にドローイングを描かせることと比較した場合は全体には有効といえる。一方では創造性を伸ばすことはできていないのではないだろうか。

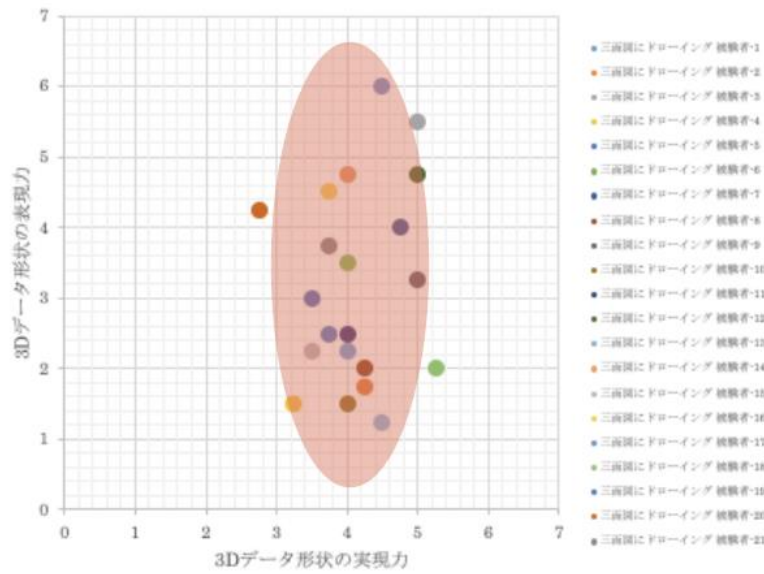


図 5:5：三面図を描いた場合の 3D データの実現性と創造性の全体傾向

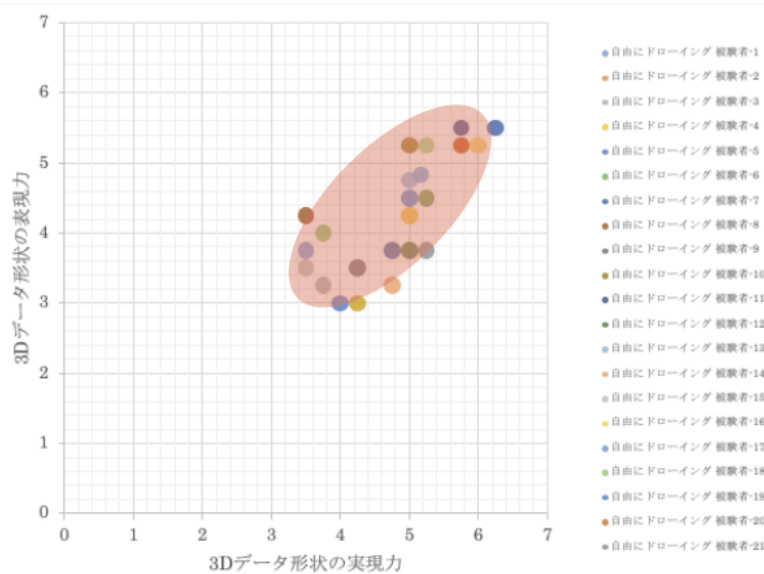


図 5:6：ドローイングをした場合の 3D データの実現性と創造性の全体傾向

5.3 手描きドローイングと 3DCAD の創造性向上モデル

デザイン思考において「Dancing with Ambiguity」という言葉が定義されている [83]。デザイン思考を授業に取り入れている東京工業大学のエンジニアリングデザインコースでは、デザイン思考について「曖昧とダンスを楽しむ」 [53] ことについて言及している。これは新しいアイデアを創発する曖昧な部分があると分かっていながらもダンスをするように不安と進むにつれてアイデアが膨らむプロセスを進んだ先にイノベーションが生まれる。図 5.5 は Larry らがデザイン思考にてアイデアサークルの流れを示した Design process as iteration of divergence and convergence steps or prototype cycles [56]である。

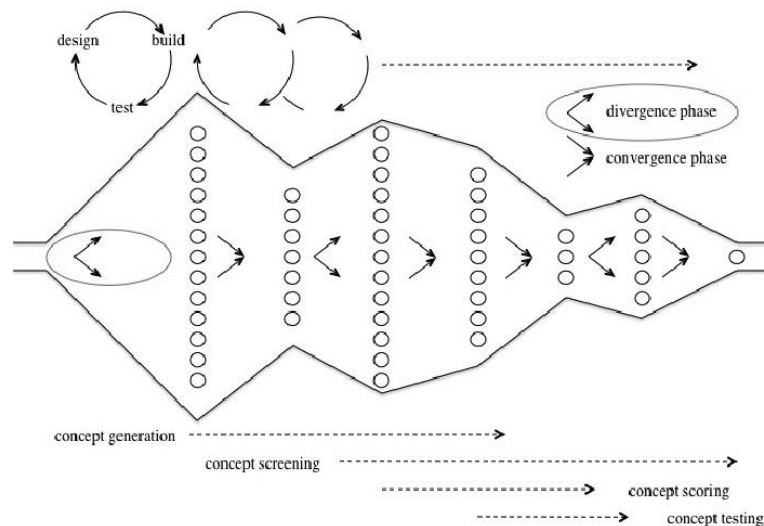


図 5:7 : Design process as iteration of divergence and convergence steps or prototype cycles

(出典) Larry John Leifer, Martin Steinert, Dancing with Ambiguity: Causality Behavior, Design Thinking, and Triple-Loop-Learning [56]

手描きドローイングが与える 3D CAD の創性プロセスを考察した。まず左側のインプット部分は手描きの 2D ドローイングと定義し、右側のアウトプット部分を 3D CAD とした。本研究の手描きドローイングによる三面図も、自由にドローイングを描く場合も「Design process as iteration of divergence and convergence steps or prototype cycles」(図 5:7) と同じ思考領域を通ると仮定する。そうすると「」手描きの三面図を描いた場合は中心の領域に限られてしまうと考える。なぜなら三面図を描くことで 2D の思考に集中しており、3D CAD の使用時に 3D の思考で創造性を使用する必要がない。三面図を描き終えたことで 3D CAD における創造性部分が少なくとも 3D データの実現力が得られているからである。逆に自由にドローイングを描く場合には、グレーの領域のように 3D CAD を操作する過程で創造性を必要とする。なぜならば、立体を把握するために描く三面図を描いていないので、ドローイングでは立体が把握できておらず、3D CAD を使用することではじめて実験参加者が 3D データの実現性がないことに気が付くのである。そこで実験参加者は「Design process as iteration of divergence and convergence steps」(図 5:7) を行いながら 3D CAD

を使って 3D データの実現性を目指す。その過程においての思考で 3D データの創造性が向上していくと考えることができるのではないだろうか。

このモデルから考察すると 3D CAD を使用するときにはドローイングは 3D データのイメージを膨らませ創造性を上げるために行うべきであり、3D データの実現性をドローイングで作成することで創造性向上のための余白が無くなってしまう。そのために三面図を描いた場合の創造性向上が、自由にドローイングした場合よりも低下する傾向があるのではないだろうか。

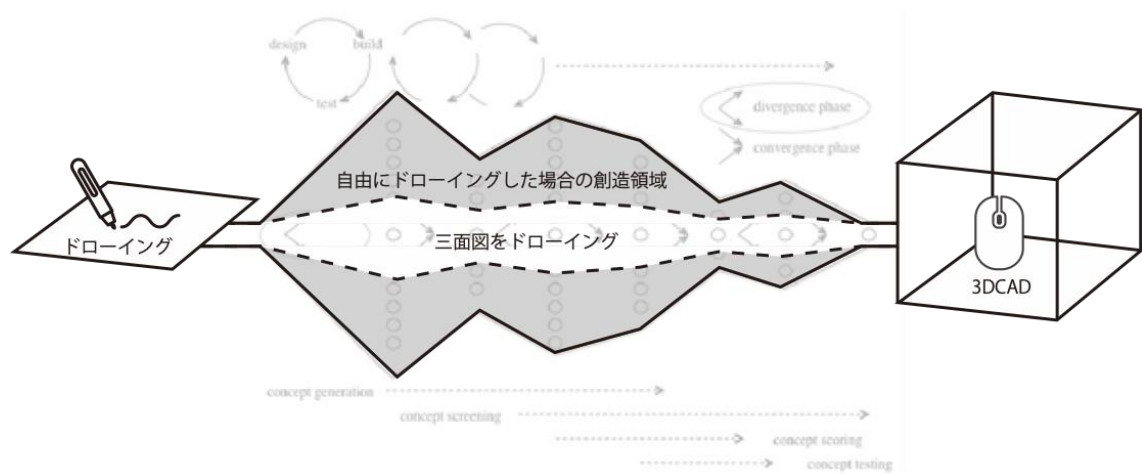


図 5:8：ドローイング後の 3D CAD における創造性エリア

従来、2D の手描きドローイングはアイデアを具現化する為に、本人がイメージを膨らませる目的で描く。またクリエイター等が下絵としてのプロセスとし

て使用している事が多い。一方で 3D CAD は 3D 空間にて具現化するツールであり、手描きの平面における二次元空間とは表現力も実現力も大きく異なっている。その両方を使用してデジタル人材に必要な 3D CAD における創造性を調査した。2D の手描きドローイングは、従来の創造性を向上するに必要不可欠なアイデア創発ツールであるが、現代ではデジタルデータがアイデアを創発するツールに変化している。そのデジタルデータを扱うためのソフトウェアである 3D CAD の実現力と表現力がもたらす創造性に焦点を当てた。一方で 3D CAD はただのソフトウェアであり、操作する人間により全く異なる創造性を生むことが出来ると考える。

3D 空間における創造性という視点からは手描きのドローイングと 3D CAD を捉えた場合には、異なる視点が必要となる事がわかった。今回の研究におけるデザイナーの創造性は、2D の手描きドローイングにおいて、3D CAD を捉えた場合には創造性を発揮する為の余白部分が重要であることがわかった。具体的にはドローイングによる曖昧な表現や 3D 空間では成り立たない実現力が三面図のドローイングを描くことで高くなってしまいうことで、3D CAD での創造性を発揮できない傾向があるのではないだろうか。逆に従来のドローイングでは自由に描くことでドローイング時の 3D データの実現力（3D プリント力）の表現

は曖昧になり誤魔化される傾向にはあるものの、最終的な 3D CAD における造形技術力があり創造性の高い 3D データ形状が維持できることが発見された。

第6章 結論

6.1 本研究の結論

本研究ではプロダクトデザインを専攻する実験参加者が実際の 3D CAD 学習を行う実践授業内で「造形技術力」と「表現技術力」をについて調査をおこなった。手描きドローイングにおける 3D CAD の影響を「造形技術力」と「表現技術力」に分け創造力を検証した。具体的には 2 種類の手描きドローイングについて焦点を当て、手描き三面図と自由に描くドローイングの 2 種類がそれぞれ 3D CAD で製作された 3D データにどのような影響があるかを比較した。実験参加者により作成された 3D データについて「3D データ形状の実現力」と「3D データ形状の表現力」の両方を評価し総合的な創造性について調査をおこなった。

結論として自由にドローイングを描くことにより、実験参加者は 3D イメージを頭の中で自由に創造しているが、実際に 3D CAD で具現化しようとするとき 2D 思考から 3D 思考への頭の中での切り替えによる「試行錯誤」があると考えられる。その試行錯誤の領域の広さにより創造性が上がっているのではないだろうか。ソフトウェアで、パソコンと稼働する事ができれば、誰でも 3D モデリングができ 3D データを作ることができる。ソフトウェアと言うものはすでに誰もが使用できる環境がある。しかし創造性はドローイングの描き方ひとつで「造形技術力」と「表現技術力」が向上や低下することがわかった。

今回の研究により手描きドローイングがもたらす 3D CAD の「造形技術力」と「表現技術力」の向上について一部が解明された。3D CAD を学習する場合「表現技術力」は 3D CAD で具現化する表現力となり、「造形技術力」は 3D プリントで実現できる技術力を高めることができる。その中で「造形技術力」と「表現技術力」を向上させるために 2D のドローイングの描き方があり、そのために対象者のレベルや目的に応じた 2D のドローイングを描着分ける事が重要ではないだろうか。ここでは 1.2 に記したリサーチクエスションに答える。

6.1.1 サブリサーチクエスション（SRQ）への回答

本研究では、以下の3つのサブシデジアナリー・リサーチクエスション（SRQ）を設定した。以下に回答をする。

SRQ1：手描きドローイングが 3D CAD に与える実現力の要因とは何か。

3D CAD はデジタルファブリケーション技術における 3D データ作成するための重要なツールであるが、3D CAD で作成する場合は「3D データの実現力」が不可欠である。理由としてデジタルファブリケーション機器を使用する場合には「3D データの実現力」が重要となる。「3D データの実現力」が重要な理由として「3D データの実現力」があることで 3D プリントが可能である 3D データにエラーが無いデータファイル作成することが可能となる。本研究では、その「3D データの実現力」の要因について手描きドローイングが 3D CAD に与える実現力の要因を手描き三面図と手描きのドローイングの2種類を調査した。

「手描きドローイングが 3D CAD に与える実現力の要因とは何か」については本研究による結果で手描き三面図は三次元の立体形状把握するために理工系のエンジニアリング教育で採用されている三面図を描く方法と自由に描くドローイングで主に芸術系のデザイン教育で採用されている方法で両方の手描きド

ローイングの描き方における比較をおこなった。その結果は手描き三面図を描くことで「3D データの実現力」の向上には一助になっているのではないかという仮説があったが、描き方による大きな差は見られないことがわかった。しかし今回は与えられた課題による形状の違いがあることから差異が少ない結果となった可能性も考えられる。今後は更に手描きドローイングが 3D CAD に与える実現力の要因を探る研究を進めていくこととする。

SRQ2：手描きドローイングが 3D CAD に与える表現力の要因とは何か。

手描きドローイングが 3D CAD に与える表現力の要因は、まず手描き三面図の 3D CAD に与える表現力は、3D CAD の表現力向上には繋がらないことが観察された。手描き三面図においては、3D CAD に与える表現力の向上はしない傾向がある。しかし自由に描くドローイングが 3D CAD に与える表現力については表現力が向上する。これは手書き三面図より自由なドローイングの方が頭の中に新しいイメージ与え、3D CAD の表現力の向上のきっかけになると考える。具体例としては「図 4:2：三面図にドローイング 実験参加者 1」のように手描き三面図において自由にドローイングを描いた事例が発見された。また「図

4:43：自由にドローイング 実験参加者 21」のように自由に手描きドローイングを描いた事例のように明確な形状を表現する手描きドローイングよりプロダクトデザイン全体の雰囲気や空気感があるようなドローイングの特徴が発見された。また仮説ではあるが自由な手描きのドローイングにおける実験参加者は、手描きドローイングで背景の色や空間を描くことで 3D CAD における表現力が向上していることが分かった。

SRQ3：手描きドローイングが 3D CAD に与える実現力と表現力の関係

本研究において手描きドローイングによる 3D CAD の創造性のメカニズムは 2D での思考と 3D の思考の割合により変化が起きることが一部解明された。具体的にはドローイングをしている時に三面図の場合は、正面・側面・前面の三方向からの平面を意識する為、2D の思考の割合が多くなる。その場合 3D CAD でのモデリング事に創造性が向上しない傾向がある事がわかった。逆に自由にドローイングをおこなった場合は、実験参加者の好きな角度やイメージがある方向からのドローイングになる為 2D の思考にはならず、3D CAD を扱っている状態と同じように 3D の思考でドローイングを行うことができると考えられる。3D の思考を 2D のドローイングをしている時から意識をしている場合は、ドローイングからの 3D CAD への流れがスムーズになり創造性も向上することがわかった。創造性を向上し、新しいプロダクトを生み出すことが重要である。先行研究から創造性を向上させる要因はアイデアをドローイングするという作業が必要となるが、ドローイングの種類で変化の要因がある。3D CAD の創造性向上の要因は工学教育で使用している三面図を描くドローイングにおいては、明確な目的があるドローイング方法ではなく、創造性を膨らませるために行うドローイングが重要となる事が示された。創造性向上の要因については野口、永

井、杉山によって提案されてきたイメージと言葉による表現は言葉がイメージに与える影響があり、デザインの発想のメカニズムにおいて言葉は重要である事がわかっている。それらの関連研究において今回はドローイングと 3D CAD によって連動し発案されたプロダクトが確認できた。実現可能性があるデジタルデータを使用した結果が本研究にて提示された。

6.1.2 メジャー・リサーチクエスチョン (MRQ) への回答

MRQ：手描きドローイングが 3D CAD に与える創造性とは何か

「手描きドローイングが 3D CAD もたらす創造性とは何か」という問いに関しては、手描きドローイングは平面に描く 2D の線の集まりであり、頭の中にあるイメージを手で描くことで自分自身に創造性をもたらししていると考えられる。しかし 3D CAD というソフトウェアを使用する場合においては、手描きドローイングは自身のアイデアを明確化することや具体的に 3D データにすることを目的とした明確さが求められる。

本研究から三面図を明確に描くことで、創造性に対して自らが創造する範囲が狭くなってしまう事が発見された。図 5:8：ドローイング後の 3D CAD における創造性エリアに示したように実際の 3D 空間での創造的思考を自ら描く三面図により制限してしまう傾向がある。一方で手書きの三面図をドローイングすることにより「3D データの実現力」が向上して 3D プリント可能な 3D データを作成できる傾向になる。この場合は例えば 3D CAD や 3D プリントを初めて体験するようなユーザーに対しては手描きの三面図を描くことは有効的といえるのではないだろうか。しかしクリエイターなどの創造性を向上していきたい場合には自由にドローイングを描くことで、3D CAD に置いての「3D データの表現力」を向上できる傾向になる事がわかった。本研究により解明された手描きドローイングが 3D CAD に与える影響についての創造性向上のイメージを図 6:1 とした。

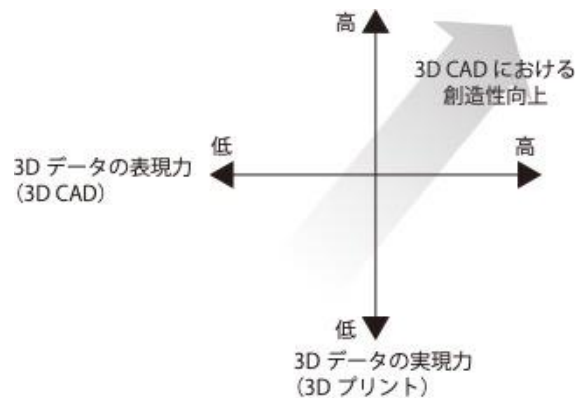


図 6:1：手描きドローイングが 3D CAD に与える創造性のイメージ図

6.2 今後の展望

今回の研究により手描きドローイングが 3D CAD に与える「造形技術力」と「表現技術力」の向上について一部が解明された。具体的には 2 種類の手描きドローイングについて焦点を当て、手描き三面図と手描きの自由なドローイングの 2 種類がそれぞれ 3D CAD で製作されたデザインにどのような影響を及ぼすかを比較した。実験参加者により作成された 3D CAD の「3D データ形状の実現力」と「3D データ形状の表現力」の両方を評価し総合的な創造性についての研究調査を行った。

その結果は実験参加者により作成された 3D データについて「3D データ形状の実現力」と「3D データ形状の表現力」の両方を評価し総合的な創造性について調査をおこなった。自由にドローイングを描くことにより、実験参加者は頭の中で 3D イメージを自由に創造しているが、実際に 3D CAD で具現化しようとするとき図 5:8 のように 2D 思考から 3D 思考へ移る過程において「試行錯誤」が行われていると考える。その「試行錯誤」の領域により創造力が向上するのではないだろうか。3D CAD は単なるソフトウェアであり稼働する事ができれば、誰でも 3D データ作成ができる。しかし手描きドローイングが 3D CAD に与え

る創造性については手描きドローイングの描き方により 3D CAD に与える創造性に変化が現れることが分かった。本研究の取り組みにより創造性が向上する手描きドローイングの組み合わせが観察され、対象者の技術レベルや目的に応じた 2D のドローイングを描き分ける事が重要であることがわかった。

今後研究に繋がる調査としては手描きドローイングの描き方が 3D CAD における創造性の向上に関与するということが発見された。手描きドローイングの描き方でその曖昧さと明確さの間が鍵になるのではないかと考える。具体的には Larry J. Leifer らの「Dancing with Ambiguity」 [56] のデザイン思考についての論文で示されていることがヒントとなり、今回の研究の「図 5:8: ドローイング後の 3D CAD における創造性エリア」でモデル化した 3D 思考の創造性エリアを参考に研究が進められると考えている。現在の仮説としては手描きドローイングが 3D CAD に与える創造性において、手描きドローイングは不明瞭な「表現」を意識しながら 3D CAD を使用することが求められるのではないだろうか。合わせてドローイングが上手い下手ということに関係なく、創造性を向上したければ積極的に 3D CAD で 3D 空間にて作成する際には、手描きドローイングにてイメージを描くことが有効的と考える。その際には自由にドローイングすることで、3D CAD 空間で作業する際の「造形技術力」や「正確な形の表現の技術力」の向上に繋がっていくのではないだろうか。

今回の研究により手描きドローイングがもたらす 3D CAD の「3D データの実現力」と「3D データの表現力」の向上について一部が解明された。3D CAD を学習する場合「表現技術力」は 3D CAD で具現化する 3D データの表現力となり、「造形技術力」は 3D プリントで 3D データの実現力を高めることができる。その中で「造形技術力」と「表現技術力」を向上させるために 2D のドローイングの描き方があり、そのために対象者のレベルや目的に応じた 2D のドローイングを描き分ける事が重要ではないだろうか。3D CAD を学習する場合「表現技術力」は 3D CAD で具現化する表現力となり、「造形技術力」は 3D プリントで実現できる技術力を高めることができる。その中で「造形技術力」と「表現技術力」を向上させるために 2D のドローイングの描き方があり、そのために対象者のレベルや目的に応じた 2D のドローイングを描き分ける事が重要である。具体的な教育指導者の視点から考えると学生(実験参加者)のスキルはバラツキがあるため個別の教育指導は重要である。例えば教育現場にて 3D データの

表現力を向上させたい学生には、自由に描くドローイングを指示することが有効であると考え。逆に「3D データの実現力」を向上させたい学生には、手描き三面図ドローイングを描く指導は有効だと考える。本研究で示された結果は実験参加者の技術レベルの違いがありバラツキがあるが手描きドローイングが 3DCAD に与える影響の創造性の教育には有用なヒントになったと言えるのではないだろうか。

今回の調査ではプロダクトデザイン専攻の実験参加者に対して調査をおこなったが、現在は創造性の教育は芸術系学部のデザイン専攻の学生だけでなく理工系エンジニアリングの学生にも需要は多い。今後は芸術系と理工系の境界を取り払った創造性教育は新しい領域としてデザインエンジニアリング教育 [83] も増えている。あわせて大学ではデジタルファブリケーション機器を導入した施設や教育プログラム [39] を設けており今後さらに 3DCAD における創造性教育は重要度を増してくると言えるのではないだろうか。本研究で 3DCAD 教育におけるより創造力向上する教育プロセスの検討になったと考え、今後は芸術系と理工系の両方に応用できる実験参加者サンプル数を増やし調査研究を進めていきたい。

6.3 知識科学への貢献

手描きドローイングが 3D CAD における創造性に大きく影響していることが紐解かれ、手描きドローイングによる各実験参加者の手描きドローイングの特徴に対して、3D CAD の「正確な形の表現技術力」と「造形技術力」に違いが現れる事が発見された。これにより 2D での手描きドローイングが 3D CAD に与

える創造性向上によって知識科学への貢献ができる。昨今のデジタルファブリケーション技術の普及により一般的ユーザーが使用できるようになった 3D プリントで「正確な形の表現技術力」と「造形技術力」の両方で使用するにより、創造性を高める事ができる。今まで図 2:6：ファブ施設に来る 3D プリントを利用したいユーザーの分類で示したように 3D CAD での「正確な形の表現技術力」と「造形技術力」が使用できずに多くのユーザーにとっての大きな障壁になっていた。しかし本研究によりユーザー・イノベーションのきっかけとなる。手描きのドローイングは誰でも描くことは可能である。今回の研究により、手描きドローイングの具体的な描き方を変えることで、ユーザーの 3D CAD に対する創造性が向上する方法をコントロールすることが可能となった。例えばより創造性を発揮して、「3D データの表現力」を発揮したい場合は手描きドローイングを自由に描かせることで、3D CAD において新しい形状の表現ができる可能性が高まるのではないだろうか。また 3D プリントなどを使用する場合には、「3D データの実現性」をより高めることで 3D CAD でエラーのないプロトタイプが可能となると考えることができる。合わせて 3D CAD の活用による DX におけるデジタルデータの活用にも寄与できると考える。デジタルファブリケーション技術では 3D CAD の創造性の向上は人材育成とユーザー・イノベーションの両方で鍵となる。ドナルド A・ノーマンは製品開発には、改良と革新という二種類がある[55]と定義しており、改良とは現存する製品やサービスを取り上げてそれを良くすることである。革新とはまったく新しいやり方や、以前は不可能だったことをするまったく新しいものを提供することであると定義している。その中でデジタルファブリケーション技術を活用することで、今までニーズを持っていたがアイデアを具現化できるツールが無かったが、一般生活者がツールを手に入れ本当の意味で皆がメイカーズ [6]として革新的なユーザー・イノベーションを起こす鍵となると考える。

現実的にはユーザー・イノベーションはデジタル人材の不足から活用が制限されているが、本研究での 3D CAD における「正確な形の表現技術力」と「造形技術力」が向上する手描きドローイングを意識することで、3D CAD の学習ワークフローで一部の有効性が発見されたと考える。このワークフローを活用していくことで、イノベティブなプロダクトが創発される。DX の流れで 3D CAD を学習し 3D データを活用することで、新しいサービスや仕組みが生まれ

てくると予測される。今回の調査はデジタル人材の創造性に貢献する事ができたと考える。これは筆者が編集に関わって作成した「思考 日本企業再考のためのビジネス認識論」にて定義されている。新しい第 3 カーブのマーケティングとなる。第 3 のカーブとはユーザーは居なくなり生活者として企業と連動することで、新しいマーケットが生まれると書いてある [84]。今後はデジタルファブリケーション機器と使用できるユーザーが増え手描きドローイングと 3D CAD を使って一般生活者が、新しいものづくりが生み出されていくと考える。今後はデジタルファブリケーション技術からどのようなイノベーションが起こるのか、一般生活者と共にオープンな場でコミュニティを使ったユーザー・イノベーションの仕組みをどう組み立てるかかが大切となる。今回の研究調査でその前段階のデザイン初学者に対して手描きドローイングにおける 3D CAD の創造性の一部が明らかになったと考える。今後は手描き三面図と手描きの自由に描くドローイングを使い分けより効果的に 3D CAD での創造性を向上できる仕組みを構築して研究を進めていきたい。

謝辞

この研究を遂行するにあたり、たくさんの方々からのご指導ご鞭撻を賜りましたことを心から深く御礼申し上げます。

本論文をまとめるにあたり多くのアドバイスと優しいご指導を頂きました、永井由佳里教授（現理事・副学長）に心から感謝いたします。本当にありがとうございました。本学部の神田陽治教授（副学長，先端科学技術研究科長，東京サテライト長）、由井蘭隆也教授（創造社会デザイン研究領域長）、西村拓一教授、宮田一乗教授（協生AI×デザイン拠点長）と外部副指導教員として明治大学 総合数理学部の宮下芳明教授（先端メディアサイエンス学科 学科長）には大変お世話になりました。特に西村拓一教授には最期の苦しい時にはいつも励まされて前向きなコメントを頂きまして大変感謝致します。

また研究評価をするにあたり、多くの関係者の方にサポートいただきましたことを改めてお礼を申し上げたいと思います。さらに今回研究に協力していただいた学生の皆さまにもこの場を借りてお礼を申し上げます。岩手大学の田中隆充教授には、外部審査員として本論文のご審査を頂き、極めて有益なコメントを頂きました。心より感

謝申し上げます。

永井研究室の皆様から、多くのご支援を賜りました。心より感謝申し上げます。以上の皆様以外にも多くの方々に大変お世話になり、心からお礼申し上げたいと思います。本当にありがとうございました。

最後にいつも励ましてくれた妻と家族とこれから生まれてくる息子にも感謝の意を表したいと思います。

誠にありがとうございました。

中村翼

引用文献

- [1] IoTNEWS, “2020 年版ものづくり白書で注目すべき 3 つのポイントー経済産業省 中野剛志氏インタビュー【前編】,” Business Transformation with digital-technologis, 2020 年. [オンライン]. Available: <https://iotnews.jp/archives/154691>. [アクセス日: 5 月 2022 年].
- [2] 文部科学省, “COI STREAM デジタル製造を直結し生活者の創造性を拡張するファブ地球社会創造拠点,” 2016. [オンライン]. Available: <http://coi.sfc.keio.ac.jp>. [アクセス日: 6 2022].
- [3] Erik Stolterman, Anna Croon Fors, "Information technology and the good life," Springer. doi:10.1007/1-4020-8095-6_45, 2004.
- [4] デジタル庁, [オンライン]. Available: <https://www.digital.go.jp>. [アクセス日: 2022 年].
- [5] Neil Gershenfeld(著), 田中浩也 (監修), Fab ー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, 2012.
- [6] クリス・アンダーソン, (翻訳)関美和, MAKERS 21 世紀の産業革命が始まる, NHK 出版, 2012 年.

- [7] Hod Lipson (原著), Melba Kurman (原著), 斉藤 隆央 (翻訳), 田中 浩也, 2040 年の新世界: 3D プリンタの衝撃, 東洋経済新報社, 2014.
- [8] Wikipedia, “3D CAD,” [オンライン]. Available: <https://ja.wikipedia.org/wiki/CAD>. [アクセス日: 6 2022].
- [9] 青山英樹, “3D-CAD/CAM の現状と方向性,” 精密工学誌 vol.81, no.3 , 2015 年.
- [10] 小川進, ユーザーイノベーションー消費者から始まるものづくりの未来, 東洋経済新報社, 2013 年.
- [11] 経済産業省 九州経済産業局 製造産業課, “我が国ものづくり産業が直面する課題およびデジタル・トランスフォーメーション～2020 年版ものづくり白書より～,” 一般社団法人九州経済連合会, [オンライン]. Available: https://www.kyukeiren.or.jp/files/committee_question/20112401211191.pdf. [アクセス日: 5 月 2022 年].
- [12] 三菱 UFJ リサーチ & コンサルティング株式会社, “平成 27 年度製造基盤技術実態等調査 我が国ものづくり産業の課題と対応の方向性に関する調査,” 2015. [オンライン]. Available: https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2020FY/000066.pdf. [アクセス日: 5 月 2022 年].

- [13] 三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング 株式会社, “令和 2 年度製造基盤技術実態等調査 我が国ものづくり産業の課題と対応の方向性に関する調査,” 2021. [オンライン]. Available: https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2020FY/000066.pdf. [アクセス日: 6 2022].
- [14] 総務省, “平成 30 年度版 情報通信白書,” 2019 年. [オンライン]. Available: <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h30/html/nd135210.html>. [アクセス日: 6 月 2022 年].
- [15] European commition, “Digital Transformation Monitor France : Industrie du Futur,” 2017 年. [オンライン]. Available: https://ati.ec.europa.eu/sites/default/files/2020-06/DTM_Industrie%20du%20Futur_FR%20v1.pdf. [アクセス日: 5 月 2022 年].
- [16] 中国政府网, “中国制造 2025,” 2018. [オンライン]. Available: <http://www.gov.cn/zhuanti/2016/MadeinChina2025-plan/index.htm>. [アクセス日: 6 2022].
- [17] 経済産業省, “Connected Industries,” 23 12 2020. [オンライン]. Available: https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/connected_industries/index.html. [アクセス日: 6 2022].

- [18] 内閣府, “科学技術政策 Society 5.0,” 2019. [オンライン]. Available: https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/. [アクセス日: 6 2022].
- [19] 経済産業省, “Pwc .製造業 DX 取組事例集,” 2019. [オンライン]. Available: https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2019FY/000312.pdf. [アクセス日: 6 2022].
- [20] 芸林盾／PTC ジャパン, TechFactory, “今こそ全ての情報を 3D モデルに集約せよ！“3D 正”の設計を実現する「MBD」,” ITmedia Inc., 21 8 2018. [オンライン]. Available: <https://techfactory.itmedia.co.jp/tf/articles/1808/21/news006.html>. [アクセス日: 6 2022].
- [21] 経済産業省, “製造基盤白書「日本のデジタルフォーメーションにおける課題」,” 2020. [オンライン]. Available: https://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2020/honbun_html/index.html. [アクセス日: 6 2022].
- [22] 独立行政法人情報処理推進機構, “IT 人材白書 2020 今こそ DX を加速せよ～選ばれる“企業”、選べる“人”になる～,” 2020. [オンライン]. Available: <https://www.ipa.go.jp/jinzai/jigyoku/about.html>. [アクセス日: 6 2022].

- [23] Fab の本製作委員会（著），ファブラボ鎌倉（著），ファブラボ渋谷（著），ファブラボつくば（著），IAMAS イノベーション工房 [f.Labo]（著），東京工業大学附属科学技術高等学校 門田ロボテク（著），慶應義塾大学 SFC 田中浩也研究室（著），実践 Fab プロジェクトノート 3D プリンターやレーザー加工機を使ったデジタルファブリケーションのアイデア 40，グラフィック社，2013.
- [24] 総務省，“「ファブ社会の基盤設計に関する検討会」報告書，” 2015. [オンライン]. Available: https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01iicp01_02000030.html. [アクセス日: 6 2022].
- [25] 総務省，“平成 28 年版第 1 部 特集 IoT・ビッグデータ・AI～ネットワークとデータが創造する新たな価値～第 1 節 ICT の進化と雇用、働き方，” 2016. [オンライン]. Available: <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h28/html/nc141000.html>. [アクセス日: 6 2022].
- [26] 株式会社矢野経済研究所，“3D プリンタ材料の世界市場に関する調査を実施，” 2017. [オンライン]. Available: https://www.yano.co.jp/press-release/show/press_id/1648. [アクセス日: 6 2022].

- [27] 渡辺ゆうか, “ほぼあらゆるものをつくるファブラボ,” 情報管理, 57 巻 9 号, p.641-650, 2014.
- [28] Neil Gershenfeld(著), 田中浩也 (監修), “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, 2012.
- [29] 株式会社日刊工業新聞社, “メイカーズブームはどこへ…テックショッ
プ, 惜しまれながら閉店,” 2020. [オンライン]. Available: <https://news.wwitch.jp/p/20984>. [アクセス日: 6 2020].
- [30] 中村翼, 永井由佳里, “3D プリンター屋で起きたユーザー・イノベーシ
ョンの仕組みと課題,” 第 7 回横幹連合コンファレンス, 2016 年.
- [31] 宮下芳明, コンテンツは民主化をめざす 表現のためのメディア技術, 丸
善出版株式会社, 2015.
- [32] Chris Anderson (著), 篠森 ゆりこ (翻訳), ロングテール - 「売れない
商品」を宝の山に変える新戦略, 早川書房, 2014.
- [33] 永井由佳里, 野口尚孝, “デザイン創造過程における思考の抽出度と創造
性の関係 (特集>3D プリントイノベーション),” デザイン学研究特集 2
2 号「3D プリントイノベーション」, 2001.

- [34] 永井由佳里, “工学を人間らしくするデザイン知識 (特集 デザインエンジニアリング: 「機能か、デザインか」の二者択一ではない),” 一橋ビジネスレビュー / 一橋大学イノベーション研究センター編 62 (4), p80-94, 2015.
- [35] 一橋ビジネスレビュー, デザインエンジニアリング機能かデザインかの二者択一ではない, 東洋経済新報社, 2015.
- [36] 門田和雄, “デジタルファブリケーションを取り入れた日本型 STEM 教育システムの開発,” 日本機械学会 2017 年年次大会講演論文集, 2017.
- [37] 内閣府, “第 5 期科学技術基本計画の概要 総合科学技術・イノベーション会議,” 2015. [オンライン]. Available: https://www.soumu.go.jp/main_content/000361195.pdf. [アクセス日: 6 2022].
- [38] Etienne Wenger, Richard McDermott and William M. Snyder, 櫻井祐子 (翻訳), 野村恭彦 (監修), *Cultivating Communities of Practice: A Guide to Managing Knowledge* 『コミュニティ・オブ・プラクティス ナレッジ 社会の新たな知識形態の実践』, 株式会社翔泳社, 2002.
- [39] 清水龍太郎, 安田幸一, “日本の大学におけるデジタルファブリケーションを活用した教育プログラム,” 安田研究室, 2018.

- [40] 国立行政開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構, “オープンイノベーション白書（概要版）,” 2016. [オンライン]. Available: <https://www.nedo.go.jp/content/100918466.pdf>. [アクセス日: 6 2022].
- [41] 永井由佳里, 谷口俊平, “3D プリント技術とデザイン思考の革新性（＜特集＞3D プリントイノベーション）,” デザイン学研究特集 22 巻 4 号, 2015.
- [42] 西川英彦, “ユーザー・イノベーション,” マーケティング ジャーナル Vol.36 No.4, 2017.
- [43] エリック・フォン ヒッペル (著), 榊原 清則 (翻訳), イノベーションの源泉—真のイノベーターはだれか, ダイヤモンド社, 1991.
- [44] デジタル製造を直結し生活者の創造性を拡張するファブ地球社会創造拠点, “COI STREAM,” 文部科学省, [オンライン]. Available: <http://coi.sfc.keio.ac.jp>. [アクセス日: 6 月 2022 年].
- [45] 高見知里, 小早川真衣子, 敦賀雄大, 須永剛司, Zuzie:市民の表現活動を支える参加型プラットフォーム, デザイン学研究作品集 16 巻 1 号, 2011, p. p. 38-43.

- [46] 中司智朱希, 岡本誠, 永田司, コンピュータミシンの新価値提案を事例とした参加型デザインに関する考察, 日本デザイン学会第 63 回研究発表大会, 2016.
- [47] 三浦一紀, “あッ 3D プリンター屋だッ!! 東京メイカー × ストーンスー
プ (東京 中野) ,” MEITEC, 2014. [オンライン]. Available: https://fabcross.jp/topics/fabnavi/20140916_fabnavi_14.html. [アクセス日: 6 2
022].
- [48] 中村翼, 宮下芳明, “日本初 3D プリンター屋オープン 変遷とこれから,”
EC2014 Vol.2014, 2014.
- [49] Joseph A. Schumpeter (原著), 塩野谷祐一 (翻訳), 東畑精一 (翻訳), 中
山伊知郎 (翻訳), 経済発展の理論 上(シュムペーター): 企業者利潤・資
本・信用・利子および景気の回転に関する一研究, 岩波書店, 1977.
- [50] 中村翼, 永井由佳里, “デ`シ`タルファブ`リケーション・スペ`ース
の普及とその背景,” 日本デ`サ`イン学会デ`サ`イン学研究, 2018.
- [51] ティム・ブラウン, (翻訳) 千葉敏生, デザイン思考が世界を変える-イ
ノベーションを導く新しい考え方, 早川書房, 2010.

- [52] The OECD, “OECD Future of Education and Skills 2030,” 2018.
[オンライン]. Available: [https://www.oecd.org/education/2030/E2030%20Position%20Paper%20\(05.04.2018\).pdf](https://www.oecd.org/education/2030/E2030%20Position%20Paper%20(05.04.2018).pdf). [アクセス日: 6 2020].
- [53] 紺野登, 野中郁次郎, 構想力の方法論, 日経 BP 社, 2018, p. 121.
- [54] 永井由佳里, “デザイン思考とデザイン(<特集>デザイン思考),” デザイン学研究特集号 20(1), 2012.
- [55] 前川正実, 永井由佳里, “イノベーション創出人材のためのグループ PBL のデザイン,” 日本デザイン学会研究発表大会概要集 64th, 2017.
- [56] Larry John Leifer, Martin Steinert, "Dancing with Ambiguity: Causality Behavior, Design Thinking, and Triple-Loop-Learning," Information Knowledge Systems Management vol.10, no. 1-4,, 2011.
- [57] 小川亮, “製品開発プロセスにおけるデザイン活用の有効性について,” Japan Marketing Journal Vol. 38 No. 4, 2019.
- [58] 永井由佳里, 野口尚孝, “デザイン思考過程における言葉とイメージの関係に関する実験(2) : 言葉から形態イメージへの変換におけるドローイングの役割,” 日本デザイン学会研究発表大会概要集 47 巻, 2000.
- [59] ティム・ブラウン, IDEO 流 実行する組織のつくり方 DIAMOND ハーバード・ビジネス・レビュー論文, ダイヤモンド社, 2016.

- [60] 中川一人, 鳥居塚崇, “3D モデリングを通じた 2 次元図面作成における基礎製図教育の効果に関する検討,” 日本プラント・ヒューマンファクター学会, 20 巻 2 号, 2016.
- [61] 鈴木賢次郎, “図学関連教育による空間認識力の育成一 MCT による調査研究を基に一,” 日本図学会, 34 巻 Supplement 号 p. 21-26, 2000 年.
- [62] オートデスク株式会社, “AutoCAD: 数百万人の信頼を得る高度な 2D/3D CAD ソフトウェア,” [オンライン]. Available: https://www.autodesk.co.jp/products/autocad/overview?mktvar002=5012589%7CSEM%7C347784384%7C23225891544%7Caud-1421599765813:kwd-14891210&panel=buy&Ad=FY23Q1-RSA-Rmkt1&ef_id=Cj0KCQjw2MWVBhCQARIsAljbwoP-asDAIdTJw34OOasaLHXvXd_1eJ79trCNjHPd4LYVaESksnQ-tEMaAk5. [アクセス日: 6 月 2022 年].
- [63] 群馬県教育研究所連盟, 実践的研究のすすめ方—創意工夫を生かした教育を求めて (改訂新版), 2001 年, 東洋館出版社.
- [64] 中司智朱希, 岡本誠, 永田司, “コンピューターミシンの新価値を事例とした参加型デザインに関する考察,” デザイン学会第 63 回研究発表大会, 2016.

- [65] ドナルド・A・ノーマン(原著), 岡本明 (翻訳), 安村通晃 (翻訳), 伊賀聡一郎 (翻訳), 上野晶子 (翻訳), エモーショナル・デザイン 微笑を誘うモノたちのために, 新曜社, 2004.
- [66] ヘンリー・チェスブロウ (著), 博報堂大学 ヒューマンセンタード・オープンイノベーションラボ TBWA/HAKUHODO (監修), “オープン・サービス・イノベーション,” CCC メディアハウス , 2012 年.
- [67] 越智岳人, “日本のファブ施設調査,” fabcross powered by MEITEC, 12 月 2019 年. [オンライン]. Available: https://fabcross.jp/topics/research/20181223_fabspace.html. [アクセス日: 6 月 2022 年].
- [68] Joe Tidd, John R. Bessant, “Managing Innovation: Integrating Technological, Market and Organizational Change,” WILEY, 2001.
- [69] ファブ 3D コンテスト実行委員会, “FAB 3D CONTEST 2021,” 一般社団法人国際 STEM 学習協会, [オンライン]. Available: <https://www.fab3d.org>. [アクセス日: 6 2022].
- [70] Fabble, “ファブ 3D コンテスト 家族の部 虫歯の歯ブラシスタンド,” ファブ地球社会コンソーシアム会員企業有志, 31 10 2016. [オンライ

- ン]. Available: <https://fabble.cc/shioshio3/xxxxxxxxxxxxx>. [アクセス日: 6 2022].
- [71] ファブラボ太宰府 (Fablab DAZAIFU) , “ファブラボ太宰府,” GooDay, [オンライン]. Available: <https://fablabdazaifu.com>. [アクセス日: 6 2022].
- [72] FabLab Japan Network, “【from Dazaifu】FAB3D CONTEST,” Fab Lab Japan Network, 2016. [オンライン]. Available: <http://fablabjapan.org/2016/11/04/post-6807>. [アクセス日: 6 2022].
- [73] 中村翼, 永井由香里, “3D プリンタを使用したアイデアコンテストにおける共創と考察～FAB3D CONTEST における事例～,” 横断型基幹科学技術研究団体連合, 2017.
- [74] c8link, “ファブ 3D コンテスト 2017 : カテゴリー2 : ブラッシングヘアゴム,” SFC and WebDINO Japan., 2017. [オンライン]. Available: <https://fabble.cc/c8link/brushing>. [アクセス日: 6 2022].
- [75] オートデスク株式会社, “Fusion 360 | 学生、教員向け無償ソフトウェア | オートデスク ,” [オンライン]. Available: <https://www.autodesk.co.jp/campaigns/education/fusion-360>. [アクセス日: 6 2022].

- [76] 3DP id.arts, “中野区産業振興推進機構（ICTCO）主催の 3D プリント・ビジネスコンテスト結果発表,” 8 9 2015. [オンライン]. Available: <https://idarts.co.jp/3dp/ictco-3d-business-digging-festival/>. [アクセス日: 6 2022].
- [77] デイヴィッド・ケリー, トム・ケリー, (翻訳) 千葉敏生, クリエイティブ・マインドセット 想像力・好奇心・勇気が目覚める驚異の思考法, 日経 BP, 2014.
- [78] James Gilbson, 小林茂, 鈴木宣也, 赤羽亨, アイデア スケッチ アイデアを〈醸成〉するためのワークショップ実践ガイド, ビー・エヌ・エヌ新社, 2017 年.
- [79] 福田忠彦研究室 Human Performance Laboratory, “増補版 人間工学ガイド - 感性を科学する方法 -,” サイエンティスト社, 2009.
- [80] 林海福, 加藤浩, “プロダクトデザイナーに求められる能力およびその成長プロセス,” デザイン学研究, 57 巻 2 号, 2010.
- [81] A. Magnin, "Fusion Mastery: How to Use Fusion Team to Collaborate on Projects with Anyone, Anywhere," Autodesk Ltd. , 9 8 2018. [Online]. Available: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/how-to-use-fusion-team-to-collaborate-on-projects-with-anyone-anywhere/>. [Accessed 6 2020].

- [82] 個人用 Fusion 360, “CAD/CAM/PCB の統合ソフトウェア Fusion 360,” オートデスク株式会社, [オンライン]. Available: <https://www.autodesk.co.jp/products/fusion-360/personal>. [アクセス日: 6 2022].
- [83] Watanab Masahiro (東京工業大学エンジニアリングデザインプロジェクト), “デザイン思考の授業で踊り続けた「あいまいさとのダンス」,” 22 2 2017. [オンライン]. Available: <https://medium.com/titech-eng-and-design/デザイン思考の授業で踊り続けた-あいまいさとのダンス-c1407f382baa>. [アクセス日: 6 2022].
- [84] 井関利明, 山田眞次郎, 思考 日本企業再生のためのビジネス認識論, 学研プラス, 2013.
- [85] 文部科学省, “慶應義塾大学 KGRI 環デザイン&デジタルマニュファクチャリング創造センター,” [オンライン]. Available: <https://coi.sfc.keio.ac.jp>. [アクセス日: 6 月 2022 年].
- [86] 山本利一, “小学校教育における 3D プリンタを活用したものづくり学習の提案,” 日本産業技術教育学会誌, 2018.
- [87] 山田学 株式会社ラブノーツ MISUMI meviy, “機械製図での CAD 利用作図ツールの変換と問題点,” 22 日 5 月 2022 年. [オンライン]. Availab

le: <https://jp.meviy.misumi-ec.com/info/ja/archives/32555/>. [アクセス
日: 6 月 2022 年].

- [88] 秋山剛志, 関根文太郎, 原田信一, “3D プリンタを活用したものづくりプロセス学習教材の開発,” 日本産業技術教育学会誌 第 60 巻 第 1 号 p29 ~34, 2018 年.
- [89] 和田浩一, 西村伸也, 高橋和也, 周博, 高橋鷹志, “3D-CAD を用いた設計手法に関する研究—設計教育における準実験的試みその 2—,” 日本建築学会計画系論文集 549 号, p169-176, 2001 年.
- [90] 鈴木麻美子 (日本総合研究所), “未来の可能性を探るエスノグラフィ ビジネスエスノグラフィ実践の現場から,” 日本文化人類学会第 52 回研究大会, 2018.
- [91] E. v. Hippel, "Free Innovation," MA: MIT Press, 2016.
- [93] 経済産業省 (METI), “2020 年版ものづくり白書で注目すべき 3 つのポイント—経済産業省 中野剛志氏インタビュー,” IOT NEWS, [オンライン]. Available: <https://iotnews.jp/archives/154691>. [アクセス日: 6 2022].

[94] 牧博司, “図学の図と機械工学の図面との 教育的差異についての一考察,”

図学研究 26 号, p92-96, 1992.

[95] Chris Anderson, 篠森ゆりこ(翻訳), ロングテール「売れない商品」を宝

の山に変える新戦略, 早川書房, 2014.

博士論文の骨格となる研究業績リスト

- ・ 中村翼、永井由佳里_3DCAD における手描きドローイングの創造性教育についての考察、日本創造学会研究論文誌 26 巻、2022 年（採録）
- ・ Tsubasa Nakamura, Yukari Nagai. Design for Health, 『Consideration of a new idea search method in mentor participation design using 3D printing.』, (査読有), 2017
- ・ Tsubasa Nakamura, Yukari Nagai, International (ICDC2018) 『CYCLE TO DISCOVER NEW NEEDS』 (査読有) Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED, 2018
- ・ 中村翼、永井由佳里、3Dプリンター屋で起きたユーザー・イノベーションの仕組みと課題、横幹コンファレンス、査読無、11巻1号、2016年11月18日～20日、慶應義塾大学日吉キャンパス
- ・ 中村翼、永井由佳里、谷口俊平、日本デザイン学会研究発表大会概要集、ファブ・スペースで3D PRINTINGを用いることによる共創の考察、査読無、64巻、132 - 133、2017年6月30日～7月2日、拓殖大学文京キャンパス

- ・ 谷口俊平， 中村翼， 永井由佳里， 川合千代子、日本デザイン学会研究発表
大会概要集、地下水脈の理解を促す3次元地質構造モデルの作成、査読無、
64巻、136～137、2017年
- ・ 中村翼、永井由佳里、日本デザイン学会 第64回春季研究発表大会、デジタル
ファブリケーション・スペースの普及とその背景、査読無、65巻、238 -
239、2018年6月30日
- ・ 中村翼、永井由佳里、第41回日本創造学会研究大会、プロダクトデザイン教
育における3D CADを使った創造性の実践教育、査読無、2019年9月29日、
北陸先端科学技術大学院大学