

# 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と建築教育

## Study on the Implementation of Digital Fabrication in Architectural Education at Japanese Universities

安田研究室 17M51053 清水 龍太郎 (SHIMIZU, Ryutarō)

### 1. 序

3Dプリンタをはじめとするデジタルファブリケーション（以下、DF）機器（表1）の進化により、ものづくりのあり方は根本的に変わろうとしている。その変化の波は建築設計・生産にも影響を与えており、これに対応するには建築教育の変革が求められている。世界ではDFを活用した先進的な教育プログラムの試行が進められているのに対し、日本では対応の遅れが指摘されている。そこで本研究は、国内の大学におけるDFを活用した教育プログラムと、導入機器や施設等を調査し、そのなかで建築教育がどのように行われているかを分析することで、日本の大学におけるDFを活用した教育プログラムと建築教育の

表1 主なデジタルファブリケーション機器

主なDF機器名	特徴	導入コスト
3Dプリンタ (熱溶解積層方式)	熱可塑性樹脂を積層させることで立体形状を作製することが可能な造形機器。比較的安価に導入が可能。	数万円～ 数十万円
レーザーカッター	レーザー光線で素材を焼き切ることでの切断加工を行う機械。	数十万円～ 数百万円
Shop-Bot	自動制御で3次元的にドリルが動くことで大型の木質パネルを加工できる大型の3次元切削加工機。	数百万円以上
ロボットアーム	プログラミング入力により人の腕に似た動きをすることが出来る機器。アーム先端に取り付けるツールによって様々な加工が可能。	数百万円以上

表2 インタビュー調査の概要

実施期間	2018年10月23日～1月16日	
回答件数	全国の大学：10校	
実施方法	対象校へ事前に質問内容を送付したうえで、施設担当者に対するインタビュー調査と施設建物の測量を行った。	
調査内容	1. 該当施設への実地調査 ・施設の使われ方、管理方法 ・施設に導入されている機材について ・施設建物の測量	2. 施設で展開されている教育プログラム ・DFを活用した教育プログラムと建築教育との関係性 ・デジタル教育への意欲調査

表5 調査対象

No.	施設ID	学校名	略称	施設所在地	国立/私立	総合/単科	建物の情報			調査の概要			
							面積[m <sup>2</sup> ]	種類	管轄	調査実施日時	インタビュー人数	インタビューの属性 [ア],[イ],[ウ],[エ],[オ]	
1	A	東京工業大学	東工大	東京都	国立	理工系	820	改装	独立	10月23日	1名	1	
2	B	京都工芸繊維大学	工繊大	京都府	国立	理工系	1,320	新築	全学	12月4日	1名	1	
3	C	東京芸術大学	東芸大	東京都	国立	芸術系	720	新築	独立	12月13日	1名	1	
4	D1	東京大学	東大	東京都	国立	総合	160	新築	工学部	11月14日	3名	1	
5	D2						150	改装	独立				1
6	D3						未測定	改装	学科				
7	E	九州大学	九大	福岡県	国立	総合	1,750	新築	全学	11月29日	1名	1	
8	F	千葉大学	千葉大	千葉県	国立	総合	1,600	新築	工学部	12月5日	3名	1, 2	
9	G	東北大学	東北大	宮城県	国立	総合	1,250	新築	工学部	12月11日	3名	1, 2	
10	H	広島工業大学	広工大	広島県	私立	理工系	880	改装	学科	11月30日	2名	1, 1	
11	I	早稲田大学	早大	東京都	私立	総合	450	改装	全学	11月7日	1名	1	
12	J1	慶應義塾大学	慶大	神奈川県	私立	総合	70	改装	全学	12月18日	4名	1, 2, 1	
13	J2						未測定	新築	全学				1
14	J3						110	新築	全学				

凡例 [ア]建築学系の教員 [イ]建築学系以外の教員 [ウ]技術職員 [エ]学生管理者 [オ]学生利用者

実態を明らかにすることを目的とする。

### 2. 研究方法

2.1 研究対象 日本の大学におけるDFを活用した教育の環境を把握するため、文献調査から国内の大学教育機関のうち、「建築教育を行っている」、「学生が自由のものづくりを行うことの出来る施設を有している」の2点を満たし、かつ施設管理者へのインタビューが可能であった10校を調査対象とした。調査の概要を表2に、調査対象、調査実施日時及びインタビューの概要を表5に示す。本研究では一級建築士資格受験に必要な学歴要件に「国土交通大臣の指定する建築に関する科目」として記載されている学部・学科を建築学系と定義する（表3）。

表3 本研究で建築学系として扱った学部及び学科一覧

大学名	学部及び学科名(学部課程/大学院課程)
A: 東工大	環境社会理工学院建築学系
B: 工繊大	工芸科学部デザイン・建築学課程/工芸科学研究科建築学専攻
C: 東芸大	美術学部建築科/美術研究科建築専攻
D: 東大	工学部建築学科/工学研究科建築学専攻
E: 九大	工学部建築学科, 芸術工学部環境設計学科/人間環境学府空間システム工学科他
F: 千葉大	工学部建築学科, デザイン工学科建築コース/工学研究院建築・都市科学専攻
G: 東北大	工学部建築学科/工学研究科都市・建築学専攻
H: 広工大	工学部建築工学科, 環境学部建築デザイン学科/
I: 早大	創造理工学部建築学科/創造理工学研究科建築学専攻
J: 慶大	環境情報学部理工学部システムデザイン学科/政策・メディア研究科他

表4 インタビューに用いた質問項目

質問項目	具体的な質問内容
施設について	この施設はいつ頃開設されたものですか。
	この施設は大学内のどの部署が管理しているものですか。
	この施設のある建物は以前どのように使われていたものですか。
	この施設の利用時間について教えてください。
管理について	この施設の設えやレイアウトは誰によって行われたものですか。
	この施設の管理者の人数について教えてください。
機材について	この施設の機材はどのような人(またはグループ)が導入を決めていますか。
	この施設が導入しているデジタルファブリケーション機器の台数と導入年を教えてください。
利用について	施設利用の際、学生はどのようにして機材の利用方法を学ぶことが出来ますか。
	施設利用の際、施設管理者は学生の機器利用補助を行うことはありますか。
	施設利用の際、料金は発生しますか。
	どのような目的の利用者が多いですか。利用者の多い順に番号を付けてください。利用者の大きな割合について教えてください。

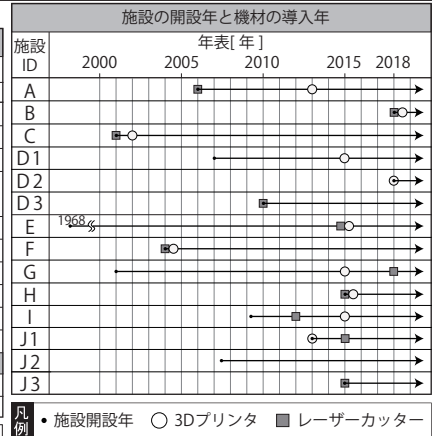


図1 施設の開設年と機材の導入年

2.2 施設管理者へのインタビュー調査 施設管理者へのインタビュー調査を行った際の質問項目を表4に示す。本調査では対象施設14か所のうち、8か所においては施設を管理している教員に対し、残り6か所においては施設職員にインタビューを行った。加えて施設管理を行う学生スタッフと学生利用者に対しても適宜調査を行った。

2.3 教育プログラムの調査 調査対象校10校で行われている教育プログラムの実態を把握するため、調査対象校で公開されている授業シラバスの参照システムと、所属する学生へのヒアリングや各校の教育関係者へのインタビューで得られた内容を併せて分析した。本調査の概要を表6に示す。

### 3. 大学内のもづくり施設の現状

3.1 施設・教育環境 施設の開設年及び主なDF機器の導入時期について図1に示す。調査対象施設のうち、1968年開設の施設が最も古く、2018年開設の施設が最も新しかった。多くの施設が2015年以降に新しくDF機器を導入していた。次に、施設の建物について分析したものを図2に示す。調査を行った14施設中、約4割に

あたる6施設は別の用途に使われていた部屋を改装して作られたものであった。そのうち4施設は、改装以前には機械系や電気系学科の工作実験室として使われていたものであった。建物を管理している管轄別にみると、全学保有の割合が最も多い一方で、学部や学科単位で保有されている施設も存在した。

3.2 導入されているデジタルファブリケーション機器 調査した施設に導入されているDF機器について整理した(図3)。3Dプリンタとレーザーカッターは調査した全ての施設で導入されていた。大型工作加工機器であるShop-Botの導入が確認されたのは3校のみだった。導入と運用にコストのかかるロボットアームとShop-Botの両方を導入している大学はJ校の1校のみであった。またB校では他にも、全自動編み機であるホールガーメント横編機や立体的な表面の印刷が可能である特殊なプリンタなど、他の大学施設ではみられなかった最新鋭のDF機器が導入されていた。

3.3 施設の管理体制 施設の管理者の種類と人数を図4に示す。調査対象10校では管理人数に差がみられたが、

表6 教育プログラムの調査方法

調査概要	調査校において行われてい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を把握するための以下の方法で調査を行った。	
調査方法	調査の種類	具体的な調査の方法
	① 調査対象校の授業シラバスを検索	「デジタルファブリケーション」、「3Dプリンタ等でキーワード検索する。検出された授業の進行スケジュールにDF機器を用いる事を示す文言がある場合、この授業を『DF機器を活用した教育プログラム』と見なした。
	② 学校関係者(教員・職員)へのインタビュー	調査対象校への実地調査の際、その校の教育関係者に対し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の有無について質問を行った。
③ 調査対象校に所属する学生へのヒアリング	調査対象校の建築学系学科に所属する/していた学生各校1名に対し、電子メールやメッセージアプリなどを用いてヒアリングを行った。	

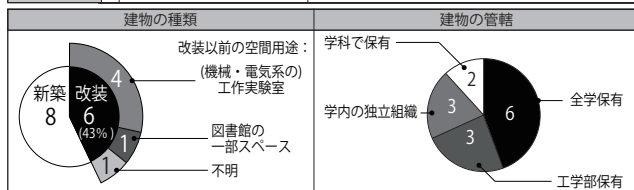


図2 施設の概要 図中の数字は事例数を示す。

大学	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			C: 東芸大 ・製本機 ・カッティングプロッター
D校	8	2		1	D: 東大 ・放電ワイヤーカッター
E校	3	1	1		
F校	3	2			
G校	11	2			
H校	2	2	1		F: 千葉大 ・NC彫刻放電加工機
I校	2	1			G: 東北大 ・3Dリアルサーフェスビュー顕微鏡
J校	14	4	1	1	J: 慶大 ・UVプリンタ

図3 各大学に導入されている機材数 図注 丸内の数字は台数を表し、大学内に施設が複数ある場合、それらを合算した値を示す。

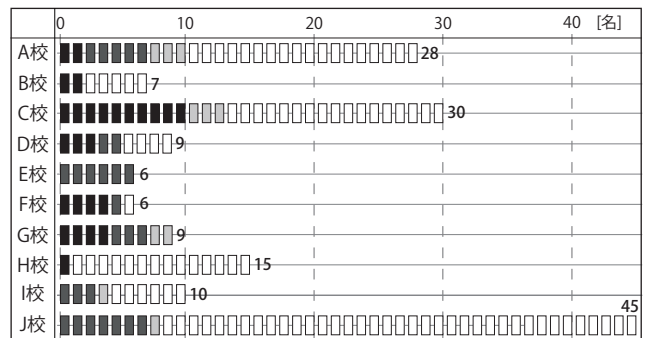


図4 管理者の種類別人数

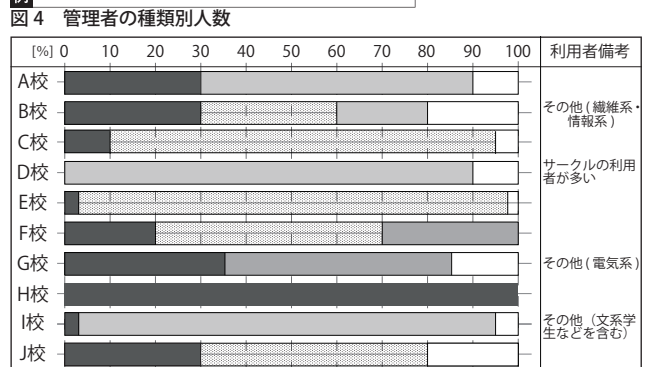


図5 学生の専門別に応じた施設利用者の割合

Q.利用の際、料金は発生しますか	数	料金に関する意見
全ての機器について無料(材料含め)	2	料金を設定しない理由 ・機器ごとに材料やメンテナンスのコストが異なるので一律の課金システムをつくるのはとても面倒。(九大[建築学系以外の教員])
基本的に無料 材料は持ち込み	7	
基本的に無料 特定の機器のみ有料	1	
基本的に有料	0	

図6 機材の利用料金 図注 白抜き英字は大学を表す。

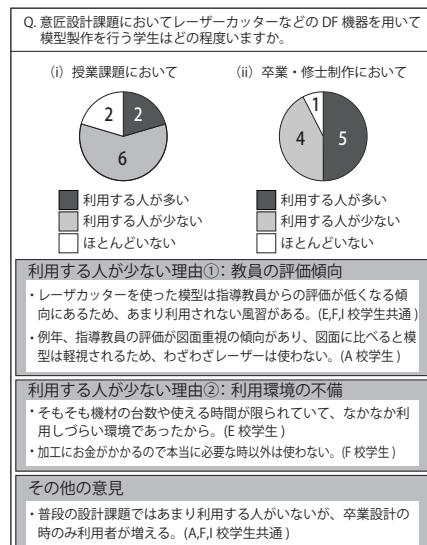
そのほとんどは学生スタッフの数によるものであった。特に C, J 校では施設の管理・運営を学生スタッフが主体的に行っており、そのため学生スタッフの数が 30 名以上であった。C, J, I 校では学生スタッフも新機材の導入に関わっていた。

**3.4 施設利用の実態** 施設を利用する学生の種類別にみた割合を図 5 に示す。A, D, G, I 校では機械系を専門とする学生の利用率が 5 割を超えていた。これはものづくり系サークルの活動拠点として施設が使われており、サークルに所属する学生の利用が多かったためと思われる。H 校では建築学系学科が施設を保有・管理しているため、建築学系の学生しか施設を利用していなかった。デザイン・芸術系の学科をもつ B, C, E, F, J 校ではその学科の学生の利用の割合が多い傾向がみられた。また施設にある機材の利用料金についてまとめたものを図 6 に示す。調査校 10 校中すべてにおいて「基本的に機器の利用料金が発生する」と回答した大学はみられなかった。しかし「基本的に無料だが、加工する材料は利用者が用意する」と回答した大学は 10 校中 7 校であった。また管理者から利用料金を設定しない理由について意見が得られた。

**4. デジタルファブリケーションを活用した建築教育の現状**  
**4.1 デジタルファブリケーションを活用した授業プログラム**

調査校で行われている DF を活用した授業プログラムの代表例について図 8 に示す。調査対象校 10 校の内、5 校において DF を活用した建築教育が 15 コマ確認された。その 15 の教育プログラムのうち、9 つが学部生に向けて行われているものであった。また必修とされる授業はみられなかった。DF 機材別にみると 13 コマにおいて 3D プリンタが活用されていた (図 9)。これは 3D プリンタが一般に普及し、造形に必要な材料等のランニングコストが以前に比べ各段に安くなった事が影響していると思われる (表 7)。また建築学系以外では全ての大学において DF を活用した教育プログラムが行われていた。特に機械系学科を持つ D, H, G, A, I 校では CNC ミリングマシンを用いて金属加工を行う実習形式のプログラムが展開されていた。またデザイン・芸術系学科を持つ J, C, E 校では領域横断的に他学科の学生も DF 機器を用いた教育プログラムを受講することが出来た。

**4.2 建築学系におけるデジタルデザイン教育** コンピュータを用いて建築図面や 3 次元モデルを作成する CAD や VPL<sup>注1)</sup>などのソフトウェアは建築業界において広く一般に普及している。それらのソフトウェアの使用方法を学習する教育は一般的にデジタルデザイン教育と呼ばれる。本研究では DF 機器を授業内で活用せずソフトウェアの学習のみ行うものにつ



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 S152」(機械系)
H: 広工大(広島県)	●「コンピュータデザイン」(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) ●「知能機械工学実習」(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: 東芸大(東京都)	●★「CAD 図法演習 II」(2 単位)	●★「CAD 図法演習 I」(2 単位)	●★「芸術情報演習 1」(情報学系) ●★「デジタルサウンド演習」(音響学系)
E: 九大(福岡県)	●「空間表現実習」(2 単位) ●「空間デザイン実習」(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: 工繊大(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)	★「建築意匠特論/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 I」(2 単位) ★「デジタル環境設計特論」(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 黒枠で囲われたもの: 必修科目

図 7 意匠設計課題における模型製作に関する実態とその特筆すべき意見

図 8 調査校で行われている教育プログラムの代表例

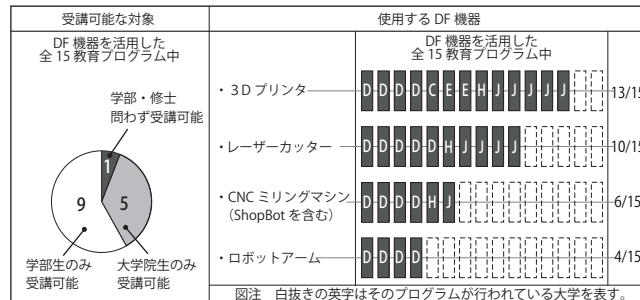


図 9 デジタルファブリケーション機器を活用した教育プログラムの分析

表 7 デジタルファブリケーション機器の運用に関する特筆すべき意見

3D プリンタ	<b>造形原料のコスト: 九大</b> ・3D プリンタは原料のランニングコストがどうしても掛かる。機器メーカーが指定する純正品の材料は高い。しかし最近は機器のオープン化が進んで純正品ではない材料でも機器の調整次第で使うことのできる機器を優先して導入したため以前よりコストは低くなった。(九大 [イ])
ロボットアーム	<b>ソフトウェアの進歩: 工繊大</b> ・ロボットアームは、従来まで加工情報の入力に大変な労力がかかり、運用が難しかったが、ここ数年のソフトウェアの進歩によって、はるかに運用が容易になってきたおかげで、授業の中で利用できる段階にある。(工繊大 [ウ])
	<b>運用にライセンスが必要: 慶大</b> ・ロボットアームの運用はともハードルが高い。研修を受けてライセンスを取得した人しか使えないため、学生が研究に利用することは難しい。(慶大 [ア])

いてデジタルデザイン教育と呼び、DFを活用したものは区別する。図8に示す通り調査校10校全てでデジタルデザイン教育が行われていることが確認された。

4.3 設計課題におけるデジタルファブリケーション機器の使い方  
通常、建築意匠について学ぶ意匠設計課題では建築図面と建築模型を制作する。この建築模型においてDF機器の一つであるレーザーカッターがしばしば利用される。図7に示す通り調査対象校ほぼ全てでレーザーカッターを用いた模型制作が行われていた。利用が少ない大学では指導教員の評価傾向がレーザーカッターの利用者数に関係している事を示唆する意見がみられた(図7)。授業課題に比べて卒業・修士制作時では利用する人が増加する傾向がみられた。

### 5. 各大学の特筆すべき特徴と考察

図10に各大学別にみた施設、教育プログラム、導入機器、管理・運営、そして利用者の特徴をそれぞれ示す。DFを活用した教育を行っていたD校、H校は学科単位でDF機器を保有し建築教育を行っていた。また施設の管理者が機材の導入と教育プログラムの両方について一定の裁量権を保持しており、新しい試みが実現しやすい環

境が整っていた。それに対してDF機器を活用した教育が行われていなかった大学では、機器を使う環境の整備が進む一方で、建築学科の教育方針として模型や図面の制作を手作業で行うことを重んじており、DF機器を利用する機会が少ないなどの意見がみられた。また調査時点では教育プログラムは行われていないものの、G校やB校では意欲的なDF機器の導入がみられ、G校では2019年度より新しくDF機器を活用した授業を計画しており今後の展開が期待される。

### 6. 結

本研究ではデジタルファブリケーションを活用した教育の実態を把握するため、国内の大学10校の現地調査及びインタビュー調査を行った。現地調査で得られた施設建物や導入機器などの教育環境の特徴と教育関係者へのインタビューで得られた意見を併せて考察を行うことで建築教育の現状の一端を明らかにした。

注1) CADとは「Computer Aided Design」の略で、コンピューターを使ってモノを設計するためのソフトやシステムのことを指す。またVPLとは「Visual Programming Language」の略で、プログラムをテキストで記述するのではなく、視覚的なオブジェクトでプログラミングするプログラミング言語または手法のことを指す。

#### 参考文献

- 1) 田中浩也著：Fablife デジタルファブリケーションから生まれる「つくりかたの未来」、オライリー・ジャパン、2012.06
- 2) GA JAPAN 123, 2013年7,8月号, A. D. A. EDITA Tokyo, 2013.07

大学名	デジタルファブリケーション機器を活用した建築教育が展開されていた大学					デジタルファブリケーション機器を活用した建築教育が展開されていなかった大学				
	D:東大 (東京都)	H:広工大 (広島県)	J:慶大 (神奈川県)	E:九大 (福岡県)	C:東芸大 (東京都)	B:工繊大 (京都府)	F:千葉大 (千葉県)	G:東北大 (宮城県)	A:東工大 (東京都)	I:早大 (東京都)
施設の特徴	◆建築学系研究室を中心とした東京大学T-ADSで施設を保有・管理[D3] ◆ものづくりサークルを支援する目的で設置[D1]	◆建築デザイン学科で施設を保有。研究室で機材を管理。 ◆※①デジタルデザイン教育のための施設整備	◆環境情報学部で保有。運営は全学で行っている[J1] ◆※②誰でも気軽に使える施設整備	◆全学で施設を保有・管理 ◆元々は九州芸術工科大学の工房として施設が設置された。	◆学内の独立組織、芸術情報センターとして保有・管理 ◆開設当初は情報基盤センターの役割を担っていた。	◆全学で施設を保有・管理 ◆文部科学省の「グローバル人材育成推進事業」に採択され、その支援金で設置。	◆文部科学省特別経費事業の支援金で設置。 ◆工学部で施設を保有・管理		◆学内の独立組織で保有・管理	◆全学で施設を保有・管理 ◆企業からの寄付金で設置・運営されている。
導入機材の特徴		◆ShopBotが導入されており(九大は2019年度導入予定)、授業プログラム内でも利用がみられる。 ◆自主的な創作活動に必要な製本機やカッティングプロッターなど独自の機材の導入がみられる。 ◆映像撮影機材や音響機器などの貸出を行っている。			◆最新のDF機器が多数導入されている。 ◆導入コストの高い機材も導入されている。			◆2018年度3Dプリンタを新たに8台導入		
管理・運営の特徴	◆施設の管理者・グループが教育プログラムと導入機器の両方について裁量権を持っている。 ◆建築学科を含む様々な領域・専門の教員からなるワーキンググループが存在し、施設の運営・機器の選定などを行っている。						◆※⑤施設の縦割り管理		◆工学部の予算で運営されているため、工学部以外の学生は原則利用できない。(サークルに所属する学生は利用可能)	
利用者の特徴	◆芸術・デザイン系の学生の利用が多い。								◆レーザーカッターを利用する建築学生が多い。 ◆機械系の学生利用者が多い。 ◆ものづくり系サークルの利用者が多い。	
教育プログラムの特徴	◆大学院の授業が中心に行われている。[D3] ◆機械系の授業が多く行われている。[D1]		◆芸術・デザイン系の授業が多く行われている。 ◆※③領域横断型の授業展開			◆授業ではなく主に研究関連のプログラムが行われている。		◆機械系の授業が多く行われている。 ◆2019年度より3Dプリンタを扱った授業を始める予定。	◆施設で授業プログラムは一切行われていない。	
特筆すべき意見	◆※①デジタルデザイン教育のための施設整備：広工大 ・「デジタルデザイン」を柱とする建築教育を行うという方針のもと学科が設置された。それに合わせて設備や教育人材などの環境整備が行われた。(広工大[建築学系の教員]) ◆※②誰でも気軽に使える施設整備：慶大 ・施設と機器が縦割り体制で管理されておらず、誰でも使えるように整備されているのが本学の特徴であり、学生にとってはその敷居の低さが良いのではないか。(慶大[建築学系の教員]) ◆※③領域横断型の授業展開：東芸大 ・領域横断型の授業展開をしているため、どの学科の学生も受講することが出来るが大変大きいと思う。建築学科の学生は決して多くはないが、必ず毎年一定数は履修している。(東芸大[建築学系以外の教員])					◆※④建築学科との考え方の相違：工繊大 ・建築模型は手作業で作るという教育方針が学内で代々受け継がれているため、レーザーカッターなどを用いて建築模型を作る学生はほとんどいない。このような方針が起因して建築学生にあまり浸透していないのではないか。(工繊大[技術職員]) ◆※⑤施設縦割り管理：千葉大 ・本施設は工学部として所有しているものだが、建物内の各室ごとに管理している管轄が異なるため、機材導入の際や、管理運営に関してとても複雑になっている。本施設をより学生に開けたものにしたが、これが足かせとなって実現が難しい現状である。(千葉大[建築学系以外の教員])				

図10 各大学の特筆すべき特徴