

# 学術交流支援資金：外国語電子教材作成支援（2016年度）報告書 INTRODUCTION TO NOVEL FABRICATION（モノ創りの科学）

申請代表者：環境情報学部 高汐 一紀

## 1 本報告書の概要

標題科目は、従来のSFCカリキュラムで不足していた「モノ創り」の基本を、実践的かつ体系的に学ぶ科目群のひとつとして設置され、本年度はGIGA/GG/GI科目として開講された。デザインおよび実装の工学的センスを磨くには、プログラミングや工作といった基礎的な創造技術の習得のみならず、それらを生かす科学的なセンス、すなわち、「本物を見抜く眼」と「問題を見抜く眼」を持つことが重要である。その「眼」は、本物に数多く触れ、構造の分解と再構築を繰り返すことによって培われる。本教材は、ファブキャンパス構想の一環として進められている、<アトリエスペース（オミクロン棟2F）>の整備に伴う機器更新ともリンクし、各種ソフトウェアシステム、電気・電子回路、汎用マイコン基板、携帯デバイス等、リバーズエンジニアリングのための素材を継続的に整備・提供することにより、ミクロな視点からのパーツ/モジュールの動作原理解を、マクロな視点からのプロダクト/サービスの動作原理解を支援し、IoT時代のモノ創りの発想法と実装スキルをトレーニングするものである。

## 2 教材開発の背景と目的

### CPS (Cyber Physical System) 指向のモノ創り

コンピューティング環境のエピキタス化が進行する中で、自動車、ロボット、家電機器、さらには居住空間から家具、日常のオブジェクトに至るまで、あらゆるモノがコンピュータの力を借りてネットワークに繋がる状況が現出しつつあり、モノがスタンドアロンで機能する状況は、既に過去のものになりつつある。そこでは、個々のモノが持つセンシング機能、プロセッシング機能、アクチュエーティング機能が、ダイナミックかつ有機的に結合することで、次々に新たな機能やサービスが生み出されていく。実世界の情報を取り込むセンシングと実世界でのモノの動作を担う機械システム、そして情報通信システムの融合は、移動・物流・医療・介護・製造など様々な分野での改革を引き起こし、新たな社会的価値の創出を促す。SFCにおいてもこれら変革の先導に貢献する人材の育成は急務であった。

### SFCの中でのモノ創り ～デザインと実践力～

デバイス、ソフトウェアを問わず、モノ創りの基本は、発想・設計 (Plan)、プロトタイプング・計測 (Do)、評価・分析 (Check)、処置・改善 (Act) を繰り返す螺旋状のプロセス (PDCAサイクル) を実施し、完成度を高めることにある。すなわち「試行錯誤」の実践であり、そこでは、高度な工学的センスと科学的センスの両者が不可欠となる。SFCでのモノ創りに関する教育の取り組みとしては、建築系科目における制作活動や、エクストリームデザイン系の科目における制作活動を挙げることができる。これらは、アートとしての側面が強く、制作物自体を目的とした活動である。情報系科目においても、先々代カリキュラムから導入された情報技術ワークショップにおいて、一部の担当教員による講義・演習にモータを使った制作活動などが導入されてきた。

申請者は、これら提供されている科目の多くが制作活動そのものを重視したものであり、PDCAサイクルの視点で言えば、発想・設計 (Plan)、プロトタイプング・計測 (Do) で留まっている点が SFCのカリキュラムの問題点であるという意識を持っていた。このような背景から、申請者は、プログラミングや工作といった基礎的な創造技術の習得のみならず、それらを生かす科学的な眼、すなわち、「ホンモノを見抜く眼」と「問題を見抜く眼」を磨くことを目的とした「モノ創りの科学」を、さらには、ある程度の「発想→プロトタイプング」の経験を積んだ学生を対象とし、今回の発想・設計プロセスに繋がる「評価→改善」に重点を置き、CPS指向でのモノ創りのプロセスを実践的に議論する科目として「モノ創り実験工房」を未来先導カリキュラム (2007年度カリキュラム) の中で新規に設置し、デザインと実装力の両方で勝負できる人材の育成に注力した。

両科目がスタートした2007年度は、科目設置の趣旨に添う工作設備や教材の整備が間に合わず、市販の各種教材を想定した講義・演習の運用を余儀なくされた。しかし、2007年秋から「モノ創り工房」の構想が急速に具体化、2008年度には、モノ創り系科目で共同利用可能な、電源や工作機等のインフラ、基板加工機、デジタルマルチメータ、デジタルオシロスコープ、3Dプリンタ等、必要最小限の機材が整備されるに至った。2015年からは、ファブキャンパス構想のもと、三層のファブ施設 (メディアセンターファブスペース、オミクロンアトリエスペース、DFE-M/W) の整備が進み、Fab Campus Guidebookの公開により、各種ファブ機器を学生が自由に利用できる状況までになった。これらの活動は、新旧カリキュラムの設置期間を通して、一定の成果を得ることができたと認識している [1] [2]。

[1]. Fab Campus Keio SFC | 慶應義塾大学SFCファブキャンパス

<http://fabcampus.sfc.keio.ac.jp>

[2]. 学術交流支援資金：外国語電子教材作成支援 (2015年度) 報告書

### 新カリキュラムでの「INTRODUCTION TO NOVEL FABRICATION」の位置付け

各モノ創り系科目の教材が整備・充実されていく中、「受講者の基礎力、特に電気・電子回路に関する基礎学力の不足」が新たな問題点として浮かび上がってきた。モノの振る舞いを決定するロジックの基礎となるデジタル電子回路 (論理回路)。モノと実世界、モノと人とのインタラクションの基礎となるアナログ電気・電子回路。ミクロな視点で見れば物理的な特性に何ら変わりのない両者ではあるが、マクロな視点で見れば、電気をエネルギーとして有効に利用するためのアナログ電気・電子回路、電気を情報の伝達や処理の手段として用いるデジタル電子回路と、はっきりとした違いが見えてくる。これらアナログとデジタル両面での電気・電子回路への正しい理解と応用力なくしては、今どきのモノのコアを効率的にデザイン、実装することは困難である。

このような背景の下、2014年度よりスタートした新カリキュラムでは、新規科目として「アナログ・デジタル電子回路基礎」を導入したが、本教材開発課題となる「モノ創りの科学 (GIGA/GG/GI科目名: INTRODUCTION TO NOVEL FABRICATION)」もまた、本年度より「モノ創り」の基礎となる電気回路・電子回路の基礎を体系的に修得することを主題のひとつとして、講義・演習の内容を再設計することとした。

講義では、電気回路の基礎、各種受動素子や能動素子を用いた代表的アナログ電子回路の構成法、さらには、論理演算回路の実現方法と、それらの組合せとして実装される様々なデジタル電子回路までを網羅的に解説し、講義内容に有機的に連携したシミュレータ上での演習や実回路での実験を通して、その内容を深く理解してもらうことを目指す。いずれも SFC でデザインやモノ創りを学ぶ学生や、コンピュータシステムを学ぶ学生には必要不可欠な知識とスキルであり、工学的側面と科学的側面の両面から、CPS/IoT時代の一翼を担うモノ創りの発想法の体系的なトレーニングを可能とする教材の整備と、継続的な内容のアップデートが求められている。

## 3 教材開発の目的と手法

本教材は、講義資料だけでなく、講義内容に有機的に連携した各種電気・電子回路、汎用マイコン基板、携帯デバイス等、リバーズエンジニアリングする素材を継続的に整備・提供することにより、ミクロな視点からのパーツ/モジュールの動作原理解を、マクロな視点からのプロダクトの動作原理解を支援し、電気・電子回路の基礎を、体系的に修得することを目指した。2016年度の「INTRODUCTION TO NOVEL FABRICATION」で取り扱ったテーマと開発した教材・課題の内容は、概ね次のようなものであった。

- Engineering vs. Science: Design / Implementation / Reverse engineering  
教材: [講義資料](#) / [講義資料](#)
- Analog vs. Digital: Proportional scale in the physical world / Quantized representation of physical quantities / Physical world consisting of atoms / Digital world consisting of bits  
教材: [講義資料](#)
- Electric circuit vs. Electronic circuit: History of the amplification / From mechanical analog computers to ENIAC/EDVAC / Advent of electronic computers / Electric circuits as interfaces with real world (図 1, 図 2)  
教材: [講義資料](#) / [講義資料](#)
- Hardware vs. Software: Sensors, logics and actuators / ASIC vs. CELL
- Macroscopic vs. Microscopic: PC vs. Sensor nodes / MEMS (Micro Electro Mechanical System)
- Wearable vs. Implantable: Wearable sensors and devices / Implantable computing  
教材: [講義資料](#)
- Augmented Human vs. Humanoid: Augmentation of human body / HRI (Human Robot Interaction)  
教材: [講義資料](#)
- Creative Approach for Fabrication: Human centric smart spaces with ubiquitous sensory devices / Novel devices for interaction with ubiquitous information services / IoT (Internet of Things) / Sentient artifacts / Interactive artifacts
- Fabrication Workshop: Introduction to novel fabrication / Reverse engineering for understanding principles  
教材: [講義資料](#) / [講義資料](#)

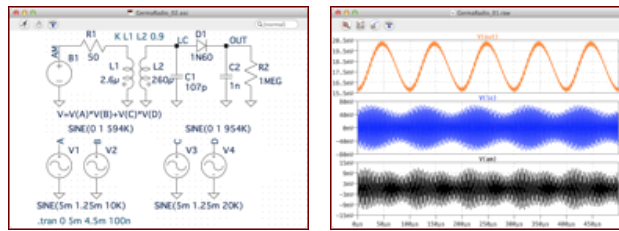


図1 電子回路シミュレーション (ゲルマニウムラジオ)

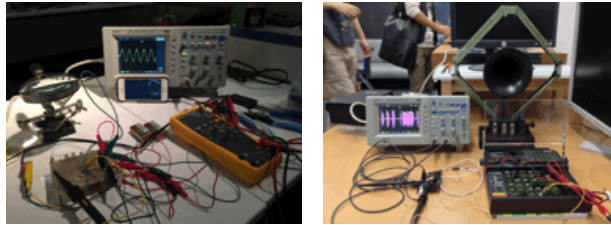


図2 電子回路の実装と計測 (ゲルマニウムラジオ)

#### 4 教材の効果と総括

各教材に求められる要件は以下のようなものであった。

- 「INTRODUCTION TO NOVEL FABRICATION」の講義趣旨を実現すること
- 80人程度の学生に対する講義・演習が可能であること
- 安全性が十分に考慮されていること
- 学生の不注意による機材の紛失、破損の可能性が少ないこと
- 教材としての耐久性が高く、長期間の使用に耐えられること
- 情報システム、デバイス、機械システムの分野の題材をバランスよく扱えること
- 教材使用とその指導方法が分かりやすく、経験の浅い教員でも活用可能であること

本プロジェクトの目的は、理工学部等でよく見られるような、講義科目と実験・演習科目が独立設置された形態ではなく、基礎理論、設計論、実装方法論と実回路演習が有機的に連携した教材を整備し、運用・評価することにある。本年度は特に、本格運用を開始する「アトリエベース」等のインフラに合わせて、より安全かつ効率的に、上記の主題を満たす教育を実現するための体系的な教材の実現に留意した。具体的には、学生が個別に使う教材、グループごと、あるいは、クラスごとに使用する教材を検討・開発し、授業運営の要件を満たす教材を整備した。SFC-SFSでの授業調査結果も、以下に示すように概ね良好であった。

本課題の対象である「INTRODUCTION TO NOVEL FABRICATION」に加え、申請者が担当する「モノ創り実験工房」は、従来のSFCカリキュラムで不足していた「モノ創り」の基本を実践的かつ体系的に学ぶ科目として、新カリキュラムの中でも重要な位置を占めている。その趣旨は、プログラミングや工作といった基礎的な創造技術の習得のみならず、それらを生かす科学的な眼、すなわち、「本物を見抜く眼」と「問題を見抜く眼」を持つことにより、CPS指向でのモノ創りに不可欠な工学的センスをも同時に磨くことにある。本教材を整備することにより、「モノ創りにおけるデザイン力の強化」、さらには「ハードウェア、ソフトウェア両面での実装スキル」の集中的な育成が可能となる。

本資金により開発された教材は、講義・演習を実のあるものにし、学生に実践的なモノ創りの発想法とその実現プロセスの基礎となる知識と技術を学ばせ、SFCの研究活動の高度化に貢献することが期待される。科目自体はCI分野からの提案であり、扱う課題も主に、情報システム、デバイス、機械システムの基礎というべきものである。しかし、情報システムの分野だけでなく、認知身体分野、環境分野、デザイン分野においても、上記したプロセスの実践は重要である。本プロジェクトの成果は、分野を問わず、現在各学生の手探りで行われているモノ創り(造り)のプロセスの洗練化、効率化に貢献できると考える。