紀要 専電研

Vol.07

令和6年8月

全国専門学校電気電子教育研究会

目 次

◆ 学生発表

「ものづくり」を通して専門力と人間力の育成を図る
～“共晶はんだ”から“鉛フリーはんだ”へ ～
日本工学院八王子専門学校　テクノロジーカレッジ　電子・電気科
野澤秀樹　1

音響サイドチャネル攻撃を利用したキーボード入力の推測
東北電子専門学校　サイバーセキュリティ科
阿部 凪透／北嶋優翔／柴田 和茂／村上 陽斗　7

セルオートマトン概論
日本電子専門学校　AI システム科　戴 士 淵　14

自作ルービックキューブ用スタックタイマー
日本電子専門学校　情報システム開発科　石津 晃希　17

プロジェクトワークがもたらすアカデミック・インパクトについて
日本工学院専門学校　テクノロジーカレッジ　電子・電気科
秋元龍大／佐藤優樹／前田篤志　20

手に合う製品への挑戦 -製品化の可能性-
日本工学院専門学校　テクノロジーカレッジ　電子・電気科
林征恵／佐藤優樹／前田篤志　36

「ものづくり」を通して専門力と人間力の育成を図る
～ “共晶はんだ” から “鉛フリーはんだ” へ ～

日本工学院八王子専門学校
テクノロジーカレッジ　電子・電気科　野澤秀樹

1. はじめに

日本工学院八王子専門学校 テクノロジーカレッジ 電子・電気科では、“電子工学”、“電気工学”、“電気工事”の3コースに分かれ、「専門技術」の基礎習得や机上の理論だけでなく、「つくる」の実践による「若きつくりびと」[1] の育成、各資格取得をサポートしている。そして多くの卒業生が各分野で活躍している。

今回、2022 年 4 月入学、2024 年 3 月卒業の“電子工学コース”の学生を対象に行った教育の一部に関して報告する。

2. 課題

2年間、電子工学コースの学生が実習や実験で学ぶ“ものづくり”に関連する製作物の中で、“はんだ付け”に関する部品の取り付けは、全て、“共晶はんだ”といわれる“鉛入りはんだ”を使用して行われている。その理由としては、融点が低いことから、部品の取り付け、取り外しというはんだ付け作業を行う際、比較的容易であり、初めてはんだ付けを行う学生にとっては、非常に有効な導入段階での作業工法である。

環境問題への配慮から、2000 年以降、大手電機メーカーを中心に鉛フリーはんだの適用は広がり、今の学生達が卒業後、製造関連業界に進んだ場合、おそらく手にするのは、鉛フリーはんだを使用した電子機器、半導体製品であると予想される。

学生時代に最先端実装技術に触れることは、非常に難しいことだが、業界の技術動向に近付けることは大事なことであると考える。

以上のことから、現在使用している“共晶はんだ”から“鉛フリーはんだ”を使った“ものづくり”に触れる機会を通して、専門力を上げる必要がある。

3. 目標

“ものづくり”を通して、“つくる能力”＝“専門力”を育み、ものづくりの先端技術を習得し、業界で生涯働ける技術者、人々に感動を与えられる専門職業人である“若きつくりびと”を育成する。

4. 施策

下記の計画表（表-1）は、今回の“ものづくり”に関わる科目（座学、実技）である。各科目において“目標に対する施策内容”を示している 。

表-1　計画表

項番	時期	科目	概要	目標に対する施策内容
①	1年前期	電子工作実習1	オーディオパワーアンプの回路組立	実技_電子工作の基礎学習 将来的/安全面を考慮した工具セットの購入を推奨
②	1年後期	電子工作実習2	イコライザなどの回路組立	実技_電子工作の基礎学習 各種工具の使い方、安全作業の教育
③	2年前期	キャリアデザイン2	社会人として必要な知識や自己表現力を学ぶ	座学_特別講義『はんだ付け(ソルダリング)の基礎知識』実施
④	2年前期	電子回路製作実習	増幅回路/発振器などの設計・製作	実技_電子工作の学習 “出来栄え”を意識したものづくり教育
⑤	2年後期	卒業製作	ものづくりを通じ2年間で習得した技術の集大成	実技_製作物を“出荷製品”と考えての“ものづくり”学習 (鉛フリーはんだ使用時の教育)
⑥	2年後期	卒業展	全カレッジ参加による卒業展への製作物の展示・説明	製作者/技術者として製作物の説明を来場者に実施する体験学習

注)上記科目は電子工学コースの一部科目のみです。

1年生の前期から2年生後期まで、ものづくりに直接関わる科目を通して、目標に向けた教育計画を実施した。

①工具準備 （計画表①）

電子工学コースでは、2年間使用する基本的な工具は自分自身で用意する。その為、入学当初、必要な工具の説明を実施する。それを受けて自分自身で工具を入手する。以前はセット工具を一式購入することを推奨していたが、将来的に使い勝手の良い工具、作業時の安全面を考慮した工具を揃えるよう推

奨として学生に紹介、指導した。(図-1)

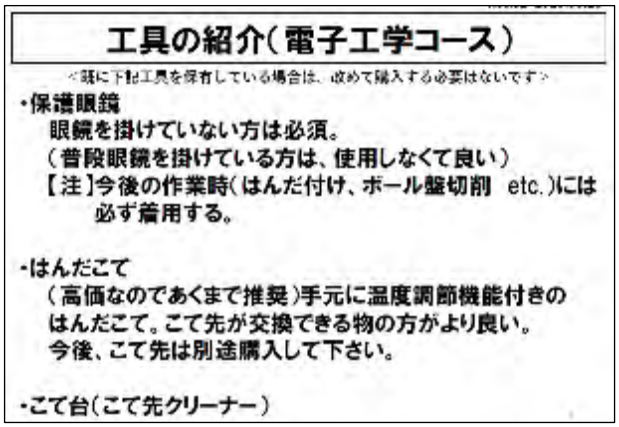


図-1　工具紹介

保護眼鏡・・・・はんだ付け作業やボール盤切削などの作業時、目の保護用。
はんだこて・・・・手元に温度調節機能付き。
こて先が交換できる物。
保護手袋・・・・研磨作業時など指先の切傷防止用。
その他、工具の入れ物も含め、糸はんだ(共晶はんだ)、ニッパー、ピンセット、はんだ吸取線(若しくは吸取器)、ドライバー、ラジオペンチなど。

②安全作業　(計画表②)

実際の実習作業に於いて、各種工具の使い方や怪我をしない為の安全作業の教育を行った。 はんだ付け作業時の保護眼鏡や研磨作業時の手袋着用など、企業では当たり前の安全対策である。学生の身の安全を確保する為にも改めて教育を実施した。(図-2)

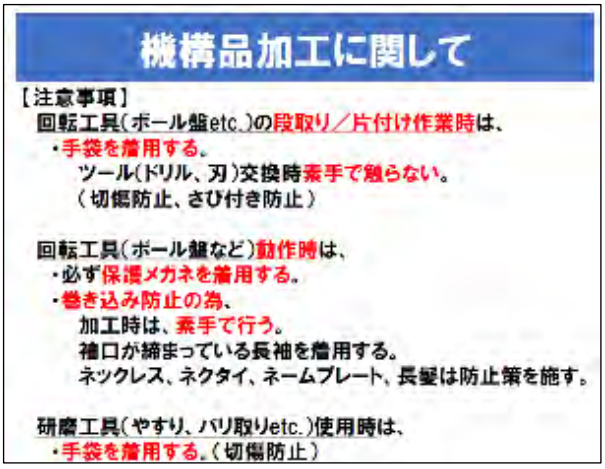


図-2　機工品加工に関しての注意事項

③はんだ付けの基礎知識　(計画表③)

2年生前期の座学にて、特別講義『はんだ付け(ソルダリング)の基礎知識』を行った。(図-3)

図-3　特別講義の様子

ソルダリングの目的や原理、ぬれ性、熱の伝わり方、フィレット形状(はんだ付けの継手からはみ出した“はんだ”部分のこと)、使用はんだの種類(図-4)[2]、Sn-Pb 系ソルダ(共晶はんだ)の状態図(図-5)[3]、Pb フリーソルダ(鉛フリーはんだ)の特徴、フラックスの働きなど電子機器の組み立てに必要なソルダリングの基礎を教育した。

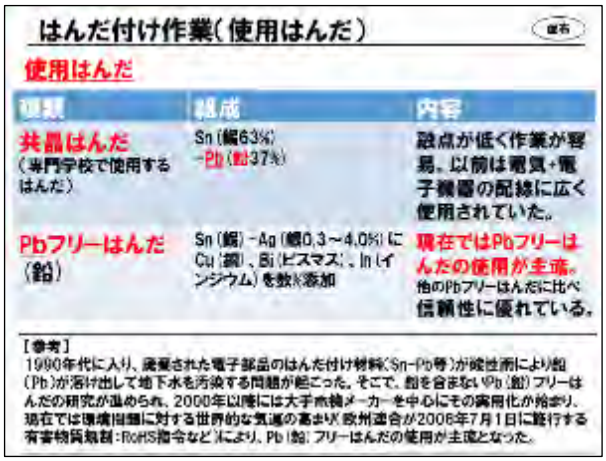


図-4　使用はんだの種類

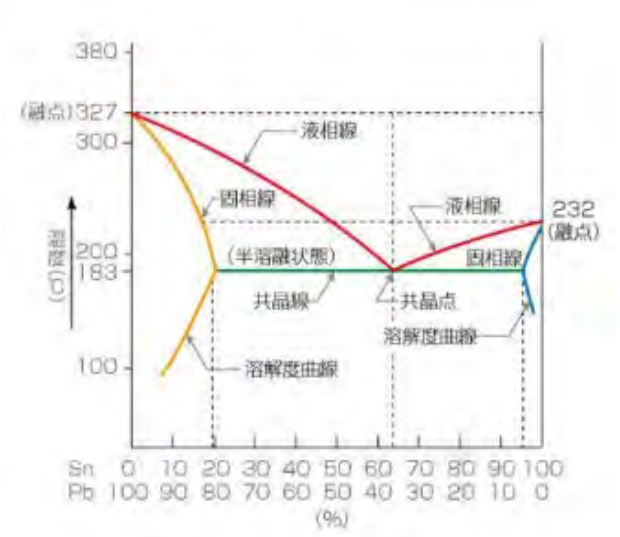


図-5　Sn-Pb 系ソルダ（共晶はんだ）の状態図

④出来栄えを意識したものづくり教育　（計画表④）

2年生前期の電子回路製作実習では、製作する際、“出来栄え”にこだわったものづくりを学生に心掛けるよう指導した。その為『はんだ付け教育』と題して、実習前のオリエンテーションにて、はんだ付け教育の目的、出来栄えの基準となる“IPC-A-610：電子組立の許容基準”や“マイクロソルダリング技術資格”　における『インスペクタ資格（検査員向け）』の試験内容”などを題材に“製造基準”に関しての意識付けを行った。

“IPC”とは、電子機器と部品の「組立要件と製造要件の標準化」を目的とする事業者団体である。製造業における全ての業務プロセスにおいて「品質の標準規格」を制定しており、世界中の様々な製造業にて採用・運営されている。[4]

“マイクロソルダリング技術資格”　における『インスペクタ資格（検査員向け）』の試験内容”とは、一般社団法人　日本溶接協会の技術資格制度である。[5]

IPCの組立基準はクラス1（一般的なエレクトロニクス製品）、クラス2（特定用途エレクトロニクス製品）、クラス 3（高性能エレクトロニクス製品）まで分類されている為、要求される製品ごとに基準が異なる。学生にはこの内容も教育したが、今回は日本溶接協会の『挿入部品実装成形基準』（図-6）をもとに出来栄えにこだわり、製作物の評価を行った。

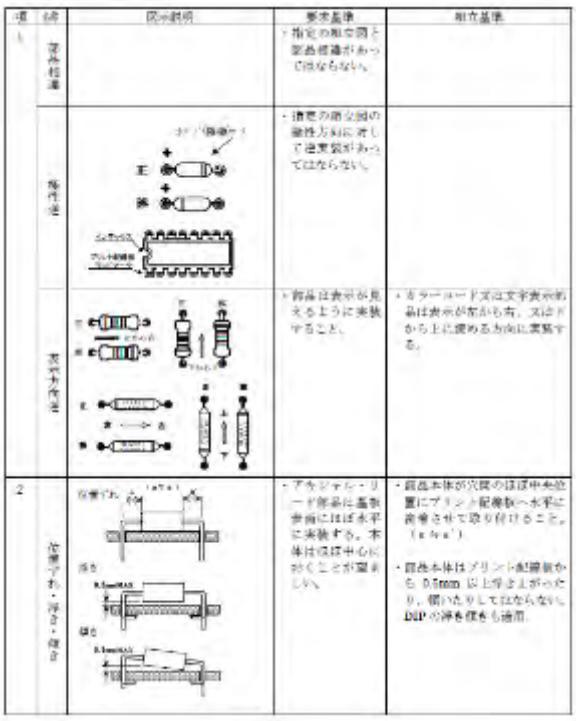


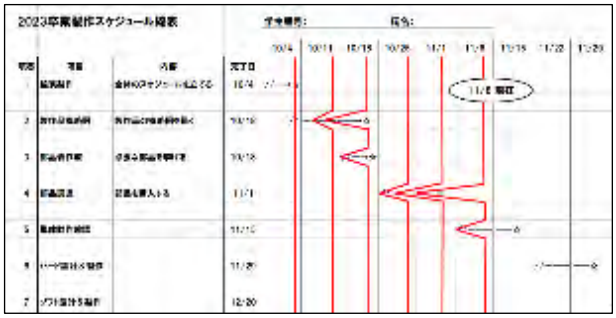
図-6　挿入部品実装成形基準

⑤ものづくり学習（鉛フリーはんだ使用時）（計画表⑤）

2年生後期科目の“卒業製作”では、今まで習得した技術の集大成として、立案、計画、部品購入、製作、完成品のプレゼンテーションを学生一人ひとりが自分で考えて行った。

スケジュールは“進捗管理表”をもとに“見える化”した。（表-2）

表-2　進捗管理表



卒業製作の作業内で、“鉛フリーはんだ”を使用したはんだ付け体験を実施した。(図-7)

図-7　“鉛フリーはんだ”付け体験の様子

通常学生達が使用している工具、特にはんだこては、“共晶はんだ”を使用している為、今回“鉛フリー”を専用に使用する為、工具は別に準備し、学生達は交代で鉛フリーでのはんだ付けを体験した。終了後、感想を聞いたところ、

学生 T.I.『いつも使っている(鉛入り)はんだとは違って、なかなか溶けづらく、思うようにはんだ付けができなかった。就職して企業で扱うことを考えると慣れておきたい。』

学生 S.W.『共晶はんだは溶けやすいが鉛フリーはんだは溶けるのが遅い気がした。こて先の温度の測定方法も理解した。』

今回の鉛フリーはんだ付け体験では、設定温度を可変できる“温度調節機能付きのはんだこて”、はんだ付け作業時の煙を吸う“吸煙器”、はんだこてのこて先を測定する“こて先温度計”という工具を準備した。鉛フリーのはんだ付けは温度管理が重要である為、必ず作業前には、こて先の温度を測定する。今回この測定方法も学生達に体験させることができた。また、共晶はんだに比べ高温でのはんだ付けを行う為、はんだ付け時に発生する煙が多いことから吸煙器も設置して作業を行った。[6]

卒業製作では、自らが考えた製作物を“出荷製品”と捉え、“完成品を出荷する”と考えた。その為、実務として完成品と一緒に“納品書(取扱説明書)”も各自製作した。納品書(取扱説明書)には、製作品のテーマ、詳細内容、外観説明、寸法、取扱注意事項、操作説明、回路図、プログラム、価格も含めた使用部品一覧、感想を明記した。

⑥製作者としての体験学習　(計画表⑥)

完成品の出来栄えにより、幾つかの作品を 2024 年 2 月、全カレッジ参加の“卒業展”に 3 日間出展した。(図-8、9)

図-8　全カレッジ参加の卒業展全景

図-9　卒業展に出展

各製作者本人が説明員として“納品書（取扱説明書）”を片手に持ち（図-10）、来場者に展示品の特徴や操作方法などを説明した。下記は卒業展終了後、説明員として対応した学生にアンケートを取った感想である。

学生 K.K.『卒業展開催ギリギリまでプログラム作成に追われた物作りだったが、出展に間に合いしっかりとした製品として発表出来たと思う。また様々な来場者がいて参考になった部分や関心を持ってくれた方がいらっしゃったので、この経験を仕事（開発業務）に生かしたいと思います。』

学生 R.M.『なかなか展示会で説明側に回る経験は無いでしょうし、来場者には企業の方々もいて、とても良い経験になったと思いました。』

図-10 出展品と納品書（取扱説明書）

限られた出展品ではあるが、基板製作の際、“鉛フリーはんだ”を使用した出展品もあった。（図-11）

来場者の方々に、環境に配慮した鉛フリーを使用しているという説明をしっかり行っていた。

図-11 “鉛フリーはんだ”を使用した出展品

5. 成果

計画表に示した各施策を実施した成果は、卒業展にて説明員として来場者に自信をもって説明している姿や卒業展後の学生アンケートの感想から、『とても良い経験になった』、『来場者が関心を持ってくれた』という言葉に表れていると考える。

使用する“はんだ”を共晶はんだから鉛フリーはんだへ変更、“はんだ付け”による“ものづくり”を通して、ひとつの製品を製作する“技術者”であり、来場者の方々を“お客様”と捉え、自らが製作した製品の説明を行うことにより、この春から社会人になる学生達にとって、“人間力”を磨く良い機会になったと考える。

学生アンケートの感想から、

学生 T.K.『過去と現在を振り返ると、卒業製作（科目名）を始めた時は積極的に取り組む意思が不足していたと思います。単位さえもらえれば良いとどこかで思っていたところがあり、スケジュールもかなり遅れてしまい、今思うともっと早く始めれば良かったという後悔もあります。そして何よりも卒業展の事前準備段階で、他のカレッジ、学科の出展品（製品）と自分の製品を無自覚に比べて、自分を卑下していたことが、とても悔やまれます。卒業展当日の朝、先生にそのことを指摘されて、この行為は今まで頑張ってきた自分を侮辱する行為であり、そんな気持ちでは製品の魅力は来場者（お客様）に伝わらないと気付かされました。そこから自分の中で考えを改め、製品の魅力が伝わるように自信を持って説明することができたと思

います。そのこともあってなのか、たくさんのお客様が僕の製品を手に取って見てくれて、楽しかったとか面白かったなどの声を頂くことができ、とても嬉しかったです。後悔が残ることもありましたが、それを超えるほどのお客様の笑顔が溢れていて、この卒業製作を通して、自分の中での学びと自信に繋がりました。製作過程でも当日でも、これから社会人になる人としての実りのある時間になったと思います。また、製作時、先生方に本当にお世話になりました。ありがとうございました。』

“ものづくり”の能力と来場者（お客様）とのコミュニケーション能力、そして何より、自分への自信を高められたことは、“若きつくりびと”育成に、若干ではあるが貢献することができたと考える。

6. 今後について

現在、実習で使用している部品は、“挿入部品”のみである。その為、鉛フリーはんだ付けの実習も“挿入部品”のみで実施した。

昨今、多くの小型電子機器や半導体製品で使用される電子部品は、“表面実装部品”となってきている。その為、今後の実習では“表面実装部品”を使用することは必然である。

今後の“ものづくり”を担う学生に求められる教育現場でも“表面実装部品”を取り扱うことは、学生にとって良い経験になると考える。

7. 最後に

“共晶はんだ”から“鉛フリーはんだ”へのソルダリングによる、“ものづくり”を通して専門力と人間力の育成を図ることを題名にしたが、この教育において、学生一人ひとりの成長過程と共に過ごすことができたのは、私自身、良い経験であったと感じる。

今年度の電子工学コース卒業生で、直接ものづくりに関わる業務に就くであろう学生の割合は3割強である。その他はメンテナンスエンジニアや設備管理、または技術職として鉄道や電力会社に従事する。卒業後、直接ものづくりに関わらない学生の方が多いというのが現状ではある。

しかしながら、学生時代に経験したものづくりの概念は、きっと他職種でも社会人として生かされるであろうと信じたい。

— 以上 —

参考文献

[1]日本工学院「若きつくりびと」とは，
https://www.neec.ac.jp/education/tsukuribito/ ，
（2024.3.11 閲覧）

[2]Q&A 方式によるマイクロソルダリングの基礎，
社団法人日本溶接協会 発行，第 4 版，1～13 頁

[3]ホーザン㈱，Sn-Pb 系状態図，
https://faq.hozan.co.jp/support/faq/detail?site=ZAWBTM42&id=2814 ，
（2024.3.11 閲覧）

[4] IPC-A-610-JP 電子組立品の許容基準，
IPC 総合代理店 JAPAN UNIX 発行，
Revision H-2020 年 9 月，項番 1.3

[5]一般社団法人 日本溶接協会，
マイクロソルダリング技術 教育・資格制度，
https://www.jwes.or.jp/mt/shi_ki/ms/ ，
（2024.3.11 閲覧）

[6] 使用工具 白光㈱
はんだステーション FX-951
はんだステーション FX971-81（借用品）
こて先温度計 FG-100B
吸煙器 FA-400

音響サイドチャネル攻撃を利用したキーボード入力の推測

東北電子専門学校　サイバーセキュリティ科
3年　阿部 凪透　　北嶋優翔　　柴田 和茂　　村上 陽斗

1．はじめに

現代社会では、AI の進歩により生活や仕事が便利になる一方で、AI によってもたらされる脅威も日々増大している。従って、今年度の卒業研究の大枠テーマは、「AI とセキュリティ」が設定され、このテーマに基づいて研究に取り組むことになった。また、私たちが履修しているカリキュラムでは、主に、インターネットセキュリティを重点的に学習しており、物理的セキュリティについては概要程度しか学習していなかったので、今回は物理的セキュリティと AI について研究したいと考えた。そこで、近年、音響を用いた攻撃がトレンドになりつつあること、そしてあまり知られていない手法であることから、啓発と認知度向上を目指して、今回のテーマ選定を行った。

2．研究の目的

2－1．セキュリティの向上

音響サイドチャネル攻撃の研究を通じて、脆弱性を特定し、それに対する防御手段や対策を考案することが可能になる。

2－2．セキュリティ教育・啓発

音響サイドチャネル攻撃の研究を通じて、一般ユーザーや組織に対してセキュリティの重要性を理解させ、教材として利用することができる。

2－3．ハードウェアの安全性の確認

デバイス（キーボード）を評価することで、音響サイドチャネル攻撃に対する脆弱性を確認することができる。

2－4．基礎研究

音響や振動といった物理的な現象と情報セキュリティとの関連性を深く探求することで、新しい理論や原理を発見できる可能性がある。

2－5．まとめ

音響サイドチャネル攻撃の研究は、情報セキュリティの分野で新しい発見や知見をもたらす可能性があり、結果として、デジタル社会をより安全にするための対策を提供することができる。

3．研究・実験・検討方法

3－1．実験

実験方法について、以下の手順で進める。

1. 攻撃対象と同じ PC を用意し、事前にタイプ音をスマートフォンやボイスレコーダーなど音が収録できるデバイスを使用して収集する。
2. 収集した音を使用して攻撃に使用するモデル（AI）を作成する。
3. 実際に攻撃対象の音データをスマートフォンやボイスレコーダーなど音が収録できるデバイスを使用して収集する。

4. 攻撃対象の音データを加工し、メルスペクトログラム（音声の周波数特性をより人間の聴覚に近い形で表現するための手法である。音声処理や音声解析において広く使用されている。）の画像に変換して AI 解析する。

図 3-1-1：システム構成図

次の項目から詳しく説明する。

3－2.モデル（AI）の作成方法

まず、攻撃対象から採取した音声データから、タイプ音のみを分離する加工を行う。これは、無音区間も学習してしまうと精度が下がってしまうためである。次に、加工済みの音データをメルスペクトログラム画像に変換する。これについては 3-6 にて詳しく説明する。学習のフェーズでは、タイプ音そのものではなく、メルスペクトログラム画像を学習させる。また、少ないデータセットでも精度を上げたいため、事前学習モデル（画像認識ライブラリ TIMM）に対してファインチューニング（転移学習の一種で、元々出来合いの AI を全体的に再学習させ各層を微調整する方式）を利用した。これらの工程を経て、攻撃に使用するモデルが完成する。

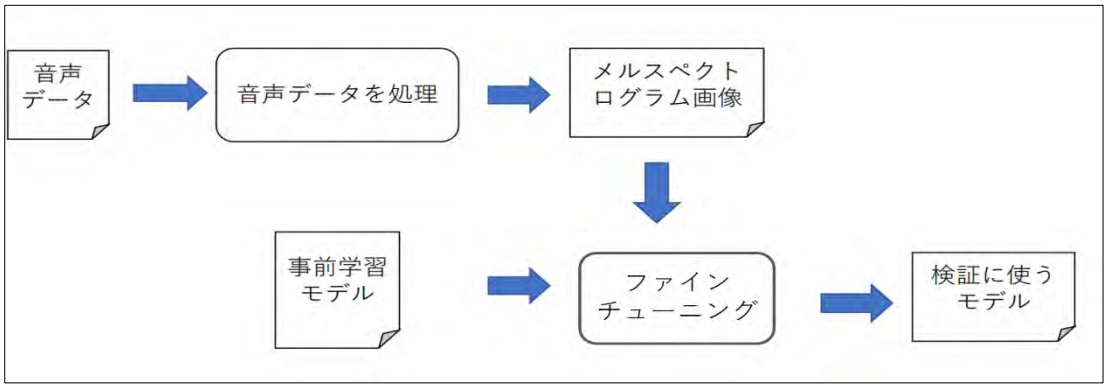


図 3-2-1：モデルの生成手法

3－3. データの収集方法

実験では、コンデンサーマイクを使用してキーボードのタイプ音を収集した。また、収集対象のキーは、キーボードの一般的なレイアウトである数字と英字のキーを使用しデータの一貫性を確保したいため、データの一貫性の観点から、0～9、a～z のキーに制限して行った。一つ一つのキーに対して叩くときの強弱を変えながら30回連続でキーをたたき、データを収集した。

図 3-3-1: 音データ収集時の様子

3－4. 開発環境

表 3-4-1:開発環境

言語	Python 3.10
実行環境	AI 学科共通設備のサーバ CPU Core i9 9940X 14core/28thread 3.5GHz GPU NVIDIA TITAN RTX 24GB x2 メモリ 64GB（16GBx4）DDR4-2666 Quad-Channel Google Colaboratory Pro GPU: NVIDIA A100 40GB
ライブラリ	PyTorch TIMM, librosa, Audiomentions
デバイス(使用キーボード)	Lenovo ThinkBook 14 G4+ IAP Laptop（ノート PC）
マイク	Behringer C-2
収録環境	音響制作科の防音ルーム

3－5. PyTorch

事前学習モデルの使用、データセットのロードを行う為に、PyTorch を使用した。PyTorch は、コンピュータビジョンや自然言語処理で利用されている Torch を元に作られており、Python のオープンソースの機械学習ライブラリである。最初は Facebook の人工知能研究グループ AI Research lab により開発されていた。PyTorch は、修正 BSD ライセンスで公開されている。[1]

3－6. メルスペクトログラム画像への変換

学習では、音を Audiomentions という音声加工ライブラリで前処理（ノイズを追加するなど）を行い、“メルスペクトログラム画像”に変換して、その画像を学習させた。変換は Python ライブラリ librosa を使用した。Librosa は Python の音楽分析専用ライブラリである。メルスペクトログラムを、時間を横軸、周波数を縦軸で表示し、音の強さを色で表現する画像化を行うことで、一見複雑に見える音データを画像のように扱い、特徴量抽出を効果的に行うことができる。[2]

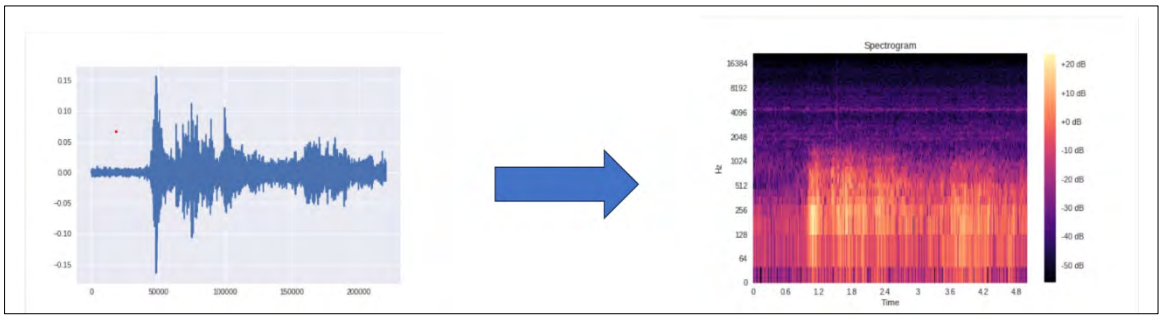


図 3-6-1:メルスペクトログラム画像への変換

3－7. 音データの加工

ファインチューニングの場合、一つのクラス(今回はキー)のデータセット数が少ないと、モデルが過学習(学習しすぎた結果、分析するテストデータに適応できなくなった状態)を起こしてしまう可能性がある。そのため、データを水増しする Augmentation を行うことが必要である。[3]。今回の実験では、音量調整、正規化、ホワイトノイズの追加、マスキング[4]の手法を用い、元のデータに対して4倍の水増しを行った。

今回行った手法の概要は下記の通りである。

表 3-7-1:音データの加工手法

音量調整	収録した音データの音量を上げる。
正規化	ある音データ全体の音量を分析し、特定の音量へ調整する処理である。音データを適正な音量に整え、複数の音データの音量を統一する目的で使用する。[5]
ホワイトノイズの追加	音データはできるだけノイズが少ない綺麗なデータが望ましいが、音声認識や識別を今回は目的とするため、ホワイトノイズを付与することでデータを増やした。
マスキング	ある一定の周波数と時間を無効化してデータを増やした。

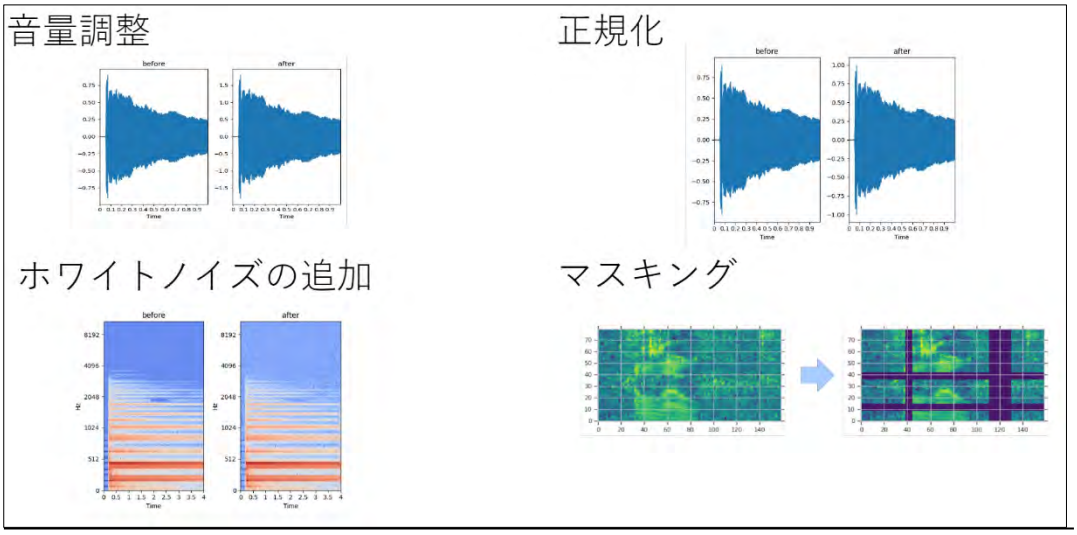


図 3-7-1:Augmentation 手法

3－8. 使用するモデルの概要

卒業研究では、研究期間や一日あたりの授業時間に制約があったので、長い時間学習させるということができなかった。そこで、短い学習時間でなおかつ精度が出せるモデルが必要となり、私達は最新のモデル、CoAtNet を使用した。CoAtNet については、3-9 で詳しく説明する。また、モデル生成の流れは、学習(特徴分析)と推論(正答率分析)を 1 Epoch とし50 Epoch 繰り返し行った。

Epoch（エポック）とは周回数を意味する単位である。

3－9. CoAtNet とは

畳み込みには、少ないパラメータ数でも効率よく学習できることや局所性を保持しているなど多くの利点がある。CoAtNet[6]とは、畳み込みと Self-Attention、両者の長所を兼ね備えたモデルである。また、ImageNet（物体認識ソフトウェア研究用に設計された大規模画像データベース）では、SoTA（特定の専門領域において現時点での最先端レベル）として、Top-1 精度:90.88%を出している。[7]

今回 CoAtNet を採用した結果、約 3 時間程度で学習を完了させることができた。これは平日の授業時間内に研究を円滑に進められた一つの要因である。

概要:

1. CoAtNet は、DWConv(=Depthwise 畳み込み) と SA(=Self-Attention) のハイブリッドモデルである。
2. Relative Attention を用いることで、DW 畳み込みと SA の 2 つを 1 つの式で表現できる。
3. 事前学習に JFT-3B を用いることで、ImageNet において CoAtNet が ViT-G/14(過去 SoTA)の 4 分の 1 の学習時間で同等の分類精度(90.45%)になる。そして 3 分の 2 の学習時間で新たな SoTA になる。

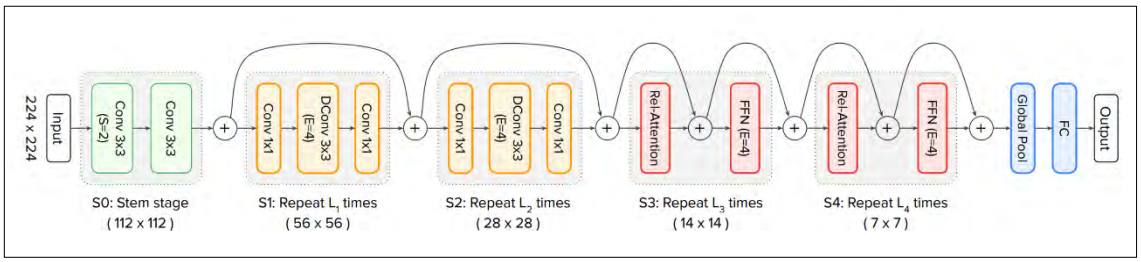


図 3-9-1:″CoAtNet: Marrying Convolution and Attention for All Data Sizes″, Dai, Z., Liu, H., Le, Q., Tan, M., (2021)

4. 研究結果

実験は、データ拡張なし(元データ)の場合とデータ拡張あり(水増しデータ)で行い比較を行った。まず、図 4-1-1 と図 4-1-2 のグラフの精度（青線）は、データ拡張なしが85%(40 Epoch 回数以降で収束)、データ拡張ありが90%（20 Epoch 回数以降で収束）でした。この研究結果からデータ拡張によって精度の向上を確認することができた。

次に、学習損失率（赤線）検証損失率（橙色）は、理想的なデータであれば互いに似た値になるが、両線同士に開きがあった。また、検証損失率（橙色）が、データ拡張なしの 40 Epoch 以降とデータ拡張ありの 20 Epoch 以降上昇していることから、過学習が発生していると考えられる。

表 4-1-1:正答率と検証損失の比較

	データ拡張なし	データ拡張あり
正答率	85%	**90%**
検証損失	0.55	**0.4**

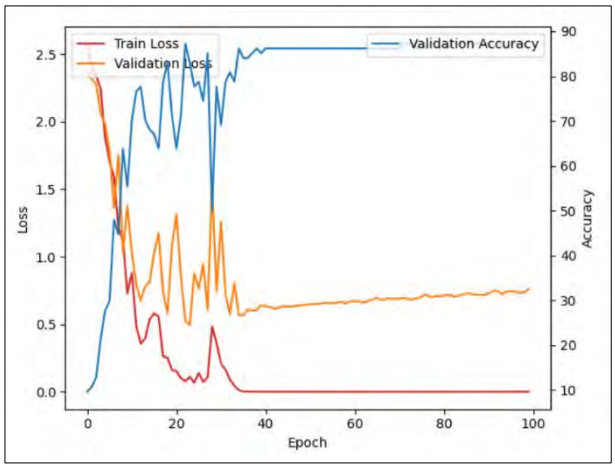


図 4-1-1：データ増強なし

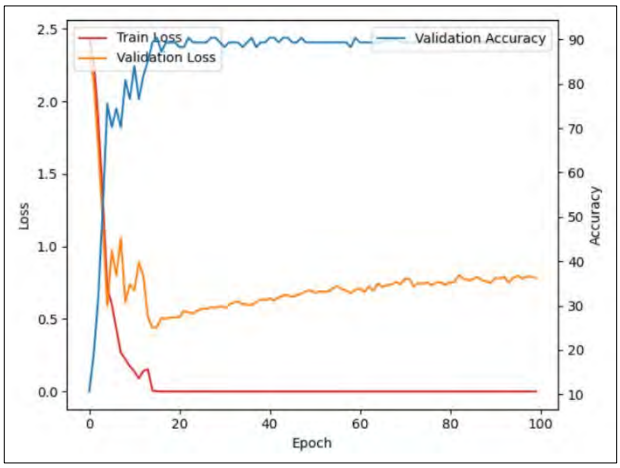


図 4-1-2：データ増強あり

5. 考察

続いて、実験結果の考察をする。

最初に、今回の実験でデータ拡張を行ったが、データ拡張を行うことで約5%精度が向上した。よって、タイプ音に対しても拡張が有用であることが確認できた。また、学習収束に関してはデータ拡張なしでは Epoch 回数が約 40 回弱、データ拡張ありでは Epoch 回数約 20 回弱と約半数回での収束が確認できたので、データ拡張が学習効率を高め、過学習を防ぎながらモデルの一般化能力を向上させる効果があることが考えられる。

次に、正答率が90%を超えなかった学習と検証損失に開きがあった要因としては、以下のことが考えられる。

5－1. 考えられる要因

1. 使用したキーボードがパンダグラフキーボード（静音キーボード）だったため、それぞれのタイプ音同士の特徴の差が少なかったと考えられる。
2. 収集したデータの数が少ない、データの質が良くなかったといったことが挙げられた。今回は都合　上、パンダグラフキーボード（静音キーボード）を使用したが、メカニカルキーボード（ゲーミングキーボード等）などより音の差があるキーボードを使用すると精度が上がる可能性がある。

また、正答率 90%は当初の目標通りの結果となり満足しており、データの質、量共に十分でない状況での正答率 90%は、優れた結果であると評価している。

最後に、音響サイドチャネル攻撃と ChatGPT などの自然言語処理モデルを組み合わせることで、不完全な文字列（タイプミス等を含む）の推測が可能な状況になり、条件が揃えば危険な攻撃であると考えられる。

6. 弱点・対策

6－1. 攻撃の弱点

音響サイドチャネル攻撃は、その特性上、環境音が大きいとタイプ音を正確に解析することが困難である。精度の高いモデルを作成するためには、静かな環境下でのデータ収集が必要となる。また、入力されたタイプ音と押されたキーのラベリング・紐づけを行うためには、攻撃対象に接近する必要がある。もし攻撃が検知されてしまった場合、攻撃者の情報が露呈する可能性がある。

6－2. 防御策

音響サイドチャネル攻撃に対する防御策として、以下の対応が考えられる。

1. 弱点である騒音を発生させる。例えば、音楽を流し、周囲の会話が聞こえるような場所で作業を行うことで、タイプ音の正確な収集を難しくすることができる。
2. スマートフォンやボイスレコーダーなど、マイクがついているデバイスを近くに置かないようにすることで、音データの収集を阻害することが可能である。

7. 結論

今回の研究では、実用的な段階には至らなかったものの、限定的な環境下で AI がキーボードのタイプ音を用いて文字を推測することが可能であるという証明ができたと感じている。また、今回はファインチューニングを用いてモデルの生成を行ったが、ゼロからの生成を行うことで、前回の学習の影響を受けずに精度を向上させる可能性があると考えている。

また、この攻撃がテクノロジーの進化や AI の学習精度の向上により、ますます脅威になることは明らかであり、引き続き注視すべき攻撃であると言える。今回作成した AI が推測した文字列は、文脈上間違いが生じることがある。そのため、ChatGPT を用いて文字列を補正し、正しい文脈に修正することができれば、より実用的なシステムが実現可能だと考えている。

8. 参考文献及び参考サイト

[1]: ウィキペディア　PyTorch

https://ja.wikipedia.org/wiki/PyTorch

[2]: 音声分類の前処理はメルスペクトログラムで OK？　従来の MFCC より高精度な画像分類ベースの論文の紹介

https://qiita.com/koshian2/items/ca99b4a489d164e9cec6

[3]: 機械学習における音声データの水増し

https://qiita.com/oozzZZZZ/items/aa98f72196a32ca28c9f

[4]: SpecAugment: A Simple Data Augmentation Method for Automatic Speech Recognition

https://arxiv.org/abs/1904.08779

[5]: 音量正規化

https://ja.wikipedia.org/wiki/%E9%9F%B3%E9%87%8F%E6%AD%A3%E8%A6%8F%E5%8C%96

[6]: CoAtNet: Marrying Convolution and Attention for All Data SizesZihang Dai, Hanxiao Liu, Quoc V. Le, Mingxing Tan

https://arxiv.org/abs/2106.04803

[7]: 畳み込み+Attention=最強？最高性能を叩き出した画像認識モデル「CoAtNet」を解説！

https://qiita.com/omiita/items/b97e68e1bbfdfa71ba79

セルオートマトン概論

日本電子専門学校　AI システム科　戴 士 淵

1. はじめに

1967 年、Konrad Zuse は著書『Calculating Space』[1]で、宇宙の物理法則は本質的に離散的であり、宇宙全体が一種の巨大なセルオートマトン上での決定的計算の結果であると提唱した。1981 年には、自然界における熱力学第二法則の現象を研究していた Stephen Wolfram がセルオートマトンの研究を開始した。

本研究は、Stephen Wolfram が 2002 年に出版した『A New Kind of Science』[2]に基づき、セルオートマトンが持つ特定の性質を考察し、幅広い分野の法則とどのように対照するかについて例を挙げ、セルオートマトンの普遍性により説明する。Wolfram は、セルオートマトンが単純なシステムから人間の脳、さらに宇宙全体にわたるシステムで基本的な等価性の原理が存在し、同じ基本的な現象が発生するという仮説を立てている。セルオートマトンが宇宙の法則をモデル化し、すべての事象を予測できる可能性を示唆しているが、その有効性についてはまだ完全には解明されていない。本卒業研究では、セルオートマトンの研究において、シンボルや抽象的な概念から始め、単純なモデルから複雑な現象を理解し、AI の問題解決に応用できる可能性を追求した。

2. オートマトンとは

オートマトン(automaton, 複数形は automata)とは，ギリシャ語で「自動的に動くもの」を意味し，英語やドイツ語(Automat)では、自動機械(ロボットや自動販売機)のことを意味する[3]。一般的な例とする自動販売機は入力(お金が挿入)に応じて、特定の状態(待機、商品選択、お金を受け取り中)に遷移し、商品を提供したい、返金したり、または待ち状態になったりする。状態変更も前の時刻の出力とも言える。

有限セルオートマトン

J. von Neumann は生物などに見られる自己再生(self-reproduction) の仕組みを数学的にモデル化するため、研究で初めて格子状に配列された２次元の有限セルオートマトンを考案した［3］。このような有限セルオートマトンは五つの集合$(Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$と見なされる［4］。

(1) Qは状態を表す有限集合
(2) Σは入力、出力を表すアルファベットと呼ばれる信号から構成された有限集合
(3) $\delta: Q \times \Sigma \longrightarrow Q$は各セルの状態遷移を決める遷移関数
(4) $q_0 \in Q$は初期状態
(5) $F \subseteq Q$は受け取り可能な状態

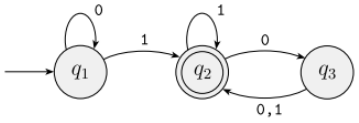


図 1　状態遷移図

1 次元のセルオートマトン

右上の図 2 では、1 次元の有限セルオートマトンの例を示す。図 2 の左辺では、簡単な規則$(L, C, R) \Rightarrow L\ XOR\ R$ によってセルの状態が定義され、各行が時刻tから$t+1$のセルの更新を表す。

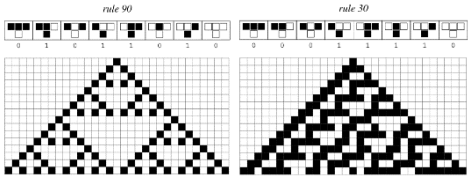


図 2　一次元の有限セルオートマトンの例

111	110	101	100	011	010	001	000
1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0	1/0

(2^1 結果の 1 セル 2 種類の結果)^(2^3 種類の結果)bit -> 2^8=256(全 256 種類)dit

Rule 90
(t=0)… 0 0 0 0 1 0 0 0 0 …
(t=1)… 0 0 0 1 0 1 0 0 0 …
(t=2)… 0 0 1 0 0 0 1 0 0 …
(t=3)… 0 1 0 1 0 1 0 1 0 …

前述のセルオートマトンは、数多くの抽象例の中の一つに過ぎない。セルオートマトンは、一定のルールに従いつつ、抽象的な性質を持つ実験場として機能することが認識されている。前節で述べたように、簡単なルールから複雑な振る舞いが発生するという事実に基づき、専門家たちは物理世界や宇宙の基本法則を推測する新たな発想に到達した。現実世界に対応する具体的な例については、第 4 節で詳述する。

3. 普遍性

基本セルオートマトン(Elementary Cellular Automaton)は、人間が認識できる最もシンプルなセルオートマトンが図 2 のように 1 次元の 2 状態 3 近傍で構成される。下で紹介される 4 つのクラスの行動や、入力からシステム全体への影響は、3 種類のランダム性によって分類される[2]。256 種類の遷移規則の多くは秩序で相互作用のない状態に至るが、それら以外の観察もセルオートマトンの基層的な論理で普遍性を示し、抽象的な層で特定の行動パターンが普遍的に存在することを示唆している。

4 クラス行為

Class1　すべてのセルが 0 または 1 の状態に収束し、静的な状態となる。
Class2　周期的なパターンに収束し、一定のルールに従った繰り返しを示す。
Class3　非周期的で、特定のパターンに収束せず、カオス的な挙動を示す。時間と共に変化し続ける。
Class4　局所的に周期的なパターンと非周期的なパターンが組み合わさり、複雑な挙動を示す。

3 種類のランダム

Mechanism1　システム外部からのランダム性。外部環境から不規則な入力や干渉がシステムの状態に影響を与える。

Mechanism2　初期状態からのランダム性。システムの初期状態が不規則であるため、時間の経過とともに異なるパターンや挙動が発生する。

Mechanism3　システム内部の遷移規則から発生したランダム性。システムの内部規則自体が複雑ため、予測困難な挙動やパターンが生じる。

4. 事象

第 2 節の最後において、セルオートマトンは抽象的な性質を持つ実験場としての役割を果たすと記述されていたが、理解には文字情報だけでは限界があると感じられる。このため、本節では、直感的に理解しやすい現実世界の具体例を挙げ、簡単な例を通して応用例を紹介する。

物質と生物の成長

基本オートマトンである一次元セルオートマトンを基に、セルの属性を色(白黒)から向きに変更し、固定された数のセルを用いるセルオートマトンのルールに適用することで、我々は簡単な流体シミュレーションを実現することが可能。

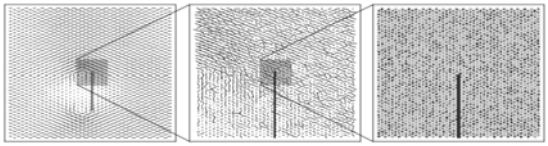


図 3　HPP モデル

図 4　HPP モデル[7][1]

図 3 で適用された HPP モデルは、正面衝突のみを考慮し、衝突した粒子は 90 度の方向に散乱する。詳細な物理量と数式はここでは省略するが、このような格子型セルオートマトンは、実数を扱う他の数値計算方法に比べ、コンピュータのビット演算を用いることで、記憶容量を少なくすることが可能である。

植物

L-system(エルシステム、Lindenmayer system)は植物の成長プロセスを初めとした様々な自然物の構造を記述・表現できるアルゴリズムである。図 5 は、第 2 節で紹介した一次元セルオートマトンの一種であるサブシチュエーションシステムであり、実数列における L-system を用いる Thue-Morse 数列の生成に相当するルールを適用している。図 6 を参照。

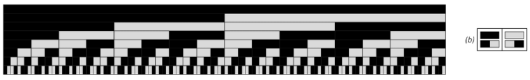
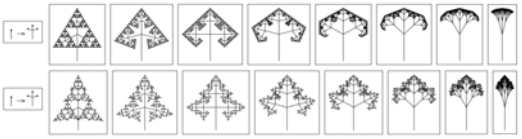


図 5　サブシチュエーションシステム



$1 \rightarrow 10 \rightarrow 1001 \rightarrow 10010110 \rightarrow 1001011001101001 \rightarrow \cdots$

Thue-Morse 数列

図 6　Thue-Morse 数列の生成に相当するルールを適応

フラクタル

前節で紹介されたサブシチュエーションシステムにおける Thue-Morse 数列を 2 次元平面に適用し、″1″を前進、″0″を時計回りに 60 度に回転するルールに設定することで、図 7 の左から最初の図が得られる。左から右に向かって、$2^8, 2^{10}, 2^{12}, 2^{14}$回の遷移状態を示し、遷移の数が増えるほど、フラクタル図形であるコッホ曲線に近づいていくことがわかる。[10][11]

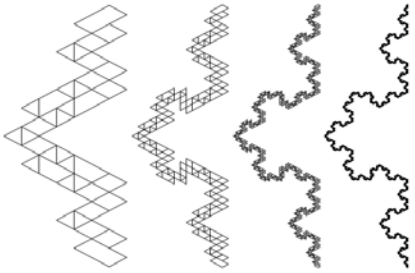


図 7　Thue-Morse 数列を 2 次元平面に適用した例

垂直格子状のシステムでは、我々観察者は横への列と下への列だけを見ることでフラクタル現象を観察することができる。図 8 は、このフラクタル現象を再現したものである。

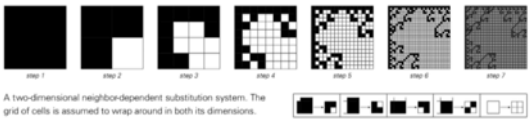


図 8　フラクタル現象の再現

前節で紹介したサブシチュエーションシステムを 2 次元化することで、フラクタルの″自己相似性″と J. von Neumann の研究における生物の″自己再生性″、または″自己複製性″を実現することが可能である。

5. まとめ

セルオートマトンに関する本文の研究を通じて、多岐にわたる科学的分野における細胞自動機の応用とその潜在力について、初歩的な理解を深めることができたが、私が持つ知識はまだ浅く、短い時間での研究ではその広がりと深さの全てを把握することはできなかった。初めとしては、セルオートマトンの抽象的なモデルが現実世界の問題解決にどのように応用できるかを理解するための基盤となった。

抽象的な理論を日常生活に取り入れ、AI の領域における複雑な問題に対処する際の洞察として活用することを目指す。セルオートマトンの理論が提供する独特の視点を通じ、AI における問題解決のアプローチとする新しい解決策の模索を続ける。学習と探究の過程は、セルオートマトンが提供する豊かな可能性を理解し、活用する。

[1] HPP モデルは、1973 年に Hardy、Pomeau、de Pazzis により開発されたもので、格子気体セルオートマトンの原型とも言うべきものである。

参考文献

[1] K. Zuse (1967). Calculating Space.
[2] S. Wolfram (2002). A New Kind of Science.
[3] セルオートマトン https://www.f.waseda.jp/moriya/PUBLIC_HTML/education/classes/infomath6/2003/CA.pdf
[4] A. W. Burks (1970). Essays on Cellular.
[5] M. Sipser (2012). Introduction to the Theory of Computation, 3rd ed.
[6] 礒川悌次郎・今井克暢・梅尾博司・ペパー フェルディナンド (2019). セルオートマトン入門. https://www.jstage.jst.go.jp/article/isciesci/63/7/63_264/_pdf/-char/ja
[7] M. Saadat, B. Nagy (2018). Cellular Automata Approach to Mathematical Morphology in the Triangular Grid.
[8] 小野田 茂定 (2002),セルオートマトンによる流れの数値シミュレーションFluid Flow Simulation with Cellular Automata.
[9] S. Coombes (2009). The Geometry and Pigmentation of Seashells.
[10] Thue-Morse Navigating Turtles. http://blog.zacharyabel.com/2012/01/thue-morse-navigating-turtles/
[11] L. Kennard, M. Zaremsky, J. Holdener3 (2008). Generalized Thue-Morse sequences and the von Koch curve.
[12] J. MA, J. HOLDENER (2005). When Thue-Morse Meets Koch.

自作ルービックキューブ用スタックタイマー

22jy0104 石津　晃希

ルービックキューブを解くタイムを測定するための機器、「スタックタイマー」を制作した。ESP32 の開発ボードと Arduino 言語を使用しており、一般に広く流通している両手置きの形状を実現している。また、操作感も市販の物に近づくようシンプルな作りを目指した。通常のタイム測定ができる他、AverageOf5 の測定や、測定した記録を Wi-Fi 通信でスプレッドシートに保存する機能を実装している。

1. はじめに

誰もが 1 度は目にしたことのあるルービックキューブ（以下「キューブ」という）と呼ばれるパズルだが、6 面すべて揃えることはできない人が大半だろう。私も昨年の半ばまではその一人だった。しかし、改めて触れる機会があったため試しに全面を揃える方法を調べながら解いたところ、その面白さに魅了され、夢中で解法を覚えた。自力で全面揃えられるようになると今度は解く速度を求めるようになり、そこで「スタックタイマー」の存在を知ったのである。

「スタックタイマー」とは主にスピードキューブ[1]の大会で使用される機器で、本体に両手を付いた状態から手を離すことで計測が始まり、再び両手をついた瞬間に計測終了となる。私はこの機器が欲しかった。通販サイトで市販されているものの、価格帯が広かったことや、自分の求めている機能が不明瞭だったこともあり購入を踏みとどまっていた。そんな中、学校で「IT 関連なら好きなものを作っていい」授業が始まり、自作スタックタイマー（以下「タイマー」という）の制作に思い至ったのである。

また、本文中ではキューブを充分に混ぜることを「スクランブル」、6 面揃えることを「ソルブ」という。

2. 開発環境とシステム構成

開発に使用した言語および環境は以下の通りである。

2. 1. 使用言語

Arduino 言語：タイマー本体に使用した。C++の知識が僅かにあったことや、Java と近い感覚で記述できることから選択した。

GoogleAppsScript：タイマーから送信された情報を取得するスプレッドシート側で使用した。タイマーからの Wi-Fi 接続を介してデータを取得し、Google スプレッドシートに記録できる形に成型して書き込む処理を行っている。

2. 2. 使用環境

ArduinoIDE：Arduino 言語の記述に使用した。

GAS スクリプトエディタ：GoogleAppsScript の記述に使用した。

Google スプレッドシート：タイマーから送信されたデータの記録に使用した。

2. 3. 使用機器

ESP32-DevKitC-32E：タイマー本体に使用した開発ボード。ArduinoIDE より Arduino 言語で書き込みを行った。RasberryPi も候補に挙がったものの、今回のシステムにおいては過剰な性能と判断したため、ESP32 を選択した。その他、使用した部品などは下記の通りである。（ジャンパワイヤーや抵抗などは省略）

- ブレッドボード 6 穴版 EIC-3901　×2
- LED RGB 1　×1
- タクトスイッチ 大（12 ㎜）×2
- TFT LCD ディスプレイモジュール ST7735　×1
- 5V ブザー　×1
- 圧力センサー FSR402　×2

[1]競技用に作られたルービックキューブを指し、回しやすい構造で動きも滑らか。

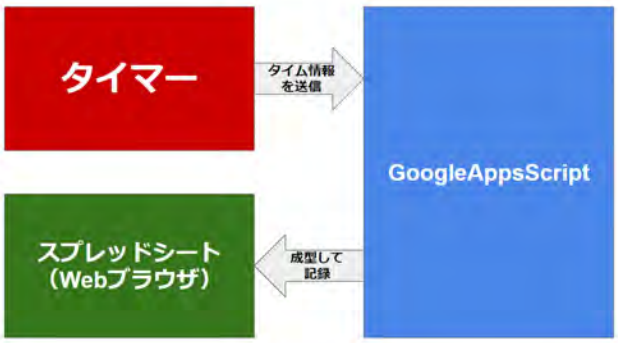


図 1　システム構成

3. システムの概要

本システムでは、キューブをソルブするタイムの測定、スプレッドシートへの記録ができる。

3. 1. タイマーの概要

タイマーは、ソルブの測定・Wi-Fi 通信による記録送信ができる。また、測定については、以下の 2 種がある。

- SINGLE：1 回のソルブのタイムを測定して 1 つの記録とする。
- AO5[2]：5 回のソルブをひとまとまりとし、最速・最遅のタイムを除いた 3 回の平均を 1 つの記録とする。

以上の 2 種の状態と Wi-Fi 通信状態をそれぞれ「SINGLE モード」「AO5 モード」「SEND モード」と呼び、各状態間の遷移は「SELECT ボタン」「OK/CANCEL ボタン」「感圧センサー」（図 2）の押下によって操作できる。

また、測定時の状態は以下の 3 種である。

- INSPECTION：スクランブルされたキューブを検査する時間を測定する。測定開始から 9 秒が経過すると 1 度目のブザーが 1 秒間鳴動する。また、14 秒が経過すると 2 度目のブザーが 1 秒間鳴動し、表示時間の色が変わる。この測定は記録されない。
- SOLVE：スクランブルされたキューブをソルブする時間を測定し、記録する。
- STOP：測定したタイムを表示する。この間に次のスクランブルを行う。

以上の 3 種の状態を測定者がタイマーに手を置く毎に切り替える。（図 3）

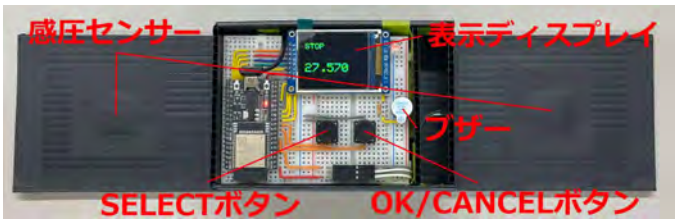


図 2　タイマー本体（フタ開）

図 3　両手を置いた状態（フタ閉）

3. 2. タイム記録の概要

タイマーは Wi-Fi 通信により GoogleAppsScript への記録送信を行う。送信する記録には「測定種別[3]」、「タイム」が含まれる。

GoogleAppsScript で取得したデータはスプレッドシートに記録するため、受信日時、タイム、測定種別を 1 行 3 列のパラメータに格納してスプレッドシートに書き込む。また、スプレッドシートには「SINGLE」と「AO5」の 2 種類のシートがあり、測定種別によって書き込むシートが分けられる。

4. 工夫点

4. 1. 測定タイムを外部に記録できる

市販されている多くのスタックタイマーでは記録を保存する機能は搭載されていない。今回作成したタイマーも本体には記録できないが、Google スプレッドシートを外部記憶領域として使用することで実質無限・無期限に記録を保持できる。

4. 2. 操作感

一般的に使用されるスタックタイマーは、スクランブル、インスペクション[4]、ソルブを効率的に繰り返せるように、上記の手順を 1「タイマーに手を置く動作」のみで完結させている。今回作成したタイマーにはタイム送信などの機

[2] Average Of 5 の略

[3] SINGLE または AO5 の 2 種類

[4] キューブのスクランブルの状態を検査する時間

能がついているものの、インスペクションタイムとソルブの繰り返しについてはタイマーに手を置く動作のみで行えるように実装した。

5. 考察、反省点

慣れない Arduino 言語での開発だったため、壊滅的に保守性が低く、お世辞にも美しいとは言えない冗長なコードになってしまったと感じている。

また、タイマーの筐体についても完成度に満足していない。今回は素材にプラスチック段ボールを選択したが、想定していたより弾性が高く、圧力センサーを覆う形にすると極端に入力が認識されづらくなることがわかった。筐体づくりは「何とかなる」と楽観視していたため、素材選定が疎かになってしまった。

しかし、自分の実現したい事を少しずつ組み上げていき、その様子を最前線で見届けることができたので、初めての開発ボードを用いた電子工作に対する満足度は非常に高かったと言える。

6. 参考文献

[1] ESP32 で ST7735 TFT LCD 液晶ディスプレイを使ってみる
https://101010.fun/iot/esp32-tft-st7735.html

[2] TFT 液晶モジュール(ST7735)を Arduino で使う (2)
https://matsugoro.sakura.ne.jp/blog/?p=243

[3] ESP32 で RGB LED を使用して、いろんな色を点灯させてみます | みるしるてくる
https://mirushirutechru.com/techru/8310/

[4] ESP32 で WiFi 接続を試してみます | みるしるてくる
https://mirushirutechru.com/techru/3482/

[5] IoT その 5（温湿度センサーのデータを ESP32 の Wi-Fi 経由で Google スプレッドシートへ送信して記録する）
https://zenn.dev/suzuky/articles/6ad0cb1a54823f

[6] Arduino 日本語リファレンス
http://www.musashinodenpa.com/arduino/ref/

[7] ESP32-WROOM-32D シリアル通信出来ない？
https://zenn.dev/maedan/articles/8d4bfe023d2aa7

[8] Adafruit SSD1306 互換品、Adafruit GFX ライブラリの include エラーで 3 時間ほど格闘した【備忘録】 #Arduino - Qiita
https://qiita.com/masa2004/items/a2b2cb9ea1d38f63c8c7

7. 成果物

ダウンロード：
https://github.com/22jy0104/22jy0104_StackTimer

スプレッドシート：
https://docs.google.com/spreadsheets/d/1-HBnhkW1ROY6nhSOaw41EXLCdDGE9EzXjsHFGI0EoDI/edit#gid=0

GoogleAppsScript：
https://script.google.com/u/0/home/projects/1YyUYSmUeRRPMomOfUlgNWQiD5CdkkfHkOijAKue7i7jZmBOYlSRIkzCc/edit

8. 謝辞

使用機器の選定に携わってくださった菅原俊広教諭と、参考文献に列挙した URL 先の記事作成者すべてに感謝する。特に[8]の備忘録を残す英断を下した方には最大級の感謝と賛辞を添えたい。

プロジェクトワークがもたらす アカデミック・インパクトについて

日本工学院専門学校　テクノロジーカレッジ　電子・電気科

秋元龍大　佐藤優樹　前田篤志

概要

我々は疑問に思ったことを一体どのように解決しているだろうか。例えば人口が減少する問題を我々は一体どれくらい意識しているだろうか。本稿はこの様な前提に立ち、人口減少問題を「人口が減少する事によって電気系専門学校の入学者数が減少する」という仮説に置き換え、電気系専門学校のこれからの役割についてネットワーク分析を用いて検討を行った。その結果、少子化という問題について各業界の横断的なコミュニケーションの無さが茹でガエル現象を引き起こし、今日の人材に関する無為無策に至っているという結論に至った。茹でガエル現象の只中にいる専門学校が、人口減少という内なる非常ベルを聞いた時に採るべき行動は、学外との活動を積極的に行う「知の探索」が有効である。これを実証するために、無人飛行ロボット製作プロジェクトをケーススタディ分析した。

1　はじめに

18 歳人口の減少は、多くの高等教育機関の入学者数に深く影を落としている。その中で電気工学系の学科は、「工学」という言葉自体が持つ硬派なイメージから脱却すべく「エレクトロニクス系」など、所謂「工 → エ」への交換による学科改組を実施してきた（真壁&清水,1996; 堀 他,2009）。当然ながら筆者らの所属する専門学校においても、電気系入学者数の減少は喫緊の課題となっている（藤田,2013）。

たとえ電気を志す者が少なくなっても、社会を支えるインフラ設備は、むしろ増加の一途にあるため、電気系技術者を求める社会のニーズは依然として高い。よってこれまでの国家資格取得、高就職率を標榜するだけではもはや学生を集めることが難しい状況であるため、専門学校は何かしら別の方法を思案する必要に迫られている。そこで筆者らの所属する学科では、社会に柔軟に適応できる「人間力」育成の一環として、昨年度より東京大学と連携し、無人飛行ロボット（通称ドローン）の製作プロジェクトを実施してきた。本稿は、人間力という定性的な評価について、従来の専門学校教育とドローン・プロジェクトの違いを俯瞰することによって、その実施有効性を社会科学の視点から検討したことについて述べる。

2　問題の背景

18 歳人口の減少が少なることは何年も前から予想されていた (IPSS, 1990; IPSS, 1997)。それにもかかわらず、「教育機関および電機業界が横断的に実効的政策を打ち出してこなかった」というのが、筆者らの偽らざる実感である。本項では「人口が減る」という問題に対して先ず、社会科学者、電機業界、高等教育機関が各々どの様なスタンスで臨んでいたかについてサーベイを実施した。

2.1　人口減少という社会科学としての問題提起

政府は、2025 年までに希望出生率 1.8 を達成することを、少子化対策や子育て支援の目標としている（内閣府, 2024)。日本における少子化問題は、1990 年の「1.57 ショック」(IPSS, 1990) 以降、この国の「国難」のひとつとされている。この対策の一環として、待機児童の解消、仕事と子育ての両立支援、そして近年のワークライフバランスというブームなど、さまざまな少子化対策（首相官邸, 2024）が行われてきたが、十分な効果を挙げてはいない。実際これまで日本政府が多くの識者を集めて専門分科会を開き少子化問題について議論を重ねていることは、我々も十分承知している。しかしながら効果が上がらないそもそもの原因は、左図に示す様にシャンパンタワーの最上層（政府関係者および御用学者）だけで議論を進めているからと筆者らは考

える[*1]。シャンパンを注ぐ量が無限に続く場合、最上層と最下層に注がれるシャンパンの量は、時間と共に同量になる。しかし、シャンパンボトル 1 本のみ等、注ぐ量が限られている場合、最上層と最下層では当然ながら、グラス内に注がれるシャンパンの量には差が生じる。

このシャンパン・ヒエラルキーの例として保育園が不足している問題について考えてみる。これまで日本政府は自治体に対して「認可保育園の設置に対する金銭的補助」という形で「施し」を実施し、多額の公金を投入してきた。しかしながら、待機児童問題の根本的な解消には至らず、幾度と方針転換を余儀なくされている。問題となるべき箇所は保育士の労働環境であり、これはシャンパンタワーの最下層に位置する。これに対して政府が打ち出す方針は、「予算を付けてあげると、やがてそれは末端まで拡がるでしょう」という、一種の性善説に則った発想となる。最上層の識者が意見を聞くのは構造上、第二層からのみとなるため、シャンパンタワーの恩恵に授かる為に、第二層は最上層に最大限の賛辞を送る。このシャンパンタワー構造では、ひとつ下の階層で不具合が生じると、自分たちがシャンパンタワーの恩恵を授かることができなくなるため、2 つ以上の下層で起きている不具合/不満は見事に封じ込められる。その結果、最上層と最下層では考え方に対して乖離が生じ、この構造下に属する限り問題が改善されるという自浄作用は働かない。更に、シャンパンは決して下から上へ逆流しない為、現場で働く保育士の声は「御上」に届く事がない。つまり最上層で施される行為、これが巷でバラマキと揶揄される要因となっている。

待機児童対策 盲点
クローズアップ
保育士に届かぬ補助
運営株式会社「人件費7割なら赤字」

図 1: 毎日新聞 2016 年 10 月 16 日付

スティグリッツ コロンビア大学教授は、「シャンパン・ヒエラルキーにおける施しと、それを享受するのは受け手次第」という考え方、これがグローバル資本主義を生み出し、その結果「格差」が生じた、と指摘している (Stiglitz, 2006)。

かつて安倍晋三内閣では、アメリカ政府が識者の意見を基に本腰で改革を実施し国内経済を蘇生させた事例を学ぶため、スティグリッツ教授らを招聘し意見を伺っている（衆議院, 2016）。これを是と解釈すれば、公共経済学という観点で有識者からの意見に対して真剣に耳を傾けた・・・となるだろう。しかし功を奏していない実態に対して我々は、また「永田町の論理」に絡め取られたと、単なるパフォーマンスだった・・・という断を下すのである。

この現象は残念ながら、現在のガザ地域へのアメリカ軍からの物資投下でも見られる。人道支援という名のもとに、アメリカ軍は空からの物資投下を実施した。アメリカ側から見れば、人道支援（物資投下）という「施し」を実施した事になる。しかし、その物資がガザ地区に住む住民全員に行き渡っているだろうか。この人道支援によって餓死者はゼロになっただろうか。ここにも残念ながらシャンパン・ヒエラルキーが存在している。この物資投下はシャンパンタワーの最上層からみた人道支援という考えである。我々が常に胸を痛めるのは、シャンパンタワーの最下層に位置する人たちの人情の機微に対してである。

[*1] この様な議論および組織体系をここではシャンパン・ヒエラルキーと呼ぶことにする。

2.1.1 ペンは剣よりも強いのか

かつて人種差別の問題と言えば、アパルトヘイト政策やアメリカの黒人差別など、自国以外の出来事として捉えていた。つまり対岸の火事として、我々はそこから何が学べるかという中立的な考えという「余裕」を持つことができていた。しかし現在、我が国でも労働格差（遠藤, 2014）、正規・非正規格差、学歴格差（野呂&大竹, 2006）など、社会における格差が起きている。この様な状況下で社会科学だけの議論ではもはやその起点が完全に見えなくなっていることを筆者らは憂える。

議論とは、そもそもバイアスのかからない中立な立場で話し合いをする前提がある。しかし現実で起きている問題には絶えず圧倒的な格差が存在している。この格差を前にしたとき、有識者による議論、提言自体が如何に空虚なものかを見せつけられている気がしてならない。

2.2 電機業界を俯瞰する

電気系エンジニアは、回路の部品選定から、ハンダ付け、プログラミング、回路設計に至るまで、その技術的守備範囲はとても広い。工学部のなかでも電気系学科が就職に強いと言われる理由は、この広い守備範囲によって培われた逆境にも耐えられる学科の特性にある（日本学術会議, 2011）。事実、1980 年代、総合電機メーカーや半導体産業は、自動車産業と並んで日本の花形産業であった。しかしバブル経済崩壊後、これらの企業は、組織を存続させることに腐心し、抜本策な対策を打たないまま小出しにリストラを続け、新卒者採用数の大幅抑制に傾倒した経緯がある（藤田, 2011）。以降に起きた IT ブームにおいても数年で崩壊してしまい、この様な辛い時代を経験した技術者は、その待遇の悪さを体に刻みつけている。「知らぬは亭主ばかりなり」の如く、技術者の待遇の悪さやシステムエンジニアの悪環境はすっかり知れ渡ってしまった (Brooks, 1986)。それと同時に急速なデジタル化が価格下落と新興国との製品開発競争を生み出し、業界のドタバタはデジタル化に従属的に巻き込まれ見事にその覇権を奪われた形となっている（延岡 他, 2006）。

一方で、電力、通信、鉄道等のインフラ系企業や設備管理系企業における電気系技術者の採用意欲は相変わらず旺盛で、近年は食品、材料等、他の業種からの引き合いも強まっている。一見すると電気とは無縁と思われる業種でも製造ラインでは電気設備が必要となる様に、現代における製造業は、もはや電気がなくては成り立たないのである。

にもかかわらず、電機業界が学生にとって人気がないのは何故なのか。

敢えて厳しい表現を用いれば、電機業界の無為無策に尽きる。上述したことを繰り返していれば、辛酸を舐めさせられた技術者、更にはその子供世代は、決して電機業界に飛び込もうとは思わない。業界のイメージは一日にして出来上がるものではない（田中, 2015）。問題とすべきは、無為無策のまま今日まで漠然と、組織が生き残るための内輪の論理を優先させたこれまでの不毛な月日が、現在の電機業界の凋落、不人気というイメージを形成していると考える。

2.3 高等教育機関を俯瞰する

就職に強いと言われている電気系学科は、近年低迷を続けている。年々学生数が減少すると共に、理系離れや工学部離れが指摘されている中で、とりわけその入学者数の減少に苦しんでいるのが電気系学科である。この様な状況下で 2005 年の「東大ショック」(WEDGE, 2009) は大学並びに企業関係者を驚かせた。東京大学では、入学時には「理科 I 類」等、専門分野が確定していない教養課程に全員が所属する。2 年次前期終了時に、本人の希望と成績に応じて、次年次以降の専門課程が決定する。ところが 2005 年秋に実施された次年度の専攻振り分け時において、電気系学科の最低点が 60 点（及第点）を下回り、希望すれば誰でも行ける状態に陥ったのである (WEDGE, 2009)。

これまで多くのメディアが「大学全入時代」の到来を声高に訴えてきた。これは多くの私立大学に対して、経営努力をしない大学は淘汰されていくとビジネス視点での論調であった。しかし 2005 年の東京大学のケースは、もはやビジネス視点で捉えることができない。これまで高等教育機関に属する多くの教員は、マスコミが大学全入時代を遡求してもどこか他人事として捉えている傾向があった（長谷川, 2013）。それは多くの教員が、教育研修あるいは大学院専門課程を経て教職に就いているため、他業種の動向、とりわけビジネスという視点が備わっていないことに起因する。高等教育機関と

いう非営利環境で純粋培養された教員に経営感覚を求めることは難しい。この様な状況下で先述の東大ショックは、学校が潰れるという心配とはこれまで無縁だった教員にも少なからず影響を与えた。それが 2000 年中盤から始まった「学科改組」という動向として現れた（高木, 2012）。1990 年代に急速に人気が落ちていった材料系、原子力、船舶・海洋系学部は、「システム」「マテリアル」「環境」と言った名称に変更することによって学科/学部の存続を図った。2010 年代、いよいよその波が電気系学科にも波及し、「工学部からエレクトロニクス学部（工からエ）」への学科改組が行われた（真壁& 清水, 1996; 堀他, 2009; 藤田, 2013）。

2.4　人が減るということに関する三者のスタンス

以上、社会科学（人口減少/少子化）、電機業界、および高等教育機関を俯瞰し、各々が問題あるいは課題としている点についてサーベイを実施した。その結果をイメージとしてまとめると図 2 の様になる。

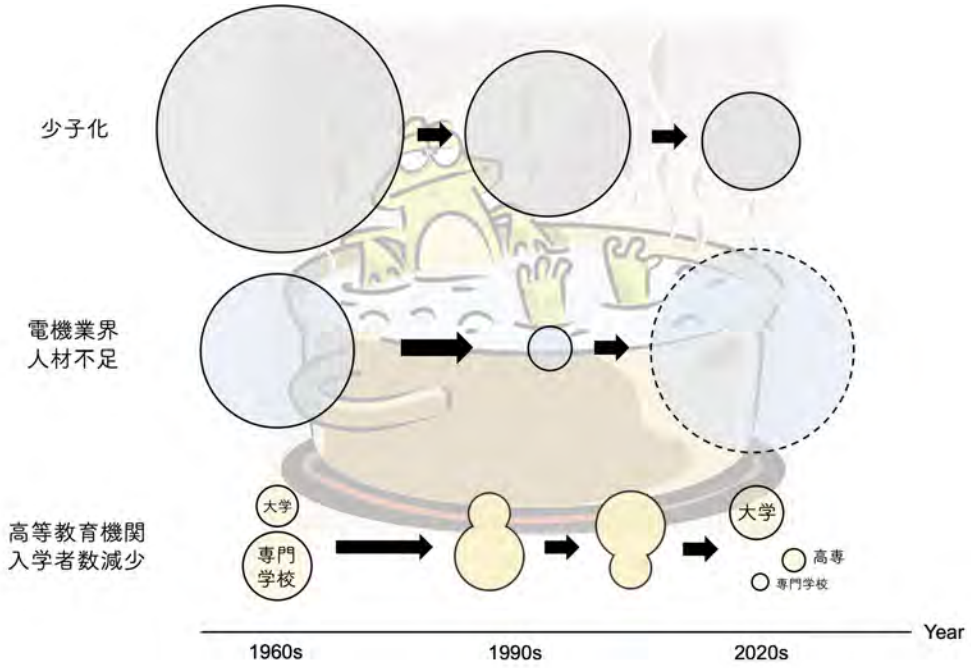


図 2: これまで、少子化・人材不足・入学者数減少をどこから見てきたのか

先ず、少子化に関するイシューは、日本が先進国化していくと人口が減少していくにも関わらず、生活や社会の制度設計が 1960 年代に設定したまま、ということである。図 2 上段に示す様に、現象としては単純にパイがシュリンクしていくモデルである。しかしながらこの議論においては、1960 年代の高度経済成長期が基準となっているため、この基準から現在を見るという議論から抜け出すことができていない。そもそも人口というパイ自体が縮小しているにも関わらず、現行のシステムを 1960 年代当時の思想で支えるという発想がもはや内向きである。しかし、この議論を食い扶持にする者にとっては、終わりのない議論は好都合となる。

次に、電機業界の人材不足について、長年にわたる無為無策は、組織に「人を育てる」ことの大切さを失わせてしまった。人に教わった経験のない（育ててもらっていない）者が、果たして人を育てることができるだろうか。人に教わる経験のない者は、当然ながら組織への愛着や忠誠心が、教わった経験者に比べて希薄になることは想像に難くない。モデルとしては同図中段に示す様に、小さなパイをどうやって大きくするかという絵空事に近いものになる。このモデルを早晩棄却しないかぎり業界のブラック化は払拭できないであろう。

現在、情報に関する分野が工学におけるブームになっているが、ブームという熱はやがて冷める。確かに IT 技術者は、2000 年頃は良い時代を過ごすことができた。しかしその前後は不遇の時代であった。この不遇の時に IT 業界は人材育成に注力しなかったため、現在 DX 人材が不足するという事態に陥っている。

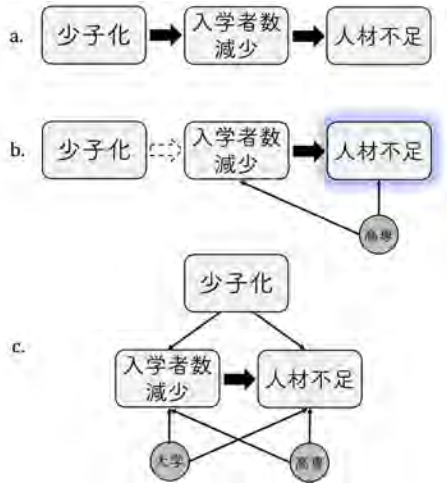


図 3: 高専が人口減少問題を複雑化させる?

そして、高等教育機関における電気系入学者数の減少である。

単純に考えれば、図 3-a に示す様に、人口が減るから（原因）入学者数が減る（結果）という因果関係を想像する事はできる。もし「人口が減少したから、高等教育機関への入学数が減少した」という単純な因果関係（図 3-a）であったならば、本稿が問題提起するような事態は起こらなかったであろう。因果関係から Rootcause を探れば自ずと原因が判明するからである。

しかし高度経済成長期における圧倒的な技術者不足を補うために、日本は「高専」というシステムをつくり出した（植上, 2003）。おそらく高専誕生当時の日本にとっては画期的な施策だったのかもしれない。やがて時が経つにつれて「高専」という制度に対する評価は二分化していく（中西, 2011）。厳密に言えば、「高専」の構想時と現在ではその存在意義が変化していることに因る（吉本, 2003）。図 3-a の因果関係に沿って考えてみた場合、「高専」という発想は、「人材不足」というファクターだけに着目した発想である[*2]。「高専」というシステムを導入した結果、「高専」は当然ながら「入学者数」と「人材不足」に影響を及ぼす。つまり、「高専」というファクターが統計学における統制変数[*3]の働きを担うことになる（図 3-b）。

ここで「高専」というファクターが統制変数になる意味について考えてみたい。統制変数になるということは、当該ファクターが直接の「原因」あるいは「結果」の因子にはなり得ないことを意味する（中室, 2015）。つまり図 3-b に示す様に、「高専」が「入学者数」と「人材不足」双方のファクターに影響を与える変数となる。「高専」が双方のファクターに作用し、その結果ともに増加した場合、「少子化」というファクターは原因でなくなってしまう、つまり形骸化する。この時、図 3-b を把握するためには、慎重な因果推論が必要になるため、事象は一気に複雑化する。

やがて 2000 年代に入り、少子化が社会に与える影響が取り沙汰されると、図 3-c に示す様に、「少子化」も、「入学者数」と「人材不足」に影響を与える統制変数化していくことが論理的に理解できよう（長谷川, 2013）。

概して、因果関係が成立している中で、特定のファクターにバイアスをかけると、因果関係のバランスは崩れる。本ケースの場合、因果関係が一気に複雑化すると言えるのは、現在という立ち位置から俯瞰しているからこそであり、当時の施策実行を非難することはできない（吉本, 2003）。

本項におけるサーベイの目的は、「人が減る」ということに対して、社会科学、電機業界、高等教育機関を俯瞰することによって、三者の思惑や立ち位置を明確にすることであった。その結果、特定のファクターに注力することによって因果関係のバランスが崩れ、その結果「人が減る」という問題に対して、三者が包括的に取り組むことを困難にする状況が生じていることが判明した。図 4 に示す様に、人口減少に関する社会科学領域では、高度経済成長期基準を如何に現代に適用させるかという内向きな議論、電機業界ではリストラなどで喪失したものを社会の要請に応えるために無理に expand させようとする暴論に近い人材獲得競争、そして高等教育機関では、限られた学生を争奪するために、一旦は統合したものが再度分裂し少ない学生リソースの争奪戦を繰り広げている。人口減少は今

[*2] 同様の発想に、第二次世界大戦後、日本の焼け野原に成長の早いスギを植えた政策が挙げられる。スギ花粉が後に花粉症という国民的アレルギーを引き落とす原因になるなど、恐らく当時気が付くことはできなかったであろう。これも早く木が成長するというファクターのみから見た思考と推察できる。長い年月を経てからようやくわかる事例である。

[*3] 原因と結果、双方に影響を及ぼす第三の要因。

図 4: 人口減少、電機業界、高等教育機関における論点

に始まったことではなく少しずつ進行していった現象であるにも関わらず、各業界が茹でガエル現象に浸かりきっていたために、慌てて自分たちの枠内で議論に終始している様相が伺える。

3　専門学校の役割

前述のサーベイから得られる示唆として、人口減少が高等教育機関および電機業界に及ぼす影響として、現状のままでは明るい材料は見当たらない。つまり、このまま無為無策を続けていけば、筆者らの所属する専門学校もやがては淘汰されてしまう危険性を孕んでいる。そこで本項では、現状の専門学校の役割を見つめ、そこから今後専門学校に何が出来るかについて考えてみたい。

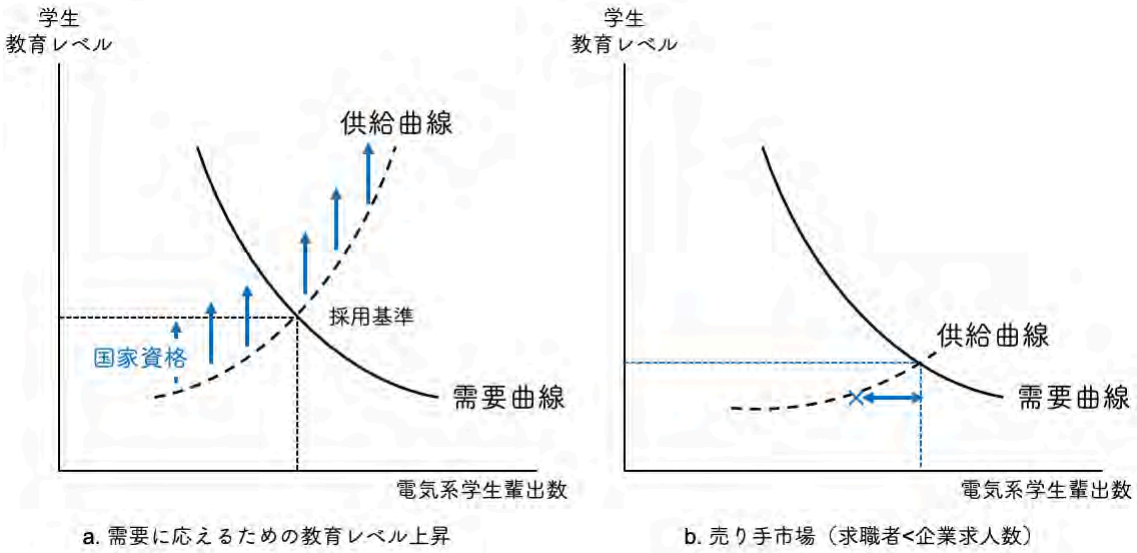


図 5: 需要と供給に基づく電気系専門学校生のモチベーションモデル

専門学校の役割は、高度経済成長期における即戦力人材の供給に端を発する（植上, 2003; 吉本, 2003）。この時代における専門学校の役割を需要と供給曲線で表すと図 5-a の様になる。ここで

需要「ほしい」→ 企業の電気系学生求人数
供給「つくる」→ 電気系学生の輩出数

と仮定した場合、専門学校の黎明期では、需要と供給曲線のバランスをとるために、電気工事士等の国家資格の取得が学生のモチベーション向上に寄与していた（図 5-a）。言い換えると、国家資格を取得させて社会へ技術者を輩出する処に、専門学校としての明確な役割が存在していた。この場合、

国家資格を取得したから（原因）就職することができた（結果）というシンプルな論理は、学生を勉学に向かわせる何よりのインセンティブと成り得ていた。

ところが電気系学生の輩出数が減少すると、需要-供給曲線は図 5-b の様になり、今後 18 歳人口の増加が見込めない供給曲線は、上方へとは伸びない曲線形状となる。現状の学生輩出数を同図中 × とすると、既に需要と供給の均衡が成り立っていないことは明白で、本来あるべき均衡点との差分が人材不足という現象として表出していると解釈できる。

本来、需要と供給のバランスは相互作用によって自然に均衡を保つ点が現れ、これが自由市場経済を生み出してきた（原田, 1999）。しかしながら図 5-b の様な状況は、需要と供給が交差しないため、自浄作用としての均衡が現れないことを示している。従って、電気系技術者を輩出するという専門学校の従来の役割に沿うならば、図 5-b における供給曲線を先ずは需要曲線と交差させることが、これからの専門学校の役割と筆者らは考える。

4　フレームワーク

それでは、供給曲線と需要曲線を交差させるにはどうすればよいだろうか。

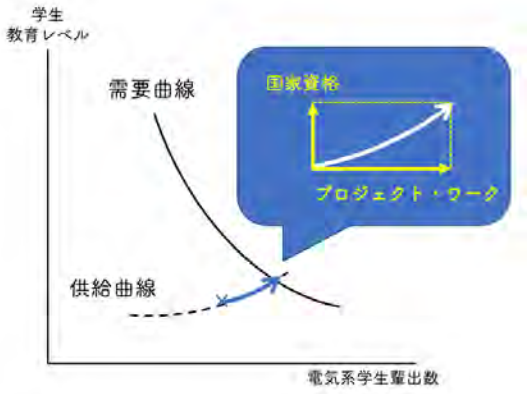


図 6: これからの専門学校の役割

従来の供給曲線は、図 5-a に示した様に、国家資格取得というインセンティブが供給曲線を垂直方向へ押し上げる働きがあった。しかしながら、図 5-b の様な現状において、× を需要曲線と公差する位置まで移動させるには、垂直方向だけでなく水平方向の働きが必要になる（図 6）。この水平方向に作用するチカラが、本稿が提案する「弱いつながり」であり、これからの専門学校に必要な役割と考える。

4.1　ネットワークという考え方

例えば、関係性を表現する手段のひとつに「つながり」がある。親と子による家族のつながり、個人と組織のつながり、あるいは企業と企業のつながりなど・・・。総じてこれらのつながりはネットワークと表現される。よってつながりをネットワークとして表わす場合、頂点（ノード）と枝（辺、リンク、エッジ）を結んで表現する。ネットワークは、何を頂点や枝と見做すかによって様々な対象を表現する柔軟性を持っている。また、分析対象を頂点と枝のつながりとして抽象化することによって、捉えどころのない社会現象等をネットワークとして表現することもできる。

ネットワークを用いてビジネスにおける「つながり」や「社会性」のメカニズムを解き明かそうとする考え方は、欧米を中心とする社会学 (sociology) では盛んに行われている。本稿では「弱いつながりの強さ」理論 (Strength of weak ties theory)(Granovetter, 1973) をフレームワークとして、これからの専門学校のあるべき姿を探る。

4.1.1　「弱いつながりの強さ」理論

社会学における「強い」つながり「弱い」つながりは、学術的に定義はされていない。一般に、「閲覧数が多い」「コミュニケーション頻度が高い」「関係が疎い」などの定性的な関係性を便宜的に「強い」「弱い」を用いて表現している。

それでは、強いつながりと弱いつながり、一体どちらが重要なのだろうか。

強いつながり

- 信頼関係が築ける
- 深い情報交換ができる

- イザという時に助けてくれる

これに対して、「では、弱いつながりは?」と聞かれたら思いつく事象がないことに気付く（入山, 2019）。実はこの弱いつながりを説明するのが「弱いつながりの強さ (SWT)」理論なのである。

何故、人間関係などをネットワークで表現する（真の意味での）ソーシャル・ネットワークの分析がこれほどまでに注目されるのか。それは、ネットワークに抽象化することによってあらゆるものを情報の伝播として見做すことができるからである。

そこで先ず、筆者の所属する電子・電気科電気工学コースにおける教員と学生のコミュニケーションが一体どの様なつながりになっているかについて、次項で検討する。

5　ケーススタディ

筆者らの所属する電気工学コースにおいて、どの教員も相談やアドバイスに対応できるという点で学生からの満足度は高く、これは学科の誇りであり良き伝統となっている（栗原 & 多久島, 2023）。入学した学生は電気系学科の良さを享受することができるが、残念ながらその成果を披露する機会は圧倒的に少ない（公野,2023）。つまり、いかに入学前の高校生/既卒生に対して学校、あるいは電気技術の素晴らしさを周知するかがポイントという指摘（杉山,2014）があるにも関わらず効果的な実践ができていないのである。

これまで教員は、預かった学生に対し責任を持って社会に輩出するという使命に従事してきた。つまり学校内での最適化に従事してきたため、学校外における社会動向との「つながり」は疎になっている。この場合、学科における教育体制を「つながり」で捉えると、図 7 に示す様なネットワーク関係で表すことができる。

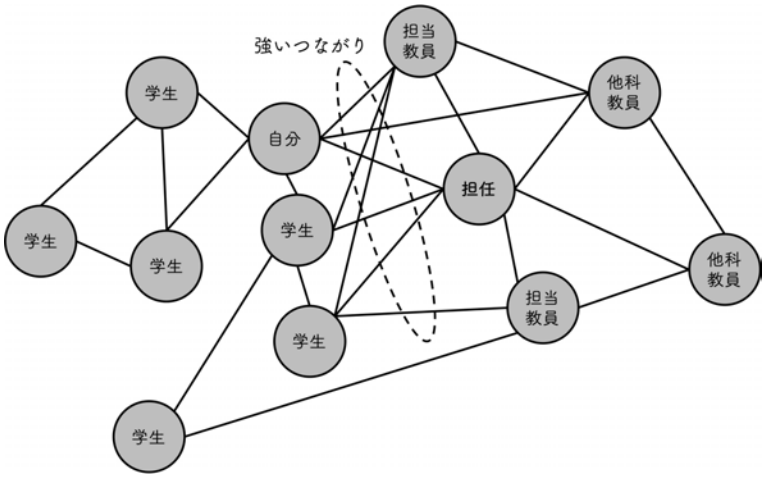


図 7: 電気工学コースにおける教員と学生のつながり

同図において、例えばどの教員に聞いても同じ見解が得られるという学科の統一性[*4]は、学生と教員、および教員間の強いつながりから生まれている。確かに「就職する」ことを第一義とする多くの学生にとって、この強いつながりは、学科内における信頼関係を構築するのに与しやすい。しかしソーシャルネットワークという視点で、今後卒業して社会に旅立つ学生の立場で捉えた場合、この強いつながりはタコツボ化 (Tett,2015) に他ならない。

ここで冒頭のサーベイに戻り、改めてその背景について考えてみる。何故、実際に経験した専門学校教育の良さが伝わらないのか。本稿は、高等教育機関、電機業界がそれぞれ強調することなく今日まで過ごしてきた状況を各々がタコツボ化していると捉える。このタコツボ化する雰囲気

[*4] 前述した、どの教員も学生からの相談やアドバイスに対応できること。一見、当たり前に見えるかもしれないが、非常勤講師も含めた各教員が、責任を持って応えることができるのは意見統一が成されているからである。更に、電気工学コースのセールスポイントとして、資格受験対策に関するアドバイスが豊富であることが挙げられる。

が、そもそも協調する効能を持ち得ないのではないかと考える。その論拠は、「より外部に情報を伝播させるためには、弱いつながりが必要」という、マーク・グラノヴェッターが示した SWT 理論 (Granovetter,1973) に基づいている。

筆者の所属する電子・電気科では、入学者数を如何にして増やすかを模索する一環として、ドローン・プロジェクトを 2022 年度に起ち上げた[*5]。この取り組みが意図せずして図 6 における水平方向に作用するチカラとして貢献したのである。

5.1 電気工学コースのつながり

それでは、電子・電気科電気工学コースのつながりをどの様にネットワークとしてデザインするか。本稿では、メールや LINE 等のやりとりをカウントすることによって、つながりの定量化を試みた（鈴木,2013)。

表 1: つながり回数

通常授業			**ドローン**		
筆頭筆者（学生）	相手	やりとり回数	筆者のひとり（教員）	相手	やりとり回数
Akimoto	Kawabe	10	Sato	Watanabe	1
Akimoto	Watanabe	3	Sato	Akimoto	184
Akimoto	Hasegawa	35	Sato	Arita	21
Akimoto	Sato	0	Sato	Senzaki	47
Akimoto	Maeda	15	Sato	Maeda	92
Akimoto	Nagasu	50	Sato	Nagasu	0
Akimoto	Sugawara	0	Sato	Tsuchiya	0

表 1 は、筆者のひとりが通常授業時における各教員およびクラスメイトとのやりとりをカウントしたものである。このデータを基に R によるネットワーク分析した結果を図 8 に示す[*6]。

通常授業時、筆者のひとりを含む当該学生は、ほぼ実験レポートと授業、そして資格対策準備に追われているため、各教員とのやりとりが密, つまり「強いつながり」になる。更には担任教員だけでなく、学科内の教員同士も頻繁にやりとりを交わしていることがわかる。この教員同士の強いつながりが学科としての統一性を生み出している。しかしながら、勉強に関してやりとりする学生は限られているため、やりとり回数を頻度順に Sort すると特定の学生しか表出してこなかった。

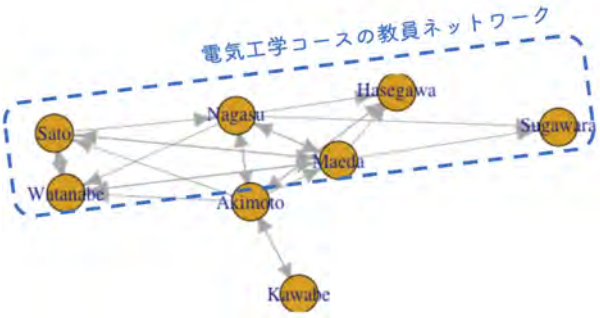


図 8: 通常授業時における教員と学生のつながり

これに対して、放課後プロジェクトの一環であるドローン製作について、同様のやりとりをネットワーク分析した結果を図 9 に示す。同図から、図 8 のつながりとは少し異なる繋がり方をしているこ

[*5] 東京大学大学院土屋武司教授の指導による東京大学との無人飛行ロボット製作連携プロジェクト。毎年秋に開催される無人飛行ロボットコンテストがプロジェクトのゴールとなる。

[*6] 業務管理上、教員間の具体的なやりとりの回数は差し控える。

とがわかる。具体的には、各ノードから出入りする矢印が疎になっていること、そして 1 つのノードが他のノードを介してつながる構造になっていることがわかる。

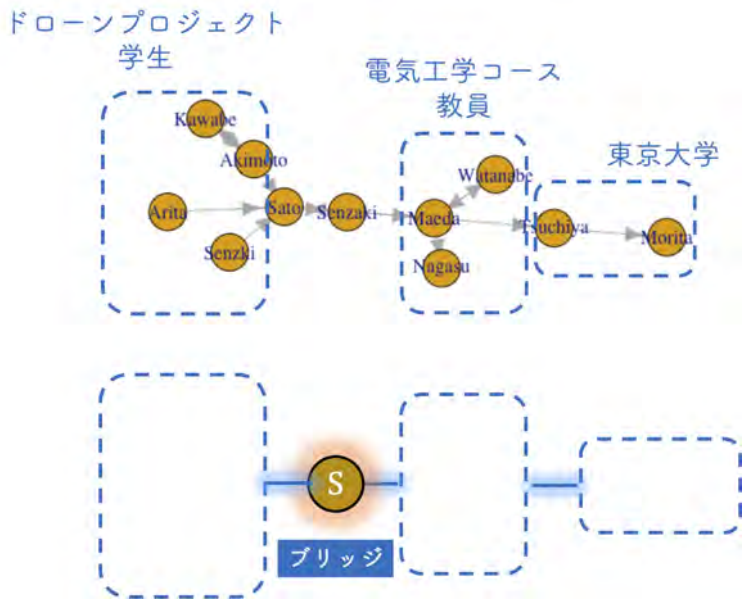


図 9: ドローンプロジェクトにおける教員と学生のつながり

図 8 に示した通常授業時のネットワークとは異なり、図 9 では、特定の教員が情報上のブリッジになっていることがわかる[*7]。ソーシャルネットワーク上で、あるつながりがブリッジになり得る条件とは「つながりが弱い時に限る」である (Granovetter,1973)。ここで、強いつながりは知識や情報を実践に落とし込むのに必要で、弱いつながりは知識をより遠くへ効率的に伝播させるのに有効であるため（入山,2019)、図 8 の様な形態は、学んだことを活かすための修練機関に適したネットワーク型、図 9 は、新しい知識の獲得に適したネットワーク型と言える。

6　インプリケーション

本項ではサーベイで得られた、少子化問題に対して各業界のスタンスが分断していること、および前項のネットワーク分析結果を基に考察を行う。

6.1　なぜ水平方向のチカラが専門学校に必要なのか

筆者が所属する電気工学コースの強みは学科が統一した見解[*8]を有していることであり、それはネットワーク分析でも教員間の強いつながりとして現れている（図 10 の左図)。

専門学校を社会人になるための最後の養成機関と考えた場合、技術者の基礎となる事柄を習得させることに主眼を置くという従来の教育スタンスに何ら瑕疵はない。この場合、学んだことを実践に落とし込む、つまり学生に知識の定着を図ることは知の深化 (exploitation)(O'Reilly & Tushman, 2016) を促していることになり、これが電気工学コースの伝統となっている。一方、ドローン・プロジェクトにおいては、特定の先生が情報のハブとなるブリッジを構成する特徴が見られた（図 10 の右図)。ブリッジは弱いつながりの時に見られる特徴であり、実際、筆者らはドローン・プロジェクトを通じて、プロジェクトに関わらなければ決してつながる機会などない東京大学から新しい知識を得ることができた。これは正に遠くにある情報の取得・伝播であり、知の探索 (exploration)(O'Reilly & Tushman, 2016) を実行したことになる。

[*7] 「2 つの点をつなぐ唯一の経路」が存在するとき、これをブリッジと呼ぶ。
[*8] 時間を守る、期限を守る、メモをとる

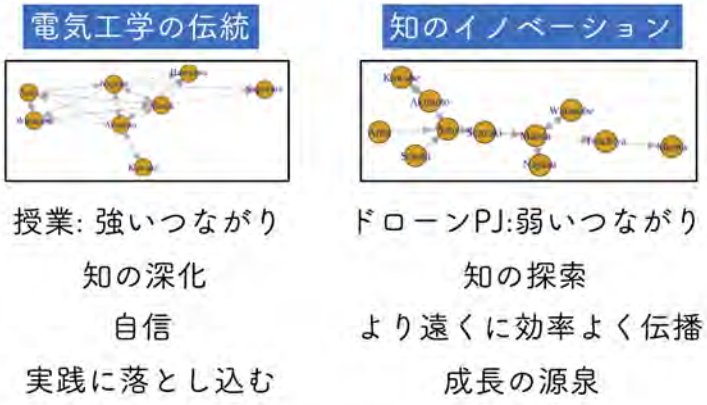


図 10: 専門学校に必要な強いつながりと弱いつながり

一般に、人や組織には認知能力に限界があるため、知の探索を行うにはコストがかかる。特に企業における知の探索[*9]は不確実性が高いため、企業はどうしても知の深化に傾倒してしまう。その結果、知の探索がなおざりになり、イノベーションが枯渇する（入山, 2019）。

これまでの専門学校は知を深化させることによって学生を輩出してきたが、その輩出能力は限界に達した。知の深化に偏った専門学校教育は、知の探索を促すことによって両利きのバランスを取り戻す必要がある。今般の事例は正に、知の深化と探索を交互に実施しなければ組織は成長しない、という O'Reilly ら (2016) の主張に合致する。

6.2 なぜドローン・プロジェクトに惹かれたのか

専門学校は、大学に比べて年間行事がとても多い。オープンキャンパス、体育祭、文化祭、卒業展など、学生生活を如何に楽しくするかのイベントが盛りだくさんである。その中で、筆者のひとりがなぜドローン・プロジェクトに興味を持ったのかについて触れておく。

図 11: 水泳部に所属していた筆頭筆者

かつて筆者のひとり（筆頭筆者）は、3 歳から 22 歳まで競技者として、水泳に携わっていた。小学校 5 年生から背泳ぎ専門競技者となり、高校時代まで毎年自己ベストを更新し続けることができていた。しかし大学生になると、思う様に自己ベストを更新できないという初めての挫折を味わった。「自分は一体何の為に水泳を続けているのか」「自分が水泳チームに属している意味って何だろう」と悩み続ける日々を過ごした。ある時、高校時代のコーチに相談する機会があり、「ひとつの種目にこだわらない」というアドバイスを頂くことができた。このアドバイスを基に早速バタフライを自分の練習メニューに取り入れたところ、これまで伸び悩んでいた背泳ぎのタイムが伸びるという経験を得ることができた。

この経験をネットワークとして捉えると、図 12 の様になる。背泳ぎのタイムが伸び悩んでいたころの筆者は、ふり返ってみれば、自分の経験という殻（タコツボ）の中だけで悩んでいた。つまり、自分を俯瞰できなかったのである。そこに、バタフライという競技に触れてみては、というアドバイスを頂くことによって、別の視点で自分の背泳ぎを鑑みる機会を得ることができた（Out of the box thinking の要諦）。図 12 右図の様に、バタフライを練習することにより、背泳ぎ専属のときよりも確実にネットワーク自体が大きくなっていることがわかる。また、自分の考えから一歩外に出るこ

[*9] 研究開発に相当する。

とによって、背泳ぎとバタフライには、より速く泳ぐための共通項があることに気が付くことができた。ノードを各競技の知識や技術と考えた場合、背泳ぎに関する知識/技術は確実に増えている。この「急がば回れ」が、結果として背泳ぎへのフィードバックへと結びついたのである。

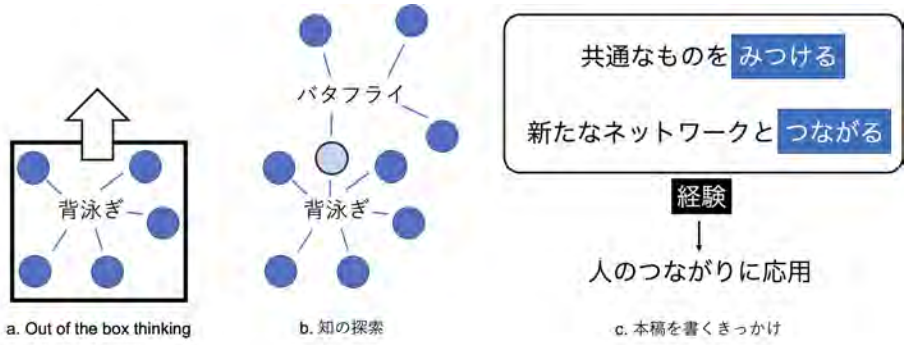


図 **12:** Out of the box thinking -他の競技から学ぶことがある-

思い返せば、水泳競技時代の苦しい経験を克服したこと、これがノードとなって自分の記憶の中にしまわれていた。これが今回、ドローン・プロジェクトというノードとの間にリンクが張られたことによって、かつての経験が知の探索として自分自身の知的好奇心を刺激したように思われる。自分なりに考え抜いて乗り越えた壁は、自分の知見となって蓄積されている。今回のプロジェクト・ワークが数多くの専門学校イベントの中で結びついたのは、知的好奇心を擽られたから、という表現が相応しいかもしれない。

6.3 専門学校の存在意義の変化

専門学校教育において一際悩ましいのが「ゆとり教育」である。これは少子化という問題に更に拍車を掛けている。ゆとり教育に関する評価は現時点で確定することはできないが、ゆとり教育世代という世代間ギャップが生じていることは確かである（平沢, 2005）。中央大学白井宏教授は「物心ついた時からゲームやスマートフォンが当たり前の様にあるため、製品による差別化は難しく、UX やサービスで差異化するしかない。これらを既に体感している世代に技術者の苦労と喜びを伝えるのは難しい」とゆとり世代を評している (WEDGE, 2009)。

ゆとり教育を享受してきた現代学生は、物心ついたときからスマートフォンが当たり前にある日常の中で、そこに技術が必要と気が付くことは難しい。技術者として必要なものを授けて社会に旅立たせる事が本来の専門学校の役割であるが、肝心の技術系志望の学生が「技術革新がもたらした技術軽視」というのは何とも皮肉な話しである。

7 まとめ

本稿においてわかった事を以下に列記する。

茹でガエル現象による危機感喪失
: 人口が減少するという問題は、社会科学者、電機業界、そして高等教育機関に従事する者にとって、直近で日々の生活を脅かす問題ではない。これが組織における茹でガエル現象を引き起こす要因となっている。

ネットワークを形成できないことによる無為無策
: 人材不足という問題に直面して初めて組織は、その問題の深刻さに気が付かされたが、ネットワークを形成するという発想がないため、発想が内向きでタコツボ化した。

知の深化と知の探索
: タコツボ化する組織の主な要因は、これまでの経験則のみで解決しようとする「知を深化」させるプロセスであった。組織を成長させるためには、知の深化だけでなく、知を探索するプ

ロセスとのバランスが必要であることがケーススタディ分析からわかった。

かつての経験を活かす-温故知新-

ドローン・プロジェクトと筆者のひとりの水泳における経験は何ら関係のない事柄であった。しかし、かつての水泳での経験を忘却の彼方から引き寄せる行動、これは正に知の探索である。一方で、かつての経験をフレームワークとして思考整理したこと、これは知の深化とみなせる。日本には温故知新という言葉がある。これを現代風に理解すれば、「ただこれまでの経験を真似るのではなく（知の深化だけではなく）知の探索とのバランスが重要」と理解することができた。

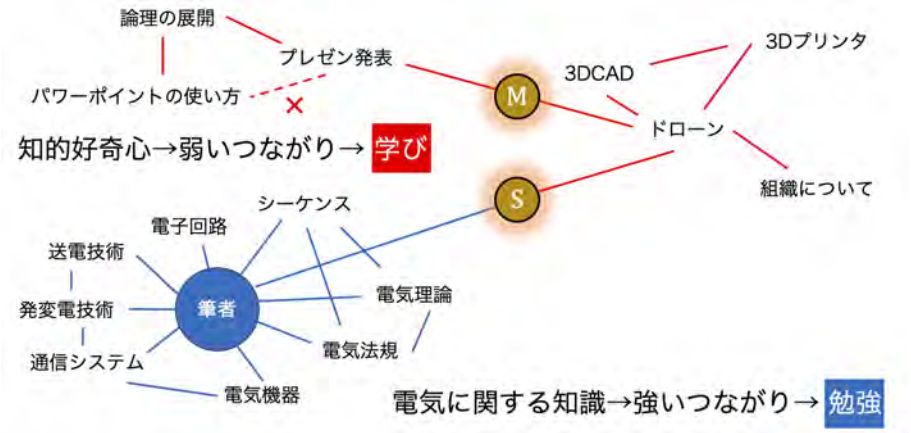


図 13: 専門学校に在籍してわかった「勉強」と「学び」

図 13 は、今回のプロジェクト・ワークを通じて、改めて筆者が在学した 2 年間を図示したものである。従来の専門学校教育は、何度も反復することによって「知」に落とし込む作業、つまりこれが「勉強」であった。これに対し、プロジェクト・ワークは知的好奇心を刺激する「学び」である。どちらが重要なのかではなく、「勉強」という知の深化、「学び」という知の探索、双方のバランスを取ることが他の高等教育機関が真似の出来ない、これからの専門学校の存在意義と成り得る。

Acknowledgement

本稿は、2023 年 10 月に行われた全国工業専門学校学生発表会での発表「プロジェクト・ワークがもたらすアカデミック・インパクトについて-ドローン・プロジェクトのネットワーク効果」について、加筆・修正したものである。

謝辞

本論文を完成するにあたり、電子・電気科の渡邉和之学科長には大変お世話になった。ここに謝意を表する。また 2 年間という修学期間、昼夜問わず常にアドバイスを頂いた電子・電気科の佐藤優樹先生に感謝の意を表する。そして最後に、電気工学コースの規範を説いて下さり、人として成長することの大切さを教えてくれた担任の長須俊浩先生に改めて謝意を表する。

参考文献

入山章栄 (2019):「世界標準の経営理論」, ダイヤモンド社.

植上一希 (2003): 公的職業資格制度と専門学校の歴史的考察, 生涯学習・社会教育学研究, 第 28 号, pp.41-51.

WEDGE 編集部 (2009): 「電気系学生の劣化 東大でもこの惨状」 Wedge REPORT, 7 月 16 日.

遠藤公嗣 (2014): 労働における格差と是正 -「1960 年代型日本システム」から新しい社会システムへの転換をめざして-, 社会政策, 第 5 巻, 第 3 号, pp.11-24, 社会政策学会誌.

栗原直希, 多久島汰偉 (2023): 我々を奮い立たせた電気工学のプライド, 日本工学院専門学校 卒業展 2023.

公野裕太 (2023): 愉快な電気、楽しい電気 -当たり前で気が付かないもの-, 日本工学院専門学校 卒業展 2023.

杉山由美子 (2014): SAPIX はなぜ驚異的な合格実績を挙げているのか, 週刊ダイヤモンド, Vol.102, No.9, pp.42.

鈴木努 (2013):「ネットワーク分析」第 2 版, 共立出版.

衆議院 (2016): ノーベル経済学賞受賞者からの意見聴取に関する質問主意書, 質問第 215 号, 平成 28 年 3 月 25 日提出, 衆議院.

首相官邸 (2024): こども・子育て政策, 岸田内閣の主要政策 02, 首相官邸公報.

高木健次 (2012): 大学全入時代の学部新設, 現代経営経済研究, 第 3 巻, 1 号, pp.119-151, 東洋学園大学.

田中洋子 (2015): 日本的雇用関係と「ブラック企業」, 社会政策, 第 6 巻, 第 3 号, 社会政策学会誌.

津田敏 (2015): 「専門学校とはどのような学校か」, 風詠社.

内閣府 (2024): 人口をめぐる現状と課題, 「選択する未来」委員会, 内閣府公報, 内閣府.

中西啓喜 (2011): 少子化と 90 年代高校教育改革が高校に与えた影響 -自ら学び自ら考える力に着目して-, 教育社会学研究, 第 88 集, pp.141-162.

中室牧子 (2015): 「学力の経済学」, ディスカバー・トゥエンティワン.

日本学術会議 (2011): 21 世紀における電気電子工学のあり方と果たすべき役割, 電気電子工学委員会.

延岡健太郎, 伊藤宗彦, 森田弘一 (2006): コモディティ化による価値獲得の失敗: デジタル家電の実例, RIETI Discussion Paper, 06-J017, 独立行政法人 経済産業研究所.

野呂沙織, 大竹文雄 (2006): 年齢間労働代替性と学歴間賃金格差, 日本労働研究雑誌, No.550, pp.51-66.

長谷川誠 (2013): 大学全入時代における大卒就職問題の背景にあるもの: 就職機会の大学間格差に注目して, 佛教大学大学院紀要, 教育学研究科, 41.

原田哲次 (1999): 限定合理性と需要曲線・供給曲線の再構成, 山口経済学雑誌, 第 47 巻, 第 2 号, pp.233-250, 山口大学.

平沢茂 (2005): ゆとり教育とは何であったか, 文教大学教育研究所紀要, pp.5-10.

藤田直幸 (2013): データで見る高専電気系学科の歴史と現在, 電学誌, 133 巻, 7 号, pp.418-419.

藤田実 (2011): 日本の電機産業の構造変化とリストラ, 桜美林論考, 桜美林エコノミクス, pp.1-17.

堀宗朗, 木村定雄, 飯塚敦, 大塚悟, 熊谷健一, 齋藤利晃, 田村武, 橋本親典, 平出純一, 山口栄輝 (2009): さまざまな工学部学科・専攻で行われた教育改革の実例, 土木学会論文集 H（教育） Vol.1, pp.135-143.

真壁利明, 清水真佐男 (1996): 学科改組とカリキュラム改革-慶応大学理工学部の例-, 平成 8 年度工学・工業教育研究講演会, 教育システム (II), pp.15-18, 日本工学教育協会.

吉本圭一 (2003): 専門学校の発展と高等教育の多様化, 高等教育研究, 第 6 集, p.83-103.

Brooks, F.P. (1986): No Silver Bullet -Essence and Accident in Software Engineering, Proceedings of the IFIP Tenth World Computing Conference, pp.1069-1076.

Granovetter, M. (1973): The Strength of Weak Ties, American Journal of Sociology, Vol.78, pp.1360-1380.

IPSS/国立社会保障・人口問題研究所 (1990): いわゆる「1.57 ショック」, 国立社会保障・人口問題研究所による調査報告.

IPSS/国立社会保障・人口問題研究所 (2005):
第 13 回出生動向基本調査「結婚と出産に関する全国調査，夫婦調査」.

O’ Reilly III, C.A. and Tushman, M.L. (2016): Lead and Disrupt:
How to Solve the Innovator’s Dilemma, Stanford Business Books.

Stiglitz, J.E.(2006). ”Making Globalization Work,” W W Norton & Co Inc.

Tett,G (2015): ”The Silo Effect: Why Putting Everything in its Place isn’t Such a Bright Idea,”
Virago Press.

付録 A　専門学校の定義

2013　年、専門学校にとっては画期的な新制度が生まれた。文部科学省より提示された「職業実践専門課程」である。これは専修学校制度が始まった 1976 年以来の出来事である。更に文部科学省は 2014 年、職業実践専門課程を実践するための「認定校」を公表した（津田, 2015)。この職業実践専門課程の告示は、教育基本法の改正（2006　年)、学校教育法の改正（2007　年）を受けてのものであった。この改正の主な目的は、若者の変化（主に、ゆとり教育による）に対応するため「職に就くための教育を重視する社会」から「学業生活と職業生活を交互に営むことができる生涯学習社会」を重視する方向に舵をきることであった（津田, 2015)。

付録 B　日本工学院専門学校 電子・電気科における電気の定義

筆者らの所属する電子・電気科のオープンキャンパスにおいて、

- 電気をつくる
- 電気をおくる
- 電気をつかう

という視点で、電気の役割を敢えて分けることで、電気に携わる仕事の違いを重点的に説明している[*10]。その意図は、役割によって勉強する内容が異なる、取得する国家資格が異なる、そして就職する業種が異なってくる、ことを理解してもらうことにある。

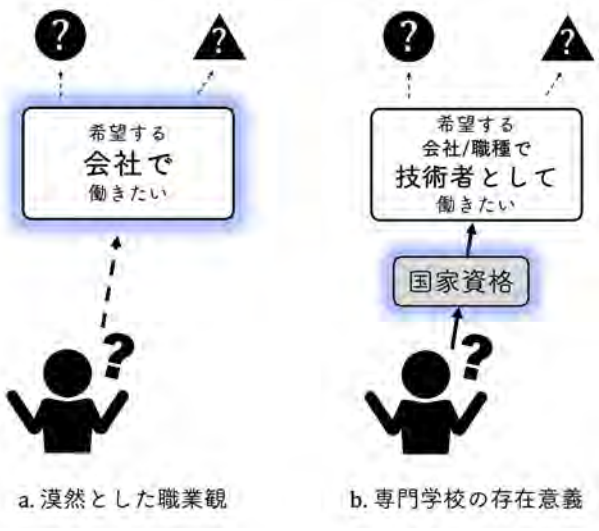


図 14: 「なりたい」と「なるためには」

専門学校教育は、社会で通用する技術者人材を育成するという点で大学教育とは一線を画す。従っ

[*10] 電気、という目に見えないモノをどの様に仕事と結びつけて説明するか。よく考えられたカテゴリーである。

て、所望する業種で技術者として働くためには、どの国家資格が必要かというがスタンスになる（図14-b）。

手に合う製品への挑戦　-製品化の可能性-

日本工学院専門学校　テクノロジーカレッジ　電子・電気科

林征恵　佐藤優樹　前田篤志

概要

我々は日本という限られた面積の島国に暮らしているため、日々の暮らしの中で空間を有効活用する創意工夫という術に長けている。それと同時に、ピアノを弾きたいという芸術的好奇心が、部屋の大きさという物理的制限に迫られ断念せざるを得ないという場面も経験してきた。もし、ちょっとした工夫で物理的な制限を克服することができたら・・・本論文はそんな発想のもと、PC キーボードとピアノ鍵盤の違いを端緒とし、結局我々は用途毎に手を製品に合わせに行っていることに気が付いた。それならば手に合う製品をつくることはできないのだろうか。こんな事を真剣に考える最後の機会として「手に合う」製品の可能性を卒業製作として追求したプロセスが本論文である。

1　はじめに

我々はある目的を達成する手段として無意識に用途別に製品を購入し、その製品の利用を様々なシーンで組み合わせることによって生活を成り立たせている。当然ながら、製品ごとに使用方法が異なるため、我々は製品ごとに使い方を覚えなければならない煩わしさと常に対面していると言える。これがソフトウェアの場合、「アップデート」という、ある一定の製品寿命サイクルを設けることにより、製品に予め使用期限を設定することができる。一方、ハードウェアは、物理的な破壊を伴わない限りその形状が変化することがないため、当該ハードウェアを代替するものが現れない限り、我々は半永久的にそのハードウェアに合わせにいかなければならない。これが、本論文における「人間が製品に合わせにいく」、つまり「使われている」を遡求することにつながっている。

1.1　問題提起

このような考えに至るきっかけは、現在の住まいで使用している製品を整理した際、目的を達成するための要素に共通点と相違点を見出したからである [9]。例えば PC が置かれている小部屋で、新たな趣味としてピアノを始めたいと考えたとする。部屋の間取りや敷居の高さを考えた場合、PC の他に趣味だけの為に生活空間を犠牲にし、新たにピアノを置くという選択は現実的には難しい。

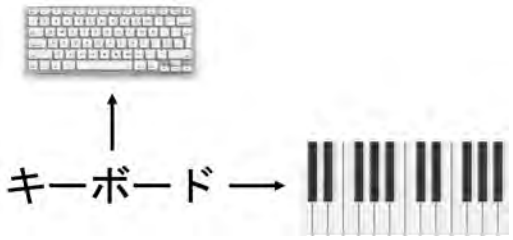


図 1: 共通点と相違点

例えば、PC に文字などを入力する部分の総称は「キーボード」と呼ばれる。一方、ピアノの鍵盤部分もまた、その総称は「キーボード」である。この両者の用途に主眼を置いて考えた場合、図 1 に示す様に、各々の使い道は全く異なる。つまり同じ名前（共通点）でも、その使い道は全くことなる相違点)。これが実際、限られた住環境内で共存させることが出来ないという切実な問題として筆者に降りかかった出来事である。

限られた空間内では、工夫とアイデアによって、より快適な生活スペースが実現出来る様に、日本の家屋建築はできている。つまり、日本では便利さと機能を共存させる発想は、生活の中で至極当たり前になっている。しかし前項で示した様に、既存の生活空間に「ピアノが弾きたい」と、新たな趣味を取り入れたいと考えた時、これまでの生活というバランスを崩さざるを得ない（あるいは、何かを犠牲にするという選択を強いられる)。

ここで、限られた生活空間の中で快適な生活が送れるのは、工夫とアイデアが「機能化」されているから・・・という前提に立ち、そこに「趣味」を持ち込むことによってバランスが崩れるのは避けられない事なのだろうか。更に言えば、年月を経ることによって生じる新たな「出来事」に対して、機能に特化した現行の住空間は、その「伸びしろ」で対応することはできないのだろうか。

2　構想設計

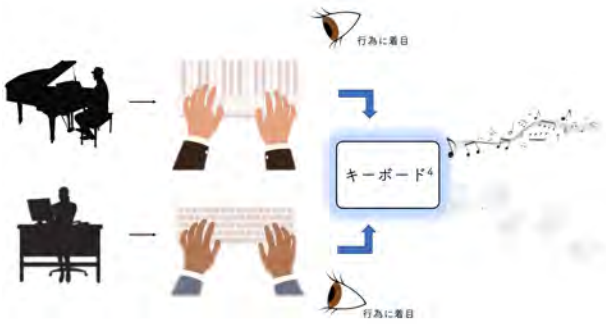


図 2: 行為に着目すると・・・

ピアノを弾きたい・・・PC も使いたい・・・けれどもそれらを置くスペースがない・・・両者を一挙に実現したいと考えるのは決して筆者だけではないだろう。そこで先ず、ピアノを弾く、PC で入力するという行為に着目してみた（図 2）。

ピアノを弾く場合、手が鍵盤を叩くことによってメロディーを奏でる。PC を使って文字や情報を入力する場合、やはり手がキーボードに指定されたキーを叩くことで、電子メールやドキュメントを作成する。どちらも手が用途別の製品に合わせることによって行為を実現しており、また、手の使い方（製品への合わせ方）によって、得られる結果が全く異なっていることがわかる。

ここで、ピアノを弾く、PC に入力するという行為に着目し、各行為を抽出すると、キーによる入力という共通項で両者を括ることができる。これより、

> この共通項をもしハードウェアで実現できたら、それは手が製品に合わせる必要がなくなるのではないか？

というアイデアが浮かび上がる。

2.1　Science で考えるべきこと、Art として捉えるべきこと

アイデアを構想設計に練り上げていく過程で、筆者らは「アート/Art」と「サイエンス/Science」で物事を捉えるという考えに辿り着いた [10][18]。これは物事を「効率化等をゴールに掲げ、機能をエンジニアリング的に追究していくサイエンスの視点」と「感情を豊かにするアートの視点」に分けて捉えるという考え方である [18]。別の表現を用いれば、定量的に捉えるべきか、定性的に捉えるべきか、と言い換えることができる。

2.1.1　Scinece の視点/定量的な捉え方

限られたスペースにどうやってピアノを配置するか・・・これは、有限領域における最適化問題で、かつて日本企業が最も得意としていた解決法である[*1]。

従って、筆者の卒業製作の原点である「部屋の中にピアノを置きたいが・・・」について、部屋の大きさという外枠が決まっているため、長さや容量という物理量との戦いになる。言い換えると、長さや重さという具体的な大きさのある世界なので、最適化問題に落とし込むことができ、Science が得意とする分野になる。この場合、最適化問題を製品として纏め上げるチカラが Engineering に相当する（図**??**-a）。

2.1.2　Art の視点/定性的な捉え方

これに対して、ピアノを奏でることによって生み出される音色、それを聴くことによって生じる感動はいずれも定性的で、それらを「量」として表すことができない。この場合、より美しいメロディ、

[*1] 例えば、第三世代携帯電話の設計プロセスにおいて、筐体内の限られたスペースで如何にアンテナ性能を引き出すかということにアンテナ技術者は日夜努力を重ねていた。ただし、携帯電話の性能はアンテナで決まるという大前提があったことに注意。

感動をひたすら求め続ける Creativity が要求される。更に言えば、Creativity にはコアとなるものが存在し、そこから様々な媒体を介してその価値が伝播していく。この時、媒体は音色であったり、人であったり、決して一様ではない。これが十人十色の感動を生み出す。更に、コアの周りに存在する媒体をインフルエンサーと見立てた場合、ネットワーク的に伝播していくと見做すこともできる。

2.2 手に合う製品という考え方

以上の考え方に基づくと、PC のキーボードは、入力部、センサー部など、複数の機能を組み合わせることによって出来上がった「製品」と見做せる（図??-b）。一方、ピアノについて筆者は、音を出すという単一の機能に絞っている点で「製品」であり、且つ「芸術品」であるというスタンスを採る。

この様な仮定に基づいた場合、前述のジレンマに対してどの様に応えるべきだろうか。

筆者の問いは極めてシンプルである。人間を豊かにするという Art の視点にたった場合、従来の製品ベースという考え方を解体する必要がある。つまり図 3 に示す「キーボード」という共通部分を中心に PC キーボードとピアノ鍵盤を捉えることを意味する。かなりエキセントリックな発想であるが、これが実現できれば確実に 2 つの製品をひとつにすることが可能になることは同図からもわかるだろう。これが筆者の考える「手に合う製品」というコンセプトである。この考え方を突き詰めると、製品に人間が合わせるという価値観の「その先」に一体何があるのだろうかという、全く新しい製品開発のカタチが見えてくる。ならば、「手に合う製品開発」という考え方を実現することが果たしてできるのだろうか。これが卒業製作を通じての筆者の壮大な問いの投げかけである。

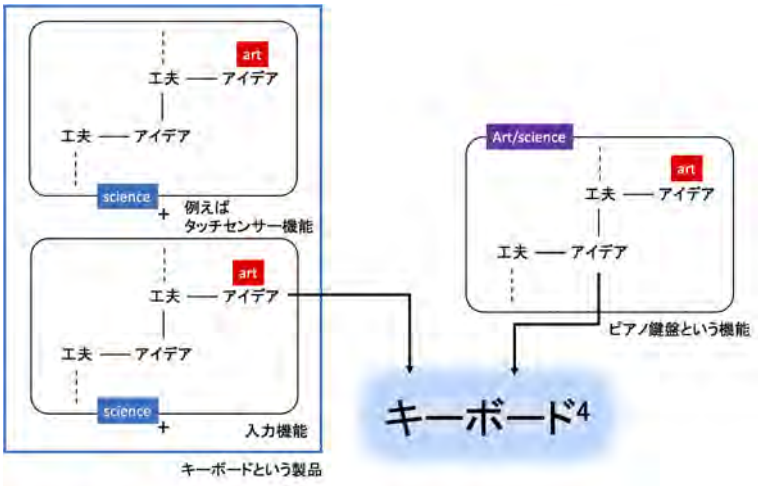


図 3: 手に合う/合わせる製品

3 リサーチ

とはいえ、前述の問いではあまりにも大きすぎて掴みどころがない。そこで先ず、これまでの製品の在り方について、手に合う製品/手が合わせにいく製品という視点でリサーチを行った。

3.1 手が合わせにいく製品（これまでの製品）に関するリサーチ

先ず前述で例示したピアノがある。ピアノは手を使って弾くと考えた場合、これはやはり手を使う製品とみなせる。ここで、手、特に指を使用する製品という視点で、他の製品を挙げると、PC のキーボードがある。PC のキーボードもまた、手を使うことによって何かをアウトプットするということに何ら変わりはない。そこで、同じ手を使う製品という視点から、ピアノとキーボードに焦点を当てリサーチを行った。

3.1.1　キーボード

文字や数字などのキーが盤上に一定の間隔で配列された入力装置と定義されている。

キーに対応する信号や動作を発生させ、他の操作や結果を出力する装置である。パソコンの周辺機器として使用するキーボードは、多くのスイッチを効率的に扱うため、少ない端子で入力操作を行うキーマトリクス回路が使用されている。その技術をたどると祖先はタイプライターだと言われている。タイプライターは文字盤を打鍵することで紙に活字を印刷する機械である。配列はピアノの形状から様々な改良がなされ [16]、qwerty 配列が現代の日本で広く普及している。

3.1.2　ピアノ

ピアノは、打鍵を行うと鍵に対応した弦を叩き音を発生させる鍵盤楽器の一種である。

20 世紀前半からは、音響部分が電気回路に置き換えられた電気ピアノが開発された。電気ピアノとは、弦から発生された音を電気信号に変換しアンプからスピーカーに出力する楽器である。1960 年代に入り弦を使用せず、打鍵を行うとセンサーの情報が全て電子回路に伝わり合成された電子音をスピーカーから出力する電子ピアノが開発された。アメリカの「アレル・オルガン・カンパニー RMI エレクトラピアノ」が最初期の電子ピアノと言われている。

日本では 1973 年に「Roland EP-10」が発売されている [23]。その後電子ピアノは進化していき、スマートフォンとの連携機能を持つ「カシオ Privia PX-870BK」が販売される。持ち運びの利便性に着目したモデルが登場している。折り畳みが可能であり「TAHORNG 折りたたみ式電子ピアノ」や、鍵盤が布状態の「カリーナ 61 鍵盤ロールアップ電子ピアノ」が挙げられる。

「TAHORNG 折りたたみ式電子ピアノ」は折り畳みにより横幅の縮小を可能とする。だが、切離しなどは不可能なため折りたたむ分高さが増加する。「カリーナ 61 鍵盤ロールアップ電子ピアノ」は布のような筐体を活かし柔軟な収納を可能とする。

前述したキーボードとピアノはどちらも打鍵を行い、結果を生み出すという点は同じだが、違う製品として世に普及・販売されている。また、同じ製品であるが搭載されている機能や消費者のターゲット層によって筐体が違い、差別化が行なわれている。

この事は、キーボードに限らず他の家電製品全般にも言えるだろう。用途によって異なる製品に対して、手は常に合わせにいく宿命にある。本論文の主旨に沿うのであれば、「製品目線」のプロダクトと言うことになる。複雑な作業を要する金型加工機や旋盤機などの業務用機械では、手が機械に合わせなければならない度合いは極めて高い。

3.2　手に合う製品に関するリサーチ

手に合う製品と聞いて、おそらく多くの人はスマートフォンを挙げるだろう。確かにスマートフォンやタブレットは、アプリケーションを操作するだけで簡単に作業することができる。スマートフォン等に搭載されたアプリケーションの操作上での不具合、不足分は「アップデート」という手法を用いて継続的な改善あるいは進化を続けることが可能である。「すべてをこの中に」という意味では、確かに筆者の実現したいコンセプトを体現している。しかしながら、これらの製品はすべてソフトウェアという「重さのない世界」[14] における統合で、筆者が目指すしているのは、ハードウェアという重さのある世界における統合である。

何故、重さのある世界での実現に拘るのか?

其処に専門学校での卒業製作の醍醐味があるから

である。

3.2.1　ハードウェアの統合

(1) エレクトロニクス製品の例

① 調理をベクトルとして捉えた製品群

一つの製品に複数の製品の機能が追加されている電化製品として馴染み深いのは、オーブンレンジ

であろう。一例として「象印 EVERINO ES-GT26」[17] を挙げる。これは、電子レンジとして内側から温める機能と、オーブンとして外側から加熱する機能を備えている。つまり本論文の主旨に沿えば、これ一台購入すれば様々な料理が可能になる。

例えば、オーブンレンジが誕生する前の調理方法は、「煮る」「蒸す」「茹でる」「焼く」など、調理の仕方によって同じ食材から様々な料理が生まれていた（図 4 左図）。つまり本論文の主旨に沿えば。調理方法が異なれば調理方法の数だけ調理器具を必要とする時代であったと言える。

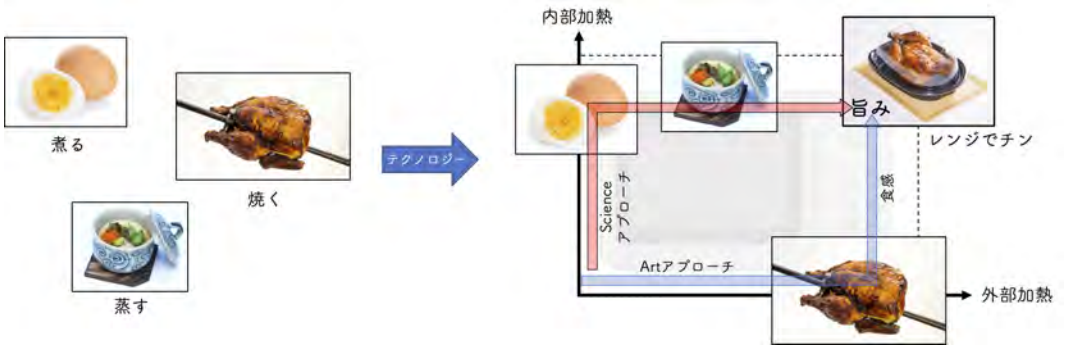


図 4: オーブンレンジ-料理を調理方法というベクトル面にトレース

オーブンレンジは、技術史からみると、電子レンジとオーブントースターとの統合から成り立っている [1]。マグネトロンという”Science”は、1960 年代のアメリカで電子レンジに適用される (”Engineering”) ことによって、製品技術という”Technology”に昇華した [6]。その後 1980 年代に、電子レンジとオーブントースターが統合された「オーブン電子レンジ」が誕生した [1]。

マグネトロンという Science を Technology に昇華させるための Engineering は新規開発の領域に相当する。新規開発を実施する場合、通常、MECE[*2]等のフレームワークを用いて、アイデア出し、抜け漏れをチェックする（アイデアの発散期）。アイデアが出尽くしたら、今度は「本当に要るのか?」という視点で、ひたすら減らす作業を繰り返す（研究/開発のパラメーターを減らす）[21]。図 4 において、マグネトロンをオーブン電子レンジに応用する新規製品開発の場合、調理方法というパラメータを減らす必要がある。ここで、対象となる料理自体が容器の中から動かないという前提を設ける事によって、料理に対して調理方法という世界から解放され、内外から加熱処理を施すというアイデアが可能になった [1]。つまりオーブン電子レンジの要諦は、多くの調理方法を「内側からの加熱（マイクロ波加熱）」と「外側からの加熱（オーブン）」というふたつのパラメータから成るベクトル平面に集約させたことにある。

確かに、調理方法を科学的に 2 軸に集約するだけなら簡単であるが、オーブン電子レンジが市民権を得たのは、そのベクトル設定のプロセスが我々の味覚を納得させる Trajectry（軌跡）を経ていたからである [22]。

これまで我々には、

> 「煮る」「蒸す」「焼く」などの調理行為（動詞）によって、料理の「美味しさ」が変わる

という共通理解がある。この場合の「美味しさ」は、人によって千差万別の定性量である。よって、名シェフの味、名料理人がプロデュースした店が繁盛する、という現象はいつの時代にも付きま

[*2] Mutually Exclusive and Collectively Exhaustive: 課題解決時、あるいはアイデア出しの段階（発散期）で、漏れなくダブりなく、論理を構造化するために用いる手法。人は考え事をすると、視野がどんどん狭くなり、細かいところにこだわり過ぎて全体が見えなくなってしまう。よって MECE を実施することによって、俯瞰的に全体を見ながら、漏れなくダブりなく論理の構造化を図ることができる。

とう。皆、「美味しさ」を求めにやって来る。

もし製品開発において、「美味しさ」の定義が定性的評価、つまり Art で捉える手法のみに依拠していたら（図 4 における青の Trajectry）、恐らくオーブン電子レンジは誕生しなかったであろう（仮に誕生したとしても普及はしなかっただろう）。オーブン電子レンジ市民権獲得のカギは、Technology に肖（あやか）っての「便利さ」だけではない。ここに「うま味（旨み）」[*3]という定量的評価（図 4 における赤の Trajectry）、つまり Science の視点を導入したことにある [22]。

以上より、単に 2 つの製品を統合すれば・・・という発想だけでは、

電子レンジ + オーブントースター=オーブン電子レンジ

という製品方程式は成り立たないことがわかった。本論文の主旨に沿えば、オーブン電子レンジのレベルで構想設計しなければ、ハードウェア的に製品をひとつにすることなど叶わないという示唆が得られた。

② 異なる機能を統合した製品例

次に、「炊飯器」と「パンを焼く」という、異なる機能を融合した「象印マホービン　IH 炊飯ジャー極め炊き/NW-VA10、NW-VA18」[17] という製品が販売されている。しかしながら、パン作りに必要な工程を賄（まかな）う機能が全部揃っているわけではなく、パンを作り終えるためには、アタッチメントの交換など、人の手を必要とする。

最後に、本研究の主旨に一番近い製品群として、アナログ入力に対応したキーボード「東プレ株式会社　REALFORCE108UH-ANLGJ」[8] がある。これは、キーボードの外形に MIDI コントローラー[*4]やゲームコントローラーの機能を搭載しており、これを使う為には別途、専用のソフトをインストールする必要がある。

3.3　リサーチから得られた結果

限られた時間の中で筆者がリサーチした製品達は、人の手を加えることで複数の機能を扱える製品であった。これらは正に「使う」製品の先駆けと言える。本項では、リサーチ結果を基に「なぜこれらの製品が販売され人気を博したか」について考察する。

製品を統合する際のメリット

理由 1 所謂（いわゆる）、時短、効率化というパフォーマンス値が高い
理由 2 電子レンジ + オーブントースター=オーブン電子レンジ → 省スペース化の実現

しかしながら、製品の統合を行う際のデメリットもまた存在する。

理由 3 2 つの機能を構想から設計せず、単純にソフトウェアを介して接続する場合、
　　所望の動作を実施するまでの階層が深くなり、結果として操作が複雑になる
理由 4 単に追加を機能して言った結果、冗長なシステムになる

また、リサーチした範囲内では、やはり

人間の手を製品に合わせた使い方を前提に設計開発されている

製品であることに変わりはない。

[*3] 甘味、酸味、塩味、苦味に次ぐ第 5 の味覚として 1985 年に世界的に公認された。うま味の強さは、グルタミン酸とイノシン酸の配合比で表すことが明らかになった事により、美味しさを科学的に分析することが可能になった。近年、第 6 の味覚として脂肪味が注目されている。

[*4] MIDI コントローラーとは DTM（デスクトップミュージック）製作を効率化するために使用する製品である。

4　リサーチ・クエスチョン

ここまでをまとめと;

メモ 1：これまでの製品は、やはり製品中心で考えられており、手が使われる製品である
メモ 2：複数の機能を実現できる製品の UI は複雑化/階層化しているため、
　　人が考えて使わなければ操作できない製品である

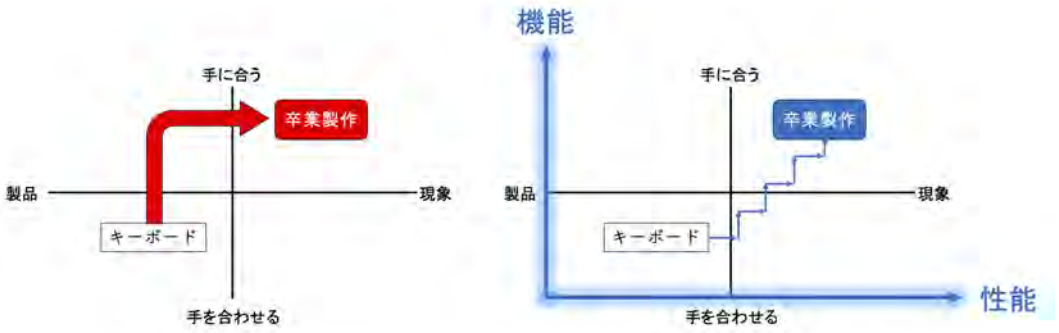
筆者が目標とする「手に合う」製品とは、① 一つの筐体に他製品の機能が複数搭載されており、② 消費者がアタッチメントの購入や手数を加えることなく、③同じ動作を行う全製品群の機能が扱える製品である。

ふり返ると、卒業製作のトリガーは、限られたスペースで、PC も使いたい、ピアノも弾きたいという筆者自身のジレンマであった。

やはり、PC とピアノの共通項であるキーボードのハードウェア化は、荒唐無稽なのだろうか?

4.1　温故知新 -オーブン電子レンジのケーススタディから何を学んだのか-

前述した様に、筆者が標榜する「手に合う製品」は、その手掛かりとなる製品すら見つからないという状況である。確かに「手に合う製品」の実現は図 5-a に示す様な Trajectry を想定しがちになる。しかしこの Trajectry は理想的で、これを実現出来る Engineering 手段は存在しないだろう。そこで、筆者の想いを卒業製作という現実のモノに落とし込むためには、何らかの手段を講じる必要がある。



a. 卒業製作の方向性/Phase 2　　b. 卒業製作を実現するためのプロセス修正/Phase 3

図 5: 卒業製作を実現するための新たな思考軸の設定

これまで筆者は、オーブン電子レンジのケースから、電子レンジとオーブントースターを単に統合するのではなく新たな製品として上梓するためには、構想設計が重要であるということを学んだ。更にその過程で、設計パラメータを少なくすることが新製品開発の要となることを学んだ [21]。そこで、図 5-b に示す様に、

手に合う製品を実現するプロセスを機能と性能に因数分解

して、各ステップを達成することにより、手に合う製品に段階的に近づけるという方法を採用する [11]。この様な漸近方式の Engineering を実施することにより、

RQ: 製品設計プロセスにおいて、図 5-b に示す段階的な軌跡 (Trajectory) を実施することが今回の卒業製作の要になるのではないか。

というリサーチ・クエスチョンを立てることが可能になった。

5 基本設計

これまでの卒業製作アプローチ（図 5-a）は、ひとつの製品が柔軟に変化することによって、筆者の意図を実現する事を目指していたが、実際のモノに落とし込む手段を考えた場合、このアプローチでは、非現実的であることが判明した。本来の目的は、キーボードという「共通点」を活かすために、ピアノの鍵盤と PC のキーボードという「相違」の共通化を図ることである。

この障壁を解決するために、「図 5-a のアプローチを「性能」と「機能」というカテゴリーに因数分解してみては?」というアドバイスを指導教員より頂くことができた [11]。

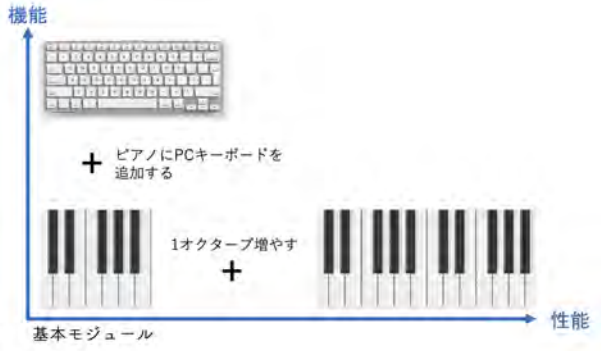


図 6: 卒業製作プロセスを機能と性能に因数分解

そこで本論文では、図 6 に示す様に、卒業製作プロセスを「機能」と「性能」軸に分け、

- ピアノの鍵盤、PC のキーボード等、固有の役割 → 機能
- ピアノ鍵盤の場合、1 オクターブ増設すること → 性能（の拡張）

と定義することにする。

この様に、構想設計の項で示した Trajectory に、「性能」と「機能」という新たな軸を設けることによって、卒業製作を実現可能な形として段階的なアプローチに落とし込める様にした。

6 製作方法

図 6 に示す様に、卒業製作プロセスを機能と性能に因数分解することによって、確実に「手に合う製品」の実現に漸近する場合、機能、性能はそれぞれ簡便に拡張/増設できることが望ましい。つまり、機能方向、性能方向への拡張には共通のインターフェイスを設定し、モジュール間をシンプルに接続するモジュラー型アークテクチャの構造にしなければならない。モジュラー型アーキテクチャについては次項で説明する。

6.1 アーキテクチャという考え方

アーキテクチャとは、複雑なシステムは「多様に関連し合う多くの部分から成る人工物 (artifacts)」であるという Harvart Simon の考えに立脚している [24]。この考えに基づくと、製品は、時間の経過と共に構成要素やその関係性が変化していくシステム構造を持つと定義できる。さらに製品は、市場環境やニーズの変化、あるいは技術の進化や社会構造の変化等の影響を受け、デリバリーされた当初よりも複雑なシステムへと変貌していく [13]。Simon[24] に従えば、システムが複雑になるとは、

「システムを構成する要素（モジュール）の数が増加する」、「構成要素間の関係性が増加する」、ことを意味する。ここから「どのようにして製品を構成部品に分割し、そこに製品機能を配分し、それによって必要となる部品間のインタ ーフェースをいかに設計・ 調整するか」に関する基本的な設計構想が発想されてきた [5]。アーキテクチャ理論では、インターフェイスの重要性が肝になっているが、ここに至るまでの過程は、重層的な研究の成果に因るところが大きい [19]。

Ulrich は、人工物のつながり方に着目して、製品アーキテクチャを相対的にモジュラー型とインテグラル型の 2 つに大別した [26]。Ulrich がフレームワークを示したことによって、1990 年代には様々な産業のアーキテクチャ分類が行われた。

6.1.1 「どの様に分けるか」より「どの様につながるか」

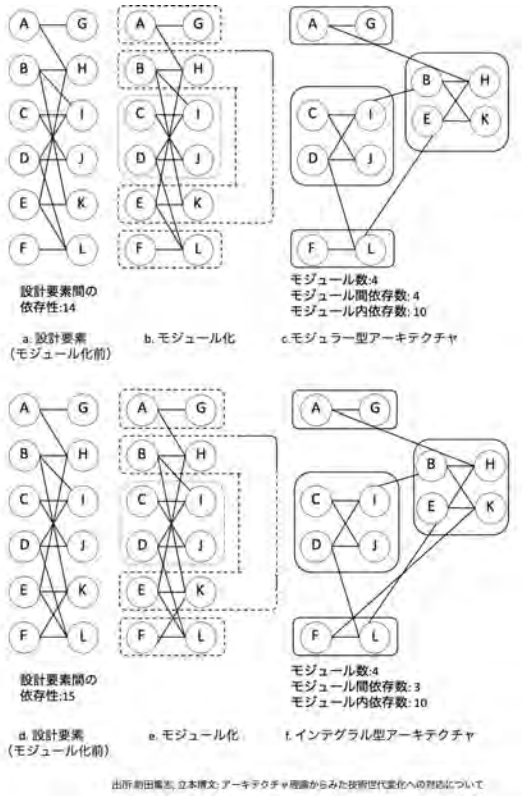


図 7: モジュラー型アーキテクチャとインテグラル型アーキテクチャ

Simon[24], Ulrich[26] を基に、モジュール間のつながりに着目するのが、アーキテクチャという考え方である。例えば、製品を構成する機能と構造をどの様につなぐかに関する基本的な設計構想は製品アーキテクチャとなる。図 7 は、製品アーキテクチャの視点でシステム設計要素における依存関係の違いを示したものである。同図 (a) の様な依存関係にある設計要素を、つながり毎にモジュールにまとめると、(c) の様になる。モジュールに分けられた 4 つのブロックは、それぞれが 1:1 のシンプルに接続していることがわかる。これをモジュラー型アーキテクチャという。

これに対して、図 (e) の様な依存関係にあるシステムをモジュールに分割し、まとめると (g) の様な、各モジュール間に複数のつながりが存在する 4 つのブロックになる。これをインテグラル型アーキテクチャという。Baldwin & Clark(2001) は、このつながりの形（インターフェイス）に着目し、「モジュール間の連結ルールが決まると、個々のモジュールの設計や改善は、他のモジュールから自立して行われる」という「デザイン・ルール」[20] を示し、インターフェイスの重要性を主張した。これは、インターフェイスが定義できれば、それと切り離してモジュール内を独立に進化させることが可能になることを意味している [20][15]。

7 詳細設計

まず、「キーボードによる入力」と「ピアノを弾きたい」という二つの目的の両立を最低限のゴールに設定し、そこから「手に合う製品」へ向けて、機能と性能に因数分解する作業を実施した（図 8）。

具体的には、ピアノ鍵盤（1 オクターブ）を基本モジュールとし、このモジュールで PC キーボードも兼用する。このモジュールに対し、機能の拡張としてラジオモジュールの追加、性能の拡張としてピアノ鍵盤の 1 オクターブ増設を想定した。

7.1 設計フローチャート

卒業製作期間内に確実実現するために、先ずは、基本モジュール（ピアノ鍵盤 兼 PC キーボード）に性能を拡張する（ピアノ鍵盤の 1 オクターブ増設）ことをゴールに設定し、この場合の設計条件の

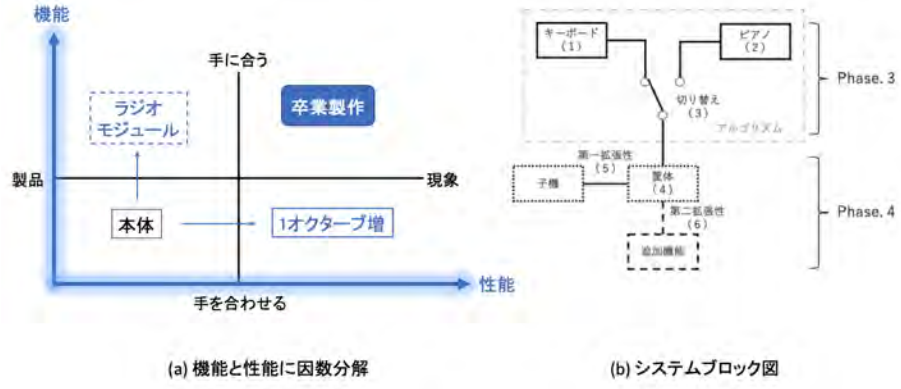


図 8: 卒業製作プロセス

検討を行った。この場合「手に合う製品」へ近づく最低限の条件として

(1) PC キーボードの機能が使えること
(2) ピアノの機能が使えること
(3) (1) と (2) の機能が簡単動作（ボタンひとつ）で切り替えできること

を自らに課した。

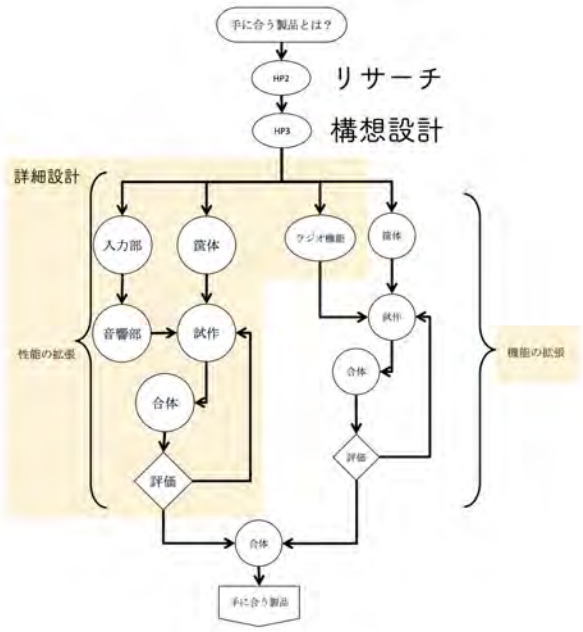


図 9: 設計フローチャート

(1),(2),(3) はいずれも卒業製作本来の目的である。これを具現化の為に咀嚼（そしゃく）すると「同じ筐体でキーボードによる文字入力やショートカット機能と、ピアノとして音を奏でる機能が使用できる」となる。これが正しく筆者の実現したいアイデアのコア部分に相当する。従って、これらは卒業製作を完成させる意味では必要条件になる。

具体的な設計プロセスを図 9 に示す。上記の設計必要条件は、同図における構想設計での検討に相当する。

(1) PC キーボードを表現するアルゴリズム

キーボードは、ショートカットの処理やゲームのコントローラーなどの文字入力以外を行う機能を有したキーボードを目指す。

(2) ピアノを実現するアルゴリズム

ピアノ機能による演奏をより具体的なものにするため、まず基準である”C4”から 1 オクターブ分の実装を目指す。また黒鍵と白鍵を 3D プリンタで造形し、販売されているピアノに近い形を目指す。

(3) 切り替え機能のアルゴリズム

SW が OFF と認識した時キーボードの処理を行い、文字入力やシュートカットが可能となる。ON と認識した時ピアノの処理を行い、スピーカーから音が出力される。

更に、実装を想定して、以下に示す制約を敢えて課すことにする。

(4) 筐体はコンパクトでなければならない
(5) 性能の拡張
(6) 機能の拡張

本提案の主旨に沿えば、キーボードとピアノを一体化したものが手の大きさを遥かに超える筐体では話にならない。また前述より、目的に合わせて様々なデバイスを繋ぐことができる機能こそが本来の拡張性であろう。これに従えば、拡張性は、(5)、(6) という 2 ステップに分けて実装するのが現実的な落としどころであろう。

(4) 筐体はコンパクトでなければならない
メインボードとして SeeduinoXIAOSamd21 を使用する。このマイコンは、他の選択しうるマイコンに比べて、非常に小さいので、小型化に有利だと判断した。実際のピアノに手を当てて確認したところ、筐体外装の大きさは約 10[cm]×10[cm] に収まることがわかったが、PC キーボードの機能を考慮した場合、入力部の間隔をピアノより狭めると、よりフィットすることがわかった。そこでアクリル素材を使い、筐体は約 10[cm]×10[cm] に収め、入力部を販売されているピアノより狭める。

(5) 性能の拡張
具体的には、ピアノのオクターブを増やしたり、キーボードのキーの数を増やしたり等、性能の拡張には既存機能を強化する働きがある。個々のモジュールにはそれぞれ違う性能や機能を持たせており、各モジュールが各々通信処理を行う。他のモジュールが信号を認識した時、信号に対応した処理を独自に行う。モジュラー型アーキテクチャの特性を活かし、複数のモジュールを同時に接続してもシステムとしてシームレスな動作ができる仕様を目指す。

(6) 機能の拡張
具体的には、ピアノとキーボードに加えて、ラジオ受信機の機能を新たに追加するといった、機能自体の追加を図る。

(5),(6) の拡張を実現する手段としては、デイジーチェーン接続を採用している。PC との接続点を一つに絞りモジュール同士をシリアル接続する。通信方式として I2C 通信を採用する。実験では URAT 通信を実装したが、複数モジュールをシリアル接続した場合、信号のコンフリクトが起こり、接続したモジュールの信号処理が行えない問題が発生したため、I2C 通信に変更した。

8 回路製作

前項で示した設計フローを基に、各モジュールの製作状況を説明する。

8.1 入力部

PC キーボードとピアノ鍵盤の融合を実現するために、入力処理は同じ回路基板で行う。
(1) ハードウェア部分の製作
使用しているメインボード「Seeeduino XIAO Samd21」は端子が 14 本しか存在しない。そのうち 3 本は電源用端子、4 本を通信用端子として利用しているため、入力部に利用できる端子は 7 本のみになる。しかしながら音響部分に接続する端子も存在するため 7 本では不足することがわかった。そのため、IC(74HC165) を使用し入力ピンを増やす工夫を施した。これにより 4 本の端子で最大 8 個の入力部品が使用できるようになった [7]。
また、入力時の動作を簡略化するために、入力部品にはタッチセンサを用いて入力動作を接触方式に限定している。

(2) ソフトウェア部分の製作
メインボードは、使用する IC から送信された状態を読み込み入力処理を行う。そのため、送信される信号処理を行うプログラム文 [3] を新たに使用した。最初に試作したショートカット用キーボー

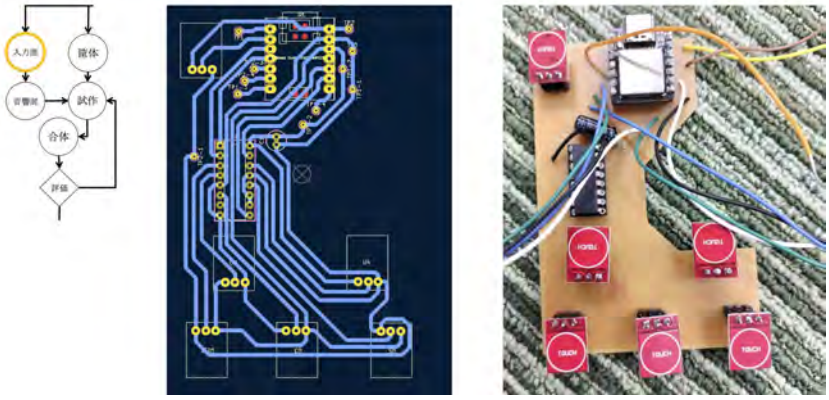


図 10: 入力部の製作

ドは、Ctrl キーの処理をアナログ的に行い、1 つの入力部品に 2 本の信号線を接続している状態であった。この方法では、他モジュールと比べて入力用端子が 1 本多いため、特別な基板を用意しなければならなかった。これでは他のプログラムへの書き換えや修理時に不便を来す。そこで、プログラム内で Ctrl キーの処理を施すことによってデジタル的にショートカットキーの処理ができる様に変更を加えた。これによって、他モジュールと同じ基板での作業が可能となった。

8.2 筐体製作

(1) 試作

筐体製作には、図11の様な、入力部および音響部の回路基板（両面構造）を内蔵し、かつ、今後拡張する際に必要な通信機能の実装を考慮した形状が求められるため、オリジナル設計を要する細かい造形が求められる。そこで 3D プリンタを用いて筐体を製作した（図 11）。ベースとなる筐体デザインについて、今回の製作では、基本モジュールをピアノにしているため、黒鍵と白鍵に合わせた意匠がベースとなっている。他モジュールと通信する接続部分については、着脱が容易で、かつコネクタ部分に力が加わっても破損しない程度の頑丈さが必要になる。そこで同図-c に示す様に突起部分を設け、嵌合接続を採用した。

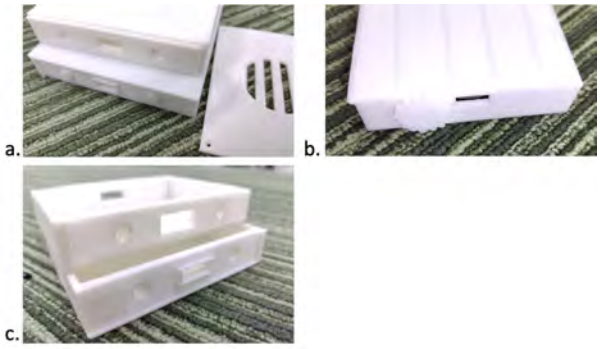


図 11: 筐体の製作

9 まとめ

最後に本製作の振り返りを行う。電子工学コースの卒業製作は原則として 1 人 1 テーマの製作なので、以下に記す 2 点は特に重要であった。

(1) 作業人員の確保

本製作を 1 人で進めていたが、決められた期間内で本製作と、発表資料や論文の製作に加え、学生生活の試験をすべて遂行するのは困難であった。人員の確保による作業分担や情報の共有などの手間が増えるが、並行作業が可能になるため効率が高くなる。また、作業分担により 1 つの作業にかけられる労力が増加するため、クオリティの向上に注力できる。そのため、製作を始めるうえで作業人員の確保が重要だと推測する。

(2) 試作

本製作は、まずソフトウェアのプログラム製作を行い、ハードウェアの外形製作に注力した。プログラム製作はもちろんのこと、筐体の外形製作にも多くの時間を消費した。3 D プリンタで外形の出力中は他作業を進められるため、効率化が図れた。また外形は、試作で大まかな造形や改善すべき点が可視化されるため、他の製作物との全体的な均衡を保ちやすくなる。そのため、プログラム製作時点で外形製作にも着手しておくと作業をより円滑に行えたと推測する。

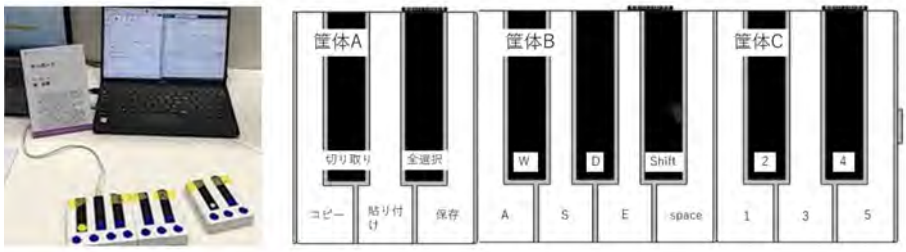


図 12: 卒業製作展に展示した完成品

上図が今年度の卒業製作展に発表した完成品である。ピアノの鍵盤をベースとして、各鍵盤に PC のキーボード入力キーを割り当て、実際に実演することができた。

正直、自分でも「手に合う製品」という壮大なテーマに挑んで、果たして何処まで理想を実現できたかな・・・と感じる部分はある。しかしながら、今春から社会人になる身分として、こんな荒唐無稽なことに挑戦できる時間が「卒業製作」であったと考えれば、電子工学コースでの学びは無駄では無かったと素直に思える自分（筆頭筆者）を褒めてあげたいと思う。

謝辞

本論文の作成にあたり、多くの方々にご指導ご鞭撻を賜りました。

担当教員の日本工学院専門学校工業専門課程電子・電気科電子工学コース佐藤優樹先生には終始適切なご指導を賜りました。ここに深謝の意を表します。また、同学科教員 前田篤志先生には、本論文の作成にあたり、副査として適切なご助言を賜りました。感謝申し上げます。最後に、同学科の有川氏並びに葛西氏、三辻氏には、本製作の遂行にあたり多大なご助言、ご協力頂きました。ここに誠意の意を表します。

参考文献

[1] 一般社団法人 家庭電気文化会: http://www.kdb.or.jp/index.html（2024 年 2 月 24 日確認）.

[2] 紀 央 電 子: http://www.kio-denshi.com/hp/index.php?Technical\%20Information（2023 年 12 月確認）.

[3] きむ茶工房ガレージハウス: 入力するピンが不足した場合に入力ピンを増やす方法,http://zattouka.net/GarageHouse/micon/circuit/HC165.htm（2023 年 12 月確認）.

[4] 柴田書店 編: 「だしの基本と日本料理 -うま味のもとを解きあかす」, 柴田書店, 2006.

[5] 新宅純二郎: アーキテクチャ分析に基づく日本企業の競争戦略, 東京大学 COE ものづくり経営研究センター MMRC Discussion Paper, MMRC-J-54,2005.
[6] https://www.tdk.com/ja/tech-mag/ninja/005「電子レンジのマグネトロンの巻」, じしゃく忍法帳, 第 5 回（2024 年 2 月 24 日確認）.
[7] 東芝: CMOS デジタル集積回路 シリコン モノリシック TC74HC165AP, TC74HC165AF https://toshiba.semicon-storage.com/info/TC74HC165AP_datasheet_ja_20140301.pdf?did=11159&prodName=TC74HC165AP（2023 年 12 月確認）.
[8] 東プレ株式会社: https://www.realforce.co.jp/products/discontinued/108UH-ANLG_AFAX01/ （2024 年 2 月 24 日確認）.
[9] 林征恵: プライベート・ディスカッション, 卒業製作 Phase1, 2023 年 8 月.
[10] 林征恵, 前田篤志: プライベート・ディスカッション, 卒業製作 Phase1, 2023 年 9 月.
[11] 林征恵, 佐藤優樹: 性能と機能, プライベート・ディスカッション, 卒業製作 Phase1, 2023 年 11 月.
[12] 林征恵: キーボード^3, 日本工学院専門学校 電子・電気科 電子工学コース, Phase3 発表会（卒業製作中間発表）, 2023 年 12 月 19 日.
[13] 藤本隆宏 (2009). 複雑化する人工物の設計・利用に関する補完的アプローチ, 横幹, 3 巻, 1 号, 横断型基幹科学技術研究団体連合, pp.52-59.
[14] 藤本隆宏 (2017). 「現場から見上げる企業戦略論-デジタル時代にも日本に勝機はある」, KADOKAWA.
[15] 前田篤志, 立本博文: アーキテクチャ理論からみた技術世代変化への対応について, イノベーション・マネジメント, No.18, 法政大学イノベーションマネジメント, 2021.
[16] 安岡孝一: QWERTY 配列再考, Vol. 47. No.12 掲載の「QWERTY 配列」へのコメント, 8 巻, 2 号, pp.115-118, 2005.
[17] 象印: https://www.zojirushi.co.jp/corp/news/2022/220727-02/ESGT.html（2023 年 7 月 27 日確認）.
[18] Joseph M. Hall and M. Eric Johnson: When Should a Process Be Art, Not Science?, Harvard Business Review, Mar., 2009.
[19] Henderson, R.,M. and Clark, K., B.: Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms, Administrative Science Quarterly, Vol.35, pp.9-30, 1990.
[20] Baldwin,K.Y.and Clark,K.B.:“Design Rules, The Power of Modularity Volume 1”,MIT Press, 2001. 邦訳「デザイン・ルール -モジュール化パワー」, 東洋経済新報社, 2004.
[21] A. Maeda: RF Management, Lecture, Anderson Business School of Management, University of California, Los Angles, Q3-Q4 Semester, 2007.
[22] Ole Mouritsen,and Klavs Styrbaek: ”Umami: Unlocking the Secrets of the Fifth Taste,” Columbia University Press, 2015.
[23] Roland: https://www.roland.com/jp/promos/piano_design_awards/history/（2023 年 7 月 27 日確認）.
[24] Simon,H.A.: ”The Sciences of the Artificial”, MIT Press,1969.
[25] Tandem: ”It’ s Been 15 Years: Here’ s How the iPhone Has Influenced UI Design,” https://madeintandem.com/blog/14-years-heres-iphone-influenced-ui-design/（2024 年 2 月 24 日確認）.
[26] Ulrich, K.T.: The Role of Product Architecture in the Manufacturing Firm, Research Policy 24 419-440, 1995.

全国専門学校電気電子教育研究会　加盟校

【会員校】

東北電子専門学校	980-0013	宮城県仙台市青葉区花京院 1-3-1
新潟工科専門学校	950-0932	新潟県新潟市中央区長潟 2-1-4
中央工学校	114-8543	東京都北区王子本町 1-26-17
専門学校東京テクニカルカレッジ	164-8787	東京都中野区東中野 4-2-3
日本電子専門学校	169-8522	東京都新宿区百人町 1-25-4
読売理工医療福祉専門学校	112-0002	東京都文京区小石川 1-1-1
日本工学院専門学校	144-8655	東京都大田区西蒲田 5-23-22
日本工学院八王子専門学校	192-0983	東京都八王子市片倉町 1404-1
名古屋工学院専門学校	456-0031	愛知県名古屋市熱田区神宮 4-7-21
九州電気専門学校	812-0018	福岡県福岡市博多区住吉 4-4-5
麻生情報ビジネス専門学校	812-0016	福岡市博多区博多駅南 2-12-32
熊本工業専門学校	861-8038	熊本県熊本市東区長嶺東 5-1−1

【賛助会員】

株式会社ビーフォーシー	168-0065	東京都杉並区浜田山 4-16-18

紀要 専電研 Vol.7

発行日：令和 6 年 8 月 2 日
発　行：全国専門学校電気電子教育研究会
発行者：船山世界
事務局：〒169-8522 東京都新宿区百人町 1-25-4
学校法人電子学園 日本電子専門学校 内
TEL 03-3369-9333(職員室)　E-Mail kookawa@jec.ac.jp