



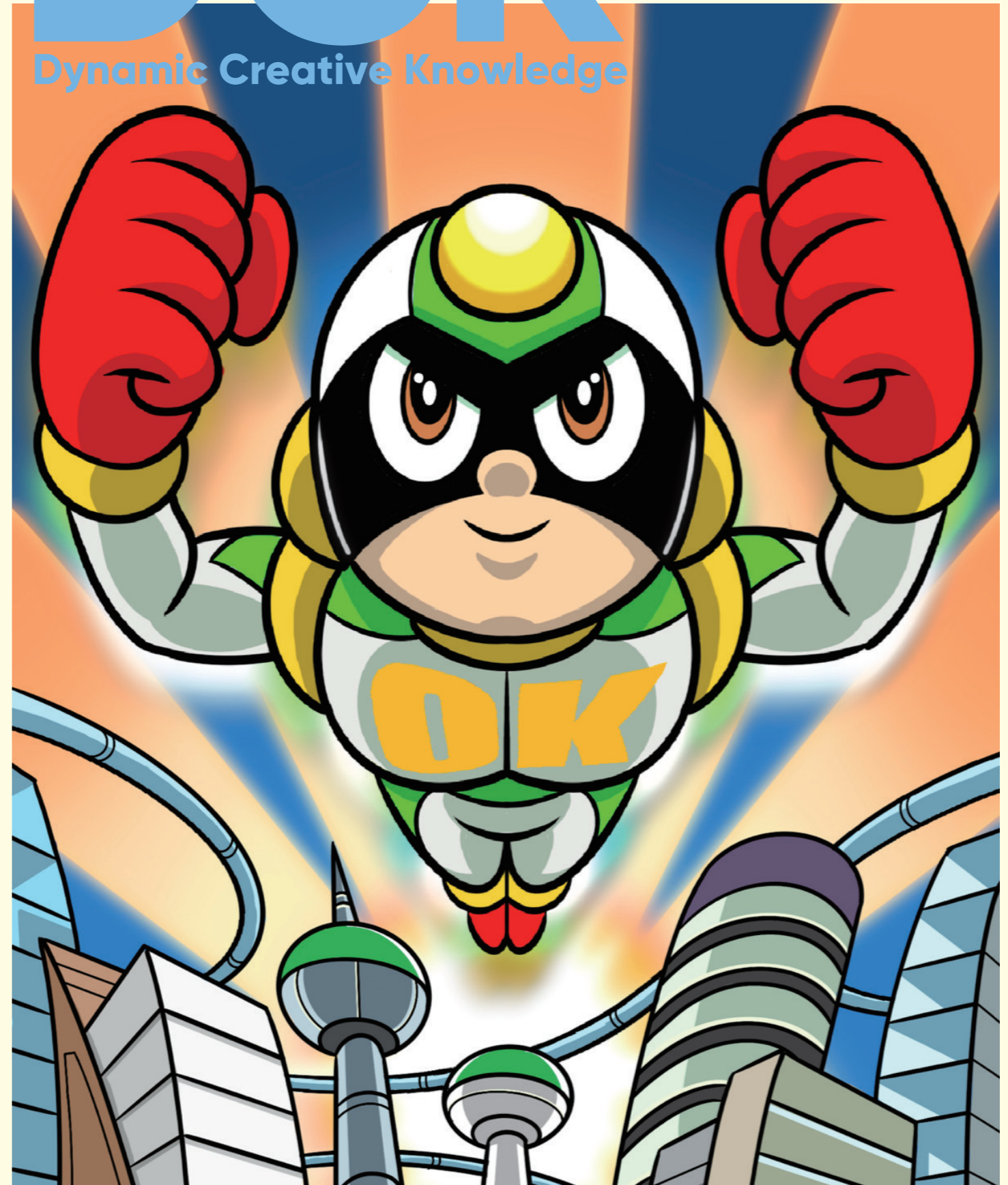
DCK : Dynamic Creative Knowledge

Vol. 1 MARCH 2023

DCK

Dynamic Creative Knowledge

Vol. 1
MARCH 2023
特集 実践報告：専門職教育



Cover Art by Takaya Imamura

IPUT OSAKA
大阪国際工科専門職大学
International Professional University of Technology in Osaka

IPUT OSAKA

大阪国際工科専門職大学

目 次

巻 頭 言	吉川 弘之	1
総説		
6G サービスが提供する IoT と AI のプラットフォームとセキュリティ対策	味戸 克裕・張 毅波	5
整数階でない微積分とニューラルネットワーク	村瀬 一之	13
研究ノート		
『フランダースの犬』の中の老樵ミシエルの絵・コンクールでネロが描いた絵を読み解くー	李 春美	19
<特集 実践報告：専門職教育>		
レポート		
Obniz マイコンボードと LEGO Mindstorms Ev3 を用いた IoT システム開発実習の教材開発	味戸 克裕・原 秀樹	29
デザインエンジニアリングの実践	志方 宣之	35
大阪国際工科専門職大学における数学・物理の補講の重要性について	林越 正紀	39
大阪国際工科専門職大学における英語教育の報告	李 春美	43
編集後記		49

巻 頭 言

大阪国際工科専門職大学で紀要を発行することとなった。紀要は同じ専門分野の人たちが研究成果を発表する学会誌と違い、大学の一員が自由に表現したいことを述べる場であり、大学の内部は勿論、社会を構成しているさまざまな人に対して語りかけるものであり、いわば大学の顔であると言ってもよいだろう。多くの大学で紀要が発行されているが、それをみると大学で行われている研究だけでなく、大学の思想も語られているように思われる。

現在我が国には多くの大学があるが、それぞれ教育、研究の分野に特徴があり、それに従って特徴的な紀要が発行されている。それでは専門職大学という新しいカテゴリーの大学を作りつつある私たちの発行する紀要はどのようなものになるのか、既に投稿が決まっている著作の題名をみると、そこには専門職大学固有の内容があって、発行が期待される。

専門職大学とはなにか、これは開学準備ではもちろん、開学してからも日常的に考え、議論してきたと思う。私自身、長い間伝統的な大学というカテゴリーに身を置きながら、そこでの教育研究の将来を考えるなかで、多くの問題があるが大学と社会との関係について、特に社会と関係していくときの学問のあり方、そして教育の場がそれによってどのように変わっていくのかについてより深い検討が必要だと思いつけていたのだ。そのなかで、大学の学問は、理系も文系も、存在する対象の、それも限定された範囲での存在を分野として選び、その分析によって理解を深めることが主な関心であり、新しいものを作り出す「行動」については分析結果の応用として演習問題と位置付けられているに過ぎないことになっていた。しかし分析でいくら深い理解に到達しても、それだけで善きものを創出する事はできないので、善き社会を作るために必要な学問として、作るという行動の方法についての学問、デザイン学が必要であるという結論に達し、工学の分野にいた私は「デザイン学」を中心におく学問体系を考えていた。これらの思索を通して、「社会の中のデザイナー」という概念に到達した。そして現在、この言葉は我が大学では専門職大学を表現する一つの言葉として定着していると思う。

私たち人間は、常に考え、行動している。その内容は多様であるが、そのうちの多くは、社会に働きかける行動である。そして環境に何らかの影響を与える。環境は人類を取り巻く自然、生態系、人工物などであるが、それらにたいする影響は、社会を通じておこなわれると考えられるから、私たちの行動が社会に与える影響と考えてよいであろう。

「社会の中のデザイナー、Designer in Society」を言葉通りに読めば、社会に対し、デザインという行動で影響を与える人ということになる。そこで、ここに現れる「社会」と「デザイン」という言葉について、理解しておくことが必要である。

私たちは自分の周りに社会が存在していると考え。原理的に言えば、社会とはすべての人々であり、その多様な人々は自分と同じように環境の中においてそれぞれの行動で環境に影響を与えている。この事は、現在の地質学に於ける時代が「人新生 anthropocene」であるという考えに示されている様に、人類の行動が、地球を地質学的に見るときこれまでとは違う新しい世紀になったと言われる事と関係するが、現在の地球環境の変化を見ればそのことが実感される。したがって、私たちは自分の社会の中での行動

が、環境に何らかの影響を及ぼすことを感じながら生きていると言ってよい。

しかしその影響をはっきりと描き出すことは私たち一般人にとってはできない事である。私たちがその影響を理解するのは、環境専門家たちの研究成果によって人類全体が、地球環境にどのような変化を与えるかと言う、巨視的な視点、それは研究成果、学説、などの公的知識として発表され、私たちに伝わるのであるが、それを私たち一人ひとりの行動原理にすることは難しい。

現実にはこれらの専門研究者たちの成果を基に環境学と言う知識をつくり、これに基づき環境の危険な状況を克服するために国連が世界に宣言し、また各国の協力の仕組みを作り、そしてそれに基づき各国が政策を決め、各国の産業、そして個人が行動するという形が定着してきたといえるであろう。現在この枠組みは、あらゆる分野の行動、すなわちデザインに関係するものと考えられていて、その意味では大きな成功を達成したと言うことが出来るのであるが、現在の世界の状況をみれば、人類が抱えている問題全てが解決されるとはとても言えない状況にある。現在の悲惨な戦争、感染症の過酷な影響、SDGsで示された17の困難などは、すべて排除したいものであるが、その見通しは立っていない。これはなぜか。

私は自らを振り返って、一つのことに気づかされている。それは学問を研究する立場で何が問題かをいつも考えていた中で、問題を対象として考えていた事である。ここで述べてきた社会の課題を考える時、いつも社会を外に存在する対象として考えてきたと言うことである。

自分が社会の中の一員であることを忘れ、社会は自分を取り巻く環境だと考えている。従って外から見ながら善き社会を作る方法を考えていたと言えるであろう。実はこの考え方は、科学研究においてどんな対象についても正しいことが一般に認められているものである。しかし、社会を対象として考え研究する、そして善き社会を求めて行動する場合、これとは違う視点がある。それは自分が社会の一員であるという認識に立つ視点である。ここでその視点を、「社会を内側から見る視点」と呼んでおこう。

社会を内側から見るとどのような風景が見えるのであろうか。大阪国際工科専門職大学に身を置くとして考えれば、まず家族や友人、職場の同僚がいて、大学を運営する人々がいる。そしてここで学ぶ学生がいる。本学の特徴として、地域の産業との協力があり、いろいろな経験を持つ人々出会う。また本学に入学したい人々も見える。本学を卒業する学生は、社会にでて教員と同じ風景がみえる身近な人々である。

社会の内側に立って見ると、自分を中心として実際に対話する身近な人々にはじまり、その人たちの先にはまだ会ったことは無いが、いろいろな構造を作ってじぶんとのかかわり方を考えることのできる社会の人たちが広がっている。そのなかには、遙か遠いところに総理大臣もいるであろう。

このような社会を内側から見る視点を持っている人は、自分の行動が社会にどのような影響を与えるのかを感覚的に捉えることができると考えて良い。外から見ると人は、社会に課題がある時、その課題を分析し、科学的に記述し、専門が必ずしも同じでない第三者である行動者に渡す。そしてそれを渡された人は、あらためて分析結果に基づいて自らの行動をデザインすることになる。これは現在の行動者が行動するために従わなければならない過程であるが、その過程はデザイン学で考えると複雑で難しい過程なのであり、正解としてのデザインにはなかなか到達出来ない。

これを解決するのが、「社会の中のデザイナー」という専門職なのである。専門職は、上述した様な社会が抱える多様な課題を実感している人たちであり、それを技術による行動で解決しようという動機

を持っている。それは本学で言えば人工知能、ロボットなどの情報技術、またアニメーション、ゲームなどの情報芸術を身につけた人達であるが、その技術の単なる知識だけでなく、これらが社会においてどのような役割を果たすかを熟知しているデザイナーである。

このような専門職が育って行く場所が専門職大学である。そこでは、常に社会が何を求め、何に悩んでいるか感受しながら、その解決法をデザインする力を身に付け、それを大学の中で、あるいはより広い一人一人の専門職が描く社会のなかで、実際に行動する、これが社会の中で他にない使命を持った専門職大学である。わたしたちは新しい考え方を構築しながら進んで行くが、多くの専門分野に関係する他の専門職大学も、本質として同じ基底を持っている事を考えながら、専門職大学の間で交流することも考えて行きたい。

学長 吉川弘之

6G サービスが提供する IoT と AI のプラットフォームとセキュリティ対策

味戸 克裕^{† a)} 張 毅波[†]

A platform for IoT and AI and the security provided by 6G service

Katsuhiko AJITO^{† a)}, Yibo ZHANG[†]

あらまし 2030年ごろにサービスが開始される超高速ワイヤレス通信の6G(第6世代移動通信システム)サービスは、IoTとAIのプラットフォームとして期待される。この6Gに関する要求条件、国際標準化動向、アプリケーションと今後課題となるセキュリティ対策やセキュリティ・アーキテクチャについて議論する。

キーワード 6G, サイバーフィジカルシステム, ウェアラブルデバイス, IoTデバイス, メタバース, HAPS, テラヘルツ, XR, VR, AR, MR, デジタルツイン, インダストリー 5.0, スマートグリッド 2.0, セキュリティ・アーキテクチャ, AI補助診断

Abstract The 6G (6th Generation Mobile Communications System) service, an ultra-high-speed wireless communication service to be launched around 2030, is expected to serve as a platform for IoT and AI. The 6G related requirements, international standardization trends, applications, security measures, and security architecture are discussed.

Keywords 6G, cyber-physical system, wearable device, IoT device, metaverse, HAPS, terahertz, XR, VR, AR, MR, digital twin, industry 5.0, smart grid 2.0, security architecture, AI-assisted diagnosis

1. まえがき

5G(第5世代移動通信システム)のサービスが始まり数年が経ち、現在は6G(第6世代移動通信システム)のサービスに向けた研究開発や標準化などが進んでいる。5Gでは、国際電気通信連合無線通信部門(ITU-R, ITU Radio communication Sector)においてeMBB(enhanced Mobile Broadband:高速大容量), URLLC(Ultra-Reliable and Low Latency Communications:超高信頼低遅延), mMTC(massive Machine Type Communication:超大量端末)の3つのカテゴリーが要求条件として規定されたが、6Gでは自動運

転やVR(Virtual Reality:仮想空間)などを使うメタバースによるサイバー・フィジカル空間の融合がより進み、IoTのクラウド連携やクラウド上でのAI処理が高速に行えるプラットフォーム上で、この3つが連携するより複雑なカテゴリーのユースケースが想定される[1]。本稿では6Gの要求条件、標準化動向、アプリケーション、セキュリティの課題と対策、セキュリティ・アーキテクチャについて議論する。

2. 6G サービスの要求条件と国際標準化

2.1 6Gの周波数変遷と通信速度

日本での移動通信システムの始まりは、1979年12月に開始された800MHz帯を用いたアナログ方式の自動車電話サービスで、これが音声通話の1Gサービスとなる[2]。その後、図1に示すように、10年ごとに次世代移動通信システムが提供される。2Gでは、音声通話に加え、SMS

[†] 大阪国際工科専門職大学 工科学部 情報工学科, 大阪府
Department of Information Technology, Faculty of Technology,
International Professional University of Technology in Osaka, 3-3-1
Umeda, Kita-ku, Osaka, 530-0001 Japan

a) E-mail: ajito.katsuhiko@iput.ac.jp

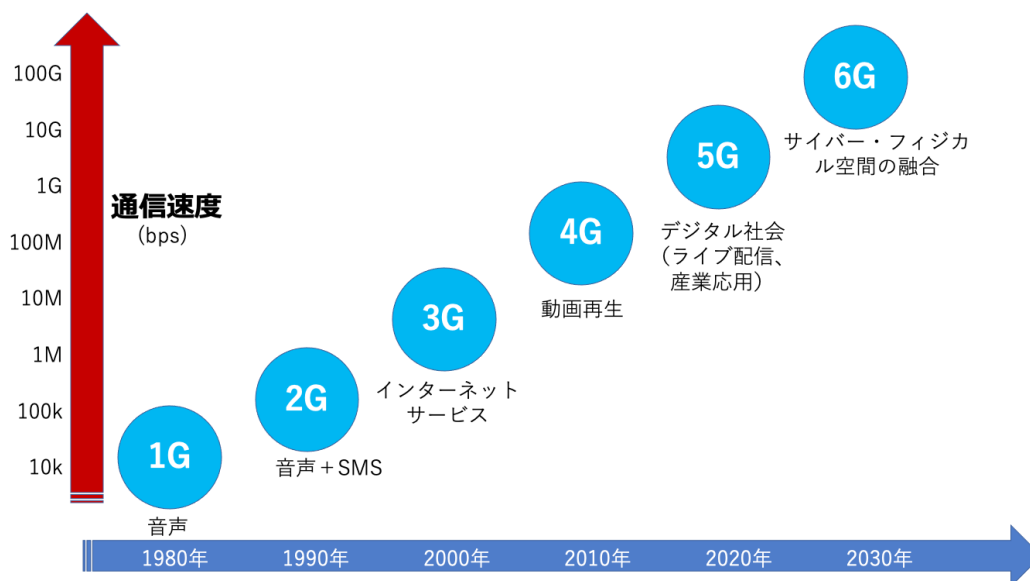


図1 移動通信システムの進化

Figure 1 The evolution of mobile communication from 1G to 6G.

と呼ばれるメッセージ機能が加わり、3Gではスマートフォンやタブレットを使用できるインターネット環境が提供された。世代ごとに通信速度が10倍程度ずつ高速化して、4Gではスマートフォンでのユーチューブなどの動画再生、5Gでは動画のライブ配信や産業応用、さらに6Gでは高度な自動運転やメタバースによるサイバー空間とフィジカル空間が統合したCPS (Cyber-Physical System: サイバーフィジカルシステム) がより進化すると考えられる。

2.2 6Gの周波要求条件

VRデバイスなど含むウェアラブルデバイスの高機能化、4Kや8Kを超える高精細映像やホログラム、五感による感覚的な情報伝達の実現し、人と人、人とモノとの通信がよりリアルなものとなる。これにより、ゲーム、スポーツ観戦などで革新的なエンターテインメントサービスや遠隔医療や遠隔教育が場所と時間の制約なく提供される。これらeMBB, URLLC, mMTCの3つが連携するような、より複雑なカテゴリーのユースケースは2026年までに策定される予定であり[1]、日本ではNTTドコモが、6Gの2030年のサービス提供開始を目指している[3]。5Gの高速・大容量、低遅延、多数接続の各性能をさらに高めるとともに、テラヘルツ波などの新たな高周波数

帯の開拓、地上だけでなく空・海・宇宙などへの通信エリアの拡大、超低消費電力通信実現などを目指して、研究開発が進められている。また、ワイヤレス通信のネットワーク自身が電波を用いて測位や物体検知など、実世界をセンシングする機能を備えていくような進化も想定され、誤差数センチメートル以下の超高精度な測位が実現できると期待される。ここでは、様々なユースケースを実現するための6Gに関する6つの要求条件について述べる。

(1) 超高速ワイヤレス通信

6Gの場合、多くのユーザーが同時に楽しんだり、仮想協同作業をしたりするなどサイバー空間上での新たなシンクロアプリケーションの実現も期待される。具体的には100Gbps (毎秒100ギガビット) を超えるワイヤレス通信速度が要求条件となり、通信速度が人間の脳の情報処理速度レベルに近づくとつれ、単なる画像伝達 (視覚や聴覚) だけでなく、五感による感覚的な情報伝達、さらには多感覚コミュニケーションなどの拡張も考えられる。そして、産業やサイバー・フィジカル融合のユースケースなどの動向を考えると、実世界のさまざまなリアルタイム情報をクラウドに伝送しAI処理することになる。

(2) 超低遅延

CPS を人体に例えると、AI とデバイスをつなぐワイヤレス通信は情報を伝達する神経系に相当するといえ、リアルタイムかつインタラクティブな AI によるサービスをより高度に実現するには、常時安定した E2E (End to End) での低遅延性が基本的な要求条件になると考えられる。6G に向けて、具体的には E2E で 1 ミリ秒以下の超低遅延が目標となる。これによって例えば、ロボティクスによる無人化店舗において、客の声のトーンや表情を見て人間のように気の利く、違和感のないインタラクティブな遠隔ロボット接客を可能にする。さらに、遠隔医療、遠隔教育など、さまざまな分野での応用が期待される。

(3) 超多接続

CPS の高度化により、ウェアラブルデバイスやマイクロデバイスといった IoT デバイスを人体に装着することで、サイバー空間が人間の思考や行動をリアルタイムでサポートするユースケースが考えられ、人とモノのコミュニケーションに関わる超大量のデバイスが普及し、5G の要求条件のさらにその 10 倍 (1 平方 km あたり 1000 万デバイス相当) という究極の多重接続が要求条件となる。

(4) 超低消費電力

通信速度単位 (ビット/秒) あたりに必要な消費電力の大幅な削減を目指す。ネットワークの低消費電力化は、地球環境問題に配慮した持続可能な社会という世界的な目標を達成するための要求条件であり、IoT デバイスのセンサーなどの端末数が増加し、ユーザーインターフェースがウェアラブルに進化するユースケースが想定される場合にも、使用時間の面から低消費電力は重要な要素となる。

(5) 超カバレッジ拡張

6G の場合、陸上でのエリアカバー率は 100%、そして現在の移動通信システムがカバーしていない空 (高度 10 ~ 20km 程度)・海・宇宙などを含むあらゆる場所でのユースケースを想定した「超カバレッジ拡張」が要求条件となる。HAPS (High-Altitude Platforms の略) とよばれる携帯電

話の基地局装置を搭載し高い高度を飛び続ける無人飛行機を使った空中ネットワークは、6G の次世代のネットワークとして期待されている [4]。すでに、2019 年 4 月、ソフトバンクの子会社 HAPS モバイルが、地上約 20km の成層圏を飛行する成層圏通信プラットフォーム向け無人航空機を開発している [5]。HAPS 搭載基地局のカバーエリアは直径 200km であり、日本全土ならば約 40 機でカバーでき、繋がらないところがないことが大きな利点である。例えば、ドローンを活用した宅配や農作物の運搬、空飛ぶ自動車や宇宙旅行などのユースケースへも対応できる。

(6) 超高信頼性通信

産業向けユースケースの中には、遠隔制御や工場自動化など、必要な性能を担保することが要求されるものが多くあるため、高信頼な制御情報のワイヤレス通信は重要な要求条件であり、6G では 5G よりもさらにレベルの高い信頼性や高セキュリティの実現が期待される。さらにロボットやドローンの普及や、空、海等への無線カバレッジの拡大に伴い、工場等の限られたエリアだけでなく、より広いエリアでの通信では、サイバー攻撃の高度化や個人情報の漏えいなど、セキュリティ上の脅威が増大するが、これらについては、後に詳しく述べる。

2.3 6G の周波数帯の国際標準化とテラヘルツ波

6G では超高速ワイヤレス通信を実現するため、図 2 に示すように広い周波数帯を使うことが検討されているが、その中にサブテラヘルツあるいはテラヘルツ (THz = 10^{12} Hz) と呼ばれる非常に高い周波数が含まれる。具体的には 100GHz (= 10^{11} Hz) から 3THz (= 3×10^{12} Hz) の周波数の利用が検討されている。より高い周波数の利用は高速データ転送には有利だが、光の性質に近くなり直進性が増すため、無線基地局アンテナのカバー範囲が狭くなり、多くのアンテナを張り巡らせる必要がある。スマートフォンに搭載させる技術はまだ先だが、バックホール (無線基地局アンテナと基幹通信網を繋ぐ中継回線) やフロントホール (無線基地局とアンテナ部が離れている場合の

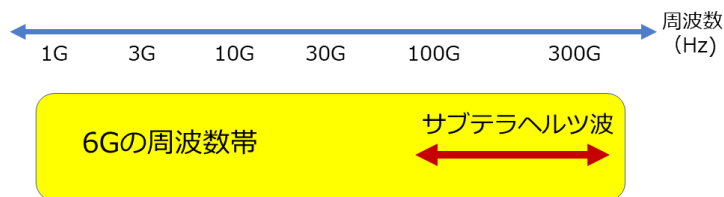


図2 6Gの周波数帯

Figure 2 Frequency bands in 6G.

両者をつなぐ中継回線)での業務利用は、既に2017年IEEE 802.15.3d-2017で252GHz～325GHz(通称300GHz帯)にて通信速度100Gbpsの国際的標準化がされている[6]。この300GHz帯の研究では日本が先行しており[7]、the Horizon 2020 EU-Japan project ThoR(“TeraHertz end-to-end wireless systems supporting ultra-high data Rate applications,” 2018-2022)の日本-EUプロジェクトでは、160mの距離を40Gbpsの実証実験に成功している[8]。

また、2019年のWRC(World Radio Conference:世界無線通信会議)で日本、ドイツ、IEEEなどからの寄与文書によって議題1.15によって275～450GHzの標準化が進められている[9]。さらに、波長が短くなり光のように直進性が高くなる特徴を活かして、ワイヤレス通信のネットワーク自身が電波を用いて測位や物体検知など、実世界をセンシングする機能を備えていくような進化も想定される。300GHzの波長は約1mmであり、波長程度の誤差でも電波として超高精度な測位が実現できる可能性が高いと考える。

3. 6G サービスのセキュリティ

6Gに関するセキュリティ課題は、大別すると6Gへの新しい通信技術の導入によりもたらされる課題と、6Gを利用した新しいサービスやアプリケーションを実現するために解決しなければならない課題があると考えられる。前者は、主に6Gの物理層とネットワーク層、つまり6Gコアネットワークでセキュリティ対策をたてる必要がある。一方、後者は、6Gの物理層を含む各レイヤでセキュリティ対策を講じる必要がある。ここでは後者の方を中心に議論する。

3.1 6Gにおける典型的なアプリケーションとその特徴

6Gの上に展開しようとしてされている典型的な7つのアプリケーションを図3に示す[10]。ここで、VLCは可視光通信(Visible Light Communicationsの略)である。

(1) UAV/CAV

UAV(Unmanned Aerial Vehiclesの略)とは、ドローンなどを指す。そのデバイスとシステムには、物理的ハイジャックをされる可能性、制御信号の完全性を維持することの重要性、デバイスの多様性、消費電力の制限、低いコンピューティング能力といった特徴がある。

CAV(Connected Autonomous Vehiclesの略)とは、自動運転機能付き車のことである。例えば、物理的ハイジャックをされる可能性、制御信号の完全性を維持することの重要性、デバイスの多様性など、UAVと似た特徴がある。加えて、データセキュリティや個人情報非常に重要であるというような特徴もある。

(2) XR

XR(eXtended Realityの略)とは、VR(Virtual Realityの略)、AR(Augmented Realityの略)、MR(Mixed Realityの略)といった画像処理技術を用いて現実世界と仮想世界を融合する技術の総称である。個人利用歴やクレジットカード情報、および感情、行動、判断、所在を含む個人情報が使われる。また、XRアプリケーションではいろいろなデータのやりとりがなされ、利用者の認証やアクセス制御も行わなければならない。そのほかに、デバイスの多様性、高いスケーラビリティと低いオーバーヘッドが要求されるというような特徴がある。

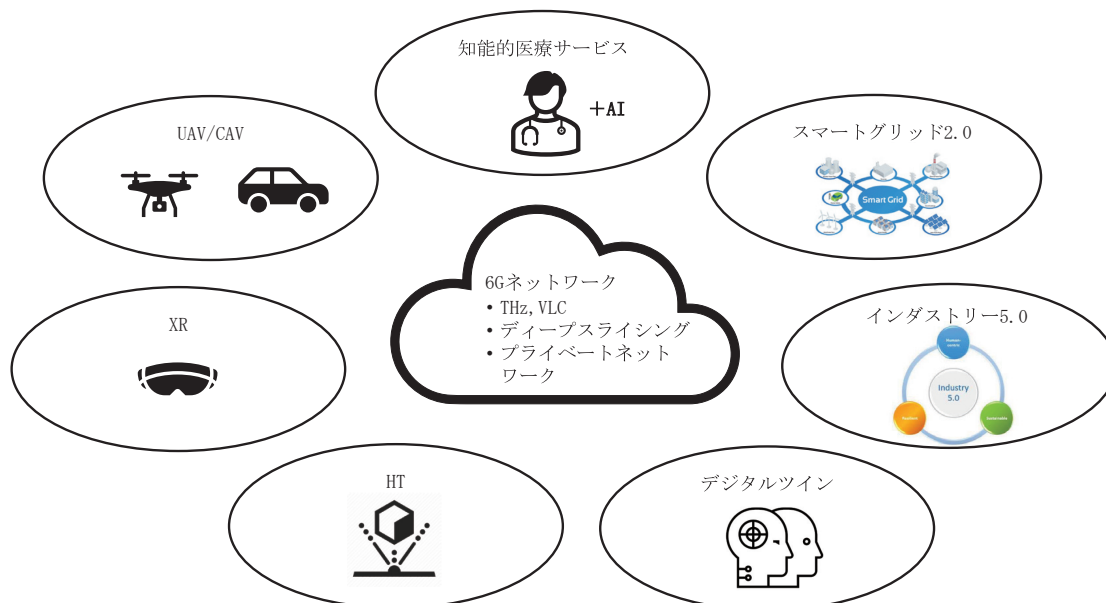


図3 典型的な 6G アプリケーション

Figure 3 Typical 6G Applications.

(3) HT

HT (Holographic Telepresence の略) とは、離れた場所にいる人や物体を、物理的な存在に匹敵する高いレベルの現実性があるフルモーションでリアルタイムの3次元ホログラムで投影して表現する技術である。使用する通信自体がすでに広帯域を必要とするため、そのセキュリティシステムはさらに通信に負荷をかけてはならない。また、多様なデバイスが使用され、運用コストを抑えなければならないといった特徴もある。

(4) デジタルツイン

デジタルツインは、物理的オブジェクトを正確に反映するように設計された仮想モデルであり、機器制御や自動化において6Gのひとつの重要なアプリケーションになるとみなされている。具体的には、健康管理、工業自動化、電気・ガス・水道など公共サービス設備管理などに応用される。物理的な領域とサイバー領域間のデータのやりとりが保護されなければならない。また、グループ通信のセキュリティ維持も重要であり、ブロックチェーンなどが有効な手段だと考えられる。

(5) インダストリー 5.0

インダストリー 5.0 はインダストリー 4.0 の次期バージョンであり、人間とロボット・知能機械

とのより密接な協同関係が自動化と効率化の柱に加えられるとされる。制御コマンドや監視データなどの完全性の保護が重要である。認証やアクセス制御、可用性維持も必要不可欠である。また、多様なデバイスが使用され、運用コストを抑えなければならないといった特徴もある。

(6) スマートグリッド 2.0

スマートグリッド 1.0 を進化させたものであり、メタデータの自動分析、知的動的価格設定、配電網の自動化管理および高信頼電力配送などの機能を提供することが見込まれている。メタ設備、通信機器、ソフトウェアなどはすべてセキュリティ攻撃の対象とされる可能性がある。また、自動料金請求システムや分散化された電力取引システムも、攻撃の対象として狙われやすい。

(7) 知的医療サービス

AI 補助診断、医療設備インターネット (IoMT = Internet of Medical Things)、知能化ウェアラブルデバイス (IWD = Intelligent Wearable Devices) およびホスピタルツーホーム (H2H = Hospital-to-Home) などに基づいた知的医療サービスが開発されるであろう。医療設備インターネットおよび知能化ウェアラブルデバイスは6Gを主要な通信プラットフォームとして使う。人々の健康や命に

かかわるものであるため、医療データの機密性と完全性は非常に重要である。また、機器認証、アクセス制御、個人情報保護およびAIのセキュリティもとても重要である。

3.2 セキュリティ課題と対策

本節では、前述した各アプリケーションとその特徴において潜在しているセキュリティ課題、およびその対策を表1にまとめた[11]–[13]。さらに、これらの対策に関連して、次のような新しい技術の適用が検討されている。

- (1) ネットワークアクセス制御：6G-AKA, 耐量子計算 EAP-TLS.
- (2) シグナリングデータ暗号化：256-NEA1/256-NEA2/256-NEA3, 256-NIA1/256-NIA2/256-NIA3 (耐量子計算)
- (3) トランスポート層セキュリティ：耐量子計算 TLS, 量子鍵配布 (QKD)
- (4) アプリケーション層セキュリティ：SEPP with HTTP/3
- (5) ネットワーク管理：SD-WAN セキュリティ技術, ディープスライシングによるネットワーク隔離
- (6) 侵入防止：AIを利用したファイアウォール / 侵入検知システム (IDS) / 移動目標防衛 (MTD)

3.3 セキュリティ・アーキテクチャ

6Gの応用システムにおいては、セキュリティ対策に応じたセキュリティ・アーキテクチャを構築しなければならない。過去の研究の中で、文献[11]では3階層(物理層, コネクション層とサービス層), 文献[14]では5階層(デバイス層, コミュニケーション層, システム層, データ層とアプリケーション層)に分けられていることが見られる。文献[11]は6Gコアネットワークを中心に考えられているためシンプルな層構成になっている。一方、文献[14]は、システム層とデータ層の内容は実は他の層に属するべきであり、また、この文献も6Gコアネットワークを超えたインターネットの範囲まで考えていない。従って、本稿では、これら文献を参照しながら、実際のネットワーク

表1 セキュリティ課題と対策
Table 1 Security issues and countermeasures.

セキュリティ課題	対策
物理的ハイジャック	<ul style="list-style-type: none"> 耐タンパー設計 ワイヤレス通信の盗聴, ジャミングとパイロット汚染対策
制御コマンドや監視データの完全性	<ul style="list-style-type: none"> なりすまし対策 中間者攻撃対策
デバイスの多様性	<ul style="list-style-type: none"> 複数セキュリティ技術の同時サポート システムティックセキュリティ設計 セキュリティ機能デレゲーション
消費電力の制限	<ul style="list-style-type: none"> ライトウェイト暗号 ライトウェイト暗号通信
低いコンピューティング能力	<ul style="list-style-type: none"> ライトウェイト暗号 セキュリティ機能デレゲーション
データセキュリティ, 個人情報保護	<ul style="list-style-type: none"> 次世代暗号技術 次世代電子署名技術
利用者の認証, アクセス制御	<ul style="list-style-type: none"> 次世代認証技術 リプレイ対策 ファイアウォール
高いスケーラビリティと低いオーバーヘッド	<ul style="list-style-type: none"> 分散型公開鍵暗号基盤 ブロックチェーン
セキュリティ仕組みの通信負荷低減	<ul style="list-style-type: none"> ライトウェイト暗号通信
運用コストの低減	<ul style="list-style-type: none"> 攻撃の自動検知 マルウェアの自動排除 ソフトウェア脆弱性の自動修復
物理的な領域とサイバー領域間のデータ通信保護	<ul style="list-style-type: none"> 次世代暗号技術 次世代電子署名技術
グループ通信	<ul style="list-style-type: none"> ブロックチェーン マルチキャストセキュリティ
可用性維持	<ul style="list-style-type: none"> DoS 対策 リアルタイムセキュリティ対策
設備, 通信機器, ソフトウェアへの攻撃	<ul style="list-style-type: none"> 多層防御対策 ゼロトラスト対策
AIに関するセキュリティ	<ul style="list-style-type: none"> AI技術を用いたセキュリティ対策 AIを用いた攻撃への対策
システム機密性への攻撃	<ul style="list-style-type: none"> 次世代暗号技術 次世代電子署名技術 次世代認証技術

およびハードウェアとソフトウェアの構造と配置を考慮して4階層に分けることにした(図4)。

- (1) デバイス層セキュリティでは、ハードウェアの耐タンパー性, そしてソフトウェアとデー

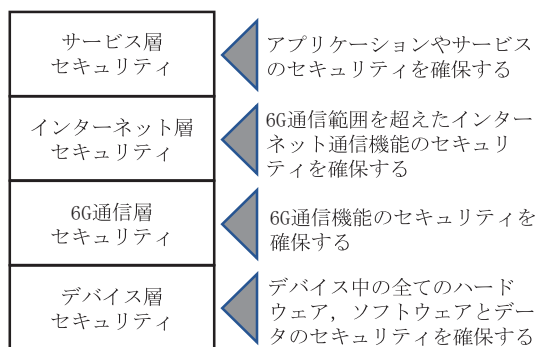


図4 セキュリティ・アーキテクチャ

Figure 4 Security Architecture.

タの機密性、完全性、可用性を維持するための仕組みを備える。

- (2) 6G 通信層セキュリティでは、6G 通信の物理層やネットワーク層のセキュリティを保証する。
- (3) インターネット層セキュリティでは、6G 通信範囲を超えた広い範囲の通信ネットワークと通信する際のセキュリティを保証する。
- (4) サービス層セキュリティでは、アプリケーションやサービスを実現するにあたって求められる特有なセキュリティを保証する。

また、すでに提唱されているゼロトラストという概念は、6G のセキュリティ・アーキテクチャでも提唱・実現すべきであろう。

4. むすび

6G は超高速ワイヤレス通信として、さまざまな要求条件に対して研究開発や国際標準化が進み、2030 年ごろサービスが開始されると期待される。これにより、データのクラウド処理が高速となり IoT と AI のプラットフォームができることになる。この 6G に関する要求条件、国際標準化動向、6G を利用した新しいサービスやアプリケーションを紹介すると共に、それらに対するセキュリティ対策やセキュリティ・アーキテクチャについて議論した。

5. 謝辞

本稿をまとめるに際し、情報通信研究機構

(NICT) 笠松章史にご助言を頂いたことに感謝する。

文 献

- [1] ITU-R WP5D, “Attachment 2.12 to Chapter 2 of Document 5D/1341, *Meeting report WP5D #41*, June 2022.
- [2] ドコモ歴史展示スクエア
http://history-s.nttdocomo.co.jp/list_car.html
- [3] ドコモ 6G ホワイトペーパー 5.0 版 (2022 年 11 月公開)
https://www.docomo.ne.jp/binary/pdf/corporate/technology/whitepaper_6g/DOCOMO_6G_White_PaperJP_20221116.pdf
- [4] N. Saeed, H. Almorad, H. Dahrouj, T. Y. Al-Naffouri, J. S. Shamma, and M. -S. Alouini, “Point-to-Point Communication in Integrated Satellite-Aerial 6G Networks: State-of-the-Art and Future Challenges,” *IEEE Open Journal of the Communications Society*, vol. 2, pp. 1505-1525, June 2021.
- [5] https://www.softbank.jp/sbnews/entry/20190826_01
- [6] “IEEE Standard for High Data Rate Wireless Multi-Media Networks--Amendment 2: 100 Gb/s Wireless Switched Point-to-Point Physical Layer,” in *IEEE Std 802.15.3d-2017*, pp.1-55, 18 October 2017.
- [7] H.-J. Song, K. Ajito, Y. Muramoto, A. Wakatsuki, T. Nagatsuma, and N. Kukutsu, “24 Gbit/s data transmission in 300 GHz band for future terahertz communications,” *Electronics Letter*, vol. 48, No. 25, pp. 953-954, July 2012.
- [8] T. Kürner and T. Kawanishi, “Demonstrating 300 GHz Wireless Backhaul Links - The ThoR Approach,” 2022 47th International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves (IRMMW-THz), pp. 1-1, 2022.
- [9] 総務省 世界無線通信会議 WRC-19 の議題及び結果概要,
<https://www.tele.soumu.go.jp/j/adm/inter/wrc/wrc19/kaitai.htm>.
- [10] P. Porombage, G. Gur, D. P. M. Osorio, M. Liyanage, A. Gurtov, and M. Ylianttila, “The Roadmap to 6G Security and Privacy,” *IEEE Open Journal of the Communications Society*, vol. 2, pp. 1094-1122, May 2021.
- [11] V-L, Nguyen, P-Ching Lin, B-C, Cheng, R-H Hwang, and Y-D Lin, “Security and privacy for 6G: A survey on prospective technologies and challenges,” *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, vol. 23, no. 4, pp. 2384-2428, August 2021.
- [12] Y. Zhang, “A Systematic Security Design Approach for Heterogeneous Embedded Systems,” *Proceedings of IEEE 10th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)*, pp. 577-579, October 2021.
- [13] Y. Zhang, “Delegation of Security Functions in Heterogeneous Embedded Systems,” *Proceedings of IEEE 40th International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, pp. 709-714, January 2022.
- [14] Z. Chen, K-C Chen, C. Dong, and Z. Nie, “6G Mobile Communications for Multi-Robot Smart Factory,” *Journal of ICT Standardization*, vol. 9, no. 3, pp.371-404, December 2021.

(2023 年 1 月 8 日受付 2023 年 2 月 6 日再受付)



味戸 克裕

1995年東京大学大学院工学系研究科 応用化学専攻 博士課程修了。博士（工学）。同年NTT研究所に入所。総務省テラヘルツ波プロジェクトに参画し、6G次世代ICTの国際標準化に従事。その後、現職にて6Gによる現実空間と仮想空間を融合したサービスを研究。



張 毅波

1982年中国清華大学計算機科学系卒。1994年東京大学大学院電子工学修士課程修了、1998年同博士課程修了。博士（工学）。現在、IoTとセキュリティ分野の研究に従事。



この記事は Creative Commons 4.0 に基づきライセンスされます
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/deed.ja>)。

整数階でない微積分とニューラルネットワーク

村瀬 一之^{† a)}

Calculus of Non-Integer Order and Neural Network (Japanese Edition)

Kazuyuki MURASE^{† a)}

あらまし 一般に広く用いられている微分や積分では階数は整数とされている。例えば、1階微分 dy/dx 、2階微分 d^2y/dx^2 、1階積分 $\int ydx$ 、である。この階数が実数値をとる非整数階の微積分法は数百年も前から数学的には提案されている。非整数階の微積分法は拡散や履歴現象を記述するのに適していることから、粘弾性物質や流体の動態などを表す際には用いられてきた。昨今、人工知能に用いられるニューラルネットワークの学習過程などに非整数階の微分を用いるとその性能が上がることが知られ、さらに最近、ディープラーニングにも用いた例が報告されている。ここではそれらの事例を簡単に紹介する。

キーワード 非整数階微積分、ニューラルネットワーク、最急降下法、誤差逆伝播学習、畳み込みニューラルネットワーク、深層学習

Abstract In widely used differentiation and integration, the order is assumed to be an integer, for example, the first-order derivative dy/dx , second-order derivative d^2y/dx^2 , first-order integral $\int ydx$, etc. Calculus of non-integer order has been built mathematically before hundreds of years. It is suitable for describing dispersion and hysteresis. Therefore, it is traditionally used to express dynamics of viscoelastic materials and fluids. Recently, it is highlighted that differentials of non-integer order can be effectively used in the learning process of neural networks which are the primary component of deep learning in the latest artificial intelligence. This brief article describes some latest progress.

Keywords Fractional calculus, Neural network, Gradient descent, Back-propagation learning, Convolutional neural network, Deep learning

1. まえがき

非整数階の微積分法は整数でない階数の微分や積分を伴う数学である。1695年に G.W. Leibniz が初めて記述し、1823年の N.H. Abel の文献にほとんどの要素がみられるとされている [1]。まとまった文献は 1974年の Oldham & Spanier のものとされる [2]。

整数階の微分が局所的な性質を表すのに対し、非整数階の微分は履歴を含むことから、様々な拡

散や履歴現象の記述に適しているとされる [2][3]。すなわち、粘弾性を持つ物質、電磁波の拡散、熱伝導といった自然現象である。

近年、非整数階の微分を使ったニューラルネットワーク (NN) の最急降下法や誤差逆伝播学習が脚光を浴びている。300編を超える参考文献を引用した総説にその詳細が記されている [4]。再帰型 NN では、非線形システム同定、パタン認識、Mackey-Glass カオス時系列予測などが行われている。順伝播型 NN はクラス分類、時系列分析や各種の制御に使われている。いずれにおいても、整数階の微分を使ったモデルより性能が高いことが示されている。

本小文では、まず非整数階の微積分について簡単に説明し、NN の誤差逆伝播学習に使われた例

[†] 大阪国際工科専門職大学 工科学部

Faculty of Information Technology, International Professional University of Technology in Osaka, 3-3-1 Umeda, Kita-ku, Osaka 530-0001, Japan

a) E-mail: murase@u-fukui.ac.jp

を示し、さらに畳み込み NN に使われた例を示す。また、その他の応用についても触れる。これらを通じ、非整数階の微積分特性を持つ NN の理解が促進され、各種の応用においてその高性能化の一助とすることを旨とする。

2. 非整数階の微積分法

非整数階の微積分法は、英語では Fractional Calculus とか Calculus of non-integer order と呼ばれ、日本語でも分数階微積分学とも呼ばれる。詳しい解説は他に良書があるのでそれらを参考に検索されたい [2][3]。ここでは先に進めるために数学的厳密さは求めずに形式的に説明する。

まずは積分演算オペレータ I を考える。以下、積分の下限は 0 でなくてもよいが注意を要する。

$$If(t) = \int_0^t f(\tau) d\tau$$

これを 2 回繰り返したものは 1 階積分に帰着できる。

$$I^2 f(t) = \int_0^t d\tau_1 \int_0^{\tau_1} f(\tau) d\tau = \int_0^t (t-\tau) f(\tau) d\tau$$

さらに n 階積分も、Cauchy の反復積分についての公式によって 1 階積分に帰着する。

$$\begin{aligned} f(t) &= \int_0^t d\tau_{n-1} \int_0^{\tau_{n-1}} d\tau_{n-2} \cdots \int_0^{\tau_1} f(\tau) d\tau \\ &= \frac{1}{(n-1)!} \int_0^t (t-\tau)^{n-1} f(\tau) d\tau \end{aligned}$$

ガンマ関数 $\Gamma(\lambda) = \int_0^\infty t^{\lambda-1} e^{-t} dt$ は λ が正整数の時 $(\lambda-1)!$ になるので、ガンマ関数を用いてこの式を非整数 λ に拡張する。これが非整数階積分である。

$$I^\lambda f(t) = \frac{1}{\Gamma(\lambda)} \int_0^t (t-\tau)^{\lambda-1} f(\tau) d\tau$$

適当な条件下では、

$$I^{\lambda_1} I^{\lambda_2} = I^{\lambda_2} I^{\lambda_1} = I^{\lambda_1+\lambda_2}, \lambda_1 > 0, \lambda_2 > 0$$

積分の階数が負の場合については、非整数階微分と呼ばれる。すなわち、 $\lambda > 0$ のとき λ 階の非整数微分は、

$$I^{-\lambda} f(t) \equiv D_t^\lambda f(t) \equiv \frac{d^\lambda f(t)}{dt^\lambda} = \frac{1}{\Gamma(-\lambda)} \int_0^t (t-\tau)^{-\lambda-1} f(\tau) d\tau$$

適当な条件下では、

$$D^{\lambda_1} D^{\lambda_2} = D^{\lambda_2} D^{\lambda_1} = D^{\lambda_1+\lambda_2}, \lambda_1 > 0, \lambda_2 > 0$$

ここで、 $m < \lambda < m+1$ を満たす整数 m を導入する

と $0 < \lambda - m < 1$ となり、

$$\begin{aligned} D_t^\lambda f(t) &= D_t^{\lambda-m} D_t^m f(t) \\ &= \frac{1}{\Gamma(m-\lambda)} \int_0^t (t-\tau)^{m-\lambda-1} f^{(m)}(\tau) d\tau \end{aligned}$$

ただし、

$$D_t^m f(t) \equiv \frac{d^m f(t)}{dt^m} \equiv f^{(m)}(t)$$

これは Caputo の非整数階微分 (Caputo fractional-order derivative) と呼ばれる。

他にも非整数階微分の表現があり、適当な条件下でそれぞれ使い分けられている。

Riemann-Liouville (RL) fractional-order derivative では m 階微分が積分の外にある。

$$\begin{aligned} {}^{RL}D_t^\lambda f(t) &= \frac{d^m f(t)}{dt^m} D_t^{\lambda-m} f(t) \\ &= \frac{1}{\Gamma(m-\lambda)} \frac{d^m}{dt^m} \int_0^t (t-\tau)^{m-\lambda-1} f(\tau) d\tau \end{aligned}$$

Grunward-Letnikov (GL) fractional-order derivative は積分の下限が明示的である。

$$\begin{aligned} {}^{GL}D_t^\lambda f(t) &= \frac{1}{\Gamma(m-\lambda+1)} \int_a^t (t-\tau)^{m-\lambda} f^{(m+1)}(\tau) d\tau \\ &\quad + \sum_{k=0}^m \frac{(t-a)^{-\lambda+k}}{\Gamma(-\lambda+k+1)} f^{(k)}(a) \end{aligned}$$

簡単な例は次のとおりである。

$$f(x) = 1 \text{ では, } D_x^{1/2} f(x) = 2\pi^{-1/2} x^{-1/2} = 1/\sqrt{\pi x}$$

$$f(x) = x \text{ では, } D_x^{1/2} f(x) = 2\pi^{-1/2} x^{1/2} = 2\sqrt{x/\pi}$$

$$f(x) = \sqrt{x} \text{ では, } D_x^{1/2} f(x) = \sqrt{\pi}/2$$

$$f(x) = e^{ax} \text{ では, } D_x^\lambda f(x) = a^\lambda e^{ax}$$

ガウス関数の非整数階の微分について、

$f(x) = e^{-x^2}$ の場合、 $D_x^\nu f(x)$ をいろいろな非整数階 ν について示したものが図 1 である。

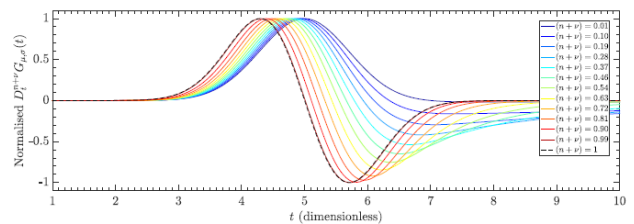


図 1 $D_x^\nu e^{-x^2}$ をいろいろな ν について求めたもの ($n=0$)
非整数階微分では長く尾を引く. G. Jorge M. Cruz-Duarte, Juan Rosales-Garcia, C. Rodrigo Correa-Cely, Arturo Garcia-Perez, Juan Gabriel Avina-Cervantes, "A closed form expression for the Gaussian-based Caputo-Fabrizio fractional derivative for signal processing applications," Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 61, 138-148, 2018 [5] の Fig.1(a) を転載。

Figure 1 Behavior of $D_x^\nu e^{-x^2}$ for various non-integer values ν ($n=0$)
Excerpted from Fig.1(a) of ref. [5].

3. 非整数階微分を用いた誤差逆伝播学習

ニューラルネットワーク (NN) は生物の神経系の仕組みをまねた計算モデルで, 人工知能 (AI) に広く用いられている. その一番の特徴は, 与えられたデータによってその性質を徐々に変化させ, 何らかの評価関数に基づいた最適値に近づけることができる点である. すなわち, 何かを獲得 (学習) させることができる.

まず, Wang et al. (2017) による最急降下法による誤差逆伝播学習 [6] を紹介する. 入力層, 中間層, 出力層の 3 層にそれぞれ $p, q, 1$ 個のニューロン (素子) があり, 入力層から中間層, 中間層から出力層に向けて結合がある 3 層順伝搬型 NN を考える. 入力層から中間層への結合荷重を $\mathbf{v}_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{ip})^T$, $i = 1, 2, \dots, q$, 中間層から出力層への荷重を $\mathbf{u} = (u_1, u_2, \dots, u_q)^T$ とし, 荷重マトリクスを次のように定義する.

$$\mathbf{w} = (\mathbf{u}, \mathbf{V}) = (\mathbf{u}^T, \mathbf{v}_1^T, \mathbf{v}_2^T, \dots, \mathbf{v}_q^T)^T$$

中間層の活性化関数を $G(z) = (g(z_1), g(z_2), \dots, g(z_n))^T$, 出力層の活性化関数を $y = f(x)$ とすると, j 番目の入力 x^j が与えられたときの出力は $y = f(\mathbf{u} \cdot G(\mathbf{V}\mathbf{x}^j))$ で表される.

評価関数を二乗誤差とすると, 望ましい出力 (教師信号) O^j に対する誤差は,

$$E(\mathbf{w}) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^J (O^j - y)^2$$

原著では Rumelhart et al. (1986) による古典的な誤差逆伝播学習 [7] をもとに, 非整数階微分を用いた誤差逆伝播学習について詳細な展開がなされている. 以下には, その概念を要約したものを示す.

古典的な誤差逆伝播学習では, 結合荷重は, k 回目から $k + 1$ 回目の繰り返しの時に, 一階微分を用いた次のような式で更新される.

$$w_{\xi}^{k+1} = w_{\xi}^k - \eta \frac{\partial E(\mathbf{w})}{\partial w_{\xi}}$$

ここで, η は学習率, ξ は各層間の荷重の一つを表す.

原著ではこの更新に非整数階である α 階微分を用いる. ただし, $0 < \alpha < 1$ であるが, 前節の議論から $(m + \alpha)$ 階に一般化できると考えられる.

$$w_{\xi}^{k+1} = w_{\xi}^k - \eta D_{w_{\xi}}^{\alpha} E(\mathbf{w})$$

活性化関数 g, f がシグモイド関数, 荷重が有界で有限個, 学習率は正で有界, などの条件を満たすとき, このネットワークが収束することを証明している.

まず, 一般的なデータセットを学習させて, 3 つの非整数階微分, Caputo, GL, RL, を比較している. Iris, Liver, Sonar の 3 つのデータセットを用いた数値実験で, トレーニングデータとテ

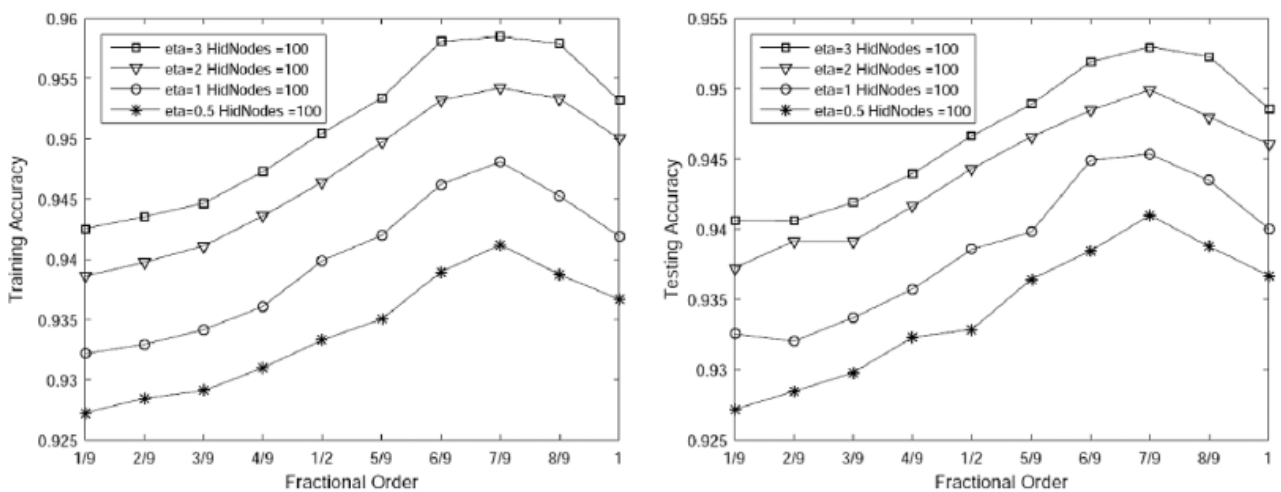


図2 トレーニングとテスト精度を種々の学習率について, 非整数階の微分の階数に対してプロットしたもの Wang, Y. Wen, Y. Gou, Z. Ye, H. Chen, “Fractional-order gradient descent learning of BP neural networks with Caputo derivative,” Neural Networks, Vol.89, pp.19-30, 2017 [6] の Fig.2 より一部を転載.

Figure 2 Training and test accuracies for various learning rates are plotted against non-integer fractional order. Excerpted from Fig.2 of ref. [6].

ストデータでの精度は、Caputo 微分が比較的高いが、計算時間は RL 微分が他の約半分となっている。

次に、少し規模の大きいデータセットの学習として、手書き文字認識のデータセット MNIST を用いて、中間層の素子数などをいろいろと変化させて実験している。その結果の一例を図2に示す。非整数階 7/9 付近でトレーニングとテストの両方の精度が最大となっている。他の条件でも同様の傾向がみられる。収束も古典的な誤差逆伝播学習よりも早く安定している。

MNIST データセットを Caputo の非整数階微分を使った誤差逆伝播を進化手法を組み合わせる学習させる試みを Chen et al. (2020) も報告しているが [8]、やはり整数階よりも良い結果を得ている。Pu & Wang (2019) は GL の非整数階微分を使ってより一般的な誤差逆伝播学習について、特にその収束性を検討している [9]。Wang et al. (2022)

は RL の非整数階微分を用いて、より早い精度の高い最急降下法を提案し、誤差逆伝播学習や畳み込みニューラルネットワークの例を示している [10]。Pu et al. (2015) は GL の非整数階微分を用いて、最急降下法を提案しているが [11]、非整数階微分を用いた場合の最適点は整数階を用いた場合の最適点とは異なることを指摘している。

4. 非整数階微分を使った畳み込みニューラルネットワーク

Shen et al. (2020) は畳み込みニューラルネットワーク (Convolutional Neural Network; CNN) に Caputo の非整数階微分を用いた最急降下法による誤差逆伝播学習を適用している [12]。微分の連鎖律 (チェーンルール) を簡単化するために、層間の逆伝播に 1 階の微分を導入している。図3にその逆伝播のスキームを示す。実際に図4に示す多層の CNN である LeNet-5 で手書き文字データ MNIST を学習させている。その結果、収束に必要な時間は整数階のものとはほぼ同じで、階数が 0.9 や 1.1 でトレーニングとテストの精度が 1 階のものより高いことを示している。

Zhou et al. (2020) はロボットマニピュレータのターミナルスライディングモード (TSM) による追従制御を Caputo の非整数階微分と 2 層の畳み込み層を持つ CNN で行い、従前のものに比べて外乱やノイズに対して頑強であることを示している [13]。

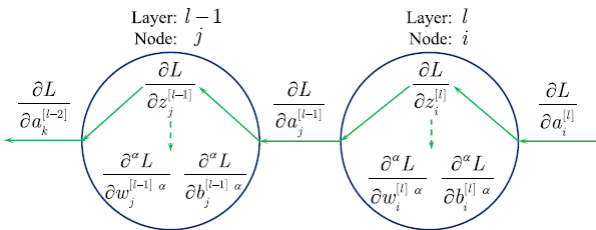


図3 非整数階微分と 1 階微分を組み合わせた逆伝播

D. Sheng, Y. Wei, Y. Chen, and Y. Wong, "Convolutional neural networks with fractional order gradient method," Neurocomputing, Vol.408, pp.42-50, 2020 [12] の Fig.3 より転載。

Figure 3 Backpropagation where non-integer order differentials are combined with first-order differentials. Excerpted from Fig. 3 of ref. [12].

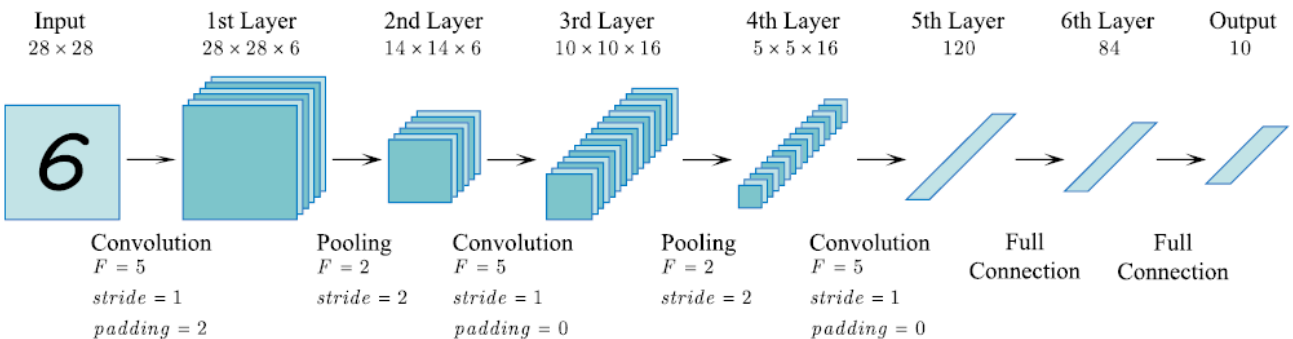


図4 畳み込みニューラルネットワーク LeNet-5.

D. Sheng, Y. Wei, Y. Chen, and Y. Wong, "Convolutional neural networks with fractional order gradient method," Neurocomputing, Vol.408, pp.42-50, 2020 [12] の Fig.5 より転載。

Figure 4 Convolutional neural network LeNet-5. Excerpted from Fig.5 of ref. [12].

5. その他の応用

近年、非整数階微分を使ったニューラルネットワークは、医療、暗号化、画像処理、ロボティクス、などに幅広く応用されている。古典的な応用としては、カオス、関数近似、熱伝導過程、周期性、散逸性、などの解析がある。これらの文献は Viera-Martin et al. (2022) による総説 [4] に詳しい。最近の応用としては、Khan et al. (2022) による推薦システム [14], Yu et al. (2022) による画像の暗号化 [15], Singh et al. (2021) による株価の予測 [16], などがある。また、Humphries et al. (2020) [17], Zhang et al. (2021) [18], Li et al. (2022) [19] など、近年、四元数ニューラルネットワークに非整数階微分を導入した研究が多数ある。

6. むすび

本小文では非整数階微分のニューラルネットワークへの適用を概観した。非整数階微分はその定義が積分で表されていることからわかるように、局所の性質のみではなく、履歴などといった情報が含まれる。このような性質をもつ現象の分析や表現には最適と考えられる。種々の文献によると計算的な負荷はさほど大きくはないことが示されている。将来的な応用としては、整数階の微分を用いているものを非整数階に置き換えて精度や速度を検証するのみならず、脳波や筋電、認知過程などといった多次元で非線形な現象の解析に四元数とともに用いると効果的と考えられる。

文 献

[1] Fractional Calculus (13:30 JST, December 14, 2022), the free encyclopedia Wikipedia English version, https://en.wikipedia.org/wiki/Fractional_calculus

[2] 杉本信正 “整数階でない微積分法について” 日本数学会 2016 年度秋季総合分科会市民講演会資料, 2016 年 9 月 19 日

[3] 杉本信正 “非整数階微分・積分とその応用” 日本流体力学会誌「ながれ」, Vol.4, pp.110-120, 1985.

[4] E. Viera-Martin, J. F. Gomez-Aguilar, J. E. Solis-Perez, J. A. Hernandez-Perez, and R. F. Escobar-Jimenez, “Artificial neural networks: a practical review of applications involving fractional calculus,” *European Physical Journal, Special Topics*, Vol.231,

pp.2059–2095, 2022.

[5] M. Cruz-Duarte, Juan Rosales-Garcia, C. Rodrigo Correa-Cely, Arturo Garcia-Perez, Juan Gabriel Avina-Cervantes, “A closed form expression for the Gaussian-based Caputo-Fabrizio fractional derivative for signal processing applications,” *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 61, 138-148, 2018.

[6] J. Wang, Y. Wen, Y. Gou, Z. Ye, H. Chen, “Fractional-order gradient descent learning of BP neural networks with Caputo derivative,” *Neural Networks*, Vol.89, pp.19-30, 2017.

[7] D.E. Rumelhart, G.E. Hinton, and R.J. Williams, “Learning representations by back-propagating errors,” *Nature*, Vol.323, pp.533–536, 1986.

[8] M.R. Chen, B.P. Chen, G.Q. Zeng, K.D. Lu, and P. Chu, “An adaptive fractional-order BP neural network based on extremal optimization for handwritten digits recognition,” *Neurocomputing*, Vol.391, pp.260-272, 2020.

[9] Y.F. Pu and J. Wang, “Fractional-order backpropagation neural networks trained by improved fractional-order steepest descent method, arXiv: 1906.09524, 2019.

[10] Y. Wang, Y. He, and Z. Zhu, “Study on fast speed fractional order gradient descent method and its application in neural networks,” *Neurocomputing*, Vol.489, pp.366-376, 2022.

[11] Y.F. Pu, J.L. Zhou, Y. Zhang, N. Zhang, G. Huang, and P. Siarry, “Fractional extreme value adaptive training method: Fractional steepest descent approach,” *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, Vol.26, No.4, April 2015.

[12] D. Sheng, Y. Wei, Y. Chen, and Y. Wong, “Convolutional neural networks with fractional order gradient method,” *Neurocomputing*, Vol.408, pp.42-50, 2020.

[13] M. Zhou, Y. Feng, C. Xue, and F. Han, “Deep convolutional neural network based fractional-order terminal sliding-mode control for robotic manipulators,” *Neurocomputing*, Vol.416, pp.143-151, 2020.

[14] Z.A. Khan, N.I. Chaudhary, M.A.Z. Raja, “Generalized fractional strategy for recommender systems with chaotic ratings behavior,” *Chaos, Solutions and Fractals*, Vol.160, 112204, 2022.

[15] F. Yu, X. Kong, H. Chen, Q. Yu, S. Chai, Y. Huang, and S. Du, “A 6D fractional-order memristive Hopfield neural network and its application in image encryption,” *Frontiers in Physics*, 10:847385, 2022.

[16] N. Singh, Sugandha, T. Mathur, S. Agarwal, and K. Tiwari, “Stock price prediction using fractional gradient-based long short term memory,” *Journal of Physics: Conference Series, IRMAS2021*, 1969:012038, 2021.

[17] U. Humphries, G. Rajchakit, P. Kaewmesri, P. Chanthorn, R. Sriraman, R. Samidurai, C.P. Lim, “Global stability analysis of fractional-order quaternion-valued bidirectional associative memory neural networks,” *Mathematics*, Volume 8, Issue 5, Article number 801, 1 May 2020.

[18] W. Zhang, C. Sha, J. Cao, G. Wang, and Y. Wang, “Adaptive quaternion projective synchronization of fractional order delayed neural networks in quaternion field,” *Applied Mathematics and Computation*, Vol.400, 126045, 2021.

[19] R. Li, and J. Cao, “Passivity and dissipativity of fractional-order quaternion-valued Fuzzy memristive neural networks: Nonlinear

scalarization approach,” IEEE Transactions on Cybernetics,
Vol.52, No.5, pp.2821-2832, May 2022.



村瀬 一之

米国アイオワ州立大学・院博士。知能情報学の研究に従事



この記事は Creative Commons 4.0 に基づきライセンスされます
(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>)。

『フランダースの犬』の中の老樵ミシェルの絵

——コンクールでネロが描いた絵を読み解く——

李 春美^{† a)}

The Picture of Old Woodcutter Michel in *A Dog of Flanders*: Reading the Picture that Nello Drew for the Art Competition

Choonmi LEE^{† a)}

あらまし ベルギーを旅した際に、ルーベンスに憧れ不遇のうちに亡くなった画家アントワーヌ・ヴィールツのことを知ったウィーダは、この薄命な画家をイギリスで紹介する評論を書いたばかりではなく、ヴィールツをモデルとして『フランダースの犬』の主人公ネロを造形した。本研究ノートは、『フランダースの犬』の中で、主人公ネロがコンクールのために描いた老樵ミシェルの絵が、ヴィールツの代表作「パトロクルスの死」の技法に通底することに焦点を当て、作者ウィーダが「一篇の詩」(a poem)と評した絵の構図と画題を読み解こうとする試みである。

キーワード 児童文学, イソップ寓話, ピーテル・パウル・ルーベンス, アントワーヌ・ヴィールツ

Abstract The British writer Marie Louise de la Ramee, known by her pseudonym Ouida visited Belgium and encountered with the paintings of Antoine Wiertz, who died in poverty and obscurity while aspiring to be a second Rubens. She not only wrote the article to introduce Wiertz and his work but also created the hero of *A Dog of Flanders* based on Wiertz. This research paper focuses on how the picture of Old Michel the woodcutter that Nello drew for the art competition in *A Dog of Flanders* (1872) is similar in art to one of Wiertz's best paintings, "Battle of the Greeks and Trojans for the corpse of Patroclus". Moreover, the research paper attempts to reconstruct its composition and read the theme of his picture which the author called 'a poem'.

Keywords Children's literature, Aesop's Fables, Peter Paul Rubens, Antoine Wiertz

1. まえがき

ファーザー・クリスマスと子どもたちに慕われたチャールズ・ディケンズ (Charles Dickens, 1812-1870) が没した 1870 年の翌年の 8 月, ウィーダ (Ouida, Maria Louise de la Ramée, 1839-1908) はベルギー・ブリュッセルを訪れ, かの地での見聞をもとに美しい短編小説『フランダースの犬』(*A Dog of Flanders*) を完成し, 1872 年 1 月

出版の『リッピンコット・マガジン』(*Lippincott's Magazine*) に発表した [1]. ディケンズ亡きあとのクリスマス・ストーリーの担い手をウィーダが目指していたとはあくまでも推測の域をでない仮説だが, 「クリスマスのお話」(*A Story of Noël*) と銘打たれていた『フランダースの犬』は, ディケンズの『クリスマス・キャロル』(*A Christmas Carol*, 1843) のように, クリスマス・イヴに暖炉のまわりで語られるゴースト・ストーリーの要素を幾ばくかと, クリスマスにこそ相応しい「救済」を主題としていた. しかし, その結末は, 『アンデルセン童話』(*Andersen's Fairy Tales*) の「マッチ売りの少女」(*The Little Match Girl*) のように, 死を志向する救済であることから, 救いがなくて

† 大阪国際工科専門職大学, 大阪

Faculty of Technology, International Professional University of Technology in Osaka, 3-3-1 Umeda, Kita-ku, Osaka-shi, Osaka, 530-0001 Japan

a) E-mail: lee.choonmi@iput.ac.jp

可哀そうすぎると^(注1)^(注1)、幸いにして日本人の好みに適って読み継がれるものの、やがてこの作品は、作家ウィーダの人気の衰退とともに忘れ去られていった。

全盛期の流行から遅れたゴシック小説と、クリスマス童話のハイブリッドとしての『フランダースの犬』は、早熟な少年ネロの激情と、実在の画家アントワーン・ヴィールツを模したかのようなネロの自己破滅的野心とその魂の救済という難解な主題に加えて、イギリスでは珍しい歴史画の大作が、物語の主題を支える背景として圧倒的な存在感を示している。しかし、少年ネロの野心がもたらす悲劇とその救済は別稿に譲ろう。

本研究ノートは、ヴィールツのごとく歴史画の巨匠ルーベンスに憧れた少年ネロがコンクールのために渾身の力を込めて描いた「老樵ミシェル」の絵に着目する。「絵はもの言わぬ詩、詩は語る絵」と言ったエレゲイア詩人シモーニデースの如く^(注2)、ウィーダが「一篇の詩」(a poem)と称したにもかかわらず、これまで一顧だにされることなかったがゆえに、「自然」(nature)に忠実でありながら、「技巧」(art)に優れた模倣となり、もの悲しくも美しさを漂わせたこの絵の構図と画題を考えることは、意味のある考察となろう。

2. アントワーン・ヴィールツ

1871年8月、ベルギーを旅した際に、ウィーダは、ルーベンスに憧れ不遇のうちに亡くなった画家アントワーン・ヴィールツ (Antoine Wiertz, 1806-1865) のことを知り、この薄命な画家をイギリスに紹介する評論を書いたばかりではなく、『フランダースの犬』においても、ヴィールツに言及している。

ネロの中には、それ以前にルーベンスやヨルダーンズを始め、ファン・アイク兄弟その他

(注1) 『週刊朝日』連載第57回「司馬遼太郎からの手紙」(2006年6月23日)、pp.48-52を参照。

(注2) 「詩は絵のように」(ut pictura poesis)とは詩作の決まり事で、古代ローマの詩人ホラーティウスの『詩論』(*Ars poetica*)の一行。『アリストテレス詩学・ホラーティウス詩論』(岩波書店、2010年)、p.288を参照。

の傑出した種族を生み出し、もっと近い年代ではミューズ川がディヨンの古い城壁を洗う、緑なすアルデンヌ地方に、パトロクルスの大画家を育てた、それと同じ潜勢力が作用していたのである。この最後にあげた大画家の才能はあまりに身近なために、かえってその高貴さを正當に評価しえないのだが。
(p.31)^(注3)

ウィーダは、生れ落ちるべき時代を違えたティタン族に連なる画家アントワーン・ヴィールツを鋳型として、ネロを人物成型し、物語の序盤において早くもネロの悲劇を予示していた。

貧困の中に育ち、運命にさいなまれ、文字はおしえられず、人間にはかえりみられないネロに、その償いとして、あるいは呪いといったほうがよいかもしいないが、いわゆる「天才」なるものが与えられていたのである。
(p.30)

ルーベンスを筆頭とする偉大なるアントワープ出身の画家と同じ才能に恵まれながら貧しく育った主人公ネロは、ハムレットの父王の亡霊のごとく立ち上がり助言をあたえるルーベンスから靈感を得ながら、己の画才を頼み、立身出世と愛を同時に手に入れようとするも、ルーベンスやネロと対峙する価値観を表象するコゼツ旦那からいわれなき迫害を受ける。感受性豊かで気高い気質を有していたがゆえに、時に不可解な、しかし入念に組まれた運命的な出来事によって、ついにネロは避けることのできない死へと至る。

2.1 ネロの人物造形の鋳型として

アントワーン・ヴィールツは、1806年、貧しき者の中でも極貧の家に生まれ、持てるものは、芸術に対する激情だけであった。ひたすらにルーベンスに憧れ、その全人生を画才による立身のた

(注3) 本研究ノート中の『フランダースの犬』からの引用は、特に明記しない限り、ウィーダ『フランダースの犬』村岡花子 訳(東京:新潮社、平成11年第66刷)を使用し、該当する書籍のページ数のみ記す。なお、原文中のルビは今回省略したことをお断りしておく

めに費やしたが、理想を追求しながらも、不遇のうちに没した画家であった。

ウィーダによれば、ティタン族たるヴィールツはまさに生れ落ちる時代を間違えたのであり、必然的に受難の人生が待ち受けている。不遇だからこそ偉大となるその画才には、やがて、正しき評価が時の経過とともに下るであろう。しかし、それは今ではないと考えるウィーダは「ヴィールツの名は、彼の自然科学の導きを受けた人間のみが目を向け、その名を口にすることができる惑星のようなもの。いまだ、親しみと歓喜をこめて子どもたちが呼んで指さす、芸術の天界におけるあの北極星ではない」^(注4)と評したのだった。

ヴィールツは、ルーベンスを人生の師と仰ぎつつも、アントワープの聖母大聖堂を飾る2枚のキリストの絵——「キリストの昇架」(Elevation of the Cross)と「キリストの降架」(Descent from the Cross)——に負けない絵をいつか創り出したいという願望を抱いていた。絵にかける激情ゆえに、「絵を売ることには芸術の死である」と見なすまでに精神性を追求するあまり、ヴィールツは、物質的に困窮していたにもかかわらず、絵を売ることが拒み続けたという。

人生のすべてを芸術に捧げ、ヴィールツは邁進した。時に、傲慢、虚栄と非難されるも、ルーベンスやイタリアの絵画の巨匠たちの前では、ヴィールツほど謙虚で、敬虔な信奉者はいるまいとウィーダは褒めちぎる。

ルーベンスが謳歌したこの上もない榮譽とは正反対に、ヴィールツの画家としての人生は終始、過酷で受難に満ちたものであった。しかし、1865年6月18日、夏の朝の日差しが、窓辺の蔦の葉陰から差し込み、ヴィールツの死に顔を照らし出した時、生前には全く縁のなかった安らぎが伺え、その死顔に、墓から甦り、神の栄光に輝く「キリストの勝利」(The Triumph of Christ)に描かれたキリストの顔が重ねられたという。

2.2 老樵ミシエルの画題として

アントワープにおける10年ばかりの修練の後、

パリとローマで絵の見聞を広めたヴィールツは、大作「パトロクルスの死」(Battle of the Greeks and Trojans for the corpse of Patroclus)を成果として、アントワープに持ち返った。ウィーダはこの作品をヴィールツの最高傑作と見なしているようで、前出したように、『フランダーズの犬』においても言及している。

ウィーダは、ルーベンスに焦がれる若き画家が人生をかけた野心をこの絵によって達成したと考えており、以下のような絵の解説を書いたが、それは実に、老樵ミシエルの絵の描写に酷似している。実際に、「パトロクルスの死」の絵の解説を見てみよう。

この偉大なる主題を描きなおしたいというのが、常に、ヴィールツの意図であった。意図が達成されないままに、死が彼に訪れた。しかし、果たしてヴィールツがこれに関して首尾よく自らに打ち勝つことができたのだろうか疑しい。画布は、ホメロスの魂そのものを吹き込んでいるように思われる。メネラオスは、その眼を炎の如く燃え立たせ、戦いの獐猛な息がその髭に吹きかかっている。獅子や狼のごとき戦士たちに取り囲まれた一個の美しい裸体は、ちぎれんばかりに引っ張られている。パントオスの年若き息子が、斧の一撃を受けた若いオリーブの木のように、鋼の剣に倒されている。解剖学的な完璧さ、戦いの活気と、迅速さ、荘厳なまでの獐猛さが見て取れる。生きている戦士たちの脈打つ肉体には無数の色が与えられ、一方、倒れた死者は傷を受けて蒼白となっている。ホメロス時代を激情的に愛する心と直感的な力が、英雄的な感情のほとばしりとなって、構図の全体的概念に注がれている。これらすべてがひとつの作品を形成しているものであり、確かに、この作品に対して、だれも何の感情も抱かずして眺めることはできない。この作品によって、ヴィールツは、傲慢にも厚かましくもならず、「ルーベンスに対抗したい」という生涯の野

(注4) Ouida, "Antoine Wiertz: A Sketch," *London Society* 22 (London: 1872), p.24.

心を達成したと言われるかもしれない^(注5)。

次に、老樵ミシエルの絵の製作の場面を見てみよう。

(北から豊かに光が差し込む) この場所で、粗雑にはあるが自ら粗木でイーゼルを組み立て、そこに張られた一枚の大きな灰色の紙の上に、頭にとりついた無数の空想のひとつを形に表した。誰もいままで彼に何も教えてくれなかった。絵の具を買う手段も彼にはなかった。この場所にある数少ない粗野な道具さえ入手するために何度もパンを抜いたものだった。そして、ネロが目にしたものを成型することができたのは黒と白の色だけであった。チョークでここに描いた大きな人物は、倒れた木の上に腰掛ける独りの老人だけであった。それだけだった。ネロは老樵ミシエルが夕暮れ時にそのように座っているのを何度も見たことがあった。下絵や遠近法、解剖学や陰影についてネロにおしえてくれる人は誰もいなかったが、絵のモデルとなった人の、疲れて、疲弊しきった老年、悲しくも静かな忍耐、荒削りの悩みつかれた悲哀をすべて描き、描き切ったので、暗闇が背後に押し寄せる中、瞑想しながらただ独り、枯れた木の上に座っている年老いた孤独な人物が「一篇の詩」(a poem)となった。絵は、もちろん、ある意味粗雑なもので、確かに多くの欠点を有していた。しかし、絵は本物のようで、「自然」(nature)において忠実でありながら、「技巧」(art)において忠実であった。そのため、絵は悲しみに満ちていたが、ある意味美しくもあった。(日本語訳は筆者)

『フランダースの犬』における老樵ミシエルの絵が、「パトロクルスの死」のように、画題を力強く物語る絵であることは分かったが、なぜネロは老いた樵のミシエルを画題としたのだろう。わ

(注5) Ouida, "Antoine Wiertz: A Sketch," *London Society* 22 (London: 1872), p.26.

ずかに与えられた絵の描写から、読者は老樵ミシエルの絵を再構築し、かつ、ウィーダが意図したような詩たり得る絵の本質を、その絵から読み解くことができるであろうか。まして老樵ミシエルは、たとえ人物を具現化する名前を与えられたとしても、物語の中でたった一度、「そのように座っている」と曖昧に語られたに過ぎない。

例えば、1975年、日本アニメーションによる「フランダースの犬」では、ネロがコンクールに出品する絵は祖父ジェハン・ダースとパトラッシュの交流の絵に代わっている。このことから伺えるように、日頃、関心をもって凝視するもの、あるいは、深い愛着を抱くものを描くという点で、松の木板に描いたアロアの絵と同様、コンクールの絵の画題にするならば、日本アニメーションによる改変画題の方がはるかに理解し易いだろう。

唯一、老樵を画題として選択した手がかりとして語られていることは、ネロが何度も「そのように座っている」老樵ミシエルの姿を凝視していたということだ。ネロが祖父やパトラッシュ、アロアに注ぐ愛着のように、関心あるいは共感などの、何かしらの感情の移入なくして、老樵が画題に選択されたとは考え難い。しかも、この感情移入によって老樵に注がれたネロの凝視は、アロアによく似ているとコゼツ旦那を唸らせ、涙させた松の木板の絵のように、写実に描くために役立ったばかりでなく、老樵の絵を「詩」へと成型せしめた「想像力」を引き出すことになった。

確かに、無名に等しい老いた樵の絵は、壮大な歴史画や宗教画を得意とするルーベンスに憧れるネロが画題として選択すべきものかと訝られる。しかし、「ルーベンスが知っていたら、きっとぼくのを入選させてくれると思うよ」(p.46)とネロが自負していたように、老樵ミシエルの絵は、おそらく聖書・神話・歴史・寓話などの共有性のある文学テキストに由来し、ネロが目にすることを許されたルーベンスの絵と同じく、画家の想像力を喚起する画題であったと仮定することは無謀な試みではあるまい。

2.3 祖父には緋色の衣をまとわせて

思えば、なぜ、ネロは絵のモデルに祖父ジェハ

ン・ダースを選ばなかったのか。日本アニメーションは絵の制作を祖父ジェハン・ダースの死後と設定したが、これは興味深い。なぜならば、もし原作において、絵の制作がジェハン・ダースの死後ならば、間違いなく、ネロは、止む無き労働の犠牲者として、祖父の姿を描いたであろうからだ。

ネロの祖父ジェハン・ダースは、老樵ミシエルと同様に、死ぬまで止む無き労働の宿命を負った人間だ。おそらく、老樵ミシエルの絵の制作に取り掛かっているネロが「第二のルーベンス」を目指して幸福な夢を思い描いていたことを思い起せば、絵のモデルに祖父を選択しなかったことは、ネロの祖父に対する愛情の証左であることがわかるであろう。

慎ましく勤勉な労働者として運命づけられたジェハン・ダースは、概して、孫ネロの画才や夢に気付かずにはいたが、ただ一度、コゼツ旦那に嫌われてしまったと言うネロからアロアの絵の件をきいて真相を知る。祖父は孫をただ憐れむしかできなかったが、このような祖父の憐みを、ネロは自慢に変える将来をかたく信じて疑わなかった。

実際、老樵ミシエルを画紙に描く以前に、ネロは、幻のように浮かぶ美しい未来の中ですでに、ジェハン・ダースの姿を絵に想像している。毛皮と緋色の衣を被った祖父のその姿は、聖ヤコブ聖堂でルーベンスの墓の上に掲げられた絵「聖母子と諸聖人」(Madonna and Child with Saints)の中の祝福された老人に重ねられ、「第二のルーベンス」となったネロのおかげで、もはや貧困と労苦に悩まされることはない。ネロが画家として成功するこのような大望を持ち続けている限りは、貧困に苦しむ人間の労苦と悲しみは、祖父にではなく、止む無き労働の運命を負った他の人間に降りかかるものとして捉まえられたからこそ、老樵ミシエルの姿がネロの共感をよび、想像力を喚起したに違いない。ネロは老樵ミシエルをよく観察して、その過酷な人生を思いやることができたので、その姿に自身の祖父ジェハン・ダースの姿が自然と重ねられたのだろう。老樵ミシエルと祖父ジェハン・ダースとの類似性は、ジェハン・ダースの身代わりとして、画題としての老樵ミシエルの像

を読者に結びやすくしたと言える。

2.4 老樵ミシエルの絵に隠された意匠

目にすることを切に願ったキリストの二枚の絵は貧困ゆえに見ることができなかったが、ネロが目にすることができたルーベンスの絵は、聖母大聖堂の「聖母被昇天」(Assumption of the Virgin Mary)と、聖ヤコブ教会のルーベンスの墓所を飾る「聖母子と諸聖人」(Madonna and Child with Saints)であったろう。教会という場所の荘厳さと、目の前に展開する宗教的画題の表象が、「第二のルーベンス」を志すネロに何を教えたのかは推察するしかない。「聖母被昇天」においては、肉体も霊魂とともに天へと引き上げられるマリアを神の母とみなすカトリックの教義、そして、「聖母子と諸聖人」においては、神の子が人間の救済のためにこの世に生まれたという受肉の秘蹟のように、見る人に等しく想起させるメッセージを読み解くための構図上の仕掛け、絵の具の彩りに欠けてはいるものの、絵を見れば一目瞭然にわかる何かを、ネロの絵の中に探ってみよう。事実、物語の終盤に遅れて登場する世界的な名声を誇る画家が、ネロの絵のモデルが樵であり、「夕べ時倒木に腰掛ける老いた樵」(An old woodcutter on a fallen tree at eventide)という画趣を評価していたことは重要な意味を有する。

画家としての技法は未熟ながら、ネロは画紙いっぱいモデルとなる老いた樵を大きく描く大胆な構図をとり、モデルとその背後に迫りくる夜の闇を遠近法で、さらに、モデルのくたびれきった老年と疲労を解剖学的にとらえ、明暗法を駆使して描き出した。しかし、モデルの忍耐や悲哀は、彼の職業あるいは労働との連想なくして捉まえることは難しい上に、「一篇の詩」の情趣は、主として、鑑賞者の心象に作用するものだ。絵の鑑賞者は等しく、絵のモデルの職業を知り、その過酷さを読み取ることができねばならない。それゆえ、老樵ミシエルの絵に関する語りの中には直接に言及されていないが、「聖母子と諸聖人」に登場する三聖人——聖ヒエロニムスは聖書とライオン、聖ゲオルギウスは武具にドラゴン、マグダラのマリアは香油の入った壺と長い髪——のように、誰

もが見て樵とわかる持ち物すなわち「薪」あるいは「斧」があっても不思議ではないと考える。事実、薪を抱えた樵は、束を抱えた落穂拾いと同様に貧しい者でありながら、フランダースの風景を絵のように美しくするものとして、物語序盤でも語られているように、ネロが描いた老樵ミシエルの絵に薪は欠かせなかったはずだ。

さて、夕ぐれ時、一日の厳しくつらい労働を終え、薪の重みに耐えながら、帰路につく年老いた樵のイメージは、実は、イソップ寓話 78 番「老人と死」そして後のラ・フォンテーヌの寓話 15 番「死と不仕合せな人」と 16 番「死と木こり」でよく知られたものである。

イソップ 78 番「老人と死」

或る日一人の老人が薪を切って、それをかたいで長い道を歩いていました。しかし道に疲れましたので、その荷物を下ろして、死神に呼びかけて助けを求めました。と、死神は姿を現して、どういうわけで自分に呼びかけるのかと尋ねましたので、老人は「荷物を持ち上げてもらうためです。」と言いました。

この物語は、誰でも人間は、たとい[その生計(くらし)が]不幸であっても、生を愛する者である、ということを示しています(注6)。

ラ・フォンテーヌ 16 番「死と木こり」

あわれな木こりが、枝葉にすっかり覆われて / 背中にしよった焚木(たきぎ)の重みと、年齢(とし)の重みに、 / 腰は曲がり、うめきながら、思い足どりで、 / すすだらけの藁屋をさして帰って行こうとしていた。 / ついに、疲れと苦しみに堪えきれなくなって、 / 焚木をおろし、つくづくとわが身の不幸を想う。 / この世に生まれて、どんな喜びを味わったろう。 / この円い機械のなかに自分よりあわれな者があろうか。 / ときにはパンもなく、安らかな時はひとときも。 / 妻や子ども、兵隊、

税金、 / 借金取り、夫役(ぶやく)、 / すべてが不幸の絵巻をまざまざと描いて見せる。 / 木こりは死を呼ぶ。死はすぐにやってきて、 / なにをしたらいいのか、とたずねる。 / 「この焚木をしよわせてもらいたいのぞ」 / とかれは言う。「たいしておひまはとらせませまい。」 / 死はいっさいをいやしにやってくる。 / だが、ここから動かないことにしよう。 / 死よりはむしろ苦しみを、 / これが人間の言いぐさである(注7)。

これらの寓話は、死神の登場により、死よりは苦しみを選擇するほどに生を愛する人間のさがを前景化しているが、ネロの絵には死神が不在である。

賢人として知られたマエケナスでさえ、死を恐れて、「死よりはむしろ苦しみを」という臆病な言葉を発したとされる。「如何に良く生きるかが重要であって、如何に長く生きるかではない」と考えるセネカは死を恐れたマエケナスを侮蔑したが(注8)、おそらくラ・フォンテーヌは、マエケナスの言葉を人間全般に当てはまる適切なことばであり美しいと感じて、15 番という変奏寓話を創作した(注9)。

ネロの絵も、かくも生きることが苦しいならいっそのこと死んだ方が良いと願う刹那、不幸な生活を耐えて生き続けなければならない人間が労苦の中で安らう束の間の悲哀を照射する。しかも、画家としての成功を夢見ながら絵を制作していたネロは、労働を神秘化した農民画家ミレーのように、労働の尊さと価値を信じることができたので、モデルとなる老樵ミシエルの画紙いっぱい

(注7) 『ラ・フォンテーヌ寓話(上)』今野一雄 訳(東京:岩波書店, 昭和47年), pp.99-100.

(注8) ガイウス・キルニウス・マエケナス(Gaius Cilnius Maecenas, 70 BC - 8 BC)は、ローマ帝国の政治家。皇帝アウグストゥスの治世に文学の庇護者として知られた文人でもあった。フォンテーヌが主題とした挿話は、ルキリウス(Lucilius)にあてたセネカ(Lucius Annaeus Seneca, 4 BC - 65)の『道徳書簡集』101番に記されている。

(注9) セネカ『道徳書簡集・倫理の手紙集』茂手木元蔵 訳(東京:東海大学出版会), pp.520-522を参照。『ラ・フォンテーヌ寓話(上)』, p.98を参照。

(注6) 『イソップ寓話集』山本光雄 訳(東京:岩波書店, 1989年第55刷), pp.73-74.

描き、一方、忍び寄る死神の歩みは遅らせて、安らう老樵の背後の夕闇の暗がりの中に死神の存在を埋没させたのではないだろうか。

3. むすび

大きく画紙いっぱい描かれた老いた樵の背後に迫る暗い闇の中に、死神が潜んでいるのではないかと想像することを可能にさせる技巧のおかげで、ネロの絵に描かれた寓話の変奏は、開かれた結末となっている。

鑑賞する人の心象にゆだねられたネロの絵の中の老いた樵は、ネロや遅れて登場する高名な画家には、苦と悲哀に耐えて一筋の光にも似た命の力に頼む人間への美しい共感を喚起するが、コゼツ旦那やコンクールの審査員には、名も無き老いた樵の疲れと苦しみをネロの絵が自然に忠実に模倣しているだけに、不快に思えたのであろう。

さて、老樵ミシエルの絵の中に、本来おさまるべき死神はどこへ行ったのか。もちろん、死神がすべての命ある者にその大鎌をふるい落とすことを考えれば決して不思議ではないのだが、まず死神は、老樵ミシエルの身代わりとしたネロの祖父ジェハン・ダースのもとを訪れた。そして次に、ネロとパトラッシュを追っていく。

しかし、ネロとパトラッシュの死をやたら嘆いてはならない。「忠実な愛をいただいたままの犬と、信じる清いところのままの少年」(p.70)の命をこの世から引き上げた死神は、ウィーダが描いたように、情け深かったからだ。

文 献

- [1] Ouida, *A Dog of Flanders in Lippincott's Magazine of Popular Literature and Science*. Vol. IX. (J.B.Lippincott and Co., 1872)



李 春美

大阪女子大学 大学院文学研究科修士課程 英語学英米文学専攻 修了。文学修士。広島女学院大学にて博士(文学)取得。短期大学や大学にて、長年英語教育に従事。大阪大学大学院医学系研究科国際・未来医療学講座「医療通訳」養成コース(日本語・英語)にて医療通訳を学び、通訳案内士(英語)の資格も取得。英国ルネサンス期の劇作家シェイクスピアの歴史劇を専門として、著書に『エリザベス女王最後の十年間・シェイクスピアのイングランド歴史劇からの考察』、『英語の成長と構造』(翻訳・共訳)(以上、英宝社)等。日本英文学会、日本シェイクスピア協会、日本ヴィクトリア朝文化研究学会、日本医学英語教育学会会員。



この記事は Creative Commons 4.0 に基づきライセンスされます
(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>)。

特集 実践報告：専門職教育

Obniz マイコンボードと LEGO Mindstorms EV3 を用いた IoT システム開発実習の教材開発

味戸 克裕^{† a)} 原 秀樹[†]

Development of teaching materials for an IoT system development practical training subject using Obniz microcomputer boards and LEGO Mindstorms EV3

Katsuhiko AJITO^{† a)}, Hideki HARA[†]

あらまし 2021 年に開学し、2 年次からのグループワークでの開発実習の授業である IoT システム開発実習は、専門職大学の特長の 1 つである実践型の PBL 学習の科目として IoT システムコースに設定されている。スマート社会を実現するための IoT システムを作成するため、Obniz マイコンボードと LEGO® Mindstorms EV3 を用いて教材開発を行ったので報告する。

キーワード PBL, WBS, ガントチャート, 要求仕様書, 概要設計書, 週報, UML, 距離センサ, 温度センサ, 人感センサ

Abstract Our university opened in 2021, and an IoT system development practical training subject was designed and developed as a practice oriented PBL subject with group work for second-year students and above as one of the special features of a professional university. We report on the development of teaching materials using Obniz microcomputer boards and LEGO® Mindstorms EV3 in order to create an IoT system for realizing a smart society.

Keywords PBL, WBS, Gantt chart, requirement specification, outline specification, weekly report, UML, distance sensor, temperature sensor, human detection sensor

1. まえがき

従来の大学教育が一般的に学術を中心に広く知識を修得する学びであるのに対し、実践を重視する本学では、知識・理論と技術・実務の双方を学び、早い段階から実社会を見据えた実習授業も行われる。情報工学科の 1 年次で実際の製品やシステムの調査分析を通してものづくりやサービス開発の基礎を修得し、専門コースに分かれる 2 年次から、実践型の PBL 学習としてグループワークでの「開発実習」の授業がスタートし、企画から開発までの専門的な知識・技術を身につける。IoT

(Internet of Things) システムコースの実習科目である IoT システム開発実習では具体的なテーマとして、スマート社会を実現するための IoT システムを扱う [1]-[3]。IoT システムにおいて「見守り」はその代表例であるが、実習の授業で実際に見守りの対象物を何にするかは大きな課題である。今回は世界各国のロボット工学の教材として定評のある小型ロボットである LEGO® Mindstorms EV3 (以降 Mindstorms と略す) [4]-[5] を見守りの対象物とした。

本稿では、見守りの対象物として Mindstorms を活用し、スマート社会を実現するための IoT システムを扱う実習の授業のため、株式会社 obniz 製 obniz Board 1Y (以降 Obniz と略す) マイコンボードと組み合わせた教材開発を行ったので報告する。

† 大阪国際工科専門職大学 工科学部 情報工学科, 大阪府

Department of Information Technology, Faculty of Technology,
International Professional University of Technology in Osaka, 3-3-1
Umeda, Kita-ku, Osaka, 530-0001 Japan

a) E-mail: ajito.katsuhiko@iput.ac.jp

2. IoT システム開発実習の授業実施内容

介護現場の見守りシステムや商業施設での環境監視システムなどの先行事例を参考に、各自で地域企業の課題解決やサービス高度化をテーマに定め IoT システムを開発する。センサデバイス、アクチュエータなど物理世界からヒトへのインタフェースを持つデバイスに加えて、小型ボードコンピュータやスマートデバイスを組み合わせたプロダクトを製作することで、事例調査からニーズ・アイデア検討、仕様策定、システム実装、動作検証までのプロダクト開発の方法論の基礎を習得する。それぞれのデバイスに応じた有線無線の通信インタフェースやそのプログラミング手法を選び、IoT システムの特徴であるサイバー・フィジカル連携の実際を体験する実習を行う。5人程度のチームを編成して、チームごとに自らテーマを決め、またチームメンバーは、それぞれ役割分担を明確にしてグループワークでの作業を進めた。

2.1 実習のテーマに対する教材のコンセプト

実習のテーマは、見守り（お年寄り、子供、ペット、自動車、産業機械など動くものを対象）、生活の自動化、商業施設や工場での環境監視などの先行事例を参考にして、スマート社会を実現する

ための IoT システムとした。このテーマを実習として行う際に、見守りを行うための各種センサを搭載したマイコンボードを選定した。マイコンボードは、クラウド環境が標準で整っていてサイバー・フィジカル連携を体験でき、低消費電力でモバイルバッテリーでの動作が可能であることから Obniz を選択した。今年度は、半導体不足で海外のマイコンボードの入手が困難だったため、国産であるメリットは大きかった。見守りの対象物として動的なものが想定される場合が多いため、小型ロボットである Mindstorms を IoT システムのプロトタイプを作成する際の「人間や動物、自動車など動く対象物」の例えとして活用することを考案した。図1に Obniz と Mindstorms を用いた IoT システム開発実習の教材のコンセプト図を示す。図では Obniz に超音波センサを接続し距離を測定し、別の Obniz でスマートフォンのカメラを制御し、さらに TensorFlow の機械学習ライブラリーを使って AI での物体認識を行った。

2.2 実習の教材

教材の詳細を以下に示す

- (1) Obniz マイコンボード本体
- (2) LED マトリックス (Obniz 用)
- (3) LED 信号機 (Obniz 用)
- (4) LED 5 色 (Obniz 用)

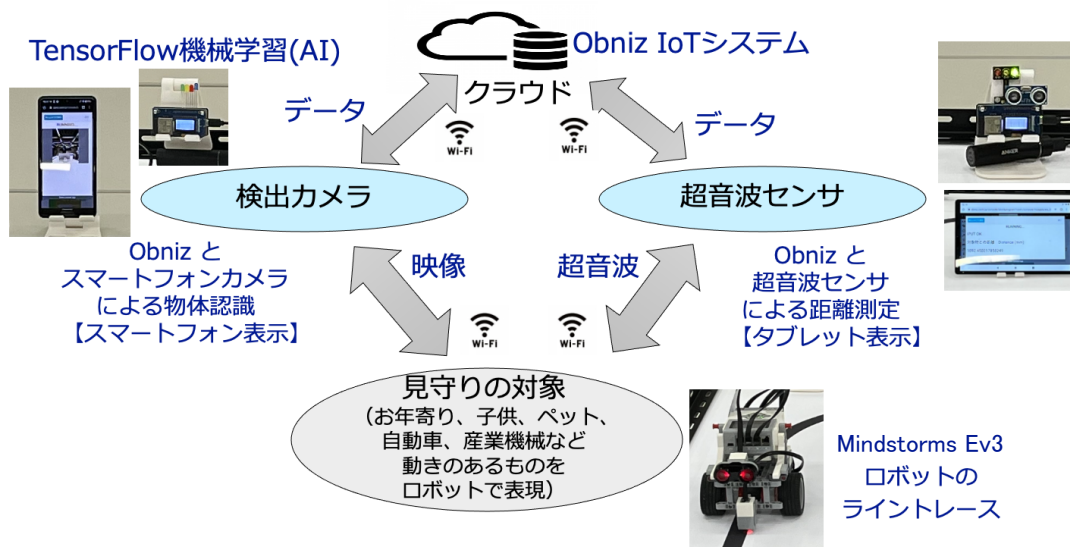


図1 Obniz マイコンボードと LEGO Mindstorms EV3 を用いた IoT システム開発実習の教材のコンセプト図

Figure 1 Concept of the teaching materials in the IoT system development practical training subject using Obniz microcomputer boards and LEGO Mindstorms EV3.

- (5) サーボモータ (Obniz 用)
- (6) ブザー (Obniz 用)
- (7) ボタン (Obniz 用)
- (8) 温度センサ (Obniz 用)
- (9) 人感センサ (Obniz 用)
- (10) 超音波センサ (Obniz 用)
- (11) Obniz Cloud (Obniz 用) ※デバイス管理やオンラインエディタなどの機能が利用できるクラウド。
- (12) Android スマートフォン (Obniz 用)
- (13) Android タブレット (Obniz 用)
- (14) モバイルバッテリー (Obniz 用)
- (15) Mindstorms 本体
- (16) 超音波センサ (Mindstorms 用)
- (17) カラーセンサ (Mindstorms 用)
- (18) タッチセンサ (Mindstorms 用)
- (19) サーボモータ M サイズ (Mindstorms 用)
- (20) サーボモータ L サイズ (Mindstorms 用)

2.3 実習のソフトウェア

実習で使用したソフトウェアを以下に示す。

- (1) JavaScript 言語 (Obniz 用)
- (2) ブロックプログラム (Obniz 用) ※ JavaScript 言語へ変換可能
- (3) C 言語, ARM 用 GCC (Mindstorms 用)
- (4) TOPPERS/EV3RT (Mindstorms 用)

- (5) EV3 Classroom (Mindstorms 用)
- (6) 株式会社チェンジビジョン astah* professional

2.4 授業の流れ

授業は、1コマ(90分)×45回で構成され、オリエンテーションから始まり、8チームに分かれて、それぞれのチームがアイディアを出し合いながら進め、最終発表まで以下の通り行った。

- (1) オリエンテーション
- (2) センサ, サーバシステムなどの開発環境や開発手法について学び, スマート社会を実現するためのIoTシステムのアイディアを創出し, テーマ(ユースケース)を決める。
- (3) プロジェクトマネジメント(開発工程や管理手法など)と実践ツールに対する理解を深める
- (4) アイディアレビュー
- (5) IoTシステム実装(PoCの作製を含む)
- (6) 中間発表
- (7) アイディアと作製したPoCのレビュー
- (8) 最終発表

3. IoTシステム開発実習における提出物

実習はものづくりやプログラミングが注目されるが、それと同様に、色々な工程におけるドキュメントや工程管理自体もプロジェクトマネジメン

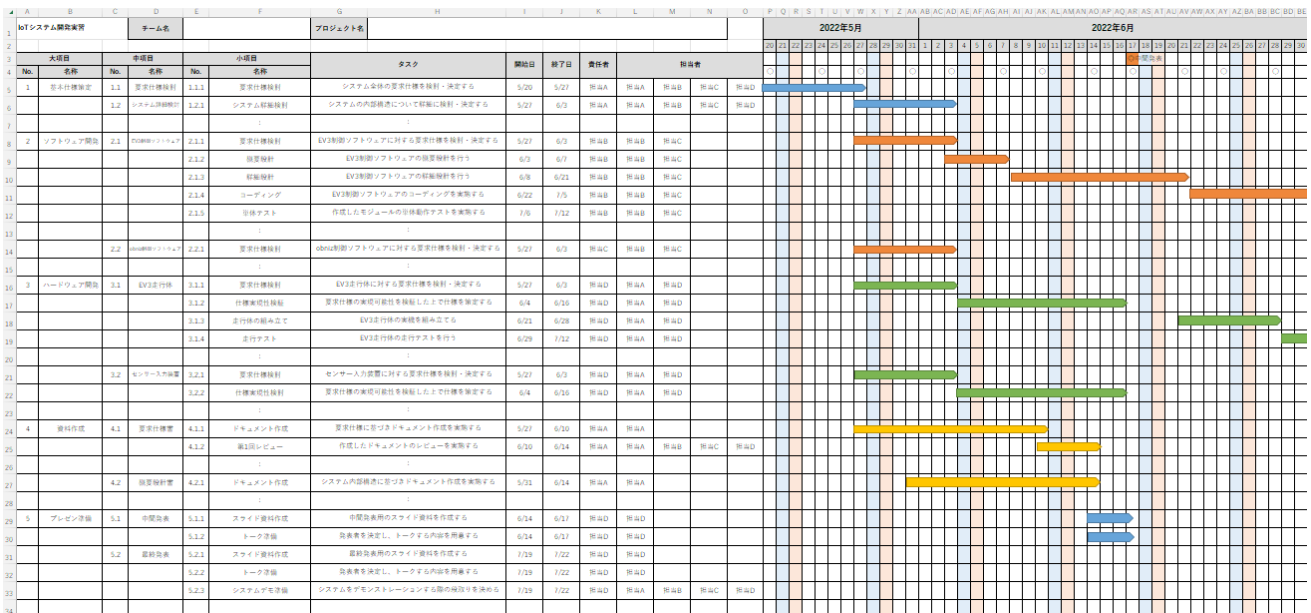


図2 IoTシステム開発実習におけるガントチャートを使ったプロジェクトマネジメントの学習
Figure 2 Study of the project management using the Gantt chart in the IoT system development practical training subject.

トとして重要である。以下その一例を示す。

- (1) WBS (作業分解構造図)
- (2) ガントチャート
- (3) 要求仕様書
- (4) 概要設計書
- (5) 週報
- (6) UML

3.1 WBS

WBSはWork Breakdown Structureの略で、作業分解構造図ともいう。プロジェクトマネジメントに必要で、細かい作業を分解して構造化し、より管理しやすい開発やスケジュール計画の作成を可能にする。プロジェクトをスケジュール通りに管理するために重要である。授業では、カップラーメンの作り方・食べ方を例に教え、各チームがそれぞれのテーマを大項目、中項目、小項目にブレークダウンした。小項目の役割分担を決めることで、次に説明するガントチャートでのスケジュール管理が可能となった。

3.2 ガントチャート

ガントチャートは主にプロジェクトにおける作業工程や進捗状況を管理するための図表である。図2に示すように、縦軸でWBS(作業内容・担当者、開始日・終了日など)、横軸で日時を表すことで視覚的に作業期間や進捗を表現することができる。プロジェクト管理において非常に有効な手段であり多用されている。授業では作成済みのWBSを基にガントチャートを作成し、実際の開発作業に役立てることができた。

3.3 要求仕様書

要求仕様書とは開発するシステムに求められる様々な要件やスケジュールなどをまとめたものであり、システム開発の初期段階で作成する。今回はチームごとに自ら開発するシステムの要求仕様書を作成した。授業ではシステムに求める要件を機能要件および非機能要件に分けてドキュメント作成を行った。

3.4 概要設計書

概要設計書とは要求仕様書を基にシステムの概要をまとめたものである。今回は作成済みの要求仕様書を基にチームごとに概要設計書を作成し

た。授業では要求仕様書を基にシステムを構成するハードウェアおよびソフトウェアに関する概要をまとめるドキュメント作成を行った。

3.5 週報

メンバー間で作業進捗の確認や意思疎通を図るため週単位で状況報告を行う週報を作成した。授業では進捗を確認するミーティングを毎週実施した上で予定された作業内容の進捗状況や問題点などをまとめた週報を毎週作成した。この週報はシステム開発作業を円滑に進めるための重要な資料となった。

3.6 UML

UMLとはUnified Modeling Languageの略で、ソフトウェア工学においてシステム設計を図式化して表現する世界標準のモデリング言語である。システム内部の状態遷移などを視覚的に分かりやすく表現することができる。授業ではastah* professionalのソフトウェアの使用法を教え、システムの挙動を明確化するための一手段として設計ドキュメント内でUMLを用いた。

3.7 その他

詳細設計書、関数仕様書、状態遷移表、回路図などはオプションとして、評価の加点の材料とした。

4. 各チームの実習のテーマについて

8チームのテーマは以下の通りであった。

- (1) 室内情報管理システム
- (2) 自動信号検知システム
- (3) 自動車の車内の未来 ～居眠り運転防止のための、振動と音のアシスト～
- (4) スマート手押し車
- (5) その場所の気温によって風の強さを変えてくれる扇風機
- (6) Obnizを活用した入退室管理システム
- (7) Obnizを使ったエリア内位置情報取得システム
- (8) 外観検査自動化システム

チームの代表として、(6) Obnizを活用した入退室管理システムについて詳細を述べる。

4.1 システムの目的

生活の自動化，商業施設や工場での環境監視などの先行事例を参考にして，入退室情報・室内人数の管理と個人の識別を行い，スマート社会を実現するための IoT システムを開発する。

4.2 システムの概要

- (1) 出入り口を想定した場所にそれぞれ超音波センサーを設置し，室内人数・入退室の状況を記録する。
- (2) AI カメラによる物体検出であらかじめ登録しておいた個人を識別する。

4.3 システムの内容

Obniz を活用した入退室管理システムを図 3 に示す。中央に見守りの対象物を撮影するカメラがあるが，スマートフォン内蔵のカメラを物体認識に利用している。検出カメラの両側には Obniz に超音波センサーを接続したものを 2 セット用意し，入室検知センサーと退出検知センサーとしている。さらに，Mindstorms で対象物の入退出を再現している。中央奥のノート PC には入室している人数の棒グラフが表示されており，リアルタイムでの人数が棒の長さとして表されている。

- (1) 人の入退室を再現するために Mindstorms の ライントレース走行を使用する。ラインレースでは，EV3 のカラーセンサを用いた。この時，走行車の側面に個人識別用の写真を貼り付けた。
- (2) 入退室を検知するために 2 台の超音波センサー（入室検知と退出検知）を接続した Obniz を使用した。
- (3) 個人を識別するため走行車に貼り付けられている写真とスマートフォンのカメラ映像機能を使用した。
- (4) 識別した個人の入退室を検知するため，スマートフォンのカメラ映像機能と Obniz の AI 処理機能を連携し，TensorFlow の機械学習ライブラリーを使って物体認識を行った。
- (5) 入室管理（日時，個人の入退室状況）と現在の入室人数を記録させ，グラフを作成・更新するため Google スプレッドシートを使用した。

4.4 システムで使用した教材

本システムで使用した教材を以下に列挙する。

- (1) Obniz（本体と超音波センサー）
- (2) Obniz Cloud ※入室管理（日時，個人の入

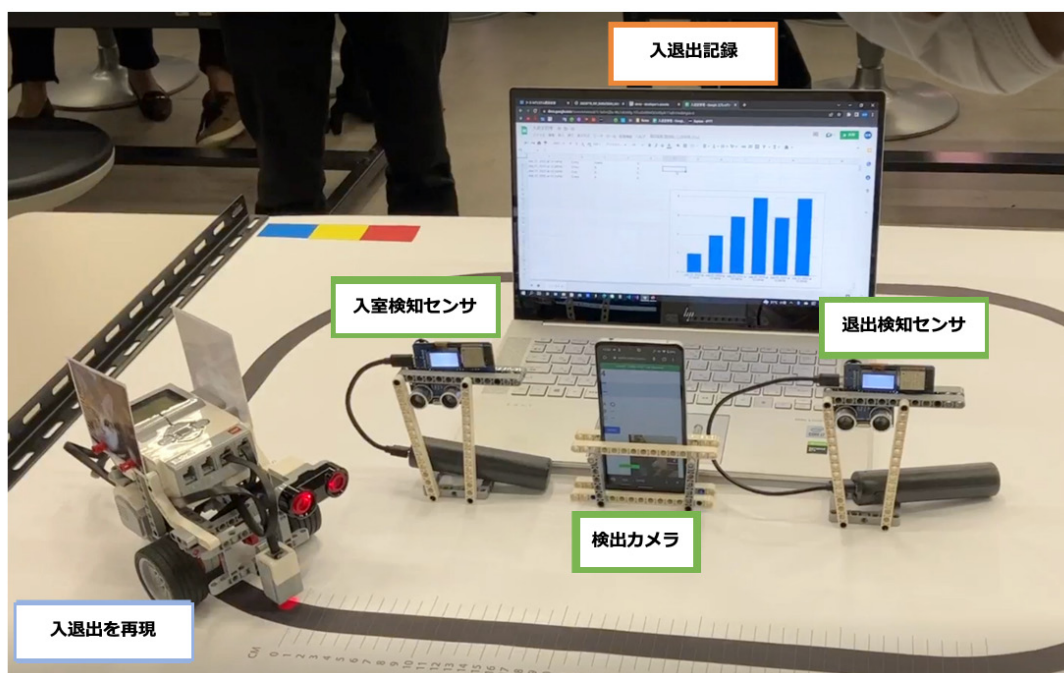


図 3 Obniz マイコンボードを活用した入退室管理システム

Figure 3 Entering and exiting room monitoring system utilizing the Obniz microcomputer boards.

退室状況)と現在の入室人数を記録させ、グラフを作成するために使用した。

- (3) Mindstorms (本体, 超音波センサ, カラーセンサ, サーボモータ Lサイズ) ※ライントレース走行を活用し人間などの動く対象物の例えとして利用。
- (4) Android スマートフォン ※AIカメラとして利用した。
- (5) ノート PC ※Google スプレッドシートからグラフを表示させるために使用した。

4.5 システムの活用場面

本システムの活用場面を以下に列挙する。

- (1) 店舗での活用
- ・スタッフのシフト調整・管理 (個人管理)
 - ・過去の売上や購買者数と併せた活用による売上予測
 - ・マーケティングに関する意思決定
- (2) オフィス・職場での活用
- ・勤怠管理と組み合わせた出退勤管理 (個人管理)
 - ・夜間や休日の警備強化
 - ・会議室等の室内人数一括管理

5. むすび

スマート社会を実現するための IoT システムを扱う実習の授業のため, Obniz マイコンボードと LEGO Mindstorms EV3 を組み合わせた教材開発を行い, 授業で実施した。入退室管理システムなど様々なシステムのアイデアを学生が考案でできることを確認した。

6. 謝辞

Obniz マイコンボードを活用した入退室管理システムについては, 大阪国際工科専門職大学 2 年

次の三村裕孝さん, 田中雄也さん, 太田怜さん, 黒川夢翔さんのチームが考案したものであり, また本内容をまとめるに際し, 同大学管理部 深草あゆみ氏, 日野智司氏に協力を頂いたことに感謝する。

文 献

- [1] 総務省, 情報通信審議会 情報通信政策部会, IoT 新時代の未来づくり検討委員会「未来をつかむ TECH 戦略」, 2018 年 8 月。
- [2] 総務省, 情報通信白書「デジタルで支える暮らしと経済」, 2021 年 7 月。
- [3] T https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0
- [4] Georgios Karalekas, Stavros Vologiannidis, John Kalomiros, “EUROPA: A Case Study for Teaching Sensors, Data Acquisition and Robotics via a ROS-Based Educational Robot,” *Sensors* vol. 20, pp. 2469, April 2020.
- [5] Desmond Ng Yong Liang, Florence Ng Jia Yun, Nobuaki Minato, “Investigating the use of LEGO Bricks in education and training: A systematic literature review”, *Journal of Applied Learning & Teaching*, vol. 4, pp. 107-113, May 2021.

(2023 年 1 月 8 日受付, 2023 年 2 月 6 日再受付)



味戸 克裕

1995 年東京大学 大学院工学系研究科 応用化学専攻 博士課程修了。博士 (工学)。同年 NTT 研究所に入所。総務省テラヘルツ波プロジェクトに参画し, 6G 次世代 ICT の国際標準化に従事。その後, 現職にて 6G による現実空間と仮想空間を融合したサービスを研究。



原 秀樹

大阪工業大学 工学部 電子工学科 卒業。主にソフトウェア開発エンジニアとしてメカトロニクス応用機器, スマートフォンアプリなど多方面でのソフトウェア開発を手掛ける。



この記事は Creative Commons 4.0 に基づきライセンスされます
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/deed.ja>)。

デザインエンジニアリングによる実践的能力の開発

志方 宣之^{† a)}

Development of practical ability through Design Engineering

Noriyuki Shikata^{† a)}

あらまし 「Design Engineering」では「工学的な知識を適用して期待の実現を可能にする」という概念を基礎とし、「アクティブ・ラーニング」の手法を活用してグループワークにより実践的能力の開発を行っている。入学したての学生が講義により情報工学の基礎的知識を習得し、それを活用して演習により「10年後に実現する新製品・サービス」を検討し、プレゼンテーションを行うことで能動的に学んでいる。20世紀前半を代表する経済学者 Schumpeter(1934)は、イノベーションを「経済活動の中で生産手段や資源、労働力などをそれまでとは異なる仕方でも結合すること」と定義した。本授業では、この定義に基づき、各チームが既存の製品・サービス・技術を探査・分析し、そこから新アイデアを検討するというアプローチを取っている。すなわち、空想ではなく、既存の知識の調査・分析を行った上で、その知見を発展させて新製品・サービスを考案するプロセスを通して実践的能力の開発を行っている。

キーワード Design Engineering, アクティブ・ラーニング, 実践的能力, イノベーション, 社会課題解決

Abstract Schumpeter (1934), a leading economist of the 20th century, defined innovation as “a new combination of the means of production, resources, and labor in economic activities that has not been used before.” In this lecture, based on this definition, each team explores and analyzes existing products, services, and technologies. Then, they devise new ideas and examine “new products and services that will be realized in 10 years.” In other words, we are developing practical abilities through the process of researching, and analyzing existing knowledge, and developing new products and services based on that knowledge, rather than imagination.

Keywords Design Engineering, Active Learning, Practical Ability, Innovation, Solving Social Issues

1. まえがき

「Design」という用語は、一般的に「意匠」を連想しがちであるが、学術的には「期待の実現行為を可能にする思考」という意味を有し、対象範囲は人工物全てと定義されている [1]。また、「Engineering」は「例えば機械、道路、橋、電気設備等をデザイン、建築、制御するために工学的知識を適用する活動」とされている [2]。すなわ

ち、「Design Engineering」は「工学的な知識を適用して期待の実現を可能にする」ことである。本学においては、このような概念を基礎として、デザインエンジニアリングを実践するための手法を学ぶ。その上で、これらの知識を活用して総合課題として「10年後に実現する新製品・サービス」を検討し、プレゼンテーションを行うことで能動的に学んでいる。

本稿では、「Design Engineering 概論」の教育内容とそのアプローチを紹介し、本学が標榜する「Designer in Society」を具現化する上での本授業の役割を概観する。

[†] 大阪国際工科専門職大学, 大阪府
International Professional University of Technology in Osaka, Japan
530-0001

a) E-mail: shikata.noriyuki@iput.ac.jp

2. 実践的な学び

本授業「Design Engineering 概論」は、「アクティブ・ラーニング」の手法を採用している。文部科学省 [3]によると、「アクティブ・ラーニング」を「教員による一方向的な講義形式の教育とは異なり、学修者の能動的な学修への参加を取り入れた教授・学習法の総称。学修者が能動的に学修することによって、認知的、倫理的、社会的能力、教養、知識、経験を含めた汎用的能力の育成を図る」としている。本授業においては、このような教育手法を取ることで大学に入学したての1年生が情報工学の基礎知識を学ぶと共に、グループ活動を通じて「10年後に実現する新製品・サービス」を検討することで実践的能力の開発を図っている。

本授業において、学生達に課される主要な課題は以下の通りである。① AI, IoT, ロボット技術を社会実装するためにどんな課題があり、新たな技術を使ってどのように解決するのか？ ②優れたアウトプットを創出するためのグループ活動とは？またそのためのグループワークのスキルは如何なるものか？ ③自らのビジネスプランを相手が理解し、承認をもらうための論理性と説得力のあるプレゼンテーション能力とは？

具体的な授業の進め方は、以下の通りである。

- ・グループ人数：6人

- ・授業サイクル：①知識のインプット、②演習、③プレゼンテーション、④質疑応答、⑤相互評価、⑥知識のインプット（以下①に戻る）のスパイラルアップ方式のサイクルで実施している。

このように、スパイラルアップ方式とすることで、何度もサイクルを繰り返し、知識を積み重ね、かつ提案のレベルを高めている。

インプットする知識は、情報工学の知識（具体的内容は次章で説明）、グループワークのスキル（チームビルディング、クリエイティブシンキング、ファシリテートの技術等）、プレゼンテーションのスキル（論理的な資料作成、話し方、質疑応答への対応）と多岐にわたる。本年度のテーマを表1に示す。各チームが社会課題を解決するために、AI, IoT, ロボット技術を融合させたテーマ

表1 2022年度デザインエンジニアリング概論
総合課題テーマ一覧表

チーム	テーマ名	技術			チーム	テーマ名	技術		
		AI	IoT	ロボット			AI	IoT	ロボット
1	AIで外来の水車を判別し除去する自動運転の船	○	○	○	14	すべての人が安全に住み続けることができる	○	○	
2	コンビニのAI化	○	○		15	AI搭載によりAIがごみの分別を行いまたそのごみを再利用する	○	○	
3	信号とAIの一体化	○			16	IoTとAIを用いた「学習を支援するアプリケーション」の提供	○	○	
4	自律飛行型空気清浄機	○	○	○	17	森林に雨を降らすドローン	○	○	○
5	領海内の海面にあるプラスチック等のみを回収する自動操縦ドローン	○	○	○	18	診断アシストAI	○		
6	AI・IoT浄水庫	○	○		19	自動回収船による浮遊プラスチック回収事業	○	○	
7	AI教育での高校	○	○	○	20	誰にでも手軽にファッションを！そしてジェンダーを越えて！	○	○	
8	水素専機発電機	○	○		21	AI搭載田畑監視ドローンをサブスクリプションで提供	○	○	○
9	ドローンデリバリーサービス	○		○	22	AI食品管理カメラ	○	○	
10	既存の自動車に外付けすることで免許を必要としない運転機器	○	○	○	23	水面のプラスチック収集ロボット	○	○	○
11	ごみ回収アプリ・ロボット	○	○	○	24	海洋ロボットとGPSによる海洋ごみの回収	○	○	○
12	省電力多機能エアコン		○	○	25	災害時救助犬ロボット	○	○	○
13	自動運転プログラム	○	○						

を設定している。

3. 潜在ニーズと技術シーズの探索

20世紀前半を代表する経済学者 Schumpeter[4]によるとイノベーションとは、「経済活動の中で生産手段や資源、労働力などをそれまでとは異なる仕方で新結合すること」と定義している。新結合とは、柔軟な発想の元に組み合わせたり改良したりすることによって、新たな価値を創造することである。すなわち、イノベーションは無から有を生み出す作業ではなく、既存の知識の組み合わせにより生み出されるものである。本授業では、このイノベーションの定義に基づき、各チームが既存の製品・サービス・技術を探検・分析し、そこから新アイデアの考案を行うことにより「10年後に実現する新製品・サービス」を検討するというアプローチを取っている。このため、最初に現在成功している身近な事例を通して、どのような顧客ニーズをどのような技術で解決してビジネスに繋げているのかについて理解する。今年度はコ

ンビエンスストアやノートパソコン, 植物工場, コンピュータゲームの事例を使い, IoTを活用したビジネスモデル, CPS (サイバー・フィジカル・システム) を活用した顧客ニーズの実現, HCI (ヒューマン・コンピューター・インタラクション) を考慮した顧客が使いやすいコンピュータとのインターフェース等について学んだ。その上で, 総合課題「10年後に実現する新製品・サービス」における顧客の潜在ニーズを探索する。手法としては, 要求工学や品質機能展開, ジョブ理論の知識を使い顧客が本当に欲している新製品・サービスに関する潜在ニーズ (仕様や機能等) を詳細に検討する。さらに, この顧客ニーズを実現するための必須技術をキーテクノロジーとして3つリストアップし, 調査を行う。調査は, 教員の指導・協力の下, 学内データベース・書籍, 論文, 特許, 既存製品・サービスの取扱説明書, Web 情報等を活用して行う。ここで重要なのは10年後の新技术を空想するのではなく, 現在研究されているか既に社会実装されている技術を調査することで, その技術を理解し発展させていくことである。これは前述したイノベーションとは新結合であり, 既存の知識の組み合わせであるという知見を基礎にしている。更に, このような学びを提供することで入学後間もない情報工学科の1年生が AI, IoT, ロボットに関する技術に触れ, それを探索, 理解, 発展させることで, 本授業以降習得する授業における技術や知識に関する学びの準備も行っている。

4. プレゼンテーション

前述したように本授業は ①知識のインプット, ②演習, ③プレゼンテーション, ④質疑応答, ⑤相互評価, ⑥知識のインプット (以下①に戻る) のスパイラルアップ方式のサイクルで実施している。このサイクルを何度も繰り返すことにより, チームメンバー全員がプレゼンテーションを行う機会を得る。更に学生間の質疑応答や相互評価を通して各チームの「10年後に実現する新製品・サービス」が改善され, 洗練されたものになる。

総合課題の評価指標として, ①社会課題の理

解と解決, ②顧客志向の理解とソリューション提案, ③ AI, IoT, ロボット等の融合技術の活用, ④ビジネスモデル, ⑤チームワークの5つを設定している。設立趣旨にあるように本学は, 社会課題を解決し得る技術者の育成を目標としており, 本評価指標にもこれを取り入れ, 重視している。このため, 学生はテーマ設定の際に SDGs についての定義や具体的な社会課題に関する事例を調査し, 未だ解決されていない課題にチャレンジし, 解決策を検討するためのテーマ設定を行っている。また, 昨今我が国は世界のトップランナーとなり最先端の技術を有しながら, それが継続的な収益に繋がっていないとされている。このため, 優れた技術を活用することで顧客の潜在ニーズを実現するためのビジネスモデルについても評価項目としている。

2021年から「デザインエンジニアリング概論



図1 最優秀賞の表彰状授与 (2021年)



図2 閉会式 (2021年)

総合課題報告会」をコンペ方式で実施している。優れたテーマが多い中、昨年は代表4チームが報告した。審査員として浅田副学長、ベンチャー企業経営者2名（1名はロンドンから参加）にご協力頂き、社会でイノベーションを実践するプロの目から学生のビジネスプランに対する講評、評価を頂いている（図1, 2）。審査員の審査結果に基づき最も優れたチームに対して、副学長が最優秀賞を授与している。また、この会の写真、動画は大学HPに掲載し、本学のプレゼンス向上にも貢献している。学生は、授業で学ぶだけでなく、このような檯舞台で学びの成果を発表する機会を目指し、アクティブに学んでいる。

文 献

- [1] 吉川弘之, 一般デザイン学, 岩波書店, pp.7, 岩波書店, 2020.
- [2] 南出康世等, ジーニアス英和辞典, 大修館書店, 2022.
- [3] 教育課程企画特別部会における論点整理について, “教育課程企画特別部会 論点整理 補足資料(5)”, 文部科学省 2015.
- [4] J.Schumpeter, The Theory of Economic Development, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1934.

(2023年1月8日受付, 2023年2月6日再受付)



この記事は Creative Commons 4.0 に基づきライセンスされます
(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>)。

大阪国際工科専門職大学における数学・物理の補講の重要性について

林越 正紀^{† a)}

Importance of Supplementary Lectures in Mathematics and Physics at International Professional University of Technology in Osaka

Masanori HAYASHIKOSHI^{† a)}

あらまし 大阪国際工科専門職大学は、社会とともにあるデザイナーになることを夢見て、高校新卒生から社会人経験を有する者まで様々な学生が入学してくる。入学後、スムーズに講義を受講できるように数学と物理の補習授業を開始した。本論文では、2021年度の実績をベースに、補習授業前後の理解度の推移を考察し、補習授業の必要性と今後の進め方について議論する。考察の結果、講義内演習と自宅での演習課題による学習、復習が効果的であり、補講での講義だけではなく、それらを通じて学力向上と維持のモチベーションを持たせていくことが重要であることが示された。

キーワード 教育, 専門科目, 数学, 物理, 補習講義

Abstract The International Professional University of Technology in Osaka attracts a variety of students, from new high school graduates to those with working experience, with the dream of becoming a designer in society. After entering the school, we started supplementary lectures on mathematics and physics so that we could take lectures smoothly. In this paper, based on the results of the 2021 academic year, we will consider the transition in the level of comprehension before and after supplementary classes, and discuss the necessity of supplementary classes and how to proceed in the future. As a result of the consideration, it has been concluded that it is important to give students the motivation to improve and maintain their academic ability through exercises in lectures and exercises at home.

Keywords Education, Education, Technical subjects, Mathematics, Physics, Supplementary lectures

1. まえがき

大阪国際工科専門職大学(以下、本学という)は、社会とともにあるデザイナーになることを夢見て、高校新卒生から社会人経験を有する者まで様々な学生が入学してくる。また、高校時代も文科系、技術系問わず専門科目を習得している学生は少なく、入学初期に少なくとも高校レベルの基礎学力を付けるサポートを行うのが課題である。

2. 補講の進め方と理解度推移の考察

開学後あまり経っていないということもあり、試行錯誤的に運用を開始した。本章では、2021年度に実施した補習講義(以下、補講という)の進め方および補講した結果の考察について述べる。補習授業の講義名は、基礎数学 I, 基礎数学 II, 基礎物理である。

2.1 補講の進め方

テキスト選定にあたっては、大学生向けとして高校レベルの基礎学力を付けるために有用と思われるテキストを選択した。選択したテキストの一覧を図 1 に示す。

テキストは例題と演習形式が多く、学生自身が

[†] 大阪国際工科専門職大学, 大阪府
International Professional University of Technology in Osaka, 3-3-1
Umeda, Kita-ku, Osaka 530-0001 Japan

a) E-mail: hayashikoshi.mas@iput.ac.jp



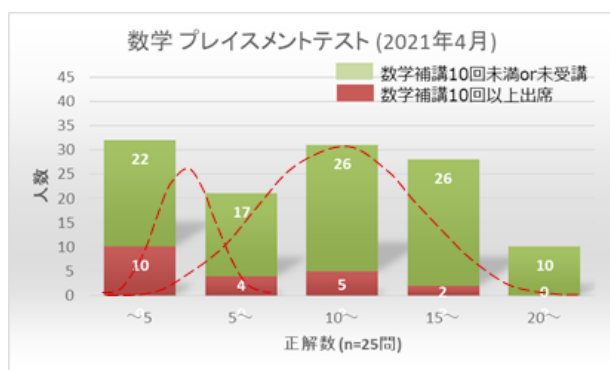
図1 数学・物理 補講のテキスト

主体的に予習，復習しやすいようにテキスト中心に講義を進めることにした。講義内容としては，テキストの載っていない初歩的な知識は講師が詳しく説明をし，講義内の演習は，講師と補助の先生の2～3名が教室を見回り，各学生個別にフォローを行った。また，講義内では，テキストに載っ

講義週	科目	講義内容	科目	講義内容
-	-	プレースメントテスト(数学)(全員)	-	プレースメントテスト(物理)(全員)
1	基礎数学 I ①	数と式の計算	基礎物理①	電気と電流
2	基礎数学 I ②	関数とグラフ	基礎物理②	電気と電流
3	基礎数学 I ③	三角関数	基礎物理③	電流と磁界
4	基礎数学 I ④	指数関数	基礎物理④	電流と磁界
5	基礎数学 I ⑤	対数関数	基礎物理⑤	運動の表し方、力とその動き
6	基礎数学 I ⑥	関数の極限	基礎物理⑥	力学的エネルギー
7	基礎数学 I ⑦	微分	基礎物理⑦	平面内の運動と剛体のつり合い
8	基礎数学 I ⑧	微分、積分	基礎物理⑧	運動量
9	基礎数学 I ⑨	積分	基礎物理⑨	円運動と単振動
10	基礎数学 I ⑩	パラメータ曲線と極方程式	基礎物理⑩	波の伝わり方
11	基礎数学 I ⑪	複素平面と極方程式	基礎数学 II ①	導関数の求め方
12	基礎数学 I ⑫	ベクトルと空間図形	基礎数学 II ②	三角関数の導関数
13	基礎数学 I ⑬	集合	基礎数学 II ③	対数関数と指数関数の導関数
14	基礎数学 I ⑭	順列、組合せと確率	基礎数学 II ④	高次導関数、導関数の応用
15	-	理解度確認テスト(数学)(全員)	-	理解度確認テスト(物理)(全員)

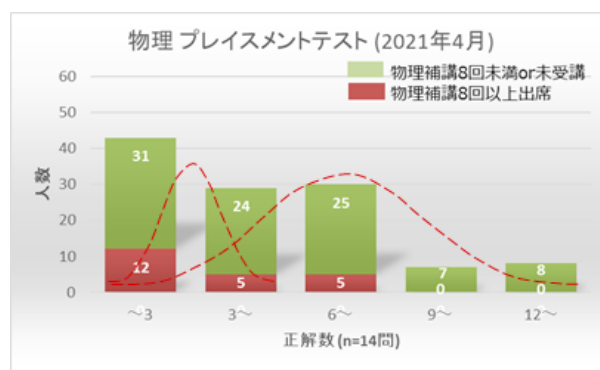
図2 補講スケジュール

ている演習問題を選択的に課題として出題し，自分で採点，間違ったところを見直し，不明点など理解が難しいところは次の講義で講師に質問する形式をとった。講師においても，提出された演習課題の出来を見て，次の講義で復習する場をもつ



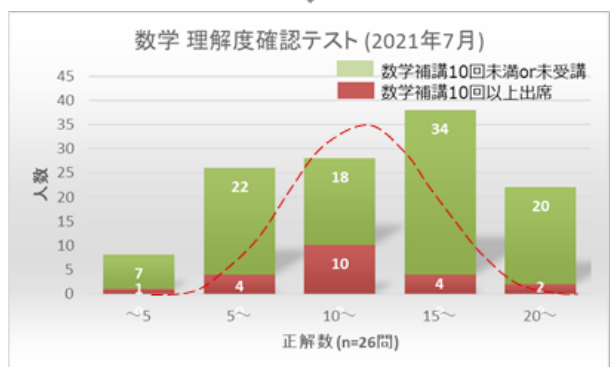
(a) 補講前

正答数推移 (出題 全25~26問)
 全体平均：
 10.5問 → 13.4問 (+2.9問)
 補講10回以上出席者平均：
 6.7問 → 12.9問 (+6.2問)



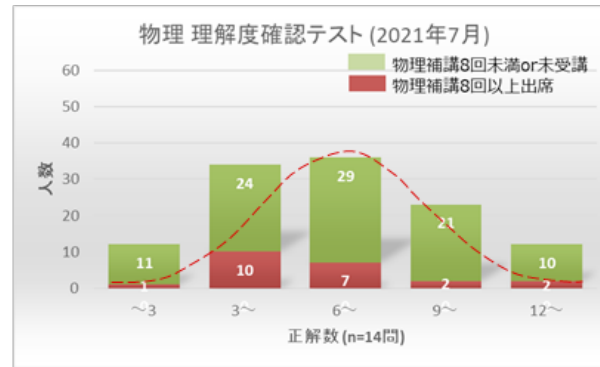
(a) 補講前

正答数推移 (出題 全14問)
 全体平均：
 4.4問 → 6.8問 (+2.4問)
 補講8回以上出席者平均：
 3.0問 → 6.3問 (+3.3問)



(b) 補講後

図3 補講前後の理解度推移 (数学)



(b) 補講後

図4 補講前後の理解度推移 (物理)

などのフィードバックすることで、講師、学生両者のスキル向上に繋がった。

補講に先駆けて、入学オリエンテーション時に全学生を対象にプレイズメントテストを実施し、テスト結果を学生へフィードバックするとともに、結果に応じてクラス担任より面談の場を通じて補講への出席を推奨してもらった。図2に補講スケジュールを示す。補講は、数学、物理の各々週1回で14週実施し、最後の15週目に理解度確認テストを実施した。プレイズメントテストおよび理解度確認テストは、補講の受講を問わず全学生を対象に実施した。

2.2 補講前後の理解度推移

図3に数学の補講前後の理解度推移を示す。(a)は補講前のプレイズメントテストの正答数の分布、(b)は補講後の理解度確認テストの正答数の分布である。出題数はプレイズメントテストが25問、理解度確認テストは26問である。図3(a)を見ると、補助線(赤線)で示すように、全体傾向を表す分布と正答数が低い(10問未満の)ところに位置する2つの分布が重なっているのがわかる。2021年度は、自発的に補講参加者を募り補講を実施したが、比較的数学、物理に苦手意識がある学生が多く参加していたようである。次に図3(b)を見ると、正答数が低いところに位置していた分布がなくなり、全体傾向を表す分布に集約されているのが伺える。この傾向は全体および基礎数学Iの補講15回中10回以上出席した補講出席率の高い学生の分布ともに同様の傾向が見られ、補講により数学が苦手の学生が減少したと推測できる。

さらに、詳細に見ていくと、全体の平均が補講前後で10.5問から13.4問と2.9問増加したのに対し、基礎数学Iの補講15回中10回以上出席した補講出席率の高い学生の平均は、補講前後で6.7問から12.9問と6.2問増加しており、全体平均より114%向上しているのがわかる。これらの結果より、補講の効果はあったと推測する。補講出席していない学生も理解度が上昇している理由は、専門科目の講義が始まり、自主的に予習・復習をして学力を向上させたものと期待している。

次に、図4に物理の補講前後の理解度推移を示す。図3と同様に、(a)は補講前のプレイズメントテストの正答数の分布、(b)は補講後の理解度確認テストの正答数の分布である。出題数はプレイズメントテスト、理解度確認テストともに15問である。数学ほどの効果はないが、全体像として同様の傾向が伺える。詳細では、全体の平均が補講前後で正答数が4.4問から6.8問と2.4問増加したのに対し、基礎物理の補講10回中8回以上出席した補講出席率の高い学生の平均は、補講前後で3.0問から6.3問と3.3問増加しており、全体平均より38%向上している。

3. むすび

以上をまとめると、数学、物理とも全体的に平均点が上昇傾向にあるが、補講の出席率の高い学生は全体的に上昇率が高い。特に点数の悪い学生が激減している。さらに、詳細に見ていくと、授業中の演習問題に苦戦していた学生について個別に見てみると、自宅での演習課題を必ず提出している。一概にも正解ばかりではないが、課題に取り組む姿勢があり、正答率は補講前後で大きく上昇している。このように、補講においては、講義のほか、自習(演習課題)は効果的と思われる。

以上を踏まえ、2022年度は、基本的には現状のやり方(講義+演習)で進めることとした。ただし、下記について重点的にフォローしていく。

- ・基礎学習中心で進める
- ・学力向上・維持のモチベーションを持たせることに主眼を置く。

ただし、補講前のプレイズメントテストの正答数の低い学生に対しては参加を積極的に推奨する方向で進める。併せて、補講参加者および参加者以外の学生に対しても、自主学習用にオンライン受講できるサプリメントを紹介する。サプリメントの詳細は、付録に添付する。

謝 辞

2021年度補講(基礎数学I, 基礎数学II, 基礎物理)の運用にあたり、講師および補助をご担当頂いた大阪国際工科専門職大学工科学部 味戸

克裕学部長，同情報工学科 中村幸博学科長，木村和喜教授，張毅波教授，西壽巳教授，村瀬一之教授，中田尚准教授，安田新准教授，ザンルンゴ・フランチェコ講師，大原誠助教，同デジタルエンタテインメント学科 島津浩哲教授，橋谷直樹准教授，松本文浩准教授をはじめ，ご協力頂いた情報工学科およびデジタルエンタテインメント学科の皆さまに深く感謝申し上げます。また，オンライン学習向けサプリメントに関し，情報をご提供頂いた同情報工学科 富谷昭夫助教に深く感謝申し上げます。

付 録

オンライン学習向けサプリメントの紹介
(意味づけ)

- [1] 数学を学ぶことのメリットとその魅力【ヨビノリたくみ×堀江貴文】

<https://www.youtube.com/watch?v=9YrPicqGGL0>

- [2] なぜ勉強するのか

<https://www.youtube.com/watch?v=Kpfae1U2uFE>

- [3] 勉強する意味って何？【松丸亮吾の勉強論】

<https://www.youtube.com/watch?v=lmZ5G4u80TA>

(AI のオーバービューなど)

- [4] 中学数学からはじめる AI (人工知能) のための数学入門

<https://www.youtube.com/watch?v=7A05OamqCyc&t=6410s>

- [5] 【機械学習】深層学習 (ディープラーニング) とは何か

https://www.youtube.com/watch?v=s5_Pk3CjhNA

- [6] 高校数学からはじめる深層学習入門

<https://www.youtube.com/watch?v=xzzTYL90M8s>

(勉強法)

- [7] 理系大学生の勉強法を教えます

<https://www.youtube.com/watch?v=2X56l5m8Jf4>

- [8] 令和の勉強法を教えます【学習ツールの進化がすごい】

<https://www.youtube.com/watch?v=PJOdfjy1HIA>

(中学数学)

- [9] 中1の数学 50分 スタッフリ

<https://www.youtube.com/watch?v=ykLo3Yg47SQ>

- [10] 中2の数学 40分 スタッフリ

https://www.youtube.com/watch?v=J94t2_AN8XA

- [11] 中3の数学 60分 スタッフリ

<https://www.youtube.com/watch?v=-j4RTsKL8sQ>

- [12] Try IT 中学数学 トライの講座

https://www.youtube.com/watch?v=JC0CdwM_1mE&list=PLXL YRHroknjhH9CDAjwxdcBhdjI_NSJUt

- [13] 中学1年生 あきとんとん

<https://www.youtube.com/playlist?list=PLIm3NUmBdNOQF3a8 cohZtd90s6NSSq2ut>

- [14] 中学2年数学 あきとんとん

<https://www.youtube.com/watch?v=jV8hHetbAMs&list=PLIm3 NUmBdNOS0NbZW7FuwufmzC67htW5O>

(高校数学)

- [15] 中学数学からはじめる三角関数 ヨビノリ

<https://www.youtube.com/watch?v=OLqgs4fJl7Y&t=4660s>

- [16] 中学数学からはじめる確率統計 ヨビノリ

<https://www.youtube.com/watch?v=K2cJofUJVO8&t=139s>

- [17] 中学数学からはじめる微分積分 ヨビノリ

<https://www.youtube.com/watch?v=4p1rwfXbCoY>

- [18] 高校数学の再生リスト

https://www.youtube.com/playlist?list=PLDJfzGjtVLHmO_19W NfuADbSRqUuobZ0E

- [19] Try IT 高校数学 トライ

<https://www.youtube.com/watch?v=WdLkwlw431k&list=PLXL YRHroknjhSgbK-LnRCns7GxUrNsKuW>

(高校物理)

- [20] 力学 ヨビノリ

<https://www.youtube.com/watch?v=9XEX4mZFOhA&t=12562s>

- [21] 高校物理の再生リスト ヨビノリ

<https://www.youtube.com/playlist?list=PLDJfzGjtVLHlFu65Zhy cnPnfBJJ0c9uyp>



林越 正紀

1986年神戸大学大学院 修士課程修了。同年三菱電機株式会社に入社。以降，同社（現ルネサスエレクトロニクス株式会社）にて，半導体メモリ（DRAM, MRAM, 次世代 NVRAM）の開発・事業化に従事。2018年金沢大学大学院 博士後期課程 修了博士（工学）。

現在，大阪国際工科専門職大学にて，次世代メモリの AI（人工知能）応用研究に従事。IEEE, IEEE SSCS, IEEE EDS 会員。

大阪国際工科専門職大学における英語教育の報告

李 春美^{† a)}

A Report on the Philosophy and Current Status of English Language Education at International Professional University of Technology in Osaka

Choonmi LEE^{† a)}

あらまし 4年間の英語教育を通して、「未来を創るデジタル人材」を育成するため、開学前から英語教員が取り組まなければならなかったいくつかの問題点とその対処法を詳述した。さらに、TOEIC[®] テストのスコア変化から2年間の英語教育の効果を検証することによって、本学学生の英語レベルの底上げを責務として提示した。

キーワード 英語教育, 自律的学習, eラーニング

Abstract In order to develop 'digital human resources who will create the future' through four years of English language education, this report details some of the issues that English teachers had to address and how they dealt with them in the first two years and examines changes in TOEIC[®] test scores to measure the effectiveness of two years of English language education. The report recognizes that we have to try harder to raise most students' English levels so that they have a practical command of English.

Keywords English education, autonomous learning, e-learning

1. まえがき

本学が育成を目指す「未来を創るデジタル人材」は、アジア諸国との近接性を強みにする関西の産業界において、国際的に活躍できる英語による発信力を学生に求めることから、本学における英語学習は4年間を通じて行われる。

この報告は、いかに英語教育を展開していくべきかという問題を、開学前の取り組みから2年間の実践までを振り返ることによって、完成年度までの今後の2年間の英語教育への取り組みへの提言とするものである。

2. 開学から2年間の英語教育

本学のシラバスによると、1年次で学生が履修する英語コミュニケーション Ia と Ib は、リスニングやスピーキングなどの実践的英語活用能力の育成に焦点を当て、2年次前期の英語コミュニケーション IIa は、科学分野における専門的知識の理解を深めることを目標としている。そして、2年次後期の英語コミュニケーション IIb から、3年次の英語コミュニケーション IIIab までは、ディスカッションのスキルを育成することに重点においている。最終学年の4年次に学生が履修する英語コミュニケーション IV は、3年間で身につけた実践的な英語力で、ディベートやディスカッションにおいて英語で発信できる力に焦点を当て、卒業研究発表では1分間の英語によるプレゼンテーションが学生に義務付けられている。

2.1 開学前の取り組み

実践的英語コミュニケーション力の涵養のため

† 大阪国際工科専門職大学, 大阪

Faculty of Technology, International Professional University of Technology in Osaka, 3-3-1 Umeda, Kita-ku, Osaka-shi, Osaka, 530-0001 Japan

a) E-mail: lee.choonmi@iput.ac.jp

には、一般に、4つの技能（リスニング力・スピーキング力・リーディング力・ライティング力）をバランスよく育成することが望ましく、そのためには、自律的で継続的な英語学習習慣の確立に必要とされるeラーニングの提供を含め、同一学期中に、それぞれの技能に特化した英語科目が展開され、少なくとも2年間にわたる英語学習時間の量的保証は必要である。本学は、情報系専門職大学でありながら、上述したように英語科目を4年間にわたり学生に英語学習を義務付けていることから伺えるように、英語教育に重点を置いている。

しかしながら、大学の創設時に文部科学省に提出された英語科目のシラバスに記載された科目到達目標が、選択された教科書が設定する目標と現実的には合致しないという問題点が、大きな障害としてまず立ちふさがった。加えて、本学で学ぶ学生は、英語力育成を主たる目標としているのではなく、情報工学とデジタル・エンタテインメントを専攻分野とする理系学生である。

そのため、理系専攻の学生を自律的な英語学習者にするという目標を設定し、シラバスが設定した到達目標に合致するよう、指定された教科書の利用法と、本学が学生に提供する英語補講授業の在り方を考えることから開始した。

初年度は、非常勤講師を確保できなかったため、英語専任教員2人で、クラスサイズ40名の英語授業を担当せざるをえなくなった。しかも、英語スキルの必要性を将来の職業選択のために強く意識していなかったためと思われるが、一部英語能力の抜きんでた上級・中級レベルの学生は別として、半数以上の学生の英語レベルは、初級であり、後述するように、特にリスニング能力に至っては、大多数の9割の学生が初級レベルであることがわかった。

1年次から2年次前期までは、週2回の英語授業が学生に課せられているものの、学生の基礎学力を上げるために、授業外でも英語学習に時間をかける必要があった。そのため、シラバスに記載されている目標に基づき、各年度の授業内容を以下のように設定した。

- 1年次は、基本的な英語コミュニケーション

能力、特にスピーキングとリスニングのスキル、そして語彙の増強をはかる。

- 2年次は、アカデミックな分野におけるリスニングやディスカッションのスキルなど、より専門的な学習内容に移行する。本学のシラバスにおいては残念ながら、リーディング力があまり重要視されていないため、Graded Readersのような多読・速読教材の活用が必要とされる。
- 3年次は、プレゼンテーション力や、将来のキャリアに必要となるディスカッション力などの、より専門的なスキルに重点を置く。
- 4年次は、卒業研究発表において、人を引き付ける英語によるプレゼンテーション力の強化に重点を置く。

2.2 初年度の英語教育

以下は、初年度の取り組みを簡潔に報告したものである。

(a) 授業で使用する教科書の精査

本学の英語シラバスを見直した結果、リスニング力とスピーキング力の育成という到達目標が指定教科書の目標と必ずしも合致していないことと、学生の英語レベルを鑑み、Conversations in Class, 3rd Edition（アルマ出版）を通年使用の教科書として利用することにした。

この教科書により、学生は、まず、語彙と表現レベルから学び、モデルとなる基本構文を繰り返し練習する。学生が自然に英語を話すことができるような段階的訓練によって、基本的な英会話力の育成が期待される。さらに、自律的な英語学習の習慣の確立に役立つよう、シラバス指定の教科書の一部を、学習管理システムOpen LMSを活用した、授業外学習として整備し、本学が保証する苦手科目の補講に代替する機能も持たせた。

(b) eラーニングの整備__ WordEngine

本学では4年間の英語学習を義務付けているが、他学で導入されているeラーニングが整っていないという問題点があった。そのため、英語を不得手とする学生に共通するのが語彙力の欠如であることに着目し、初年度は、自ら英語を学習するという習慣づけのためにも、eラーニングの整

備は本学において必要であると考え、WordEngineの導入を大学に求めた。

WordEngineは、学生のレベルに応じて、頻繁に利用される語彙力を身につけることが可能なウェブベースのソフトウェアであり、パソコンやスマホなど身近なツールを活かして、場所と時間を選ばずに学習することが可能である。学生には、毎日10分程度の継続的語学学習を指導することとした。

(c) 自学習用読書教材の整備__ Graded Readers

一般的に言われるように、学生の全般的な英語力の最も効果的で効率的な方法の一つが、英語の本を多く読むことである。Graded Readersは、学生のレベルに応じた英語力の育成と読書習慣の確立を目指した教材で、多くの大学が図書館の蔵書に取り入れ、学生に読むことを奨励している。本学の初年度においても、語彙力に応じたレベル別の本を読む習慣を学生に身につけさせることが重要と考え、電子版 Graded Readers の購入を申請した。残念ながら、同時アクセスが可能ではなく、また初年度購入できた冊数も少ないので、将来的には、Xreadingなどのオンライン教材が適切になるであろうと考えている。

(d) レベル別クラス分け

プレースメントテストの実施により、1つのクラスを上級クラスとし、残る3つを通常クラスと設定したが、上述のような非常勤講師不足のため、1人の英語教員が担当するクラスサイズは最大40名となり、上級クラスはわずかに少ない36名でスタートせざるをえなかった。

授業は極力英語によって行うことを目標として始まった。英語ネイティブ教員が担当する上級クラスでは、すべて英語で授業を行うものの、英語初級レベルが多くを占める通常クラスにおいてはやや困難であろうことが予想された。考えられる原因として、英語による簡単な指示の聞き取りや、英語による基本的な質疑応答にも自信がないという学生の英語レベルが挙げられるが、情報工学あるいはデジタル・エンタテインメントを専攻分野とする学生の英語学習に対する関心の欠如も見逃せない原因であった。そのため、通常クラスにお

いては、英語と日本語の両方で行うことも可とした。

(e) 学生とのインタラクティブな交流

残念ながら、本学には学生と教員が憩うことができるラーニング・スペースがない。通常、英語ネイティブと交流を深めるための、ランチタイム・ミーティングなどの場を設けて、英語を積極的に学びたいという学生たちの支援を行ってきた経験を有する英語教員も、本学の施設上の制限、そして、2019年末に発生した新型コロナウイルス感染症対策によるソーシャルディスタンスの必要性は、予想外の問題となった。しかしながら、英語力を伸ばしたいという個々の学生の要望に丁寧に応え、学生の個別性に応じた指導、英語による歓談、交流に努めるとともに、長期休み期間中には英語プログラムを企画するなどした。

2.3 2年度の英語教育

リスニング力とスピーキング力に特化した1年間の学びによって、学生が実践的な英語コミュニケーションにやや自信をつけた後、学生は、アカデミックなリスニングやディスカッションのスキルなど、より専門的なトピックの学習を2年次に進むことになっている。開学から本学における英語教育をともに進めてきた英語ネイティブの退職にともない、2年次に導入を予定していたXreadingの利用は一旦保留としたものの、シラバスに規定された教科書が語彙レベルと基礎的リスニング用のテキストであったため、これを補完する補助教材が必要となった。

初年度に購入した Graded Readers の総冊数と閲覧形式が、学生数に見合っていなかったため、教科書のトピックに沿ったリーディング教材の作成と、同じくリスニング用の動画教材などを作成した。これらの補助教材を用いて、学期中2回実施されるスピーキング・テストでは、学習したトピックについて、学生がグループ・ワークによる調査と議論、発表ができることを目指した。

上級クラスにおいては、動画教材とリーディング教材の併用が可能であり、さらに学習スピードは順当なものであったが、通常クラスには、動画教材のみでトピックを学習することが多かった。しかしながら、通常クラスにおいても、前期2回

のスピーキング・テストにおいては、テンプレートの英語発表ではない、オリジナルな発表ができたことは指導した英語教員として誇らしく思うことである。

後期は、学生が臨地実務実習にでるため、前期の英語学習時間の半分となる15回の授業回数となったが、興味深い社会問題のトピックについて、テンプレートな議論の展開を学んだあと、前期と同じようにグループ・ワークでディスカッションに取り組み、最終的な成果として、1分間のスピーチと質疑応答を含むプレゼンテーションを行った。4年次の卒業研究発表における1分間スピーチが1年次の時には非現実的に思えた学生も、順当な学習プロセスを経れば決して困難な課題ではないことを認識するとともに、これから改善すべき点も把握できたのではないかとと思われる。

2.4 TOEIC® オンラインテストの結果からの考察

英語授業を展開するにあたって、学生の英語力の把握とレベル別のクラス展開は必要なことであった。そのため、新入生の英語学力レベルをCASECテスト(Computerized Assessment System for English Communication)ではかった。CASEC [1]は、個人の能力に合わせてテスト問題を変化させていく適応型テスト形式で、従来のペーパーテストに比べて短時間で、正確な測定が可能な英語コ

ミュニケーション能力判定テストである。「語彙の知識」、「表現の知識」、「リスニングでの大意把握力」、「具体情報の聞き取り能力」の4つのセクションから出題され、各250点配点で、1000点を満点とする。

新入生の平均点は359.6点で、6つあるレベルの中で一番低いEレベル、すなわち挨拶や紹介などごく初歩的な応答などが可能な初学者レベルであり、表1に明らかなように、60.7%の学生がEレベルと診断された。各セクションにおける新入生の英語レベルは表2の通りである。

本学学生の語彙知識は決して乏しいわけではないが、実践的な英語コミュニケーションに必要な語彙の活用と、おそらく文法的知識も弱いがために、短い英文の聞き取りはできても、英文がより長くなると聞き取りが難しくなっているのではないかと推測された。

そこで、CASECはホームページ上で、外国語の

表1 CASECテスト結果
Table 1 CASEC Test Results

CASECレベル	スコア 範囲	人数	%
AA	880~1000	1	0.7
A	760~879	0	0.0
B	600~759	4	2.6
C	450~599	27	17.6
D	390~449	28	18.3
E	0~389	93	60.7

表2 CASECテスト詳細
Table 2 CASEC Test Results_Details

レベル	スコア 範囲	Section 1		Section 2		Section 3		Section 4	
		人数	%	人数	%	人数	%	人数	%
AA/A	186~ 250	1	0.7	2	1.3	1	0.7	1	0.7
B	151~ 185	5	3.3	5	3.3	7	4.6	1	0.7
C	116~ 150	38	24.8	22	14.4	33	21.6	24	15.7
D	96~ 115	39	25.5	38	24.8	35	22.9	35	22.9
E	0~ 95	70	45.8	86	56.2	77	50.3	92	60.1

表3 CASECスコアとCEFRレベル目安の対応表
Table 3 Correlation Table: CASEC scores and the CEFR levels

CEFR	Section 1	人数	%	Section 2	人数	%	Section 3	人数	%
B2~	195-250	1	0.7	225-250	1	0.7	225-250	1	0.7
B1	145-194	8	5.2	165-224	2	1.3	200-224	0	0.0
A2	75-144	96	62.7	85-164	85	55.6	145-199	11	7.2
~ A1	0-74	48	31.4	0-84	65	42.5	0-144	141	92.2

運用能力を同一の基準で測るための国際基準である「ヨーロッパ言語共通参照枠」CEFR (Common European Framework of Reference for Languages) [2] とのスコア対応表 [3] を公開しているため、それに基づき、参考までに本学学生の英語レベルを国際基準から見直してみた。結果は表3の通りである。

語彙知識と表現知識のCEFRレベルがA1、すなわち、英語学習における初学者に該当する学生は31.4%と42.5%であるのに対し、実に92.2%の学生のリスニングレベルがA1に該当することが判明した。そのため、本学における英語学習は、リスニングレベルの向上を主たる目的として、リスニング力とスピーキング力に特化した実践的英語教育とする基本方針が定まったのである。

入学後の1年間の間に、前期終了時点でTOEIC® L&Rテストの受験を学生に推奨したが、これは義務ではなかったため、受験者は全体の55%にとどまり、1年間の英語到達度をはかることは難しいという問題が認められた。そのため、2年次前期末に、授業時間内において、TOEIC® L&Rテストの受験を義務づけた。

一般に、TOEIC® L&Rテスト400点未満は英語による意思疎通が難しいとされる英語学習における初学者レベル、400～500点台は基本的な英会話が可能になってくるレベルとされる。参考までに、企業が採用時の参考にするスコアである500～600点は、限定された範囲内で英語を用いた業務上のコミュニケーションができるレベルである。

受験率は79%に上昇したものの、授業出席率に厳しい本学の状況からこの受験率をみると、低いと言わざるを得ない。原因としては、TOEIC®などの英語資格試験による重要性を未だ認識できていないため、あるいは、英語に対する学習意欲が低いために、テストを煩わしいとして回避したのではないと思われる。表4は、1年次から2年次までに実施したTOEIC® L&Rテストの平均点である。参考までに、CASECスコアに参考値として記されたTOEIC®換算点の平均点も記している。T1は2021年度本学学生が受験したTOEIC®テストを、T2は2022年度受験した

表4 TOEIC® L&R テスト平均点
Table 4 TOEIC® L&R Test Average Scores

実施年	テスト種別	受験率	平均点	65名の平均
2021.4	CASEC (C/T)	98%	359.6 [289.7]	389.7 [320.2]
2021	TOEIC®_1(T1)	55%	323.1	329.2
2022	TOEIC®_2(T2)	79%	314.1	352.5

* []はTOEIC®換算点数を表す

TOEIC®テストを指す。

これら3つのテストをすべて受験した70名(2022年度2年生総数に対して48.6%)を対象とし、受験日の体調不良、日頃の授業態度などを参考にして、2021年度スコアより100点以上のマイナスの学生5名を除いた65名(全体数に対して45.1%)を抽出した。表5は、100点ごとにTOEIC®スコアをグループ分けし、各スコアの人数を集計したものである。

併せて、一般財団法人国際ビジネスコミュニケーション協会が公開しているTOEIC®各種テストのスコアとCEFRの相関関係を表した対照表[4]を表6に記す。65名のみを抽出した平均点に関しては、前出の表4を参照されたい。

平均点は、320.2点(C/T)から、329.2点(T1)、そして、352.5点(T2)と順調に増加しているものの、2021年4月のCASECテストによるTOEIC®変換スコアでは、53.8%にあたる35名が、100点から300点までのCEFRのA1-A2レベル、すなわち英語初級者レベルであった。2021年度は37名、2022年度は34名と近似値を示しているものの、初級レベル者の緩やかな減少が認め

表5 65名のTOEIC®L&Rテストスコア分布
Table 5 TOEIC® L&R Test Scores

	C/T	T1	T2
0-100	0	0	0
100-200	11	16	9
200-300	24	21	25
300-400	19	11	11
400-500	5	7	9
500-600	3	6	4
600-700	2	1	4
700-800	0	1	2
800-900	0	1	0
900-1000	1	1	1

表6 TOEIC®各テストスコアとCEFRとの対照表
Table 6 Correlation Table: TOEIC® Program Test Scores and CEFR

CEFRレベル*	TOEIC L&R		TOEIC S&W		TOEIC Bridge L&R		TOEIC Bridge S&W	
	Listening	Reading	Speaking	Writing	Listening	Reading	Speaking	Writing
Proficient User C1	490~	455~	180~	180~				
Independent User B2	400~	385~	160~	150~				
B1	275~	275~	120~	120~	39~	45~	43~	43~
Basic User A2	110~	115~	90~	70~	26~	34~	37~	32~
A1	60~	60~	50~	30~	16~	19~	23~	20~

られる。また、300点から400点までの推移をみると、19名(C/T)、11名(T1)、11名(T2)と下げ止まっているうえに、表5から一見して明らかかなように、400点が本学の学生を2分する大きな境界線をなしている。

一方で、リスニング力とスピーキング力に重点をおいた本学の英語教育が良い結果を結んだと言えるのが、2つのスコア層である。1つは、400点から500点までのA2上層レベル(5名, 7名, 9名)であり、もう1つは、600点から700点までのB1レベル(2名, 1名, 4名)である。600点から700点までの高いスコアを獲得した学生がすべて上級クラスに所属する、比較的英語レベルの高い学生であったのに対し、400点から500点までのスコアを獲得した学生の中には、通常クラスに所属する、入学当初は初級レベルだった学生も含まれている。実践的英語力に特化した英語授業の提供は、スコアアップの重要な要因の1つであるが、スコアを伸ばした学生の学習態度を概観すると、自律的で継続的な英語学習を確立していることも、英語力を伸ばす重要な要因となっていることは疑いようがない。

3. むすび

結論から言うと、リスニング力とスピーキング力の実践的英語力に焦点を絞った本学における2年間の英語教育は概ね成功と言える。しかし、100点から300点までの初級レベルが多くを占める本学の現状において、そもそも英語学習意欲の低い学生に、英語学習の重要性を認識させ、自律

性と継続性を備えた英語学習者へ育成していくべきか、言い換えるならば、大多数を占める英語初級レベルの学生の英語力をいかに底上げしていくべきか、それが2023年度の課題と言えよう。

謝辞

2022年3月末をもって退職された本学工科学部情報工学科准教授アラン・J・ベセット先生の、長年の英語教育に対する貢献に敬意を表するとともに、先生のご協力とご助言に感謝申し上げます。

文 献

- [1] CASEC
<https://casec.evidus.com/materials/>
- [2] CEFR Global scale - Table 1 (CEFR 3.3): Common Reference levels
<https://www.coe.int/en/web/common-european-framework-reference-languages/table-1-cefr-3.3-common-reference-levels-global-scale>
- [3] CASEC スコアと CEFR レベル目安の対応表
<https://casec.evidus.com/materials/>
ただし、セクション4は問題の形式上CEFRとの対応は難しいと判断し、現段階では対応づけられていないことが注記されている。
- [4] TOEIC® Program 各テストスコアと CEFR との対照表
https://www.iibc-global.org/toeic/official_data/toeic_cefr.html



李 春美

大阪女子大学 大学院文学研究科修士課程 英語学英米文学専攻 修了。文学修士。広島女学院大学にて博士(文学)取得。短期大学や大学にて、長年英語教育に従事。大阪大学大学院医学系研究科国際・未来医療学講座「医療通訳」養成コース(日本語・英語)にて医療通訳を学び、通訳案内士(英語)の資格も取得。英国ルネサンス期の劇作家シェイクスピアの歴史劇を専門として、著書に『エリザベス女王最後の十年間・シェイクスピアのイングランド歴史劇からの考察』、『英語の成長と構造』(翻訳・共訳)(以上、英宝社)等。日本英文学会、日本シェイクスピア協会、日本ヴィクトリア朝文化研究学会、日本医学英語教育学会会員。



この記事は Creative Commons 4.0 に基づきライセンスされます
(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>)。

編集後記

大阪国際工科専門職大学の紀要「ダイナミック・クリエイティブ・ナレッジ」の第1巻が発刊になります。創刊号の編集には苦勞させられます。その形式や編集プロセスをイチから作り上げる必要があるためです。特に本誌は、理系・文系の研究者が所属するいわば学際型の教育研究機関の紀要であるため、例えば原稿形式の統一でさえ容易ではありませんでした。仮に多くの教員に関連する研究分野のフォーマットを参照して形式を策定したとしても、結局のところそれと全く別個の分野の研究成果を表現する上では、様々な問題が生じます。例えば、情報学の多くの研究者からすると、脚注というのはあまりに古臭いスタイルに感じられるかもしれません。しかし、それは人文学の研究者からすると、あって然るべき表現方法として認識されています。各研究分野で知識の表現に求められる形式や仕様はそれぞれ歴史のかつ文脈的に積み上げられてきたものなので、違って当然のことではあります。ともあれ、これまで豊富な研究活動や学術誌編集のご経験をお持ちの編集委員の先生の皆様との闊達な議論を通じて、まだ課題は多いものなんとかかたちにすることができました。なにより、事前には原稿が集まるのか心配していましたが、結果的には多くの原稿が集まったことは大変うれしいことでした。

さて、本巻の特集テーマは「実践報告：専門職教育」です。とはいえ、これは原稿募集の際に設定したものではなく、集まった原稿から導き出されたテーマです。専門職大学という新しい制度のもと開学した本学では、「専門職教育」というもののあり方について日々議論が取り交わされ、様々な思考錯誤が進められており、この特集ではそのような新しい取り組みの一端とその成果が記されています。そして、このようなテーマの偏りは、新しい学術的シーンの隆盛を想起させます。今後、さらなる展開や高度化が期待される専門職大学という制度や、それに関連する様々な教育の現場に身を置く人々にとって、専門職教育は間違いなく不可欠な論点となるはずであり、本誌の議論がそのようなシーン形成の一助となることを期待します。

鮮やかでインパクトのある表紙のイラストは今村孝矢先生にご作成いただきました。本学特有の新規性・エネルギー・柔軟性などを見事に体現いただけたのではないかと思います。改めて感謝申し上げます。

福田 一史（大阪国際工科専門職大学）

編集委員

- 福田 一史 (編集委員長／表紙デザイン)
- 島津 浩哲
- 西 壽巳
- Zanlungo Francesco
- 村瀬 一之

編集事務

- 佐藤 多恵

表紙イラスト

- 今村 孝矢

ダイナミック・クリエイティブ・ナレッジ 第1巻

DCK : Dynamic Creative Knowledge Vol. 1

発行 大阪国際工科専門職大学
大阪市北区梅田3丁目3-1

発行日 2023年3月31日(年刊)

ISSN 2758-7320

連絡先 rcv-kenkyu@osaka.iput.ac.jp
