

# 未来を拓き、未来を創るモノづくり

## —高校生のためのエンジニアリング入門—

### 目 次

はじめに	1
1. エンジニアリングの役割	2
1.1. 日本の科学技術の立ち位置	2
1.2. サイエンスとエンジニアリングの関係	3
1.3. エンジニアの倫理と責任	5
1.4. 産業のグローバル化	6
2. 未来を切り拓くエンジニアリング	8
2.1. 未来社会の姿(SOCIETY5.0)	8
2.2. Society5.0 に向けた DX 技術	10
2.3. 文理横断エンジニアリング	12
2.4. 人工知能 AI	16
2.5. SDGs におけるエンジニアリングの役割	20
3. モノづくりの出発点と製品化までのプロセス	22
3.1. 製品化プロセス	22
3.2. 新しいモノづくりアイデアの創出	23
3.3. アントレプレナー	29
4. ロボティック・システム製作実習	31
4.1. Raspberry Pi Pico W について	31
4.2. ロボティック・システム開発手順	32
4.3. ロボティック・システム製作実習	34
おわりに	35
資 料	36
高校生のための工学入門(実習)	別冊

## はじめに

道路、自動車、住宅、家電、医療など、身の回りの多くがエンジニアリング<sup>1</sup>の成果であるため、工学は「問題を見つけて、解決する」学問と思われるかもしれない。しかし、次世代の人工知能、ロボット、宇宙開発、再生可能エネルギー、人工臓器などの未来を形作る技術も工学の範疇に入ると考えると、工学とは「可能性を形にする」学問でもあることが分かる。すなわち、工学とは「世界をどう設計するのか」を問う学問であるといえることができる。

更に、世界を設計するためには単に技術を使うだけでは解決しない。現代が抱えるエネルギー問題、環境問題、健康寿命問題など、現代の課題は経済、政治、更には心理、倫理と結びついている。工学を志す人もそうでない人も理系・文系の垣根を越えた総合知の考え方が重要であることを知っていて欲しい。

「工学の醍醐味」の1つは、「創造」と「論理」の両方を必要とし、このバランスが他の学問にはない面白さを生み出す。また、現実社会の課題に対して理論と実践を融合させて答えを導き出し、人々の生活をより良くすることも工学の面白さの1つであり、自分の設計や研究が社会に役立つという実感は、大きなやりがいになる。更に、異なる専門性を持つ人々と協力しながら、実際にモノを作り上げていく過程は、ダイナミックで刺激的である。

本書の最後には、実際にマイクロコンピュータを使い、皆さんの思うロボティック・システムを作成する実習を掲載しており、実習テキストも用意した。工学者のベースをなす「モノづくり」の楽しさを実感して欲しい。

本テキストを通してエンジニアリングに興味を持ってくれることを期待する。

---

<sup>1</sup> 「工学」とは、自然科学の原理を応用して、人間の生活や社会に役立つ技術やシステムを研究・開発する学問分野を指し、「エンジニアリング」とは、工学の知識を実際的设计・製造・運用に活かす「実践的な技術活動」を指す。

# 1. エンジニアリングの役割

工学(Engineering、エンジニアリング)は、科学的な原理や数学的な手法を利用して、現実世界の問題を解決するための手段や方法を開発する分野であり、工学は社会や産業の発展に欠かせないだけでなく、鉄道、自動車の出現が我々の生活を大きく変えたように、エンジニアリング役割は、単なる技術開発にとどまらず、社会の進化を支える根幹を担っている。具体的には、次のような役割がある。

- **インフラの設計と構築:** 道路、橋、建物、ダムなどのインフラを設計し、建設する。これにより、安全で効率的な交通網や生活基盤が提供される。
- **エネルギーの利用と管理:** 再生可能エネルギー(風力、太陽光など)の利用や、エネルギー効率の高いシステムの開発を行う。これにより、持続可能なエネルギー供給が実現される。
- **製品開発:** 家電製品、医療機器、通信機器など、日常生活を便利にする製品を開発する。これにより、生活の質が向上する。
- **環境保護:** 環境に優しい技術やシステムを開発し、環境保護に貢献する。例えば、排出ガスを削減する技術や廃棄物のリサイクルシステムなどがある。
- **情報技術:** コンピュータ・システムやソフトウェアの開発を通じて、情報の管理や通信を効率化する。これにより、デジタル社会の基盤が支えられる。

なお、技術(Technique テクニック、または Technology、テクノロジー<sup>2</sup>)は、工学によって開発された手段、方法を指す。

## 1.1. 日本の科学技術の立ち位置

日本の科学技術は、戦後の復興から始まり、世界のトップレベルにまで成長してきた。その歴史は、経済の発展と密接に関わっている。1960年代の日本経済の高度成長期から現在までの日本経済の変遷と科学技術の進展について概観しよう。図1は1960年以降の日本の国内総生産(GDP)の推移を示したものであり、縦軸が国内総生産、横軸が年号を示す。

戦後、日本は焼け野原からの復興を目指し、政府と企業が一体となって技術開発に力を入れた。この時代は「キャッチアップの時代」と呼ばれ、欧米の先進技術を学び、改良しながら追いつくことが目標だった。特に製造業では、トランジスタ、自動車、家電などの分野で急速に技術力を高め、世界市場で競争力を持つようになった。言い換えると、この時代の産業では

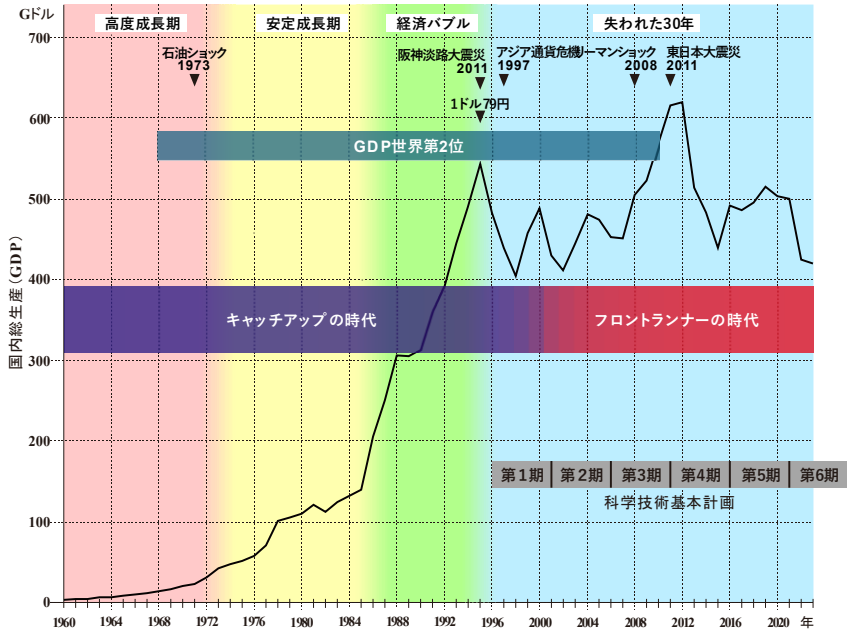


図1. 1960年代以降の日本経済の推移

米の先進技術を学び、改良しながら追いつくことが目標だった。特に製造業では、トランジスタ、自動車、家電などの分野で急速に技術力を高め、世界市場で競争力を持つようになった。言い換えると、この時代の産業では

<sup>2</sup> 「テクニック」とは、ある目的を達成するための「方法」や「技能」を指し、「テクノロジー」とは、科学的知識や工学的原理を応用して作られた「技術体系」、あるいはテクニックの集合体としての「装置」を指す。

何を開発するのか、すなわち開発の目標は明確であった。

この流れの中で、日本は「高度経済成長期」を迎え、年平均10%近い成長率を記録。科学技術は経済成長の原動力となり、大学や研究機関も拡充された。1980年代後半、日本は経済的に絶頂期を迎え、企業は潤沢な資金を研究開発に投入し、GDPも世界2位になるなど、**フロントランナー**の地位を確立した。2000年以降、日本は自然科学分野(物理学賞、化学賞、医学生理学賞)でのノーベル賞受賞者数が世界第2位を維持している。

しかし、1991年にバブルが崩壊すると、経済は急速に停滞した。この時期から「**失われた30年**」と呼ばれる長期的な停滞期が始まった。科学技術分野でも、若手研究者の育成や基礎研究への投資が十分に行われず、企業においても新しい技術、産業への投資が不十分となり、国際競争力が徐々に低下していった。

フロントランナーの宿命は、他に求めることなく新しい科学、新しい技術、新しい製品、新しい市場を自ら開発しなければならないことであり、常に**イノベーション**を創出し続ける必要がある。このような停滞の状態を打破すべく国も科学技術政策として1995年に「科学技術基本法」が制定し、研究開発を国家戦略として推進する姿勢を明確にしており、2016年の第5期科学技術基本計画には「Society 5.0」という構想が掲げられ、AIやIoT、ビッグデータを活用した持続可能な未来社会の実現を目指す方向性が打ち出された。

しかし、2000年代以降は、グローバル競争の激化や中国、韓国の経済的台頭、そして2011年の東日本大震災などの影響により、日本経済は厳しい外部環境にさらされる。更に、2010年代に入ってから、「持続可能な再成長」が重要なキーワードとなっている。環境問題や少子高齢化などの社会的課題に対して、科学技術を活用して解決策を提示することが求められている。SDGs(持続可能な開発目標)との連携や、地域社会との協働も含めて、技術のあり方が問われる時代である。

日本の科学技術は、キャッチアップからフロントランナーへ、そして今は「持続可能な再成長」を目指す新たなステージにある。皆さんが未来の研究者や技術者として活躍することで、日本の科学技術はさらに進化し、世界に貢献できるはずである。過去の歩みを学びながら、未来を創る力を育てていく必要がある。

## 1.2. サイエンスとエンジニアリングの関係

本節では、サイエンス上の発見が新しい産業につながることで、モノづくりがサイエンス上の新発見につながることを説明する。

さて、サイエンスは「なぜそうなるか」を理解することを目的とし、エンジニアリングは「どうすればうまくいくのか」を設計することを目的としていると違いがあるが、いずれも同じ知的活動であり、同様な手順を繰り返す。

図2はエンジニアリングの手順とサイエンスの手順を図示したものである。図2 a)に示すように、エンジニアリングではアイデア/ニーズに対して設計し、試作を行い、テストし、新しい製品を創り出す。テスト段階で要件を満たさない場合は設計し直すか、試作し直すこととなる、というように**試作—テストのループ**を繰り返す。

図2 b)に示すように、サイエンスの場合、課題/問いに対して観察し、仮説を立て、実験をすることで、新しい地知識をえる。実験がうまくいかない場合は、観察し直すか、仮説を見直すこととなる、というように、**仮説—実験のループ**を繰り返す。

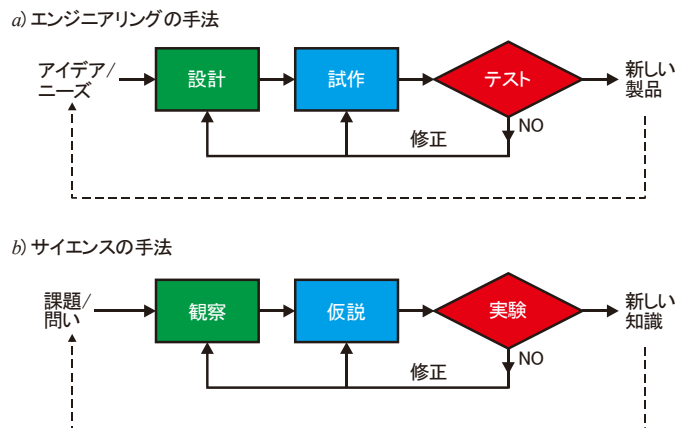


図2. エンジニアリングとサイエンスの手法

そして、エンジニアリングもサイエンスも成果として得られた新しい製品、新しい知識が更に新しいアイデア／ニーズ、課題／問いを産み出す。

いずれにしてもサイエンスとエンジニアリングは、目的は違うものの、知的な活動を繰り返す（**仮説－検証のループ**）という点では科学と技術は不可分であり、また使うツールも数学、物理学、化学、情報学と共通である。そのため、次に示すように、サイエンス上の発見が新しい産業につながることもあれば、エンジニアリング上の研究の中からサイエンス上の重要な発見に至ることも枚挙にいとまがない。



図 3. DNA の二重らせん構造



図 4. 太陽電池

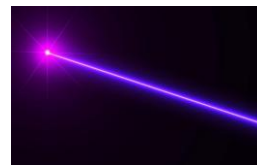


図 5. レーザ



図 6. 炭素繊維

サイエンス上の発見が新しい産業につながった例をいくつか紹介しよう。

1953 年にケンブリッジ大学の James Watson と Francis Crick によって解明された図 3 に示す DNA の二重らせん構造は、遺伝子工学、バイオテクノロジー、製薬産業に革命をもたらし、遺伝子治療、遺伝子診断、バイオ医薬品などの新しい分野を開拓した。

図 4 に示す太陽電池の理論的基盤は 1839 年に Alexandre Becquerel が発見した光起電力効果であるが、太陽光発電技術の礎は 1954 年のベル研究所によるシリコン太陽電池である。当初は宇宙開発での利用が主だったが、その後、再生可能エネルギー源として注目され、太陽光発電産業が成長した。

1960 年にヒューズ研究所の Theodore Maiman によって発明された図 5 に示すレーザーは、光ディスク、光ファイバ通信、医療機器、産業用切断・溶接、バーコードスキャナなど、多岐にわたる産業に応用され、情報技術、医療、製造業などに大きな影響を与えた。

1950 年代後半から開発が進められたカーボンファイバにはいくつかのタイプがあるが、現在広く使われている図 6 に示すアクリル繊維 (PAN 繊維) を炭化した PAN 系炭素繊維は 1961 年に大阪工業試験所の進藤昭男によって発明された。炭素繊維は、軽量かつ高強度であるため、航空機、自動車の軽量化や、スポーツ用品の高性能化など、様々な産業分野で利用されている。

この他にも液晶ディスプレイ、タッチスクリーン技術、mRNA ワクチン、遺伝子組み換え技術など、サイエンスの成果が大きな産業に結びついた例は枚挙にいとまがない。

一方、エンジニアリング研究がサイエンス上の成果に結びついた例も次に示すように多い。

1958 年 Texas Instruments 社の Jack Kilby は図 7 に示す集積回路を世界で初めて開発した。彼は 2000 年にノーベル物理学賞を受賞している。

島津製作所に所属していた技術者の田中耕一は、図 8 に示す生体高分子の同定および構造解析のための手法の開発により 2002 年ノーベル化学賞を受賞している。

日亜化学工業に所属していた中村修二は、図 9 に示す高輝度青色 LED の発明・実用化により 2014 年にノーベル物理学賞を受賞している。

旭化成に所属していた吉野彰は図 10 に示すリチウムイオン電池の開発に貢献した功績により、2019 年にノーベル化学賞を受賞している。

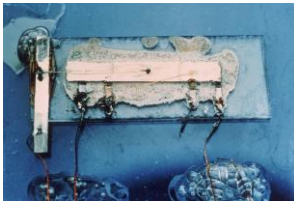


図 7. 世界初の集積回路

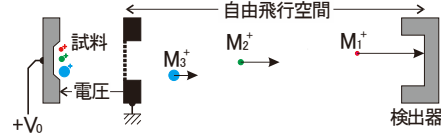


図 8. 質量分析装置の原理 (飛行時間型)



図 9. 青色 LED

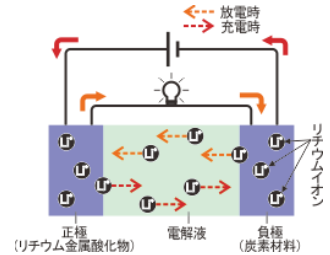


図 10. リチウムイオン電池

以上のように、科学と技術は不可分であり、理学部系へ進学することが科学者になるとは限らないし、工学部系に進学することが技術者になることを意味しない。自分が面白いと感じる道に進み、それを極めることが最も重要である。

本節の最後に、モノづくり技術がサイエンス上の発見に重要な寄与をする例を示す。それは“Analysis By Synthesis (ABS、構成的解析、あるいは分析による合成)”と呼ばれる手法であり、認知科学、脳科学、運動科学など、ヒトのような高度に複雑化したシステムの理解によく用いられる手法であり、ある機能を理解するために、まず仮説モデルを構築し、それを実際に動かしてみて現象が再現できるかを検証する方法論である。

図 11 に示す人間の歩行研究や二足歩行ロボットの開発は、その代表的な例である。人間は無意識に安定した二足歩行を行うが、その仕組みは極めて複雑で、筋骨格構造、神経制御、環境との相互作用が密接に関係している。この「なぜ歩けるのか」を単なる観察や分析だけで理解することは難しい。

そこで研究者は、人間の歩行原理に関する仮説をロボットという形で実現する。これが synthesis (構成あるいは合成) である。もしロボットが人間と同様に安定して歩行できれば、その背後にある仮説やモデルは妥当であったと考えられるし、歩行に失敗すればモデルを修正する必要がある。このように「作って動かす」ことを通じて理論の正しさを検証するのが Analysis By Synthesis の考え方である。

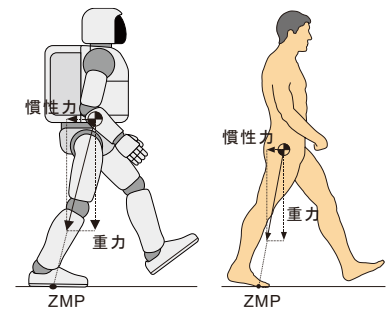


図 11. ロボットとヒトの二足歩行

二足歩行ロボットでは、安定性の指標として ZMP (Zero Moment Point) が歩行原理として考案された。ZMP は床反力 (重力と慣性力の合力) によるモーメントがゼロとなる点であり、この点が支持多角形の内部に存在すれば、ロボットは転倒せずに歩行できる。人間の歩行を ZMP の観点で足底に力センサを配置し、センサからの信号に応じてロボットの関節軌道や制御則を設計することで、人間らしい歩行の再現が確立した。

このように、人間の歩行を理解するためにロボットを合成し、その成功や失敗から理論を洗練させていく過程そのものが Analysis By Synthesis の本質である。

いずれにしてもロボットの実現はモノづくり技術の成果であり、サイエンス上の発見にモノづくり技術が不可欠であることが分かる。この他にも AI はヒトの脳機能を理解する上で重要なモデルであることも覚えていて欲しい。

### 1.3. エンジニアの倫理と責任

私たちの生活は、スマートフォンや自動車、医療機器、AI など、さまざまな技術によって支えられている。これらの技術を生み出し、社会に届けるのが「エンジニア(技術者)」である。エンジニアは、単にモノを作るだけでなく、人々の安全や社会の未来に深く関わる重要な役割を担っている。だからこそ、エンジニアには「倫理」と「責任」が求められる。

倫理とは、「人として正しい行いとは何か」を考えることである。エンジニアにとっての倫理は、技術を使って社

会に貢献するための心構えとも言い換えられる。例えば、便利なアプリを開発する際に、個人情報漏れのないように配慮すること、自動車の設計で、事故が起きたときに乗員を守れるようにすること、これらはすべて、倫理的な判断に基づいている。

技術は強力な力を持っているが、その使い方を誤れば、人々に危害を与えることもある。だからこそ、エンジニアは「できること」だけでなく「してよいこと」を考える必要がある。

エンジニアの責任は、大きく分けて以下のようなものがある。

1. **安全への責任**: 技術が人々の命や健康に関わる場合、エンジニアは最大限の注意を払う必要がある。例えば、橋の設計ミスが原因で崩落事故が起きれば、多くの人命が失われるかもしれない。そのような事態を防ぐために、設計や検証を丁寧に行う責任がある。
2. **社会への責任**: 技術は社会全体に影響を与える。AI の導入によって仕事が減る人がいる可能性も示唆されている。環境に負荷をかける製品が大量に作られれば、地球温暖化が進むかもしれない。エンジニアは、技術が社会にどんな影響を与えるかを予測し、より良い選択をする責任がある。
3. **説明責任(アカウンタビリティ)**: 技術的な判断や設計の根拠を、関係者にわかりやすく説明する責任である。たとえば、製品に不具合があった場合、なぜそれが起きたのか、どう対処するのかを明確に伝える必要がある。
4. **持続可能性への責任**: 環境に配慮した設計や、資源を無駄にしない開発を行うことも、エンジニアの責任である。未来の世代が安心して暮らせる社会をつくるために、今の技術者ができることはたくさんある。

エンジニアの倫理と責任が問われた実例として、1986年のスペースシャトル「チャレンジャー号爆発事故」がある。この事故では、技術者が打ち上げに危険があると警告していたにもかかわらず、組織の判断で無視され、結果として乗員7名が命を落とした。このような悲劇を防ぐためには、技術者が勇気を持って声を上げること、組織がその声に耳を傾けることが必要である。

また、近年では AI による顔認識技術が差別を助長する可能性があるという指摘されている。技術が公平であるためには、開発段階から多様な視点を取り入れることが重要である。

技術を学ぶことはとても楽しく、やりがいがある。しかし、技術は「人のため」に使われてこそ意味がある。どんなに優れた技術でも、それが人を傷つけたり、社会を不安定にしたりするならば、本当に良い技術とは言えない。

技術を学ぶと同時に、「その技術は誰のためにあるのか」「どんな影響を与えるのか」を考える習慣を身につけて欲しい。

## 1.4. 産業のグローバル化

本章の最後に、エンジニアを語る際にどうしても欠かせない「産業のグローバル化」について説明する。産業のグローバル化とは、かつては一つの国の中で完結していた製品の開発、製造、販売が国境を越えて行われるようになった現象を指す。

例えば図 12 に示すように、日本の自動車メーカーは、世界中に工場を持ち、現地のニーズに合わせた車を生産している。部品も世界各地から調達され、効率的なサプライチェーンが構築されている。ソフトウェア開発では、アメリカの企業がインドの技術者にプログラムを委託するなど、国境を越えた人材活用が一般的である。また、ファッション業界では、ヨーロッパのブランドがデザインし、アジアで製造し、世界中で

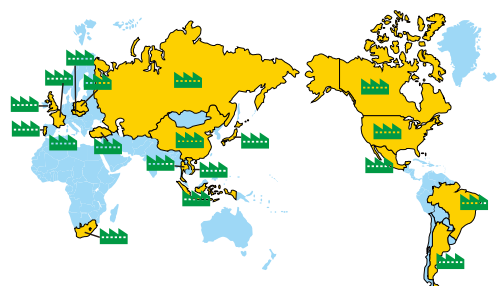


図 12. 自動車会社の世界展開

販売するという流れが定着している。

このように産業がグローバル化する背景としては、飛行機や船による物流の効率化、インターネットやスマートフォンによる情報の即時共有によって国際的な取引や協力を可能にしたこと、多くの国が、関税や規制を緩和し、貿易の自由化を進めたことで、企業の海外進出が容易になったことなどが挙げられる。

産業のグローバル化によって、人件費の安い国で生産することで、製品の価格を抑えることができる、世界中の消費者に現地の状況に合わせた製品を届けることができるようになったが、逆に、海外に生産拠点を移すことで、国内の雇用が減少する、国によって働き方や商習慣が異なるため、誤解や摩擦が生じることもある、生産活動が自然環境に与える影響が、国際的な課題となるなどの課題もある。

いずれにしても、産業のグローバル化は今後も増加すると考えられており、異なる言語や文化を持つ技術者が協力し、共通の目標に向かって設計・開発を進めることが求められる。技術力だけでなく、コミュニケーション能力や異文化理解も求められることを心に留めておく必要がある。

また、持続可能な社会を目指すうえで、環境に配慮した技術やエネルギー効率の高い製品の開発が求められており、世界中の技術者が協力して取り組むことが求められている。

---

#### 演習問題 1-1

スマートフォンの開発において科学と工学と社会がどのように関わっているかを説明せよ。

## 2. 未来を切り拓くエンジニアリング

本章では、エンジニアリングが関係する現在の産業分野、期待されている近未来(2030年頃)の社会の姿を紹介し、その基盤技術となるDX技術、2015年の国連サミットで全加盟国が採択した国際的な持続可能な開発目標SDGsにおけるエンジニアリングの役割、そして現代の社会の諸課題を解決するために必要性が高まっている文理境界上のエンジニアリング、人工知能AIの概要について記す。

### 2.1. 未来社会の姿(SOCIETY5.0)

Society5.0は、2016年に閣議決定された「第5期科学技術基本計画」の中で、日本が目指すべき未来社会として提唱された。

ちなみに、Society1.0~4.0は下記の通りである。

**Society1.0(狩猟社会)**: 人々が狩りをすることで生活をしてきた。

**Society2.0(農耕社会)**: 食糧を育て、収穫をすることで安定した生活を手に入れた。

**Society3.0(工業社会)**: 工場に大規模な機械が導入され、規格製品を大量生産することが、経済活動の中心となった。

**Society4.0(情報社会)**: 物の製造や流通よりも、人や物の情報に価値がおかれ、その処理や伝達を経済の中心に据えた社会。

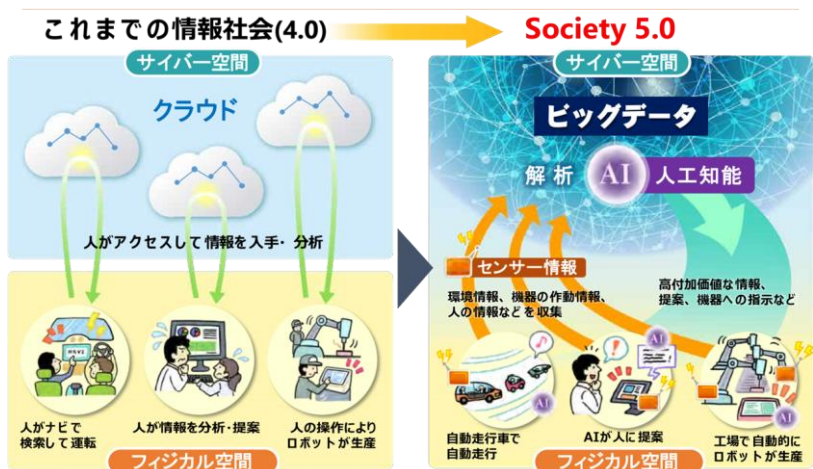


図 13. サイバー空間とフィジカル空間の高度な融合<sup>3</sup>

である。

図 13 に示すように、未来社会 Society5.0 では、サイバー空間(仮想空間)と、現実の社会(フィジカル空間)が高度に入り交じったシステムが構築されるとしている。現実社会のあらゆるデータは、ビッグデータに集約され、その内容を人工知能(AI)が解析し、再び現実社会に還元することで経済発展や社会的課題の解決につながるとしており、目指す社会像を具体的に「国民の安全と安心を確保する持続可能で強靱な社会」、「一人ひとりの多様な幸せが実現できる社会」としている。

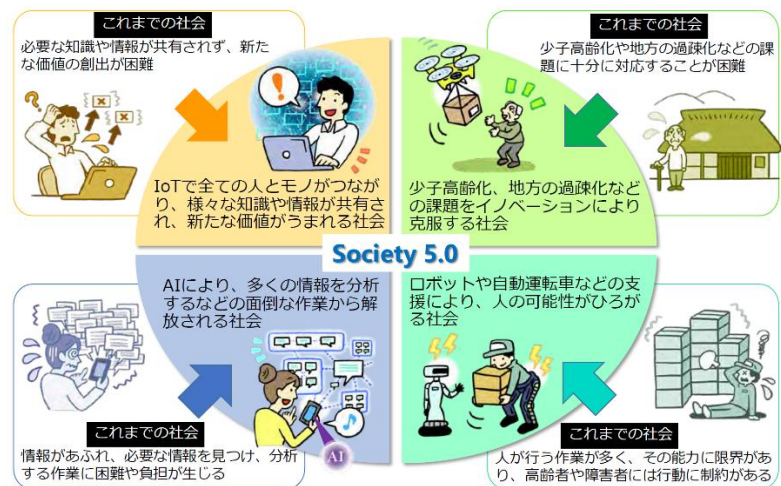


図 14. Society5.0 で実現する社会

<sup>3</sup> 図 13~図 17 は内閣府 Web サイト [https://www8.cao.go.jp/cstp/society5\\_0/index.html](https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/index.html) から引用

すなわち、図 14 に示すように、Society5.0 の目指すところは、国民の安全と安心を確保する持続可能で強靱な社会であり、

- 2030 年を目標にした SDGs の達成を見据え、持続可能な地球環境を実現する。
- 現在の社会のニーズを満たし、将来の世代も豊かに暮らしていただける社会にする。
- 災害や感染症、サイバーテロなどの脅威に対して、強靱な社会を構築する一人ひとりの多様な幸せが実現できる社会。
- 能力を伸ばせる教育を等しく受けられる環境と、そうした人材をいかした多様な働き方の実現。
- 生涯を通じて生き生きと社会に参加し続けられる環境の実現。
- 夢を持ち、コミュニティの中でも自らの存在を肯定して、活躍できる社会の実現。

としている。

次に、Society5.0 で思い描く未来の具体例を紹介する。

### 1) 車を使った旅行を計画している家族の例

図 15 に示すように、Society5.0 ではリアルタイムの気象情報や道路・交通情報に加え、宿泊施設や飲食店などのデータのほか、家族の過去の行動履歴などが、ビッグデータに集積される。そうしたデータは人工知能によって解析され、現実社会の家族の好みにあった観光スポットや移動方法、宿泊施設、レストランなどを提案してくれる。

現在は、行き先やルートが面倒、天候が心配、事故に遭う危険性がある、楽しいところに行き、美味しい物が食べたい、などの問題があるが、Society5.0 では、好みに合わせた観光ルートの提供。天気は良く、混雑も無い場所を AI が選択し、車は自動走行で渋滞と事故に遭わずに移動でき、旅先では高齢者や障害者が自律型車いすで自由に移動できるようになることが期待される。

### 2) 1人で暮らす高齢者の例

図 16 に示すように、医療や介護の場面でも Society5.0 では革新的な変化が起きることが期待されている。体温や血圧、呼吸数といった体調に関するデータは、リアルタイムでビッグデータに集積され、最新の医療情報や実際の医療現場の情報と結び付けられて人工知能が解析する。

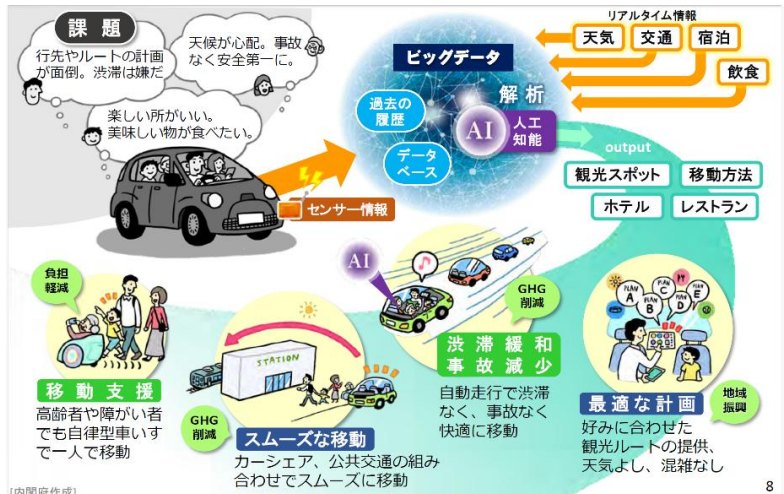


図 15. Society5.0 での交通

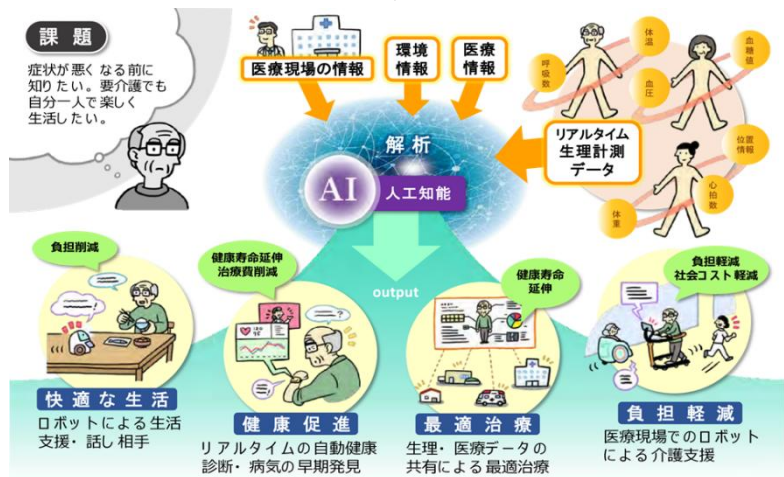


図 16. Society5.0 での医療・介護

現在は、病気を早期に発見できない、要介護では生活が楽しめない状況にあるが、Society5.0 では、リアルタイムでの自動健康診断・病気の早期発見が可能になり、ロボットが話し相手になり、生活支援も担い、医療データの共有による個人に合わせた最適な治療が実施されるようになり、ロボットによる介護支援が実現するとしている。

### 3) モノづくりの現場の例

図 17 に示すように、Society5.0 ではロボットや異業種間の連携が生まれ、モノづくり現場での生産の効率化や省人化が図られると期待されている。

現状では、在庫の過不足の解消、人材の確保、経費削減、時代のニーズに対応した設備投資、震災や火災などの緊急時の対応は難しい状況にあるが、Society5.0 では、ニーズに対応した生産計画や在庫管理、AI やロボットの活用、工場間連携

による生産の効率化、省人化、職人の熟練した技術の継承、他品種少量生産の実現、異業種協調配送やトラックの隊列走行による効率化、消費者は特注品が安価で入手できるようになり、納期に遅れも生じない、などが期待されている。



図 17. Society5.0 でのものづくり

## 2.2. Society5.0 に向けた DX 技術

前節で示した Society5.0 で示された未来の社会を実現するために、産業界では DX(デジタルトランスフォーメーション)化が急速に進んでいる。

例えば、図 18 に示すように、機械部品の製作に際しては、従来はドラフターを使って手作業で図面を引いて設計図をつくり、その設計図に従って職人が手作業で部品を製作していたものが、CAD(Computer Aided Design)使って PC 上で設計図を作成し、同時に CAD 上で動作確認、応力解析を実施し、出来上がった設計図データを金属 3D プリンタに送ることで、機械部品が製作できるようになっている。他にも、基板への電子部品の配置、動作確認が行える EDA ツール(Electronic Design Automation)ツール、生命科学領域においてタンパク質の構造と機能、DNA・RNA の配列解析などができるバイオイン

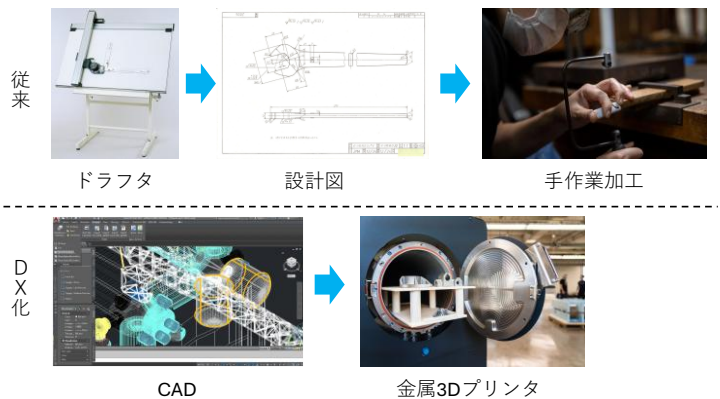


図 18. 機械部品試作の DX 化

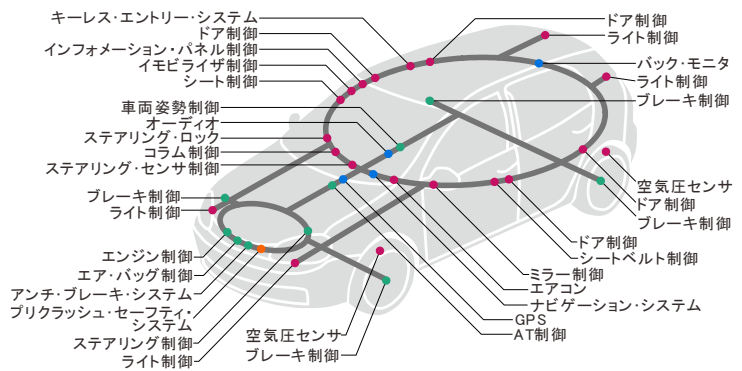


図 19. 車内マイクロ・プロセッサのネットワーク

フォマティクス・ツールなど、様々な DX ツールが産業現場で活躍している。

図 19 は自動車の DX 化の例を示している。図中の色付けした○印は全てマイクロプロセッサであり、およそ 100 個のマイクロプロセッサが車内ネットワークに組み込まれて自動車の制御を行っている。

以上のように、DX 化とは、単にパソコン、ソフトウェアを導入するのではなく、機器にマイクロコンピュータを組み込み、それをネットワークにつなぐことで機器の状態の把握、機器の制御をオンラインで行うなど、業態そのものを根底から変革することを指している。

以上のような DX 化を支える技術には、1) AI すなわち人工知能技術、2) IoT すなわちモノのインターネット技術、3) データサイエンス技術、4) ロボティクス技術の 4 つがある。データサイエンスは 2.3 節の文理横断エンジニアリングの中で説明し、AI については第 2.4 節に詳述する。以下に他の技術の概要を記す。

## 1) IoT 技術

IoT (アイオーティー) とは「Internet of Things (モノのインターネット)」の略で、さまざまな機械や装置がインターネットにつながり、情報をやり取りする技術である。これにより、工場の機械が自動でデータを送信したり、遠隔から操作されたりすることが可能になる。

製造業では、IoT の導入によって「スマートファクトリー (賢い工場)」が実現されつつある。図 20 に示すように、工場の機械にセンサを取り付けることで、温度や振動、稼働時間などの情報をリアルタイムで取得できる。これらのデータはクラウドに送られ、AI が分析することで、機械の故障を予測したり、生産効率を高めたりすることができる。

IoT の活用には主に以下のようなメリットがある。

- **見える化**: 工場内の状況を数値やグラフで把握できるようになり、問題の早期発見が可能。
- **予知保全**: 機械の異常を事前に察知し、故障前にメンテナンスを行える。
- **遠隔操作**: 離れた場所から機械を操作し、また状況を監視できる。
- **生産の最適化**: データをもとに作業工程を改善し、無駄を減らす。

例えば、自動車工場では、組み立てラインの各工程にセンサを設置し、部品の供給状況や作業時間を常に監視している。これにより、部品の不足や作業の遅れをすぐに把握し、迅速な対応が可能になる。

また、IoT は環境制御技術にも貢献する。エネルギー使用量をセンサで測定し、無駄な電力消費を減らすことで、CO<sub>2</sub>排出量の削減にもつながり、持続可能な社会づくりにも重要な技術である。

ただし、IoT には課題もある。セキュリティ対策が不十分だと、外部からの不正アクセスによって工場のシステムが止まる危険がある。そのため、IoT 機器には暗号化や認証などの安全対策が必要である。

IoT は単なる技術ではなく、製造業の働き方や社会の仕組みを大きく変える力を持っている。

## 2) ロボティクス技術

ロボティクスとは、ロボットを設計・製作・制御するための技術や学問のことである。ロボットには工場で働くアーム型ロボットや、自動掃除機、ドローンなど、さまざまな形があるが、更に人型ロボットも実用化が急がれている。ロボティクス技術は、機械工学、電子工学、情報工学などの複数の分野にまたがっている。図 21 に示すように、ロボットは「センサ」、「制御装置」、「アクチュエータ (動力部)」の 3 つの要素で構成されている。センサで周囲の情報を集め、制御装置が判断し、アクチュエータが動作を行う。



図 20. 製造業における IoT 技術の導入

製造業では、ロボットが部品の組み立てや溶接、塗装などを正確に行い、人間の作業を補助または代替している。これにより、作業の効率化や品質の安定化、安全性の向上が実現されている。最近では、IoT や AI と連携した「スマートロボット」も登場しており、状況に応じて自律的に判断して動くことができる。

医療分野では、図 22 に示す手術支援ロボットが登場し、医師の手の動きを精密に再現することで、より安全で正確な手術が可能になっている。また、介護ロボットは高齢者の移動や見守りをサポートし、人手不足の解消にも貢献している。

農業では、ロボットが自動で種まきや収穫を行う「スマート農業」が進んでいる。ドローンによる農地の監視や、AI による病害虫の検知など、ロボティクス技術は農業の効率化と持続可能性にも役立っている。

ロボティクスは単なる機械の話ではなく、「人と技術がどう共存するか」を考える学問でもある。人の仕事を奪うのではなく、人を助け、よりよい社会をつくるための道具として、ロボットをどう活用するかが問われている。

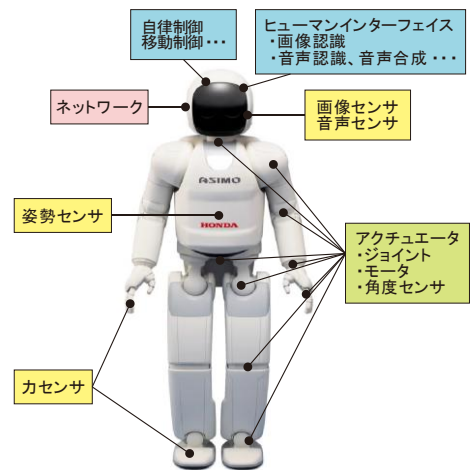


図 21. ロボットの構成



図 22. 手術支援ロボット

## 2.3. 文理横断エンジニアリング

1.1 節に記したように、製品開発の目標が明確だった時代には高度な技術を持ったエンジニアが求められていたが、現在は新たな目標を自ら開拓しなければならない状況にある。また、資源の枯渇、開発した製品の環境に与える影響の問題、国際紛争による貿易の自由が確保できなくなっている現状など、複雑な社会課題を考慮した製品開発の必要性が増大している。そのため、専門的な知識だけで新製品の開発でなく、広く文理横断的な思考力が求められている。

本節では、文理横断エンジニアリングの例として、人間中心設計、環境工学、バイオエンジニアリング、データサイエンスについて概説する。

### 1) 人間中心設計 (Human-Centered Design, HCD)

図 23 に示すように、これまでの製品開発は基本的に技術を中心とした考え方が主であったが、時としてユーザの使い勝手の悪い製品となることも多かった。現在はユーザすなわち人間を中心とした製品開発にシフトしており、製品開発に際して、ユーザのニーズや行動を考慮することで、使いやすさや満足度を高めるデザインを行うことが重視されている。そのため、心理学や社会学の知見を取り入れ、さまざまなユーザに適した製品を開発することが必要となっている。

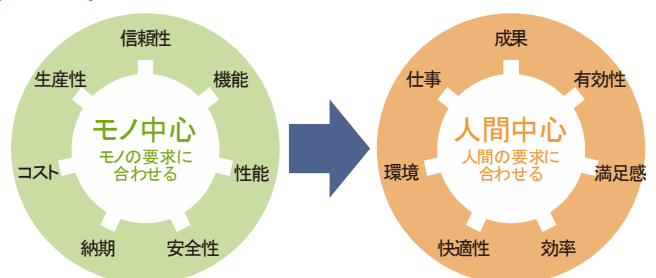


図 23. これまでの商品デザインと人間中心デザイン

具体的には、製品・サービスの開発に際してまずはユーザの行動、価値観、ニーズを徹底的に調査し、ユーザへのインタビュー、観察、アンケートを実施し、開発すべき課題を明らかにする。次にユーザの不満・問題を解決するためのアイデアをチームでブレインストーミングし、多様な視点から解決策を考え、製品・サービスのコン

セプトを立案する。このコンセプトを具体的な形にするため、試作を作成する。この際、紙ベースのスケッチやデジタルプロトタイプを作り、ユーザのフィードバックを受ける。このプロトタイプをユーザに試してもらい、フィードバックを得、実際の使用状況を分析し、設計を改善し、新たな製品・サービスとする。上市の後も改善を重ねたデザインを製品・サービスとして実装し、ユーザの反応を分析し、継続的に改良を重ねる。

このような人間中心設計の具体例としては、直感的な操作ができるインターフェースを設計し、ユーザテストを繰り返して改善されたスマートフォンの UI (User Interface) デザイン、医療従事者や患者への聞き取りを行い、操作性や安全性を考慮した医療機器の設計、高齢者や視覚障害者の使いやすさを考慮し、音声案内や簡単な操作の導入された交通案内システムが挙げられる。

このように、人間中心設計はユーザの体験を重視し、より良い製品・サービスを提供するための重要な手法である。

## 2) 環境工学

環境工学は、環境保護や持続可能な開発を目的とした工学分野で、エコロジーや環境政策とエンジニアリングを融合させる必要があり、そのため文理横断的なスキルが必要となる。例えば、廃棄物処理や再生可能エネルギーのプロジェクトは、技術だけでなく社会的な側面も考慮に入れた取り組みである。



図 24. 環境工学の範囲

環境工学が目指しているのは、都市のエネルギー効率を最適化し、環境負荷を減らすスマートシティの設計、マイクロプラスチック除去技術や油流出事故の処理方法などの海洋汚染対策技術、断熱性の高い建材の使用、ゼロエネルギーハウスの設計などの持続可能な建築技術である。

具体的な環境工学の対象を図 24 に示す。この内、環境工学の主要分野の 1 つである水質管理については、生物処理、化学処理、膜ろ過などの汚水処理技術、ならびに活性炭ろ過、オゾン処理などの上水道の浄化システムが重要な技術である。

大気環境制御については、触媒コンバータ、吸着フィルタなどの排気ガスの浄化技術、カーボンキャプチャとその保管技術などの二酸化炭素削減技術が期待されている。

また、プラスチック再生、電子廃棄物分解などのリサイクル技術、焼却、埋立、バイオ発酵などの廃棄物処理技術なども廃棄物管理の観点から研究が進んでいる。

再生可能エネルギーについては、太陽光・風力・地熱発電システムの設計と開発、水素エネルギー・バイオ燃料の活用などが来されている。

以上の新しい技術がどのように環境に影響を与えるかなどのインフラ開発時の環境負荷分析、環境保全計画の策定など、環境影響評価技術も環境工学の重要な課題である。

このように環境工学は、現代社会が抱える環境問題を解決するための文理境界上の重要な学問である。

## 3) バイオエンジニアリング (生体医工学)

図 25 に示すように、医療機器や健康管理アプリ等の医療技術の開発において、医学的知識と工学的アプローチを融合させる必要がある。更に、ユーザの心理や社会的背景も考慮に入れて設計される必要があり、文理境界上の学問である。

バイオエンジニアリング分野での新しい試みとしては、3D プリント技術を活用した移植可能な人工臓器の開発、バイオセンサ技術を活かした血糖値や病原体を検出するウェアラブルデバイス、微生物を利用した水質浄化や廃棄物処理などの環境バイオテクノロジー技術、微生物を活用した持続可能なバイオ燃料エネルギー生産などの開発を進んでいる。

バイオエンジニアリングの主要分野としては、下記がある。

### a) バイオメカニクス

図 26 に示すように、バイオメカニクス(Biomechanics)は、生物の運動や力学的構造を物理学や工学の視点から解析する学問分野である。特に人体の動きや関節、筋肉、骨などの機能を力学的に捉えることで、運動能力の向上、ケガの予防、リハビリテーション、スポーツ技術の改善などに応用される。例えば、歩行やジャンプの際に生じる力の分布や関節の動きを数値化・モデル化することで、効率的な動作や負担の少ないフォームを導き出すことが可能である。また、義肢や人工関節の設計、ロボット工学、医療機器の開発にも貢献している。バイオメカニクスは、医学、スポーツ科学、理学療法、工学など多分野と連携しながら、人間の身体機能の理解とその応用を深める重要な学問である。

### b) バイオデバイス

バイオデバイス(Bio-device)は、生体の機能や構造を応用して設計された装置で、医療、福祉、研究など多様な分野で活用されている。代表的な例としては、図 27 に示す心臓ペースメーカ、人工関節、義肢、バイオセンサなどがあり、これらは生体信号の検出や補助、代替機能の提供を目的としている。バイオデバイスは、生体材料、電子工学、機械工学、情報技術などの融合によって開発され、患者のQOL(生活の質)向上や診断・治療の精度向上に貢献している。近年では、ウェアラブルデバイスやスマート義肢など、より高度な機能を持つ製品が登場しており、個別化医療や遠隔医療の発展にも寄与している。バイオデバイスは、未来の医療と人間の可能性を広げる重要な技術領域である。

### c) バイオマテリアル

図 28 に示すバイオマテリアル(Biomaterials)は、生体と接触して機能する材料であり、医療や生物工学の分野で広く利用されている。人工関節、歯科インプラント、心臓弁、縫合糸、皮膚代替材などに用いられ、生体との適合性や安全性が求められる。バイオマテリアルには金属、セラミックス、高分子、生体由来材料などがあり、それぞれの特性に応じて用途が異なる。近年では、細胞との相互作用を考慮した「バイオアクティブ」な材料や、体内で分解される材料の研究が進んでいる。これにより、再生医療やドラッグデリバリーなどの先端医療技術にも応用が広がっている。バイオマテリアルは、医療の質を高め、患者の生活の質を向上させるための重要な技術基盤である。

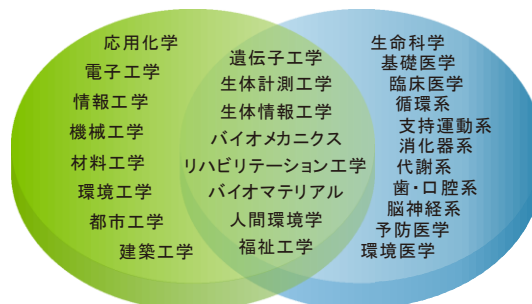


図 25. バイオエンジニアリングの範囲

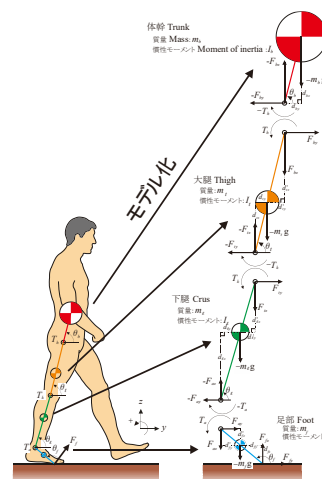


図 26. バイオメカニクス

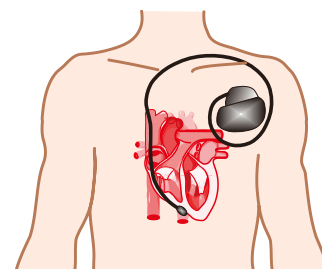


図 27. 心臓ペースメーカ



図 28. バイオマテリアル

#### d) バイオイメージング

バイオイメージング (Bioimaging) は、生体内の構造や機能を可視化する技術であり、医学・生物学・薬学などの研究や診断に広く利用されている。代表的な手法には、MRI(磁気共鳴画像)、CT(コンピュータ断層撮影)、超音波、光学顕微鏡、蛍光イメージング、**図 29** に示す PET(陽電子放射断層撮影)などがあり、それぞれ異なる原理で生体の内部情報を取得する。これらの技術により、細胞レベルから臓器レベルまでの構造や動態を非侵襲的に観察することが可能となり、病気の早期発見や治療効果の評価、生命現象の理解に貢献している。近年では、AI や画像解析技術の進歩により、より高精度で定量的な解析が可能となり、個別化医療や創薬研究にも応用が広がっている。



図 29. PET

#### e) ケミカルバイオエンジニアリング

ケミカルバイオエンジニアリング (Chemical Bioengineering) は、化学工学と生物工学を融合した学問分野であり、生体分子や細胞の機能を化学的・工学的手法で制御・応用することを目的としている。具体的には、**図 30** に示すバイオリアクタの設計、酵素や微生物を用いた物質生産、医薬品の製造プロセス、バイオマテリアルの開発などが含まれる。この分野では、生体の複雑な反応系を理解し、人工的に再構築することで、持続可能な生産技術や高機能な医療材料の創出が可能となる。近年では、合成生物学やナノテクノロジーとの連携により、より精密で効率的なバイオプロセスが実現されており、環境・医療・エネルギー分野への応用が期待されている。



図 30. バイオリアクタ

#### f) 遺伝子工学

**図 31** に示すように、遺伝子工学 (Genetic Engineering) は、生物の遺伝情報である DNA を人工的に操作する技術であり、目的に応じて特定の遺伝子を改変・導入・除去することで、生物の性質や機能を変えることができる。代表的な応用例には、病気の治療に用いる遺伝子治療、高収量・病害抵抗性を持つ作物の開発、医薬品や酵素の生産などがある。近年では、CRISPR-Cas9 などの精密なゲノム編集技術の登場により、より効率的かつ正確な遺伝子改変が可能となり、再生医療や個別化医療、合成生物学などの分野で注目されている。遺伝子工学は、生命の仕組みを深く理解し、医療・農業・環境など多方面に革新をもたらす重要な技術である。



図 31. 遺伝子工学

以上のように、バイオエンジニアリングは、医療や環境問題の解決に貢献する分野である。

#### 4) データサイエンス

私たちが暮らす現代社会では、日々膨大な量のデータが生まれている。スマートフォンの位置情報、SNS の投稿、ネットショッピングの履歴、気象センサの観測値、病院の診療記録など、あらゆる活動がデジタル化され、記録されるようになった。これらのデータは単なる数字の集まりではなく、社会の動き、人々の行動、環境の変化を映し出す「鏡」のような存在である。

この膨大なデータを分析し、意味のある情報を抽出し、課題解決や意思決定に活かす学問・技術が**図 32** に示すデータサイエンス (Data Science) である。統計学、情報科学、人工知能 (AI)、機械学習、可視化技術などが

融合した、多面的で実践的な分野である。データサイエンスは、単なる技術ではなく、社会をより良くするための「知の道具」として注目されている。

データサイエンスの実践には、いくつかの段階がある。

- ① 課題設定：まず、「何を知りたいのか」「どんな問題を解決したいのか」を明確にする。これは技術的な作業ではなく、人間的な問いを立てる段階である。
- ② データ収集：センサ、アンケート、Web サイト、行政データなどから、必要な情報を集める。この段階では、データの信頼性や偏りにも注意が必要である。
- ③ 前処理(データクリーニング)：欠損値の補完、異常値の除去、形式の統一など、分析しやすい形に整える。ここでの丁寧な作業が、後の分析の精度を左右する。
- ④ 分析・モデル構築：統計的手法や機械学習アルゴリズムを使って、データの中に潜むパターンや関係性を探る。たとえば、売上と気温の関係、病気の発症と生活習慣の関係などである。
- ⑤ 可視化・解釈：グラフや図を使って結果をわかりやすく示し、専門外の人にも理解できるようにする。ここでは、伝える力が問われる。
- ⑥ 意思決定・応用：得られた知見をもとに、政策立案、サービス改善、教育改革などに活かす。データは「行動につながる知識」へと変わる。

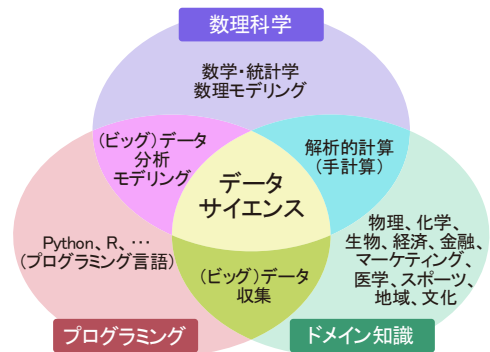


図 32. データサイエンス

データサイエンスは、ビジネスだけでなく、医療、教育、農業、環境保護、防災など、あらゆる分野で活用されている。たとえば、スマート農業では、土壌の水分量や気温のデータを分析して、最適な灌水タイミングを判断する。教育分野では、生徒の学習履歴を分析して、個別最適化された教材を提供することも可能である。

また、SDGs(持続可能な開発目標)との関連も深く、気候変動の予測、貧困地域の支援、ジェンダー格差の可視化など、社会課題の解決にも貢献している。データサイエンスは、技術だけでなく「倫理」や「公平性」とも向き合う必要がある分野である。

データサイエンスは「未来を読み解く力」を育む学びで、文系・理系を問わず、問いを立て、情報を集め、分析し、社会に働きかけるという一連の流れは、探究学習や総合的な学習にも通じる。

たとえば、「地域の交通渋滞を減らすには?」、「学校の自販機の売れ筋は何か?」、「気候変動が地元に与える影響は?」といった身近な問いも、データサイエンスの視点で考えることができる。重要なのは、データを「使う」だけでなく、「問いを立てる力」、「意味を読み取る力」、「伝える力」を育てることである。

データサイエンスは、単なる数字の処理ではなく、人間の知性と社会の課題をつなぐ架け橋である。技術の進歩とともに、私たち自身が「何を大切にするか」「どんな未来を描くか」を問い直すことが求められている。

## 2.4. 人工知能 AI

ギリシャ神話の青銅製の自動人形タロス、ルネサンス時代の自動人形「オートマタ」に示されるように、人と同様に見聞きし、認識し、記憶し、判断し、運動することができる機械の実現は人類の夢の1つである。

人工知能の手本は脳神経系であり、20世紀に入ってからの脳神経科学の急速な発展に平行して人工知能研究がはじまり、以降、人工知能研究と脳神経科学研究は互いに刺激し合い、影響を与え合いながら発展してきた。

最初の脳神経系のモデルは 1943 年に数学者の Walter Pitts と神経生理学者の Warren McCulloch によって提唱された 1 個の神経細胞の働きをモデル化したニューロンモデルであり、現在の人工知能の基礎となった。

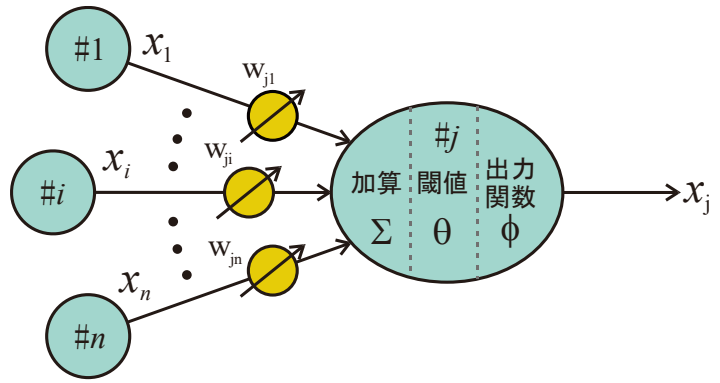


図 33. McCulloch-Pitts のニューロモデル

図 33 に McCulloch- Pitts のニューロンモデルを示す。このモデルでは  $j$  番目のニューロンが  $n$  個のニューロンから入力  $x_i$  ( $i=1,2,\dots,n$ ) を受けており、それぞれの入力の影響の度合いを

$w_i$  ( $i=1,2,\dots,n$ ) としている。そしてシナプスの可塑性を  $w_i$  の変化として表現している。以上の入力は式(1)に示すように、加算され、閾値  $\theta$  と比較された後、出力関数  $\phi$  に従ってパルス頻度  $x_j$  を出力する。

$$x_j = \phi \left[ \sum_{i=1}^n w_i x_i - \theta \right] \quad (1)$$

このモデルで重要な点は、Donald O. Hebb が 1949 年に提唱した「ヘブ則」を取り入れている点である。このヘブ則は、「発火を繰り返すニューロン同士の結合が強まる」という人の学習・記憶のメカニズムを取り入れている点にあり、後のニューラルネットワークの学習アルゴリズムに影響を与えた。

次に銘記すべき人工知能研究は 1950 年に現在のコンピュータの基礎となった万能機械を考案した Alan Turing が表した論文「計算機と知能」である。チューリングは論文の中で、質問者が人間と機械のどちらと会話しているかを見分けられない場合、その機械は「知能を持つ」と見なせるとしたチューリングテストを示している。

前述の人工ニューロンである McCulloch-Pitts のニューロモデルの考えを継承しつつ実用的な機械学習の基礎を築いたのが、1957 年に Frank Rosenblatt によって提案されパーセプトロンであり、AI 技術の進展における原点とも言えるモデルを開発した。図 34 に示すように、パーセプトロンは、入力に重みをかけて加算し、閾値を超えた場合に出力 1 を返すという構造を持つが、最大の特徴は重みを学習によって更新できる点にある。

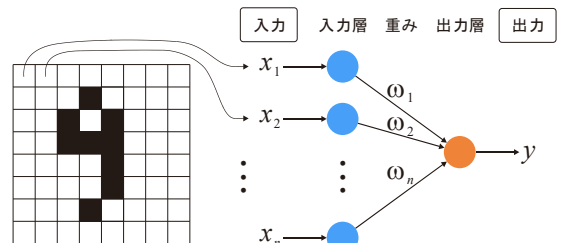


図 34. パーセプトロン

教師あり学習により、誤差に基づいて重みを調整することで、分類精度を向上させることが可能である。

例えば、図 34 左に示す正方格子に入力された多様な手書き数字を学習させることで、手書き数字から数字“9”を取り出すことができる。

その後、パーセプトロンは能力に限界があることが明らかとなり、ニューロコンピューティングの研究は停滞した。その後、1970～1980 年にはルールベース AI、いわゆるエキスパート・システムの研究が AI 研究の主流となった。図 35 に示すように、これは、主に「知識ベース」と「推論エンジン」で構成され、知識ベースには専門的なルールや事例が蓄積され、推論エンジンがそれを用いて判断を行う。医療診断、金融審査、製造業の故障解析など多様な分野で活用され、専門家不足の補

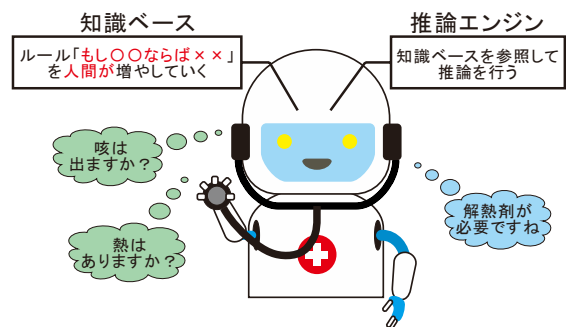


図 35. エキスパート・システム

完や業務効率化に貢献した。また、説明機構を備えることで、導き出した結論の根拠も提示可能であった。

ニューラルネットワークを多層化(ディープラーニング)することで、より複雑な学習、認識が可能であるとされてきたが、多層化されたニューロン同士の結合係数をどのように決めれば良いか不明であった。1986年にトロント大学の David Rumelhart 等がバックプロパゲーションを発表すると、一気にニューラルネットワーク研究が進展した。現在では、画像認識、音声認識、自然言語処理など多様な分野で活用されており、現在の AI 技術の根幹を支えている。

図 36 に示すバックプロパゲーション(誤差逆伝播法)は、ニューラルネットワークの学習において中心的な役割を果たすアルゴリズムである。これは、出力層で得られた予測結果と正解データとの誤差を、ネットワークの各層に逆向きに伝播させることで、各ニューロンの重みを効率的に調整する手法である。まず、入力データが順伝播によって各層を通過し、出力が得られる。次に、損失関数(例:平均二乗誤差やクロスエントロピー)を用いて誤差を計算し、その誤差を出力層から入力層へと逆伝播させながら、各重みの勾配(微分値)を求める。この勾配に基づいて、勾配降下法などの最適化手法を用いて重みを更新し、誤差を最小化する方向へ学習を進める。

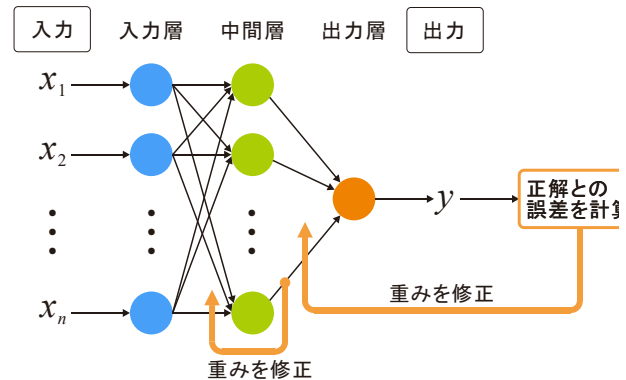


図 36. バックプロパゲーション

このアルゴリズムの数学的基盤には、連鎖律(合成関数の微分法則)があり、複雑なネットワーク構造でも効率的に勾配を計算できる。バックプロパゲーションは、1986

年に Rumelhart らによって体系化され、深層学習の基礎技術として広く普及した。

このバックプロパゲーション技術を発展させ、多層のニューラルネットワーク(深層構造)を用いて、データから特徴を自動的に抽出・学習する技術がディープラーニング(深層学習)であり、2006年に Geoffrey Hinton らが「ディープ・ビリーフ・ネットワーク」を発表し、多層構造の学習が現実的になった。従来の機械学習では、エンジニアが手作業で「特徴量」を設計する必要があったが、図 37 に示すディープラーニングではこの工程を自動化し、複雑なパターンや関係性を自律的に抽出できる。

この技術の中核には、入力層・複数の隠れ層・出力層からなるニューラルネットワークがあり、各層のノード(人工ニューロン)は重み付きの入力を受け取り、活性化関数を通じて出力を生成する。学習は、誤差逆伝播法(バックプロパゲーション)を用いて、出力と正解の誤差を各層に逆伝播させながら重みを調整することで行われる。

ディープラーニングは、画像認識、音声認識、自然言語処理、医療診断、自動運転など多様な分野で活用されており、特に大量のデータと高性能な計算資源(GPU など)を活用することで、従来の手法を超える精度と柔軟性を実現している。近年では、生成 AI(ChatGPT や DALL-E など)にも応用され、創造的なコンテンツ生成にも貢献している。ディープラーニングは、AI の進化を支える基盤技術として、今後も社会の多くの領域で革新をもたらすと期待されている。

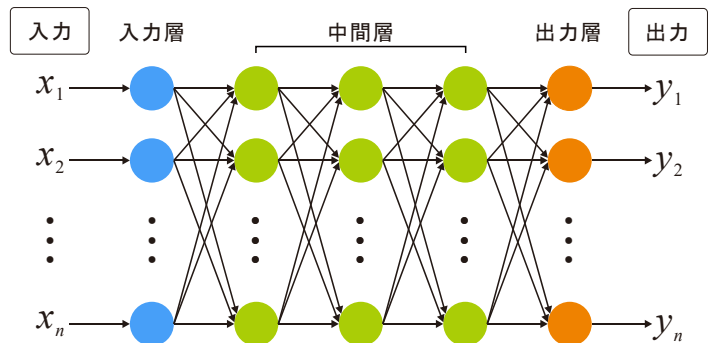


図 37. ディープラーニング

以上、ヒトの脳神経系をモデルとしたニューラルネットワーク研究を中心に話を進めてきたが、前述のエキスパート・システム以外にも様々な AI 技術が開発され実用研究が進んでいる。

下記は代表的な AI 技術である。

- ① **識別系 AI**: 人間の目や耳のようにデータ、画像、音声を認識し、特定のパターンやルールに従って分類する。例としては、顔認証システム、医療画像診断などがあり、技術としては、畳み込みニューラルネットワーク(CNN)、音声認識アルゴリズム、自然言語処理(NLP)などが使用される。
- ② **予測系 AI**: 過去のデータからパターンや相関関係を見つけ出し、未来の出来事やトレンドを予測する。例としては、株価予測、需要予測などがあり、技術としては、線形回帰、決定木、ランダムフォレスト、長短期記憶(LSTM)ネットワークなどが使用される。
- ③ **会話系 AI**: 人間の言語を理解し、自然な会話を行う。例としては、チャットボット、音声アシスタント(例: Siri, Alexa)などがあり、技術としては、トランスフォーマーモデル(例: GPT-3)、音声認識技術、音声合成技術が使用される。
- ④ **実行系 AI**: データをもとに特定のタスクやプロセスを自動化し、適切に動くように制御する。例としては、自動運転車、ロボットなどがあり、技術としては、Q 学習、深層強化学習(DQN)、センサデータの統合技術などが使用される。
- ⑤ **生成系 AI**: 概要:文章、画像、音声、動画などの新しいコンテンツを生成する。例としては、ChatGPT(文章生成)、DALL-E(画像生成)などがあり、技術としては、GPT(生成的事前学習トランスフォーマー)、DALL-E、VAE(変分オートエンコーダー)などが使用される。

以上のニューロモデルを使って実際に工学応用を測った最も簡単な例を示そう。図 38 は 1960 年に Bernard Widrow, Ted Hoff によって提案された学習機械

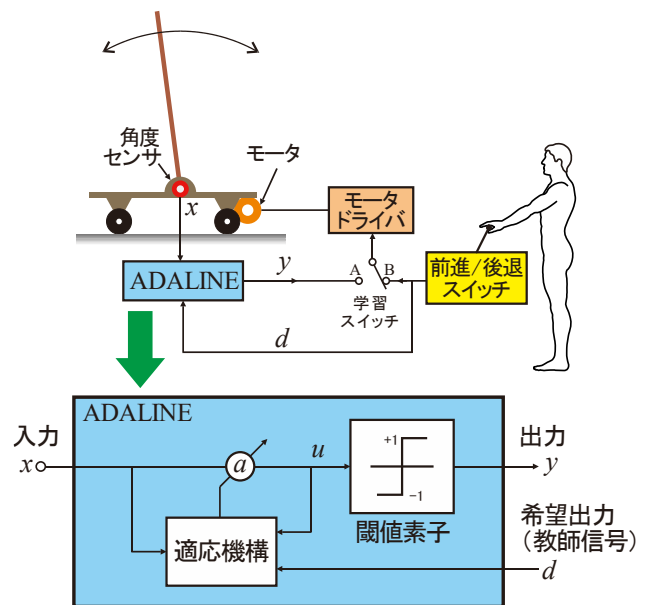


図 38. 学習機械 ADALINE

ADALINE(Adaptive Linear Neuron)である。図下は ADALINE 本体で、入力  $x$  が結合荷重  $a$  を受けて ADALINE に入力されると、その総和  $u = a \cdot x$  の値に応じて 1 または -1 を出力する。すなわち、

$$y = \begin{cases} +1 & u \geq 0 \\ -1 & u < 0 \end{cases} \quad (2)$$

である。また、適応機構は入力  $u$  と教師信号である希望出力  $d = 1$  または  $-1$  を受け、一致しない場合には結合荷重  $a$  を調節する。その調節の方法は以下の通りである。すなわち、今、時刻  $t$  における入力、結合荷重、希望出力が  $x(t)$ 、 $a(t)$ 、 $d(t)$  であったとして、希望出力  $d(t)$  と入力  $x(t)$  との差、

$$e(t) = d(t) - a(t) \cdot x(t) \quad (3)$$

を考え、誤差  $e(t)$  の 2 乗  $E(t) = e^2(t)$  のが減少するように結合荷重  $a$  を調節する。具体的には、

$$\begin{cases} \Delta a = \lambda \cdot \left( -\frac{dE}{da} \right) \\ a(t) = a(t - \Delta t) + \Delta a \end{cases} \quad (4)$$

で、次の時刻での結合荷重  $a$  の大きさを変更する。ところで、式(3)と式(4)より、

$$\frac{dE}{da} = \frac{de^2}{da} = 2e \frac{de}{da} = 2e \frac{d}{da} (d - a \cdot x) = -2e \cdot x \quad (5)$$

であるので、結合荷重の変更は次式で計算されることとなる。

$$a(t) = a(t - \Delta t) + 2e \cdot x \quad (6)$$

すなわち時刻  $t - \Delta t$  における結合係数  $a(t - \Delta t)$  に誤差  $e(t - \Delta t)$  と入力値  $x(t - \Delta t)$  の積を加え、次の時刻  $t$  における結合係数  $a(t)$  にすることを繰り返すことで出力  $y$  は希望出力  $d(t)$  に近づく。ここに係数  $2\lambda$  は学習のスピードを調節するために使用される。

さて、Widrow 等は以上の ADALINE を図 38 に示す倒立振子の制御に組み込んだ。この倒立振子は根元の角度センサによって倒れ具合が感知され、ADALINE に伝えられる。また学習スイッチが“A”側にある場合、ADALINE は倒立振子が倒れないようにモータドライバに信号を送り、下の台車を前後に移動させる。もちろん初期状態では結合荷重は最適でないので、正しい結合荷重を学習する必要がある。まずは学習スイッチを“B”側に倒し、ヒトが前進/後退スイッチを操作し、正しい出力を ADLINE に教え込む。その結果、一端 ADLINE の結合荷重が最適となった後は、ADALINE はヒトの手を借りることなく倒立振子を倒れないように制御し始める。

以上のような生物の神経系におけるシナプスの可塑性に基づいた学習機械はその後も提案され続け、また種々の機器へ組み込まれつつある。このような学問領域をニューラルネットあるいはニューロコンピューティングという。

## 2.5. SDGs におけるエンジニアリングの役割

図 39 は持続可能な開発目標 SDGs の 17 の目標を示している。

持続可能な開発目標 (SDGs: Sustainable Development Goals) とは、2001 年に策定されたミレニアム開発目標 (MDGs) の後継として、2015 年 9 月の国連サミットで加盟国の全会一致で採択された「持続可能な開発のための 2030 アジェンダ」に記載された、2030 年までに持続可能でよりよい世界を目指す国際目標です。17 のゴール、169 のターゲットから構成され、地球上の「誰一人取り残さない (leave no one behind)」ことを誓っている。SDGs は発展途上国のみならず、先進国自身が取り組むユニバーサル (普遍的) なものであり、日本も積極的に取り組んでいる。



図 39. SDGs の 17 の目標

SDGs に寄与するエンジニアリングには、

- スマートグリッド: 電力の供給と需要を効率的に管理するインフラ
- サステナブル建築・インフラ整備: エネルギー効率の高い建物、カーボンニュートラル建築、再生可能エネルギーインフラ

- グリーンインフラ: 都市の緑地や水辺整備による気候調整・生物多様性保護
- 電気自動車(EV): 脱内燃機関の車両技術
- カーボンキャプチャとストレージ(CCS): 二酸化炭素の捕捉・貯蔵技術
- 再生可能エネルギー: 太陽光、風力、水素、海洋エネルギー、バイオマスなど
- 水資源管理: 雨水収集を含む持続可能な水利用システム
- 廃棄物管理: リサイクル技術や廃棄物処理技術
- スマート農業: IoT・AI・ドローンを活用した持続可能な農業管理
- 教育と技術訓練: 次世代技術者への持続可能な開発スキル提供

などがある。

---

### 演習問題 2.1

近未来の産業が必要としている専門分野を考えよ。

### 演習問題 2.2

自分のなりたい職業を対象に、エンジニアリングの役割を考えよ。

### 演習問題 2.3

日本が世界に誇る技術や製品を 3 つ調べ、それぞれがどのような科学的発見や工学的工夫に基づいているかをまとめよ。

### 演習問題 2.4

SDGs の目標の中から 1 つを選び、それを達成するためにどのような工学技術が活用できるかを考え、図や文章で説明せよ。

### 演習問題 2.5

医療、環境、教育などの分野から 1 つ選び、文系と理系の知識が融合している事例を調べよ。

### 3. モノづくりの出発点と製品化までのプロセス

本章では、新しい製品のアイデア出しから製品プロセスまでを概観する。ポイントは、企業における製品化のプロセスを知ると同時に、どのように革新的なアイデアを創り出すのか、また製品化プロセスの各段階で必要とされるチームの重要性を理解することである。

#### 3.1. 製品化プロセス

下記に示すように、製品化のプロセスは、1)商品企画、2)原理検証、3)試作品開発、4)量産・販売、5)発売後と5段階からなる。以下に各々の段階を説明する。

##### 1) 商品企画

商品企画は、製品化プロセスの出発点であり、製品のアイデア出しと、そのコンセプトの決定を行う段階である。アイデア創出に関しては、図40に示すように、多様な視点や専門知識を持つメンバーがチームを作ることで革新的なアイデアが生まれやすくなる。

コンセプト設計においては、製品のコンセプトを具体化するために、マーケティングチーム、デザインチーム、エンジニアリングチームが連携して作業することが重要である。この段階では、ターゲット顧客の特性やライフスタイル、競合製品の分析、技術的可能性、企業のビジョンなどを総合的に検討し、製品のコンセプトを明確にする必要がある。具体的には、製品の機能、デザイン、価格帯、販売戦略などの基本方針を定め、関係部門と連携しながら企画書を作成する。この段階の質が、後の開発・生産・販売の成否を左右するため、創造性と市場理解が求められる。商品企画は単なるアイデア出しではなく、実現可能性と持続可能性を見据えた戦略的な設計活動である。



図40. チームによる商品企画

##### 2) 原理検証 (PoC, Proof of Concept)

図41に示す原理検証は、商品企画で立案されたアイデアが技術的に実現可能かを確認する段階であり、製品化プロセスの初期開発において極めて重要である。この段階では、製品の基本的な機能や動作原理が理論上および実験的に成立するかを検証する。例えば、新技術の応用や独自の構造が想定通りに動作するかを、シミュレーションや簡易モデルを用いて確認する。目的は、設計や試作に進む前に、技術的なリスクや課題を洗い出し、解決の方向性を見定めることである。原理検証によって、開発の無駄を減らし、後工程でのやり直しを防ぐことができる。また、必要に応じて代替技術の検討や、学術的知見の活用も行われる。この段階は、製品の信頼性と実現性を支える土台であり、技術者の創造力と論理的思考が問われる場でもある。



図41. 原理検証

##### 3) 試作品 (プロトタイプ) 開発

図42に示す試作品(プロトタイプ)開発過程では、商品企画と原理検証を経て構築された構想を、実際の形として具現化する工程である。この段階では、設計図や仕様に基づいて、製品の基本機能や外観を備えた試作品を製作する。目的は、製品の操作性、性能、安全性、ユーザ体験などを実際に検証し、改良点を明確にすることである。



図42. 試作品開発

試作品は、量産前の重要な評価ツールであり、開発チームはユーザや関係者からのフィードバックをもとに、設

計の修正や機能の最適化を行う。また、製造工程やコスト、環境負荷なども考慮しながら、量産に向けた課題を洗い出す。この段階での検証と改善が、製品の品質と市場での成功に直結するため、技術力と柔軟な対応力が求められる。

このプロトタイプ開発で、エンジニアリングチームとデザインチームが協力して試作品を作成し、テストを行う。ここでは、実際の使用感や技術的な課題を洗い出すために、密なコミュニケーションが求められる。テストと検証では、品質保証チームやテストエンジニアが中心となり、製品の性能や安全性を確認する。問題が発見された場合は、開発チームと連携して改善策を講ずる。

#### 4) 量産・販売

図 43 に示す量産・販売は、製品化プロセスの最終段階であり、試作品で得られた知見をもとに、製品を本格的に市場へ投入する工程である。量産では、安定した品質を保ちながら効率的に製品を大量生産するための製造体制を整える。部品調達、製造ラインの設計、品質管理、コスト最適化などが重要な要素となる。一方、販売では、ターゲット市場に向けた流通戦略やプロモーション活動を展開し、製品の認知度と購買意欲を高める。販売チャネルの選定、価格設定、広告展開、アフターサービス体制の構築などが含まれる。



図 43. 量産・販売

この段階では、製品の魅力を的確に伝え、顧客満足を得ることが成功の鍵となる。量産・販売は、技術・経営・マーケティングが連携する総合的な活動であり、製品の社会的価値と企業の収益性を実現する重要なフェーズである。

#### 5) 発売後

図 44 に示す製品の発売後には、市場に製品が投入された後の継続的な評価と改善を行うフェーズに移行する。この段階では、実際の顧客からのフィードバックや販売データを収集・分析し、製品の性能、使い勝手、品質、価格などに関する課題を把握する。必要に応じて、改良版の開発やサービス対応、マニュアルの更新などを行い、顧客満足度の向上を図り、また、クレーム対応やアフターサービスの充実も重要であり、ブランド信頼の維持につながる。さらに、製品のライフサイクルを見据えた販売戦略の見直しや、次期製品への技術・知見の継承も行われる。発売後の活動は、単なる販売終了ではなく、製品と顧客との関係を深め、企業の持続的成長を支える重要なプロセスである。



図 44. 発売後調査

なお、市場投入で、マーケティングチームが中心となり、製品のプロモーションや販売戦略を策定する。営業チームやカスタマーサポートチームとも連携し、顧客からのフィードバックを収集して製品の改良に役立てる

### 3.2. 新しいモノづくりアイデアの創出

第1章にも記したが、現在、エンジニアリングに求められているのは、何を創り出すのか、すなわちモノづくりにおける新しいアイデアの創出である。このアイデアの創出にはいくつかあるので、本節にまとめた。

#### 1) 多様な人材のブレインストーミング

モノづくりのアイデアを生み出すには、図 45 に示す多様な人材によるブレインストーミングが有効である。異なる専門性や経験、価値観を持つ人々が集まることで、ひとりでは思いつかない新しい発想が生まれる。例えば、技術に詳しい人、社会課題に関心のある人、デザインやユーザ視



図 45. ブレインストーミング

点を重視する人が協力することで、より実用的で魅力的なアイデアが育つ。なお、ブレインストーミングでは、自由な発言と相互尊重が大切である。他人の意見に乗っかることでアイデアが広がり、失敗を恐れずに発想することで創造性が高まる。

図 46 左に示すように、従来のモノづくりでは、専門分野の近い専門家がチームを組んで開発を進めていた。そのため専門用語も共通であり、コミュニケーションも容易であり、高度なモノづくりが可能であったが、独善的な開発に陥りがちであった。図 46 右に示すように、新しいアイデアを実現するためには、専門の異なる多様な人材がチームを組む必要がある。しかし、専門用語も多様であり、コミュニケーションは困難になる。これからは、コミュニケーション能力が強く求められる。

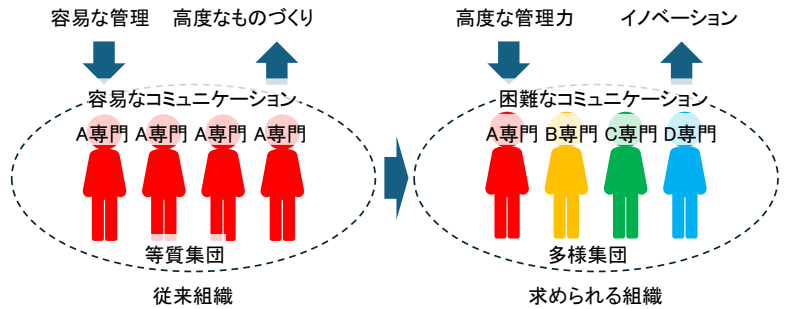


図 46. 多様性がイノベーションを起こす

いずれにしても、多様性はイノベーションの源である。

## 2) 技術的な問題に対して、体系的に追求する (TRIZ, 発明的問題解決理論)

図 47 に示すように、発明的問題解決理論 (TRIZ) は、モノづくりのアイデアを効率的に生み出すための思考法である。1946 年にロシアの技術者 Genrikh Altshuller が多くの特許を分析して発見した「発明には共通するパターンがある」という考えに基づいている。TRIZ では、問題を「技術的矛盾」として捉え、既存の解決策や発明原理を活用して新しいアイデアを導く。

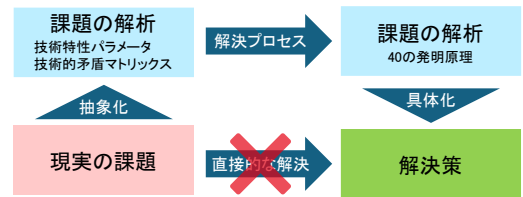


図 47. 発明的問題解決理論

たとえば「強くしたいが軽くしたい」といった矛盾に対して、材料や構造を工夫することで両立を図る。TRIZ の発明原理や「理想解」などの考え方を使えば、自由な発想だけでなく、論理的なアイデア創出が可能になる。モノづくりにおいて、TRIZ は「ひらめき」を支える強力な道具であり、多様な課題に挑戦する中で、創造力と問題解決力を高めることができる。

## 3) アイデアの組み合わせ

モノづくりのアイデアを生み出すには、「組み合わせの発想」が有効である。既存の技術や道具、仕組みを別のものと組み合わせることで、新しい価値や機能が生まれる。

たとえば、図 48 に示すように、スマートフォンとカメラの組み合わせが「スマホカメラ」を生み、生活を大きく変えた。異なる分野の知識やアイデアをつなげることで、ユニークで実用的な発明につながり、組み合わせには正解がなく、自由な発想が大切である。創造力は、身近なものを見方を変えることから始まる。

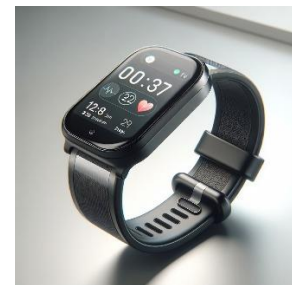


図 48. アイデアの組み合わせの例



図 49. 「短時間で空腹を満たしたい」から生まれたファーストフード店

## 4) ユーザの需要の深い分析

モノづくりのアイデアを創出するには、「本当のニーズ」を深く分析することが重要である。すなわち、表面的な

要望だけでなく、「なぜそれが必要なのか」、「どんな場面で困っているのか」といった背景や感情に目を向けることで、より本質的な課題が見えてくる。たとえば「重い荷物を運びたい」という要望の裏には、「安全に」、「疲れずに」、「狭い場所でも使える」といった多様なニーズが隠れている。図 49 に示すように、「短時間で空腹を満たしたい」という要望に対して、ファストフードチェーンが成功したのはその例である。身近な人にインタビューしたり、観察したりすることで、ユーザの困りごとや願いを深く理解することができる。その気づきが、実際に役立つモノづくりのアイデアにつながる。「何を作るか」だけでなく、「誰のために、なぜ作るのか」を考えることが、創造の第一歩である。

## 5) カスタマーエクスペリエンス

モノづくりのアイデアを生み出すには、「カスタマーエクスペリエンス（顧客体験）」の視点が重要である。図 50 に示すように、これは、ユーザが製品やサービスを使うときに感じる体験全体を指す。使いやすさ、楽しさ、安心感、満足感など、目に見えない感情や印象も含まれる。たとえば、同じ機能を持つ商品でも、デザインが親しみやすかったり、使い方が簡単だったりすると、ユーザの印象は大きく変わる。身近な製品を使ったときの「うれしい」、「困った」などの感情に注目し、その体験をより良くする工夫が、モノづくりのアイデアにつながる。技術だけでなく、人の気持ちに寄り添う発想が、魅力ある製品を生み出す力になる。体験をデザインすることは未来のモノづくりの 1 つの鍵となる。



図 50. カスタマーエクスペリエンス

## 6) 将来のあるべき姿から逆想する(バックキャスト)

モノづくりのアイデアを考えるとき、図 51 に示す「バックキャスト」という方法が役立つ。これは、未来の理想の姿をまず描き、そこから逆算して「今、何をすべきか」を考える発想法である。たとえば「環境にやさしい社会をつくりたい」という未来像があれば、「どんな製品が必要か」、「どんな技術が使えるか」といった問いを通じて、今の行動やアイデアにつなげる。SOCIETY5.0 は国がバックキャストした例である。読者の皆さんも、10 年後の社会や自分たちの暮らしを想像し、「こんな未来にしたい」という思いから出発してみてもうだろうか。その理想に近づくために、どんなモノづくりが必要かを考えることで、目的のある創造ができる。バックキャストは、未来を自分たちでつくる力を育てる考え方である。

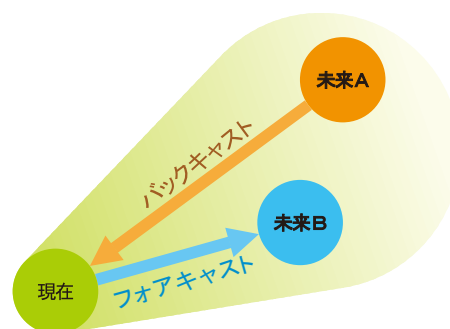


図 51. バックキャスト

ちなみに、図 51 のフォアキャストとは、現状や過去のデータをもとに未来を予測する方法である。

## 7) 新しいニーズを創る

図 52 は需要－供給の循環を模式化したものである。ユーザの求めるもの、すなわち需要（ニーズ）を受けて、エンジニアは製品を開発・製造し、ユーザへ供給する。これをニーズ主導型開発という。逆にエンジニアが独自に開発した製品を社会に出すことによって、ユーザの生活が変わる場合も多い。これをシーズ主導型開発という。このシーズ主導型開発は「新しいニーズの創成」を行っていることとなる。以下に新しいニーズ創成に成功した例を示す。

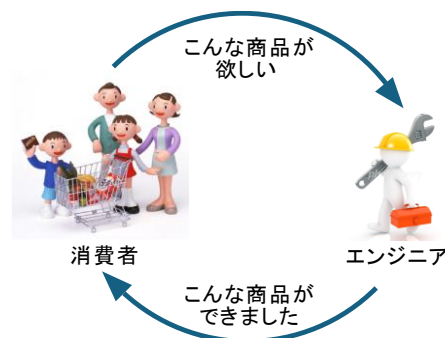


図 52. 需要－供給の循環

図 53 に示す、インスタントラーメンならびにカップヌードルは、安藤百福氏の発明により、世界中で愛される食品となり、新しい食生活のニーズの創成に成功した。図 54 に示す、カラオケは、日本で生まれた娯楽の一つで、世界中に広まった。特に、カラオケボックスの普及が大きな影響を与えた。図 55 に示す、胃カメラの開発は、医療技術の進歩に大きく貢献した。これにより、胃の内部を直接観察できるようになり、早期発見・治療が可能になった。図 56 に示す、ソニーが開発した携帯音楽プレーヤー「ウォークマン」は、音楽の楽しみ方を一変させ、世界中で大ヒットした。図 57 に示す、任天堂の家庭用ゲーム機「ファミコン」は、家庭でのゲーム体験を革新し、ゲーム業界に大きな影響を与えた。



図 53. インスタントラーメン

以上のように、ユーザが欲しいと思う製品を企業が開発する場合も多いが、エンジニアが開発した製品がユーザの生活を大きく変える場合も多いことを知っておく必要がある。



図 54. カラオケ



図 55. 胃カメラ



図 56. ウォークマン



図 57. ファミコン

なお、新しいニーズの創成の際に常に気をつけたいのが、発想の転換である。図 58 は、冬に大量に捨てられる雪をデータセンターの冷却に利用し、更にデータセンターから出る熱をうなぎ養殖に活用する取り組みである。雪は本来、除雪後に廃棄されるだけの存在であるが、冷却材として使えば電力消費を減らし、環境負荷を下げることができる。そして、データセンターの排熱も、ただ捨てるのではなく、水を暖めるのに使い、養殖に使うことで食料生産に役立つ。私たちの周りには、一見「ゴミ」や「不要物」と思えるものが大量にある。しかし、発想を変えれば、それらは新しい価値を生み出す資源になる。ビジネスアイデアを考えると、この視点は大変重要である。このように「不要なものを組み合わせる価値を生む」発想は、まさに新しいビジネスのヒントである。

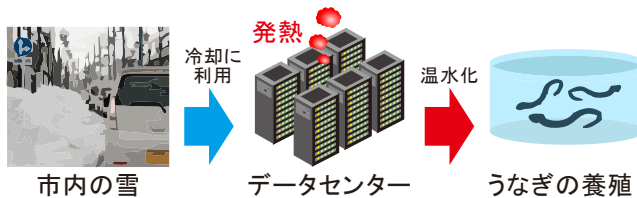


図 58. 発想の転換

同じ考え方で、身近な例を探してみよう。例えば、コーヒーを淹れた後に残る「コーヒーかす」は、消臭剤や肥料、バイオ燃料に変えられる。古着や繊維くずは、新しい衣料や断熱材に再生できる。食品廃棄物からバイオプラスチックを作る技術もある。共通するのは、「大量にある」、「価値が低い」とされるものに注目し、科学やデザインの手で新しい用途を生み出すことである。

身近な「もったいない」を見つけ、「これを別の使い方にしたら？」という問いから、面白いビジネスアイデアが生まれる。大量にあるものは、逆にビジネスの強みになる。読者のアイデアが、未来の循環型社会をつくる第一歩になるかもしれない。



図 59. シーズを見つける

### 8) 新しいシーズを探索する

モノづくりのアイデアを生み出すには、新しい「シーズ(種)」を見つけることが大切である。図 59 に示すように、シーズとは、技術や知識、素材など、未来の製品やサービスのもとになる要素である。身近なニュースや展示会、大学や企業の研究紹介などから新しいシーズを発見できる。特に「学会ウォッチング」は重要である。学会では、最新の研究成果や社会課題への取り組みが発表されており、未来の技術やニーズのヒントが詰まっている。インターネットで学会の要旨集や講演動画を見たり、大学の公開イベントに参加したりすることで、最先端の情報に触れることができる。新しいシーズを見つけることで、モノづくりの発想が広がり、社会に役立つアイデアにつながる。探究心を持って、未来のヒントを見つけることが重要である。



図 60. マジックテープ

### 9) 自然に学ぶ(バイオミメクス)

バイオミメクス(Biomimetics、生物模倣技術)は、自然界の生物の構造や機能、行動を模倣して、新しい技術や製品を開発する科学技術の一分野であり、新しい商品のアイデアにつながるが多い。

以下に、バイオミメクスの具体的な例とその応用について説明する。なお、「バイオミメクス」という言葉は神経生理学者であり、米国の Otto Schmitt が 1950 年代に命名した。

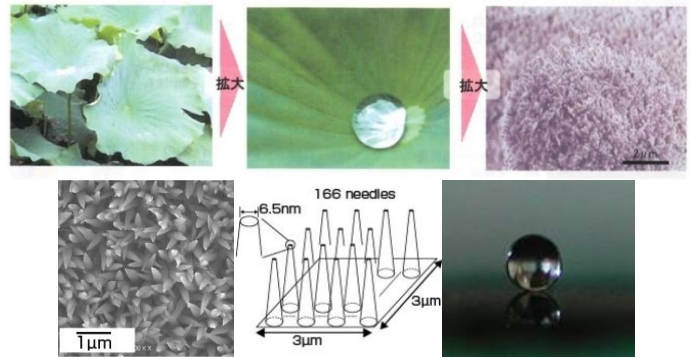


図 61. ハスの葉のロータス効果のバイオミメクス

#### a) 生物の表面形状のバイオミメクス

図 60 に示すフックとループの留め具は、スイスのエンジニア、George de Mestral によって 1941 年に考案された。彼はスイスに住んでいたが、アイデアは、アルプスで犬と一緒に狩猟旅行から帰った日に服や犬の毛にくっついているゴボウのトゲ(種子)をじっくり観察し、マジックテープを思いついた。

図 61 に示すように、ハスの葉の表面について水は水銀のように丸まって水滴となり、泥や小さい昆虫などの異物を絡め取りながら転がり落ちる。これをハスの葉のロータス効果という。ハスの葉の表面は、チューブ状の突起が無数に集まった微細構造をしている。この構造を模倣して超撥水性加工を行っている。

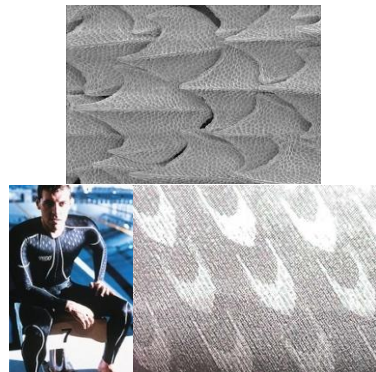


図 62. サメのウロコで競泳水着

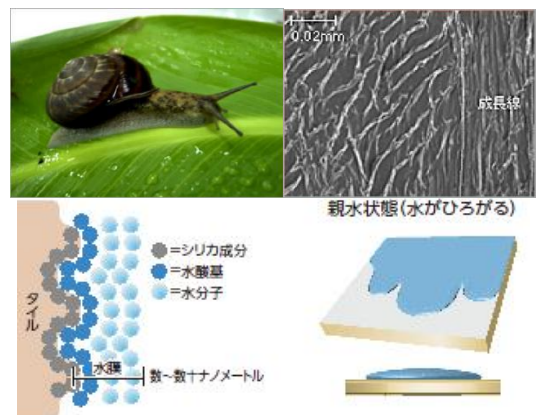


図 63 カタツムリの殻のバイオミメクス

サメの皮膚表面には無数の鋭い歯のようなウロコが

並んでおり、サメの前進に伴う皮膚表面での乱流を弱めることが分かっており、図 62 に示すように、これは競泳

水着に採用された。一時期話題となった Speedo 社の製品が有名である。生地に幅の小さな溝(幅 0.5 mm、深さ 0.1 mm の無数の細かい V 字型)密度に織り込み、更にその表面にウロコ状の撥水加工を施して溝内や表面に発生する渦をなくす仕掛けである。

図 63 に示すように、カタツムリの殻は汚れや油汚れに強く、水で流しただけでも汚れが落ちる。この構造をヒントに汚れが付きにくく落とし易いキッチンや外壁が誕生している。「ナノ親水」のタイルや「マイクロガード」加工したタイル表面には多くのシリカ成分があり、水酸基と結合している。空中の水分子を吸着することで、常にタイル表面に水膜が形成されたような状態となり親水性能を発揮する。水酸基は電氣的に水分子を吸着するためタイル表面にはいつも薄い水膜が形成されて、高い親水性を発揮する。この薄い水膜により静電気が発生しにくくなり、ホコリなどの付着が抑えられる効果もある。



図 64. ヤモリの足裏のバイオミメティクス

物体はマイクロレベルで見ると表面に凹凸があり、物体と物体がくっつくためには、その隙間を埋めることが必要である。図 64 に示すように、ヤモリの足には、1 cm<sup>2</sup>に 20 億本ものタンパク質の繊維が生えており、その一本一本が被着体(例えば壁や天井)の表面の凹凸に入り込んで隙間をなくすことで引力が発生し(分子間引力)、垂直な壁にも「くっつく」ことが可能になる。日東電工が開発したヤモリテープは、直径数ナノ~数十ナノメートルのカーボン・ナノチューブを 1 cm<sup>2</sup> 当たり 100 億本の密度でびっしり並べたもの。せん断方向の接着力に優れ、わずか 1 cm<sup>2</sup> 程度の面積のテープで 500 g を保持できる。これはヤモリの接着力の 8 割強程度だが、実用的な接着テープとしては遜色なく、しかも、めくれれば簡単に剥離できる。

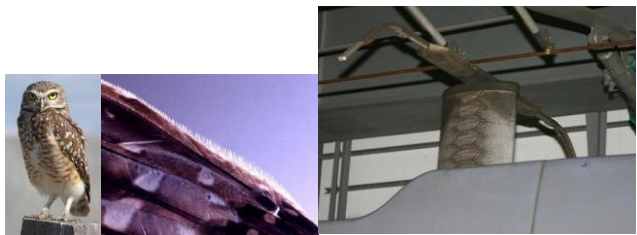


図 65. 翼型パンタグラフ

これはヤモリの接着力の 8 割強程度だが、実用的な接着テープとしては遜色なく、しかも、めくれれば簡単に剥離できる。

**b) 動物の形状のバイオミメティクス**

従来の菱形のパンタグラフでは風切り騒音が大きかった。フクロウの羽には鋸歯状の突起が存在し、空気を切る時に発生する渦を小さくすることで音を小さくしている。そこで図 65 に示すように、500 系のぞみのパンタグラフは翼型パンタグラフを採用し、支柱に付けられた突起で発生する空気の渦を少なくした。



図 66. カワセミの嘴構造を模した新幹線

また、新幹線は時速 300km で走行するのでトンネルに突入する際に、トンネル内の空気を凄まじい勢いで圧縮する(山陽新幹線は、全線 553.7 キロの内、実に 51%がトンネル)。するとトンネル出口からちょうど空気砲の様に圧縮された空気が押し出され、その際に爆発音の様な騒音が発生する。図 67 に示すように、カワセミの嘴の構造が水面に突入するにあたって合理的な構造をしており、この構造を新幹線のノーズ部分に採用した結果、衝撃音を軽減する事に成功した。



図 67. 飛行機のウイングレット

図 67 の丹頂鶴に示すように、大きな鳥の初列風切の外縁部には上方に向けて反り返りができる。これは翼の端部における渦の発生を防ぎ、あるいは渦の発生方向を上方に移動させることで空気抵抗を減らし、結果飛翔抵抗を減らす機能をもっている。図右のボーイング 737 など多くの大型旅客機にはこれを参考にしてウイング

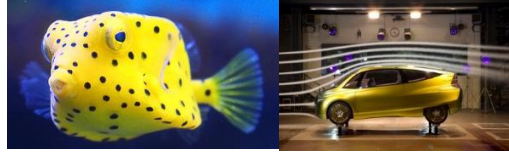


図 68. ハコフグのバイオミメティクス

レット(翼端板)が設けられており、燃費の向上に繋げている。

図 68 に示すように、ハコフグは箱形をしたフグの仲間で、流線型ではない形は抵抗が大きそうに見えるが、意外にも水が滑らかに流れて抵抗が少ない。このハコフグの外観をつくっている骨格を車体のボディ構造に応用することで、ドアパネルの強度は 40% 強強度や衝突時の安全性を損なうことなく、重量を従来の 3 分の 2 まで軽くすることができ、またこの骨格を車体全体に取り入れることで、20% の燃料節約を達成できた。

### 3.3. アントレプレナー

今、「アントレプレナー(起業家)」という言葉が注目されている。アントレプレナーとは、新しい価値を生み出す人のこと。単に会社をつくる人ではなく、社会の課題を見つけ、それを解決するために新しいアイデアや仕組みを考え、実行する人である。たとえば、環境問題に取り組むためにリサイクル技術を開発したり、過疎地域の交通を改善するためにアプリを作ったりする人も、アントレプレナーである。



図 69. アントレプレナーシップ

アントレプレナーが必要とされている理由は、社会の急速な変化にある。AI(人工知能)や IoT(モノのインターネット)、ロボット技術などの進化により、これまでの仕事や生活の形が大きく変わろうとしている。同時に、気候変動、少子高齢化、地域格差などの課題も深刻化している。こうした複雑な問題に対して、柔軟な発想と行動力で挑む人材が求められており、アントレプレナーはその中心的な存在である。

図 69 に示すように、アントレプレナーに必要なのは、特別な才能ではなく、「気づく力」、「考える力」、「動く力」が重要視される。すなわち、まずは身の回りの不便や課題に気づくこと。たとえば「学校のプリントが多すぎて管理が大変」と感じることも、課題発見の第一歩である。次に、その課題をどう解決するかを考える力が求められる。「アプリでプリントを管理できたら便利かもしれない」とアイデアを出すことが求められる。そして、実際に行動に移す力が求められる。仲間を集めたり、試作品を作ったり、責任者に相談したりすることが「起業」の始まりとなる。

アントレプレナーは大学、大学院、社会人の特権ではない。高校生でもアントレプレナーになることができる。実際に高校生が地域の課題を解決するプロジェクトを立ち上げたり、アプリを開発して世の中に貢献したりする事例も増えている。大切なのは「自分にもできる」と信じること。そして、失敗を恐れずに挑戦することである。

以上のように、アントレプレナーは、未来を自分の手でつくる人を指す。社会の変化を受け身で待つのではなく、自ら問いを立て、答えを探し、行動することで、よりよい社会を築いていくことができる。それは、まさに Society 5.0 や SDGs の実現にもつながる力となる。

起業する際に重要なのが知的財産である。私たちの身のまわりには、アイデアや創造から生まれた「知的財産」がたくさんある。たとえば、スマホのデザイン、アプリの仕組み、人気キャラクター、音楽、マンガ、発明などがそれにあたる。知的財産とは、人の知恵や創造力によって生み出された成果を守るための権利のことである。これには主に「著作権」、「特許権」、「商標権」、「意匠権」などがある。

中でも起業する際に重要になるのが、**特許権**である。特許権は、新しい技術や発明を守る権利で、たとえば新しい電池の仕組みなどが対象になる。また、製品販売で重要になるのが、商標権で、商品やサービスの名前やロゴを守るものである。また、意匠権は、製品の見た目のデザインを守る権利で、たとえばおしゃれなイヤホンの形などが該当する。

知的財産を守ることで、創造した人が正当に評価され、利益を得ることができる。また、他人の知財を勝手に使うと法律違反になることもあるため、注意が必要である。SNSで画像や音楽を使うときも、著作権を意識することが大切である。

これからの社会では、アイデアや創造力がますます価値を持つ。知的財産を正しく理解し、守ることは、未来をつくる力を尊重することでもある。

なお、起業に際しては図70ならびに下記に示すように、いくつかの大きな障壁が存在する。これらの障壁を理解し、乗り越えることが成功の鍵となる。

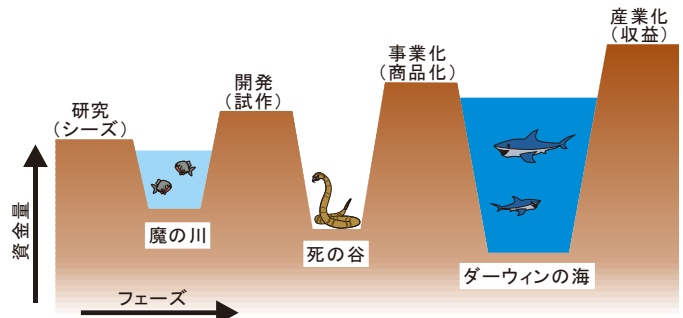


図 70 アントレプレナーにおける障壁

- ① 魔の川 (Devil River)： 研究段階から製品開発段階への移行における障壁である。基礎研究の成果を具体的な製品に結びつけることが難しく、市場のニーズに合致しない場合、製品化が困難となる。
- ② 死の谷 (Valley of Death)： 製品開発から事業化への移行における障壁である。製品を市場に投入するためには、生産ラインや流通経路の確保が必要であり、多くの資源や資金が求められる。この段階での失敗は、事業全体に大きなダメージを与える可能性がある。
- ③ ダーウィンの海 (Darwinian Sea)： 事業化から事業成功への移行における障壁である。競合他社との競争や市場の変化に適應する能力が試される。ここでの失敗は、事業の存続に直結する。
- ④ 資金調達難しさ： 新しい技術や製品を市場に投入するためには、多額の資金が必要である。特にアントレプレナーなどの初期段階では、投資家や金融機関からの資金調達が難しいことが多い。
- ⑤ 規制や法的障壁： 新しい技術や製品が既存の規制や法律に適合しない場合、産業化が遅れることがある。これには、特許取得や環境規制の遵守などが含まれる。
- ⑥ 市場の不確実性： 市場のニーズやトレンドは常に変化しており、これに迅速に対応できない場合、製品が市場に受け入れられないリスクがある。また、市場のニーズや競合状況を正確に把握できないと、製品やサービスが受け入れられないリスクがある。市場調査の不足が原因となることが多い。

これらの障壁を乗り越えるためには、綿密な計画と柔軟な対応が求められる。

### 演習問題 3.1

製品がアイデアから市場に出るまでの流れを図にして説明せよ。各段階で必要な技術や人材についても記述すること。

### 演習問題 3.2

「高校生活を便利にするモノ」をテーマに、グループでアイデアを出し、簡単な企画書を作成せよ。

## 4. ロボティック・システム制作実習

本章では、マイコンである Raspberry Pi Pico W<sup>4</sup>を使って、実際に動くロボティック・システムの製作を実施する。ここにロボティック・システムとは、動き回るロボットだけでなく、ヒトの接近を感じて開閉するドア、室温を感じて開閉する窓、夜を感じて自動点灯するライトなど、プログラムによって自動的に一定の動作を行うシステムを指す。

最後には自由課題があるので、ユニークなロボット機械を実現して欲しい。

### 4.1. Raspberry Pi Pico W について

Raspberry Pi Pico W は、小型マイコンボード [Raspberry Pi シリーズ](#)の中でも Wi-Fi 機能を搭載したモデルである。2022 年に登場し、IoT や組み込み開発の分野で注目を集めている。従来の Pico シリーズと同様に、RP2040 という [デュアルコア](#) Arm Cortex-M0+プロセッサを搭載し、低消費電力かつ高性能なマイコンとして設計されているが、Pico W で

は新たに Infineon 製の CYW43439 無線チップが追加され、2.4 GHz の Wi-Fi 通信が可能になった。

この無線機能により、Pico W はセンサやアクチュエータと連携しながら、クラウドやスマートフォンと通信する IoT

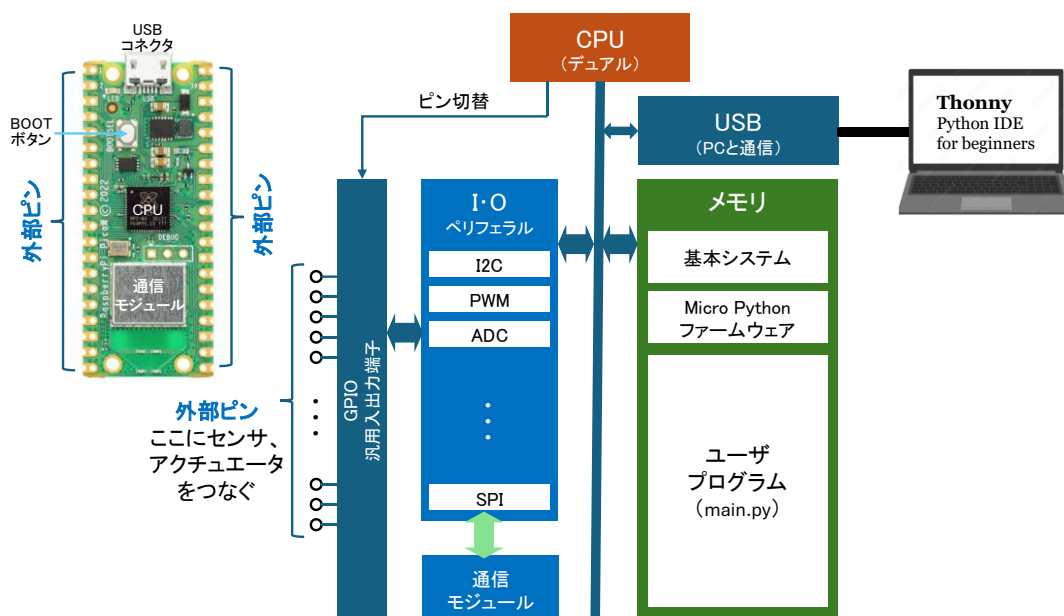


図 71. Raspberry Pi Pico W の内部構成

デバイスの開発に適している。例えば、温度センサで取得したデータを Wi-Fi 経由で送信する、あるいはスマホから LED やモータを遠隔操作することが可能である。Bluetooth 機能も搭載されている。

図 71 に Raspberry Pi Pico W の内部構成を示す。Pico W の主な仕様(仕様)は次の通りである。264 KB の [SRAM](#)、2 MB の [フラッシュメモリ](#)、26 個の [GPIO](#) (うち 3 本はアナログ入力対応)、[USB](#) 1.1 ポート、[UART](#)、[SPI](#)、[I2C](#)、[PWM](#)、[ADC](#) などの豊富なインターフェースを備えている。電源は USB コネクタまたは [VBUS](#) ピンから供給可能で、低消費電力で単三電池 2 本でも動作する。

Raspberry Pi 4 や Zero シリーズとは異なり、Pico W はマイコンであるため OS は動作しない。代わりに、[MicroPython](#) や [C/C++](#) で直接プログラムを書き込むことで制御する。初心者でも扱いやすく、[Thonny などの IDE](#) (統合開発環境) を使えば簡単にプログラミングが可能である。

<sup>4</sup> イギリスの教育目的で設立された非営利団体 Raspberry Pi Foundation と、その商用部門 Raspberry Pi Holdings の製品。通称あるいは Web 検索用語は「ラズパイ」。

以上のように、Raspberry Pi Pico W は、手軽に始められる IoT、ロボティック・システム開発のプラットフォームとして、教育、趣味、産業現場での試作など、幅広く活用されている。

## 4.2. ロボティック・システム開発手順

ロボティック・システムの開発手順は、

- ① 図 71 中央に示す、MicroPython シェルの Raspberry Pi Pico W への設定
- ② 図 71 右に示す、IDE である Thonny の PC への設定
- ③ ユーザプログラムならびに必要な部品の設置
- ④ ユーザプログラムの実行

の 4 段階を経ることとなる。

本実習では、ユーザプログラムを開発するのに Python 言語を使用する。MicroPython を使ったロボティック・システムを動かすためのプログラムは図 72 に示す構成となる場合が多い。

ところで、MicroPython でプログラムを書くときには、「モジュール」、「クラス」、「オブジェクト」、「メソッド」という言葉がよく出てくる。これらはセンサやアクチュエータをコンピュータ・システムに接続するための部品であり、図 73 に示すように、用途別に階層構造をもって整理されている。

いちばん外側にあるのがモジュール (module) で、特定の目的のために道具がまとめて入っている“工具箱”のようなものである。例えば、マイコンにセンサ、アクチュエータなどを動かすための道具が入った machine モジュール、時間を扱うための道具が入った time モジュールなどがある。プログラムではまずこの工具箱を「使います」と宣言するところから始まる。

次に、そのモジュール工具箱の中にはクラス (class) が入っている。クラスは“道具の設計図”と考えることができ、それぞれのクラスには「こういう形で、こういう性質を持っている」という“決まり”を定義したもので、Pin クラスなら「GPIO ピンとはこういうもの」、I2C クラスなら「I2C 通信とはこういうもの」という設計図が書かれている。

ただ、設計図だけでは実際に使うことはできない。そこで、クラス (設計図) から“実物の道具”を作る。これがオブジェクト (object) である。たとえば「led = Pin(2, Pin.OUT)」と書くと、「2 番ピンを LED として使うための実物の道具」が作られる。プログラムの中で実際に動くのは、このオブジェクト<sup>5</sup>である。

そして、それぞれのオブジェクトには「使い方」がある。これがメソッド (method) である。たとえば LED オブジェクトには on() メソッドや off()、I2C オブジェクトには readfrom() や writeto() といった操作方法が用意されている。メソッドはその道具に対してできる行動を表している。

例として、実習 1.3 節のデジタル出力の「1) 外部 LED を 1 秒ごとに点灯させよう」で使用する下記のプログラムを解説する。

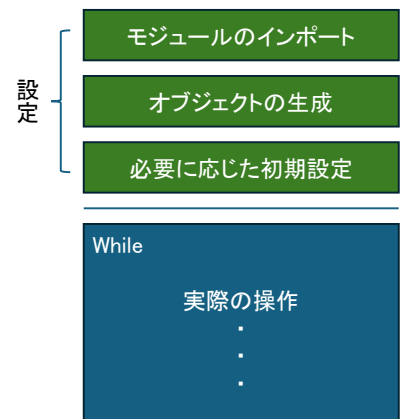


図 72. プログラムの構成

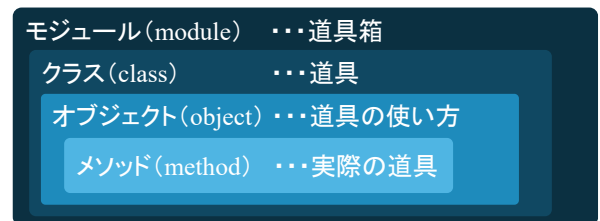


図 73. モジュール、クラス、オブジェクト、メソッド

<sup>5</sup> 文脈によっては「インスタンス」と呼ばれることもあるが、インスタンスもオブジェクトも同じクラスから生成された実体を指す。

```

1. from machine import Pin
2. import time
3. led = Pin(14, Pin.OUT)
4. while True:
5.     led.on()
6.     time.sleep(1)
7.     led.off()
8.     time.sleep(1)

```

- 1 行目の「`from machine import Pin`」は、LED が接続されている GPIO (General Purpose Input/Output) ピンを使うため `machine` モジュール内の `Pin` クラスを読み込んでいる。
- 2 行目の「`import time`」は、時間を扱うための `time` モジュールを読み込んでいる。
- 3 行目の「`led = Pin(14, Pin.OUT)`」は、設計図である `Pin` クラスをオブジェクトにするために、GPIO の 14 番ピンを `Pin.OUT` (出力モード) で使うように設定し、「`led`」の名前をつけたオブジェクトとしている。ここに「`Pin.OUT`」は `Pin` クラスに用意されているモード定数である。OUT だけではどのクラスの定数か不明なので、エラーとなる。
- 4 行目の「`while True:`」は、以下の同じインデント(同じ数の字下げ)されてコマンド・コードをずっと繰り返す。なお、`while` の後にはループの持続条件を記すが、この場合には `True`、すなわち持続条件が“真”のままであり、電源を落とすなど、強制的プログラムを終了しない限り、“実際の動作”をし続ける。`while` 文あるいは他の繰り返し動作がない場合には、実際の動作を 1 回実施するだけでロボットは停止する。
- 5 行目の「`led.on()`」は、3 行目で実体化された `Pin` クラス内の `on` メソッド<sup>6</sup>を使い、GPIO の 14 番ピンが on となり、LED が点灯する。
- 6 行目の「`time.sleep(1)`」は、`time` モジュール内の `sleep` メソッドが起動し、引数に 1 が与えられているので、1 秒間システムはアイドル状態となり、結果として、1 秒間 LED が点灯したままになる。
- 7 行目の「`led.off()`」は、`Pin` クラス内の `off` メソッドを使い、GPIO の 14 番ピンが off となり、LED が消灯する。
- 8 行目の「`time.sleep(1)`」は、6 行目と同様、1 秒間システムはアイドル状態となり、結果として、1 秒間 LED が消灯したままになる。
- 以上の 5~8 行目が繰り返るので、1 秒毎に LED が点灯/消灯を繰り返す。

なお、MicroPython にかかわらず、プログラ

ムは図 74 の 3 つの構造の組み合わせから構成されている。MicroPython では、“If

Else”が条件分岐構造で、“While ループ”と“For ループ”が繰り返し構造で使用される。

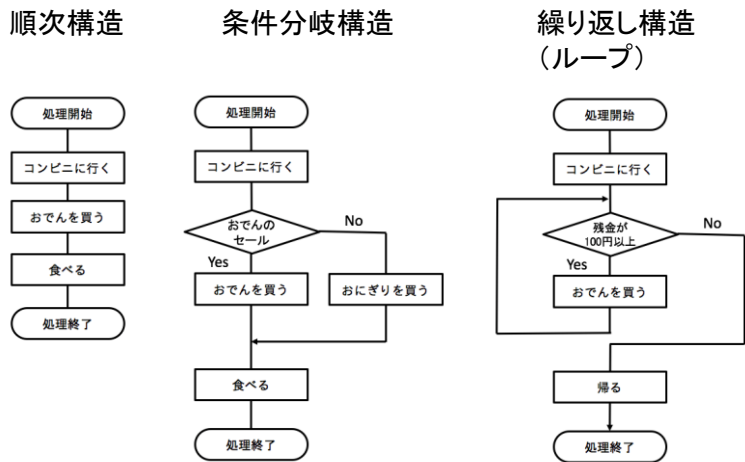


図 74. プログラムの構造

<sup>6</sup> 「メソッド」と「関数」が似たような使い方で見られるが、メソッドはオブジェクトに属し、関数はどのメソッドにも属さないことに注意すること。

### 4.3. ロボティック・システム製作実習

ロボティック制作実習のテキストは別に用意されているので詳細は省くが、大きくは、

- ① 開発環境構築
- ② デジタル入出力
- ③ アナログ入出力
- ④ ネットワーク制御
- ⑤ オリジナル・システムの開発

の5段階から構成されており、最後に開発したシステムに関するプレゼン資料を作ることで、実習は完了する。

プレゼン資料には下記の項目を必ず入れること。

- 開発システムの名称
- 製作者氏名と役割
- 開発目的
- システム設計図
- 回路図
- プログラムリスト
- システム動作の動画

## おわりに

現代社会は、目に見える製品から目に見えないシステムに至るまで、工学によって支えられている。スマートフォン、交通網、医療機器、再生可能エネルギー、人工知能やロボットなど、これらはすべて「より良い社会を築きたい」という人間の思いから生まれた技術である。

1.1 節に記したように、エンジニアは「問題解決者」であり、「社会の仕組みを形づくる人」であり、人々の生活や価値観に影響を与える存在である。従って、技術開発に際しては、それが社会に与える影響や人間中心の視点が必要である。ゆえに、工学を学ぶ者には「倫理」と「社会的責任」が不可欠である。






倫理とは、単なる規則の遵守ではなく、自らの技術が誰に影響を与えるのかを考え、未来に対して誠実である姿勢を指す。たとえば、AI を活用して便利なサービスを構築する際、その仕組みが誰かを不公平に扱っていないか、プライバシーを侵害していないかを問う必要がある。ロボットを設計する際には、その利用が人間の尊厳を損なっていないかを検討すべきである。

社会的責任とは、技術が社会に与える影響を理解し、より良い方向へ導く力を持つことである。環境への配慮、持続可能性、災害への備え、地域社会との協働など、これらはすべて技術者が果たすべき役割の一部である。技術は社会を変える力を持つが、その変化を誰のために、どのように起こすかは技術者自身の選択にかかっている。

本書では、工学の基本的な考え方や技術の仕組みを紹介した。しかし、工学の本質は「人のために技術を使うこと」にある。今後、技術を学び、使い、創造する場面において、「誰のために」「何のために」という問いを常に持ち続けてほしい。

## 資 料

### ■ Raspberry シリーズ

シリーズ名	特徴	用途例
<b>Raspberry Pi 5 / 4 / 3 / 2 / 1</b> 	高性能なスタンダードモデル。USB、HDMI、Wi-Fi など搭載	デスクトップ PC 代替、IoT 開発、教育
<b>Raspberry Pi Zero / Zero W / Zero 2 W</b> 	超小型・低価格。Zero W は Wi-Fi 搭載	小型 IoT 機器、ウェアラブル、センサ制御
<b>Raspberry Pi Pico / Pico W</b> 	マイコンタイプ。Wi-Fi 搭載モデルもあり	組み込み制御、センサ連携、低消費電力用途
<b>Raspberry Pi 400 / 500</b> 	キーボード一体型。すぐ使える PC スタイル	プログラミング学習、教育現場、家庭用 PC
<b>Compute Module (CM) シリーズ</b> 	組み込み向け。小型で拡張性高い	産業機器、製品組み込み、商用開発

■ IoT: Internet of Things の略で、直訳すると「モノのインターネット」。すなわち、身の回りのあらゆるモノがインターネットにつながり、情報をやり取りする仕組みのこと。これにより、モノが自動で状況を感じ、判断し、操作されるようになる。

IoT は以下の 4 つの要素で成り立っている。

要素	役割・例
モノ(デバイス)	センサやアクチュエータを搭載した機器(例:エアコン、電気ポット、車)
センサ	温度、湿度、動き、光などを感知してデータ化
ネットワーク	Wi-Fi、Bluetooth、5G などでクラウドへデータを送信
クラウド	データを蓄積・分析し、必要な処理や通知を実行

IoT の活用例は下記のようなものがある。

分野	活用例
スマートホーム	外出先からエアコンや照明を操作、スマートロックで鍵の管理
ヘルスケア	スマートウォッチで心拍数や睡眠を記録、異常時に通知
自動車	自動運転、リアルタイム渋滞情報、車両の遠隔診断

農業 土壌センサで水分量を測定し、自動で灌水制御

工場・製造業 機器の稼働状況を監視し、故障予測や効率化を実現

IoT のメリットは、作業の自動化と効率化、遠隔操作や見える化による利便性向上、リアルタイム監視による安全性の向上などが挙げられる。

IoT の課題は、ハッキングや情報漏洩などのセキュリティリスク、プライバシー保護の必要性、機器間の通信規格の統一が未整備などが挙げられる。

■ KB:「kg(キログラム)」の「k」は 1000 倍を表す単位の接頭語だが、コンピュータの世界では少し事情が違う。「KB(キロバイト)」の「K」は 1024 倍(2<sup>10</sup> 倍)を表す。小文字と大文字の違いにも注意すること。下記に、国際単位系(SI)接頭語と情報系単位接頭語をまとめた。

SI 接頭語	記号	× 10 <sup>n</sup>	情報系接頭語	記号	× 1024 <sup>n</sup>
ペタ(peta)	P	× 10 <sup>15</sup>	ペタ(peta)	P	× 1024 <sup>5</sup> = × 2 <sup>50</sup>
テラ(tera)	T	× 10 <sup>12</sup>	テラ(tera)	T	× 1024 <sup>4</sup> = × 2 <sup>40</sup>
ギガ(giga)	G	× 10 <sup>9</sup>	ギガ(giga)	G	× 1024 <sup>3</sup> = × 2 <sup>30</sup>
メガ(mega)	M	× 10 <sup>6</sup>	メガ(mega)	M	× 1024 <sup>2</sup> = × 2 <sup>20</sup>
キロ(kilo)	k	× 10 <sup>3</sup>	キロ(kilo)	K	× 1024= × 2 <sup>10</sup>
ヘクト(hecto)	h	× 10 <sup>2</sup>			
デカ(deca)	da	× 10 <sup>1</sup>			
デシ(decy)	d	× 10 <sup>-1</sup>			
センチ(centi)	c	× 10 <sup>-2</sup>			
ミリ(milli)	m	× 10 <sup>-3</sup>			
マイクロ(micro)	μ	× 10 <sup>-6</sup>			
ナノ(nano)	n	× 10 <sup>-9</sup>			
ピコ(pico)	p	× 10 <sup>-12</sup>			
フェムト(femto)	f	× 10 <sup>-15</sup>			

■メモリ:メモリは電源が落ちると内容が消える「揮発性メモリ」と電源が落ちても内容が消えない「不揮発性メモリ」に分類することができる。揮発性メモリには安価で大容量の DRAM(Dynamic Random Access Memory)と高速で安定な SRAM(Static Random Access Memory)がある。不揮発性のメモリには下表のような種類がある。コンピュータ・システムの電源をオンにした時に動き出すプログラムを保持する必要があるため ROM が、プログラムを書き換えるなどのため RAM の 2 種が必要である。

種類	特徴	用途例
マスク ROM	製造時に書き込み。変更不可。	家電の基本制御プログラム
PROM	一度だけ書き込み可能。	製品の初期設定
EPROM	紫外線で消去・再書き込み可能。	古いシステムの更新用
EEPROM	電氣的に消去・書き込み可能。	BIOS やファームウェア
Flash ROM	高速・大容量。USB や SSD に使われる。	ストレージ、スマホ

Raspberry Pi Pico W 内蔵の機能用語: Raspberry Pi Pico W 内蔵の機能用語をまとめた。

■ デュアルコア: Raspberry Pi Pico W のデュアルコア (Dual-Core) とは、搭載されているマイクロコントローラー「RP2040」が 2 つの独立した CPU コア (Core0 と Core1) を持っていることを指す。これにより、複数の処理を並列に実行できるため、より効率的で応答性の高いプログラムが可能になる。

■ GPIO: General Purpose Input/Output の略で、外部のセンサやアクチュエータと接続して、デジタル信号の入出力を行うための汎用ピン。

■ USB: Universal Serial Bus (ユニバーサル・シリアル・バス) の略で、コンピュータやスマートフォンなどの周辺機器と接続するための通信・電源供給規格。

■ UART: Universal Asynchronous Receiver/Transmitter の略で、非同期式シリアル通信を行うためのハードウェアで、シリアル信号とパラレル信号を相互に変換する役割を持つ。

■ SPI: Serial Peripheral Interface の略で、マイコンと周辺機器 (センサ、ディスプレイ、メモリなど) を高速・双方向で通信するためのインターフェース。I2C よりも高速で柔軟な通信が可能。

■ I2C: Inter-Integrated Circuit の略で、2 本の信号線でセンサやディスプレイなどの周辺機器と通信できるシリアル通信方式。複数のデバイスを 1 つのバスで接続できるのが大きな特徴。

項目	UART	I2C	SPI
クロック	なし (非同期)	あり (同期)	あり (同期)
配線本数	2 本	2 本	4 本 ~ (デバイス数で増加)
通信形態	1 対 1	1 対多 (アドレス制御)	1 対多 (CS 制御)
速度	中 ~ 遅い	遅い	速い
実装難易度	低	中	中 ~ 高
主な用途	PC や GPS モジュールなど	センサ類 (温度、加速度など)	高速センサ、液晶、SD カードなど

■ PWM: Pulse Width Modulation (パルス幅変調) の略で、GPIO ピンから出力されるデジタル信号の ON/OFF の割合を調整することで、アナログ的な制御を実現する技術。LED の明るさ調整、モータの速度制御、サーボの角度制御などで使用する。

■ ADC: Analog to Digital Converter (アナログ-デジタル変換器) の略で、電圧などのアナログ信号をデジタル値に変換する機能。これにより、光センサや温度センサなどの連続的な物理量を数値として扱えるようになる。

■ VBUS: VBUS (Voltage Bus、電源供給) ピンは、USB ポートから給電されているときに 5V の電圧を外部に供給するためのピン。

■ MicroPython (マイクロパイソン): Python 3 をベースにした軽量なプログラミング言語の実装で、特にマイコン (小型コンピュータ) 上での動作に最適化された言語である。Raspberry Pi Pico W のような低消費電力・低メモリのデバイスでも、直感的なコードでハードウェア制御が可能になる。

■ C/C++: Raspberry Pi Pico W では、C/C++ 言語を使って高性能かつ低レベルの制御が可能。MicroPython よりも処理速度やリアルタイム性が求められる場面では、C/C++ が有効。

■ IDE: Integrated Development Environment (統合開発環境) の略で、プログラミングに必要なツールをひとつ

にまとめたソフトウェアのこと。コードを書く、動かす、バグを直す、ファイルを管理する...といった開発作業を1つの画面で効率よく行えるのが特徴。

#### ■ Thonny

(ソニー)は、エストニアのタルトゥ大学によって開発された Python 初心者向けに設計された統合開発環境 (IDE) で、Windows、macOS、Linux に対応している。