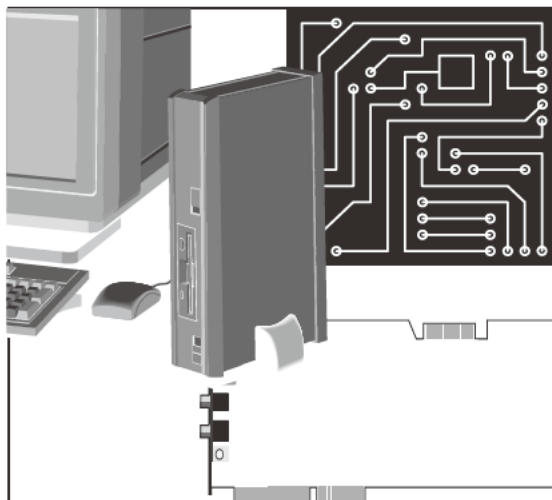


IoT 技術入門講座

No.1

IoT の基礎知識

執筆 / 高柳 浩



コガク

目次

第1分冊 学習のねらい	1
第1週 IoTの基礎知識	3
1.1 IoT概論	4
1.1.1 IoT (Internet of Things)	4
1.1.2 IoTの3つの重要要素	5
1.1.3 IoTに繋がる考え方	6
1.1.4 IoTサービスの事例	7
1.2 IoTの構成と基本アーキテクチャ	8
1.2.1 IoTの構成	8
1.2.2 IoTの基本アーキテクチャ	8
1.3 IoTの基本構成要素	9
1.3.1 IoTの基本的な構成要素	9
1.3.2 IoTデバイス	10
1.3.3 IoTゲートウェイ	10
1.3.4 IoTサーバ	11
1.4 IoTの標準化動向	13
1.5 IoTの実現要件	14
『まとめと練習問題』	15
第2週 IoTデバイスとIoTゲートウェイ	17
2.1 IoTデバイスとは	18
2.1.1 IoTデバイスの役割	18
2.1.2 センシング機能	18
2.1.3 フィードバック機能	18
2.1.4 コネクティビティ	19
2.1.5 IoTデバイスの基本構成	19
2.2 センサ技術の基礎	20
2.2.1 センサの種類	20
2.2.2 センサの構成	24
2.2.3 センサ・モジュール	25
2.2.4 電子部品の特性, 用途	25
2.2.5 センサの電気信号増幅	27
2.2.6 電気信号のアナログ/デジタル変換	28
2.3 制御装置	29

2.3.1	CPU (Central Processing Unit)	30
2.3.2	OS (Operating System)	31
2.3.3	入出力	33
2.4	IoT ゲートウェイ	37
2.4.1	直接通信方式	37
2.4.2	デバイスゲートウェイ方式	37
	『まとめと練習問題』.....	39
第3週	ネットワークとプロトコル.....	41
3.1	ネットワーク.....	42
3.1.1	ネットワークの役割	42
3.1.2	WSN (ワイヤレスセンサネットワーク)	44
3.1.3	WSN のネットワーク接続形態	45
3.1.4	同期通信, 非同期通信.....	46
3.2	IoT デバイスの通信方式.....	47
3.2.1	IoT デバイスにおける通信方式	47
3.3	WAN (Wide Area Network).....	48
3.3.1	固定回線	48
3.3.2	無線通信回線	48
3.4	LAN(Local Area Network)	50
3.4.1	無線 LAN.....	50
3.4.2	有線 LAN.....	51
3.5	PAN(Personal Area Network)	52
3.5.1	Bluetooth (IEEE 802.15.1).....	52
3.5.2	IEEE 802.15.4	58
3.5.3	NFC.....	60
3.6	通信プロトコル	61
3.6.1	デバイス・ゲートウェイ・サーバ間接続.....	61
3.6.2	HTTP	62
3.6.3	WebSocket	66
3.6.4	MQTT	68
3.6.5	CoAP	70
	『まとめと練習問題』.....	72
第4週	IoT サーバサービス.....	75
4.1	IoT サーバとは.....	76
4.1.1	IoT サーバ.....	76
4.1.2	IoT プラットフォーム	76
4.1.3	クラウド.....	77
4.2	データ処理	80
4.2.1	分散バッチ処理	81
4.2.2	ストリーム処理	81

4.2.3 アドホック処理	82
4.2.4 データフォーマット	82
4.3 データ分析	86
4.3.1 分析方法	86
4.3.2 可視化処理	86
4.3.3 分析方法	87
『まとめと練習問題』.....	92
SETP UP	94
参考文献.....	95
練習問題の解答.....	96
索 引.....	98

第1週

IoTの基礎知識

【学習のポイント】

IoTという言葉がなぜいま大きな注目を浴びているのか、その考え方を紐解きながら、その概念や基本的な構成要素について学びます。

1.1 IoT 概論

1.1.1 IoT (Internet of Things)

IoT とは「Internet of Things」の略称で、ケビン・アシュトン氏によって作られた造語と言われています。日本では、「モノのインターネット」と訳され、広義では、あらゆるモノがインターネットを通じて繋がることを表しています。

IoT で想定される「モノ」は、パソコンやタブレット、スマートフォンのようなインターネットに接続することが一般的なものばかりではなく、これまでインターネットへの通信機能を備えていなかった身近な家電や身の回りの物や自動車、そして工場 で利用される産業用設備など、様々な機器が対象となります。

ここでいうインターネットとは、英語で書くと大文字から始まる Internet であり、Web、メール、そしてクラウドサービスなど、私たちの身近な技術となっているネットワークの通信方式を意味します。

「モノ」をインターネットに繋ぐことにより、様々な場所にある「モノ」からその環境の情報を知ることが出来るようになります（センシング機能）。そして、この「モノ」から取得した情報を分析することにより、その結果として状況や予測などを人に対してサービスとして提供することが出来るようになります。

また、「モノ」を操作することでその環境の状態を変えることが出来るようになります（フィードバック機能）。

例えば、運航している航空機のエンジンの状況を常に把握することによって、使用しているエンジンをいつメンテナンスすべきかという時期などを予測することが出来るようになります。予測が出来ることによって、これまでは発注ごとにエンジンを製作するというビジネスモデルが、「航空機を飛ばす」というサービスを提供するというビジネスモデルへ大きく変換することが出来るようになります。

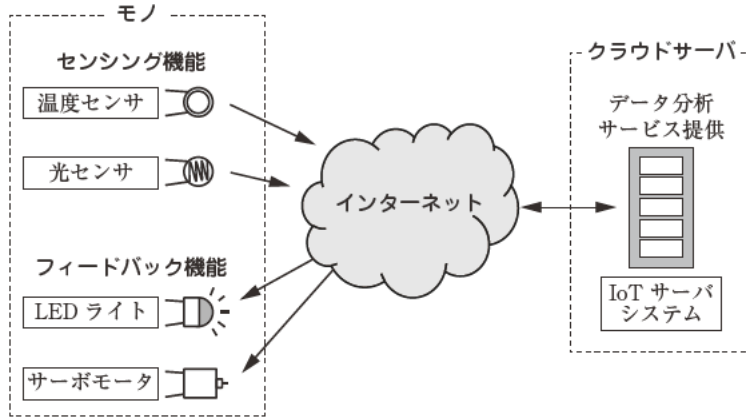


図 1.1 IoTにおけるモノ

1.1.2 IoTの3つの重要要素

先に説明したようにIoTという言葉自体は、具体的な手法や技法を定義したのではなく、概念であるため、実現の目的や手段により様々な捉え方がありますが、その中でも共通する重要な要素が3つあります。

その3つの要素とは、モノ、インターネット (Internet)、インターネットとの接続の容易さを表すコネクティビティ (connectivity) です。

これら3つの要素により、これまで繋がることのなかった現実の物理世界とコンピュータ上のデジタル世界とのギャップを埋めてくれることが期待されます。

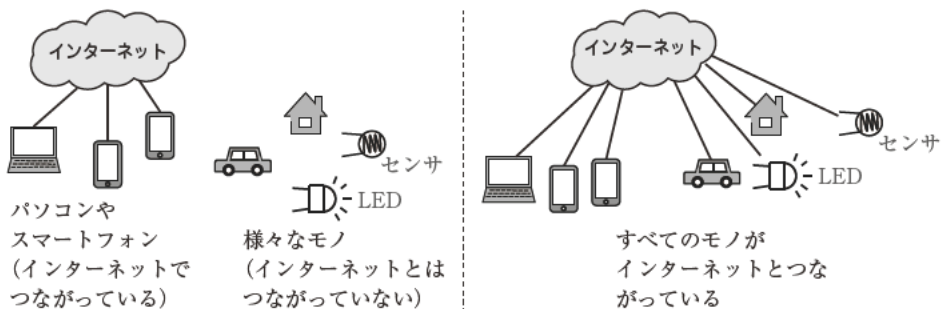


図 1.2 IoTの概要図

1.1.3 IoT に繋がる考え方

IoT という言葉が使われるようになるよりも前の 1980 年代に、**ユビキタスネットワーク**というモノとネットワークを接続しようという概念が提唱されていました。

ユビキタスネットワークとは、コンピュータや家電が有線・無線通信により常に相互に接続される環境を構築することにより、人がいつでもどこにいても様々な情報やサービスを利用できるようにするという考えです。

IoT とユビキタスネットワークは、多くの点で考え方が共通していますが、ユビキタスネットワークが対象としていたのは主にコンピュータや家電などに通信機能を埋め込むことにより、人がそれを利用するといったことが主眼でした。

それに対して IoT は、人やモノを意識せずに、人とモノやモノ同士など様々なつながりを想定しており、より幅広いサービスが期待されているとともに、より実現可能な技術として想定されています。

2010 年代になると、**M2M (エム・ツー・エム：Machine to Machine)** という、機器と機器が通信で繋がり連携するという IoT に繋がる概念が出てきました。

これまで個々で稼働していた機器同士をつなぐことにより、機器同士が相互に情報をやりとりできるようになりました。

これにより、各々の機器で生成されたデータをリアルタイムで統合、制御し、様々な用途に活用することができるシステムが出来るようになりました。

IoT と M2M との関係は、とても密接な関係です。技術的な点で考えると機器をモノに置き換えれば、センシング機能、フィードバック機能については現在のところほぼ同じと言えます。違いは、IoT では取得した情報を受け取る人へのサービスまでを考慮したものであるということです。そのため、M2M は IoT の一部分と考えることが出来ます。

ユビキタスネットワーク、M2M、IoT よりも大きな概念として、実世界（物理的な空間）にある多様なデータをセンサネットワークなどにより収集し、**サイバー空間**を構築することにより、実世界とサイバー空間が相互に連携した社会を **CPS (Cyber-Physical System)** といい、実現に向けての研究開発が進められています。

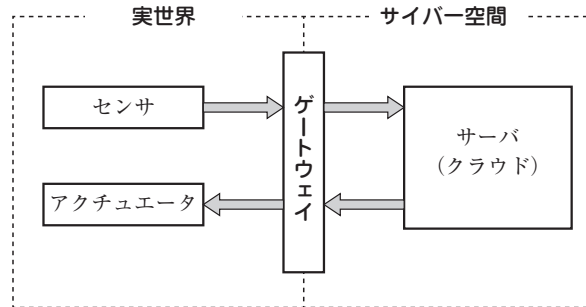


図 1.3 実世界とサイバースペース (情報の流れ)

1.1.4 IoT サービスの事例

IoT サービスは現在様々なものが開発されています。その具体的な事例としては、次のようなものがあります。

- Fitbit (Fitbit 社)

Fitbit のセンサから、歩行数や心拍などのデータを収集することにより、健康管理のサポートを提供しています。

- Streetline (Streetline 社)

駐車場に設置されるセンサ情報を利用したモバイルアプリによるスマートパーキングシステムを提供しています。これにより車の有無や空き状況を管理することができ、ドライバーは駐車場の空き具合をリアルタイムで把握できます。一方、駐車場オーナーは駐車場を探しているドライバーに連絡を取り、直接予約を受けることができます。

- 車両故障診断機 (Allcardia)

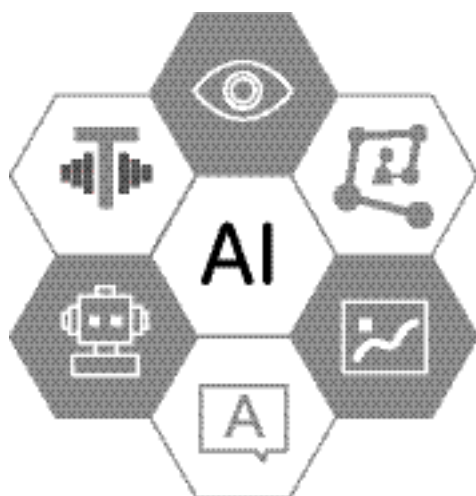
自動車に備わっている自己診断機能 (OBD) と接続することにより、車両事故についての自己診断情報を取得するシステムです。取得したデータはクラウドに集められ、自動車整備や中古車業者が作業をするために使用することができます。

ものづくりのための AI 入門講座

No.1

基礎編

監修 / 中島 秀之
執筆 / 高柳 浩



コカク

目次

第1分冊 学習のねらい	1
第1週 AI（人工知能）とは	3
1.1 AI（Artificial Intelligence, 人工知能）研究の始まり	4
1.1.1 AIの歴史	4
1.1.2 AIの定義	8
1.2 AIをものづくりに利用する上での考え方	10
1.3 AIが利用される分野	11
1.3.1 モノ作りから見たAI	11
1.3.2 AIを用いて行えること	12
1.4 機械学習とは	17
1.4.1 機械学習を実現するための手法	18
1.4.2 データセットから見た学習手法の分類	19
1.4.3 モデルから見た手法の分類	21
『まとめと練習問題』	23
第2週 機械学習	25
2.1 教師あり学習（Supervised Learning）とは	26
2.1.1 クラス分類	26
2.1.2 回帰分析	31
2.2 教師なし学習（Unsupervised Learning）とは	34
2.2.1 クラスタリング	34
2.2.2 主成分分析 (Principal Component Analysis, PCA)	40
2.3 半教師あり学習	43
2.3.1 半教師あり学習とは	43
2.3.2 半教師あり学習の手順	44
2.4 強化学習	48
2.4.1 強化学習とは	48
2.4.2 強化学習の手順	49
『まとめと練習問題』	52
第3週 ニューラルネットワーク	55
3.1 ニューラルネットワークの基礎	56
3.1.1 神経細胞（ニューロン）	56
3.1.2 形式ニューロン	58

3.1.3	ニューラルネットワークの種類.....	61
3.1.4	単純パーセプトロン.....	64
3.1.5	多層ニューラルネットワーク.....	65
3.2	単純パーセプトロンの学習方法.....	67
3.3	多層ニューラルネットワークの学習方法.....	69
3.3.1	勾配法.....	69
3.3.2	誤差逆伝播法（バックプロパゲーション：Backpropagation）.....	71
	『まとめと練習問題』.....	74
第4週	深層学習（ディープラーニング）.....	77
4.1	深層学習（ディープラーニング）とは.....	78
4.1.1	従来の手法の問題点.....	78
4.1.2	ディープラーニングの様々な手法.....	80
	『まとめと練習問題』.....	88
	SETP UP.....	90
	参考文献.....	91
	練習問題の解答.....	93
	索引.....	94

第1週

AI（人工知能）とは

【学習のポイント】

人工知能（以降、AI）の研究がはじまってから今日までの歴史を学び、これまでの技術的な背景やAIの定義について学びます。

また、AIの様々な利用方法や、ものづくりの視点からの活用方法について解説します。

1.1 AI(Artificial Intelligence, 人工知能)研究の始まり

「Artificial Intelligence」(AI:人工知能)という言葉が、最初に使われたのは、1956年の夏の時期(7月～8月)にさかのぼります。

この夏、アメリカのニューハンプシャー州ダートマス大学のジョン・マッカーシーが中心となり、マービン・ミンスキー、ネイサン・ロチェスター、クロード・シャノンなど、知能、コンピュータに関する研究者が集まり、知能に関するテーマや課題についての議論が行われました。

その会議の提案書の中で、初めて「Artificial Intelligence」という言葉が用いられたとされています。

この会議は、開催された場所の名前から現在ではダートマス会議と呼ばれて、AI研究の基点となっています。

1.1.1 AIの歴史

AIの歴史は、まるで機械学習のように、多くの研究・技術者の成功や失敗の積み重ねによって、発展してきました。

(1) 1940～1950年代

AI研究が着目された最初の時期で、現在に通じる多くの基本となる考え方や手法がこの時代に提案されました。

はじめに注目すべきは、1943年にウォーレン・マカロックとウォルター・ピッツが発表した、生物学的な神経(ニューロン:神経細胞)の振る舞いを参考して考案した、人工神経の数理モデルです。これは形式ニューロンと呼ばれ、神経の振る舞いをモデル化したものです。現在の機械学習で利用されている深層学習を行う上で基本となっているニューロンモデルの原型でもあります。

一方、コンピュータも同じころに産声をあげました。1946年にジョン・モークリーとジョン・エッカートにより考案・設計された最初の汎用電子式コンピュータであるエニアック(ENIAC:Electronic Numerical Integrator and Computer)が開発されました。

翌年、1947年には、アラン・チューリングがロンドン数学学会の講義で現在の人工知能概念を提唱し、さらに1950年にチューリングテスト（ある機械に人間並みの知能が備わっているかを判定するテスト）を提言しました。

このような背景の中で、1956年に前記のダートマス会議が開かれました。このダートマス会議では、アレン・ニューウェル、ハーバード・サイモン、J・C・ショーが、最初のAIプログラム(The First Artificial Intelligence Program)とされている、「Logic Theorist」のデモが行われました。

Logic Theoristは、数学の基礎的な定理を記号論理により記述した書籍プリンキピア・マテマティカ(Principia Mathematica: 数学原理)の、最初の52の定理のうち、38個を証明することに成功しました。さらに、その証明の一部は、これまでの証明法よりも、より明確なものを導き出しました。

1949年に、ドナルド・ヘップによって、シナプス（神経細胞同士の接合部位）に発火が起こる（活動電位が発生し情報を伝達する）とそのシナプスの伝達効率が增強され、発火が長期間起らないとそのシナプスの伝達効率は減退するという神経の可逆性理論の1つである法則（ヘップの法則）を提案しました。

1951年マービン・ミンスキーとデヴィン・エドモンズのチームにより、ヘップの学習法則を用いて40台(1台を1シナプスとして構成)のニューロコンピュータを設計し、ラットが迷路を通して道を見つけるシミュレーションを試みました。これは、最初の人工知能ニューラルネットワークシステム(SNARC, Stochastic Neural Analog Reinforcement Computer)と呼ばれています。ニューラルネットワークとは神経回路網のことです。しかしながら実際には故障のためうまく学習はできませんでした。

1957年にはフランク・ローゼンブラットが形式ニューロンからパーセプトロン（単純パーセプトロン: Simple Perceptron）というアルゴリズム（問題を解く手順）を発明しました。

翌年1958年には、The Mark I Perceptronという画像認識が出来るニューラルネットワークシステムを開発しました。このシステムは400ピクセル(20×20)の画像をカメラから入力し、パターン認識をすることが出来ました。

この単純パーセプトロンは若干の改良が加えられながら現在も広く使われているニューラルネットワークモデルの原型です。

(2) 1960～1970 年代

万能と考えられていたパーセプトロンにいくつかの欠点があることが分かり、この時代にはニューラルネットワークに関する期待が薄れ AI に対する注目度も下がりました。

きっかけは、1969 年にマービン・ミンスキーとシーモア・パパートにより、単純パーセプトロンは、線形分離可能（2次元の場合、2つのデータ集合を1本の直線で分離することができる）であるが、線形分離不可能（2次元の場合、2つのデータ集合を1本の直線で分離することができず、曲線でなければ分離できない）な場合には対応できないと指摘されたことでした。

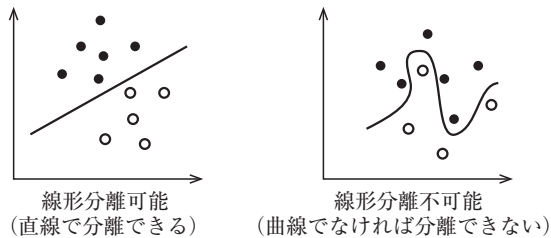


図 1.1 線形分離可能と不可能

そのため AI 研究者は、単純パーセプトロンに依らない統計手法などのニューラルネットワーク以外の手法を模索しました。

(3) 1980 年代

単純パーセプトロンでは不可能であった、線形分離不可能な場合のパターン認識に対して多層パーセプトロンとその学習方法が提案されたことによって、再び AI およびニューラルネットワークが着目された時代です。

1982 年、ジョン・ホップフィールドにより、ホップフィールド・ネットワーク（再起型ニューラルネットワーク）が提案されました。

1985 年、ジェフリー・ヒントンらによりボルツマンマシン（統計的変動を用いたホップフィールドネットワーク）が提案されました。

1986 年、デビッド・ラメルハートらにより誤差逆伝播法（バックプロパゲーション）が提案されました。なお、この手法は 1967 年に甘利俊一が既に発表していたものです。

(4) 1990～2000 年代前半

多層パーセプトロンに、過学習 (Over-fitting)、勾配の消欠 (Vanishing Gradient) といった問題が顕著化して、ニューラルネットワークの研究が下火になり、再び確率・

統計的な研究が中心となりました。

(5) 2000年代後半から現在

過学習、勾配の消欠といった問題を解決するアプローチが提案されるとともに、GPU（Graphics Processing Unit：グラフィック処理用チップ）による計算速度の飛躍的な向上やインターネットの普及などに伴う大量データの獲得が出来るようになり、新たにAIが実用として着目され始めてきました。

2006年、ジェフリー・ヒントンらによりオートエンコーダおよびディープ・ビリーフ・ネットワークなどのアルゴリズムが提案され、これらの手法がディープラーニング（深層学習）へと発展しました。

同じく2006年にNVIDIA（エヌビディア：半導体メーカー）がGPU向け汎用並列コンピューティングプラットフォームCUDA（Compute Unified Device Architecture：クーダ）を発表し、翌年公開されました。GPUはCPU（Central Processing Unit：中央処理装置）よりも単純な演算をするプロセッサの数が多い（NVIDIA GTX1080で2,560基持つ）ため並列演算性能に優れており、シンプルな演算を大量に行うニューラルネットワークの学習が従来よりも素早く出来るようになりました。

2012年に画像認識コンテスト「ILSVRC（ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge）」で、ヒントンらのグループによりディープラーニング技術が適用された結果、認識率の向上で大きな成果を上げ、一躍脚光を浴びました。

2015年に囲碁プログラムであるAlphaGOが人間のプロ囲碁棋士を破り、AI研究の世界だけでなく世間一般の話題となりました。

AIの歴史は、そのままコンピュータの発達と密接に関わっています。それはAIを具現化するためのシステム（機械）としてコンピュータが現時点で最も適しているからです。また、人がコンピュータに求める機能が、往々にしてAIに対して描く期待と同じであったことも大きな要因と考えられます。

そのため、AIの発達は、コンピュータ（またはIT）の発達とともにあります。

現在、AIが様々な成果を上げている背景には、AI研究者の地道な努力の他にハードウェアの技術革新（大量のメモリ、高速化、分散化処理）や、インターネット上のサービスの普及により蓄積された大量のデータ（ビッグデータ）が取り扱える環境が整ったことが挙げられます。