

e ラーニング研究

第4号

サイバー大学

目 次

オープン環境による M2M/IoT システム構築の動向と取り組み事例・・・	清尾 克彦	1
沖縄県離島の小中学校におけるオンライン型 e-ラーニングによる 教育格差是正への取り組み	勝 眞一郎	27
履修継続率向上のための学習履歴を基にした学習者分類に向けて	米山 あかね	33

オープン環境による M2M/IoT システム構築の動向 と取り組み事例

清 尾 克 彦¹

1. はじめに

M2M (Machine to Machine) システムは、センサを含む機器同士または機器とクラウド上のサーバをネットワーク経由で接続し、センサからのデータを分析して様々なサービスを提供する¹⁾。最近では IoT (Internet of Things, モノのインターネット) という言葉が M2M を包含する形で社会の変革を促す第 3 の IT 化の波²⁾ として注目されている。また、モノづくりの分野でもインダストリー・インターネットやドイツによるインダストリー 4.0 の取り組みがはじまり、第 4 次産業革命の到来と喧伝されている³⁾。まさに、オープンカルチャーに基づいたイノベーションが進みつつある。

この M2M/IoT システムは多くの技術の組み合わせで実現される複雑系システムであり、実現するためにはかなりの技術力と労力が必要となる。また、M2M/IoT システムはアイデア次第でその応用範囲は多岐にわたると考えられる。アイデアが本当に効果があるかどうかを確認するために、アイデアの創出からプロトタイプによる評価を短期間に繰り返して、実用化を目指すことが求められている。

このような課題を解決して、将来の発展が期待される M2M/IoT システムの実現を図るためには、オープン化及び標準化の成果を活用し、多くの技術から構成されるプロトタイプを容易に構築できるオープンなプラットフォームの整備が必要になると考えられる。

本稿では、M2M/IoT システムのプロトタイプを誰もができるだけ安価に効率よく開発できるように、オープン環境による M2M/IoT システム構築の動向と、M2M/IoT システムの仕組みを理解することを狙いとした教育用の M2M/IoT プロトタイプ構築のサイバー大学での取り組み事例を紹介する。M2M/IoT システムの概要や応用事例等については、サイバー大学紀要第 5 号「M2M (Machine to Machine) 技術の動向と応用事例」⁴⁾ を参照ください。なお、本稿は筆者が所属する NPO 法人 M2M 研究会⁵⁾ や電気学会 M2M 技術調査委員会 (第 1 次、第 2 次) での発表内容^{5,7)}などを基にまとめたものである。

¹ サイバー大学 IT 総合学部・教授

2. M2M/IoT システムとオープン化の流れ

2.1. M2M/IoT システムとは

M2M システムは、機械や電気機器の間で、人間が介在することなく収集されたデータを送受信することによってサービスを提供するものである。図1に示すように、機器（デバイス）にはマイコン等のコンピュータが内蔵され、接続されたセンサからのデータが、ゲートウェイ経由ネットワークを介してサーバに送信される。センサのデータはサーバに蓄積され、クラウド上のアプリケーションにより、集積されたデータを可視化したり、分析をしてマネジメントの判断材料にしたり、分析結果から自動的に機器の制御をしたりするサービスが実現される。M2M の「M」は、Machine のかわりに Man や Management に読みかえて使われる場合もある。

IoT システムは、M2M を包含する概念として、従来のインターネットの世界にモノのインターネットを融合して、サービスを提供するものである。本稿では、以下、M2M/IoT システムとして説明をしていく。

このような M2M/IoT システムは、図2に示すようにセンサ/アクチュエータが接続された M2M デバイスや M2M ゲートウェイを取り扱う組み込み技術、エリアネットワークとしてのワイヤレスセンサネットワークやアクセスネットワークとしての IP ネットワークなどを扱うネットワーク技術、M2M サーバにデータを蓄積し M2M アプリとしてサービスを提供するクラウドコンピューティング技術、マンマシンインタフェースとして人間との接点となるモバイルコンピューティング（スマートフォン）技術、安全・安心なシステムを提供するためのセキュリティ技術などを組み合わせて実現される。これらの技術を習得

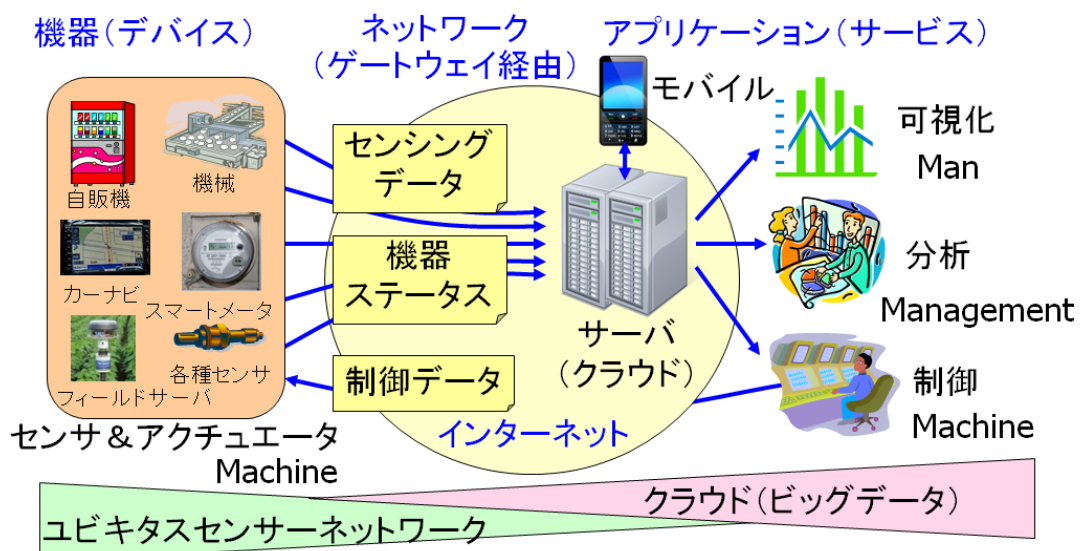


図1 M2M/IoT システムのイメージ

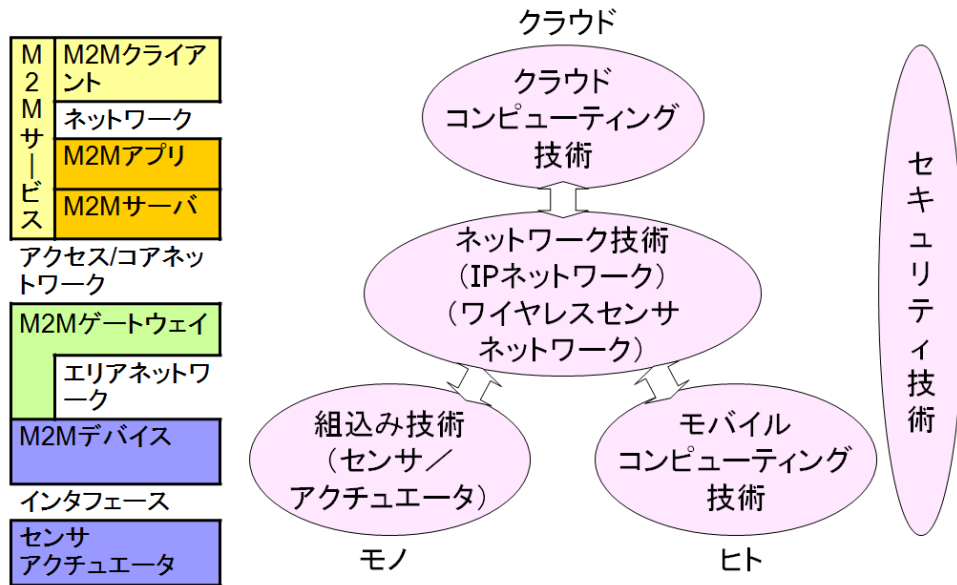


図2 M2M/IoT システムを構成する主な技術

し、最適な組み合わせで応用分野に適した M2M/IoT システムを構築するには、多くの技術力と工数を必要とする。特に発展著しい分野で、これらの技術を一人（一社）ですべてを一から実現することは困難であり、急速な発展を支えているオープン化の成果と標準化の成果を活用することが必要である。

2.2. オープン化の流れ

ICT 分野ではオープン化により、急速に技術革新が進んでいる。オープン化の流れは、図3に示すように、無体物のソフトウェアから始まり、コンテンツのオープン化からさらに最近では国や自治体の持つ公共データのオープン化にまで広がってきている。また、最近では安価なマイクロコンピュータやセンサなどが入手しやすくなり、プリント基板の製作も容易になったことから、有体物である基板などの回路図を公開するハードウェアのオープン化が進んできている。さらに、メカニカルな分野でも3次元データを使った安価な3Dプリンタなどのデジタルファブリケーションが普及しはじめたことから、ものづくりのオープン化も急速に進みつつある。このようなオープンな環境で、いろいろな分野の人たちがコラボレーションして創造的な設計を進めるオープンデザインも注目されている⁸⁾。また、自社の技術と他社や大学などが持つ技術を組み合わせ、革新的なビジネスモデルや研究成果・製品開発に結び付けるオープンイノベーションの取り組みも行われつつある。

創造的な M2M/IoT システムを構築する観点からは、これらのオープン化や標準化の流れを有効に活用することが求められる。なお、以下の本稿では M2M/IoT システム構築に

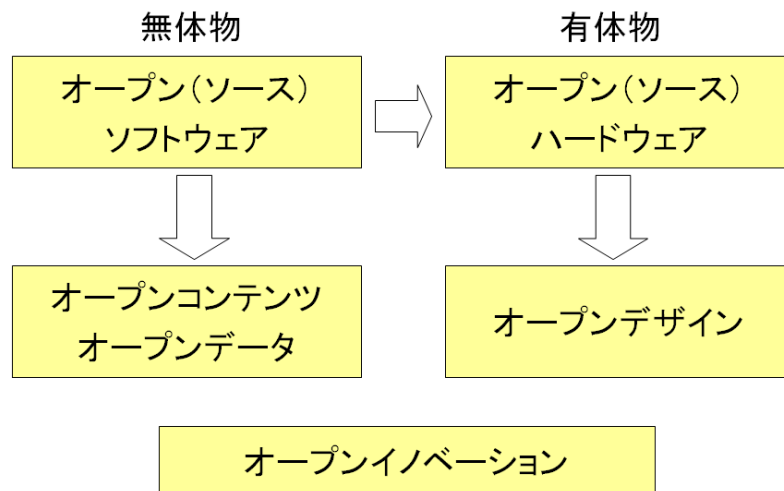


図3 オープン化の流れ

必要なオープンソフトウェアとオープンハードウェアを中心に紹介していく。

オープン化のメリットは、世界中の洗練されたソフトウェア/ハードウェア資産の利用、ソースコード/回路図の参照・改良が可能、使用料が安価で無償のソフトウェアの利用、ベンダロックインがない（特定ベンダに拘束されない）、コミュニティが充実しインターネット上から多くの情報が入手可能等である。逆にデメリットとして、ソフトウェア/回路図自体が無保証、トラブルの解決は自己責任、日本語情報の不足、ある程度以上の技術力が必要、ライセンスの扱い（商用利用への影響）等があげられる。オープン化のメリットを最大限に生かし、デメリットを少なくするようにマニュアルの充実を行うなどのアプローチが求められる。

なお、以下の説明において、オープンという言葉は、ソースが公開されているものや、無償で使えるものなど、M2M/IoT システムを構築する時に容易に安価で入手可能なものを対象としている。

2.3. M2M/IoT システムの応用分野とプロトタイピング

M2M/IoT システムの応用分野は、図4に示すように安全・安心、最適・効率化、快適・ゆとり・娯楽の視点から12の分野へと多岐にわたる⁹⁾。この図は、10年ぐらい前に公開されたユビキタスセンサネットワークにおける応用分野であるが、M2M/IoT システムを構成する技術の革新により、まさに実用化が進みつつあるところである。また、モノづくりの分野でもインダストリ・インターネットやドイツによるインダストリー4.0の取り組みがはじまり、大きく変化しようとしている。

アイデアがあれば、魅力的な世界を実現することが可能になりつつあるが、すぐに実用化し成功するとは限らない。本当に価値があり、効果を上げることができるかを、プロト

オープン環境による M2M/IoT システム構築の動向と取り組み事例

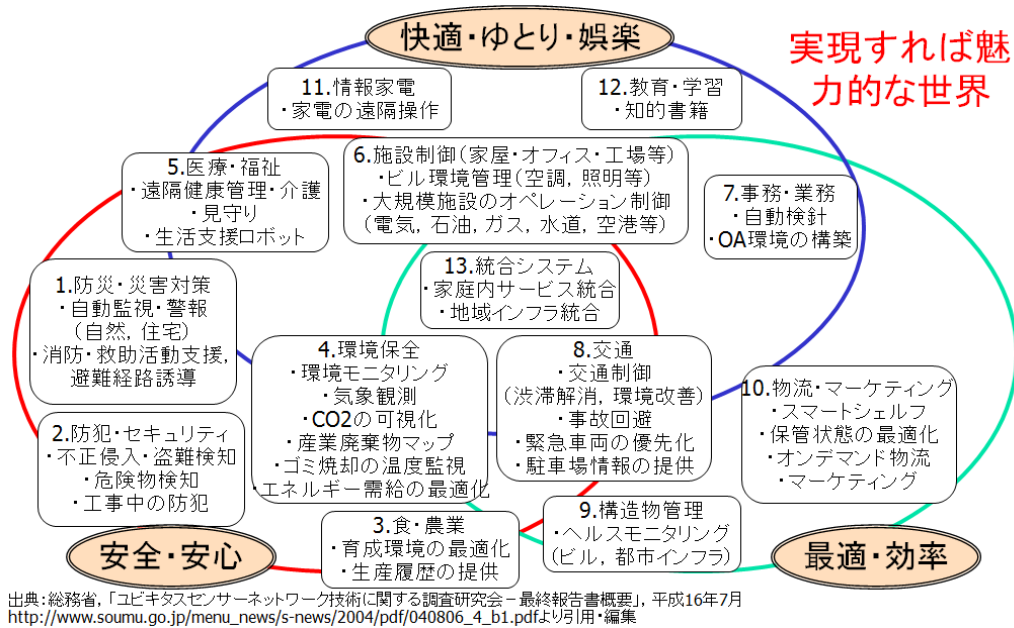


図4 ユビキタスセンサネットワークを利用したアプリケーション

タイプによりアイデアを評価しアイデアを洗練しながら、本格的に展開するかどうかを判断する必要がある。

魅力的な M2M/IoT システムを実現するためには、図5に示すように、プロトタイプを誰もができるだけ安価に効率よく構築できるオープンな M2M/IoT プラットフォームの提供が求められる。プロトタイピングにより、アイデアのブラッシュアップを繰り返すことにより、プロダクトとして実用化することが期待される。

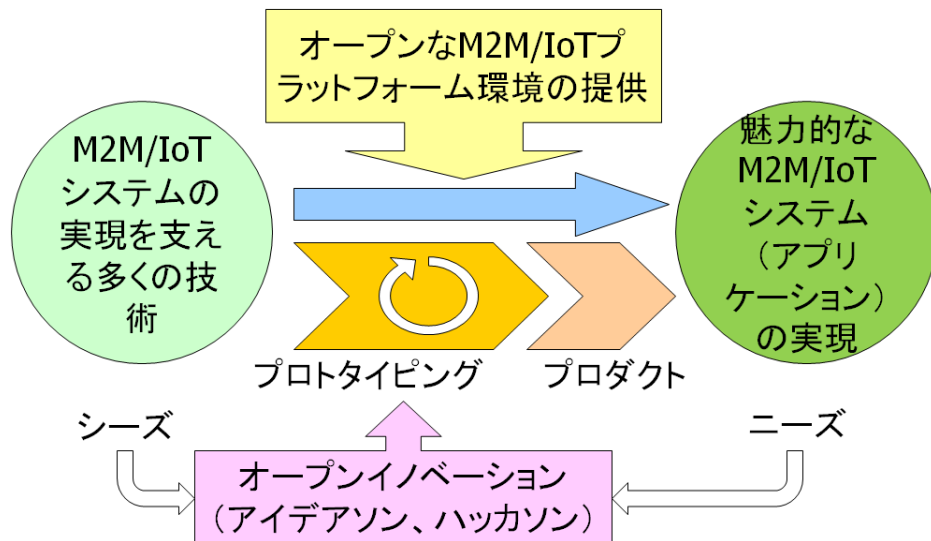


図5 プロトタイピングによる魅力的な M2M システムの実現



図6 M2M/IoT 関連のアイデアソン、ハッカソンの実施例

このようなオープンな環境を使って、図6に示すように、いろいろなところで M2M/IoT を対象にしたアイデアソンやハッカソンによるオープンイノベーションの試みが行われている。日本でも、自動車メーカーによる公開された車からのセンサデータを活用してアイデアを競うハッカソンなどがいろいろ行われている。

3. オープン環境による M2M/IoT システムの構成

3.1. プラットフォーム

M2M/IoT システムを構成するプラットフォーム（ハードウェア、ソフトウェア）の全体イメージを図7に示す。M2M デバイス、M2M ゲートウェイ、M2M サービスに求められるハードウェア（コンピュータ機能）とソフトウェア（OS：オペレーティングシステム）の特性と、IP 化、低消費電力化、リアルタイム処理化の流れを示している。

IP 化の流れでは、リンク技術に依存しないアドレス体系・メッセージ配送技術・セキュリティ技術や多様な伝送メディア・リンク技術との相互接続性を実現可能で、豊富な実績がある IP 技術を低消費電力・低コストの M2M デバイスの領域まで展開するものである。IETF (Internet Engineering Task Force) で標準化された 6LoWPAN（ネットワーク層）と CoAP（アプリケーション層）が該当し、M2M デバイスでの実装が進んでいる。

低消費電力化の流れでは、すべての領域で求められるが、特に電力源のないところで使われる M2M デバイスについては最重要課題であり、軽量の OS、軽量のプロトコルが求められる。

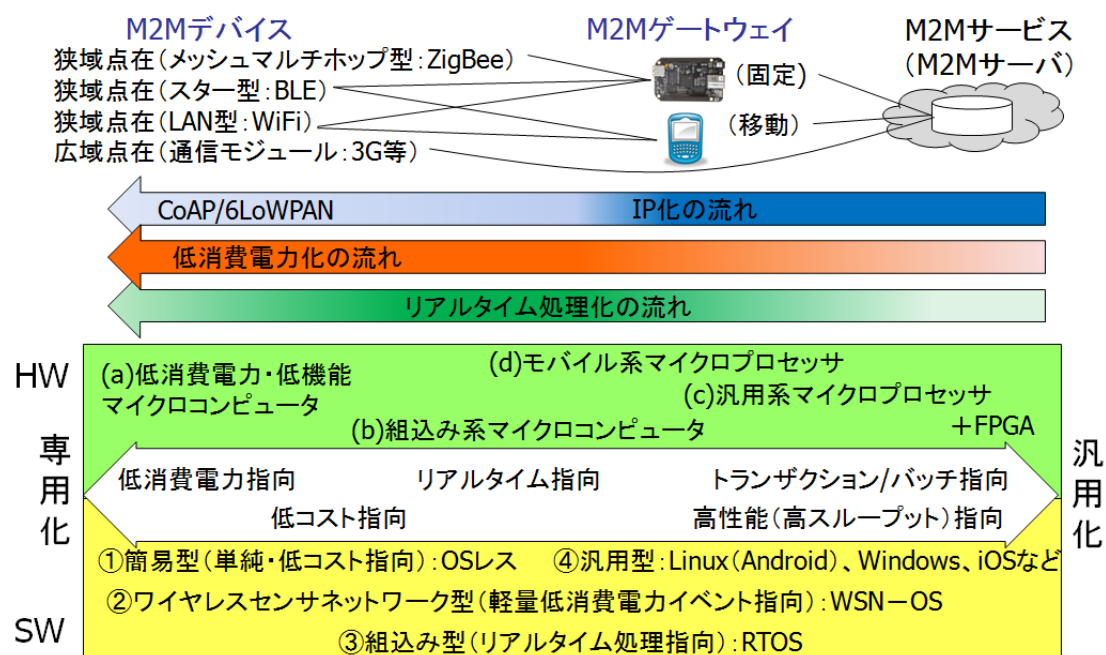


図 7 M2M/IoT システムのプラットフォーム

リアルタイム処理化の流れでは、M2M サーバでのストリーム処理やバッチ処理に対して、データ発生源に近いところで処理を行うエッジコンピューティングが注目されている。IoE（Internet of Everything）を提唱している米シスコ・システムズ社ではフォッグコンピューティングと呼んでいる。

3.2. オープン環境の分類

M2M/IoT システムを実現するオープン環境（標準化されたものを含む）の分類を図 8 に示す。なお、ここで取り上げたソフトウェアやハードウェアは、本稿での調査の対象としたもので、オープンなものはその他にもいろいろ存在する。

オープンハードウェアについては、M2M デバイスと M2M ゲートウェイを対象にする。

オープンソフトウェアについては、M2M サーバ上の Web アプリケーション/Web サーバなどで使うソフトウェアや、M2M ゲートウェイ上のサーバやデバイス管理などで使うソフトウェアや、M2M デバイスでのワイヤレスセンサネットワーク OS を対象にする。

オープクラウドサービスについては、無料で公開されている BaaS（Backend as a Service：PaaS の一部）を対象にする。また、BaaS と連携してワークフロー的なサービスを提供する Web アプリケーション（マッシュアップ）も対象とする。

ネットワーク（IP 系）については、アクセス/コアネットワークおよびエリアネットワークで使われる IP ネットワーク上の通信プロトコルを対象とする。

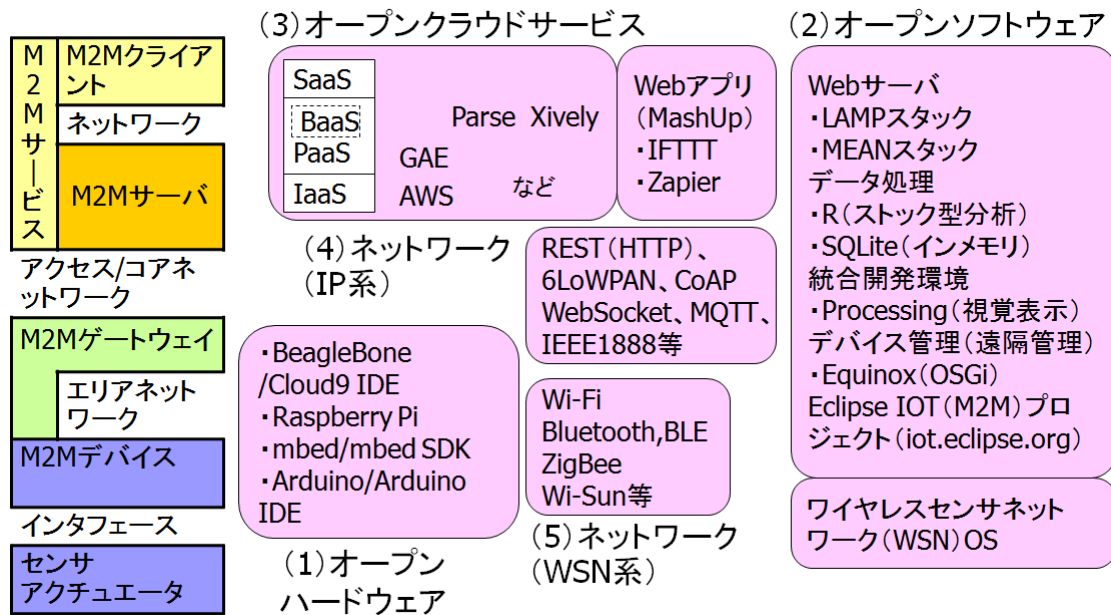


図8 オープン環境の分類

ネットワーク（ワイヤレスセンサネットワーク系）については、エリアネットワークで使われるワイヤレスネットワークを対象にする。

3.3. オープンハードウェア

M2M デバイスとして Mote¹⁰⁾ が有名であるが、ここでは最近注目されている M2M デバイス/M2M ゲートウェイの安価で容易に入手可能なハードウェア（開発環境を含む）について紹介する。主なオープンハードウェアを図9に示す。

求められる低消費電力・低コスト性や性能・機能から目的とする M2M システムに最適なものを選択することになる。また、ここで紹介するものは、プロトタイプや実験機の作成を主眼としており、製品として量産・出荷する場合には、信頼性の向上などを図る必要がある。

(1) Arduino (アルドゥイーノ)¹¹⁾：2005～、イタリア

フィジカルコンピューティングの元祖の1つで、ATmel 社の AVR マイコン（8 ビット系）を使用している。未経験者でも簡単に利用できるようにシンプルな構成（OS レス）で、PC 上の開発環境からプログラムをローディングするだけで使える。電子回路はシールドとして、プログラムはスケッチとして公開されている。シンプル故に性能や機能に制約がある。基板回路図が公開されており、多くの互換機（ルネサスエレクトロニクス社の GR-SAKURA, Intel 社の Galileo）が存在する。

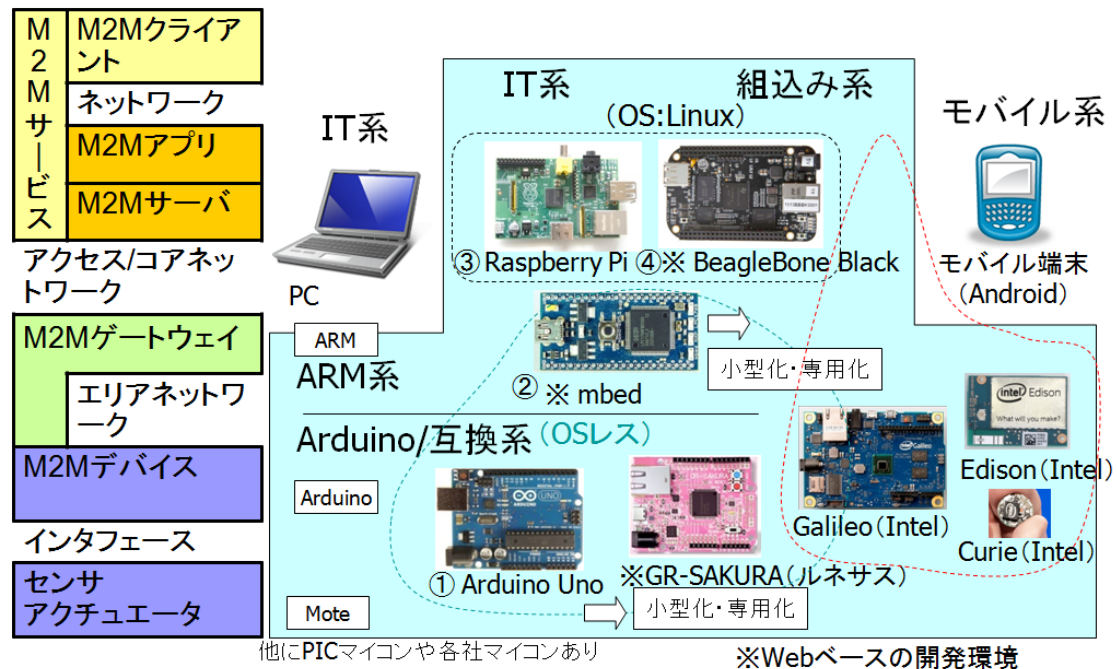


図 9 主なオープンハードウェア

(2) mbed¹²⁾ : 2005～, ARM 社

ARM コアを搭載した NXP 社のマイクロコンピュータを使用している。すぐにプロトタイプを作れることを狙いシンプルな構成 (OS レス) となっている。Web 上の開発環境からプログラムをダウンロードするだけですぐに使えることができる。基板回路図が公開されており、より小型化・専用化された互換機がつけられている。最近では、ARM 社が力を入れており、mbed OS を提供している。

(3) Raspberry Pi¹³⁾ : 2012～, 英国

ARM コアを搭載した Broadcom 社のマイクロコンピュータを使用している。IT 教育用に考案されたもので、コストパフォーマンスに優れた Linux ベースの小型 PC である。IT 教育用のため、他に比べて、I/O インタフェースが少ない。OS は組み込まれておらず、推奨の Raspbian を SD カードにダウンロードする必要がある。

(4) BeagleBone Black¹⁴⁾ : 2008 (Beagle Board) ～, TI 社

ARM コア搭載の TI 社のマイクロコンピュータを使用している。組み込み用途向きで、I/O インタフェースが多く、この分野では最も高機能な Linux ベースの小型 PC である。プロトタイプからプロダクトへの対応が容易と言われている。OS (Angstrom) が組み込まれておりすぐに使える。キーボードとマウスなしで起動できる。

(5) Galileo, Edison¹⁵⁾: 2013~, 2014~, Intel 社

Galileo は, Quark SoC 搭載し, Arduino 互換機能のほかに, Linux を動作させることもできる. Edison は, ATOM SoC を搭載した SD カードサイズの Linux ベースの超小型 PC で, Arduino 互換カードも提供されている.

3.4. オープンソフトウェア

M2M/IoT システムで使用されるオープンソフトウェアはいろいろあるが, 図 8 のオープンソフトウェアの中で以下の 4 つに絞って紹介する.

(1) Eclipse 財団 IoT プロジェクト (当初は M2M プロジェクト)¹⁶⁾

オープンソースの Eclipse プロジェクトを運営する非営利団体の Eclipse 財団が, M2M/IoT システムをより簡単に開発できるように誰でもが使えるオープンな M2M/IoT 開発環境 (プラットフォーム) を目指して開発を進めている. 現在は IoT プロジェクトと名称を変更しているが, 目標は同じである. M2M デバイス/M2M ゲートウェイにおけるデバイス管理に OMA-LWM2M (Lightweight M2M) を採用し, 通信プロトコルとして CoAP や MQTT を採用し, Lua 言語による開発環境の提供を目指して開発が進められている.

(2) ワイヤレスセンサネットワーク (WSN) OS

大量のセンサを配置して低消費電力・低コスト性が求められるワイヤレスセンサネットワークのノードやゲートウェイにおいては, 軽量の OS が求められる. 単にセンサからのデータを送信するのみの場合は OS レスで十分であるが, デバイス管理機能, セキュリティ機能や IP ベースの低消費電力ネットワーク (6 LoWPAN や CoAP) プロトコルを処理する場合には OS が必要となる. 実現方法として以下の 3 つの方法がある¹⁷⁾¹⁸⁾.

① イベントモデル型

イベントモデルではイベントに応じて **run-to-completion** のタスクを実行する. プリエンプションを前提としていないので省資源かつ低オーバーヘッドで実現可能である. また, 各タスクが不可分に実行されるので共有資源に対する排他制御が不要となり, 安全性が高い. しかし, ユーザが一連の処理を細かい処理に分割しなければならないのでプログラムが書きづらいという問題が発生する. さらに, イベントモデルではタスクのプリエンプションをしないことを前提に設計されているのでハードリアルタイム処理のサポートができない. イベントモデル型のオペレーティングシステムとして代表的なものが **TinyOS**¹⁹⁾ で他に **Contiki**²⁰⁾ などが挙げられる (共にオープンソース). ARM 社が最近力を入れている **mbed OS** もこれに該当する.

② スレッドモデル型

スレッドモデルでは複数の独立した実行ストリームが実行され, それぞれのスレッドはプリエンプションされる. ユーザはあたかも CPU を占有しているかのようにプログラム

を記述できるのでプログラムが書きやすい。また、ハードリアルタイム処理をサポートすることができる。しかしながら、プリエンプション時のオーバーヘッドの大きいことや必要とされる資源が多いこと、スレッド間の共有資源へのアクセス制御が必要となるために安全性が損なわれるなどの問題を持っている。スレッドモデルを用いたオペレーティングシステムの研究としては MANTIS OS や PAVENET OS などが挙げられる。

③仮想マシン型

ワイヤレスセンサネットワークに特化した命令セットを具備する仮想マシン上でモジュールを実行することでモジュール自体のサイズを小さくすることができ、モジュール転送に伴う負荷を軽減することが可能となる。さらに、仮想マシンを異なる種類の CPU に移植すればモジュールがそのまま使えるので高い移植性も実現できるが、仮想マシンとしてのオーバーヘッドが存在する。仮想マシンの研究としては ASVM や VAWS などが挙げられる。以前の SUNSPOT や最近の IBM の Mote Runner が該当する。

(3) Web サーバ

オープンな環境で Web サーバを構築する場合、従来は LAMP スタック (Linux+Apache+MySQL+PHP) などが使われてきた。M2M/IoT システムでは、1 回の通信におけるデータ量は少ないが、センサからの通信を同時に接続する数が増加傾向にある。従来のマルチタスクやマルチスレッドの Web サーバ (Apache) では、1 コネクションに 1 つのタスクやスレッドが生成され、同時接続数が増加するとメモリ増加、性能低下という問題が起きる (C10K 問題)。

これを解決するものとして Node.js²¹⁾ が注目され、非定型なデータを扱うことが容易な MEAN スタック (MongoDB+Express+AngularJS+Node.js) が使われるようになってきた。Node.js は Chrome の JavaScript ランタイムを使った、高速かつスケーラブルなネットワークアプリケーションを容易に構築するためのプラットフォームである。シングルスレッドで、イベント駆動でキューを順次処理していく方式で、メモリ増加もなく、ノンブロック I/O で待たずに処理を続けることができ、高速に処理が可能である。

(4) 統合開発環境の Processing²²⁾

Processing は Java をベースとしたオープンソースのプログラミング言語および統合開発環境である。Java を初心者を使いやすくした言語で、よく使うグラフィック、サウンド、シリアル通信、ネットワークなどに関して単純化することにより、簡単に扱うことができるようになっている。特に画像やアニメーションを用いた視聴的な表現を得意としている。Windows, Mac, Linux などの Java 仮想マシンを搭載可能なコンピュータで利用できる。また、作ったプログラムを、どのような OS でも動作する Java アプレットやプログラミング環境なしでも実行可能な形式に変換できる。

3.5. オープンクラウドサービス

クラウドサービスは図 10 に示すように、大きく IaaS (Infrastructure as a Service) と PaaS (Platform as a Service) と SaaS (Software as a Service) の 3 つに分類される。

M2M サービス (M2M サーバ, M2M アプリケーション) の実現方法として, IaaS や PaaS の上でオープンクラウド環境を利用して独自の M2M サーバを構築することも可能であるが, 技術力と多くの開発コスト (工数) を必要とする。

最近では, PaaS 上に特定のアプリケーションサービスの運用に必要な汎用的なサーバ機能を提供する BaaS (Backend as a Service) が注目されるようになり, ある制約条件の中で無料で使用できるようになってきた。BaaS の一般的な構成を図 11 に示す。BaaS では M2M サーバとして共通的に必要となるユーザ管理/認証, データベース, データ表示, プッシュ通知などの機能を WeB API を使って容易に実現することができる。M2M アプリケーション開発者は, アプリケーション固有の開発に専念することができ, 容易に開発・運営を行うことができる。

M2M 向けに特化した BaaS として, Xively (元 Pachube)²³⁾ が有名である。特に, 福島原発事故のときに即座に放射線データがアップされたことで注目された。センサからのデータを HTTP プロトコルで送信することでサーバにデータを蓄積し, グラフ表示をしたり, トリガ条件に基づいてプッシュ通知を行うことができる。なお, Xively と機能が似ている AT&T 社の M2X²⁴⁾ を代替として使うことができる。Xively の特徴と表示例を図 12 (a) に示す。

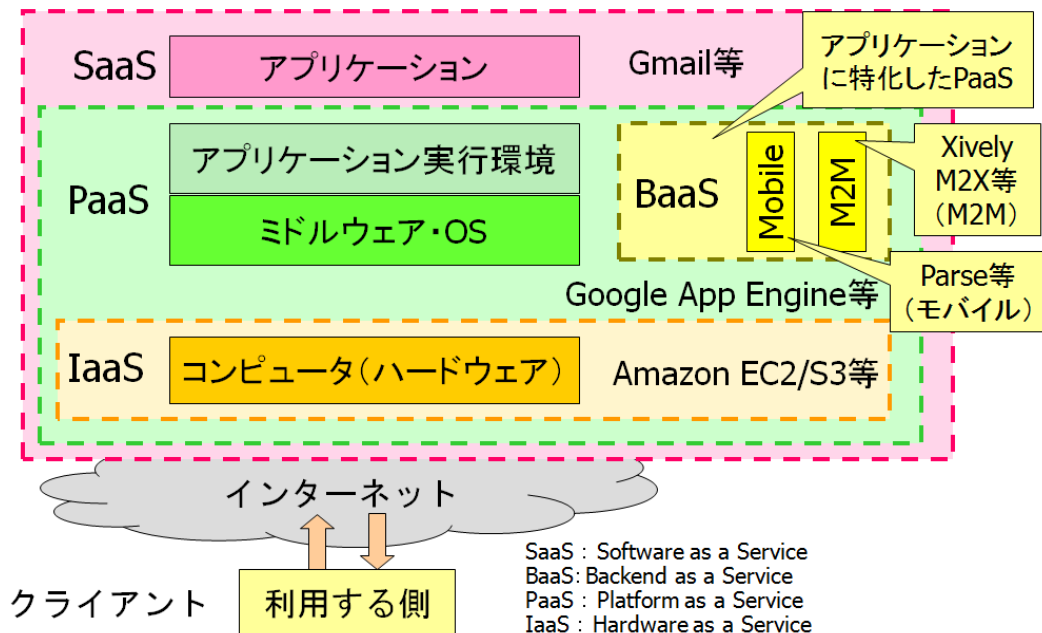


図 10 オープン M2M クラウドサービス

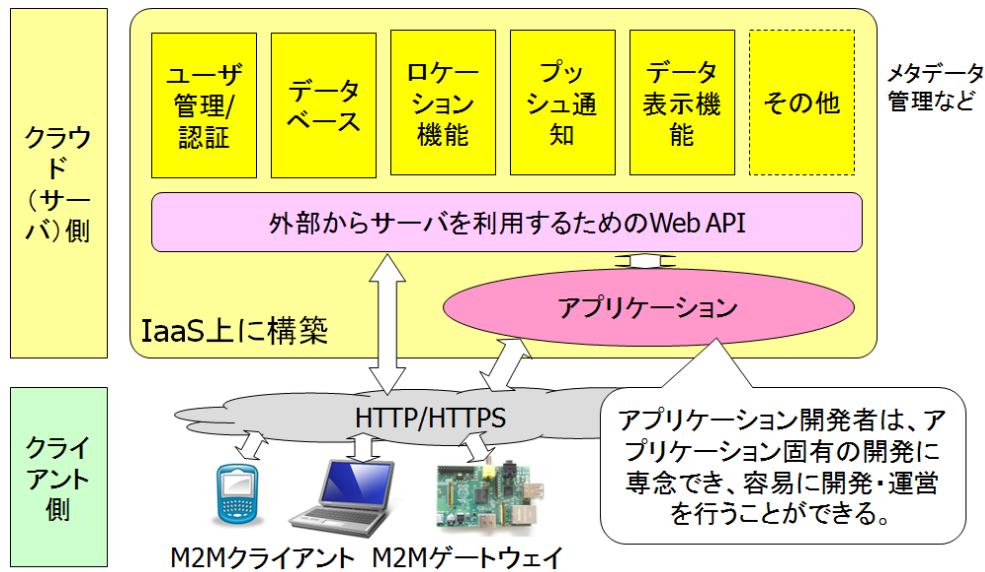


図 11 BaaS の一般的な構成

モバイルアプリ向けに汎用化された Parse²⁵⁾ でも同じような機能を実現できるが、グラフ表示などは自分で作成する必要がある。同じクラウド上で Web アプリケーションを開発できる環境が提供されており便利である。Parse の特徴と表示例を図 12 (b) に示す。

BaaS と連携してワークフロー的なサービスを提供する Web サービス（マッシュアップ）も便利な存在である。BaaS でのプッシュ通知機能と連動して、Gmail で異常を通知するなどいろいろな機能を容易に利用することができる。主な 2 つの例を以下に紹介する。

Xively (ザイブリー) (←Cosm←Pachube: LogMeIn運営)

M2Mのためのクラウド環境。
データの保存、データの検索/読み出し/グラフ表示、トリガ条件などのサービス等
(無料版あり)



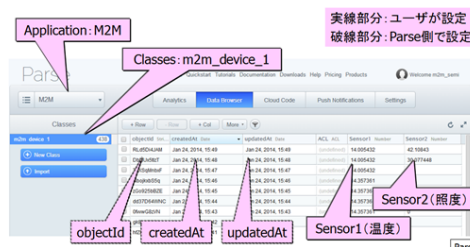
(a) Xively



<http://spectrum.ieee.org/tech-talk/energy/environment/radiation-monitoring-in-japan-goes-diy>

Parse (パース: Facebook が買収)

モバイルアプリケーションのためのクラウド環境。IaaSとして AWS を採用し、scalability を確保。データの保存、データの検索/読み出し、Web アプリ開発支援等
(無料版あり)



(b) Parse

図 12 Xively と Parse の特徴と表示例

IFTTT (イフト) ²⁶⁾ は, 「if this then that」というシンプルなコンセプトに基づく「レシピ」と呼ばれるプロフィールを使って, 数ある Web サービス (Facebook, Evernote, Weather, Dropbox など) 同士を連携することができる. レシピの「this」の部分は「Facebook で写真をタグ付けした時」といった「きっかけ」になり, 「that」の部分は「テキストメッセージの送信」といった「行動」になる. Twitter, Foursquare, Flickr, Box といった 61 ものサービスに対応した「きっかけ」と「行動」を提供している. 基本は無料で使える.

Zapier²⁷⁾も同様に, 様々な API を連携してワークフロー的な処理を実行できる. 例えば「Google スプレッドシートに書き込みを実施」したら「Gmail でメールを送る」という 1 つのワークフローを zap という単位で定義して, 実行することができる. サポートしているサービスは 200 以上あり, 基本は無料で使える.

3.6. ネットワーク (IP 系)

アクセス/コアネットワークでは IP ネットワークが使われている. 従来の HTTP プロトコルを使った REST 方式が基本であるが, M2M では双方向通信やより軽量化が求められることから, いくつかのプロトコルが提案されている. REST を含めて, 5 つの方式について以下に示す.

(1) REST (Representational State Transfer) : 図 13 の (a) 参照

HTTP を使って通信をおこなう方式で, 「利用し易い」「確認し易い」ことが最大の特徴である. サーバから新しいデータを読み込むために定期的なポーリングを必要とする. これを改善するために考案されたロングポーリング方式は, クライアントからサーバへの HTTP 接続を, サーバが応答を送信するまで維持するもので, 接続が多い場合にはオーバーヘッドとなる. セキュリティを重視する場合は, HTTPS が使われる.

(2) 低消費電力対応プロトコル (6LoWPAN, CoAP)

IETF (インタネット技術標準化委員会) が HTTP の軽量化を目指して標準化をおこなった. 6LoWPAN (ネットワーク層) ²⁸⁾ と CoAP (アプリケーション層) ²⁹⁾ に既存の UDP を組み合わせて, 低 CPU 性能・低コスト・低消費電力可能なネットワークを実現することが可能である.

(3) WebSocket³⁰⁾ : 図 13 の (b) 参照

最初に HTTP を使ってクライアントとサーバの間に持続的接続を確立し, そのあとはどちらの側からでも, いつでもデータの送信を開始することができる (双方向通信).

(4) MQTT (Message Queue Telemetry Transport) ³¹⁾ : 図 13 の (c) 参照

IBM が開発したものをオープン化したもので, ブローカー・ベースの軽量なパブリッ

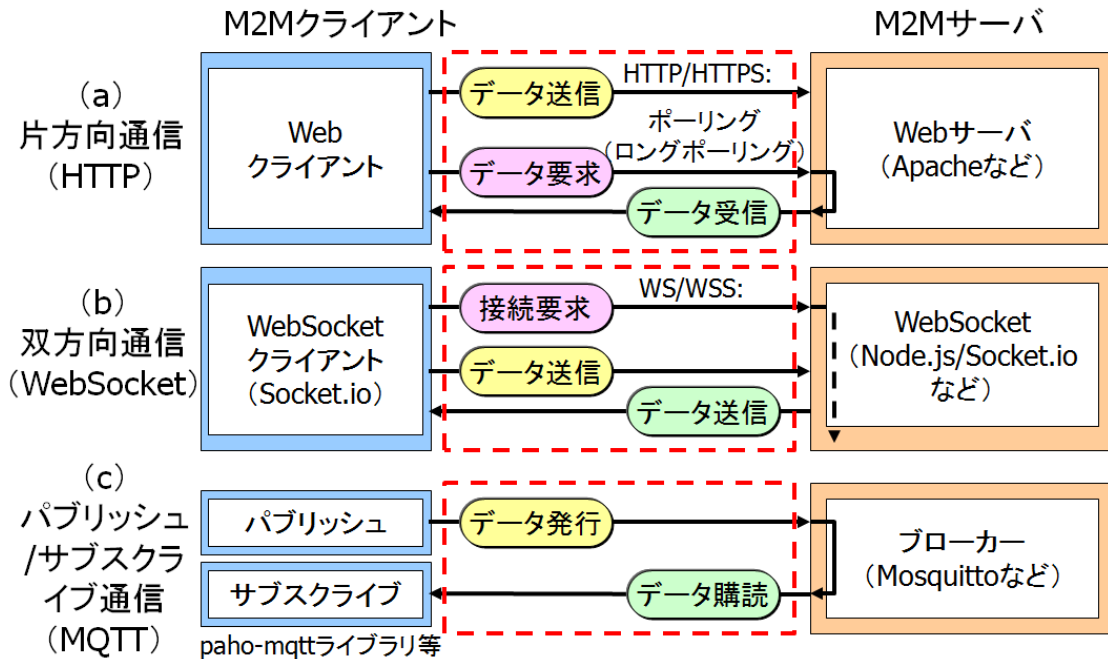


図 13 ネットワーク（IP 系）のプロトコル例

シュ/サブスクライブ型メッセージ・プロトコルである。MQTT はオープンで単純、軽量で、容易に実装できるように設計されている。

(5) IEEE1888 (FIAP) ³²⁾

次世代 BEMS やスマートグリッド向けに開発され、2011 年に国際標準化されたオープンな通信規格である。HTTP と SOAP メッセージという XML によってメッセージ交換を行う。GW（ゲートウェイ）、Storage（ストレージ）、APP（アプリケーション）という 3 つのコンポーネントが、平等に WRITE, FETCH, TRAP と呼ぶ 3 種類の通信手順を使うことができる。

3.7. ネットワーク（ワイヤレスセンサネットワーク系）

M2M デバイスと M2M ゲートウェイ/M2M サービス間のワイヤレスセンサネットワークの構成を図 14 に示す。

(1) 限られた領域（狭域）に配置された M2M デバイスと M2M ゲートウェイ間のワイヤレスネットワーク

(a) 低消費電力で近接のセンサからデータを収集するスター型：Bluetooth Low Energy 等

(b) 消費電力は大きいが高速度で大量データを送信できる LAN 型：Wi-Fi 等

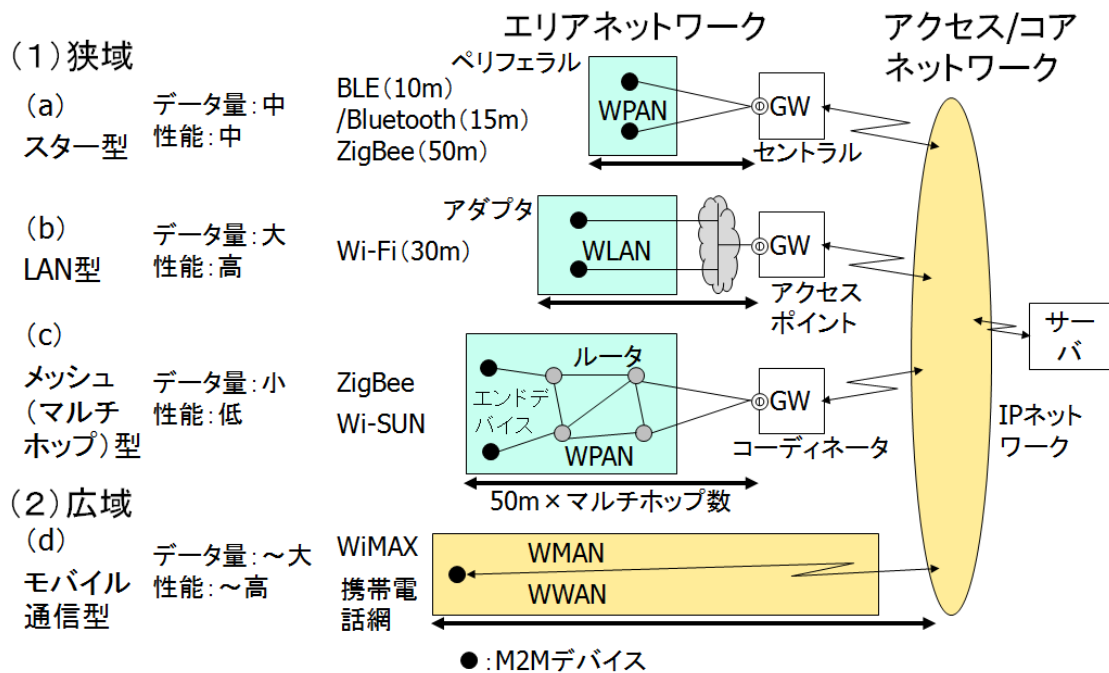


図 14 ワイヤレスセンサネットワーク系

(c) 多数のセンサからデータを収集する低消費電力指向のマルチホップ・メッシュ型：ZigBee³³⁾ 等。Wi-SUN³⁴⁾ が日本の NICT（情報通信研究機構）を中心に標準化され、東京電力のスマートメータでの採用が決まり、今後大きく発展していくと考えられる。

(2) 広域に配置された M2M デバイスと M2M サーバ間のワイヤレスネットワーク

(d) IP をベースとしたモバイル通信型の WiMAX や携帯電話通信モジュール (3G, LTE, PHS) が使用される。

4. オープン環境による M2M/IoT システムの構築事例

3 章のオープン化の状況を踏まえて、だれもが安価な費用で容易に M2M/IoT システムを構築できるように、図 15 に示すオープン環境による M2M/IoT システムの構築を進めている。M2M ゲートウェイを固定した場合における入門編（図 15 の a）と応用編（図 15 の b）、M2M ゲートウェイを移動可能にした場合の応用編（図 15 の c）の 3 通りに分類し、入門編について具体的な事例を紹介する。なお、入門編の事例についてはサイバー大学 IT 総合学部のゼミナール（e ラーニング）で 2014 年秋学期から適用しているものである。

4.1. M2M/IoT システムの構成

(1) M2M ゲートウェイを固定した場合の例

M2M デバイスには低消費電力指向のマイクロコントローラが搭載され、センサやアクチュエータを接続し、ZigBee や Wi-Fi などのエリアネットワークにより固定された M2M ゲートウェイとの間でセンサデータやアクチュエータ制御データが送受信される。M2M ゲートウェイには比較的高性能なマイクロコントローラが搭載され、必要に応じてストリーム処理などのアプリケーションが実行されたり、センサデータなどがデータベースに蓄積されたりする。IP ネットワークを介して M2M サーバへセンサデータが送信され、ストリーム処理や蓄積した後にバッチ処理が行われる。これらの処理の結果として分析結果をわかりやすくビジュアルに表示したり、アクチュエータを制御するデータを M2M ゲートウェイ経由 M2M デバイスに発信したりする。なお、限られた領域での小規模なシステムでは、M2M ゲートウェイで大部分の機能を処理することが可能であり、運用費用の安価な M2M クラウドを補助的に使用する場合も多い。

a：入門編

M2M/IoT システムの基本原則・基本機能を理解し、短期間に安価に容易にプロトタイプを構築して体感できることを狙いとした入門用のシステムである。詳細は 4.2 項で紹介する。M2M ゲートウェイに Arduino を、M2M ゲートウェイに PC を、M2M サーバにオープン M2M クラウドの Xively(または M2X)を使うことにより、身近な環境で容易に M2M/IoT システムを体感できることを狙いとしている。

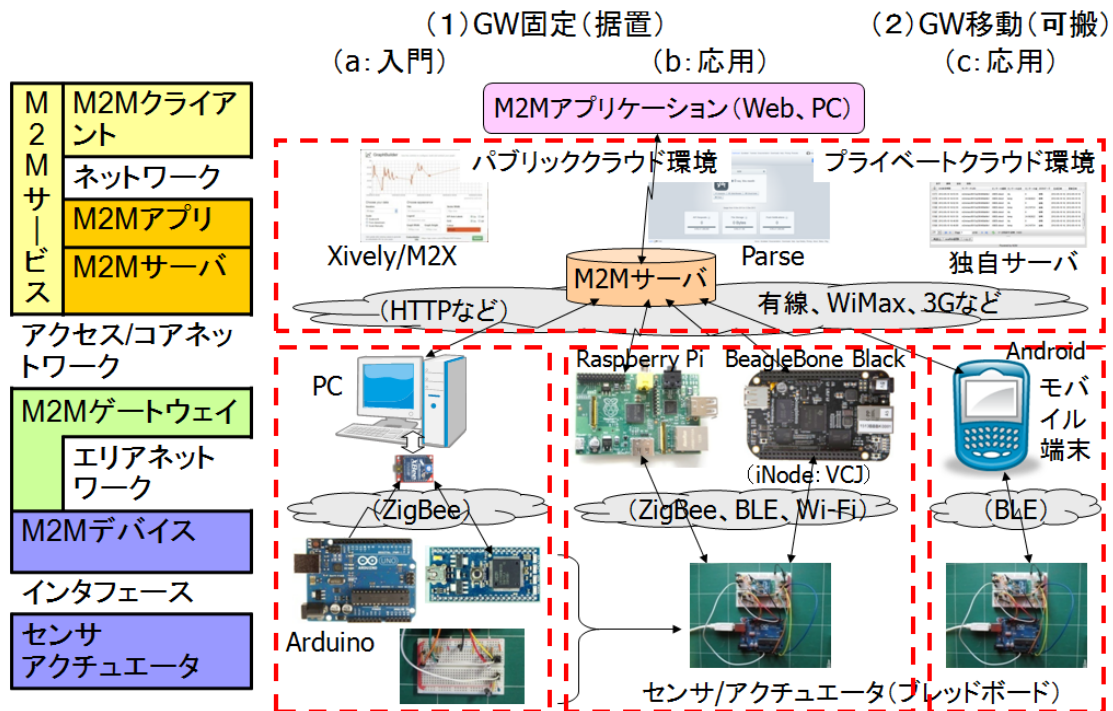


図 15 オープン環境による M2M/IoT システムの構成例

b : 応用編

本格的に実用レベルで使用されることを前提にしている。入門編における M2M ゲートウェイの PC の代わりに RaspberryPi や BeagleBone Black などの専用ボードに置き換えたり，オープン M2M クラウドの Xively の代わりに IaaS 環境の上に独自の M2M サーバを構築することにより，より実用的なシステムに拡張したものである。また，エリアネットワークとして ZigBee 以外に高速送信可能な Wi-Fi や，低消費電力の BLE を使った応用も考えられる。

(2) M2M ゲートウェイを移動可能とした場合の例 (c : 応用編)

最近普及の著しいスマートフォンやタブレット端末などのモバイル機器は，Wi-Fi や携帯通信網で容易に M2M サーバと接続できる。また，低消費電力の BLE (Bluetooth Low Energy) があらかじめ搭載されており，BLE を搭載した M2M デバイスとも容易に接続できる。このようなモバイル機器を M2M ゲートウェイとして使用することにより，近辺に配置された BLE 搭載の M2M デバイスからのセンサデータを，M2M サーバへ送信することが容易に実現できる。モバイル機器には高性能なマイクロコンピュータと表示ディスプレイが搭載されているので，M2M ゲートウェイでリアルタイム処理をしたり，人間とのインタフェースとして M2M サーバに蓄積されたデータをビジュアルに表示したりすることができる。

4.2. M2M/IoT システム入門編

教育用途の M2M/IoT システム入門編は，M2M/IoT に精通していない人でも，M2M/IoT システムを構成している主な技術を理解しながら，オープン化・標準化の成果を活用して安価に短期間でプロトタイプを構築し，実際に M2M/IoT システムを体感することで，新たな M2M/IoT システムの応用例を創造することを狙いとしている。

M2M デバイス，M2M ゲートウェイ，及び M2M サービスの3つのドメイン構成で，ネットワークとしてエリアネットワークと IP ネットワーク（アクセス/コアネットワーク）を利用し，M2M デバイスに接続されたセンサからのデータを M2M ゲートウェイを経由して M2M サーバまでアップし，蓄積されたデータを時系列でグラフ表示するアプリケーションと，ストリーム処理で最新のセンサデータに対するトリガ条件の判定に基づいて M2M に接続されたアクチュエータを制御するアプリケーションを提供する。

M2M/IoT システム入門編は，はじめてこの分野を学ぶ方々を対象にステップバイステップで個々の M2M/IoT 技術を理解しながら，プロトタイプを構築できるように，図 16 に示す四部構成の演習カリキュラムで構成されている。

第一部の「M2M デバイスを動かす」では，M2M デバイスに各種センサを接続し，一定の周期でセンサの値を読み込み，測定値を計算する。

第二部の「M2M ゲートウェイにつなぐ」では，エリアネットワークを介して，M2M デ

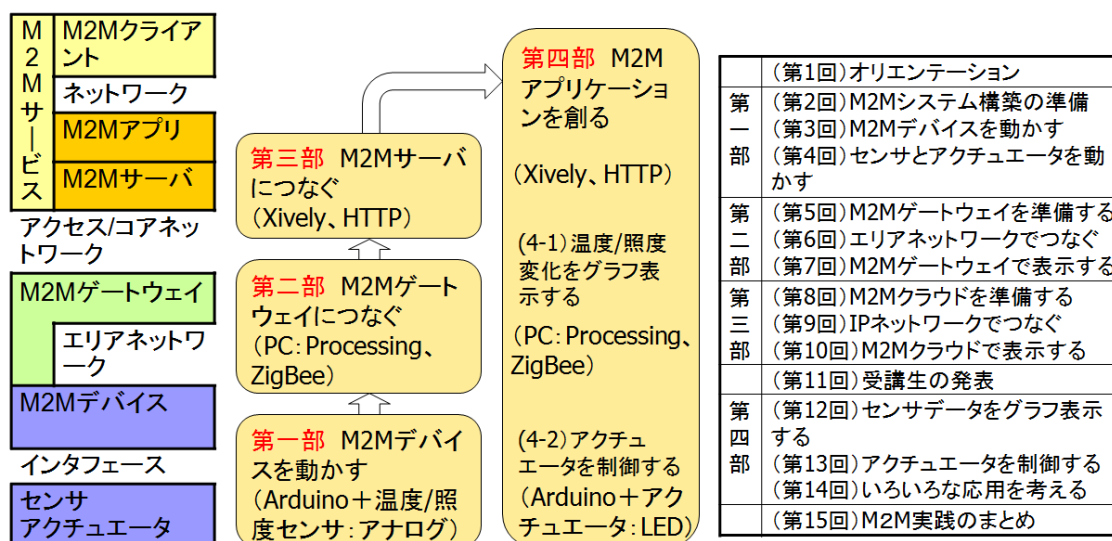


図 16 M2M/IoT システム入門編の演習カリキュラム

デバイスから M2M ゲートウェイにセンサからの測定値を送信する。M2M ゲートウェイでは、センサからの測定値を一定の周期で読み込み、表示画面上に測定値を表示する。

第三部の「M2M サーバにつなぐ」では、アクセス/コアネットワークを介して M2M サーバが提供する API を使用して、M2M ゲートウェイからオープンクラウドの M2M サーバにセンサの測定値を格納する。M2M サーバが提供するグラフ表示機能で測定値のグラフ表示をおこなう。

第四部の「M2M アプリケーションを創る」では、2つのアプリケーションを作成する。1つ目は、M2M サーバが提供する API を使用して、M2M サーバから指定した期間のセンサの測定値を読み出して時系列にグラフ表示を行うアプリケーションである。2つ目は、センサからの測定値があらかじめ設定されたトリガ条件を満たした時に、M2M デバイスのアクチュエータを制御するアプリケーションである。

(1) システム構成とデータの流れ

図 17 に入門編の全体のシステム構成とセンサからのデータの流れを示す。

M2M デバイスにはフィジカルコンピューティングの分野で草分けとして最も良く使われているオープンハードウェアの Arduino¹¹⁾を利用している。M2M ゲートウェイとしては 24 時間稼働する Linux マシンが想定されるが、初心者でもシステム構築やデバッグを容易にするために、入門編では PC と容易にビジュアルな表示やイベント処理を行える Processing²²⁾を利用している。M2M サーバには、制約のある範囲内で無償で使える Xively (元 Pachube)²³⁾を利用している。また、センサはアナログセンサの温度センサと照度センサの 2 種類に、アクチュエータはとしてデジタル出力 (on/off) と PWM 出力に対応した LED に絞り込んでいる。

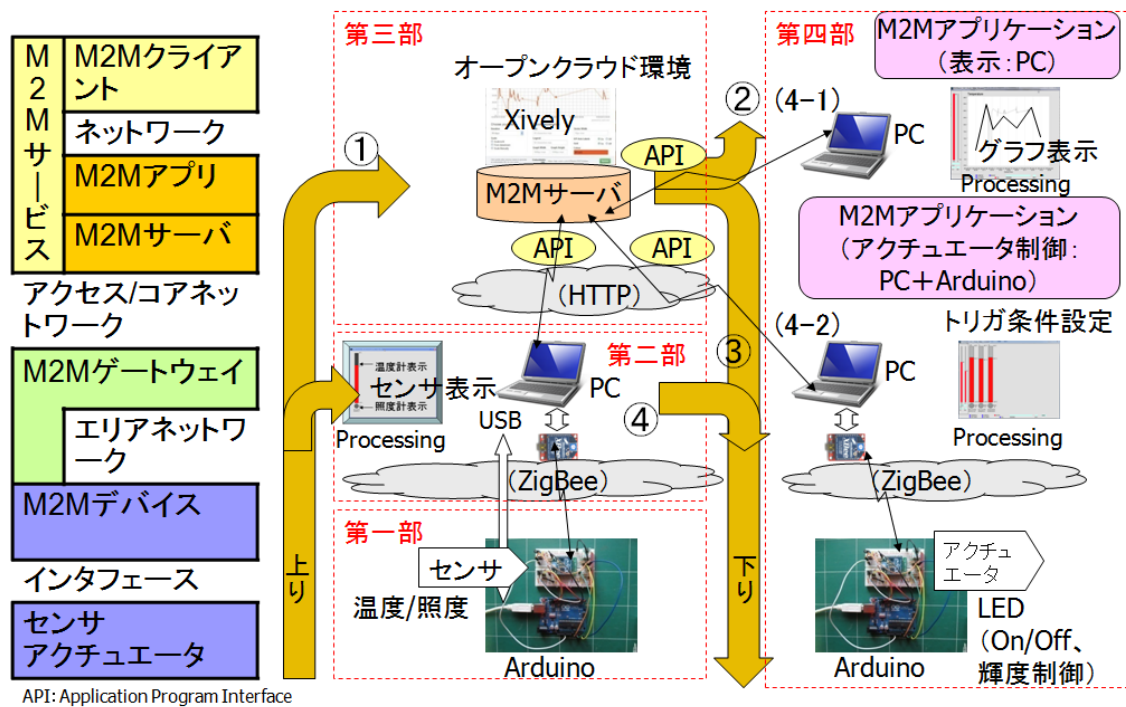


図 17 入門編のシステム構成とデータの流れ

エリアネットワークには低消費電力でメッシュネットワークを構成可能な ZigBee³³⁾ を、アクセス/コアネットワークでは IP ネットワーク (HTTP/HTTPS) を利用している。

図 17 の①のパスでは、M2M デバイスに接続されたセンサ（温度，照度）のデータがアナログデータであるので，Arduino で AD 変換によりデジタルデータに変換し，さらに測定値に換算して，M2M ゲートウェイ経由 M2M サーバである Xively に蓄積する．②のパスでは，M2M サーバの Xively に蓄積されたセンサデータを読み出し，M2M クライアントである PC でグラフ表示する．③のパスでは，M2M サーバの Xively から読みだした最新のセンサデータに対して，M2M ゲートウェイで指定したトリガ条件に基づいて判定を行い，M2M デバイスに接続されたアクチュエータを制御する．例えば，蓄積された最新の温度が指定した値より大きい時に，警告として LED を点灯することができる．④のパスでは，M2M デバイスからのセンサデータに対して，M2M ゲートウェイで指定したトリガ条件に基づいてリアルタイムで判定を行い，M2M デバイスに接続されたアクチュエータを制御する。

(2) アプリケーションの概要

今回の M2M システム入門編で提供するアプリケーションは，センサデータをいろいろな形で表示（見える化）する機能と，時々刻々収集されてくるセンサデータをあらかじめ設定したトリガ条件を満足するか判定してアクチュエータを制御する機能である。

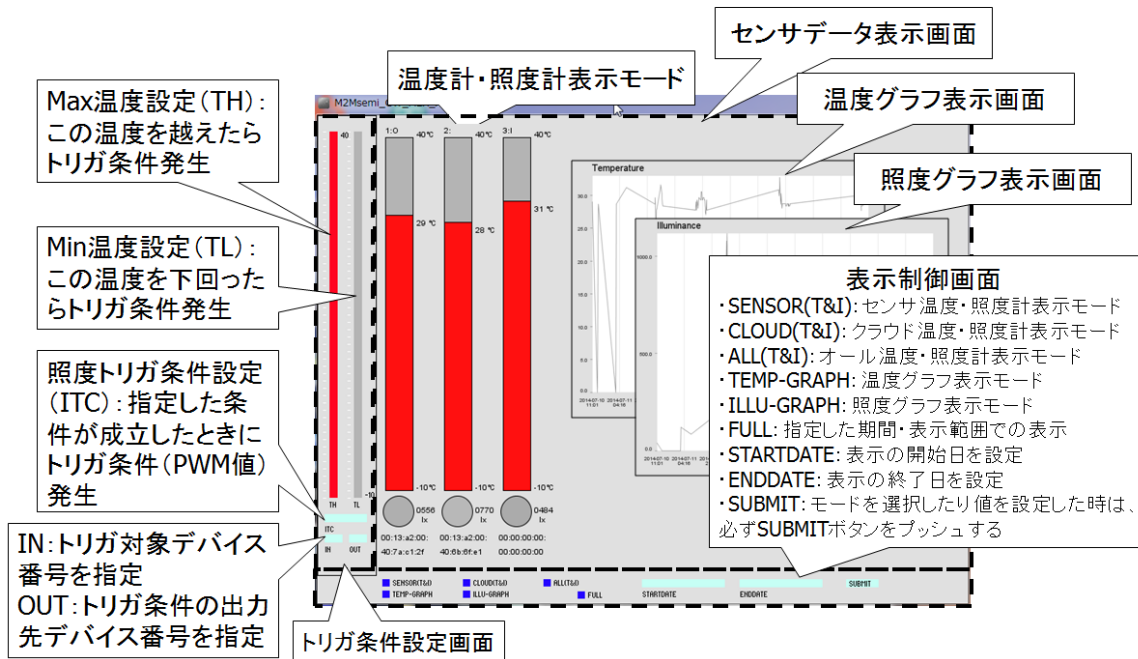


図 18 表示機能とトリガ条件設定機能

これらの機能は図 18 に示す M2M ゲートウェイの制御画面上で選択し、パラメータを設定することができる。

表示制御画面で表示したいセンサや表示モードを指定することができる。温度計・照度計表示モードでは、M2M デバイスからのセンサデータおよび M2M サーバからのセンサデータをビジュアルに表示する。温度グラフ表示モードや照度グラフ表示モードでは、M2M サーバに蓄積されている指定した期間のセンサデータを時系列的にグラフ表示する。トリガ条件設定画面では、どの M2M デバイスまたは M2M サーバからのセンサデータを対象にするかを選択 (IN) し、トリガ条件が成立した時にどの M2M デバイスのアクチュエータを制御するかを選択 (OUT) することができる。

温度に関するトリガ条件設定では、上限の温度と下限の温度を設定することができる。温度センサの値が、上限の温度を越えた場合または下限の温度を下回った場合に、デジタル出力によりアクチュエータである Arduino 内蔵 LED を警告として点灯する。

照度に関するトリガ条件設定では、照度に関するいろいろなトリガ条件を設定することができる。トリガ条件の判定に基づいて、アナログ (PWM) 出力に基づいてアクチュエータであるブレッドボード上の外部 LED の輝度を制御する。例えば上限値を超えたり下限値を下回った場合にフルで点灯したり、照度データに応じた輝度で表示したりすることができる。

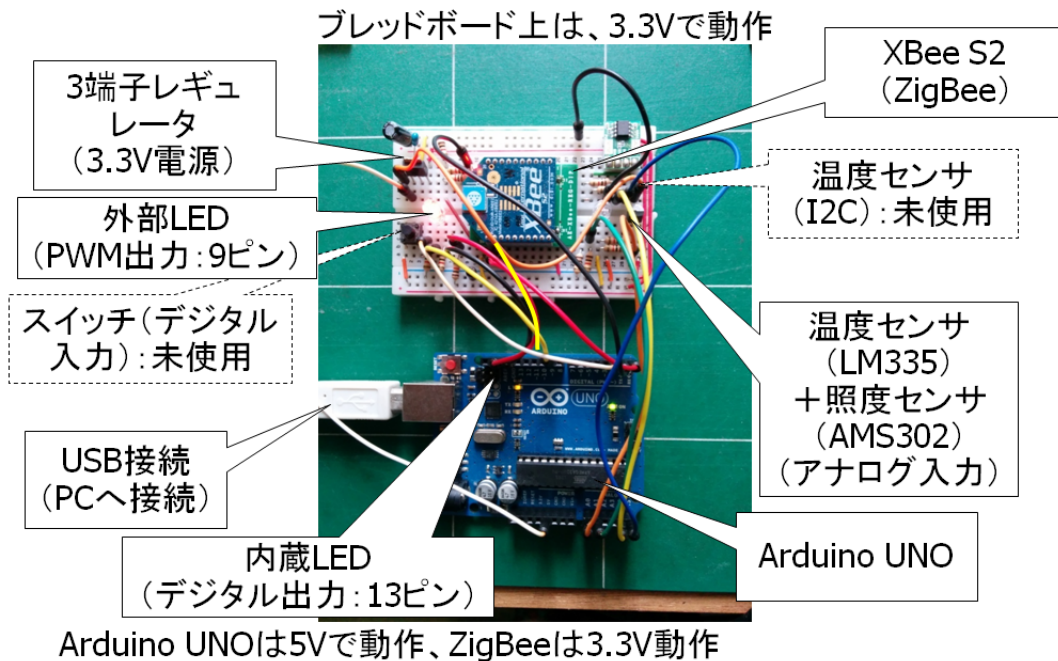


図 19 M2M デバイスの実装例

(3) 実装例

M2M システム入門編の M2M デバイスの実装例を図 19 に示す。

M2M デバイスは、Arduino UNO 基板と、温度センサ、照度センサ、アクチュエータとしての外部 LED, ZigBee ネットワークを司る XBee モジュールなどを搭載したブレッドボードから構成されている。部品間や基板間の接続は、ジャンパー線により半田ゴテを使わずに行うことができる。

4.3. M2M/IoT システム応用編への展開

入門編では、はじめてこの分野を学ぶ人のために、必要となる技術をステップバイスステップで、容易に理解しながら、システムを構築していけるように構成している。本格的にいろいろな分野で応用しようとする場合には、十分対応できないところがある。この入門編により M2M/IoT システムを理解することにより、図 20 に示すように、応用分野に応じて以下の部分をそれぞれ拡張して、新しい M2M/IoT システムを構築することが可能になる。

- ・ M2M デバイス：応用目的に応じて、各種のセンサや各種アクチュエータを接続する。
入門編ではセンサとのインタフェースにアナログ I/F のものを使ったが、アナログでのわずらわしさを避けるためにデジタル I/F (1-Wire, I2C, SPL) のセンサの利用も有効である。

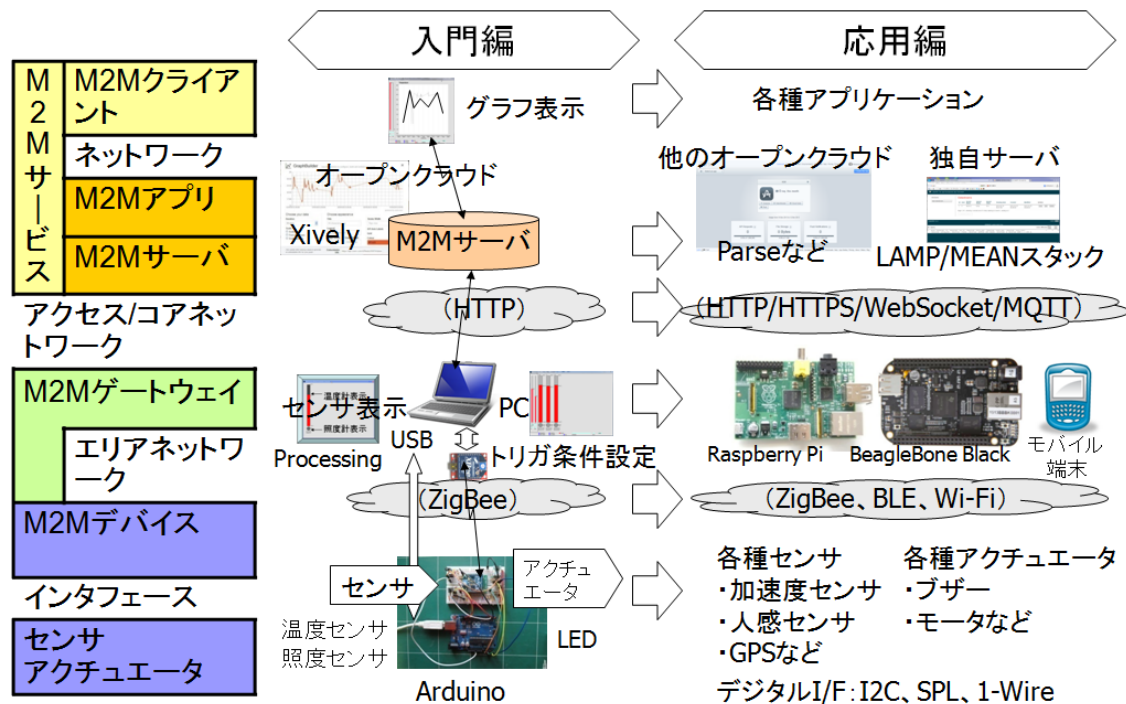


図 20 応用編への展開

- ・ M2M ゲートウェイ : PC の代わりに Raspberry Pi/BeagleBone Black やモバイル機器 (Android 端末など) を使用する。入門編で作成した Windows 上の Processing のプログラムは、Linux 上でも容易に動作させることができる。また、Processing には Android モードが設けられているので、Android への移植も可能と思われる。
- ・ M2M サーバ : 無料で使えるオープン M2M サーバは Xively 以外にも、Parse や AT&T 社の M2X など各種あり、目的に応じて使うことができる。また、独自のサーバとして、LAMP スタックや MEAN スタックを活用して M2M サーバを構築することもできる。この場合、PC の Windows 上に仮想マシン環境 (例えば VirtualBox など) を立ち上げてゲスト OS である Linux 上で独自 M2M サーバを立ち上げて使用することも可能である³⁵⁾。
- ・ エリアネットワーク : ZigBee 以外に、応用目的に応じて、Bluetooth、BLE、Wi-Fi を使用することが可能である。
- ・ アクセス/コアネットワーク (プロトコル) : HTTP は基本的にクライアント・サーバ形式の片方向通信型であるが、応用目的に応じて、双方向通信型の WebSocket や、パブリッシュ/サブスクライブ型の MQTT を使用することが可能である。

5. まとめ

M2M/IoT システムを普及させるには、効率よく実現できるための M2M/IoT システム構築環境の整備・普及と技術者教育の充実が必要である。オープン化と標準化の成果を活用して、オープン環境による M2M/IoT システムをより充実させることにより、今後とも M2M/IoT の発展に寄与していく所存である。

なお、M2M/IoT システムの入門編については、サイバー大学 IT 総合学部のゼミナールの学生に使っていただき、改善を図ることができ、ご協力に感謝いたします。

参考文献

- 1) 辻秀一, 澤本潤, 清尾克彦, 北上真二:「M2M (Machine-to-Machine) 技術の動向」, 電気学会論文誌 C, vol.133, No. 3, pp.520-531 (2013)
- 2) マイケル E. ポータ, ジェームズ E. ヘプルマン:「IoT 時代の競争戦略」, Harvard Business Review 2015 年 4 月号, ダイヤモンド社 (2015)
- 3) 日経 BP ムック:「わるわかりインダストリー4.0 第4次産業革命」, 日経 BP 社 (2015)
- 4) 清尾克彦:「M2M (Machine to Machine) 技術の動向と応用事例」, サイバー大学紀要第5号, pp.1-22, (2013)
- 5) 清尾克彦, 渡辺透, 山本森樹, 北上真二, 三浦恵太:「M2M クラウドプロトタイプ開発の概要と取り組み事例」, 平成25年度電気学会 C 部門北見大会. pp. 239-240 (2012)
- 6) 清尾克彦:「オープン環境による M2M システム構築の動向」, 平成26年電気学会 C 部門島根大会, pp. 505-508 (2014)
- 7) 清尾克彦, 辻秀一, 三井浩康, 中西美一:「スマート社会を支える M2M システム技術の最新動向-M2M システム構築技術-」, 平成27年電気学会全国大会, Vol. 3, 3-S14(11)-(14) (2015)
- 8) 川本大功:「オープンデザインにおけるインセンティブ設計としてのコモンズライセンスの提案~Fab Commons~!」, 2011 年度 新保史生研究会 卒業プロジェクト 研究成果「Fab Commons」, <http://halu9.com/file/fabcommons1.pdf>
- 9) 総務省:「ユビキタスセンサーネットワーク技術に関する調査研究会ー最終報告書概要」, 平成16年7月
- 10) 無線センサネットワーク MOTE: <http://www.xbow.jp/01products/index.html>
- 11) Arduino: <http://www.arduino.cc/>
- 12) mbed: <https://mbed.org/>
- 13) Raspberry Pi: <http://www.raspberrypi.org/>
- 14) BeagleBone Black: <http://beagleboard.org/BLACK>
- 15) Edison: <http://www.intel.co.jp/content/www/jp/ja/do-it-yourself/edison.html>
- 16) Eclipse IoT プロジェクト: <http://iot.eclipse.org/>

オープン環境による M2M/IoT システム構築の動向と取り組み事例

- 17) 猿渡俊介, 鈴木誠, 大原壮太郎, 南正輝, 森川博之:「無線センサネットワークにおけるオペレーティングシステムの研究動向」, 東京大学先端科学技術研究センター森川研究室技術研究報告書, No. 2008003 (2009)
- 18) Muhammad Omer Farooq and Thomas Kunz :「Operating System for Wireless Sensor Networks:A Survey」, Sensors 2011, 11, 5900-5930,
<http://www.mdpi.com/1424-8220/11/6/5900>
- 19) Philip Levis :「Experiences from a Decade of TinyOS Development」, Proceeding OSDI'12 Proceedings of the 10th USENIX conference on Operating Systems Design and Implementation Pages 207-220,
<https://www.usenix.org/system/files/conference/osdi12/osdi12-final-183.pdf>
- 20) Contiki : <http://www.contiki-os.org/>
- 21) Node.js : <https://nodejs.org/>
- 22) Processing : <https://processing.org/>
- 23) Xively : <https://xively.com/>
- 24) M2X : <https://m2x.att.com/>
- 25) Parse : <https://parse.com/>
- 26) IFTTT : <https://ifttt.com/>
- 27) Zapier : <https://zapier.com/>
- 28) Z. Shelby, S. Chakrabarti, and Cisco Systems:「Neighbor Discovery Optimization for Low Power and Lossy Networks (6LoWPAN) draft-ietf-6lowpan-nd-18」, IETF 6LoWPAN Working Group (2011)
- 29) Z. Shelby, K. Hartke, C. Bormann, and B. Frank:「Constrained Application Protocol (CoAP) draft-ietf-core-coap-08」, IETF CoRE Working Group (2011)
- 30) RFC6455-The WebSocket Protocol 日本語訳 :
http://www.hcn.zaq.ne.jp/___/WEB/RFC6455-ja.html
- 31) MQTT : <http://mqtt.org/>
- 32) IEEE1888(FIAP) : <http://www.gutp.jp/fiap/>
- 33) ZigBee Alliance : <http://www.zigbee.org/>
- 34) Wi-SUN Alliance : <http://www.wi-sun.org/>
- 35) 清尾克彦:「仮想実験環境による組込みシステム教育演習の取り組み」, サイバー大学 e ラーニング研究第 3 号, pp.1-14 (2014)

沖縄県離島の小中学校における オンライン型 e-ラーニングによる 教育格差是正への取り組み

勝 眞一郎¹

1. 離島における人口減少と地方創生

日本には、6,852 の離島が存在し、そのうちの 481 島が人の住む有人離島である¹⁾。そのなかでも、外洋に面している島々は、個性豊かな自然環境や文化、歴史を有するばかりでなく、国の領海、領空、排他的経済水域（EEZ）の保全を行なう観点からも注目されている。

しかし、多くの島々は政治や経済の中心地からは遠く、移動に時間がかかるうえに、人口の少なさから受けられるサービスも限られるという特徴がある。

離島の人口は、昭和 30 年を 100 とすると、全国では平成 17 年に 142 と約 4 割増加しているのに比べ、離島振興法対象の 257 の島では 45 と 5 割以上も減少している（図 1）²⁾。こうした中で政府は、国全体の少子高齢化、人口減少、さらには東京集中によって消滅自治体が増加するという日本創生会議による警鐘もあり、現在地方創生に取り組んでいる。人口減少に伴う様々な問題のうち特に義務教育に関する問題は、縮図ともいえるべき離島部で既に現れている。

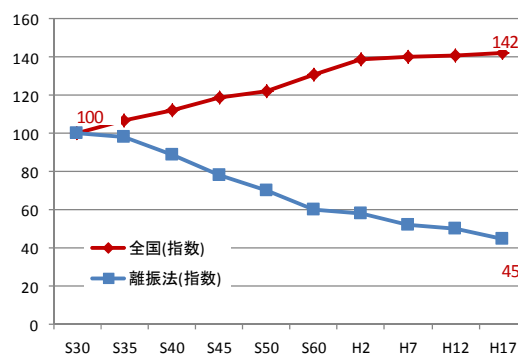


図 1 離島における人口減少

¹ サイバー大学 IT 総合学部・教授

2. 離島における小中学校の役割

離島に限らず，地方における小中学校の役割には，次の三つがある。一つ目は，義務教育機関の場としての役割。地域に就学対象の児童・生徒がいれば，通うべき小中学校が設置されていなくてはならない。二つ目は，地域のコミュニティ形成の場としての役割。小中学校があると，入学式，卒業式，運動会など地域住民が一体となって集まる機会ができる。家族の中の子供という存在だけでなく，地域の中の子供という存在になる。小中学校が休校になった離島の地域に行くと，子供の声がせず，地域の方々も年に数回開かれるお祭りだけがコミュニティで顔を合わせる行事となり寂しさを感じる。そのお祭りも高齢者ばかりになると徐々にその回数は減っていく。

そして最後の三つ目が地域防災の場としての小中学校である。小学校の通学圏というのは通常歩いて通える距離にあり，それは住民が一か所に集まることができる空間的な広がりとはほぼ一致する。災害発生時に体育館が利用できるのは，小中学校が運営されているときであり，休校がしばらく続くと建物自体が傷み，避難場所としては使えないことが多い。

このように地域に小中学校が無くなることは，地域の衰退にとどめを差すことに等しい。他方，当の小中学生にとっては，集団で学ぶことによる社会性の醸成や，競争心の育成，複式学級による学習スピードの遅れなど少人数教育の弊害も懸念される。小中学校を運営する都道府県も，教員の配置，校舎の維持管理で厳しい財政を圧迫する要因の一つと捉えるむきもある。

筆者が訪れた奄美群島の与路島（人口 103 人：平成 22 年現在）にある与路小中学校は，2014 年度まで小学生 1 名中学生 2 名の合計 3 名であったが，島外からの留学生が 2015 年度 6 名増え，一気に島が活気づいたと伺った（図 2）。



図 2 瀬戸内町立与路小中学校

3. 国の小中学校統廃合の指針

平成 27 年 1 月 27 日、文部科学省は「公立小学校・中学校の適正規模・適正配置等に関する手引」（以下、手引と称する）を全国の都道府県知事、教育委員会、並びに国公私大学長宛てに通知した³⁾。

手引において、「学校教育においては、児童生徒が集団の中で、多様な考えに触れ、認め合い、協力し合い、切磋琢磨することを通じて一人一人の資質や能力を伸ばしていくことが重要であり、小・中学校では一定の集団規模が確保されていることが望まれます。」として、一定数が確保されない小中学校の存在は望ましくないという方針を改めて打ち出した。平成 14 年から平成 20 年までの間に全国の離島の小学校の 11%（42 校）、中学校 9%（21 校）が廃校になった。今回の手引により、この流れが加速することと思われる²⁾。

特に近年の家庭及び地域社会における子供の社会性育成機能の低下や少子化の進展が中長期的に継続することが見込まれること等を背景として、学校の小規模化に伴う教育上の諸課題がこれまで以上に顕在化することが懸念されるとしている。

文部科学省は、設置者である各市町村に対して、それぞれの地域の実情に応じ教育的な視点から少子化に対応した活力ある学校づくりのための方策を継続的に検討・実施していくことを求めている。その方策としてまず学校の統廃合をあげ、そうでない場合には小規模校のデメリットを克服する策を実施し、学校を存続させるとしている。

後者の小規模校のデメリットを克服する方策の一つが、今回取り上げるオンライン型の e-ラーニングを活用した教育である。

4. 沖縄県の取り組み

4.1. 平成 26 年度の取り組み

県内に多くの離島を抱える沖縄県では、平成 26 年度の事業として「ICT 利活用による離島学力向上支援実証事業」を実施した。離島地域における小中学校の課題は、複式学級による学習スピードへの影響や、補習に役立つ学習塾の不在などがある。

離島における公営学習塾の先進的な取り組みとしては、島根県隠岐郡海士町の「隠岐國学習センター」がある。学校と公営塾が連携を取り子どもたちの学力を伸ばし、地域に活気をもたらしている。公営とはいえ塾が公立の学校とお互いに力を合わせるスキームの実現は、教育委員会や学校側の抵抗が強く簡単ではなかったと海士町の山内町長に伺った。

沖縄県では県が実証実験という形で主導をとり、株式会社フィオレ・コネクションの提供する「東大 NET アカデミー」というインターネットを使ったしくみを使い、渡嘉敷島、座間味島、波照間島の児童生徒を対象として塾の運営を行なった。

平成 26 年度の取り組みとしては、東京の講師と島の塾をインターネットで結び、学校で行われている複式学級ではなく 3 離島の同じ学年を同時につないだ 1 クラスの体制で、

学校の授業を補習するという形で行った(図3)。

筆者は、実際に講師がいる本郷(東京)の教室から3拠点の授業風景を見学したが、それぞれの教室が仮想空間によってつながっている感覚があり、競争心が芽生えるという目的が達成できていると感じた。

3 拠点の児童生徒たちは、県の体育大会などで顔を合わせることもあるらしく、まったく知らない人ではなく、ある程度の面識があるということであった。

複数拠点で同時に受講できることは、競争意識を芽生えさせ、高度な教育が同時に受けられるだけでなく、授業料が分割できるメリットがある。90 分間の授業で仮に2 万円の授業料であった場合、1 拠点当たり6,700 円となり、児童生徒が3 人であれば約2,000 円となる。町村が公営塾という形で負担をし、教材費などを本人が負担するケースが多い。

効果測定は、全国模試を手掛ける育伸社の模試をプログラム開始時の平成26 年10 月と平成27 年1 月に受験して行っている。結果としては、偏差値が小学5 年生から中学2 年生まで軒並み向上しており、大きな成果があったとみることができる。さらに、児童生徒からの感想で「学習が楽しくなってきた」というコメントに見られるように、今後の継続に対しても前向きな感想が多かったのが特徴である⁴⁾。

4.2. 東大 NET アカデミーのしくみ

東大 NET アカデミーを運営する株式会社フィオレ・コネクションの松川來仁社長は、東京大学出身で医薬系企業に勤めた後、2010 年に同社を起業している。自分が生まれ育った沖縄県が全国学力ランキングで最下位であったことにショックを受け、「将来ある子どもたちの学ぶ『才能』を埋もれさせたくない」と事業を立ち上げた。

特に小中学校では、学習に集中させることも重要であることからオンライン双方向型の塾「東大 NET アカデミー」の仕組みを作り上げた。ネームバリューのある東京大学の現役学生を講師として迎えることで、「東京大学を身近に感じて、自分も行ってみたいと思わせたかった」という子どもたちのモチベーションを考えていた。

講師側の東大生も地域の教育に携わりたい、ネットを使った新しい教育スタイルに取り組みたいという意欲的な学生が集まり、日々ノウハウを蓄え、自分たちの研修も盛んに行っている。

東大 NET アカデミーでは、時間割を組み、9 つのブース(平成27 年6 月現在)から全国の地域の児童生徒に教えている。沖縄県だけでなく、徳島県、島根県の中山間地域の行政を交えたしくみで塾を展開している。

児童生徒個別の学習履歴や回答状況などを把握する履歴システムも備え、現地のサポーターと協働で個別のアドバイスもできる体制としている。実際に授業を参観すると、子どもたちの下の名前を指名して複数拠点がまるで1 つの空間のように一体感のある運営がされている。

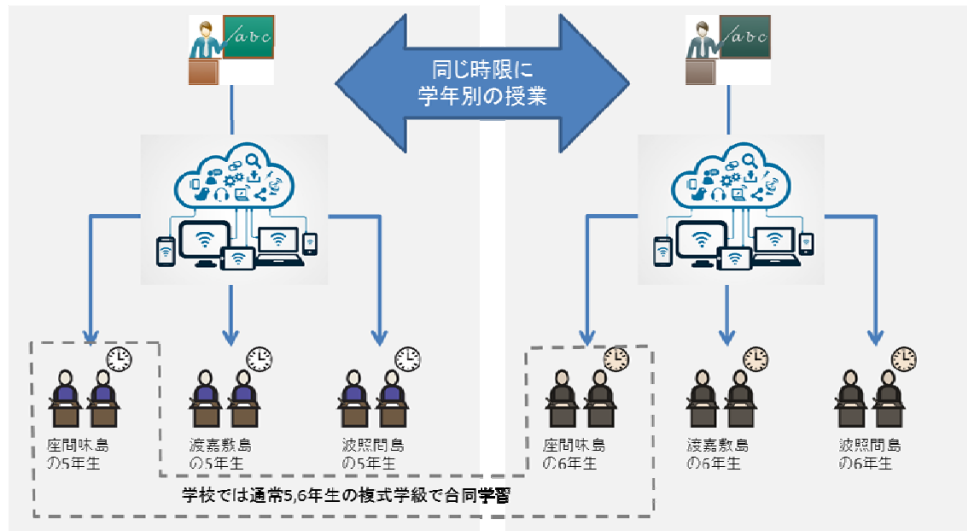


図3 東大 NET アカデミーによる学年別指導

4.3. 今年度の取り組み

沖縄県では、平成 27 年度の取り組みとして、平成 26 年度の成果を評価し、さらに先に示された文部科学省の統廃合に関する手引を念頭に、少人数学校の不利性を除去する策として、近隣の島を結んで一つのクラスとする塾のゾーンモデルの検証に着手している。平成 26 年度に実施した島に加えて新しく 2 島（3 地域）を加える予定である。

慶良間地区としては渡嘉敷島、座間味島、阿嘉島。竹富地区としては西表東部、西表西部、波照間島での導入を計画している。

行政区や隣り合う島々を一つのクラスにすることで、仮想空間上では一体感が生まれてくるものと考えられる。さらには運動会などの地域行事が合同で出来れば将来的な地域連携の基礎作りにも貢献できる可能性がある。既にいくつかの離島では、少人数の近隣の小学校が合同で修学旅行をしている小学校もあり、学校間連携も密になってきている。

5. 最後に

平成 25 年度より、沖縄県企画部地域・離島課による沖縄離島 ICT 利活用のシンポジウムに参加させていただいている。パネリストやコーディネータとしてかかわる中で、地域の不利性を ICT の利便性で克服し、さらにメリットをもたらす姿を多く見てきた。東大 NET アカデミーの取り組みは、子どもたちの学力向上だけでなく、地域と親たちの学習に対する姿勢を積極的にさせているように見受けられる。また、東大に通う講師たちの側も地域に対する理解と教育の面白さを味わう良い機会になっているとのことであった。

今後も沖縄だけでなく、全国の離島で高い学習機会と地域の豊かな生活を両立できる姿が実現されることは、e-ラーニング研究の立場からも期待が大きい。

注および参考文献

- 1) 公益財団法人日本離島センター「しましまネット」
<http://www.nijinet.or.jp/info/faq/tabid/65/Default.aspx> (2015/6/20 確認)
- 2) 国土交通省国土政策局離島振興課「離島の現状について」2013
<http://www.mlit.go.jp/common/000190753.pdf> (2015/6/20 確認)
- 3) 文部科学省「公立小学校・中学校の適正規模・適正配置等に関する手引の策定について(通知)」
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/shugaku/detail/1354768.htm (2015/6/20 確認)
- 4) 株式会社ドリーム・アーツ沖縄, 株式会社フィオレ・コネクション, 沖縄セルラー電話株式会社協働企業体「ICT利活用による離島学力向上支援実証事業報告書」
<http://ok-islands-ict.net/2014/files/150206/150206SLIDE02.pdf> (2015/6/20 確認)

履修継続率向上のための学習履歴を基にした 学習者分類にむけて

米山 あかね¹

要 旨

学生が e-Learning で容易にドロップアウトしてしまわないよう、学生の学習状況を踏まえた上で学習者分類を行い、その分類に適した形で学習指導を行うことにより、効率性と効果を向上させることができると考えられる。本稿では1年次必修科目を受講した新入生を対象に、受講状況によって簡易的な分類を行い、それぞれについて GPA で示された成績分布および翌学期の履修継続率を抽出した。その結果、課題をほぼ全て提出し、遅刻も少ない学生は全体的に成績も良好であり、翌学期の履修継続率も高いことが示された。

1. はじめに

e-Learning には、授業受講の場所や時間が自分で選択することができるという利点があるものの、一方で教員と学生、学生同士での直接的なやりとりが限定されるため、孤立した学習になりがちで、少しの躓きで容易にドロップアウトしてしまう傾向にある。学生には早期に学習習慣を身につけさせ、途中離脱させずに卒業まで導くとともに、学生が容易くドロップアウトしないような仕組みを構築することが求められる。

米国における e-Learning では、授業形態として受講の開始時期と修了時期を定めたコホートベースモデル (Cohort-based model) が取り入れられており、個々の学生のペースで学習する従来の e-Learning よりも修了率が高いと報告されている¹⁾。このコホートベースモデルを導入することにより、「同じ学習内容を同時期に学習者が進めるため、学習者に対する支援を効果的かつ効率的にできる。学習者間のコミュニケーションでも同じテーマに対しての議論を活性化できる利点もある」と期待されている²⁾。

すべての授業を e-Learning で行っているサイバー大学においても、授業の基本モデルはコホートベースモデルを採用しており、各回の授業において「出席認定期間」を定め、その期間を過ぎると「遅刻」になるようにしている。「遅刻」は本学において例年7割を超える社会人学生の受講機会を考慮して設定しており、「出席認定期間」を過ぎても課題提出を受け付けることによりモチベーションの低下を低減する一方、「遅刻期間」内の課題提出は通常1割程度の減点措置を講ずることにより、「出席認定期間」中に課題提出することへ

¹ サイバー大学 IT 総合学部・助教, インストラクショナルデザイナー

のインセンティブとなっている。大半の受講生は「出席認定期間」内に課題の提出を行うが、各科目の各課題で 5～10%程度の学生は「遅刻期間」内に課題提出を行っており、中には「遅刻」が度重なった末にドロップアウトする学生や、「遅刻期間」にも間に合わず課題を提出できず、大学からもドロップアウトしてしまう学生もいる。これらの学生の学習状況を把握することに加え、ドロップアウトを未然に防ぐために、学習指導に役立つような学習者分類が必要である。

本稿では、学生の学習履歴を基に受講者を分類し、「遅刻」や課題未提出とドロップアウトとの関係性について報告を行う。

2. サイバー大学の学習支援・指導体制

サイバー大学の学習支援を行う人員としては、「科目内での学習支援を行うティーチングアシスタント (TA)」と「科目横断的に支援を行うラーニングアドバイザー (LA)」が配置されている³⁾。教員と TA は担当科目の質問対応等の学習指導のほか、受講が停滞している学生にメール等を使用して働きかけを行い、LA は主に受講が停滞している学生に電話による働きかけを行っている。

2012 年度春学期までは、各科目担当の教員と TA、および LA が個別に学習支援を行ってきたが、2012 年度秋学期以降は、1 年次必修科目「スタディスキル入門」が新設されたため、新入生の学習指導は「スタディスキル入門」の担当教員および TA により統一的かつ重点的に行われるように改善されている。また、全学生への働きかけについては、教員、LA、TA で「学生カルテ」を共有することにより、重複すること無く行っている。

3. 新入生の学習履歴による分類

2013 年度秋学期に「スタディスキル入門」を受講した新入生 105 名を対象に、受講状況の履歴から学生の分類を行った。「スタディスキル入門」は 1 単位科目であり、約 2 ヶ月の授業期間内に 10 個の課題を学生に課している。これら 10 個の課題の提出状況から、A 群：課題をすべて提出し「遅刻」も無かった群、B 群：1, 2 個「遅刻」で提出、あるいは 1, 2 個提出できなかった群、C 群：3 個以上「遅刻」あるいは未提出だった群、D 群：すべての課題を未提出だった群、の 4 つのグループに分類した。

4. 結果

3 で分類した 4 群について、それぞれ「スタディスキル入門」合格率、当該学期 (2013 年度秋学期) の GPA (Grade Point Average)、翌学期 (2014 年度春学期) の履修継続率の状況を表 1 にまとめた。「スタディスキル入門」は A 群・B 群のすべての学生が合格したが、C 群は 7 割強が合格、D 群は全員不合格であった。GPA については、非常に優秀と

履修継続率向上のための学習履歴を基にした学習者分類にむけて

考えられる 3.5 以上の学生の占める割合が A 群では 7 割を超え、B 群は 5 割、C 群は 1 割、D 群は 0 割と非常に少ない。一方で、C 群は 1.5 以下が 8 割を超え、D 群はすべての学生が 1.5 以下という結果だった。これらの学生の翌学期の履修継続率は A 群・B 群が 9 割を超え、C 群・D 群は 7～8 割となった。

表 1 2013 年度秋学期「スタディスキル入門」を受講した新入生の学習履歴等情報 (n=105)

	人数	「スタディスキル入門」合格率	GPA				翌学期履修継続率
			3.5～4	3.0～3.49	1.5～2.99	0～1.49	
A群. 未提出なし・遅刻なし	56	100%	73%	16%	7%	4%	91%
B群. 未提出・遅刻あり(2個以内)	22	100%	55%	27%	14%	5%	91%
C群. 未提出・遅刻あり(3個以上)	23	78%	9%	4%	26%	61%	78%
D群. すべて未提出	4	0%	0%	0%	25%	75%	75%

5. まとめ

A 群は GPA が良好で翌学期の履修継続率も高く、B 群は遅刻減点の影響からか A 群より GPA は低い、A 群と同等の履修継続率となっている。B 群の学生については、一部遅れながらも、あるいは一部課題を出せなくても、適宜教員あるいは TA からの指導を受けつつモチベーションを維持して自分なりのペースで学習を継続できていると言える。一方、「遅刻」あるいは課題の未提出が多かった C 群は、学習指導を受けつつ 8 割弱の学生が「スタディスキル入門」の単位取得に至ったものの、他科目を受講するための時間確保が十分にできなかったことなどによる理由で、不合格となる科目数が増え、翌学期に履修を継続しなかったという学生が発生したと考えられる。D 群に関しては、教員、TA からの連絡に応じない、あるいは応じてでも全く課題を提出しなかった学生 4 名であり、検討を行うにはデータの蓄積を要する。

6. 今後の課題

学生には、課題未提出にならないようにすることはもちろんのこと、遅刻をできるだけ無くして安定的に学習を行えるように、早期に働きかけを行うことが必要だと考えられる。そのためにも、さらに継続して学生の学習データを蓄積するとともに、今後は各学生の年齢等の基礎情報や課題での取得点数等を含めて属性情報を収集し、個別の学習指導に役立てるための分類を検討していく必要がある。

注および参考文献

- 1) 長岡科学技術大学『メディア教育開発センター学習者等の視点に立った適切な e-Learning の

在り方に関する調査研究 報告書：文部科学省先導的大学改革推進委託』2007, pp. 4, 151.

2) 同上

3) 河内一了, 安間文彦, 芳賀瑛「全学的な学習履歴情報を用いた学習支援体制の構築」『日本教育工学会 2013 年第 29 回大会講演論文集』2013, p. 689.

本稿は, 2014 年 9 月 20 日に日本教育工学会第 30 回全国大会にて著者が発表を行った「履修継続率向上のための学習履歴を基にした学習者分類にむけて」の内容をまとめたものである。

e ラーニング研究 第4号

2015 年（平成 27 年）9 月 30 日 発行

発行者 サイバー大学

〒813-0017

福岡県福岡市東区香椎照葉 3-2-1

[URL http://www.cyber-u.ac.jp/](http://www.cyber-u.ac.jp/)

編 集 サイバー大学

