

IoTの技術動向について

日本電信電話株式会社 NTT ネットワークサービスシステム研究所 池邊 隆

抄録

Internet of Things (IoT) は、Machine-to-Machine (M2M) や Wireless Sensor Network (WSN)、Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA)、更には、ユビキタスコンピューティング、サイバーフィジカルシステム、といった分野で研究開発に取り組みられていた。様々な団体によってIoTの意味が定義されているが、統合すれば、“何らかの標準的な通信プロトコルによって、モノが一意のアドレスを持ち、相互通信可能な世界規模のネットワーク”である。IoTは特にビジネス的な面に注目が集まりがちだが、技術的には、世界規模での機器間の通信のあり方が起点になる。機器からクラウドまで非常に広範な分野に及ぶため、全貌を容易に理解することが困難である。本稿では、IoTの構成要素について示し、特にプラットフォームに着目した技術動向を説明する。

1 はじめに

今日私たちの日々の生活の中で接する機器の多くは、小型のプロセッサと有線や無線でネットワークに接続する機能を有している。身近な例であるスマートフォンでは、数多くのセンサ、アクチュエータと、コンピュータの機能を持っており、これら機器の性能は日々進展している。このような機能を持った機器は日々増加しており、全世界のセンサ数は今後10年間で1兆個を超えると予測されている¹⁾。IoTはこの超多数のネットワークに接続される機器により構成される。

IoTの機器の種類は多く、活動量計、スマートウォッチ、スマートグラス、機能性素材の衣類などのウェアラブル機器から、冷蔵庫やテレビ、ロボット掃除機、電子レンジ、エアコン、体重計、HEMSなどといった家庭内の機器、複合機、照明、監視カメラ、出入管理、電力管理、空調等のオフィス内の機器、更には、自動車、建設機械、工作機械、医療機器等、様々な産業に関わる機器を含む。

これら多様な種類の機器間が簡単につながり、相互に連携するために、IoTではスマートホーム、ヘ

ルスケア、エネルギー管理、保険等といったサービス領域毎にアプリケーション開発が進められている。これら領域について以下に事例を示す。

ヘルスケア領域では、ウェアラブル機器として活動量計などを身に着けることで、普段の生活行動の中から、歩数、移動距離、運動強度、睡眠状態等を記録し、さらに家庭内のIoT機器としての体重計からの体重や体脂肪率といった情報を記録することが可能である。加えてスマートフォン等から自身が摂取した食事の情報を記録し、これら情報を統合的に分析することで、カロリー収支、運動量、体重、体脂肪量の関係を把握や、更には、減量に向けた目標に対して摂取カロリーの目安や、運動を促すアプリケーションが開発されている²⁾。

保険領域では、車の走行履歴を取得する機器を車両の情報を収集可能なODB-IIポートに接続し、車両の固有情報や、エンジンの負荷情報、アクセス開度、エンジン冷却水温度、エンジン回転数、燃料使用量、速度等の情報を収集し解析することで、急ブレーキの頻度、運転距離、運転した時間帯といった運転特性情報を解析し、実際に運転した距離や、安全運転度合に応じて保険料を算出するアプリケー

1) Janusz Bryzek : “TSensors for Abundance, Internet of Everything and Exponential Organizations”, TSensors Summit Munich.

2) <https://www.fitbit.com>

ションが開発されている³⁾。

自動車運行業の領域としては、バスやトラックなどの運転手の疲労度を機能性素材等のセンサから取得できる生体データから推定し、一定以上の疲労度合いと推定された場合には運転手に対して休憩を促すアプリケーションが開発されている⁴⁾。

スマートグリッド領域としては、エネルギー供給制限の要求に応じたデマンドリスポンスとして、空調や照明などの動作モードをBEMS, HEMSを通じて自動的に制御するアプリケーションが開発されている⁵⁾。

スマートホーム領域では、接触センサで窓やドアの開閉検知や、人感センサとカメラによる動体検知を行い、これらで検出されたイベントを、不在時でもインターネットを介してスマートフォンへ通知を行うアプリケーションが開発されている⁶⁾。

建設機械の領域では、GPSや多数のセンサから位置情報、エンジンの燃費、温度、圧力、ポンプの温度、圧力などのデータを収集し、どのような稼働状況にあるのかを把握している。更にこれら収集されたデータを分析し故障の予兆を把握した保守を行うアプリケーションが開発されている⁷⁾。

上述したものは一例であり、これら以外にも数多くの事例が存在している。これらIoTサービスに特徴的な観点として、製品のサービス化(Product as a service)があげられる。これは、機器がネットワークに接続する機能を有することで、単に製品の価値を上げるだけでなく、付加的なサービスを提供することで、製品売り切り型のビジネスモデルから、サービス提供のビジネスモデルへ転換することである。

また機器がネットワークに繋がることで、従来は

時間とともに価値が減少する製品を、ソフトウェアを更新することで、製品価値を維持、またはより高めるといった効果もある。例えば、ネットワーク接続された一部の自動車では、自動運転といった機能をネットワーク経由のソフトウェア更新で追加することが可能になっている⁸⁾。当然ソフトウェアだけでなくハードウェアとしてその機能を実現するための要素があらかじめ具備されていることが前提ではあるが、従来固定的であった製品機能を、後のソフトウェア更新で追加することで、継続的に製品の魅力を高めることが可能になる。

2 IoTの基本

Internet of Things (IoT) の当初の定義はRFIDタグがモノをネットワークにつなぐ要素と考えられてきた⁹⁾。RFIDコミュニティにおけるIoTの定義は、“オブジェクトが一意のアドレスを持ち、標準的な通信プロトコルによって、相互通信可能な世界規模のネットワーク”と定義されている¹⁰⁾。European research cluster of IoT (IERC) のでは、“IoTは、人々とモノが、いつでも、どこでも、誰とでも、何とでも接続でき、いかなるネットワークとサービスを使用できるもの”と定義している¹¹⁾。ITUのIoTの観点も非常に似通っており、“いつでも、どこでも、誰にでも接続でき、何に対する接続性も持っている¹²⁾”ものとなっている。

これらの定義を統合すれば、IoTとは、“何らかの標準的な通信プロトコルによって、モノが一意のアドレスを持ち、相互通信可能な世界規模のネットワーク”となるだろう。IoTは特にビジネス的な面に注目が集まりがちだが、本来の意味としては、世

3) <https://www.progressive.com/>

4) https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/2016/05/10_00.html

5) <http://www.tepco.co.jp/corporateinfo/company/rd/superconduct/DR.html>

6) <http://panasonic.jp/hns/>

7) <http://www.komatsu-kenki.co.jp/service/product/komtrax/>

8) <https://www.tesla.com/>

9) Mohammad Abdur Razzaque, Middleware for Internet of Things : A Survey, IEEE INTERNET OF THINGS JOURNAL, VOL.3, NO.1, FEBRUARY 2016.

10) TE Commission, “Internet of Things in 2020”, <http://www.caba.org/resources/Documents/IS-2008-93.pdf>

11) P. F. Harald Sundmaeker, P. Guillemin, and S. Woelffle, Vision and Challenges for Realising the Internet of Things. Pub. Office EU, 2010, http://www.internet-of-thingsresearch.eu/pdf/IoT_Clusterbook_March_2010.pdf

12) IT Union, “ITU Internet report 2005 : The Internet of Things,” 2005.

界規模でのモノの通信のあり方が起点になる。

IoTという言葉で呼ばれる前は、Machine-to-Machine(M2M)やWireless Sensor Network(WSN)、Supervisory Control And Data Acquisition(SCADA)、更には、ユビキタスコンピューティング、サイバーフィジカルシステム、といった分野で研究開発に取り組まれていた。

IoTを構成する機器は、非常にリッチな性能を有する機器から、RFIDやNFCタグのように、通知を行うだけの性能が制約された機器まで存在する。これら機器がもつ個々の機能や性能はそれぞれ異なり不均質である。

加えてこれら機器は、1章で示したように、機器が相互に接続できることを主目的にしているわけではなく、機器本来の目的のための機能やサービスを提供することを目的として、それぞれの領域で発展してきている。これに昨今の小型のプロセッサとネットワーク機能の進展が融合し、コンピュータとしての機能を持つ形態が広まっている。

このような経緯から、これら機器が通信するための仕組みとして、それぞれの環境に適する数多くのプロトコルが開発されてきた。またそれらプロトコルを統合する複数のフレームワークが存在するため、IoTのようなユビキタスなコンピューティング環境では、様々な機器が使用する統一的な標準を作成することは困難である。

広大なスケールのネットワークに数多くの機器が

つながり、これら機器から自然発生的に数多くのイベントが発生し、機器の機能、性能、プロトコル、アプリケーションが不均質である事が、これら機器を相互につなげて有益なサービスを実現することを一層困難にしている。

2.1 IoTの構成要素

サービスによって構成形態は多様であるが、IoTは機器、ゲートウェイ、サーバという要素をもち、各要素間を繋ぐネットワークが存在している(図1)。個々の構成要素について以下に示す。

2.1.1 機器

IoT機器はその機能および性能が不均質である。機器の構成を大きく分けると表1のように分類できる。

機能や性能が制約された機器では、特定の通信プロトコルを用いて、定期的に情報を送信することだ

表1 IoT機器が備えている基本要素

| 基本機能 | 概要 |
|----------|-------------------------|
| センサ | 機器が観測または保持している値を読み取る機能 |
| アクチュエータ | 機器の動作を指示できる機能 |
| ネットワーク接続 | 機器が他の機器と情報のやり取りを可能にする機能 |
| コンピュータ機能 | 任意のプログラムを実行可能な機能 |

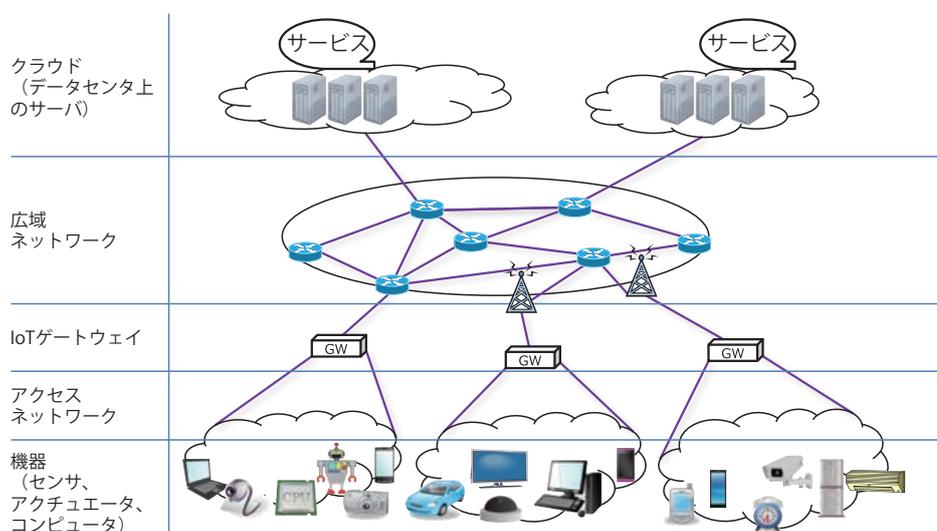


図1 IoTの構成要素

けに専念している機器もある。これはバッテリーや、プロセッサといったコンピュータ機能の制約からの場合もある。例えばRFIDやICカードのように、電源を持たず、リーダーからの電波をエネルギー源として動作するパッシブタイプのものであれば、スマートフォンのように、バッテリーを持ち、小さなコンピュータとして自由に任意のソフトウェアを入れて、センサ、アクチュエータを活用した様々な処理を行えるスマート機器も存在する。このように機器には制約されたものからリッチな性能を持つ機器までの不均質性を有しているのが特徴である。

2.1.2 ゲートウェイ

IoTゲートウェイは、主に物理層及びデータリンク層に多様なプロトコルを実装する機器群を、インターネットやプライベート網へ接続するためにプロトコル変換する装置である。ゲートウェイにコンピュータ機能を持たせるエッジコンピューティング¹³⁾と呼ばれるシステムも存在する。ゲートウェイが変換するプロトコルのうち代表的なものを表2に示す。

各無線プロトコルの通信速度および到達距離はそれぞれの動作モードによって変動する。速度および距離がトレードオフの場合もある。

より高速な通信速度や、到達距離を伸ばそうとすると、電力消費量が増加する。このため制約された機器では低速な通信速度と短い到達距離で使用する。

表2 IoTゲートウェイと機器間の代表的な無線プロトコル

| プロトコル | 概要 | 通信速度 | 到達距離 |
|--------|---|-------------|--------|
| Wi-Fi | 無線LAN, IEEE802.11ac等 | 最大6.9Gbps | 100m程度 |
| Wi-SUN | Wireless Smart Utility Network, IEEE802.15.4g | 1Mbps以下 | 500m程度 |
| BLE | 無線PAN Bluetooth Low Energy | 1Mbps | 30m程度 |
| LoRa | LoRaWAN 小電力無線を利用したWAN | 最大100kbps程度 | 10km程度 |

2.1.3 サーバ

IoTサービスのサーバには一般的なデータセンターが使用される。これに加えて、2.1.2節で示したようにエッジコンピューティングと呼ばれる、より機器に近い要素で処理を行うサーバも存在する。

2.2 IoTのプロトコルとプラットフォーム

図2にIoTの代表的なプロトコルについて示す。OSI参照モデルにおける物理層、データリンク層については、2.1.2節で示したように、機器によって多様なプロトコルが採用されており、それらを変換するためにゲートウェイが存在する。

ネットワーク層では、IPv6をベースとしたプロトコルが、トランスポート層ではTCP,UDPを用い

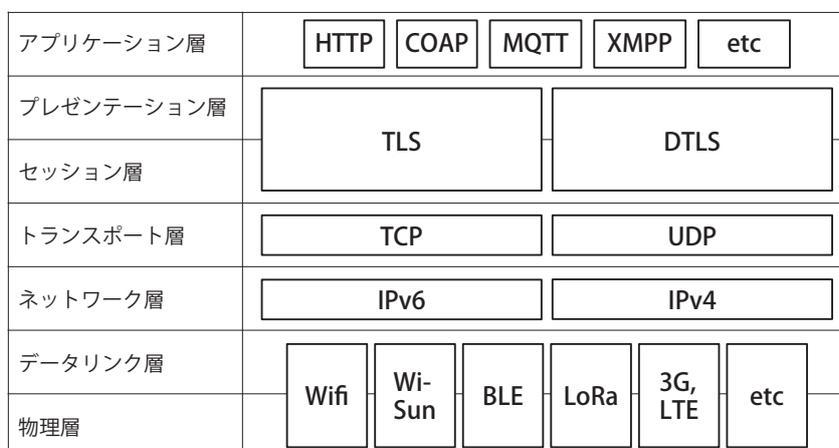


図2 代表的なIoTプロトコル

13) 田中裕之, 他, “IoT時代を拓くエッジコンピューティングの研究開発” NTT技術ジャーナル, vol.27, no.8, pp.59-63, Aug. 2015.

るケースが主流である。トランスポート層より上位の層ではCoAP, MQTT, HTTP, XMPP等のプロトコルが使用されている。これらプロトコルは、IoT機器とサーバ等に存在するアプリケーションプログラムとが通信するためのプロトコルである。

このようにIoTでは通信のプロトコルも多様であるが、サービスを構成する際には、機器とアプリケーションまでが通信可能となるように、それぞれの機能を開発していく必要がある。サービス毎に同様の機能を開発していくことは非効率であり、アプリケーションと機器間の接続を容易にするために、共通的に必要となる機能をプラットフォームとして標準化する活動も活発である¹⁴⁾。代表的なoneM2M¹⁵⁾及びOCF¹⁶⁾について説明する。

2.2.1 oneM2M

2012年7月に欧州、米国、アジアの主要な通信関連の標準化団体が連携して、M2Mのグローバル標準化を担う組織としてoneM2Mが発足している。oneM2Mでは業界ごとの垂直統合型であった、M2Mのサービスを共通プラットフォームの仕様化によって水平統合型に転換し、ハード、ソフトの共通化によるシステム全体の低コスト化、M2M機器を様々なアプリケーションから利用可能とすること、M2Mデータの相互流通を目的としている。

2.2.2 Open Connectivity Foundation (OCF)

OCFは数多くの機器が、メーカーやソフトウェア、チップセット、通信手段によらず相互に通信できることを目的に、共通的な仕様を作成している。加えて、OCFはオープンソースプロジェクトのスポンサーになっており、仕様をオープンソース実装として提供し、アプリケーション開発者や機器メーカーが、自由に使えるようにしている。OCFは従来Intelなどが中心となって組織したOpen Interconnect Consortium (OIC) と、Qualcommが設立したAllseen Allianceが統合して2016年に設立されている。

3 OCF技術仕様

IoTのプラットフォームが共通仕様化され、かつその仕様を満たすソフトウェアが容易に入手、活用できることで、機器メーカー、アプリケーション開発者が作成する機能を削減でき、相互運用性も増す。機器やアプリケーションの各プログラムは、プラットフォームが提供する機能を用いることで、下位層のプロトコルの差分を意識することなく、通信することが可能になり、今後はより多くの機器やアプリケーションが、プラットフォームを採用すると考える。本章ではOCFの技術仕様バージョン1.1について解説する。

3.1 アーキテクチャ

OCFでは機器間がメーカー等に関わらず、相互に通信し作用可能とするための手順を定めている。加えてアプリケーション領域毎にプロファイルを定め、各領域に特化した手順の定義を可能としている。

OCFでは多様な機器を相互運用可能とするために、機器が持つ情報や、その情報の意味を定義するコンフィギュレーションが記述可能である。また機器間に共通的にセキュリティを確保するための機構を備え、リッチな性能を持つ機器だけでなく、ウェアラブル機器のような制約された機器にも適用可能な機構を有している。

3.1.1 基本的考え方

OCFでは、物理的な世界に存在する機器、たとえば、温度センサ、電灯、家電などが、リソースとして表現される。これら機器への作用は、Representational State Transfer (REST) を採用している。各機器は状態の表示や制御のための要素をリソースとして持ち、これらリソースをUniform Resource Identifier (URI) を用い一意の識別子で公開する。URIはリソースに対してRESTfulな操作を可能にするインターフェースである。

14) 松井進, “IoTシステムの技術動向と実用化に向けた取り組み,” 電子情報通信学会論文誌 C Vol.J100-C No.4 pp.151-158, March 2017.

15) <http://www.onem2m.org/>

16) <https://openconnectivity.org/>

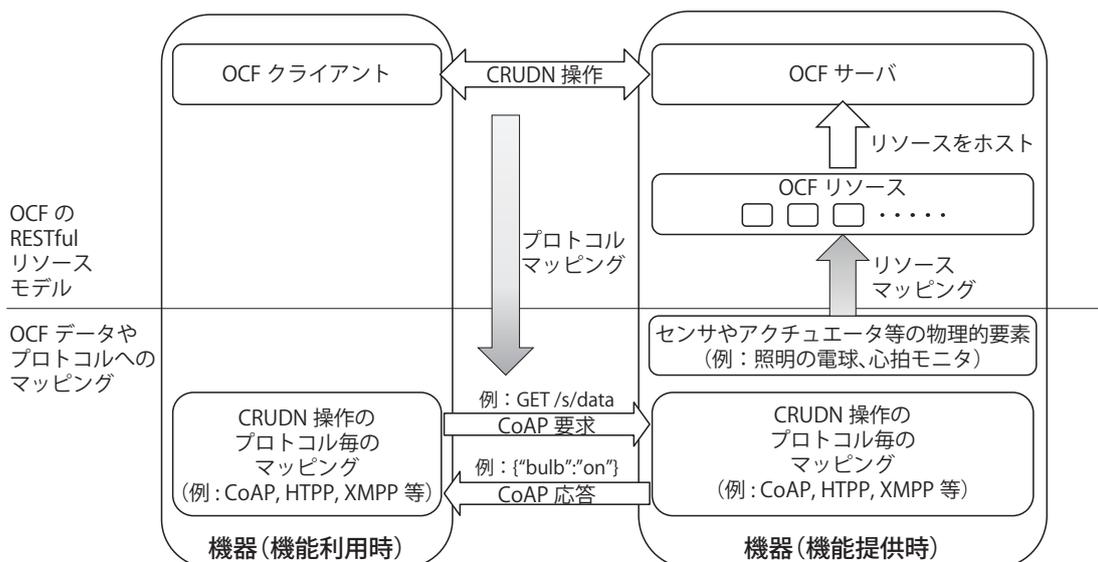


図3 OCFのアーキテクチャ

出典：OIC 1.1.2 Core Specification (https://openconnectivity.org/specs/OIC_Core_Specification_v1.1.2.pdf) を基に作成

すべてのRESTful操作には操作の開始側（クライアント）と操作に対する応答側（サーバー）がある。機器の構成要素をリソースとして公開する機器は、サーバ（リソースを保持する機器）として動作する。また、どの機器もクライアントとして動作可能であり、クライアントはサーバとして動作するすべての機器にRESTfulな操作を実施する（図3）。

OCFでは、各URIへのRESTful操作として、Create、Read、Update、Delete、Notify (CRUDN) の操作を定義している。一般的なコンピュータソフトウェアの基本機能である CRUD に、IoT 機器の特性である制約された機器を考慮して、Notify (通知) という操作を追加している。

3.1.2 機能ブロック

OCFでは、機器間で通信し作用するために必要となる機能ブロックを定義している（図4）。

L2 接続性：無線でのネットワーク接続など、ネットワークへのデータリンク層接続を確立するための機能。

ネットワーク：機器がネットワーク（インターネットなど）を介してデータを交換するための機能。OCFでは機器間の相互運用性を高めるために、ネットワークレイヤプロトコルとしてIPv6を推奨している。

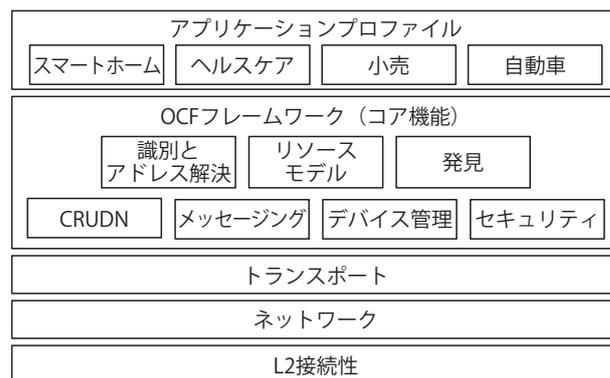


図4 OCFの機能ブロック

出典：OIC 1.1.2 Core Specification (https://openconnectivity.org/specs/OIC_Core_Specification_v1.1.2.pdf) を基に作成

トランスポート：QoS制約を備えたエンドツーエンドのトランスポート。トランスポートプロトコルの例には、TCPやUDPが含まれる。

OCFフレームワーク：OCFで定義するコア機能。

アプリケーションプロファイル：マーケットセグメント特有のデータモデルおよび機能性、たとえば、スマートホーム市場セグメントでは、特有のデータモデルおよび機能などが含まれる。

OCFでは機器が他の機器のリソースを発見し、そのリソースと安全な通信チャネルを確立し、相互作

用を行うことを目的に以下のコア機能を定義している。

3.1.2.1 識別とアドレス解決

OCFでは機器間の適切かつ効率的な通信を可能にするために、機器及びその構成要素の、識別、名前付け、アドレス解決を行う手段を定義している。

識別子は、関連する状況またはドメイン内で、要素を明確かつ一意に識別できるよう、その要素のライフサイクルにわたって不変であり、一連の処理またはドメイン内で一意であることが決められている。

アドレスは、要素間の通信のために要素にアクセスするための手段、方法、場所である。アドレスは、状況に応じて変更可能である。

名前は、フレームワーク内である要素を他の要素を区別する手段である。要素のライフサイクルの中で名前は変更可能である。

3.1.2.2 リソースモデル

OCFではリソースという言葉で機器上のセンサ、アクチュエータ、情報等の要素を表現し、そのリソースを操作するための手法を定義している。

多様なウェアラブル機器等、機器が異なるプロトコルを採用していても相互運用性を高めるために、個々の機器上のリソースに対応できるよう、豊富な意味づけ設定を持ち、さらに意味づけを定義可能としている。

リソースは、URIを使用して識別され、URIに対して操作を行うことでリソースへのアクセスが可能になる。また複数のリソースが単一の機器上に存在する。

3.1.2.3 発見

フレームワーク内で利用可能なものを発見するプロセスとして、OCFでは機器発見と、リソース発見の2種類のプロセスを定義している。

機器発見プロセスでは、CoAPのディスカバリに基づく発見プロセスを採用している。CoAPディスカバリでは、以下の手順で機器発見を行う。

A) 機能を公開したい機器は、あらかじめ定められたマルチキャストグループに参加する。

B) 機器を発見したいクライアントは、あらかじめ定められたマルチキャストグループに参加する。

C) クライアントは、マルチキャストグループアドレスへ発見要求(指定URIに対するGET要求)を送信する。

D) 特定のリソース種別に対して発見要求を行いたい場合、要求のパラメータに、所望のリソース種別を指定する。この場合当該のリソース種別を有する機器だけが要求に応答する。リソース種別を指定しなければ、すべての機器が発見要求に対して応答する。

リソースの発見プロセスでは、以下の3種類の形態が定義されている。

A) 直接的な発見: リソースが機器上でローカルに対してのみ公開されている場合は、クライアントから当該の機器に対してリソースの問い合わせがあった場合その機器が持っているリソースを通知する。

B) 間接的な発見: 間接的な発見を可能にするリソースディレクトリというリソース情報を集約する機構を定義している。機器上で公開されるリソースは、リソースディレクトリに集約され、クライアントはリソースディレクトリへ問い合わせを行うことで、集約されているリソースの情報を知ることができる。

C) 広告による発見: 機器側に存在するリソース、追加されたリソースなどを、クライアントに対して通知を行い公開する。

3.1.2.4 CRUDN

クライアントとサーバ間が対話を行い、リソースを操作するために、CREATE、RETRIEVE、UPDATE、DELETE、NOTIFY (CRUDN) を定義している。これらの操作は、サーバ上のリソースに対してクライアントから実行される。有効なCRUDN操作を受信すると、サーバは要求に含まれるインタフェースに応じて応答を生成する。OCFではCRUDN操作のメッセージに含まれるパラメータセットや、ペイロードの符号化方式についても定義している。以下でCRUDN操作について示す。

CREATE操作は、サーバ上に新しいリソースの作

成を要求する。クライアントがCREATE要求メッセージをサーバに送信し、サーバは新しいリソースを作成する。

RETRIEVE操作は、リソースの現在の情報の値を取得する。クライアントがRETRIEVE要求メッセージをサーバに送信し、サーバはリソースの情報を返答する。

UPDATE操作は、リソースの値を書き換える操作である。リソースの情報としての値を更新する場合もあれば、リソースの値が書き換わることで、機器の操作が行われる場合もある。クライアントがUPDATE要求メッセージをサーバに送信し、サーバ上のリソース情報が更新される。

DELETE操作は、リソースの削除を要求する。クライアントがDELETE要求メッセージをサーバに送信し、サーバ上のリソースが削除される。

NOTIFY操作は、リソースの状態が変わった場合に非同期通知を要求する操作である。NOTIFY操作をサポートするサーバは、クライアントが非同期的に1つ以上のリソース状態通知を要求した場合、当該リソースの監視を行い、リソースの状態が変更された場合に、クライアントへ状態変更を通知する。

3.1.2.5 メッセージング

OCFではCoAPを主要なメッセージングプロトコルとして取扱い、上述したCRUDNのRESTful操作とCoAPのメッセージとのマッピングを指定している。メッセージングプロトコルとしてCoAPに限定するものではないが、CoAPを中心に検討が進められている。CRUDNのそれぞれの操作は表3のCoAPメッセージにマッピングされている。

表3 CRUDN操作とCoAPのマッピング

| CRUDN操作 | CoAPメッセージ |
|----------|------------|
| CREATE | POSTまたはPUT |
| RETRIEVE | GET |
| UPDATE | POST |
| DELETE | DELETE |
| NOTIFY | GET |

3.1.2.6 機器管理

OCFでは、機器を管理するための機能を定義しており、機器を利用可能とするための初期設定や、機器の監視、診断等が含まれる。本稿執筆時点の機器管理機能では、基本的な管理機能である機器診断と保守が定義されている。

機器診断と保守機能は、フィールドで動作中に機器で発生した問題を管理者が解決するための機能である。診断と保守が機器でサポートされている場合は機器上のリソースとして、診断と保守の要素がURIで公開される。具体的には機器の診断リソースとして、Factory_Reset (機器の設定を工場出荷状態に更新) とReboot (ほとんどの設定をそのまま維持し、機器のソフトリブートを実施) の機能が定義されている。

3.1.2.7 セキュリティ

OCFでは、機器及びリソースへの安全なアクセスに必要な認証、認可、およびアクセス制御機構を規定している。ハードウェアおよびソフトウェアの側面からリソースを保護することを目標としており、以下の手順が規定されている。

- A) デバイスIDという識別子を使用して機器を識別する。ネットワークアドレスはデバイスIDに紐づけられる。デバイスIDに基づいてセキュリティポリシーを規定する。
- B) 機器間(サーバ、クライアント間)で渡されるメッセージ等の通信を保護するために、エンドツーエンドの暗号化通信を確立する。暗号化キーは、機器内に格納される。
- C) サーバ上のリソースにアクセスするには、まずクライアントをサーバに対して認証し次にサーバは、要求されたリソースに関するアクセス許可リスト(ACL)を調べ、クライアントのデバイスIDに一致するACLエントリを探し、アクセス権を確認し、アクセスの許可または拒否を決定する。

格納中および通信中の両方のデータも保護対象であり、セキュアなストレージとアクセス制御を組み合わせることを想定している。通信中のデータ保護のためにトランスポート層として、DTLSなどの暗

号化機構を用い、ペイロード保護を可能にする JSON Web Encryption (JWE) や JSON Web Signatures (JWS) などの機構を用いることが定義されている。

4 今後のIoTの主な技術的課題

前章までで機器とアプリケーション間の通信形態の動向について示した。これら取組により同一のプラットフォームを採用する機器間では、メーカーやソフトウェア、チップセット、通信プロトコルによらず接続可能となりつつある。本章ではこれら取組の進展を踏まえた、今後のIoTの主な技術的な課題について示す。

4.1 セキュリティ

プラットフォームに限らず、各レイヤにおいてセキュリティを高める取り組みが行われているが、多様な機器がつながる中では、すべての機器が理想的に実装されることは不可能である。異なるプラットフォームを採用する機器とアプリケーションが通信する場合には、セキュリティの機構が異なる場合もある。同じプラットフォームを採用している場合でも制約から実装範囲が異なる場合もある。さらにプラットフォームの規定範囲外のプログラムに何らかの脆弱性が存在する場合もある。

多数の製造者による多様な機器やアプリケーションが存在するために、多様な脆弱性が発生する状況になる。脆弱性が明確になれば、ソフトウェア修正等を行い、機器およびプログラムを更新していく必要がある。様々なフィールドに配置される膨大な数の機器のソフトウェアに修正を反映するとともに、サポート対象外となった機器を把握し、使用を停止するなどの運用確立が課題となる。

4.2 情報爆発

プラットフォームの成熟が進むことにより、より

多くの機器が簡易にIoT機器化することが可能になる。また機器がもつセンサ等の部品の高度化も進むことで、より多く情報を高頻度で収集することが可能になる。膨大な数になると予想されるこれら機器が継続的に情報を生成していくことにより、情報量の増加に拍車がかかっている¹⁷⁾。

現実世界で起きた出来事に応じて、機器が自然発生的に情報を生成していく。機器の情報を即時に解析することができれば、現実世界の状況を迅速に把握することが可能になるが、膨大な機器に点在する情報をどのように処理していくかが課題である。

現在のWeb検索で実用化されているクローリングにより、点在する情報をデータセンタに集約して解析する処理形態では処理可能なデータ量の制約と、処理遅延が課題になる。

4.3 自律性

IoT機器の中には機器単独では動作せず、データセンタ上のアプリケーションと連動することで初めて主要な機能が使用可能になる機器も存在する。このような機能配備を採ると、機器側のハードウェア構成のシンプル化が可能になる。また主機能たるアプリケーションが動作するデータセンタ側設備は、サービスの使用状況に応じたスケールアップによりコスト低減が可能となる。

一方、サービスとしての根幹的な機能をデータセンタ上に配置するため、何らかの理由でネットワークが途絶した場合には、機器が身の回りであってもその機能を利用することができない。例えば家庭内に設置した日々使用する機器を操作したいときに、インターネット接続に何らかの障害が発生している場合などには、その機器が十分に機能しないといった課題がある。

4.4 機器の管理運用

多様な機器の中には、たとえばRFIDのように、安価で商品等に張り付けて移動するセンサとしての

17) 森正弥, “インターネットにおけるデバイス環境の多様化, サーバ環境の大規模化, プラットホームのエコシステム化への対応,” 電子情報通信学会論文誌 B Vol.J93-B No.10 pp.1348-1355, Oct. 2010.

役割を持つ機器もあれば、コンピュータとしての機能を持ち固定的に設置される機器まで存在する。また、ネットワーク接続の観点からは、SIMのように、回線契約と紐づく認証用のチップを持つ機器もあれば、WifiやBluetoothのように認証用のチップを持たない機器も存在する。また機器の設置場所によっては、人が目視で存在確認等を行うことが困難な場合もある。このように多様な機器が様々な場所に設置されるなかで、これら機器を適切に管理できることが必要になる。具体的には遠隔から機器の状態や存在を把握し、ソフトウェアの更新を行い、異常回復のためのオペレーションが実施可能であり、遠隔から機器を無効化、有効化などの制御を行えることが必要である。多様性のある機器に対する統合的な管理の実現が課題である。

4.5 オープン性

IoTサービスは垂直統合型から始まっており、多様な機器間の相互運用性は大きな課題である。3章で示したプラットフォームでは、機器メーカーが異なる場合でも相互に接続可能とすることを目指しており、このような営みより同一のプラットフォーム上では、相互接続性が向上していくと考えるが、プラットフォームも多数存在し、OCFのような機器間の通信を中心に考えたアーキテクチャや、垂直統合型を中心に考えたアーキテクチャもあり多様である。これら異なるプラットフォーム間の相互接続が課題である。IoTの本来的な“何とでも接続できる”という目標にむけて、様々な機器間、機器とサービス間で相互に接続でき、運用可能となることが重要になる。

4.6 プライバシー

IoT機器が普及するほど、ネットワーク接続されたセンサが偏在し、これらセンサは多くのプライバシーに関する情報を生成しうる。例えば個人が活用するウェアラブル機器は生体情報などを生成する。

家庭に設置しているスマートメータ等の機器は、主目的は電力使用量データの生成やデマンドレスポンス等制御であるが、設置している家庭が在宅かを予測可能な情報が生成される。公共に設置している監視カメラ機器はその場に居る個人の画像データを生成する。このように多様な機器がそれぞれの目的に応じて生成する情報の中に、様々な形態で個人に関わる情報が含まれる。

一方、新サービス創出に向け、IoT機器が生成する情報の流通に多くの期待がある。このため機器が生成する情報の保護、匿名加工、同意等、情報を適切に使用できる環境を整えていくことが課題である。

5 課題に対するアプローチ

筆者らは、これら課題のうち特にオープン性に関わる課題に注目して研究開発へ取り組んでおり、本章でその取り組みを紹介する¹⁸⁾。

IoTのオープン性では、オープンIoTの取り組みが進んでいる。オープンIoTとは、サービスと機器が固定的な括り付けからアンバンドルされ、サービスと機器、さらには機器間が自由な関係性でつながる、本来のIoTの定義により近い通信形態である。オープンIoTに向けて、プラットフォーム間で機器のメタデータ（種類や能力等の静的な情報）の相互流通の取組等が進められている。

機器がより多くのサービスとつながることが可能になれば、多様な情報を組み合わせ解析することで機器が本来目的としていない情報に変換できる可能性がある。例えばヘルスケアサービスでは、本来活動量を測定することを目的としていない機器からも、活動量に関する情報を収集することが可能になりつつある。具体的にはスマートフォンの加速度や地磁気センサ等の情報を解析することで歩数の情報を生成でき、監視カメラや改札機といった定点通過の情報を解析することで移動距離を、またそこから歩数相当の情報へ変換が可能である。

オープンIoTが究極的に進めば、1つの機器が様々なサービスに多様な形態で情報を提供できると

18) 佐々木潤子, 他, “Tacit Computing: オープンIoT・偏在リソース時代に向けたネットワークサービス,” ビジネスコミュニケーション 2017 Vol.54 No.5, May 2017.

いう無限の広がりがある。一方、欲しい情報を持つ機器が限定されないということは、「いつどの機器がほしい情報を持つのか」が特定できないため、従来のように機器へ接続するだけでは、欲しい情報を入手することが困難になる。

また情報爆発の課題もあり、すべての情報を集約して、ビッグデータとして解析することは困難である。そこで機器が生成する情報をデータセンタに集約して解析するのではなく、サービスからの要求に応じてエッジコンピューティングのように情報の発生源に近い計算資源を用い、動的にコンテンツを把握する機構や、適切な権限で情報の流通を行う機構が必要になる。

この流通機構には、従来からCCN/ICNで取り組まれているようにコンテンツ指向での通信や、Pub/Sub、セマンティックWebなどで取り組まれている、情報のコンテンツにタグ付けして流通する仕組みが重要になると考える。

筆者らはこの課題の解決策として、データセンタにある計算資源だけでなく、ネットワーク上に多数偏在する資源を活用するTacitComputing (図5)を提案している。TacitComputingで、情報の発生源たる機器と同一のネットワーク内にある計算資源を組み合わせて、随時更新される情報を、トラヒック

を抑えつつリアルタイムに解析し、得られる情報を適切な権限で流通させることを目指している。

6 おわりに

より多くの機器がネットワークに接続され、プログラムがつながることで、新たなサービスが登場しつつある。サービスを構成する機器、ネットワーク、プログラムは、産業領域ごとに開発が行われており、多様な形態を持つ。

本稿では、IoTの全体像を紹介しつつ、特にプラットフォームの技術動向を解説し、今後の主な技術的な課題について示した。また課題に対する筆者らの取組について紹介した。

Profile

池邊 隆 (いけべ たかし)

1977年生まれ
 2002年 電気通信大学大学院情報システム学研究所修士課程了
 2002年 日本電信電話(株)入社
 呼制御システム、高可用ミドルウェア、オペレーティングシステム、IoTプラットフォームの研究開発に従事。博士(工学)。

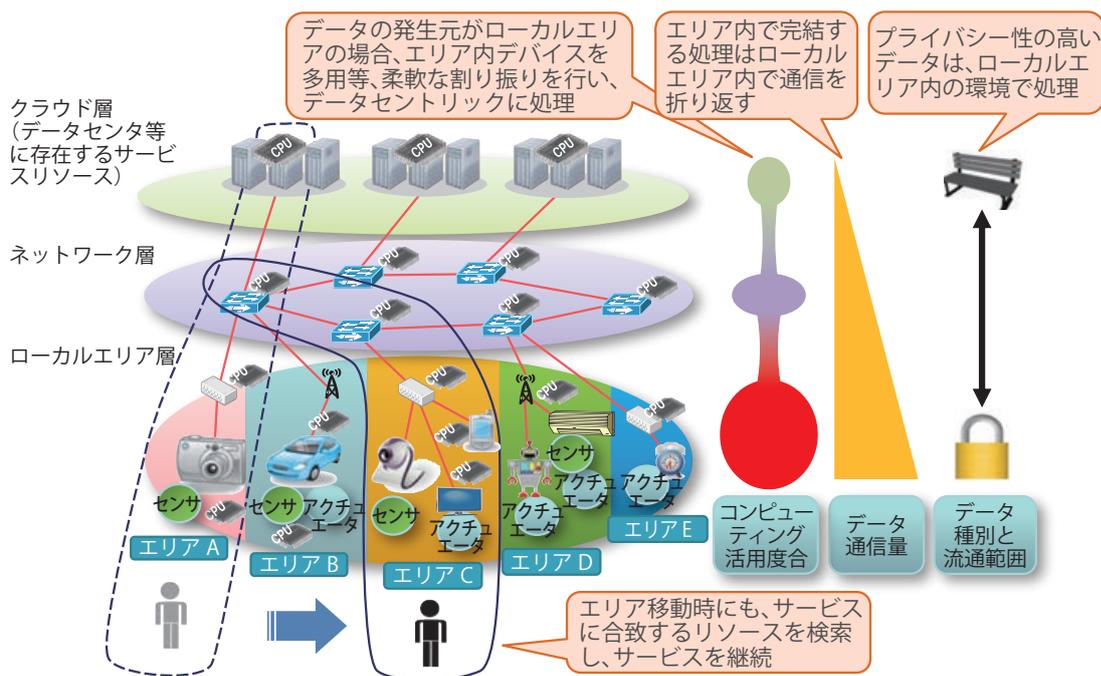


図5 TacitComputing